

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

SOFTWARE PRO NÁVRH KONFIGURACE KAMER PANORAMATICKÉHO SYSTÉMU

SOFTWARE FOR CAMERAS CONFIGURATION DESIGN OF THE PANORAMIC SYSTEM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Jílek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petr Kříž

BRNO 2019

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Teleinformatika**

Ústav telekomunikací

Student: Michal Jílek

ID: 174208

Ročník: 3

Akademický rok: 2018/19

NÁZEV TÉMATU:

Software pro návrh konfigurace kamer panoramatického systému

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Vytvořte aplikaci, která na základě vstupních požadavků uživatele (prostorové rozlišení výstupního obrazu, umístění kamer, ohniskové vzdálenosti objektivů apod.) pomůže určit klíčové parametry a konfiguraci objektivů a kamer, které jsou součástí panoramatického systému pro dohled nad sportovním stadionem ve vysokém rozlišení. Pomocí OpenGL vytvořte zjednodušený model tribun sportovního stadionu, jehož rozměry bude možno volit. Aplikace bude dále umožňovat např. generování virtuálního 3D pohledu s vyznačením odpovídajícího zorného pole z jednotlivých kamer, nastavení procentuelního překrytí jednotlivých záběrů tribun apod. Doporučeným vývojovým nástrojem je MS Visual C++ a balíček knihoven OpenGL.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] GUHA, S. Computer Graphics Through OpenGL: From Theory to Experiments. Chapman and Hall/CRC, 2010. ISBN 9781439846209.

[2] JOHNSON, B. Professional visual studio 2013: selected readings. 1st edition. Washington: Microsoft Press. Penguin education. ISBN 11-188-3204-3.

Termín zadání: 1.2.2019

Termín odevzdání: 27.5.2019

Vedoucí práce: Ing. Petr Kříž

Konzultant:

prof. Ing. Jiří Mišurec, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá návrhem softwaru v jazyce C++ a grafickým výstupem pomocí OpenGL pro snímání tribun objektivy kamer s různými parametry tak, aby byly předem známy výstupy uživatelské konfigurace objektivů s cílem vytvořit panoramatické pokrytí tribun stadionu. Rozebírá se princip snímání obrazu, parametry objektivů a vzorce pro výpočty jejich vhodného rozvržení na stadionu tak, aby snímaly dohromady panoramatický obraz. Jde o parametry: ohnisková vzdálenost, zorné úhly, výpočty pokrytí, obrazové rozlišení. Dále návrh programu realizujícího danou problematiku.

KLÍČOVÁ SLOVA

Software, C++ Open GL, objektiv, kamera, snímek, panorama, rozlišení, snímač, čip, ohnisková vzdálenost, zorný úhel, pokrytí, stadion, tribuna.

ABSTRACT

Překlad abstraktu v angličtině (This work deals with software design in C ++ language and with graphical output using OpenGL for scanning tribune lenses of cameras with different parameters so that the user lens configurations are known beforehand in order to create panoramic coverage of the stadium stadium. The principle of image capture, lens parameters, and formulas for calculating their appropriate layout on the stadium to collect a panoramic image together is discussed. These are: focal length, viewing angles, coverage calculations, image resolution. Furthermore, a draft program implementing the issue.)

KEYWORDS

Software, C ++ Open GL, lens, camera, frame, panorama, resolution, sensor, chip, focal length, viewing angle, coverage, stadium, grandstand.

MICHAL, Jílek. *Software pro návrh konfigurace kamer panoramatického systému*. Brno, 2019, 51 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací. Vedoucí práce: Ing. Petr Kříž,

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Software pro návrh konfigurace kamer panoramatického systému“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Petru Křížovi za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno

.....

podpis autora

Obsah

Úvod	11
1 Teoretická část - technologie snímání,	
panorama	12
1.1 Historie – perspektivní promítání	12
1.2 Optické čočky a rozptylky	12
1.3 Snímače	14
1.3.1 Fotoelektrický jev a starší snímače	14
1.3.2 Snímače CCD a CMOS	15
1.3.3 Parametry snímačů	17
1.3.4 Velikosti snímačů	18
1.3.5 Rozlišení obrazu snímače	20
1.4 Typy objektivů a jejich parametry	20
1.4.1 Druhy objektivů podle ohniskové vzdálenosti	20
1.4.2 Výpočet zorného úhlu na základě ohniskové vzdálenosti	23
1.4.3 Výpočet pokrytí	24
1.4.4 Parametry objektivů	25
1.5 Skládání panoramatických snímků	26
1.5.1 Techniky rozpoznávání obrazových informací	26
1.5.2 Metody skládání snímků	27
2 Praktická část	29
2.1 Analýza problematiky práce	29
2.1.1 Cíl projektu	29
2.1.2 3D model tribun	29
2.1.3 Rozvržení kamer	29
2.1.4 Klíčové parametry	30
2.2 Návrh programu	31
2.2.1 Architektura programu	31
3 Závěr	34
Literatura	35
Seznam symbolů, veličin a zkratek	38
Seznam příloh	39
A Návod na použití programu	40

B	Modelové situace jednotlivých konfigurací	41
B.1	Pokrytí normálními objektivy	41
B.2	Pokrytí širokoúhlými objektivy	43
B.3	Pokrytí teleobjektivy	45
C	Ukázky vybraných částí kódu a funkcí	48
D	Obsah přiloženého CD	51

Seznam obrázků

1.1	Dírkové promítání	12
1.2	Čočky	13
1.3	Rozptylka	13
1.4	Spojky a rozptylky v objektivu.	14
1.5	CCD	15
1.6	CMOS	15
1.7	Velikosti snímačů	18
1.8	Bayerův filtr	20
1.9	Typy objektivů	21
1.10	Širokoúhlý objektiv	22
1.11	Normální objektiv	22
1.12	Teleobjektiv	23
1.13	Makroobjektiv	24
1.14	Zorný úhel a ohnisková vzdálenost	25
1.15	Logo OpenCV	27
2.1	Vykreslení 3D modelu tribun	30
2.2	Schéma architektury programu	31
B.1	Pohled na situaci s normálními objektivy – půdorys	42
B.2	Pohled na situaci s normálními objektivy – nárys	43
B.3	Pohled na situaci širokoúhlým objektivem – půdorys	44
B.4	Pohled na situaci širokoúhlým objektivem – nárys	44
B.5	Pohled na situaci s teleobjektivem – půdorys	46
B.6	Pohled na situaci s teleobjektivem – nárys	46

Seznam tabulek

1.1	Formáty snímačů a jejich rozměry[6][16]	19
-----	---	----

Seznam výpisů

C.1	Příklad kódu pro vykreslení 3D tribun.	48
C.2	Příklad funkce <code>VypočítejPrůsečík3D</code>	49
C.3	Příklad funkce <code>RotačníMaticeDolů</code>	50

Úvod

Tato práce se věnuje oblasti na téma „Software pro návrh konfigurace kamer panoramatického systému“. Jedná se o program, který bude nezbytnou součástí balíčku bezpečnostního řešení, na němž pracuje tým vědců z ÚTKO (Ústav telekomunikací), VUT (Vysoké učení technické) v Brně. Projekt je objednaný ministerstvem vnitra a bude sloužit pro zajištění bezpečnosti na sportovních stadionech. Má za úkol snímat celé panorama tribun, ve kterých se nacházejí diváci, a rozpoznávat jejich obličeje. V případě, že se tam objeví obličej, jehož biometrické rysy budou shodné s rysy uvedenými v databázi, dotyčný bude detekován a následně zajištěn bezpečnostní službou.

Aby bylo možné zajistit snímání všech tribun a obličeje byly dostatečně rozpoznány, je potřeba vytvořit návrh správného umístění a nastavení jednotlivých objektivů. Jak? Tím se zabývá tato bakalářská práce.

Práce je rozčleněna do tří hlavních částí: teoretická, praktická a přílohy.

Teoretická část se zabývá principy snímání obrazu a průchody světla optickými soustavami. Jsou zde vyjmenovány jednotlivé typy snímačů a objektivů. Každé části snímacího systému jsou popsány klíčovými parametry a rovnicemi nezbytnými pro řešení dané problematiky. Rovnice jsou pak použity v programu, který na základě nich počítá jednotlivá zorná pole kamer a další parametry, které se zpracují na výstup. V poslední části se popisují algoritmy pro vytvoření širokoúhlých a z nich následně panoramatických snímků a požadavky na vznik těchto snímků – tedy jejich překryvy.

Praktická část seznamuje se zadáním bakalářské práce, analyzuje problematiku panoramatického systému. Ukazuje architekturu programu, jednotlivé vztahy mezi třídami a jejich provázanost.

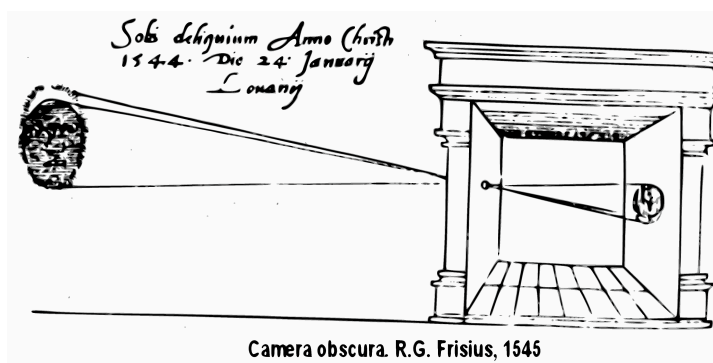
V přílohách jsou uvedeny modelové situace pro různé typy konfigurací. Ukazuje zadání vstupních parametrů a jejich přepočty na výstupní, a především grafické vykreslení scén dané situace. Dále jsou zde ukázány vybrané části zdrojového kódu programu. Kompletní program se nachází na CD a online.

1 Teoretická část - technologie snímání, panorama

Teoretická část Technologie snímání, panorama popisuje technické prostředky pro snímání, jejich principy a parametry. Jedná se o objektivy, z čeho jsou složeny (čočky, rozptylky), jejich typy a způsob fungování. Krátce také pojednává o historii – tedy o objevení promítání.

1.1 Historie – perspektivní promítání

První objev temné komory (Camera obscura) – dírkové komory – se datuje k 5. století př. n. l. Tohoto promítání se používá k realistickému zakreslování skutečnosti neboli obkreslování promítaného obrazu. [1]



Obr. 1.1: Nejstarší promítání – dírkové. [2]

Jedná se v podstatě o jednoduché zobrazovací zařízení, v jehož stěně je malý otvor, jak ukazuje obr. 1.1. Ten vytváří na protilehlé stěně obraz vnějšího prostoru na základě šíření přímočarého světla. Jakmile propuštěné paprsky narazí na průmětnu, vytvoří na ní obraz, avšak o 180 ° převrácený. Čím menší otvor, tím ostřejší je obraz. [2]

Výhodou je, že nemá optické vady. Nevýhodou fakt, že zachytává méně světla než čočky. [1]

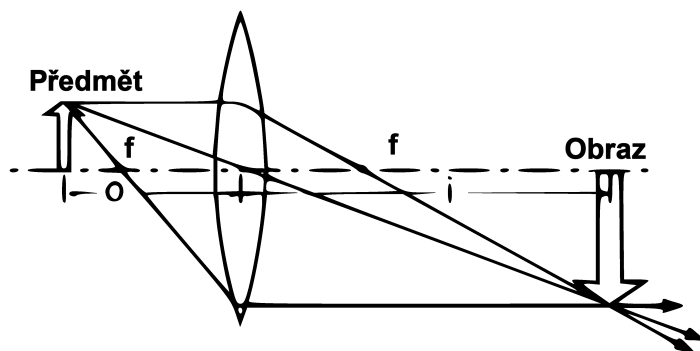
1.2 Optické čočky a rozptylky

Čočky – též spojné čočky – a rozptylky – též rozptylné čočky – jsou průhledná homogenní tělesa (vyrobená zpravidla ze skla), která jsou ohraničena dvěma kulovými hladkými plochami, případně kulovou a o rovinnou hladkou plochou. Slouží

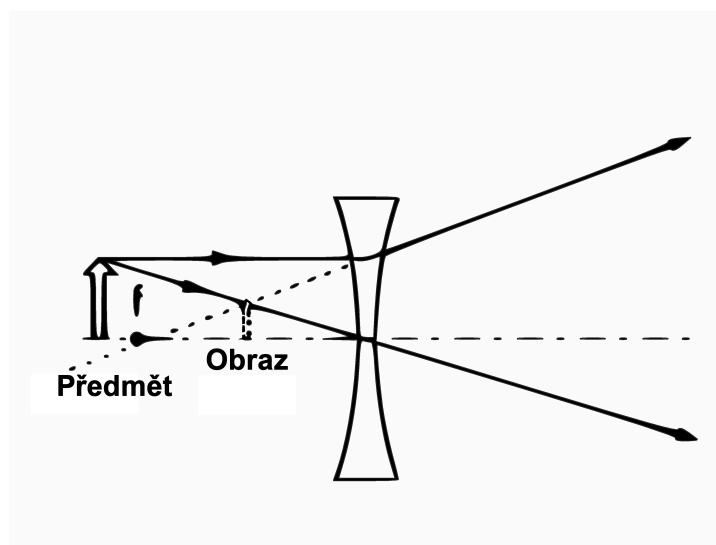
k optickému zobrazení.

