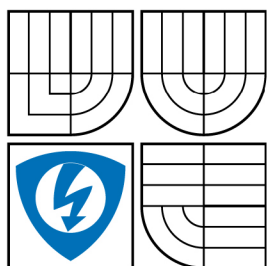


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

SNÍMÁNÍ A ZPRACOVÁNÍ AKUSTICKÝCH SIGNÁLU TECHNOLOGIÍ B FORMAT

ACOUSTIC SIGNAL PICKUP AND PROCESSING USING B FORMAT TECHNOLOGY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAKUB WIESNER

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. JIRÍ SCHIMMEL, PH.D.

BRNO 2007

LICENČNÍ SMLOUVA POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Jakub Wiesner
Bytem: Jižní 3, 78985, Mohelnice
Narozen/a (datum a místo): 31.8.1986, Frýdek-Místek

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 244/53, 602 00, Brno
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):
- disertační práce
 - diplomová práce
 - bakalářská práce**
 - jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Snímání a zpracování akustických signálů technologií B
Format

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Jirí Schimmel, Ph.D.
.....

Ústav: Ústav telekomunikací
.....

Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v*:

- tištěné formě** – počet exemplářů 1
- elektronické formě** – počet exemplářů 1

* hodící se zaškrtněte

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ihned po uzavření této smlouvy
 - 1 rok po uzavření této smlouvy
 - 3 roky po uzavření této smlouvy
 - 5 let po uzavření této smlouvy
 - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 3.6.2008

.....
Nabyvatel

.....
Autor

Anotace

Práce je zaměřena na návrh zařízení pro snímání zvukových signálů technologií SoundField, softwarové zpracování těchto signálů a převod na signály pro vícekanálové zvukové systémy Surround sound. V práci je popsáno vnímání zvuků lidským sluchovým orgánem a doprovodnými jevy binaurálního slyšení a stereofonní a vícekanálové zvukové systémy. Práce se dále věnuje ambiosonii, prostorovému zvuku a formátům jeho nahrávání, způsobu přenosu signálů, jejich zpracování a dekodování. V závěru práce je rozebrána problematika snímání prostorového zvuku technologií SoundField a proces převodu výstupních signálů této technologie na signály jiných vícekanálových zvukových systémů.

Abstract

The work is aimed to proposal of system for acoustic signal pickuping, software processing and conversion into signals for surround sound systems. The work describes sound sensation by human auditory organ and associated effects of binaural hearing and multichannel stereo and surround sound systems. Next aim of the work is to describe ambisonics, surround sound and formats for surround sound pickuping, transmission, processing and decoding. An ending part introduces problems of surround sound pickuping by using of SoundField technology and output signals decoding process of this technology into signals of other surround sound systems.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma "Snímání a zpracování akustických signálů technologií B format" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení §152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.“

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Schimmlovi, Ph.D., za velmi užitečnou metodickou pomoc a cenné rady při zpracování bakalářské práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

1 ÚVOD	7
2 BINAURÁLNÍ SLYŠENÍ.....	8
2.1 ÚVOD	8
2.2 VLASTNOSTI BINAURÁLNÍHO SLYŠENÍ	8
2.3 PSYCHOAKUSTICKÉ EFEKTY	8
2.3.1 <i>Interaurální diference (interaural delay)</i>	8
2.3.2 <i>Binaurální diference maskovacích úrovní (BMLD)</i>	9
2.3.3 <i>Lateralizace („meziušní umístění zvuku“)</i>	9
2.3.4 <i>Lokalizace</i>	10
3 STEREOFONNÍ A VÍCEKANÁLOVÉ ZVUKOVÉ SYSTÉMY	11
3.1 ÚVOD	11
3.2 TŘÍKANÁLOVÝ FORMÁT 3-0 STEREO	11
3.3 ČTYŘKANÁLOVÝ FORMÁT 3-1 STEREO	12
3.4 ŠESTIKANÁLOVÝ SYSTÉM 5.1 SURROUND SOUND	13
3.4.1 <i>Účel 5.1 systému</i>	13
3.4.2 <i>Rozmístění reproduktorů</i>	14
3.4.3 <i>Zvukový kanál s omezeným spektrem</i>	15
3.4.4 <i>Popis a rozvržení stop</i>	15
3.4.5 <i>LFE kanál a subwoofery</i>	15
3.4.6 <i>Omezení 5.1 systému</i>	16
3.5 OSMIKANÁLOVÝ SYSTÉM 7.1 SURROUND SOUND.....	17
3.6 DVANÁCTI KANÁLOVÝ SYSTÉM 10.2 SURROUND SOUND	17
4 AMBIOSONIE	19
4.1 ÚVOD	19
4.2 FORMÁTY	19
4.2.1 <i>A format</i>	19
4.2.2 <i>B format</i>	20
4.2.3 <i>C format</i>	22
4.2.4 <i>D format</i>	23
5. PRAKTICKÁ ČÁST.....	25
5.1 ÚVOD	25
5.2 MIKROFONY	25
5.3 KONVERTOR	28
5.3.1 <i>Úvod</i>	28
5.3.2 <i>Převod B format na signály pro surround sound systémy</i>	28
5.3.3 <i>Grafické rozhraní a popis programu</i>	33
ZÁVĚR.....	36
LITERATURA	37

1 ÚVOD

Jak vyplývá už z názvu práce, je zaměřena na snímání a zpracování vícekanálových akustických signálů ve formátu označovaném B format. Práce navazuje na semestrální projekt, ve kterém byla problematika rozebrána teoreticky. Hlavním cílem práce je objasnit proces od zaznamenání prostorového zvuku až po jeho reprodukci. Teoretickému základu potřebnému k pochopení problematiky se věnují kapitoly 2-4. V kapitole 5 je popsána praktická část práce a naznačen postup práce a dosažené výsledky.

2 BINAURÁLNÍ SLYŠENÍ

2.1 ÚVOD

Tato kapitola má za úkol objasnit základní principy binaurálního slyšení, tj. lidský stereofonní vjem, které hrají důležitou roli ve vývoji a principech vnímání prostorového zvuku.

2.2 VLASTNOSTI BINAURÁLNÍHO SLYŠENÍ

Protože máme právě dvě uši, dokáže lidský mozek rozpoznat směr, ze kterého zvuk přichází. Je toho schopen dokonce i když máme zavřené oči nebo nevidíme, kde se zdroj zvuku nachází. Kdybychom měli jen jedno ucho, nebyli bychom toho schopni. Proč tomu tak je bude popsáno později.

Musíme rozlišovat 2 základní pojmy, které s binaurálním slyšením úzce souvisí. Jsou to *stimul* neboli *podnět* a *vjem*. Stimul je místo, kde se zdroj zvuku nachází, zatímco vjem je místo, kde si myslíme, že se zdroj zvuku nachází. Tyto místa nemusí být vždy identická. Existuje mnoho psychoakustických efektů, které jsou způsobeny dvěma rozdílnými stimuly vnímanými lidskými sluchovými orgány. Některé z mnoha psychoakustických efektů budou zmíněny v následujícím textu.

2.3 PSYCHOAKUSTICKÉ EFEKTY

2.3.1 Interaurální diference (interaural delay)

Jestliže není zdroj zvuku umístěn přímo před námi, zvuk z tohoto zdroje dorazí do našich uší s určitým zpožděním. Maximální možná interaurální diference je vnímána při umístění zdroje zvuku 90° od čelní osy. Potom je tedy maximální možná odchylka přichozích vln do našich uší zhruba 21 cm, což odpovídá zpoždění 0,6 ms.

Na základě interaurální diference dokáže mozek určit, kde zhruba se zdroj zvuku nachází. Rozdíl mezi stimulem a vjemem je okolo 5° , neboli chyba časového zpoždění může být až 50 μ s. Tato hodnota byla naměřena při kmitočtech okolo 1,5 kHz. Kdybychom provedli stejné měření jen pro jedno ucho, byla by chyba časového zpoždění až 2 ms.

Interaurální diference se však dost liší při různých kmitočtech. Její hodnota se pohybuje při nízkých kmitočtech okolo 30 μ s a při vyšších až okolo 200 μ s.

Pro doplnění bych chtěl zmínit dva principy měření interaurální diference. První je založen na časovém zpoždění jednoho velmi krátkého zvukového impulsu a druhý na fázovém posunu sinusového zvukového signálu [1].

2.3.2 Binaurální diference maskovacích úrovní (BMLD)

Nejprve uvedu pár pojmů, které mohou pomoci při porozumění následujícího textu. *Signál* je nosný signál, který nás zajímá než je slyšen lidským uchem. *Maskování* je jev, který vzniká při poslechu signálu, který je rušen hluky okolí. *Maskující signál* je hluk, který signál maskuje. *Maskovaný signál* = lidským uchem vnímaný nosný signál ovlivněný maskujícím signálem.

Některé složky maskovaného signálu mohou být zamaskovány, pokud maskující signál obsahuje podobné kmitočty a úrovně jako maskovaný signál.

Pokud posloucháme oběma ušima, může být někdy maskovaná prahová úroveň maskovaného signálu více ztlumena než při poslechu jedním uchem. Tento jev se potom nazývá BMLD (Binaural Masking Level Difference) neboli rozdíl maskovací úrovně při binaurálním slyšení, což v podstatě značí rozdíl mezi úrovní maskovaného signálu a úrovní zamaskovaného signálu. Z předchozího textu tedy vyplývá, že BMLD se týká pouze poslechu oběma ušima. BMLD je největší při nízkých kmitočtech a směrem k vyšším kmitočtům se zmenšuje.

Pokud jsou hladiny nebo fáze maskujícího a maskovaného signálu rozdílné, pak jde signál ve hluku lépe rozpoznat. Potom jsou většinou zdroje maskujícího a maskovaného signálu umístěny na jiných místech.

2.3.3 Lateralizace („meziušní umístění zvuku“)

Tento jev je nejvíce spojován s reprodukcí zvuku pomocí sluchátek. Tady je zvuk nejčastěji umístěn „uvnitř hlavy“, tj. výsledné vnímání zvuku z obou uší je v mozku smícháno a umístěno do určité pozice mezi oběma ušima, tj. uvnitř hlavy.

Pokud je do každého ucha pomocí sluchátek pouštěn signál o stejném kmitočtu a stejné úrovni, pak výsledný zvuk vnímáme přesně uprostřed hlavy. Pokud ale úroveň jednoho signálu změníme, změní se také umístění zvuku. Při zvýšení úrovně jednoho ze

signálů se výsledný zvuk posune více k uchu, kterému byla úroveň signálu zvýšena. Při snížení úrovně je tomu naopak.

