

Prenos multimedijskih signalov visoke ločljivosti v poslovnih in stanovanjskih objektih

Urban Burnik, Klemen Podgornik, Marko Meža

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška 25, 1000 Ljubljana, Slovenija
E-pošta: urban.burnik@fe.uni-lj.si

Povzetek. Digitalni vmesniki HDMI omogočajo nadzorovan in kakovosten prenos multimedijskih signalov na kratkih razdaljah. V poslovnih in stanovanjskih objektih pogosto potrebujemo učinkovito povezavo med virom in prikazovalnikom avdiovizualnega gradiva v obliki strukturnega ožičenja s podaljšanim dosegom. Prispevek podaja funkcionalni pregled vmesnikov HDMI, možnosti za izvedbo povezave med multimedijskimi viri na ločenih lokacijah v zgradbi ter analizira učinkovitost tovrstnih rešitev.

Ključne besede: HDMI, prenos videa v strukturnem ožičenju, nezgoščen prenos videosignala

High definition multimedia signal distribution on business and residential premises

High definition multimedia interfaces (HDMI) provide a controlled high-quality transmission of the multimedia signals over short distances. In business and residential premises, effective audiovisual links between the source and display in a form of structured wiring are often required. The paper provides a functional overview of the HDMI interfaces and connection solutions between the multimedia sources separately located among the premises, and analyzes the efficiency of the proposed solutions.

1 UVOD

Digitalni komunikacijski vmesniki pospešeno nadomeščajo analogni prenos podatkov, saj omogočajo zanesljiv prenos, dober nadzor nad motnjami in preprosto regeneracijo signala. Takšne težnje srečujemo tudi pri prenosu avdiovizualnih vsebin. Standardizirani vmesnik za prenos multimedijskih signalov visoke ločljivosti HDMI¹ čedalje pogosteje nadomešča kompozitne in tudi komponentne analogne povezave med avdiovizualnimi viri in prikazovalniki. Povezava HDMI omogoča prenos nezgoščenih video vsebin s pripadajočimi podatkovnimi tokovi, s čimer zagotavlja visoko odzivnost tako rekoč brez sistemskih zakasnitev, napak zaradi izgubnega zgoščevanja kot združljivost na nivoju prikazovalnikov ne glede na izvorni format gradiva.

Klasična avdiovizualna oprema, predvsem v povezavi z domačo uporabo t. i. zabavne elektronike je v prostoru navadno nameščena v eni omarici, za povezave z napravami pa so zadoščali kabli navadne

dolžine (1,5 m). Tudi vmesnik HDMI, zasnovan za prenos multimedijskih vsebin med predvajalnikom in prikazovalnikom v nezgoščeni digitalizirani obliki, je izhodiščno namenjen razmeroma kratkim povezavam sorodne dolžine. Čeprav specifikacija največje razdalje za prenos signala ne predpisuje, zaradi visoke pasovne širine signala dolžina kabelske povezave HDMI običajno ne presega nekaj metrov. Iz istih razlogov kakovostno izvedbo zagotavljamo s serijsko izdelanimi in certificiranimi kabelskimi povezavami tipskih dolžin.

V sodobnih multimedijsko opremljenih poslovnih in stanovanjskih prostorih spremenjena tehnologija prikazovalnikov in izvorov multimedijskega gradiva zahteva učinkovite in neposredne povezave vira signala in prikazovalnika tudi na daljše razdalje. Značilni primeri obsegajo prenos multimedijskega signala do projektorja s stropno montažo, uporabo projekcije z napravami posameznih udeležencev na sestankih ter tudi minimalistično opremo bivalnih prostorov s sredinsko stensko montažo ploskih prikazovalnikov.

V naštetih primerih je uporaba certificiranih tipskih kabelskih povezav otežena ali celo onemogočena, ne le zaradi dolžine zahtevanih povezav, ampak tudi zato, ker tovarniško zaključenih kablov zaradi dimenzij konektorjev pogosto ne moremo uvleči v instalacijske kanale strukturne infrastrukture objekta.

HDMI je kljub navedenim omejitvam najprimernejša možnost za digitalno povezavo multimedijskega predvajalnika s prikazovalnikom. Prispevek podaja pregled standardiziranih povezav HDMI ter možnosti za podaljšanje njihovega dosega.

