



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

## HISTORIE POČÍTAČOVÝCH HER

HISTORY OF COMPUTER GAMES

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

**Bc. Petr Michálek**

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

**doc. Ing. Jan Roupec, Ph.D.**

**BRNO 2023**



# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav automatizace a informatiky  
Student: **Bc. Petr Michálek**  
Studijní program: Aplikovaná informatika a řízení  
Studijní obor: bez specializace  
Vedoucí práce: **doc. Ing. Jan Roupec, Ph.D.**  
Akademický rok: 2022/23

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## Historie počítačových her

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zábavní průmysl byl jedním z hlavních hybatelů vývoje výpočetní techniky. Historie této oblasti je poměrně zajímavá. Řada dříve ikonických her již upadla v zapomnění, neboť není provozovatelná na dnešním hw. Práce má zmapovat tuto historii a vytvořit remake vybraných herních titulů.

### Cíle diplomové práce:

Cílem rešeršní části práce je zmapovat vývoj na poli počítačových her, a to jak z hlediska jejich programování, tak i hardwaru určeném k jejich hraní. V práci bude obsaženo porovnání přístupů k programování her od minulosti po současnost a popis vývoje hardware určeného ke hraní her. Výstupem praktické části bude moderní implementace zvolených retro her v libovolném programovacím prostředí.

### Seznam doporučené literatury:

SAGENG, J. R., FOSSHEIM, H. J., MANDT L. (Eds.) The Philosophy of Computer Games, Springer Netherlands, 2012, ISBN 978-94-007-4248-2.

WARDYGA, B. J. The Video Games Textbook: History, Business, Technology, CRC Press, Boca Raton FL, 2018.

PETZOLD C. Programming Windows: Writing Windows 8 Apps With C# and XAML (Developer Reference) 6th Edition. Microsoft Press. 2013.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Radomil Matoušek, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Tato práce se zabývá zajímavou historií videoher se zaměřením na vývoj a evoluci herních konzolí. Teoretická část nabízí komplexní pohled na pozadí vývoje videoherních konzolí, včetně jejich vzniku, procesů vývoje her, pokroků v oblasti hardwaru a vývoje vstupních zařízení. Tato analýza poskytuje cenné poznatky o technologických a kulturních milnících, které v průběhu let formovaly herní průmysl. Praktická část ukazuje aplikaci získaných znalostí při vývoji dvou her s využitím fiktivního retro počítače TIC-80 a programovacího jazyka Lua. Tyto hry čerpají inspiraci z retro titulů a vzdávají hold nostalgickým zážitkům, které uchvátily hráče napříč generacemi. Využití platformy TIC-80 s sebou neslo jistá omezení, která mají za cíl, aby bylo zpracování věrné starším titulům a zároveň byla zajištěna kompatibilita s moderním hardwarem.

## **ABSTRACT**

This thesis delves into the captivating history of video games, with a focus on the development and evolution of video game consoles. The theoretical part offers a comprehensive examination of the background and progression of video game consoles, including their inception, game development processes, hardware advancements, and the evolution of input devices. This analysis provides valuable insights into the technological and cultural milestones that have shaped the gaming industry over the years. The practical part showcases a hands-on approach in implementing the acquired knowledge by creating two games using the TIC-80 fantasy computer and Lua programming language. Drawing inspiration from retro titles, these games pay homage to the nostalgic experiences that have captivated gamers across generations. The utilization of the TIC-80 platform involved working within defined constraints to capture the essence of the old titles, while ensuring compatibility with modern hardware.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

historie počítačových her, historie videoher, vývoj počítačových her, retro videohry, historie herních konzolí, TIC-80, Lua

## **KEYWORDS**

history of computer games, history of video games, development of computer games, retro video games, history of gaming consoles, TIC-80, Lua





ÚSTAV AUTOMATIZACE  
A INFORMATIKY



2023

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MICHÁLEK, Petr. *Historie počítačových her*. Brno, 2023. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/145759>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojíního inženýrství, Ústav automatizace a informatiky, Vedoucí práce: doc. Ing. Jan Roupec, Ph.D.





## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, vypracoval jsem ji samostatně pod vedením vedoucího práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury.

Jako autor uvedené práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků.

V Brně dne 21. 5. 2023

.....

Petr Michálek



## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji vedoucímu práce doc. Ing. Janu Roupcovi, Ph.D. za odborné vedení a rady při vytváření této práce. Dále děkuji své rodině za veškerou podporu během mého studia.



# OBSAH

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>Vývoj konzolí</b> .....	<b>19</b>
2.1	První generace herních konzolí .....	19
2.1.1	Magnavox Odyssey .....	19
2.1.2	Atari Pong .....	20
2.1.3	Coleco Telstar .....	21
2.2	Druhá generace herních konzolí .....	23
2.2.1	Fairchild Channel F .....	23
2.2.2	Atari 2600 (Atari VCS) .....	25
2.2.3	Krach roku 1983 .....	27
2.3	Třetí generace herních konzolí .....	27
2.3.1	Nintendo Entertainment System (Famicom) .....	28
2.3.2	Sega Master System .....	33
2.3.3	Atari 7800 .....	35
2.4	Čtvrtá generace konzolí .....	37
2.4.1	PC Engine (TurboGrafx-16) .....	37
2.4.2	Sega Mega Drive (Sega Genesis) .....	39
2.4.3	Super Nintendo Entertainment System (Super Famicom) .....	41
2.5	Pátá generace konzolí .....	44
2.5.1	3DO Interactive Multiplayer (3DO) .....	44
2.5.2	Sega Saturn .....	46
2.5.3	Sony PlayStation .....	48
2.5.4	Nintendo 64 .....	51
2.6	Šestá generace konzolí .....	54
2.6.1	Sega Dreamcast .....	54
2.6.2	Sony PlayStation 2 .....	56
2.6.3	Nintendo GameCube .....	59
2.6.4	Microsoft Xbox .....	62
2.7	Sedmá generace .....	64
2.7.1	Xbox 360 .....	64
2.7.2	PlayStation 3 .....	66
2.7.3	Nintendo Wii .....	68
2.8	Osmá generace .....	70
2.8.1	PlayStation 4, PlayStation 4 Pro .....	70
2.8.2	Xbox One, Xbox One X .....	72
2.8.3	Nintendo Wii U .....	74
2.9	Devátá generace .....	78

2.9.1	Nintendo Switch .....	78
2.9.2	Xbox Series S, Xbox Series X .....	80
2.9.3	PlayStation 5 .....	82
<b>3</b>	<b>Přístup k vývoji her v čase .....</b>	<b>85</b>
3.1	První herní konzole .....	85
3.2	Vznik týmů herních vývojářů .....	85
3.3	Cesta k herním enginům a přechod do 3D .....	86
3.4	Nezávislá studia a rostoucí náročnost vývoje .....	87
3.5	Současnost .....	87
3.6	Objektově orientované programování .....	88
3.6.1	SOLID .....	88
3.6.2	Návrhové vzory .....	89
<b>4</b>	<b>Bližší pohled na fungování grafiky v čase .....</b>	<b>91</b>
4.1	Nintendo Entertainment System (NES) .....	91
4.2	Sony PlayStation .....	95
<b>5</b>	<b>Moderní grafické technologie .....</b>	<b>99</b>
5.1	Forward a deferred rendering .....	99
5.2	Anizotropní filtrování textur .....	101
5.3	Anti-aliasing .....	102
5.4	Screen Space Ambient Occlusion (SSAO) .....	104
5.5	Screen Space Reflections (SSR) .....	105
5.6	Ray tracing .....	106
5.7	DLSS, FSR, XeSS .....	107
5.8	Dynamic Resolution Scaling .....	107
5.9	Variable Rate Shading (VRS) .....	108
5.10	Nízkoúrovňová API (AMD Mantle, Vulkan, Microsoft DirectX 12) ...	109
<b>6</b>	<b>Praktická implementace - tvorba her .....</b>	<b>111</b>
6.1	Popis problému .....	111
6.2	Analýza problému .....	112
6.2.1	Vybrané vývojové prostředí .....	112
6.3	Popis her .....	113
6.3.1	Bubble .....	113
6.3.2	Space .....	116
6.4	Tvorba herní grafiky .....	118
6.5	Popis programů .....	121
6.5.1	Update funkce .....	122
6.5.2	Detekce kolizí .....	122
6.5.3	Chování nepřátel .....	123
6.5.4	Draw funkce .....	123

6.6	Mapa .....	124
7	Testování her a diskuze .....	129
8	Závěr .....	131
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>133</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>149</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>153</b>
A	Space .....	155
B	Bubble .....	157





# 1 Úvod

Videoherní průmysl prošel za několik posledních desetiletí enormními změnami. Z na dnešní poměry primitivních her jako Pong na arkádových automatech přes první domácí konzole na dnešní komplexní multiplatformní hry s rozpočty atakujícími nejdražší filmy. Jeho zisky také překonaly ostatní odvětví zábavního průmyslu a jsou vyšší než filmový a televizní průmysl dohromady.

Vývoj her a vývoj hardwaru jsou spolu úzce spjaty. Touha po stále ambicióznějších herních titulech je motivací pro uvádění stále výkonnější výpočetní techniky na trh. Nový hardware má zase vliv na podobu vznikajících her, protože vývojáři motivuje přicházet s kreativním využitím jeho schopností pro vytváření dosud nemožných herních zážitků. Mnoho technologií vznikajících pro hráčské publikum našlo využití i v jiných odvětvích. Snímání pohybu pro vytváření herních animací nebo Unreal Engine jsou nyní používány i ve filmovém průmyslu. Virtuální realita slouží jako pomůcka pro vzdělávání a terapii. Pohybový senzor Kinect byl nasazen jako bez dotekový ovladač k prohlížení rentgenových snímků během operace. Výkon moderních počítačů je používán pro náročné vědecké výpočty. Do projektu Folding@home, který staví na distribuovaných výpočtech pro simulacím skládání proteinů, se může jako dobrovolník zapojit každý.

Historie herního průmyslu od jeho skromných začátků po dnešní miliardové odvětví je protkána nečekanými úspěchy i fatálními chybami společností, které chtěly těžit z jeho rostoucí popularity. Mnoho inovací nepřineslo jejich autorům kýžený úspěch, ale přesto byly natolik vlivné, že se s jejich dědictvím setkáváme v moderních zařízeních stále. Cílem této práce je tuto zajímavou historii zmapovat. Pro tento účel dobře slouží vývoj herních konzolí, které lze chronologicky rozřadit do generací. Rozdíly mezi jednotlivými generacemi dobře ilustrují, jaké nové koncepty se v herním průmyslu v dané době objevily a jak se vzájemně ovlivňovaly s osobními počítači. Díky popisu dění během návrhu konzolí, přínosů nebo úskalí pro vývojáře a aspektů, které je činily úspěšnými nebo mimořádně vlivnými, čtenář dostane přehled o silách, které herní průmysl formovaly. Vzhledem k překotnému vývoji výpočetní techniky a četným změnám architektury herních konzolí, byla ztracena kompatibilita se staršími tituly. Cílem praktické části této práce je tedy vytvoření verze vybraných her, spustitelné na moderním hardwaru.



## 2 Vývoj konzolí

Vývoj konzolí historicky sahá až do konce 60. let minulého století. V té době se začaly objevovat první herní systémy, které využívaly jednoduché elektronické obvody k zobrazení hráčských zážitků na televizní obrazovce. Od té doby prošla herní technologie dlouhou cestou a vyvinula se do neuvěřitelně sofistikovaných a vyspělých herních konzolí, které umožňují hráčům zážitky, které si nikdy předtím nebyli schopni představit.

S vývojem herních konzolí se vyvíjela i herní kultura. Hráči se stali vášnivými fanoušky svých oblíbených her a konzolí a celá herní komunita se stala velmi aktivní a společenskou. V dnešní době herní konzole nabízejí nejen hry, ale také multimediální zážitky, jako jsou streamování videí, poslech hudby a interaktivní aplikace.

Během let se objevily desítky různých herních konzolí od různých výrobců a každá z nich přinesla něco nového a inovativního. Dnes jsou herní konzole populární a staly se nedílnou součástí zábavního průmyslu.

### 2.1 První generace herních konzolí

Pro popis vývoje herních konzolí a jejich organizaci jsou používány generace. Konzole do nich byly rozřazeny primárně pro rozlišení velkých skoků na poli hardwaru i softwaru. Každá generace tak typicky představuje výrazný posun z hlediska výpočetního výkonu, pokročilejší grafiky, větší paměti a úložiště pro hry. Dělení na generace také umožňuje jednodušší orientaci mezi velkým počtem systémů – je jasné, které konzole si v dané době konkurovaly. První generace konzolí se vyskytovala během 70. let minulého století a mezi nejznámější konzole první generace patří Magnavox Odyssey, Atari Pong a Coleco Telstar.

#### 2.1.1 Magnavox Odyssey

Magnavox Odyssey (obr. 1) byla první domácí herní konzole s vydáním v roce 1972. Byla navržena Ralphem Baerem, kterému se přezdívá „otec videoher“. Na rozdíl od moderních konzolí se uvnitř neskrýval tradiční procesor, ale diskrétní polovodičové součástky. Zajímavostí je, jakým způsobem uživatel vybíral, kterou hru si zahraje. Ke konzoli se připojovala zařízení vizuálně podobná pozdějším cartridge. Neměla ale žádnou paměť, na které by byly uloženy herní data. Jednalo se pouze o desku, která pomocí pinů nastavovala interní obvody samotné konzole, a tak vybírala herní mód. Proti konkurenci se odlišovala použitím barevných fólií, které doplňovaly jednoduchou grafiku na obrazovce. Ve hře Odyssey Tennis obstarávala samotná konzole zobrazení dvou čtverců, znázorňujících hráče a menšího čtverce – míče. Dodávaná fólie prosvítila televize a pro tuto hru byla potištěna čarami tenisového kurtu. Konzole

byla schopná produkovat primitivní zvuk. K televizi se připojovala pomocí přepínače, který se přišrouboval přímo ke vstupu televize pro anténu. K němu se potom připojila anténa i konzole a pomocí přepínače se dalo zvolit mezi televizním vysíláním a hrou. Ovladač pro tuto konzoli měl tvar kvádru a byl připojen kabelem. Hry se ovládaly pomocí otočných knoflíků (potenciometrů) a tlačítka [1, 2].



Obr. 1: Magnavox Odyssey – konzole s ovladačem. [3]

### 2.1.2 Atari Pong

Atari Pong je považován za jednu z nejdůležitějších a nejvlivnějších videoher rané historie. Pro Atari byla tato hra komerčně úspěšná a firmu katapultovala mezi přední hráče v oboru. Pong spatřil světlo světa v roce 1972 jako hra pro arkádové automaty. Tato tenisová hra pro dva hráče měla strohou grafiku a cílem bylo poslat míč za pátku soupeře, s tím, že umožněn byl pouze vertikální pohyb. Po úspěchu těchto automatů si Atari uvědomilo, že existuje poptávka po zařízení, které hru umožní hrát i doma. V roce 1975 byla představena herní konzole, kterou stačilo připojit k televizi a Pong šlo hrát z pohodlí domova (obr. 2). I tato verze byla velkým úspěchem s prodeji přesahujícími 150 tisíc kusů během prvního roku. Za tento úspěch

vděčí i relativně nízké ceně 99,95 dolarů (v roce 2023 asi 500 dolarů). Atari se podařilo zmenšovat hardware obsažený v arkádových automatech až na úroveň jednoho LSI čipu s desítkami tisíc tranzistorů. Vývoj byl sice velice nákladný a zahrnoval ruční tvorbu masky pro výrobu těchto čipů. Samotná výroba čipů pak byla výrazně levnější i díky úsporám z rozsahu (klesající cena na kus s rostoucím počtem vyrobených kusů). V případě Pongu tedy nehovoříme o klasickém programování, protože chování hry bylo dáno na úrovni návrhu samotného hardwaru. Ovládací prvky byly integrované přímo do konzole a nebyly na externím ovladači. Hra se ovládala pomocí otočných knoflíků. Pro nastavení hry sloužila tlačítka [4, 5].



Obr. 2: Atari Pong – konzole. [3]

### 2.1.3 Coleco Telstar

V roce 1976 byla uvedena na trh první konzole ze série Coleco Telstar. Do roku 1978 byly vydávány různé edice, které se lišily v nabídce her a ovládacích prvcích. První konzole se snažila svézt na vlně úspěchu hry Pong. Nabízela tři varianty hry Pong – tenis, hokej a házenou. Stejně jako u předchozích konzolí byla hra ovládána pomocí otočných knoflíků (obr. 3). Konzoli poháněl nový čip od General Instrument, který byl navržen právě pro videoherní systémy, což představovalo výraznou výhodu proti složitým obvodům uvnitř Magnavox Odyssey. Coleco mělo navíc velkou výhodu, protože podali objednávku na tyto žádané čipy jako první. Tyto čipy měly zabudované různé varianty na hru Pong a pozdější revize nabídku rozšiřovaly. Poslední konzolí z této série je Coleco Telstar Arcade - jedna z nejvýstřednějších konzolí vůbec. Konzole měla tvar trojúhelníku a krom typických dvou otočných knoflíků měla na jedné straně volant a řadicí páku, na straně druhé byl ovladač ve tvaru revolveru. Hry zde

nebyly definované čipem uvnitř konzole, ale byly dodávány na herních cartridgech (také ve tvaru trojúhelníku). O běh hry s tedy staral čip integrovaný přímo do cartridge a každá z nich obsahovala několik her. Celkem byly k dispozici čtyři cartridge [6, 5, 7].



Obr. 3: Coleco Telstar Arcada – konzole s ovladači. [3]

## 2.2 Druhá generace herních konzolí

Začátkem druhé generace je rok 1976, období rapidního růstu videoherního průmyslu. Velkým kamenem úrazu předchozích systémů byla omezená nabídka her. Několik variaací na hru Pong se uživatelům po nějaké době omrzelo a ochota investovat do dalšího systému se stejným problémem byla malá. Řešení bylo nasnadě, technologický pokrok přinesl levnější mikroprocesory. Několik výrobců dostalo nápad je použít místo neflexibilních analogových obvodů z generace předchozí. Typická konzole druhé generace tak disponuje 8bitovým mikroprocesorem. Nabídka her tedy nebyla omezena na malý počet daný návrhem obvodů konzole, ale jednalo se o opravdový software běžící na mikroprocesoru. Díky tomu byly nabízené hry mnohem složitější s pokročilejším zvukem a barevnou grafikou. Jedním z nejdůležitějších pokroků je, že hry nyní byly distribuovány na cartridgech s ROM pamětí až několika kilobajtů. Vývoj se dotknul i periférií a typické potenciometry nahradily joysticky, gamepady nebo klávesnice. Hry byly obvykle programovány v nízkoúrovňovém jazyce symbolických adres (assembler). To vyžadovalo důkladné znalosti hardwaru dané konzole, protože kód byl specifický pro daný procesor a jeho soubor instrukcí. Zástupci druhé generace jsou Atari 2600, Fairchild Channel F, Mattel Intellivision a ColecoVision [6].

### 2.2.1 Fairchild Channel F

První konzolí druhé generace je Fairchild Channel F, byla uvedena na trh v roce 1976. Používala interně vyvinutý mikroprocesor Fairchild F8. Konzole jako první používala cartridge s pamětí, byl to tak první programovatelný systém na trhu. Prototyp zařízení používal k ovládní klávesnici, která byla nahrazena snáze uchopitelným ovladačem, který poskytoval mnohem větší kontrolu než knoflíky používané doposud. Byl to první digitální joystick použitý v konzoli (obr. 4). Tato prvenství se bohužel pro Fairchild nepromítla do prodejů. Během tří let se prodalo na 350 tisíc kusů. Za vlažným přijetím pravděpodobně stojí nepříliš atraktivní katalog her. Konkurence v podobě Atari měla řadu značek známých z arkádových automatů. Tituly pro Fairchild byly typicky pomalejší, část z nich byla určena pro vzdělávání. To vedle her od Atari, nabízejících akční záležitosti, mnoho hráčů neupoutalo [8].





Obr. 4: Fairchild Channel F – konzole s ovladačem. [3]



### 2.2.2 Atari 2600 (Atari VCS)

Atari Video Computer System (obr. 5), později (1982) přejmenován na Atari 2600 byl uveden na trh v roce 1977. V roce 1975 představilo MOS Technology bezkonkurenčně nejlevnější procesory na trhu. Mikroprocesor MOS 6502 stál při uvedení na trh 25 dolarů, zatímco ceny srovnatelných produktů od firmy Motorola nebo Intel se šplhaly přes 200 dolarů. Vznikl prototyp pojmenovaný „Stella“ podle značky kola jednoho z inženýrů (stejně kódové označení nesl i grafický čip navržený pro VCS), kterému vdechnul život právě MOS 6502. Jeho cena byla ale dle propočtů Atari stále moc vysoká. Byla jim tak nabídnuta nadcházející odlehčená verze zmiňované 6502 v podobě MOS 6507. Cena za jeden čip tak byla menší než 12 dolarů [9, 10].



Obr. 5: Atari Video Computer System – konzole s ovladačem. [3]

Co se týče křemíku, mezi procesory není rozdíl. Liší se ale vnějším materiálem, který tvoří podstatnou část ceny. Z hlediska programování není mezi čipy velký rozdíl. MOS 6507 má méně pinů a nedokáže adresovat tolik paměti (13 bitů místo plných 16 bitů), což ovlivnilo maximální kapacitu cartridge. Správným výběrem procesoru ale výzvy při návrhu konzole nekončily. Atari VCS potřebovalo ještě hardware, který obslouží grafiku a zvuk [9, 10].

Cílem bylo přiblížit se schopnostem tehdejších osobních počítačů, aniž by se jim přiblížil cenou. Konzole se měla prodávat s minimálním ziskem a příjmy měly

nahradiť prodeje her. Dnes je takový obchodní model běžně používaný u všech výrobců herních konzolí, ale tehdy se jednalo o neobvyklý přístup. Pro snížení nákladů začali inženýři Atari vyvíjet již zmiňovaný vlastní grafický čip se jménem Stella. Finální název tohoto čipu je Television Interface Adaptor. Ze všech komponent uvnitř VCS to byla zdaleka nejnákladnější součástka na vývoj. Princip fungování je úzce svázán s funkcí katodové obrazovky [9, 10].

Na rozdíl od dnešní doby musela grafika fungovat bez framebufferu. To je místo v paměti, které obsahuje informace o každém pixelu v kompletním snímku připraveném k zobrazení. VCS ani nemá dostatek paměti na uložení celého jednoho snímku. Následkem toho musela být grafika generována v reálném čase a správný běh hry vyžadoval synchronizaci programu běžícím na procesoru s elektronovou tryskou v televizi skrze TIA. Okno se hrou proto bylo menší, oříznuté o oblasti, kam se grafika nevykreslovala. Tato místa jsou naprosto stěžejní pro fungování celé herní logiky, protože se v nich zpracovávají vstupy z ovladačů, počítání skóre atp. Díky tomu se ale podařilo významně ušetřit na drahé RAM paměti. Konzole měla pouhý zlomek paměti typického počítače z té doby. Konkrétně to bylo 128 bajtů RAM, zatímco počítač Apple II ze stejného roku měl celé 4 kilobajty. Hry tak běží přímo z ROM paměti na cartridge bez předchozího načtení do RAM [9, 10].

Dalším důležitým komponentem uvnitř konzole je Peripheral Interface Adaptor, který přijímá signály z ovladačů. Na rozdíl od konkurence umožňovala konzole připojit rozdílné druhy ovladačů. Už v balení s konzolí byly hned dva typy a na trhu se objevilo mnoho dalších i od jiných výrobců. Typicky se hry ovládaly pomocí joysticku, který tato konzole prosadila jako standardní ovladač této éry [9, 10].

Atari VCS se dočkalo velkého množství legendárních titulů. Ať už originálních, šitých na míru této konzoli, tak i mnoha exkluzivních konverzí her z arkádových kabinetů, kde mělo Atari velké a úspěšné portfolio. V prvních dvou letech nebyla konzole obřím hitem, ale postupem času začaly prodeje stoupat. Opravdu úspěšný byl až rok 1979, za který se konzole prodalo přes milion kusů. Bohužel pro Atari to ale je i rokem, kdy doplatili na svoji korporátní politiku a přístup k vývojářům jejich her. Práce vývojáře pro Atari spočívala v kompletním vytvoření celé hry. Od celého konceptu přes grafiku a zvuk po naprogramování finálního produktu. Problémem bylo, že vývojáři nedostali za úspěšné hry žádné odměny, a jejich jména se nedostala ani na obal nebo do titulků her. A tak se nespokojená skupina programátorů, která měla na svědomí jejich nejúspěšnější hry, od firmy oddělila. Společně založili svoji společnost s vizí vydávat vlastní hry. Firma dostala jméno Activision a stala se prvním vývojářem třetí strany pro tuto konzoli [9, 10].

### 2.2.3 Krach roku 1983

Přestože byly hry, produkované zkušenými vývojáři v Activision, většinou velmi kvalitní a časem daleko předčily tituly ze začátku života VCS, nastavilo to precedent, který se hernímu průmyslu stal osudný. Koncept konzole s výměnnými cartridgey byl nový a legislativa byla v tomto ohledu pozadu. Nic tak nebránilo komukoliv vydávat hry, jejichž obaly nesly logo Atari s malou poznámkou, že nejsou nijak spojeni se samotnou firmou Atari Inc. – hry pouze fungují na jejich konzoli. To způsobilo záplavu nekvalitních her, vzniklých za účelem rychlého výdělků. Počet her se pouze za rok 1982 zdvojnásobil [11, 12].

V roce 1983 se počet her opět zdvojnásobil. Vzhledem k neexistenci jakéhokoliv mechanismu certifikace her tak všechny nekvalitní tituly poškozovaly dobré jméno Atari a herního průmyslu jako celku. Samotné Atari v tomto období situaci moc nepomohlo, kvůli zvýšenému tlaku na svoje vývojáře vznikaly nedodělané tituly. Jejich jedinou devizou byl často fakt, že se jednalo o licencovaný produkt spojený se známou značkou. Příkladem je hra E.T., která je svým neúspěchem legendární. Kolovaly zvěsti, že miliony neprodaných kopií této hry byly zahrabány na skládce. Ukázalo se, že byly alespoň z části pravdivé. V roce 2014 byla v Novém Mexiku skládka odkryta jako součást natáčení dokumentu Atari: Game Over. Ve skutečnosti bylo pohřbeno asi 700 tisíc kusů různých her [11, 12].

Dalším zklamáním byla konverze hry Pac-Man. Tato verze, v té době nejpopulárnější hry z arkádových automatů, nedostala vysokým očekáváním. Kvůli omezenému času na vývoj a limitacím platformy měl výsledek ve srovnání s předlohou velmi špatné audiovizuální zpracování. Přehršel nekvalitních her a ztráta důvěry zákazníků vyústily v krachující herní průmysl. Atari v roce 1983 hlásilo ztrátu 536 milionů dolarů – na tu dobu je to jedna z nejvyšších vykázaných ztrát v Americe. Společnost byla nakonec prodána firmě Commodore. Konkurence na tom nebyla o nic lépe. Intellivision byl mateřskou společností Mattel odprodán. A firmy Coleco a Magnavox opustily videoherní průmysl [11, 12].

Zatímco v Americe se lidé od her odvrátili, ve zbytku světa to nebylo stejně tragické. V Evropě, díky 8bitovým počítačům jako Commodore 64, BBC Micro a ZX Spectrum, hráči vzniklou krizi nepocítily. Souběžně s událostmi roku 1983 se japonský trh nacházel teprve v jeho začátcích. Objevily se na něm vůbec první konzole značek Nintendo a SEGA. A bylo to právě Nintendo, s jednou z nejvýznamnějších konzolí vůbec, které pomohlo hernímu trhu v Americe vstát z popela [11, 12].

## 2.3 Třetí generace herních konzolí

První konzole z třetí generace se začala prodávat v roce 1983. Po krachu herního průmyslu byla veřejnost i prodejci k videohrám skeptičtí. Hlavním posláním no-

vých konzolí bylo zákazníky přesvědčit, že to nebyl chvilkový trend, který upadne v zapomnění. Výrobci konzolí museli zanalyzovat, co vedlo k pádu Atari a pečlivě zvážit, jak podobné situaci zabránit, aniž by tato opatření byla na škodu a odradila vývojáře od vydávání her na jejich platformu.

Kvůli používaným procesorům se třetí generaci říká generace 8bitová. 8bitové procesory se objevovaly už v generaci předchozí, zde jsou většinou výkonnější. Programování probíhá v assembleru k příslušným procesorům. Hry byly stále distribuované na cartridgech, ale některé z nich měly integrovanou baterii pro zachování uložené pozice. Důležitá byla inovace na poli ovladačů. Vstupní zařízení byla v minulé generaci rozmanitá, ale pohodlí často pokulhávalo. Konzole třetí generace měly ovladače mnohem podobnější, většina z nich používala ovladač se směrovým křížem a dvěma tlačítky. Mezi konzole třetí generace se řadí: Famicom (Nintendo Entertainment System), Sega Master System, Atari 7800.

### 2.3.1 Nintendo Entertainment System (Famicom)

Nintendo mělo začátkem 70. let namále. Po riskantní sázce na vývoj drahého Laser Clay Shooting systému nechybělo mnoho a Nintendo jak je známe by neexistovalo. Nemohl za to ani projekt samotný, ale embargo na vývoz ropy do vybraných zemí, kam patřilo i Japonsko. Firmu naštěstí spasily dva produkty. Prvním byla série kapesních her Game & Watch a druhým hra Donkey Kong pro arkádové automaty. Nintendo bylo na přelomu 70. a 80. let už známé svými arkádovými automaty [13].

Tehdejší prezident společnosti tak zadal druhému výzkumnému oddělení těžký úkol. Navrhnout zařízení schopné hrát jejich známé hry v pohodlí domova s cenou do 10 tisíc jenů (přes 130 dolarů v roce 2023) a lhůtou odevzdání do příštího roku. Zadání bylo prakticky nemožné, ale vedoucí oddělení se ho rozhodl splnit nejlépe jak mohl. Získání dodavatele procesoru byl oříšek. Obešel většinu japonských výrobců mikroprocesorů, ale po představení jeho požadavků a rozpočtu se setkal s posměšným odmítnutím. Štěstí se ale na Nintendo usmálo znovu. Na rozdíl od dnešní doby, kdy je výrobců procesorů hrstka, se na tento trh snažilo prorazit velké množství firem. Jednou z nich byla společnost Ricoh, která je známá hlavně pro svoje tiskárny, kopírky a jinou kancelářskou elektroniku. Bohužel pro ně nebyl jejich vstup do tohoto odvětví zlatým dolem, který si představovali. Návratnost milionů investovaných do jejich továren byla v nedohlednu. Kapacita jejich výroby se dostala jen přes 10 %. V takové situaci byli ochotní skočit po jakémkoliv objednavce, jen aby se zaplatil provoz takové továrny [13, 1, 14].

Nintendo a Ricoh si sedli k jednacímu stolu. Ale i pro ně byly požadavky Nintenda příliš. Aby se dostali na požadovanou cenu, musel by odběr čipů být v řádech milionů kusů. Nintendo se pochlubilo milionovými prodeji jejich předchozích herních produktů a zavázalo se odebrat tak velké množství kusů [13, 1, 14].

Návrh hardwaru skončil u typické konfigurace procesoru a separátního grafického čipu. Velmi kuriózní je ale fakt, že procesor byl návrhu MOS 6502. V Japonsku byl hojně používaný procesor Zilog Z80. Ten poháněl i řadu arkádových automatů (Pac-Man, Galaxian) a MSX počítače. Ricoh ale neměl licenci k jeho výrobě, tak byl Nintendo nabídnut právě MOS 6502. Najít vývojáře, kteří ho podrobně znali, nebylo v Japonsku jednoduché. Jednu výhodu jim to ale poskytovalo. Konkurenci a imitátorům to velmi ztížilo práci při reverzním inženýrství. Neobvyklá volba to ale byla ještě z jednoho důvodu. MOS Technology byl totiž v 70. letech odkoupen společností Commodore. Jack Tramiel, zakladatel Commodore, měl s japonskou konkurencí negativní zkušenosti. Nejdříve mu problémy způsobovaly japonské psací stroje a kalkulačky s tak nízkými cenami, na které Commodore nemohlo stlačit cenu nákladů. A později, když se technicky vyspělejšímu a levnějšímu počítači Commodore 64, nepodařilo na japonském trhu prorazit proti MSX PC standardu. Rozhodl se tedy alespoň znepríjemnit japonské konkurenci vstup na trh americký. Kdyby se v Commodore vědělo, že se konzole eventuálně dostane na americký trh, mohli licenci vypovědět nebo výrazně zvednout náklady na produkci čipů. To, že čipy vyráběl Ricoh, zjistili až když bylo pozdě. Po vydání americké verze konzole se s odhodláním přijít na případné porušení jejich patentů rozhodli zaměstnanci Commodore zjistit, co se uvnitř konzole vlastně skrývá [13, 1].

Jedním z nich byl i člověk, který na návrhu 6502 přímo pracoval. Byla odstraněna horní vrstva čipu, aby bylo viditelné rozvržení procesoru. V místnosti zavládlo ticho. Před očima jim ležel celý MOS 6502 s jednou zásadní modifikací. Chyběla patentovaná část (patent US3991307A), která výrazně urychlila výpočty binárně reprezentovaných dekadických čísel za pomoci jedné binární sčítačky bez nutnosti dekadické sčítačky nebo většího množství cyklů. Nebyl to ale nový návrh čipu inspirovaný MOS 6502. Takový proces by byl nákladný a časově náročný. Změna byla pouze na úrovni polysilikátové masky používané při výrobě. Odebráním pěti tranzistorů tak nebyl patentovaný obvod ani plně odstraněn, ale pouze odpojen, aby nebyl funkční [13, 1, 14].

Přestože se podezření Commodore ukázalo jako oprávněné, jiná společnost měla právo cítit větší křivdu. Coleco a Nintendo sjednali exkluzivní smlouvu na vydání hry Donkey Kong pro jejich konzoli ColecoVision dostupnou v severní Americe a Evropě. Tato spolupráce fungovala dobře a na Nintendo kvalita předělávky udělala dojem. Společnost začala vážně uvažovat o licencování ColecoVision pro japonský trh a vydávání dalších svých her známých z arkádových automatů. S licencí k již existujícímu systému by se vyhnuli velkým investicím nutným k vývoji a započítí výroby vlastního návrhu. Nechybělo málo a dohoda se uskutečnila. Neshoda na ekonomických podmínkách vyústila v upuštění od vyjednávání ze strany Nintendo a proklamaci o vytvoření vlastní platformy, kterou se stal Famicom [13, 1, 14].



Jméno vzniklo jako zkratka slov family a computer – patrná snaha oslovit krom dětí i jejich rodiče, kteří o nákupu budou rozhodovat. Při návrhu grafického čipu PPU (Picture Processing Unit) se Nintendo u ColecoVision očividně inspirovalo. Nápadnou podobnost lze nalézt v několika stěžejních funkcích čipu. Většinou se týkají spritů. Sprite označuje malý dvourozměrný celek grafiky jako například postavu hráče. Konkrétně se jedná o výběr dvou druhů velikostí spritů, sprite overflow flag pro indikaci situace, kdy se program pokusil zobrazit více spritů na jednom řádku, než je možné a coincidence flag pro indikaci kolize nebo překrytí dvou objektů na obrazovce. Terminologie týkající se oblastí paměti čipu a jejich funkce byly také velmi blízké [13, 1, 14] .

Ovladač na obr. 6 byl od konkurence rozeznatelný na první pohled. Dřívější konzole implementovaly ovládací prvky známé z arkádových automatů. Při návrhu ovladače pro Famicom bylo experimentováno s joysticky vymontovanými z automatů Nintendo, ale tým s nimi spokojen nebyl. Jako jeho nevýhody viděli velké rozměry, vyšší cenu a malou odolnost nebo risk zranění dětí v případě, že by na něj omylem šláply. Naštěstí byl nápomocen člen prvního vývojového týmu, který pracoval na kapesním Game & Watch. Přes počáteční odpor týmu pracujícího na Famicomu svolili k použití d-padu, neboli směrového kříže, po tom, co měli možnost si ho vyzkoušet na prototypu konzole. Pomocí jednoho palce se šlo pohodlně pohybovat ve všech hlavních směrech. Nintendo si nechalo jejich design patentovat a v roce 1987 vstoupil patent v platnost. Bez ohledu na něj se ale tento ovládací prvek používá na ovladačích naprosté většiny herních konzolí doteď. Patent vypršel v roce 2005 a za tu dobu bylo k vidění řadu více či méně kreativních způsobů, jak ho obejít [13, 1, 14].

I přes jedno zaškobrtnutí, kdy kvůli chybě v čipu při určitých situacích systém spadnul, byl Famicom obřím úspěch. Prezident Nintendo naštěstí zareagoval promptně a rozhodl se svolat zpět celou první várku Famicomu na výměnu základní desky. Během dvou měsíců se v Japonsku prodalo více než půl milionu kusů konzole [13, 1, 14].

Nintendo pozorovalo krach herního trhu v Americe a snažilo se z jeho příčin ponaučit. Aby zamezili záplavě nekvalitních her třetích stran, obsahovala konzole „lockout“ čip, který nedovolil spustit hry z neoficiálních cartridge. Jediná cesta, jak vydat hru pro jejich konzoli, vedla skrze Nintendo. Měli tak plnou kontrolu nad tím, kdo jakou hru může vydat a kolik kusů se vyrobí. Krom toho byl stanoven limit na pět her ročně s tím, že každá z nich musela být k dostání pouze pro jejich konzoli po dobu minimálně dvou let. Tato pravidla se svolením Nintendo eventuálně některé společnosti ohnuly vytvořením dceřiných společností. Praktika časové exkluzivity her třetích stran se nelíbila Atari a neúspěšně ji napadli u soudu jako monopolní chování [1, 14].