Tento efekt je využit při panování zvuku, kdy např. při „posouvání“ zvuku doprava se do každého kanálu (levý a pravý) pošle stejný monofonní signál, ale postupně je jeho úroveň v levém kanálu snižována a v pravém zvyšována.

2.3.4 Lokalizace

Jde o vnímání, z jakého směru a vzdálenosti zvuk pochází. S tímto vjemem je také spjata, s jakým rozostřením zvuk vnímáme. Např. při reprodukci sinusového signálu z čelní osy vnímáme umístění zdroje zvuku s odchylkou 2° . Pokud je zdroj signálu ve směru 90° od čelní osy (naproti jednomu z uší), dochází k odchylce lokalizace zdroje zvuku až 10° . U signálu reprodukováného zezadu je odchylka asi 5° .

U úzkopásmových signálů dochází k speciálním efektům. Je to třeba inverze, kdy je zdroj zvuku umístěn před posluchačem, ten ale vnímá zvuk přicházející zezadu. Tento jev může nastat pro zdroj zvuku umístěný v jakémkoliv úhlu od čelní osy. Třeba zvuk pocházející 30° od čelní osy může být vnímán jako 150° od čelní osy. To znamená, že vnímání zdroje zvuku a jeho umístění může být symetrické podle osy mezi ušima. Pokud se střední hodnota kmitočtu pohybuje okolo 300 Hz nebo 3 kHz, je zvuk reprodukováný z čelní osy vnímán z čelní osy. U kmitočtu 1 kHz nebo 10 kHz je však ve stejném případě zvuk vnímán zezadu a u kmitočtu 8 kHz dokonce z míst nad posluchačem.

Lokalizace také velmi souvisí se vlastnostmi stereofonních systémů. Pokud je při klasickém stereo systému (levý a pravý reproduktor) z každého reproduktoru vysílán zvuk se stejnou úrovní, vnímáme zvuk ze směru ve středu mezi reproduktory. Pokud je v tom samém případě intenzita zvuku z jednoho reproduktoru o 30 dB silnější, vnímáme umístění zdroje zvuku z tohoto reproduktoru. Z tohoto vyplývá, že lokalizace je úzce spjata s již zmíněným efektem lateralizace.

3 STEREOFONNÍ A VÍCEKANÁLOVÉ ZVUKOVÉ SYSTÉMY

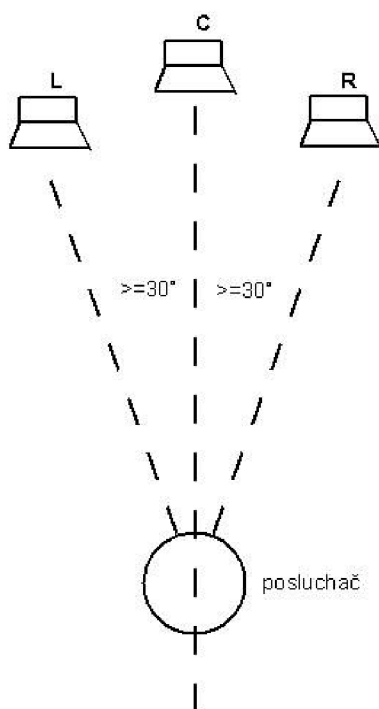
3.1 ÚVOD

V této kapitole bych se chtěl zaměřit na různé druhy systémů surround sound (obklopujícího zvuku), které jsou v dnešní době nejvíce rozšířeny a používány a na vícekanalovou (více než dvoukanalovou) stereo reprodukci.

Mezinárodní standardy pro uspořádání reproduktorů zavádějí názvosloví "n-m stereo", kde n představuje počet předních kanálů a m počet zadních nebo postranních kanálů.

3.2 TŘÍKANÁLOVÝ FORMÁT 3-0 STEREO

Toto stereo uspořádání je založeno na použití třech kanálů: levý (L), pravý (R) a centrální (C) (viz obr. 3.1).



Obr. 3.1: Prostorové rozmístění reproduktorů u formátu 3-0 stereo [2].

Hlavní důvod pro realizaci tohoto uspořádání je ve zvukovém pokrytí celé šířky promítacího plátna v kinech, kde kvůli velké vzdálenosti mezi levým a pravým reproduktorem vznikala ve středu plátna zvuková díra. Pro komerční použití však toto uspořádání nemá smysl kvůli své neekonomičnosti a složitosti záznamu třech kanálů na zvukové médium.

Výhoda tohoto uspořádání spočívá především v širším čelním zvuku (zvuk reprodukováný z prostoru před posluchačem) než u dvoukanálového sterea. Centrální kanál umožňuje umístit zvuk do středu a levý a pravý kanál mohou být umístěny až $\pm 45^\circ$ na strany oproti dvoukanálovému stereu, kde mohou být umístěny jen $\pm 30^\circ$ od středu. Toto uspořádání má také další výhodu a to je větší prostor, kde může posluchač sedět. Centrálně umístěný dialog se zásluhou centrálního kanálu stává lépe lokalizovatelným. Poslední výhoda spočívá v menším zkreslení centrálního zvuku než u dvoukanálového sterea, protože centrální zvuk pochází z reálného zdroje a není tvořen jen intuitivním smícháním levého a pravého kanálu.

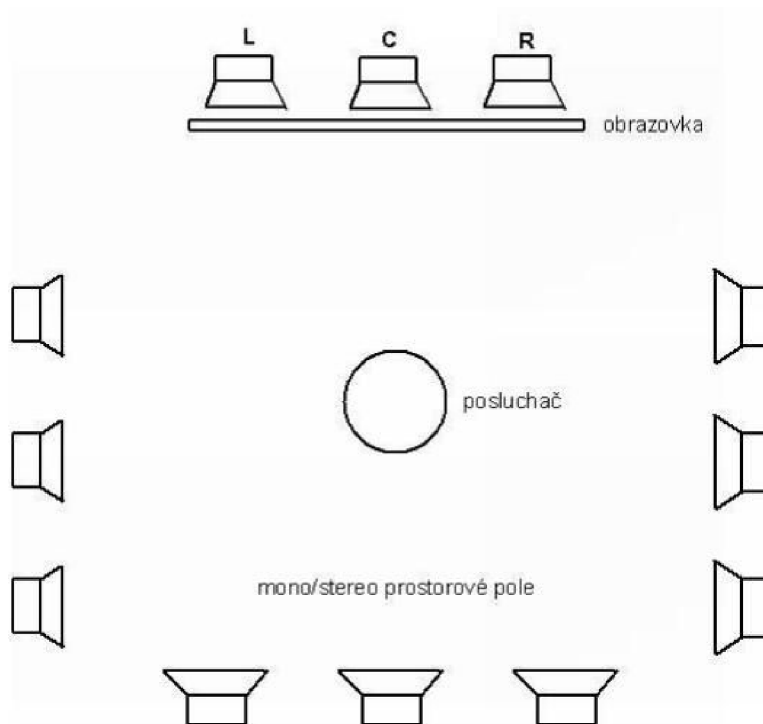
Toto uspořádání má ovšem i své nevýhody. První plyne už ze samotné podstaty centrálního reproduktoru, jehož umístění je často velmi nepohodlné. V kinech může být sice centrální reproduktor umístěn za akusticky propustným plátnem, ale u komerčního použití v takových situacích nezbyvá nic jiného než umístit tento reproduktor na nebo pod obrazovku nebo monitor. Kvůli tomu se také centrální reproduktory dělají menší než ostatní.

3.3 ČTYŘKANÁLOVÝ FORMÁT 3-1 STEREO

V mezinárodních standardech bývá tento formát označován 3-1 stereo nebo LCRS surround. Pro reprodukci jsou použity čtyři reproduktory umístěné podle čtvercového uspořádání.

Původně bylo toto uspořádání vyvinuto pro kina, aby umožnilo lepší vnímání prostorového zvuku a "vtáhnutí publika do zvuku". To měl zprostředkovat nový "prostorový" monofonní kanál.

U komerčního použití formátu 3-1 stereo je signál tohoto kanálu obvykle přiváděn ke dvěma reproduktorům umístěným podobně jako na obr. 3.2. Tento kanál je ovšem základním omezením tohoto formátu. Většina výzkumů psychoakustiky vedla totiž k tomu, že lidský ušluch potřebuje navzájem nekorelované signály, aby si utvořil lepší dojem prostorového zvuku. Existují efekty, které přidávají tomuto kanálu prostorovost a dekorelují jeho signál, ale stále nedokáží plnohodnotně zprostředkovat prostorový zvuk.



Obr. 3.2: Prostorové rozmístění reproduktorů u 3-1 stereo [2].

3.4 ŠESTIKANÁLOVÝ SYSTÉM 5.1 SURROUND SOUND

Tento systém označovaný také 3-2 stereo je standardizován pro nespočet zvukově-prostorových použití jako jsou kina, televize a domácí použití. Formát 3-2 stereo se stalo široce používané v profesionální oblasti a je výchozím systémem prostorového zvuku pro domácí spotřebitele.

Mnoho mezinárodních organizací a skupin pracovalo na vývoji standardů a doporučení týkajících se používání 3-2 stera. Byly zapojeny skupiny z Evropy, Ameriky i Japonska.

3.4.1 Účel 5.1 systému

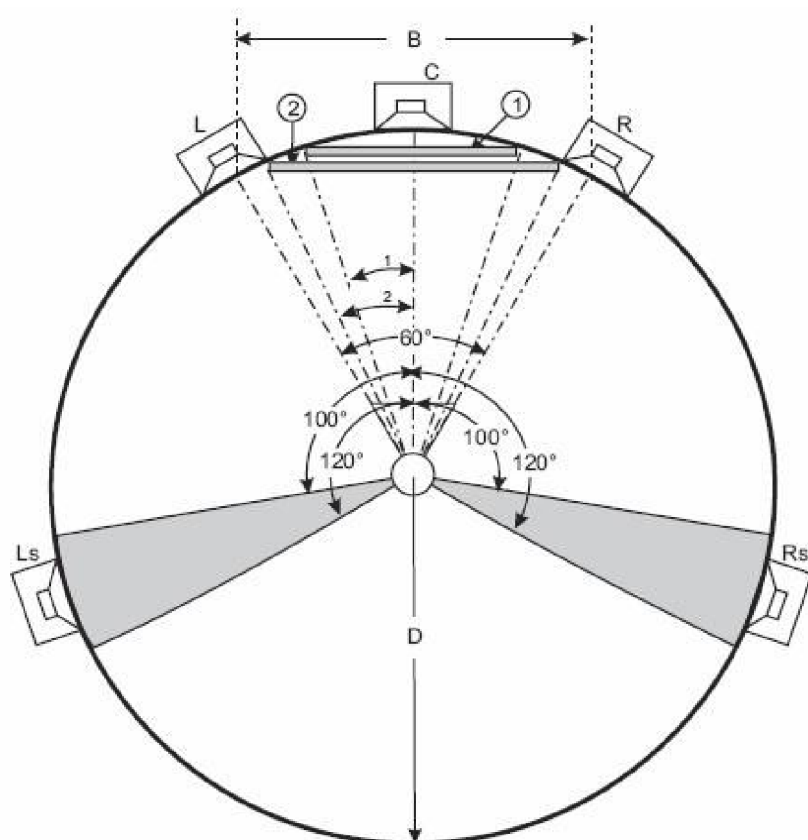
Čtyřkanálové systémy měly nevýhodu v používání monofonního prostorového kanálu. Toto je v 5.1 systému odstraněno a je umožněno poskytnutí lepšího prostorového dojmu přidáním dalšího kanálu.

