

Univerzita Hradec Králové
Fakulta informatiky a managementu
Název katedry

Komunikační technologie pro vzdálenou realitu
Bakalářská práce

Autor: Lukáš Janouch
Studijní obor: Aplikovaná informatika

Vedoucí práce: Ing. Karel Mls Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a s použitím uvedené literatury.

V Hradci Králové dne 21.8.2020

vlastnoruční podpis

Lukáš Janouch

Poděkování:

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Karlu Mlsovi Ph.D. za odborné vedení práce, cenné připomínky a za ochotu a čas, který mi věnoval při konzultacích.

Anotace

Cílem této práce bylo vytvořit přehled technologií, které jsou důležité pro fungování systému vzdálené reality neboli teleprezence. Na začátku je shrnuto omezení smyslů člověka pro vytvoření přehledu o tom, kde jsou lidské nedostatky ve vnímání okolí a jaké podněty by člověk mohl díky systému teleprezence vnímat navíc. Dále jsou popsány systémy, díky kterým se uživatel může ponořit do konstruovaného obrazu. Mezi ně patří i systém teleprezence. Následuje souhrn technologií, které jsou potřeba k její realizaci. V poslední kapitole jsme se pokusili o hrubý návrh sestavy pro snímání a zobrazení obrazu pro systém teleprezence.

Klíčová slova: teleprezence, Wi-Fi, komprimace, komunikační protokoly, lidské smysly

Annotation

Title: Communication technologies for distant reality

The purpose of this work is to summarize the technologies that are important for functioning of the system of distant reality or telepresence. At the beginning, the limitations of the human senses are summarized to create an overview of where there are human deficiencies in the perception of the environment and what stimuli a person could perceive in addition thanks to the telepresence system. Further on, systems which can the user use to immerse himself in the constructed image are described. These include the telepresence system. A summary of the technologies needed to implement it follows. In the last chapter, we tried to roughly design an assembly for capturing and displaying an image for a telepresence system.

Keywords: telepresence, Wi-Fi, compression, communication protocols, human senses

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Vlastnosti lidských smyslů	2
2.1	Zrak.....	2
2.2	Sluch	4
2.3	Čich.....	6
2.4	Hmat.....	7
2.5	Chuť	8
3	Technické předpoklady pro přenos dat	11
3.1	Datový tok.....	11
3.2	Historie vývoje bezdrátových systémů	12
3.3	Požadavky pro virtuální realitu	15
3.3.1	Kapacita.....	16
3.3.2	Latence.....	17
3.3.3	Spolehlivost	19
3.3.4	Komunikace v pásmu milimetrových vln.....	19
3.3.5	Mobilní hraniční (decentralizované) výpočty (MEC)	20
4	Virtuální, rozšířená a vzdálená realita	22
5	Přenos dat.....	25
5.1	Streamovací řetězec.....	25
5.2	Druhy mikrofonů.....	28
5.3	Převod zvukového analogového signálu na digitální signál.....	30
5.4	Komprese.....	31
5.4.1	Komprese zvuku a obecné kompresní metody	32
5.4.2	Komprese obrazu.....	39
5.4.3	Faktory výběru kompresní metody	42

5.5	ISO/OSI model.....	43
6	Dostupná zařízení pro přenos Wi-Fi signálu.....	49
7	Návrh sestavy.....	53
7.1	Řešení s Wi-Fi.....	53
7.2	Řešení s rádiovými vlnami.....	54
7.3	Kombinace Wi-Fi a rádiového signálu.....	54
8	Shrnutí výsledků.....	56
9	Závěry a doporučení.....	57
10	Seznam použité literatury.....	58

Seznam obrázků

Obrázek 1 Elektromagnetické spektrum - přeloženo z [22] (upraveno)	2
Obrázek 2 Streamovací řetězec – přeloženo z [5]	26
Obrázek 3 Metoda zig-zag [5]	40
Obrázek 4 Komprimace standardem MPEG - 2 – přeloženo z [5]	41
Obrázek 5 Hlavička TCP [31]	46
Obrázek 6 Hlavička UDP [31]	46
Obrázek 7 Hlavička IPv4 [34]	47
Obrázek 8 Rámec [38]	48

Seznam tabulek

Tabulka 1 Šířka pásma pro různé datové toky – přeloženo z [19]	12
Tabulka 2 Vývoj bezdrátových sítí – přeloženo z [1]	15
Tabulka 3 Požadovaná šířka pásma a latence pro VR – přeloženo z [21]	19

Seznam grafů

Graf 1 Pole slyšitelnosti člověka - přeloženo z [12]	6
Graf 2 Frekvenční maskování [8]	32
Graf 3 Porovnání přenosové rychlosti AP standardu 802.11 ax	49
Graf 4 Porovnání přenosové rychlosti AP standardu 802.11 ac	49
Graf 5 Porovnání přenosové rychlosti routerů standardu 802.11 ax	50
Graf 6 Porovnání přenosové rychlosti routerů standardu 802.11 ac	50
Graf 7 Porovnání přenosové rychlosti extenderů standardu 802.11 ax	51
Graf 8 Porovnání přenosové rychlosti extenderů standardu 802.11 ac	51
Graf 9 Porovnání přenosové rychlosti USB adaptérů standardu 802.11 ac	52

1 Úvod

System vzdálené reality umožňuje člověku interagovat se vzdáleným prostředím, aniž by v něm byl sám fyzicky přítomen. Navíc díky sensorům systému, které mohou být dokonalejší než lidské smysly, může člověk vnímat více podnětů z okolí. V současnosti se začíná s vyvíjením podobných systémů a v budoucnosti je bude možné s příchodem nových technologií zdokonalovat.

Pro realizaci systému vzdálené reality je nutné znát technologie, díky kterým ji lze uskutečnit a také omezení, které musí tyto technologie splňovat. Na jedné straně uživatel na dálku ovládá receptory robota/avatara a ten na druhé straně systému vykonává to, co po něm uživatel chce. K avatarovi je potřeba přenést příkazy, díky kterým je možné ho ovládat, a naopak od avatara zpátky je potřeba dostat data, která získal s použitím svých receptorů. Ty mohou zahrnovat například kameru, mikrofon, hmatové receptory nebo i elektrojazyk. Lze použít různě dokonalé receptory a není třeba se držet pouze schopností člověka ve vnímání svého okolí. Avatar může být vybaven i senzory vnímajícími druhy látek nebo elektromagnetických vln, jejichž výskyt by člověk svými smyslovými orgány zaregistrovat nedokázal. Informace o jevech, které člověk takto nedokáže vnímat potom lze graficky znázornit na obrazovce zařízení, pomocí kterého bude uživatel avatara ovládat.

Je potřeba, aby byl přenos dat dostatečně rychlý na to, aby avatar reagoval na podněty od svého operátora včas a na druhou stranu, aby uživatel dostal od avatara data, která se mu podařilo získat ve správnou chvíli. Vše musí probíhat v reálném čase. Pro přenos dat v obou směrech je vyžadována i dostatečná kapacita média, které přenos zprostředkuje. V neposlední řadě je důležitá také spolehlivost přenosu dat.

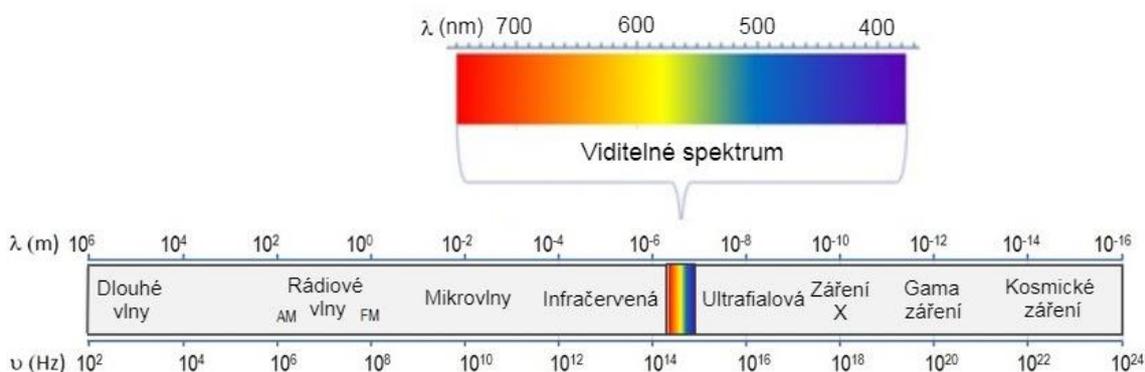
Cílem je poukázat na užitečnost systému teleprezence, seznámit se se základními principy bezdrátové komunikace a najít softwarové a hardwarové prostředky, díky kterým bude možné při realizaci systému teleprezence tyto požadavky splnit.

2 Vlastnosti lidských smyslů

V této kapitole si shrneme omezení schopnosti člověka vnímat své okolí. Systém teleprezence je často může svými dokonalejšími senzory překonat a člověku by tak jeho využitím bylo umožněno získat z okolí více podnětů a provádět činnosti, ve kterých mu omezení jeho smyslů brání.

2.1 Zrak

Nejprve si popíšeme hranice lidského vidění. Dle [10] vidíme ze všech druhů záření, která známe, pouze část. Jedním slovem nazýváme tato všechna záření elektromagnetickým spektrem. Elektromagnetické záření je vlnění, které vzniká kmitáním (oscilací) elektricky nabitých materiálů. Šíří se rychlostí okolo 300 000 km/s. Obrazy pořízené při různých vlnových délkách mohou o jevech a objektech poskytovat různé informace.



Obrázek 1 Elektromagnetické spektrum - přeloženo z [22] (upraveno)

Mezi vlnovými délkami 380–720 nm se nachází viditelná část spektra. Záření s danou vlnovou délkou vnímáme jako určitou barvu: světlo o vlnové délce 550 nm se jeví jako zelené, světlo s délkou 720 nm jako červené.

Kratší vlnovou délku než světlo mají paprsky x (= rentgenové záření) a gama záření. Elektromagnetické záření s kratší vlnovou délkou nese více energie. Okolo paprsků x (0,1 nm) má záření takovou energii, že dokáže prostoupit větším objemem hmoty. Proto dokáží obrazy vytvořené těmito paprsky zobrazit i vnitřní strukturu objektů - např. lidského těla.

Gama paprsky dokáží procházet materiálem ještě lépe a také se používají v lékařství. Běžně vznikají při rozpadu radioaktivních látek. Látka označovaná radioaktivní stopovou příměsí prochází různými částmi těla podle jejich aktivity a kamera, která zachycuje fotony z gama záření, vytváří obraz míst, kde se soustředí označovaná látka.

Infračervené záření, které má delší vlnovou délku než viditelné spektrum, se dá také použít pro zobrazování. Toto záření vyzařují zahřáté předměty, takže se dá využít při nočním vidění.

Lidské oko má průměr asi 20 mm. Nejvíce vpředu má oko rohovku, která ho chrání. Za ní je duhovka. Ta svým rozevíráním a zavíráním ovládá množství světla, které do oka vejde. Nadměrné množství ultračervených i ultrafialových paprsků ji může poškodit. Skrz čočku se obraz vnějšího světa promítá na sítnici. Sítnice obsahuje receptory, které jsou citlivé na světlo: tyčinky a čípky. Tyčinek je 120×10^6 a čípků 8×10^6 .

Tyčinky jsou asi 10x citlivější než čípky. Reagují i na malé změny nízké úrovně osvětlení a zprostředkovávají noční vidění. Čípky reagují na vyšší hodnoty intenzity osvětlení a zprostředkovávají barevné vidění. Jednotlivé čípky mají na sobě jeden ze tří druhů fotopigmentů, které jsou různě citlivé na vlnové délky světla. Jsou pojmenovány podle toho, jakou barvu vnímají nejcitlivěji. Modrý fotopigment je nejcitlivější na krátké vlnové délky viditelné části spektra okolo 445 nm a na vlnové délky vyšší než 520 nm je necitlivý. Zelený pigment je nejcitlivější na 535 nm a červený na 575 nm. Tyto dva fotopigmenty reagují i na ostatní vlnové délky. Nejvíce je čípků s červeným fotopigmentem – je jich okolo 64 %, asi 32 % tvoří čípky se zeleným fotopigmentem a nejméně je čípků s modrým fotopigmentem – asi 2 %. Tyčinky a čípky nejsou na sítnici rozmístěny rovnoměrně. Místo s největší koncentrací čípků se nazývá žlutá skvrna. Nachází se v průsečíku optické osy oka se sítnicí, má průměr asi 1,5 mm a obsahuje asi 300 000 čípků. Ptáci mají vynikající zrak i díky tomu, že mají v oblasti žluté skvrny 4x více čípků. Slepá skvrna je naopak místem, kde se nenachází žádné čípky ani tyčinky. Je to místo, kde je na oko napojen zrakový nerv, který přenáší obrazovou informaci do mozku. Sbíhají se do něj spoje od fotoreceptorů, kterých je na sítnici asi 130 miliónů. Zrakový nerv ale obsahuje

pouze 1 milión vláken, takže se docela velká část obrazové informace zpracovává už na ní.

Čípky určují schopnost rozlišit detaily. Každý je připojen ke svému zrakovému zakončení. Oproti tomu tyčinky sdílí jedno zrakové zakončení s několika dalšími tyčinkami. Tyčinky se nachází v oblasti mimo žlutou skvrnu, kde výrazně převládají nad čípkami. Důsledkem těchto dvou skutečností je to, že poskytují obraz téměř v celém zorném poli, ale v nízkém rozlišení.

Ve zrakovém nervu vznikají rekombinací v místě, které se nazývá lateral geniculate tři odlišné kanály: dva poskytující informace o barvě (jeden nese informaci o poměru červená – zelená: r-g, druhý o poměru žlutá – modrá: y-b) a jeden, který poskytuje informaci o jasu (zelená + červená: g + r). Z této transformace plyne fakt, že lidé nejsou schopni vnímat některé barevné kombinace současně: nažloutlou modř a nazelenalou červeně. Hrany vyhledává oko podle změn v jasu, z čehož plyne, že jsou těžce rozeznatelné v modrých odstínech.

Lidský vizuální systém je schopen přizpůsobit se podstatně většímu rozsahu úrovní světla než kterýkoliv současný elektronický systém. Rozdíl v horních a dolních mezích intenzit (oslnění a nízká úroveň osvětlení) mezi systémy je 10^{10} . Náš systém ale nepracuje s oběma mezemi zároveň. Používá adaptaci na jas. Poté může být rozsah intenzit v porovnání s celkovým rozsahem malý. Běžně dokážeme rozlišit několik desítek úrovní intenzity v jednom obrazovém bodě. S tím, jak se oko pohybuje po obrazu, se počet vnímaných úrovní mění. "Vnímaný jas je logaritmickou funkcí intenzity přicházejícího světla." Nejvíce vnímáme přírůstek světla při nízké úrovni osvětlení, zatímco ten stejný přírůstek nejsme schopni vnímat v blízkosti prahu oslnění.

2.2 Sluch

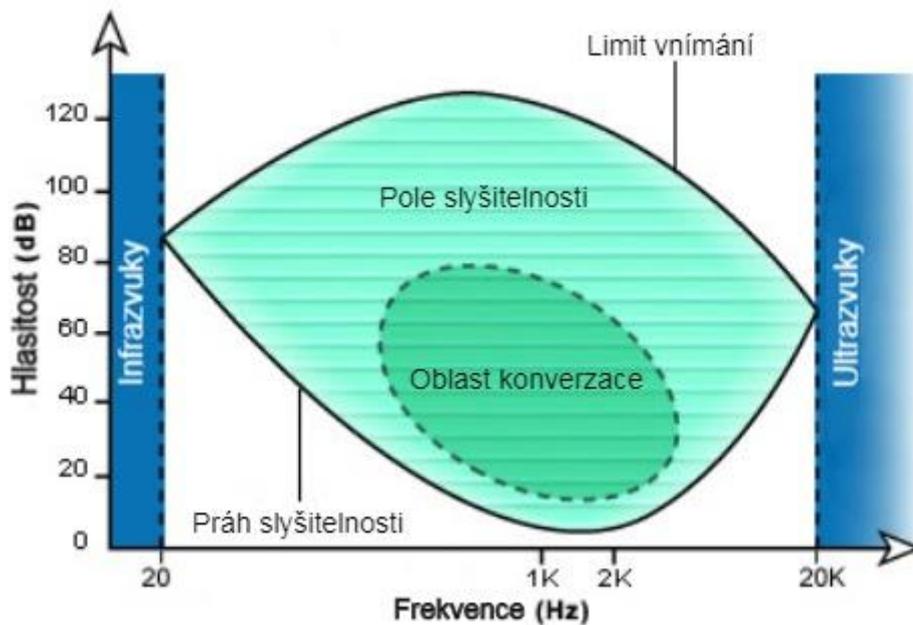
Přesuneme se ke sluchu. Dle [11] slyší lidé i zvířata tím, že ve svém středním uchu zachytávají vibrace, které jsou způsobeny vlněním ve vzduchu, ale i v pevných látkách nebo ve vodě. Ty se pak přes tekutinu dostanou do vnitřního ucha, kde jsou převedeny na signály, které náš mozek dokáže interpretovat.

Frekvence, která je měřená v hertzích, vyjadřuje počet zvukových vibrací vydávaných za sekundu. Dále se u zvuku měří hlasitost. Jednotkou hlasitosti jsou decibely.

Jak zvuk na náš sluchový systém nepřetržitě působí, tak se opotřebovává, takže platí, že čím jsme mladší, tím lépe slyšíme. Zdravý mladý člověk dokáže vnímat frekvence od 20 Hz do 20 kHz. Za slyšitelný se dle [12] považuje rozsah od 0 do 120 dB, avšak hlasitosti nad 85 dB jsou škodlivé. Zvuk, který má hlasitost nad 120 dB, už může způsobit nevratné poškození sluchu. Uvedeme si hlasitosti některých známých zvuků. Například vzlet letadla má 130 dB, pneumatické kladivo 110 dB, hlasitost na dětském hřišti může být 80 dB, při běžné komunikaci mluvíme hlasitostí okolo 60 dB a šeptání má 40 dB. Podle [11] se stárnutím se zhoršuje nejprve horní mez frekvencí. Ve středním věku člověk slyší frekvence nejvýše okolo 14 kHz.

Zvuk, který má vyšší frekvenci, než dokáže člověk vnímat, se nazývá ultrazvuk. Infrazvuk je naopak zvuk, který člověk nedokáže vnímat kvůli tomu, že jsou jeho frekvence příliš nízká. Za zvuk se dle [12] považují jen frekvence mezi infrazvukem a ultrazvukem, i když je některá zvířata vnímat dokážou. Například pes dokáže slyšet zvuk až o frekvenci 40 kHz a delfín nebo netopýr dokonce až o frekvenci 160 kHz. [11] uvádí, že přestože jsme schopni rozlišit asi 1400 různých intenzit zvuku, nachází se většina zvuků spojených s projevem pouze v úzkém a relativně nízkém spektru. Nejvyšší nota je c7 (asi 2048 Hz), kterou zpívají sopránisté a nejnižší je c2 (asi 64 Hz). Ta je zpívána basisty. Křičet ale dokážeme i frekvencí přes 3 kHz a americký zpěvák Tim Storms zazpíval notu, která měla 0,189 Hz. Žádný člověk ji nemohl slyšet, ale bylo možné ji cítit.