Obr. 6: Nintendo Famicom – japonská verze konzole s ovladačem. [3]

Rok 1985 se uvádí jako rok, kdy vyšla verze Famicomu pro americký trh, se jménem Nintendo Entertainment System (NES). Konzole dostala kompletně nový kabát, jméno a příslušenství ve snaze přesvědčit ke koupi i zákazníky s averzí k videohram po událostech roku 1983. Cesta k úspěchu v Americe ale nebyla tak přímočará jako v Japonsku. Přesvědčit prodejce, aby alokovali místo v regálech pro NES, byl problém. Cokoliv spojeného s videohrami většinou odmítali hned, jakmile slovo videohra uslyšeli. Z tohoto důvodu vznikly dva kusy příslušenství s cílem změnit vnímání systému a získat zájem řetězců prodávajících tradiční hračky. Prvním z nich byl robotický společník Robot Operating Buddy (ROB). Fungoval pouze se dvěma hrami a nenabízel příliš rozmanité způsoby interakce. Tento malý a jednoduchý doplněk sloužil jen jako trojský kůň pro prodej herní konzole maskující se jako více než zařízení umožňující hrát videohry [13, 1, 14].

Druhý kus příslušenství byl mnohem zajímavější. Nintendo mělo v té době dvě úspěšné hry pro herní automaty využívající světelnou pistoli – Hogan's Alley a Duck Hunt. Obě hry se dostaly na NES a byly hratelné s ovladačem „Zapper“

ve tvaru pistole stejně jako na automatech. To využili k vykreslení konzole jako virtuální střelnice místo pouhé videohry. Na rozdíl od robota tento ovladač využilo hned několik her, kterých byly nižší desítky. Přesto se nepodařilo přesvědčit dost prodejců, dokud prezident americké odnože Nintendo nepřišel s riskantním krokem a navzdory přání japonského vedení se rozhodl nabízet garanci vrácení peněz – odkoupení všech neprodaných her a konzolí. Jedinou věcí kterou nakonec obchody poskytovaly bylo místo k prodeji. Zaměstnanci Nintendo se starali o dovoz zboží, jeho vystavení a předvádění i odvoz neprodaných kusů. Případně nabízeli trénování jejich zaměstnanců pro prezentaci. Museli si pronajímat dodávky, aby mohli zboží rozvážet a vyzvedávat. Ale jejich práce se konečně vyplatila. Během Vánoc nakonec prodali všechny zásoby, které z Japonska dorazily v první várce [13, 1, 14].

Vzhledem k tomu, že jako první místo byl vybrán New York, který byl považován za nejnáročnější trh, přezdíván jako hlavní město zábavy, nabyli větší víry v úspěch i jinde. Během svého působení v New Yorku se spojili s místními marketingovými agenturami, tato zkušenost s agresivním marketingem udávala jejich směr na dalších deset let. Po New Yorku následovalo několik dalších měst, kde byl prodej konzole spuštěn. Až koncem roku 1986 byla konzole k dostání v celé zemi [13, 1, 14].



### 2.3.2 Sega Master System

Sega měla v Japonsku smůlu. Se svojí konzolí (obr. 7) přišli téměř o dva a půl roku později – v roce 1985. Tou dobou Nintendo ovládalo 90 % japonského trhu. V Americe mělo Nintendo časový náskok o něco kratší, protože Sega představila svůj Master System na podzim roku 1986. Přesto se nepodařilo NES z trůnu sesadit. Prodeje na konci roku 1987 hovořily jasně – na každý prodaný kus Master Systemu připadalo dvacet prodaných NES. Nintendo mělo agresivní marketing a kontakty v nově vzniklé hračkářské společnosti World of Wonders. Ta byla paradoxně založena bývalými zaměstnanci Atari a pro Nintendo zařizovala distribuci. NES se podařilo do řetězců protlačit i díky jejich tlaku. Několik nejpopulárnějších hraček té doby bylo z jejich dílny. Kdo je chtěl prodávat, musel prodávat i NES. V několika regionech se ale konzoli naštěstí dařilo lépe. Mezi nimi je Evropa, Austrálie a Jižní Amerika. Jako jeden z důvodů, proč konzole nedokázala oslovit takové publikum, je i nedostatečně silná identita Segy. Jejich hry sice byly populární v hernách s arkádovými automaty, ale většina lidí si je se společnostmi nespojovala. Konverze těchto her tak nebyly tak účinné, jak by si firma přála. Nintendo v kontrastu s tím budovalo silnou značku, která měla populární maskoty jako Mario a Donkey Kong. V neprospěch Segy hrála také cena konzole, kdy i balíček NES se hrou a ovladačem navíc byl levnější o deset dolarů [5, 15, 6].

Na potenciální zákazníky se konzole od Segy snažila zapůsobit lepší grafikou díky pokročilejší technologii. Chlubila se širší barevnou paletou, kdy bylo možné současně zobrazit až 32 barev proti 25 u NES. To jí umožňovala vyšší paměť, které měl Master System celkem téměř šestinásobek. Co se týče výkonu procesoru, byly konzole vyrovnané, i když tomu pouhé srovnání frekvence nenapovídá. V jedné oblasti mělo NES výhodu – zvuk. Mělo pět audio kanálů proti čtyřem u Master System. Obě konzole dokázaly díky umu vývojářů přehrát i krátkou digitální nahrávku. V případě konzole od Segy se ale procesor téměř nemohl věnovat ničemu jinému [5, 15, 6].

Návrh ovladačů se zcela zřetelně inspiroval u NES – obdélník se směrovým křížem a dvěma tlačítky. Ačkoliv to lze vnímat negativně, jako prostou snahu okopírovat úspěšný design konkurence, pro uživatele to byl proti minulé generaci pokrok. Standardizace ovladačů znamená, že se s nimi hráči rychleji sžijí a zvykání si na úplně jinou metodu ovládání nepředstavuje bariéru pro užívání si hry bez ohledu na platformu. Ke konzoli bylo možné dokoupit řadu příslušenství včetně světelné pistole nebo 3D brýlí [5, 15, 6].



Obr. 7: Sega Master System – americká verze konzole s ovladačem. [3]

### 2.3.3 Atari 7800

V roce 1984 oznámilo svoji novou konzoli Atari 7800 (obr. 8). Atari bylo prodáno ještě než se konzole dostala na trh. Koupil jej Jack Tramiel, který opustil Commodore po neshodě s členem představenstva. Nové Atari se nejdříve soustředilo na počítače, kterými měli konkurovat Commodore a zájem věnovat se herním konzolám neměli. V roce 1986 bylo po velkém úspěchu Nintenda rozhodnuto vydat dvě konzole, které po prodeji Atari zůstaly ve skladech. Jednou byla Atari 2600jr, levná verze původního 2600. Zastaralou grafiku a jednoduché hry tato konzole vyvážíla velmi nízkou cenou. Druhou bylo právě Atari 7800, které se svými schopnostmi mohlo rovnat NES. Tato konzole si připsala důležité prvenství. Byla zpětně kompatibilní se hrami ze staršího Atari 2600, což masivně zvýšilo počet her dostupných hned při vydání. Dohromady s tituly vyvíjenými přímo pro Atari 7800, včetně několika kvalitních konverzí z arkádových automatů, to byla největší nabídka her ze všech konzolí této generace. To ale k úspěchu nestačilo. Nové vedení Atari s vydáním konzole otálelo moc dlouho a dovolilo tak konkurenci získat velký náskok. Atari navíc nesoupeřilo jenom s Nintendem, ale také se Segou a jejich Master Systemem. Vydání 2600jr také nebylo pro modernější 7800 pozitivní. Vyvíjet jednu hru pro dvě zařízení zároveň by bylo náročnější, takže bylo často jednodušší vydat hru pro 2600, kterou spustily obě konzole. Mnoho lidí si také prostě koupilo levnější 2600jr [16, 5, 17].

Konzoli poháněl upravený procesor MOS 6502, pojmenovaný Atari SALLY, a grafický čip MARIA. Za zmínku stojí funkce direct memory access (DMA), která umožňuje grafickému čipu přistoupit k paměti nezávisle na procesoru. Pro generování zvuku byl použit TIA známý z Atari 2600, takže proti konkurenci byly zvuky výrazně ochuzené. Tento čip také sloužil pro umožnění již zmiňované zpětné kompatibility [16, 5, 17].

Konzole byla v Americe prodávána s ovladači, na kterých byl tradiční joystick a dvě tlačítka. Tedy podobný styl ovládání, jaký byl běžný v minulé generaci. Ovladač nebyl přijat kladně, protože delší používání bylo bolestivé a měl krátkou životnost. Při vydání v Evropě byl ke konzoli přibalen mnohem lepší kus hardwaru. Tento ovladač měl rozložení typické pro třetí generaci konzolí – směrový kříž a dvě tlačítka. Směrový kříž měl uprostřed díru se závitem a bylo možné k němu přišroubovat malou páčku, která se podobá pozdějším analogovým páčkám [16, 5, 17].



Obr. 8: Atari 7800 – konzole s ovladačem. [3]

## 2.4 Čtvrtá generace konzolí

Za začátek období čtvrté generace je označován rok 1987. Čtvrtá generace je přezdívaná jako éra 16bitových konzolí. Vyšší výkon nových konzolí znamenal další zlepšení audiovizuálního zpracování a možnost vyvíjet komplikovanější hry s většími světy. Během této generace pokračovala rivalita mezi Nintendem a Segou. V souboji o místo na nově revitalizovaném herním průmyslu, ale na trh zavítala i další firma. Programování stále probíhalo v assembleru specifického pro použitý procesor. Hry standardně využívají cartridge, ale s nástupem optických disků se začínají objevovat příslušenství podporující jejich čtení.

### 2.4.1 PC Engine (TurboGrafx-16)

Čtvrtou generaci konzolí odstartovala spolupráce japonských společností Hudson Soft a NEC vydáním jejich konzole v roce 1987. V Japonsku vyšla pod názvem PC Engine, zatímco v Americe, kam se dostala až později v roce 1989, se jménem TurboGrafx-16 (obr. 9). Hudson Soft se stal prvním vývojářem třetí strany pro Famicom/NES od Nintenda. Postupem času cítili, že konzole Nintenda nedovoluje realizovat jejich ambiciózní nápady na hry. Po neúspěšném pokusu prodat svůj návrh grafického čipu Nintendu začali pracovat na své konzoli. Ta používala vylepšené jádro procesoru WDC 65C02, který je sám zlepšenou verzí MOS 6502. Tento čip měl výrazně menší spotřebu než jeho předchůdce a pohybuje se v nižších jednotkách wattů. Obsahoval navíc několik instrukcí, časovač, jednotku pro management paměti a programovatelný generátor zvuků. Z jeho předka v podobě 6502 je tedy patrné, že procesor je stále 8bitový. Číslovka v názvu konzole je opodstatněná až u dvojice 16bitových grafických čipů. Lidé v Hudson Soft si uvědomovali, že nemají dostatek financí ani kontaktů v průmyslu, aby dokázali zařídit výrobu sami. Proto vznikla dohoda s velkou počítačovou společností NEC, která měla expertizu na to, aby mohla dohlížet na výrobu a úspěšné uvedení produktu na trh. Pro rapidně rostoucí a ambiciózní NEC to byla šance získat podíl na trhu se zařízeními jiné třídy než osobní počítače [18, 19, 20].

V Japonsku byla konzole velký úspěch, rok po vydání měla nejlepší prodeje a překonala tak Nintendo i Segu. Alespoň do doby, než vyšly jejich konzole čtvrté generace. NEC i Hudson Soft byly v Japonsku respektované společnosti, což přesvědčilo vývojáře třetích stran k vydávání her pro tuto platformu. Dokonce se jim podařilo získat licence k několika hrám od konkurenční Segy. Právě tato podpora zajistila konzoli větší úspěch, než měl v Japonsku Sega Master System. Po ovládnutí zhruba třetiny japonského trhu nastal čas expandovat do Ameriky. Sem se ale konzole dostala ve stejný čas jako zástupce čtvrté generace od Segy. Vzhledem k agresivnímu marketingu Segy a řady her, které cílily na americké publikum, na podobnou popularitu nedosáhla. Katalog her pro PC Engine tak nedokázal zaujmout.



Obr. 9: PC Engine – japonská verze konzole s ovladačem. [3]

Vydat dostatečné množství her, které by v Americe bodovaly, nebylo v tak krátkém čase možné. NEC navíc přecenilo poptávku po konzoli a vyprodukovali jich příliš velké množství. To znamenalo nemožnost utratit dost peněz za efektivní marketing. Přes zvěsti o zaručeném příchodu na evropský trh se sem konzole oficiálně nikdy nedostala [20, 21, 22].

Ovladače pokračovaly v rozvržení známém z generace minulé – směrový kříž a dvě tlačítka. Jedna odlišnost a nová funkce spočívala v implementaci dvou posuvných turbo přepínačů nad oběma akčními tlačítky. Přepínače mají tři režimy. V prvním z nich se tlačítka chovají standardně. A v druhých dvou při držení tlačítka je opakovaně registrováno jeho stisknutí. Tyto dva režimy se liší pouze rychlostí, se kterou je stisk tlačítka opakován. Díky této funkci lze pohodlně hrát hry, kde je tlačítko třeba opakovaně mačkat [20, 21, 22].

Zajímavý kus technologie je médium, na kterém byly distribuovány hry. Místo tradičně vypadajících cartridge bylo úložiště ve formě připomínající spíše kreditní kartu. Tento formát dostal název HuCard. Jejich výhodou byla nižší výrobní cena a nezaměnitelná image, která je odlišovala od konkurence. Nevýhodou byla nižší paměť a nedostatečná úroveň ochrany proti pirátství. Později vyšlo rozšíření v po-



době CD mechaniky. Optické disky pro hry poskytovaly mnohonásobně větší úložiště [18, 19, 20, 21, 22, 23].

#### 2.4.2 Sega Mega Drive (Sega Genesis)

Nástupce Sega Master System vyšel v roce 1988. Konzole dostala jméno Sega Mega Drive a v Americe vyšla o rok později, opět pod jiným jménem – Sega Genesis (obr. 10). Tentokrát za změnou jména stála existence společnosti zabývající se úložišti pro počítače. Vlastnili ochrannou známku na jméno Mega Drive Systems a Sega tak zabránila případným soudním sporům. Úspěch této konzole je v podstatě opačný od PC Engine. V Japonsku zůstaly prodeje výrazně za konkurencí, ale v Americe se jí na rozdíl od jejího předchůdce dařilo lépe. Marketing konzole ve Spojených Státech dostal na starosti Thomas Kalinske. Ten měl v portfoliu například úspěšnou strategii k obnovení zájmu o panenky Barbie. Sega byla odhodlaná napravit chyby předchozí generace. Světlo světa spatřil jejich maskot, který byl odpovědí na instalatéra Maria. Jedná se o legendárního modrého ježka jménem Sonic. Ten pomohl posílit značku a prodeje jejich konzole. Sega Genesis byla výkonnější, než NES a v marketingu toho využívali. Ježek Sonic se po obrazovce pohyboval velkou rychlostí – demonstrace síly jejich nové konzole. Z tehdejších sloganů plyne snaha cílit na dospělejší publikum a vykreslit Nintendo jako konzoli pro děti. V roce 1990 se konzole dočkala vydání v Evropě, a i zde to byla populární alternativa ke konzoli od Nintenda [24, 25, 26, 27, 19].

Výkon konzole obstarával 16bitový procesor Motorola 68000. Práci se zvukem mu ulehčoval procesor Zilog Z80, který dříve poháněl celé konzole. Grafický čip dokázal najednou zobrazit až 64 barev z palety o 512. Podporoval hardwarové posouvání, rotaci a škálování spritů. Konzole dostala mnoho rozšiřujícího hardwaru. Vlastníkům her pro jeho předchůdce mohl přijít vhod adaptér, který umožňoval zpětnou kompatibilitu. Stejně jako pro PC Engine vyšel i pro Genesis doplněk v podobě CD mechaniky. Extra místo na optickém disku většinou hry využily pro animované nebo hrané scény. Toto rozšíření se dočkalo přijatelné podpory ze strany vývojářů a vyšly pro něj asi dvě stovky titulů. Když se 16bitová generace chýlila ke konci, vyšlo ještě rozšíření 32X. To se do konzole připojilo místo herní cartridge a umožňovalo hrát hry pro ně specificky vytvořené. Sega uvedla 32X na trh jako odpověď na novou konkurenci z již novější generace, se strachem že jejich nová konzole nedorazí včas. Uvnitř jsou dva 32bitové Hitachi SH-2 procesory a grafický čip, který zvládne vykreslovat polygony a posílat je hlavnímu grafickému čipu jako 2D data. Jenže oznámení jejich nové konzole v Japonsku znamenalo, že hráči ani vývojáři neměli o tento dodatek zájem. Nemělo pro ně smysl do něj investovat, když byla opravdová konzole další generace za rohem. Pro 32X vyšlo dohromady méně než 50 her a je obecně považováno za selhání [24, 25, 26].



Obr. 10: Sega Mega Drive – japonská verze konzole s ovladačem. [3]

Sega spustila pro tuto konzoli své první online služby se jmény Sega Meganet a Sega Channel. Hráči si mohli z internetu stáhnout hry nebo jejich demoverze. Do konzole se zapojila speciální cartridge, na které byl koaxiální kabel. Veškerý obsah se ukládal do RAM paměti přímo na cartridge, takže po vypnutí konzole bylo třeba jej dle potřeby stáhnout znovu. Ke konzoli pak bylo možné dokoupit řadu periférií známých z minulé generace. Ovladač přibalený ke konzoli se od jeho předchůdce rozrostl o jedno akční tlačítko navíc. Existovala ještě verze, která měla akčních tlačítek hned šest. To usnadnilo hraní arkádových bojových her jako Mortal Kombat. Na verzi se třemi tlačítky bylo třeba mačkat jejich kombinace pro docílení stejného vstupu [24, 25, 26, 27, 19].



### 2.4.3 Super Nintendo Entertainment System (Super Famicom)

Po vydání PC Engine se nechal prezident Nintenda slyšet, že na nové konzoli se intenzivně pracuje. Vzhledem k dominantní pozici na trhu ale s nástupcem NES nijak nespěchali. V Japonsku nakonec Super Famicom vyšel na podzim roku 1990, v Americe vyšel Super Nintendo Entertainment System (obr. 11) o rok později a v Evropě až v první polovině 1992. Nintendo mělo z minulé generace velké jméno a po zahájení prodeje v Japonsku se první várka vyprodala během několika hodin. Naopak v Americe byl náskok Segy znát. Nintendo se sice prodávalo dobře, ale o prvenství je koncem roku 1991 připravil Genesis. Super Nintendo je obecně považováno za velký úspěch a jeden z nejlepších herních systémů vůbec. Z hlediska prodejů je jasným vítězem 16bitové generace. Ale z pohledu jeho podílu na trhu je ve srovnání s minulou generací jeho výsledek horší. Sega dokázala svůj podíl z minulé generace ztrojnásobit [6, 28, 29].



Obr. 11: Nintendo Super Famicom – japonská verze konzole s ovladačem. [3]

Čip pro Super Nintendo opět vyráběla společnost Ricoh. Stejně jako u PC Engine je založen na mikroprocesoru od WDC, jehož původ lze trasovat až k MOS 6502. Stejný procesor byl uvnitř počítače Apple II GS, který byl používán pro vývoj her, než byla k dispozici speciální verze konzole pro vývojáře. Výsledný čip Ricoh 5A22 tedy obsahuje jádro procesoru WDC 65C816 s několika rozšířeními. Konkrétně má navíc obvody pro zpracování dat z ovladačů, generování přerušování, registry pro násobení a dělení, a DMA jednotku. Ve srovnání s procesorem Motorola 68000, pohánějící konkurenční Sega Genesis, dosahoval menšího výkonu. Při návrhu se naopak kladl větší důraz na grafický výkon. Konzole dokáže zobrazit až dvojnásobek barev ve srovnání s Genesis. Protože by výkon procesoru nestačil na některé pokročilé grafické efekty, je mnoho operací delegováno na grafické čipy, které jsou v tomto případě dva [30, 5, 6, 28, 29].

Vývojáři měli na výběr ze sedmi standardních grafických režimů (mode 0-6), podle kterých se odvíjel počet barev v jednotlivých vrstvách obrazu, počet vrstev obrazu a maximální rozlišení. V případě menšího počtu vrstev byly k dispozici složitější operace, jako na sobě nezávislý posun obou vrstev. Konzole ale uměla ještě jeden režim, je jím neznámější mode 7. Tento režim nabízí pouze jednu vrstvu pozadí o 256 barvách, ale umožňuje používat několik afinních transformací, implementovaných na hardware úrovni, pro dosažení 3D efektu. S pozadím je možné provádět následující transformace: translace, rotace, householderova transformace (zrcadlení), změnu měřítko a zkosení. Tyto operace je možné provádět pouze na vrstvě pozadí, nelze je aplikovat na elementy popředí ani celou vrstvu popředí. Z tohoto důvodu konzole nebyla schopná vykreslovat opravdovou 3D grafiku. To se ale změnilo s příchodem Super FX čipu. Tento koprocessor byl použit v některých herních cartridge pro zvýšení výkonu a dosažení skutečné 3D grafiky s vykreslováním polygonů. To s sebou pochopitelně neslo výrazně vyšší náklady na výrobu, takže her využívajících tohoto čipu nebylo mnoho a měly vyšší cenu. Nejznámější Super FX tituly jsou Star Fox, Super Mario World 2 a konverze hry DOOM. Sázka na slabší procesor v kombinaci s výkonnými grafickými čipy se Nintendu vyplatila. Mode 7 byl populární a byl použit pro marketing konzole. Konkurence na něj neměla odpověď [30, 5, 6, 28, 29].

Na ovladači oproti minulé generaci přibyla dvě akční tlačítka a „spouště“ pro oba ukazováčky. Ovladač má také nyní zaoblený tvar. Ke konzoli šla zakoupit světelná pistole, počítačová myš nebo cartridge umožňující hrát hry z kapesní konzole Game Boy. Nejzásadnější kus příslušenství je ale dodatečná CD mechanika, která se nikdy nedostala na trh. Když Nintendo vidělo NEC a Segu uvádět na trh podobné doplňky, začalo o vývoji svého produktu hovořit se společností Sony. Nintendo již se Sony spolupracovalo a odebírali od nich zvukový čip, který byl velkým zlepšením proti minulé konzoli Nintendo. Nintendo nechtělo používat klasické CD disky a požádalo Sony o proprietární formát. Bylo jim vyhovělo s podmínkou, že licen-

cování a výroba tohoto formátu zůstane u Sony. Vznikl tak Super Disc – optický disk uzavřený v plastovém obalu. Nintendo také dovolilo Sony uvést na trh svoje multimediální zařízení s názvem Play Station, které mělo sloužit jako přehrávač optických disků a zároveň herní konzole umožňující hrát Super Nintendo hry. Podmínky vyjednané pro vývoj byly podezřele výhodné pro Sony. Následující události jsou vysvětlovány tím, že si vedení Nintenda uvědomilo, kolik kontroly nad platformou ztratilo a neshodou o licenčních poplatcích. Play Station byl Sony představen veřejnosti na Consumer Electronics Show. O den později však Nintendo oznámilo, že se projekt rozhodli svěřit firmě Philips. Tato událost byla skandální. Konzervativní vedení Sony bylo poníženo, ale o to víc vyrostla jejich touha do herního průmyslu proniknout. To vyvrcholilo ve vývoj jejich vlastní konzole s názvem PlayStation [30, 5, 6, 28, 29].

## 2.5 Pátá generace konzolí

Během páté generace konzolí lze pozorovat přesun k plně 3D grafice. V minulé generaci se postupně objevily třírozměrné hry využívající hardware rozšíření v podobě 32X a Super FX. V této generaci se však schopnost vykreslovat polygonální 3D grafiku stala standardem. Tento přechod lze znát na změně oblíbených žánrů a perifériích. Pro některé herní série byla tato změna problematická. Vývojáři se teprve učili, jak správně pracovat s kamerou pro trojrozměrné hry. Ovládací schémata a ovladače se nachází ve fázi experimentace. Krom souboje mezi konzolemi samotnými se odehrávala i válka mezi médii. Rychlejší a dražší cartridge proti levnějším optickým diskům s větší kapacitou. Co se týče programování, pozorujeme odklon od assembleru a postupný přesun k poskytování knihoven pro vývoj v jazyku C. To mělo za následek snížení nároků na vývojáře.

### 2.5.1 3DO Interactive Multiplayer (3DO)

Pátou generaci odstartovaly konzole 3DO, navržené stejnojmennou společností, založenou zakladatelem Electronic Arts. Výrobu konzole nezajišťovalo přímo 3DO. To pouze licencovalo práva na výrobu a specifikace. Výrobce měly navnadit nízké licenční poplatky. Došlo dokonce na jednání se Sony, když byl jejich PlayStation teprve v raných fázích vývoje. K dohodě nakonec nedošlo – Sony upřednostnilo svůj vlastní produkt. První model vyráběla firma Panasonic (obr. 12). Ten vyšel na podzim roku 1993. Další rok se přidal Goldstar (dnešní LG) a o rok později Sanyo. Pro sběratele je zajímavá možnost od výrobce Creative, známého pro své zvukové karty. Jejich karta 3DO Blaster umožnila spustit 3DO hry na počítači s Windows. Na kartě byl skutečně hardware ze samotné konzole a nejednalo se o emulaci. Karty vyžadovala kompatibilní zvukovou kartu od Creative a CD mechaniku od Panasonic [31].

Ambiciózní vizi tvůrců, definovat hardware nové generace a být výkonnější i levnější než PC, měl pomoci 32bitový ARM60 RISC procesor a dva výkonné grafické čipy. Novinka pro herní konzole byla přítomnost operačního systému, pro který vývojáři psali hry. To mělo zajistit zpětnou kompatibilitu budoucím konzolím na stejném operačním systému. Velká změna oproti konzolím minulým, kde byly hry psány na míru konkrétnímu hardwaru a případná zpětná kompatibilita vyžadovala integraci na úrovni hardwaru. Operační systém dokonce umožňoval multitasking. Konzole používala standardní CD disky. I přes delší dobu přístupu k datům se tento přístup bohatě vyplatil. Výrobní náklady pro cartridge byly kolem 10 dolarů za megabajt. CD-ROM v té době měl kapacitu 500 megabajtů a výrobní cenu kolem jednoho dolaru. Velké úložiště optických disků dalo za vznik i novému žánru her. Takzvané interaktivní filmy kombinovaly předem nahrané filmové scény s interaktivními prvky, takže hráč mohl do jisté míry ovlivňovat dění na obrazovce. Ovladače se



Obr. 12: Panasonic FZ-1 R.E.A.L. 3DO Interactive Multiplayer – verze konzole s ovladačem od společnosti Panasonic. [3]

od minulé generace příliš neliší. Za zmínku stojí jenom fakt, že konzole disponovala pouze jedním portem pro ovladač a další port byl přímo na ovladači. Tohle řešení umožňovalo do řetězce připojit až 16 ovladačů [31, 32].

3DO je považováno za neúspěch. Dle internetu za to mohla vysoká cena ve srovnání s generací předchozí i s konkurencí, která vyšla zanedlouho. Podle zakladatele společnosti je to ale kombinace více faktorů. Cena byla zpočátku vyšší, ale už půl roku po vydání se dostala na 500 dolarů z původních 600 až 700. Ve srovnání s osobním počítačem na platformě 486, které typicky stálo trojnásobek, byla cena příznivá. Konkurence však šla s cenou ještě mnohem níž. Nová konzole Sony vyšla s cenovkou 300 dolarů a Sega stála 400 dolarů. Vyšší cena tak prodeje minimálně zpomalila. Větší problém byl ale nedostatek softwaru. Vývojáři sice často slibovali splnění termínů vydání svých her ještě před Vánoci 1993, ale přechod na nový typ hardwaru byl komplikovanější, než předpokládali. Mnoho nejlepších a nejúspěšnějších her nevyšlo dříve než v létě 1994 – devět měsíců po vydání konzole.

Takto velká mezera ještě více zpomalila prodeje, a tak mnoho vývojářů přesedlalo na konkurenční PlayStation dříve, než konzole dostala opravdu šanci [31, 33, 32].

### 2.5.2 Sega Saturn

Příběh Sega Saturn je tragickou ukázkou série špatných rozhodnutí vedoucích ke ztrátě první pozice, kterou se podařilo na americkém trhu vydobýt s minulou konzolí. Zákulisní dění při vývoji této konzole přímo ovlivnilo podobu všech tří hlavních konzolí generace. Kvůli strachu ze ztráty amerických uživatelů vyšlo rozšíření 32X. Vedení v Japonsku ale odmítalo přenechat výrobu komukoli jinému a nedodalo ani polovinu kusů, o které americká pobočka Segy žádala. To vedlo k nespokojenosti prodejců. Spolu s malou podporou vývojářů to vedlo k úplnému selhání. Laťka nastavená Segou Genesis byla vysoko a jejich další konzole nesměla skončit jako 32X. Probíhala slibná jednání mezi Sony a Segou. Jejich spolupráce měla skloubit znalost herního průmyslu Segy a expertízu v oblasti hardware a multimediálních zařízení Sony [34].

Jak se již při podobných pokusech o spolupráci stalo mnohokrát, i zde dohoda zkrachovala při vyjednávání o hardwaru, licenčních poplatcích a kontrole nad softwarem publikovaným pro konzoli. Po pádu této dohody začal Tom Kalinske zajišťovat jinou formu spolupráce. Narazil na Americkou společnost Silicon Graphics (SGI). Ta měla v portfoliu hardware, který poháněl speciální efekty v hollywoodských filmech jako Jurský Park, Terminátor 2 nebo Matrix. Slibně vypadající spolupráci tentokrát nepochopitelně zhatilo japonské vedení Segy. I přes povědomí o schopnostech konzole, kterou chystalo Sony a jejich sázku na plně 3D konzoli, rozhodli, že jejich konzole bude stále z části fungovat jako starší 2D konzole s grafikou založenou na spritech [35, 36, 37, 34].

Napětí mezi Segou v Japonsku a jejich dceřinou společností gradovalo. Zdálo se, že Japonské vedení plánuje jejich americký protějšek rozložit zevnitř. A tak Tom Kalinske při rozhovoru s představitelem SGI předal kontakt na jiného člověka, který by o jejich technologii mohl mít zájem. Tento člověk momentálně pracoval pro americké Nintendo. Zaměstnanci americké Segy stále hodlali uvést konzoli na trh v co nejlepší možné formě. Byl naplánován velký start prodeje na podzim roku 1995, výroba konzolí běžela a prodejci byli postupně připravováni. Jenže japonské vedení Segy zpanikařilo a rozhodlo, že konzole musí předběhnout Sony. Proto bylo oznámeno předčasné vydání konzole na veletrhu Electronic Entertainment Expo. Dřívější vydání mělo za následek nedostatečné skladové zásoby, které neuspokojily poptávku [35, 36, 37, 34].

Po problémech s 32X to byl další incident, který rozzlobil prodejce. To ale nebyl jediný problém. Cena byla stanovena na 399 dolarů. Sony se rozhodlo zasadit konzoli další ránu na své tiskové konferenci, uspořádané na stejném veletrhu. K pultu

byl zavolan Steve Race, člověk zodpovědný za uvedení PlayStation na americký trh. Steve nastoupil na pódium, odložil si poznámky a pronesl pouze: „dvě stě devadesát devět“. V jednom okamžiku tak byla naděje na pokračování úspěchu minulé generace ztracena. Pád ale nebyl okamžitý. Genesis z minulé generace stále dosahoval dobrých prodejů i po příchodu nových konzolí [35, 34].

Návrh hardwaru představoval další problém. Konzole měla dva Hitachi SH-2 procesory a dva grafické čipy. První vykresloval polygony a sprity, druhý vykresloval pozadí. Ačkoliv nebyl hardware vyloženě slabý, jeho složitost znamenala mnohem náročnější programování. Rozdělit efektivně úkoly mezi oba procesory, které sdílely stejnou sběrnici a nemohly tak přistupovat k RAM zároveň, mnoho programátorů nedokázalo. Problém prohloubily nástroje dostupné vývojářům. PlayStation poskytoval přímočařejší architekturu a kvalitní nástroje pro vývoj, v podobě softwarových knihoven a přívětivého API. Saturn oproti tomu musel být programován v assembleru. Kód napsaný v C byl až pětkrát pomalejší [35, 37, 34].

Ovladač (obr. 13) se podobal novějšímu typu ovladače se šesti tlačítky pro Sega Genesis. Tento navíc přidal spouště pro levý a pravý ukazovák. Konzole měla CD mechaniku, ale i slot na cartridge. Hry byly distribuovány na CD. Do slotu pro cartridge šel připojit modem stejně jako u Genesis, nebo karta s dodatečnou pamětí RAM pro rychlejší načítání her [35, 36, 37, 34].



Obr. 13: Sega Saturn – konzole s ovladačem. [3]



### 2.5.3 Sony PlayStation

Po skandalním rozvázání spolupráce ze strany Nintendo, byl prezident Sony odhodlaný setrvat ve snaze vyvinout vlastní konzoli. Ken Kutaragi je inženýr zodpovědný za návrh zvukového čipu pro SNES a později návrh konzole Sony. Na pomoc si přivedl několik zaměstnanců, kteří pracovali na zařízení pro živé vysílání televize. Na Kutagariho před časem velmi zapůsobil jejich System-g, který dokázal v reálném čase generovat impozantní 3D grafiku. Dle jeho propočtů mělo být za několik let možné dostat takovou funkcionalitu do jednoho čipu a za zlomek ceny. Vývoj herní konzole se velké části vedení Sony nelíbilo. Prezident společnosti proto rozhodl o přesunu Kutagariho týmu do dceřiné Sony Music, kde panovala výrazně jiná firemní kultura [30, 38].

Návrh hardwaru byl prvním krokem, dále bylo třeba ještě zajistit atraktivní výběr her. Sony se na rozdíl od konkurence nemohlo spolehnout na jejich vlastní vývojáře a muselo se obrátit na již existující herní studia. Mezi nimi bylo i Namco. Kutaragi nadšeně prezentoval jejich novou plně 3D konzoli. Představitel Namco skepticky odvětil, že není možné uvést na trh během dvou let konzoli s cenou řádově stovek dolarů, když se cena jejich prvního arkádového automatu s plně 3D grafikou, ještě před pár lety vyšplhala na 10 tisíc dolarů. Nabídku odmítl a řekl, že je připraven vyjednávat, až konzole prodá první 3 miliony kusů. Podobně to šlo i u ostatních studií, které Kutaragi navštívil. Sony se nakonec rozhodlo pro veřejné oznámení jejich vstupu na trh s novou konzolí a vzniku nové dceřiné společnosti Sony Interactive Entertainment [30, 38].

Během prezentace, na kterou se dostavili vývojáři z 60 různých společností, proběhla živá demonstrace výkonu jejich konzole. Na obrazovce se ukázal trojrozměrný dinosaur, který okamžitě reagoval na stisknutí tlačítek, aby nebylo pochyb o autenticitě ukázky. Po takové prezentaci nebylo pochyb, tvrzení Sony o výkonné konzoli, nebyly prázdna slova. Sony mělo v rukávu ještě jedno eso. Optické disky nebyly v té době v Japonsku populární. Vývojáři se s nimi zatím setkali u Sega CD a 3DO, což odhalilo jejich slabinu v podobě pomalého čtení. Sony mělo řešení v podobě velké paměti, do které se potřebná data načetla a další čtení probíhalo s předstihem na pozadí. Taktika k přesvědčení vydavatelů, že CD jsou cesta kupředu, využili svoji obří produkci optických disků s muzikou. Velkou slabinou cartridge byla jejich nákladná zdlouhavější výroba [39, 30, 38].

Nintendo typicky vyřizovalo objednávky v řádu několika měsíců a vydavatelé jejich čekací lhůty nenáviděli. Namco se s nimi ohledně tohoto problému dokonce dostalo do soudních sporů. Taková prodleva znamenala, že bylo třeba velmi přesně odhadnout objednané množství cartridge. Když jich bylo objednáno málo a hra se stala nečekaným hitem, vydavatelé přicházeli o mnoho prodejů. V opačném případě zase bylo na skladech velké množství kopií a poplatky za skladování vydavatele o pe-



níze připravovaly. Sony slíbilo výrobu optických disků v řádu několika dní. To vše mnohem levněji. Prodejci tak mohli dostávat stejnou marži i při o třetinu nižší ceně než u her od Nintendo. Konzole umožňovala přehrávat CD s hudbou, což také pomohlo její popularitě. Za úspěchem nové konzole stojí ještě jedna šťastná náhoda. Sony při stanovení ceny tohoto zařízení nemělo žádné srovnání a konkurence by jim určitě ochotně neporadila. Začali tedy počítat prodejní cenu na základě dlouhodobých zkušeností s jinou elektronikou. Koneckonců již měli na kontě velmi populární přenosné přehrávače Walkman. Konzole měla být prodávána se ztrátou s vidinou zisků z prodeje her a levnější cenou komponent s časem. Toto rozhodnutí bylo ve společnosti kontroverzní, ale výrazným způsobem přispělo k úspěchu konzole. K částce byla nakonec připočtena ještě 25% marže pro obchodníky, jak bylo u elektroniky zvykem. V Sony neměli tušení, že Nintendo ji pro videohry stanovilo jenom na 10%. Snaha o vyšší výdělků vedla k velkému upřednostňování konzole od Sony ze strany prodejců. PlayStation v Japonsku vyšel na konci roku 1994 a další rok v Evropě a Americe. Konzole se stala bezprecedentním úspěchem. Jako první v historii překonala hranici 100 miliónů prodaných kusů [39, 30, 38].

PlayStation (obr. 14) pohání 32bitový RISC procesor, který se nevyznačuje nijak velkým výkonem. Asistuje mu ale specializovaný hardware navržený Kutaragim. Konzole obsahuje koprocessor Geometry Transformation Engine, k rychlejšímu provádění výpočtů nezbytných pro 3D grafiku. Jak již napovídá jeho název, slouží například pro transformace souřadnic, dokáže rychle násobit matice. Dalším koprocessorem je Motion Decoder, který rychle dekomprimuje obrazová data do video paměti konzole. Grafický čip se stará o vykreslování polygonů, jejich osvětlení a textury. Aplikuje také efekty jako průhlednost nebo mlhu, které hojně využívaly hry jako Silent Hill pro vytvoření atmosféry. Konzole disponuje relativně malou pamětí ve srovnání s typickým počítačem té doby. Systémová paměť má 2 MB a video paměť 1 MB. Počítač z let 1994 až 1995 bude mít typicky 4 až 8 MB. To ale vynahrazuje optimalizace a efektivnější management paměti [39, 30, 38].