¹ High Definition Multimedia Interface

2 DIGITALNI MULTIMEDIJSKI VMESNIK VISOKE LOČLJIVOSTI HDMI

HDMI je vmesnik za digitalni prenos nezgoščenih multimedijjskih podatkov in postaja naslednik analognih avdiovizualnih povezav, kot so kompozitni video, S-Video, komponentni video, SCART ali VGA. HDMI je namenjen predvsem povezovanju digitalnih avdio/video naprav, kot so zunanji digitalni TV-sprejemniki (STB), digitalni optični predvajalniki (DVD, BD), digitalne videokamere, osebni računalniki, igralne konzole ter digitalni televizorji, pri čemer se po vzorčenju ne poslabša kakovosti slike ali zvoka.

Pobudniki standarda HDMI so podjetja Hitachi, Panasonic, Philips, Silicon Image, Sony, Technicolor (Thomson) in Toshiba [1]. Cilj ustanoviteljev HDMI je bil vmesnik za prenos video- in avdiosignalov v napravah zabavne elektronike, ki bi bil ob prikladnejših dimenzijah združljiv z računalniškim digitalnim videopriključkom DVI-D (Digital Visual Interface - Digital). Kljub električni združljivosti novejši vmesnik HDMI podpira višje ločljivosti kot vmesnik DVI-D ter omogoča prenos slike, zvoka in podatkov prek skupnega kabla.

Standard HDMI poleg zanesljivosti zagotavlja tudi varnost povezave, saj omogoča prenos avdiovizualnih podatkov v kriptirani obliki. Postopek HDCP s šifriranjem skrbi za varno dostavo podatkov med oddajnimi in sprejemnimi napravami in onemogoča nepooblaščen kopiranje vsebin na poti med predvajalniki in prikazovalniki multimedijjskih vsebin.

Prvi pooblaščen testni center izdelkov HDMI je odprlo podjetje Silicon Image 23. junija 2003 v Združenih državah Amerike (Kalifornija). Sledili so mu Panasonic, Philips in Silicon Image [1]. Trenutno je na trgu že najmanj štiri milijarde različnih naprav z vmesnikom HDMI, vsi digitalni TV-sprejemniki pa imajo od leta 2009 vsaj po en vhod HDMI [2].

2.1 Različice HDMI

Vmesnik HDMI je na trgu od leta 2002, trenutno pa poznamo 14 različic oz. nadgradenj. Vse izvedenke ponujajo visoko kakovost slike in zvoka ter zanesljiv prenos podatkov. Vse različice uporabljajo po vezalni shemi enakovredno kabelsko povezavo, razlikujejo pa se glede na pasovno širino avdiovizualne in/ali podatkovne povezave [1].

Prva različica z imenom HDMI 1.0 je bila predstavljena decembra 2002 in je zgoraj navedene cilje v celoti izpolnila. Pasovna širina te različice sega do 165 MHz, hitrost prenosa signala pa znaša do 4,9 Gbit/s. S tem omogoča neokrnjen prenos videosignala do ločljivosti 1080p (1920x1080) oz. WUXGA (1920x1200) pri frekvenci osveževanja do 60 Hz. Podpira 24-bitni sRGB, YCbCr 4:2:2 ter YCbCr 4:4:4 videozapis z do 8-kanalnim, 192 kHz, nezgoščenim 24-bitnim digitalnim zvokom skupaj z razširjenimi zgoščenimi formati (AC3-Dolby Digital in DTS-Digital Theater System).

Maja leta 2004 je sledila različica HDMI 1.1, ki omogoča podporo zvočnemu mediju DVD-Audio.

Različica HDMI 1.2 je izšla avgusta leta 2005. Med novostmi so bile podpora avdioformatu Super Audio CD (SACD), podpora računalniškemu priključkom v izhodiščnem RGB-formatu, kot tudi združljivost z nizkonapetostnimi nivoji virov. Dopolnitev HDMI 1.2a iz leta 2005 je prinesla še podporo univerzalnega upravljanja povezanih naprav CEC (Consumer Electronic Control).

Tabela 1: Različice HDMI

Različica HDMI	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	2.0
Pasovna širina (MHz)	165	165	165	340	340	600
Hitrost prenosa signala (Gbit/s)	4,95	4,95	4,95	10,2	10,2	18
Barvna globina (bit/px)	24	24	24	48	48	48
8-kanalni, 192kHz, 24-bitni avdio	da	da	da	da	da	da
sRGB, YCbCr 4:2:2, 4:4:4	da	da	da	da	da	da
CEC	da	da	da	da	da	da
DVD-Audio	ne	da	da	da	da	da
Super Audio CD	ne	ne	da	da	da	da
Deep color, xvYCC, »lip-sync«, Dolby True HD, DTS-HD	ne	ne	ne	da	da	da
HEC; 3D; Povratni avdio; 4K@30Hz	ne	ne	ne	ne	da	da
4K@60Hz; YCbCr 4:2:0; 8 kanalni, 1536kHz avdio; 4 avdio struje; 2 video struji; razmerje slike 21:9.	ne	ne	ne	ne	ne	da

