

UNIVERZA V LJUBLJANI  
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Boštjan Kozina

STANDARDI ZA POVEZAVE ZASLONOV LCD

DIPLOMSKO DELO NA  
VISOKOŠOLSKEM STROKOVNEM ŠTUDIJU

Mentor: pred. mag. Igor Škraba

Ljubljana, 2013





Št. naloge: 00555/2013

Datum: 03.04.2013

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko izdaja naslednjo nalogo:

Kandidat: **BOŠTJAN KOZINA**


Naslov: **STANDARDI ZA POVEZAVE ZASLONOV LCD  
PANEL DISPLAY INTERFACE STANDARDS**

Vrsta naloge: Diplomsko delo visokošolskega strokovnega študija


Tematika naloge:

V nalogi podajte kratek pregled zaslonskih tehnologij in predstavite vrste povezav za prenos digitalnih podatkov. Opišite standard LVDS in protokol TMDS ter njuno uporabo pri DVI in HDMI vmesnikih.

Mentor:

  
pred. mag. Igor Škraba

Dekan:

  
prof. dr. Nikolaj Zimic





# IZJAVA O AVTORSTVU

## diplomskega dela

Spodaj podpisani/-a Boštjan Kozina,

z vpisno številko 63000053,

sem avtor/-ica diplomskega dela z naslovom:

STANDARDI ZA POVEZAVE ZASLONOV LCD

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- sem diplomsko delo izdelal/-a samostojno pod mentorstvom (naziv, ime in priimek)

pred. mag. Igor Škraba

in somentorstvom (naziv, ime in priimek)

- so elektronska oblika diplomskega dela, naslov (slov., angl.), povzetek (slov., angl.) ter ključne besede (slov., angl.) identični s tiskano obliko diplomskega dela
- soglašam z javno objavo elektronske oblike diplomskega dela v zbirki »Dela FRI«.

V Ljubljani, dne 3. 7. 2013 Podpis avtorja: \_\_\_\_\_



# ZAHVALA

Zahvaljujem se staršem za omogočanje študija, neomajeno podporo, zaupanje in razumevanje. Hvala vam za potrpežljivost.

Iskreno bi se rad zahvalil svojemu mentorju mag. Igorju Škrabi, za vso spodbudo in podporo, za ves čas, trud in nasvete pri nastajanju ter izdelavi diplomskega dela.

Hvala vsem prijateljem, ki so kadar koli pripomogli pri diplomskem delu, za vse spodbudne besede in dejanja, za zaupanje in razumevanje.

Moji najdražji.



# KAZALO

POVZETEK

ABSTRACT

1 UVOD.....	1
2 SPLOŠNO O ZASLONIH .....	2
2.1 Osnovni pojmi.....	2
2.2 Vrste zaslonov.....	3
2.2.1 Zaslon LCD .....	4
2.2.2 Zaslon OLED .....	5
2.3 Ločljivosti zaslonov .....	6
3 POVEZOVALNI STANDARDI.....	8
3.1 Vrste povezav .....	8
3.1.1 Analogni prenos .....	8
3.1.2 Digitalni prenos .....	9
3.1.3 Paralelni prenos .....	10
3.1.4 Serijski prenos .....	11
3.1.5 Asimetrični prenos .....	12
3.1.6 Simetrični prenos.....	12
4 STANDARDI ZA POVEZAVO ZASLONOV LCD.....	14
4.1 Standard LVDS.....	14
4.1.1 Delovanje LVDS .....	15
4.1.2 Električne specifikacije LVDS.....	15
4.2 Protokol TMDS.....	16
4.2.1 Delovanje TMDS .....	17
4.2.2 Električne karakteristike TMDS.....	17
4.2.3 Kodiranje.....	19
5 VMESNIK DVI.....	21
5.1 Enojna povezava DVI.....	21
5.2 Dvojna povezava DVI.....	22
5.3 Fizične lastnosti .....	23
5.3.1 Konektorji.....	23
5.3.2 Signali.....	24

5.3.3 Povezovalni kabel .....	25
6 VMESNIK HDMI .....	26
6.1 Povezava HDMI .....	26
6.2 Fizične lastnosti .....	27
6.2.1 Konektor .....	28
6.2.2 Signali.....	29
6.2.3 Povezovalni kabel .....	31
7 PRIMERJAVA VMESNIKA DVI IN HDMI .....	32
7.1 Povezljivost vmesnika HDMI z DVI.....	32
7.2 Ključne razlike med vmesnikom DVI in HDMI .....	33
7.3 Prednosti in slabosti vmesnika DVI ter HDMI.....	33
7.4 Standard HDMI 2.0.....	34
8 SKLEPNE UGOTOVITVE.....	35
9 VIRI.....	36

## SLIKE

Slika 1: Plasti zaslona LCD ter prehajanje svetlobe.....	4
Slika 2: Plasti zaslona OLED .....	5
Slika 3: Grafični prikaz standardnih ločljivosti in njihova razmerja.....	7
Slika 4: Analogna povezava zaslona LCD in grafične kartice .....	8
Slika 5: Digitalna povezava zaslona LCD in grafične kartice.....	9
Slika 6: Prenos podatkov pri paralelnem prenosu .....	10
Slika 7: Prenos podatkov pri serijskem prenosu.....	11
Slika 8: Električna shema asimetrične linije.....	12
Slika 9: Električna shema simetrične linije .....	13
Slika 10: Električna shema diferencialne linije LVDS.....	15
Slika 11: Napetostni nivoji oddajnika in sprejemnika LVDS .....	16
Slika 12: Električna shema diferencialne linije TMDS .....	17
Slika 13: Očesni diagram oddajnika TMDS.....	18
Slika 14: Očesni diagram sprejemnika TMDS .....	19
Slika 15: Sprememba 8 bitnega podatka v 10 bitno kodo .....	20
Slika 16: Arhitektura dvojne povezave DVI .....	22
Slika 17: Različni konektorji DVI .....	23
Slika 18: Blokovna shema povezave HDMI .....	27
Slika 19: Različne vrste konektorjev HDMI .....	28
Slika 20: Primera pretvornikov HDMI - DVI .....	32

## TABELE

Tabela 1: Najpogostejše uporabljene ločljivosti na različnih vrstah zaslonov .....	6
Tabela 2: Signali konektorja DVI-I .....	24
Tabela 3: Signali konektorja HDMI .....	29



## SEZNAM UPORABLJENIH KRATIC

1080i	Ločljivost 1080 linij z osveževanjem polovice zaslona
1080p	Ločljivost 1080 linij z osveževanjem celega zaslona
2K	Definicija dvojne ločljivosti 1080p zaslona
2160p	Ločljivost 2160 linij z osveževanjem celega zaslona
4K	Štirikratna ločljivost 1080p zaslona
4K UHD	Ultra High Definition Television z ločljivostjo 2160p
720p	Ločljivost 720 linij z osveževanjem celega zaslona
8K	Definicija osemkratne ločljivosti 1080p zaslona
ARC	Audio Return Channel
CEC	Consumer Electronics Control
DDC	Display Data Channel
DFP	Digital Flat Panel
DVD	Digital Video Disc
DVI	Digital Video Interface
EDID	Extended Display Identification Data
EDTV	Enhanced-Definition Television
FPD	Flat Panel Display
HDMI	High Definition Multimedia Interface
HDTV	High Definition Television
HEC	HDMI Ethernet Channel
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light-Emitting Diode
OLED	Organic Light-Emitting Diode
QXGA	Quad Extended Graphics Array
RGB	Red, Green, Blue
RLL	Run length limited
SDTV	Standard-Definition Television
TFT	Thin Film Transistor
TMDS	Transition-Minimized Differential Signaling
VGA	Video Graphics Array
WQUXGA	Wide Quad Ultra Extended Graphics Array
XGA	Extended Graphics Array
YCbCr	Način predstavitve video slike ali digitalne fotografije



# POVZETEK

Diplomsko delo obravnava povezovalne standarde zaslonov LCD, ki nam omogočajo prenos signala iz oddajnika do zaslona.

