

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

HDMI propojovací systém pro multimediální techniku

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jakub MAJOR**
Osobní číslo: **E10B0470P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **HDMI propojovací systém pro multimediální techniku**
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :


1. Seznamte se s možnostmi propojování multimediálních přístrojů
2. Popište rozhraní HDMI a jeho možnosti
3. Uveďte a porovnejte jednotlivé varianty HDMI

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:


Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Jiří Masopust, CSc.**
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2012**
Termín odevzdání bakalářské práce: **7. června 2013**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Vlastimil Škočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

Abstrakt

Předmětem bakalářské práce „HDMI propojovací systém pro multimediální techniku“ je vypracování ucelené rešerše různých používaných multimediálních propojovacích systémů a především podrobný popis dnes nejpoužívanějšího digitálního rozhraní HDMI. Tato práce obsahuje jak digitální, tak analogová A/V rozhraní a jejich popis. Nejobsáhlejší částí je právě kapitola zabývající se HDMI, která obsahuje jak základní informace a specifikace, tak popis elektrické struktury, používaných komunikačních kanálů a protokolů, ochrany digitálního obsahu nebo kabelů a konektorů. Další neméně důležitou částí, obsahující kapitola HDMI, je charakteristika různých specifikací (verzí) tohoto rozhraní a jejich srovnání. Na závěr této práce jsem uvedl navíc porovnání nejnovějších verzí nejpoužívanějších digitálních systémů, a to HDMI 1.4a, DisplayPort 1.2 a DVI-D (dual link).

Klíčová slova

HDMI, A/V rozhraní, propojování multimediálních zařízení, propojovací systémy, analogová rozhraní, digitální rozhraní, struktura HDMI, funkce HDMI, komunikační kanály HDMI, HDCP, ochrana digitálního obsahu, HDMI kabely, konektory HDMI, verze HDMI

Abstract

The objective of bachelor thesis "HDMI Interconnecton System for Multimedia" is creation of comprehensive research of the various interconnection systems used in multimedia and especially detailed description of today's most used digital interface HDMI. This thesis includes both digital and analog A/V interfaces and their descriptions. The most extensive part is the chapter focusing with HDMI. This part includes basic information and specifications, description of the electrical structure, used communication channels and protocols, digital content protection or cables and connectors. Another equally important part of HDMI chapter is characteristic of the different specifications (versions) of HDMI and their comparison. At the conclusion of this thesis I stated comparison of the latest versions of the most commonly used digital interfaces - HDMI 1.4a, DisplayPort 1.2 and DVI-D (dual link).

Key words

HDMI, A/V interfaces, interconnection of multimedia devices, interconnection systems, analog interfaces, digital interfaces, HDMI structure, HDMI function, HDMI communication channels, HDCP, Digital content protection, HDMI cables, HDMI connectors, HDMI version

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....
podpis

V Plzni dne 29.5.2013

Jakub Major

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Jiřímu Masopustovi, CSc. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

| | |
|--|-----------|
| OBSAH | 7 |
| SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK | 8 |
| ÚVOD | 11 |
| 1 ANALOGOVÁ ROZHRANÍ | 12 |
| 1.1 AUDIO KABEL | 12 |
| 1.1 VGA, SVGA | 12 |
| 1.2 KOMPOZITNÍ VIDEO | 13 |
| 1.3 S-VIDEO | 14 |
| 1.4 KOMPONENTNÍ VIDEO | 14 |
| 1.5 SCART | 15 |
| 2 DIGITÁLNÍ ROZHRANÍ | 16 |
| 2.1 S/PDIF, AES3 | 16 |
| 2.2 DVI | 17 |
| 2.3 DISPLAYPORT | 19 |
| 3 HDMI | 22 |
| 3.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE A VYUŽITÍ | 22 |
| 3.2 ZÁKLADNÍ SPECIFIKACE - VIDEO A AUDIO | 22 |
| 3.3 KOMUNIKAČNÍ KANÁLY | 23 |
| 3.3.1 <i>TMDS</i> | 24 |
| 3.3.2 <i>E-DDC</i> | 24 |
| 3.3.3 <i>CEC</i> | 25 |
| 3.3.4 <i>HEC, ARC (HEAC)</i> | 25 |
| 3.4 HDCP A OCHRANA DIGITÁLNÍHO OBSAHU | 26 |
| 3.5 KABELY A KONEKTORY | 27 |
| 3.5.1 <i>Typ A</i> | 28 |
| 3.5.2 <i>Typ B</i> | 28 |
| 3.5.3 <i>Typ C</i> | 29 |
| 3.5.4 <i>TYP D</i> | 29 |
| 3.5.5 <i>TYP E</i> | 29 |
| 3.6 JEDNOTLIVÉ VERZE ROZHRANÍ HDMI | 32 |
| 3.6.1 <i>HDMI 1.0 – 1.1</i> | 32 |
| 3.6.2 <i>HDMI 1.2 – 1.2a</i> | 33 |
| 3.6.3 <i>HDMI 1.3 – 1.3a</i> | 34 |
| 3.6.4 <i>HDMI 1.4 – 1.4a</i> | 36 |
| 3.6.5 <i>Srovnání jednotlivých verzí</i> | 38 |
| 3.6.6 <i>Srovnání – HDMI 1.4a, DisplayPort 1.2 a DVI-D Dual link</i> | 40 |
| ZÁVĚR | 42 |
| SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ | 44 |
| PŘÍLOHY | 1 |
| PŘÍLOHA A – PODPOROVANÁ ROZLIŠENÍ VGA PORTU | 1 |
| PŘÍLOHA B – ROZLOŽENÍ PINŮ KONEKTORU VGA | 2 |
| PŘÍLOHA C – SCART KONEKTOR | 3 |
| PŘÍLOHA D – KONEKTORY DVI A ZAPOJENÍ JEJICH PINŮ | 5 |
| PŘÍLOHA E – ZAPOJENÍ KONEKTORU DISPLAYPORT | 6 |
| PŘÍLOHA F – POPIS JEDNOTLIVÝCH METOD 3D VIDEO | 7 |
| PŘÍLOHA G – SEKUNDÁRNÍ PODPOROVANÉ 3D VIDEO FORMÁTY | 9 |

Seznam symbolů a zkratek

| | |
|-----------|--|
| AAC | Advanced Audio Coding |
| AACS | Advanced Access Content System |
| AC3, AC-3 | Audio Codec 3, Advanced Codec 3 |
| AES3 | Audio Engineering Society 3 |
| AMD | Advanced Micro Devices |
| ARC | Archive File Format |
| ATI | Array Technology Inc |
| ATC | Authorized Testing Centers |
| ATRAC | Adaptive Transform Acoustic Coding |
| AUX | Auxiliary |
| AV, A/V | Audio Video |
| AVI | Auxiliary Video Information |
| Blu-ray | Blue ray |
| BNC | Bayonet Neill-Concelman |
| CEA | Consumer Electronics Association |
| CEC | Consumer Electronics Control |
| CRT | Cathod Ray Tube |
| CTS | Compliance Test Specification |
| DCP | Digital Content Protection |
| DDC | Display Data Channel |
| DDWG | Digital Display Working Group |
| DIN | Deutsches Institut für Normung |
| DP | DisplayPort |
| DPCP | DisplayPort Content Protection |
| DRM | Digital Rights Management |
| DSD | Direct Stream Digital |
| DST | Direct Stream Transfer |
| D-SUB | D-subminiature |
| DTS | Digital Theater System |
| DTS-HD | Digital Theater System-High Definition |
| DTV | Digital Television |

| | |
|------------------|---|
| DVI-A | Digital Visual Interface – Analog |
| DVI-D | Digital Visual Interface – Digital |
| DVI-I | Digital Visual Interface – Integrated |
| DVD | Digital Versatile Disc |
| DVD-A | Digital Versatile Disc – Audio |
| EBU | European Broadcasting Union |
| EDID | Extended Display Identification Data |
| eDP | embedded DisplayPort |
| EIA | Electronic Industries Alliance |
| E-DDC | Extended Display Data Channel |
| E-EDID | Enhanced Extended Display Identification Data |
| FLAC | Free Lossless Audio Codec |
| GTF | Generalized Timing Formula |
| IEC | International Electronic Commission |
| HD | High Definition |
| HDCP | High-bandwidth Digital Content Protection |
| HDMI | High-Definition Multimedia Interface |
| HDTV | High-Definition Television |
| HD15 | High Density |
| HEAC | HDMI Ethernet Audio Control |
| HEC | HDMI Ethernet Channel |
| HPD | Hot Plug Detect |
| IBM | International Business Machines Corporation |
| InfoFrame | Information Frame |
| I ² C | Inter-integrated Circuit |
| KSV | Key Selection Vector |
| LCD | Liquid Crystal Display |
| LED | Light Emitting Diode |
| LPCM | Linear Pulse Code Modulation |
| LVDS | Low Voltage Differential Signaling |
| MPEG | Moving Picture Experts Group |
| NEC | Nippon Electric Company |
| PC | Personal Computer |
| PCF | Pixel Clock Frequency |

| | |
|-------------------------------|---|
| PCI-Express | Peripheral Component Interconnect Express |
| PCM | Pulse Code Modulation |
| PS 2 | Playstation 2 |
| PS/2 | Personal System 2 |
| RCA | Radio Corporation of America |
| SCART | Syndicat des Constructeurs d'Appareils Radiorécepteurs et Téléviseurs |
| RGB | Red Green Blue |
| SACD, SA-CD | Super Audio Compact Disc |
| SCL | Serial Clock |
| SDA | Serial Data |
| STP | Shield Twisted Pair |
| SVGA | Super Video Graphic Array |
| Sync | Synchronization |
| S-Video | Super Video, Separate Video |
| S/PDIF | Sony/Philips Digital Interconnect Format |
| TMDS | Transition Minimized Differential Signaling |
| Toslink | Toshiba Link |
| TV | Television, televize |
| T-con | Timing Controller |
| USB | Universal Serial Bus |
| UXGA | Ultra Extended Graphics Array |
| VESA | Video Electronics Standards Association |
| VGA | Video Graphics Array |
| WMA | Windows Media Audio |
| WQUXGA | Wide Quad Ultra Extended Graphics Array |
| WQXGA | Wide Quad Extended Graphics Array |
| WUXGA | Wide Ultra Extended Graphics Array |
| WXGA | Wide Extended Graphics Array |
| XLR | Cannon X-Latch-Rubber |
| Y _C C _R | Barevný model pro digitální systémy (jas + chromizační signály) |
| Y _P P _R | Barevný model pro analogové systémy (jas + rozdílové signály) |
| YUV | Barevný model pro televizní vysílání (jas + barevné složky) |
| 3D | Three-dimensional, trojdimenzionální, trojrozměrný |
| 4k x 2k | Rozlišení 4096 x 2160p |

Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá používanými rozhraními pro propojování multimediálních zařízení, především propojovacím systémem HDMI. Multimedia jsou dnes součástí každodenního života. Jde vlastně o sloučení různých forem sdělovacích prostředků (médií). Mezi tyto média patří například text, grafika, zvuk, video, atd. Multimediální přístroje jsou tedy elektronická zařízení používaná k ukládání, přehrávání, nahrávání a obecně k manipulování s multimediálními obsahy. Mezi tyto přístroje patří Televizory, DVD a Blu-ray přehrávače a rekordéry, AV receivery, nyní velmi oblíbená multimediální centra, kamery a fotoaparáty, osobní počítače, notebooky, herní konzole, apod. Multimediální zařízení musíme samozřejmě vzájemně propojovat např.: Blu-ray přehrávač s AV receiverem a ten následně s televizorem. K tomu nám slouží různá audio/video rozhraní s různými konektory. Tato rozhraní prošla a stále prochází velkým vývojem v závislosti na rozvoji samotných multimédií a multimediálních přístrojů. Zatímco ještě před několika málo lety bylo nejvíce používané analogové rozhraní SCART, dnes už jasně dominuje právě digitální HDMI. Rozhraní pro multimediální přístroje tedy můžeme dělit na digitální, analogové nebo dokonce kombinované (DVI-I). Stejně tak můžeme přenášet audio i video zároveň (SCART, HDMI), pouze audio (S/PDIF), nebo samostatné video (VGA, DVI).

Tato práce je rozdělena na tři hlavní kapitoly. První kapitola popisuje různá analogová audio a video rozhraní – klasický audio kabel, VGA, komponentní a kompozitní video, S-video a nakonec „legendární“ SCART. Druhá kapitola se oproti tomu zaměřuje na digitální rozhraní – S/PDIF a AES3, DVI a jeho varianty a nejnovější A/V rozhraní DisplayPort. Hlavní náplní této práce je rozhraní HDMI, to je podrobně popsáno v kapitole 3. Tato kapitola obsahuje základní informace a specifikace, popis používaných komunikačních kanálů a ochrany digitálního obsahu HDCP. Dále také popisuje jednotlivé používané konektory a verze. Konec této kapitoly je věnován srovnání nejprve jednotlivých verzí rozhraní HDMI a poté srovnání nejnovějších verzí HDMI, DisplayPortu a DVI-D dual link.

Cílem této práce bylo vypracovat přehlednou rešerši dnes a dříve používaných A/V rozhraní a podrobný popis dnes nepoužívanějšího rozhraní HDMI a jeho jednotlivých verzí.

1 Analogová rozhraní

1.1 Audio kabel

Jedná se o klasický audio propojovací kabel, používaný převážně pro spojování zvukových zařízení. Je složený z jedné nebo dvou většinou měděných dvojlinek. V prvním případě se používá varianta cinch - cinch, kdy obě strany kabelu zakončuje standardní RCA Jack konektor neboli cinch. Při této variantě se přenáší pouze jeden kanál audio signálu a používá se například při propojování domácího kina, kdy na DVD přehrávači jsou cinch výstupy pro jednotlivé reproduktory domácího systému. Stereo kabel složený ze dvou dvojlinek může být v provedení Jack-Jack, nebo v provedení 2x cinch - 2x cinch. Provedení Jack - Jack se moc nepoužívá, 2x cinch - 2x cinch se používá například v kombinaci s kompozitním videem (*Obr. 1.1*), kde červená barva značí pravý kanál a bílá levý kanál stereo audia. Žlutá označuje kompozitní video. Tento tříkanálový kabel se používá například pro propojení DVD přehrávače/rekordéru s televizorem.



Obr. 1.1 Kompozitní video a stereo audio (převzato z [1])

1.1 VGA, SVGA

VGA neboli Video Graphics Array je standardní video rozhraní pro připojení monitoru k počítači. Původně bylo vyvinuto firmou IBM roku 1987 pro počítače řady IBM PS/2 a poskytovalo nastavení několika standardních grafických režimů. Jednalo se hlavně o režim o rozlišení 640x480 pixelů při zobrazení maximálně šestnácti barev nebo o 256-ti barevný režim s rozlišením 320x200 pixelů, na kterém byly stavěny další nestandardní 256-ti barevné režimy s rozlišením až do 400x300 pixelů. Později následovalo rozhraní SVGA neboli Super Video Graphics Array, které nabízelo lepší rozlišení a větší počet zobrazitelných barev. U tohoto rozhraní už nebyl problém s použitím 256-ti barev při rozlišení 640x480 pixelů, nebo 16-ti barevný režim 800x600. S pokračujícím vývojem se začala objevovat VGA/SVGA s podporou ještě vyššího rozlišení a barevné hloubky až 24 bitů (přibližně 16 miliónů barev).