Kakovostni preskok je uvedla verzija HDMI 1.3 iz leta 2006 s povečanjem pasovne širine z 165 MHz na 340 MHz, s čimer se zviša tudi hitrost prenosa digitalnega signala s 4,95 Gbit/s na 10,2 Gbit/s. Velika pasovna širina nam dopušča višje ločljivosti, hitrejšo osveževanje slike (s 60 Hz na 120 Hz, kar je najbolj opazno pri igranju iger) ter povečanje barvne globine s podporo videa v 24-, 30-, 36- in 48-bitnem formatu xvYCC, sRGB, in YCbCr. Poleg mini priključka za manjše prenosne naprave ponuja tudi podporo za nove brezizgubne digitalne avdioformate, kot so Dolby TrueHD in DTS-HD Master Audio. Omogoča povratni kanal za sinhronizacijo zvoka in slike (t. i. »Lip sync«). HDMI 1.3 opredeljuje tudi dve kategoriji kablov, in sicer kategorijo 1 in kategorijo 2. Verziji HDMI 1.3 sledijo še HDMI 1.3a, HDMI 1.3b in HDMI 1.3c. Te se po funkcijah in značilnostih bistveno ne razlikujejo od preostalih različic. Razlikujejo se le v posodobljenih

funkcijah CEC in v podrobnejših specifikacijah testiranja.

Različica HDMI 1.4 je bila predstavljena maja 2009. Omogoča predvajanje ločljivosti 4K, na primer 3840 x 2160p pri 24 Hz/25 Hz/30 Hz in 4096 x 2160p pri 24 Hz (digitalna kinodvorana). Omogoča predvajanje stereoskopskega (3D) videografa v številnih formatih. Podpira t. i. HDMI Ethernet Channel (HEC), s 100Mb/s internetno povezavo med dvema povezanimi napravama HDMI. Uvaja nov priključek mikro HDMI in razširjeno videopodporo za barvne prostore v obliki YCC601, Adobe RGB in Adobe YCC601. Zadnja dopolnila prinašata verziji 1.4a in 1.4b.

Najnovejši HDMI 2.0 povečuje bruto pasovno širino podatkovnega prenosa na 18 Gbit/s. Zvočnih kanalov je največ 32. Zaradi večje učinkovitosti prenosa visokoločljivega signala omogoča tudi prenos barvno podzorčenega zapisa YCbCr 4:2:0, ob vseh spremembah vmesnika pa specifikacija ožičenja ostaja nespremenjena.

2.2 Komunikacijski kanali HDMI

HDMI ima tri fizično ločene komunikacijske kanale. To so glavni podatkovni kanal TMDS² ter signalizacijska kanala DDC³ in CEC⁴ [3, 1].

Za podatkovne kanale visoke zmogljivosti HDMI uporablja diferencialno tehnologijo prenosa podatkov TMDS. Posamezna 10-bitna povezava TMDS omogoča hitrosti do 1,65 Gbps. TMDS omogoča tudi podvojitev pasovne širine z uporabo tako imenovanega načina "dual-link", kar omogoča še večje hitrosti prenosa signala in višjo ločljivost.

DDC sprejemni in oddajni napravi omogoča poizvedbo o zmogljivosti in pozneje tudi samodejno prilagoditev parametrov predvajanja. Ti podatki se nahajajo v tabeli EDID⁵, vsebujejo pa informacije o ločljivosti, stopnji osveževanja, barvni globini, kontrastu, zvočnih zmogljivostih in drugih pomembnih lastnostih prikazovalnika.

Funkcija CEC omogoča upravljanje povezanih naprav HDMI z uporabo enega samega daljinskega upravljalnika in celo samodejno upravljanje in nadzor med napravami brez posredovanja uporabnika. Blagovne znamke za CEC so Anynet + (Samsung), AQUOS link (Sharp), BRAVIA Sync (Sony), HDMI-CEC (Hitachi), Kuro Link (Pioneer), CE-Link in REGZA Link (Toshiba), RIHD (Onkyo), SimpLink (LG), HDAVI Control, EZ-Sync, VIERA Link (Panasonic), EasyLink (Philips) in netCommand (Mitsubishi) [1] [4].