V prvem sklopu diplomskega dela so opisani osnovni pojmi, ki se uporabljajo pri prenosu slike na zaslon. Opisano je tudi delovanje najpogostejših vrst današnjih zaslonov ter podrobno razložen pojem ločljivosti zaslonov, saj nam bo razumevanje le-tega pomagalo pri razumevanju povezovalnih standardov.

V nadaljevanju so predstavljene različne vrste in načini povezovalnih standardov. Pri tem so opisane posamezne vrste prenosov in razlike med njimi. Podrobneje sta predstavljena dva povezovalna standarda za povezavo zaslonov LCD, ki se danes uporabljata, električne specifikacije ter njun namen uporabe.

Osrednji del vsebuje predstavitev dveh vmesnikov, ki se uporabljata za zunanjo povezavo z zasloni LCD. Podrobno bomo opisali njuno delovanje, arhitekturo in fizične lastnosti, kamor spadajo opis kabla, konektorja in signalov, ki se prenašajo.

V zadnjem sklopu bomo primerjali vmesnika DVI in HDMI, njune možne povezljivosti ter ključne razlike. Opisan je tudi razvoj vmesnika HDMI v prihodnje.

Ključne besede:

- povezovalni standardi
- zaslon LCD
- ločljivost
- vmesnik DVI
- vmesnik HDMI



# ABSTRACT

The following thesis deals with panel display interface standards, which make it possible to transfer the signal from transmitter to panel display.

In the first part of the thesis basic concepts, which are used for transferring picture to the display are described. Besides that, working of the most common kinds of modern displays is explained. In the end of the first part the concept of resolution is described in details, because understanding of this will be helpful for us to understand connecting standards further on.

In continuation different kinds and ways of connecting standards are represented together with kinds of transfer and the differences between them. Two contemporary connecting standards for panel displays are explained in details, the electrical specifications and the purpose of their usage.

The main thesis's part contains presentations of two interfaces, which are used for outer connection with panel displays. Their activity, composition and physical characteristics (which contain description of cable, connector and signals, which are being transferred) are minutely described.

In the final part DVI and HDMI interfaces are compared in their possible ways of connectivity and crucial differences between them. Additionally, the predicted evolution of HDMI interface henceforth is presented.

Keywords:

- connecting standards
- panel display
- resolution
- DVI interface
- HDMI interface



# 1 UVOD

Vsak zaslon potrebuje povezavo z oddajnikom, ki mu pošilja podatke. Skozi čas so se do danes uporabnikove potrebe in nameni zaslonov zelo spreminjali; zato je na področju povezovanja zaslonov z oddajniki iznašli mnoge elegantne rešitve. V času katodnih televizijskih sprejemnikov je bil prenos signala na ekran analogen, z digitalnimi zasloni, kot so digitalne ure, kalkulatorji in računalniški zasloni, pa se je signal pričel prenašati tudi v digitalni obliki. Uporabniki in proizvajalci zaslonov vedno znova strmijo k izboljšavam, v tem primeru je to lepša in boljša slika.

Ob digitalni revoluciji in množični uporabi elektronike so razvili mnoge rešitve na področju zunanjega prenosa slike in zvoka od oddajnika, ki je lahko osebni računalnik, predvajalnik DVD, set top box, videokamera, digitalni fotoaparat ali drugo, do sprejemnika, ki pa je ponavadi televizor LCD ali računalniški zaslon.

Pri prenosu slike iz osebnega računalnika do računalniškega zaslona se je uveljavil standard DVI, pri ostali zabavni elektroniki, predvsem pri povezovanju različnih naprav multimedijske elektronike pa strmo narašča uporaba standarda HDMI. Zato se bomo v nadaljevanju osredotočili na podrobnejši opis teh dveh standardov. Predno se lahko lotimo podrobnejšega opisa vmesnikov, moramo spoznati še osnovne pojme o zaslonih, delovanje zaslonov ter osnovne povezovalne standarde, ki se uporabljajo pri prenosu digitalnih vsebin. Primerjali bomo tudi različne prenose med seboj, saj se za različne namene uporabljajo različne vrste prenosov.

## 2 SPLOŠNO O ZASLONIH

### 2.1 Osnovni pojmi

Uporaba in razumevanje delovanja računalniških zaslonov je povezana tudi z razumevanjem pojmov in parametrov o njih. Z razlago le-teh skušam bralcu približati tehnologijo računalniških zaslonov in tehnologijo računalniških vmesnikov.

**Piskel** – Najmanjši pravokotni del digitalne slike. Lahko je del slike na tiskalniku, zaslonu ali kameri. Piskel ali slikovna točka je lahko tudi najmanjša logična enota računalniške slike v pomnilniku. Vsak piskel ima svojo vrednost svetlosti in barve. Barve slikovnih pik so v računalnikih določene kot mešanica svetlosti oziroma intenzitete treh osnovnih barv; rdeče, zelene in modre [1].

**Barvna globina [bit / piskel]** – To je število barv na piskel, ki jih podpirata monitor in grafična kartica. [1] Barvni sistemi ponavadi uporabljajo 6 ali 8 bitov za vsako osnovno barvo piksla s čimer predstavljajo  $2^{18}$  oziroma  $2^{24}$  različnih kombinacij barv. Torej govorimo o 18- ali 24-bitni globini slike.

**Frekvenca piksla [Hz]** – je število prenešenih pikslov v sekundi pri prenosu slikovnega signala.

**Okvir slike** – je najmanjše možno število pikslov, ki sestavljajo sliko.

**Horizontalna skenirna frekvenca [Hz]** – število horizontalnih vrstic izrisanih v sekundi

Frekvenca osveževanja [Hz] – imenovana tudi vertikalna frekvenca osveževanja, je število okvirjev na sekundo, ki določa kolikokrat v sekundi se spremeni slika.

Odzivni čas [ms] – čas, potreben za spremembo piksla slike iz neaktivnega v aktivno stanje in obratno.

Ločljivost – pogosto tudi resolucija, mera, ki določa velikost slike opredeljeno v številu linij  $\times$  število pikslov, denimo  $640 \times 480$  ali  $1280 \times 1024$ .

Pasovna širina [Hz] – frekvenčno območje prenosnega medija, ki je razlika med spodnjo in zgornjo frekvenčno mejo. Pasovna širina je v računalništvu velikokrat sinonim za hitrost prenos v bitih na sekundo.