Dle [12] je pole slyšitelnosti člověka ohraničeno prahovou křivkou. Při každé citlivosti od 20 Hz do 20 kHz je práh citlivosti jiný. Nejlepší práh slyšitelnosti (okolo 2 kHz) se blíží 0 dB. V této střední části je nejlepší i horní mez – 120 dB. Oblast konverzace, která je v grafu označena tmavě zelenou barvou, znázorňuje rozsah zvuků, který vnímáme při komunikaci s druhým člověkem. Pokud tuto oblast zasáhne ztráta sluchu, je komunikace člověka ovlivněna.



Graf 1 Pole slyšitelnosti člověka - přeloženo z [12]

2.3 Čich

Čich je pro člověka dle [13] také velmi důležitý, přestože je slabší než u mnohých zvířat. Dokážeme rozpoznat tisíce vůní. Cítit pach dokážeme díky dvěma malým sliznicím, které jsou umístěny v horní části nosu a jsou tvořeny pěti nebo šesti miliony nažloutlých buněk. Pro srovnání – králík jich má 110 milionů a pes 220 milionů.

Nos nezprostředkovává pouze čich, ale je také důležitým orgánem pro chuť. Výsledná chuť konkrétního jídla je složena z vjemů chuťových pohárků a čichových receptorů.

Ženy jsou v čichových testech úspěšnější než muži. Osoby trpící psychickými poruchami mají slabší čich. Proto jsou někteří psychiatři přesvědčeni, že by čichové testy měly být součástí psychotestů.

Při čichových testech se musí dát pozor při výběru vzorků na to, aby to byly takové vzorky, které aktivují pouze čichový systém. Na některé vůně jsou totiž citlivá i nervová zakončení v našem nosu, která vnímají teplotu, bolest atd. Proto anosmici (pacienti, kteří ztratili čich) dokážou stále rozpoznat například mentol fenylethylalkohol a další látky.

Omezení našeho čichu by se dalo dle [14] demonstrovat na míchání vůní. Kdybychom měli náš čich testovat například na šesti vůních a ke každé bychom

přičichávali jednotlivě, dokážeme je bez problému rozpoznat. Po smíchání dvou vůní dohromady rozeznáme obě vůně také bez potíží. Když se ale budeme snažit rozeznat jednotlivé vůně po smíchání třech vůní, půjde to už obtížně a po smíchání čtyř vůní nebude schopen základní vůně rozeznat ani profesionál, který se zabývá například výrobou parfémů.

2.4 Hmat

Než se podíváme na omezení hmatu, shrneme si stručně stavbu kůže. Horní vrstvu tvoří dle [15] pokožka (epidermis), která je voděodolná a plní ochrannou funkci. Obsahuje melanin, který chrání kůži před slunečními paprsky. Aby zvýšil svou účinnost, začne se více tvořit a tím kůže tmavne. Pokožka také obsahuje dotykové receptory, které zjišťují informace o prostředí, ve kterém se pokožka nachází.

Další vrstvou kůže je škára (dermis). Obsahuje vlasové folikuly, potní a mazové žlázy, cévy, nervová zakončení a řadu dotykových receptorů. Mezi její funkce patří především vyživování pokožky a nahrazování kožních buněk, které na horní vrstvě pokožky odumírají.

Spodní vrstva je tvořena tukem a pojivovou tkání. Tuková vrstva působí jako izolátor a pomáhá regulovat tělesnou teplotu. Má také ochrannou funkci a chrání tkáň, která se pod ní nachází. Pojivová tkáň připevňuje pokožku ke svalům a šlachám.

Za náš hmatový vjem je zodpovědný senzomotorický systém, který obsahuje 4 hlavní typy receptorů: mechanoreceptory, termoreceptory, receptory bolesti a proprioreceptory.

Dotykové receptory můžeme ještě rozdělit na ty, co se změně stimulu přizpůsobují rychle, a na ty, které se přizpůsobují pomalu. Rychle se přizpůsobující receptory dobře vnímají, kdy stimul začal a skončil, ale nevnímají dobře trvání stimulu. U druhé skupiny receptorů je to naopak a patří do ní například receptory, které vnímají tlak.

Mechanoreceptory vnímají tlak, vibrace, bolest, napětí, natažení atd. Nejcitlivější z nich – Merkelovy buňky a Meissnerova tělíška – se nacházejí v nejvyšších vrstvách škóry a v pokožce. Nejvíce se vyskytují v bezvlasé kůži, jako jsou dlaně, rty, jazyk, chodidla, prsty, oční víčka a obličej. Merkelovy buňky patří k pomalu

přizpůsobujícím se receptorům a Meissnerova tělíska k rychle se přizpůsobujícím receptorům, takže dokážeme dobře vnímat začátek doteku, ale i jeho trvání a konec. Hluběji ve škáře a kolem kloubů a šlach jsou Ruffiniho a Paciniho tělíska. Ty vnímají vibrace v kostech a šlachách, rotaci končetin a natahování kůže.

Termoreceptory se nacházejí ve škáře a dělí se na teplé a studené. Studené receptory začnou vnímat teplotu, pokud povrch kůže klesne pod 95 °F (35 °C). Nejvíce se stimulují při 77 °F (25 °C), a pokud povrch kůže klesne pod 41 °F (5 °C), přestávají teplotu vnímat a přichází pocit znečitlivění. Studené receptory se nacházejí ve větší hustotě. Teplé receptory začnou vnímat horko, když povrch kůže stoupne nad 86 °F (30 °C), a nejvíce jsou stimulovány při 113 °F (45 °C). Pokud je povrch kůže teplejší, aktivují se už receptory bolesti, které kůži chrání. Nejvíce termoreceptorů máme na obličeji a na uších.

V těle máme asi 3 miliony receptorů bolesti neboli nocireceptorů. Nacházejí se v kůži, svalech, kostech, krevních cévách a některých orgánech. Mohou vyvolat bolest, která může být způsobena mechanickými podněty (říznutí), tepelnými (popálení) nebo chemickými (jed při bodnutí hmyzem). Chrání tak tělo před zraněním.

Polohu různých částí těla ve vztahu k sobě navzájem snímají proprioreceptory (proprio = vlastní). Nacházejí se ve šlachách, svalech a kloubních kapslích. Tyto buňky detekují změny v délce a napětí svalů. Díky nim se můžeme oblékat nebo se najíst.

2.5 Chuť

Dle [16] je chuť smyslem, díky kterému můžeme vnímat rozpuštěné molekuly a ionty. Naše chuťové buňky jsou seskupeny v chuťových pohárcích, které obsahují póry. Přes ně se molekuly a ionty dostanou k receptorům. Rozoznáváme pět základních chutí: slanou, kyselou, sladkou, hořkou a umami. Jeden chuťový pohárek obsahuje 50–100 chuťových buněk (receptorů), které dokážou vnímat všech pět chutí. Každá chuťová buňka má na svém povrchu receptory. Jedná se o proteiny, které reagují s ionty, jejichž přítomnost značí slanosť, a vážou se i na molekuly, které vyvolávají pocity sladkosti, hořkosti a umami. Jedna chuťová buňka má nejspíše pouze jeden typ receptorů (kromě receptorů hořkosti). Buňka spouští signál, který

je neuronem veden do mozku. Jeden senzorický neuron může být napojen na několik chuťových buněk z různých pohárků.

U myši a nejspíš i u lidí reagují receptory slanosti na NaCl. Depolarizují Na^+ a spustí tak v neuronech signál o slanosti. Hormon aldosteron zvyšuje počet receptorů slanosti. Má na starosti správnou hladinu sodíku v těle.

Receptory kyselosti detekují protony H^+ uvolněné kyselinami. Protony vstupují do buňky transmembránovým kanálem, který snižuje intracelulární pH a spouští tak akční potenciál.

Sladké látky jako například sacharóza (třtinový cukr) se váží na receptory, které jsou spojené s G-proteinem. Tyto receptory obsahují dvě podjednotky: T1R2 a T1R3. Koplex G-proteinů se nazývá gustducin. Jeho aktivace vyvolá řetězec vnitrobuněčných reakcí: začne se tvořit inositoltrifosfát (IP3) a diacylglycerol (DAG), který uvolňuje vnitrobuněčné Ca^{++} , díky kterému může nastat v přílivu iontů Na^+ depolarizování buňky. Díky tomu se začne uvolňovat ATP, které spustí signál v neuronu. Hormon leptin inhibuje (omezuje) chuťové buňky sladkosti otevřením jejich K^+ kanálů. To hyperpolarizuje buňku, což ztěžuje generování signálu do neuronu. Proto se uvažuje, že by leptin, který je vylučován tukovými buňkami, mohl být signálem k omezení sladkých potravin.

Látky s hořkou chutí se také vážou na receptory spojené s G-proteinem a signální kaskáda je stejná jako u receptorů sladkosti a umami. Lidé mají geny kódující 25 hořkých receptorů, které mají označení T2R. Každá chuťová buňka má různý počet těchto genů (4–11). U čichu existuje naopak jediný typ receptoru, který reaguje na určitý pach. Zdá se, že jednotlivé chuťové buňky reagují na určité hořce chutnající molekuly přednostně před ostatními. Pocit chuti, stejně jako všechny ostatní pocity, vzniká v mozku. Na transgenetických myších bylo zjištěno, že T2R reagují na hořké látky, jako kdyby byly sladké. Bylo zjištěno, že hořkost nebo slanost určuje to, jestli se aktivují pevně upevněné neurony. To záleží na reakci se složkou, která nemá žádnou chuť. Neurčují ji samotné molekuly ani receptory.

Umami je reakce na soli kyseliny glutamové, jako je například glutamát sodný (MSG). Obsahují ho například sýry a zpracované maso (proteiny). Vazba aminokyselin včetně kyseliny glutamové probíhá na receptorech spojených s G-proteinem. Receptory jsou spojené s heterodimery proteinových jednotek T1R2 a

T1R3. Opět následuje signalizační kaskáda, která je stejná jako u sladkých a hořkých receptorů.

Chuťové receptory byly nalezeny i na dalších místech v těle. Například receptory hořkosti T2R se nacházejí i na buňkách řasinek a hladkých svalů průdušnice a průdušinek, kde nejspíš slouží k vytlačení vdechnutých dráždivých látek. Receptory sladkosti T1R se nacházejí i ve dvanáctníku. Pomáhají tam stimulovat slinivku břišní k produkci inzulínu.

Chuťové receptory tedy nepomáhají jen k tvorbě pocitu chuti, ale obecně slouží k detekci chemických látek v prostředí.

3 Technické předpoklady pro přenos dat

3.1 Datový tok

Dle [17] je datový tok vyjádřen počtem bitů, který je zpracován nebo přenesen za jednotku času. Signál, který používá novější kodek, je při stejném datovém toku kvalitnější. Datový tok u HD Blu-Ray videa se pohybuje typicky okolo 20 Mbps, u SD DVD obvykle 6 Mbps, u videa na webu ve vysoké kvalitě často okolo 2Mbps a u videí na mobilních telefonech se pohybuje v řádech kbps. U streamů za použití formátu kódování H.264 se nejčastěji používají následující datové toky:

- 350 kbps – LD 240 p 3G Mobile
- 700 kbps – LD 360 p 4G Mobile
- 1200 kbps – SD 480 p Wi-Fi
- 2500 kbps – HD 720 p
- 5000 kbps – HD 1200 p

Dle [18] je datový tok pro CD při šestnáctibitové hloubce 1,114 kbps. Stejný datový tok mají i soubory WAV, i když se může lišit v závislosti na vzorkovací frekvenci, bitové hloubce a počtu kanálů. WAV byl vyvinut společnostmi IBM a Microsoft. Nabízí nekomprimované vysoce kvalitní audio soubory.

Nejkvalitnější datový tok u MP3 je 320 kbps při šestnáctibitové hloubce a nejnižší 96 kbps. Formát MP3 je ztrátový. Soubor, který obsahuje minutu dlouhý záznam s datovým tokem 128 kbps, má velikost asi 1Mb a s 320 kbps 2,4 Mb. Byl hodně oblíbený především v začátcích internetu, protože umožňoval snazší přenos souborů nízkou šířkou pásma. Stále je velmi využíván při streamování a na platformách pro digitální hudbu.

Při streamování je nízká latence a spolehlivost důležitější než kvalita zvuku, proto je například datový tok u souborů AAC na YouTube streamu pouze 126 kbps. AAC dosahuje lepší kvality při stejném datovém toku v porovnání s MP3. Dle [19] má soubor MP3 při datovém toku 128 kbps stejnou kvalitu zvuku jako soubor AAC při datovém toku 96 kbps/44.1 kHz.

Následující tabulka znázorňuje šířku pásma pro různé datové toky. Délka 1 souboru je 60 minut.

Tabulka 1 Šířka pásma pro různé datové toky – přeloženo z [19]

Datový tok	Bitová hloubka	Kanál	Vzorkovací frekvence	Velikost souboru (nekomprimovaného)	Zabraná šířka pásma	Počet hodin na 1GB zvuku
24 kbps	16	Stereo	44.1 kHz	630 MB	10.8 MB/h	92
56 kbps	16	Stereo	44.1 kHz	630 MB	25.2 MB/h	39
56 kbps	24	Stereo	44.1 kHz	948 MB	25.2 MB/h	39
96 kbps	16	Stereo	44.1 kHz	630 MB	43.2 MB/h	23
128 kbps	24	Stereo	44.1 kHz	948 MB	57.6 MB/h	17
128 kbps	16	Stereo	44.1 kHz	691 MB	57.6 MB/h	17
128 kbps	16	Mono	48 kHz	342 MB	57.6 MB/h	17
128 kbps	16	Stereo	22 kHz	316 MB	57.6 MB/h	17
196 kbps	16	Stereo	44.1 kHz	630 MB	88.2 MB/h	11
196 kbps	16	Mono	44.1 kHz	342 MB	88.2 MB/h	11

3.2 Historie vývoje bezdrátových systémů

Dle [1,2] termín bezdrátová síť označuje jakýkoliv typ komunikační sítě, jejíž prvky nejsou propojeny kabely. V posledních několika desetiletích zaznamenal jejich vývoj výrazné změny. Změny v povaze systému, rychlosti, technologiích, frekvenci, datové kapacitě, latenci aj. rozlišují jednotlivé generace (G).

1G

Na začátku osmdesátých let minulého století začala éra celulárních (buňkových) sítí. Buňkou je zde míněna základnová stanice, která přijímá a přenáší signál z mobilních telefonů. Hlavním účelem sítě této generace bylo zprostředkovat hlasové služby. Síť této generace byly založené na standardu AMPS (Advanced Mobile Phone System). Tento systém používal techniku FDMA (Frequency division multiple access), která rozděluje frekvenci, přidělenou pro komunikaci, na kanály pro jednotlivé uživatele. Umožňuje také modulaci frekvence. Kapacita kanálu byla 30 KHz a kmitočtové pásmo 824–894 MHz. Rychlost sítě byla 2,4 kb/s. Nízká byla i účinnost spektra, tedy míra množství informací, které je možno přenést přes danou šířku pásma. Volat bylo možné pouze v rámci jedné země, kvalita zvuku byla nízká a bezpečnost žádná.

Nevýhodou byla i velikost samotných zařízení, proto se s nimi manipulovalo hůře než dnes. V této generaci byly také představeny nové technologie jako například MTS (Mobile Telephone System), AMTS (Advanced Mobile Telephone System), IMT (Improved Mobile Telephone Service) a PTT (Push to Talk).

2G

Druhá generace začala na konci osmdesátých let a byla založena na GSM (Global System for Mobile Communication). Místo analogového signálu se pro přenos zvuku začal používat digitální, jímž se tato generace především zabývala. Bylo zpřístupněno šifrování, díky kterému se zlepšila bezpečnost komunikace. Byl umožněn přenos textu a obrázků při nízké rychlosti 64 kb/s. Byly tedy zpřístupněny služby SMS a MMS. Šířka pásma pro komunikaci byla 30–200 KHz. Později byla kvůli nespokojenosti uživatelů představena generace 2,5, kde byla rychlost sítě navýšena na 144 kb/s a 2,75, kde rychlost dosahovala 180 kb/s. Tato rychlost už dovozovala i stahování hudby. Například tříminutová písnička se stahovala 6–9 minut. V těchto pozdějších generacích se například používaly technologie GPRS (General Packed Radio Service), CDMA (Code Division Multiple Access), EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) a další. Bylo také zpřístupněno prohlížení webu a email. Stále byl však problém například s videem.

3G

Hlavním cílem třetí generace bylo zrychlení přenosu dat a začala rokem 2000. Vychází z technologie GSM. Jako 3G jsou typicky označovány standardy UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), používaný v Evropě a CDMA2000, který se používal v Americe. Používala se technologie přepínání paketů. Systém operoval v pásmu 2100 MHz a šířka pásma 15–20 MHz umožňovala používat služby, které vyžadovaly rychlý internet, například video chat. Tomu napomáhala i rychlost, která byla v rozmezí od 125 kb/s do 2 Mb/s. Stažení tříminutové písničky tak například trvalo pouze 11 s - 1,5 min. Dále tato generace podporovala 3D hraní her, vysokorychlostní web, videokonference, lepší bezpečnost, posílání emailů o větší velikosti a další. Později byla rychlost přenosu dat zvýšena na 5–30 Mb/s. Přesná rychlost byla závislá na použité technologii. Technicky by se toto období dalo označit jako 3,5G, ale obvykle se i zde používá termín 3G. Infrastruktura pro 3G byla náročnější na postavení i energeticky a celkově dražší.

4G

Za základ 4G je považována technologie LTE (Long Term Evolution), nástupce GSM. Na trh byla uvedena v roce 2009 a poskytuje rychlost stahování 100 Mb/s. Jako 4G se označuje období od roku 2012. 4G má stejné vlastnosti jako 3G, k nimž nabízí vylepšení a služby navíc. Tato generace byla vyvinuta pro vyhovění požadavků QoS (Quality of Service) a rychlosti, kterou vyžadují jednotlivé služby, jako například bezdrátový širokopásmový přístup, video chat, obsah HDTV, DVB (Digital Video Broadcasting), služby, které pracují s hlasem a další, které hojně využívají šířku pásma. Dále čtvrtá generace poskytuje také například služby závislé na poloze uživatele. Zvýšila se efektivnost baterie a cena za bit je nízká. Implementace sítí je však obtížná a vyžaduje složitý hardware. Začaly se kombinovat Wi-Fi a Wi-Max, tedy vnitřní a venkovní sítě.

5G

5G bude dotažením 4G k větší dokonalosti. Přinese výhody, jako jsou například vysoká rychlost dat, nižší latence, zahrnutí umělé inteligence, ještě větší kvalita zvuku a obrazu a další. Díky nim bude možné rozvinout například IoT (Internet of Things), virtuální realitu a další. Očekává se, že 5G bude platformou WWW (Wireless World Wide Web), tedy že bude umožňovat připojení k internetu komukoliv, kdykoliv a kdekoliv. 5G nabízí šířku pásma 2–8 GHz a díky milimetrovým vlnám jsou zvažovány i frekvence nad 50 GHz. Realizace přenosu dat v tomto pásmu bude ale technickou výzvou. Souhrnně jsou tyto vlny nazývány NR (New Radio). Dále bude podporovat technologie, jako MIMO (Multiple Input – Multiple Output) pro zvýšení propustnosti navýšením počtu antén, které přenášejí a přijímají signál, směrování rádiového paprsku k přijímači, hraniční výpočty a další.