Hry pro PlayStation byly vyvíjeny na specializovaných vývojářských stanicích. Na jejich vývoj mělo výrazný vliv anglické studio Psygnosis, které Sony koupilo, aby mělo interní tým vývojářů pro svoji novou konzoli. Programy jsou psané v jazyce C. Příznivci psaní v assembly tímto nemuseli být potěšeni, ale použití C knihoven mělo zajistit kratší dobu vývoje a debugingu her. Dalším důvodem byla kompatibilita s případnými revizemi hardwaru konzole. Místo nutnosti měnit kód samotné hry stačilo upravit knihovny používané pro interakci s hardwarem konzole [40, 41, 42, 43].

Ovladače této konzole měly velký vliv na všechny další generace konzolí. Oproti většině ovladačů známých z minulých konzolí změnil tvar. Nebyl plochý, ale měl dvě rukojeti. Pro ukazováky přibyly spouště na každé straně. Akční tlačítka



Obr. 14: Sony PlayStation – konzole s první verzí ovladače (vlevo) a novější ovladač s páčkami (vpravo). [3]

nejsou označena písmeny, ale ikonickými geometrickými tvary, které jsou dnes notoricky spjaty se značkou PlayStation. Sony experimentovalo s velkým počtem designů a váhou ovladače. Dle Kutaragiho strávili návrhem ovladače stejně dlouhou dobu jako návrhem těla samotné konzole. V roce 1997 vyšel první ovladač se značkou DualShock. Jeho tvar je velmi podobný první iteraci ovladače. Nesl s sebou ale dvě velké změny. Přidal dvě analogové páčky, které činí ovládání trojrozměrných her mnohem pohodlnější. Analogové páčky také přidávají jedno tlačítko, protože je lze stisknout. Druhou změnou jsou dva vibrační motory. V každé rukojeti je umístěn jeden a využívají napájení přímo z konzole. Jsou používány pro hmatatelnou zpětnou vazbu. V závodních hrách například zavibrují při nárazu nebo přejezdu přes patník. Tato konfigurace ovládacích prvků se v prakticky nezměněné podobě používá dodnes. V létě roku 2000 vyšla výrazně zmenšená verze s názvem PS One. Tato konzole měla nový design a DualShock ovladač v balení. Později k ní šla přikoupit

přenosná obrazovka, která se připojila zezadu přímo ke konzoli a kloub ji umožňoval sklopit pro potřeby přenášení [44, 45, 46].

#### 2.5.4 Nintendo 64

Nintendo se svojí novou konzolí nespíchalo. Na trhu se objevila až v roce 1996. Jak již bylo zmíněno v části věnované konzoli Sega Saturn, nová konzole Nintendo byla vyvíjena ve spolupráci s americkou společností Silicon Graphics. Projekt na začátku nesl jméno Project Reality. Později byl přejmenován na Ultra 64, aby jméno jasně dávalo najevo, že uvnitř tepe rovnou 64bitový procesor. Jméno bylo před vydáním změněno ještě jednou. Konzole se konečně jmenovala Nintendo 64. Oznámení doprovázel ambiciózní cíl – dostat většinu schopností stanice Reality Engine od SGI s cenou okolo 100 000 dolarů do domácí konzole za 250 dolarů [47].

Stejně jako PlayStation se Nintendo rozhodlo opustit 2D a vydat se cestou plně trojrozměrné grafiky. Nintendo na návrhu konzole spolupracovalo s SGI velmi úzce. Zaměstnanci Nintendo navštěvovali SGI kvůli školení o fungování trojrozměrné grafiky. Zaměstnanec SGI, který jim technologii představoval byl nakonec vybrán jako hlavní architekt konzole. Mimo návrh samotného hardwaru se Nintendo primárně věnovalo získávání výrobců součástek u firem jako NEC. SGI se soustředilo spíše na vytváření nástrojů pro vývojáře. Práce na hrách musela začít ještě, než byl k dispozici finální hardware konzole. Vývojáři tak museli odhadovat jeho schopnosti. SGI se podařilo systém simulovat pomocí softwaru na jejich pracovních stanicích. Odhad to byl přesný. Hry bylo možné převést na skutečný hardware i během tří dnů. Konzole šla programovat v assembleru i v C. Vzhledem k růstu časové náročnosti vývoje se C stávalo dominantním jazykem [48, 49, 50].

Výkon konzole zajišťuje procesor MIPS 4300I, podporující 32 a 64bitové instrukce. Dokáže zpracovávat 5 instrukcí ve stejný čas. Druhý čip s názvem Reality Coprocessor (RCP) se dělí na dvě části – Reality Signal Processor (RSP) a Reality Display Processor (RDP). RSP má na starosti všechna trojrozměrná data jako 3D modely a vektorové operace. Jakmile jsou výpočty provedeny, data odešle do RDP. Nintendo 64 má pro trojrozměrnou grafiku nejvyspělejší hardware ze své generace [48, 49, 50].

Na úrovni hardwaru je podporováno mapování textur, anti-aliasing, Z-buffer a trilineární filtrování textur. Konzole má 4 MB sdílené paměti, která jde rozšířit na dvojnásobek díky portu na konzoli. Je to jedna z prvních konzolí používající sdílenou paměť. Pro vývojáře to znamená větší flexibilitu, protože může sám rozhodnout, kolik paměti bude alokováno pro kód programu, grafiku nebo zvuk. Vývoj her pro tuto konzoli však nebyl vůbec jednoduchý a mnoho vývojářů bylo nespokojených. Problém byla malá cache paměť pro textury, která činila pouhé 4 kilobajty. To šlo obejít buď zmenšením textur na úkor jejich rozlišení, nebo jejich rozdělením na

čtyřkilobajtové části, což vyžadovalo dodatečné zpracování. Bohužel pro tento účel nešla využít sdílená RAM. I přes její velkou propustnost, protože latence při čtení z ní byla příliš velká. Některé hry (Turok 2) tak načítaly nekomprimované textury přímo z cartridge. Nevýhodou tohoto přístupu byla nutnost vyšší kapacity cartridge a s ní spojené vyšší náklady na její výrobu [47].

Na rozdíl od konkurence bylo opět vsazeno na cartridge. Aby se obešla jejich hlavní nevýhoda v podobě malé kapacity, byly použity kompresní algoritmy. I přesto byly konverze některých her pro tuto platformu téměř nemožné a vývojáři museli hledat kreativní řešení. Těžko se bude hledat lepší příklad než Resident Evil 2. Tato hra původně vyšla na PlayStation, kde byla rozdělena na dvě CD s celkovou velikostí 1,2 GB. Vývojářům se podařilo celou hru včetně filmových scén dostat na cartridge s kapacitou 64 MB. Pro video použili kombinaci tří technik. První byla podvzorkování barvonosných složek, která využívá vyšší citlivosti zraku na kontrast v jasů obrazu místo barvy. Další metodou bylo snížení rozlišení a následné škálování zpět pomocí vektorových jednotek, které pracovaly paralelně s procesorem. A poslední technikou bylo vynechání každého druhého snímku a následná interpolace mezi dvěma sousedními snímky. Komprese se pak týkala i textur a zvuků [48, 49, 50].

Design konzole (obr. 15) byl hotov relativně brzy a v roce 1994 již byl představen veřejnosti. Vzhled ovladače má za sebou ale mnohem delší vývoj. Trojrozměrné hry byly novinkou a ovladače stále nedosáhly plného potenciálu pro jejich ovládání. Ovladač je na první pohled velmi neobvyklý. Má na sobě poprvé od dob Atari 5200 analogovou páčku. Má rovnou tři rukojeti, což se na první pohled může zdát nesmyslné. Návrh plyne ze snahy oddělit část s analogovou páčkou, určenou pro lepší navigování 3D prostoru a zajistit pohodlnější držení i hráčům s menšími dlaněmi. Úspěch tohoto přístupu závisel ve velké míře na ovládacím schématu dané hry. Ovladač měl na sobě také port pro připojení příslušenství jako paměťové karty, dovolující ukládání postupu ve hře, nebo Rumble Pak, který přidal zpětnou vazbu v podobě vibrací [48, 49, 50].



Obr. 15: Nintendo 64 – konzole s ovladačem. [3]

## 2.6 Šestá generace konzolí

Šestá generace s sebou přináší výrazné zlepšení 3D schopností všech konzolí. Online hraní nabírá na popularitě. Na trh se pokouší poprvé proniknout Microsoft, ale také ho opouští již zavedená Sega. Komplikovanější architektura konzole od Sony stojí za rozšířením middleware nástrojů jako Renderware, který pohání stovky her vydaných během této generace. Výrazně totiž usnadňoval vývoj nejen pro nový PlayStation, ale také fungoval naskrz platformami. Jednalo se o velmi prominentní technologii, licencovanou ostatním studiím podobně jako dnešní Unreal Engine a Unity. Pří- větivější podmínky pro vývojáře připravil Microsoft se svými vysokoúrovňovými knihovnamí, efektivně abstrahujícími vnitřní fungování hardwaru. Krok kupředu ve srovnání s nutností studovat rozsáhlou dokumentaci pro získání znalostí o specifikách systému. Nástroje pro vývoj typicky staví na jazyce C a C++.

### 2.6.1 Sega Dreamcast

V Japonsku vyšla nová konzole od Segy (obr. 16) na podzim 1998. V Americe a Evropě až rok další. Spuštění prodeje bylo úspěšné skoro ve všech regionech. To se bohužel pro Segu brzy změnilo. Sony oznámilo nástupce své první konzole, který měl být výrazně výkonnější než Dreamcast a hlavně měl i DVD mechaniku. Konzole navíc neměla širokou podporu od vývojářů třetích stran. Dalším jejím problémem bylo pirátství. Zapisovatelná CD a k tomu určené mechaniky začaly nabírat na popularitě. Prodeje her, generujících drtivou většinu zisků, začaly klesat. To vedlo až k oznámení v roce 2001, ve kterém dala Sega na vědomí ukončení podpory pro Dreamcast, výstup z oblasti konzolového hardwaru a soustředění se na vývoj her pro ostatní konzole. Bylo prodáno lehce přes devět milionů konzolí [51].

Při návrhu konzole byl dbán důraz na co nejmenší výrobní náklady. Proto byly používány již hotové komponenty bez zvláštních úprav. V útrobach konzole se nachází RISC procesor Hitachi SH-4 a grafický čip PowerVR2 od NEC. Protože se použitím již dostupného hardwaru Dreamcast vzdálil od speciálních návrhů typicky viděných v konzolích, měli vývojáři snazší práci. Práce na hrách mohla začít ještě před obdržení finální konfigurace hardwaru. Jako reference byl použit procesor Intel Pentium II. Když hry neměly problém fungovat na něm, poradila si s nimi i konzole [51].

Dreamcast používal proprietární optické disky GD-ROM, které mají menší průměr než klasické CD. Na rozdíl od nich mají ale hustěji zapsaná data, takže poj- mou až 1,2 GB. I přes menší kapacitu klasických CD disků se na ně pirátům podařilo dostat hry zbavené části dat. Z důvodu ceny nebyla v konzoli DVD mechanika. Což se po vydání PlayStation 2 ukázalo jako zásadní chyba [51, 52, 53, 54, 55].

Při vývoji konzole asistoval Microsoft a vytvořil speciální verzi Windows CE s verzí grafického API DirectX, určené pro snadnější tvorbu her na Dreamcast. Díky





Obr. 16: Sega Dreamcast – konzole s ovladačem a VMU. [3]

dynamicky linkovaným knihovnám (DLL) bylo jednoduché převést hry z osobních počítačů. Ačkoliv to byl uživatelsky přívětivější způsob programování, převládalo využití operačního systému poskytovaného přímo Segou. Ten neměl výhody zmiňovaného OS od Microsoftu, ale šlo na něm dosáhnout vyššího výkonu a kvůli tomu ho vývojáři preferovali. Předčasný konec podpory konzole vztahy s Microsoftem ještě posílil. Při návrhu své vlastní konzole se Microsoft v raných fázích vývoje inspiroval právě u Dreamcast. Sega potom novou konzoli podporovala vydáváním svých her exkluzivně pro ni [51, 52, 53, 54, 55].

Ovladač konzole je inovativní. Ovládací prvky jsou víceméně standardní – analogová páčka, čtyři akční tlačítka, směrový kříž a spouště. Ovladač měl dva konektory pro připojení příslušenství. V čem se tolik odlišoval, bylo okno uprostřed ovladače, kterým bylo vidět na paměťovou kartu. Paměťové karty, označované Visual Memory Unit, na sobě měly monochromatický LCD displej a další tlačítka.

Některé hry na displeji zobrazovaly například zdraví hráče namísto hlavní obrazovky. Jiné zase nabízely možnost stažení drobných her přímo na kartu samotnou, které se díky baterii uvnitř karty daly hrát přenosně. Dokonce bylo možné k sobě připojit dvě karty a kopírovat mezi nimi uložená data bez nutnosti připojení ke konzoli. Z příslušenství byla k dostání také klávesnice s myší určená pro brouzdání po internetu. Konzole měla v základu zabudovaný 56K dial up modem. Online služba Seganet při upsání na dva roky byla konzole s klávesnicí zdarma. Konzole byla inovativní se svým přístupem k online hraní, hlasové komunikace s ostatními hráči, stahovatelnému obsahu a ovladači [51, 52, 53, 54, 55].

### 2.6.2 Sony PlayStation 2

Vývoj nové konzole začal velmi brzy po vydání prvního PlayStationu. Do vývoje bylo údajně nepřímo zapojeno několik ostatních firem se zadáním navrhnout čip pro novou konzoli. Jednou z nich bylo studio Argonaut Games, které stálo za vznikem Super FX čipu pro Super Nintendo. Smlouvu na vývoj nového grafického čipu nedostali přímo od Sony, ani s nimi nebyli v kontaktu. Zadání přišlo z firmy LSI, která byla zapojena do vývoje předchozí konzole. Argonaut Games se podařilo navrhnout čip, který splňoval specifikace. V konzoli se nakonec ocitl čip navržený interně zaměstnanci Sony. Spekuluje se, že poptávky u externích firem byly vyžadovány vedením, aby tým stojící za vývojem konzole alespoň zvážil externí dodavatele. Druhou možností je, že tým chtěl mít jistotu, že opravdu vyvinuli nejlepší možný čip interně. Jako médium pro hry bylo vybráno nové DVD. I přes vyšší cenu ve srovnání s CD mechanikou se toto rozhodnutí bohatě vyplatilo. Konzole nebyla o mnoho dražší než DVD přehrávače, což pomohlo přesvědčit mnoho lidí pořídit jedno zařízení, které zvládne hrát hry i přehrávat filmy. V Japonsku tato konzole pomohla popularizovat DVD formát obecně. Na trh se druhý PlayStation dostal v roce 2000. Říct, že tato konzole byla úspěšná, by bylo podhodnocení. Do dnešního dne se jí prodalo více než 155 milionů kusů a stále tak drží rekord nejprodávanější konzole vůbec. Oběma konkurenčním konzolím (vyjma Dreamcastu) se podařilo prodat přes 20 milionů kusů [56, 57, 58, 59, 60].

Hardware PlayStation 2 dokázal teoreticky provést až 75 milionů trojrozměrných geometrických transformací. Využití tohoto potenciálu v praxi bylo ale obtížné. Architektura konzole byla vývojáři kritizována kvůli její složitosti, nedostatečné dokumentaci a nástrojům. Hlavním čipem konzole byl Emotion Engine (EE), který obsahoval procesor MIPS R5900, dva vektorové procesory, dekodér pro MPEG-2 video a čipy pro management paměti. Každý z vektorových procesorů dokáže zpracovat velké množství dat během jednoho cyklu [56, 57, 58, 59].

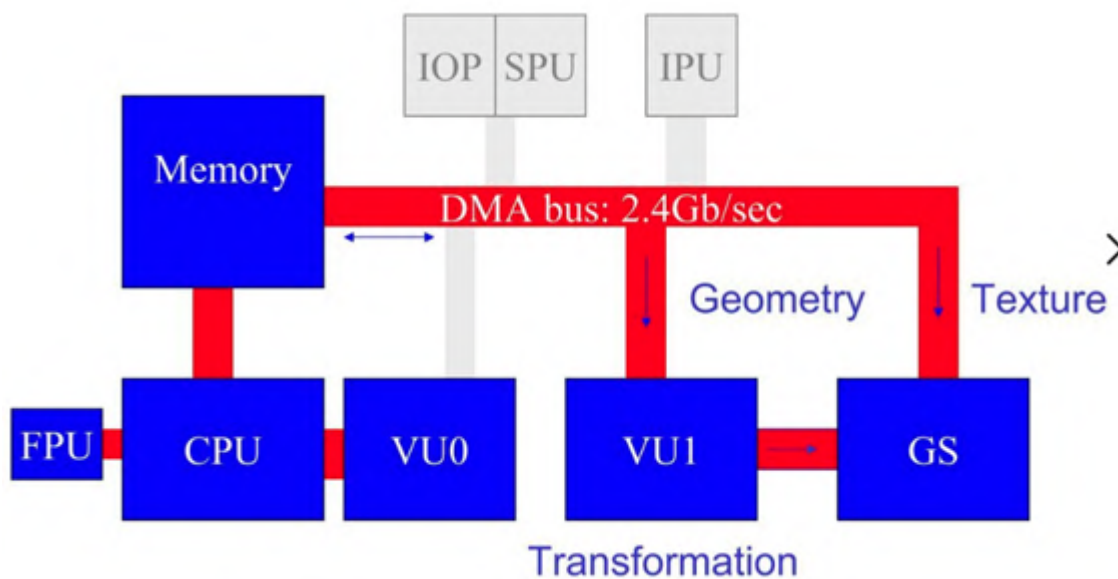
Emotion Engine bylo generovat display listy, které putovaly do grafického 3D akcelerátoru s názvem Graphics Syntetizer, ten dle nich vykresluje veškerou grafiku



na obrazovce. Další důležitou částí architektury konzole byl IO procesor, ten v normálním režimu zpracovával vstupy z ovladače, ale v režimu zpětné kompatibility byl používán jako hlavní procesor pro hry z prvního PlayStationu. Jedná se totiž přímo o procesor z původní konzole. Vektorové procesory zvládají dělat mnoho matematických operací velmi rychle. Jejich fungování lze dobře ilustrovat na příkladu dlouhého seznamu 32bitových hodnot, které chceme násobit. Zatímco při normálním přístupu je třeba každé jedno číslo načíst, vynásobit a uložit výsledek, s vektorovým procesorem je možné do jeho registrů načíst mnoho hodnot a násobit je všechny paralelně v rámci jedné operace. Ačkoliv takto nelze řešit všechny výpočty, ty které lze to významně urychlí a vektorové operace se pro grafiku hodí. Nejdůležitější částí hlavního čipu byl ale direct memory access controller (DMAC) navržen speciálně pro konzoli. Ten se stará o přesun dat mezi jednotlivými komponenty, jeho správné použití je naprosto stěžejní pro dosažení maximálního výkonu. PlayStation 2 totiž disponoval malou video a cache pamětí. Programátoři museli pracovat s konceptem paralelních výpočtů rozdělených mezi hlavní procesor a dva vektorové. To byla velká změna proti programování pro počítače a konkurenční konzole. Cache paměti nedokázaly pojmout data pro celý model objektu ani jeho textury. Právě kvůli malým pamětem bylo třeba pomocí DMAC obstarat pravidelný přísun nových dat pro všechny procesory a grafický čip. Paměti jsou naštěstí velmi rychlé, takže při správném využití DMAC čipu nemusela jejich kapacita představovat takový problém [61, 62, 63, 64, 65].

Knihovny sloužící k interakci s hardwarem konzole poskytovaly určitou vrstvu abstrakce a vývoj tak nevyžadoval intimní znalost principu fungování architektury. Knihovny pro předchozí PlayStation byly propracované a výrazně vývojářům zjednodušovaly práci. Nyní vývoj začínal vytvářením samotné knihovny. To byl ale kvůli téměř neexistující dokumentaci nebo školení vývojářů problém. Postup vývoje pro konzoli se tak v čase měnil se zlepšujícími se znalostmi architektury systému. První pokusy o konverze her z počítače často úplně ignorovaly vektorové procesory. Byl použit pouze procesor a numerický koprocessor (floating point unit), z nichž putovaly data s geometrií a texturami do grafického čipu (obr. 17). Takový přístup zajistil pouhého půl milionu polygonů na obrazovce. To nebylo o mnoho více než zvládl první PlayStation. Další fází bylo zapojení prvního vektorového procesoru, který paralelně s procesorem počítal transformace. To mělo za následek ztrojnásobení počtu polygonů na obrazovce. Po využití druhého vektorového procesoru pro transformaci do 2D prostoru pro scénu na obrazovce, bylo možné dosáhnout až deseti milionů polygonů za sekundu. Využití těchto vektorových jednotek mělo dle Sony vliv na vývoj grafické technologie i v oblasti osobních počítačů, v podobě příchodu vertex shaderů. Vertex shader je malý program, který provádí grafický akcelerátor

na každém individuálním vrcholu vstupní geometrie. Mění jeho atributy jako barvu, texturu, pozici, což dovoluje měnit tvar původních objektů [61, 62, 63, 64, 65].



Obr. 17: Zjednodušené schéma komponentů zapojených do výpočtů uvnitř PlayStation 2. [63]

Potíže s programováním pro PlayStation 2 se snažil vyřešit herní engine RenderWare, který poskytl vývojářům mnohem přívětivější nástroje pro vývoj. Navíc byl multiplatformní, takže bylo možné hru vyvíjet zároveň pro počítače i konkurenční konzole. RenderWare byl velmi populární a poháněl více než 150 her, včetně známých sérií jako Grand Theft Auto, Mortal Kombat, Sonic a mnoha her na základě filmových licencí. Samo studio Criterion, které engine vytvořilo, vydalo hru, která měla demonstrovat přednosti jejich nástrojů. To odstartovalo úspěšnou sérii závodních her Burnout. Licencované herní enginey a middleware začaly během této generace nabírat na popularitě. Na konzoli se mimo jiné vyskytl Unreal Engine 2 nebo engine Havok, který významně posunul úroveň simulace fyziky [66, 67].

Ovladače pro tuto konzoli (obr. 18) používaly stejný tvar jako DualShock pro předchozí generaci. V čem se ale liší jsou analogová tlačítka. Většina z tlačítek na ovladači je citlivá na tlak. Dovolují tak přesnější kontrolu nad některými akcemi. Například v závodních hrách odpovídá míra brždění síle stisku tlačítka. Bonusem byla i možnost použít ovladač z původního PlayStationu u her, které nevyžadovaly analogová tlačítka. Ke konzoli bylo možné dokoupit periferie jako mikrofón pro karaoke sérii SingStar, kamerku pro ovládání her ze série EyeToy tělem. Pro první model konzolí existoval síťový adaptér pro připojení k internetu skrze Ethernet port. Pro pohodlnější ovládání zabudovaného DVD přehrávače bylo možné dokoupit klasický infračervený ovladač. Pro ukládání her sloužily paměťové karty s kapacitou 8 MB,

neoficiální karty byly k dostání až ve 128 MB variantách. Stejně jako v případě PS One vyšla později menší a lehčí verze konzole známá jako PS2 Slim [68, 69].



Obr. 18: Sony PlayStation 2 – konzole s ovladačem. [3]

### 2.6.3 Nintendo GameCube

Koncem 90. let mělo Nintendo problém zůstat stejně relevantní jako během předchozích generací. Nintendo 64 bylo výrazně překonáno první konzolí od Sony. Jejich nová konzole měla tento stav změnit a nabídnout inovativní a dostupnou alternativu. Vývoj začal v roce 1998 pod názvem Project Dolphin. Vývoj se soustředil na herní schopnosti systému a na rozdíl od konkurence ignoroval použití pro multi-média, stála za tím snaha se od ostatních platform odlišit. Cílem bylo vyvinout výkonnější a menší konzoli než jeho předchůdce se silnými značkami od interních studií Nintendo i ostatních vývojářů, pro které měl být vývoj přívětivý. Nakonec bylo prodáno téměř 22 milionů kusů konzole, což ji umísťuje na třetí příčku ve své generaci, těsně za konzolí od Microsoftu [70, 71, 72].

Většina hardware uvnitř GameCube má původ ve firmě ArtX, kterou založilo několik zaměstnanců z SGI, které v minulosti pracovalo na předchozí konzoli Nintendo. V roce 2000 bylo ArtX odkoupeno společností ATI, v té době byl návrh prakticky finální a neměla na něj velký vliv. Jejich čip se jménem Flipper, se staral o grafiku, zvuk a IO. Výrobu zajišťovala firma NEC. Ačkoliv byl teoretický výkon nižší, než u PlayStation 2, ATI připomínalo, že srovnávaná čísla polygonů za sekundu jsou teoretická a vyzdvihovalo jednoduchost vývoje pro jejich platformu. Procesor byl navržen IBM, jednalo se o upravený PowerPC čip s několika desítkami přidáných instrukcí pro lepší zpracování dat. PowerPC bylo vybráno kvůli jednoduchosti jeho RISC architektury. V procesoru byl matematický koprocessor se single instruction multiple data funkcí, umožňující paralelní výpočet geometrie a nasvícení. Účelem bylo urychlit tyto operace bez zkomplikování vývoje jako u PlayStation 2. Ve snaze udělat vývoj bezproblémový a rychlý Nintendo uspělo, ale jejich volba média pro hry už vývojáře tolik nepotěšila. Místo DVD disků, běžných pro tuto generaci konzolí, byl zvolen proprietární formát miniDVD s kapacitou 1,5 GB. GameCube je tak první konzolí Nintendo, která nevyužívá cartridge. Ve srovnání s dvojrstvémi DVD, které pojmuly 8,5 GB, tak tyto menší disky nevycházejí dobře a hry tomu bylo třeba přizpůsobit [73, 70, 74, 71, 72].

Ovladač se proti Nintendo 64 výrazně změnil. Návrh se třemi rukojetmi nebyl pro každého pohodlný, a tak má nový ovladač obvyklejší tvar. Po vzoru ovladače DualShock od Sony, má dvě rukojeti, dvě analogové páčky a vibrační motor. Spouště jsou nyní analogové, s digitálním tlačítkem při úplném stisku. Pro ukládání postupu ve hrách sloužily paměťové karty, které se tentokrát připojovaly přímo do těla konzole. Ke konzoli (obr. 19) bylo možné přikoupit síťový adaptér pro připojení k internetu, mnoho důrazu na tuto funkci však kladeno nebylo a nabídka her tomu odpovídá. Nintendo v této generaci zdaleka nedosáhlo úspěchu Sony, ale stále se jednalo o výdělečný produkt, který pomohl popularizovat novější herní série Nintendo, jako Animal Crossing, Pikmin a Super Smash Bros [73, 70, 74, 71, 72].



Obr. 19: Nintendo GameCube – konzole s ovladačem. [3]

#### 2.6.4 Microsoft Xbox

Microsoft sledoval vzestup konzolí s multimediálními schopnostmi. Nebylo v jejich zájmu, aby zákazníci časem ztratili zájem o osobní počítače. Sony se tímto záměrem netajilo. Proto společnost začala zvažovat vstup na trh se svojí vlastní konzolí. Jejich zkušenosti s herním průmyslem pramenily z vydávání her jako *Age of Empires* a *Microsoft Flight Simulator*, nebo tvorby API DirectX pro svůj operační systém Windows. Také spolupracovali s firmou Sega a vyvinuli nástroje pro jejich konzoli Dreamcast, které používaly upravený Windows CE a DirectX. Uvnitř společnosti byly dva týmy, které pracovaly na své verzi nové herní konzole. První tým hodlal použít komponenty z osobních počítačů a využívat DirectX. Druhý tým chtěl hardware navrhnout „od píky“ a používat Windows CE bez DirectX [75, 60, 71].

Oba návrhy posoudil Bill Gates. Rozhodl se pro variantu s počítačovými komponenty a DirectX, kvůli jednoduchému převádění her z počítačů a použití pevného disku, což představovalo konkurenční výhodu. Dle původních plánů měl na konzoli běžet Windows 2000, ale návrh i cena projektu se radikálně změnila. Bill Gates byl opuštěním klasických Windows a vyššími náklady podrážděn a nebyl hrozby ze strany Sony, projekt mohl být ukončen. Konzole dostala jméno podle grafického API. Přezdívalo se jí DirectX Box, což bylo zkráceno pouze na Xbox. Zařízení se na trh dostalo 15. listopadu 2001, pouhé tři dny před vydáním GameCube na americkém trhu. Začátek prodeje byl jeden z neúspěšnějších v historii herních konzolí. Naopak v Japonsku se konzoli vůbec nedařilo. Jako americká firma bez podpory japonských vývojářů byl takový výsledek předvídatelný. Xbox (obr. 20) ale globálně překonal GameCube a dosáhl na 24 milionů prodaných kusů. Vstup na trh s konzolemi byl pro Microsoft na začátku vysoce ztrátový, protože hardware byl prodáván pod výrobní cenou s cílem vydělat na prodeji softwaru. První Xbox prodělal 4 miliardy dolarů, ale z pohledu budoucích konzolí to byla cenná investice [76, 77, 78, 75, 60, 71].

Společnost Intel dodávala pro konzoli svůj upravený procesor Pentium III. Ten pracoval pamětí 64 MB, která byla sdílená mezi procesorem a grafickým čipem. Ten dodávala společnost Nvidia a vycházel z jejich GeForce 3 generace grafických karet. Xbox byl nejvýkonnější konzolí šesté generace. Poprvé byl v herní konzoli jako úložiště použit pevný disk. Ten umožňoval ukládat postup ve hře, stahovat obsah z internetu nebo kopírovat audio stopy z hudebních CD disků, které šlo použít jako soundtrack pro některé hry. Na konzoli se nacházel ethernet port pro připojení k internetu. Microsoft spustil důležitou službu s názvem Xbox Live, která nastavila kurz online hraní na konzolích. Díky ní bylo možné hrát jakoukoliv hru bez dalších registrací pod jedním jménem. Přibyla také sociální funkce jako seznam přátel a audio chat. Blízko konci života konzole bylo spuštěno Xbox Live Arcade, což byl online obchod s menšími a levnějšími hrami, které se stahovaly na disk konzole. Ke stažení byly také omezené zkušební verze her. Přestože služba nestihla zažít velkou





Obr. 20: Microsoft Xbox – konzole s novějším menším ovladačem. [3]

popularitu na první konzoli, byla to důležitá první vlaštovka pro digitální distribuci her. Fyzické kopie her byly distribuovány na DVD discích [79, 80, 81].

Ovladač pro konzoli se vyskytoval ve dvou verzích. Ta původní, přezdívána „The Duke“, byla kritizovaná za její velké rozměry. S japonskou konzolí byla již prodávána menší varianta, která byla později přibalena ke konzolím ve všech regionech. Co se týče ovládacích prvků, jsou obě verze totožné. Pouze bylo posunuto několik tlačítek. Stejně jako ovladač u PlayStationu disponují obě verze dvěma analogovými páčkami a tlačítky citlivými na tlak. Do ovladače bylo možné připojit paměťovou kartu pro uložení postupu ve hrách mimo pevný disk konzole [82].

## 2.7 Sedmá generace

Konzole sedmé generace kladou větší důraz na multimediální schopnosti a připojení k internetu je již standardem. To je využito k digitální distribuci her a aktualizací. O slovo se hlásí vícejádrové procesory, integrované pevné disky a grafické čipy s podporou nových shader technologií. Naopak Nintendo začíná razit svoji vlastní cestu a přestává soutěžit na poli výkonu. Převládá použití jazyka C a C++. Microsoft začíná poskytovat levnější, ale omezenější verzi nástrojů pro vývoj, aby umožnil jejich koupi nezávislým vývojářům. Jejich nástroje opět staví na známých API DirectX. Sony stejně dobrou práci neodvedlo a obtížný vývoj pro jejich novou konzoli se stal notoricky známým.

### 2.7.1 Xbox 360

Práce na nástupci první konzole Microsoftu začala v roce 2003. Na návrhu se podílela společnost IBM. Ta ale v roce 2001, společně s firmami Toshiba a Sony, začala pracovat na návrhu procesoru pro novou konzoli od Sony. Součástí dohody byla možnost prodávat hotový návrh jiným klientům. Sony ale nenapadlo, že z něj může těžit i jejich přímá konkurence ještě než bude hotový. Když Microsoft začal poptávat čip pro svoji novou konzoli u IBM, zjistil specifikace Cell procesoru, který měl být použit Sony, a svolil k použití podobné technologie. Pro Sony se stala celá situace ještě horší, protože první várky čipů opozdily výrobní problémy. Ty se ale vyhnuly Microsoftu, který si již předem zajistil výrobní kapacity jinde. Konzole Microsoftu (obr. 21) tak měla na trhu výrazný náskok před konkurencí. Nový Xbox 360 se na trh dostal v listopadu 2005. Tento náskok byl patřičně využit a konzoli pomohl udržet náskok před Sony po většinu generace [83, 84].

Proti minulé konzoli, která používala komponenty k vidění v osobních počítačích, byl nový procesor od IBM razantní změnou. Čip s názvem Xenon měl tři jádra, každé schopné zpracovávat dvě vlákna. Místo architektury x86 z minulé konzole byla použita PowerPC architektura. Použitý grafický čip s sebou opět nese změny. Na rozdíl od prvního Xboxu ho nedodává Nvidia, ale jejich rival – ATI. Čip s názvem Xenos je blízkým příbuzným grafických karet pro počítače, ale mimo hlavní grafické jádro má ještě 10 MB rychlé paměti s rychlým přístupem. To dovolovalo implementovat antialiasing nebo efekty s průhledností bez znatelného dopadu na výkon. Původní design počítal s 256 MB sdílené paměti, ale díky zpětné vazbě od vývojářů z Epic Games byla zdvojnásobena i přes miliardové náklady tohoto kroku. Tento krok se později ukázal jako správný a díky dostatečně velké sdílené paměti byly hry od vývojářů třetích stran často v lepším technickém stavu než na PlayStation 3. I přes odlišnou architekturu je díky softwarové emulaci konzole zpětně kompatibilní se svým předchůdcem [85].





Obr. 21: Microsoft Xbox 360 – konzole, ovladač a senzor Kinect. [3]

Online služby zaznamenaly významné rozšíření. Xbox Live pokračuje jako placená služba, vyžadující měsíční předplatné. Přibyla ale možnost bezplatného účtu, který měl přístup k chatu s ostatními hráči a digitálnímu obchodu, kde bylo možné stáhnout demoverze her nebo video upoutávky. Xbox Live Arcade se na novou konzoli dostal také a sloužil jako cesta k publiku i pro menší nezávislé vývojáře. Možnost ryze digitální distribuce her výrazně snížila náklady pro vydávání her na konzole. Fyzické kopie her byly distribuovány na DVD. Vzhledem k rostoucí velikosti her to znamenalo, že některé hry vyžadovaly i 3 disky a instalaci části dat na pevný disk uvnitř konzole [85].

Microsoft nemohl přehlížet úspěch konkurenčního Nintendo Wii a vydal svoje vlastní příslušenství umožňující ovládání pohybem. Senzor se jménem Kinect kombinoval projekci infračerveného vzoru se snímačem a kamerou, aby rozpoznal hloubku scény. Hry tak bylo možné ovládat pohybem a díky mikrofonům i hlasem. Tradiční ovladač přibalený ke konzoli doznal změny ve tvaru. Po kritice prvního ovladače pro

původní Xbox, dostal nový ovladač více ergonomický tvar, vhodný i pro menší ruce. S nejlevnější verzí konzole byl dodáván ovladač s drátovým připojením. S ostatními byl potom v balení ovladač bezdrátový, který používal 2,4 Ghz protokol pro nižší latenci [85].

### 2.7.2 PlayStation 3

Nástupce velmi úspěšného PlayStation 2 začal vývoj již v roce 2001. Sony spolupracovalo s firmami Toshiba a IBM na novém procesoru Cell. Náročný vývoj trval čtyři roky s cílem aplikovat tento čip i v oblastech serverů a vědeckých výpočtů. Komplikovaná architektura bohužel odhalila, že se Sony z minulé generace nepoučilo. Konzole byla velmi výkonná na úkor všech ostatních aspektů. Zdlouhavý vývoj jejího procesoru vedl k výraznému zpoždění v uvedení na trh. Prodej byl zahájen v listopadu 2006. Podepsalo se to také na ceně, která byla i přes prodej pod výrobními náklady výrazně vyšší než u Xboxu. Složitost hardwaru opět znepráhnila práci všem, kteří na hrách pracovali. Multiplatformní tituly tak často byly v lepším stavu na Xboxu. Tyto faktory zapříčinily mnohem horší výsledky než v generaci předchozí. Sony ztratilo pozici favorita a celou generaci muselo pracovat na zlepšení image této konzole. Tento osud se jim podařilo zvrátit až ke konci generace, díky velkému zaměření na vývoj exkluzivních her ve svých studiích a klesající ceně nových revizí konzole [86].

PlayStation 3 (obr. 22) sice sdílel se svojí konkurencí od Microsoftu architekturu procesoru samotného, ale zbytek hardwaru zapříčinil mnohem komplikovanější cestu k využití jeho plného potenciálu. Konzole obsahovala jeden hlavní PowerPC procesor (Power Processor Element), kterému asistovalo 8 synergických jednotek (Synergistic Processing Elements). Xbox měl namísto nich pouze tři hlavní PPE jádra. A právě využití SPE bylo, podobně jako u vektorových procesorů v předchozí konzoli, klíčem k získání plného výkonu. Operace musely být rozděleny do subrutin a přiřazeny k těmto koprocesorům. Situace s nedostatečnými nástroji pro vývoj se opět dotkla studií třetích stran. Typická délka vývoje herního engine, který umožnil postoupit do fáze prototypování, se proti první konzoli až zešestinásobila. Původně měl být použit interní návrh grafického čipu. Tyto plány ale změnil příchod pixel shader technologie, která umožňuje manipulaci každého jednoho výsledného pixelu obrazu [86, 87, 88].