Hitrost prenosa [bit/s] – število bitov na sekundo, ki so potrebni za prenos slikovne informacije z določenimi parametri in se izračuna se po formuli:

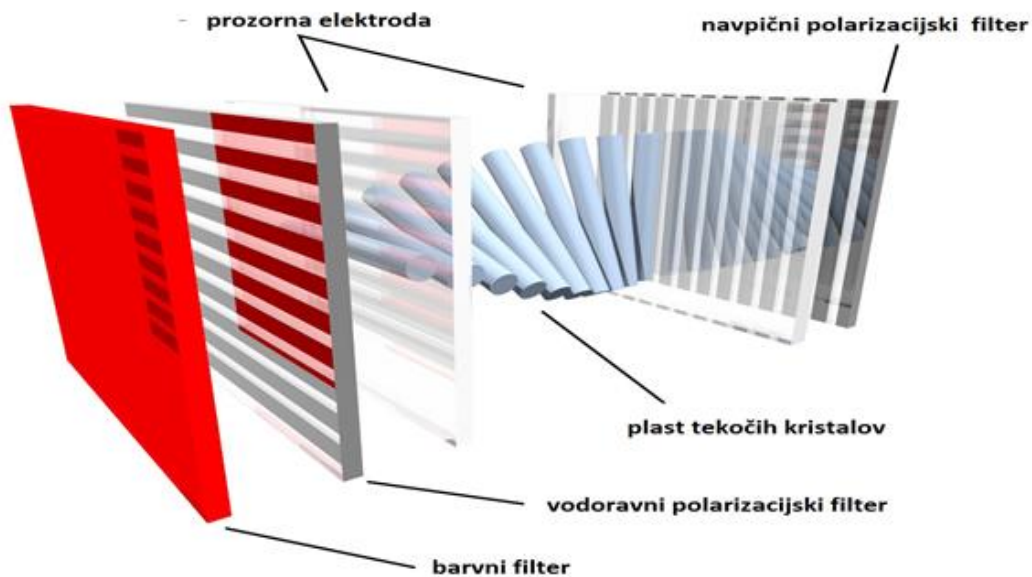
$$B = \frac{\text{št.pikslov}}{\text{linijo}} \times \frac{\text{št.linij}}{\text{okvir}} \times \frac{\text{št.okvirjev}}{\text{sekundo}} \times \frac{\text{št.bitov}}{\text{piskel}} \quad [2]$$

## 2.2 Vrste zaslonov

Poznamo veliko vrst različnih zaslonov. V osnovi jih lahko delimo kot analogne in digitalne. V nadaljevanju se bomo osredotočili na podrobnejši opis delovanja digitalnih zaslonov, saj so popolnoma nadomestili analogne zaslone.

## 2.2.1 Zaslona LCD

Zaslona LCD (Liquid Crystal Display) so že popolnoma nadomestili analogne katodne zaslona. Za svoje delovanje izkoriščajo lastnost tekočih kristalov, da jim lahko z elektronskim krmiljenjem spreminjamo lastnosti.



**Slika 1: Plasti zaslona LCD ter prehajanje svetlobe [3]**

Slika 1 prikazuje delovanje zaslonov LCD. V ozadju je barvni filter, ki je odseven. Nato mu sledita vodoravni polarizacijski film in prozorna elektroda. Sledi plast tekočih kristalov, ena prozorna elektroda ter navpični polarizacijski film [4].

Tekoči kristali so podolgovate molekule. Ko elektrodi nista pod napetostjo so molekule razvrščene naključno po brazdah. Ob priključitvi elektrod na napetost steče električni tok in povzroči, da molekule spremenijo orientacijo in se orientirajo vzporedno z električnim poljem. Posledica tega je, da svetloba skozi kristale ne prehaja več nemoteno in če je piksel poravnan, svetloba skozenj ne pronica in deluje, kot da je črno obarvan [5].

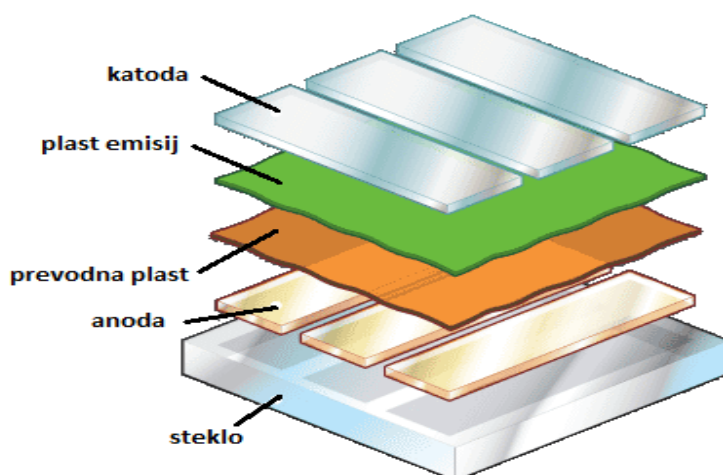
Tekoči kristali ne oddajajo svetlobe, zato je potreben izvor svetlobe v ozadju, ki so danes večinoma izvori LED. Ta svetloba potuje preko polarizacijskih filtrov in tekočih kristalov do

ekrana. V primeru, da imamo barvni zaslon LCD, so piksli razdeljeni na tripod piksle, ki predstavljajo rdečo, zeleno, modro barvo in skupaj tvorijo vso potrebno paleto barv [4].

### 2.2.2 Zaslon OLED

Zaslon OLED je sestavljen iz diod LED, kjer je luminiscentna plast organska snov, ki oddaja svetlobo kot odziv na električni tok.

Slika 2 prikazuje plasti tipičnega zaslona OLED. Sestavljen je iz katode, dveh plasti organskih snovi; to sta plast emisij ter prevodna plast, ki se nahaja med dvema elektrodama anodo in katodo ter substratom, ki je običajno steklo.



**Slika 2: Plasti zaslona OLED**

Ko je celica OLED priključena na električno napetost, postane ena plast negativno nabita in zato privlači drugo, ki je pozitivno nabita. Med katodo in anodo steče električni tok, ki stimulira organske snovi med elektrodama, da oddajajo elektroluminiscentno svetlobo, ki je vidna skozi zunanjo steklo. Povečanje organske snovi pomaga nadzorovati svetilnost in barvo svetlobe. Proizvajalci lahko izbirajo med enostavnimi molekulami ali kompleksnimi verigami molekul imenovanimi polimeri, za kar najboljše lastnosti zaslona. V nasprotju z zaslone LCD imajo to prednost, da zaslone OLED sami oddajajo svetlobo in ni potreben dodaten vir svetlobe [5].

Obstajajo zasloni OLED z aktivno in pasivno matriko. Aktivni zaslon OLED (AMOLED) potrebuje TFT vezje za vklapljanje in izklapljanje vsakega posameznega piksla, a omogoča uporabo pri večjih zaslonih in večje resolucije.

## 2.3 Ločljivosti zaslonov

Ločljivost zaslona ali pogosto imenovana tudi resolucija zaslona, nam pove največjo velikost slike, ki jo zaslon lahko prikaže. Za izražanje ločljivosti, ki je lahko za različne namene in potrebe različna, lahko uporabimo enega izmed treh načinov:

- s številom linij  $\times$  številom pikslov v liniji (npr.  $1280 \times 720$ ),
- s številom linij ter načinom osveževanja; osveževanje celega ali polovico zaslona hkrati (npr. 720p),
- s produktom števila linij in števila pikslov; izraženo v številu pikslov (npr. 4 MP).

V tabeli 1 je navedenih nekaj primerov najpogostejših ločljivosti, ki se uporabljajo pri digitalnih televizorjih, kino projektorjih ter računalniških zaslonih. Vse ločljivosti so v zadnjih letih strmo naraščale zaradi razvoja tehnologije digitalnih zaslonov.