2.3 Priključki HDMI

Specifikacije HDMI opredeljujejo štiri tipe priključkov, A, B, C in D, od katerih v praksi prevladujeta tip A pri

večini izdelkov za sobno uporabo in mini priključek tip C, ki se uveljavlja predvsem na novejših prenosnih napravah, kot so npr. digitalne kamere HD. Priključka tipa A in B sta definirana v izhodiščni specifikaciji HDMI 1.0, tip C prvič srečamo v specifikaciji HDMI 1.3, tip D pa v HDMI 1.4.

Hitre povezave po protokolu TMDS zagotavljajo štiri oklopljene sukane parice, ki zasedajo priključke 1-12 konektorja HDMI. Skladno s standardom HDMI 1.4 kontakta 14 in 19 zagotavljata povezavo Ethernet za prenos uporabniških podatkov med napravama. Preostale povezave so izvedene v nesimetrični obliki s skupno ozemljitveno točko na kontaktu 17. Zagotovljeno je tudi pomožno napajanje +5 V, 55 mA.

2.4 Povezovalni kabli HDMI

Pasivni kabel HDMI je samostojen kabel, ki za delovanje ne potrebuje dodatnega napajanja ali kakšnega drugega električnega vira (razne naprave). Pri pasivnih kablilih HDMI od leta 2008 poznamo dve kategoriji povezav. To sta Kategorija 1 (Standard) z zagotovljeno analogno pasovno širino 74,5 MHz z največjo ločljivostjo 720p60 oziroma 1080i60 ter Kategorija 2 (High Speed) z zajamčeno analogno pasovno širino 340 MHz in z ločljivostmi 1080p60, 2160p30 in 4K. Obe kategoriji uporabljata enak razpored priključkov in se razlikujeta le v kakovosti izdelave (zasnova, debelina žične povezave, uporabljeni dielektriki, natančnost spojev, kakovost strojev v tovarni ter postopki testiranja). Pasivne kable uporabljamo na kratkih razdaljah med kolociranimi napravami. Standard dolžine kabla ne omejuje, vendar najdaljši certificirani kabli merijo le do 15 metrov.

3 IZVEDBA STRUKTURNIH POVEZAV HDMI

V sodobnih objektih se soočamo z izzivom povezave vira in prikazovalnika s priključkoma HDMI, pri čemer se zadnja ne nahajata na isti lokaciji. Značilna primera sta stensko pritrjeni ploski prikazovalnik in še posebej stropno pritrjena projekcijska naprava. Uporaba serijsko izdelanih kabljskih povezav HDMI v takšnih primerih zaradi omejene dolžine kabla in zaradi težav pri vgradnji industrijsko terminiranih kablov v standardne komunikacijske kanale ali cevi ni omogočena. Za prenos avdiovizualnih signalov želimo izkoristiti standardno strukturno kabljsko povezavo v bakreni ali tudi optični izvedbi, predvsem pa, še zlasti pri adaptacijah in nadgradnjah, uporabiti obstoječe kabljske cevi in kanale. Sodobna alternativa je tudi brezžična povezava z visoko zmogljivostjo brez posegov v infrastrukturo zgradbe.

3.1 HDMI prek sukane parice

Za izvedbo strukturnega komunikacijskega ožičenja v zgradbah najpogosteje uporabljamo kable, sestavljene iz štirih sukanih bakrenih paric. Sukana parica je sestavljena iz dveh tankih izoliranih bakrenih žic, ki sta

² Transition Minimized Differential Signaling

³ Display data Channel

⁴ Consumer Electronic Control

⁵ Extended Display Information data

med seboj prepleteni, s čimer zmanjšujemo presluh in motnje vzdolž kabla. Najbolj razširjene kategorije kablov so kategorija 5 (CAT5 in CAT5e), kategorija 6 (CAT6) in kategorija 7 (CAT7); ponujajo nam največje zmogljivosti in prenos podatkov oziroma signala. Glede na specifikacije so tovrstni kabli v večini pogledov primerni tudi za prenos analognih in digitalnih audiovizualnih signalov.

Za prenos signala HDMI prek paričnega kabla uporabljamo namensko opremo, pri čemer prenos podatkov poteka na ekvivalenten način kot pri uporabi navadne kabelske povezave [5] [6].

3.2 HDMI prek optične povezave

Optične komunikacijske povezave imajo pred žičnimi vsaj pet velikih sistemskih prednosti: majhno slabljenje, visoko pasovno prepustnost, odpornost proti zunanjim motnjam, odpornost proti razlikam v napetostnih potencialih in višjo stopnjo zasebnosti prenosa podatkov.