Tabulka 2 Vývoj bezdrátových sítí – přeloženo z [1]

Technologie	1G	2G	3G	4G	5G
Období vzniku	Kolem r. 1980	Kolem r. 1990	2000	2012	Brzy (pravděpodobně kolem r. 2020)
Šířka pásma	2Kb/s	64Kb/s	2Mb/s	1Gb/s	Vyšší
Technologie	Analogová	Digitální	CDMA2000, UMTS, EDGE	Wi-Max, Wi-Fi, LTE	WWWW
Hlavní síť	PSTN	PSTN	Packet N/W	Internet	Internet
Primární služba	Analogové telefonování	Digitální telefonování a psaní zpráv	Telefonování, psaní zpráv, data	Všechny služby IP (včetně hlasových zpráv)	Vysoká rychlost a vysoká kapacita, velké přenášení dat v řádech Gb/s
Klíčový znak	Přemístitelnost	Bezpečnost, masové rozšíření	Lepší internet	Rychlejší, široce dostupný internet, nižší latence	Lepší pokrytí, o hodně nižší latence, lepší vlastnosti
Slabiny	Nízká spektrální účinnost a bezpečnost	Omezené množství dat, obtížné podporovat požadavky internetu email	Selhávání WAP – pro připojení mobilů k internetu	Vyžadován složitý a drahý hardware	?

3.3 Požadavky pro virtuální realitu

Virtuální realita může být součástí systému teleprezence, kterou by mohla rozšířit o zajímavé funkcionality, a proto se podíváme na její technické požadavky. Obecně se dá říct, že jejím největším požadavkem jsou technologie 5G.

Dle [3] 5G zahrnuje 3 typy služeb: eMBB (enhanced Mobile BroadBand), mMTC (massive Machine-Type Communication) a URLLC (Ultra-Reliable and Low-Latency Communication). eMBB podporuje stabilní připojení s velmi vysokou přenosovou rychlostí, mMTC podporuje velké množství IoT zařízení, která jsou aktivní pouze periodicky a posílají malé užitečné zatížení. (Datový tok se kromě užitečného zatížení skládá ještě ze záhlaví a metadat. Tyto složky jsou potřebné k dodání užitečného zatížení.) Pro VR jsou důležité eMBB a URLLC. VR potřebuje dodat koncovému uživateli co nejvíce Gbps dat při co nejnižší latenci. Tyto požadavky jsou navzájem protichůdné. Důležitá je také spolehlivost. Té je možné dosáhnout přidělením uživateli více zdrojů připojení. To by ale znamenalo zvýšení latence pro ostatní uživatele.

Náhlavní soupravy VR pokrývají zorné pole uživatele (FOV) a obraz posouvají podle toho, jak uživatel hýbe svými očima nebo hlavou. Kdyby bylo dosaženo absolutní virtuální reality, znamenalo by to, že by ji uživatel nedokázal rozeznat od skutečného světa. Důležitým krokem v tomto směru je dosažení takového rozlišení systému VR, které by bylo shodné s rozlišením lidského oka, a osvobození uživatele od kabelů pro umožnění volného pohybu.

V současnosti je rozlišení VR poněkud nízké. Důvodem je její latenční citlivost a komunikační a výpočetní povaha. Latence vykreslení obrazu delší než 15 ms může způsobit nemoc z pohybu. Pro prémiové VR náhlavní soupravy bylo upřednostněno připojení HDMI pomocí 19 vodičového kabelu. I ony mají ale omezené rozlišení 10 px na stupeň. Lidské oko má 60 px na stupeň. Proto je bezdrátová VR s rozlišením HD dvojnásobně omezena. Výpočet je omezen, protože výkon GPU v HMD (Head Mounted Display) je snížen kvůli teplu, které vzniká při napájení zařízení a objemností a hmotností samotné náhlavní soupravy.

Další komplikací je omezení šířky pásma současných bezdrátových technologií, které pracují pod 6 GHz. Z toho vyplývá neschopnost streamovat video s vysokým rozlišením (8 K a vyšší – při vysoké snímkové frekvenci nad 90 fps). Úspěch bezdrátového VR závisí na tom, že přineseme dostatek výpočetního výkonu prostřednictvím vyhrazeného ASICS (*Application Specific Integrated Circuit*) do HMD nebo do cloudu v přiměřené latenci. Přesto nedávný vývoj hardwarového průmyslu umožnil v roce 2018 náhlavní soupravy VR na trh dodat na komerční úrovni. Stále však s omezeným rozlišením.

3.3.1 Kapacita

Cílem současného úsilí o návrh systému 5G neboli NR je podpora velmi rychlého růstu požadavků na rychlost přenosu dat u aplikací náročných na zdroje. Očekává se, že bude potřeba tisíckrát lepší kapacita systému – definováno v b/s/km². To bude umožněno zvýšenou šířkou pásma, vyšší hustotou a zlepšenou spektrální účinností. Podle hrubého výpočtu je v určitém okamžiku každým z dvojice lidských očí možné vidět až 64 milionů pixelů (150° horizontální a 120° vertikální zorné pole, 60 px na stupeň) a s požadavkem 120 fps k vytvoření věrohodného obrazu je potřeba až 15,5 miliard pixelů za sekundu. Když uložíme každý barevný pixel do 36

bitů a maximální kompresní poměr (používá se ke zmenšení objemu dat) videa je 1:600 (obvykle se nachází v kompresním formátu H.265 HEVC), je k zajištění této kvality potřeba datový tok až 1 Gbps.

Dle [21] rozlišení imerzivního videa ([20] uvádí, že se za imerzivní virtuální realitu označuje taková prezentace umělého prostředí, která dostatečně přesvědčivě nahrazuje reálné prostředí uživatele tak, že tento uživatel přestane mít pochybnosti o jeho umělosti a dokáže se do něj plně ponořit.), které je prohlížené HMD umístěným několik cm od očí, odpovídat množství detailů, které je schopné vnímat lidská sítnice. To znamená, že je potřeba alespoň kvalita 8 K. 10 px na stupeň videa 4 K 360° totiž odpovídá pouze 240 p na televizní obrazovce. 360° virtuální realita by měla projít vývojem, který je znázorněný tabulkou 3 a šířka pásma by měla být alespoň 400 Mb/s.

[3] dále uvádí, že výše uvedené hodnoty jsou ve 4G jasně nerealizovatelné. Výzkumné úsilí je soustředěno na snížení potřebné šířky pásma v bezdrátové VR, čímž se sníží množství zpracovávaných a přenášených dat. Například u 360° imerzivního streamování videa se používá predikce pohybu hlavy k prostorovému segmentování surových rámců a k dodání v HD pouze jejich viditelné části. Podobný přístup je uvažován při rozdělení videa do oddělených mřížkových toků odpovídajících zornému poli uživatele a jejich obsluhování. Je také možné použít sledování směru pohledu pro dodání obsahu s vysokým rozlišením pouze ve středu uživatelova vidění a ke snížení rozlišení a barevné hloubky v periferním zorném poli. Takto výhodný 360° přenos obrazu může snížit přenosové rychlosti na 100 Mb/s u VR systému, který má obousměrné zpoždění (doba od vyslání signálu z jedné stanice na druhou po jeho návrat) menší, než 10 ms včetně vykreslení v cloudu. Za dnešních podmínek pro síťové komunikace nemohou být zdroje tak blízko uživatelům, jak by bylo potřeba. Očekává se, že komunikace v milimetrových vlnách (mmWave) nezbytné zvýšení kapacity umožní.

3.3.2 Latence

V prostředích VR jsou přísné požadavky na latenci velmi důležité k zajištění příjemného a pohlcujícího zážitku. Pro lidské oko je potřeba, aby vnímalo přesné a hladké pohyby s nízkou latencí MTP (Motion To Photon), což je doba potřebná pro

reflektování pohybu uživatele na obrazovce. Vysoké hodnoty MTP vysílají protichůdné signály do vestibulookulárního reflexu (VOR), což je disonance, která by mohla vést k nemocem z pohybu. Obecně se za optimální považuje MTP menší, než je hranice 15–20 ms. Ve 4G by bylo možných pouze 25 ms.

Aby se end to end latence dala snížit, je nejprve nutné pochopit různé typy zpoždění, které v systému mohou nastat. Patří sem zpoždění vzorkování senzorů, zpracování obrazu / vykreslování snímků, výpočetní zpoždění, komunikační zpoždění (zpoždění ve frontě a vzdušné zpoždění) a prodleva displeje. Zpoždění senzoru je malé (< 1 ms) a uživateli nepostřehnutelné a zpoždění displeje (asi 10–15 ms) klesne na 5 ms, takže na výpočet a komunikaci zůstává 14 ms.

Výpočetní a komunikační zpoždění jsou největší překážkou. Zpracování obrazu vyžaduje velkou výpočetní sílu, která často není na HMD GPU dostupná. Přesunutí výpočetních úkolů na cloudové servery výrazně zmenšuje výpočetní zátěž HMD, ale zvyšuje zpoždění komunikace v obou směrech. Pokud však není u VR vyžadováno nahrávání video streamů do cloudu, je uplinkové zpoždění velmi malé vzhledem k nízkému množství dat. Může jít například údaje o sledování uživatelů nebo o interaktivním ovládní. K celkovému zpoždění může výrazně přispět downlinkové zpracovávání video rámců v plném rozlišení. Současné VR výpočty mohou trvat až 100 ms a komunikační zpoždění může dosáhnout 40 ms. Proto je spoléhání na vzdálené cloudové servery vhodnější pro neinteraktivní VR aplikace s nízkým rozlišením. Interaktivní VR aplikace vyžadují zpracování v reálném čase, aby byla zajištěna rychlá reakce. Proto je nutné zmenšit vzdálenost mezi koncovými uživateli a výpočetními servery, aby byla zaručena minimální latence. Mlhové výpočty, tj. Mobilní hranové výpočty (MEC) slouží jako efektivní a škálovatelný přístup k poskytování nízkolatenčních výpočtů pro systémy VR. Výpočetní prostředky jsou zde tlačeny na okraj sítě do blízkosti koncových uživatelů.

Tabulka 3 Požadovaná šířka pásma a latence pro VR – přeloženo z [21]

Rozlišení VR	Totožné rozlišení TV	Šířka pásma	Latence
Raná fáze VR (současnost) - 1 K * 1 K @vizuální pole 2 D 30 fps 8 bit 4 K	240 p	25 Mbps	40 ms
Základní úroveň VR – 2 K * 2 K @vizuální pole 2 D 30 fps 8 bit 8 K	SD	100 Mbps	30 ms
Pokročilá VR – 4 K*4 K @vizuální pole 2 D 60 fps 10bit 12 K	HD	400 Mbps	20 ms
Extrémní VR – 8 K * 8 K @vizuální pole 3 D 120 fps 12 bit 24 K	4 K	1 Gbps (čisté hraní) 2,35 Gbps (interaktivita)	10 ms

3.3.3 Spolehlivost

Aby byl pro uživatele zážitek z VR pohlcující a vnímal spíše ji než skutečnou realitu, je třeba omezit sekání a výpadky obrazu na minimum. Vyžaduje to také kvalitní obraz bez degradace. To vyžaduje odolnost proti chybám na různých vrstvách – od kódování komprese videa až po jeho přenos na úrovni sítě. Ultra spolehlivá VR služba vyžaduje včasné dodání video rámců s vysokou mírou úspěšnosti. Proto byla vyvinuta multikonektivita, která zvyšuje nejen spolehlivost, ale i rychlost. Může používat stejné nebo i různé nosné frekvence. Při použití multikonektivity, tedy při použití více zdrojů připojení však stoupá latence. Hlavně kvůli redundanci a opakovaným přenosům.

3.3.4 Komunikace v pásmu milimetrových vln

Komunikace v mm vlnách je zastřešující pojem pro všechny komunikace nad 30 GHz. Velké množství možností, které nabízejí, je jejím velkým lákadlem. Má ale i

nevýhody. Milimetrové vlny se nešíří překážkami. Neexistuje tu ani difrakce, tedy ohyb vln za překážkami. Nejlepší komunikační podmínky jsou proto splněny tehdy, když existuje přímá viditelnost (LOS – Line Of Sight) mezi vysílačem a přijímačem. Částečně blokové cesty jsou také použitelné, ovšem za snížené rychlosti. Důležitý je také směr komunikace.

Pro maximalizaci poměru signálu k rušení a šumu (SINR) je třeba použít digitální, hybridní nebo analogové techniky, které vytváří a sledují paprsek signálu. Díky učení paprsku je možné sledovat pohybujícího se uživatele v prostředí, které se časově pomalu mění a obejít překážky bránící v přímé viditelnosti vysílače a přijímače nalezením silné odrazové plochy. Zhoršení signálu může být způsobeno dočasně, například zvednutím uživatelské ruky nebo špatnou přímou viditelností mezi vysílačem a přijímačem. Pokud SINR klesne na určitou hodnotu, musí být spuštěn proces objevování alternativního směrového kanálu. Učení paprsků může způsobovat zpomalení komunikace. Z tohoto důvodu je sledování a učení paprsků signálu aktivní oblastí výzkumu, zejména pro rychle se měnící prostředí. Místo tohoto řešení lze použít multikonektivitu.

3.3.5 Mobilní hraniční (decentralizované) výpočty (MEC)

Výpočetní výkon je ve VR klíčový při počítačovém a grafickém vykreslování. Omezuje ho však potřeba lehkých a kompaktních HMD. Na servery s vysokými možnostmi výpočtu se nahrávají informace o tom, co uživatel sleduje, a související data, jako je preference streamování videa. Servery po provedení výpočtu vrací odpovídající videorámec. Jsou schopny zpracovat výpočetní úlohy náročné na procesor a GPU. Vzdálenost k výpočetním prostředkům pro služby VR je omezena maximální tolerovanou latencí. Koncept MEC zajišťuje rovnováhu mezi komunikační a výpočetní latencí poskytováním velkých výpočetních zdrojů. Je klíčový při řešení problémů s latencí u VR. U dynamických aplikací dochází k náhodným akcím, u kterých je potřebná rychlá odpověď systému. Proto se vyžaduje, aby byly výpočetní zdroje co nejbližší uživateli. Je dobré snížit zatížení serverů usnadněním jejich výpočetních úkolů a umožněním provádění předběžných výpočtů. Na nadcházející stovky milisekund lze například předvídat nadcházející pohyb hlavy uživatele. Na základě odhadované budoucí pozice uživatelů mohou být

video rámce počítány na vzdálených cloudových serverech a ukládány do mezipaměti na okraji sítě nebo na HMD uživatelů. To může uvolnit další servery na úkoly v reálném čase. Kromě pohybu uživatele lze také předvídat akce typické pro danou aplikaci a odpovídající rozhodnutí. Zde pomáhá studium popularity různých akcí. V souladu s dostupnými výpočetními a úložnými prostředky je tedy možné uložit do mezipaměti video snímky, které odpovídají všem akcím, které by případně mohly nastat, což zajišťuje spolehlivou službu v reálném čase.

4 Virtuální, rozšířená a vzdálená realita

S pomocí těchto tří médií máme možnost se ponořit do konstruovaného obrazu. Dle [4] se dříve pro první z těchto tří médií používal výraz umělá realita. Například v knize *Artificial Reality 2* od Myrona Kruegera z roku 1991. Když později došlo k rozšíření tohoto média, ujal se pojem virtuální realita. Termín virtuální může označovat počítačový systém, který nahrazuje nějakou skutečnou věc jinými zdroji. Dále je možné tento termín použít pro objekty, které napodobují vlastnosti skutečných objektů, jsou pouze jejich obrazem a které potom vytvářejí celé virtuální světy. Například virtuální automobil se nachází ve virtuální garáži a ta se nachází ve virtuálním světě. Mnoho lidí nazývá interaktivní prostory, jako je například *Minecraft*, virtuální realitou, ve skutečnosti se ale jedná o virtuální svět, protože zde není použito rozhraní virtuální reality.

Existuje i pojem virtuální prostředí, který je s pojmy virtuální realita a virtuální svět často zaměňován. Virtuální prostředí je instancí virtuálního světa. Je to tedy virtuální svět s už konkrétním nastavením.

Například v 80. letech začala virtuální prostředí pro své výzkumy využívat NASA.

Pojmům virtuální svět a virtuální prostředí je podobný termín kyberprostor. V kyberprostoru může skupina lidí, kteří jsou od sebe vzdálení libovolně daleko, komunikovat mezi sebou. Vzniká v lidské mysli a vytváří ho technologie. Na rozdíl od virtuální reality lze kyberprostor vytvořit klidně pouze za pomoci textu, hlasu nebo videa. Rozhraní virtuální reality však k vytvoření kyberprostoru může být použito také. Kyberprostor mohou vytvářet technologie, které poskytují internet, například webová fóra, chatování, lajkování atp. Nebo i technologie, které ke svému provozu internet nepotřebují, například telefonování.

Termín rozšířená realita (někdy také smíšená realita) označuje systém který kombinuje reálný svět s virtuálními prvky. Mohou do reality přidávat virtuální objekty nebo jí rozšiřovat o informace, které člověk nedokáže svými smysly přirozeně zachytit. Díky rozšířené realitě je tedy uživateli dostupné větší množství informací o prostředí, které pozoruje. Většinou se takto rozšiřují především možnosti uživatelova zraku. Je to užitečné například při opravách zařízení nebo v lékařství. Technik si může zobrazit kudy přesně vede potrubí v budově nebo se

podívat do návodu, aniž by musel od práce odbíhat. Lékaři je umožněno si prohlédnout vnitřní orgány pacienta, aniž by musel na pacientovi provádět jakýkoliv zákrok nebo zjistit aktuální pozici miminka v břiše matky. Studenti mají možnost velké množství pokusů provádět doma na virtuálních exemplářích a po přípravě je vyzkoušet ve škole na skutečných.

Virtuální realita a rozšířená realita se někdy souhrnně označují jako XR (crossed – reality) například u technologií WebXR nebo Open XR. Někdy se také pro tato dvě média používá výraz smíšená realita (MR – Mixed Reality).

System, pomocí kterého může uživatel vnímat vzdálené prostředí z první osoby, za pomoci zařízení, které v něm zastupují jeho smysly a interagovat s ním za pomoci akcí, které v něm vznikají, se nazývá vzdálená realita nebo teleprezence. Uživatel se takto může pomocí technologií virtuální reality přesunout na jiné místo. Termín teleprezence se nejspíše používá proto, že byl tento pojem zaveden u příbuzného odvětví, ovládání dálkovým ovladačem nebo ovládáním, před příchodem virtuální reality. Tele znamená vzdálený a present lze přeložit slovem tady nebo slovním spojením být zde.

Teleprezenci lze využít například při péči o lidi, kteří se o sebe nedokážou sami postarat, u vykonávání zaměstnání na příliš vzdáleném místě, při práci s nebezpečnými chemikáliemi, k prohlížení mořského dna, při kontrolování sondy ve vesmíru nebo jí může využít odborník (například instalatér) k tomu, aby za zákazníkem nemusel jezdit. Lze jí dokonce využít i při chirurgické operaci, kde se neřeší problém velké vzdálenosti, neschopnost člověka se přizpůsobit se určitým prostředím nebo jeho ohrožení, ale jde především o šetrnost provedení zákroku. Chirurg má možnost využít několika malých kamer, kterými lze ošetřované místo zevnitř prohlížet, takže může být k pacientovi šetrnější a nemusí provádět tak velký řez.

[10] uvádí, že se dvojník, který reprezentuje uživatele ve virtuální realitě, nazývá avatar. Může ho ale reprezentovat i ve vzdálené realitě při teleprezenci.

Dle [4] pojmu teleprezence je podobný termín teleoperace, při které uživatel se vzdáleným prostředím interaguje, ale na své zařízení, které se v tomto prostředí nachází, se dívá z místa, kde se on sám skutečně nachází. Lze to demonstrovat na ovládání modelu letadla vysílačkou. O teleprezenci jde v případě, že má letadlo na

sobě připevněnou kameru a uživatel může prostředí, ve kterém se letadlo nachází vnímat tak, jako kdyby v něm seděl. Když letadlo pouze pozoruje ze země, jedná se o teleoperaci.