Bez této funkce by byl grafický čip v porovnání s počítači zastaralý už v době vydání. Na poslední chvíli tak byla veškerá práce na vlastním designu zahozena ve prospěch řešení od firmy Nvidia. Ve výsledku bylo toto řešení o krok pozadu. Grafický čip v Xboxu totiž představil model sdílených shaderů, kdy neměl zvláštní hardware pro pixel a vertex shadery. To dovolilo vývojářům větší flexibilitu a mohli shader jednotky podle potřeby využít pro geometrii i pro pixely. S lepším poznáním

architektury nového PlayStationu se vyvinulo několik přístupů k rozdělení úkolů mezi procesory. Studia Sony jako Naughty Dog nebo Polyphony Digital vynahradila méně výkonný grafický čip použitím SPE jednotek. PlayStation 3 měl ještě jednu nevýhodu – rozdělenou paměť. Obě konzole měly dohromady 512 MB paměti, ale u Xboxu byla sdílená, zatímco PlayStation měl pevně alokováno 256 MB jako systémovou paměť a 256 MB jako grafickou paměť. Multiplatformní herní nástroje tedy dále získávaly na popularitě. Renderware, populární v minulé generaci, nahradil Unreal Engine 3 [86, 87, 88].



Obr. 22: Sony PlayStation 3 – konzole, ovladač a sada příslušenství k pohybovému ovládání. [3]

Ovladač, který byl představen s konzolí, měl radikálně odlišný tvar. Reakce na něj byly rozporuplné a jeho vzhled mu vysloužil přezdívky jako banán nebo bumerang. Sony se nakonec vydalo cestou osvědčeného designu z minulých generací. Ovladač s sebou přinesl dvě větší změny. Používá připojení pomocí technologie Bluetooth a je napájen integrovanou baterií. Druhou změnou byla varianta SIXAXIS, která má zabudovaný gyroskop pro snímání pohybu. Ovládání pohybem přímo

v ovladači nezaznamenalo velkého použití a většinou ho využívaly jen hry od studií Sony [89, 90].

Po úspěchu Nintendo Wii přišlo Sony s vlastním ryze pohybovým ovladačem. Na rozdíl od řešení Kinect, kde byly hry ovládány pohybem těla, je PlayStation Move mnohem podobnější Nintendo. Ovladač má v sobě inerciální měřidlo – kombinaci tříosého akcelerometru a gyroskopu. Pro detekování ovladače ve scéně slouží kamera PS Eye a nasvícená koule na konci ovladače. Podle barvy pozadí je vybrána kontrastní barva podsvícení, aby šel ovladač dobře rozlišit. Na základě obrazu z kamery je zjišťována vzdálenost ovladače. Stejně jako u Wii je možnost použití sekundárního ovladače, který přidává analogovou páčku a směrový kříž. K ovladači lze také dokoupit příslušenství, které ho změní v pušku nebo luk. Dle Sony byla popularita pohybového ovladače pod jejich očekáváními [91, 92, 93].

### 2.7.3 Nintendo Wii

Nintendo se rozhodlo změnit svůj přístup k herním konzolím. Jejich nový přístup se nesoustředí na nejvyšší výkon, kterého je možné v dané ceně dosáhnout. Při vývoji nové konzole nebylo jejich úmyslem přímo konkurovat konzolím od Sony a Microsoftu. Konzole měla přitáhnout co nejširší publikum. Původně oznámena pod názvem Nintendo Revolution, vydaná jako Nintendo Wii (obr. 23) v listopadu 2006. Wii nikoho neoslnilo výkonem. Konkurence se posunovala do HD rozlišení, zatímco Wii nebylo o mnoho výkonnější než minulá generace. Nintendo vsadilo vše na inovativní pohybové ovládání. S konzolí byla prodávána hra Wii Sports, která obsahovala pět disciplín virtuálního sportu. Tenis, baseball, golf, bowling a box skvěle demonstrovaly možnosti pohybového ovládání. Později byla vydána Wii Fit se speciální podložkou, která konzoli umožňovala sledovat rovnováhu uživatele. Jak už název napovídá, jedná se o fitness hru, která hráče motivuje dostat se do kondice. Sázka na netradiční ovládání se bohatě vyplatila. Konzole dokázala zaujmout i zákazníky, kteří si nikdy předtím konzoli nekoupili. Její prodeje v roce 2008 dosáhly téměř 68 milionů. To byl dvojnásobek toho, co prodaly konkurenční konzole. Wii časem pokořilo hranici sta milionů prodaných kusů a řadí se tak mezi nejúspěšnější konzole vůbec. Její popularita inspirovala konkurenci k vydání vlastních řešení pro ovládání her pohybem [94, 95].

Hardware pokračuje v dědictví GameCube. Procesor architektury PowerPC od IBM se od svého předchůdce nejvíce odlišuje novějším výrobním procesem, který výrazně pomohl účinnosti, a vyšší frekvencí. Grafický čip dostalo opět na starosti ATI. Detailní informace nejsou veřejnosti známé. Vzhledem k faktu, že je konzole zpětně kompatibilní s GameCube, je nový čip zřejmě založen na jeho předchůdci. Co se výkonu týče, je konzole nejmenším skokem proti minulé generaci s nárůstem teoretického výkonu o asi 20 % [96, 97, 98].



Obr. 23: Nintendo Wii – konzole s ovladačem Wii Remote. [3]

Inovativní přístup této konzole spočívá v jejím ovladači. Ke konzoli je připojen bezdrátově pomocí Bluetooth. Uvnitř něj je akcelerometr a infračervené senzory. Pomocí akcelerometru ovladač rozpoznává pohyb z výchozí pozice. Dokáže ho měřit ve třech osách. Informace z akcelerometru je převedena čipem v ovladači na digitální signál a ten na pohyb ve hře. Pohyb v herních menu je realizován pomocí kurzoru. K tomu slouží infračervený senzor. Ten zaznamenává světlo z infračervených diod uvnitř pásku, který je dodáván s konzolí a uživatel ho umístí pod nebo nad televizi. Ovladač poskytuje zpětnou vazbu v podobě vibrací a zvuků. Svým tvarem připomíná spíše klasický ovladač od televize. Je na něm směrový kříž a několik tlačítek. Pro hry vyžadující více ovládacích prvků sloužil sekundární „Nunchuk“ ovladač, který se připojil kabelem do portu na spodní straně hlavního ovladače. Ten přidal analogovou páčku a spoušť. Pro ovladač potom existovala řada příslušenství, která ho transformovala na volant, pistoli, nebo zpřesnila jeho sledování pohybu [99, 100].

## 2.8 Osmá generace

Tato generace konzolí s sebou přináší velkou změnu v architekturách. Více než kdykoliv předtím se blíží osobním počítačům. Je kladen větší důraz na online služby a sociální funkce. Vzhledem k rozšíření televizí s 4K rozlišením vzrostla poptávka po konzolích, které nového standardu dokáží využít. To mělo za následek vydání vylepšených modelů konzolí uprostřed generace. Zvýšení výkonu se soustředilo na grafický čip, který měl umožnit podstatné zvýšení rozlišení her.

### 2.8.1 PlayStation 4, PlayStation 4 Pro

Nový PlayStation (obr. 24) již neměl na starosti Ken Kutaragi, vedoucí vývoje všech předchozích konzolí. Nahradil ho Mark Cerny, který měl bohaté zkušenosti jako herní vývojář, včetně studií vlastněných Sony. Byl si vědom výzev, kterým čelili vývojáři u minulých konzolí, a jak ovlivnily PlayStation 3. Proto při návrhu nové konzole sbíral zpětnou vazbu od vývojářů. Pro úspěch nové konzole byla důležitá podpora studií třetích stran. Hardware konzole je průnikem mezi jednoduchou architekturou a nejlepším výkonem, který byl v dané cenové hladině dosažitelný. Po předchozí generaci, kdy byl favoritem Microsoft, byly nyní šance vyrovnané. Sony vsadilo na nabídku svých exkluzivních her a nižší cenu konzole. Výrazně překonat prodeje Xboxu se podařilo také díky image, kterou pro konzoli vybudovali. Zatímco Microsoft se začal soustředit více na multimediální využití konzole jako hlavního zařízení k televizi, Sony cílilo svým marketingem především na herní schopnosti. Konzole měla vyšší výkon než konkurence, což se projevilo na rozlišení multiplatformních titulů. Společně s kontroverzí ohledně zamezení bazarového prodeje her na Xboxu to znamenalo, že se nový PlayStation těšil větší přízni veřejnosti. Prodej byl spuštěn v listopadu 2013 a o tři roky později byl vydán výkonnější model PlayStation 4 Pro. Společně dosáhly asi dvojnásobku prodejů konkurence od Microsoftu [101].

Hardware konzole končí tradici převážně interně navržených komponentů. Jakkoliv výkonný byl Cell procesor v PlayStation 3, nedokázal vyvážit komplikace, které pro vývojáře jeho programování představovalo. Podobně jako u prvního Xboxu se tak setkáváme s komponenty, které již byly v nějaké formě důvěrně známé z osobních počítačů. Procesor i grafický čip nyní dodávalo AMD, které odkoupilo výrobce grafických čipů ATI. Situace na poli procesorů znamenala, že jenom AMD dokázalo dodat dostatečně levné řešení. Nemělo stejně silné postavení na trhu jako se současnou řadou Ryzen procesorů a muselo útočit nižší cenou. PlayStation 4 poháněla jejich Jaguar architektura. Ta byla určena pro použití v zařízeních s nižší spotřebou jako notebooky a mini PC. Zároveň byla stavěna pro integraci grafického čipu přímo do stejného celku s procesorem. Ve výsledném čipu jsou dva čtyřjádrové Jaguar moduly, grafický čip s Graphics Core Next 2 architekturou, čip pro management paměti





Obr. 24: Sony PlayStation 4 – konzole s ovladačem. [3]

a dekodér videa. Paměť je sdílená mezi procesorem a grafickou částí čipu. Nárůst její velikost je proti minulé generaci značný. K dispozici je 8 GB rychlé GDDR5 paměti [102, 103, 104].

Vylepšený PlayStation 4 Pro má kvůli zachování zpětné kompatibility nezměněnou architekturu. Procesor se dočkal zvýšení taktů a grafický čip má dvojnásobný počet výpočetních jednotek. Bez úprav se hry chovaly stejně jako na základním modelu konzole. To znamená, že rozlišení a snímková frekvence byly omezeny cílem původní konzole. Po vydání PS4 Pro však řada her obdržela aktualizace, které umožnily využití vyššího výkonu pro dosažení lepší vizuální kvality. Některé tituly však benefitovaly z vyššího výkonu i bez aktualizace. Během této generace se hojně začala používat technika dynamického rozlišení, kdy se pro zachování stabilní snímkové frekvence za běhu měnilo rozlišení, ve kterém byla grafika vykreslována. Uživatelské rozhraní je zobrazeno v plném rozlišení, pro zachování čitelnosti textu. A výpočetně náročná 3D grafika je potom škálována z nižšího rozlišení. V případě her, kde muselo dynamické rozlišení snižovat kvalitu hodně, bylo patrné zlepšení i bez úprav kódu specificky pro nový model konzole [102, 103, 104].

Ovladač poprvé od prvního PlayStationu doznal úplné změny vzhledu. Všechny ovládací prvky jako směrový kříž a dvojice analogových páček je zde přítomna. Krom toho má navíc ovladač dotykovou plochu a světlo na přední straně. Světlo slouží k sle-

dování pozice ovladače stejně jako u pohybového ovladače pro předchozí PlayStation. Barevné světlo také mohlo indikovat informace o stavu hry jako třeba nízké zdraví herní postavy. Také přibylo tlačítko pro sdílení. To ukazuje větší důraz na sociální aspekt online služeb. Pomocí něj je možné s komunitou jednoduše sdílet snímky obrazovky nebo záznamy z hraní. Nově je v ovladači zabudovaný reproduktor, který pouze doplňuje zvuky z hlavního zdroje [102, 103, 104].

Výrazným přírůstkem do řady příslušenství pro konzoli jsou brýle pro virtuální realitu. Myšlenka virtuální reality v této době získávala na popularitě. Problémem však byla cena potřebného hardwaru. Kvůli blízkosti panelů od oka bylo třeba jemnějšího rozlišení a s ním rostly nároky na výkon a tím pádem i cena. Aby přesvědčili zákazníky ke koupi příslušenství s vysokou cenou, je třeba lákavá nabídka her. A pro vývojáře se stane vývoj takových her atraktivní až v momentě, kdy je hardware pro jejich hraní v rukou dostatečného počtu uživatelů. Sony se snažilo podpořit vývoj her pro jejich příslušenství, alespoň jako speciálního režimu v titulech určených pro tradiční obrazovky. K ovládání sloužily dva pohybové ovladače známé z PlayStation 3. Dle Sony úspěch virtuální reality předčil jejich očekávání a prodeje překonaly 5 milionů kusů [102, 103, 104].

### 2.8.2 Xbox One, Xbox One X

Microsoft zaznamenal velký úspěch s minulou generací, během které se z pozice nováčka na trhu v případě jejich první konzole, katapultoval před Sony s jejím nástupcem. Získané sebevědomí ale vedlo k několika přešlapům, které Sony pohotově využilo ve svůj prospěch. Presentace nové konzole je považována za velké selhání. Microsoft kladl důraz na multimediální funkce a propojení s televizí i online službami pro stream videa. Kritika se soustředila na velmi malý čas strávený prezentováním primární funkce konzole – hraním her samotných. Dojmy z nepovedeného představení konzole by časem pominuly. Bohužel pro nový Xbox zde byly dva palčivější problémy [105, 103, 104].

Prvním byla agresivní taktika pro potlačení bazarového prodeje fyzických kopií her. U dřívějších konzolí neexistoval žádný mechanismus, který by ho omezoval. V případě her, ke kterým se hráči nechtěli vracet, svoji kopii prodali dále. To představovalo uniklé zisky pro výrobce konzolí, jejichž hardware byl prodáván se ztrátou, kterou vynahradil podíl z prodeje her. O ně se Microsoft nechtěl připravit, a i fyzické kopie her měly být svázané s účtem hráče, který je poprvé zakoupil. Případné dovolení bazarového prodeje mělo být na uvážení vydavatelů. Toto rozhodnutí vyvolalo velkou vlnu kritiky, kterou Sony využilo a přispěchalo s reklamou, která informovala o nulových restrikcích při nakládání s fyzickými edicemi her [105, 103, 104].

Druhým odvážným krokem bylo povinné vlastnictví nové verze senzoru Kinect. Ten byl důvodem, kterým konzole obhajovala vyšší cenu než konkurence. Ne-



možnost konzoli koupit ani používat bez něj rozhořčila většinu veřejnosti. Kinect měl také sloužit k rozpoznání uživatele a jeho automatickému přihlášení a hlasovému ovládání. Funkce, která měla dovolit pohodlné přihlašování různým uživatelům v jedné domácnosti, vzbudila oprávněné obavy o soukromí. Všechna kontroverzní rozhodnutí byla pod tlakem kritiky stažena. Na záchranu pověsti nové konzole bylo však pozdě. V kombinaci s širší nabídkou exkluzivních titulů na PlayStation 4 vedly tyto události k výrazně nižším prodejům. Konzole Xbox One (obr. 25) prodaly méně než polovinu kusů ve srovnání s konkurenční platformou. Vedení přehodnotilo jejich přístup a provedlo personální změny. Podobně jako u PlayStation 4 Pro vyšel výkonnější model Xbox One X. S jeho vydáním již byla patrná změna přístupu a snaha zlepšit vnímání značky [106].



Obr. 25: Microsoft Xbox One – konzole s ovladačem. [3]

Hardware uvnitř Xboxu sdílel s konzolí od Sony mnohé. Architektura procesoru i grafického čipu je shodná. Procesor dosahuje nepatrně nižších taktů a grafický čip obsahuje o třetinu méně výpočetních jednotek. Specifikace konzolí byly známé již před vydáním a byly předmětem diskuse. Xbox měl tedy nálepku méně výkonného zařízení. Při vývoji her vyšlo najevo, jaký problém představovala pomalejší DDR3 paměť. Tento druh paměti byl používán jako operační paměť v osobních počítačích. PlayStation měl GDDR5 paměť, která byla používána v grafických kartách a měla výrazně vyšší propustnost. Tento nedostatek měla vynahrazovat malá, ale velmi rychlá ESRAM paměť o velikosti 32 MB. Pro vývojáře tak znamenal management

paměti práci navíc, ve srovnání s PS4. Ve hrách dostupných pro obě platformy si tedy typicky vedl Xbox hůře. To se změnilo s příchodem silnějšího Xbox One X. Procesor i grafický čip jsou zde mnohem výkonnější při zachování zpětné kompatibility se základním modelem. Paměť byla také nahrazena rychlejší GDDR5. Stejně jako v případě PlayStationu bylo třeba vydat aktualizace, aby hry plně využily nový výkon. A bez zásahu vývojářů byly alespoň vyhlazeny případné propady v rozlišení či snímkové frekvenci [105, 103, 106].

Vítanou funkcí obou konzolí Xbox One byla zpětná kompatibilita s předchozími generacemi. Hardware PlayStationu 3 byl tolik odlišný, že zpětná kompatibilita nebyla možná zajistit jinak než skrze software. Vzhledem k náročnosti emulace této komplikované architektury, tak ona schopnost konkurenci scházela. V případě Xboxu se jednalo o softwarovou emulaci původního hardwaru. Všechny starší hry tak nebyly kompatibilní a Microsoft je před zpřístupněním v digitálním obchodě testoval. Velmi vítaným faktem bylo, že výkon nových konzolí byl pro podporované hry využit pro grafiku ve vyšším rozlišení [106].

Ovladač s sebou přináší odlišný design. Změny se nesou v duchu lepší ergonomie, místo zaměření na nové metody ovládání. Výčet ovládacích prvků tak zůstal téměř nezměněn. Stejně jako u ovladače pro PlayStation 4 zde nalezneme tlačítko určené pro sdílení momentů z her. Rozšíření sociálních sítí se tak přímo podepsalo na některých funkcích všech nových konzolí. Ovladač je opět bezdrátový a zdrojem energie jsou dvě tužkové baterie. Setrvání u tužkových baterií bylo kritizováno jako zastaralé řešení proti integrovanému dobíjecímu článku. Jako výhoda je ale prezentován fakt, že pro výměnu není třeba technická zručnost a rozebrání ovladače [106, 103].

Senzor Kinect si nevedl dobře. Nasvědčovala tomu i absence portu pro jeho připojení v novějších revizích konzole. Podpora tohoto příslušenství byla oficiálně ukončena v roce 2017. Microsoft také nevstoupil na trh s virtuální realitou. Té se ale daří na jejich operačním systému Windows. Je možné, že se vlašně přijetí pohybového ovládání do tohoto rozhodnutí promítlo [106, 103].

### 2.8.3 Nintendo Wii U

Nintendo pokračuje ve snaze se od konkurence odlišit inovativními funkcemi a neútočí na první příčku ve výkonu. Nová konzole opět sází na unikátní způsob ovládání. Laťka nastavená jeho předchůdcem byla velmi vysoká. Původní Wii se prodávalo nejlépe z trojice konzolí minulé generace. Wii U (obr. 26) bylo ve srovnání přijato velmi vlašně. Po vydání konzole se ukázala volba jména a prezentace produktu jako nešťastná. Pouhé jedno písmeno navíc v názvu zařízení a soustředění marketingu na ovladač mělo za následek, že si mnoho potenciálních zákazníků myslelo, že se jedná o pouhé příslušenství ke starší konzoli. Kritika také negativně hodnotila výkon [107].

Stejně jako v případě Wii je výkon mnohem blíže generaci předchozí. Nižší výkon tak znamenal že by vývojáři museli věnovat speciální péči optimalizaci pro zastaralejší platformu. Další čas navíc potom potřebovala smysluplná integrace nového ovladače. Konzole tak neměla silnou podporu vývojářů třetích stran. Chyběly také některé funkce, již považované za standardní součást novějších konzolí. Jmenovitě neexistovala možnost přehrávat multimediální optické disky a scházely i některé sociální funkce jako skupinové konverzace s přáteli. Konzole používala proprietární formát optických disků. Prodeje zůstaly daleko za konkurencí i Nintendem Wii. Wii U se tak od jeho vydání v roce 2012 podařilo prodat jen přes 13 milionů kusů [107, 108].



Obr. 26: Nintendo Wii U – konzole s ovladačem. [3]

Komponenty uvnitř Wii U se podobají těm v Xboxu 360 a původnímu Wii. Návrh ovlivňoval požadavek na zpětnou kompatibilitu s Wii. Partnerem jim bylo opět IBM. Procesor obsahoval tři PowerPC jádra (zde shledávám podobnost s Xbo-

xem). Jádra samotná ale vychází z architektury, která byla k vidění již u prvního Wii. Právě tak je zaručena zpětná kompatibilita na úrovni hardwaru. Konzole před hrami pro starší konzoli skryje novější funkce hardwaru a dokáže fungovat stejně jako ona. Dvě ze tří jader a většina paměti jsou deaktivovány, takže je pro běh her přístupný téměř stejný hardware jako u Wii. Z hlediska procesoru by tedy konzole zapadala do předchozí generace. Oproti tomu grafický čip prošel větší modernizací. Vychází již z technologie sjednocených shader jednotek, jak tomu bylo u Xboxu 360. Úplná změna architektury tak znamenala nemožnost použít ji pro hraní her z konzole předchozí. Na desce se tak nachází ještě grafický čip přímo z Wii[109].

Vývojáři nebyli potěšení z procesoru, který sotva držel krok s předchozími konzolemi, v době přechodu na novou generaci. Práci ještě zhoršily nástroje pro vývoj. Časy potřebné ke kompilaci sebemenších změn čtyřnásobně převyšovaly ostatní systémy. Kód připravený pro jiné PowerPC konzole (Xbox 360 a PlayStation 3) bylo často třeba upravit někdy i za cenu snížení komplexity herního světa. Opačná situace nastávala v případě aspektů zatěžujících pouze grafický čip. Zde si konzole vedla dobře a vývojáři si mohli dovolit použít výpočetně náročnější efekty, nevyskytující se na konzolích minulé generace [109].

Ovladač odlišoval konzoli od všech ostatních. Vzhledem připomínal přenosnou konzoli nebo tablet v kombinaci s tlačítky a analogovými páčkami z klasických gamepadů. Většinu plochy tak zabírala barevná doteková obrazovka. S obrazovkou v ovladači se nesetkáváme poprvé. Sega Dreamcast již obrazovku na ovladač přidala skrze paměťové karty, které se do ovladače zapojovaly. Tento koncept je zde posunut mnohem dál. Monochromatický displej sloužil pouze k pasivnímu zobrazení informací a jeho nízké rozlišení neumožnilo zobrazit žádnou složitější grafiku. V podání Wii U je role obrazovky mnohem interaktivnější. Díky doteku je možné skrze ni přímo ovládat dění ve hře. Role sekundární obrazovky silně závisela na implementaci v jednotlivých titulech. Byla plně v rukou vývojářů. S ohledem na nízké prodeje konzole se ale často nevyplatilo investovat čas do propracovaných konverzí, plně využívající možnosti ovladače. Nejvíce tak jeho potenciál využívaly hry vyvíjené exkluzivně pro Wii U. Doteková obrazovka často sloužila pro zobrazení mapy nebo správu inventáře. Některé hry zároveň využívaly snímání pohybu pro situace jako používání fotoaparátu, kdy byl na hlavní obrazovce normální pohled a na ovladači byla perspektiva z hledáčku fotoaparátu. Využití obrazovka našla také při lokální hře více hráčů, aby se o prostor na obrazovce nemuseli dělit. Některé hry bylo možné hrát i exkluzivně pomocí ovladače samotného. Tato funkce přišla vhod hráčům, kteří televizi sdíleli s ostatními členy domácnosti nebo těm, kdo chtěli mít možnost hrát i jinde než před televizí. Negativem složitějšího ovladače byla výdrž jeho baterie. Pohybovala se mezi třemi a čtyřmi hodinami hraní a bylo tak třeba

ho často nabíjet. Koupit bylo možné i konvenční ovladač mající standardní ovládací prvky a rozložení [109].

## 2.9 Devátá generace

Současná generace konzolí pokračuje v kolejích generace minulé. Konzole Sony a Microsoftu sdílí velmi podobný hardware. Nintendo se snaží získat přízeň inovativními nápady místo nejlepšími specifikacemi hardwaru. Je kladen větší důraz na služby než v jakékoliv předchozí generaci. Tato generace dohání hardware běžného herního počítače a přechází na SSD místo tradičních pevných disků.

### 2.9.1 Nintendo Switch

Neúspěch Wii U byl pro Nintendo obrovský problém. Společnost vykazala ztrátu ve výši 500 milionů dolarů. Nový projekt musel být úspěšný. Selhání předchozí konzole naštěstí neznamenal neochotu dále razit svoji vlastní cestu s inovativními koncepty. Pro návrh nové konzole naopak bylo zapojeno ještě více různých talentů uvnitř Nintendo. Rozhodli se čerpat i ze zkušeností, které nasbírali s čistě přenosnými konzolemi. Bylo jasné, že veleúspěšné Nintendo Wii dokázalo oslovit i skupinu lidí, kteří se nepočítali mezi skalní fanoušky značky či dokonce mezi oddané hráče. Proto se při vymýšlení konceptu nové konzole snažili analyzovat, co stálo za úspěchem předminulého systému. Ačkoliv bylo Wii U komerčně neúspěšné, je téměř jisté, že zkušenost s vývojem a přijetím jeho ovladače sloužila jako odrazový můstek pro koncept nové konzole [110, 111, 112].

Možnost hrát hry určené pro velkou konzoli pouze na ovladači byla lákavá. Problém spočíval v nutnosti být blízko konzoli, kvůli nárokům na signál při přenosu videa bezdrátově. Dalším faktorem, který ovlivnil podobu této konzole, byla snaha o možnost jednoduché hry dvou hráčů. Již první Nintendo Entertainment System disponoval dvěma ovladači, se snahou zapojit do hry více než jednoho člověka. Nintendo pojmenovalo svoji novou konzoli Switch (obr. 27). Název měl vystihovat v čem je unikátní. Je jí totiž možné používat jako přenosnou konzoli, ale i připojit do dokovací stanice, kde se chová jako klasická konzole. V době, kdy představují chytré telefony obrovskou konkurenci pro přenosné hraní, to byl riskantní krok. O to větší byla ale snaha konkurovat kvalitou titulů a exkluzivní hry byly typicky velmi kvalitní. Že se tentokrát Nintendo vydalo správnou cestou bylo zřejmé relativně brzy. Už rok po svém vydání totiž tato konzole překonala svého předchůdce počtem prodaných kusů [110, 111, 112].

Nintendo se opět vydalo vlastní cestou i při volbě hardwaru. Protože musí konzole fungovat i přenosně, bylo třeba pečlivě volit komponenty s ohledem na jejich energetickou náročnost. Slabá výdrž baterie by velmi snížila hodnotu tohoto zařízení pro přenosné hraní. I z tohoto důvodu zde již není patrné dědictví sahající až ke konzoli GameCube, které negativně ovlivnilo předchozí Wii U. Jediná nevýhoda je ztráta zpětné kompatibility na úrovni hardwaru. Hry z předchozích konzolí tedy musely být konvertovány pro nativní běh na nové architektuře. Nebo musela



Obr. 27: Nintendo Switch – konzole v přenosném módu (vlevo), konzole s ovladačem v dokovací stanici (vpravo). [113]

být kompatibilita zajištěna softwarovou emulací. Partnerem se Nintendo stává společnost Nvidia. Ta se totiž věnuje i návrhu ARM procesorů v kombinaci s jejich expertízou na poli počítačové grafiky [110, 112].

Řada čipů Tegra byla určena pro použití právě v mobilních zařízeních. K nalezení jsou tak v tabletech, chytrých telefonech, ale i v automobilech. Sama Nvidia nabízela zařízení Shield s čipem Tegra X1. To sloužilo jako multimediální zařízení k televizi. Systém Android umožňoval hrát hry přímo, ale hlavním cílem bylo využít Nvidia grafiky uvnitř počítače pro pohodlné hraní na televizi. Počítač tak mohl zůstat u stolu a poskytovat výkon pro běh her, zatímco Shield pouze dekodoval video. Stejný čip byl použit i pro Switch. V praxi to znamenalo, že nová konzole opět nedokáže konkurovat ostatním svým výkonem. Práci vývojářům ale usnadnily nástroje od Nvidia [110, 112].

Na této konzoli se setkáváme i s tituly, jejichž výskyt je vzhledem k omezenému výkonu překvapivý. Studia jako Panic Button se s architekturou dobře seznámila a díky mnohým technikám pro zlepšení výkonu dokázala přenést tituly s minimálními kompromisy proti velkým konzolám. Konkrétně je často využíváno dynamické rozlišení, zkrácení vzdálenosti pro vykreslování detailnějších modelů a případně úpravy herních map pro rozdělení větších oblastí na méně náročné části. Při zapojení do dokovací stanice také není třeba brát ohled na výdrž baterie. Konzole tak může dosáhnout vyšších taktů a typicky pak poskytuje pro televizi vyšší rozlišení. Hry jsou distribuovány na speciálních paměťových kartách nebo digitálně [110, 112].

Krom vlastnosti hybridního používání jako domácí i přenosné konzole, je možné od těla zařízení oddělit i ovladače. Konzole pak vypadá jako menší tablet. Ze stran jsou drážky, které zajišťují bezpečné uchycení obou polovin ovladače. Obě části lze používat bezdrátově a nezávisle na sobě. Také existuje příslušenství, které



rukojetmi zlepšuje ergonomii a zároveň po připojení ovladačů dobíjí jejich baterie. Ovladačům byla věnována velká pozornost. I přes jejich malou velikost obsahují mnoho funkcí. Pro hru dvou hráčů není třeba nosit s sebou další ovladač, protože se obě poloviny můžou chovat jako individuální ovladače. Zachována byla také schopnost snímat pohyb ovladače. Novinkou je zde haptická odezva. Místo již standardních vibrací je zde schopnost generovat mnohem přesnější impulzy. Nintendo to demonstrovalo simulací pocitu držení sklenice s několika ledovými kostkami, kde měl být cítit pohyb každé individuální kostky. Na této funkci staví především hry exkluzivní pro tuto konzoli [110, 112].

Nintendo Switch Lite je verze určena pouze pro přenosné hraní a neumožňuje výstup na externí obrazovku ani nedisponuje oddělitelnými ovladači. Nahrazuje to nižší cenou. Naopak vyšší cenovku obhazuje Switch OLED. Vylepšená verze původní konzole s tělem z kvalitnějších materiálů, a především výrazně lepší obrazovkou. Místo LCD technologie, která je závislá na separátním podsvícení, je zde OLED displej. U něj je každý pixel zároveň zdrojem světla, a tak je možné každý jeden individuálně zhasnout. Výsledkem je bohatý kontrast s hlubší černou barvou a vyšší saturace barev[112].

### 2.9.2 Xbox Series S, Xbox Series X

Microsoft pokažený start své předchozí konzole nechce opakovat. Jeho nástupce se tak vydává osvědčenou cestou bez kontroverzních rozhodnutí. Naopak chce získat loajalitu svých zákazníků s novým komerčním modelem. Služby s měsíčním předplatným se stávají stále rozšířenější. Microsoft minulou generaci rozšířil svoje Xbox Live předplatné, určené k online hraní, o nový produkt. Game Pass nabízí rozsáhlou knihovnu her a je často přirovnáván k službám typu Netflix. Uživatel dostává okamžitý přístup k řadě starších her a díky zpětné kompatibilitě nejsou omezeny pouze na tituly současné. Akvizice některých herních studií potom vedla k přidání nových her už v den vydání. Snaha získat předplatitele vedla k mírně odlišené strategii ve srovnání se Sony. Tuto generaci Microsoft nabízí konzole hned dvě. Levnější Series S (obr. 28, vlevo) útočí agresivní cenou, ovšem je odkázán pouze na digitální distribuci. Ta zajistí rychlou návratnost ztráty při prodeje samotné konzole. Výkonnější Series X (obr. 28, vpravo) je cenově postaven na úroveň konkurence a nabízí možnost hrát i fyzické kopie her. V současné době jsou počty prodaných kusů obou Xbox Series konzolí a nového PlayStationu mnohem blíže než v generaci minulé [114, 115].

Hardware je opět pod taktovkou AMD. To však prošlo od minulé generace radikální změnou. Po dlouhé neschopnosti konkurovat procesorům od Intelu, má konečně architekturu, která netrpí ani výrazně nižším výkonem, ale ani přehnanou spotřebou energie. V obou konzolích tak nalézáme osm procesorových jader





Obr. 28: Microsoft Xbox Series X (vpravo), Microsoft Xbox Series S (vlevo). [113]

Zen 2. Grafický výkon zajišťuje architektura RDNA2. Obě tyto technologie nalezneme v komponentech pro osobní počítače – řada procesorů Ryzen 3000 a grafických karet RX 6000. Rozdílem zde je integrace procesorové části a takto výkonné grafické části do jednoho čipu. Levnější Series S je pochopitelně méně výkonný. K dispozici má 10 GB sdílené paměti místo 16 GB v případě Series X. Nároky na paměť stoupají s rozlišením. Protože hry pro Series S míří na nižší rozlišení, menší paměť nepředstavuje výrazný problém [116, 117].

Co se týče procesoru, rozdíl je minimální. Pouze dosahuje zanedbatelně nižších frekvencí. Výkon procesoru je tak pro zařízení v této ceně úctyhodný. Nicméně krok je to logický. Pro úspěch levnější konzole je nezbytně nutná nabídka stejných titulů jako u dražšího modelu. Z tohoto důvodu je třeba odstranit co nejvíce překážek na cestě k převedení hry z výkonnější konzole. Při optimalizaci titulů na míru hardware je daleko snazší se přizpůsobit slabšímu grafickému výkonu než pomalejšímu procesoru. Obzvláště u her s otevřeným světem, kde herní logika běžící na procesoru obstarává simulaci celého města, není snadné izolovat funkce, které nejsou nezbytné. Zatímco u práce grafického čipu je škálovatelnost mnohem prostší. Výkon navíc lze získat pouhým snížením rozlišení nebo grafických efektů. Zvolení méně náročné metody osvětlení, odlesků nebo vyhlazování hran ovlivní pouze vizuální stránku. Navíc jsou rozsáhlejší možnosti volby grafických nastavení většinou součástí vývoje verze pro počítače. Snížení výkonu se tedy dotklo hlavně grafické části čipu. Teoretický výkon je dokonce o něco nižší než u výkonnějšího Xbox One X z dvojice konzolí předchozí generace [116].

Vyjádření výkonu v operacích za sekundu však nutně neodhalí pokrok v jiných oblastech. I levnější z nových modelů má nyní hardware umožňující ray tracing. Tato výpočetně náročná metoda simuluje realistické šíření světla. V osobních počítačích již k vidění byla. Její dopad na výkon ale prozatím zabraňuje masovému rozšíření. Realističtější nasvícení není jedinou výhodou. Pro vývojáře by úplný přechod na globální osvětlení pomocí této technologie, znamenal eliminaci času stráveného manuálním laděním každé oblasti pomocí starších metod osvětlení. Některé hry tuto metodu používají pouze pro realističtější stíny při zachování původního osvětlení scény [116, 117].

Novinkou je v této generaci také opuštění klasických pevných disků. Flash paměti postupně klesají na ceně, takže se i do striktnějšího rozpočtu na výrobu levnějšího Series S vešlo SSD. Vyšší cenu tohoto druhu úložiště ospravedlňuje jeho několikanásobný nárůst rychlosti čtení i zápisu. Vývojáři se mohou pustit do ambicióznějších projektů. Vyšší rychlost úložiště znamená mít v jeden čas k dispozici rozmanitější paletu pro vytváření herní scény. A to dokonce bez daně v podobě nároků na místo na disku. Kvůli zpoždění, které by vznikalo v případě čtení ze vzdálených míst na pevném disku, existovala praxe duplikování dat. Proto se podle potřeby opakovala často využívaná na disku hned několikrát. Bez nutnosti uchylovat se k takovému řešení se redukoval počet nadbytečných dat. Absence pohyblivých součástí je pak vítaná i v případě častého přenášení konzole [116, 117].

Ovladače doznaly proti minulé generaci minimálních změn. Jedna větší změna se udála pod povrchem. Ruku v ruce s nabídkou předplatného Game Pass jde i snaha dostat své služby mimo platformu Xbox. Microsoft spustil xCloud, umožňující hrát hry skrze stream videa s nízkou odezvou. Výpočetní výkon poskytují servery s hardwarem na úrovni Series X. Služba je dostupná na mobilních zařízeních, počítačích a některých chytrých televizích. Ovladače tak nově mají možnost používat jak proprietární bezdrátový protokol, tak univerzální Bluetooth. Ten umožňuje ovladače připojit k ostatním zařízením právě kvůli pohodlnému ovládání her z cloudové služby [117].

### 2.9.3 PlayStation 5

Při vývoji nové konzole Sony opět sbíralo zpětnou vazbu vývojářů. Nejčastější požadavek se týkal rychlejšího úložiště. Nový PlayStation (obr. 29) je zpětně kompatibilní pouze se svým předchůdcem. Na rozdíl od Xboxu si tedy ještě starší hry užijí pouze předplatitelé cloudové služby PlayStation Now. Sony končilo minulou generaci v silnější pozici. Poměr prodaných konzol již pro Microsoft není stejně nepříznivý, ale PlayStation 5 s 30 miliony stále vede [118, 119, 120].