Za prenos signala HDMI prek optične povezave potrebujemo pretvornike, ki električni signal pretvorijo v optičnega in nasprotno. Pretvorniki podpirajo uporabo mnogorodovnih in enorodovnih vlaken, pri čemer s prvimi dosegamo prenosne razdalje do 90 m, z drugimi pa do 450 m in več.

Kljub dobrim lastnostim se pri optičnem prenosu signala HDMI srečujemo z določenimi težavami. Uporaba optoelektričnih pretvornikov na obeh koncih kabla povečuje stroške izvedbe, pri visokih podatkovnih hitrostih se optoelektrični pretvorniki pregrevajo. Ker po optičnem kablu lahko prenašamo le svetlobo, za oskrbo pretvornikov z energijo potrebujemo ločena napajalnika na obeh straneh povezave ali dodaten energetski vodnik.

Na trgu so na voljo različne izvedbe optičnega prenosa signala HDMI. To so na primer integrirani hibridni optični kabli [7], pari oddajnikov in sprejemnikov za prenos signala prek samostojnega hibridnega kabla [8] ter pari oddajnikov in sprejemnikov za prenos signala prek enorodovnega optičnega vlakna. Izbira rešitve vpliva tudi na funkcionalnost vzpostavljene povezave.

3.3 Brezžični HDMI

Specifikacijo WirelessHD, ki omogoča brezizguben brezžični prenos signala HDMI, je pripravil konzorcij Broadcom Corporation, Intel Corporation, LG Electronics Inc., Panasonic Corporation, Samsung Electronics, SiBEAM in drugih manjših podjetij [9].

Brezžični prenos visoke ločljivosti (WiHD) uporablja nelinečni frekvenčni pas okrog frekvence 60 GHz za razširjanje nezgoščenega A/V signala na razdalji do približno 30 m. Povezava deluje le, če sta vir signala in odjemalec v istem prostoru. Ker digitalni video ni zgoščen, je uporabniška storitev enakovredna kabelski povezavi.

WirelessHD se prilagaja nepričakovanim in hitrim spremembam v okolju (npr. premikanje človeka med dvema napravama, ki sta brezžično povezana) z dinamičnim usmerjanjem antenskega snopa v oddajniku. Tvorjenje in usmerjanje snopa favorizira komunikacijo v vidni liniji med oddajno in sprejemno napravo ter obenem dopušča uporabo drugih poti in odbojev, ko nastopi komunikacija brez vidljivosti [10].

WirelessHD potrošniškim napravam omogoča vzpostavitev območnega brezžičnega videoomrežja (Wireless Video Area Network-WVAN) z naslednjimi zahtevami [9]:

- Predvajanje nezgoščenega A/V signala do resolucije 1080 p, upoštevajoč 24-bitni barvni spekter pri frekvenci osveževanja 60 Hz.
- Prenos nezgoščenih A/V tokov in podatkov.
- Napredni kontrolni protokol za A/V naprave.
- Doseg za najvišjo resolucijo HD A/V vsaj 10 m,
- Pametna antena, ki je dovolj robustna v okoljih brez direktne vidljivosti (NLOS).
- Zasebnost podatkov, ki jih generira uporabnik.

Na trgu je še več drugih rešitev, ki ponujajo brezžičen digitalni prenos visokoločljivega A/V signala z uporabo izgubnega zgoščevanja in se zato ne uvrščajo v tematiko članka.

Med naštetimi možnostmi je prenos A/V signala prek paric trenutno optimalna izbira pri opremljanju predavalnic, telovadnic, dvoran, poslovnih in tudi stanovanjskih objektov. V standardne inštalacijske cevi kablov z že vgrajenimi konektorji (HDMI, DVI,...) ne moremo uvleči, saj je njihov premer premajhen. Prav zato nam v tem primeru pridejo prav parični kabli, ki so tanki, fleksibilni in vsekakor pravi za vleko skozi inštalacijske cevi, saj jim konektorje vgradimo na koncu, ko so kabli že povlečeni skozi cevi. Prednosti paričnih kablov so še preprosto rokovanje, cena, razpoložljivost, trpežnost, odpornost in debelina kablov. Poleg tega enake kabelske povezave lahko uporabimo tudi v druge namene, npr. za gradnjo splošnega podatkovnega omrežja. Obenem nam bakreni kabli poleg podatkov omogočajo tudi prenos energije za napajanje vmesnikov.