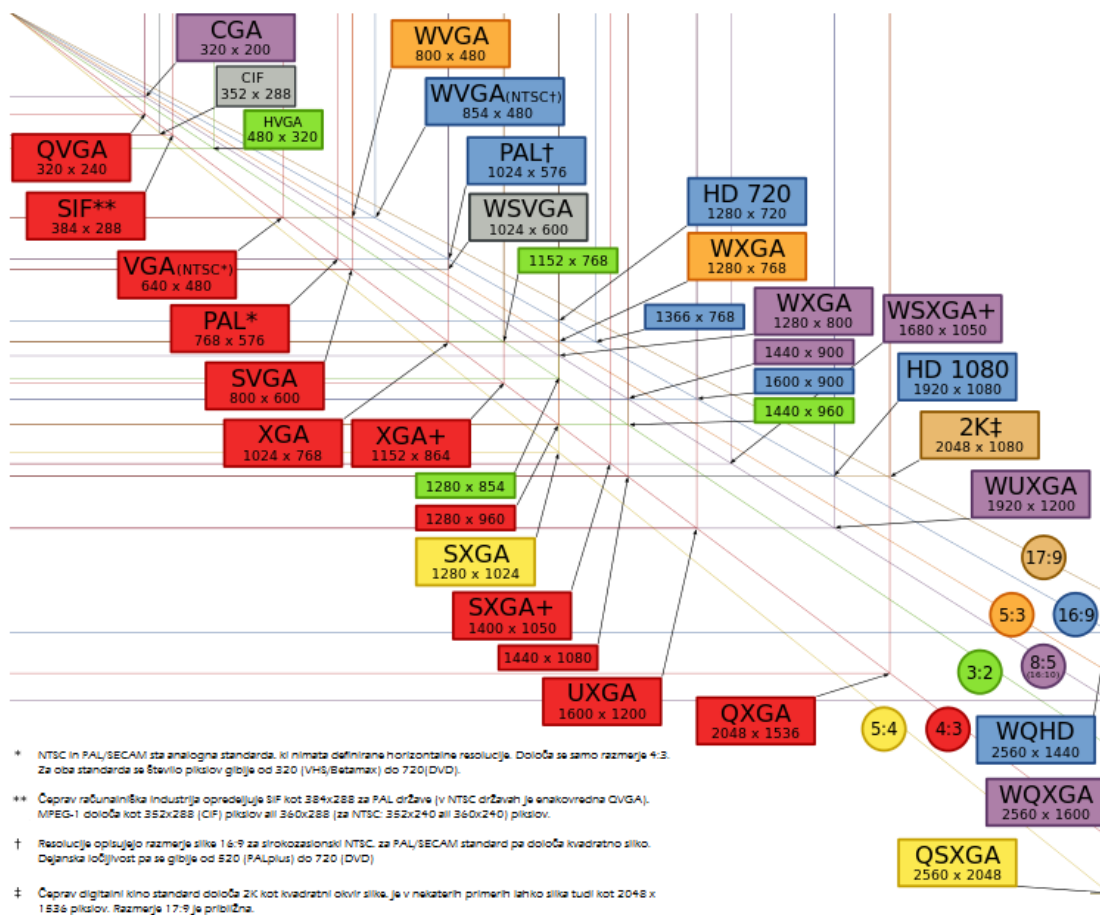
**Tabela 1: Najpogostejše uporabljene ločljivosti na različnih vrstah zaslonov**

DIGITALNE TELEVIZIJE	KINO PROJEKTORJI	RAČUNALNIŠKI ZASLONI
720p (1280 $\times$ 720 progressive scan)	2K Digital Cinema (2048 $\times$ 1080)	VGA (640 $\times$ 480)
1080i (1920 $\times$ 1080 interlaced scan)	4K Digital Cinema (4096 $\times$ 2160)	XGA (1024 $\times$ 768)
1080p (1920 $\times$ 1080 progressive scan)	8K Digital Cinema (8192 $\times$ 4608)	QXGA (2048 $\times$ 1536)
2160p (3840 $\times$ 2160 progressive scan)		WQUXGA (3840 $\times$ 2400)

Razmerje med številom pikslov na linijo in številom vodoravnih linij je ponavadi 4:3, novejši standardi pa podpirajo razmerje 16:9. Višja ločljivost navadno omogoča boljšo sliko, vendar

je to odvisno od velikosti zaslona, saj so pri visoki ločljivosti na majhnem zaslonu elementi majhni in zato težko vidni.

Slika 3 prikazuje standardne ločljivosti v analognih in digitalnih sistemih. Vsak standard določa število linij in število pikslov na linijo ter njihovo medsebojno razmerje. Različni standardi se uporabljajo v različne namene, odvisno od potreb. Nekateri standardi, npr. Standard CGA, se skoraj ne uporabljajo več, saj so jih nadomestili zasloni, ki podpirajo večje ločljivosti [6].



Slika 3: Grafični prikaz standardnih ločljivosti in njihova razmerja [6]

## 3 POVEZOVALNI STANDARDI

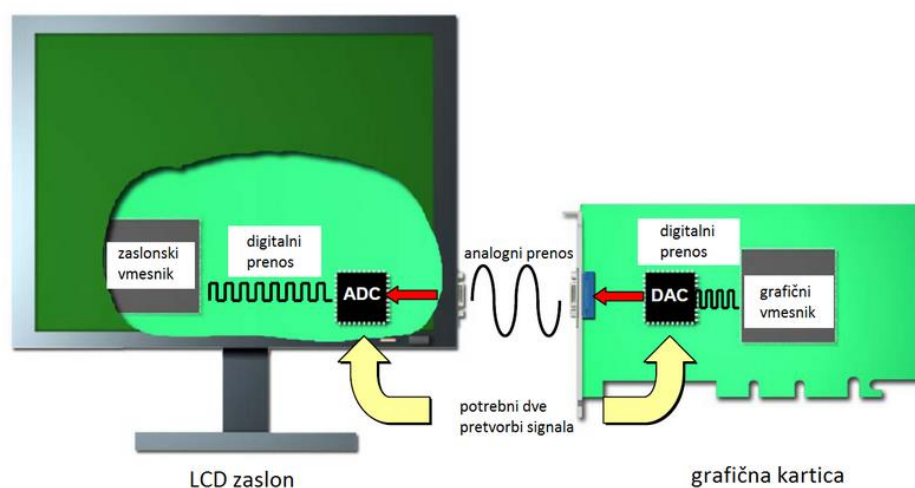
Po povezovalnih linijah lahko prenašamo analogne ali digitalne podatke. Povezovalni standardi določajo vrsto povezave, električne, mehanske in fizične lastnosti, lahko tudi protokol prenosa podatkov. Digitalni prenos delimo glede na vrsto in način povezave:

- serijski in paralelni prenos,
- asimetrični in simetrični prenos.

### 3.1 Vrste povezav

#### 3.1.1 Analogni prenos

Prenos neprekinjenega signala po liniji, kjer se parametri signala zvezno spremenijo imenujemo analogni prenos. Uporablja se ena izmed analognih modulacij, kot je frekvenčna, amplitudna ali fazna modulacija.