Kompletní výčet podporovaných grafických režimů nalezneme v Příloze A. VGA i SVGA používají stejnou kabeláž a konektor HD15, který je označován také jako D-sub 15 pin (Obr. 1.2). V Příloze B můžeme vidět rozložení jednotlivých pinů tohoto konektoru a popis jejich funkce. Jak již bylo zmíněno, tato rozhraní se používala pro připojování počítačů a notebooků k monitorům nebo projektorům. I když jsou již poměrně dlouho nahrazována portem DVI, stále se s nimi můžeme často potkat i v nových notebookech a počítačích. [2] [3] [4] [5]



Obr. 1.2 VGA konektor (převzato z [28])

1.2 Kompozitní video

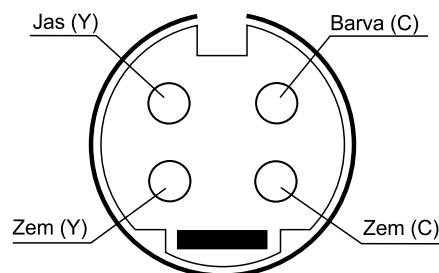
Tento způsob propojení je jeden z nejméně kvalitních způsobů přenosu analogového video signálu. Původně byl vytvořen v padesátých letech, když se začala přidávat barevná složka do černobílých televizorů. Barevné a monochromatické signály byly multiplexovány a vysílaly se na stejném kanále. Kompozitní video spojuje dohromady všechny tři YUV video signály v jednom kanálu. Tyto signály jsou jas (Y) a barevné složky (U, V), kde U je barevný rozdíl B-Y (modrá - jas) a V rozdíl R-Y (červená - jas). Pro přenos signálu se používá jeden koaxiální kabel a klasický konektor RCA Jack (cinch) se žlutým označením. Jedná se tedy o konstrukčně velice jednoduché rozhraní. Ačkoliv dokáže přenášet video o rozlišení 480i, ostrost a celková kvalita obrazu je horší než je tomu např. u S-video nebo videa komponentního. Nejedná se o ideální propojovací systém, nicméně právě díky jeho jednoduchosti se s ním můžeme stále setkat téměř všude. Na obrázku *Obr. 1.1* můžeme vidět jeho nejčastější variantu, a to kombinaci se stereo audio kabelem (2xcinch - 2xcinch). Tuto kombinaci můžeme použít při propojování DVD přehrávačů (příp. set-top boxů) s televizory nebo AV receivery (i novějšími typy), dokonce i nová multimediální centra mají možnost připojení přes toto rozhraní. [6] [7] [8] [9] [15]

1.3 S-video

S-Video je zkratka používaná pro rozhraní Separated video nebo také Super video. Toto rozhraní je už o kousek dál, co se týče kvality, než video kompozitní. Přenáší totiž jas a barevnou složku odděleně ve 2 kanálech a tím nabízí mnohem čistší signál. Pomocí S-vidoa můžeme přenášet video signál o standardním rozlišení 480i nebo 576i. Kabel je zakončen většinou čtyřpinovým mini-DIN konektorem (*Obr. 1.3*), na počítačových grafických kartách se používal převážně konektor se sedmi piny, kde čtyři základní piny přenáší video v S-video formátu a zbylé tři umožňují přenos informace v kompozitním nebo komponentním formátu. Toho se může využít při připojování k obrazovkám, které nepodporují S-video. Rozmístění a popis pinů čtyřpinového konektoru je vidět na obrázku *Obr. 1.4*. Konektor S-vidoa můžeme najít na mnohých AV zařízeních, jako jsou DVD přehrávače, starší herní konzole (PS 2), AV receivery (záleží na výrobci a typu), televizory atd. I když se jedná o kvalitnější rozhraní než kompozitní video, není tak časté a rozšířené. [6] [10] [11]



Obr. 1.3 S-video konektor (převzato z [29])



Obr. 1.4 Zapojení a rozložení pinů [12]

1.4 Komponentní video

Jedná se o nejkvalitnější analogové rozhraní pro přenos videa. Tento systém dokáže jako jediný přenášet analogový HDTV signál. Nejčastěji se video přenáší formátem $Y P_B P_R$, kde Y označuje jas, P_B rozdíl modré barvy a jasu (B-Y) a P_R rozdíl mezi červenou barvou a jasnem (R-Y). Tradiční video signál YUV se zde rozděluje na tři jednotlivé složky a přenáší se ve třech oddělených kanálech. Toto rozhraní se tedy skládá ze tří oddělených kabelů, zakončené v komerční sféře standardními koncovkami typu cinch, které jsou barevně označeny. Zelená pro signál Y, červená pro P_R a modrá barva označuje P_B (*Obr. 1.5*). Pro profesionální potřeby (např. televizní stanice) se používají BNC konektory. Jelikož jde o jediné analogové rozhraní přenášející signály o vysokém rozlišení (kromě novějších VGA portů, používajících se převážně v počítačovém průmyslu), je jím vybavena většina Blu-ray

a DVD přehrávačů, HDTV satelitních a kabelových přijímačů, televizorů, multimediálních center a AV receiverů. [6] [13] [14]



Obr. 1.5 Komponentní video (převzato z [30])

1.5 SCART

Prakticky nejrozšířenější a nejoblíbenější analogové rozhraní a jediný analogový systém přenášející video i audio po jednom médiu. Dokáže přenášet signály RGB, kompozitního videa, S-video a navíc zmíněný audio signál (stereo). SCART si poradí se standardním rozlišením 576i stejně jako S-video, avšak výhodou je právě současný přenos stereo signálu. Toto rozhraní se vyznačuje klasickým SCART konektorem (bývá označován také jako Peritel nebo Euro connector) s 21 piny, kde kovový kryt konektoru tvoří jeden pin a obklopuje zbylých 20 pinů (Obr. 1.6). Rozložení a zapojení pinů SCART konektorů pro různé kontinenty uvádí Příloha C. Nejvíce se SCART používalo k připojení video nebo DVD přehrávačů k televizorům, k připojení set-top boxů a satelitních přijímačů, apod. Po nástupu HD standardů se od používání SCART upouští a stává se čím dál, tím méně využívaným rozhraním. Nicméně, díky jeho dřívější oblibě a rozšíření, jej výrobci stále montují na drtivou většinu televizorů, DVD přehrávačů a celkově na téměř veškerou komerční AV techniku (s výjimkou A/V receiverů). [6] [16] [17]



Obr. 1.6 SCART konektor (převzato z [31])

2 DIGITÁLNÍ ROZHRANÍ

2.1 S/PDIF, AES3

S/PDIF je zkratkou pro Sony/Philips Digital Interface Format, která nese název právě po dvou nejvýznamnějších firmách, které se na vývoji tohoto typu digitálního spojení podílely - Sony a Philips. Používá se pro digitální přenos zvuku mezi různými AV přístroji a to téměř ve všech formátech (AC3, DTS, FLAC, atd.) a libovolném počtu kanálů. Tento systém je založen na souboru mezinárodních norem pro kabely, označovaných jako IEC (International Electrotechnical Commission), které například zajišťují, aby se všude ve světě dal použít stejný audio konektor. Toto rozhraní má v komerční AV technice mnohá využití. Například pro propojení DVD a Blu-ray přehrávačů s projektory domácího kina, televizory, A/V receivery, atd. Rozhraní S/PDIF lze také použít pro přenos audia z počítače do více reproduktorů najednou. S/PDIF existuje ve dvou variantách. První variantou je koaxiální kabel zakončený RCA jackem (cinchem). Zde se pro přenos audia využívá elektrický signál. Koaxiální kabely jsou spolehlivé a stabilní, jejich nevýhodou je ale vzdálenost, na kterou mohou být použity (cca do 100m). To však v domácí AV technice nemusíme řešit. Druhou variantou je optický kabel nazývaný Toslink (*Obr. 2.1*), který nese tento název právě díky tomu, že používá optické komponenty Toslink (Toshiba link). Kabel zakončuje konektor JIS F05, ale většinou se i pro něj používá název Toslink. Signály se posílají skrz 1 mm tenké plastové vlákno pomocí viditelného červeného světla (červená LED dioda). Optické signály se přenáší ve stejném formátu jako elektrické S/PDIF, jen jsou převedeny na světelné signály. Kvůli vysokému útlumu světelného signálu v optických vláknech Toslinku je přenosová vzdálenost omezena na maximálně deset metrů. Oproti koaxiálním kabelům má mnoho výhod. Hlavní výhodou je extrémní rychlost přenosu dat, způsobená tím, že se světlo přenáší daleko rychleji než elektrický signál. Optické kabely jsou také imunní vůči elektromagnetickému rušení. Nevýhodou je, že kabely musí být vedeny rovně, jinak má světlo problém s průchodem. [32] [33] [38]



Obr. 2.1 Optický kabel zakončený konektorem Toslink [35]

Rozhraní AES3 známé také jako AES/EBU je společné dílo společnosti Audio Engineering Society a Evropské vysílací unie (European Broadcasting Union). U tohoto rozhraní můžeme narazit také na dva typy kabelů, a to AES3 a AES3id. AES3 používá 110-ti ohmovou stíněnou kroucenou dvojlinku (STP – Shield Twisted Pair) zakončenou konektory XLR (Obr. 2.2) a používá se do vzdálenosti 100 metrů. Oproti tomu AES3id používá 75-ti ohmový koaxiální kabel zakončený BNC konektorem (Obr. 2.3), který se dá vést až jeden kilometr. [34]



Obr. 2.2 Konektor typu XLR (převzato z [36])



Obr. 2.3 BNC konektor [37]

S/PDIF a AES3 byly vyvinuty ve stejné době a vyráběny pro stejnou konstrukci. I když mezi nimi najdeme drobné rozdíly, jsou tyto dva standardy velice podobné. Hlavní rozdíl je ale v tom, že AES3 se běžně využívá pro profesionální záznamy zvuku a používá dražší hardware a oproti tomu S/PDIF je spíše pro domácí použití. [32]

2.2 DVI

Digital Visual Interface neboli DVI bylo vyvinuto průmyslovým sdružením Digital Display Working Group (DDWG) a představeno v roce 1999. DDWG se skládalo ze 7 společností počítačového průmyslu – HP, Compaq, IBM, Intel, NEC, Fujitsu a Silicon Image. Toto rozhraní nahrazuje starší analogový systém VGA a stalo se prvním rozumným a úspěšným digitálním rozhraním pro počítačové monitory. Je schopno přenášet jak nekomprimovaný digitální, tak i analogový video signál přes jeden 29-ti pinový konektor. Odstraňuje také proces analogové konverze (nepočítáme-li DVI-A). Každá grafická karta produkuje digitální signály, které se například na VGA výstupu převádí na analogové a v monitoru zpět na digitální. To u digitálního rozhraní odpadá. DVI můžeme najít ve třech

verzích: DVI-D, které přenáší pouze digitální signál, DVI-I pro přenos jak analogu, tak digitálu a DVI-A, sloužící pouze pro přenos analogového videa. [39] [40]

DVI-Analog (DVI-A) pro přenos pouze analogového videa využívá větší šířku pásma než VGA a tím pádem podporuje vyšší rozlišení a obnovovací frekvenci¹. Používá se pro přenos analogového signálu do analogových displejů, jako jsou CRT monitory a levnější LCD displeje. Protože přenáší stejný analogový signál jako VGA, využívá se často při připojování k zařízení s VGA výstupem přes vhodnou redukci. DVI-A a VGA jsou tedy kompatibilní rozhraní. [40] [41]

DVI-I a DVI-D používá pro přenos digitálního videa technologii TMDS² stejně jako HDMI. Tyto propojovací systémy jsou tedy kompatibilní. Stačí pouze vhodná redukce. DVI se vyskytuje ve variantách Single link a Dual link. Single link se skládá ze čtyř kroucených párů vodičů, přenášející video signály RGB a Clock (hodinový signál) v barevné hloubce až 24 bitů při maximální kapacitě dat 4,8 Gbps. Obraz se přenáší řádek po řádku se zatemňovacími intervaly mezi každým řádkem a snímkem. Nepoužívá se zde žádná komprese ani paketizace. Spojení single link je omezeno maximální šířkou pásma 165 MHz (Pixel clock frequency³, dále jen PCF), která umožňuje přenos rozlišení až 1920x1200 pixelů při obnovovací frekvenci 60 Hz. Právě v závislosti na obnovovací frekvenci může poskytovat i jiná rozlišení, např. HDTV (1920x1080 @ 60 Hz), UXGA (1600x1200 @ 60 Hz), WUXGA (1920x1200 @ 60 Hz), WXGA+ (1440x900 @ 60 Hz) a WQUXGA (3840x2400 @ 17 Hz). Pro vyšší rozlišení a obnovovací frekvenci, nebo pro větší barevnou hloubku se naopak používá dual link. Tento typ DVI obsahuje totiž navíc další tři páry vodičů pro přenos RGB signálu a tím se zvyšuje i maximální rychlost přenosu dat na dvojnásobek (9,6 Gbps). Tím pádem i maximální frekvence PCF (šířka pásma) je dvakrát větší, jelikož dual link obsahuje dva TMDS vysílače pracující každý na PCF 165 MHz. Jak je uvedeno výše, dual link se dá použít pro přenos videa o vyšším rozlišení a obnovovací frekvenci nebo vyšší barevné hloubce, ne však pro obojí najednou. Stejně jako u single linku se zde mění maximální rozlišení spolu s obnovovací frekvencí. Dual link poskytuje rozlišení

¹ Obnovovací frekvence (vertikální frekvence, refresh rate) udává počet obnovení (překreslení) celé obrazovky za vteřinu, udávané v jednotkách Hz. [42]

² TMDS neboli Transition Minimized Differential Signaling je protokol pro přenos vysokorychlostních dat přes měděnou kroucenou dvojlinku, vybavený moderním kódovacím algoritmem, který minimalizuje elmag. rušení a umožňuje rychlý přenos obrovského množství nekomprimovaných digitálních dat. [43]

³ Pixel clock frequency (pixel clock rate) je potřebná šířka pásma pro přenos video signálu. Přibližně odpovídá celkovému počtu pixelů násobených obnovovací frekvencí. (např. pro 1280x720p @ 60Hz ≈ 55 MHz PCF). [44]

až 3840x2400 pixelů (WQUXGA) při 33 Hz se zatemňováním GTF⁴ (PCF 2x159 MHz), kde obnovovací frekvence odpovídá téměř dvojnásobku oproti stejnému rozlišení při spojení přes single link. Rozhraní DVI-I resp. DVI-D našlo uplatnění především v propojení počítačů s monitory a projektory, stejně jako dřívější VGA a můžeme ho nalézt na drtivé většině grafických karet jak osobních počítačů, tak notebooků. Ačkoliv se jedná o neoblíbenější rozhraní pro PC monitory, i zde platí, že s rostoucí oblibou HDMI se DVI dostává do pozadí. Navíc konsorcium DDWG se už více jak 10 let nesešlo a tím pádem se nepředpokládá další vývoj. [39] [40] [41]

Digital Visual Interface je tedy dostupné v pěti různých konfiguracích DVI kabelů a konektorů, podle požadovaného rozlišení, obnovovací frekvence, barevné hloubky nebo podle přenášeného signálu. Mezi tyto konfigurace patří: DVI-D (Single link), DVI-D (Dual link), DVI-I (Single link), DVI-I (Dual link) a DVI-A. Rozdíl mezi jednotlivými konektory a zapojením jejich pinů lze najít v Příloze D. [39]

2.3 DisplayPort

DisplayPort (DP) je poměrně mladé rozhraní, které bylo navrženo na přelomu let 2005 - 2006 sdružením počítačových výrobců a výrobců zobrazovací techniky (HP, Dell, Philips, NVIDIA, ATI (nyní AMD), Samsung, Genesis Microchip) a předloženo asociaci VESA jako nový standard za náhradu starých rozhraní VGA a DVI. O dva roky déle (2008) VESA poprvé představila originální standard DisplayPort. Od té doby se původní skupina organizací rozrostla např. o Intel a Lenovo a specifikace byly mírně přepracovány, aby lépe umožňovaly opětovné použití stávajících návrhů PCI-Express a podporovaly systém na ochranu digitálního obsahu HDCP od společnosti Intel. Toto rozhraní se od dřívějších systémů na bázi TMDS podstatně liší. Používá paketizační komunikační protokol, který umožňuje jednoduchou podporu více typů dat a další funkce. Zvukový signál může být přenášen spolu s digitálním videem, stejně dobře jako jiné typy dat (např. text). Další výhodou systému DisplayPort je to, že se jedná o otevřený standard pro všechny členy VESA, tzn. žádné poplatky při zavedení tohoto rozhraní jako je to u HDMI. DP je také, kromě klasického externího rozhraní, navržen k použití jako interní rozhraní, vyskytující se ve variantách eDP (embedded DisplayPort) nebo iDP (internal DisplayPort). [19] [41] [46]

⁴ GTF – Generalized Timing Formula je standardní metoda generování časování, definovaná asociací VESA. Definuje horizontální a vertikální zatemňování a tím i potřebnou šířku pásma. [45]

Aktuálním standardem je DisplayPort 1.2, který umožňuje přenos videa s rozlišením až 4096 x 2304 pixelů (Rozlišení 4K kamery s názvem „RED ONE“) při obnovovací frekvenci 60 Hz a barevné hloubce 24 bitů. Z klasických rozlišení podporuje 4096x2160p při frekvenci 60 Hz. Navíc podporuje všechny běžné trojrozměrné formáty a multikanálový přenos zvuku (až 8 kanálů). Navíc oproti HDMI, které dokáže v jednu chvíli obsluhovat pouze jeden displej, DisplayPort nabízí technologii multistream, kdy dokáže jedině rozhraní DisplayPort přenášet signály do čtyř monitorů najednou s rozlišeními až 1920x1200 pixelů nebo do dvou monitorů o rozlišení 2560x1600. Přitom toky dat do každého z použitých monitorů jsou nezávislé. DP Stejně jako HDMI používá technologii HDCP (High-bandwidth Digital Content Protection) na ochranu digitálního obsahu. K přenosu dat může použít 1, 2 nebo 4 trasy (diferenciální datové páry) s šířkou až 5,4 Gbps na jednu trasu, tedy 21,6 Gbps přes 4 trasy. Počet tras závisí na potřebné rychlosti přenosu dat, rozhraní se samo nastaví, aby co nejlépe využilo dostupnou kapacitu. Verze 1.2 také obsahuje pomocný kanál pro binární přenos dat s rychlostí 1 Mbps nebo 720 Mbps a napájené konektory (1,5 W). [41] [47] [48]