4 FIZIKALNI PARAMETRI PARIČNE POVEZAVE HDMI

Parično kabelsko povezavo za prenos signala HDMI verificiramo s preverjanjem fizičnih lastnosti, kot so pravilnost vezalne sheme, dolžina kabla, slabljenje, povratna izguba in presluh [5] [6] [11]. Pri tem večino meritev lahko izvedemo z instrumenti, ki so namenjeni testiranju paričnih kablov. S testiranjem se lahko izognemo poznejšim posegom v že izvedeno inštalacijo in zastojem pri uporabi storitve.

S **testom povezljivosti**⁶ preverimo pravilnost povezav, ki nastanejo zaradi morebitnih poškodb kabla

⁶wiremap test

ali pri povezovanju s konektorji. Najpogostejše tovrstne napake so nepravilno priključene parice na konektorju, kratek stik med dvema ali več vodniki, prekrižane parice, prekinitev ter druge nevšečnosti, ki lahko nastanejo pri povezovanju.

Preizkus **slabljenja signala**⁷ opravimo z merjenjem izgube moči signala (ali napetosti) v kablu. Slabljenje merimo v decibelih (dB), narašča pa z dolžino in s frekvenco signala. Za Kategorijo 2 je dopustno slabljenje kabla 5 dB pri 825 MHz in 25 dB pri 5,1 GHz [12].

Verjetno je najbolj kritičen parameter povezave HDMI uravnoteženost zakasnitev oziroma **časovna izkrivljenost** (ang. skew), ki nastane zaradi razlik v trajanju potovanja signala po kablilih različnih dolžin. Slednja v podatkovnih kablilih sme znašati do 45 ns na 100 m prenosa, kar pa ni sprejemljivo pri prenosu signala HDMI. Skladno s specifikacijo sme izkrivljenost kabla Kategorije 2 dosegati največ 112 ps na posameznem diferencialnem kanalu oziroma 1,78 ns med kanali TDMS [12]. Izkrivljenost povzroča barvno neusklajenost posameznih slikovnih elementov ter narašča z dolžino povezave.

Povratno slabljenje povzroča odboj signala od sprejemnika nazaj proti oddajniku in nastane zaradi spremembe impedance kabla in priključkov. Meritev povratnega slabljenja opravimo pri vseh štirih paricah, pri čemer je pomembno, da pri testu vseh paric dobimo primerljive rezultate. Z meritvijo tudi dokažemo, da je kabel na vseh priključkih pravilno zaključen in da pri inštalaciji ni bil fizično poškodovan.

Ena številnih težav vseh vrst paričnih kablov je **presluh**, ki med bližnjimi paricami nastane zaradi indukcije. Dopusten presluh med kanali za kabel Kategorije 2 znaša največ -20 dB [12]. Zmanjšanje presluha rešujemo s kablji z več ovoji na dolžino enote ali z dodatnimi oklopi med posameznimi paricami, oz. boljšo izolacijo kabla. Več ovojov žal poveča slabljenje, kar pomeni, da moramo za optimalno delovanje sklepati določen kompromis med presluhom in slabljenjem (ang. Attenuation to Crosstalk Ratio - ACR) [11].

Z uporabo ustrezne priključne opreme tudi na večjih razdaljah zagotavljamo kakovosten prenos digitalnega A/V signala. Za izvedbo povezave po navadi uporabljamo namenske aktivne prenosne vmesnike, ki poleg vezalne sheme med kabljskimi priključki HDMI in RJ45 najpogosteje vsebujejo tudi regeneratore signala oz. kanalne izenačevalnike [13]. Ob tem maksimalna prenosna razdalja ostaja v zvezi z zahtevano podatkovno hitrostjo, torej z ločljivostjo, osveževanjem in z barvno globino videosignala. Pri tem ima pomembno vlogo izbira pravega kabla oz. prave kategorije povezave. Ob najbolj zmogljivi kategoriji CAT7 je optimalna cenovna izbira po navadi kategorija CAT6, ki omogoča prenos signala HD na vsaj dvakratni razdalji glede na kategorijo CAT5.

5 VERIFIKACIJA PARIČNE POVEZAVE ZA PRENOS SIGNALA HDMI

Funkcionalnost povezave smo preverili v realnem okolju z napravami za široko porabo in s tem praktično verificirali delovanje povezave na izbranih razdaljah.