Přední tři kanály mají stejný účel jako u tradičního tříkanálového stereofonního formátu. Zadní nebo postranní kanály jsou však navrženy jako zprostředkovatelé přidavného

prostorového dojmu nebo efektů. Tento standard ovšem nedovoluje zprostředkování 360° zvuku.

3.4.2 Rozmístění reproduktorů

Zatímco dvoukanálové stereo může být relativně lehce namodelováno, zejména co se týče úhlů mezi reproduktory, u systému 5.1 surround sound je to složitější. To je zapříčiněno rozdílností úhlů, které reproduktory svírají vůči centrální ose. U zadních reproduktorů je úhel větší než u předních. Levý a pravý reproduktor je kvůli kompatibilitě s dvoukanálovým stereo umístěn $\pm 30^\circ$ od čelní osy. Postranní reproduktory jsou umístěny $\pm 110^\circ$ od čelní osy (viz obr 3.3). Kvůli velkému úhlu mezi těmito reproduktory jsou tyto spíše postranní než zadní. V praxi je toto umístění ovšem často nepohodlné a lidé reproduktory umísťují spíše jako zadní. Mezinárodní standardy také umožňují alternativní umístění reproduktorů, jehož účel je v dodání lepšího prostorového dojmu. Tady jsou přední reproduktory umístěny $\pm 60^\circ$ od čelní osy a zadní $\pm 150^\circ$.



Obr. 3.3: Prostorové rozmístění reproduktorů u 3-2 stereo [3].

Obrazovka 1 – poslechová vzdálenost = 3x výška obrazovky ($2\beta = 33^\circ$, př. TV obrazovka)

Obrazovka 2 – poslechová vzdálenost = 2x výška obrazovky ($2\beta = 48^\circ$, př. projekční plátno)

3.4.3 Zvukový kanál s omezeným spektrem

Prvek „.1“ značí zvukový kanál přenášející zvukové efekty v oblasti nízkých akustických kmitočtů (LFE – low frequency effects). Je značen jako „.1“, protože šířka pásma jím přenášeného signálu je omezena. V mezinárodních standardech by se toto uspořádání mělo označovat 3-2-1, kde poslední číslice znamená počet LFE kanálů.

3.4.4 Popis a rozvržení stop

Pro systém 5.1 standardy také doporučují rozvržení stop a jejich popis v osmistopových nahrávacích formátech (viz tab. 3.1) [2]. Existují i jiné možnosti rozvržení a popisu stop, ale toto je nejvíce rozšířené a používané.

Tab 3.1: popis stop 5.1 systému

Stopa	Signál	Kanál	Poznámky
1	L	Levý	
2	R	Pravý	
3	C	Centrální	
4	LFE	Nízkofrekvenční	
5	LS	Levý postranní	-3 dB v případě použití jako MONO
6	RS	Pravý postranní	-3 dB v případě použití jako MONO
7, 8	Alt. ¹		tovární nastavní jako levý signál 2-0 stera

¹ Různé možnosti využití stop. Např. pro komentář nebo přidavné prostorové efektné signály.

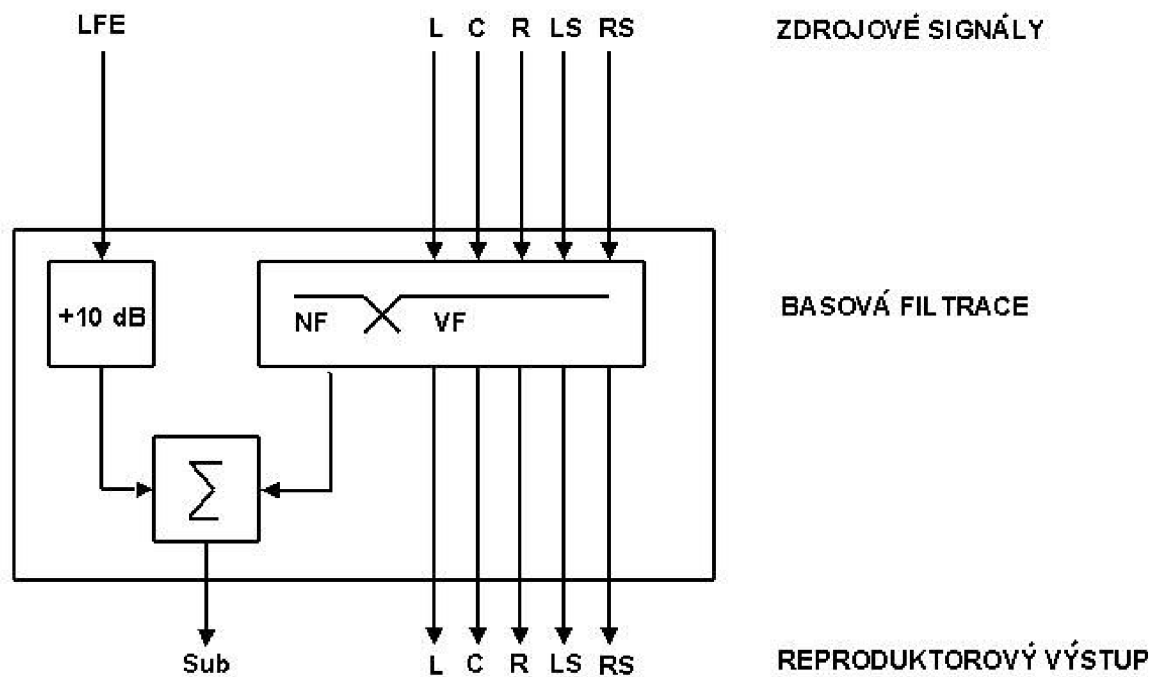
3.4.5 LFE kanál a subwoofery

LFE kanál je separovaný subbasový kanál s limitací horního frekvenčního pásma. Maximální kmitočet signálu, který přenáší, je 120 Hz. Tento kanál je navržen pro přenos speciálních nízkofrekvenčních složek, které požadují vyšší hladinu akustického tlaku. Je ale velmi důležité, aby žádné nízkofrekvenční složky audio signálu nebyly v LFE kanálu obsaženy. LFE kanál je určen pro přenos extrémně nízkých kmitočtů, které nejsou součástí klasického stereofonního signálu. Při přenosu některých složek audio signálu LFE kanálem by

totiž mohlo dojít k vymizení těchto složek, pokud by jsme použili systém bez subwooferu, který LFE přehrává.

Při použití v kinech je LFE kanál většinou o 10 dB silnější než ostatní kanály. Je to dáno tím, že LFE kanál má velmi malou šířku pásma a zesílením se ostatním kanálům vyrovná. Toto se však děje při přehrávání, nikoli při nahrávání.

V této problematice je běžná mylná představa, že subasové (subwoofer) reproduktory přehrávají jen LFE signály. Toto může být pravda při použití v kinech, ale pro domácí použití neexistuje pro toto žádný standard a výsledný zvuk přehrávaný subwooferem je dán technickým zázemím daného reprodukčního systému. Subwoofery proto většinou přehrávají informaci z LFE kanálu a nízkofrekvenční složky derivované z ostatních kanálů (obr 3.4).



Obr. 3.4: Filtrace signálů pro subwoofer u 3-2 stereo [2].

3.4.6 Omezení 5.1 systému

1. Hlavní omezení je neschopnost zprostředkování 360° prostorového dojmu. Může se zdát, že je toho různými efekty dosaženo, ale rozhodně to není ideální.
2. Kvůli kompatibilitě s 2-0 stereo je přední zvuk „užší“ než by mohl být.

3. Centrální kanál může způsobovat problémy při přehrávání hudby, která je navržena pro přehrávání dvěma reproduktory . Přemostění předního spektra centrálním kanálem navozuje „užší“ dojem z přehrávaného materiálu než je tomu u 2-0 stereo.
4. LS a RS reproduktory jsou umístěny v kompromisní pozici vedoucí k vytvoření velké zvukové díry za posluchačem. Navíc bývají problémy s fyzickým umístěním reproduktorů.