Vytvoří-li světelné paprsky při průchodu čočkou sbíhavý paprsek, vznikne v jejich průsečíku skutečný (reálný) obraz, který lze zachytit např. na stěnu, promítací plátno, film či snímač (CCD případně CMOS – o nich ale později).

Lom paprsků vycházejících z předmětu se po průchodu čočkou sbíhá (obr. 1.2), rozptylkou rozbíhá (obr. 1.3).



Obr. 1.2: čočka [3]



Obr. 1.3: rozptylka [3]

Na obrázcích 1.2 a 1.3 můžeme rovněž vidět, že v místě průniku tří paprsků se nachází reálný obraz předmětu.

Pro předmětovou vzdálenost o , obrazovou vzdálenost i a ohniskovou vzdálenost f platí *zobrazovací rovnice čočky* 1.1, jejíž jednotkou je 1 mm^{-1} :

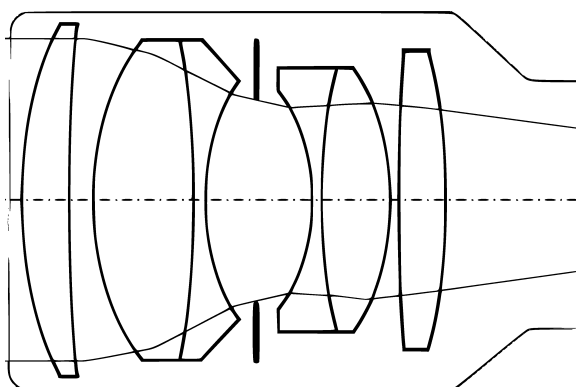
$$\frac{1}{o} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f} \quad (1.1)$$

Vzdálenost o je kladná před čočkou a záporná za ní. Je-li $i > 0$, obraz je skutečný, je-li $i < 0$, obraz není skutečný.

Převrácenou hodnotou ohniskové vzdálenosti je optická mohutnost φ), (v oční optice dioptrie D), jejíž jednotkou je 1 m^{-1} a platí vztah:

$$\varphi = \frac{1}{f} \quad (1.2)$$

[4]Spojky i rozptylky jsou součástí objektivů, což ukazuje obr. 1.4.



Obr. 1.4: spojky a rozptylky v objektivu [1]

1.3 Snímače

Následující podkapitola pojednává o základních fyzikálních vlastnostech a principech snímání, při kterých vzniká obraz, stručně o konstrukčním provedení jednotlivých snímačů, jejich parametrech, které ovlivňují kvalitu obrazu, jeho rozlišení, a také o souvislosti mezi rozměrem snímače a velikostí snímané plochy. Stěžejní je pak samotné rozlišení obrazu.

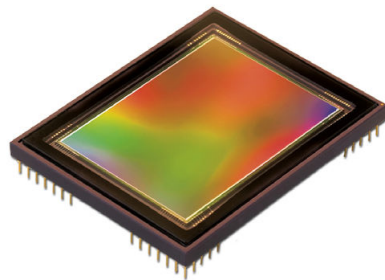
1.3.1 Fotoelektrický jev a starší snímače

Při procesu snímání dochází k přeměně energie světelného záření na elektrický signál. Tuto přeměna lze provést podle vnitřního nebo vnějšího fotoelektrického jevu.

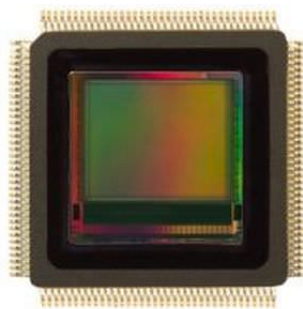
V případě *vnitřního fotoelektrického jevu* se mění odpor snímacího prvku v závislosti na dopadajícím světelném záření. Uvolněné elektrony zůstávají uvnitř materiálu jako vodivostní, což je typické pro polovodiče. Tato přeměna energie se prováděla dříve ve snímacích elektronkách, jako byl vadikon nebo třeba plumbikon. V případě *vnějšího fotoelektrického jevu* se při dopadu fotonu na povrch kovu elektrody vytvářelo elektrické napětí, přičemž docházelo k emisi elektronů z povrchu kovu, narozdíl od vnitřního fotoelektrického jevu. Toho bylo využito u snímacích elektronek, které měly fotoemisní anodu. [5][6]

1.3.2 Snímače CCD a CMOS

V současné době se používají téměř výhradně světlocitlivé monolitické snímače, které se dělí podle technologie výroby na CCD (Charge Coupled Devices) nebo na novější CMOS (Complementary Metal Oxid Semiconductor). [5] Jejich podobu ukazuje obr. 1.5 a obr. 1.6



Obr. 1.5: CCD snímač Dalsa FTF5066C [7]



Obr. 1.6: CMOS snímač Photonfocus / A1312 [8]

CCD Používá se u digitálních objektivů profesionální i poloprofesionální úrovně.

Snímače jsou vyrobené technologií MOS, složené průsvitné kovové elektrody, oxidové izolační vrstvy SiO_2 a z vrstvy polovodiče typu P nebo N, což je polovodičová dioda. [6] Lze jimi pořídit mnohem kvalitnější snímky, než u starších snímačů CMOS, avšak za vyšší cenu. [9]

Princip spočívá v osvětlení elementární buňky, čímž dochází k uvolnění elektronů. Připojením kladného napětí na elektrodu vzniká potenciálová jáma, ještě před samotným osvětlením. Po osvětlení dopadajícími fotony dochází k uvolnění elektrony a generují se volné páry elektron-díra. Množství elektronů je úměrné součinu velikosti osvětlení a doby osvětlení. Doba osvětlení musí být krátká (řádově 10. ms), jinak dojde k saturaci potenciálové jámy (tzv. přepal). Proto se musí náboj přesunout co nejrychleji a převést na obrazový signál. Jeho princip je následující: přesun náboje se uskutečňuje postupnou změnou napětí na kovové, přenosové a transportní. Transport náboje je podobný jako přesun signálu u analogových posuvných registrů. [5][6]

CCD se vyrábí se buď s řádkovou nebo s plošnou strukturou:

Řádkové snímače CCD Světlocitlivé buňky jsou uspořádány pouze do jednoho řádku. Je složen z jednotlivých světlocitlivých buněk nebo pixelů, pole spínačů a posuvného registru. Současné řádkové snímače obsahují až 12 000 obrázkových bodů v řádku, kdy pixel má rozměr cca $7 \times 10 \mu\text{m}$. Snímače barevných obrazů mají před světlocitlivou vrstvou tři barevné filtry R, G, B. Tyto snímače jsou vhodné ke snímání filmových materiálů, jako skenery či ke snímání čárových kódů. [5]

Plošné snímače CCD Vyrábí se ve čtvercovém provedení až 4000×4000 bodů. Realizují se různé typy: FT, LT(IL), FIT. Používají se u televizních aplikací při poměru stran 4:3 a 16:9. [5]

FT (Frame Transfer, Field Transfer) je složen ze snímací a zatemněné paměťové části. Během zatemňovacího impulzu se náboje akumulují ze snímací části do paměťové. Nevýhodou tohoto snímače je mazání obrazu ve svislém směru při snímání velmi jasných ploch. [5]

LT(IL) (Line Transfer, Interline) je složen ze světlocitlivých buněk, mezi něž jsou vloženy vertikální posuvné registry zakryté neprůhlednou vrstvou. Do každé buňky registru se přesune náboj lichého nebo sudého pulsnímku. Nevýhodou tohoto snímače je nižší citlivost a rozlišovací schopnost.

FIT (Field Interline Transfer) představuje kombinaci obou předchozích snímačů FT a LT(IL). Nevýhodou představuje elektronická závěrka, která způsobuje zkreslení velmi rychlých dějů, při postupné vyčítání pixelů [6]. [5]

Šum snímačů CCD U tmavých signálů je zdrojem šumu proud za tmy, který je způsoben v důsledku teplotní závislosti polovodiče a také v důsledku nečistot. Šum se koriguje uložením šumových příspěvků každé buňky do paměti, při zatmění snímače, a jejich odečtením od výsledného signálu. [5]

CMOS Nesmírnou výhodou těchto čipů je jejich rozšířenost ve výpočetní technice, díky které jsou levnější. Další výhodou je, že mají nižší digitální šum, než snímače CCD. Nevýhodou je, že starší typy produkovaly snímky nižší kvality než CCD, mají nižší citlivost (kvůli malému rozměru) a také vyšší úroveň šumu. Díky vylepšené technologii jsou v dnešní době součástí i mnoha profesionálních objektivů s velmi kladnými výsledky kvality snímků. Toho bylo dosaženo vývojem snímače APS (Active Pixel Sensor) za účelem dosažení vysoké citlivosti. Oproti CCD mají menší rozměry a menší spotřebu elektrické energie. [9][13]

Každý pixel je vyroben z fotodiody, zapojené v závěrném směru, a tří unipolárních tranzistorů typu MOSFET (MOS Field-Effect Transistor) s komplementární funkcí. Snímač má stejný počet výstupů jako počet řádků jednotlivých pixelů, tedy pro každý sloupec je jeden výstup.

Čtení dat ze snímače probíhá po řádcích složených z adresovatelně spínaných CMOS tranzistorů. Tato technologie umožňuje implementovat všechny elektronické obvody jako jsou řídicí obvody, generace taktovacího signálu, výstupní obrazový zesilovač a D/A převodník. Jakmile se vyčtou data ze všech řádků, začíná nový expoziční cyklus.

Snímače CMOS jsou spíše používané v levnějších zařízeních, jako jsou kamkordéry, mobilní telefony či zmiňované objektivy.

Snímače APS mají do každé buňky aktivní zesilovač, čímž dosáhnou vysoké citlivosti. [6][11][13]

1.3.3 Parametry snímačů

Dynamický rozsah, citlivost ISO ISO udává citlivost snímače na světlo. Je to nastavitelný parametr. Čím je hodnota ISO vyšší, tím méně světla stačí pro vytvoření snímku, avšak za cenu vyššího digitálního šumu, který se projevuje zrnitostí na snímku, protože se zesiluje analogový signál. (Více o šumu v následující podkapitole.) Ten má za následek zhoršení kvality snímku. Naopak snížením hodnoty ISO potřebuje snímač, k pořízení snímku, mnohem více světla, což se projeví na lepší kvalitě snímku. Snímky s nižší hodnotou ISO budou ostřejší, sytější a kontrastnější.

Je zřejmé, že pro snímání za denního světla postačí nastavení nižší hodnoty ISO a snímky budou dokonale ostré, zatímco pro snímání za šera a za tmy bude potřeba

nastavit vyšší hodnoty ISO. Jednotlivé tmavé složky se pak zesvětlí a výsledkem bude viditelný obraz, avšak se zhoršenou kvalitou.

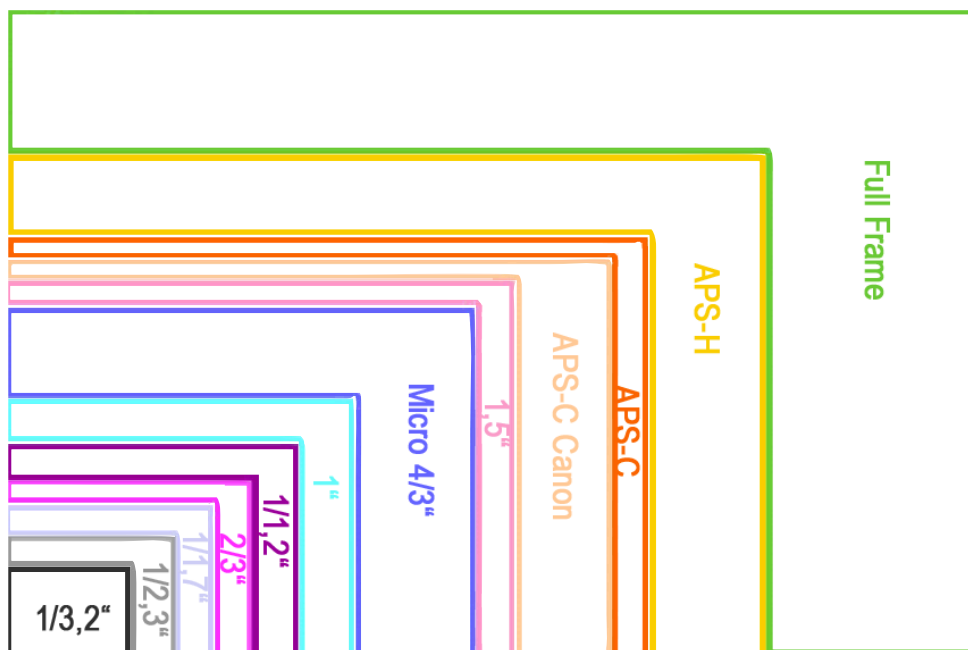
Hodnoty ISO lze nastavit zpravidla od 100 do 6 400. Typická řada hodnot ISO: 100, 125, 160, 200, 250, 320, 400, 800, 1 600 atd. [6][15]

Digitální šum Rozlišujeme dva druhy šumu: šum chromatický a šum jasu. U snímačů CCD pak tzv. proud za tmy, jak je napsáno v podkapitole 1.3.2, zabývající se šumem CCD.