Zařízení, které nazýváme televize, nám umožňuje vzdálené prostředí sledovat, ale neumožňuje nám s ním interagovat. O stejný případ se jedná například i u dalekohledu.

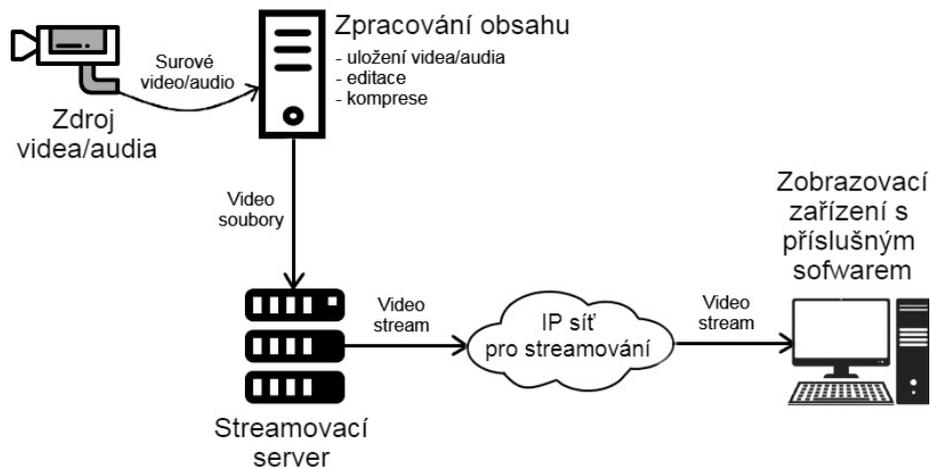
5 Přenos dat

V této kapitole se podíváme na přenos dat od vysílače k přijímači. Více dopodrobna rozebereme druhy mikrofonů, převod z analogového signálu do digitálního, kompresi a referenční OSI model.

5.1 Streamovací řetězec

Dle [5] se tok dat označuje pojmem stream a termín streamování pak vyjadřuje kontinuální přenos audiovizuálních dat od zdroje ke koncovému uživateli. Data lze přijímat a sledovat zároveň (true streaming), stáhnout a teprve potom obsah přehrát (download and play) nebo sledovat staženou část, zatímco se stahuje další (progressive download and play).

Distribuci signálu lze dělit na unicast a multicast. U unicastu je každý stream určen jednomu uživateli. Je tedy vytvářen každému uživateli zvlášť. K tomu je nutné připojení o dostatečné šířce pásma. Multicast je určen vícero uživatelům. Na zdroji vznikne stream a router pak vytvoří jeho kopie, které uživatelům rozešle. Na router je tedy přenesena zátěž, kterou v případě unicastu musí ustát zdroj. Router sleduje své porty a zjišťuje, jestli se ke streamu nechce připojit nový uživatel nebo jestli se naopak některý z uživatelů od streamu odpojil. Podle toho router buď vytvoří kopii streamu a začne ji příslušným portem vysílat nebo vysílat přestane.



Obrázek 2 Streamovací řetězec – přeloženo z [5]

Na začátku streamovacího řetězce je zařízení, které slouží ke sběru dat. Může jít například o kameru, mikrofon nebo senzor pro vnímání hmatu. Surový (raw) signál pořízený kamerou, mikrofonem nebo senzorem je dle nutné pro distribuci po síti nejprve předpřipravit, jinak by představoval obrovské množství dat, jehož přenos by pro síť představoval velkou zátěž. Za tímto účelem se signál posílá zařízení, které je schopné tuto přípravu provést. Nejčastěji se jedná o počítač. Doba přípravy signálu závisí na požadované kvalitě. Od ní se pak odvíjí požadavky na kapacitu sítě. Příprava zahrnuje především kompresi, kterou si rozebereme v desáté kapitole.

Ve streamovacím řetězci lze dle využít servery pro distribuci streamů uživatelům a jako úložiště zpracovaného záznamu. Může zde být uložen stejný obsah o více kompresních poměrech. Podle kvality síťového připojení a podle verze přehrávače pak server vybere obsah o správném komprimačním poměru a pošle ho přes síť uživateli. Uživatel s horším připojením si tak může zobrazit stejný obsah jako uživatel s lepším připojením, avšak v horší kvalitě. Server může mít na starosti i šifrování paketů. Každý stream musí být šifrován unikátním klíčem pro každého uživatele. To může streamovací server až příliš vytížit. Lze ho podpořit odrážecím (reflecting) serverem, který je instalován v lokální síti. Streamovací server pak pošle do této sítě pouze jeden stream a o distribuci uživatelům se postará odrážecí server.

Přenos dat přes síť zajišťují protokoly. Nejpoužívanějším protokolem na transportní (čtvrté) vrstvě referenčního ISO/OSI modelu je TCP (Transmission Control Protocol). Jeho velkou předností je spolehlivost, kterou zajišťuje protichybová ochrana. Pokud není paket doručen do přijatelné doby, pošle ho odesílatel znovu. Detekování chybějících paketů a posílání žádostí o znovudoručení ale zvyšuje latenci celé komunikace. Přehrávač se pozastaví a čeká na chybějící paket. Teprve potom pokračuje ve zpracovávání ostatních paketů. To je problém především u živého vysílání. Je tedy důležitější, aby pakety dorazily včas, než aby byly kompletně doručeny. Zobrazovaný obsah je pak aktuální a chybí jen část snímků, jejichž absence je pro uživatele často nerozeznatelná. Tento způsob doručování paketů lze realizovat pomocí UDP (User Datagram Protocol). Při jeho použití se může stát, že paket nebude vůbec doručen nebo že bude doručen několikrát. Přenos paketů je tedy nespolehlivý a nepřesný, ale právě díky absenci kontrolního mechanismu velmi rychlý.

UDP je využíván řadou základních služeb jako je například SNMP (Simple Network Management Protocol), DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) nebo DNS (Domain Name System). Používá se i v kombinaci s řadou dalších protokolů aplikační vrstvy.

Například ke streamování se používá RTP (Real-time Transport Protocol).

RTCP (RTP Control Protocol) ho doplňuje. Nepřenáší data, ale řídicí informace, jako například počet odeslaných paketů, počet ztracených paketů nebo dobu odezvy.

RSVP (Resource Reservation Protocol) je protokol transportní vrstvy a hostitel služby pomocí něj žádá o danou QoS (Quality of Service). Protokol poté rezervuje potřebné síťové prostředky pro toky, které jsou v simplex módu, tedy jednosměrné od odesílatele k jednomu nebo více příjemcům. Příjemce zahajuje a udržuje rezervaci. Je schopen přizpůsobit se změnám v síti.

K řízení streamů v reálném čase byl navržen protokol RTSP (Real Time Streaming Protocol). Od serveru k uživateli se používají příkazy play, pause nebo fastforward a pro řízení streamu od uživatele ke streamu je implementován příkaz record.

SDP (Session Description Protocol) se používá k popisu multimediálního streamu. Jeho účelem je vyjednávat parametry mezi koncovými zařízeními, jako je například typ média (audio/video atd.), formát, transportní protokol a další vlastnosti.

Na počítači uživatele je stream, který k němu přes síť dorazil, zpracováván speciálním softwarem, který se nazývá mediální přehrávač. Jeho hlavním účelem reprezentovat příchozí pakety ve formě obrazu a zvuku. Některé přehrávače jsou určeny pouze k přehrávání zvuku, jiné k přehrávání videa se zvukem. Je také zodpovědný za dešifrování přijatého obsahu, pokud je šifrován. Dokáže to provést za pomoci klíče, který mu poskytne server. Přehrávač také provádí dekomprimaci. Tato operace může být náročná na výkon, proto je někdy lepší jí provádět na samostatném zařízení (televizní set-top box, hardwarový dekodér). Transportní protokoly rozdělují obraz a zvuk do samostatných streamů. Úkolem přehrávače je pak streamy časově sladit (synchronizovat) pomocí časových značek (time stamps), které jsou porovnávány s odpovídajícími RTCP pakety.

Zvuk je na straně uživatele zpracováván reproduktorem. Dle [6] se v současnosti nejvíce používá dynamický reproduktor. Funguje na stejném principu, jako dynamický mikrofon, jen s tím rozdílem, že je napětí na cívku přiváděno, místo toho aby bylo odebíráno.

K převodu digitálního signálu na analogový se používá DAC (Digital to Analog Converter). Z přístroje (počítače, mobilu, kapesního přehrávače) odebírá vzorky, které mají určitou frekvenci a podle jejich hodnot pak mění velikost napětí, které je přiváděno na reproduktor.

5.2 Druhy mikrofonů

Na začátku podkapitoly o streamovacím řetězci jsme zmiňovali, že mezi zařízení, která nám mohou sloužit ke sběru dat patří mimo jiné i mikrofon.

Dle [6] existuje několik typů mikrofonů a každý funguje na trochu jiném principu. Například uhlíkový mikrofon je tvořen především dvěma plechy, mezi kterými se nachází uhlíkové granule. Oba plechy jsou pod napětím a jen jeden z nich je přidělaný napevno, přesněji řečeno, dokáže kmitat pouze v oblasti kmitny. Druhý lze vlivem tlaku vzduchu rozkmitat v celé jeho ploše. Po rozkmitání druhého plechu dochází ke stlačování uhlíkových granulí, mění se jejich odpor a také napětí na elektrodách (plechách). Tento typ mikrofonu se používal především v minulosti, dnes už jen vzácně.

Dynamický mikrofón se skládá ze tří hlavních částí. Zepředu je na cívku upevněna membrána. Uprostřed cívky se nachází magnet. Změna tlaku vzduchu způsobuje rozechvění membrány, která rozpožbuje cívku kolem magnetu. Díky tomu se mění napětí cívky a tato změna je měřena a převáděna na digitální signál.

Hlavní součástí kapacitního mikrofónu je kondenzátor. Jednou z jeho elektrod je membrána, která svým pohybem, díky změně tlaku vzduchu, mění objem dielektrika (nevodiče) mezi oběma elektrodami a tím i kapacitu kondenzátoru. Změna kapacity je převáděna na změnu napětí, a to je opět dále měřeno a převáděno na digitální signál.

V mobilních telefonech se dle [7] používají elektretové mikrofony nebo mikrofony MEMS.

Elektretový mikrofón je typ kondenzátorového mikrofónu, jehož kondenzátor má jednu elektrodu z elektretu, což je permanentně polarizované těleso (na jedné straně má kladný náboj, na druhé straně záporný). Druhá elektroda je opět tvořena membránou. Kondenzátor se přes elektret permanentně nabíjí. Změna kapacity kondenzátoru pak vyvolá změnu napětí mezi deskami. Elektretové materiály jsou levné a elektrody z nich nejsou náročné na výrobu. Jejich energetické potřeby jsou nízké. Napájení vyžaduje hlavně tranzistor JFET (Junction-Gate Field-Effect) neboli předzesilovač, který mikrofónní signál zpracovává před jeho použitím ve zbytku systému (např. právě v mobilním telefonu). Pokud je mikrofón součástí digitálního zařízení, mělo by toto zařízení obsahovat ADC (Analog to Digital audio Converter), tedy analogově digitální převodník, který také vyžaduje napájení.

Mikrofony MEMS (Micro-Electrical Mechanical System) jsou mikrofony integrované do chipu. Mají membránu, která je citlivá na tlak vzduchu, a jsou k nim integrovány také předzesilovače a ADC. Jsou tedy založeny na principu elektretového mikrofónu. V současné době se už používají častěji než klasické elektretové mikrofony a stejně jako ony nejsou MEMS mikrofony náročné na napájení.

Výrobci mobilních telefonů používají elektretové kondenzátorové kapsle a MEMS mikrofony díky jejich nízké ceně a jednoduché výrobě. Kvalita zvuku produkovaného těmito mikrofony není pro mobilní telefony důležitým faktorem. Hlavní je, aby mikrofón umožňoval komunikaci. Velkou výhodou elektretových

mikrofonů a mikrofonů MEMS je jejich velikost. Jsou velmi malé a kvůli tomu naprosto vhodné pro ploché mobilní telefony.

5.3 Převod zvukového analogového signálu na digitální signál

Jak jsme již zmínili v podkapitole o mikrofonech, pro převod analogového (spojitého) signálu do digitálního (číslicový, diskrétní) slouží elektronická součástka ADC. Dle [6] ADC odebírá vzorky aktuálního stavu napětí na mikrofonu v přesně dané frekvenci. Tato frekvence se nazývá vzorkovací frekvence. Dokonalá reprodukce není možná, ale reprodukce, která je lidským uchem od původního analogového signálu nerozeznatelná, je postačující.

Niquistovo kritérium říká, že signál o maximální frekvenci f_m bychom měli vzorkovat frekvencí $2f_m$. U výpočetní techniky zvláště platí $2f_m + 1$. Kdybychom ho vzorkovali nižší frekvencí, došlo by k aliasingu, tedy ke ztrátě informace. Maximální frekvence zaznamenaná lidským sluchem je 20kHz. Například pro CD byla zvolena vzorkovací frekvence 44,1 kHz. U zvukového záznamu je lepší použít frekvenci vyšší než dvojnásobek maximální frekvence. Maximální frekvence hlasu je přibližně 4kHz. Pro vzorkování telefonického přenosu se používá vzorkovací frekvence 8001 kHz podle Niquistova kritéria. Maximální frekvence souhlásek je ale vyšší, protože nejsou vytvářeny hlasem, ale ústy. Proto jsou při hovoru hůře rozeznatelné.

Jestliže je vzorkovací frekvence například 44 100 Hz, znamená to, že je potřeba zjistit 44 100 hodnot signálu v jedné vteřině. ADC mohou být 8bitové, 16bitové a 32bitové a podle této hloubky nabývají jednotlivé vzorky různě přesných hodnot. Při nedostatečné bitové hloubce dochází ke kvantizačnímu šumu. Čím je bitová hloubka větší, tím je zachycení signálu věrnější.

Snímací část mikrofonu se při převodu tlaku vzduchu na napětí pohybuje do kladné i záporné části. Podle toho probíhá také vzorkování. Například u 16bitového převodníku, kde je při vyjádření v desítkové soustavě maximální počet hodnot pro jeden vzorek 65 535 (16 bitů o hodnotách 1 ve dvojkové soustavě) se rozsah (0; 32767) používá pro zápornou část, číslo 32 768 pro klidový stav a (32 769; 65 535) pro kladnou část. Je možné použít i intervaly (-32 768; -1), 0 a (1; 32768), ale častěji bývá používán rozsah bez záporných hodnot.

Celý proces převodu analogového signálu na binární kód se nazývá pulsně kódová modulace – PCM (Pulse Code Modulation). Je definována vzorkovací frekvencí a bitovou hloubkou a vynásobením těchto dvou veličin lze vyjádřit datový tok (bit rate). Vynásobíme-li ho délkou signálu, dostaneme celkovou velikost v digitální podobě.

Konkrétně je pak například bit datový tok pro CD 705 600 bit/s (44,1 kHz * 16 bit). Pokud je zvukový záznam dlouhý například 3 minuty, je celková velikost 127 008 000 bitů (3 * 705 600) = 127 Mb nebo 121,12Mib dle normy ISO/IEC 80 000. Přenášet takový objem dat je nepraktické, a proto je na místě opět použít komprimaci.

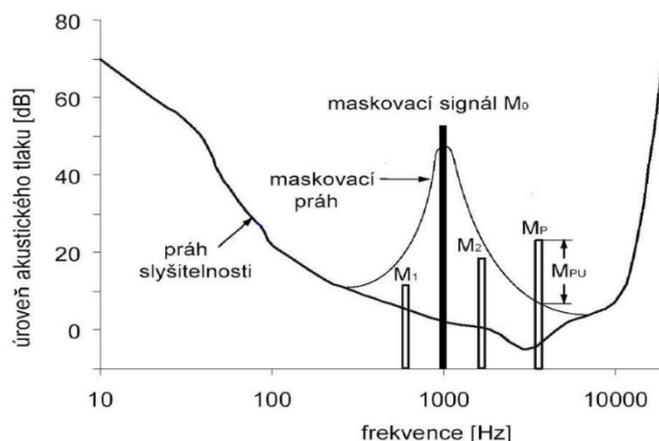
5.4 Komprese

Zařízení nebo software, který provádí kompresi a dekompresi se nazývá kodek (komprese, dekomprese).

Komprese neboli komprimace je proces zmenšení objemu dat, při současném zachování informace, kterou kód nese. Dělí se na ztrátovou a bezztrátovou. U obrazových a zvukových záznamů se používá ztrátová. Při ní se z dat odstraní redundantní (nadbytečné) a irelevantní informace. Irelevantními informacemi jsou zde myšleny informace, jejichž absenci nedokážou naše smysly rozpoznat. Z důvodu jejich odstranění nelze data dekomprimovat do původní podoby. U bezztrátové komprese to však udělat lze, protože se u ní odstraňují pouze redundantní data. Tento typ komprese se využívá například u počítačových dat nebo textů.

5.4.1 Komprese zvuku a obecné kompresní metody

Při komprimaci se dá mimo jiné využít frekvenčního maskování.



Graf 2 Frekvenční maskování [8]

Zvuk může být maskován jiným zvukem, který má blízkou frekvenci. [8] popisuje pomocí grafu 2 situaci, kdy se v pozorované oblasti, objevil intenzivní tón M_0 a kolem něj se vytvořil maskovací prah. Tón M_0 všechny méně intenzivní tóny (M_1 , M_2), které se nacházejí pod maskovacím prahem zamaskuje (přehluší), a tak je lze z původního zvukového souboru odstranit. Tón MP z části maskovací prah přesahuje. Bude tedy odstraněna pouze jeho část, která se nachází pod maskovacím prahem, a část označená jako MPU se bude přenášet. O přenosu zvuku celkově rozhoduje také prah slyšitelnosti. Všechny frekvence, které se nacházejí pod tímto prahem, opět není nutné přenášet. Dle [6] mají nízké frekvence nízké maskovací oblasti a vysoké frekvence vysoké maskovací oblasti. Například u nejnižších frekvencí má maskovací oblast rozsah přibližně 50 Hz a u nejvyšších frekvencí 4–5 kHz. Existuje i dočasné maskování, při kterém po zaznění silného tónu nedokážeme po určité době vnímat zvuky o stejné nebo přibližné frekvenci. Pokud například zazní zvuk o hlasitosti 60 dB, nedokážeme pak vnímat zvuky o nižší hlasitosti než 35 dB po dobu 10 ms.

V kódování se často používá pojem entropie (informační). Entropie je střední míra informace. Jestliže je pravděpodobnost rozložena nerovnoměrně, říkáme, že má systém nízkou entropii. Jestliže má systém vysoké pravděpodobnostní rozložení, má systém entropii vysokou. Například řetězec, který má 99 jedniček a 1 nulu má entropii 0,080793 bit. Řetězec s 50 nulami a 50 jedničkami by měl entropii 1 bit. To platí za předpokladu binární soustavy a vztahu:

$$H(px) = -\sum_{k=1} p(ak) \log_2 p(ak).$$

H je entropie a p je pravděpodobnost výskytu symbolu z abecedy a1 až as.

Pokud je uvažován bezpaměťový zdroj (z předcházejícího symbolu nelze předvídat následující symbol), platí, že řetězec o n znacích lze komprimovat shora k n*H. Komprimační metody, které se této hranici blíží se nazývají entropická kódování. U paměťových zdrojů je za použití vhodných metod možné komprimovat i pod tuto hranici.