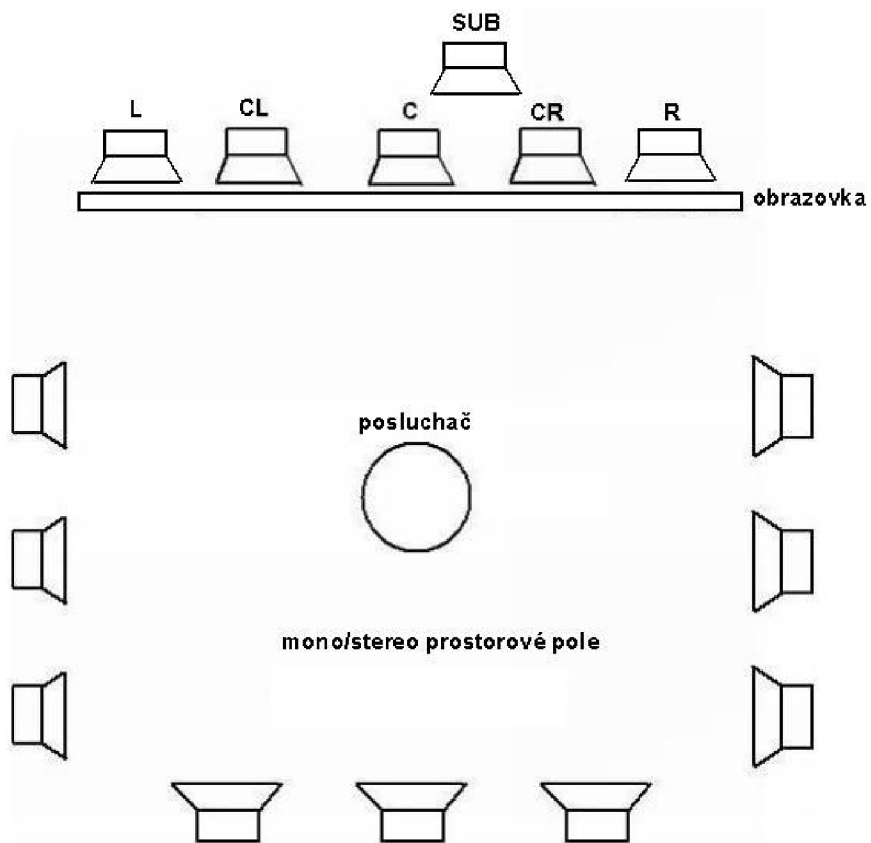
3.5 OSMIKANÁLOVÝ SYSTÉM 7.1 SURROUND SOUND

Oproti předchozímu systému 5.1 se v 7.1 systému přidávají navíc dva reproduktory. CL jako centrální levý a CR jako centrální pravý. Děje se tak kvůli potřebám kin zabezpečit zvuk po celé šířce plátna. Tento formát není primárně určen pro spotřebitelské použití, ale pro již zmíněné použití ve velkých místnostech kin, kde je kvůli velké šířce plátna vhodné použít další přídavné reproduktory (obr. 3.5).

Firma Lexicon už také implementovala 7.1 systém do spotřebitelských dekodérů. Doporučené rozmístění reproduktorů však není stejné jako u filmového použití, ale je navrženo tak, aby rozšířilo přední a postranní zvuk a umožnilo posunutí zadních reproduktorů více za posluchače, než jak tomu je u 5.1 systému.

3.6 DVANÁCTI KANÁLOVÝ SYSTÉM 10.2 SURROUND SOUND

Tento systém se ještě standardem nestal. Zmiňuji ho pro doplnění. Do základního pětikanálové pole jsou přidány dva předopostranní reproduktory a centrální zadní reproduktor. Tyto reproduktory mají vyplnit díry ve zvukovém poli. Jsou také přidány 2 vysoké kanály a druhý LFE kanál, který má za úkol rozdělit nízkofrekvenční složky do stran a zajistit tak větší prostorovost zvuku.



Obr. 3.5: Prostorové rozmístění reproduktorů u 7.1 systému pro kina [2].

4 AMBIOSONIE

4.1 ÚVOD

Ambiosonie vyjadřuje skupinu nahrávacích a přehrávacích metod, které používají vícekanalovou mixážní technologii. Cíle ambiosonie spočívají v umožnění kompletního přístupu k nahrávání, uskladnění, přenosu a přehrávání zvuku. V závislosti na počtu kanálů je počet dimenzí ve výsledném zvuku.

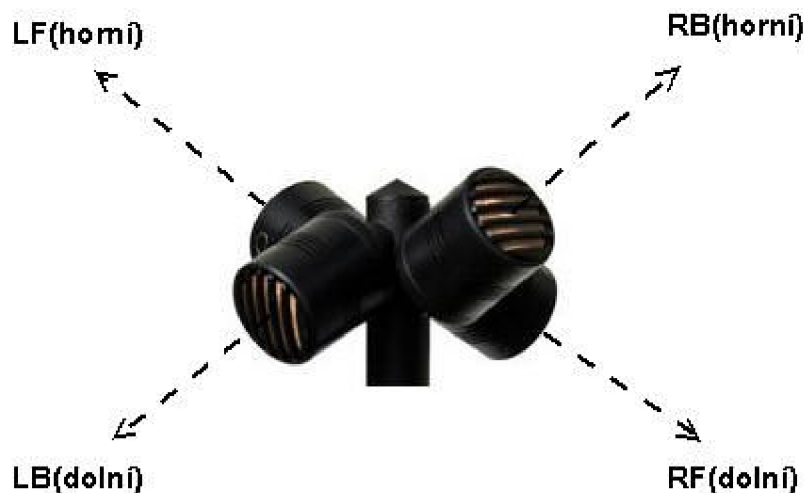
4.2 FORMÁTY

Pro signály ambiosonického systému existuje několik formátů:

1. A format: pro mikrofonové nahrávání
2. B format: pro studiové vybavení a zpracování
3. C format: pro přenos
4. D format: pro dekodování a přehrávání

4.2.1 A format

Skládá se ze čtyř signálů z mikrofonu se čtyřmi sub-kardioidními kapslemi orientovanými jak naznačuje obr. 4.1.



Obr. 4.1: Orientace mikrofonních kapslí u A format [4].

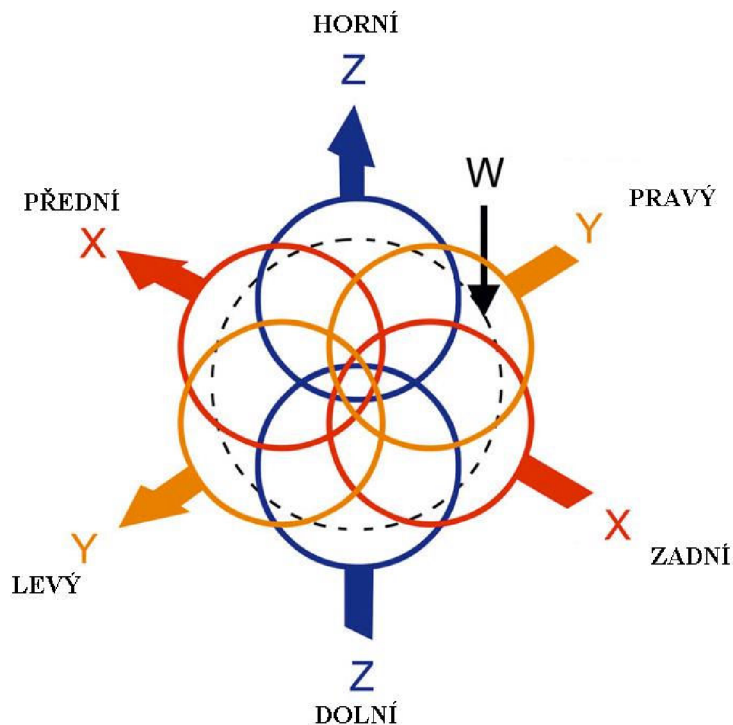
Kapsle směřují do čtyř stran rovnostranného čtyřřtenu, kde dvě směřují dolů a dvě nahoru. Směry jsou značeny jako LF - left-front (levý přední), RF - right-front (pravý přední), LB - left-back (levý zadní) a RB - right-back (pravý zadní).

4.2.2 B format

Skládá se ze čtyř signálů, které dohromady reprezentují tlakovou a rychlostní složku zvuku libovolného směru zvukového pole (viz obr. 4.2).

B format obsahuje 3 na sebe kolmé směrové složky snímané mikrofony s osmičkovou směrovou charakteristikou (X, Y a Z) a jednu celkovou (W). Všechny směry v horizontální rovině mohou být popsány skalární nebo vektorovou kombinací složek X, Y a W. Složka Z slouží pro vertikální informaci. Složka X představuje předo-zadní rovnováhu, Y levo-pravou a Z horno-dolní. Složky X, Y a Z jsou zesíleny o 3 dB oproti složce W, aby bylo dosaženo podobné energetické odezvy ze zdrojů v různých pozicích zvukového pole.

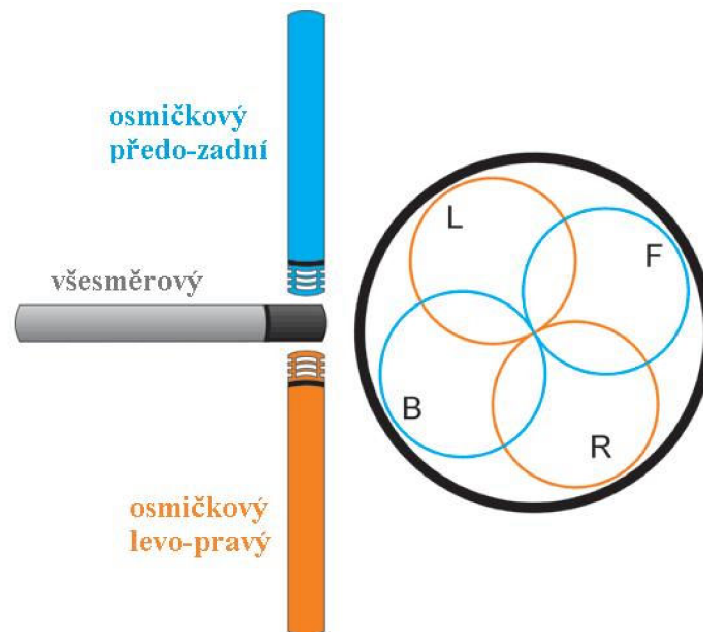
Signály B format mohou být získány z mikrofону používajícího A format. Pro převod do B format se používají jednoduché rovnice (4.1)[2].



Obr. 4.2: Prostorové znázornění složek B format [4].

$$\begin{aligned}
X &= ((LF - LB) + (RF - RB))/2 \\
Y &= ((LF - RB) - (RF - LB))/2 \\
Z &= ((LF - LB) + (RB - RF))/2 \\
W &= (LF + LB + RF + RB)/2.
\end{aligned}
\tag{4.1}$$

Tyto signály mohou být také získány přímo z kapslí nebo samostatných mikrofonů nainstalovaných do B format módu. Dva nebo tři mikrofony s osmičkovou charakteristikou kolmé jeden ke druhému a jeden celkový všesměrový. Uspořádání se dvěma osmičkovými a jedním všesměrovým mikrofonem ukazuje obr. 4.3.



Obr. 4.3: Uspořádání mikrofonů pro nahrávání B format signálů [9].

Kromě samostatných kapslí nebo mikrofonů existuje kompaktní mikrofon, v němž jsou všechny tři kapsle. Ten vyvinula firma SoundField a je jediná, která takovýto mikrofon vyrábí [4].