1.3.4 Velikosti snímačů

Snímače světla mají různé velikosti. Jak již bylo zmíněno v kap. 1.3.2, CCD snímače mají větší rozměry a lze se s nimi setkat v objektivních profesionálních fotoaparátů, zatímco CMOS mají malé rozměry a jsou využívány spíše v levnějších zařízeních – např. v mobilních telefonech. (Pro srovnání: model snímače CCD Dalsa FTF5066C na obr. 1.5 má rozměry 36×48 mm, zatímco CMOS snímač Photonfocus / A1312 na obr. 1.6 má rozměry pouze $10,48 \times 8,64$ mm.)

Obr. 1.7 ukazuje přehlednou formou nejčastější formáty snímačů:



Obr. 1.7: velikosti snímačů [16]

S velikostí snímačů souvisí důležitý parametr zvaný crop faktor. Crop faktor neboli faktor znásobení ohniskové vzdálenosti, je parametr, který udává, jakou by měl daný objektiv se stejným zorným polem ohniskovou vzdálenost na tradičním

35mm snímači Full Frame (kinofilm). Je bezrozměrný. Jak ukazuje tab. 1.1, crop faktor pro 35mm filmový snímek je 1. [6][15] (Ohnisková vzdálenost a zorný úhel budou podrobněji probrány v kap. 1.4.1)

Tab. 1.1: Formáty snímačů a jejich rozměry[6][16]

Formát snímače	Vel. senzoru [mm × mm]	Úhlopříčka [mm]	Crop faktor [-]	Plocha [mm ²]
střední formát (Kodak)	53,7 × 40,2	67,08	0,64	2 159
Full Frame (35 mm)	36 × 24	43,27	1,00	864
APS-H	28,7 × 19	34,42	1,3	548
APS-C	27,9 × 18,6	33,53	1,5	519
APS-C (Canon)	22,2 × 14,8	26,68	1,6	329
Micro 4/3"	17,3 × 13	21,64	2,00	225
1"	13,2 × 8,8	15,86	2,7	116
1/2,3"	6,17 × 4,55	7,67	5,6	28
1/3,2"	4,54 × 3,42	5,68	7,6	16

[12] Pro každý snímač je možné vypočítat crop faktor podle rov. 1.3:

$$\text{crop faktor} = \frac{\text{úhlopříčka 35 mm}}{\sqrt{(\text{rozměr senzoru } x)^2 + (\text{rozměr senzoru } y)^2}} \quad (1.3)$$

Jestliže je crop faktor > 1 , bude o crop faktor \times zúžen zorný úhel objektivu a ohnisková vzdálenost objektivu bude o crop faktor \times vyšší. Je to ekvivalentní nasazení daného objektivu na klasický 35mm Full Frame snímač. Crop faktor tedy způsobí, že u teleobjektivů znásobí ohniskovou vzdálenost. Výhodou je použití levnějšího objektivu a zvýšení dosahu. U širokoúhlých objektivů rovněž znásobí ohniskovou vzdálenost. To je ale velkou nevýhodou, protože zmenší výsek snímané plochy.

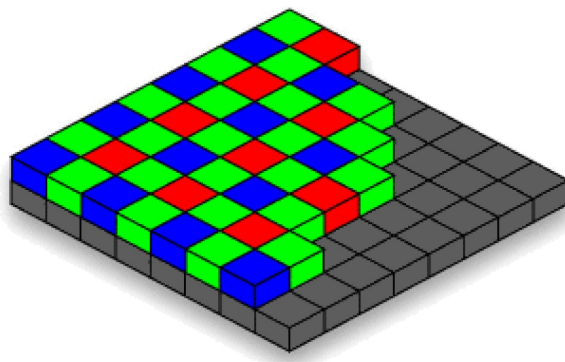
Jestliže je crop faktor < 1 , bude o crop faktor \times rozšířen zorný úhel objektivu a ohnisková vzdálenost bude o crop faktor \times nižší.

Crop faktor dále říká, kolikrát je rozměr senzoru x a rozměr senzoru y větší / menší než tradiční Full Frame snímač. [15]

Velikost snímačů ovlivňuje řadu faktorů jako je rozlišení, snímaná délka resp. výška pokrytí objektu, a také nastavení potřebného zorného úhlu. Vztah mezi těmito faktory bude uveden později.

1.3.5 Rozlišení obrazu snímače

Snímač je dvourozměrná sestava „světelných sběračů“ nazývaných fotoreceptory. Jejich počet určuje maximální míru rozlišení. Fotoreceptory měří jas dané barvy dopadajícího světla – obvykle RGB, tedy množství červené, zelené a modré.



Obr. 1.8: Bayerův brevný filtr RGB [10]

Fotoreceptory jsou pro každou barvu rozloženy na snímači a tvoří barevnou mozaiku (šachovnici), jak je vidět na obr. 1.8. Poté se získané analogové informace převedou na digitální, aby se stanovilo množství základní barvy fotoreceptoru. Čip jí pak interpoluje pomocí Bayerovy interpolace s hodnotou sousedících fotoreceptorů a stanoví množství absolutní hodnoty barev obrazu, což je pixel – jednotka rozlišení (px).

Snímek se skládá z horizontálního a vertikálního počtu pixelů. Jejich vynásobením vznikne rozlišení obrazu. Obraz je kvalitnější, čím více má pixelů. Rozlišení výsledného obrazu je téměř shodné s rozlišením snímače, avšak zpravidla menší. Další používanou jednotkou je účet pixelů na palec (ppi) [9][10]

Výše popsaný princip platí pro snímače CCD.

1.4 Typy objektivů a jejich parametry

V této kapitole jsou popsány jednotlivé typy objektivů, jejich parametry a jak se ovlivňují. Dále pak souvislost mezi ohniskovou vzdáleností a zorným úhlem a výpočet plochy pokrytí.

1.4.1 Druhy objektivů podle ohniskové vzdálenosti

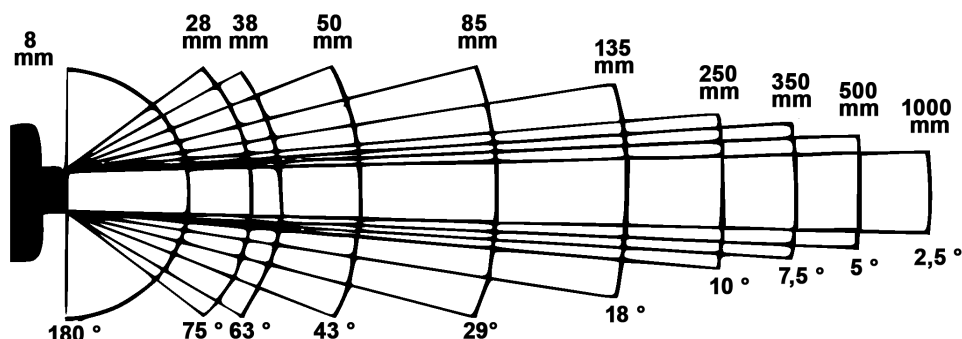
Obrazová ohnisková vzdálenost je, jak již bylo zmíněno v kap. 1.2, vzdálenost mezi středem čočky a ohniskem a předmětová vzdálenost je vzdálenost mezi ohniskem a

středem čočky.

Pakliže se má promítnout předmět na celou plochu snímače, je potřeba zajistit, aby ohnisko bylo vždy na snímači a bylo neměnné. Toto ohnisko se nazývá ohnisko objektivu a je definováno jako „vzdálenost, na kterou objektiv zaostří obraz předmětů nacházejících se v nekonečnu“, jak uvádí zdroj [18]. Posouváním čoček se mění jednak ohnisková vzdálenost, ale také zorný úhel objektivu.

V kap. 1.2 bylo naznačeno, že objektiv je složen ze soustavy čoček – tedy z více spojek a rozptylek. Výše uvedená definice byla platná pouze pro jednu čočku. V reálném objektivu je výpočet optického středu poněkud složitější. [18]

Na obr. 1.9 jsou pro přehled znázorněny druhy objektivů podle ohniskové vzdálenosti a jejich zorné úhly. Podle nich rozlišujeme objektivy na širokoúhlé, normální, teleobjektivy a makroobjektivy, které jsou rozebrány v následujících podkapitolách.



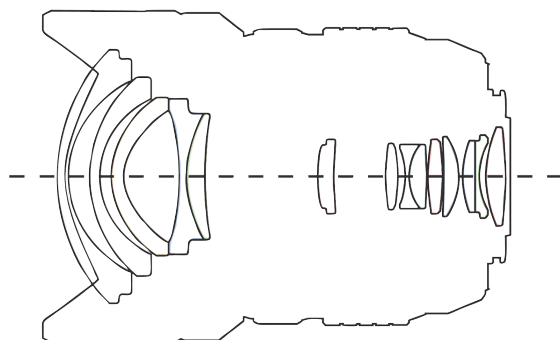
Obr. 1.9: typy objektivů podle ohniskové vzdálenosti [14]

Širokoúhlé objektivy [15] Jak už název napovídá, jedná se o objektivy, které mají široký úhel záběru.

Širokoúhlé objektivy mají tyto vlastnosti:

- Velká hloubka ostroty.
- Větší světelnost. Rychleji propouštějí světlo na rozdíl od teleobjektivů. Jsou tedy vhodné i pro snímání za zhoršených světelných podmínek.
- Zkreslení. Velkou nevýhodou je, že deformují tvar přímek a objektů. Deformaci lze potlačit, pakliže bude objektiv na pevném místě, bude se dívat přímo na objekt a nebude se s ním nijak natáčet.
- Perspektiva. Objekty blíže k objektivu se jeví nepřiměřeně velké. Tuto nevýhodu lze odstranit, pokud bude objektiv v dostatečné vzdálenosti od snímaného objektu.

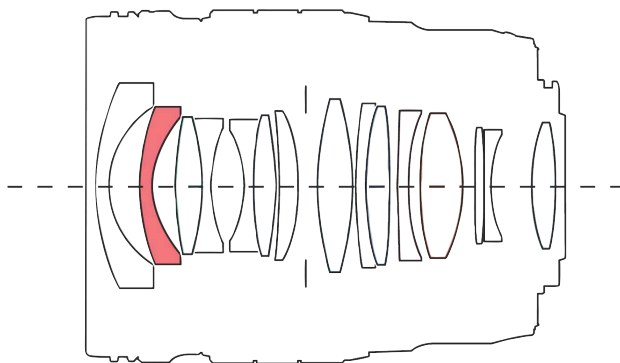
Obr. 1.10 ukazuje jednu z možných podob širokoúhlých objektivů a vnitřní uspořádání čoček:



Obr. 1.10: širikoúhlý objektiv [17]

Normální objektiv Tyto objektivy jsou vhodné pro běžné fotografování. Vyznačují se pohotovými reakcemi clony. Pořízené snímky bývají ostré a mají vynikající kontrast. [15]

Obr. 1.11 ukazuje jednu z možných podob normálních objektivů a vnitřní uspořádání čoček:



Obr. 1.11: normální objektiv [17]

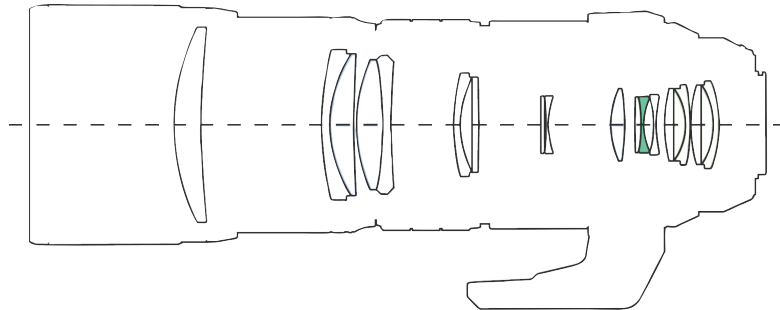
Teleobjektiv [15] Tyto objektivy jsou vhodné pro snímání vzdálených objektů nebo portrétů. Pro vzdálené objekty jsou vhodné teleobjektivy s ohniskovou vzdáleností přibližně 200 a více. Naopak pro portréty se hodí teleobjektivy s menší ohniskovou vzdáleností.