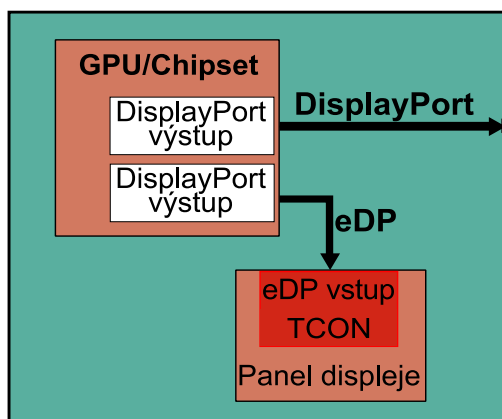
Varianta eDP, nyní ve verzi 1.3, je postavena na standardu DisplayPort s mírnými úpravami protokolů, optimalizací pro interní použití a 30-ti pinovým konektorem. eDP bylo navrženo pro použití ve vestavěných zobrazovacích jednotkách (notebook, netbook, All-in-One PC). Nahrazuje starší přenosové technologie LVDS (Low Voltage Differential Signaling). Stejně jako klasický DP poskytuje rozlišení až 4096x2304 pixelů (4K x 2K, při obnovovací frekvenci 60 Hz, barevná hloubka 24 bitů) a podporuje 3D video s rozlišením 2560x1600p @ 120 Hz (WQXGA, 24 bit). [47] [49]

Varianta iDP poskytuje spojení mezi ovladačem displeje a platformou T-con⁵ uvnitř velkého displeje (např. DTV obrazovky). Stejně jako eDP nahrazuje staré systémy LVDS. Ve verzi 1.0 vydané v roce 2010 má nominální šířku pásma 3,24 Gbps na jednu trasu. Oproti DP a eDP lze použít až 16 tras s volitelnou šířkou pásma (např. 3,78 Gbps/trasa). [50]

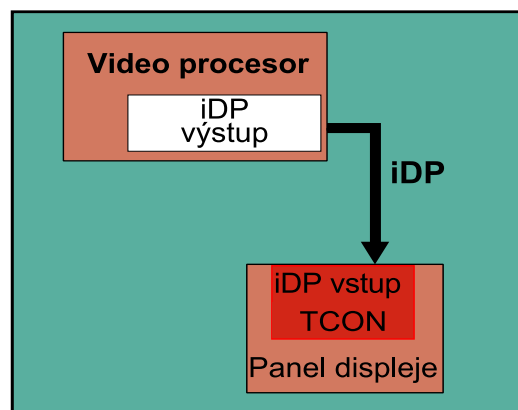
Rozdíly mezi DP, eDP a iDP jsou zobrazeny na obrázcích *Obr. 2.4* a *Obr. 2.5*. Na obrázku *Obr. 2.4* vidíme notebook s vestavěným displejem. Zde DP a eDP používají

⁵ T-con, neboli Timing controller (Ovladač časování) je polovodičové zařízení, které zpracovává přijaté video signály od systémů využívajících komplikovaný aritmetický proces, generuje řídicí signály a přenáší je k ovladačům LCD panelu.[51]

stejný DisplayPort výstup na grafické kartě nebo čipsetu. Ten je propojen v případě eDP s T-con modulem interního displeje přes vstup eDP nebo s DisplayPort výstupem na šasi notebooku pro připojení externího monitoru. Obrázek *Obr. 2.5* zobrazuje DTV systém, kde je propojen video procesor s výstupem iDP k T-con modulu s iDP vstupem. [49]



Obr. 2.4 Použití rozhraní DP a eDP v notebooku



Obr. 2.5 Použití rozhraní iDP v DTV systému

Konektory pro DP obsahují 20 pinů a vyskytují se v provedení DisplayPort (velikost přibližně jako HDMI a USB) a Mini DisplayPort. Zapojení a popis pinů konektoru DP je uveden v Příloze E. K dispozici jsou navíc adaptéry pro připojení k VGA, DVI (single link) nebo HDMI vybaveným displejům. Rychlost přenosu dat je dána použitým materiálem a délkou kabelu. Zatímco pasivní měděný kabel dokáže přenášet na 2 metry extrémně vysoké rychlosti (rozlišení 3840x2160) na 15 metrů budeme podle specifikace omezeni na 1080p. Aktivní měděný kabel může oproti tomu přenášet video o rozlišení 2560x1600 na délku až 20 metrů. A nakonec se dají použít DisplayPort kabely, používající optickou technologii, které mohou být až stovky metrů dlouhé. [52]

Použití DisplayPort má významné zastoupení především v počítačovém průmyslu při připojování PC/notebooků k externím displejům, nebo DisplayPortem vybaveným projektorům, než například v systémech domácích kin apod. Mezi největší uživatele DisplayPortu patří hlavně firma Apple, která stojí společně se společností Intel za jeho implementací s názvem Thunderbolt. Tento systém používá konektory DisplayPort a kombinuje PCI-Express a DisplayPort protokoly v jednom vysoce účinném metaprotokolu. Společnost Apple toto rozhraní instaluje především na své notebooky řady MacBook. [53]

3 HDMI

3.1 Základní informace a využití

High-Definition Multimedia Interface, neboli HDMI je digitální rozhraní vyvinuté firmami Hitachi, Panasonic, Sanyo Electric Co., Koninklijke Philips Electronics N.V., Silicon Image, Inc., Sony Corporation, Technicolor S.A. (původně Thomson) a Toshiba Corporation. Vývoj začal začátkem roku 2002 a cílem bylo vytvořit rozhraní kompatibilní s DVI, které se v té době používalo v HDTV systémech ve variantách DVI-HDCP (DVI s podporou HDCP) a DVI-HDTV (DVI-HDCP používající video standard EIA/CEA-861-B). Poprvé bylo HDMI představeno v prosinci roku 2002 ve verzi 1.0 jako standard používající menší konektor než DVI, který dokáže přenášet audio i video signály v nejvyšší možné nekomprimované kvalitě. Postupem času se stalo světovým standardem pro propojování HD spotřebních zařízení a nejnovější verze dokonce podporuje rozlišení 4k x 2k, 3D video, ethernet a dokáže přenášet až osmikanálový audio signál. Běžně se s ním setkáme u televizorů, AV receiverů, Blu-ray a DVD přehrávačů/recordérů, set-top boxů nebo herních konzol. Nyní už se montují téměř na všechny notebooky a stolní počítače, dokonce na některé mobilní zařízení nebo videokamery. [21]

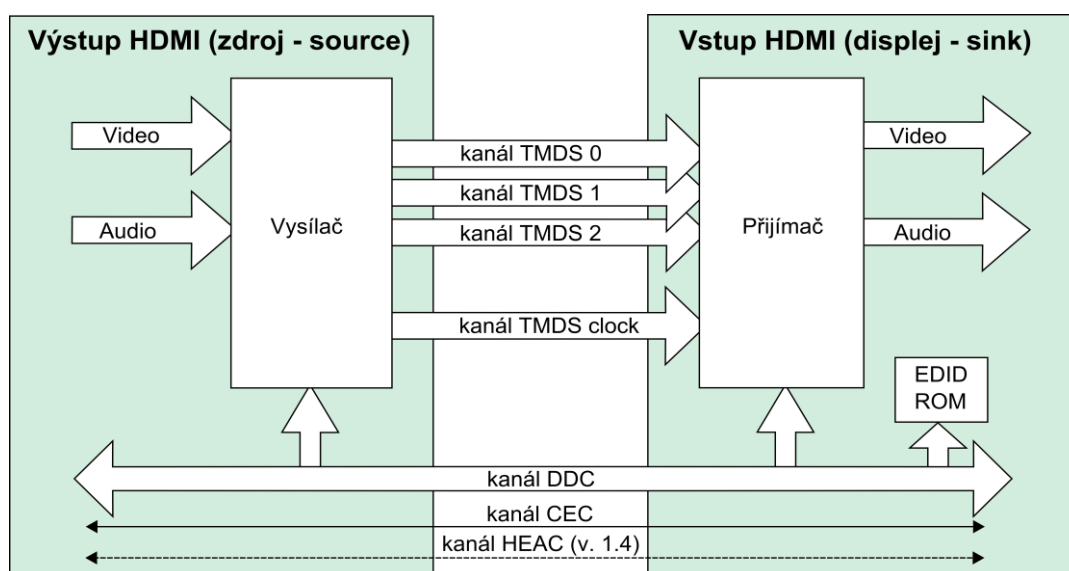
3.2 Základní Specifikace - Video a Audio

HDMI využívá a implementuje standard interoperability EIA/CEA-861-x, vytvořený asociací spotřební elektroniky (Consumer Electronics Association). Jedná se vlastně o DTV profil/specifikaci pro nekomprimované vysokorychlostní digitální rozhraní. Písmeno „x“ označuje verzi standardu. První verze HDMI 1.0 – 1.2 používaly stejně jako DVI standard EIA/CEA-861-B, zatímco nejnovější HDMI 1.4 už standard EIA/CEA-861-E. Tyto normy zavádí protokoly, požadavky, a doporučení pro využití digitálního rozhraní s nekomprimovaným přenosem dat. Definují např. požadavky na časování videa a strukturu přenosu dat, tzv. Info paket (nebo také InfoFrame paket), který se využívá při vytváření nových digitálních rozhraní pro digitální televizory nebo DTV monitory. Jednotlivá rozhraní nejsou přímo specifikována, ale každé vyvinuté rozhraní musí používat standard VESA E-EDID (Enhanced Extended Display Identification Data), který definuje soubor dat uložený v elektronických displejích. Tyto data obsahují charakteristiky a informace o funkcích, vlastnostech, časování a formátech videa, které jsou podporovány daným displejem.

Audio data jsou přenášena ve formátu Audio Sample Packet, který má podobnou strukturu a je kompatibilní se standardy IEC 60958 a IEC 61937, který se skládá například z audio formátů AC-3, MPEG audio, DTS, MPEG-2 AAC, ATRAC a WMA. HDMI tedy podporuje všechny tyto formáty, základní audio formát – nekomprimovaný stereo PCM¹ a jak již bylo zmíněno, už od verze 1.0 podporuje až osmikanálové nekomprimované 24-bitové audio (LPCM²) při vzorkovací frekvenci až 192 kHz. Později s novějšími typy HDMI přibývaly nové podporované formáty, jako Dolby TrueHD nebo DTS-HD Master Audio. Detailnější specifikace jednotlivých verzí HDMI jsou uvedeny v kapitole 3.6. [21] [27] [54] [55]

3.3 Komunikační kanály

Architektura HDMI systému se skládá z HDMI výstupu (zdrojová část – source) a HDMI vstupu (displej – sink). Každý z HDMI vstupů na zařízení musí dodržovat všechna pravidla právě pro HDMI sink a všechny výstupy pravidla pro HDMI source. Jak lze vidět na obrázku *Obr. 3.1*, základní HDMI struktura se skládá ze tří oddělených komunikačních kanálů: TMDS, DDC a volitelný CEC. Nejnovější verze přidává navíc kanály HEC a ARC (HEAC). [56]



3.1 Blokové schéma architektury HDMI [56]

¹ PCM – Pulsně kódová modulace převádí analogový audio signál do digitální podoby.

² LPCM – Jedná se o PCM s lineárním kvantováním, používanou na Stereo Audio CD s vzorkovací frekvencí 44,1 kHz a rozlišením 16 bitů.

3.3.1 TMDS

Transition Minimized Differential Signaling (TMDS) je technologie, která byla použita již v systému DVI, a která se stará o signalizaci a kódování/dekódování. Jde o protokol pro přenos vysokorychlostních dat přes měděnou kroucenou dvojlinku. Tento protokol je vybaven moderním kódovacím algoritmem, který minimalizuje elektromagnetické rušení a umožňuje rychlý a přesný přenos obrovského množství nekomprimovaných digitálních dat. Tyto kanály se používají pro přenos audia, videa a pomocných dat. Jak můžeme vidět na obrázku *Obr. 3.1*. Rozhraní HDMI obsahuje tři TMDS datové kanály a jeden samostatný kanál TMDS clock. Tento kanál konstantně „běží“ rychlostí úměrné již dříve zmíněné frekvenci obrazových bodů (pixel clock rate³) přenášeného videa. Během každého cyklu kanálu TMDS clock, každý ze tří datových kanálů přeneše 10-ti bitový charakter. Toto 10-ti bitové slovo je zakódováno pomocí jednoho z několika možných kódovacích technik. Vstupní datový tok obsahuje video pixel, datový paket a kontrolu dat. Datový paket obsahuje audio a pomocná data (auxiliary) a přidružené kódy pro opravu chyb. Datové položky vstupního toku jsou zpracovány a předloženy TMDS kodéru buď jako 2 bity kontrolních dat, 4 bity datového paketu, nebo 8 bitů video dat na každý TMDS kanál. Zdroj pak tyto data kóduje při každém hodinovém cyklu. Spojení HDMI může pracovat ve třech režimech: Video Data Period, Data Island Period a Control Period. Video Data Period je doba, kdy se přenáší aktivní pixely aktivního řádku videa. Data Island Period se používá k přenosu audia a pomocných dat. Režim Control Period se používá, když není třeba přenášet audio, video nebo pomocná data, tedy mezi Video Data Period a Data Island Period. [56] [57]

3.3.2 E-DDC

Extended Display Data Channel je rozšířený komunikační kanál DDC, který je tvořen sběrnicí I²C (inter-integrated circuit). Ta se skládá ze dvou signálových vodičů. První signálový vodič se používá pro obousměrný datový přenos (SDA - serial data) a druhým se posílá hodinový impuls (SCL - serial clock). To umožňuje přenos informací o videu z displeje do grafického adaptéru (jas, kontrast, rozlišení, atd.). Data se posílají ve formátu EDID (Extended Digital Identification Data). Tento komunikační kanál je využíváný

³ Pixel clock frequency (pixel clock rate) určuje rychlost, kterou jsou přenášeny pixely videa, které vytvoří celý obraz během jednoho obnovovacího cyklu. Určuje tedy šířku pásma potřebnou pro přenos videa o daném rozlišení, obnovovací frekvenci a barevné hloubce.

zdrojovou částí HDMI (výstupem) právě k určení možností a vlastností HDMI vstupu - displeje, pomocí čtení z datové struktury E-EDID. Od zdrojové (výstupní) části se tedy očekává, že přečte data E-EDID a bude na vstup zařízení (displeje) dodávat pouze podporované audio a video formáty. Naopak od vstupu zobrazovače se čeká, že bude detekovat paket InfoFrame a bude vhodně zpracovávat dodaná data. Data jsou synchronizována signálem SCL a časování musí být v souladu se standardním režimem specifikace I²C (maximální frekvence hodinových impulsů je 100 kHz). Datová struktura EDID je kompatibilní s již zmíněným protokolem CEA-861-x a musí být obsažena ve všech zařízeních s HDMI vstupy (displejích). CEA-861-x také specifikuje speciální paket zvaný InfoFrame. U HDMI vstupů i výstupů se vyžaduje použití dvou základních InfoFrame paketů: Auxiliary Video Information InfoFrame (AVI) a Audio InfoFrame. Ostatní InfoFrame pakety jsou volitelné. Přes AVI InfoFrame se přenáší pomocné video informace, jako je kolorimetrie, poměr stran obrazu, RGB/YC_BC_R indikace, atd. Audio InfoFrame obsahuje informace o audio - počet kanálů, typ kódování a vzorkovací frekvence. [19] [20] [56] [57]

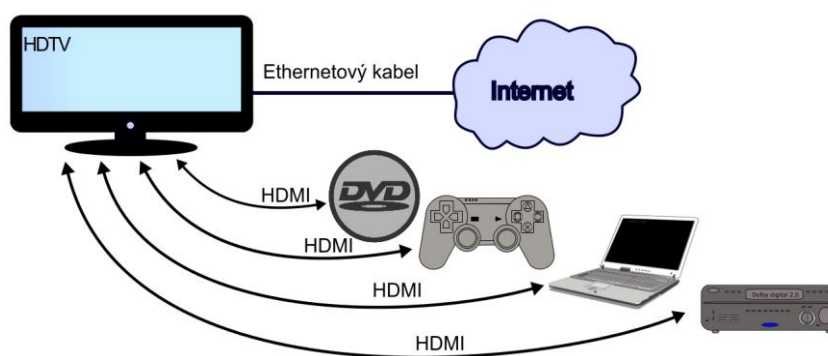
3.3.3 CEC

CEC je zkratka pro Consumer Electronics Control a jedná se o jednoduchý „lightweight“ protokol, který poskytuje vysokoúrovňové řízení funkcí mezi všemi možnými A/V přístroji v uživatelském systému. Zajišťuje automatizaci a jednoduchost například systému domácího kina (přístroje musí samozřejmě podporovat protokol CEC). Například při sledování HDTV, můžeme pomocí dálkového ovládání od televizoru přehrávat filmy, zapínat/vypínat A/V receiver, set-top box, přepínat vstupy/výstupy nebo měnit audio/video režimy. Další výhodou protokolu CEC je již zmíněná automatizace, kdy se po zapnutí tlačítka pro přehrávání na DVD přehrávači automaticky zapne A/V receiver, vybere správný vstup, poté se automaticky zapne TV, vybere správný vstup a začne přehrávání. [21] [58]

3.3.4 HEC, ARC (HEAC)

Tyto kanály jsou dostupné od verze 1.4 vydané v roce 2009. HDMI ethernetový kanál (HEC) je datový kanál, který umožňuje vysokorychlostní, obousměrné síťové spojení s rychlostí až 100 Mbps. Výhodou tohoto kanálu je bezesporu zjednodušení domácího systému odstraněním přebytečných ethernetových kabelů. Připojení k internetu stačí přivést pouze k jednomu zařízení, zbylá zařízení sdílí připojení skrz HDMI kabel (viz. Obr. 3.2). Také umožňuje šíření obsahu mezi připojenými přístroji skrz síťový systém. Oproti tomu

kanál ARC (Audio Return Channel) umožňuje televizoru posílat audio data zpět do A/V receiveru nebo do ovladače prostorového zvuku a eliminuje potřebu samostatného audio připojení (např. S/PDIF). Dříve sice televizory s vestavěným tunerem nebo DVD přehrávače uměly přijímat vícekanálový zvuk přes HDMI rozhraní, ale aby se zvuk dostal do A/V receiveru nebo reproduktorového systému, muselo se použít další samostatné rozhraní (většinou S/PDIF). Data obou kanálů jsou přenášena přes jeden diferenciální pár tzv. HEAC (HDMI Ethernet Audio Control). [21]