Nechť je použit B format mód, ν je úhel mezi přední osou a místem působením zvuku v horizontální rovině a η je zdvih ve vertikální rovině. Pak můžeme složky B format vyjádřit [2]:

$$\begin{aligned}
W &= 1 \\
X &= \sqrt{2} \cos(\nu) \cos(\eta) \\
Y &= \sqrt{2} \sin(\nu) \cos(\eta) \\
Z &= \sqrt{2} \sin(\eta).
\end{aligned}
\tag{4.2}$$

4.2.3 C format

Jako u předchozích dvou formátů je i tento složen ze čtyř signálů. Jsou to signály označené L, R, T a Q. Tyto se shodují s hierarchií UHJ (U = Universal = universální, H reprezentuje Matici H od BBC, která je kompatibilní s mono a stereo maticemi a J je odvozeno ze Systému 45 J, předchůdce UHJ). L je kompatibilní s levým kanálem u dvoukanálového stereo, R s pravým, T obsahuje přesnější horizontální informaci a Q obsahuje vertikální informaci.

B format signály mohou být převedeny na C format a tak může být dosaženo kompatibility s klasickým stereo a mono. Necht' Σ je $L + R$ a Δ je $L - R$. Pak můžou být C format složky pomocí B format složek vyjádřené následovně [2]:

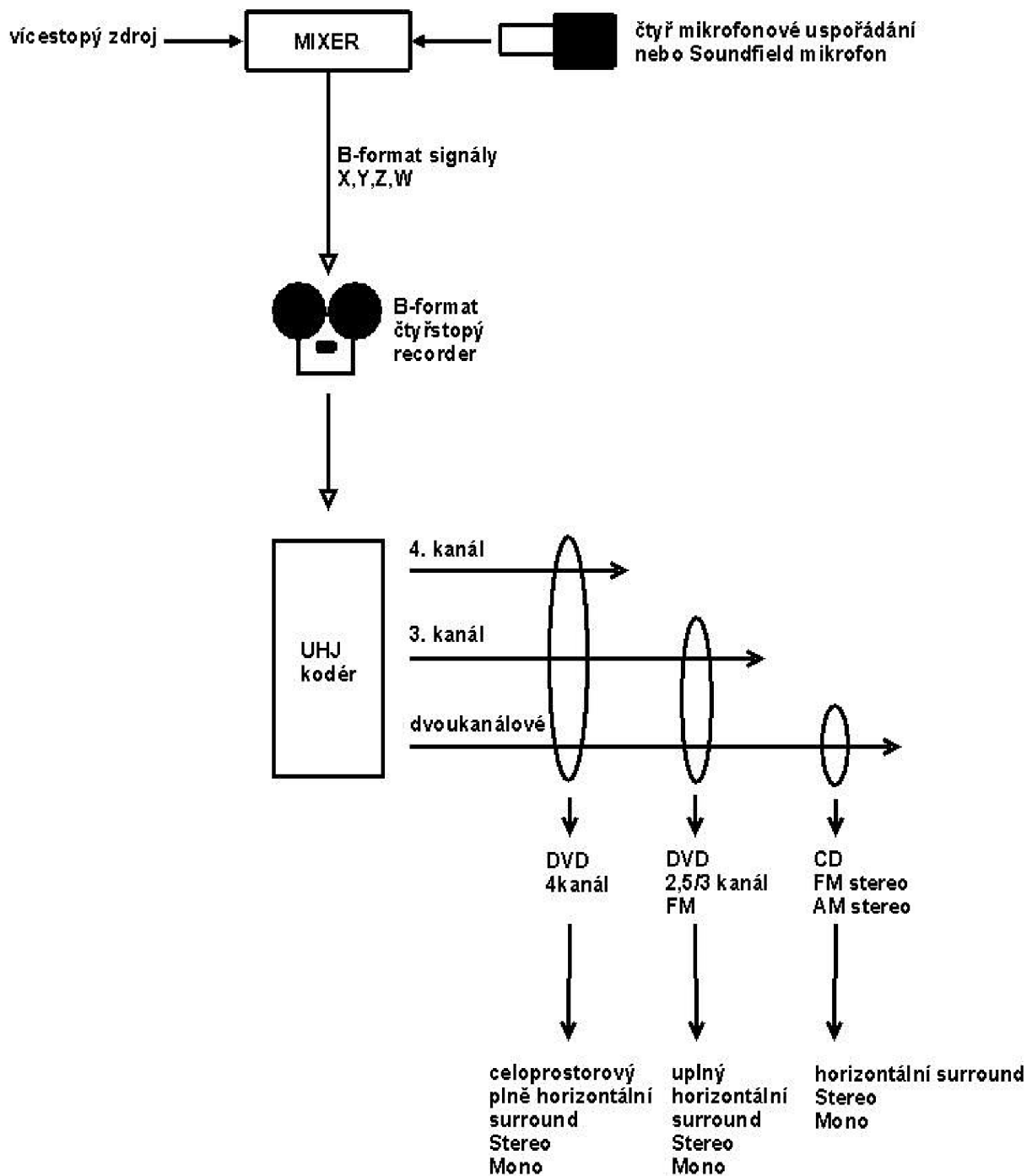
$$\begin{aligned}\Sigma &= 0,9397W + 0,1856X \\ \Delta &= j(-0,3420W + 0,5099X) + 0,6555Y \\ T &= j(-0,1432W + 0,6512X) - 0,7071Y \\ Q &= 0,9772Z.\end{aligned}\tag{4.3}$$

V tomto případě pak $j = \sqrt{-1}$ vyjadřuje fázový posun o 90° . Z toho vyplývá nevýhoda UHJ a tou je potřeba měniče fázového posunu.

V závislosti na požadované směrovosti může být C format dvou, tří nebo čtyřkanálový. U dvou a půlkanálového nastavení má třetí kanál (T) omezenou šířku pásma. Pro kompatibilitu s klasickým stereofonním formátem se používají jen kanály L a R . Tyto jsou získány z rovnic [2]:

$$\begin{aligned}L &= 0,5(\Sigma + \Delta) \\ R &= 0,5(\Sigma - \Delta).\end{aligned}\tag{4.4}$$

Výše zmíněný text objasňuje převod B format signálů na UHJ signály, tedy i na dvoukanálový stereo systém. Obecný převod mezi B format a C format je zobrazen dále (viz obr. 4.4).

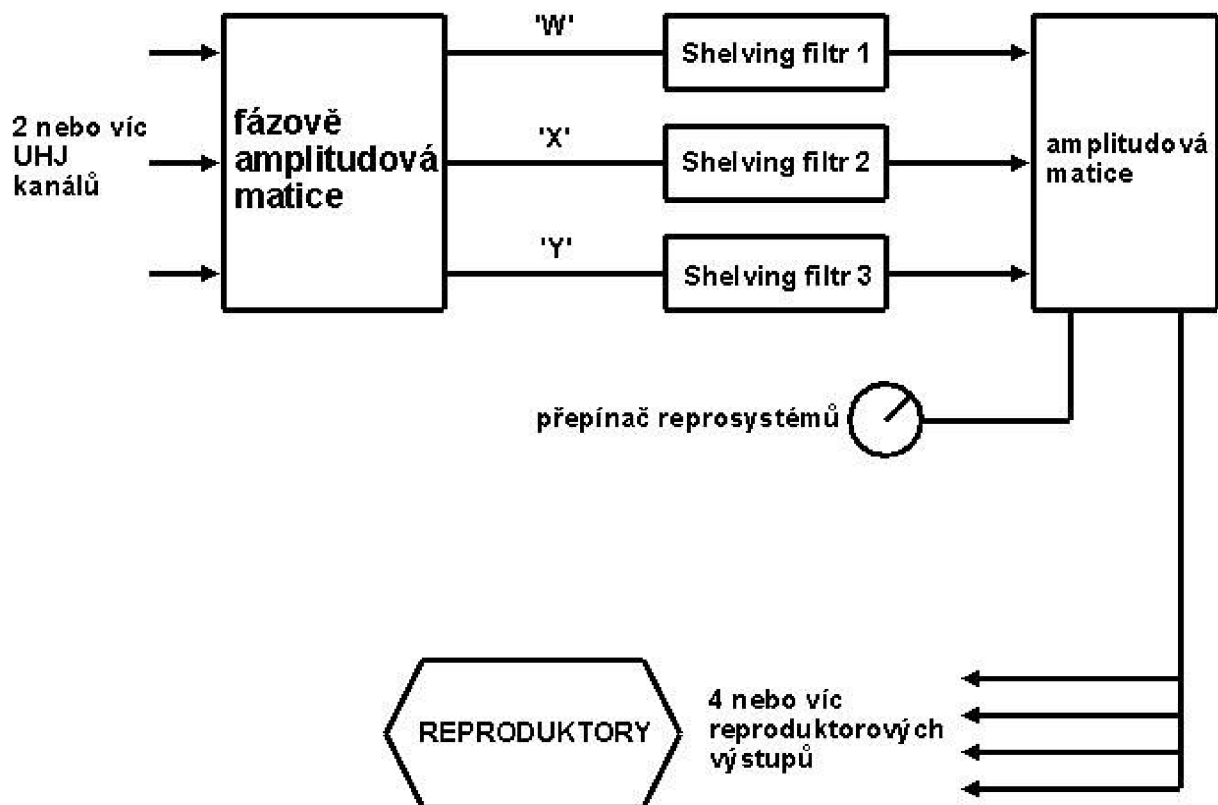


Obr. 4.4: Převod mezi B formát a UHJ formátem [2].

4.2.4 D formát

D formát signály jsou signály jdoucí přímo do reproduktorů k reprodukci. Jsou přizpůsobené vybranému reproduktorovému systému. Můžou být získány z B formát nebo C formát signálů po použití příslušného dekodéru. Počet reproduktorů není nijak omezen. Každé reproduktorové schéma má svoje výhody a nevýhody.

Samotné dekódování B format a C format složek na reproduktorové signály je velmi složité. Existuje mnoho patentů a přístupů k dekódování. V kapitole 5 budou některé převody B format složek na reproduktorové signály uvedeny. Základní princip dekódování je založen na průchodu dvou nebo více UHJ kanálů přes fázově-amplitudovou matici, vedoucí k B format signálům, které jsou filtrovány kmitočtovými filtry typu shelving [2]. Tyto potom prochází amplitudovou maticí, ze které jdou signály k reproduktorům (obr 4.5).