Teleobjektivy mají tyto vlastnosti:

- Malá hloubka ostrosti.
- Úzký rozsah záběru. Lze tak vyloučit rušivé prvky.
- Pomalé objektivy. Nejvyšší světelnost mají $f/4.5$ nebo $f/5.6$, takže je nutné použít stativ.

- Perspektiva. Perspektiva je zúžená, což způsobí, že objekty vypadají, že jsou na sebe namačkané.

Obr. 1.12 ukazuje jednu z možných podob teleobjektivů a vnitřní uspořádání čoček:



Obr. 1.12: teleobjektiv [17]

Makroobjektivy [15] Tyto objektivy jsou vhodné pro snímání extrémně zvětšených detailů – třeba rostlin, hmyzu apod. Podobného výsledky lze dosáhnout i u teleobjektivů a normálních objektivů funkcí makro.

Makroobjektivy mají tyto vlastnosti:

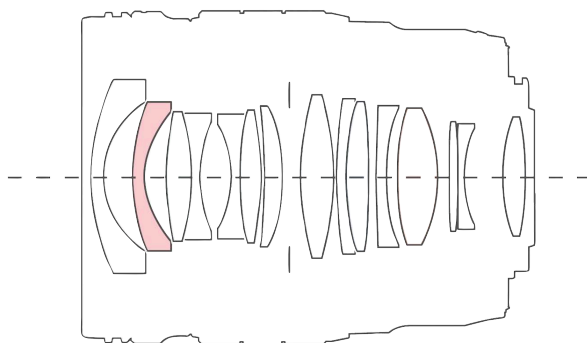
- Extrémně nízká hloubka ostrosti. To s sebou nese jisté nevýhody, tedy vysoké nároky na zaostření, dále pak nepatrné pootočení zaostřovacího kroužku způsobí rozostření snímku.
- Velké zvětšení. Jakýkoliv sebemenší pohyb způsobí rozmazání snímku. Je proto vhodné používat stativ.

Obr. 1.13 ukazuje jednu z možných podob normálních objektivů a vnitřní uspořádání čoček:

1.4.2 Výpočet zorného úhlu na základě ohniskové vzdálenosti

V této části kapitoly si popíšeme vztahy, které platí mezi ohniskovou vzdáleností f tak, aby bylo možné vypočítat zorný úhel objektivu. Každý objektiv se dívá na scénu dvěma způsoby: z levého kraje snímku k pravému a z horního kraje k dolnímu. [15] Proto rozlišujeme dva zorné úhly: zorný úhel horizontální a zorný úhel vertikální.

Obr. 1.14 ukazuje, jakým způsobem se promítá obraz na snímač, přičemž je vidět, že posouvání čočky, neboli rostoucí ohnisková vzdálenost f zmenšuje zorný úhel horizontální. Z něj je patrná i samotná rovnice. Pro výpočet zorného úhlu horizontálního platí rov. 1.4, jehož jednotkou je ř



Obr. 1.13: makroobjektiv [17]

$$\text{zorný úhel horizontální} = 2 \arctan \frac{\text{rozměr senzoru } x}{2f} \quad (1.4)$$

Pro výpočet zorného úhlu vertikálního platí rov. 1.5, která je analogická s rovnicí 1.4, akorát s vertikálním rozměrem snímače:

$$\text{zorný úhel vertikální} = 2 \arctan \frac{\text{rozměr senzoru } y}{2f} \quad (1.5)$$

Na základě těchto dvou rovnic pracuje můj program.

1.4.3 Výpočet pokrytí

K tomu, abychom zjistili, kolik metrů pokryje konkrétní objektiv, je potřeba znát již známé parametry jako rozměry senzoru a ohniskovou vzdálenost f , ale také vzdálenost objektivu od protějšího konce snímané plochy (stadionu) d , kam objektiv směřuje.

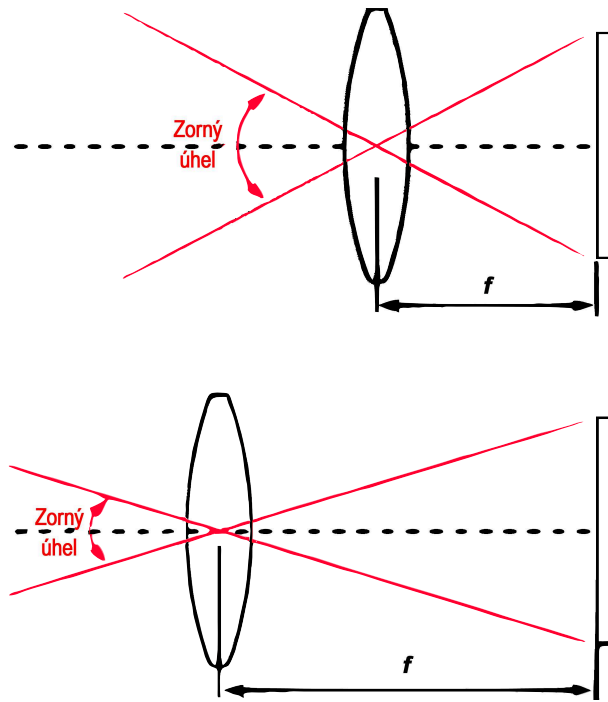
[11] Pro výpočet pokrytí šířky obrazu objektivem platí rov. 1.6, jehož jednotkou je 1 m:

$$\text{šířka obrazu} = d \frac{\text{rozměr senzoru } x}{f} \quad (1.6)$$

Pro výpočet pokrytí výšky obrazu objektivem platí analogicky rov. 1.7:

$$\text{výška obrazu} = d \frac{\text{rozměr senzoru } y}{f} \quad (1.7)$$

Na základě těchto dvou rovnic rovněž pracuje můj program.



Obr. 1.14: zorný úhel a ohnisková vzdálenost snímačů [18]

1.4.4 Parametry objektivů

Clona Clona objektivu je v podstatě velikost otvoru objektivu. Závisí na ní, kolik světla dopadne na snímač. Udává se v tzv. f-číslích: např. $f/2.8$, $f/4$, $f/5.6$, $f/8$ atd.

Na snímač dopadá více světla, pokud je f-číslo menší, obráceně při vyšších f-číslích dopadá méně světla. [15]

Hloubka ostrosti „Hloubka ostrosti je pásmo záběru, ve kterém je zaostření před hlavním objektem a za objektem ještě dostatečné“, jak jí definuje zdroj [15]. Na hloubku ostrosti má vliv clona, ohnisková vzdálenost, velikost snímač a vzdálenost objektivu od snímaného objektu.

U vzdálenosti objektivu od snímaného objektu platí: čím je objekt vzdálenější, tím bude hloubka ostrosti větší. Pakliže bude předmět v blízkosti objektivu, dostatečně ostrý bude pouze předmět samotný.

Pro ohniskovou vzdálenost respektive pro zorný úhel objektivu platí: čím je menší (typické pro teleobjektiv), tím je hloubka ostrosti vyšší a objektiv zabere větší výsek (typické pro širokoúhlý objektiv).

Vliv clony na hloubku ostrosti je popsán níže v podkapitolách. [15][10]

Malá hloubka ostrosti Pro malou hloubku ostrosti je charakteristické, že hlavní objekt je ostrý, zatímco pozadí je rozostřené. Hlavním objekty jsou např. lidé či

předměty. Její nastavení je vhodné zejména pro snímání jednotlivců, pro pořízení sportovních snímků (zejména pak, je-li světlo nedostatečné) a pro záběry sportovních stadionů. Otvor clony je vhodné nastavit na velké hodnoty otvoru, např. $f/2.8$, $f.4$, $f/5.6$. [15]

Velká hloubka ostrosti Pro velkou hloubku ostrosti je charakteristické, že popředí i pozadí snímku jsou ostré. Její nastavení je vhodné pro snímání krajin nebo velkých skupin lidí. Otvor clony je vhodné nastavit na malé hodnoty, např. $f/8$, $f/11$. [15]

Expoziční čas Expoziční čas, zvaný také rychlost závěrky, určuje dobu, jak dlouho může světlo dopadat na snímač. Tzn. jak dlouho bude otevřený průzor (závěrka) objektivu. Expoziční čas bývá udáván na hledáčku jednotkovými zlomky sekundy – např. 1, $1/2$, $1/15$, $1/30$, $1/60$ sekundy atd. Tento údaj určuje, kolik světla dopadne na snímač. Např. při nastavení expozičního času na $1/30$ sekundy dopadne na snímač dvojnásobné množství světla než při nastavení $1/60$ sekundy.

Podle rychlosti závěrky se odvíjí, zda-li bude na snímku pohyb zastavený nebo rozmazaný. Při vyšších rychlostech (např. $1/60$) je možné pohyb zastavit. To je vhodné pro snímání rychle se pohybujících objektů, např. sportovní hráče. Při nižších rychlostech (např. $1/30$), bude objekt rozmazaný. [15]

1.5 Skládání panoramatických snímků

Panorama je záležitostí transformací několika obrazových rovin do jedné, aby vznikl jeden široký snímek. Jedná se o složité transformační matice, které přepočítávají sousedící snímky a snaží se je „přilepit“ vedle sebe. Je to analogie, jako kdybychom pořídili několik fotografií a slepili je k sobě, abychom získali širší záběr nebo panorama 360° .

1.5.1 Techniky rozpoznávání obrazových informací

Ještě před samotným vysvětlováním skládání panoramatických snímků je třeba probrat techniky, které analyzují obrazové informace z překryvů dvou sousedících snímků, aby se mohly spojit a vypadaly jako jeden celý širokoúhlý snímek.

Počítačové vidění Počítačové vidění, neboli Computer Vision, se zabývá tvorbou softwaru pro získávání informací z obrazu. Jedná se např. o rozpoznávání tvarů, objektů, různých jevů, strojové čtení textu aj. Využívá se řada složitých matematických

technik, předpisů pro geometrické útvary přes n-dimenzionální prostory až po výpočty změn zobrazení.

Image Stitching Image Stitching, neboli sešívání, „je proces spojování překrývajících se snímků v jeden obraz s velkým rozlišením“, jak uvádí zdroj [21]. Image Stitching provede analýzu obrazu, následně rozpozná společné prvky dvou překryvů sousedních snímků a určí, jakým způsobem vytvořit výsledné zobrazení. [21]

OpenCV OpenCV je open source knihovna strojového učení, zabývající se oblastí počítačového vidění. Knihovna má více než 2 500 algoritmů, jenž zahrnují komplexní sadu klasických i nejmodernějších algoritmů. Algoritmy mohou být použity k detekci a rozpoznávání tváří, identifikačních objektů, ke klasifikaci lidských činností ve videu, k sledování pohybu kamer, ke spojování obrazů a z něj vytvoření obrazu s vysokým rozlišením (panorama), k nalezení snímku z databáze obrázků, k odstranění červených očí, ke sledování pohybu očí, k rozpoznání scény a vytvoření značky a k mnoha dalšímu.



Obr. 1.15: logo OpenCV [19]

Knihovna OpenCV byla vytvořena v jazyce C++ a pracuje s kontejnery STL. Lze s ní pracovat v jazycích C++, Java, Python a MATLAB. Běží na platformě Windows, Linux, Android a Mac OS. [19]

1.5.2 Metody skládání snímků

„Cílem je zachytit široké zorné pole s vysokým rozlišením a malým zkreslením“, jak uvádí zdroj [20]. Jedná se o snímání a spojení dvou nebo více snímků do jednoho obrazu (image stitching). Široké zorné pole je možné získat také širokoúhlým objektivem, nicméně dojde k velkému zkreslení okrajových částí snímku. Výsledný obraz pak nepůsobí přirozeně. Další možností je pořídít více snímků normálními objektivy nebo teleobjektivy, kdy zorné pole bude užší. Takové snímky se pak spojí pomocí některého softwarového algoritmu. Eliminuje se tak deformace obrazu, která je výrazná u širokoúhlých objektivů.

Aby se snímky mohly spojit, musí být mezi nimi dostatečný přesah, aby bylo možné nalézt několik odpovídajících si bodů.

Pro spojení je použit model transformace ze souřadného systému jednoho snímku do druhého.

Existuje několik algoritmů transformací skládání panoramatických snímků:

- skládání pomocí homografie (vhodné pro rotující kamery),
- skládání pomocí válcových souřadnic a
- skládání pomocí kulových souřadnic. [20][21]

Skládání snímků pomocí homografie „Homografie je definována jako perspektivní transformace mezi dvěma projektivními rovinami“, jak jí definuje zdroj [20]. Transformuje souřadnice (x, y, z) jedné roviny do souřadnic (x', y', z') druhé roviny.

Princip popisuje rov. modelu kamery, kde zobrazovaný prostor je rovina, proto $Z = 1$:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1.8)$$

Matice má rozměr 3×3 a může mít 8 stupňů volnosti.

Snímky jsou nasnímané rotující kamerou. Jedná se o perspektivní geometrickou transformaci. Z prostorového hlediska jde o promítnutí jednoho snímku do obrazové roviny druhého.