K dalším kvantizačním metodám komprimace (kromě PCM), které už snižují paměťovou velikost digitálního signálu, patří například DPCM (Diferenční Pulzní Kódová Modulace). Při jejím použití následuje Huffmanova komprese, pro kterou DPCM kód připravuje. Čím více stejných hodnot kód obsahuje, tím pro Huffmanovu kompresi lépe. Například kód 6, 7, 8, 10, 9, 8, 7, 7, 6, 5, 3 DPCM převede na 6, 1, 1, 2, -1, -1, -1, 0, -1, -1, -2. Zaznamenává se tedy rozdíl oproti předchozí hodnotě.

Delta modulace se od DPCM liší tím, že je u ní rozdíl hodnot (delta) konstantní. Pracuje s fixní hodnotou a pouze zjišťuje, jestli dochází ke změně hodnoty a pokud ano, jakým směrem. Tyto změny lze vyjádřit za pomoci jednoho bytu. Na jednu stranu je ale nutnost konstantnosti rozdílu na určité délce signálu nevýhodou. Může totiž vést k přetížení sklonu, ke kterému dochází, když je křivka příliš strmě klesá nebo stoupá a původní křivku tím pádem nedostatečně aproximuje ("kopíruje"). Zrnitost nastává, když se křivka mění příliš málo.

Přetížení sklonu lze redukovat tím, že zvýšíme vzorkovací frekvenci nebo hodnotu delta. Při zvýšení vzorkovací frekvence je pak ale kompresní poměr oproti PCM menší a při zvýšení hodnoty delta může v klidnějších oblastech dojít k zrnění. Z toho vyplývá, že zrnění můžeme potlačit snížením hodnoty delta, ale může se při tom zvýšit přetížení sklonu. Použití třístavové delta modulace, kde se jeden byt použije pro nulu, také zrnění redukuje, snižuje se tím však kompresní poměr.

ADPCM (Adaptivní Diferenční Pulzní Kódová Modulace) umí měnit velikost kvantizačního kroku (stejnou velikost mají kvantizační kroky pouze v určité oblasti). Díky tomu lze dosáhnout ještě silnější komprese.

Kvantizační metody se často používají před použitím ostatních metod. Například DPCM často předchází Huffmanovu kódování. Jsou nejvyužívanější metodou v oblasti komprimace do streamu a mluveného slova, snadno se pro kódování do

streamu integrují a nejsou náročné na výpočetní výkon. Nejsou ale vhodné ke komprimaci hudby, protože se kromě DPCM jedná o ztrátové metody a kvantizační chyba by nemusela působit dobře.

Metody, které se používají ke komprimaci jakéhokoliv binárního kódu (nejen zvuku), můžeme nazvat konvenčními metodami. U různých kódů je zde různá úspěšnost. Patří sem například Tunstallův kód. Funguje tak, že se do bufferu (dočasný paměťový zásobník) načte pevně danou část kódu (komprimace o pevné délce slova) a namapuje na něj řetězec symbolů z předem vygenerovaného slovníku. Například $A = 01$, $AA = 10$, $B = 11$. BB se potom rovná 1111 . Pro komprimaci zvuku je však nevhodný. Vyžaduje velký buffer.

Historicky prvním algoritmem, který komprimuje s proměnlivou délkou slova, je Shannon-Fanovo kódování. Nejprve je potřeba zjistit pravděpodobnost výskytu všech symbolů nebo slov pevné délky. Následně je algoritmus podle této pravděpodobnosti seřadí. Dále probíhá dělení na dvě části. Výsledky součtů hodnot obou částí by měly být přibližně stejné. Jedné části je přiřazena nula, druhé jednička. Dělení probíhá do chvíle, kdy už není žádná další část dělitelná. Shannon – Fanovo kódování bylo nahrazeno Huffmanovým kódováním, které dosahuje při stejných podmínkách vyššího komprimačního poměru.

Huffmanovo kódování funguje na podobném principu. Opět se zjistí pravděpodobnosti výskytu jednotlivých symbolů nebo slov o pevné délce, seřadí se sestupně. Pokud máme těchto pravděpodobností například 5, můžeme si je označit jako $a_1, a_2 \dots a_5$, kde a_5 je nejnižší pravděpodobnost. Pak se tyto symboly nebo slova sčítají postupně od nejnižší pravděpodobnosti k nejvyšší. Vznikne a_12345 . Té části kódu, která měla největší pravděpodobnost výskytu (a_1), je přiřazena 0, zbytku (a_2345) je přiřazena 1. Zbytek je rozdělen na a_2 a a_345 a té části, jejíž pravděpodobnost výskytu je větší, je opět přidělena 0, zbytku je přidělena jednička. Takto se by se pokračovalo až do úplného rozdělení a_345 na jednotlivé pravděpodobnosti. Výsledek by v tomto případě byl $0, 10, 111, 1101, 1100$. Je více způsobů, jak tento kód vytvořit. Mohlo se například začít sečtením symbolů a_2 a a_3 . Nebo mohla být v další fázi přidělena část kódu s větší pravděpodobností 1 a zbytku 0. Nejlepší je ten kód, který má oproti střední délce kódu nejmenší rozptyl. Jeho použití vede při komunikaci ke snížení velikosti bufferu. Oproti zmíněnému

příkladu by tedy byl lepší kód 11, 01, 00, 101, 100. Střední délka kódu je stejná, ale rozptýl je nižší. V případě, že mají všechny symboly ve vstupním kódu stejnou pravděpodobnost nebo kód obsahuje pouze dva různé symboly, není Huffmanovo kódování příliš efektivní. DPCM výrazně zvyšuje efektivitu Huffmanova kódování při práci s velkými soubory, ve kterých jsou pravděpodobnosti výskytů symbolů rozloženy skoro rovnoměrně. Toto klasické Huffmanovo kódování lze provést v případě, že je k dispozici celý řetězec a máme dostatek času.

Huffmanovo kódování nefunguje dobře při nízkých bitových hloubkách vzorkování (8-bit), kde je větší šance, že pravděpodobnosti výskytu symbolů budou rovnoměrněji rozloženy. Čím je bitová hloubka vyšší, tím více hodnot může vzorek nabývat. (u 8-bit je 256 možných hodnot, u 16-bit 65536 možných hodnot). Při nízké bitové hloubce tedy Huffmanovu kódování předchází právě, jak jsme již zmiňovali, DPCM. Pro standardní Huffmanovo kódování je však nutné číst vstupní řetězec jako celek. To znamená, že by bylo nevhodné pro stream. Jednotlivá časová okna sice lze komprimovat, ale ne menší, jak 20 ms, což je pro stream příliš krátké.

Tento problém řeší adaptivní Huffmanovo kódování. U této verze je Huffmanův strom dynamický. Na začátku je prázdný. Pokud je vstupní symbol zaznamenán poprvé, je před něj vložen escape kód, do streamu je odeslán v nezakomprimované podobě a je také zaznamenán do Huffmanova stromu. Pokud se symbol objeví znovu, odešle se pouze jeho kód, který je mu přidělen, zvýší se počet jeho výskytů o 1 a přepočítá se pravděpodobnost. Neustále se musí kontrolovat, zdali se stále jedná o Huffmanův strom (“aby konstruoval optimální prefixový kód = kód, který obsahuje taková slova, která nejsou prefixem všech ostatních slov v kódu”). Pokud ne, musí se modifikovat.

Dekodér funguje zrcadlově. K rozeznání komprimovaných symbolů od nekomprimovaných používá escape kód. Protože se strom musí stále přepočítávat kvůli změnám v pravděpodobnostech výskytu, je adaptivní Huffmanovo kódování náročnější na výkon.

U metody RLE (Run-Length Encoding) je důležité, aby bylo číslo v kódu (např. 5w2h3w2h5w) chápáno, jako počet opakování, a ne jako běžný symbol. Toho lze dosáhnout tak, že před dané číslo vložíme stop znak (@). Tato metoda není vhodná pro komprimaci textu, protože se zde zřídka vyskytnou tři stejné znaky po sobě.

Například zkomprimované slovo all by bylo ještě delší, než originál – a@2ll. Metodu je vhodnější použít na bitové úrovni než na úrovni přirozeného jazyka.

RLE se skvěle hodí tam, kde jsou přítomny dlouhé řetězce o stejných hodnotách. Například u záznamu mobilní komunikace s osmi bitovou vzorkovací hloubkou (o hloubce jsme se zmiňovali dříve) tato metoda výborně komprimuje sekvence ticha. Čím je bitová hloubka vyšší, tím je pravděpodobnost, že se v záznamu budou vyskytovat dlouhé sekvence o stejných hodnotách, menší. Výpočetní náročnost RLE je nízká, při jeho použití lze komprimovat po volitelných oknech pouze s malým vlivem na komprimační poměr, je výhodné ho používat u nízkých bit-rate a je velmi dobrý při komprimaci ticha. Přesto se ale místo něj v praxi používá ztrátový Comanding. O RLE se ještě zmíníme v kapitole o komprimaci obrazu.

Algoritmy Lempela a Ziva jsou třídou algoritmů, kam patří například LZ77. Tento algoritmus používá posuvné okno, které má dvě části. V jedné části je prohledávaný kód a v druhé komprimovaný. Obě části jsou navzájem porovnávány. V případě, že narazí na symbol nebo sekvenci daného symbolu již po několikáté, zapíše se do komprimovaného pole okna pozice tohoto výskytu, délku této sekvence symbolů a symbol, který po této sekvenci následuje jako první. Pokud od prvního výskytu další výskyt není, zapíše se 0, 0 a symbol. Tento algoritmus lze chápat i jako slovníkový, kdy je slovníkem chápán vstupní nebo výstupní řetězec.

LZ78 má slovník oddělený od vyhledávacího okna. Jsou do něj přidávány symboly, které ještě nebyly zaznamenány. Porovnává se tedy slovník s obsahem vyhledávacího okna. Do komprimovaného souboru se pak ukládá odkaz do slovníku a poslední symbol sekvence. Výhodou algoritmu je, že slovník nemusí posílat spolu se zakódovanými daty. Dekodér se obejde bez něj. Nevýhodou je pevná velikost slovníku. Po vyčerpání jeho kapacity se komprimace zastaví nebo se začnou vymazávat nejdelší nebo nejméně využívané sekvence. Lze provádět zásahy, ale musí o nich vědět dekodér.

U algoritmu LZW (W – Welch) se slovník vytváří už před začátkem komprimace. Naplní se použitou abecedou (obsahuje jeden znak od každého). Pokud jsou sekvence ve slovníku obsažené při vyhledávání v původním textu již vyčerpány, vytváří se sekvence, které ve slovníku ještě obsaženy nejsou (navazuje se sekvencemi o dvou znacích, o třech atd.). Do výstupního řetězce se opět ukládá

odkaz na sekvenci do slovníku a poslední symbol sekvence. Slovník může v případě potřeby zvyšovat svou velikost až do zaplnění vyhrazené paměti.

LZH je kombinací LZ77 a Huffmanova kódování. Dosahuje vyšší komprese.

Slovníkové metody obecně nedosahují při komprimaci zvuku dobrých výsledků, protože naprosto stejných, opakujících se frází je na tyto metody málo i v 8bitové hloubce. V extrémních případech může dojít dokonce ke zvětšení velikosti původního souboru.

Aritmetické kódování je většinou ještě efektivnější než Huffmanovo. Je však patentováno a zpoplatněno. Je také náročnější na výpočetní výkon. Algoritmus potřebuje ještě před svým spuštěním znát délku řetězce, který bude zpracovávat k určení pravděpodobností výskytu jednotlivých symbolů. Po zpracování řetězce algoritmem vznikne číslo z intervalu $(0;1)$. Čím je řetězec delší, tím více cifer toto číslo má. Dále se v tomto intervalu určí meze, které odpovídají pravděpodobnostem výskytu symbolů. Ty se pak dělí dál na další meze a zároveň při každém dělení na více desetinných míst.

Dekodér musí obdržet tabulku symbolů s prvotními mezemi ještě před komprimací. Potom v opačném pořadí provádí kroky komprimace. Dle mezí přepočítává desetinné číslo na původní řetězec.

Ztrátové metody komprimace odstraňují data, jejichž absenci nemůže člověk svými smysly zaznamenat. Mohou ale existovat i případy, kdy není potřeba příliš kvalitní zvuk. Tehdy se může odstranit více dat.

Logaritmická kvantizace se používá především pro komprimaci hlasu. Vysoké amplitudy v lidské řeči nesou méně informace než amplitudy nízké. Proto je lepší mít jemnější kvantizaci u hodnot blízkých nule a hrubší u hodnot vyšších. Jemnější kvantizace ale dobře zaznamená šum, takže je dobré tuto metodu doplnit metodou, která šum zredukuje. Logaritmická kvantizace se provádí až po standardní PCM. Metoda je kvantizační, ale není zohledněna v hardwarovém řešení ADC. Proto je řazena mezi ztrátové.

Skalární kvantizace umožňuje pro řetězec hodnot, který má určité statistické rozdělení vytvořit kvantizaci, které má stejné, či podobné statistické rozložení. Je možné ji provést v případě, že kvantizační chyba není moc velká. Pokud víme, že se v řetězci nachází velký počet nul nebo hodnot nule blízkých a zároveň se v něm

nenachází příliš hodnot vzdálených od nuly, je vhodné provést novou kvantizaci, která zohledňuje toto rozložení. Skalární a logaritmické kvantizace si jsou velmi podobné, avšak skalární kvantizaci nelze provádět na úrovni ADC, ale až při zpracovávání řetězce a dodržuje skoro rovnoměrné rozložení narozdíl od logaritmického.

Logaritmická i skalární kvantizace jsou hojně používané metody pro komprimaci hlasu, nikoliv hudby. Logaritmická metoda poskytuje kvalitnější výstup a je preferována u mobilních telefonů.

Kompresi ticha je metoda, která mění vzorky, vyhodnocené jako příliš tiché, na nulu. Ticho je nutné definovat. Musíme určit, jak velké hodnoty jsou ještě za ticho považovány, kolik za sebou jdoucích vzorků o nízké hlasitosti je považováno za ticho a kolik za sebou jdoucích vzorků o vysoké frekvenci přeruší sekvenci ticha.

Metoda komprese ticha mění všechny vzorky (ať už na úrovni vzorků amplitudy, nebo po aplikaci Fourierovy transformace), které jsou vyhodnoceny jako tiché na nulu. Důležité je také určit hranici, která bude říkat, jaké vzorky jsou ještě považovány za ticho, a jaké už ne a také jak dlouhá sekvence vzorků vyšší hlasitosti přeruší sekvenci ticha. Například když budeme mít 50 hodnot ticha, 3 hlasitější hodnoty a dalších 50 hodnot ticha, je třeba rozhodnout, jestli budeme brát všech 103 hodnot jako ticho, nebo jestli 3 hlasitější hodnoty uprostřed vezmeme v potaz.

Tato metoda je velmi výhodná u streamů a velice vhodná pro kompresi hlasu. Pro kompresi hudby ne, protože se v ní nevyskytuje příliš sekvencí, které by mohly být vyhodnoceny jako ticho. Ke kladům komprese ticha patří nízké nároky na výpočetní výkon, skoro žádné nároky na dočasnou paměť a snadná programová realizace. Oproti tomu je kompresní poměr této metody docela nízký a její aplikace je velmi specifická.

Companding je zkratka ze slov compressing a expanding. Využívá toho, že lidský sluch nemá tak dobrou rozlišovací schopnost u hlasitějších zvuků. Je zde možnost nastavit komprimační poměr. U vzorků s nízkými hodnotami dojde k vytvoření malé kvantizační chyby, zatímco vzorky s vysokými hodnotami jsou zatíženy velkou vzorkovací chybou. Companding počítá oproti logaritmické kvantizaci i s dekompresí. Komprimované hodnotě přiřazuje při dekomprimaci přibližnou hodnotu. Pokud je například hodnota 1000, která je kvantifikována hloubkou

šestnácti bitového vzorku, mapována na 2,72 a se zaokrouhlením zakódována jako 3^7 , je při dekomprimaci trojka dekodována jako 1001. Zaokrouhlením dochází k úspoře paměti, protože obě čísla jsou ve dvojkové soustavě různě dlouhá. Místo compandingu je často využívána logaritmická kvantizace, protože ta vyžaduje nižší výpočetní výkon. Companding však dokáže zaručit lepší kvalitu zvuku.

Psychoakustický model zahrnuje metody, které pracují s omezením lidského sluchu. Využívají například toho, že lidský sluch vnímá frekvence od 20 Hz do 20 kHz a díky tomu mohou být všechny zvuky mimo tento rozsah odstraněny. Model také využívá frekvenční a dočasné maskování, která vyžadují provedení Fourierovy transformace. Ta se využívá k nalezení maximální frekvence, protože ta nemusí být na první pohled zřejmá. Maximální frekvence je potřeba k určení vhodné vzorkovací frekvence. Fourierova transformace rozkládá původní funkci na součet periodických funkcí různých vlastností (sin, cos, amplitudy a frekvence). Díky tomuto rozkladu můžeme funkci s nejvyšší frekvencí zjistit.

Jak jsme uváděli dříve, lidská řeč obsahuje nejvíce informací ve frekvencích pod 4kHz. Podle Niquistova kritéria se tento signál vzorkuje frekvencí 8kHz. Některé psychoakustické modely proto vyšší frekvence odstraňují, a to především u komunikace v reálném čase přes mobilní telefon nebo VOIP (Voice Over Internet Protocol). Dále při vysokých frekvencích klesá schopnost člověka rozlišit, odkud zvuk přichází. Toho lze využít u komprimace dvoukanálového zvuku, kdy při určité frekvenci může být sloučen do jednoho kanálu.

Psychoakustický model se také hojně využívá ve streamech. Pro záznamy, které jsou uloženy v celé své délce, jsou vhodnější algoritmy, které používají Fourierovu transformaci a rozklad na frekvenční spektrum. Ty jsou pak kombinovány s entropickým kódováním například s Huffmanovým.

5.4.2 Kompresi obrazu

Video je dle [5] reprezentováno sekvencí statických snímků promítaných takovou frekvencí (většinou 50 Hz), při které není lidské oko schopné přechodu mezi jednotlivými snímky rozeznat. Pro lepší pochopení komprese u videa je tedy dobré si nejprve projít kompresi statického obrazu.

Nejznámější metodou pro kompresi statického obrazu je JPEG. Tato zkratka vznikla z názvu uskupení, které tuto metodu vymyslelo (Joint Photographic Experts Group). Postup JPEG kodeku vypadá následovně.

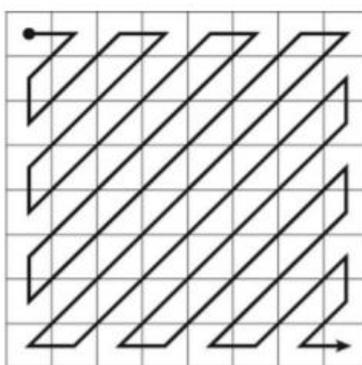
Obraz je obrazovým snímačem nasnímán v barevném modelu RGB. Pro snazší zpracování se musí přetransformovat do modelu YCrCb. Jasová složka a barevné komponenty se poté upravují samostatně.

Následuje barevné podvzorkování. Na vstupu jsou načteny všechny hodnoty barevných intenzit a na výstupu se zapisují jen některé.

Obrázek je poté rozdělen do bloků 8x8 pixelů. Pro každý blok se provede diskretní kosinová transformace (DCT). Číslo, které se v takto upravené matici nachází v levém horním rohu je výrazně větší než ostatní prvky matice. Tento prvek vyjadřuje základní odstín pro celý blok.