3.2 Sdílení internetového připojení přes HDMI [21]

3.4 HDCP a ochrana digitálního obsahu

HDCP (High-bandwidth Digital Content Protection) je technologie vyvinutá společností Intel k ochraně digitálního obsahu napříč digitálními rozhraními jako právě HDMI, DVI, nebo DisplayPort. Specifikace HDCP poskytuje vysokovýkonnou, ekonomicky výhodnou a transparentní metodu pro vysílání a přijímání digitálního multimediálního obsahu do kompatibilních digitálních displejů. V posledních letech je audiovizuální obsah stále ve větší míře distribuován spotřebitelům v digitální formě – přes internet, kabelové a satelitní sítě nebo na nosičích DVD a Blu-ray. To zapříčinilo obavu poskytovatelů těchto obsahů o neoprávněné kopírování a používání. Výsledkem bylo, že tito poskytovatelé společně s výrobcí spotřební elektroniky realizovali řadu technologií chránící přístup k hodnotným obsahům, které jsou distribuovány skrze různá média. [21] [59] [60]

HDCP (High-bandwidth Digital Content Protection) je právě součástí tohoto ochranného řetězce. Jde o poslední část v distribučním procesu – přenos obsahu z přístrojů, jako jsou DVD/Blu-ray přehrávače, set-top boxy, herní konzole nebo počítače, přes digitální rozhraní do zobrazovacích zařízení a zabraňuje jakémukoliv neoprávněnému „odchytávání“ či nahrávání datového toku. V praxi to funguje tak, že poskytovatelé např.

satelitního/kabelového signálu používají ochranné technologie (AACs/DRM) k omezení neoprávněného přístupu k přenášeným datům mezi poskytovatelem a přijímačem (set-top box, DVD/Blu-ray přehrávač, atd.). HDCP oproti tomu chrání přenos obsahu od tohoto přijímače do zobrazovacího zařízení. Některé ochranné technologie, jako je například AACs (Advanced Access Content System) používaná pro Blu-ray disky, přímo vyžaduje, aby veškerý obsah přenášený přes digitální rozhraní byl chráněn pomocí HDCP. HDCP používá k ochraně dat ověřovací a šifrovací techniky. Před odesláním chráněných dat pomocí HDCP, vysílací zařízení zahájí proces ověřování, aby potvrdilo, že přijímač je oprávněn data přijmout. Jakmile je toto ověřeno, vysílač zašifruje datový tok a odešle ho do přijímače. Každý HDCP vysílač/přijímač obsahuje čtyřicet 56-ti bitových tajných klíčů, pro které se používá název Device Private Keys (soukromé klíče zařízení). Tyto klíče poskytované organizací DCP¹ jsou pro vysílač/přijímač unikátní, přísně důvěrné a nejsou k dispozici pro jiná zařízení. Kromě toho všechny vysílače/přijímače obsahují také 20-ti bitovou hodnotu KSV (Key Selection Vector), která jednoznačně identifikuje právě HDCP vysílač nebo přijímač. Přístroje si vyměňují tyto hodnoty a používají je při ověřování a šifrování. KSV je také poskytován organizací DCP. [21] [59] [60]

3.5 Kabely a Konektory

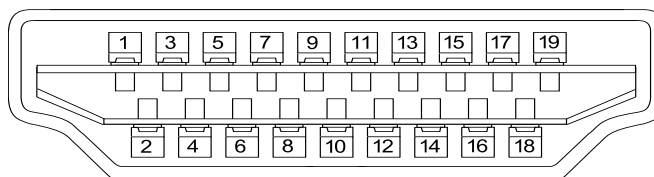
Stejně jako všechny komponenty podporující HDMI, musí být vodiče kabelu testovány, aby splňovaly normy tzv. ověřovacích zkoušek (nebo také zkoušek shody), definovaných organizací HDMI Licensing, LLC. Kabely musí úspěšně přenést signály určité síly - standardní kabely (nebo také kabely kategorie 1) musí přenést signál o šířce 74,25 MHz a rychlosti až 2,25 Gbps, což odpovídá video signálu 720p/1080i. Vysokorychlostní kabely (kat. 2) přenáší signál o 340 MHz a 10,2 Gbps. To odpovídá největší možné šířce pásma, která je u HDMI v současné době k dispozici a umožňuje zpracovávat signály s rozlišením 1080p a vyšší (např. WQXGA 2560 x 1600). Technologie HDMI používá standardní měděné vodiče. Specifikace neudávají maximální délku kabelu, ale určují požadovaný výkon kabelu. Různé kabely mohou úspěšně posílat HDMI signály na různé vzdálenosti v závislosti na kvalitě návrhu a konstrukci. Podle oficiálních stránek HDMI, standardní kabely dokázaly při testování přenášet signál na maximálně 10 metrů. Kromě kvality kabelu hraje také důležitou roli přijímač v televizoru nebo monitoru. Přijímací čipy v zobrazovacích mohou

¹ DCP (Digital Content Protection, LLC), je dceřiná společnost Intelu, která licencuje technologie pro ochranu komerčního multimediálního obsahu. [59]

obsahovat funkci „kompenzace kabelu“ (cable equalization), která je schopna kompenzovat slabší signály a tím potenciálně prodloužit délku kabelu. S vydáním HDMI 1.4 byly definovány následující kabely: Standardní, standardní s ethernetem, kabely pro automobilový průmysl, vysokorychlostní a vysokorychlostní s ethernetem. V současné době HDMI disponuje pěti druhy konektorů. Typy A a B byly definovány ve specifikaci HDMI 1.0, konektor C ve verzi HDMI 1.3 a konektory D, E v nejnovějším HDMI 1.4. [21] [56] [57]

3.5.1 Typ A

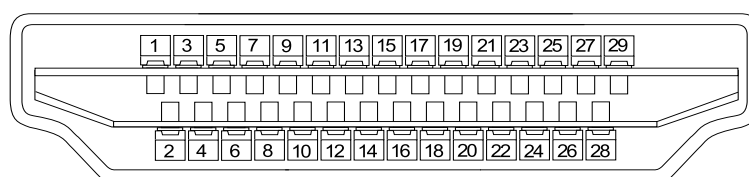
Tento 19-ti pinový konektor přenáší všechny požadované HDMI signály, včetně single link TMDS. Dokáže přenášet signál rychlostí až 165 megapixelů za sekundu a podporuje všechny módy se standardním, rozšířeným i vysokým rozlišením. Je také kompatibilní s rozhraním DVI-D single link. Na tomto konektoru si zakládá většina produktů používajících technologii HDMI. Rozměry konektoru jsou 13,9 x 4,45 mm a zapojení jednotlivých pinů je vidět na obrázku *Obr. 3.3* a v tabulce *Tab.1*. [21] [56] [57]



3.3 Konektor typu A a rozložení jeho pinů [56] [57] [61]

3.5.2 Typ B

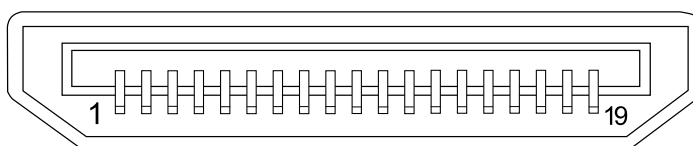
Konektor typu B je o něco větší a přenáší i druhý link TMDS, který je důležitý pro přenos velmi vysokého rozlišení do displejů podporujících spojení dual link. Obsahuje tedy šest diferenciálních párů datových vodičů TMDS (viz. *Obr. 3.4*) oproti klasickým třem a dokáže tedy přenášet dvojnásobnou šířku pásma oproti typu A. Kromě toho disponuje větší rychlostí než konektor A. Typ B je kompatibilní s DVI-D dual link. HDMI Dual link zatím nebyl použit v žádném běžném komerčním produktu. Tento konektor obsahuje 29 pinů a tím pádem musí být širší. Jeho rozměry jsou 21,2 x 4,55 mm. [21] [56] [57]



3.4 Konektor typu B a rozložení jeho pinů [56] [57] [61]

3.5.3 Typ C

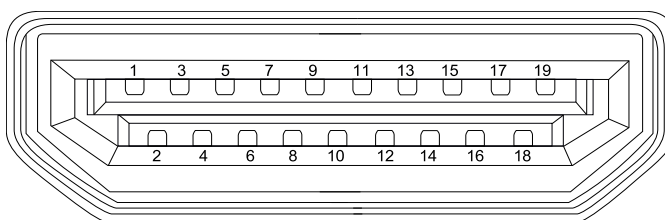
Označuje se také jako „mini“ a jde o konektor, který přenáší stejný signál jako typ A, ale je mnohem více kompaktní a navržený pro mobilní aplikace. Rozměry toho konektoru jsou 10,42 x 2,42 mm. Obsahuje také devatenáct pinů (*Obr. 3.5*), ale jejich konfigurace a rozmístění je mírně odlišné (viz. Tabulka *Tab.2*). Používají ho novější přenosné zařízení, jako jsou digitální HD videokamery. [21] [56] [57]



3.5 Konektor typu C a rozložení jeho pinů [56] [57] [61]

3.5.4 TYP D

Specifikace HDMI 1.4 zavádí nový typ konektoru - typ D, takzvaný „mikro“. Tento konektor je určený pro mobilní telefony, fotoaparáty a další kapesní a přenosná zařízení. Velikostně je srovnatelný s mikro USB konektorem a je téměř o 50% menší než konektor typu C „mini“, což odpovídá rozměrům 5,83 x 2,2 mm. Obsahuje všech 19 pinů jako ostatní HDMI konektory (*Obr. 3.6*) a poskytuje tedy stejný výkon a funkce jako klasický konektor. HDMI mikro konektor zvládne signál o rozlišení 1080p a přináší nejmodernější HD rozlišení v oblasti přenosných zařízení. [21]



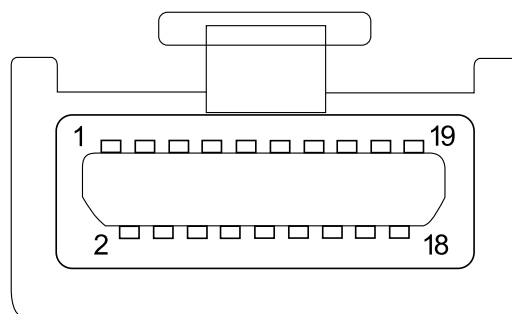
3.6 Konektor typu D a rozložení jeho pinů [21] [61]

3.5.5 TYP E

HDMI 1.4 zavádí kromě typu D také typ E. Jde o stabilní a silné propojovací systémy navržené pro automobilový průmysl. Tyto konektory jsou speciálně navrženy tak, aby splňovaly náročné podmínky na silnici a zároveň přinášely věrné HD video do displejů

v opěradlech nebo do přístrojových desek. Jde o největší konektor s rozměry 21,9 x 9,8 mm. Tento systém se skládá ze dvou součástí:

- Nový typ HDMI kabelu určený pro propojení uvnitř vozidla a testovaný speciálně pro motoristické podmínky, jako jsou vibrace a extrémní teplota.
- Nová kategorie blokovacího konektoru – typ E (Obr. 3.7) určený pro zajištění vnitřních propojení vozidla. [21]



Obr. 3.7 Konektor automobilový průmysl (typ E) a rozložení jeho pinů [21] [61]

Tab. 1 Popis pinů pro konektory typu A/E [57] [61]

| Pin | Přiřazený signál | Pin | Přiřazený signál |
|-----|--------------------------------|-----|---------------------|
| 1 | TMDS data 2+ | 2 | TMDS data 2 stínění |
| 3 | TMDS data 2- | 4 | TMDS data 1+ |
| 5 | TMDS data 1 stínění | 6 | TMDS data 1- |
| 7 | TMDS data 0+ | 8 | TMDS data 0 stínění |
| 9 | TMDS data 0- | 10 | TMDS clock + |
| 11 | TMDS clock stínění | 12 | TMDS clock - |
| 13 | CEC | 14 | Rezervní pin/HEAC+ |
| 15 | SCL | 16 | SDA |
| 17 | DDC/CEC/HEAC ¹ země | 18 | Napájení +5V |
| 19 | HPD ² /HEAC- | | |

Tab. 2 Popis pinů pro konektor C [57] [61]

| Pin | Přiřazený signál | Pin | Přiřazený signál |
|-----|---------------------|-----|--------------------|
| 1 | TMDS data 2 stínění | 11 | TMDS clock + |
| 2 | TMDS data 2+ | 12 | TMDS clock - |
| 3 | TMDS data 2- | 13 | DDC/CEC/HEAC země |
| 4 | TMDS data 1 stínění | 14 | CEC |
| 5 | TMDS data 1+ | 15 | SCL |
| 6 | TMDS data 1- | 16 | SDA |
| 7 | TMDS data 0 stínění | 17 | Rezervní pin/HEAC+ |
| 8 | TMDS data 0+ | 18 | Napájení +5V |
| 9 | TMDS data 0- | 19 | HDP/HEAC- |
| 10 | TMDS clock stínění | | |

Tab. 3 Popis jednotlivých pinů pro konektor B [57]

| Pin | Přiřazený signál | Pin | Přiřazený signál |
|-----|---------------------|-----|---------------------|
| 1 | TMDS data 2+ | 2 | TMDS data 2 stínění |
| 3 | TMDS data 2- | 4 | TMDS data 1+ |
| 5 | TMDS data 1 stínění | 6 | TMDS data 1- |
| 7 | TMDS data 0+ | 8 | TMDS data 0 stínění |
| 9 | TMDS data 0- | 10 | TMDS clock + |
| 11 | TMDS clock stínění | 12 | TMDS clock - |
| 13 | TMDS data 5+ | 14 | TMDS Data 5 stínění |
| 15 | TMDS data 5- | 16 | TMDS Data 4+ |
| 17 | TMDS data 4 stínění | 18 | TMDS Data 4- |
| 19 | TMDS data 3+ | 20 | TMDS Data 3 stínění |
| 21 | TMDS data 3- | 22 | CEC |
| 23 | Nepřipojen | 24 | Nepřipojen |
| 25 | SCL | 26 | SDA |
| 27 | DDC/CEC země | 28 | Napájení +5V |
| 29 | HDP | | |

Tab. 4 Popis jednotlivých pinů pro konektor D [61]

| Pin | Přiřazený signál | Pin | Přiřazený signál |
|-----|---------------------|-----|---------------------|
| 1 | HPD/HEAC- | 2 | Rezervní pin/HEAC+ |
| 3 | TMDS data 2+ | 4 | TMDS data 2 stínění |
| 5 | TMDS data 2- | 6 | TMDS data 1+ |
| 7 | TMDS data 1 stínění | 8 | TMDS data 1- |
| 9 | TMDS data 0+ | 10 | TMDS data 0 stínění |
| 11 | TMDS data 0- | 12 | TMDS clock + |
| 13 | TMDS clock stínění | 14 | TMDS clock - |
| 15 | CEC | 16 | DDC/CEC/HEAC země |
| 17 | SCL | 18 | SDA |
| 19 | Napájení +5V | | |

Pozn.:

- 1) Do verze HDMI 1.3 se pin číslo 17 používal pouze k přenosu signálů DDC nebo CEC. Od verze 1.4 byl přidán kanál HEAC – HDMI Ethernet Audio Control. Jde o kanál přenášející ethernetový a audio signál (viz. Kapitola 3.3.4)
- 2) HPD – Hot Plug detect - zajišťuje opětovnou inicializaci zařízení při jeho odpojení nebo připojení.