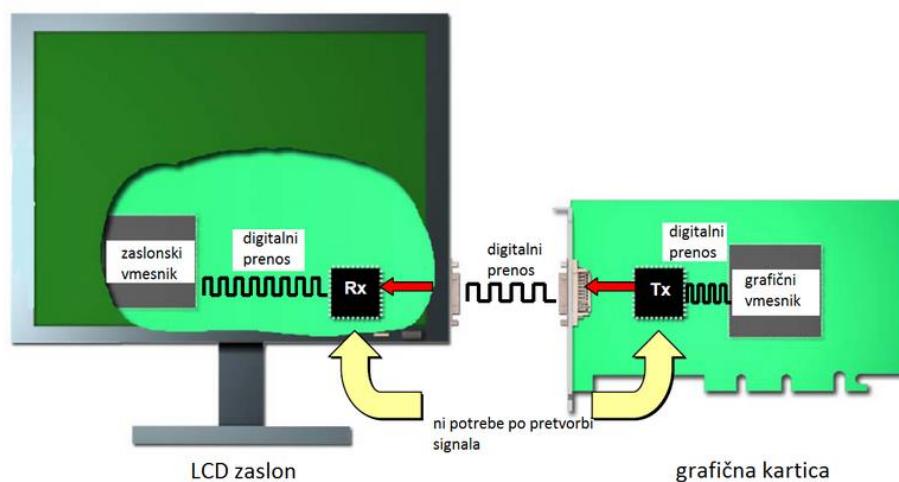
Slika 4: Analogna povezava zaslona LCD in grafične kartice [7]

Pri analogni povezavi, kot je grafična kartica – zaslon, potrebujemo pretvornik digitalnega signala v analognega na oddajni strani (grafična kartica) ter pretvornik analognega signala v digitalnega na sprejemni strani (zaslon) kot prikazuje slika 4. Analogni prenos je še vedno popularen pri prenosu na krajših razdaljah zaradi enostavnosti in povsod tam, kjer ne potrebujemo digitalnih transformacij.

### 3.1.2 Digitalni prenos

Digitalni prenos imenujemo prenos dveh stanj po liniji od oddajnika do sprejemnika. Pri digitalnem prenosu lahko električni signal predstavlja samo dve vrednosti, 0 ali 1.

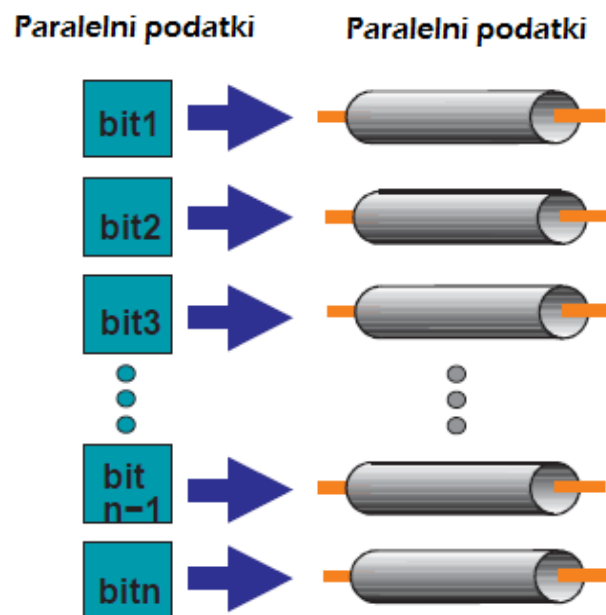
Največja prednost pri digitalnem prenosu je, da signala ni potrebno pretvarjati v analognega in nazaj, s tem pa se izognemo kvantizacijskemu šumu. V primerjavi s prenosom analognega signala lahko signal pošljemo tudi na bistveno večje razdalje. Pri digitalni povezavi grafične kartice in zaslona LCD odpadeta tako D/A pretvorba na oddajni strani, kot tudi A/D pretvorba na sprejemni strani [7].



Slika 5: Digitalna povezava zaslona LCD in grafične kartice [7]

### 3.1.3 Paralelni prenos

Paralelno pošiljanje bitov pomeni istočasno pošiljanje bitov po več vzporednih linijah, kot je prikazano na sliki 6. Pri paralelnem prenosu je pomembna zgolj hitrost. Produkt števila linij ter števila prenosov v eni sekundi nam pove hitrost paralelnega prenosa v bitih na sekundo. Z večanjem števila linij tako lahko enostavno povečujem hitrost prenosa podatkov, a se zaradi tega povečuje tudi presluh in zamik med posameznimi biti pri posameznih povezavah na matični plošči, kot je npr. povezava procesorja in glavnega pomnilnika [8].

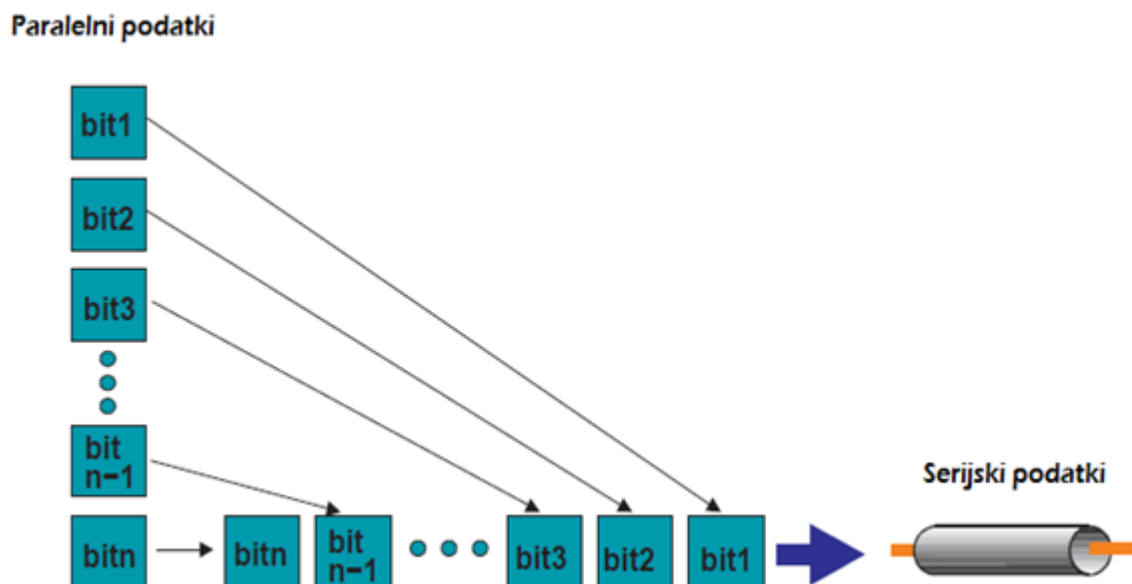


Slika 6: Prenos podatkov pri paralelnem prenosu [8]

### 3.1.4 Serijski prenos

Pri serijskem prenosu poteka prenos bit za bitom po eni prenosni liniji, kot je prikazano na sliki 7. Večina povezav za prenos podatkov dandanes uporablja serijski prenos zaradi naslednjih lastnosti:

- manj motenj kot pri paralelnem prenosu,
- uporablja se pri pošiljanju na večje razdalje,
- cenovno ugodnejši,
- ne pride do zamika,
- večja zanesljivost kot pri paralelnem prenosu.