Matice DCT koeficientů se v dalším kroku vydělí kvantizační maticí. Je to možné udělat, protože lidské oko nepozná vysokofrekvenční rozdíly. Většina koeficientů výsledné matice se rovná nule nebo velmi malému číslu a dochází tak ke ztrátě informace.

Dále je potřeba matici zakódovat. Metodou zig – zag se vyčtou hodnoty z matice a metodou RLE se zápis zkrátí. Řetězec hodnot je zapsán ve formě “symbol + počet symbolů”. Například podle [6] se řetězec znaků wwwwhhwwwwhwwwww zapisuje jako 5w2h3w2h5w.



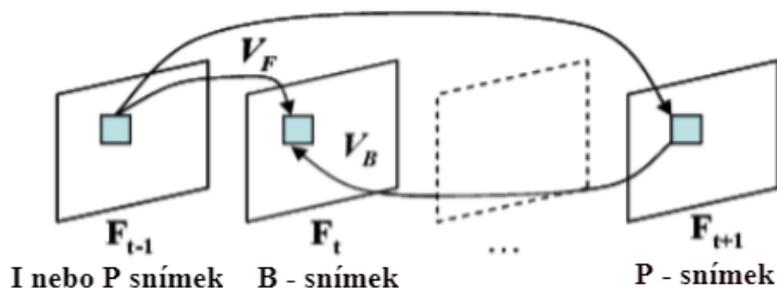
Obrázek 3 Metoda zig-zag [5]

[5] dále popisuje i komprimaci pohyblivého obrazu. Komprimační metody u videa jsou založeny na odstraňování dvou typů redundance. U prostorové redundance se jedná o nadbytečnou informaci v prostoru souřadnic každého obrázku a u časové se

využívá podobnosti sousedních snímků. Jednou z nejznámějších skupin standardů na kompresi videa a jeho zvuku je MPEG - 2. Název je opět odvozen od skupiny, která tento standard vyvinula (Moving Picture Experts Group).

Proces komprimace u tohoto standardu začíná vypočtením rozdílu stejnohlých pixelů ve dvou po sobě jdoucích snímcích. Místo původního snímku je pak zakódován rozdíl: $P = I_1 - I_2$. Kompletní snímky jsou zde označovány jako I - snímky (Intra - frame) a rozdílové jako P - snímky (Predictive - frame). Rozdíl P obsahuje o mnoho méně informací než původní snímek, proto dojde k velkému poklesu objemu dat. Snímky I i P jsou pak kódovány podobnou metodou jako u komprese JPEG a tvoří sekvenci, kde se určitý počet P - snímků nachází vždy mezi dvěma I - snímky např.: IPPPIPPPIPPP. Snímky P jsou určeny rozdílem od předchozího I - snímku. Toto je jednodušší metoda, lze ale dosáhnout i vyšší komprese.

Pro další snížení objemu dat používá MPEG - 2 kompenzaci pohybu. Při této metodě se snímek I_2 rozdělí na makrobloky 16×16 pixelů. Každý makroblok je vyhledán na snímku I_1 a změna jeho polohy se zaznamená vektorem. Takto se pro celý snímek získá množina vektorů V . Ta se aplikuje na původní snímek I_1 a vznikne prediktivní snímek P' . Případnou změnu tvaru objektů během pohybu lze vyjádřit jako $P = P' - I_2$. Místo původního snímku I_2 je pak použitý snímek P a je s ním uložena i množina V . Při pohybu objektu není možné s tím, co máme k dispozici, určit povahu pozadí, které objekt zakrýval. Lze k tomu použít snímek následující.



Obrázek 4 Komprimace standardem MPEG - 2 - přeloženo z [5]

Snímek (F), který vznikne odečtením od původního (F_{t-1}), ale zároveň i od následujícího (F_{t+1}), se nazývá B - snímek. Sekvence snímků pak vypadá například takto: IBBPIBBPIBBPBBIBBP. Perioda, která začíná I - snímkem a obsahuje všechny snímky až do dalšího I - snímku se označuje jako GOP (Group Of Pictures). Velikost

GOP je potom vzdálenost dvou následujících I – snímků. Vyjadřuje se počtem snímků. Tuto hodnotu můžeme označit jako M a jako N označíme vzdálenost I – snímku od následujícího P – snímku. U sekvence uvedené výše by dvojice [M, N] měla hodnoty [3,12]. Čím jsou hodnoty této dvojice vyšší, tím je nižší objem dat, ale také přesnost obsahu videa.

Standard MPEG - 2 byl vyvinut pro rozlišení 720 x 560 pixelů. Pro UHD se používá například H.264/AVC, CABAC, CAVCL, H.265/HEVC, VP9 nebo AV1.

Mezi často využívané kompresní metody patří i MJPEG. Dle [41] tato metoda zkomprimuje každý snímek videa metodou JPEG, ale nekomprimuje snímky mezi sebou. Pokud je ve scéně hodně pohybu, je tato metoda vhodnější než H.264, ale vyžaduje větší šířku pásma. H.264 oproti tomu potřebuje více výpočetního výkonu a zvyšuje latenci.

5.4.3 Faktory výběru kompresní metody

V dnešní době už dle [6] nehraje tak velkou roli faktor výpočetního výkonu.

S pamětí je to podobné, ale stále je využití komprimačních metod užitečné. Například mobilní telefon nebo kapesní přehrávač s pamětí o velikosti 2 GB v může obsahovat asi 3,14 hodiny nekomprimovaného záznamu. Pokud použijeme pokročilé kodeky (soubor komprimačních metod), vejde se na stejnou paměť až desetkrát více obsahu v případě MP3. Žádoucí je co nejvyšší kompresní poměr. Vhodné je používat entropická kódování (Huffmanovo, aritmetické) pro bezztrátovou komprimaci, a to samostatně nebo s metodou měnící statistické rozložení či s psychoakustickým modelem pro ztrátovou komprimaci.

Pro stream jsou vhodné symetrické metody komprimace čili metody, u kterých je doba komprese i dekomprese stejná. Je zde potřeba, aby kodér i dekodér pracovali v reálném čase, nejhůře s malým zpožděním (do 50 ms). Dle [9] patří k symetrickým metodám kódování například adaptivní Huffmanovo kódování nebo LZ78. Podle [6] je u ukončených zvukových záznamů vhodné používat asymetrické kódování, kdy je kladen větší důraz na kompresi a má vyšší nároky na výkon. Trvá déle než komprese, avšak ne déle než by trvalo přehrání záznamu. Cílem je, aby uživatel nemusel čekat na přehrání příliš dlouho. Mohly by se také objevovat pauzy během přehrávání. Dle [9] patří k asymetrickým kompresním metodám LZ77.

Pokud není daná komprimační metoda implementována v knihovně nějakého programovacího jazyka, hraje při výběru komprimačního algoritmu významnou roli také složitost realizace.

Jestliže uvažujeme přenos zvuku v reálném čase (streamování), je významná rychlost přenosového kanálu. Je definována maximálním množstvím dat, které lze daným kanálem odeslat za jednotku času. Pokud je přenosová rychlost kanálu omezena, je vhodné použít ztrátovou metodu nebo volit menší hloubku ADC (pro hlas stačí 8bitová), či frekvence.

5.5 ISO/OSI model

O ISO modelu jsme se zmínili v podkapitole o streamovacím řetězci. Nyní si blíže popíšeme jeho vrstvy shrneme si, které protokoly se na dané vrstvě nachází.

Dle [24] byl ISO/OSI model vytvořen skupinou Open Systems Interconnection, aby tak vznikla standardizovaná architektura síťové komunikace. Model má 7 vrstev.

Vrstva, která se označuje jako sedmá (čísluje se od spodu), se nazývá aplikační. Protože má PDU (Protocol Data Unit), dle [30] “blok informací přenášený sítí”, v první vrstvě nejsložitější strukturu, začínáme od nejvyšší vrstvy. Takto lépe porozumíme tomu, jak PDU vzniká. Aplikační vrstva je oblastí uživatelského rozhraní, se kterým uživatel interaguje, aby poslal nebo obdržel nějaká data, např. prostřednictvím emailu, online hraní her, přenosu souborů peer to peer a dalších aplikací za účelem využití určité služby. Dle [25, 26] sem patří například tyto protokoly:

HTTP (Hypertext Transfer Protocol) se používá pro přenos dat přes World Wide Web. Definuje typy zpráv, které klient používá k vyžádání webové stránky a také typy zpráv, které server používá k odpovědi. Internetový prohlížeč například zasílá požadavek GET, aby získal stránku z webového serveru. Požadavek POST obsahuje data, která byla klientem na server odeslána a požadavek PUT je na server nahraje. Pro bezpečnější komunikaci se používá HTTPS (Hypertext Transfer Protocol Secure), který používá navíc autentizaci a šifrování.

TELNET (TELEcommunications NETwork) umožňuje klientovi přístup ke zdrojům serveru. Používá se k základní konfiguraci zařízení, jako jsou například switche. Příkaz telnet komunikuje se vzdáleným zařízením pomocí stejnojmenného

protokolu prostřednictvím příkazové řádky. Protože ale komunikace přes telnet není šifrována, dává se spíše přednost protokolu SSH (Secure Shell). FTP (File Transfer Protocol) se využívá pro přenos souborů mezi jakýmkoliv dvěma zařízeními. TFTP (Trivial File Transfer Protocol) je jeho zjednodušenou verzí.

SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) posílá emaily ze serverů klientům a mezi servery (MTA a MDA). K tomu, aby byl email doručen do správné emailové schránky používá servery MTA (Mail Transfer Agent). Oproti tomu se protokol POP3 (Post Office Protocol 3) využívá k posílání emailů z klientů na servery MDA (Mail Delivery Agent).

DNS (Domain Name System) překládá názvy adres do jejich původního, číselného tvaru. Názvy byly vymyšleny kvůli lepší zapamatovatelnosti. Například www.cisco.com DNS přeloží na 198.133.219.25.

Pod aplikační vrstvou se nachází prezentační vrstva. Dochází zde k překladu příkazů obdržených od aplikační vrstvy do různých formátů. Dle [27] protokoly prezentační vrstvy formátují data tak, aby jim rozuměly různé typy aplikací i hostů (zařízení připojených k síti). Kromě překladu provádí tato vrstva také komprimaci a šifrování. Používají se zde grafické formáty jako je JPEG, GIF (Graphics Interchange Format), TIFF (Tagged Image Format File) nebo MPEG (Moving Picture Experts Group). Při kódování textu se například využívají metody ASCII (American Standards Code for Information Interchange) nebo EBCDIC (Extended Binary Coded Decimal Interchange Code). K šifrování webových stránek a dat vložených do formulářů na webu je používána metoda SSL (Secure Sockets Layer). Dle [23] sem a do relační vrstvy patří i protokol RTP, o kterém jsme již mluvili v kapitole o přenosu dat.

Pátá vrstva se nazývá relační a jejím účelem je doručení dat do cíle. Obsahuje "mechanismy pro otevírání, zavírání a ovládání relací mezi procesy koncového uživatele a odpověďmi". Relací je zde myšleno síťové propojení klienta a serveru.

Zařízení mohou vysílat ve třech módech: V simplex módu je komunikace jednosměrná. Vysílá pouze jedno zařízení. Pokud jsou zařízení v half-duplexu, je komunikace obousměrná, ale v daný čas může vysílat pouze jedno zařízení a druhé signál přijímá. Vysílat a přijímat zároveň mohou zařízení, která jsou v módu full-duplex.

Relační vrstva obsahuje dle [28] například tyto protokoly: RPC (Remote Procedure Call) se používá k volání procedur na vzdáleném zařízení (serveru), například z důvodu nedostatečné výkonnosti klienta, na kterém byla procedura vytvořena. NFS (Network File System) byl vyvinut společností Sun Microsystems a umožňuje vzdálený přístup k souborům. Pro snazší deklaraci informačních požadavků na lokálních i vzdálených systémech bylo společností IBM vyvinuto SQL (Structured Query Language). X Window je používán inteligentními terminály (server), které mimo jiné zahrnují i obrazovku k tomu, aby mohly ovládat aplikaci, která je spuštěna klientovi tak, jako kdyby byl monitor k tomuto vzdálenému počítači připojen lokálně.

Pod relační vrstvou se nachází transportní vrstva. Definuje, jak jsou data posílána, a poskytuje zabezpečení bránou firewall a validaci. Mezi protokoly, pomocí nichž se přenášejí data, patří dle [29] TCP (Transmission Control Protocol) a UDP (User Datagram Protocol).

TCP je spolehlivý. Provádí kontrolu úplnosti dat. Je také spojově orientovaný. To znamená, že dvě zařízení musí mezi sebou před přenosem dat nejprve navázat spojení. Tento proces se nazývá "three-way handshake". PDU této vrstvy se dle [30] po připojení TCP nebo UDP hlavičky k datům nazývá segment. Hlavička TCP obsahuje mimo jiné pole příznaků (flags). Mezi nimi i příznaky SYN a ACK.

Dle [29] začíná three - way handshake tím, že host A odešle hostu B segment s příznakem SYN nastaveným na jedničku. Host B se tak dozví, že s ním chce host A navázat spojení, a tak odešle hostu A segment zpátky s příznaky SYN a ACK nastavenými na jedničku. Tím hostu A dává vědět, že potvrzuje (acknowledges) požadavek na synchronizaci a že se s ním chce synchronizovat. Ve třetím a zároveň posledním kroku host A posílá další paket hostu B s příznakem ACK nastaveným na jedničku, kterým "říká", že potvrzuje jeho předchozí požadavek. Takto vznikne propojení hostů a začíná přenos dat.

TCP také disponuje kontrolou toku. Jestliže host B nestíhá obsluhovat požadavek hostu A, začne si přijatá data ukládat do paměti. Pokud by paměť byla plná, začaly by se segmenty zahazovat. Proto host B pošle hostu A indikátor "Stop". Když se paměť uvolní, informuje o tom host B host A zasláním indikátoru "Go". Host A pak začne znovu zasílat segmenty.

Pole s názvem okénko (window) určuje, kolik segmentů může být přeneseno bez potvrzení, že byl doručen. Čím je okénko větší, tím je datový tok nižší. Pokud se například okénko rovná třem, bude potvrzování probíhat až po přijetí třetího odeslaného segmentu. Potvrzení nese číslo očekávaného segmentu. Že se segment ztratil, host rozpozná podle toho, že vyprší čas, který je nastaven na časovači hostu. Každý segment musí přijít dřív, než tento čas uplyne.

Mezi protokoly využívající TCP patří například FTP, telnet, HTTP, HTTPS, DNS, SMTP a POP3.

Obrázek 5 Hlavička TCP [31]

TCP Segment Header Format								
Bit #	0	7	8	15	16	23	24	31
0	Source Port			Destination Port				
32	Sequence Number							
64	Acknowledgment Number							
96	Data Offset	Res	Flags		Window Size			
128	Header and Data Checksum			Urgent Pointer				
160...	Options							

Někdy mechanismus spolehlivosti TCP vyžaduje příliš mnoho výkonu procesoru i šířky pásma a zvyšuje latenci. Tehdy lepší dát přednost UDP, který není sice tak spolehlivý, ale nemusí využívat tolik zdrojů. Přenos je díky tomu rychlejší. Mezi protokoly, které využívají UDP patří například DNS, TFTP a SNMP.

UDP Datagram Header Format								
Bit #	0	7	8	15	16	23	24	31
0	Source Port			Destination Port				
32	Length			Header and Data Checksum				

Obrázek 6 Hlavička UDP [31]

Dle [32] je síťová vrstva zodpovědná za přenos dat mezi zařízeními, která nejsou propojena lokálně. K tomu používá zařízení, které se nazývá směrovač (router). PDU síťové vrstvy se nazývá paket. Tato vrstva je také zodpovědná za rozdělení paketů na menší části v případě, že jsou příliš velké. Dle [24] pro něj síťová vrstva hledá nejlepší možnou cestu k cíli. K tomu slouží logické IP adresy. Díky IP protokolu lze každé zařízení unikátně identifikovat. Dle [44] má existují dvě verze IP protokolu.

IPv4 dokáže poskytnout až $4,3 \times 10^9$ unikátních adres. S rozšířením internetu se začaly adresy vyčerpávat, proto byl vyvinut protokol IPv6, který dokáže poskytnout až $3,4 \times 10^{38}$ unikátních adres. Data jsou v paketu zapouzdřena hlavičkou, která mimo jiné obsahuje zdrojovou a destinační adresu.

Version	IHL	Type of Service	Total Length	
Identification			Flags	Fragment Offset
Time to Live	Protocol		Header Checksum	
Source Address				
Destination Address				
Options				Padding

Obrázek 7 Hlavička IPv4 [34]

Za zmínku stojí mimo jiné pole hlavičky IPv4 s názvem "Protocol". Dle [33] podle něj zařízení pozná, zda má paket dále zpracovat protokolem TCP nebo UDP. Díky poli "Identification" lze paket rozložit na menší části a zase složit.

Kromě protokolu IP patří do této vrstvy například RIP (Routing Information Protocol), který dle [35] používá k určení metriky (výhodnost cesty mezi zdrojovou a cílovou adresou; čím je metrika nižší, tím je cesta výhodnější) počet hopů mezi zdrojovou a cílovou sítí. Počet hopů je určen počtem routerů, přes které musejí pakety při přenosu ze zdrojové sítě do cílové sítě projít. IGRP se narodil od RIP používá s sítích středních a velkých organizací. K výpočtu metriky používá šířku pásma, zatížení a zpoždění. Jedná se o "classful" protokol stejně jako u protokolu RIP. To znamená, že při updatování informací o cestách neposílá informaci o maskách. Narodil od RIP2 a EIGRP, které jsou "classless", což znamená, že informaci o maskách posílají. EIGRP využívá k výpočtu metriky šířku pásma, zatížení, zpoždění, spolehlivost a MTU (dle [27] je Maximum Transmission Unit maximální velikost paketu, který je router schopen přenést). Ve výchozím stavu používá pouze šířku pásma a zpoždění. Nastavení pak vypadá takto: 10100.

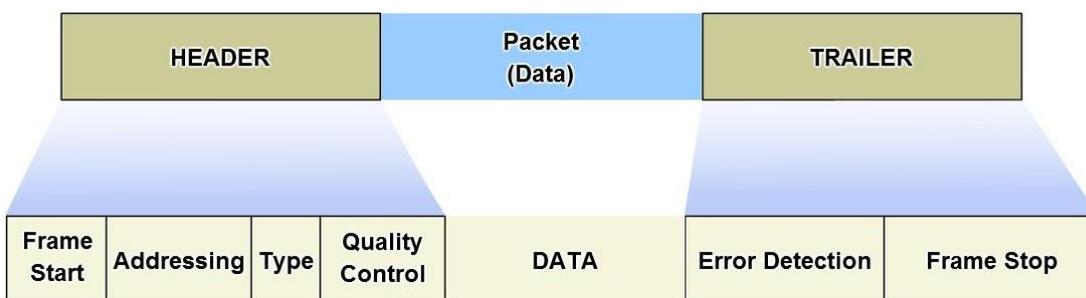
Dle [27] ICMP (Internet Control Message Protocol) úspěšnost, či neúspěšnost doručení dat. DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) automaticky přiřazuje

zařízením IP adresy z DHCP serveru, masku sítě, výchozí bránu a další parametry sítě.