Toto spojování je vhodné jen pro snímky s nepříliš širokým zorným úhlem celkového panoramatu. Výhodou této transformace je, že přímky zůstanou přímkami. Nevýhodou je zkreslení v podobě rozšiřování snímků s rostoucí vzdáleností od obrazu s referenční rovinou. [20]

Skládání snímků pomocí válcových souřadnic Princip spočívá v tom, že obrazy se nalepí na povrch válce a poté se pomocí translace složí do širokoúhlého snímku. Lze dosáhnout celého 360° panorama v horizontálním směru, což je stěžejní pro účel tohoto projektu. Při tomto postupu přímky nezůstávají přímkami, vyjma přímky v rovině kolmé na válec, a dochází ke zkreslení.

Předpokladem použití této transformace je, že snímky vzniknou pouze kamerou, která se otáčí podél jedné osy. [20]

Skládání snímků pomocí kulových souřadnic Tato transformace je vhodná pro snímky vzniklé kamerou, která se otáčí kolem počátku v libovolném směru.

Obraz promítnutý na povrch koule je problematické „rozvinutí“ do roviny. Proto se musí aplikovat další geometrická transformace. [20]

Na kouli se zobrazí celý prostor – 360° horizontálně a 180° vertikálně. [21]

2 Praktická část

Praktická část se zabývá samotným problémem vytvořit Software pro návrh konfigurace kamer panoramatického systému. V prvním kroku rozebírá analýzu problematiky, která vychází z teoretických předpokladů. Ve druhém kroku potom samotný návrh programu.

2.1 Analýza problematiky práce

V následujících podkapitolách je stručná analýza daného úkolu.

2.1.1 Cíl projektu

Cílem tohoto projektu je vytvořit program, který bude simulovat rozvržení kamer na stadionu tak, aby dohromady vytvořily panoramatický záběr tribun stadionu 360 ° kolem dokola. K tomuto úkolu je potřeba znát klíčové parametry, které jsou vyjmenovány v podkap. 2.1.4.

Tato konfigurace vyžaduje řadu důležitých výpočtů, které slouží k výpisu konfigurace a k vykreslení scény. Vykreslit je potřeba model stadionu a jednotlivá zorná pole kamer, aby bylo na první pohled zřejmé, jak bude zabezpečené pokrytí a kolik je k tomu potřeba kamer.

Program bude nezbytnou součástí projektu bezpečnosti na stadionech, jenž byl zmíněn v úvodu této práce. Technikům pomůže navrhnout vhodnou konfiguraci kamer, přičemž uvidí jednotlivé parametry kamer – především plochu pokrytí, překryv a počet px/m. Na základě různých konfigurací usoudí, která je pro daný stadion nejvhodnější a tu aplikují.

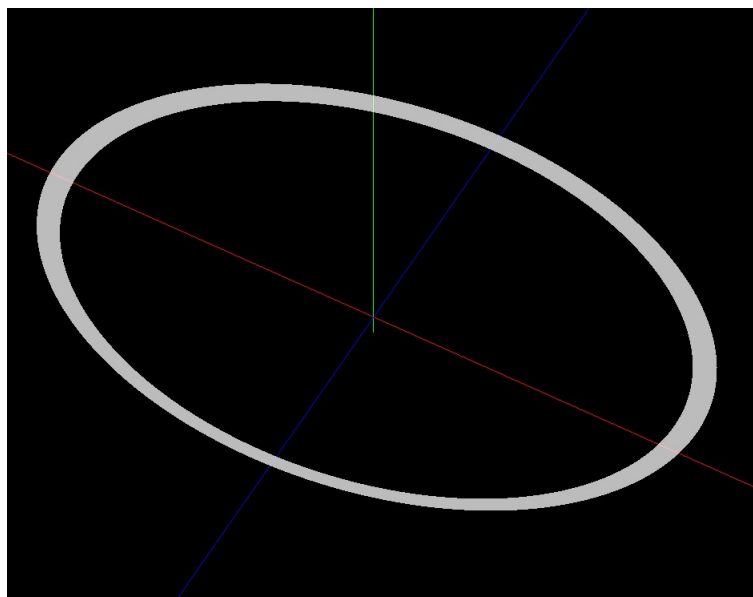
2.1.2 3D model tribun

Obr. 2.1 ukazuje vykreslení reálné podoby tribun ve 3D prostoru v metrech.

Výpis zdrojového kódu pro vykreslení tribun je uveden v příloze tohoto dokumentu.

2.1.3 Rozvržení kamer

Rozvržení kamer je návrh, na které místo uvnitř či vně stadionu budou rozmístěny jednotlivé kamery. Vychází se ze základní – tzv. nulté kamery, která směřuje přímo na protější stranu stadionu, a není horizontálně otočena (vertikálně v dalších krocích). Ostatní kamery jsou otočeny o kladný nebo záporný zorný úhel horizontální



Obr. 2.1: vykreslení 3D modelu tribun

doleva nebo doprava a následně jsou otočeny nahoru resp. dolů podle zorného úhlu vertikálního.

Pro vytvoření panorama je důležité, aby se jednotlivá zorná pole překrývala v horizontálním i vertikálním směru. To může mít za následek nutnost většího počtu kamer.

2.1.4 Klíčové parametry

Klíčové vstupní parametry jsou:

1. rozměry stadionu X , Y , Z ,
2. místo umístění kamer X , Y , Z ,
3. rozměry snímače X a Y ,
4. rozlišení snímače $X \times Y$,
5. ohnisková vzdálenost objektivů,
6. procentuální překrytí snímků.

Klíčové výstupní parametry jsou:

1. počet kamer pro kompletní pokrytí tribun,
2. zorný úhel objektivů,
3. šířka a výška snímané plochy každou kamerou,
4. rozlišení (počet px/m) každé kamery.

2.2 Návrh programu

Program byl vyvíjen v programovacím jazyce C++ vyvinutý v prostředí Microsoft Visual Studio 2012. Grafické vykreslování tribun využívá grafickou knihovnu OpenGL.

2.2.1 Architektura programu

Tato podkapitola popisuje architekturu programu a vztahy mezi jednotlivými třídami. Každá třída má svoje specifické vlastnosti a funkčnost. Celé schéma architektury je na vidět na obr. 2.2.



Obr. 2.2: schéma architektury programu

Program sestává z hlavní funkce `main()`, odkud se volají jednotlivé objekty (šablony tříd). V této funkci se volá také funkce pro zadání uživatelského výstupu a funkce pro výstup vypočtených hodnot.

Popis jednotlivých tříd je uveden v následujících podkapitolách:

Třída VelikostOkna Třída `VelikostOkna` je důležitou třídou, která se stará o zobrazení scény v okně. Scénu zobrazuje perspektivní projekcí. Přepočítává jednotlivé vertexy a primitiva v závislosti na změně velikosti okna.

Třída Grafika Třída `Grafika` je nejdůležitější třídou celého programu. Dědí ze třídy `Stadion`, která dědí ze třídy `Souřadnice` pevného ohniska, jenž dědí ze třídy `Souřadnice`. Předává veškeré vstupní parametry, které se ve vyšších třídách zpracují. Takto zpracovaná data se dědí směrem dolů.

Třída `Grafika` má za úkol grafické vykreslení scény. Vykreslují se tribuny, osy souřadného systému a především stěžejní pohledy jednotlivých kamer. Umožňuje dívat se na scénu z vrchu nebo z oka objektivů. Stará se také o číslování jednotlivých kamer.

Dále umožňuje rotaci kolem osy y , aby bylo možné otáčet s jednotlivými kamerami.

Poslední funkcionalitou je možnost rotování vertikálním směrem s řadami pohledů, aby uživatel viděl možnosti natočení kamer a jejich pohledů na tribuny.

Obě výše uvedené rotace se ovládají pomocí tříd `OvládáníMyš` a `OvládáníKlávesnice`, o nichž se píše v dalších podkapitolách.

Třída Stadion Třída `Stadion` přejímá data od třídy `Grafika`, která posílá do třídy `SouřadnicePevnéhoOhniska` a dále do třídy `Souřadnice`, kde jsou data dále zpracovávána.

Obsahuje jedinou funkci, která se vytiskne výstup zpracovaných dat do konzole.

Třída SouřadnicePevnéhoOhniska Třída `SouřadnicePevnéhoOhniska` komunikuje s nejvyšší rodičovskou třídou `Souřadnice`, ve které volá funkci pro výpočet souřadnic.

Tato třída ukládá data souřadnic průniků přímky s elipsou, jinými slovy 4 body, které reprezentují pohled kamery. Dále obsahuje také transformační funkce, které se starají o rotaci aproximačních bodů v horizontálním i vertikálním směru. Výsledkem je pak pole, které obsahuje souřadnice všech řad pohledů kamer, které zabezpečují pokrytí panorama stadionu. (Pro přehlednost se pohledy zobrazují jen v I. a II. kvadrantu.) Třída rovněž řeší překryvy v horizontálním i vertikálním směru.

Třída Souřadnice Třída `Souřadnice` má za úkol nejdůležitější funkci: vypočítat průsečíky přímky s elipsou neboli souřadnice pohledů jednotlivých kamer. Další funkce jsou horizontální a vertikální vycentrování aproximačních bodů, aby bylo možné pohledy rotovat doleva, doprava a dolů.

Třída OvládáníMyš Třída `OvládáníMyš` se stará o rotaci pohledů jednotlivých kamer levým tlačítkem myši.

Třída OvládáníKlávesnice Třída `OvládáníKlávesnice` má za úkol rotaci pohledů jednotlivých kamer pomocí kláves `w` a `e`, dále pak posuv řad jednotlivých pohledů směrem nahoru a dolů pomocí kláves `↑` resp. `↓`.

Třída Menu Třída `Menu` má na starost interakci s uživatelem. Stisknutím pravého tlačítka myši může uživatel vybrat z nabídky menu různé akce. Jedná se o resetování pozice stadionu, přepínání pohledu mezi pohledem z kamer a pohledem z vrchu a ukončení aplikace.

Třída GlobProm Třída `GlobProm` nastavuje a vrací globální hodnoty proměnných. Jedná se o proměnné, které souvisejí s rotací nebo přepínáním pohledů. Je součástí tříd `Grafika`, `OvládáníMyš`, `OvládáníKlávesnice` a `Menu`. Jednotlivé scény se přepočítají a překreslí na základě měnících se globálních hodnot.

3 Závěr

V této práci na téma *Konfigurace kamer panoramatického systému* jsem řešil problematiku zabezpečení pokrytí kamer na stadionu, aby bylo pokryto panorama všech tribun kolem dokola – tedy 360° pokrytí od shora dolů. K tomuto účelu jsem vyvíjel software, který na základě klíčových vstupních parametrů (rozměry 3D stadionu, ohnisková vzdálenost objektivu, rozměry snímače, rozlišení, procentuální překryv a umístění kamer ve 3D prostoru) vypočítá potřebnou konfiguraci kamer pro zabezpečení pokrytí (zorný úhel jednotlivých objektivů, plocha pokrytí a počet potřebných kamer). Dále tento program vykreslí graficky scénu reálného stadionu, kde je vidět zorné pole jednotlivých kamer a plochy, které snímají včetně překryvů, které jsou důležité pro softwarové spojení snímků k vytvoření panorama.

V teoretické části jsem se zabýval především optickou soustavou objektivů, jejich vlastnostmi a parametry, které ovlivňují kvalitu snímku a plochu pokrytí, dále pak snímači a jejich vlastnostmi, které ovlivňují velikost a kvalitu pořízených snímků. Poslední částí bylo vyjmenovat nejpoužívanější algoritmy pro spojování snímků a vytvoření panorama.

V praktické části jsem se zabýval řešením samotného programu, který jsem psal v programovacím jazyce C++ a v OpenGL, což je knihovna pro vykreslení grafické scény. Analyzoval jsem danou problematiku. Zabýval jsem se algoritmickým řešením, architekturou programu – tedy jednotlivými třídami.

V příloze jsou pak ukázány vybrané funkce a dále pak modelové situace některých nastavení s různými typy objektivů.

Celá tato práce byla přínosná a zajímavá. Zdokonalil jsem se v programování, rozšířil své znalosti a vyzkoušel si, jaké je to pracovat na reálném projektu. Při tvorbě softwaru jsem se setkával s řadou obtíží, kterým jsem čelil. Vyřešit danou problematiku nebylo lehké a zabralo to mnoho hodin strávených u počítače a na konzultacích. Naučil jsem se ale více myslet jako stroj a pozoroval jsem, jak software dělá přesně to, co je žádoucí.

Na závěr bych zmínil i samotné prostředí sázecího systému \LaTeX , se kterým jsem se seznámil při tvorbě této práce. Trvalo déle si na něj zvyknout, nicméně ve finále jsem s „vysázením“ dokumentu spokojen po jeho formální stránce i s možnostmi, které běžný textový editor nenabízí nebo nabízí s obtížemi.