3.6 Jednotlivé verze rozhraní HDMI

3.6.1 HDMI 1.0 – 1.1

První specifikace HDMI, tedy verze 1.0 byla vydána v prosinci roku 2002 a následná verze 1.1 v květnu 2004. Tyto verze disponují datovými přenosy až 4,95 Gbps s maximální šířkou pásma 165 MHz. Kromě toho těží ze standardů vytvořených organizací CEA, přesněji standardem EIA/CEA-861-B jako rozhraní DVI a podporují tedy mnoho možností audia a videa. Již od verze 1.0 je podporován protokol CEC a technologie ochrany digitálního obsahu HDCP. V první specifikaci byl také zaveden standardní konektor typu A a dual link konektor typ B. Specifikace 1.1 se liší od 1.0 pouze nepodstatnými úpravami elektrických a mechanických specifikací a přidáním podpory pro zvukový formát DVD Audio. [21] [56] [62]

Rozhraní HDMI umožňuje přenos v podstatě libovolného video formátu. Pro zajištění vzájemné spolupráce různých zařízení, byly definovány běžné DTV formáty. Tyto formáty definují počet pixelů a řádek, časování, polohu a trvání synchronizačních pulsů a zda-li je formát prokládaný nebo postupný (progresivní). Přenášené video pixely musí být kódovány jedním ze tří možných způsobů: RGB 4:4:4, YC_BC_R 4:4:4, nebo YC_BC_R 4:2:2. Zdrojová část (výstup) HDMI určuje kódování přenášených pixelů a video formátů na základě vlastností zdrojového videa, možností jeho kódování a možností kódování a preferencí HDMI vstupu (Sink). Následující seznam zobrazuje běžné podporované DTV formáty definované ve standardu EIA/CEA-861-B. [21] [56] [62]

Základní podporované DTV formáty:

- 640x480p @ 59.94/60 Hz
- 1280x720p @ 59.94/60 Hz
- 1920x1080i @ 59.94/60 Hz
- 720x480p @ 59.94/60 Hz
- 720(1440)x480i @ 59.94/60 Hz
- 1280x720p @ 50 Hz
- 1920x1080i @ 50 Hz
- 720x576p @ 50 Hz
- 720(1440)x576i @ 50 Hz

Doplňkové podporované DTV formáty:

- 720(1440)x240p @ 59.94/60 Hz
- 2880x480i @ 59.94/60 Hz
- 2880x240p @ 59.94/60 Hz
- 1440x480p @ 59.94/60 Hz
- 1920x1080p @ 59.94/60 Hz
- 720(1440)x288p @ 50 Hz
- 2880x576i @ 50 Hz
- 2880x288p @ 50 Hz
- 1440x576p @ 50 Hz
- 1920x1080p @ 50 Hz
- 1920x1080p @ 23.98/24 Hz
- 1920x1080p @ 25Hz/29.97/30 Hz

HDMI 1.0 a 1.1 přenášet kromě těchto standardních formátů v podstatě video jakéhokoliv rozlišení, například UXGA (1600x1200), používané pro monitory s poměrem stran 4:3. S ohledem na maximální přenosovou rychlost (šířku pásma) je nejvyšší možné rozlišení pro tyto verze omezeno na 1920x1200 @ 60 Hz (WUXGA, poměr stran 16:10). Maximální podporovaná barevná hloubka je 24 bitů.

Už od samého začátku umožňovalo HDMI přenášet nekomprimované 24-bitové LPCM audio o vzorkovacím kmitočtu 32 kHz, 44.1 kHz, 48 kHz, 88.2 kHz, 96 kHz, 176.4 kHz nebo 192 kHz a všechny komprimované audio signály za použití standardů IEC 60958 nebo IEC 61937. Varianty 1.0 až 1.1 tedy umožňují přenos formátů jako MPEG, DTS (Digital Theater System), Dolby Digital 5.1 a samozřejmě MP3 nebo WMA. Verze HDMI 1.1 navíc přidává podporu formátu DVD audio (DVD-A), která vlastně „otevřela dveře“ přenosu prostorového zvuku kódovanému v Dolby AC3 a dalším formátům. [21] [56] [62]

3.6.2 HDMI 1.2 – 1.2a

Specifikace 1.2 byla vydána v srpnu 2005 a přibližně o 4 měsíce déle, v prosinci roku 2005, byla vydána verze 1.2a. Stejně jako první dvě verze i tyto specifikace umožňují datové přenosy až 4,95 Gbps s maximální šířkou pásma 165 MHz a používají standard EIA/CEA-861-B. HDMI 1.2 nabízí několik změn k lepší podpoře počítačového průmyslu, včetně drobných modifikací elektrických specifikací pro zajištění kompatibility HDMI přijímačů s nízkonapěťovými vysílači (zdroji), jako jsou vysílače v integrovaných grafických čípech nebo PCI-Express. Jde tedy hlavně o lepší podporu pro počítače s rozhraním HDMI, včetně dostupnosti nejrozšířenějšího konektoru typu A pro všechny počítačové HDMI výstupy a displeje a plnou podporu PC formátů. Umožňuje také počítačům používat jejich nativní RGB barevný prostor (model) při zachování možnosti podpory barevného prostoru $YCbCr$, který HDMI defaultně využívá. [21] [63]

Verze HDMI 1.2a nově specifikuje funkci CEC, sady jejích příkazů a testování shody tohoto protokolu. Zavádí také specifikaci HDMI ověřovacích zkoušek (testování shody) - HDMI CTS 1.2a (Compliance Test Specification), která obsahuje právě i doplněk CEC. Kromě toho CTS 1.2a zavádí dodatečné testy kabelů a konektorů a požadavky na autorizovaná zkušební centra (ATC – Authorized Testing Center). HDMI CTS 1.2a byla aktualizována, aby byla technicky kompatibilní s verzí HDMI 1.2 i 1.2a. [21] [63]

Jelikož HDMI 1.2 (resp. 1.2a) disponuje stejným maximálním datovým tokem jako předchozí verze, podporuje maximální rozlišení 1920x1600p @ 60 Hz při barevné hloubce 24 bitů. Jediná změna nastala v doplňkových DTV profilech, kde přibyla podpora několika následujících formátů:

- 2880x480p @ 59.94/60 Hz
- 2880x576p @ 50 Hz
- 1920x1080i (1250 total) @ 50 Hz
- 720(1440)x480i @ 119.88/120 Hz
- 720x480p @ 119.88/120 Hz
- 1920x1080i @ 119.88/120 Hz
- 1280x720p @ 119.88/120 Hz
- 720(1440)x480i @ 239.76/240 Hz
- 720x480p @ 239.76/240 Hz
- 720(1440)x576i @ 100 Hz
- 720x576p @ 100 Hz
- 1920x1080i @ 100 Hz
- 1280x720p @ 100 Hz
- 720(1440)x576i @ 200 Hz
- 720x576p @ 200 Hz

HDMI ve variantách 1.2 a 1.2a nabízí kromě původních podporovaných formátů navíc podporu jednobitových audio formátů (One Bit Audio) jako je formát DSD (Direct Stream Digital) používaný pro nosiče Super Audio CD (SACD, SA-CD). [21] [63]

3.6.3 HDMI 1.3 – 1.3a

Zavedení verze 1.3 v červnu 2006 přineslo již podstatnější změny, jako je vyšší rychlost přenosu dat, funkci Deep ColorTM a Lip Sync (synchronizace audia s videem), širší barevný prostor a podpora nových bezeztrátových audio formátů. HDMI 1.3 má více jak dvojnásobnou šířku pásma, která byla navýšena z původních 165 MHz na 340 MHz. To má samozřejmě vliv i na vyšší rychlost datového toku, který se zvýšil ze 4,95 Gbps na 10,2 Gbps. Zvýšením rychlosti a šířky pásma, přibyla podpora displejů s vysokým rozlišením. Tato verze také aktualizovala používaný standard EIA/CEA-861-B na EIA/CEA-861-D. Mezi běžné podporované DTV video profily přibyly pouze tři formáty:

- 720(1440)x576i @ 200 Hz
- 720x480p @ 239.76 Hz/240 Hz
- 720(1440)x480i @ 239.76 Hz/240 Hz

V této specifikaci se také zavádí nový mini konektor typu C pro přenosná zařízení, který je používán například HD kamerami a je kompatibilní s typem A. Kromě konektorů také verze 1.3 nově definuje dvě kategorie HDMI kabelů:

- kategorie 1 - standardní kabely (až 74,25 MHz)
- kategorie 2 - vysokorychlostní kabely (až 340 MHz) [21] [57]

Varianta HDMI 1.3a, která vyšla v listopadu 2006, modifikovala konektor typu C, protokol CEC, jeho příkazy a kapacitní limity a upřesnila platný kvantizační rozsah RGB videa. Pro koncového uživatele však žádné podstatné změny. V průběhu let 2007 – 2008 byly ještě vydané specifikace pro testování shody CTS ve verzích 1.3b, 1.3b1 a 1.3c, nejedná se ale o specifikace HDMI, jak je často milně uváděno. [21] [57]

Jak je uvedeno výše, specifikace 1.3 podporuje funkci Deep Color™. V praxi to znamená, že HDMI podporuje i barevnou hloubku o 10-ti, 12-ti a 16-ti bitech (RGB i $YC_{B}C_{R}$) na jeden kanál TMDS oproti původní osmibitové barevné hloubce. Maximální barevná hloubka je tedy 48 bitů (3 kanály TMDS), což zajišťuje vynikající vykreslování více jak miliardy barev ve velkých detailech. Deep Color™ také eliminuje výskyt barevných pruhů na obrazovce pro plynulé a hladké barevné přechody. Také umožňuje zvýšení kontrastního poměru a zobrazení více odstínů šedé. Pro každý mód Deep Color™ musí být podporováno kódování RGB 4:4:4 ($YC_{B}C_{R}$ 4:4:4 je volitelné). Kódování $YC_{B}C_{R}$ 4:2:2 pro vyšší barevnou hloubku než 24 bitů již podporováno není. HDMI 1.3 také rozšířilo barevný prostor a přidává podporu pro barevný model x.v.Color™ (komerční název pro standard IEC 61966-2-4 xvYCC). Nová generace xvYCC barevného prostoru umožňuje zobrazení téměř dvakrát více barev, než obsahovaly stávající HDTV signály. Toto rozšíření odstraňuje původní omezení barevného prostoru a umožňuje zobrazovat všechny lidským okem viditelné barvy. Maximální možné rozlišení přenášeného signálu je závislé na obnovovací frekvenci, bitové hloubce, šířce pásma a také musíme brát v úvahu 10-ti bitové kódování TMDS kanálu (konstanta 10/8). Zda nám tedy dokáže HDMI přenést video s požadovaným rozlišením a obnovovací frekvencí zjistíme jednoduchým výpočtem:

(Celkový počet pixelů včetně zatemňovacích) x obnovovací frekvence x barevná hloubka x (10/8) = požadovaná šířka pásma

$$\text{Př.: } (1920 + 280) \times (1080 + 45) \times 60 \times 24 \times (10/8) = 4,46 \text{ Gbps}$$

Například tedy pro video 1920x1080p @ 60 Hz, 24-bit vyjde potřebná šířka pásma 4,46 Gbps (148,5 MHz), pro 48-bitové video bude potřebná přenosová rychlost 2x taková, tedy 8,91 Gbps. Díky více jak dvojnásobné šířce pásma oproti verzím 1.0 – 1.2a dokáže přenášet video s rozlišením až 2560x1600p @ 75 Hz (WQXGA) při barevné hloubce 24 bitů,

nebo 2560x1600p @ 75 Hz, 30 bit. Pro 36-ti bitovou barevnou hloubku poskytuje rozlišení 1920x1200p @ 75 Hz a pro 48-bitové video 1920x1080p @ 60 Hz. [21] [57] [64] [65]

HDMI 1.3 přidává navíc k původním možnostem přenosu podporu pro nové digitální audio formáty s bezztrátovou kompresí – Dolby TrueHD a DTS-HD Master Audio™ (audio formáty pro HD-DVD a Blu-ray). Kromě toho přibyl také formát DST (Direct Stream Transfer), který využívá metodu bezztrátové komprese ke zmenšení požadované šířky pásma původně nekomprimovaného formátu DSD. Používá se tedy jako DSD v Super Audio CD. [21] [57]

3.6.4 HDMI 1.4 – 1.4a

S vydáním HDMI 1.4 v květnu roku 2009 přišla téměř malá revoluce tohoto rozhraní. Mezi nejvýznamnější vylepšení patří zejména podpora 3D video formátů, rozlišení 4K, další rozšíření barevných prostorů a zavedení ethernetového a zpětného audio kanálu (viz. kapitola 3.3.4). Dále verze 1.4 nabízí funkci Content Type (nastavení typu obsahu), která umožňuje jednoduché, automatické nastavení obrazu bez nutnosti zásahu uživatele. Díky této funkci displej automaticky vybere správný režim zobrazení tak, aby odpovídal obsahu právě přijímanému ze zdrojového zařízení. Také přepíná režimy pokaždé, když se zdrojový obsah změní. Content type obsahuje profily pro hraní her, sledování filmů nebo fotografií a pro prohlížení textového obsahu. Tato verze opět implementovala používaný standard, tentokrát z EIA/CEA-861-D na EIA/CEA-861-E. HDMI 1.4 také přineslo dva nové konektory (typ D, E - viz kapitoly 3.5.4, 3.5.5) a zavedlo nová pravidla v označování verzí HDMI. Od listopadu 2009 se již nesmí používat označení verzí v popisech HDMI kabelů, jejich obalech nebo propagačních materiálech. Pro ostatní produkty používající HDMI rozhraní toto nařízení platí od 1. ledna 2012. Nové označení pro HDMI kabely a produkty:

- STANDARD HDMI
- STANDARD HDMI s ETHERNETEM
- HIGH SPEED HDMI (vysokorychlostní)
- HIGH SPEED HDMI s ETHERNETEM
- STANDARD AUTOMOTIVE HDMI (pro automobilový průmysl).

Verze 1.4a vydaná v březnu 2010 obsahuje komplexnější specifikaci pro podporu 3D videa pro televizní vysílání, herní a filmový průmysl. [21]

Největší změnou v přenášených video formátech bylo samozřejmě podpora 3D videa. HDMI 1.4 definuje běžné 3D formáty s rozlišením až 1080p a podporou několika různých 3D technik (popis technik viz. Příloha F). Mezi tyto metody patří:

- Field alternative
- Frame alternative
- Line alternative
- Side-by-side (full/half)
- 2D-plus-Depth

Verze 1.4a potom přidává metody top-and-bottom a side-by-side horizontal a hlouběji specifikuje 3D formáty a metody pro různá použití:

- Sledování filmů – Frame packing, 1080p @ 23.98/24 Hz
- Herní obsah – Frame packing, 720p @ 50/59.94/60 Hz
- TV vysílání – Side-by-side horizontal, 1080i @ 50/59.94/60 Hz nebo Top-and-bottom, 720p při frekvenci 50/59.94/60 Hz a 1080p @ 23.97/24 Hz.

Další významnou novinkou je přenos videa o rozlišení až 4096x2160p @ 24 Hz nebo 3840x2160p @ 24 Hz/25 Hz/30 Hz při barevné hloubce až 36 bitů. Pro barevnou hloubku 48 bitů lze přenést video maximálně o rozlišení 1920x1200p @ 60Hz. Šířka pásma je stejná jako u předchozí verze 340 MHz (10,2 Gbps). Kromě stávajících podporovaných barevných modelů (RGB, x.v.Color), přibyla podpora pro barevné prostory sYCC601 color, Adobe RGB color a Adobe YCC601 color, používané v digitálních fotoaparátech. Tyto modely umožňují zobrazení bohatých, přirozených a živých barev z fotoaparátu na HD displeji. Primární a volitelné podporované DTV profily odpovídají předchozí verzi, nicméně kvůli podpoře 3D videa, byly definovány následující podporované základní 3D formáty:

- 1280x720p @ 59.94/60 Hz (Frame Packing, Side-by-Side(Half), Top-and-Bottom)
- 1280x720p @ 50 Hz (Frame Packing, Side-by-Side(Half), Top-and-Bottom)
- 1280x720p @ 23.98/24 Hz (Frame Packing)
- 1280x720p @ 29.97/30 Hz (Frame Packing)
- 1920x1080i @ 59.94/60 Hz (Frame Packing, Side-by-Side(Half))
- 1920x1080i @ 50 Hz (Frame Packing, Side-by-Side(Half))
- 1920x1080p @ 23.98/24 Hz (Frame Packing, Side-by-Side(Half), Top-and-Bottom)
- 1920x1080p @ 29.97/30 Hz (Frame Packing, Top-and-Bottom)
- 1920x1080p @ 59.94/60 Hz (Top-and-Bottom)
- 1920x1080p @ 50 Hz (Top-and-Bottom)

Stejně jako klasické DTV profily i 3D profily obsahují seznam volitelných (sekundárních) profilů. Tyto 3D video formáty obsahuje Příloha G. V audio formátech žádná nová podpora nepřibyla, jelikož HDMI již od specifikace 1.3 podporuje drtivou většinu běžně dostupných audio formátů. [21] [68]

3.6.5 Srovnání jednotlivých verzí

Z předchozích kapitol můžeme vidět, že varianty 1.0 až 1.2a se lišily v podstatě pouze podporou audio formátů. Jinak šířka pásma a přenosová rychlost byly stejné – 165 MHz a 4,65 Gbps. To umožňovalo přenos HDTV video formátů (720p, 1080p, 1080i) při barevné hloubce maximálně 24 bitů. Větší změny přinesla specifikace 1.3, která přišla s větší šířkou pásma a přenosovou rychlostí (340 MHz/10,2 Gbps), tím pádem podporovala i vyšší rozlišení. Tato verze také rozšířila barevný prostor o model x.v.Color, zavedla podporu nových bezztrátově komprimovaných audio formátů a také umožnila přenos videa s větší barevnou hloubkou díky funkci Deep Color™. Poslední verze HDMI 1.4 používá stejnou šířku pásma a přenosovou rychlost jako předchozí varianta, nicméně přinesla podporu ultra vysokého rozlišení až 4k x 2k a podporu 3D videa. Varianta 1.4 opět rozšiřuje barevný prostor a také definuje nové kanály ve struktuře HDMI rozhraní, kterými jsou HEC (ethernetový kanál) a ARC (zpětný audio kanál). Od této poslední specifikace se také nesmí označovat HDMI produkty verzí, ale slovním popisem. Pro lepší porovnání jsem vybral nejdůležitější funkce a vlastnosti jednotlivých verzí a srovnal je do tabulky. Tabulka *Tab. 5* nabízí srovnání maximálních parametrů jednotlivých verzí a tabulka *Tab. 6* zobrazuje možnosti a funkce jednotlivých verzí a je zde i patrné, jaké nové funkce přinesla každá verze.