Bezchybný přenos dat je zaručen datovou vrstvou. Dle [37] dojdou data díky této vrstvě ke správnému zařízení. Datová vrstva také překládá PDU ze síťové vrstvy na bity, aby mohly být přeneseny fyzickou vrstvou. PDU datové vrstvy se nazývá rámeček. Jeho hlavička obsahuje hardwarovou zdrojovou a cílovou adresu.

Má dvě podvrstvy: LLC (Logical Link Control) a MAC (Media Access Control). LLC identifikuje protokoly síťové vrstvy a poté opatří paket hlavičkou a ocáskem a vznikne tak rámeček. Nebo naopak rámeček rozbálí a pošle paket příslušnému protokolu síťové vrstvy. Dle [38] označuje začátek rámečku i konec rámečku specifický vzor bitů (pole frame start a frame stop). MAC adresa je 48bitová, fyzická adresa, která je vypálena do síťové karty zařízení, pro které je unikátní.

Mezi protokoly této vrstvy patří například ARP (Address Resolution Protocol), který na zařízení vytváří databázi MAC adres namapovaných na IP adresy hostů, pokud zařízení zná MAC adresu, ale IP adresu nezná. Pomocí RARP (Reverse Resolution Protocol) může zařízení naopak dle [39] zjistit svou IP adresu vysláním broadcastového paketu se svou MAC adresou.

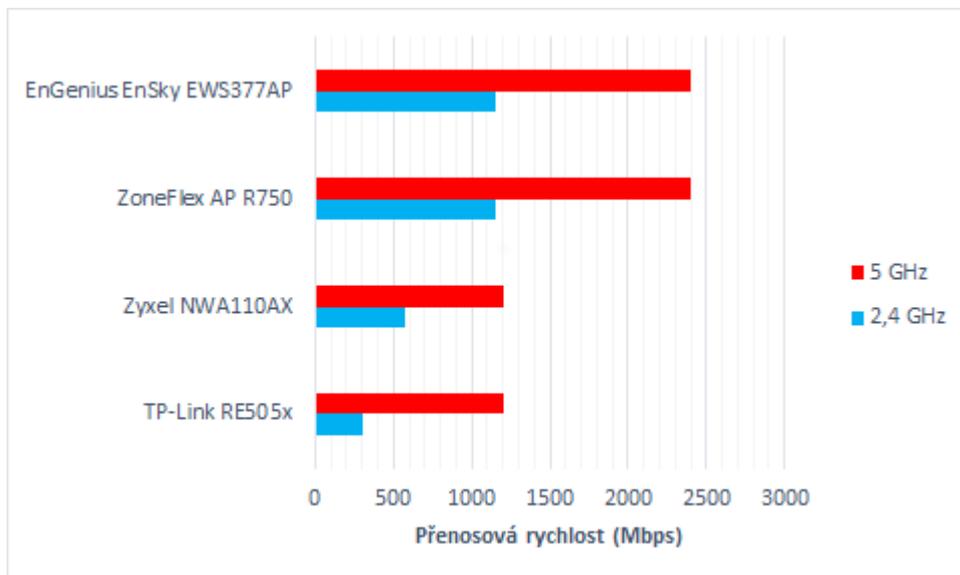


Obrázek 8 Rámeček [38]

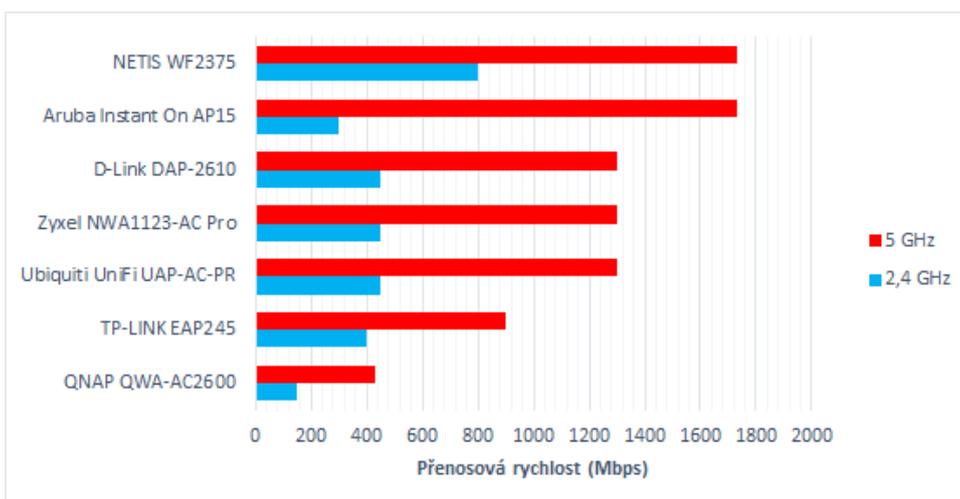
Nejspodnější vrstva OSI modelu je vrstva fyzická. Je tvořena síťovým hardwarem. Dle [40] je jejím hlavním úkolem přenášet bity, do kterých jsou rámečky zakódovány. Komunikuje prostřednictvím různých druhů médií. Každému typu média odpovídá daný protokol, který určuje, jaké bitové vzory se pro tento typ média používají, jak jsou bity zakódovány do signálů daného média a popisuje také různé vlastnosti rozhraní média. Na této vrstvě jsou definována různá rozhraní a topologie, která dovolují mezi sebou komunikovat různým systémům.

6 Dostupná zařízení pro přenos Wi-Fi signálu

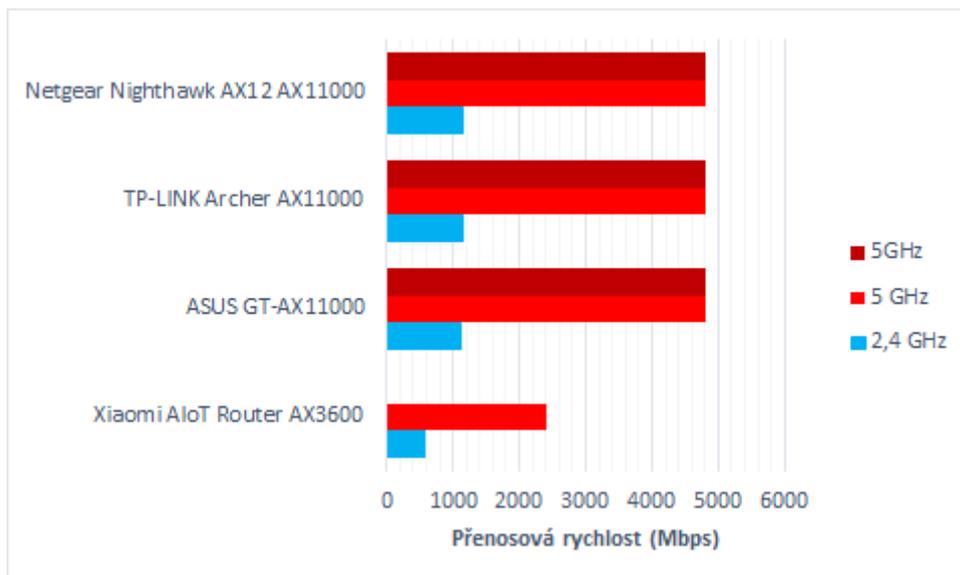
Abychom mohli vybrat správné síťové prvky pro přenos dat z vysílače k přijímači v našem systému teleprezence, srovnali jsme přenosové rychlosti zařízení, která jsou nyní dostupná.



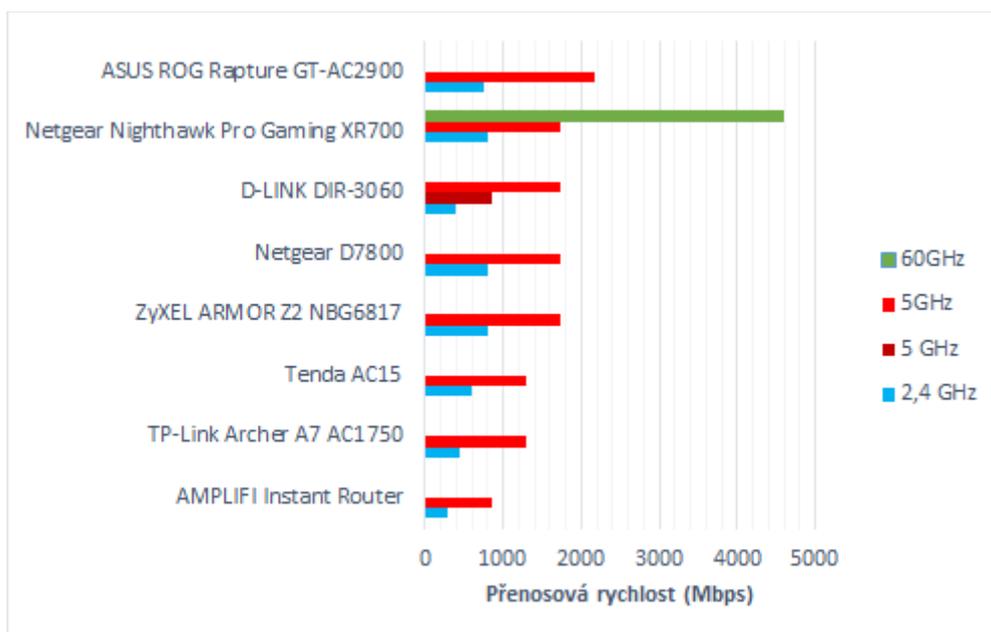
Graf 3 Porovnání přenosové rychlosti AP standardu 802.11 ax



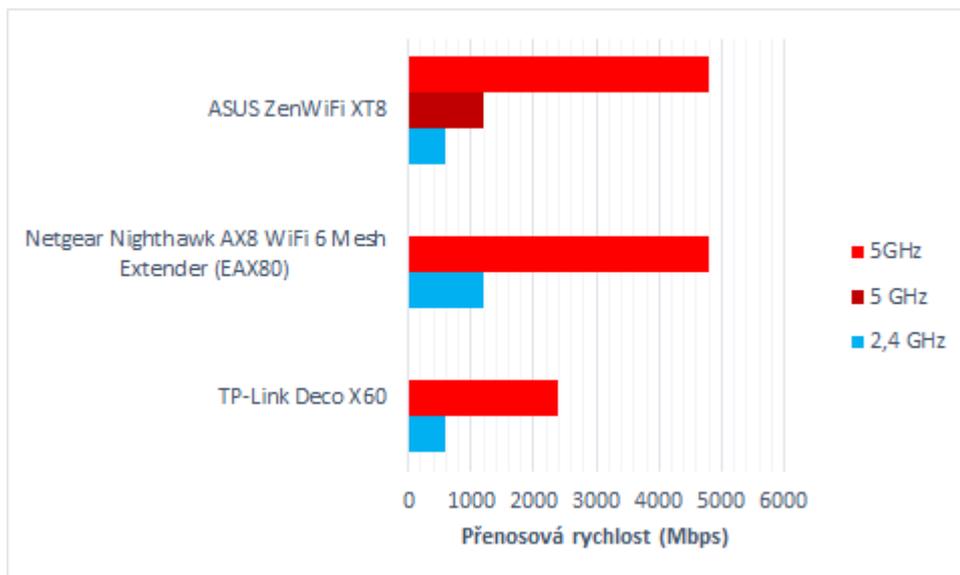
Graf 4 Porovnání přenosové rychlosti AP standardu 802.11 ac



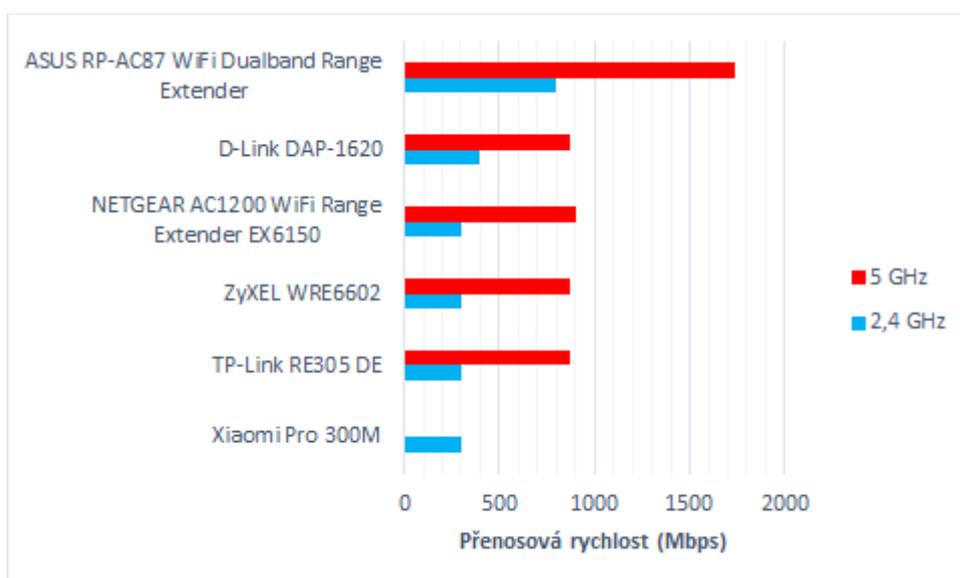
Graf 5 Porovnání přenosové rychlosti routerů standardu 802.11 ax



Graf 6 Porovnání přenosové rychlosti routerů standardu 802.11 ac

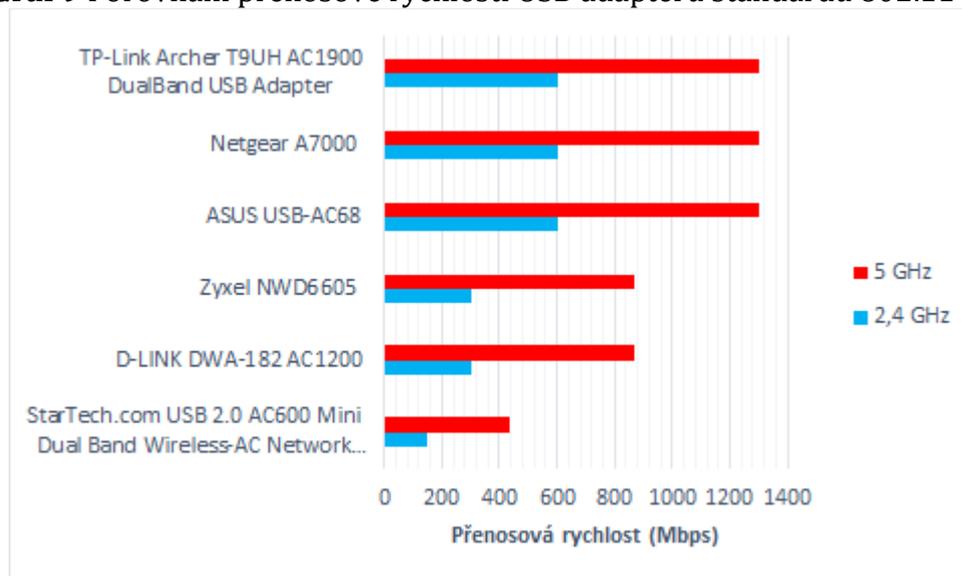


Graf 7 Porovnání přenosové rychlosti extenderů standardu 802.11 ax



Graf 8 Porovnání přenosové rychlosti extenderů standardu 802.11 ac

Graf 9 Porovnání přenosové rychlosti USB adaptérů standardu 802.11 ac



Grafy 3–9 znázorňují přenosové rychlosti vždy jednoho z nejlepších modelů zařízení daného výrobce u daného typu a standardu. V současnosti nabízí nejvyšší přenosové rychlosti standard 802.11 ac a standard 802.11 ax, který je jeho nástupcem. Oba standardy dokážou poskytnout přenosovou rychlost nad 1Gbps.

Obecně v porovnání se standardem 802.11 ac nabízejí zařízení standardu 802.11 ax větší přenosovou rychlost v pásmu 5 GHz a také většinou poskytují tři pásma oproti dvěma pásmům. Například třípásmový router Netgear Nighthawk AX12 AX11000 dokáže poskytnout přenosovou rychlost až 10 712 Mbps. Oproti tomu jeden z nejlepších routerů standardu 802.11 ac – ASUS ROG Rapture GT-AC2900 nabízí přenosovou rychlost 2900 Mbps. Za zmínku stojí také NETGEAR Nighthawk Pro Gaming XR700 Router, který dokáže zprostředkovat přenosovou rychlost až 7200 Mbps díky podpoře standardu 802.11 ad, který umožňuje přenos přes pásmo 60 GHz. Jen v tomto pásmu router poskytuje přenosovou rychlost až 4 600 Mbps. Nevýhodou tohoto pásma je jeho dosah, protože obecně platí, že čím je frekvence pásma vyšší, tím je dosah menší.

Na grafech je ale patrné i to, že u standardu 802.11 ax je nabídka zařízení vždy prozatím menší, než nabídka zařízení standardu 802.11 ac. Můžeme to konkrétně vyzorovat při porovnání grafů 3, 5 a 7 s grafy 4, 6 a 8. Zvláště pak nabídka USB adaptérů standardu 802.11 ax je prozatím nulová, takže se zde uživatelé musí zatím spokojit se standardem 802.11 ac.

7 Návrh sestavy

7.1 Řešení s Wi-Fi

Při návrhu sestavy pro přenos obrazu pro systém teleprezence pomocí Wi-Fi se můžeme inspirovat kapitolou o streamovacím řetězci. Řetězec pro přenos signálu by měl začínat vysílačem. V našem případě to bude webkamera připojená k počítači. Přenos signálu k přijímači, kterým bude VR headset, zprostředkuje Wi-Fi router.

Námi použitým VR headsetem by mohl být Oculus Rift S s rozlišením 2560 x 1440 (1280 x 1440 na oko) a obnovovací frekvencí 80 Hz. Zorný úhel VR headsetu je 110°.

Při návrhu se můžeme inspirovat u [42], který poskytuje open sourceovou aplikaci pro komunikaci VR headsetu s webkamerou. Je doporučeno použít dvě kamery pro lepší stereoskopii. Dobrým řešením by bylo i použití kamery ZED 2 se dvěma objektivy. Nabízí různá rozlišení s různými obnovovacími frekvencemi – 4416 x 1242 s obnovovací frekvencí 15 fps, 3840 x 1080 s obnovovací frekvencí 15 nebo 30 fps, 2560 x 720 s obnovovací frekvencí 15, 30 nebo 60 fps a 1344 x 376 s obnovovací frekvencí 15, 30 60 nebo 100 fps. Pro kompresi používá metodu H.264 i bezztrátovou metodu. Dá se z ní streamovat při použití ZED SDK, které musí mít vysílač i přijímač. Používá protokol RTP, jehož data jsou přenášena protokolem UDP. Nyní by bylo možné připojit kameru k VR headsetu kabelem USB a otestovat tak rozšířenou realitu například s použitím open sourceové aplikace, kterou poskytuje [42]. Pro teleprezenci by bylo potřeba přenášet data přes Wi-Fi, k čemuž je potřeba mít kameru připojenou k počítači, pomocí kterého by kamera zpracovávala obraz a který by dokázal odeslat data přes Wi-Fi do VR headsetu nebo do počítače, ke kterému by byl VR headset připojen.

Tyto počítače by měly mít procesor NVIDIA Dual-core 2.3GHz s výpočetní možností > 3.0, 4 GB RAM a operační systém Windows 10, 8 nebo 7, Ubuntu 18 nebo 16, Debian, CentOS (via Docker) nebo Jetson L4T.