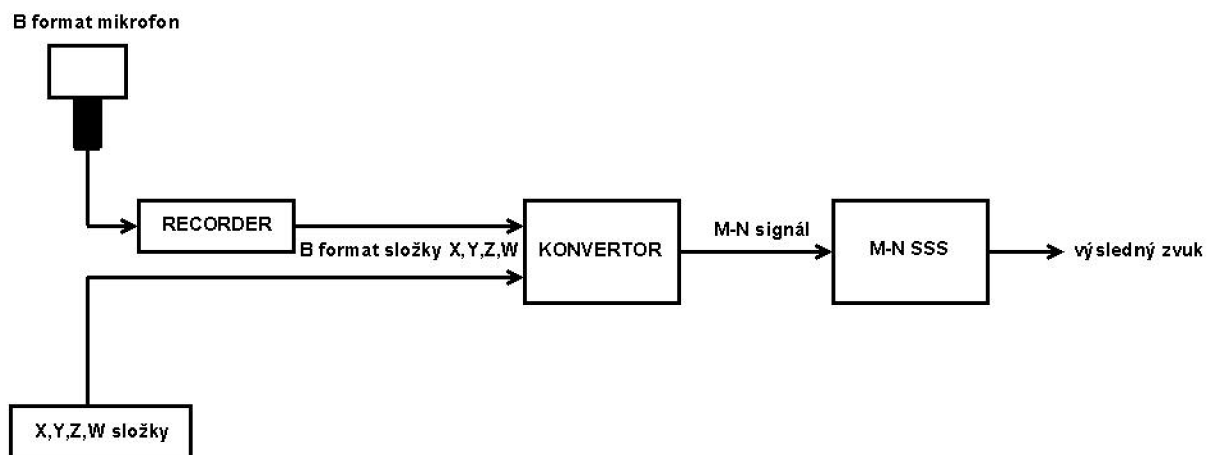


Obr. 4.5: Dekódování UHJ na D format [2]

5. PRAKTICKÁ ČÁST

5.1 ÚVOD

Praktická část této práce je zaměřena na popis a zpracování procesu, který se děje s prostorovým zvukem od jeho zaznamenání až po jeho reprodukci (obr. 5.1) na daném systému. První část této kapitoly se zabývá možnostmi zaznamenání prostorového zvuku do digitální podoby a druhá převodem zaznamenaného zvuku na signály určené k přehrání jednotlivým reproduktorům. Formát pro přenos prostorového zvuku bude B formát. Všechny procesy budou naprogramované v Matlabu a uživatelsky jednoduše přístupné z grafického uživatelského rozhraní.



Obr. 5.1: Schéma procesu převodu B formát složek na signály pro surround sound systém.

5.2 MIKROFONY

Tato část se zabývá zaznamenáním prostorového zvuku a jeho uložení do B formát. Mým úkolem bylo vybrat vhodné zařízení pro nahrávání prostorové zvuku. V kapitole 4.2 jsem již zmiňoval pravděpodobně nejpoužívanější metodu pro zaznamenání prostorového zvuku do B formát. Tato metoda spočívá ve vhodném umístění tří nebo čtyř mikrofonů, kde každý mikrofon zaznamenává samostatnou složku B formát. Pokud použijeme tři mikrofony, budeme mít složky X, Y a W. V případě čtyř mikrofonů pak všechny složky X, Y, Z a W. Vzhledem k tomu, že vertikální informace o zvuku je často nepotřebná (realizace úplného 3D surround sound systému – systém dokáže reprodukovat zvuky celého prostoru - je obtížná),

používá se nejčastěji konfigurace se třemi mikrofony pro následnou reprodukci v 2D surround sound systému - systém reprodukuje jen zvuky v horizontální rovině zvuku (obr. 4.3 a obr. 5.2). Pro zaznamenání složek X a Y, které reprezentují souřadnicové osy horizontální roviny, se používají mikrofony s osmičkovou směrovou charakteristikou. Pro zaznamenání složky W se používá všesměrový mikrofون.



Obr. 5.2: Konfigurace se třemi mikrofony pro záznam B format složek [6].

Jelikož nejsou k dispozici mikrofony s osmičkovou charakteristikou, byl jsem pověřen jejich výběrem dle dostupnosti na českém trhu (tab. 5.1). Cenově nej přijatelnější mikrofون s čistě osmičkovou charakteristikou byl CK 94 od firmy AKG, ostatní měly charakteristiku přepínatelnou, proto byly vybrány 2 kusy CK 94 s napájecími moduly SE300 B (obr. 5.3). Kvůli problémům s dodáním mikrofونů jsem byl nucen samotné nahrávání vynechat a použít

již nahrané zvuky v B format ze stránek firmy SoundField [4]. Ze schématu (viz obr. 5.1) vyplývá, že kromě B format složek je potřebný ještě konvertor, kterému se budu věnovat v následující podkapitole.

Tab.5.1 – Mikrofony s osmičkovou charakteristikou

Firma	Typ mikrofonu
AKG	CK94 + SE300B
Behringer	C3
Behringer	B2 pro
M-audio	Solaris
M-audio	Sputnik
Rode	NT2-A
Rode	NT2000
Samson	C03
sE Electronics	Z3300a
Soundking	EB017B
Soundking	EB013B
Studio Projects	B3
Studio Projects	C3
Studio Projects	T3



Obr. 5.3: AKG CK 94 s napájecími moduly SE300 B [8].

5.3 KONVERTOR

5.3.1 Úvod

Tato část je zaměřena na praktickou implementaci převodu B format složek, získaných ze stránek SoundField [4], na signály určené k reprodukci jednotlivým reproduktorům daného systému. Převod je řešen softwarově pomocí programu BFormatConv v Matlabu. Uživatelské rozhraní pro práci s programem bude popsáno dále (kap. 5.3.3).

B format složky můžeme převést na signály pro různé druhy systémů. Program BFormatConv umí převádět B format na standardní mono a stereo signály a na signály pro následující systémy: 3-1 stereo systém neboli LRCS systém, kvadrofonní systém, 3-2 stereo systém neboli pětikanálový systém a 3-3 stereo systém neboli šestikanálový systém. U některých systémů je převod složitější a existuje více možností převodu. Jednotlivými variantami převodů se budu zabývat v následující části.

5.3.2 Převod B format na signály pro surround sound systémy

Čtyři (v našem případě tři) složky B format X, Y a W můžou být vyjádřeny poměrným zesílením, kde složka W má zesílení 1 a složky X a Y mají špičkové zesílení $\sqrt{2}$ směřující do příslušných směrů (předo-zadní a levo-pravý). Pro horizontální rovinu jsou potom zesílení definované takto [5]:

$$\begin{aligned} W &: 1 \\ X &: \sqrt{2} \cos \theta \\ Y &: \sqrt{2} \sin \theta, \end{aligned} \tag{5.1}$$

kde θ je azimut měřen od kladného směru osy x proti směru hodinových ručiček.

Stereo signál

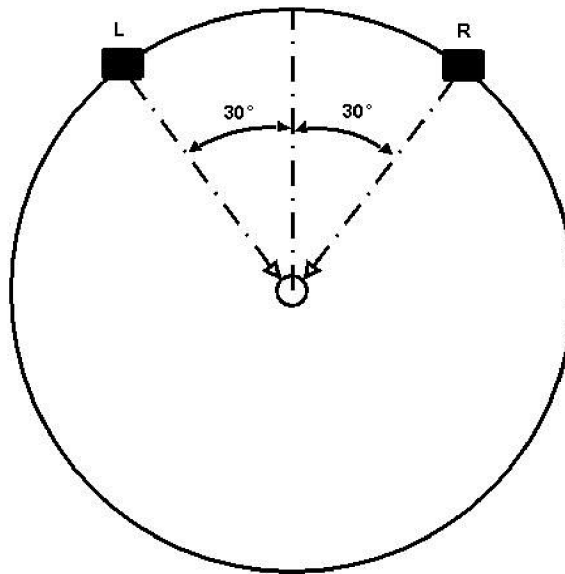
Pro stereo signál stejně jako pro mono signál lze použít převodní vztah, kde nejdříve převedeme B format do UHJ a poté z UHJ na signály L a R, případně jen mono. Převod B format na UHJ i UHJ na stereo byl zmíněn dříve. Pro orientaci zopakují převod UHJ na standardní stereo a z toho vyvodím převod na mono signál [2]:

$$\begin{aligned} L &= 0,5(\Sigma + \Delta) \\ R &= 0,5(\Sigma - \Delta), \end{aligned} \tag{5.2}$$

kde

$$\begin{aligned} \Sigma &= 0,9397W + 0,1856X \\ \Delta &= j(-0,3420W + 0,5099X) + 0,6555Y, \end{aligned} \tag{5.3}$$

a j je fázový posun o 90° .



Obr. 5.4: Konfigurace reproduktorů pro 2-0 stereo systém

Mono signál

Mono signál lze odvodit z předcházejícího vztahu pro stereo signál úvahou, že do každého reproduktoru jde signál $(L + R) / n$. Vznikne nám pak následující rovnice:

$$mono = \Sigma / 2n. \tag{5.4}$$

Po dosazení za Σ :

$$mono = (0,9397W + 0,1856X) / 2n, \tag{5.5}$$

kde n je počet použitých reproduktorů. V našem případě budeme mono signál používat pouze při přehrávání na 2.0 systému, tzn. $n=2$.

Signály pro LRCS systém

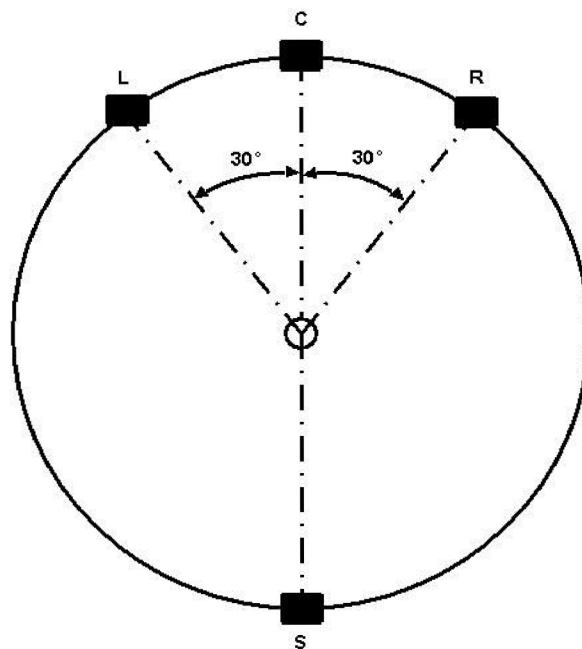
Signály pro LRCS systém neboli 3-1 stereo systém můžeme vyjádřit z následující rovnice [7]:

$$P_n = (W + 2X \cos \theta_n + 2Y \sin \theta_n) / N, \quad (5.6)$$

kde P_n je zvolený zvukový kanál systému (L, R, C nebo S), N je počet reproduktorů a θ_n je azimut reproduktoru.