Rozdíl proti konzolám Microsoftu zůstává podobný jako v minulé generaci, tedy odlišnosti v konfiguraci hardwaru sice existují, ale opět sdílí stejné stavební

kameny. Procesor tedy má osm Zen 2 jader a grafická část používá RDNA2 architekturu. I Sony se snaží nabídnout levnější model konzole. Na rozdíl od Xboxu je nižší ceny dosaženo odebráním mechaniky na Blu-Ray disky. Nižší výrobní náklady sice nepokryjí cenový rozdíl mezi modely, ale absence mechaniky zajišťuje budoucí příjmy z prodeje digitálních kopií her. Rozdílný přístup leží i v cestě k dosažení grafického výkonu. Grafická část čipu obsahuje méně jednotek než Xbox Series X, ale to vynahrazuje agresivnější dynamickou frekvencí. Ve výsledku má sice Xbox teoreticky až 20% grafického výkonu navíc, v praxi nebývá jedna nebo druhá konzole konzistentně lepší. Záleží, jak dobře je daný titul využívá [118, 120].



Obr. 29: Sony PlayStation 5 – konzole s ovladačem. [113]

Pevný disk zde také nahradilo SSD, nicméně celý systém úložiště je nestandardní. Úložiště i čipy určené k jeho obsluze byly navrženy speciálně pro použití v konzoli s cílem minimalizovat latenci při přístupu k datům. Přítomný je i dedikovaný hardware pro rychlou dekompresi dat. Při uvažování dekomprese pak vyroste možný objem přenášených dat z 5.5 GB/s na až 9 GB/s. Vývojáři nemusí tento proces implementovat sami, protože je automaticky používán oficiálními nástroji pro vývoj [118, 119, 120].

Přímo v hlavním čipu nově sídlí dedikovaná jednotka pro zpracování prostorového zvuku. V zásadě je velmi podobná jednotkám uvnitř grafické části. Oddělená zde je, aby vývojáři nebyli nuceni alokovat výkon, který by mohl být použit pro lepší vizuální zpracování her. Přidává podporu mnoha virtuálních zdrojů zvuků pro vytvoření lepší separace, na základě směru odkud se zvuk šíří [119, 120].

Nové konzole Sony i Microsoftu přináší podporu displejů s variabilní obnovovací frekvencí. Typické obrazovky se obnovují s frekvencí 60 Hz. Když není synchro-

nizována snímková frekvence hry s frekvencí obrazovky, mohou se zobrazit najednou části více snímků, mezi kterými je vizuálně rušivý předěl. Řešením bylo uzamknutí snímkové frekvence hry na obnovovací frekvenci obrazovky, nebo její polovinu. To nebylo ideální v situaci, kdy je žádoucí mít co nejnižší odezvu a také v případech, kdy byl běh hry nestabilní. Variabilní obnovovací frekvence však dovoluje dynamicky měnit frekvenci obrazovky v závislosti na počtu snímků, který v daném okamžiku hardware dokáže produkovat. To eliminuje necelistvé snímky na obrazovce bez velkého množství přidané latence a pomáhá hrám s nestabilní snímkovou frekvencí zachovat dojem větší plynulosti obrazu. I díky této funkci bývají nyní hry typicky vybaveny možností volby mezi režimy upravující nastavení hry pro největší kvalitu grafiky nebo naopak pro vyšší snímkovou frekvenci [118].

Ovladač již nenesení označení DualShock, jak tomu bylo u všech předchozích generací. Nový název DualSense má prozrazovat zaměření na haptickou zpětnou vazbu, podobně jako ovladače pro Nintendo Switch. Sony nahradilo vibrační motorky za aktuátory s pohyblivými magnety. Ve spouštích jsou navíc malé elektromotory, které dovolují měnit odpor při stisku. Například při natahování luku ve hře je tak třeba vyvinout větší sílu. V ovladači je stále reproduktor, který je nyní doplněn mikrofonom. Skrze ovladač tak lze komunikovat s ostatními hráči. Ovládací prvky zůstávají stejné a další změny se týkají pouze tvaru a vzhledu těla ovladače [118, 119, 120].

## 3 Přístup k vývoji her v čase

Po zařízeních, kde bylo chování hry dané čistě návrhem hardwaru, se přihlásilo o slovo programování. V dobách Atari VCS byla role vývojáře velmi odlišná od té dnešní. Jeden člověk byl typicky zodpovědný za celý proces vývoje. Za dnešními velkorozpočtovými hrami stojí týmy čítající i více než tisíc členů. Rozdělení práce mezi tolika lidmi s sebou pochopitelně nese mnohem vyšší nároky na organizaci obsahu a nutnost paralelně pracovat na různých částech hry. Čas potřebný pro vývoj her také vyrostl a z několika měsíců je nyní několik let. V této kapitole budou představeny změny, které herní vývoj zaznamenal od dob první úspěšné herní konzole.

### 3.1 První herní konzole

První úspěšnou vlnu konzolí nejlépe reprezentuje Atari VCS. Práce herního vývojáře zahrnovala vymyšlení celého konceptu pro novou hru, vytvoření grafiky i zvuků, a samotné programování. Vzhledem k velmi omezenému hardwaru a malým pamětem bylo použití vyššího programovacího jazyka jako je C, vyloučeno. Vývojáři tak museli používat assembler k příslušnému procesoru. Byla tedy nutná znalost specifických instrukcí pro daný hardware a jeho vnitřní fungování. Atari nedistribovalo žádnou sadu nástrojů pro vývoj a ladění chyb bylo pouze na schopnostech vývojáře. Kód samotného programu byl součástí stejného bloku paměti jako data, která byla připojená na konci. Znovupoužití kódu naskrz hrami bylo minimální [121].

### 3.2 Vznik týmů herních vývojářů

S příchodem komplikovanějších her na první konzoli od Nintenda rostla časová náročnost jejich vývoje. Programování stále probíhalo v assembleru, ovšem Nintendo již poskytovalo nástroje pro vývoj, které usnadnily proces odstraňování chyb. Na vývoji her se nyní typicky podílí vyšší jednotky lidí. Vznik Super Mario Bros je připisován sedmičlennému týmu, z něj se ale programování věnovali dva lidé. Zbytek týmu se věnoval grafice, hudbě a produkci nebo vedení projektu. S dalším nárůstem velikosti týmu při vývoji pro novější Super Nintendo, lze pozorovat vznik specializovaných rolí programátorů. Bylo žádoucí, aby byla práce smysluplně rozdělena a dva lidé nepracovali zároveň na stejné funkci, což by vedlo ke konfliktům a ztrátě efektivity. Na Super Mario World se podílelo celkem 23 lidí. Programátoři měli rozdělenou práci tak, že se někdo zvláště věnoval kódu pro samotného Maria, další pozadí jednotlivých úrovní a někdo jiný zase mapě, která sloužila jako obrazovka pro výběr úrovní a programování herních objektů mělo také vyhrazenou roli. Při vývoji Chrono

Trigger, jedné z neznámějších her pro tuto konzoli, se počet členů týmu již vyšplhal k první stovce [122, 123, 124, 121].

### 3.3 Cesta k herním enginům a přechod do 3D

Vývoj velkých her začal být bez pořádné organizace takřka nemožný. Organizace lidských zdrojů ale musela jít ruku v ruce s organizací herního obsahu. Praktika kombinace programu i dat v jednom celku tak musela být nahrazena řešením, které je rozděluje, a tak usnadňuje práci na jednotlivých aspektech hry. Takové oddělení umožňuje i jednodušší znovupoužití kódu. Teoreticky bylo možné vytvořit více her s použitím stejné herní logiky pouhou náhradou zvuků a grafiky za jiné. Rozdělení do menších celků se časem začalo týkat nejenom herních dat, ale i zdrojového kódu samotného. Takové dělení opět poskytovalo větší možnosti použít části předchozích projektů jako kostru nové hry podobného žánru. Tento přístup vedl ke vzniku herních enginů. Místo pevně daného chování hry bylo definováno v separátních souborech. Byly vyvíjeny herní systémy aplikovatelné na řadu her. Na začátku se však jednalo o přísně střežená tajemství, kvůli obavám studií z možného zneužití jejich technologie konkurencí [121].

Přechod do třetí dimenze s vydáním prvního PlayStationu nutně neznamenal velký nárůst v množství programátorů. Toto období s sebou přineslo také použití vyšších programovacích jazyků. Použití assembleru bylo vyhrazeno pro specifické funkce, kde bylo nezbytně nutné získat co nejvíce výkonu navíc. Zbytek již mohl využít přívětivějšího jazyka C. Tým stojící za hrou Crash Bandicoot byl svojí velikostí srovnatelný se hrami pro Super Nintendo [125].

Postoj k chránění herních enginů se postupně měnil. Dobrým příkladem je extrémně populární hra DOOM, která díky možnosti modifikací ze strany uživatelů obdržela záplavu různých nových úrovní či zbraní. U fanouškovských projektů ale nezůstalo a Doom engine se objevil i v několika komerčních projektech jako základ pro zcela odlišné hry. Quake, další nesmírně vlivná hra od id Software, pokračovala v tomto trendu. Nové verze enginu dostaly jméno id Tech a byly licencovány pro takové značky jako je Half-Life nebo Call of Duty, kde byly použity v modifikované formě [126].

Dnešní enginy nabízí pokročilejší nástroje, které umožňují například přímo tvorbu herních dat a přípravu modelů, animací či zvuků. Některé mají i přidružené obchody, kde je možné tyto zdroje zakoupit. Obstarávají proces interakce s grafickým programovacím rozhraním a pro vývojáře tak není nutné se zabývat samotným vykreslováním grafiky. Do rukou enginu je možné svěřit i simulaci fyziky nebo umělou inteligenci. Pro psaní vlastní funkcionality je typicky používán jazyk C++. Často je ale k vidění i podpora skriptovacích jazyků, které usnadňují a urychlují vývoj. Jejich

použití je také jednodušší pro vývojáře, kteří nejsou primárně programátoři. Tyto výhody však přichází za cenu výkonu. Populární skriptovací jazyky jsou Python a Lua [126].

### 3.4 Nezávislá studia a rostoucí náročnost vývoje

S příchodem konzolí jako PlayStation 2, GameCube a Xbox se počet programátorů až zdvojnásobil. A právě během této generace již byly nasazovány licencované enginey. Zdaleka nejrozšířenějším byl v této době Renderware. Za jeho úspěchem stojí multiplatformní kompatibilita, takže vývoj pro několik konzolí zároveň byl mnohem snazší. Psaní programu využívajícího rozhraní poskytované knihovnamy z RenderWare, místo těch od výrobce konzole, mělo typicky zkrátit trvání vývoje o šest měsíců až rok. Druhá verze Unreal Engine byla obohacena o podporu pro všech tři konzolí této generace a využívaly ji stovky her [127, 128].

Ačkoliv se zdvojnásobení počtu vývojářů mezi érami prvního a druhého PlayStationu může zdát jako velký nárůst, až s nástupem HD televizorů a novějších konzolí zaměřených na vyšší rozlišení byl opravdu strmý. Zatímco dříve bylo programátorů typicky méně než dvacet, u titulů pro PlayStation 3 a Xbox 360 se blížil i ke stovce. Rostoucí náklady na vývoj tak znamenal, že se menší studia uchýlila spíše k technicky méně ambiciózním titulům. Právě během tohoto období se způsob vývoje velkých titulů úplně rozešel s minulými generacemi. Díky rostoucí popularitě digitální distribuce, kde nebyla třeba podpora velkého vydavatele, ale mohli dosáhnout úspěchu i jednotlivci. Mnoho menších studií začalo využívat engine Unity, který umožňuje vývoj rovnou i pro rostoucí trh s hrami pro mobilní zařízení se systémy iOS a Android. Mezi další populární enginey se v tomto období řadil Unreal Engine 3, idTech 4, CryENGINE 3 nebo Frostbite. Licencování již hotového engineu může pomoci výrazně snížit dobu vývoje i náklady. Není výjimkou, že vývoj engineu samotného zabere více než pět let [129, 130].

### 3.5 Současnost

Situace nyní pokračuje ve stejných kolejích. Hry s nejrozsáhlejšími herními světy a nejpokročilejšími grafickými technologiemi si žádají čím dál větší počty vývojářů. Dobrým příkladem, jak náročný může být vývoj her považovaných za technologickou špičku v oboru, je Red Dead Redemption 2. Vývoj hry trval přibližně 7 let. Počet programátorů podílejících se na vývoji přesahuje 200 a celý tým sestával z celkem téměř 2 000 členů. Čím dál realističtější grafická stránka her vyžaduje mnohem více práce. Od textur s vyšším rozlišením, přes daleko komplexnější 3D modely až po uvěřitelnější animace postav a obličejů. Na pohled fotorealistická scéna by velmi



rychle ztratila svoje kouzlo, kdyby se po ní postavy pohybovaly nepřirozeně. Do herního vývoje se tak zapojují i herci, kteří díky snímání pohybu vdechují postavám na obrazovce život [131, 132, 133, 134].

Nezávislá studia mají na výběr z velkého množství možností. Stále zůstává populární engine Unity. S novým obchodním modelem přišel i Unreal Engine, který dovoluje používání zcela zdarma a poplatky jsou vybírány až od relativně vysokého obrátu. Pro menší zejména 2D tituly jsou populární GameMaker Studio, RPGMaker a Python knihovna PyGame [132].

## 3.6 Objektově orientované programování

S růstem komplexity her jsou nezbytné vlastnosti kódu jako je flexibilita nebo jeho znovupoužitelnost. Pro pozdější opravné aktualizace je důležitá i jeho snadná údržba. Nejpopulárnějším programovacím paradigmatem se v herním vývoji stalo objektově orientované programování [135].

### 3.6.1 SOLID

Dodržování určitých zásad při objektovém návrhu dokáže zajistit tyto žádané vlastnosti a zlepšuje i čitelnost kódu. Tyto principy popsal ve svých pracích legendární programátor Robert C. Martin, a jsou pojmenovány zkratkou SOLID. Podle single responsibility principle pravidla má mít každá třída, popř. metoda právě jednu specifickou zodpovědnost. Díky tomu je kód čitelnější a zabraňuje se tak nežádaným vedlejšími efekty v případě budoucích změn. Další pravidlo – open closed principle – se týká modifikace tříd. Ty by měly být stavěny tak, aby se jejich funkce dala rozšířit bez upravování jejich základního chování. Dodržováním tohoto pravidla se zabraňuje situaci, kdy je po změně jedné třídy nutné upravit všechny další, které jsou na ní závislé. Pravidlo Liskov substitution principle říká, že kdekoliv je použita určitá třída, musí program fungovat stejně i v případě, že ji nahradí její potomek, který z ní dědí. Dodržováním tohoto principu zaručuje nahraditelnost jednotlivých komponent systému bez rozbití kompatibility se zbytkem a předejití nežádaných vedlejších účinků případných změn. Předposledním pravidlem je interface segregation principle, podle kterého nemá být žádný kód závislý na metodách, které potom nepoužívá. Rozhraní je vhodné rozdělit do několika menších, aby kód zacházel pouze s těmi, které zpřístupňují funkce nezbytné pro jeho fungování. Účel pravidla je podobný jako u principu jediné zodpovědnosti. Posledním pravidlem je dependency inversion principle. Dle něj mají být moduly vysoké úrovně, které obstarávají hlavní logiku programu, nezávislé na modulech nižší úrovně, které implementují funkce jako na příklad přístup k databázím nebo k systému souborů, síťovou komunikaci, logování. K jejich oddělení je třeba použít abstrakci. Moduly tak nebudou závislé na



konkrétní implementaci, ale obě úrovně budou závislé na dané abstrakci. Výsledkem je opět lepší znovu použitelnost jednotlivých komponent. Také se výrazně usnadní případné změny, které by při nedodržení tohoto principu zasáhly všechny závislé komponenty [27].

### 3.6.2 Návrhové vzory

Návrhové vzory obecně popisují řešení často se vyskytujícími problémů. Nejedná se o konkrétní algoritmus, ale spíše o koncept nebo šablonu, kterou lze přizpůsobit na míru konkrétní situaci. Některé návrhové vzory, známé z obecného softwarového vývoje, jsou dobře aplikovatelné i v herním vývoji. Nejčastěji vyskytujícími se vzory jsou command, observer, prototype, singleton a state [135].

#### Command

Tento návrhový vzor slouží pro práci s požadavky. Z požadavku udělá samostatný objekt, do kterého jsou zapouzdřeny všechny potřebné informace k jeho provedení (metodu, její argumenty a objekt který ji implementuje). Odděluje objekty, které požadavky vytváří od těch, které je provádí. Dovoluje příkazy řadit do fronty, zpozdit je nebo vrátit zpět [136, 137].

#### Observer

Tento vzor dovoluje specifikovat komunikaci mezi sledovanými a sledujícími objekty. Sledovaný objekt notifikuje sledující objekt o změnách v jeho stavu. Je implementován seznam objektů, které budou o změně informovány. Ten lze libovolně rozšiřovat o nové členy, nebo je odebírat. Návrhový vzor se používá v situacích, kdy je třeba na základě změny jednoho objektu modifikovat i několik dalších [136, 137].

#### Prototype

Tento návrhový vzor slouží pro vytváření kopií existujících objektů. Proces vytváření kopie je delegován přímo na kopírované objekty a odstraňuje závislost na třídě objektu. Kopírování bez tohoto vzoru by spočívalo ve vytvoření nového objektu stejné třídy a zkopírování všech jeho atributů z původního objektu. Tento postup je závislý na znalosti třídy objektu a nefunguje s privátními atributy, které jsou dostupné pouze uvnitř objektu. Tento návrhový vzor tedy spočívá v implementaci metody pro kopírování objektů do jejich třídy [136, 137].

#### Singleton

Tento návrhový vzor slouží k vytvoření objektu, který bude sdílený s různými částmi kódu. A to bez opětovné tvorby objektu a riziku ztráty informací uvnitř. Daná třída má pouze jednu jedinou instanci a dovoluje globální přístup k ní. Na rozdíl od globálních proměnných je ale chráněna před přepsáním. Pro zajištění jediné instance je třeba skrýt konstruktor třídy, aby ho nemohly použít ostatní objekty. Místo skuteč-

ného konstruktoru je používána speciální metoda, která objekt poprvé vytvoří a při následném volání již pouze vrací existující instanci [136, 137].

### **State**

State je podobný konceptu konečného automatu. Účelem tohoto návrhového vzoru je dovolit objektu změnit svoje chování na základě stavu programu, aniž by změnil svoji třídu a vyžadoval mnoho if-else podmínek. Mnoho podmínek je nežádoucí a obzvláště problematické s rostoucím počtem možných stavů a na nich závislých chování. Logika pro rozdílné stavy je zapouzdřena ve vyhrazených třídách [136, 137].

## 4 Bližší pohled na fungování grafiky v čase

V následující kapitole bude podrobnější, avšak ne kompletní rozbor fungování významného zástupce éry dvourozměrných her, začátku éry trojrozměrných her a pohled na současné technologie.

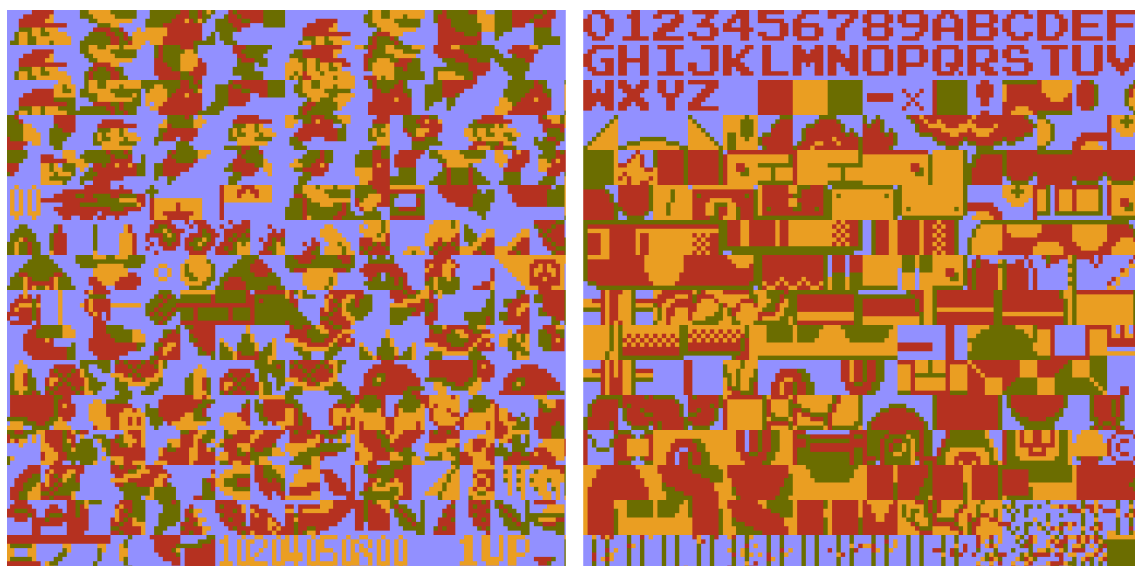
### 4.1 Nintendo Entertainment System (NES)

Na rozdíl od dnešních grafických karet s programovatelnými shadery má Picture Processing Unit (PPU), grafický čip NES, pevně definované grafické operace. Kvůli vysokým cenám paměti konzole neoperuje s vyrovnávací pamětí, která by obsahovala kompletní snímek. Je navržena pro použití s katodovými televizemi a fungování grafického čipu je synchronizováno s elektronovým svazkem. Klíčem k porozumění jeho fungování je struktura paměti s grafickými daty. Paměť lze rozdělit na čtyři hlavní části.

První strukturou je pattern table (obr. 30), které jsou dvě. Obsahují základní stavební kámen grafiky v podobě čtvercových bloků o rozměru 8x8 pixelů. Nachází se na cartridge v její character ROM nebo RAM paměti. Jedna pattern table obsahuje 256 bloků. Pixel může nabývat jedné ze čtyř barev aktuálně používané barevné palety. Informace o barvě pixelu je tedy zakódována do dvou bitů (00, 01, 10, 11). Pro popsání celých 64 pixelů, které tvoří jeden blok, je třeba 128 bitů (16 bajtů). Aby s nimi mohl procesor pracovat jsou tyto dvoubitové hodnoty rozděleny na dvě sekvence binárních dat, a to podle jejich bitových pozic. Nejdříve je zapsána 8 bajtová sekvence s nižší bitovou pozicí a po ní opět 8 bajtů, které tvoří bity s vyšší pozicí.

Pro definování vrstvy pozadí (obr. 31) jsou určeny struktury s názvem nametable. Jsou to mřížky o rozměrech 32x30 buněk. Každá buňka se odkazuje na jeden 8x8 pixelový blok z pattern table. Celá obrazovka má tedy rozlišení 256x240 pixelů. Celá vrstva pozadí má však dvojnásobnou velikost v obou rozměrech. Grafický čip tedy pracuje se čtyřmi nametable strukturami. Nedostatek paměti znamená, že této schopnosti využijí jenom cartridge, které rozšíří video paměť konzole. U ostatních her je používána technika zrcadlení, kdy spodní polovina vrstvy s pozadím pouze odkazuje na stejné data jako polovina horní. Poslední bajty každé nametable jsou vyhrazeny pro attribute table. Ty specifikují, jakou barevnou paletu má používat každá z buněk nametable.

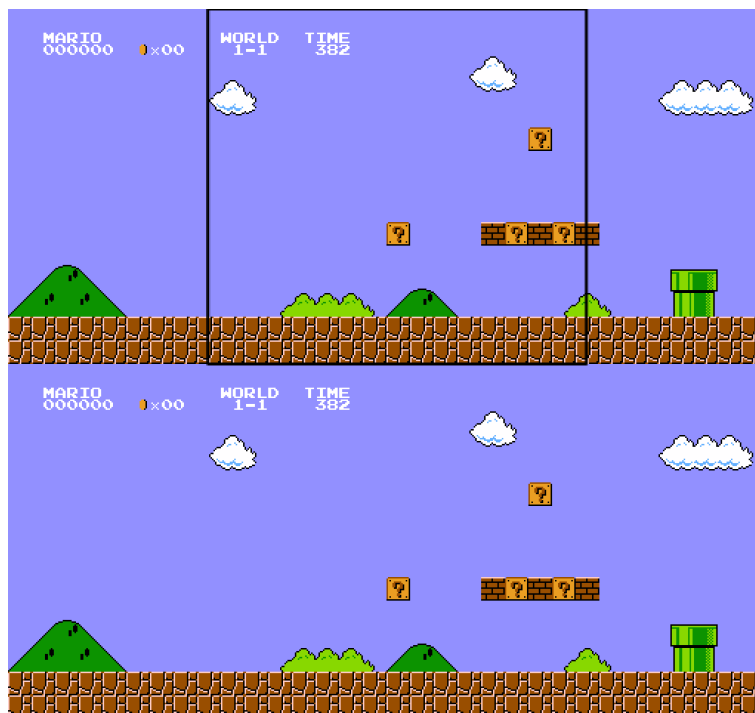
Pro barevné palety je pak vyhrazeno také zvláštní místo. Grafický čip je schopen reprodukovat více než 50 různých barev, nicméně nelze používat všechny v jeden okamžik. Paměť pro definici momentálně aktivních palet jich dovoluje používat celkem osm současně. Z toho jsou čtyři vyhrazeny pro vrstvu popředí a čtyři pro vrstvu



Obr. 30: Pattern table ze hry Super Mario Bros. [138]

pozadí. Každá paleta definuje 4 barvy. Ovšem první z nich je interpretována jako barva pozadí, která nebude zobrazena a chová se průhledně.

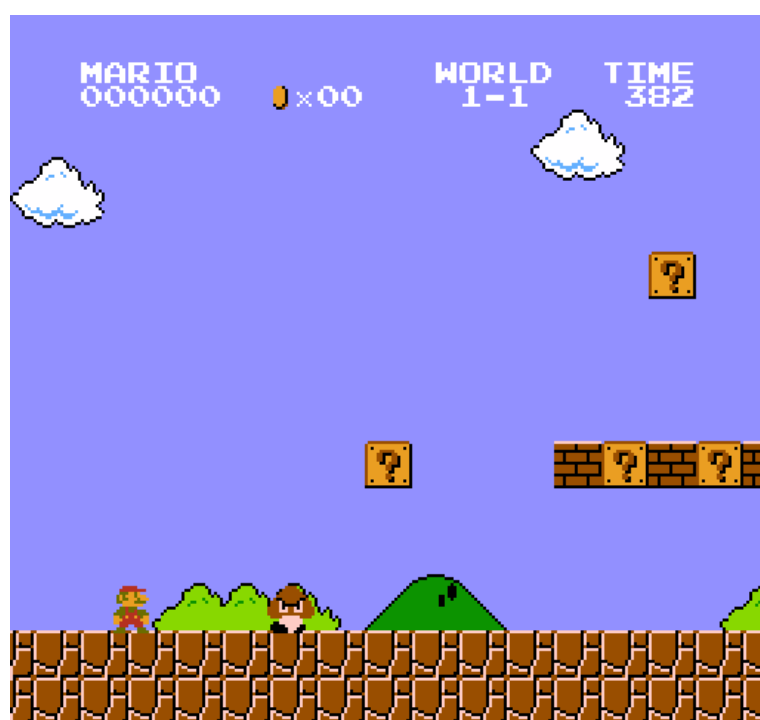
Vrstva popředí (obr. 32), která typicky obsahuje postavu hráče, nepřátel nebo herní předměty, používá sekci paměti s názvem object attribute memory. Ta obsahuje data až o 64 spritech. Mezi nimi jsou informace o tom, které bloky z pattern table je třeba použít. Dále obsahuje souřadnice spritu, vybranou barevnou paletu a bity určené k ovládní případného zrcadlení spritu. Výslední snímek obsahující popředí i pozadí je na obr. 33 [29, 139, 140].



Obr. 31: Vrstva pozadí s vyznačenou velikostí obrazovky ze hry Super Mario Bros. [138]



Obr. 32: Vrstva popředí (barevně) a pro ilustraci vrstva pozadí (černobíle) ze hry Super Mario Bros. [138]

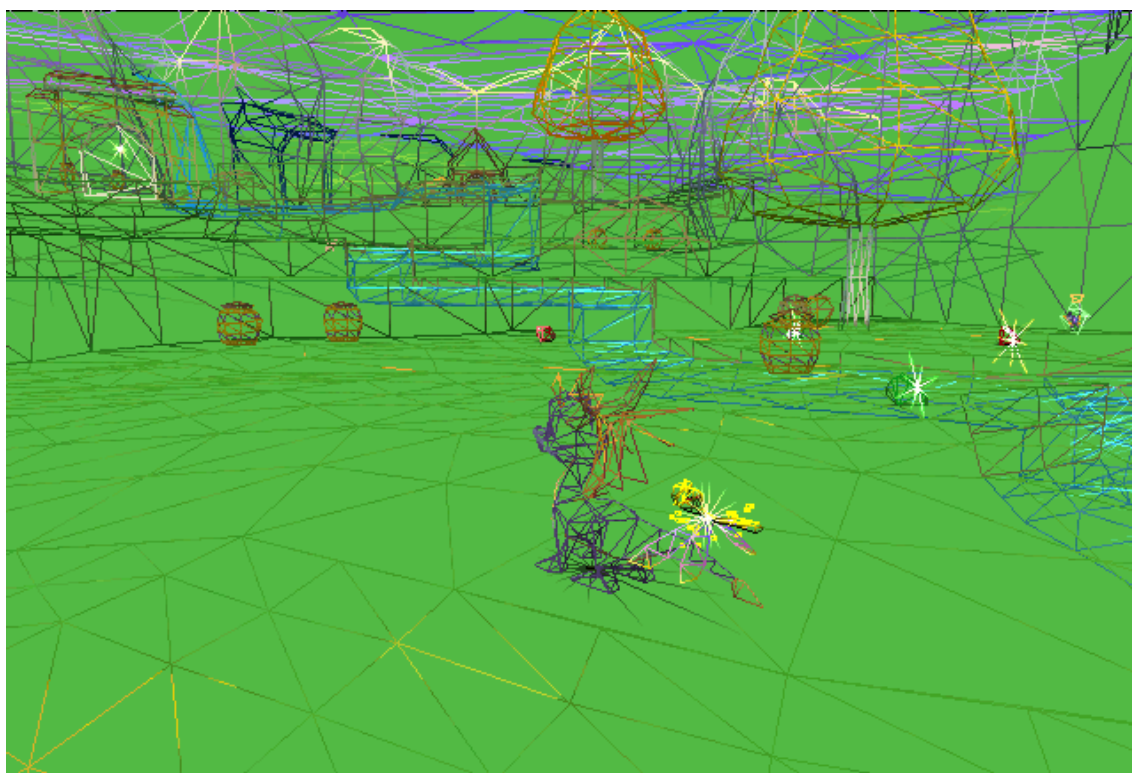


Obr. 33: Výsledný snímek ze hry Super Mario Bros. [138]

## 4.2 Sony PlayStation

Video paměť o velikosti 1 MB procesor naplní potřebnými daty pomocí DMA. Jsou v ní uložena data potřebná pro vykreslení finálního snímku grafickým čipem. Patří mezi ně matice pixelů (frame buffer) na které se pracuje při aplikování efektů a textur, informace o geometrii, i textury samotné.

Celý proces vykreslování herní grafiky začíná tím, že procesor odešle data o geometrii (obr. 34) grafickému čipu. Tyto příkazy určují způsob a místo vykreslení základního geometrického prvku – trojúhelníku. Místo určují celočíselné X a Y souřadnice, označující střed pixelu na pracovní matici. Po přijetí je stěžejní zjistit, jestli bude geometrie viditelná. Pro předejití plýtvání výkonem se musí přeskočit operace na polygonech mimo perspektivu hráče. Pro zjištění viditelnosti se používá vyhrazená datová struktura v podobě lineárního seznamu (ordering table). Obsahuje informace o tom, jak hluboko se polygon v obrazu nachází. Po provedení výpočtů na každém trojúhelníku je jeho výsledná hloubka přizpůsobena rozsahu alokovanému tomuto seznamu. Tento výsledek slouží pro indexování uvnitř seznamu. Rozsah je třeba volit s ohledem na jeho velikost v paměti, ovšem moc malý rozsah může znamenat, že budou části grafiky vykreslovány ve špatném pořadí. Po seřazení polygonů procesorem putuje seznam do grafického čipu [29].



Obr. 34: Drátový model scény ze hry Spyro the Dragon. [141]

Grafický čip tedy dostává vektory, která je pro zobrazení třeba převést na trojúhelníky a konečně na pixely. Procesu, při kterém se převádí vektorová grafika na matici pixelů, se říká rasterizace. Po vypočtení hran trojúhelníka je zjištěno, které pixely v mřížce mu odpovídají. Následuje fáze, při které je aplikováno požadované nasvícení modelů. Kvůli výkonu zde existují dvě metody. Rychlejší je nasvítit každý trojúhelník konstantní úrovní světla (flat shading). Při konstantním osvětlení však nevynikne hloubka modelu. Proto existuje Gouraudova metoda (obr. 35), při které je interpolací dosaženo kontinuálního osvětlení celého modelu. Pro ušetření výkonu také bývají stíny rovnou zakomponovány do textur (obr. 36) [142, 141, 143].



Obr. 35: Koule nasvícená ploše (vlevo) a Gouraudovou metodou (vpravo). [144]

Mapování textur na vystínované modely je poslední částí procesu. Bez ohledu na perspektivu, ze které je polygon ve výsledném obraze vykreslen, musí být textura aplikována správně (obr. 37). Řešením je přiřadit souřadnice textury ke každému vrcholu trojúhelníka a poté je interpolovat přes jeho plochu. Takže každý pixel na obrazovce má přiřazeny souřadnice odpovídající textury podle jeho relativní vzdálenosti od hran trojúhelníka po tom, co byly promítnuty do dvourozměrného prostoru. Interpolovaným souřadnicím textur se říká texely [141].





Obr. 36: Nasvícená scéna ze hry Spyro the Dragon. [141]



Obr. 37: Finální scéna ze hry Spyro the Dragon. [141]

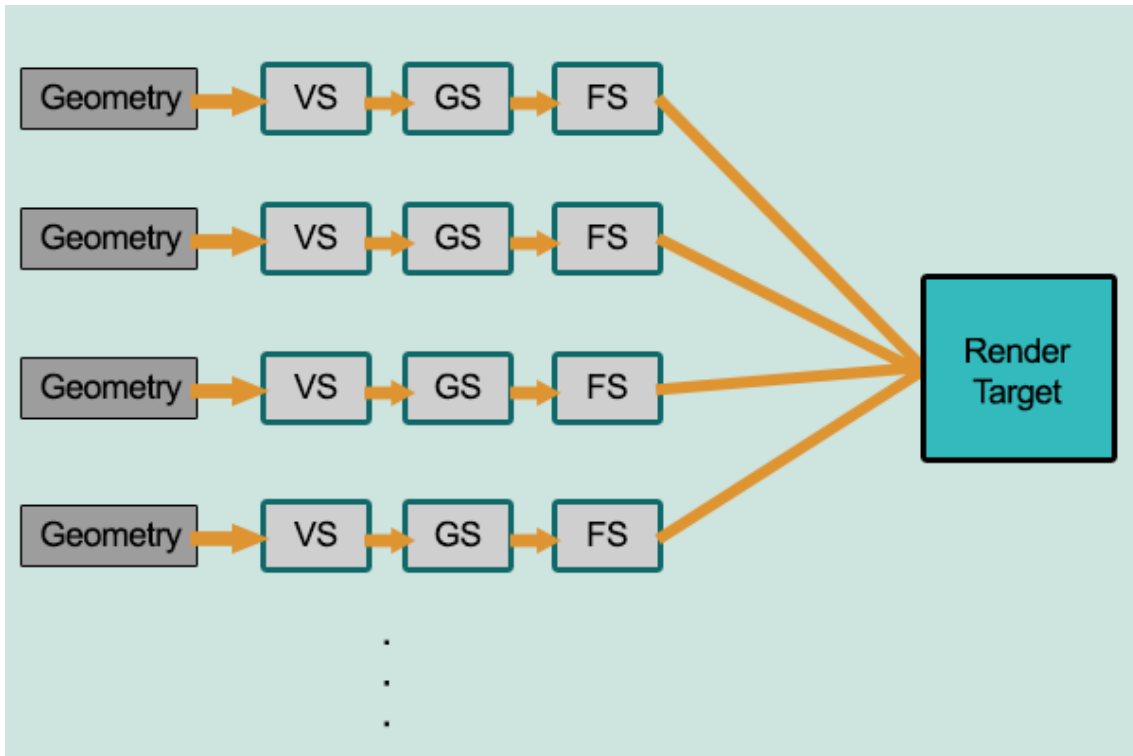


## 5 Moderní grafické technologie

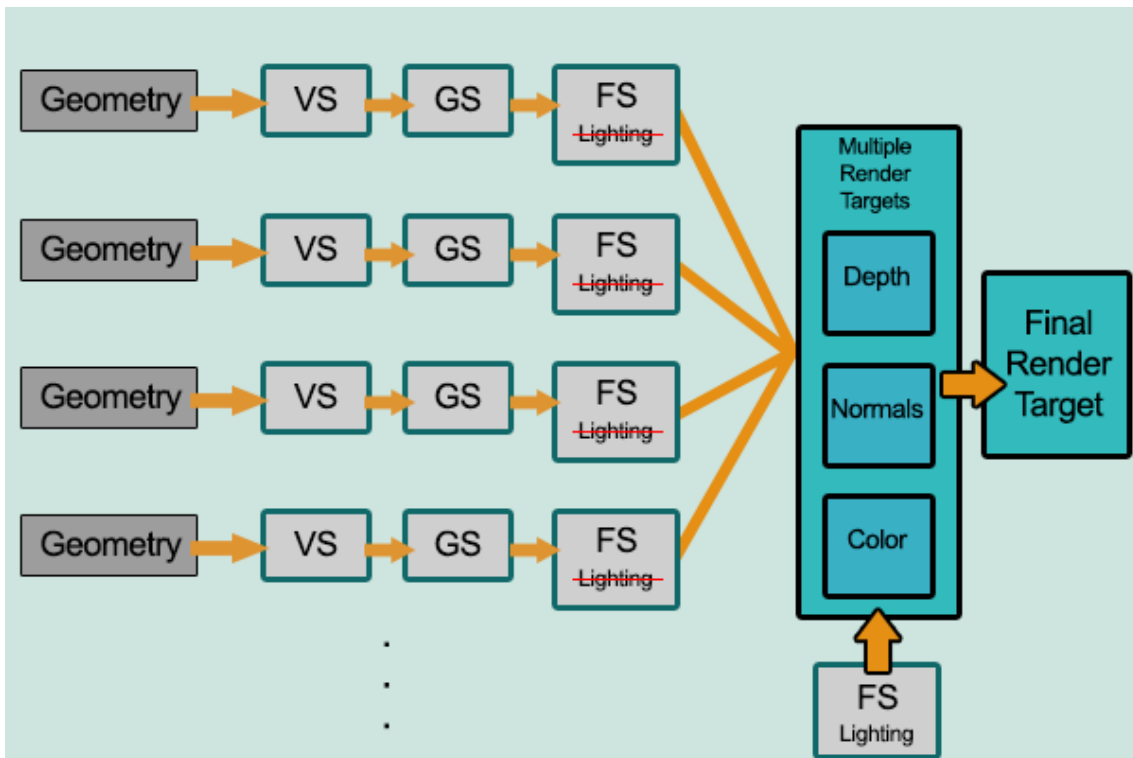
Celý proces, kterým projdou data a příkazy při vykreslování výsledného dvourozměrného obrazu scény, se nazývá grafická pipeline. Od dob prvního PlayStationu se seznam technik, používaných na této cestě, pořádně rozrostl. Schopnosti manipulovat scénou se díky programovatelným shaderům posunuly daleko za mantinely nastavené neprogramovatelnými pipeline. Dříve končily u možnosti změnit použitou texturu, nyní lze ovlivnit samotnou geometrii nebo vzhled samotného pixelu výsledného obrazu. Současné herní enginy těží z nepřehledného množství technologií používaných pro zlepšení vizuální kvality nebo výkonu. Následuje představení a ilustrace dopadu některých z nich [145]. Většina názvů grafických technologií je v původním anglickém znění tak, jak jsou obvykle používány.