Při výběru routeru bychom mohli vycházet z našeho přehledu zařízení standardů 802.11 ac a 802.11 ax. Můžeme použít například router Netgear Nighthawk AX12 AX11000, který při našem srovnání nabízí nejvyšší přenosovou rychlost. Pro komunikaci poskytuje tři pásma pásma – jedno o frekvenci 2,4 GHz a dvě o frekvenci 5 GHz, přičemž pásmo 2,4 GHz poskytuje přenosovou rychlost 1148 Mbps a každé 5

GHz pásmo dokáže poskytnout přenosovou rychlost 4804 Mbps. Routery, které podporují standard 802.11 ax, jsou kompatibilní i se staršími standardy, a proto ho budeme moci využít i když ostatní druhy zařízení naší sestavy podporují zatím pouze standard 802.11 ac.

7.2 Řešení s rádiovými vlnami

Druhou možností je přenos signálu přes rádiové vlny. Jejich výhoda spočívá v tom, že poskytují vyšší dosah. Na druhou stranu jimi není možné přenášet tolik různých typů dat. Pro přenos videa se zde používá pásmo 5,8 GHz. Nabízí se i pásmo 2,4 GHz, ale to je využíváno pro ovládání drona, robota, avatara... čehokoliv co obsahuje vysílač, který dokáže vysílat signál na vzdáleném místě do našeho headsetu.

Pro sestavu bychom mohli použít například FPV brýle DJI, které nabízí rozlišení HD 720 p při obnovovací frekvenci 120 fps při živém přenosu a 60 fps při nahrávání na microSD. Jejich latence je 28 ms a mají dosah až 4 km. Obraz lze sdílet i do jiných brýlí, které jsou nastaveny na režim "publikum". Lze přepínat mezi analogovým a digitálním signálem.

K brýlím DJI je přímo doporučen DJI ovladač a DJI letová jednotka, která se skládá z kamery a vysílače. Toto doporučení usnadňuje výběr komponent především začátečnickům.

Ovladač má stejný dosah, jako brýle, latenci 7 ms a umožňuje vzdálenou konfiguraci parametrů kamery a brýlí. Kamera má zorný úhel 150°. Nabízí standartní režim, závodní režim a LED režim, který je vhodný pro použití v noci.

7.3 Kombinace Wi-Fi a rádiového signálu

Wi-Fi a rádiové vlny lze také kombinovat. Například [43] navrhuje ovladač, který využívá oba signály. Rozšiřuje ho o vývojovou desku, která podporuje Wi-Fi. Takto lze propojit například RC ovladač JETI DC-24 s barevným LCD displejem s rozlišením 320 x 240 pixelů a vývojovou desku ESP32 Wi-Fi standardů 802.11 b/g/n díky jeho rozšiřujícím portům na zadní straně. Ovladač lze pak vybavit softwarem, který bude Wi-Fi využívat. Mohlo by se například jednat o aplikaci pro předpověď počasí. Komunikovala by s API, od kterého by získala soubor JSON a data v něm obsažená by vypsalala na obrazovku. Dále by se Wi-Fi dala na ovladači využít ke konfiguraci

access pointu a použití vývojové desky jako serveru, který by umožnil zobrazení telemetrických dat z ovladače na internetovém prohlížeči klienta, který by se k tomuto access pointu připojil. Zmiňovaný návrh tedy zahrnuje 4 softwarové komponenty: aplikaci pro nastavení připojení k Wi-Fi a Wi-Fi interface pro komunikaci s vývojovou deskou pomocí příkazů přes seriálový port, které se nacházejí na původním ovladači a AT firmware pro ovládání vývojového modulu a webovou stránku s telemetrickými daty, které jsou implementovány na přidané vývojové desce. Mezi další možnosti, jak využít Wi-Fi na RC ovladači patří stahování aktualizací firmwaru, stahování souborů – například s nastavením modelů, streamování hudby, používání internetového prohlížeče či stahování aplikací z Google play. To dokáže například ovladač Spektrum iX12 s rozhraním android.

8 Shrnutí výsledků

Z informací z použitých zdrojů vyplynulo, že systém teleprezence lze realizovat pomocí technologie čtvrté a páté generace bezdrátových systémů. Nabízí dostatečnou šířku pásma i rychlost pro přenos dat. Velké výhody pak přinese komunikace v pásmu milimetrových vln, kterou by měla pátá generace umožnit.

Dostatečnou šířku pásma lze zajistit nejen použitím vhodných síťových prvků, ale také omezením množství přenášených dat. Tím se zabývají metody komprimace, které množství dat redukuje odstraněním nadbytečných informací. U komprimace videa se například často používají metody H.264 a MJPEG. H.264 poskytuje vyšší kompresi, ale na druhou stranu vyžaduje vyšší výkon. U metody MJPEG je to naopak.

Co se transportního protokolu týče, bude pro systém teleprezence vhodný protokol UDP, který tím, že tolik data nekontroluje, je dokáže k přijímači doručit rychleji. Jeho použitím lze přispět k řešení požadavku na rychlost a nízkou latenci systému. Pomáhá mu RTP, který přenáší řídicí informace.

Nejvyšší šířku pásma dokážou poskytnout zařízení Wi-Fi standardů 802.11 ac a 802.11 ax. Přenosové rychlosti, které poskytují dosahují řádů gigabitů za sekundu. Zařízení standardu 802.11 ax, které nabízí vyšší přenosovou rychlost je zatím méně než zařízení standardu 802.11 ac, ale přibývají.

Komunikaci mezi vysílačem a přijímačem může zprostředkovat Wi-Fi nebo rádiové vlny. Dle potřeby lze zařízení, které komunikují daným typem signálu kombinovat.

9 Závěry a doporučení

Cílem práce bylo poukázat na užitečnost systému vzdálené reality, seznámit se se základními technologiemi bezdrátové komunikace a nalézt softwarové a hardwarové prostředky, které by splnily požadavky pro realizaci systému teleprezence. Bylo ho dosaženo rešeršní činností a porovnáváním informací z dostupných zdrojů.

Byl vytvořen přehled omezení smyslů člověka a stavby jeho smyslových orgánů. Z tohoto souhrnu lze získat představu o tom, jaké druhy informací je možné z našeho okolí zachytit, i když ne lidskými smysly a které podněty z okolí by mohl systém teleprezence umět člověku svými receptory zprostředkovat. Na užitečnost teleprezence poukázala i kapitola o systémech, které člověku umožňují ponoření do konstruovaného obrazu.

Shrnuli jsme, jak lze problémy s požadavky, na realizaci systému teleprezence. Požadavky, kterým je nutné vyhovět při realizaci systému teleprezence se mohou navzájem vylučovat, a proto je nejlepší cestou k jejich vyhovění kompromis mezi nimi. Například spolehlivost přenosu dat lze zvýšit redundancí síťových prvků. Tím se ale zvýší latence. Pokud bude systém využívat výpočetní prvky, je dobré je pro co nejnižší latenci mít co nejbližší koncovým uživatelům. Kapacitu sítě mohou významně navýšit technologie, které přinese pátá generace bezdrátových systémů, ale také komprimace. Byl sepsán přehled obecných komprimačních metod. Nejvíce jsme se zaměřili na komprimaci obrazu a zvuku. Vytvořili jsme také přehled komunikačních protokolů, podle kterých komunikace probíhá. Nalezli jsme protokoly vhodné pro přenos obrazu v reálném čase. Po malém prozkoumání nabídky síťových prvků byly mezi sebou porovnány dva standardy, které v současnosti poskytují nejvyšší přenosovou rychlost.

Podařilo se vytvořit hrubý návrh sestavy pro přenos obrazu, kterou je potřeba do budoucna stále zdokonalovat pro lepší funkčnost a díky technologickému pokroku ji bude možné vylepšovat i pro lepší výkonnost.

10 Seznam použité literatury

- [1] VORA, Lopa J. Evolution of mobile generation technology: 1G to 5G and review of upcoming wireless technology 5G. *International journal of modern trends in engineering and research*, 2015, 2.10: 281-290.
- [2] MAJID, I. B., et al. Evolution of Mobile Wireless Communication Systems from 1G to 5G. A Comparative Analysis. *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*, 2018, 4.1: 1-8.
- [3] ELBAMBY, Mohammed S., et al. Toward low-latency and ultra-reliable virtual reality. *IEEE Network*, 2018, 32.2: 78-84.
- [4] SHERMAN, William R.; CRAIG, Alan B. *Understanding virtual reality: Interface, application, and design*. Morgan Kaufmann, 2018.
- [5] STUDENÝ, Rudolf. *Technologie kontinuálního přenosu audiovizuálního obsahu*. 2018. Bachelor's Thesis. České vysoké učení technické v Praze. Výpočetní a informační centrum.S
- [6] ŠLOSAR, David Jiří. Základní přehled prostředků komprese zvukových informací: bakalářské práce. Praha: Univerzita Kralova v Praze, Filozofická fakulta, Ústav informačních studií a knihovnictví, 2018, 54 s, 1 příl., Vedoucí bakalářské práce prof. RNDr. Jiří Ivánek, CSc
- [7] FOX, Arthur. *What Kind Of Microphones Are Used In Cell Phones? | My New Microphone* [online]. 2019-09-28, 2019-11-05 [cit. 2020-07-03]. Available from World Wide Web: <<https://mynewmicrophone.com/what-kind-of-microphones-are-used-in-cell-phones/>>.
- [8] ŠVEC, Jiří. Komprese zvuku? Jen podvod na uši! [online]. 9. 1. 2009, [cit. 2020-03-07] Dostupný na World Wide Web:<<https://avmania.zive.cz/komprese-zvuku-jen-podvod-na-usi>>.
- [9] OUŠKA, Vojtěch. Komprese dat – Lexikon pojmů [online]. 2008-03-09, 2020-04-16 [cit. 2020-07-03]. Dostupný na World Wide Web: <http://www.stringology.org/DataCompression/lexikon.html#symmetric_compression_method>.
- [10] ŽÁRA, Jiří, et al. *Moderní počítačová grafika*. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2004. 609 s. ISBN 80-251-0454-0.
- [11] The Normal Hearing Range | Hearing Health Blog | National Hearing Care [online]. 2020-02-27, 2020-05-18 [cit. 2020-07-03]. Available from World Wide Web: <<https://nhc.com.au/blog/human-hearing-range>>.
- [12] PUJOL, Rémy. Cochlea [online]. 2017-07-13, 2018-06-06 [cit. 2020-07-03]. Available from World Wide Web: <<http://www.cochlea.org/en/hear/human-auditory-range>>.

- [13] The Smell Report – The human sense of smell [online]. 2001-01-12, 2012-09-14 [cit. 2020-07-03]. Available from World Wide Web: <http://www.sirc.org/publik/smell_human.html>.
- [14] FIRESTEIN, Stuart. The Limits of Our Sense of Smell – Big Think [online]. 2010-12-02, [cit. 2020-07-03]. Available from World Wide Web: <<https://bigthink.com/videos/the-limits-of-our-sense-of-smell/>>.
- [15] Sense of Touch, Skin Receptors, Skin Sensations, Somatosensory System [online]. 2007-03-03, 2017-10-06 [cit. 2020-07-03]. Available from World Wide Web: <<https://learning-center.homesciencetools.com/article/skin-touch/>>.
- [16] The Sense of Taste [online]. 2013-03-16, 2018-03-08 [cit. 2020-07-03]. Available from World Wide Web: <<https://www.biology-pages.info/T/Taste.html>>.
- [17] Understanding bitrates in video files - Encoding.com HelpEncoding.com Help [online]. 2013-08-01, 2017-03-16 [cit. 2020-07-03]. Available from World Wide Web: <<https://help.encoding.com/knowledge-base/article/understanding-bitrates-in-video-files/>>.
- [18] CALABRESE, Robert. Guide To Audio Bitrate & Audio Formats – Home DJ Studio [online]. 2020-02-27, 2020-08-12 [cit. 2020-08-14]. Available from World Wide Web: <<https://homedjstudio.com/audio-bitrates-formats/>>.
- [19] Understanding Audio Quality: Bit Rate, Sample Rate – MicroPyramid [online]. 2011-01-23, 2018-01-21 [cit. 2020-07-03]. Available from World Wide Web: <<https://micropyramid.com/blog/understanding-audio-quality-bit-rate-sample-rate/>>.
- [20] ROUSE, Margaret. What is immersive virtual reality (immersive VR)? - Definition from WhatIs.com [online]. 2016-08-16 [cit. 2020-07-14]. Available from World Wide Web: <<https://whatis.techtarget.com/definition/immersive-virtual-reality-immersive-VR/>>.
- [21] MANGIANTE, Simone, et al. Vr is on the edge: How to deliver 360 videos in mobile networks. In: *Proceedings of the Workshop on Virtual Reality and Augmented Reality Network*. 2017. p. 30-35.
- [22] Electromagnetic Spectrum [online]. 2016-05-25 [cit. 2020-07-16]. Available from World Wide Web: <https://www.engineeringtoolbox.com/electromagnetic-spectrum-d_1929.html>.
- [23] Video Streaming Protocols | RTP RTCP RTSP [online]. 2015-04-03, 2017-07-03 [cit. 2020-08-05]. Available from World Wide Web: <<https://www.vocal.com/video/video-streaming-protocols-rtp-rtcp-and-rtsp/>>.

- [24] HERNANDEZ, Delia. Simplest Visual Guide to OSI Model | Versa Technology [online]. 2015-01-26 [cit. 2020-08-02]. Available from World Wide Web: <<https://www.versatek.com/you-wont-believe-what-the-osi-model-and-pizza-have-in-common/>>.
- [25] SANDEEP, Jain, et al. Protocols in Application Layer – GeeksforGeeks [online]. 2018-08-01 [cit. 2020-08-02]. Available from World Wide Web: <<https://www.geeksforgeeks.org/protocols-application-layer/>>.
- [26] Application Layer ISO OSI protocols functionality [online]. 2018-10-11 [cit. 2020-08-02]. Available from World Wide Web: <http://217.133.6.122/EN/Application/Application_Layer_Functionality_and_Protocols.html>.
- [27] WEST, Jill; DEAN, Tamara; ANDREWS, Jean. *Network+ guide to networks*. Cengage Learning, 2015.
- [28] PARTSENIDIS, Chris, et al. OSI Layer 5 - Session Layer [online]. 2011-11-12 [cit. 2020-08-02]. Available from World Wide Web: <<http://www.firewall.cx/networking-topics/the-osi-model/176-osi-layer5.html>>.
- [29] PARTSENIDIS, Chris, et al. Quick Overview Of TCP [online]. 2012-01-19 [cit. 2020-08-02]. Available from World Wide Web: <<http://www.firewall.cx/networking-topics/protocols/tcp/130-protocols-tcp-overview.html>>.
- [30] Christensson, Per. "PDU Definition." *TechTerms*. Sharpened Productions, 2016-09-27 [cit. 2020-08-02]. Available from World Wide Web: <<https://techterms.com/definition/pdu>>.
- [31] TCP/IP Transport Layer (Layer 4) - Developer Help [online]. 2017-02-14, 2019-03-17 [cit. 2020-08-02]. Available from World Wide Web: <<https://microchipdeveloper.com/tcpip:tcp-ip-transport-layer-layer-4>>.
- [32] PARTSENIDIS, Chris, et al. OSI Layer 3 - Network Layer [online]. 2011-11-06 [cit. 2020-08-02]. Available from World Wide Web: <<http://www.firewall.cx/networking-topics/the-osi-model/174-osi-layer3.html>>.
- [33] PARTSENIDIS, Chris, et al. The Internet Protocol (IP) Header [online]. 2011-10-06 [cit. 2020-08-02]. Available from World Wide Web: <<http://www.firewall.cx/networking-topics/protocols/protocols-ip/164-protocols-ip-header.html>>.
- [34] SALUTARI, Flavia. A closer look at IP headers | APNIC Blog [online]. 2018-06-18 [cit. 2020-08-02]. Available from World Wide Web: <<https://blog.apnic.net/2018/06/18/a-closer-look-at-ip-headers/>>.

- [35] SANDEEP, Jain, et al. Routing Information Protocol (RIP) - GeeksforGeeks [online]. 2018-05-17 [cit. 2020-08-02]. Available from World Wide Web: <<https://www.geeksforgeeks.org/routing-information-protocol-rip/>>.
- [36] SANDEEP, Jain, et al. Difference between RIP and IGRP – GeeksforGeeks [online]. 2020-06-08 [cit. 2020-08-02]. Available from World Wide Web: <<https://www.geeksforgeeks.org/difference-between-rip-and-igrp/?ref=rp>>.
- [37] PARTSENIDIS, Chris, et al. OSI Layer 2 - Datalink Layer [online]. 2011-05-25 [cit. 2020-08-02]. Available from World Wide Web: <<http://www.firewall.cx/networking-topics/the-osi-model/173-osi-layer2.html>>.
- [38] JARINGAN, Olah. OSI Layer(4): Data Link Layer, Wait.. Data Li.. what? | Omakku [online]. 2014-01-28 [cit. 2020-08-02]. Available from World Wide Web: <<https://omakku.wordpress.com/2014/01/28/osi-layer4-data-link-layer-wait-data-li-what/>>.
- [39] SANDEEP, Jain, et al. ARP, Reverse ARP(RARP), Inverse ARP (InARP), Proxy ARP and Gratuitous ARP – GeeksforGeeks [online]. 2017-10-09 [cit. 2020-08-02]. Available from World Wide Web: <<https://www.geeksforgeeks.org/arp-reverse-arprarp-inverse-arp-inarp-proxy-arp-and-gratuitous-arp/>>.
- [40] PARTSENIDIS, Chris, et al. OSI Layer 1 - Physical Layer [online]. 2011-10-19 [cit. 2020-08-02]. Available from World Wide Web: <<http://www.firewall.cx/networking-topics/the-osi-model/172-osi-layer1.html>>.
- [41] KAKNJO, Admir, et al. Real-Time Video Latency Measurement between a Robot and Its Remote Control Station: Causes and Mitigation. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2018, 2018.
- [42] MAMMANO, Federico. Looking Through the Oculus Rift – Augmented Reality, Virtual Reality and Gesture Interaction by federico-mammano [online]. 2010-04-02, 2016-11-21 [cit. 2020-08-05]. Available from World Wide Web: <<http://federico-mammano.github.io/Looking-Through-Oculus-Rift/>>.
- [43] FIŠER, Jiří. WiFi modul pro RC vysílač: bakalářská práce. Ostrava: Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2019, 40 s., 0 příl., Vedoucí bakalářské práce Mgr. Ing. Michal Krumnikl, Ph.D.
- [44] ISA, Abubakar; ABDULMUMIN, Idris. Design and Comparison Migration between Ipv4 and Ipv6 Transition Techniques. *arXiv preprint arXiv:1912.11419*, 2019.

Zadání bakalářské práce

Autor: Lukáš Janouch

Studium: I1700091

Studijní program: B1802 Aplikovaná informatika

Studijní obor: Aplikovaná informatika

Název bakalářské práce: **Komunikační technologie pro vzdálenou realitu**

Název bakalářské práce AJ: Communication technologies for distant reality

Cíl, metody, literatura, předpoklady:

bude upřesněno

WASHBURN, Alan. A New Virtual Reality for 3D Technology in the Utility Industry. *IEEE Power and Energy Magazine*, 2018, 16.2: 96-98. GONG, Liang, et al. Real-time human-in-the-loop remote control for a life-size traffic police robot with multiple augmented reality aided display terminals. In: 2017 2nd International Conference on Advanced Robotics and Mechatronics (ICARM). IEEE, 2017. p. 420-425.

Garantující pracoviště: Katedra informačních technologií,
Fakulta informatiky a managementu

Vedoucí práce: Ing. Karel Mls, Ph.D.

Oponent: Ing. Pavel Blažek, Ph.D.

Datum zadání závěrečné práce: 21.10.2014