Tab. 5 Srovnání maximálních parametrů jednotlivých verzí HDMI [21] [56] [57] [62] [63] [66]

| Verze HDMI | 1.0-1.2a | 1.3,1.3a | 1.4,1.4a |
|--------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Max. šířka pásma [MHz] | 165 | 340 | 340 |
| Max. přenosová rychlost [Gbps] | 4,95 | 10,2 | 10,2 |
| Max. hloubka barev [bit] | 24 | 48 | 48 |
| Max. rozlišení (24 bitů) | 1920x1200p@60Hz | 2560x1600p@75Hz | 4096x2160p@24Hz |
| Max. rozlišení (30 bitů) | x | 2560x1600p@60Hz | 4096x2160p@24Hz |
| Max. rozlišení (36 bitů) | x | 1920x1200p@75Hz | 4096x2160p@24Hz |
| Max. rozlišení (48 bitů) | x | 1920x1200p@60Hz | 1920x1200p@60Hz |

Tab. 6 Srovnání funkcí jednotlivých verzí rozhraní HDMI [21] [56] [57] [62] [63] [66]

| Verze HDMI | 1.0 | 1.1 | 1.2 1.2a | 1.3 | 1.3a | 1.4 1.4a |
|---|-----|-----|-------------|-----|------|-------------|
| Barevný model sRGB | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| Barevný model YC _B C _R | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| LPCM audio, 8 kanálů, 192 kHz, 24 bit | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| HDTV video formáty (720p, 1080p, 1080i) | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| Protokol CEC | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| MPEG, DTS, Dolby Digital 5.1 | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| MP3, WMA | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| DVD Audio, AC3 | X | OK | OK | OK | OK | OK |
| DSD audio formát (Super Audio CD - SACD) | X | X | OK | OK | OK | OK |
| DST audio formát (SACD) | X | X | X | OK | OK | OK |
| Dolby TrueHD | X | X | X | OK | OK | OK |
| DTS-HD Master Audio™ | X | X | X | OK | OK | OK |
| Lip Sync (synchronizace audia a videa) | X | X | X | OK | OK | OK |
| Barevný model xvYCC (x.v.Color) | X | X | X | OK | OK | OK |
| Deep Color™ (barevná hloubka videa až 48 bit) | X | X | X | OK | OK | OK |
| Rozšířená podpora CEC protokolu | X | X | X | X | OK | OK |
| Barevný model sYCC601 | X | X | X | X | X | OK |
| Barevný model Adobe RGB, Adobe YCC601 | X | X | X | X | X | OK |
| Content type (nastavení obrazu podle typu obsahu) | X | X | X | X | X | OK |
| Ethernetový a zpětný audio kanál | X | X | X | X | X | OK |
| Ultra vysoké rozlišení 4k x 2k | X | X | X | X | X | OK |
| 3D video | X | X | X | X | X | OK |

3.6.6 Srovnání – HDMI 1.4a, DisplayPort 1.2 a DVI-D Dual link

Pro lepší orientaci v digitálních multimediálních propojovacích systémech jsem porovnal základní a maximální parametry nejnovějšího rozhraní HDMI 1.4a (podle nového označení vysokorychlostní HDMI s ethernetem) s rozhraním DisplayPort 1.2 a DVI-D Dual link. Z hlediska maximální přenosové rychlosti a tedy i maximálního rozlišení je na tom nejlépe rozhraní DisplayPort, které od verze 1.2 nabízí přenos dat rychlostí až 21,6 Gbps. Díky tomu dokáže přenášet video signál 4096x2160p @ 60 Hz, 24 bit. HDMI 1.4a a DVI-D jsou na tom, co se týče šířky pásma podobně, DVI-D ale oproti HDMI nedokáže přenášet video s ultra vysokým rozlišením 4k x 2k. Všechna rozhraní „zvládnou“ barevnou hloubku až 48 bitů a všechna podporují ochranu digitálního obsahu HDCP. DisplayPort kromě toho obsahuje navíc volitelnou ochranu DPCP (DisplayPort Content Protection). Jelikož je HDMI v podstatě přímým nástupcem DVI, funguje na stejné struktuře TMDS. Oproti tomu rozhraní DP využívá strukturu PCI-Express. Detailnější parametry viz. tabulka *Tab. 7*. Co se týče funkcí, soupeří spolu pouze HDMI a DisplayPort. DVI jako zastaralé rozhraní hodně zaostává. Všechna srovnávaná rozhraní podporují standardní HDTV formáty (1080p, 720p, 1080i), nicméně DVI už neumožňuje přenos zvukového signálu. HDMI i DisplayPort podporují přenos 3D videa a použití rozšířených barevných modelů. DP je stejně jako HDMI vybavena funkcí LipSync, neboli audio/video synchronizací. Nevýhodou DisplayPortu je, že neobsahuje ethernetový a zpětný audio kanál. Naopak velkou výhodou je technologie multistream, která umožňuje přes jedno rozhraní DP přenášet signály do čtyř monitorů s rozlišeními až 1920x1200 pixelů. DP obsahuje také pomocný kanál AUX pro binární přenos dat s rychlostí až 720 Mbps. Kromě toho se implementace DP (eDP, iDP) jako jediné z těchto rozhraní používá pro integrované aplikace jako náhrada starých LVDS systémů. Pro lepší přehlednost jsou podporované funkce zobrazeny v tabulce *Tab. 8*. Každé rozhraní má své výhody a nevýhody. DVI-D neobsahuje tolik funkcí a nepodporuje taková rozlišení, ale stále se hojně používá v počítačovém průmyslu. DisplayPort i navzdory poskytovanému rozlišení a technologii multistream zůstává trochu ve stínu HDMI. Jak již bylo psáno v kapitole 2.3, největším uživatelem je firma Apple, která toto rozhraní využívá na svých produktech. Nejpoužívanějším rozhraním je dnes bezesporu právě HDMI, které se používá především v komerční sféře pro propojování téměř veškeré A/V techniky. Dnes má již využití i v počítačovém průmyslu, kde nahrazuje starší DVI systémy. [21] [30] [39] [41] [48] [67]

Tab. 7 Srovnání základních a maximálních parametrů [21] [39] [41] [67]

| Parametry | HDMI 1.4a | DisplayPort 1.2 | DVI-D Dual link |
|--------------------------------|-------------------------------------|---|------------------------------------|
| Max. šířka pásma | 340 MHz | cca 750 MHz | 330 MHz |
| Max. rychlost přenosu | 10,2 Gbps | 21,6 Gbps | 9,6 Gbps |
| Max. hloubka barev | 48 bit | 48 bit | 48 bit |
| Max. rozlišení (24 bit) | 4096x2160p @ 24 Hz | 4096x2160p @ 60 Hz | 3840x2400p @ 33 Hz |
| Max. rozlišení (30 bit) | 4096x2160p @ 24 Hz | 2560x1600p @ 120 Hz | 1920x1200p @ 60 Hz |
| Max. rozlišení (36 bit) | 4096x2160p @ 24 Hz | 2560x1600p @ 60 Hz | 1920x1200p @ 60 Hz |
| Max. rozlišení (48 bit) | 1920x1200p @ 60 Hz | 2560x1600p @ 60 Hz | 1920x1200p @ 60 Hz |
| Používaná elektrická struktura | TMDS (3 dat. kanály + kanál clock) | PCI-Express (1, 2, 4 dat. trasy včetně clock) | TMDS (6 dat. kanálů + kanál clock) |
| Ostatní kanály | CEC, DDC, HEAC | AUX 1 Mbps/720 Mbps | DDC |
| Kódování pixelů | RGB, YC _B C _R | RGB, YC _B C _R | RGB |
| Ochrana digitál. obsahu | HDCP | HDCP/DPCP | HDCP |

Tab. 8 Srovnání základních vybraných funkcí [21] [39] [41] [67]

| Funkce a podpora | HDMI 1.4a | DisplayPort 1.2 | DVI-D Dual link |
|--|-----------|-----------------|-----------------|
| Podpora HDTV video formátů | OK | OK | OK |
| Barevný prostor sRGB | OK | OK | OK |
| Barevné prostory xvYCC | OK | OK | OK |
| Barevný prostor YC _B C _R | OK | OK | X |
| Podpora přenosu audio signálu | OK | OK | X |
| LPCM, 8 kanálů, 192 kHz, 24 bit | OK | OK | X |
| Podpora 3D videa | OK | OK | X |
| Funkce LipSync | OK | OK | X |
| Zpětný audio kanál | OK | X | X |
| Ethernetový kanál | OK | X | X |
| Technologie Multistream | X | OK | X |
| Integrované aplikace | X | OK | X |

Závěr

Bakalářská práce se zabývá propojovacími systémy pro multimediální techniku. V první části se věnuje analogovým rozhraním, od klasického audio kabelu až po nejpoužívanější analogový systém SCART. Druhá část popisuje digitální rozhraní, přesněji audio rozhraní S/PDIF a AES3, video rozhraní DVI a nejmladší A/V rozhraní DisplayPort. Nejobsáhlejší částí je kapitola 3, která se zabývá rozhraním HDMI. Nejprve se dozvídáme, že HDMI stejně jako DVI používá standard interoperability EIA/CEA-861 a elektrickou strukturu TMDS. Dále je popsána základní architektura tohoto rozhraní (viz *Obr. 3.1*), která se skládá z vysílací části (výstup - source) a přijímací části (vstup - sink - displej). Tyto části jsou spojeny komunikačními kanály TMDS (3x TMDS data + 1x TMDS clock), kanály E-DDC, CEC a od varianty 1.4 navíc kanálem HEAC (ethernet a zpětný audio kanál). Následuje ochrana digitálního obsahu HDCP - její popis a funkce. Dále se tato práce věnuje kabelům a konektorům. Kabely jsou děleny do dvou kategorií: kategorie 1 (74.25 MHz, 2.25 Gbps) a kategorie 2 (340 MHz, 10.2 Gbps). Od nejnovější verze je dostupných 5 typů konektorů. Nejrozšířenější typ A, zatím nepoužitý dvou linkový typ B, mini konektor typu C, mikro konektor D a nakonec konektor pro automobilový průmysl typ E. Jednotlivé vydané varianty rozhraní HDMI najdeme v kapitole 3.6. Srovnání jejich parametrů a funkcí názorně ukazují tabulky *Tab. 5* a *Tab. 6*. Z nich můžeme vyčíst, že největší změny přinesly specifikace 1.3 a 1.4. Verze 1.3 přišla s dvojnásobnou šířkou pásma a tím pádem i s větším podporovaným rozlišením a větší bitovou hloubkou, přinesla podporu nových bezeztrátových audio formátů a rozšířila používané barevné prostory. Se zavedením HDMI 1.4 přibyl užitečný ethernetový a zpětný audio kanál HEAC, podpora 3D videa a ultra vysokého rozlišení 4k x 2k. Tato verze také zavedla nové označování HDMI produktů. Nyní už se nepopisuje rozhraní HDMI pomocí verzí, nýbrž slovním popisem. Existuje tedy 5 různých HDMI systémů: Standardní, standardní s ethernetem, vysokorychlostní, vysokorychlostní s ethernetem a HDMI pro automobilový průmysl.

Nejnovější verze HDMI tedy podporuje přenos 3D videa, ultra vysokého rozlišení (až 4096x2160p @24 Hz, 24 bit), barevnou hloubku až 48 bitů s funkcí Deep Color™, drtivou většinu audio formátů (MPEG, DTS, DD 5.1, DSD, DST, MP3, WMA, FLAC, Dolby TrueHD, DTS-HD Master Audio™, atd.), protokol CEC, funkci LipSync a obsahuje zpětný audio a ethernetový kanál.

Na závěr jsem uvedl srovnání nejnovější verze HDMI s nejnovějším rozhraním DisplayPort 1.2 a se systémem DVI-D (dual link). Z tabulek *Tab.7* a *Tab. 8* vidíme, že DVI nemůže HDMI konkurovat. Oproti tomu DP nabízí některé výhody, mezi které patří technologie multistream a hlavně více jak dvojnásobná přenosová rychlost dat, která umožňuje přenos videa o rozlišení až 4096x2160p při obnovovací frekvenci 60 Hz a hloubce 24 bitů. Navzdory těmto výhodám zůstává DP v pozadí a využívá ho především firma Apple (přesněji jeho modifikaci Thunderbolt).

HDMI je tedy dnes nejpoužívanější rozhraní, které má využití především v komerční A/V technice pro propojování HDTV s A/V receivery, DVD a Blu-ray přehrávači/recordéry, set-top boxy, multimediálními centry, nebo s herními konzolemi. Nyní už se používá i v počítačovém průmyslu jako náhrada za DVI a je montováno téměř na každý nový notebook i stolní PC. Mini a mikro konektory navíc přidávají možnost využití HDMI rozhraní pro mobilní zařízení, jako jsou kamery, mobilní telefony a fotoaparáty.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Component Video. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Component_video
- [2] VGA. In: *TechTerms: The Tech Terms Computer Dictionary* [online]. 2013 [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: <http://www.techterms.com/definition/vg> a
- [3] TIŠNOVSKÝ, Pavel. Od grafického adaptéru VGA ke kartám SVGA. In: *Root* [online]. 3. 12. 2009 [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/od-grafickeho-adapteru-vga-ke-kartam-svga/>
- [4] System information - VGA Cards. *IDP.net* [online]. 1995-2013 [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: <http://www.idp.net/sysinfo/vgacards.asp#3>
- [5] What is the difference between VGA, SVGA and UXGA, and does L-com sell cables for each?. In: *L-COM: Global Connectivity* [online]. [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: <http://www.l-com.com/what-is-the-difference-between-vga-svga-and-uxga-and-does-l-com-sell-cables-for-each>
- [6] KUCHAR, Martin. Jak na to? Propojení PC s TV. In: *PC Tuning* [online]. 4. 12. 2008 [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: <http://pctuning.tyden.cz/software/jak-a-kde-co-pripojit/12157-jaknatopropojenipcstv>
- [7] YUV Definition. In: *PCMAG.COM: PC Magazin* [online]. 1981- 2013 [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: <http://www.pcmag.com/encyclopedia/term/55165/yuv>
- [8] Composite video definition. In: *PCMAG.COM: PC Magazine* [online]. 1981- 2013 [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: <http://www.pcmag.com/encyclopedia/term/40120/composite-video>
- [9] Composite Video. In: *SVĚT HARDWARE: ... vše ze světa počítačů* [online]. 1998-2012 [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: <http://www.svethardware.cz/glos.jsp?doc=AA13573F91616631C1257349003A6F35>
- [10] MILLER, Kevin. Video connections. In: *Cnet.com* [online]. 31. 8. 2008 [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: http://reviews.cnet.com/4520-6463_7-5020551-1.html
- [11] S-video definition. In: *PCMAG.COM: PC Magazin* [online]. 1981- 2013 [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: <http://www.pcmag.com/encyclopedia/term/50751/s-video>
- [12] *Computer: Srozumitelný počítačový čtrnáctideník* [online]. Computer Press, a. s., 9. 12. 2004, roč. XI, č. 23/04 [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: <http://www.zive.cz/Files/ArchivCasopisu/Computer/pdf/0423.pdf>
- [13] YPbPr Definition. In: *PCMAG.COM: PC magazine* [online]. 1981- 2013 [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: <http://www.pcmag.com/encyclopedia/term/55163/ypbpr>
- [14] PEREZ, Joey. What Is an RGB Cable ?. In: *EHow: Discover the expert in you* [online]. Salt Lake City, UT: eHow, inc.1999-2013 [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: http://www.ehow.com/about_5098860_rgb-cable.html
- [15] Composite Video. In: *Sewell Direct: Connect Anything* [online]. 2013 [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: <http://sewelldirect.com/articles/composite.aspx>
- [16] SMART, Robert. What cable to choose - HDMI, SCART, or SCART/RCA?. In: *Digotv.eu* [online]. 30. 11. 2011 [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: <http://www.digotv.eu/en/posts/8/what-cable-to-choose-hdmi-scart-or-scart-rca>
- [17] SCART. In: *DigiZone.cz: nejlepší web o televizi a digitálním vysílání* [online]. 2005 - 2013 [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: <http://www.digizone.cz/slovnicek/scart/>