Signály pro jednotlivé reproduktory LRCS potom budou:

$$\begin{aligned} L &= (W + 2X \cos \theta + 2Y \sin \theta) / 4 \\ R &= (W + 2X \cos \theta + 2Y \sin \theta) / 4 \\ C &= (W + 2X) / 4 \\ S &= (W - 2X) / 4. \end{aligned} \quad (5.7)$$



Obr. 5.5: Konfigurace reproduktorů pro LRCS systém.

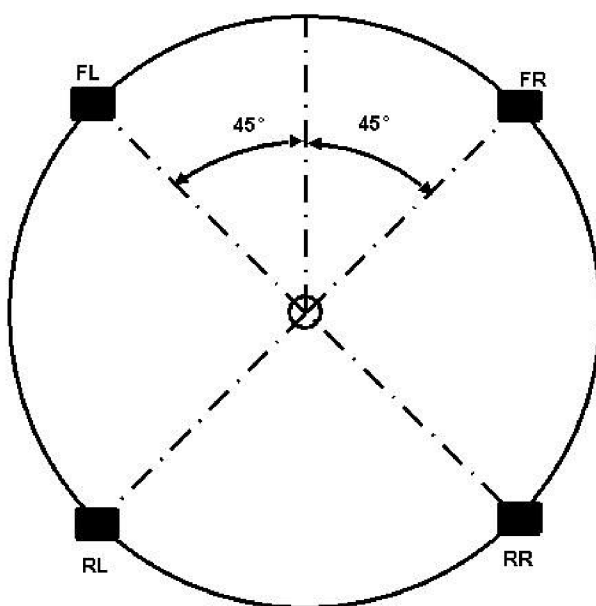
Signály pro kvadrofonní systém

Pokud vyjdeme z rovnice (5.6) [7], budou signály pro tento systém (Lf – Left Front, Rf – Right Front, Lb – Left Back, Rb – Right Back) vyjádřeny následovně:

$$\begin{aligned}L_f &= (W + 2X\cos(45) + 2Y\sin(45)) / 4 \\R_f &= (W + 2X\cos(-45) + 2Y\sin(-45)) / 4 \\L_b &= (W + 2X\cos(225) + 2Y\sin(225)) / 4 \\R_b &= (W + 2X\cos(-225) + 2Y\sin(-225)) / 4.\end{aligned}\tag{5.8}$$

A po úpravě:

$$\begin{aligned}L_f &= W + \sqrt{2}X + \sqrt{2}Y \\R_f &= W + \sqrt{2}X - \sqrt{2}Y \\L_b &= W - \sqrt{2}X + \sqrt{2}Y \\R_b &= W - \sqrt{2}X - \sqrt{2}Y.\end{aligned}\tag{5.9}$$



Obr. 5.6: Konfigurace reproduktorů pro kvadrofonní systém.

Signály pro pětikanálový systém

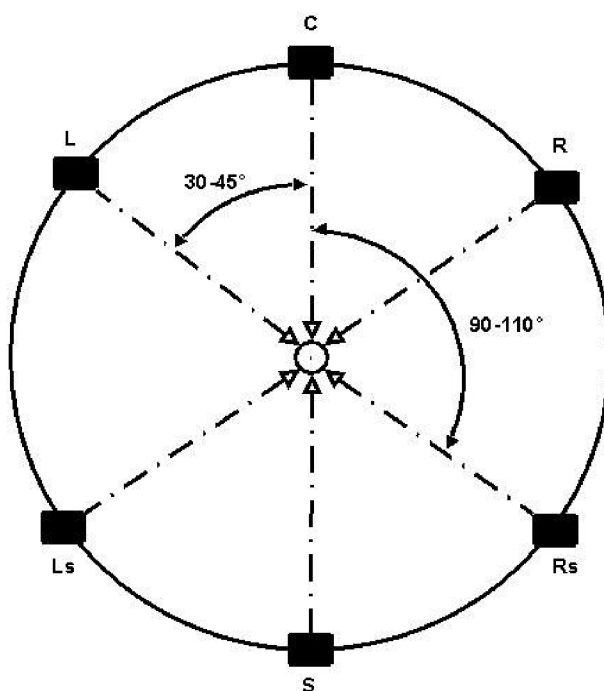
Budeme vycházet pořád ze stejné rovnice (4.6) a signály pro tento systém (L-left, R-right, C-center, Ls-left Surround, Rs-right Surround)

$$\begin{aligned}
L &= (W + 2X\cos\theta + 2Y\sin\theta) / 5 \\
R &= (W + 2X\cos\theta - 2Y\sin\theta) / 5 \\
C &= (W + 2X) / 5 \\
L_s &= (W + 2X\cos\eta + 2Y\sin\eta) / 5 \\
R_s &= (W + 2X\cos\eta - 2Y\sin\eta) / 5,
\end{aligned}
\tag{5.10}$$

kde θ je azimut levého reproduktoru a η azimut L_s reproduktoru. Budeme předpokládat, že azimut $L = -$ azimut R a azimut $L_s = -$ azimut R_s .

Konfiguraci reproduktorů pro tento systém naznačuje obrázek 3.3.

Signály pro šestikanálový systém



Obr. 5.7: Konfigurace reproduktorů pro šestikanálový systém.

Pro signály tohoto systému platí stejná pravidla jako pro signály pětikanálového systému a potom pro signály šestikanálového systému (L - left, R - right, C - center, L_s – left Surround, R_s – right Surround, S – rear Surround) existují tyto rovnice:

$$\begin{aligned}
L &= (W + 2X\cos\theta + 2Y\sin\theta) / 6 \\
R &= (W + 2X\cos\theta - 2Y\sin\theta) / 6 \\
C &= (W + 2X) / 6 \\
L_s &= (W + 2X\cos\eta + 2Y\sin\eta) / 6 \\
R_s &= (W + 2X\cos\eta - 2Y\sin\eta) / 6 \\
S &= (W - 2X) / 6.
\end{aligned}
\tag{5.11}$$

5.3.3 Grafické rozhraní a popis programu

Po spuštění programu BFormatConv se na obrazovce objeví grafické rozhraní a program je připraven na načtení složek B format. V tuto chvíli neumožňuje program nic jiného než je právě načtení těchto složek. Pro každou složku definujeme umístění souboru, ve kterém je uložena a to pomocí tlačítka (...). Po zadání umístění všech složek musíme pro další postup kliknout na tlačítko načti, které je přístupné i z menu Soubor. Program kontroluje správné načtení všech složek a také jejich délku. V případě, že jsou soubory načteny špatně nebo není zadáno umístění, program dále nepokračuje a zobrazí uživateli zprávu u konkrétní složky o nepodařeném otevření souboru. V případě, že složky nejsou stejně dlouhé (pravděpodobně nerepresentují stejný zvuk) program uživatele informuje pomocí zprávy. Pokud jsou složky načteny správně jsou uživateli zpřístupněny další funkce programu a těmi jsou: přehrání každé složky (přístupné pomocí tlačítka > a z menu Přehrávač), grafické zobrazení složek (přístupné z menu Zobraz) a výběr surround sound systému (roletkové menu DO:).

Po výběru některého ze systémů jsou přístupné další funkce programu. Zde záleží jaký systém si uživatel vybere. Pokud si vybere mono nebo 2-0 stereo vykreslí se automaticky do okna programu 3D graf znázorňující odezvu systému pro jednotlivé kanály v případě konstantní složky W a pole hodnot 100x100 pro složky X a Y. Při výběru ostatních systémů se uživateli umožní zobrazení prostorového uspořádání reproduktorů pro daný systém (pomocí menu Zobraz).

Při výběru jakéhokoliv systému je uživateli zpřístupněno tlačítko převed' (přístupné i z menu Soubor). Kliknutí na toto tlačítko způsobí převod načtených B format složek na signály daného systému. Při výběru systému 3-*n* stereo může také uživatel zadat hodnoty úhlů, které svírají příslušné reproduktory s čelní osou. Pokud zadá uživatel špatné nebo ponechá zadané úhly jsou použity implicitně nastavené úhly (pro L a R reproduktory jsou to úhly $\pm 30^\circ$ a pro reproduktory Ls a Rs $\pm 110^\circ$). Po převodu signálů je uživateli umožněno si výsledný signál přehrát pomocí přehrávače v hlavním okně, zobrazit si jeho graf pomocí menu Zobraz a uložit si výsledný signál do wav souboru pomocí menu Soubor.

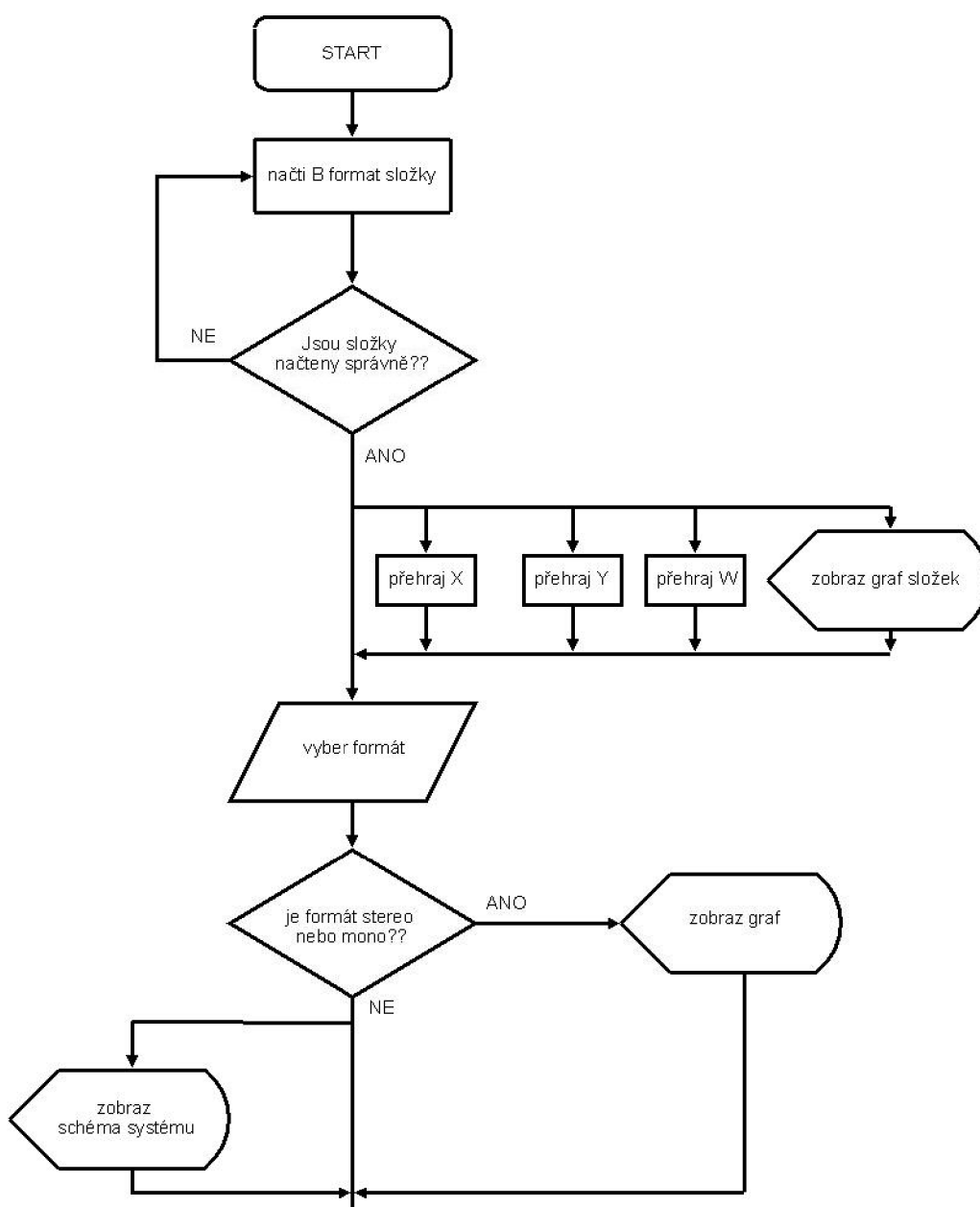
Všechny grafické výstupy otevřené z menu Zobraz si také uživatel může vytisknout nebo uložit pomocí menu.