### 5.1 Forward a deferred rendering

Klasický přístup k vykreslování grafiky, který používá většina her, se nazývá forward rendering. Alternativou k němu je deferred rendering. Odlišnost spočívá v jejich přístupu k nasvícení scény. Při deferred renderingu se totiž informace použité pro výpočet nasvícení každého pixelu uloží do mezipaměti. Jakmile je vykreslena celá geometrie scény, jsou teprve tyto informace použity pro další krok. Až v tomto kroku jsou provedeny výpočty samotného nasvícení a výsledkem je již nasvícená geometrie. Použití tohoto přístupu zvyšuje nároky na paměť, protože jsou do ní zvláště ukládána data o geometrii a nasvícení. Jejím přínosem je ale drastické zvýšení výkonu v případech, kdy je používáno vysoké množství dynamických zdrojů světla. Tím, že se výpočet nasvícení provádí až když je hotová geometrie, není ztracen čas u výpočtů nasvícení pro pixely, které se do finálního obrazu nepromítnou, nebo jsou natolik vzdálené od zdroje světla, kdy je jeho vliv na ně zanedbatelný. Na obrázku č. 38 lze vidět schéma celého procesu, kdy je geometrie promítnuta do scény a rozdělena na jednotlivé hrany a ty na jednotlivé fragmenty nebo pixely. Tyto části pak prochází vertex shadery, geometry shadery a fragment shadery, kde jsou zpracovány před zobrazením. Na obrázku č. 39 je potom schéma pro deferred rendering, kde je mezi výsledkem celého procesu a fází zpracování geometrie pomocí shaderů, ještě výpočet samotného nasvícení [146].



Obr. 38: Schéma forward rendering pipeline. [146]



Obr. 39: Schéma deferred rendering pipeline. [146]

## 5.2 Anizotropní filtrování textur

Filtrování textur se snaží vyřešit problém, který vzniká tím, že jsou dvourozměrné textury o pevné velikosti aplikovány na trojrozměrný model, který potom může být ve scéně zobrazován pod nepřeborným množstvím úhlů a vzdáleností. To znamená, že textura nyní zabírá různé množství pixelů ve výsledném obraze a díky úhlu se toto množství mění v závislosti na vzdálenosti od kamery. Ještě před anizotropním filtrováním bylo používáno bilineární a trilineární. Bilineární filtrování získává barevnou hodnotu výsledného pixelu v obraze pomocí interpolace, a to na základě velikosti geometrie, na které bude textura aplikována a pixelů původní textury.

Textury ale mívají několik variant lišících se rozlišením, a tedy jejich detailností. Na základě vzdálenosti objektu od kamery je mezi nimi přepínáno. Objekty blízko ke kameře budou používat nejdetailnější textury, zatímco těm vzdáleným, které na obrazovce zabírají malé místo, bude stačit mnohem nižší rozlišení. Trilineární filtrování obohacuje bilineární právě schopností interpolovat i mezi texturami rozdílných velikostí.

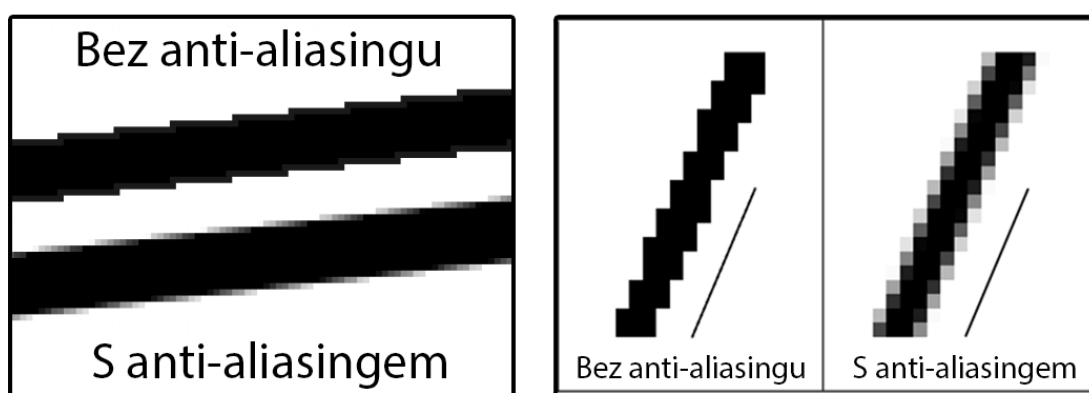
Dnes je používáno anizotropní filtrování, které bere ohled na to, jaký tvar bude polygon mít po promítnutí do dvourozměrného prostoru. Tato technologie výrazně zlepšuje vzhled textur sledovaných pod úhlem. Na obr. Č. 40 lze vidět porovnání s vypnutým a zapnutým filtrováním. Bez filtrování (levá strana) je jasně viditelný přechod mezi oblastí, kde úhel vůči kameře nesnižuje jejich kvalitu a mezi oblastí, kde textury působí rozmazaně. Proti tomu je patrné, že se zapnutým anizotropním filtrováním (pravá strana) jsou textury ostřejší i s rostoucí vzdáleností [147].



Obr. 40: Srovnání obrazu s vypnutou (vlevo) a se zapnutou (vpravo) funkcí anizotropního filtrování ze hry Red Dead Redemption 2. Srovnání vytvořeno autorem práce na základě předdefinovaných nastavení této hry.

### 5.3 Anti-aliasing

Pro vykreslení spojitě geometrie na obrazovce je nutné ji vzorkovat, a tak vyjádřit pomocí pixelů, kterých je konečné množství. Narazíme tedy na případy, kdy hrany objektů diagonálně protínají řadu pixelů, ale neměly by pokrýt celou jejich plochu. Protože pixel nelze rozdělit na menší části, odpovídá buď barvě objektu nebo barvě pozadí. To má za následek patrné schody pixelů na místech, kde by měl být hladký přechod. Tomuto jevu se říká aliasing a metodám, jak jej eliminovat, anti-aliasing. Na obrázku číslo 41 lze vidět příklad obyčejné úsečky. Aliasing zde způsobuje ostře definované schody, zatímco při použití anti-aliasingu je přechod mezi barvami plynulý a úsečka tak pro oko působí mnohem hladším dojmem [148].



Obr. 41: Příklad aliasingu na čáře. [148]

Je nutno poznamenat, že existuje nepřeberné množství metod, jak aliasing eliminovat. Volbu mezi nimi diktuje jejich efektivita při vyhlazování hran a dopad na ostatní aspekty vizuální prezentace, protiváhou je potom výpočetní náročnost. Hojně používaná metoda byla Fast Approximate (FXAA), která je sice výpočetně nenáročná, ale rychlé vyhlazení hran přináší za cenu ztráty detailů kvůli rozmazání obrazu. Jednou z nejpoužívanějších bylo dále multisample anti-aliasing (MSAA), které je náročnější a nedokáže odstranit všechny druhy aliasingu, protože je aplikováno pouze na vnější hrany polygonů. FXAA a MSAA proto byly často kombinovány.

Nyní je nejpoužívanější metoda temporálního anti-aliasingu (TAA) (obr. 42). Ta dokáže kombinovat data z předcházejících snímků, pro vyhlazení hran ve snímku aktuálním. Výsledkem je tak silný efekt vyhlazení hran. Nevýhodou je jeho vyšší nárok na výkon a také rozmazanost v pohybu. Rozmazání plyne z povahy fungování, protože akumuluje data z předchozích snímků, budou nejlepší výsledky dosaženy ve scénách, které se mění méně [149].





Obr. 42: Srovnání obrazu s vypnutou (vlevo) a se zapnutou (vpravo) funkcí anti-aliasingu ze hry Red Dead Redemption 2. Srovnání vytvořeno autorem práce na základě předdefinovaných nastavení této hry.

## 5.4 Screen Space Ambient Occlusion (SSAO)

Výraz ambient occlusion vyjadřuje jev, kdy objekt zastíní zdroj světla. Tím kolem sebe vrhá stín. Screen space je potom výraz pro metody, které čerpají z dat pro současný snímek na obrazovce. Tyto techniky tedy nerespektují směr lokálního světla, ale vychází z hloubky objektu ve scéně. Výsledkem jsou tedy stíny kolem předmětů, které podstatně přispějí k uvěřitelnosti jeho prezence ve scéně. Na obrázku 43 lze na levé straně pozorovat scénu bez SSAO, kde je osvětlení předmětů rozloženo rovnoměrně a nedochází k vytváření dojmu realistického chování světla. Na pravé straně je pak stejná scéna využívající této techniky. Přestože stíny nerespektují směr, ze kterého na ně světlo dopadá, působí scéna na první pohled přirozenějším dojmem. Objekty mají díky stínům vliv na své okolí. Opravdu realistické chování světla poskytuje až výpočetně velmi náročný ray tracing [150].



Obr. 43: Srovnání obrazu s vypnutou (vlevo) a se zapnutou (vpravo) funkcí SSAO ze hry Red Dead Redemption 2. Srovnání vytvořeno autorem práce na základě předdefinovaných nastavení této hry.



## 5.5 Screen Space Reflections (SSR)

Další výzvu představuje ztvárnění velmi lesklých povrchů. Odrazy v zrcadle nebo ve vodě by vyžadovaly vykreslování celé odražené scény znovu. To je výpočetně velmi náročné, a proto byly vyvinuty techniky, jak poskytnout iluzi odrazů s menším dopadem na výkon. Opět je využíváno screen space přístupu, kdy je čerpáno pouze z obrazových dat scény. Zjevnou limitací je tak neexistence vlivu všech objektů mimo dohled kamery a tím i nepřítomnost dat pro aplikaci efektu na okrajích obrazovky. Na obrázku X je srovnání scény bez a s použitím SSR. Na levé straně je patrná absence jakéhokoliv odrazu jasných světel na lesklé podlaze. Na pravé straně je díky SSR ztvárněn odraz jednotlivých světel. Protože se nachází v přímé viditelnosti kamery a nejsou tedy třeba data mimo obrazovku, působí efekt relativně přesvědčivě. Na obrázku 44 je již situace, která dobře odhaluje limitace tohoto přístupu. V levé polovině se horní část světel se v odrazu vůbec nevyskytuje. Pravá strana srovnání ukazuje, jak by plnohodnotné odrazy měly v této situaci vypadat. Toho je docíleno pomocí technologie ray tracing. Některé hry kombinují SSR s jinými metodami pro vytvoření odlesků. Je například možné prázdná místa vyplnit pomocí výrazně zjednodušené statické verze scény. Zde ale iluzi rozbíjí dynamické prvky jako postava hráče, které se v takovém případě odrážet nebudou [151].



Obr. 44: Srovnání obrazu s vypnutou (vlevo) a se zapnutou (vpravo) funkcí screen space odlesků ze hry Control. Srovnání vytvořeno autorem práce na základě předdefinovaných nastavení této hry.

## 5.6 Ray tracing

Zatímco předchozí technologie využívaly chytrých triků pro dosažení efektů realističtějšího nasvícení, ray tracing (obr. 45) má skutečně simulovat fyziku šíření světla prostředím. Samotný pojem je relativně široký a implementace takovéto technologie se může radikálně lišit. To samé platí pro její využití, kdy jsou dnes typicky kombinovány tradiční metody vykreslování a ray tracing, který obstarává pouze některé aspekty výsledného obrazu. Zejména takto bývají implementovány stíny nebo odlesky/odrazy. Úplné využití pro všechny aspekty nasvícení scény se označuje pojmem path tracing. Největším problémem této metody je extrémně vysoká výpočetní náročnost. Její použití v počítačových hrách se zdálo nerealistické. Zkušenosti z filmového průmyslu, kde se již úspěšně vyskytovala, byly takové, že vykreslování i jen jednoho snímku mohlo trvat i dny. Pro použití ve hrách musí být snímky generovány mnohokrát za sekundu, ideálně s konzistentními rozestupy. Fakt, že s touto technologií setkáváme ve hrách již nyní, umožnily nejen roky výzkumu a optimalizace, ale také dedikovaný hardware v nových grafických kartách. Ačkoliv tyto výpočty značně urychluje, stále je dopad na výkon značný. Grafické karty bez dedikovaného hardwaru jsou také schopny technologii používat. Běh pomocí softwaru je však ještě mnohem pomalejší. Tradiční metody mají za sebou mnoho let vývoje a vizuální přínos ray tracingu na první pohled ocení především lidé znalí limitací ostatních přístupů. Širokému rozšíření tak brání zejména dopad na výkon, se kterým se pojí i cena grafické karty potřebné pro plynulý herní zážitek.



Obr. 45: Srovnání obrazu s funkcí screen space odlesků (vlevo) a se zapnutou (vpravo) funkcí raytraced odlesků ze hry Control. Srovnání vytvořeno autorem práce na základě předdefinovaných nastavení této hry.

## 5.7 DLSS, FSR, XeSS

Právě pro snížení bariéry k bezproblémovému použití graficky náročných efektů vznikla tato kategorie technologií. Ačkoliv se principem fungování mohou lišit, jejich cíl je stejný – použít při vykreslování scény nižší rozlišení a pomocí různých algoritmů se alespoň přiblížit nativnímu rozlišení obrazovky. Právě nižší rozlišení dovoluje snímky generovat rychleji. Všechny zmíněné technologie také nabízí možnost volby z několika režimů, které ovlivňují výchozí rozlišení, a tak i získaný výkon na úkor kvality obrazu.

Deep Learning Super Sampling (DLSS) je řešení od společnosti Nvidia, které staví na hlubokém učení. Model je trénován tak, aby potlačil neduhy nižšího rozlišení v podobě nevyhlazených hran. Krom vyhlazování hran je ještě trénován pro generování dodatečných pixelů. Výstupní rozlišení je tak vyšší než vstupní. Na hluboké učení sází i Xe Super Sampling (XeSS) od společnosti Intel, na rozdíl od DLSS ale umožňuje běh i na kartách ostatních značek. Intel karty pouze disponují dodatečnými instrukcemi, které jim mají poskytnout výhodu a ušetřit více výkonu.

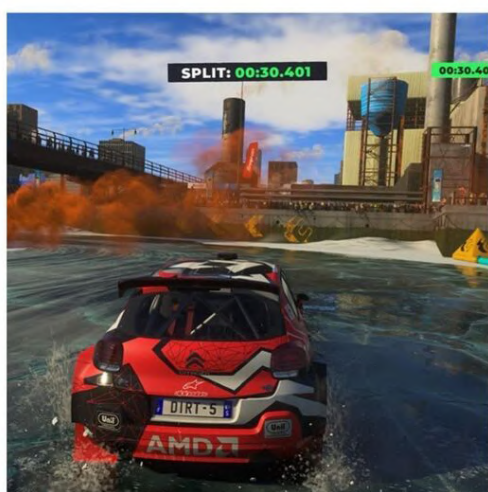
FidelityFX Super Resolution (FSR) je reakce společnosti AMD na konkurenční technologii DLSS. Místo hlubokého učení sází na Lanczosův algoritmus. Stejně jako DLSS se vyskytuje ve více verzích označených číslem. Ty se liší v přístupu k vyhlazování hran a FSR 2 tak poskytuje výrazně lepší výsledky. Technologii je také možno používat s kartami všech výrobců [152].

## 5.8 Dynamic Resolution Scaling

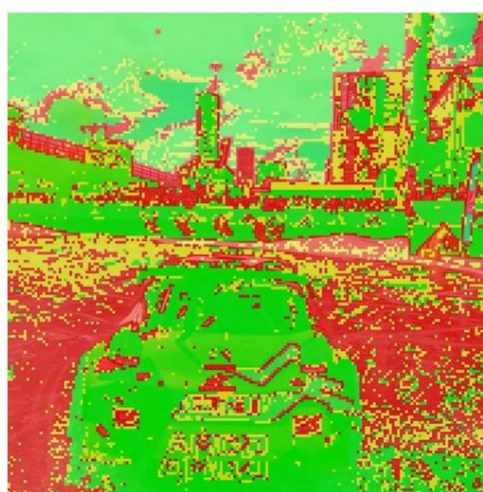
Dynamické rozlišení je používáno pro dosažení konzistentní snímkové frekvence. Podle potřeby je snižováno rozlišení, ve kterém je grafika vykreslována. Prvky uživatelského rozhraní ale zůstávají v plném rozlišení, aby nebyla snížena jejich čitelnost. Tato technika je výhodná, protože je rozlišení sníženo právě tehdy, když to dění na obrazovce vyžaduje. Obraz s nižším rozlišením je automaticky převáděn tak, aby zaplnil plochu plného rozlišení. Její implementace se různí a některé hry upravují rozlišení pouze v jedné ose. Pro dosažení optimálních výsledků je nutné tuto techniku kombinovat s účinným vyhlazováním hran, které jinak okamžitě kazí dojem prozrazením nižšího skutečného rozlišení. Dynamické rozlišení částečně nahrazují pokročilejší metody rekonstrukce obrazu jako DLSS a FSR. Stále je však používáno zejména na herních konzolích [153].

## 5.9 Variable Rate Shading (VRS)

Tato technika umožňuje vývojářům získat kontrolu nad tím, kolik grafického výkonu bude využito pro výpočty nasvícení daných částí výsledného snímku. Dříve se výpočty musely provádět na každém pixelu konečného obrazu. Ne každý pixel je ale natolik odlišný, aby bylo zapotřebí individuálního zpracování. VRS proto šetří výkonem zejména na vizuálně jednotvárných částech obrazu jako je třeba modrá obloha. Místo samostatných pixelů je tak nasvícení počítáno pro větší bloky pixelů. Pro rozpoznání takových oblastí jsou generovány informace o jasnosti, barvách nebo pohybu pixelů. Ty jsou komprimovány a vzniká mapa s barevně rozlišenými oblastmi podle jemnosti nasvícení. Příklad scény a její barevné mapy je na obrázku 46 [154, 155].



Aktuální snímek



Vstupní informace

■ Plné rozlišení      ■ Bloky 1x2 a 2x1      ■ Bloky 2x2

Obr. 46: Ukázka aktuálního snímku ze hry Dirt 5 a jeho vstupní vizuální informace pro funkci VRS. [154]



## 5.10 Nízkoúrovňová API (AMD Mantle, Vulkan, Microsoft DirectX 12)

OpenGL a starší verze Direct3D jsou vysokoúrovňová API vyvinutá s cílem být kompatibilní s velkým množstvím rozdílného hardwaru. Od již zastaralých grafických karet až po karty s nejnovějšími architekturami. Vysoká úroveň abstrakce sice činí vývoj jednodušší, nese s sebou ale velké režijní náklady, které limitují využití plného potenciálu moderních vícejádrových procesorů. Tento problém také umocnil fakt, že výkon procesorů rostl více díky zvyšujícímu se počtu jader, než výkonu na jedno jádro docíleného masivním nárůstem frekvence nebo počtu zpracovaných instrukcí za cyklus. Prvního zástupce nových nízko úrovňových programovacích rozhraní se jménem Mantle přivedla na trh společnost AMD. Vývojáři díky němu mají větší přístup k samotnému hardwaru. Obzvláště přínosné bylo v případech, kdy byl výkon limitován procesorem. Jeho fungování bylo inspirací pro nové řešení od Microsoftu a přímo na něm staví Vulkan, nástupce OpenGL. Microsoft vydal DirectX 12 s podporou pro operační systém Windows a konzole Xbox. Vulkan je po vzoru svého předchůdce multiplatformní a umožňuje tak vývoj pro celou řadu operačních systémů včetně Windows, Linux, macOS, iOS a Android. S rostoucí popularitou DirectX 12 a Vulkan byl vývoj Mantle ukončen [156, 157].



## 6 Praktická implementace - tvorba her

### 6.1 Popis problému

Z předchozích kapitol je patrné, kolika změnami prošel hardware herních konzolí a že zpětná kompatibilita se staršími tituly není jistotou. Pro spuštění původních verzí starších her existuje několik možností. První z nich je použít originální hardware nebo zpětně kompatibilní systém. To se však časem může stávat stále obtížnější, protože starý hardware i nosiče s hrami mají omezenou životnost, což se podepisuje i na jejich cenách.

Některé populární tituly se dočkají oficiální konverze nebo úplné předělávky na nové systémy. Tato varianta se však zdaleka netýká všech her z obsáhlých knihoven starších konzolí. Někdy představují problém licence či nejasnosti o skutečném držiteli práv, které vznikají při četném slučování a odkupování herních studií, v jiných případech je na vině malá návratnost investice spojené s vývojem. Kvůli zachování herní historie je velmi důležitá poslední možnost, kterou je emulace. Neoficiální emulátory vznikají již řadu let a umožňují spuštění her z jiných platforem pomocí softwaru, který napodobuje funkci originálního systému. Často nepochopeným a diskutovaným tématem je jejich legalita a etika. Kvůli rozdílným zákonům v různých zemích, rozdílným přístupům při vývoji emulátorů a získávání kopií původních her, nelze paušálně označit všechny možnosti emulace za legální či nikoliv viz [158]. Na základě zkušeností s dosud existujícími emulátory lze vypozařovat několik pravidel, které snižují pravděpodobnost soudních sporů.

Emulátor by měl být podle [159] vyvíjen pomocí reverzního inženýrství, které ale nesmí vycházet z žádných zákonně chráněných informací. Zdrojový kód by měl být veřejný, aby bylo možné okamžitě vyvrátit pochyby o použití nelegálně získaných informací. Dobrou zásadou je také nezpoplatňování emulátoru nebo nepřijímání finančních darů. Nevýhodou emulace mohou být násobně vyšší nároky na výkon hardwaru ve srovnání s výkonem emulovaného systému, nekompatibilita s některými tituly a nepřesně replikované chování hry. Vývojáři emulátorů se vůči hraní nelegálně obdržovaných kopií her vyhrazují a jejich komunita poskytuje návody, jak ke hraní využít originální nosiče. Navzdory obavám, že emulace vede ke hraní nelegálních kopií her, se jedná o velmi cennou metodu uchování herní historie a záruku, že staré tituly budou přístupné i pro nové generace hráčů dlouho po tom, co selže poslední kus původního hardwaru.



## 6.2 Analýza problému

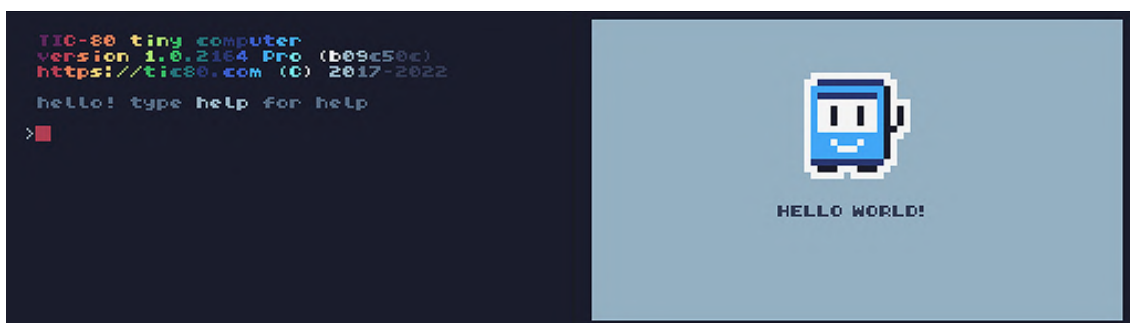
Cílem praktické části práce je moderní interpretace zvolených retro titulů, která bude spustitelná na současném hardware a v ideálním případě i přímo skrze internetové stránky, bez nutnosti stahování a instalace. Nástroje pro vývoj je vhodné volit s ohledem na povahu předělávaných her. Vývojové prostředí jako Unreal Engine by kvůli svému zaměření na moderní trojrozměrné hry nepředstavovalo ideální volbu. Obnovený zájem o retro hry s sebou přinesl nástroje a knihovny, které cíleně limitují parametry jako rozlišení, barevnou paletu nebo dostupnou paměť, aby se přiblížily vzhledu a charakteru her pro staré platformy. Jsou tak ideální volbou pro tvorbu autentičtějších her inspirovaných minulostí.

### 6.2.1 Vybrané vývojové prostředí

Pro vývoj byl zvolen fiktivní retro počítač TIC-80. Jeho přednostmi jsou integrované editory kódu, grafiky, map a zvuků. Splňuje také požadavky na kompatibilitu s moderním hardwarem. TIC-80 podporuje operační systémy Windows, Linux, macOS, Android a je schopný fungovat i na webových stránkách skrze HTML5 a WebAssembly. Díky jeho open source povaze existují i verze pro chytré telefony od Apple nebo herní konzoli Nintendo 3DS.

Omezení schopností tohoto retro počítače má za cíl imitovat hry z éry 8bitových zařízení. Rozlišení obrazovky je omezeno na 240x136 pixelů. Vstupním zařízením může být myš, klávesnice nebo herní ovladač. K dispozici je potom osm tlačítek. Uspořádání prvků tvořících herní grafiku je podobné Nintendo Entertainment System, které je přiblíženo v kapitole 5.1. K dispozici je tedy jedna tabulka spritů pro popředí a druhá pro pozadí. Každý sprite má velikost 8 na 8 pixelů. Pro uložení mapy herního světa slouží tabulka o velikosti 240x136 buněk, kde se každá z nich odkazuje na pozici spritu v tabulce pozadí. Každá buňka má tedy také délku i šířku 8 pixelů. Kód hry může mít maximálně 64 kilobajtů. Pro běh programu je k dispozici 96 kilobajtů paměti RAM, z toho je 16 kilobajtů vyhrazeno pro video paměť. TIC-80 má vlastní příkazovou řádku používanou zejména pro správu souborů. Při spuštění je pro uživatele nachystán ukázkový `Hello World` program (obr. 47). Pro ukládání a sdílení her slouží virtuální cartridge s příponou `.tic`. Tento soubor obsahuje veškerý kód hry a její audiovizuální data. Hru je také možné zkompileovat do samostatně spustitelného programu, který znemožňuje uživateli hru upravovat.

Hry je možné programovat v několika jazycích mezi které patří Lua, JavaScript a Ruby. Z podporovaných programovacích jazyků byl zvolen jazyk Lua. Jedná se o vysokoúrovňový jazyk s přívětivou syntaxí a malými nároky na paměť. Je flexibilní a umožňuje použití více programovacích paradigmat jako funkcionální nebo objektové programování. Lua je dynamicky typovaný jazyk a podporuje automatické přetypování mezi čísly a textem. Jeho hlavní datovou strukturou jsou



Obr. 47: Příkazová řádka (vlevo) a ukázkový program (vpravo).

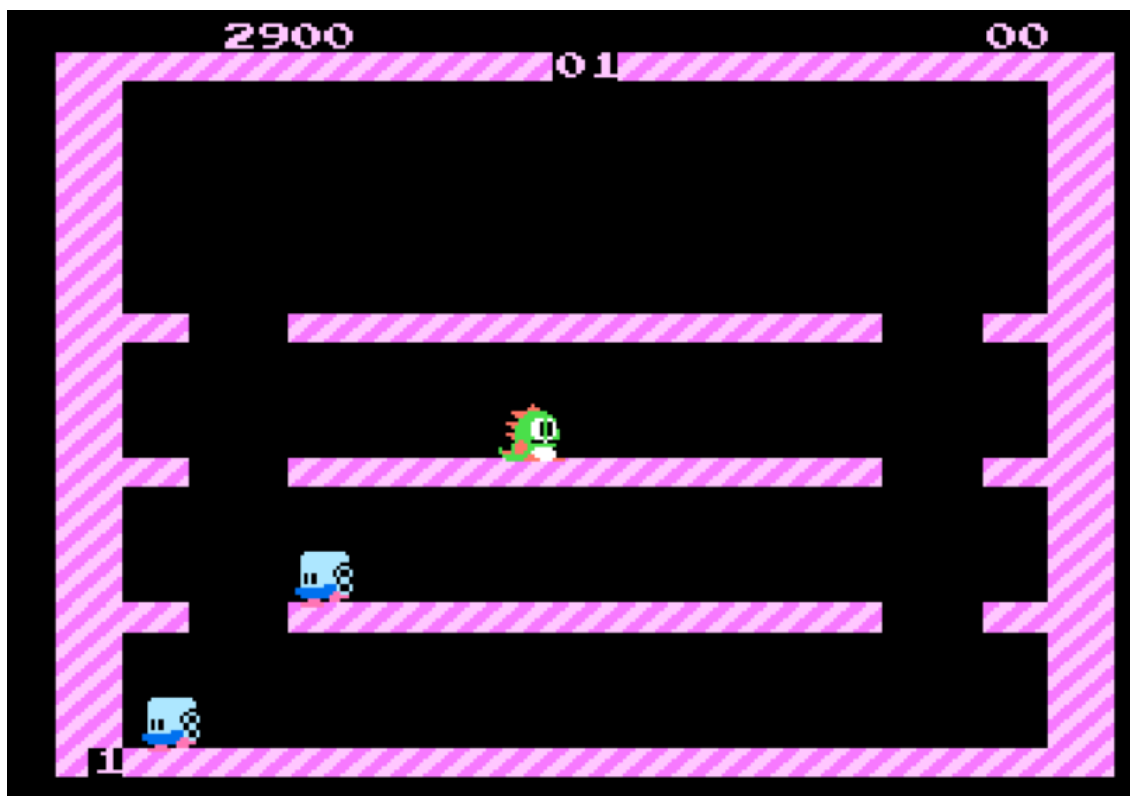
tabulky, které zde mohou zastávat různé role jako pole, seznamy, slovníky. Tabulky jsou používány také pro reprezentaci objektů a tříd. Lua je používán jako skriptovací jazyk v řadě herních enginů.

## 6.3 Popis her

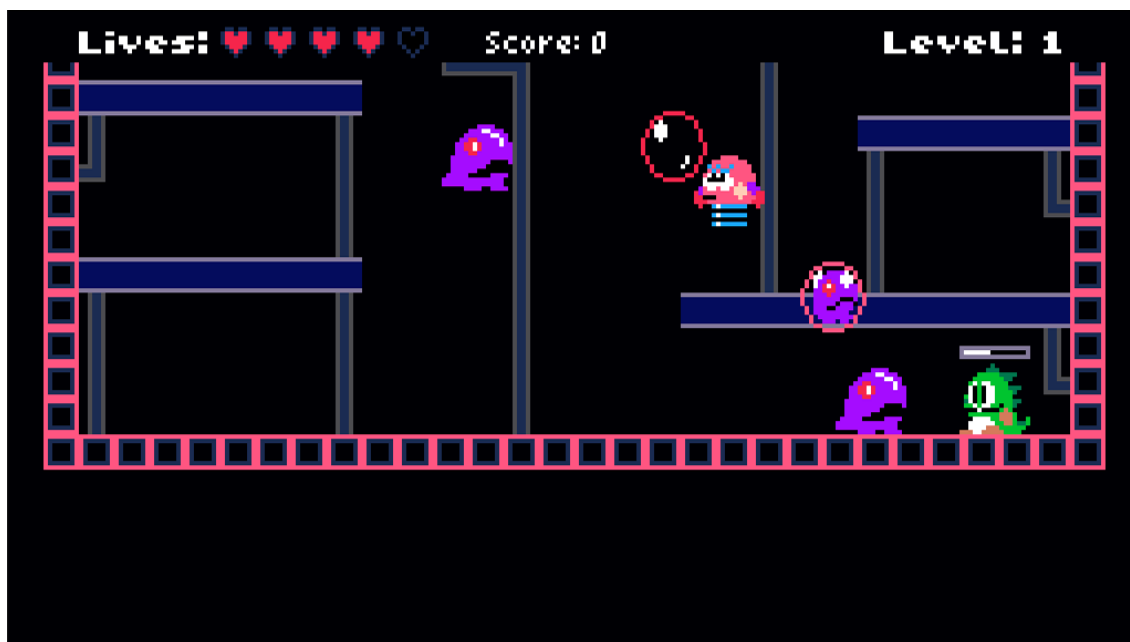
Pro předělání byly vybrány dvě hry ze dvou rozdílných populárních žánrů 8bitové éry. První z nich je plošinovka a druhou vesmírná střílečka. Obě hry včetně zdrojového kódu a cartridge pro TIC-80 jsou součástí příloh této práce. Hry jsou ve verzích pro Linux, macOS, Windows a web.

### 6.3.1 Bubble

První hra je inspirována hrou Bubble Bobble (obr. 48) známou z arkádových automatů a konzole Nintendo Entertainment System. Jedná se o dvourozměrnou plošinovku s dinosaurem v hlavní roli. Cílem hry je zbavit se nepřátel v jednotlivých úrovních. K tomu slouží bubliny, které dinosaur vypouští ze chřtánu. Nejprve v podobě rychlejšího projektilu, který se v bublinu promění buď po kolizi s nepřítelem nebo po uražení určité dráhy. Když se projektil střetne s nepřítelem, uvězní ho uvnitř bubliny (obr. 49) a učiní ho dočasně neškodným. Pro vyřazení nepřítele ze hry je třeba bublinu prasknout. Bubliny stoupají nahoru a v případě střetu s okrajem úrovně se odráží. Reagují také na střet s hráčem podle místa doteku. V případě, že na ně hráč narazí z levé nebo pravé strany, jsou bubliny pouze odraženy a pokračují v pohybu s rychlostí předanou hráčem. Pro jejich prasknutí na ně hráč musí skočit a narazit na spodní nebo horní část. Kontakt s nepřítelem nebo jejich projektilem znamená ztrátu jednoho života, přesun na startovací pozici a krátkou nezranitelnost. Životy jsou obnoveny po dosažení další úrovně. V případě ztráty všech životů je možné pokračovat ve hře na stávající úrovni za druhou postavu. Pokud hráč selže i s druhou postavou, přichází o postup ve hře (obr. 50). Vítězství je dosaženo překonáním všech úrovní.



Obr. 48: Snímek obrazovky původní hry Bubble Bobble.

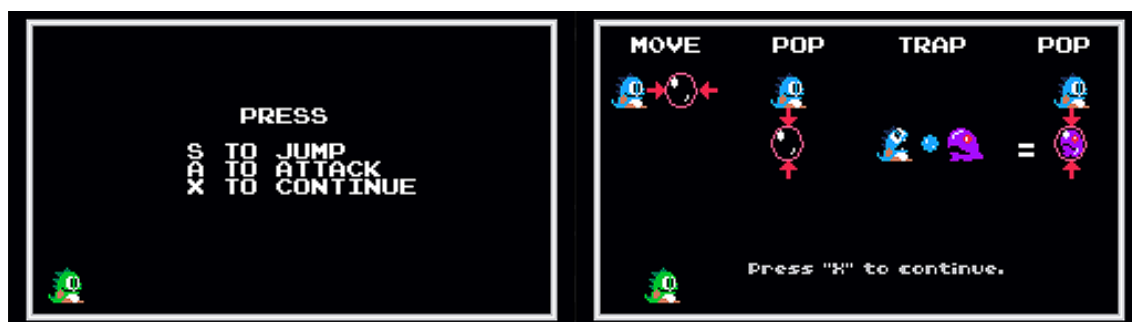


Obr. 49: Snímek obrazovky přepracované verze hry Bubble Bobble.



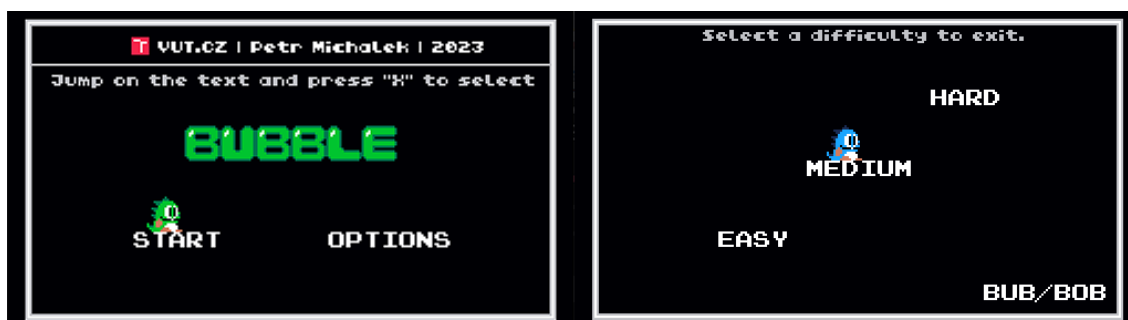
Obr. 50: Obrazovka umožňující pokračovat ve hře za druhou postavu.