Slika 7: Prenos podatkov pri serijskem prenosu [8]

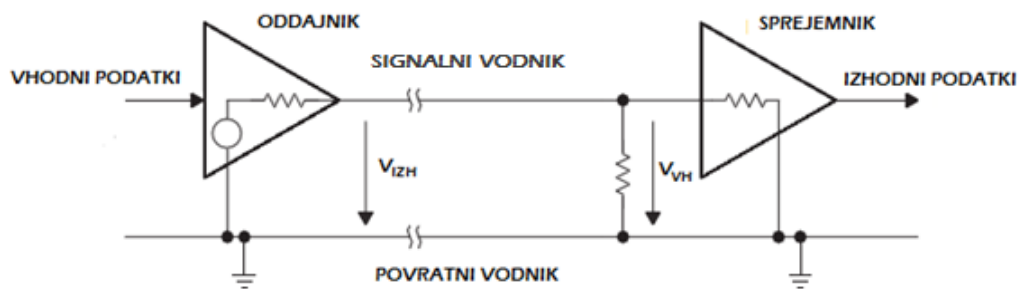
Slaba stran pa je, da poteka paralelno - serijska pretvorba podatkov pri oddajniku in serijsko - paralelna na sprejemni strani, kar pa podaljšuje čas prenosa.

### 3.1.5 Asimetrični prenos

Pri asimetričnem prenosu se signal prenaša po eni signalni liniji in se logično stanje definira z napetostjo proti masi, ki je povratni vodnik, kot prikazuje slika 8. Uporablja se tam, kjer je enostavnost povezave in nizka cena bolj pomembna od hitrosti prenosa podatkov [8].

Prednosti in slabosti asimetričnega prenosa:

- izredno občutljiv na šum, saj je masa vezana na sistem,
- občutljiv na elektromagnetne motnje, manjša zanesljivost,
- uporaben na krajših razdaljah,
- enostaven za implementacijo,
- nizka cena.



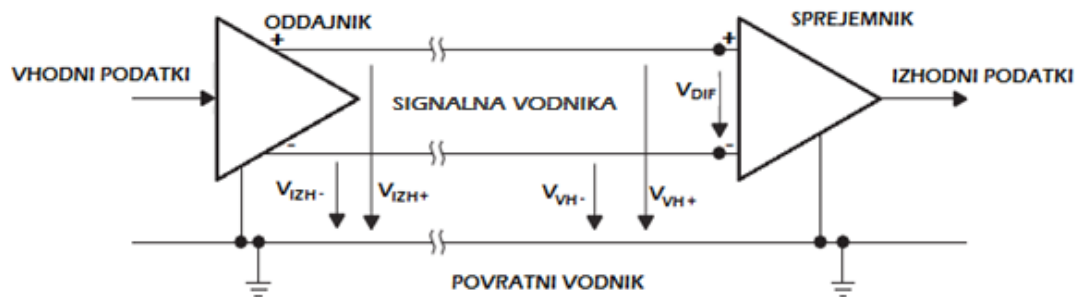
Slika 8: Električna shema asimetrične linije [8]

### 3.1.6 Simetrični prenos

Za simetrični prenos potrebujemo dve signalni liniji za vsako linijo ter maso. Po prvem signalnem vodniku se prenaša signal v fazi, po drugi pa je prenešen signal v protifazi, kot prikazuje slika 9. Sprejemnik detektira samo razliko napetosti med signaloma [8].

Prednosti in slabosti simetričnega prenosa:

- zaradi upoštevanja difference napetosti med vodnikoma manj občutljiv na elektromagnetne motnje,
- manj občutljiv na presluh,
- cenovno dražji od simetrične linije zaradi dodatnega signalnega vodnika in diferencialnih oddajnikov ter sprejemnikov,
- uporablja se lahko na daljših razdaljah,
- dosega bistveno večje hitrosti kot asimetrični prenos.



Slika 9: Električna shema simetrične linije [8]

Zaradi višje cene v primerjavi z asimetrično povezavo, se simetrične povezave uporabljajo predvsem pri serijskih povezavah.

## 4 STANDARDI ZA POVEZAVO ZASLONOV LCD

S prevlado zaslonov LCD je pri prenosu slikovnih podatkov na zaslon postala pretvorba signala iz analognega v digitalnega nepotrebna. Analogni standard VGA je tako postal neprimeren za povezavo zaslonov in je bilo potrebno razviti nov digitalni standard za prenos video vsebin. Iz potreb po digitalnem standardu sta se razvila:

- LVDS kot električni standard za povezavo zaslona in računalnika
- TMDS kot protokol za električno povezavo pri standardu DVI

### 4.1 Standard LVDS

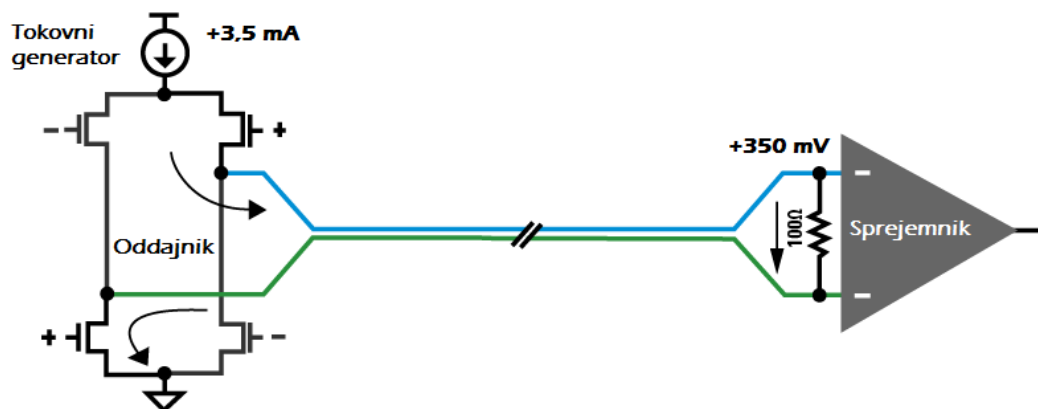
Standard LVDS je bil leta 1994 razvit z namenom, da bi omogočal visoke hitrosti prenosov po poceni bakreni parici. Njegovo urabno ime je TIA / EIA – 644. Uporablja simetrični prenos podatkov ter deluje z nizko napetostjo in potrebuje malo energije, za delovanje pa izkorišča razliko v napetosti na parici. Standard je na voljo brezplačno. Kot nadgradnjo standarda LVDS so pri National Semiconductors razvili FPD Link, ki je postal standard prenosa pri prenosnih računalnikih. Pri zunanjih povezavah se LVDS ni uveljavil, saj tam prevladuje standard TMDS [9].

Ker standard LVDS uporablja simetričen prenos, zato izkorišča majhno razliko v napetosti, ki znaša samo 355 mV. Deluje nizkonapetostno, kar vodi v majhno porabo energije in skupaj z majhno razliko v napetosti omogoča hitro in zanesljivo preklapljanje med stanji in s tem dosega visoke hitrosti pri prenosih.

Dolžina povezave pri standardu LVDS je omejena na 10 metrov. Ozko grlo postane, ko se velikost zaslona poveča na 40 do 50 palcev in to zaradi kompleksnosti priključkov, šuma in zamika bitov.