Literatura

- [1] ŘÍHA, Kamil, doc. ing. Ph.D. Praktická optika. *Videotechnika a multimédia*. [přednáškový materiál] Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Vysoké učení technické v Brně.
- [2] BELIHAR, David. *Co je dírková komora* [online]. Web Pinhole.cz: 2001–2018, [cit. 5. 5. 2019]. Dostupné z URL:
<<http://www.pinhole.cz/cz/pinholecameras/whatis.html>>.
- [3] NAVE, Rod. Ray Diagram for Lenses. In: *HyperPhysics* [online]. Atlanta: Department of Physics and Astronomy, Georgia State University, ©2017 [cit. 5. 5. 2019]. Dostupné z URL:
<<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/geoopt/raydiag.html#c4>>.
- [4] SVOBODA, Emanuel, prof., RNDr., CSc. et al. Optika. *Přehled středoškolské fyziky: Optické zobrazení a optické soustavy*. 4. vyd. Praha: Prometheus, 2006, s. 387–400. ISBN 80-7196-307-0.
- [5] HANUS, Stanislav, Prof., Ing., CSc. *Základy televizní techniky I*. 1. vyd. Brno: Ústav radioelektroniky, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Vysoké učení technické v Brně, Purkyňova 118, Brno, 2009. ISBN 978-80-214-3971-9.
- [6] ŘÍHA, Kamil, doc. ing. Ph.D. Snímání obrazu. *Videotechnika a multimédia*. [přednáškový materiál] Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Vysoké učení technické v Brně.
- [7] CCD image sensor / full-color / high-resolution: 33 Mpix, 6668 x 4992 pix, 2.7 fps, FTF5066M. In: *DirectIndustry* [online]. Marseille: DirectIndustry [cit. 2019-05-08]. Dostupné z URL:
<<http://www.directindustry.com/prod/dalsa/product-18938-1562929.html>>.
- [8] CMOS image sensor / NIR A1312(IE/I/C). In: *DirectIndustry* [online]. Marseille: DirectIndustry [cit. 2019-05-08]. Dostupné z URL:
<<http://www.directindustry.com/prod/photonfocus/product-34521-943193.html>>.
- [9] MILBURN, Ken. *Digitální fotografie: profesionální techniky*. 1. vyd. Brno: CP Books, 2005. ISBN 80-251-0642-X..

- [10] RAJMIC, Pavel, doc., Mgr., PhD. *Základy počítačové sazby a grafiky*. 1. vyd. Brno: Ústav telekomunikací, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Vysoké učení technické v Brně, Purkyňova 118, Brno, 2012. ISBN 978-80-214-4451-5.
- [11] BURDA, Karel, doc., Ing., CSc., STRAŠIL, Ivo, Ing. *Zabezpečovací systémy*. 1. vyd. Brno: Ústav telekomunikací, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Vysoké učení technické v Brně, Purkyňova 118, Brno, 2011. ISBN 978-80-214-4441-6.
- [12] MANSUROV, Nasim. What is Crop Factor? *Photography Life* [online]. Photography Life, 2015 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z URL: <https://photographylife.com/what-is-crop-factor>.
- [13] ŘÍČNÝ, Václav, Prof., Ing., CSc. *Videotechnika*. Brno: Ústav radioelektroniky, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Vysoké učení technické v Brně, Purkyňova 118, Brno, 2006. ISBN 80-214-3225-X.
- [14] Ohnisková vzdálenost. In: *Alza* [online]. Praha: Alza [cit. 2019-05-09]. Dostupné z URL: https://i.alza.cz/Foto/ImgGalery/Image/fotoaparát-uhel-zaberu_1.jpg.
- [15] LOWRIE, Charlotte K. *Canon EOS 400D: tipy, návody a inspirace pro digitální zrcadlovku*. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2008. Edice digitální fotografie s DSLR. ISBN 978-80-251-1982-2.
- [16] Fotorádce. Proč je důležitá velikost snímače fotoaparátu. In: *Fotolab* [online]. Zlín: Cewe Fotolab [cit. 2019-05-10]. Dostupné z URL: <https://www.fotolab.cz/blog/velikost-snimace/>.
- [17] Brilantní ostrost, řada objektivů systému Micro Four Thirds. *Lens Book* [online]. 2019, (1), 21 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z URL: http://download.aws.olympus.eu/consumer/brochures/cameras/Lenses_LineUp_2019-04_Brochure_web_CS.pdf.
- [18] PIHAN, Roman. Jak je to s crop faktorem objektivu -- 1.díl. In: *Digimanie* [online]. Brno: oXy Online, 2008 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z URL: <https://www.digimanie.cz/jak-je-to-s-crop-faktorem-objektivu-1dil/2252>.
- [19] OpenCV team. About. *OpenCV* [online]. Santa Clara: Intel & OpenCV organization, ©2019 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z URL: <https://opencv.org/about/>.

- [20] ŘÍHA, Kamil, doc.Ing.,PhD. Skládání panoramatických snímků. *Pokročilé techniky zpracování obrazu*. 1. vyd. Brno: FEKT, VUT Brno, 2013, s. 143. ISBN 978-80-214-4894-0.
- [21] PORTL, Lukáš. *Nástroj na tvorbu panoramatických fotografií pro vizualizaci záznamu ...* [online]. Brno: 2013 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z URL: https://is.mendelu.cz/zp/portal_zp.pl?prehled=vyhledavani;podrobnosti=50380;zp=41120;dinfo_jazyk=1;lang=cz.
Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně.

Seznam symbolů, veličin a zkratk

ÚTKO	Ústav telekomunikací
VUT	Vysoké učení technické
CCD	Charge Coupled Devices
CMOS	Complementary Metal Oxid Semiconductor
<i>SiO₂</i>	oxid křemíku
FT	Frame Transfer, Field Transfer
LT(IL)	Line Transfer, Interline
FIT	Field Interline Transfer
APS	Active Pixel Sensor
MOSFET	MOS Field-Effect Tranzistor
px	pixel – jednotka rozlišení
ppi	účet pixelů na palec
<i>f_{vz}</i>	vzorkovací kmitočet

Seznam příloh

A	Návod na použití programu	40
B	Modelové situace jednotlivých konfigurací	41
B.1	Pokrytí normálními objektivy	41
B.2	Pokrytí širokoúhlými objektivy	43
B.3	Pokrytí teleobjektivy	45
C	Ukázky vybraných částí kódu a funkcí	48
D	Obsah přiloženého CD	51

A Návod na použití programu

Obsluha programu je jednoduchá. Po spuštění programu se zobrazí konzole, která uživatele vyzývá krok po kroku k zadání klíčových parametrů. Důležité je, aby desetinná čísla byla zadávána s desetinnou tečkou, nikoliv s čárkou. Každý příkaz se potvrdí stisknutím klávesy \leftarrow .

Po zpracování vstupy se do konzole vytiskne výstup a zobrazí se grafická scéna. Tu je možné ovládat myší i klávesnicí. Stisknutím levého tlačítka myši a její posouváním, dochází k rotaci tribuny podle osy y . Stejného výsledku lze dosáhnout stisknutím klávesy w a e . Posouvání záběrů vertikálním směrem je možné pomocí kláves \uparrow a \downarrow .

Přepínání mezi pohledy, reset pozice či ukončení programu je možné stisknutím pravého tlačítka myši a vybráním patřičné položky.

B Modelové situace jednotlivých konfigurací

V následujících podkapitolách jsou tři různé modelové situace pokrytí kamer a jejich konfigurace s různými typy objektivů včetně textového a grafického výstupu. Na obrázcích lze pozorovat, jak se prostorové rozlišení jednotlivých objektivů zmenšuje s širším zorným polem.

B.1 Pokrytí normálními objektivy

Tato situace ukazuje, jak vypadá konfigurace s normálními objektivy, konkrétně s ohniskovou vzdáleností 50 mm.

Po spuštění programu se objeví konzole, která uživatele vyzve k zadání klíčových parametrů:

VSTUP

Zadejte následující vstupní parametry:

- délka, šířka, výška stadionu v metrech:

222 145 15.5

- ohnisková vzdálenost v milimetrech:

50

- rozměry senzoru X a Y v milimetrech:

6.119 4.589

- vzdálenost kamery od jejího středu [0, 0, 0] X, Y, Z v metrech:

0 54.5 16

- překryv v %:

10

- rozlišení snímace X*Y v mm

1300 1200

Po zadání vstupu se provedou výpočty, které se vytisknou do konzole a vykreslí se scéna. Uživatel může přepínat mezi pohledem na půdorys a pohledem z oka objektivů neboli na nárys, jak ukazuje obr. B.1 resp. obr. B.2.

Výstup této konfigurace je následující:

VYSTUP

Pro tuto konfiguraci je potřeba 66 kamer / 180° zaber.

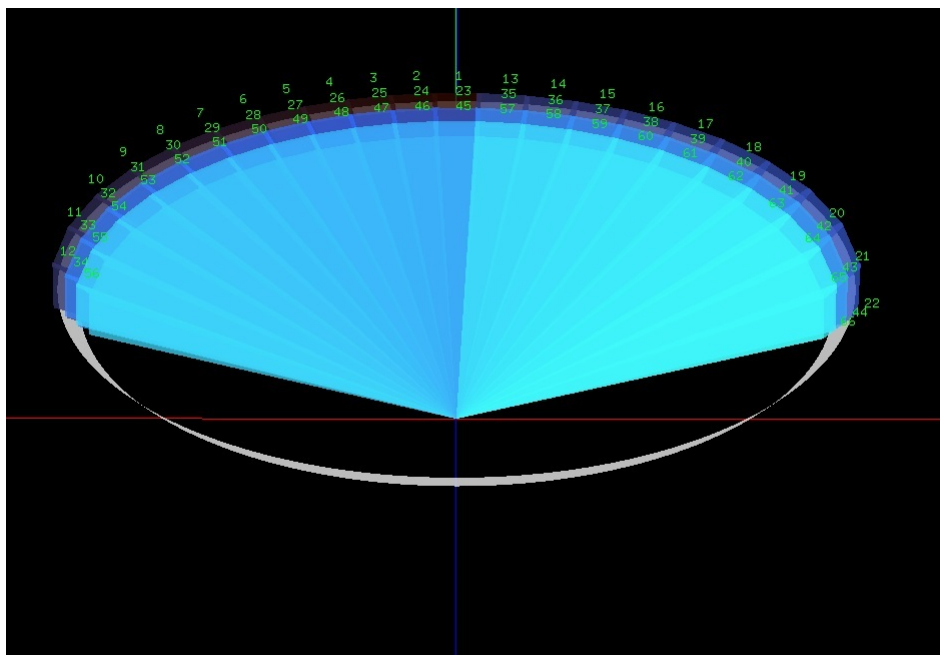
Zorný úhel horizontální: 6.867 °

Zorný úhel vertikální: 4.581 °

Kamera 1 pokrývá plochu 15.44×10.16 m×m. Počet px/m cini 84.19.

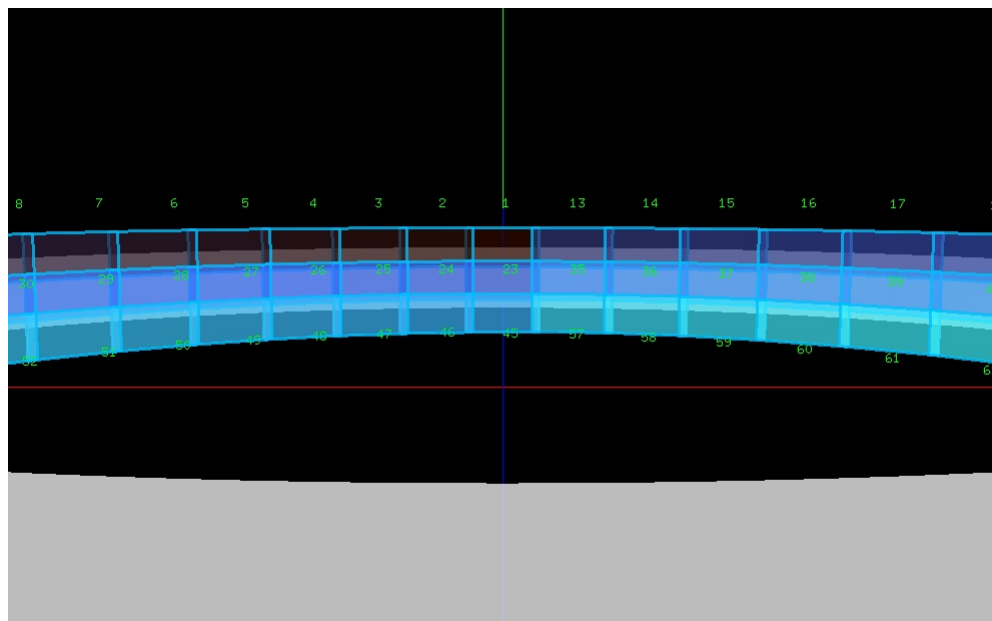
Kamera 2 pokrývá plochu 15.25×10.16 m×m. Počet px/m cini 85.26.