Uporabili smo par vmesnikov Kramer Electronics PT-561 na oddajni in Kramer Electronics PT-562 HDMI & IR na sprejemni strani [14]. Kot slikovna vira smo uporabili predvajalnik Samsung BD-P4600 in igralno konzolo Microsoft XBOX 360, saj obe napravi omogočata uporabniško izbiro zelene ločljivosti slike. Za predvajalnik smo uporabili digitalni TV-sprejemnik Samsung LED TV UN46C5000. Vmesnike smo z A/V opremo povezali s standardnimi povezovalnimi kablji HDMI, dolgimi 1,5 m in 5 m. Testiranje smo opravili na kablilih UTP kategorije 5 in kablilih FTP kategorije 6. Zaradi uporabljene opreme smo se omejili na testiranje signalov v standardni (SD) in visoki (HD) ločljivosti.

Po specifikacijah izdelovalca vmesnikov naj bi glede na izbrano kategorijo kabla in pripadajoče fizikalne lastnosti kabske povezave dosegali razdalje, kot jih navaja tabela 2.

Tabela 2: Predvideni doseg povezave glede na kategorijo kabla in ločljivost slike

	CAT5	CAT6	CAT7
1080 i	90 m	90 m	100 m
1080 p	30 m	70 m	90 m

Glede na pričakovani doseg smo za testiranje izbrali vnaprej pripravljene odseke kablov CAT5 in CAT6, dolge 30, 65 in 85 m. Pri testiranju smo za posamezne razdalje identificirali največje ločljivosti, ki jih povezava še podpira; rezultate navaja tabela 3.

Tabela 3: Verificirani doseg povezave glede na kategorijo kabla in ločljivost slike

	CAT5	CAT6
1080 p	30 m	65 m
1080 i	65 m	85 m
576 p	85 m	-

Testiranje je obenem pokazalo, da dolžina priključnih povezav HDMI ne vpliva na rezultate, saj pretvorniki z regeneriranjem signala vpliv dovodnega ožičenja ustrezno nevtralizirajo. Tako se skupni doseg signala poveča za dolžino priključnih vodov.

Poizkus je potrdil, da so specifikacije izdelovalca pravilne in da vse deluje tako, kot je predpisano. Obenem so specifikacije razmeroma eksaktne in bistveno večjih dosegov od navedenih ne moremo pričakovati.

Preizkus tudi izkazuje naravo sinhronih povezav HDMI v primerjavi s prenosom A/V gradiva v paketnih podatkovnih omrežjih. Ob šibkem signalu namreč ne prihaja do motenj in »kockanja« slike, temveč povezava

⁷attenuation test

preprosto ne deluje več. V takem primeru se na zaslonu izpiše sporočilo, da signal HDMI ni prisoten oz. ustrezen.

6 SKLEP

V pričujoči študiji smo proučili možnosti za prenos digitalnega A/V signala od izvora do prikazovalnika, ki je navadno fiksno vgrajen. Pri tem podatke rastrske slike v celoti zagotavlja izvor slike, prenos pa opravimo digitalno in brez izgub kodiranja. Zahtevali smo prenos slike v visoki ločljivosti, in sicer v standardni in visoki ločljivosti ob povezavi, ki je vzpostavljena ob uporabi obstoječih povezovalnih poti na način, ki se neopazno vklaplja v prostor. Narava razporeditve opreme določa doseg povezave v razredu nekaj 10 m.

Takšen prenos trenutno najpogosteje zagotavljamo z uporabo povezav HDMI, ki pa za vgradnjo v obstoječo komunikacijsko infrastrukturo zaradi omejenega dosega in dimenzij priključkov ni primerna. Z uporabo komercialnih komunikacijskih vmesnikov ob uporabi žične, optične ali brezžične povezave doseg lahko povečamo. Med alternativnimi možnostmi smo se glede na realizacijo in stroške odločili za vmesnike s povezavo z bakrenimi paricami. Pri tem smo analizirali tehnične zmožnosti za prenos signala HDMI na povečanih razdaljah in cenovno optimalne rešitve tudi praktično preizkusili. Testi so pokazali ustreznost paričnih povezav za pokrivanje posameznih prostorov, saj doseg signala v polni visoki ločljivosti ob uporabi ožičenja CAT6 dosegaja vsaj 65 m.