Hra začíná krátkým popisem ovládání (obr. 51). Na druhé obrazovce jsou ilustrovány herní mechaniky týkající se bublin a nepřátel. Po tomto úvodu je hráč přesunut do hlavního menu, které je interaktivní a jednotlivé možnosti se vybírají pomocí postavy hráče. Aby byla možnost vybrána, musí na ni skočit a potvrdit ji stiskem klávesy. Hlavní menu má položku pro start hry a nastavení. V nastavení (obr. 52) hry je možné zvolit obtížnost, která ovládá rychlost nepřátel a počet životů hráče. Také je možné zvolit, za kterou postavu bude hráč začínat.



Obr. 51: Popis ovládání (vlevo) a vysvětlení funkce bublin (vpravo).

Po započetí hry je hráč v horní části obrazovky informován o počtu jeho životů, skóre a aktuální úrovni. Velikost bodové odměny za zneškodnění nepřítele závisí na intervalech mezi jejich zničeními. Je tím vyšší, čím dříve hráč boduje. Nejprve od začátku kola a poté od zneškodnění předchozího protivníka. Hráč tak může taktizovat a načasovat zničení bublin s nepřáteli hned po sobě pro vyšší bodový zisk. Posledním prvkem uživatelského rozhraní je indikátor připravenosti k útoku.



Obr. 52: Hlavní menu (vlevo) a menu nastavení (vpravo).

Aby hráč musel používat bubliny uvážlivě, následuje po útoku prodleva, kdy nelze bubliny vypouštět. Tuto prodlevu indikuje pruh přímo nad hráčem, který postupně ubývá. Jakmile je možné znovu útočit, ukazatel zmizí.

### 6.3.2 Space

Druhá z vybraných her je inspirována vesmírnou střílečkou *Gradius* (obr. 53) pro Nintendo Entertainment System. Hráč ovládá vesmírnou loď, která musí přežít vlny nepřátel. V arzenálu má dva typy útoků. První je obyčejná střelba s neomezenou zásobou munice, ale menším poškozením. Druhým typem jsou miny, kterých je k dispozici pouze omezené množství, jsou pomalejší, ale způsobují masivní poškození, které dokáže ze hry okamžitě vyřadit všechny běžné druhy nepřátel. Nepřátelé mají k dispozici podobný arzenál v závislosti na jejich druhu. Jeden typ nepřítele nemá k dispozici žádné zbraně a snaží se do hráče pouze narazit. Další mají k dispozici běžnou střelbu s různými intervaly mezi útokem a počtem střel v jedné dávce. Zbývající typy nepřátel útočí pomocí min, které buď zůstávají na místě, aby omezily možnosti pohybu hráče, nebo jsou naváděné, a naopak nutí hráče manévrovat, aby se jim vyhnul. Při střetu s nepřátelskou střelou nebo samotným protivníkem hráč přichází o jeden život a je přemístěn zpět na počáteční pozici s krátkou nezranitelností. Několik prvních vln nepřátel je shodných při každém průchodu hrou a mají ukázat, co je třeba od každého typu nepřítele očekávat. První várka vln je zakončena soubojem s obtížnějším bossem (obr. 54), který posílá naváděné miny. Je také mimořádně odolný proti běžným útokům, což nutí hráče šetřit svoje miny právě pro střet s tímto protivníkem. Následné vlny přichází v náhodném pořadí a jsou těžší než ty úvodní. Každá sedmá vlna je zakončena soubojem s bossem, který si postupně přivádí na pomoc více běžných nepřátel. Cílem hry je dosáhnout co nejvyššího skóre, které se odvíjí od počtu a typu zneškodněných nepřátel.

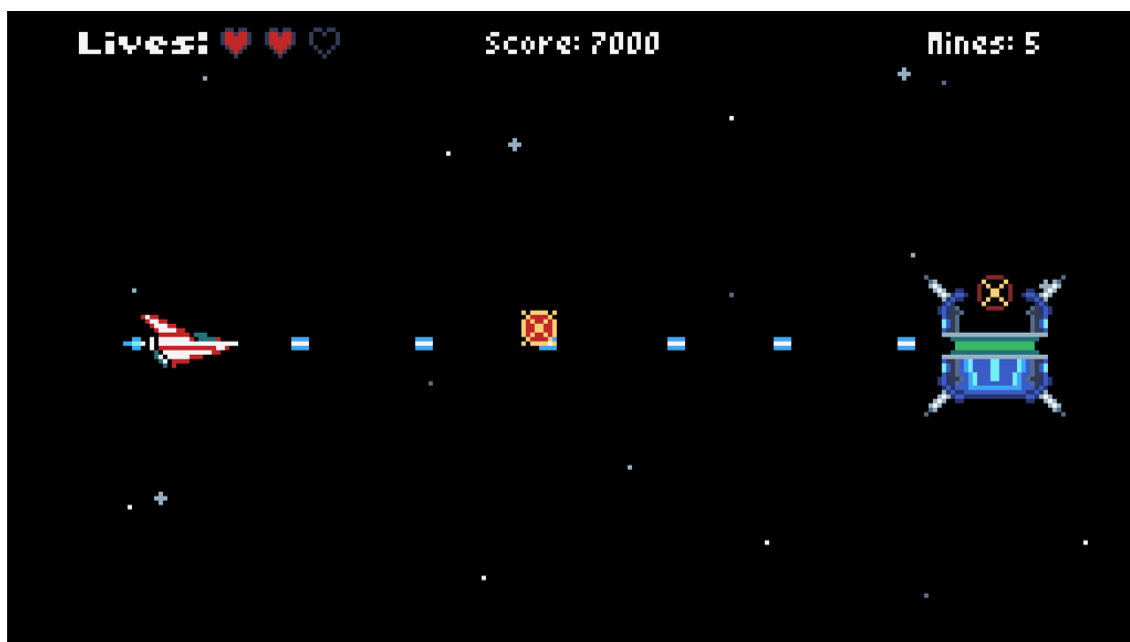
Hra začíná úvodní obrazovkou (obr. 55), která hráče vyzývá ke stisku klávesy pro odstartování hry. Několik chvil jsou u vesmírné lodi hráče zobrazeny vysvětlivky k tlačítkům sloužícím pro dva druhy útoků (obr. 56). Při zneškodnění nepřítele



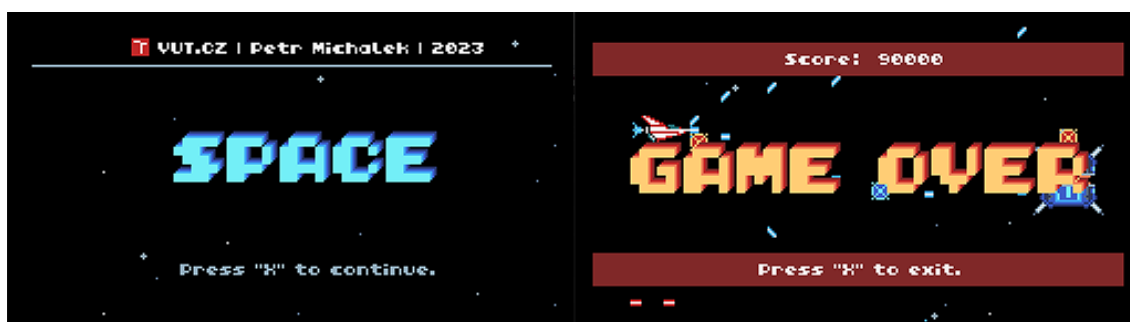
Obr. 53: Snímek obrazovky původní hry Gradius.

existuje 15% pravděpodobnost, že po sobě zanechá předmět, který může hráč sebrat, aby získal výhodu. Celkem existují čtyři druhy předmětů, ze kterých je náhodně vybráno (obr. 57). U nejtěžšího druhu nepřítele je získání tohoto předmětu jisté a vždy se jedná o doplnění min na maximální kapacitu. Ostatní druhy předmětů mohou poskytnout dočasný štít, který zcela zabrání poškození hráče. Další dočasně přidá k běžnému útoku dvě střely, které se pohybují pod jiným úhlem. Poslední typ potom přidá hráči zpět ztracený život nebo zvýší počet životů i nad rámec původního počtu až do maximálních šesti životů.

Pozadí herní úrovně je složeno ze dvou vrstev pro dosažení iluze hloubky a rychlosti. Velmi vzdálené hvězdy se pohybují pomaleji, zatímco bližší hvězdy jsou větší, rychlejší a také reagují na pohyb hráče. Podle pohybu hráče je také animována loď a tryska motoru. Uživatelské rozhraní zahrnuje informace o počtu životů, aktuálním skóre a počtu min.



Obr. 54: Snímek obrazovky přepracované verze hry Gradius.



Obr. 55: Úvodní obrazovka (vlevo) a konečná obrazovka (vpravo).

## 6.4 Tvorba herní grafiky

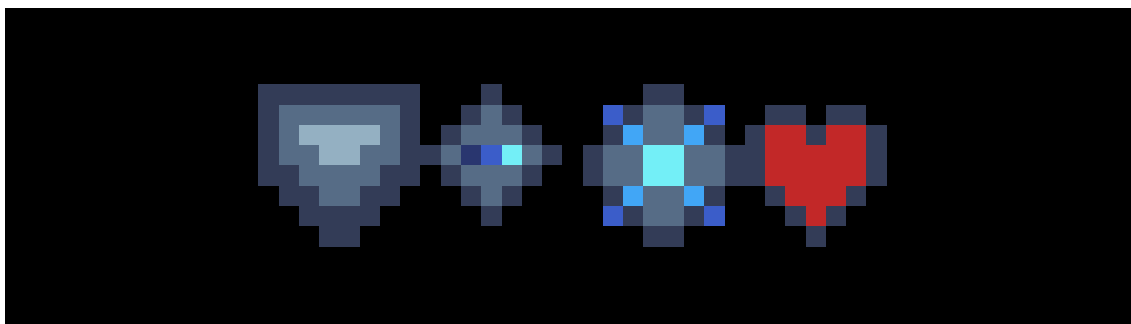
Všechny grafické prvky byly vytvářeny ručně za pomoci vestavěného editoru spritů (obr. 58). Část grafiky tvoří originální návrhy, část je věrná původnímu vzhledu. Jako jejich předloha sloužila vždy původní hra běžící na konzoli Nintendo Classic Mini. Konkrétně se jedná o design hlavních postav u hry Bubble i Space a design nepřátel u hry Bubble.

Editor spritů disponuje standardními nástroji pro práci s pixelovou grafikou. Tužka vybarvuje individuální pixely, kapátko načte zvolenou barvu, nástroj pro výběr umožňuje posun celé oblasti naráz a nástroj fill vyplní celou souvislou plochu zvolenou barvou. Sprity je možné zrcadlit nebo rotovat. Barevná paleta je omezena na 16 barev, které jsou definovatelné uživatelem. Pro hru Bubble byla barevná paleta upravena, hra Space byla vytvářena s výchozími barvami.





Obr. 56: Snímek obrazovky s vysvětlivkami ovládání.



Obr. 57: Všechny druhy získatelných předmětů.

Pro tvorbu animací je nutné vytvořit její jednotlivé snímky. Na obr. 58 je možné si povšimnout postupně ničených protivníků nebo fází při vypouštění a výbuchu miny. Uvnitř programu je potom v jednotlivých časových úsecích vybírán odpovídající snímek animace.



Obr. 58: Editor herní grafiky v TIC-80.

## 6.5 Popis programů

Následující popis je aplikovatelný pro obě hry. Ačkoliv se jedná o rozdílné žánry, princip řešení problematiky jako je vykreslování grafiky a uživatelského rozhraní nebo detekce kolizí, je stejný. Části, které se liší, budou popsány samostatně pro každou hru.

Programy pro TIC-80 musí povinně obsahovat hlavní funkci `TIC`. Ta je provedena právě jednou při každém kroku programu. Během jedné sekundy proběhne 60 kroků, výsledná snímková frekvence je tedy 60 snímků za sekundu. Jedná se o jediný povinný prvek každé hry a zbytek je plně v rukou programátora. Při vyvíjení obou her byly funkce rozděleny do dvou hlavních logických celků – `update` a `draw`. V rámci jednoho kroku je vždy zavolána skupina funkcí `update`, ve kterých jsou vypočteny nové hodnoty proměnných (pozice hráče, nepřátel atd.) a poté skupina funkcí `draw`, kdy je nejdříve smazán veškerý obsah obrazovky a všechny prvky obrazu jsou opět vykresleny dle aktuálního stavu proměnných. Na obr. 59 je vestavěný textový editor.

```

CODE EDITOR
-- title:      Space
-- author:     Petr Michalek, 192291@gmail.com
-- desc:       Space shooter for TIC-80
-- site:       pmichale.itch.io/space (Pas
-- version:    1.0
-- script:     lua

      -- 0 up
      -- 1 down
      -- 2 left
      -- 3 right
      -- 4 z
      -- 5 x
      -- 6 a
      -- 7 s

Function: init_level()
Line 1/1262 col 1 size 37996/524288
  
```

Obr. 59: Editor kódu v TIC-80.

Mimo hlavní funkci `TIC` a příslušné `update` a `draw` funkce jsou v kódu pomocné funkce, které se volají pouze za určitých podmínek. Patří mezi ně funkce pro animace událostí jako je zničení nepřítele nebo prasknutí bubliny, funkce pro inicializaci úrovní, které nastavují příslušné parametry herního světa jako souřadnice aktuální úrovně na mapě nebo výchozí hodnoty proměnných, a pomocné funkce pro kopírování tabulek a matematické operace. Schéma hlavní smyčky obou her je na obr. 60.

Důležitou funkci plní tzv. **sprite flag**. Každý sprite v TIC-80 může mít až osm těchto hodnot (obr. 61). V kódu hry je potom možné tyto hodnoty použít jako nosič informací pro rozhodování a úpravu jejich chování. Hodí se zejména pro detekci kolizí, kdy je přiřazena určitá hodnota blokům, které mají být neprůchozí a jiná zase těm, které mají být průchozí pouze jedním směrem. Ve hře Bubble jsou použity na sprity, které ohraničují úroveň, plošiny, na které může hráč a protivníci vyskočit a k ovládní nepřátel. Aby nebylo nutné měnit kód během návrhu úrovně při každé změně počtu nebo pozice nepřátel, byl vytvořen sprite, který je vizuálně totožný s ostatními v dané úrovni, ale s rozdílnou **sprite flag** hodnotou. Při spuštění úrovně se na každém takovém bloku objevil nový nepřítel, takže návrh úrovně mohl probíhat exkluzivně v grafickém editoru úrovně přímo v TIC-80.

### 6.5.1 Update funkce

Skupina **update** funkcí během každého kroku aktualizuje polohu jim svěřených objektů na základě jejich rychlosti. Na starosti mají hráče, nepřátele, veškeré projektily a předměty. Funkce pro aktualizace hráče také kontroluje stisky kláves a podle nich nastavuje rychlost a určuje, v jakém pohybovém stavu se nachází, od čehož se odvíjí přehrávaná animace pohybu. Tyto funkce také kontrolují kolize s prostředím nebo s jinými objekty. Každý aktivní nepřítel, předmět nebo projektil, je umístěn do Lua tabulky, přes kterou je uvnitř funkce iterováno.

### 6.5.2 Detekce kolizí

Funkce pro detekci kolizí jsou rozděleny na kontrolu kolize objektu s prostředím úrovně a kolize s ostatními objekty.

Pro detekci kolizí s prostředím je využíváno zmíněných **sprite flag** hodnot. Na základě současné rychlosti objektu v obou osách je zjištěno, kterým směrem je třeba kolizi kontrolovat. Funkce pro detekci kolizí pracuje se souřadnicemi objektu, jeho výškou a šířkou v pixelech. Je kontrolován prostor o velikosti jednoho až dvou pixelů ve zkoumaném směru. Pomocí vestavěné funkce **mget** je získán identifikátor spritu ve zkoumaném prostoru. Ten putuje do funkce **fget**, která vrací booleovskou hodnotu v závislosti na tom, jestli má sprite v daném místě kontrolovanou hodnotu **sprite flag**.

Detekce kolizí mezi objekty je potom o něco jednodušší. Funkce pracuje s oběma testovanými objekty. Na základě jejich souřadnic a rozměrů v pixelech vypočítá jejich hranice. Poté vrací booleovskou hodnotu, která je pravdivá, pokud mají společný průnik.

### 6.5.3 Chování nepřátel

Nepřátelé ve hře Bubble se po herní mapě musí být schopni pohybovat a navigovat směrem ke hráči. Mohou nastat tři stavy – hráč je ve stejné výšce jako nepřítel, hráč je nad nebo pod nepřítelem. To určuje, jestli nepřátelé mají skákat. Pro zjednodušení vyhodnocování, na kterých místech mapy je možné skočit na vyšší plošinu, byla použita `sprite flag` hodnota. Pokud je hráč nad nepřítelem, je kontrolována kolize s bloky, které mají tuto hodnotu a nepřátelé z nich mohou vyskočit směrem ke hráči. Šance, že skok provedou, je nastavena na 80%, aby byla zachována jistá míra náhodnosti. Pokud se hráč nachází pod nepřítelem, nejsou kolize s těmito bloky kontrolovány a nepřátelé tak neputují směrem nahoru. V obou situacích se nepřátelé pohybují horizontálně, dokud nenarazí na překážku, načež se otočí a pokračují opačným směrem. Mají také malou šanci směr změnit i bez kolize s překážkou, aby byl jejich pohyb méně předvídatelný. V případě, že se nepřítel nachází ve stejné výšce s hráčem, přechází do režimu pronásledování, kdy směr jeho rychlosti určuje znaménko odchylky jejich pozic v ose  $x$  tak, aby se ke hráči přibližoval.

V případě hry Space je situace jednoduchá. Nepřátelé nemusí skákat po plošinách a překonávat tak překážky na cestě ke hráči. Každý nepřítel má parametr `followPlayer`, který určuje, zda se jeho chování bude odvíjet od pozice hráče. V případě, že má pohyb hráče sledovat, nastavuje `update` funkce vyhrazená protivníkům směr rychlosti tak, aby se snížila odchylka od pozice hráče v ose  $y$ . Velikost rychlosti pro dorovnání odchylky od hráče určuje další parametr, který je odlišný pro různé druhy nepřátel, aby jejich chování bylo dostatečně rozmanité a odpovídalo bodovému ohodnocení za jejich zneškodnění. V případě, že protivník hráče nemá sledovat, pouze pokračuje v pohybu dle nastavených rychlostí a střílí v intervalech daných jeho typem. Protivníci vždy začínají svoji existenci za hranicemi viditelné oblasti a pohybují se směrem do ní, aby byl jejich příchod na obrazovku plynulý. V případě, že mají zůstat na pravém okraji obrazovky, je vodorovná složka jejich rychlosti vynulována. Nepřátelé, kteří vyletí mimo viditelnou oblast, přestávají existovat, ale hráč za ně nezískává žádné skóre.

### 6.5.4 Draw funkce

Pro vykreslování grafických elementů na obrazovku je použito několik vestavěných funkcí TIC-80. Pořadí, v jakém jsou vykreslovací funkce volány, určuje které prvky budou případně překrývat jiné. Jako poslední je tedy na řadě horní lišta s informacemi o stavu hry, aby byla vždy nad veškerou ostatní grafikou. K dispozici jsou funkce pro vykreslení základních geometrických tvarů jako obdélník (`rect`), úsečka (`line`) a kružnice (`circb`). Neprůhledné pozadí lišty s informacemi je obstaráno pomocí funkce `rect`, která jako argument přijímá souřadnice levého horního rohu, délku a šířku – vše v pixelech. Vykreslování textu je možné buď pomocí vestavěné funkce

`print` nebo vytvořením vlastního fontu v `sprite` tabulkách, v případě speciálních požadavků na vzhled. V horní liště je použita funkce `print`, která v požadovaných souřadnicích obrazovky vykreslí libovolný text ve vybrané barvě z aktuální palety. Souřadnicové systémy začínají v levém horním rohu daných objektů.

Sprity pro vrstvu popředí (hráč, protivník, projektily, předměty) a pro ikony znázorňující životy hráče vykresluje funkce `spr`. Té je nutno poskytnout identifikátor spritu a souřadnice obrazovky, ve kterých bude vykreslen. Další argumenty ovládají barvu průhlednosti (tedy barvu, která nebude ve výsledném obrazu vykreslena), měřítko, zrcadlení (horizontální, vertikální), rotaci (po 90° krocích) a rozměry spritu (pro případy, kdy zabírá více než jednu 8x8 buňku).

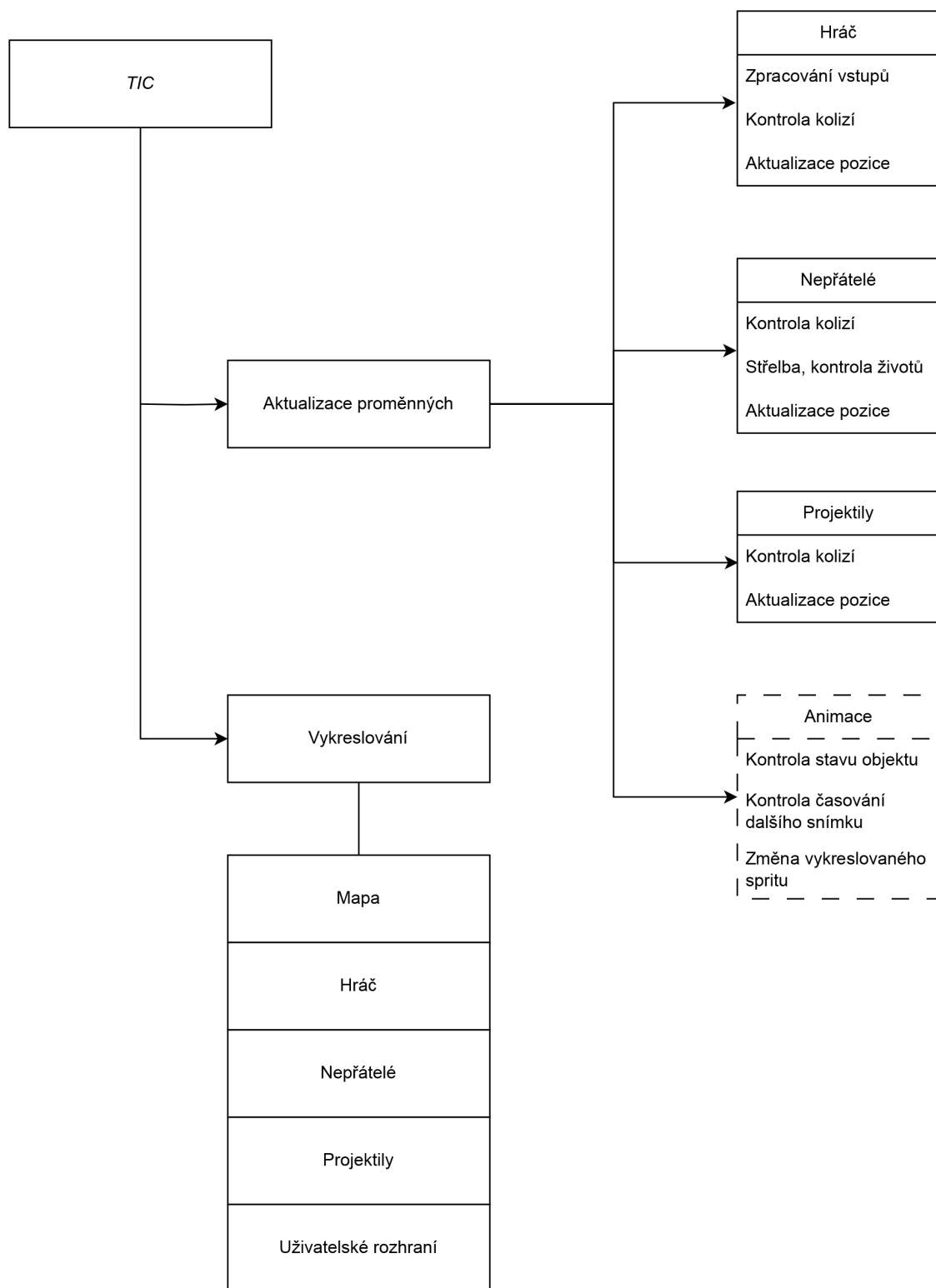
## 6.6 Mapa

Herní mapa (obr. 62) neboli prostředí úrovně, je vykreslována pomocí funkce `map`. Jejím argumentem je počáteční bod ve zdrojové mapě, rozměry vykreslované plochy v buňkách a souřadnice obrazovky, od kterých bude vykreslována. Stejně jako u spritů je možno nastavit barvu průhlednosti a měřítko. Navíc možné jako argument použít `remap` funkci. Ta je plně uživatelsky definovatelná a dovoluje provádět libovolné operace na každé buňce ze vstupní mapy. Je tedy možné stanovit pravidla pro zacházení s některými bloky a tím úplně změnit jejich podobu. Může se jednat o pouhou náhradu za jiný `sprite` (otevřené/zavřené dveře), jeho úplné skrytí, nebo je možné funkci použít k vytvoření animovaných úrovní.

S vykreslováním herní mapy také souvisí funkce virtuální kamery, která ovládá souřadnice obrazovky. Funkce `map` pracuje pouze s celočíselnými souřadnicemi zdrojové mapy a dokáže tedy vykreslit pouze celé buňky. Pohyb virtuální kamery by však byl při skocích o jednu celou buňku velmi neplynulý. Je tedy žádoucí, aby se kamera dokázala pohybovat i po samostatných pixelech. Toho je dosaženo pomocí posunu vykreslené mapy v souřadném systému obrazovky. Vykreslování úplně celé mapy i mimo viditelnou oblast by však nebylo efektivní z hlediska využití výpočetního výkonu. Proto je úroveň vykreslována s rezervou o velikosti jedné buňky (8 pixelů) mimo viditelnou oblast (podle [160]). Tato oblast slouží k tomu, aby již byla další část úrovně připravena pro plynulý pohyb do viditelné oblasti. Bez tohoto opatření by se nové buňky vykreslovaly až v momentě, kdy se na obrazovku vměstnají celé. To by působilo vizuálně rušivým dojmem. V okamžiku, kdy je celá nová řada buněk ve viditelné oblasti, přestane být vykreslována řada buněk, která z viditelné oblasti právě vyšla. To znamená, že se všechny dosavadní buňky skokově posunou o jednotku (8 pixelů) daným směrem a tento posun musí kompenzovat souřadnice virtuální kamery, aby prvky mapy zůstaly na původním místě vzhledem k souřadnicím obrazovky. K tomu je použita operace modulo 8, která vrací zbytek

po celočíselném dělení hodnotou 8. V moment, kdy se posun herního světa vyšplhá na celých 8 pixelů, je načtena nová buňka. Zbytek po dělení tohoto čísla je nula a tím se posun kamery skokově vrací zpět.

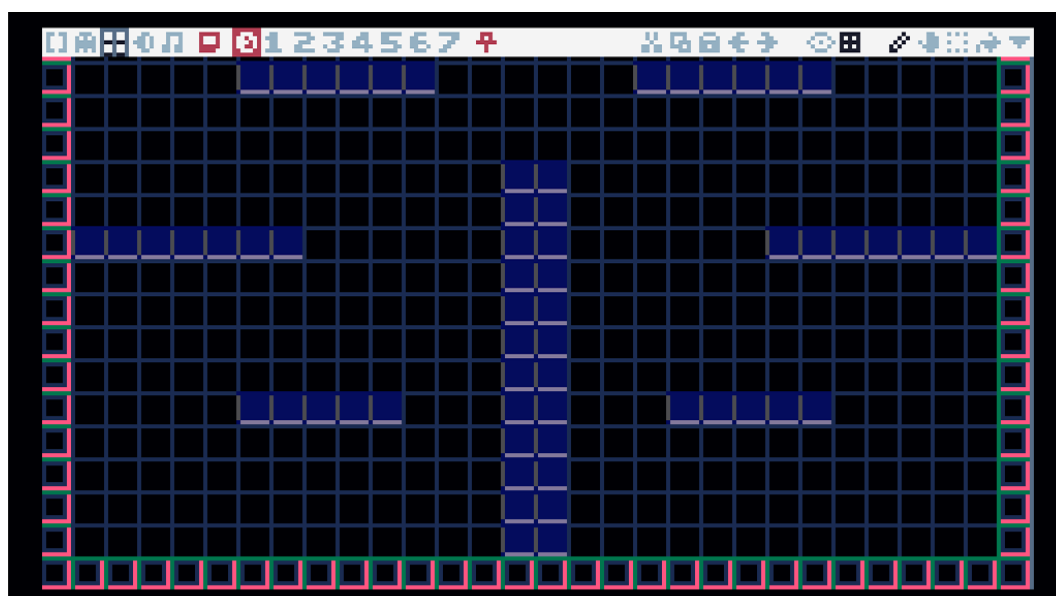




Obr. 60: Schéma hlavní smyčky herního programu.



Obr. 61: Sprite flag hodnoty v TIC-80.



Obr. 62: Editor herních úrovní v TIC-80.



## 7 Testování her a diskuze

V rámci praktické části této práce byly vytvořeny dvě samostatné hry. Prostředí pro vývoj bylo voleno s ohledem na povahu her a požadavky na kompatibilitu s moderními platformami. Pro ověření funkčnosti na všech podporovaných systémech byla každá verze hry testována několika dobrovolníky. Byla získávána zpětná vazba týkající se technického stavu her, srozumitelnosti vysvětlení herních mechanik a hodnocení obtížnosti.

Testování je v herním vývoji důležitým krokem, obzvláště ve verzích her pro osobní počítače, které mohou být složeny z téměř nevyčerpatelného množství různých kombinací komponent. Tato variabilita může vést k problémům, které se vyskytují pouze s danou kombinací hardwaru. Testování také odhalí případné problémy s optimalizací kódu, které budou patrné na zařízeních s nižším výpočetním výkonem.

Zpětná vazba pomohla odhalit problémy ve verzích pro macOS, Linux a web. Na rozdíl od verze pro Windows, která nevykazovala žádné problémy, se na systémech s macOS a Linux vyskytl problém s funkcemi, které pracovaly s měřením času. To se projevilo například mnohem delší periodou nesmrtnosti po ztrátě života. Příčinou byla chybná implementace funkce pro získávání času v TIC-80, která používá funkce poskytované daným operačním systémem. Kvůli zcela rozdílným údajům, získaným ze strany funkcí operačního systému, bylo časování nekonzistentní. Z tohoto důvodu musely být verze pro Linux a macOS kompilovány v experimentální verzi TIC-80, která volí jiné metody získávání času. Tato verze TIC-80 naopak způsobuje problém s fungováním her ve webovém prohlížeči, kde je nelze vůbec načíst. Na základě těchto poznatků byly exporty provedeny s pomocí optimální verze TIC-80 pro každou platformu.

Schopnost her fungovat v prostředí s relativně nízkým výpočetním výkonem byla ověřena především na mobilních zařízeních, kde je kladen větší důraz na menší spotřebu energie za cenu nižšího výkonu. K tomuto testu byl použit kancelářský notebook s integrovanou grafikou, základní model tabletu iPad a přenosné herní zařízení Steam Deck. Každé z těchto zařízení disponuje nižším výkonem než typické herní počítače, které jsou vyžadovány nejnovějšími herními tituly. Vzhledem k povaze her je bezproblémový běh na takových zařízeních očekávaný a problémy nezpůsobuje ani použití vysokoúrovňového programovacího jazyka Lua a API OpenGL. Vyšší úroveň abstrakce by u náročnějších titulů mohly mít negativní dopad na výkon.

Na základě zpětné vazby byla přidána obrazovka vysvětlující způsob fungování bublin ve hře inspirované Bubble Bobble. Před jejím přidáním hráči bez předchozí znalosti herních mechanik nevěděli, jakým způsobem mají nepřátele zneškodnit. Dále byl od hráčů získáván názor na obtížnost hry. Častým testováním během vývoje a podrobnou znalostí logiky řízení nepřátel získává vývojář výhodu

proti hráčům, kteří hru hrají poprvé. Míru obtížnosti je tedy vhodné upravit, pokud je hra příliš frustrující na úkor zábavy. Starší hry, zejména ty pro arkádové automaty, jsou pro svoji obtížnost proslulé. Tato vlastnost je však dána i snahou vydělat větší množství peněz, protože za každý pokus bylo nutné zaplatit. Na základě zpětné vazby byla během vývoje upravována rychlost nepřátel a prodlevy mezi jejich útoky.

Prostor pro rozšíření her existuje v podobě dodatečných úrovní nebo v přidání hudebního doprovodu.

## 8 Závěr

Teoretická část práce byla věnována historii herního průmyslu. Čtenář byl seznámen s vývojem hardwaru, který poháněl jednotlivé generace konzolí a také s vývojem vstupních zařízení, pomocí kterých byly hry ovládány. Dále byl poskytnut náhled do zákulisí vzniku těchto zařízení, konkurenčních bojů, nečekaných triumfů nebo selhání. Vývoj byl popsán až do současného dne, kdy se na trhu s herními konzolemi již ustálila trojice Microsoft, Nintendo a Sony.

Byla také popsána specifická úskalí vývoje pro jednotlivé platformy a kreativní práce vývojářů v rámci limitací stanovených možnostmi tehdejšího hardwaru. Byl sledován odklon od speciálně navrženého hardwaru k nasazení architektury důvěrně známých z osobních počítačů. Právě neobvyklé návrhy hardwaru byly mnohdy zodpovědné za technologický a audiovizuální posun s cenovkou, kterou si mohla dovolit většina domácností. Někdy ovšem na úkor složitosti vývoje.

V části věnované změnám v přístupu k programování byl popsán přesun ze složitějšího Assembleru, specifického pro každý procesor, na jazyk C a snahu výrobců konzolí vývoj zjednodušit abstrakcí hardwaru pomocí knihoven. Později se nejpopulárnějším jazykem stal C++ často v kombinaci se skriptovacími jazyky jako Lua a Python. Byly také představeny návrhové vzory, často používané při vývoji her. S nárůstem komplexity herních titulů také rostly nároky na organizaci obsahu. Praktika kombinace dat i kódu programu do jednoho celku se stala nepřijatelná. Jednotlivé aspekty hotového produktu musely být odděleny, aby byla umožněna efektivní spolupráce. Takto postupně vznikl pojem herní engine. Od přísně střežených tajemství urazili herní enginy cestu až k plně otevřeným komerčním produktům, které si herní studia mohou licencovat.

Část věnovaná vývoji herní grafiky čtenáři nastínila fungování zástupce z éry dvourozměrných videoher, éry prvních plně trojrozměrných konzolí a zakončena byla představením některých moderních technologií, o které byl proces vykreslování trojrozměrné grafiky rozšiřován dodnes.

V rámci praktické části práce byly vypracovány dvě hry, inspirované tituly z 8bitové éry. K jejich vývoji byl použit fiktivní retro počítač TIC-80 a jazyk Lua. Schopnosti této platformy pro tvorbu her byly omezeny s ohledem na podobu tehdejších her. Zachována byla kompatibilita s moderními operačními systémy a hry byly exportovány v podobě spustitelné i přímo ve webovém prohlížeči. První z her patří do žánru plošinovek. Herní náplň spočívá ve snaze o uvěznění protivníků v bublinách a jejich prasknutí pro vyřazení nepřátel ze hry. Inspirací byla hra Bubble Bobble. Druhou vyvinutou hrou je vesmírná střílečka po vzoru hry Gradius. Hráč v ní překonává vlny nepřátel a snaží se dosáhnout co nejvyššího skóre.





## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DILLON, R. *The Golden Age of Video Games: The Birth of a Multibillion Dollar Industry*. 1st edition. Boca Raton, FL: A K Peters/CRC Press, duben 2011. ISBN 978-1-4398-7323-6.
- [2] EDWARDS, B. *Inside the Magnavox Odyssey, the First Video Game Console*. Dostupné z: [https://www.pcworld.com/article/464739/inside\\_the\\_magnavox\\_odyssey\\_the\\_first\\_video\\_game\\_console.html](https://www.pcworld.com/article/464739/inside_the_magnavox_odyssey_the_first_video_game_console.html).
- [3] AMOS, E. *The Game Console: A History in Photographs*. 1st edition. San Francisco: No Starch Press, listopad 2018. ISBN 978-1-59327-743-7.
- [4] KANELLOS, M. *Intel's accidental revolution*. Dostupné z: <https://www.cnet.com/tech/tech-industry/intels-accidental-revolution/>.
- [5] KENT, S. L. *The Ultimate History of Video Games: From Pong to Pokemon—The Story Behind the Craze That Touched Our Lives and Changed the World*. 1st edition. Roseville, Calif: Crown, září 2001. ISBN 978-0-7615-3643-7.
- [6] WOLF, M. J. P. *The Video Game Explosion: A History from PONG to Playstation and Beyond*. ABC-CLIO, 2008. ISBN 978-0-313-33868-7. Google-Books-ID: XiM0ntMybNwC.
- [7] HENLEY, S. *This Is the Strangest Video Game Console of All Time*. červenec 2020. Dostupné z: <https://www.ign.com/articles/this-is-the-strangest-video-game-console-of-all-time>.
- [8] EDWARDS, B. *The Untold Story Of The Invention Of The Game Cartridge*. Leiden 2015. Dostupné z: <https://www.fastcompany.com/3040889/the-untold-story-of-the-invention-of-the-game-cartridge>.
- [9] MONTFORT, N. a BOGOST, I. *Racing the beam: the Atari Video computer system*. Cambridge, Mass: MIT Press, 2009. Platform studies. ISBN 978-0-262-01257-7. OCLC: ocn233798827.
- [10] COHEN, D. *A History of the Atari 2600: The Beginning of the End*. Section: Lifewire. Dostupné z: <https://www.lifewire.com/atari-2600-the-console-729730>.
- [11] WARSHAW, H. *Once Upon Atari: How I made history by killing an industry by Howard Scott Warshaw - Ebook | Scribd*. Dostupné z: <https://www.scribd.com/book/487998584/Once-Upon-Atari-How-I-made-history-by-killing-an-industry>.