Kamera 3 pokrývá plochu 15.33×10.16 m×m. Počet px/m cini 84.82.



Obr. B.1: pohled na situaci s normálními objektivy – půdorys

Kamera 4 pokrývá plochu 15.44×10.16 m×m. Pocet px/m cini 84.17.
 Kamera 5 pokrývá plochu 15.59×10.16 m×m. Pocet px/m cini 83.43.
 Kamera 6 pokrývá plochu 15.71×10.16 m×m. Pocet px/m cini 82.74.
 Kamera 7 pokrývá plochu 15.8×10.16 m×m. Pocet px/m cini 82.27.
 Kamera 8 pokrývá plochu 15.83×10.16 m×m. Pocet px/m cini 82.13.
 Kamera 9 pokrývá plochu 15.81×10.16 m×m. Pocet px/m cini 82.2.
 Kamera 10 pokrývá plochu 15.87×10.16 m×m. Pocet px/m cini 81.9.
 Kamera 11 pokrývá plochu 16.23×10.16 m×m. Pocet px/m cini 80.08.
 Kamera 12 pokrývá plochu 17.11×10.16 m×m. Pocet px/m cini 75.98.
 Kamera 13 pokrývá plochu 16.77×10.16 m×m. Pocet px/m cini 77.5.
 Kamera 14 pokrývá plochu 16.88×10.16 m×m. Pocet px/m cini 77.03.
 Kamera 15 pokrývá plochu 17.03×10.16 m×m. Pocet px/m cini 76.34.
 Kamera 16 pokrývá plochu 17.2×10.16 m×m. Pocet px/m cini 75.6.
 Kamera 17 pokrývá plochu 17.34×10.16 m×m. Pocet px/m cini 74.99.
 Kamera 18 pokrývá plochu 17.4×10.16 m×m. Pocet px/m cini 74.7.
 Kamera 19 pokrývá plochu 17.39×10.16 m×m. Pocet px/m cini 74.74.
 Kamera 20 pokrývá plochu 17.42×10.16 m×m. Pocet px/m cini 74.61.
 Kamera 21 pokrývá plochu 17.81×10.16 m×m. Pocet px/m cini 72.99.
 Kamera 22 pokrývá plochu 18.87×10.16 m×m. Pocet px/m cini 68.88.
 ...



Obr. B.2: pohled na situaci s normálními objektivy – nárys

B.2 Pokrytí širokoúhlými objektivy

Tato situace ukazuje, jak vypadá konfigurace s širokoúhlými objektivy, konkrétně s ohniskovou vzdáleností 28 mm.

Po spuštění programu se objeví konzole, která uživatele vyzve k zadání klíčových parametrů:

VSTUP

Zadejte nasledující vstupní parametry:

- delka, sirka, vyska stadionu v metrech:

222 145 15.5

- ohniskova vzdalenost v milimetrech:

28

- rozmery senzoru X a Y v milimetrech:

6.119 4.589

- vzdalenost kamery od jejeho stredu [0, 0, 0] X, Y, Z v metrech:

0 54.5 16

- prekryv v %:

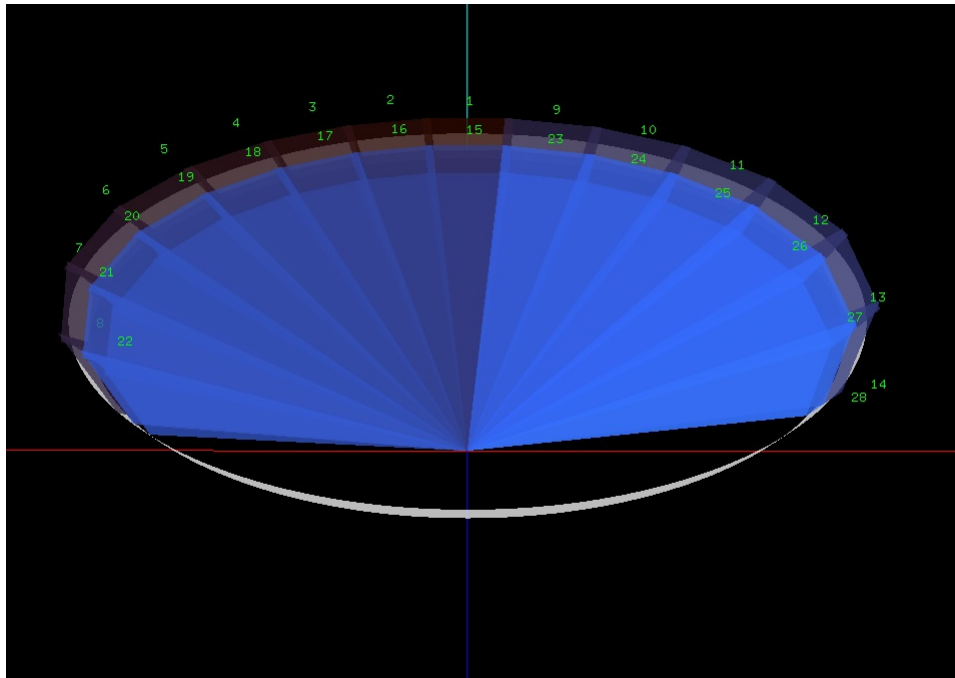
10

- rozliseni snimace X*Y v mm

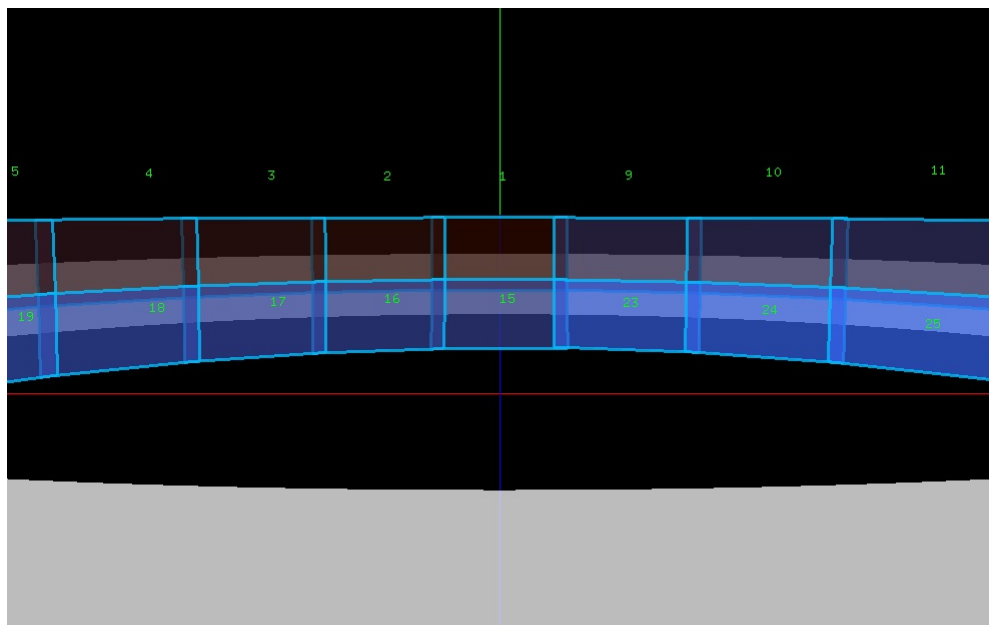
1300 1200

Po zadání vstupu se provedou výpočty, které se vytisknou do konzole a vykreslí

se scény. Uživatel může přepínat mezi pohledem na půdorys a pohledem z oka objektivů neboli na nárys, jak ukazuje obr. B.3 resp. obr. B.4.



Obr. B.3: pohled na situaci s širokoúhlým objektivem – půdorys



Obr. B.4: pohled na situaci širokoúhlým objektivem – nárys

Výstup této konfigurace je následující:

VYSTUP

Pro tuto konfiguraci je potřeba 28 kamer / 180° zaber.

Zorný uhel horizontalni: 12.23 °

Zorný uhel vertikalni: 8.171 °

Kamera 1 pokrýva plochu 28.38×18.14 m×m. Pocet px/m cini 45.81.

Kamera 2 pokrýva plochu 27.25×18.14 m×m. Pocet px/m cini 47.7.

Kamera 3 pokrýva plochu 27.62×18.14 m×m. Pocet px/m cini 47.06.

Kamera 4 pokrýva plochu 27.99×18.14 m×m. Pocet px/m cini 46.44.

Kamera 5 pokrýva plochu 28.08×18.14 m×m. Pocet px/m cini 46.3.

Kamera 6 pokrýva plochu 28.09×18.14 m×m. Pocet px/m cini 46.27.

Kamera 7 pokrýva plochu 29.72×18.14 m×m. Pocet px/m cini 43.74.

Kamera 8 pokrýva plochu 33.11×18.14 m×m. Pocet px/m cini 39.27.

Kamera 9 pokrýva plochu 29.99×18.14 m×m. Pocet px/m cini 43.35.

Kamera 10 pokrýva plochu 30.45×18.14 m×m. Pocet px/m cini 42.69.

Kamera 11 pokrýva plochu 30.84×18.14 m×m. Pocet px/m cini 42.16.

Kamera 12 pokrýva plochu 30.8×18.14 m×m. Pocet px/m cini 42.21.

Kamera 13 pokrýva plochu 31.36×18.14 m×m. Pocet px/m cini 41.46.

Kamera 14 pokrýva plochu 34.96×18.14 m×m. Pocet px/m cini 37.18.

...

B.3 Pokrytí teleobjektivy

Tato situace ukazuje, jak vypadá konfigurace s teleobjektivy, konkrétně s ohniskovou vzdáleností 75 mm.

Po spuštění programu se objeví konzole, která uživatele vyzve k zadání klíčových parametrů:

VSTUP

Zadejte nasledujici vstupni parametry:

- delka, sirka, vyska stadionu v metrech:

222 145 15.5

- ohniskova vzdalenost v milimetrech:

75

- rozmery senzoru X a Y v milimetrech:

6.119 4.589

- vzdalenost kamery od jejího stredu [0, 0, 0] X, Y, Z v metrech:

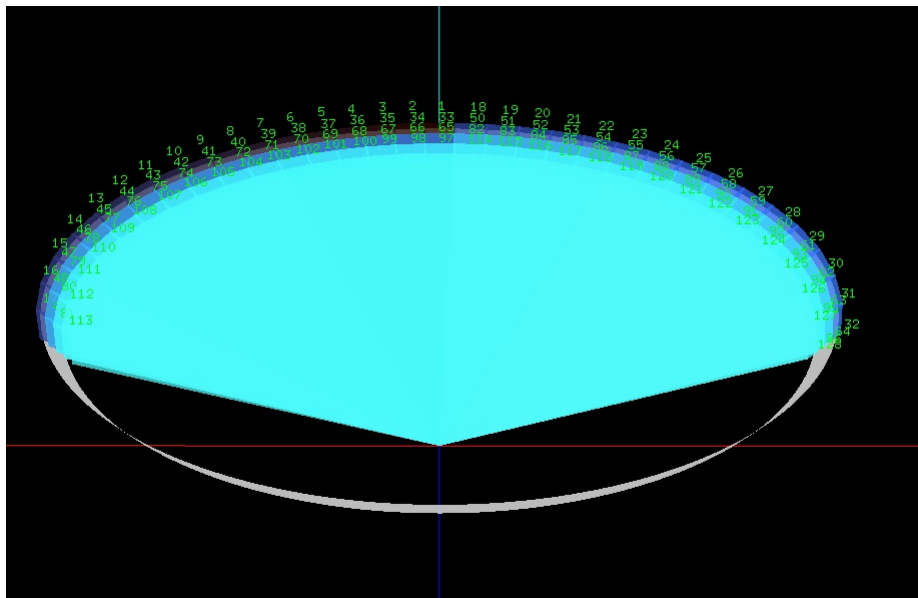
0 54.5 16

- prekryv v %:

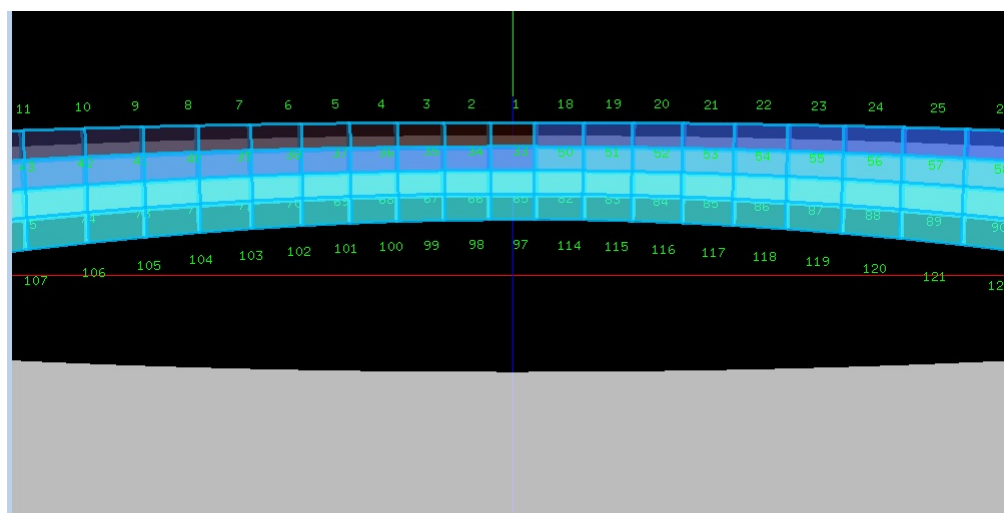
5

- rozliseni snimace X*Y v mm
1300 1200

Po zadání vstupu se provedou výpočty, které se vytisknou do konzole a vykreslí se scéna. Uživatel může přepínat mezi pohledem na půdorys a pohledem z oka objektivů neboli na nárys, jak ukazuje obr. B.5 resp. obr. B.6.