Program je navržen tak, aby se uživatel mohl na kterékoliv místo v programu vrátit a změnit třeba použitý systém nebo načíst jiné B format složky. Tady ovšem nastává možný problém při používání programu. Pokud bude chtít uživatel načíst jiné složky B format, nesmí

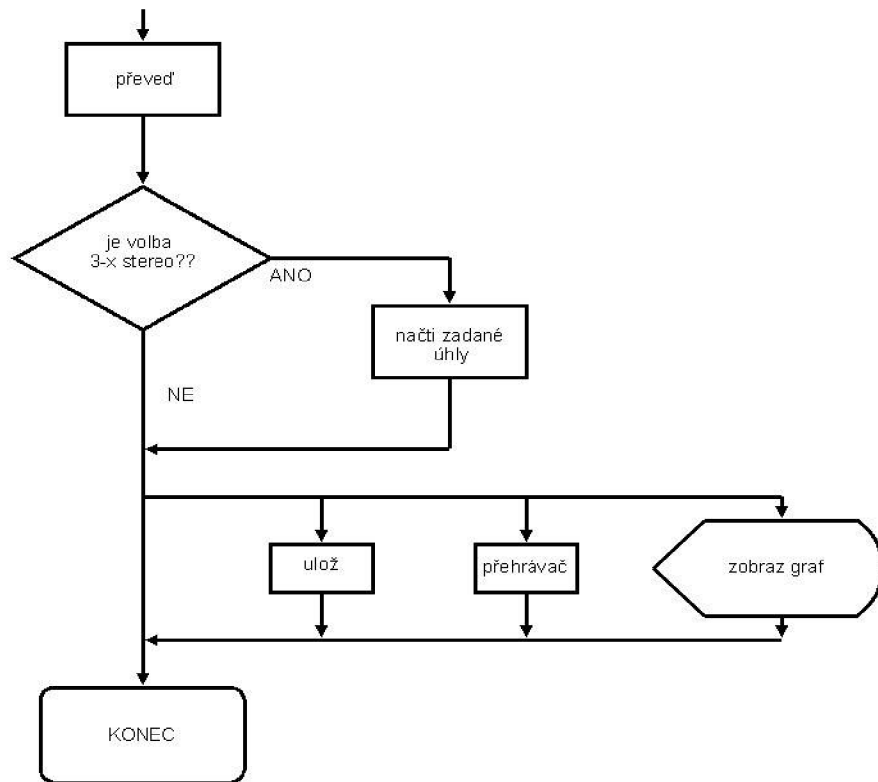
zapomenout tyto složky načíst. To by totiž způsobilo, že pro následnou manipulaci s programem budou použity již dříve načtené složky.

Vývojový diagram (obr. 5.8a a 5.8b) znázorňuje všechny procesy a funkce programu. Kvůli velké nepřehlednosti je diagram oproti reálnému chování programu zjednodušen a to tak, že kromě dějů v kosočtvcích se může uživatel na kterékoliv místo v diagramu vrátit. Obdélníky reprezentují procesy, které nastanou po zmáčknutí příslušného tlačítka nebo položky menu.

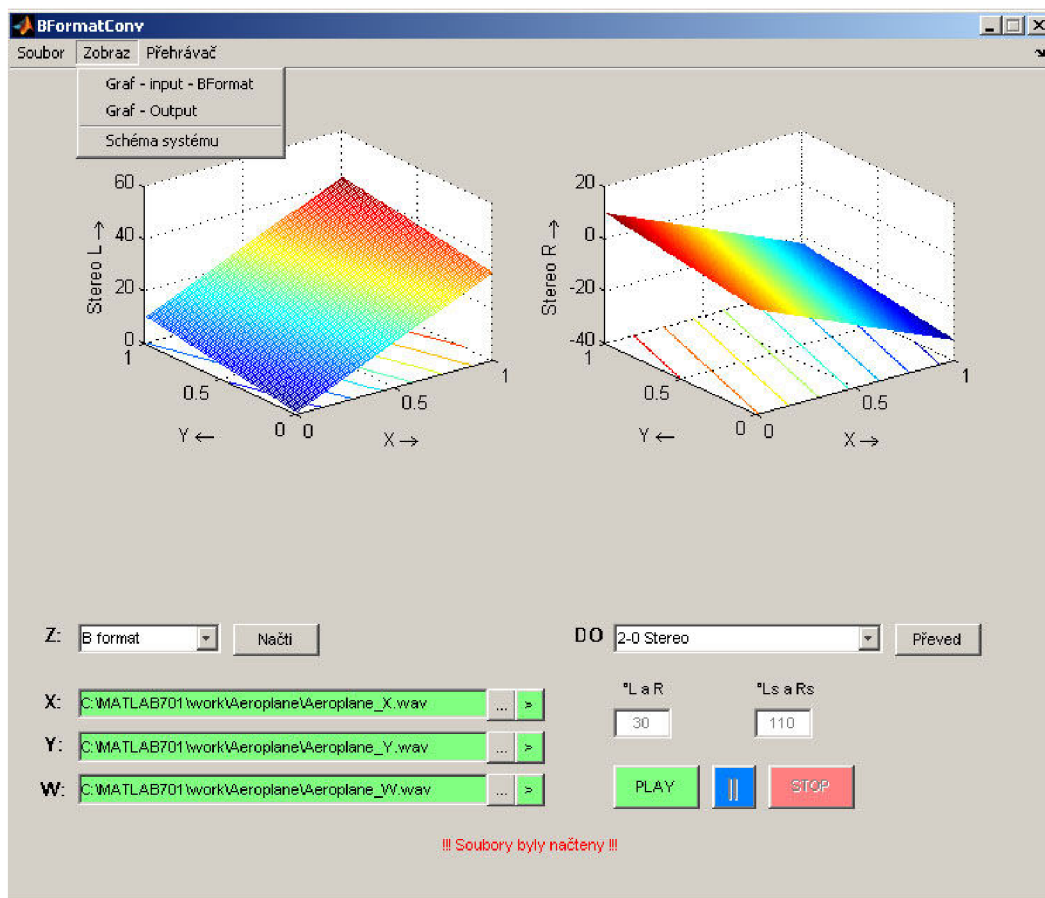
Jak ilustruje obrázek 5.9, grafická podoba programu je velmi jednoduchá a ovládání by mělo být intuitivní.



Obr. 5.8a: Vývojový diagram pro program BformatConv – 1.část



Obr. 5.8b: Vývojový diagram pro program BFormatConv – 2.ãást



Obr. 5.9: Ukázka grafického prostředí programu BFormatConv

ZÁVĚR

V práci jsem se snažil splnit zadání práce a prakticky zpracovat převod B format signálů na signály pro různé druhy surround sound systémů v programu Matlab. Bohužel se mi nepodařilo uskutečnit samotné nahrávání prostorového zvuku kvůli problémům s dodáním potřebného vybavení. Na realizaci programu to ale nemělo zásadní vliv. Program se mi podařilo realizovat a implementovat do snadno ovladatelného a srozumitelného grafického prostředí. Samotná reprodukce výstupu programu pro vícekanálové systémy však otestována nebyla. To ovšem nebylo povinnou náplní práce.

LITERATURA

- [1] Zwicker, E., Fastl, H. *Psychoacoustics, Fact and Models*, 2nd updated Ed. Springer, 1999. ISBN 3-540-65063-6.
- [2] Rumsey, F. *Spatial Audio*. Focal Press, 2005. ISBN 0-240-51623-0.
- [3] Dolby® 5.1-Channel Music Production Guidelines Issue 3, 2005. S05/14926/15996.
- [4] *SoundField: B format* [online]. 2008, Datum poslední revize 27.5.2008 [cit. 2008-05-27]. <www.soundfield.com>.
- [5] Gerzon, M., A. "Ambisonics in Multichannel Broadcasting and Video". In *Journal of the AES*, vol 33, pp. 859-871, November 1985. ISSN 1549-4950.
- [6] *Ambisonic Studio | Native B format Recording* [online]. 2008, Datum poslední revize 20.4.2008 [cit. 2008-05-25]. <http://www.radio.uqam.ca/ambisonic/native_b.html>.
- [7] Šik, O. *Multikanalové panoramování zvuku a dozvuku*. Bakalářská práce, Vysoké učení technické v Brně, 2007.
- [8] *AKG SE300 B > MIKROFONY > kondenzátorové mikrofony*: [online]. 2008, Datum poslední revize 1.6.2008 [cit. 2008-06-01]. <<http://www.musiccenter.cz/AKG-SE300-B-Kondenzatorov%99-mikrofony-Blue-Line-Series:13286>>.
- [9] *YOU ARE SURROUNDED* [online]. 2008, Datum poslední revize 1.6.2008 [cit. 2008-06-01]. <<http://www.soundonsound.com/sos/oct01/articles/surroundsound3.asp>>.