- [12] *Atari video game burial*. Duben 2023. Page Version ID: 1147771308. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Atari\\_video\\_game\\_burial&oldid=1147771308](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Atari_video_game_burial&oldid=1147771308).
- [13] GORGES, F. *L'Histoire de Nintendo vol.4*. Châtillon: OMAKE BOOKS, březen 2019. ISBN 978-2-919603-66-4.
- [14] ALTICE, N. *I Am Error: The Nintendo Family Computer / Entertainment System Platform*. 1st Edition. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, květen 2015. ISBN 978-0-262-02877-6.
- [15] RUSSELL, J. *101 Amazing Sega Master System Facts*. Andrews UK Limited, únor 2013. ISBN 978-1-78234-623-4.
- [16] WEISS, B. *Classic Home Video Games, 1972-1984: A Complete Reference Guide*. Reprint edition. McFarland & Company, březen 2012. ISBN 978-0-7864-6938-3.
- [17] *Atari 7800 Controller Options*. Leden 2022. Dostupné z: <https://forums.atariage.com/topic/330256-atari-7800-controller-options/>.
- [18] EDDY, A. a DEMARIA, R. *TurboGrafx-16 and TurboExpress Secrets*. Rocklin, CA : New York, NY: Prima Games, září 1990. ISBN 978-1-55958-064-9.
- [19] WEISS, B. *Classic Home Video Games, 1989-1990: A Complete Guide to Sega Genesis, Neo Geo and TurboGrafx-16 Games*. Reprint edition. McFarland, září 2016. ISBN 978-1-4766-6794-2.
- [20] THERRIEN, C. *The Media Snatcher: PC/CORE/TURBO/ENGINE/GRAFX/16/CDROM2/SUPER/DUO/ARCADE/RX*. říjen 2019. Dostupné z: <https://direct.mit.edu/books/book/4555/The-Media-SnatcherPC-CORE-TURBO-ENGINE-GRAFX-16>.
- [21] *Softalk V3n10 Jun 1983*. Softalk Publishing, červen 1983. Dostupné z: <http://archive.org/details/softalkv3n10jun1983>.
- [22] *HuC6280 - Archaic Pixels*. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20210224094307/http://archaicpixels.com/HuC6280>.
- [23] *The Making Of The PC Engine, The 8-Bit Wonder That Took On Nintendo - Feature - Nintendo Life*. červenec 2019. Dostupné z: [https://web.archive.org/web/20190730094735/https://www.nintendolife.com/news/2019/06/feature\\_the\\_making\\_of\\_the\\_pc\\_engine\\_the\\_8-bit\\_wonder\\_that\\_took\\_on\\_nintendo](https://web.archive.org/web/20190730094735/https://www.nintendolife.com/news/2019/06/feature_the_making_of_the_pc_engine_the_8-bit_wonder_that_took_on_nintendo).

- [24] MORGUS, C. *Why Was the Sega Mega Drive Renamed the Genesis in North America?* červen 2022. Section: Games. Dostupné z: <https://www.cbr.com/sega-genesis-mega-drive-renamed-north-america/>.
- [25] *32X - VG Legacy | Sega's Fourth Generation Add-on Device*. Dostupné z: <https://vglegacy.com/hardware/32x/>.
- [26] *Sega-16 - Sega Channel: The First Real Downloadable Content*. Dostupné z: <https://www.sega-16.com/2004/12/sega-channel-the-first-real-downloadable-content/>.
- [27] *Wayback Machine*. Březen 2014. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20140318183327/http://cgfm2.emuviews.com/txt/genvdp.txt>.
- [28] NINTENDO OF AMERICA. *SNES Development Manual*. 1993. Dostupné z: <http://archive.org/details/SNESDevManual>.
- [29] MODERN VINTAGE GAMER. *How Graphics worked on the Super NES | MVG*. 2022. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=kWAg2dj5ZM>.
- [30] ARSENAULT, D. *Super Power, Spooky Bards, and Silverware: The Super Nintendo Entertainment System*. Cambridge, MA: The MIT Press, září 2017. ISBN 978-0-262-03656-6.
- [31] *Retrospective: The 3DO Blaster | AUSRETROGAMER*. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20220327122528/https://ausretrogamer.com/retrospective-the-3do-blaster/>.
- [32] *Retro Gamer 122 by Roy Lazarovich - Issuu*. říjen 2019. Dostupné z: [https://issuu.com/roylazarovich/docs/retro\\_gamer\\_122](https://issuu.com/roylazarovich/docs/retro_gamer_122).
- [33] *The Strange (and Rare) Videogame Pics Page*. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20220414201428/https://faberp.tripod.com/c13dobl.htm>.
- [34] IMAGINE MEDIA. *NEXT Generation Issue #2 February 1995*. únor 1995. Dostupné z: <http://archive.org/details/nextgen-issue-002>.
- [35] HARRIS, B. J. *Console Wars: Sega, Nintendo, and the Battle that Defined a Generation*. Illustrated edition. New York, NY: Dey Street Books, červen 2015. ISBN 978-0-06-227670-4.
- [36] *Silicon Graphics: Gone But Not Forgotten | TechSpot*. Březen 2023. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20230308183315/https://www.techspot.com/article/2142-silicon-graphics/>.

- [37] *Sega Saturn: how one decision destroyed PlayStation's greatest rival | Technology | The Guardian*. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20150526191917/http://www.theguardian.com/technology/2015/may/14/sega-saturn-how-one-decision-destroyed-playstations-greatest-rival>.
- [38] ASAKURA, R. *Revolutionaries at Sony: The Making of the Sony Playstation and the Visionaries Who Conquered the World of Video Games*. 1st edition. New York: McGraw-Hill, duben 2000. ISBN 978-0-07-135587-2.
- [39] *PlayStation 25th Anniversary: How Sony created the console that redefined the game industry | GamesRadar+*. Prosinec 2022. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20221210061343/https://www.gamesradar.com/playstation-25th-anniversary-how-sony-created-the-console-that-redefined-the-game-industry/>.
- [40] IMAGINE MEDIA. *NEXT Generation Issue #6 June 1995*. červen 1995. Dostupné z: <http://archive.org/details/nextgen-issue-006>.
- [41] *History of the PlayStation - IGN*. únor 2023. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20230201180301/https://www.ign.com/articles/1998/08/28/history-of-the-playstation>.
- [42] *Electronic Gaming Monthly (1989 - 2003)*. Dostupné z: [http://archive.org/details/ElectronicGamingMonthly\\_201902](http://archive.org/details/ElectronicGamingMonthly_201902).
- [43] *Blast from the Past: Buying a Computer in 1995 | ITPro Today: IT News, How-Tos, Trends, Case Studies, Career Tips, More*. Prosinec 2022. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20221208051854/https://www.itprotoday.com/blast-past-buying-computer-1995>.
- [44] *NEXT Generation 32*. Dostupné z: [http://archive.org/details/NEXT\\_Generation\\_32](http://archive.org/details/NEXT_Generation_32).
- [45] *The Evolution of the PlayStation Controller - IGN*. Březen 2023. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20230321191727/https://www.ign.com/articles/the-evolution-of-the-playstation-controller>.
- [46] *Sony Computer Entertainment Europe - Virtual Press Office*. Září 2007. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20070919215408/http://www.scee.presscentre.com/Content/Detail.asp?ReleaseID=98&NewsAreaID=22>.
- [47] *Nintendo 64 programming characteristics*. Listopad 2022. Page Version ID: 1124122097. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Nintendo\\_64\\_programming\\_characteristics&oldid=1124122097](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Nintendo_64_programming_characteristics&oldid=1124122097).

- [48] *The Nintendo 64 Was the Culmination of 90s Virtual Reality – The History of How We Play*. Březen 2023. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20230323200531/https://thehistoryofhowweplay.wordpress.com/2018/06/23/the-nintendo-64-was-the-culmination-of-90s-virtual-reality/>.
- [49] MAGAZINES, H. *Popular Mechanics*. Hearst Magazines, duben 1996. Google-Books-ID: MGUEAAAAMBAJ.
- [50] HISTORICNERD. *History of the Nintendo 64*. 2021. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=4AELIX81i9Y>.
- [51] GAMING HISTORIAN. *Sega Dreamcast - Gaming Historian*. 2014. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=6xdBVHSrdzg>.
- [52] *Next Generation 36 Dec 1997*. Prosinec 1997. Dostupné z: <http://archive.org/details/NextGeneration36Dec1997>.
- [53] *Hardware Classics: Sega Dreamcast - Nintendo Life*. Březen 2016. Dostupné z: [https://web.archive.org/web/20160304110322/http://www.nintendolife.com/news/2015/04/hardware\\_classics\\_seg\\_a\\_dreamcast](https://web.archive.org/web/20160304110322/http://www.nintendolife.com/news/2015/04/hardware_classics_seg_a_dreamcast).
- [54] HAGIWARA, S. a OLIVER, I. Sega Dreamcast: Creating a Unified Entertainment World. *IEEE Micro*. listopad 1999, sv. 19, č. 6, s. 29–35. DOI: 10.1109/40.809375. ISSN 0272-1732. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/40.809375>.
- [55] *Next Generation 38 Feb 1998*. únor 1998. Dostupné z: <http://archive.org/details/NextGeneration38Feb1998>.
- [56] *The Team Behind Nintendo's Super FX Almost Made the PS2 CPU, And It Was Named After a Dog's Bits | Push Square*. únor 2023. Dostupné z: [https://web.archive.org/web/20230227162412/https://www.pushsquare.com/news/2019/11/the\\_team\\_behind\\_nintendos\\_super\\_fx\\_almost\\_made\\_the\\_ps2\\_cpu\\_and\\_it\\_was\\_named\\_after\\_a\\_dogs\\_bits](https://web.archive.org/web/20230227162412/https://www.pushsquare.com/news/2019/11/the_team_behind_nintendos_super_fx_almost_made_the_ps2_cpu_and_it_was_named_after_a_dogs_bits).
- [57] WOJNAR, J. *10 Secrets Behind The Making Of The PlayStation 2*. červenec 2019. Section: Lists. Dostupné z: <https://www.thegamer.com/secrets-making-playstation-2/>.
- [58] *SIE Business Development | Sony Interactive Entertainment Inc*. Duben 2021. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20210428094110/https://www.sie.com/en/corporate/data.html>.

- [59] *IR Information : Sales Data - Dedicated Video Game Sales Units*. Leden 2021. Dostupné z: [https://web.archive.org/web/20210126154725/https://www.nintendo.co.jp/ir/en/finance/hard\\_soft/index.html](https://web.archive.org/web/20210126154725/https://www.nintendo.co.jp/ir/en/finance/hard_soft/index.html).
- [60] *Xbox.com / News - 20060510*. červenec 2007. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20070709062832/http://www.xbox.com/zh-SG/community/news/2006/20060510.htm>.
- [61] *Inside the Playstation 2: PS2 Architecture, Graphics Rendering and Programming*. červen 2021. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20210620152148/http://vazgames.com/retro/PS2.htm>.
- [62] *The PlayStation2 vs. the PC: a system-level comparison of two 3D platforms / Ars Technica*. Březen 2023. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20230320223840/https://arstechnica.com/features/2000/04/ps2vspc/5/>.
- [63] *Introducing - PSX Scene*. Březen 2023. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20230325192819/https://www.yumpu.com/en/document/read/19193969/introducing-psx-scene>.
- [64] *Ars Technica: A Technical Overview of the Emotion Engine - Page 2 - (3/2000)*. červenec 2022. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20220723075053/https://archive.arstechnica.com/reviews/1q00/playstation2/m-ee-2.html>.
- [65] *Vertex Shaders/NVIDIA*. říjen 2022. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20221012094751/https://www.nvidia.com/en-us/drivers/feature-vertexshader/>.
- [66] IMAGINE MEDIA. *NEXT Generation Issue #22 October 1996*. říjen 1996. Dostupné z: <http://archive.org/details/nextgen-issue-022>.
- [67] *HomeLan Fed : Exclusives : RenderWare Interview .:* Prosinec 2003. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20031208124348/http://www.homelanfed.com/index.php?id=9856>.
- [68] *EyeToy, Innovation and Beyond – PlayStation.Blog*. říjen 2016. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20161006175554/http://blog.us.playstation.com/2010/11/03/eyetoy-innovation-and-beyond/comment-page-2/>.
- [69] *Britannica*. Dostupné z: <https://www.britannica.com/error404>.

- [70] STONE, S. *GameCube at 20: Nintendo's Under-Appreciated Powerhouse*. červenec 2021. Section: Games. Dostupné z: <https://www.cbr.com/gamecube-20-anniversary-nintendo-underappreciated-powerhouse/>.
- [71] *The Life and Death of the Original Xbox - IGN - Page 2*. Květen 2019. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20190515071838/https://www.ign.com/articles/2011/11/23/the-life-and-death-of-the-original-xbox?page=2>.
- [72] *ECMA-268*. Dostupné z: <https://www.ecma-international.org/publications-and-standards/standards/ecma-268/>.
- [73] *ExtremeTech*. červen 2001. Dostupné z: <https://www.extremetech.com/archive/49118-nintendo-gamecube-unwrapped>.
- [74] KALIROFF, M. *20 Years Later: The Nintendo GameCube Is The Sixth Generation's Unexpected Champion*. Září 2021. Dostupné z: <https://goombastomp.com/20-years-later-the-nintendo-gamecube-is-the-sixth-generations-unexpected-champion/>.
- [75] *Xbox Launch One of Most Successful in Video Game History - Stories*. červen 2019. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20190601212750/https://news.microsoft.com/2002/01/08/xbox-launch-one-of-most-successful-in-video-game-history/>.
- [76] *How the original Xbox team convinced 'insulted' Bill Gates to green-light a console | Shacknews*. únor 2023. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20230202235032/https://www.shacknews.com/article/95635/how-the-original-xbox-team-convinced-insulted-bill-gates-to-green-light-a-console>.
- [77] *The making of the Xbox: How Microsoft unleashed a video game revolution (part 1) | VentureBeat*. Duben 2023. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20230402104034/https://venturebeat.com/games/making-of-the-xbox-1/view-all/>.
- [78] *The History of the Xbox | Digital Trends*. červen 2019. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20190606112355/https://www.digitaltrends.com/gaming/the-history-of-the-xbox/>.
- [79] *Xbox: Description of custom soundtracks*. Leden 2008. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20080102180345/http://support.microsoft.com/kb/909942>.



- [80] *Hardware Behind the Consoles - Part I: Microsoft's Xbox - AnandTech :: Your Source for Hardware Analysis and News*. Listopad 2010. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20101104081735/http://www.anandtech.com/show/853/2>.
- [81] *Xbox: Xbox Live Arcade Review*. Listopad 2004. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20041104035401/http://xbox.ign.com/articles/562/562571p1.html>.
- [82] *GameSpy.com - Hardware: Xbox Controller S*. červen 2008. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20080624085615/http://archive.gamespy.com/hardware/march02/xboxcontrollers/>.
- [83] *PS4 and Xbox One vs PS3 and Xbox 360 Sales Comparison - June 2021*. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20210803170904/https://www.vgchartz.com/article/450030/ps4-and-xbox-one-vs-ps3-and-xbox-360-sales-comparison-june-2021/>.
- [84] *Playing the Fool - WSJ*. Leden 2015. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20150129121858/https://www.wsj.com/articles/SB123069467545545011>.
- [85] *Timeline: A look back at Kinect's history - CNET*. červen 2022. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20220620174451/https://www.cnet.com/tech/tech-industry/timeline-a-look-back-at-kinects-history/>.
- [86] *Mark Cerny frankly recounts Sony's mistakes with the PlayStation 3 | VentureBeat*. říjen 2022. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20221022132753/https://venturebeat.com/games/a-frank-recounting-of-the-mistakes-sony-made-with-the-playstation-3/>.
- [87] *Pixel Shaders|NVIDIA*. Březen 2023. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20230324215941/https://www.nvidia.com/en-us/drivers/feature-pixelshader/>.
- [88] *PlayStation 3 Architecture | A Practical Analysis*. Březen 2023. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20230315023734/https://www.copetti.org/writings/consoles/playstation-3/>.
- [89] *Sony Non-Shocker: Sixaxis Discontinued*. únor 2015. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20150203212828/http://multiplayerblog.mtv.com/2008/04/02/sony-non-shocker-sixaxis-discontinued/>.
- [90] *E3: Sony's Phil Harrison // GamesIndustry.biz*. únor 2008. Dostupné z: [https://web.archive.org/web/20080225032455/http://www.gamesindustry.net/content\\_page.php?aid=16969](https://web.archive.org/web/20080225032455/http://www.gamesindustry.net/content_page.php?aid=16969).



- [91] *Sony boss on Move: “We could have done a better job” | Official PlayStation Magazine.* Březen 2012. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20120309180342/http://www.officialplaystationmagazine.co.uk/2012/03/08/sony-boss-on-move-we-could-have-done-a-better-job/>.
- [92] *PLAYSTATION®MOVE MOTION CONTROLLER DELIVERS A WHOLE NEW ENTERTAINMENT EXPERIENCE TO PLAYSTATION®3.* červen 2012. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20120610110104/http://scei.co.jp/corporate/release/100616ae.html>.
- [93] *Gamasutra - Develop 2009: SCEE’s Hirani Reveals PS Eye Facial Recognition, Motion Controller Details.* Březen 2016. Dostupné z: [https://web.archive.org/web/20160303194801/https://www.gamasutra.com/php-bin/news\\_index.php?story=24456](https://web.archive.org/web/20160303194801/https://www.gamasutra.com/php-bin/news_index.php?story=24456).
- [94] *Where Switch, PS4 Rank Among the Best-Selling Video Game Consoles of All Time - IGN.* Leden 2020. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20200128032452/https://www.ign.com/articles/2019/10/30/top-15-best-selling-video-game-consoles-of-all-time>.
- [95] *Replay: The History of Video Games: Donovan, Tristan: 9780956507204: Amazon.com: Books.* Dostupné z: <https://www.amazon.com/Replay-History-Video-Tristan-Donovan/dp/0956507204>.
- [96] *How Nintendo’s Wii is beating out Sony and Microsoft - June 11, 2007.* Srpen 2020. Dostupné z: [https://web.archive.org/web/20200812100316/https://money.cnn.com/magazines/fortune/fortune\\_archive/2007/06/11/100083454/](https://web.archive.org/web/20200812100316/https://money.cnn.com/magazines/fortune/fortune_archive/2007/06/11/100083454/).
- [97] *What Is the Difference between the Models of Wii Consoles? | Nintendo Support.* Březen 2015. Dostupné z: [https://web.archive.org/web/20150329151054/https://en-americas-support.nintendo.com/app/answers/detail/a\\_id/2650/~what-is-the-difference-between-the-models-of-wii-consoles](https://web.archive.org/web/20150329151054/https://en-americas-support.nintendo.com/app/answers/detail/a_id/2650/~what-is-the-difference-between-the-models-of-wii-consoles).
- [98] *Console Power Comparison Chart - TheGamingSetup.* Březen 2023. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20230315102451/https://thegamingsetup.com/console-power-comparison-chart>.
- [99] *Hack: The Nintendo Wii | MIT Technology Review.* Listopad 2022. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20221103142226/https://www.technologyreview.com/2007/07/01/271887/hack-the-nintendo-wii/>.

- [100] *Ars at E3: Nintendo shows new first-party peripherals Wii Zapper, Wheel* / *Ars Technica*. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20220701030223/https://arstechnica.com/gaming/2007/07/ars-at-e3-new-first-party-peripherals-wii-zapper-wheel/>.
- [101] *PS5 shipments top 19.3 million; PS4 tops 117.2 million - Gematsu*. Listopad 2022. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20221121202053/https://www.gematsu.com/2022/05/ps5-shipments-top-19-3-million-ps4-tops-117-2-million>.
- [102] *10 Development Stories Behind The PS4*. říjen 2020. Section: Lists. Dostupné z: <https://gamerant.com/ps4-best-development-stories/>.
- [103] ROACHFORD, J. *Remembering The 8th Generation of Gaming*. Prosinec 2020. Dostupné z: <https://www.thegamecrater.com/remembering-the-8th-generation-of-gaming/>.
- [104] *8th Gen Gaming*. Dostupné z: <https://prezi.com/tdep3rzscrl1/8th-gen-gaming/>.
- [105] *Power On: The Story of Xbox: New docuseries explores the origins of Xbox and its evolution over 20 years*. Dostupné z: <https://news.microsoft.com/source/features/work-life/power-on-the-story-of-xbox-new-docuseries-explores-the-origins-of-xbox-and-its-evolution-over-20-years/>.
- [106] *Microsoft finally admits Xbox One sales were less than half of the PS4 - The Verge*. únor 2023. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20230207093825/https://www.theverge.com/2022/8/15/23306068/microsoft-xbox-one-sales-lifetime-versus-ps4-sales>.
- [107] *Nintendo Wii lifetime unit sales by region 2022*. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/1101890/unit-sales-nintendo-wii-region/>.
- [108] *The Secret Developers: Wii U - the inside story | Eurogamer.net*. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20230523171326/https://www.eurogamer.net/digitalfoundry-2014-secret-developers-wii-u-the-inside-story>.
- [109] *The Secret Developers: Wii U - the inside story | Eurogamer.net*. Březen 2023. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20230319224731/https://www.eurogamer.net/digitalfoundry-2014-secret-developers-wii-u-the-inside-story>.
- [110] OHANNESSIAN, K. *With Nintendo's Switch Game Console, New Ideas Create New Experiences*. Leden 2017. Dostupné z: <https://www.fastcompany.com/3067343/nintendo-switch>.

- [111] *Nintendo Explains How The Switch Got Its Name And What Their Goal Was With Its Reveal Trailer*. Prosinec 2016. Dostupné z: <https://www.siliconera.com/nintendo-explains-switch-got-name-goal-reveal-trailer/>.
- [112] *Technical Specs - Nintendo Switch™ - System hardware, console specs - Nintendo - Official Site*. Dostupné z: <https://www.nintendo.com/switch/tech-specs/>.
- [113] AMOS, E. *The Game Console 2.0: A Photographic History from Atari to Xbox*. 2nd edition. San Francisco: No Starch Press, září 2021. ISBN 978-1-71850-060-0.
- [114] *The big Xbox Series S interview: why Microsoft made an entry-level next-gen console | Eurogamer.net*. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20230523171152/https://www.eurogamer.net/digitalfoundry-2020-xbox-series-s-big-interview>.
- [115] *The making of the Xbox: How Microsoft unleashed a video game revolution (part 1)*. Listopad 2011. Dostupné z: <https://venturebeat.com/games/making-of-the-xbox-1/>.
- [116] D'ANGELO, W. *Developer Claims Xbox Series S Will Struggle Later Into the Generation*. Duben 2023. Section: article. Dostupné z: <https://www.vgchartz.com/article/456756/developer-claims-xbox-series-s-will-struggle-later-into-the-generation/>.
- [117] STOCKDALE, A. V. f. H., PHILLIPS, K. a PUBLISHED, R. W. *Xbox Series S vs Xbox One S: the cheapest Xbox consoles compared*. Květen 2023. Dostupné z: <https://www.techradar.com/news/xbox-series-s-vs-xbox-one-s-the-cheapest-xbox-consoles-compared>.
- [118] *PlayStation®5 Design Story / Stories / Sony Design*. červenec 2021. Dostupné z: <https://www.sony.com/en/SonyInfo/design/stories/PS5/index.html>.
- [119] WILLIAMS, N. *Ninth Generation Video Game Consoles*. říjen 2022. Dostupné z: <https://history-computer.com/ninth-generation-video-game-consoles/>.
- [120] *Tech Specs*. Dostupné z: <https://www.playstation.com/en-us/ps4/tech-specs/>.
- [121] *Amazon.com: Game Programming Algorithms and Techniques: A Platform-Agnostic Approach (Game Design): 9780321940155: Madhav, Sanjay: Books*. Dostupné z: <https://www.amazon.com/Game-Programming-Algorithms-Techniques-Platform-Agnostic/dp/0321940156>.

- [122] *Super Mario Bros. (NES, 1985) credits*. Dostupné z: <https://www.mobygames.com/game/7298/super-mario-bros/credits/nes/>.
- [123] *Chrono Trigger (SNES, 1995) credits*. Dostupné z: <https://www.mobygames.com/game/4501/chrono-trigger/credits/snes/>.
- [124] *Super Mario World (1990)*. Dostupné z: <https://www.mobygames.com/game/6591/super-mario-world/>.
- [125] *Crash Bandicoot (PlayStation, 1996) credits*. Dostupné z: <https://www.mobygames.com/game/4721/crash-bandicoot/credits/playstation/>.
- [126] KONEV, B. *Principles of Computer Game Design and Implementation*.
- [127] *Unreal Engine 2*. Dostupné z: [https://unreal.fandom.com/wiki/Unreal\\_Engine\\_2](https://unreal.fandom.com/wiki/Unreal_Engine_2).
- [128] *RenderWare | About | SIGMA Co.* Září 2020. Section: About. Dostupné z: <https://sigmaco.org/3782-renderware/>.
- [129] MARCH 09, M. D. B. a 2010. *In-Depth: The State Of Game Engines At GDC 2010*. Březen 2010. Section: pc. Dostupné z: <https://www.gamedeveloper.com/pc/in-depth-the-state-of-game-engines-at-gdc-2010>.
- [130] *News: Rein: "We've been working on Unreal Engine 4 for two years"- CVG Australia*. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20140110101539/http://www.computerandvideogames.com/123639/rein-weve-been-working-on-unreal-engine-4-for-two-years/>.
- [131] *Red Dead Redemption II (PlayStation 4, 2018) credits - MobyGames*. Dostupné z: <https://www.mobygames.com/game/115902/red-dead-redemption-ii/credits/playstation-4/>.
- [132] DOUCET, L., SEPTEMBER 02, A. P. a 2021. *Game engines on Steam: The definitive breakdown*. Září 2021. Section: business. Dostupné z: <https://www.gamedeveloper.com/business/game-engines-on-steam-the-definitive-breakdown>.
- [133] CRECENTE, B. *The Story Behind the Story of 'Red Dead Redemption 2'*. říjen 2018. Dostupné z: <https://variety.com/2018/gaming/features/red-dead-redemption-2-narrative-interview-1202992401/>.
- [134] CONTRIBUTOR, A. S. *A beginner's guide to performance capture by Epic Games*. Květen 2020. Dostupné z: <https://www.gamesindustry.biz/a-beginners-guide-to-performance-capture-by-epic-games>.

- [135] ILJA, A. Use of design patterns for mobile game development. 2012.
- [136] *What's a design pattern?* Dostupné z: <https://refactoring.guru/design-patterns/what-is-pattern>.
- [137] *Modern Book on Design Patterns: Dive Into Design Patterns*. Dostupné z: <https://refactoring.guru/design-patterns/book>.
- [138] *Nintendo Entertainment System (NES) Architecture | A Practical Analysis*. Leden 2019. Section: writings. Dostupné z: <https://www.copetti.org/writings/consoles/nes/>.
- [139] NESHACKER. *NES Graphics Explained*. 2021. Dostupné z: [https://www.youtube.com/watch?v=7Co\\_8dC2zb8](https://www.youtube.com/watch?v=7Co_8dC2zb8).
- [140] *PPU OAM*. Dostupné z: [https://www.nesdev.org/wiki/PPU\\_OAM](https://www.nesdev.org/wiki/PPU_OAM).
- [141] *PlayStation Architecture | A Practical Analysis*. Srpen 2019. Section: writings. Dostupné z: <https://www.copetti.org/writings/consoles/playstation/>.
- [142] GARBAJ. *The Truth About PS1 Graphics*. 2022. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=ESXAxtDEkzY>.
- [143] GOURAUD, H. Continuous Shading of Curved Surfaces. *IEEE Transactions on Computers*. červen 1971, C-20, č. 6, s. 623–629. DOI: 10.1109/T-C.1971.223313. ISSN 1557-9956. Conference Name: IEEE Transactions on Computers.
- [144] *3D Visualization in Geospatial Analysis - Tech Briefs*. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20210305124836/https://www.techbriefs.com/component/content/article/tb/supplements/it/features/articles/14705>.
- [145] *Lecture: Graphics pipeline*. Prosinec 2017. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20171207095603/http://goanna.cs.rmit.edu.au/~gl/teaching/rtr%263dgp/notes/pipeline.html>.
- [146] *Forward Rendering vs. Deferred Rendering*. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20230128111728/https://gamedevelopment.tutsplus.com/articles/forward-rendering-vs-deferred-rendering--gamedev-12342>.
- [147] *Graphics card - What's the difference between Bilinear, Trilinear, and Anisotropic texture filtering? - Arqade*. Prosinec 2022. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20221209024112/https://gaming.stackexchange.com/questions/48912/whats-the-difference-between-bilinear-trilinear-and-anisotropic-texture-filte>.

- [148] *Gaming Graphics Terminology Explained !* Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20221209154217/https://techzei.com/gaming-graphics-terminology-explained/>.
- [149] *An introduction to temporal antialiasing | LEI XU*. Leden 2023. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20230130081214/https://www.lei-xu.com/post/taa/>.
- [150] *What Is Screen Space Ambient Occlusion? | SSAO Explained*. Listopad 2022. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20221118182345/https://culturedvultures.com/screen-space-ambient-occlusion-ssao-explained/>.
- [151] *What Is Screen Space Reflections | Science-Atlas.com*. Duben 2023. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20230415135927/https://science-atlas.com/faq/what-is-screen-space-reflections/>.
- [152] *Nvidia DLSS 2 vs Intel XeSS vs AMD FSR 2 on Nvidia GeForce and AMD Radeon GPUs | TechSpot*. Duben 2023. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20230403200923/https://www.techspot.com/article/2558-dlss-vs-xess-vs-fsr/>.
- [153] SALIENT. *Why Your VMS Needs Dynamic Resolution Scaling*. Duben 2022. Dostupné z: <https://www.salientsys.com/why-your-vms-needs-dynamic-resolution-scaling/>.
- [154] *RDNA 2 deep-dive: What's inside AMD's Radeon RX 6000 graphics cards | PCWorld*. Duben 2023. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20230411183739/https://www.pcworld.com/article/393733/rdna-2-deep-dive-inside-amd-radeon-rx-6000-graphics-cards.html>.
- [155] MIKHAILIUK, A. *What is Variable Rate Shading and Why Big Players are Rushing to Get It*. říjen 2022. Dostupné z: <https://towardsdatascience.com/what-is-variable-rate-shading-and-why-big-players-are-rushing-to-get-it-ea90a71a5d98>.
- [156] *Vulkan API Analysis Part 1 | Overview, Purpose & Benefits Of Vulkan | Tech Tribunal RedGamingTech*. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20230131164357/http://www.redgamingtech.com/vulkan-api-analysis-part-1-overview-purpose-benefits-of-vulkan-tech-tribunal/>.
- [157] *AMD Lays Out Future of Mantle: Changing Direction In Face of DX12 and glNext*. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20221206123159/https://www.anandtech.com/show/9036/amd-lays-out-future-of-mantle-changing-direction-in-face-of-dx12-and-glnext>.

- [158] *Court Says Software Maker Can Emulate Sony's PlayStation*. Dostupné z: <https://archive.nytimes.com/www.nytimes.com/library/tech/00/02/biztech/articles/11sony.html>.
- [159] PUBLISHED, W. F. The ethics of emulation: how creators, the community, and the law view console emulators. *PC Gamer*. březen 2017. Dostupné z: <https://www.pcgamer.com/the-ethics-of-emulation-how-creators-the-community-and-the-law-view-console-emulators/>.
- [160] *Camera tutorial*. Dostupné z: <https://github.com/nesbox/TIC-80/wiki/Camera-tutorial>.
- [161] KOHLER, C. *Racing the Beam: How Atari 2600's Crazy Hardware Changed Game Design* | *WIRED*. Dostupné z: <https://archive.is/nWFIM>.
- [162] STAFF, I. G. N. *Nintendo Jumps Online*. Květen 2002. Dostupné z: <https://www.ign.com/articles/2002/05/13/nintendo-jumps-online>.
- [163] *NVIDIA DLSS: Your Questions, Answered* | *GeForce News* | *NVIDIA*. Duben 2023. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20230413124510/https://www.nvidia.com/en-us/geforce/news/nvidia-dlss-your-questions-answered/>.
- [164] ADAMS, D. Chapter 1. A Chronology of Game Programming.
- [165] *The Game Console 2.0: A Photographic History from Atari to Xbox: Amos, Evan: 9781718500600: Amazon.com: Books*. Dostupné z: <https://www.amazon.com/Game-Console-2-0-Photographic-History/dp/1718500602>.
- [166] LACINA, D. The Evolution of Game Console Design—and American Gamers. *Wired*. ISSN 1059-1028. Section: tags. Dostupné z: <https://www.wired.com/story/evolution-of-game-console-design-america/>.





## SEZNAM OBRÁZKŮ

1	Magnavox Odyssey – konzole s ovladačem. ....	20
2	Atari Pong – konzole. ....	21
3	Coleco Telstar Arcada – konzole s ovladači. ....	22
4	Fairchild Channel F – konzole s ovladačem. ....	24
5	Atari Video Computer System – konzole s ovladačem. ....	25
6	Nintendo Famicom – japonská verze konzole s ovladačem. ....	31
7	Sega Master System – americká verze konzole s ovladačem. ....	34
8	Atari 7800 – konzole s ovladačem. ....	36
9	PC Engine – japonská verze konzole s ovladačem. ....	38
10	Sega Mega Drive – japonská verze konzole s ovladačem. ....	40
11	Nintendo Super Famicom – japonská verze konzole s ovladačem. ....	41
12	Panasonic FZ-1 R.E.A.L. 3DO Interactive Multiplayer – verze konzole s ovladačem od společnosti Panasonic. ....	45
13	Sega Saturn – konzole s ovladačem. ....	47
14	Sony PlayStation – konzole s první verzí ovladače (vlevo) a novější ovladač s páčkami (vpravo). ....	50
15	Nintendo 64 – konzole s ovladačem. ....	53
16	Sega Dreamcast – konzole s ovladačem a VMU. ....	55
17	Zjednodušené schéma komponentů zapojených do výpočtů uvnitř PlayStation 2. ....	58
18	Sony PlayStation 2 – konzole s ovladačem. ....	59
19	Nintendo GameCube – konzole s ovladačem. ....	61
20	Microsoft Xbox – konzole s novějším menším ovladačem. ....	63
21	Microsoft Xbox 360 – konzole, ovladač a senzor Kinect. ....	65
22	Sony PlayStation 3 – konzole, ovladač a sada příslušenství k pohybovému ovládání. ....	67
23	Nintendo Wii – konzole s ovladačem Wii Remote. ....	69
24	Sony PlayStation 4 – konzole s ovladačem. ....	71
25	Microsoft Xbox One – konzole s ovladačem. ....	73
26	Nintendo Wii U – konzole s ovladačem. ....	75
27	Nintendo Switch – konzole v přenosném módu (vlevo), konzole s ovladačem v dokovací stanici (vpravo). ....	79
28	Microsoft Xbox Series X (vpravo), Microsoft Xbox Series S (vlevo). .	81
29	Sony PlayStation 5 – konzole s ovladačem. ....	83
30	Pattern table ze hry Super Mario Bros. ....	92

31	Vrstva pozadí s vyznačenou velikostí obrazovky ze hry Super Mario Bros. ....	93
32	Vrstva popředí (barevně) a pro ilustraci vrstva pozadí (černobíle) ze hry Super Mario Bros. ....	93
33	Výsledný snímek ze hry Super Mario Bros. ....	94
34	Drátový model scény ze hry Spyro the Dragon. ....	95
35	Koule nasvícená ploše (vlevo) a Gouraudovou metodou (vpravo). ....	96
36	Nasvícená scéna ze hry Spyro the Dragon. ....	97
37	Finální scéna ze hry Spyro the Dragon. ....	97
38	Schéma forward rendering pipeline. ....	100
39	Schéma deffered rendering pipeline. ....	100
40	Srovnání obrazu s vypnutou (vlevo) a se zapnutou (vpravo) funkcí anizotropního filtrování ze hry Red Dead Redemption 2. ....	101
41	Příklad aliasingu na čáře. ....	102
42	Srovnání obrazu s vypnutou (vlevo) a se zapnutou (vpravo) funkcí anti-aliasingu ze hry Red Dead Redemption 2. ....	103
43	Srovnání obrazu s vypnutou (vlevo) a se zapnutou (vpravo) funkcí SSAO ze hry Red Dead Redemption 2. ....	104
44	Srovnání obrazu s vypnutou (vlevo) a se zapnutou (vpravo) funkcí sreen space odlesků ze hry Control. ....	105
45	Srovnání obrazu s funkcí screen space odlesků (vlevo) a se zapnutou (vpravo) funkcí raytraced odlesků ze hry Control. ....	106
46	Ukázka aktuálního snímku ze hry Dirt 5 a jeho vstupní vizuální informaci pro funkci VRS. ....	108
47	Příkazová řádka (vlevo) a ukázkový program (vpravo). ....	113
48	Snímek obrazovky původní hry Bubble Bobble. ....	114
49	Snímek obrazovky přepracované verze hry Bubble Bobble. ....	114
50	Obrazovka umožňující pokračovat ve hře za druhou postavu. ....	115
51	Popis ovládání (vlevo) a vysvětlení funkce bublin (vpravo). ....	115
52	Hlavní menu (vlevo) a menu nastavení (vpravo). ....	116
53	Snímek obrazovky původní hry Gadius. ....	117
54	Snímek obrazovky přepracované verze hry Gadius. ....	118
55	Úvodní obrazovka (vlevo) a konečná obrazovka (vpravo). ....	118
56	Snímek obrazovky s vysvětlivkami ovládání. ....	119
57	Všechny druhy získatelných předmětů. ....	119
58	Editor herní grafiky v TIC-80. ....	120
59	Editor kódu v TIC-80. ....	121
60	Schéma hlavní smyčky herního programu. ....	126

61	Sprite flag hodnoty v TIC-80. ....	127
62	Editor herních úrovní v TIC-80. ....	127



## SEZNAM PŘÍLOH

A	Space .....	155
B	Bubble .....	157



## A Space

```
Bubble
├── Linux
│   └── Bubble
├── Mac
│   └── Bubble
├── Source
│   ├── source.lua
│   └── bubble.tic
├── Web
│   └── Bubble.zip
├── Windows
│   └── Bubble.exe
└── README.txt
```





## B Bubble