### 4.1.1 Delovanje LVDS

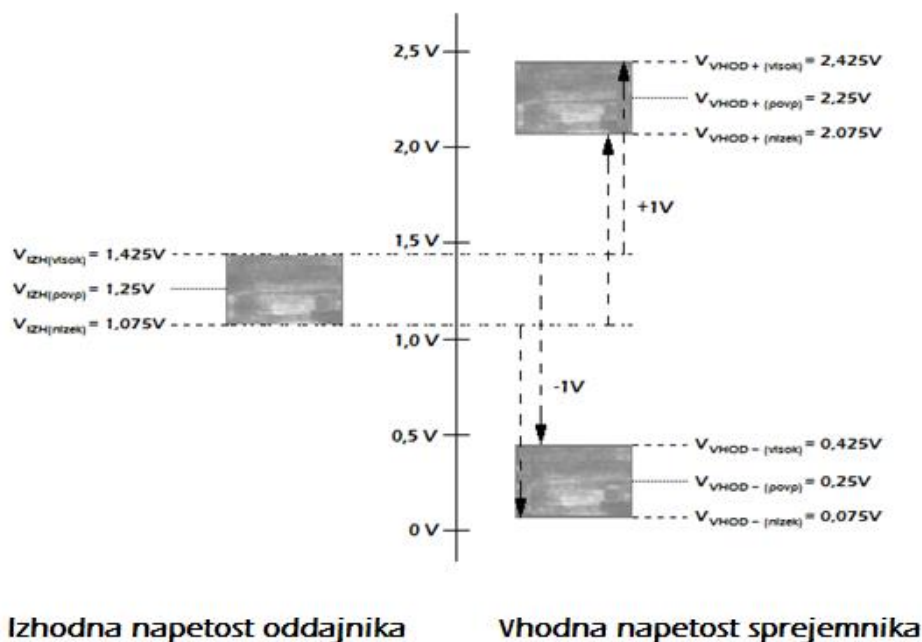
Na sliki 10 je prikazano delovanje oddajnika in sprejemnika LVDS. Oddajnik je generator električnega toka, ki napaja linijo s tokom najmanj 3 mA in generira signal ter signal v protifazi za pošiljanje po obeh signalnih vodnikih. Linija je parica. Sprejemnik ima visoko vhodno impendanco. Tok teče skozi zaključitveni upor z upornostjo 100 Ohm in povzroči padec napetosti 350 mV. Signal ima povprečno napetost 1.2 V, vendar sprejemnik sprejema vhodne signale od 0V do 2.4 V [9].



Slika 10: Električna shema diferencialne linije LVDS [2]

### 4.1.2 Električne specifikacije LVDS

Slika 11 prikazuje izhodne in vhodne napetostne nivoje za visoko in nizko stanje oddajnika in sprejemnika LVDS. Oddajnik deluje s povprečno napetostjo 1,25 V ter nihajem 350 mV. Napetostno območje sprejemnika LVDS se giblje med 0,075 V ter 2,425 V. Sprejemnik sprejema signal v fazi kot 1 V višji od napetosti oddajnika ter signal v protifazi 1 V nižji. Povprečna nizka napetost sprejemnika je 0,25 V, povprečna visoka napetost pa 2,25 V [10].



Slika 11: Napetostni nivoji oddajnika in sprejemnika LVDS [10]

## 4.2 Protokol TMDS

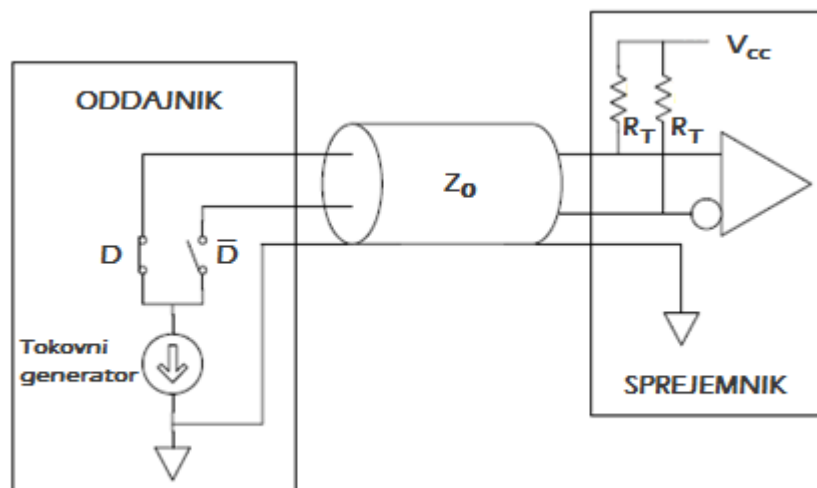
Standard TMDS je razvilo podjetje Silicon Image, kot alternativo brezplačnemu standardu LVDS, z namenom razviti standardno povezavo osebnih računalnikov z zaslonom. TMDS se je uspešno uporabil v vmesniku DVI v okolju osebnih računalnikov ter v vmesniku HDMI v okolju multimedijske elektronike. Ni pa postal edini široko uporabljen standard, saj se poleg Tehnologije TMDS uporablja tudi brezplačni LVDS, kot standardna povezava zaslona pri prenosnih računalnikih.

Tehnologija TMDS določa prenašanje digitalnih podatkov od oddajnika do sprejemnika. Hitrost prenosa je pri enojni povezavi omejena na 225 MHz ter največjo ločljivostjo  $2048 \times 1536$  (QXGA). Omogoča tudi podvojitev hitrosti prenosa podatkov z dodatno povezavo. V tem primeru z dodatno povezavo podvojimo pasovno širino na 450 MHz.

Povezava TMDS določa tri podatkovne linije ter uro. Za razliko od standarda LVDS je določeno tudi kodiranje. Napredni algoritem, ki se uporablja v treh podatkovnih linijah, kodira 8-bitne slikovne, zvočne ali kontrolne podatke v 10-bitne.

### 4.2.1 Delovanje TMDS

Električna shema diferencialne linje TMDS je predstavljena na sliki 12. Uporablja se za kreiranje in pošiljanje nizkonapetostnega diferencialnega signala s strani oddajnika HDMI po prenosni liniji. Referenčna napetost povezave  $V_{CC}$  predstavlja visoko stanje, nizko stanje pa predstavlja tokovni generator pri oddajniku in zaključni upor pri sprejemniku. Upornost upora  $R_T$  se ujema s karakteristično impedanco kabla  $Z_0$  [11].

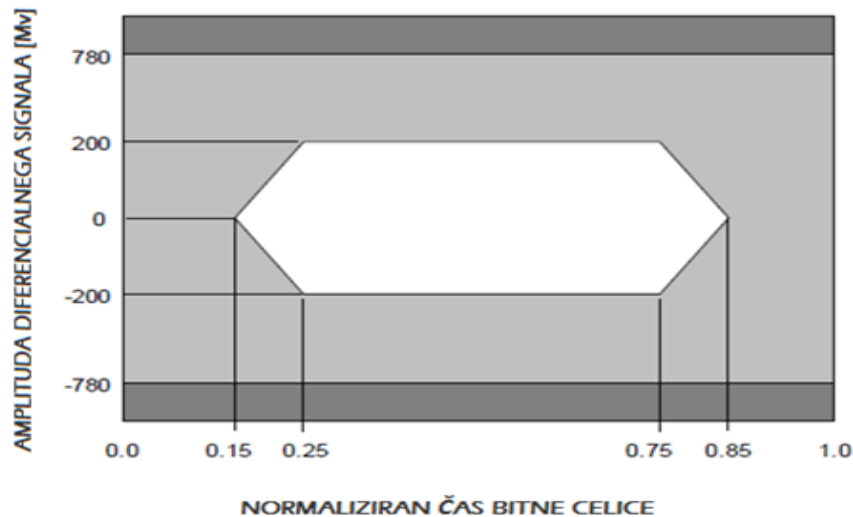


Slika 12: Električna shema diferencialne linije TMDS [12]

### 4.2.2 Električne karakteristike TMDS

Slika 13 prikazuje očesni diagram časovnih in napetostnih parametrov oddajnika TMDS. Diagram določa minimalne čase in napetostne nivoje za odprtje očesa. Časovna os predstavlja normaliziran čas bita celice, ordinatna os pa predstavlja amplitudo diferencialnega signala.