- [18] WILEY, Craig. DisplayPort Technical Overview. In: *Www.vesa.org* [online]. Las Vegas, 10.1.2011 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: <http://www.vesa.org/wp-content/uploads/2011/01/ICCE-Presentation-on-VESA-DisplayPort.pdf>
- [19] VESA [online]. 2013. [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: <http://www.vesa.org/>
- [20] Tech Info - Monitor/Display Connectors. In: *ZyTrax: Communications* [online]. 1994 - 2013, 31. 10. 2012 [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: <http://www.zytrax.com/tech/pc/monitors.htm>
- [21] HDMI LICENSING, LLC. *HDMI: High-Definition Multimedia Interface* [online]. 2003-2013 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: www.hdmi.org
- [22] ŘEZÁČ, Petr. Zapojení SCART konektoru. In: *Petr Řezáč - Software* [online]. 2013 [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: <http://www.pr-software.net/pocitacove-kabely/zapojeni-scart-konektoru/>
- [23] SCART Connectors. In: *Electronics2000.co.uk* [online]. 1999-2013, 26. 7. 2011 [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: <http://www.electronics2000.co.uk/pin-out/scart.php>
- [24] ŘÍČNÝ, Václav. *Videotechnika: přednášky* [online]. vyd. 4., uprav. Brno: VUT FEKT, ústav radioelektroniky, 2006, 135 s. [cit. 2013-04-21]. ISBN 80-214-3225-X. Dostupné z: http://www.urel.feec.vutbr.cz/web_documents/literature/mvdk.pdf
- [25] LINHART, Richard. *Rozhlasové vysílání: Audiovizuální technika – Přednáška 4* [PDF]. 2011 [cit. 2013-04-21].
- [26] JANSSEN, Cory. Secondary Audio Program (SAP). In: *Techopedia.com* [online]. 2010 - 2013 [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: <http://www.techopedia.com/definition/25812/secondary-audio-program-sap>
- [27] ELECTRONIC INDUSTRIES ALLIANCE. *A DTV Profile for Uncompressed High Speed Digital Interfaces: EIA/CEA-861-B* [online]. 2002 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: <http://read.pudn.com/downloads122/ebook/519453/EIA-CEA-861-B.pdf>
- [28] Cabo Extensor VGA Macho x VGA Fêmea 1.8 Metros WI205. In: *Premium Store.com.br* [online]. [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: <http://www.premiumstore.com.br/product.aspx?idproduct=ACMUWI205&idDept=1010701>
- [29] S-Video. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/S-Video>
- [30] CONTENT FORMAT. *3D Fusion* [online]. 2010-2012 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: <http://www.3dfusion.com/content-format.html>
- [31] Scart. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-04-21]. Dostupné <http://en.wikipedia.org/wiki/SCART>
- [32] S/PDIF [online]. [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: <http://www.spdif.org/>
- [33] S/PDIF. In: *TV Freak* [online]. 1998-2012 [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: <http://www.tvfreak.cz/glos.jsp?doc=4DD3C41DDB98726CC125727C005B3363>
- [34] AES/EBU Definition. In: *PCMAG.COM: PC magazine* [online]. 1981- 2013 [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: [-http://www.pcmag.com/encyclopedia/term/37583/aes-ebu](http://www.pcmag.com/encyclopedia/term/37583/aes-ebu)
- [35] Monster Cable - Digital Fiber Optic Cable Toslink. In: *Musician's Friend: Musical Instrumens Store* [online]. 2013 [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: <http://www.musiciansfriend.com/accessories/monster-cable-digital-fiber-optic-cable-toslink-to-toslink/331722000000601>
- [36] XLR connector. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/XLR_connector

- [37] BNC connector. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/BNC_connector
- [38] ENGDAHL, Tomi. SPDIF. In: *EPanorama* [online]. [28. 5. 2002] [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: <http://www.epanorama.net/documents/audio/spdif.html>
- [39] NEC. *Video display interfaces* [online]. 2008 [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: http://www.necdisplay.com/Documents/WhitePapers/Video_Display_Interfaces.pdf
- [40] All About DVI: A Complete Guide to the Digital Video Interface. In: *DataPro* [online]. 1986-2013 [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: http://www.datapro.net/techinfo/dvi_info.html
- [41] HEWLETT-PACKARD DEVELOPMENT COMPANY. *An Overview of Current Display Interfaces* [online]. 2007 [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: http://h10010.www1.hp.com/wwpc/psmisc/vac/us/product_pdfs/Monitors_Displays_Interfaces_White_Paper.pdf
- [42] Vertical Scan Frequency Definition. In: *PCMAG.COM: PC magazine* [online]. 1981-2013 [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: <http://www.pcmag.com/encyclopedia/term/53768/vertical-scan-frequency>
- [43] TMDS technology. *Silicon Image* [online]. 2013 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: <http://www.siliconimage.com/technologies/tmds/>
- [44] SILICON IMAGE. *Digital Visual Interface & TMDS Extensions: White Paper* [online]. 2004 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: <http://www.siliconimage.com/docs/SiI-WP-007-A.pdf>
- [45] VESA. *GTF™ Standard: Generalized Timing Formula Standard* [online]. v.1.1. 2. 9. 1999 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: ftp://ftp.cis.nctu.edu.tw/pub/csie/Software/X11/private/VeSaSpEcS/VESA_Document_Center_Monitor_Interface/gtfv1_1.pdf
- [46] FAQ about DisplayPort: Answer on questions and small facts about DisplayPort. *DisplayPort.net: Digital Display Interface* [online]. 2012 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: <http://www.displayport.net/faq-about-displayport>
- [47] WILEY, Craig. VESA. *Transition to DisplayPort and Embedded DisplayPort* [online]. 2012 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: http://www.vesa.org/wp-content/uploads/2012/01/Computex_2011_VESA_FINALrev_2.pdf
- [48] Why DisplayPort. VESA [online]. 2013 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: <http://www.vesa.org/displayport-developer/why-displayport/>
- [49] WILEY, Craig. VESA. *EDP™ - Embedded DisplayPort™: The New Generation Digital Display Interface for Embedded Applications* [online]. Westin Taipei, 6. 12. 2010 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: <http://www.vesa.org/wp-content/uploads/2010/12/DisplayPort-DevCon-Presentation-eDP-Dec-2010-v3.pdf>
- [50] KOBAYASHI, Alan. VESA. *IDP™ (Internal DisplayPort™) Technology Overview: New Generation Large-Screen Display Internal Interface* [online]. Westin Taipei, 6. 12. 2010 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: <http://www.vesa.org/wp-content/uploads/2010/12/DisplayPort-DevCon-Presentation-iDP-Dec-2010-rev-2-.pdf>
- [51] Timing Controllerr. *Tli Inc.: Technology Leaders & Innovators* [online]. 2013 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: http://www.tli.co.kr/eng/addon.php?file=product01.php&bbs_id=product
- [52] BROWN, Michael. HDMI vs. DisplayPort: Which display interface reigns supreme?. In: *PCWorld* [online]. São Paulo: IDG Computerworld do Brasil, 13. 3. 2013 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: <http://www.pcworld.com/article/2030669/hdmi-vs-displayport-which-display-interface-reigns-supreme-.html>

- [53] Thunderbolt™ Technology for Developers. *Intel* [online]. 2013 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: <http://www.intel.com/content/www/us/en/io/thunderbolt/thunderbolt-technology-developer.html>
- [54] VESA. *VESA ENHANCED EXTENDED DISPLAY IDENTIFICATION DATA STANDARD* [online]. 25. 9. 2006 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: ftp://ftp.cis.nctu.edu.tw/pub/csie/Software/X11/private/VeSaSpEcS/VESA_Document_Center_Monitor_Interface/EEDIDrAr2.pdf
- [55] IEC. *INTERNATIONAL STANDARD: IEC 61937-7* [online]. 2004 [cit. 2013-05-28]. 2. Dostupné z: http://webstore.iec.ch/preview/info_iec61937-7%7bed2.0%7den.pdf
- [56] HDMI LICENSING, LLC. *High -Definition Multimedia Interface Specification: Informational Version 1.0* [online]. 4. 9. 2003 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: <http://www.hdmi.org/pdf/HDMISpecInformationalVersion.pdf>
- [57] HDMI LICENSING, LLC. *High -Definition Multimedia Interface Specification: Informational Version 1.3a* [online]. 4. 11. 2006 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: <http://www.mcuzone.com/AN/HDMISpecification13a.pdf>
- [58] LIAS, Joseph L. HDMI Consumer Electronic Control (CEC) technology and testing. In: *EE Times* [online]. 18. 4. 2008 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: <http://www.eetimes.com/design/audio-design/4013475/HDMI-Consumer-Electronic-Control-CEC-technology-and-testing>
- [59] DIGITAL CONTENT PROTECTION, LLC. *DCP: Digital Content Protection* [online]. 2013 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: <http://www.digital-cp.com/>
- [60] DIGITAL CONTENT PROTECTIN, LLC. *HDCP deciphered: White Paper* [online]. 2008 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: http://www.digital-cp.com/files/documents/04A897FD-FEF1-0EEE-CDBB649127F79525/HDCP_deciphered_070808.pdf
- [61] AGILENT TECHNOLOGIES. *HDMI 1.4* [online]. 2010 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5990-5268ZHA.pdf>
- [62] HDMI LICENSING, LLC. *High -Definition Multimedia Interface Specification: Informational Version 1.1* [online]. 20. 5. 2004 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: http://www.hdmi.org/download/HDMI_Specification_1.1.pdf
- [63] HDMI LICENSING, LLC. *High -Definition Multimedia Interface Specification: Informational Version 1.2* [online]. 22. 8. 2005 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: http://www.hdmi.org/download/HDMI_Specification_1.2.pdf
- [64] O'DONNELL, Bob. *HDMI: The Digital Display Link: White Paper* [online]. 2006 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: <http://www.hdmi.org/pdf/whitepaper/silicaonimagehdmiwhitepaperv73%282%29.pdf>
- [65] KUGELSTADT, Thomas. *Support HDMI 1.3 12-Bit Deep Color With the TMDS341A* [online]. 2007 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/an/slla263/slla263.pdf>
- [66] PIŠKULA, Jiří. Tisíc podob HDMI. In: *TV Freak* [online]. 1. 11. 2010 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: <http://www.tvfreak.cz/tisic-podob-hdmi/3666>
- [67] WILEY, Craig. DisplayPort™ Ver.1.2 Overview. In: *VESA* [online]. Westin Taipei, 6. 12. 2010 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: <http://www.vesa.org/wp-content/uploads/2010/12/DisplayPort-DevCon-Presentation-DP-1.2-Dec-2010-rev-2b.pdf>
- [68] HDMI LICENSING, LLC. *High-Definition Multimedia Interface Specification Version 1.4a: Extraction of 3D Signaling Portion* [online]. 4. 3. 2010 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: <http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CDIQFjAA&url=http%3A%2F%2Fhotdigi.tistory.com%2Fattachment%2Ffile25.uf%401919F9354F2D6713060356.pdf&ei=eliiUdL5Lsaf7AaQv4GwBw&usq=AFQjCNGOeDIpzafdn3trlZj6t8IhBXW3jw&sig2=bqiNUkWoI90GEHY1AAAO2Q&bvm=bv.47008514,d.ZGU>

- [69] Stunning 3D Image Quality: Sony HDR-TD10. SONY CORPORATION. *Sony* [online]. 2011. [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: http://www.sony.jp/products/overseas/contents/pickup/english/110324_promotion/TD10_Web/stunning_3d_image_quality/
- [70] Stereoscopic 3D. *University of Guelph* [online]. 2011 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: <http://www.uoguelph.ca/~mdelong/stereo.html#side-half>

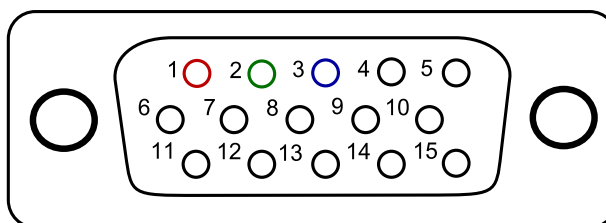
Přílohy

Příloha A – Podporovaná rozlišení VGA portu

Tab. 1 Různé verze rozhraní VGA a jejich rozlišení (zdroj: [5])

| Označení | Popis | Rozlišení |
|----------|---|-------------|
| VGA | Video Graphics Array | 640 x 480 |
| SVGA | Super Video Graphics Array | 800 x 600 |
| HDTV | High Definition Television 720i/p | 1280 x 720 |
| XGA | Extended Graphics Array | 1024 x 768 |
| WXGA | Wide Extended Graphics Array | 1366 x 768 |
| SXGA | Super Extended Graphics Array | 1280 x 1024 |
| SXGA+ | Super Extended Graphics Array+ | 1400 x 1050 |
| WSXGA | Wide Super Extended Graphics Array | 1600 x 1024 |
| WSXGA+ | Wide Super Extended Graphics Array+ | 1680 x 1050 |
| HDTV | High Definition Television 1080i/p | 1920 x 1080 |
| UXGA | Ultra Extended Graphics Array | 1600 x 1200 |
| WUXGA | Wide Ultra Extended Graphics Array | 1920 x 1200 |
| QXGA | Quad Extended Graphics Array | 2048 x 1536 |
| QSXGA | Quad Super Extended Graphics Array | 2560 x 2048 |
| WQSXGA | Wide Quad Super Extended Graphics Array | 3200 x 2048 |
| QUXGA | Quad Ultra Extended Graphics Array | 3200 x 2400 |
| WQUXGA | Wide Quad Ultra Extended Graphics Array | 3840 x 2400 |
| HSXGA | Hex Super Extended Graphics Array | 5120 x 4096 |
| WHSXGA | Wide Hex Super Extended Graphics Array | 6400 x 4096 |
| WHUXGA | Wide Hex Ultra Extended Graphics Array | 7680 x 4800 |

Příloha B - Rozložení pinů konektoru VGA



Obr. 1 Rozložení pinů konektoru VGA konektoru [20]

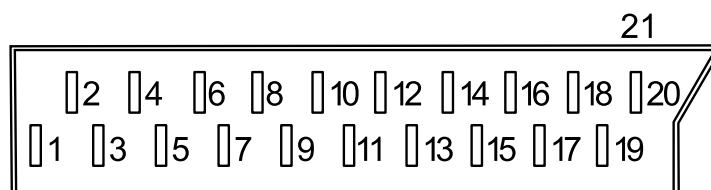
Tab. 2 Popis jednotlivých pinů [20]

| Pin | Název | Popis |
|-----|--------------------------|--|
| 1 | RED | Video signál - červená |
| 2 | GREEN | Video signál - zelená |
| 3 | BLUE | Video signál - modrá |
| 4 | N/A (ID2) | Rezerva nebo Monitor ID Bit 2 ¹⁾ |
| 5 | GND | Zem |
| 6 | RGND | Uzemnění video signálu - červená |
| 7 | GGND | Uzemnění video signálu - zelená |
| 8 | BGND | Uzemnění video signálu - modrá |
| 9 | KEY | Bez pinu |
| 10 | SGND | Uzemnění synchronizace |
| 11 | ID0 | Monitor ID Bit 0 |
| 12 | ID1(SDA ²⁾) | Monitor ID Bit 1 nebo DDC ³⁾ data (novější typy monitorů) |
| 13 | HSYNC (CSYNC) | Horizontální synchronizace nebo kompozitní synchronizace |
| 14 | VSYNC | Vertikální synchronizace |
| 15 | ID3 (SCL ⁴⁾) | Monitor ID Bit 3 nebo DDC serial clock (novější typy monitorů) |

Pozn.:

Dříve se pro komunikace mezi počítačem a monitorem používaly identifikační bity¹⁾ (ID bit 0-3), které byly buď zkratovány, nebo „otevřeny“ a tím charakterizovali video (monochromatický/barevný monitor, rozlišení). Moderní Plug'n'play monitory umožňují přenos dat pomocí rozhraní DDC³⁾ (Digital Data Channel). Toto rozhraní je tvořeno sběrnici I²C (inter-integrated circuit), která se skládá ze dvou signálových vodičů. První signálový vodič se používá pro obousměrný datový přenos SDA²⁾ - serial data a druhým se posílá hodinový impuls SCL⁴⁾ - serial clock. To umožňuje přenos informací o videu z monitoru do grafické karty (jas, kontrast, rozlišení). Ovladač grafické karty si přímo pomocí DDC zjistí parametry displeje a uživatel už nemusí nic nastavovat. Data se posílají ve formátu EDID (Extended Digital Identification Data), který je definován neziskovou organizací VESA (Video Electronics Standards Association), která určuje standardy a normy pro všechna rozhraní v počítačovém průmyslu i v oblastech spotřební elektrotechniky. [19] [20]

Příloha C – Scart konektor



Obr. 2 Rozložení pinů kabelu SCART [12]

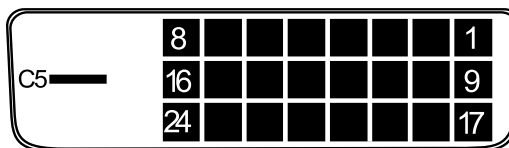
Tab. 3 Zapojení konektorů podle různých norem [12] [22]

| Pin | Funkce | | |
|-----------|--|--------------------------------|-------------------------------------|
| | Evropská norma | Japonská norma | Americká norma |
| 1 | Audio výstup – pravý kanál | Audio vstup – levý kanál | Výběr funkce (A/V control) |
| 2 | Audio vstup – pravý kanál | Audio výstup – levý kanál | Audio vstup – levý kanál |
| 3 | Audio výstup – levý kanál | Zem – audio | Řízení – ACG (AVC) ³⁾ |
| 4 | Zem – audio | Zem – audio | Zem – audio |
| 5 | Zem – video signál B (modrá) | Audio vstup – pravý kanál | Nastavení audio (SAP) ⁴⁾ |
| 6 | Audio vstup – levý kanál | Audio výstup – pravý kanál | Audio vstup – pravý kanál |
| 7 | Video vstup - B (modrá) | Zem – video vstup | Video vstup - B (modrá) |
| 8 | Výběr funkce (A/V control) ¹⁾ | Zem – video výstup | Audio výstup |
| 9 | Zem – video signál G (zelená) | Video vstup | Zem – RGB |
| 10 | Vstup - Komunikační data (I ² C) | Video výstup | data |
| 11 | Video vstup - G (zelená) | Výběr funkce (A/V control) | Video vstup - G (zelená) |
| 12 | Výstup - Komunikační data (I ² C) | Video vstup RGB | Data |
| 13 | Zem – video signál R (červená) | Zem – video signál R (červená) | Zem – RGB |
| 14 | Zem – Signálové zatemnění ²⁾ | Zem – zatemnění a RGB | Vstup - synchronizace |
| 15 | Video vstup - R (červená) | Video vstup - R (červená) | Video vstup - R (červená) |
| 16 | Signálové zatemnění | Signálové zatemnění | Signálové zatemnění |
| 17 | Zem – video výstup (kompozitní video) | Zem – video signál G (zelená) | Zem – video výstup |
| 18 | Zem – video vstup | Zem – video signál B (modrá) | Dekodér obnovy synchronizace |
| 19 | Video výstup (kompozitní video) | Video vstup - G (zelená) | Video výstup |
| 20 | Video vstup | Video vstup - B (modrá) | Video vstup |
| 21 (kryt) | Společná zem - stínění | Společná zem - stínění | Společná zem - stínění |