Obr. B.5: pohled na situaci s teleobjektivem – půdorys



Obr. B.6: pohled na situaci s teleobjektivem – nárys

Výstup této konfigurace je následující:

VYSTUP

Pro tuto konfiguraci je potřeba 128 kamer / 180° zaber.

Zorný uhel horizontalni: 4.581 °

Zorný uhel vertikalni: 3.055 °

Kamera 1 pokrýva plochu 10.22×6.773 m×m. Pocet px/m cini 127.2.
Kamera 2 pokrýva plochu 10.16×6.773 m×m. Pocet px/m cini 127.9.
Kamera 3 pokrýva plochu 10.19×6.773 m×m. Pocet px/m cini 127.6.
Kamera 4 pokrýva plochu 10.23×6.773 m×m. Pocet px/m cini 127.
Kamera 5 pokrýva plochu 10.29×6.773 m×m. Pocet px/m cini 126.4.
Kamera 6 pokrýva plochu 10.35×6.773 m×m. Pocet px/m cini 125.6.
Kamera 7 pokrýva plochu 10.42×6.773 m×m. Pocet px/m cini 124.8.
Kamera 8 pokrýva plochu 10.48×6.773 m×m. Pocet px/m cini 124.
Kamera 9 pokrýva plochu 10.53×6.773 m×m. Pocet px/m cini 123.5.
Kamera 10 pokrýva plochu 10.56×6.773 m×m. Pocet px/m cini 123.1.
Kamera 11 pokrýva plochu 10.57×6.773 m×m. Pocet px/m cini 123.
Kamera 12 pokrýva plochu 10.56×6.773 m×m. Pocet px/m cini 123.4.
Kamera 13 pokrýva plochu 10.57×6.773 m×m. Pocet px/m cini 123.4.
Kamera 14 pokrýva plochu 10.62×6.773 m×m. Pocet px/m cini 123.8.
Kamera 15 pokrýva plochu 10.79×6.773 m×m. Pocet px/m cini 122.6.
Kamera 16 pokrýva plochu 10.13×6.773 m×m. Pocet px/m cini 120.8.
Kamera 17 pokrýva plochu 10.64×6.773 m×m. Pocet px/m cini 116.6.
Kamera 18 pokrýva plochu 10.67×6.773 m×m. Pocet px/m cini 111.8.
Kamera 19 pokrýva plochu 10.7×6.773 m×m. Pocet px/m cini 121.5.
Kamera 20 pokrýva plochu 10.75×6.773 m×m. Pocet px/m cini 121.9.
Kamera 21 pokrýva plochu 10.81×6.773 m×m. Pocet px/m cini 120.2.
Kamera 22 pokrýva plochu 10.89×6.773 m×m. Pocet px/m cini 120.4.
Kamera 23 pokrýva plochu 10.96×6.773 m×m. Pocet px/m cini 119.6.
Kamera 24 pokrýva plochu 11.02×6.773 m×m. Pocet px/m cini 118.9.
Kamera 25 pokrýva plochu 11.07×6.773 m×m. Pocet px/m cini 117.4.
Kamera 26 pokrýva plochu 11.09×6.773 m×m. Pocet px/m cini 117.2.
Kamera 27 pokrýva plochu 11.1×6.773 m×m. Pocet px/m cini 117.2.
Kamera 28 pokrýva plochu 11.09×6.773 m×m. Pocet px/m cini 117.2.
Kamera 29 pokrýva plochu 11.12×6.773 m×m. Pocet px/m cini 116.9.
Kamera 30 pokrýva plochu 11.25×6.773 m×m. Pocet px/m cini 115.5.
Kamera 31 pokrýva plochu 11.56×6.773 m×m. Pocet px/m cini 112.4.
Kamera 32 pokrýva plochu 12.08×6.773 m×m. Pocet px/m cini 107.6.

...

C Ukázky vybraných částí kódu a funkcí

V této kapitole jsou ukázány nejvýznamnější funkce, které řeší výpočty souřadnic jednotlivých pohledů kamer neboli kde se protne přímka s elipsou.

Ve výpisu C.1 je kód, který se stará o vykreslení reálného stadionu ve 3D rozměrech.

Ve výpisu C.2 je vidět příklad funkce, která se stará o nalezení průniků přímek s elipsou. Při každém volání funkce se dosadí aproximační body x , y , z , které se vypočítají pomocí rovnic a výstupem této funkce je pole, které obsahuje 3D souřadnice jednoho bodu. Aby bylo možné vykreslit jeden pohled kamery, je potřeba tuto funkci zavolat celkem 4krát.

Ve výpisu ?? je funkce, která transformuje aproximační body o řadu níže. Funkce přepočítá souřadnice na základě rotační matice OpenGL. Potom je s aproximačními body možná transformace vertikálním směrem. Tato funkce řeší rovněž překryvy.

Výpis C.1: Příklad kódu pro vykreslení 3D tribun.

```
glBegin(GL_QUAD_STRIP);
for (GLfloat Y = 0; Y < vyskaStadionu; Y++)
{
    // nastaveni barvy 1. vertexu na bílou
    glColor4f(255.0, 255.0, 255.0, 0.75);

    stadionY = Y;

    for (GLfloat XZ = 0; XZ < 360; XZ++)
    {
        stadionX = cos(XZ*M_PI / 180.f) * (delkaStadionu/2);
        stadionZ = sin(XZ*M_PI / 180.f) * (sirkaStadionu/2);

        glVertex3f(stadionX, stadionY, -stadionZ);
        glVertex3f(stadionX, stadionY+1, -stadionZ);

        stadionX = cos((XZ+1)*M_PI / 180.f) * (delkaStadionu/2);
        stadionZ = sin((XZ+1)*M_PI / 180.f) * (sirkaStadionu/2);

        glVertex3f(stadionX, stadionY, -stadionZ);
        glVertex3f(stadionX, stadionY+1, -stadionZ);
    }
}
glEnd();
```

Výpis C.2: Příklad funkce VypočítejPrůsečík3D.

```

double* VypočítejPrusecik3D(double bod_xn0,
                            double bod_yn0, double bod_zn0)
{
    double A, B, C, M; // SUBSTITUCE
    // koreny kvadraticke rovnice, PRUSECIKY PRIMKY A ELIPSY
    double X1, Z1, Y1, Y2, X2, Z2;
    double polePruseciku[3]; // koreny pruseciku X, Y, Z

    M = (bod_zn0 - bod_z1) / (bod_xn0 - bod_x1);
    A = ((sirkaStadionu/2)*(sirkaStadionu/2) /
        ((delkaStadionu/2)*(delkaStadionu/2)) + M*M);
    B = (2*M*bod_zn0 - 2*M*M*bod_xn0);
    C = bod_xn0*bod_xn0*M*M - 2*M*bod_xn0*bod_zn0 +
        bod_zn0*bod_zn0 - (sirkaStadionu/2)*(sirkaStadionu/2);

    X1 = (-B + sqrt(B*B - 4*A*C)) / (2*A);
    X2 = (-B - sqrt(B*B - 4*A*C)) / (2*A);
    Z1 = (X1 - bod_xn0) * (bod_zn0 - bod_z1) /
        (bod_xn0 - bod_x1) + bod_zn0;
    Z2 = (X2 - bod_xn0) * (bod_zn0 - bod_z1) /
        (bod_xn0 - bod_x1) + bod_zn0;
    Y1 = (bod_yn0 - bod_y1) / (bod_zn0 - bod_z1) *
        (Z1 - bod_zn0) + bod_yn0;
    Y2 = (bod_yn0 - bod_y1) / (bod_zn0 - bod_z1) *
        (Z2 - bod_zn0) + bod_yn0;

    if(Z1 > Z2)
    {
        polePruseciku[2] = Z2;
        polePruseciku[1] = Y2;
        polePruseciku[0] = X2;
    }
    else
    {
        polePruseciku[2] = Z1;
        polePruseciku[1] = Y1;
        polePruseciku[0] = X1;
    }
    return polePruseciku;
}

```

Výpis C.3: Příklad funkce RotačníMaticeDolů.

```

void SouradnicePevnehoOhniska::RotacniMaticeDolu(float uV) 1
{ 2
    // uhel, podle ktereho se otaci 3
    float uhel2 = uV + prekryvVertikalne; 4
    bod_yn = bod_y0; 5
    6
    // posunuti bodu na pocatek 0,0,0 kvuli rotaci 7
    bod_y1 = bod_y1 - vyskaUmisteniKamery; 8
    bod_y0 = bod_y0 - vyskaUmisteniKamery; 9
    bod_z0L = bod_z0L - vzdalenostKameryOdStredu_b; 10
    bod_yn = bod_yn - vyskaUmisteniKamery; 11
    bod_znL = bod_znL - vzdalenostKameryOdStredu_b; 12
    bod_z0P = bod_z0P - vzdalenostKameryOdStredu_b; 13
    bod_znP = bod_znP - vzdalenostKameryOdStredu_b; 14
    double kopie_bod_znL = bod_znL; 15
    double kopie_bod_z0L = bod_z0L; 16
    17
    // prepocet podle rotacni matice 18
    bod_znL = cos(prekryvVertikalne * M_PI / 180.f) * bod_znL 19
        + sin(prekryvVertikalne * M_PI / 180.f) * bod_yn; 20
    bod_znP = cos(prekryvVertikalne * M_PI / 180.f) * bod_znP 21
        + sin(prekryvVertikalne * M_PI / 180.f) * bod_yn; 22
    bod_z0L = cos(uhel2 * M_PI / 180.f) * bod_z0L 23
        + sin(uhel2 * M_PI / 180.f) * bod_y0; 24
    bod_z0P = cos(uhel2 * M_PI / 180.f) * bod_z0P 25
        + sin(uhel2 * M_PI / 180.f) * bod_y0; 26
    bod_y0 = cos(uhel2 * M_PI / 180.f) * bod_y0 27
        - sin(uhel2 * M_PI / 180.f) * kopie_bod_z0L; 28
    bod_yn = cos(prekryvVertikalne * M_PI / 180.f) * bod_yn 29
        - sin(prekryvVertikalne * M_PI / 180.f) * kopie_bod_znL; 30
    31
    // vraceni otocenyh bodu na puvodni pozici 32
    bod_y1 = bod_y1 + vyskaUmisteniKamery; 33
    bod_y0 = bod_y0 + vyskaUmisteniKamery; 34
    bod_z0L = bod_z0L + vzdalenostKameryOdStredu_b; 35
    bod_yn = bod_yn + vyskaUmisteniKamery; 36
    bod_znL = bod_znL + vzdalenostKameryOdStredu_b; 37
    bod_z0P = bod_z0P + vzdalenostKameryOdStredu_b; 38
    bod_znP = bod_znP + vzdalenostKameryOdStredu_b; 39
} 40

```

D Obsah přiloženého CD

Na přiloženém CD se nachází elektronická verze této bakalářské práce a soubory zdrojového kódu programu. Program byl vyvíjen v prostředí Microsoft Visual Studio v. 2012.

```
/ ..... kořenový adresář přiloženého CD
├── pdf ..... bakalářská práce
│   └── Bakalářská-práce.pdf
├── program ..... zdrojové kódy
│   ├── BAKA-PROJ-2019.sln ..... řešení
│   ├── BAKA-PROJ-2019.vcxproj ..... projekt
│   ├── BAKA-PROJ-2019.vcxproj.filters
│   ├── GlobProm.h
│   ├── Grafika.h
│   ├── Menu.h
│   ├── ObladaniKlavesnice.h
│   ├── OvladaniMys.h
│   ├── Souradnice.h
│   ├── SouradnicePevnehoOhniska.h
│   ├── Stadion.h
│   ├── VelikostOkna.h
│   ├── GlobProm.cpp
│   ├── Grafika.cpp
│   ├── Menu.cpp
│   ├── ObladaniKlavesnice.cpp
│   ├── OvladaniMys.cpp
│   ├── Souradnice.cpp
│   ├── SouradnicePevnehoOhniska.cpp
│   ├── Stadion.cpp
│   ├── VelikostOkna.cpp
│   └── Source.cpp
```