Z naraščajočo kakovostjo A/V storitev v prihodnosti ne moremo več pričakovati brezizgubnega, nezgoščenega prenosa podatkov med izvorom slike in prikazovalnikom. Tako niti najnovejši standard HDMI 2.0a ne predvideva prenosa slike v ločljivosti 8K, kot jo že podpirajo standardi ultra visoke ločljivosti. Nekatere rešitve za pretočni prenos A/V signala, kot so DLNA ali komercialna AirVideo in ChromeCast, slikovno gradivo prenašajo v izgubno kodirani obliki, za končno rasterizacijo slike pa poskrbi tako imenovana enota za upodabljanje, vgrajena v prikazovalnik slike. Ob številnih omejitvah glede kodirnikov in programske opreme tovrstna rešitev trenutno še ne zagotavlja univerzalne povezljivosti, kakršno pričakujemo predvsem v javnih prostorih, namenjenih A/V projekciji.

7 LITERATURA

- [1] „HDMI - Wikipedia, the free encyclopedia,“ [Elektronski]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/HDMI>. [Poskus dostopa 11. 6. 2015].
- [2] „HDMI Forum – The Next Generation of HDMI Technology,“ [Elektronski]. Available: <http://www.hdmiforum.org/>. [Poskus dostopa 11. 6. 2015].
- [3] B. Gouda.k in A. B.Kalpana, „Design and implementation of high definition multimedia interface transmitter and receiver,“ *International Journal of Advanced Technology & Engineering*

Research (IJATER), Izv. 2, št. 5, pp. 34–40, 2012.

- [4] „HDMI,“ [Elektronski]. Available: <http://www.hdmi.org/>. [Poskus dostopa 11. 6. 2015].
- [5] „Extron Electronics,“ [Elektronski]. Available: <http://www.extron.com/>. [Poskus dostopa 11. 6. 2015].
- [6] S. H. Lampen, „Video and UTP,“ v *Advanced Motion Imaging Conference*, Seattle, Washington, 1996.
- [7] X. Lu, „HDMI over Fiber Technology Overview,“ Audioquest, Irvine, CA, US, 2007.
- [8] „Gefen, LLC,“ [Elektronski]. Available: <http://www.gefen.com/>. [Poskus dostopa 11. 6. 2015].
- [9] „The WirelessHD Consortium serves to organize an industry-led standardization effort to define a next-generation wireless digital interface specification for consumer electronics and PC products,“ [Elektronski]. Available: <http://www.wirelesshd.org/>. [Poskus dostopa 11. 6. 2015].
- [10] A. L. Intini, Orthogonal Frequency Division Multiplexing for Wireless Networks, University of Carolina, 2000.
- [11] „Testing Structured Cabling Systems,“ 2014. [Elektronski]. Available: <http://www.datacottage.com/nch/testing.htm>. [Poskus dostopa 11. 6. 2015].
- [12] Hitachi, Ltd., Matsushita Electric Industrial Co., Ltd., Philips Consumer Electronics, International B.V., Silicon Image, Inc., Sony Corporation, Thomson Inc., Toshiba Corporation, „High-Definition Multimedia Interface Specification Version 1.3a,“ 10. 11. 2006. [Elektronski]. Available: <http://www.microprocessor.org/HDMISpecification13a.pdf>. [Poskus dostopa 11. 6. 2015].
- [13] W. W. Jason Rubadue, „Extending HDMI Cable Reach Using National's DS16EV5110A, DS22EV5110 and DS34RT5110 Equalizers,“ National Semiconductor, 2009.
- [14] „Kramer Electronics - Product Search,“ [Elektronski]. Available: <http://www.kramerelectronics.com/products/>. [Poskus dostopa 11. 6. 2015].

Urban Burnik je diplomiral leta 1992, magistriral leta 1996 in doktoriral leta 2002 na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani. Zaposlen je kot asistent na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Njegova raziskovalna zanimanja obsegajo obdelavo signalov, multimedijske in mobilne storitve.

Klemen Podgornik je diplomiral leta 2012 na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Zaposlen je v podjetju Mahle Letrika, d.o.o., kot inženir kakovosti na področju električnih pomožnih sistemov. Skrbi za kakovost izdelave električnih motorjev za volanske sisteme, vgrajene v osebna vozila. Kot inženir kakovosti je kompetenten za statistično obvladovanje procesa SPC ter za uporabo metod za hitro identifikacijo osnovnih vzrokov, kot so FAST-X, 6 Sigma, Ishikawa in FTA.

Marko Meža je diplomiral leta 2001 in doktoriral leta 2007 na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Zaposlen je kot asistent na Fakulteti za elektrotehniko v laboratoriju LUCAMI. Ukvarja se z raziskavami na področju uporabe algoritmov strojnega učenja v specifičnih problemih v medicini in z digitalno obdelavo signalov.