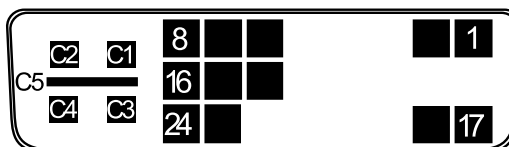
Pozn.:

- 1) Výběr funkce (A/V control) poskytuje přepínání funkcí. Přivedení 9,5 – 12 V na tento pin způsobí přepnutí televizoru na vstup AV (např. video přehrávač). Také je možné tímto přístroj „vzbudit“ z režimu standby. Odpojením pinu (0 V) se přepneme zpět na televizor. Některé televizory tento pin používají pro výběr poměru stran. [23]
- 2) Zatemňovací impulsy jsou pomocné složky obrazového signálu definující signálovou úroveň, která odpovídá definovanému nulovému jasů. [24]
- 3) AGC je zkratka pro automatic gain control (automatické řízení zesílení). Také se používá AVC (Automatic Volume Control). V češtině se používá pojem automatické vyrovnávání citlivosti. Tento obvod srovnává sílu signálů z různých vysílačů na stejnou hladinu. [25]
- 4) SAP neboli Secondary audio program je alternativní audio kanál ke standardním televizním stanicím nebo programům. [26]

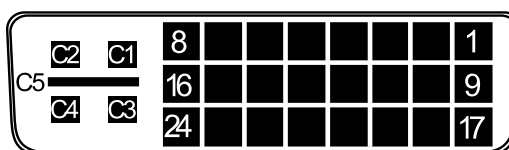
Příloha D – Konektory DVI a zapojení jejich pinů



Obr. 3 Zapojené pinů konektoru DVI-D (samec) [39]



Obr. 4 Zapojení pinů konektoru DVI-A (samec) [39]



Obr. 5 Zapojení pinů konektoru DVI-I (samec) [39]

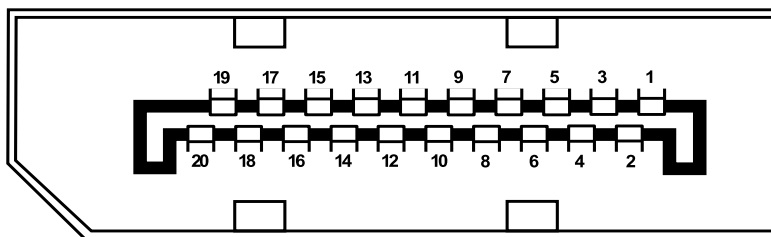
Tab. 4 Popis jednotlivých pinů konektoru DVI [41]

| Pin | Signál | Pin | Signál |
|------------------|---|------------------|--------------------------------------|
| 1 | TMDS Data 2- (červená) | 16 | HPD – detekce hot plug ²⁾ |
| 2 | TMDS Data 2+ (červená) | 17 | TMDS Data 0- (modrá) |
| 3 | TMDS Data 2/4 (stínění) | 18 | TMDS Data 0+ (modrá) |
| 4 ¹⁾ | TMDS Data 4- (zelená) | 19 | TMDS Data 0/5 (stínění) |
| 5 ¹⁾ | TMDS Data 4+ (zelená) | 20 ¹⁾ | TMDS Data 5- (červená) |
| 6 | DDC hodin. Signál (SCL) | 21 ¹⁾ | TMDS Data 5+ (červená) |
| 7 | DDC data (SDA) | 22 | TMDS clock (stínění) |
| 8 | Vertikální synchronizace (DVI-I, DVI-A) | 23 | TMDS clock + |
| 9 | TMDS Data 1- (zelená) | 24 | TMDS clock - |
| 10 | TMDS Data 1+ (zelená) | C1 | Video signál – Červená (analog) |
| 11 | TMDS Data 1/3 (stínění) | C2 | Video signál – Zelená (analog) |
| 12 ¹⁾ | TMDS Data 3- (modrá) | C3 | Video signál – Modrá (analog) |
| 13 ¹⁾ | TMDS Data 3+ (modrá) | C4 | Horizontální synchronizace (TTL) |
| 14 | +5V (DC) | C5 | Společná zem RGB (analog) |
| 15 | Země/ synchronizace obnovení | | |

Pozn.:

- 1) Tyto piny (tzn. TMDS datové páry 3, 4, 5) jsou přítomné nebo aktivní pouze v implementaci dual link. [41]
- 2) Kanál HPD (Hot Plug Detect) zajišťuje, pokud je třeba, opětovnou inicializaci zařízení při jeho odpojení nebo připojení.

Příloha E – Zapojení konektoru DisplayPort



Obr. 6 Zapojení jednotlivých pinů konektoru DisplayPort (samec)[46]

Tab. 5 Popis jednotlivých pinů DisplayPortu [46]

| Pin | Signál | Popis |
|-----|------------|------------------------------------|
| 1 | ML_Lane 0+ | Trasa/kanál hlavní linky 0+ |
| 2 | GND | Země |
| 3 | ML_Lane 0- | Trasa/kanál hlavní linky 0- |
| 4 | ML_Lane 1+ | Trasa/kanál hlavní linky 1+ |
| 5 | GND | Země |
| 6 | ML_Lane 1- | Trasa/kanál hlavní linky 1- |
| 7 | ML_Lane 2+ | Trasa/kanál hlavní linky 2+ |
| 8 | GND | Země |
| 9 | ML_Lane 2- | Trasa/kanál hlavní linky 2- |
| 10 | ML_Lane 3+ | Trasa/kanál hlavní linky 3+ |
| 11 | GND | Země |
| 12 | ML_Lane 3- | Trasa/kanál hlavní linky 3- |
| 13 | CONFIG1 | Konfigurační pin 1 připojen k Zemi |
| 14 | CONFIG2 | Konfigurační pin 2 připojen k Zemi |
| 15 | AUX CH+ | Pomocný kanál + |
| 16 | GND | Země |
| 17 | AUX CH- | Pomocný kanál - ¹⁾ |
| 18 | Hot Plug | Detekce Hot Plug |
| 19 | Return | Return (uzemnění) |
| 20 | DP_PWR | Napájení pro konektor |

Pozn:

- 1) Kanál auxiliary, zkráceně AUX, je doprovodný/pomocný kanál, který se dá použít pro různé operace:
 - Zařízení může informovat zdroj dat, že došlo k poškození dat.
 - Přenos A/V dat z kamery/mikrofonu do zdrojového zařízení při telekonferenci.
 - Ovládání nastavení displeje. [18]

Příloha F – Popis jednotlivých metod 3D videa

1. **Frame packin**

Běžný HDMI 3D formát, kde jsou obrazy pro obě oči zabaleny vertikálně do jednoho snímku. Tyto snímky jsou odděleny tzv. aktivním prostorem, který je kódován stejně jako video. Během této periody vysílač posílá konstantní hodnotu pixelu a přijímač tyto data musí ignorovat bez ohledu na hodnotu. Pouze pro progresivní formáty. Pro prokládané formáty nejsou řazeny celé obrazy, ale liché a sudé řádky. Ty jsou odděleny také aktivním prostorem. [68] [70]

2. **Frame alternative**

Tento formát posílá levý a pravý obraz jako oddělené plochy v samostatných snímcích. Datový proud videa je doprovázen signálem stereosync pro synchronizaci obrazu. Jedná se o metodu pro progresivní formáty. [68] [70]

3. **Field alternative**

Princip je stejný jako u metody Frame packing pro prokládané formáty, s tím rozdílem, že liché a sudé řádky jsou rozděleny vertikálním zatemňovacím impulsem. [68]

4. **Line alternative**

Obrazové signály pro levé a pravé oko jsou proloženy střídavě v řádkách. [68]

5. **Side-by-side (full/half)**

- a) Half (poloviční) - Levý i pravý obraz je podvzorkován na polovinu horizontálního rozlišení a poslán jako jeden snímek. Nejběžnější 3D formát v TV vysílání. Je limitován rozlišením 720p (nebo 1080i). Rozlišení výsledného obrazu se nemění.
- b) Full (plné) – Levý i pravý obraz se posílá vedle sebe jako jeden snímek. Horizontální rozlišení je tedy 2x větší než každý z obrazů. [68] [70]

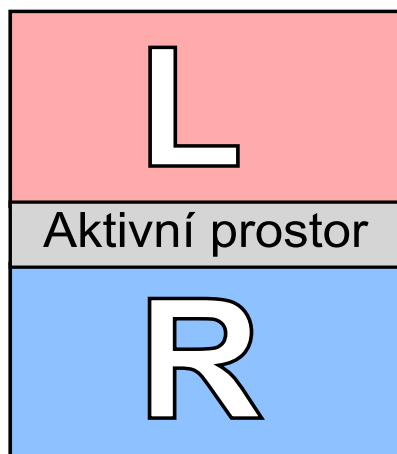
6. **2D-plus-depth**

Tento formát obsahuje doplňující informace o hloubce, které charakterizuje pozici každého pixelu 2D obrazu na ose Z (osa hloubky). [30]

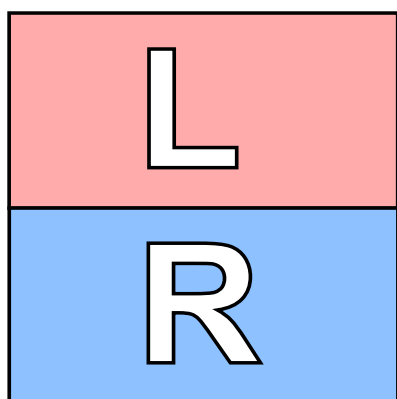
7. **Top-and-bottom**

Levý i pravý obraz je podvzorkován na polovinu vertikálního rozlišení a poslán jako jeden snímek. [68] [70]

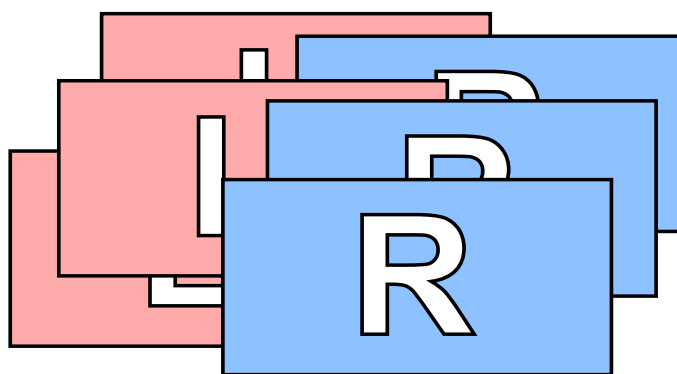
Srovnání jednotlivých metod je vidět na obrázku *Obr. 7*.



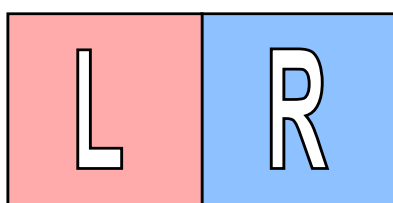
Frame packing (progresivní) Frame packing (prokládaný)



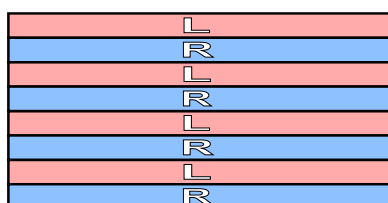
Top-and-bottom



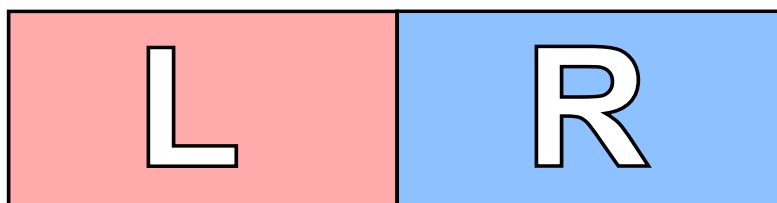
Frame alternative



Side-by-side (poloviční)



Line alternative



Side-by-side (plné)

Obr. 7 Metody 3D videa [68] [69]

Příloha G – Sekundární podporované 3D video formáty

640x480p @ 59.94/60Hz (Frame Packing, Side-by-Side(Half), Top-and-Bottom)
1920x1080i @ 59.94/60Hz (Top-and-Bottom)
720x480p @ 59.94/60Hz (Frame Packing, Side-by-Side(Half), Top-and-Bottom)
720(1440)x480i @ 59.94/60Hz (Frame Packing, Side-by-Side(Half), Top-and-Bottom)
1920x1080i @ 50Hz (Top-and-Bottom)
720x576p @ 50Hz (Frame Packing, Side-by-Side(Half), Top-and-Bottom)
720(1440)x576i @ 50Hz (Frame Packing, Side-by-Side(Half), Top-and-Bottom)
720(1440)x240p @ 59.94/60Hz (Frame Packing, Side-by-Side(Half), Top-and-Bottom)
2880x480i @ 59.94/60Hz (Frame Packing, Side-by-Side(Half), Top-and-Bottom)
2880x240p @ 59.94/60Hz (Frame Packing, Side-by-Side(Half), Top-and-Bottom)
1440x480p @ 59.94/60Hz (Frame Packing, Side-by-Side(Half), Top-and-Bottom)
1920x1080p @ 59.94/60Hz (Frame Packing, Side-by-Side(Half))
720(1440)x288p @ 50Hz (Frame Packing, Side-by-Side(Half), Top-and-Bottom)
2880x576i @ 50Hz (Frame Packing, Side-by-Side(Half), Top-and-Bottom)
2880x288p @ 50Hz (Frame Packing, Side-by-Side(Half), Top-and-Bottom)
1440x576p @ 50Hz (Frame Packing, Side-by-Side(Half), Top-and-Bottom)
1920x1080p @ 50Hz (Frame Packing, Side-by-Side(Half))
1920x1080p @ 25Hz (Frame Packing, Side-by-Side(Half), Top-and-Bottom)
1920x1080p @ 29.97/30Hz (Side-by-Side(Half))
2880x480p @ 59.94/60Hz (Frame Packing, Side-by-Side(Half), Top-and-Bottom)
2880x576p @ 50Hz (Frame Packing, Side-by-Side(Half), Top-and-Bottom)
1920x1080i (1250 total) @ 50Hz (Frame Packing, Side-by-Side(Half), Top-and-Bottom)
720(1440)x480i @ 119.88/120Hz (Frame Packing, Side-by-Side(Half), Top-and-Bottom)
720x480p @ 119.88/120Hz (Frame Packing, Side-by-Side(Half), Top-and-Bottom)
1920x1080i @ 119.88/120Hz (Frame Packing, Side-by-Side(Half), Top-and-Bottom)
1280x720p @ 119.88/120Hz (Frame Packing, Side-by-Side(Half), Top-and-Bottom)
720(1440)x480i @ 239.76/240Hz (Frame Packing, Side-by-Side(Half), Top-and-Bottom)
720x480p @ 239.76/240Hz (Frame Packing, Side-by-Side(Half), Top-and-Bottom)
720(1440)x576i @ 100Hz (Frame Packing, Side-by-Side(Half), Top-and-Bottom)
720x576p @ 100Hz (Frame Packing, Side-by-Side(Half), Top-and-Bottom)
1920x1080i @ 100Hz (Frame Packing, Side-by-Side(Half), Top-and-Bottom)
1280x720p @ 100Hz (Frame Packing, Side-by-Side(Half), Top-and-Bottom)
720(1440)x576i @ 200Hz (Frame Packing, Side-by-Side(Half), Top-and-Bottom)
720x576p @ 200Hz (Frame Packing, Side-by-Side(Half), Top-and-Bottom)
1280x720p @ 23.98/24Hz (Side-by-Side(Half), Top-and-Bottom)
1280x720p @ 25Hz (Frame Packing, Side-by-Side(Half), Top-and-Bottom)
1280x720p @ 29.97/30Hz (Side-by-Side(Half), Top-and-Bottom)
1920x1080p @ 119.88/120Hz (Side-by-Side(Half), Top-and-Bottom)
1920x1080p @ 100Hz (Side-by-Side(Half), Top-and-Bottom)
[6]