Ob upoštevanju maksimalnih in minimalnih sprememb napetosti, ki sta 600 mV in 400 mV, pri prenosu posameznih signalnih vodnikov, lahko izračunamo maksimalne ter minimalne napetosti oddajnika TMDS za visok in nizek napetostni nivo [12].



**Slika 13: Očesni diagram oddajnika TMDS [12]**

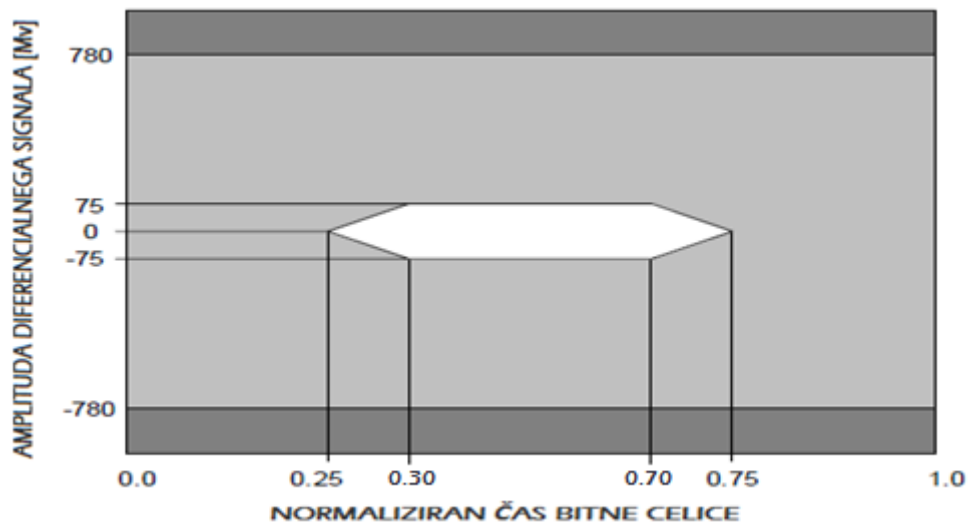
$$V_{visok(max)} = V_{nihaj(max)} + 15\% \times (2 \times V_{nihaj(max)}) = 600 + 180 = 780 \text{ mV}$$

$$V_{visok(min)} = V_{nihaj(min)} - 25\% \times (2 \times V_{nihaj(min)}) = 400 - 200 = 200 \text{ mV}$$

$$V_{nizek(max)} = -V_{nihaj(max)} - 15\% \times (2 \times V_{nihaj(max)}) = -600 - 180 = -780 \text{ mV}$$

$$V_{nizek(min)} = -V_{nihaj(min)} + 25\% \times (2 \times V_{nihaj(min)}) = -400 + 200 = -200 \text{ mV}$$

Slika 14 prikazuje očesni diagram električnih specifikacij sprejemnika TMDS. Razvidno je, da je minimalni nihaj 150 mV. V kolikor so izpolnjene zahteve po odprtju očesa ter je frekvenca manjša ali enaka 165 MHz, potem sprejemnik pri povrnitvi podatkov deluje z največjo napako  $10^{-9}$ . Če pa je frekvenca ure večja od 165 MHz, potem za delovanje z največjo napako  $10^{-9}$  potrebujemo pravilni izenačevalnik, ki popravi odstopanja zaradi vpliva in karakteristik kabla. [12]



Slika 14: Očesni diagram sprejemnika TMDS [12]

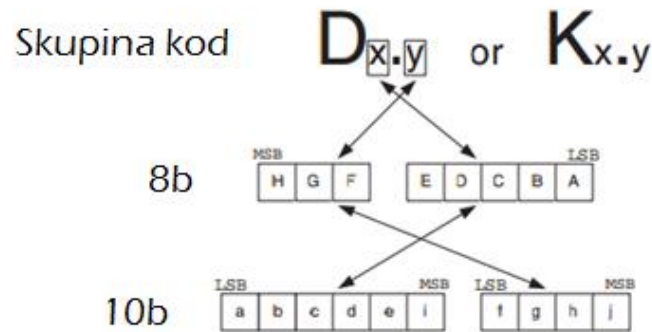
### 4.2.3 Kodiranje

TDMS uporablja 8b/10b kodiranje, ki spada v skupino RLL (Run Length Limited) kodiranj. Brez uravnoteženja bitov bi dolgo zaporedje enic ali ničel vodilo v pozitivne ali negativne napetostne nivoje. 8b/10b kodiranje to preprečuje, saj z dvema dodatnima bitoma zmanjšuje razmerje med enicami in ničlami na približno 50% [13].

Cilja preslikave sta dva:

- Dovolj prehodov stanj, ki omogočajo sinhronizacijo oziroma restavracijo urinega signala pri sprejemu. Pogoj je, da v nizu kodiranih bitov ne sme biti več kot pet zaporednih ničel.
- Enosmerna uravnoteženost signala, ki omogoča serijski prenos z veliko hitrostjo. Razlika v številu enic in ničel v nizu najmanj 20 zaporednih bitov ne sme biti večja od 2.

Kodiranje 8b/10b prinese 20% redundantnih bitov. To pomeni da za prenos 1Gb/s, potrebujemo hitrost 1,25 Gb/s.



**Slika 15: Sprememba 8 bitnega podatka v 10 bitno kodo [13]**

Kodiranje 8b/10b deluje tako, kot prikazuje slika 15, in sicer da 8-bitni podatek preslika v 10-bitno kodo. Skupina kod je generirana kot  $x$  in  $y$  ter oznaka za podatkovne ali kontrolne signale, kjer skupaj predstavlja 256 podatkovnih in 12 kontrolnih signalov. Spodnjih 5 bitov v obratnem vrstnem redu predstavlja  $X$ , zgornje 3 bite prav tako v obratnem vrstnem redu pa predstavlja  $Y$ . Spodnjih 5 bitov se preslika v 6 z dodanim  $i$  bitom (5b/6b), zgornji trije biti pa v štiri z dodanim  $j$  bitom (3b/4b). Tako skupaj tvorijo 10 bitni podatek. S tem, ko namesto 8-bitnega podatka po liniji prenašamo 10-bitno kodo, zmanjšamo hitrost prenosa podatkov [13].

## 5 VMESNIK DVI

DVI (Digital Video Interface) je digitalni zasloni vmesnik, ki je bil razvit s strani vodilnih sistemskih in zaslonkih proizvajalcev z namenom, da razvijejo hiter standardni digitalni vmesnik. Temelji na tehnologiji TDMS in je združljiv z analognih vmesnikom VGA. Ta prednost je pripeljala vmesnik DVI do široke uporabe ter s tem povozila uporabo drugih digitalnih standardov kot sta Plug and Display (P&D) ter Digital Flat Panel (DFP) [14].

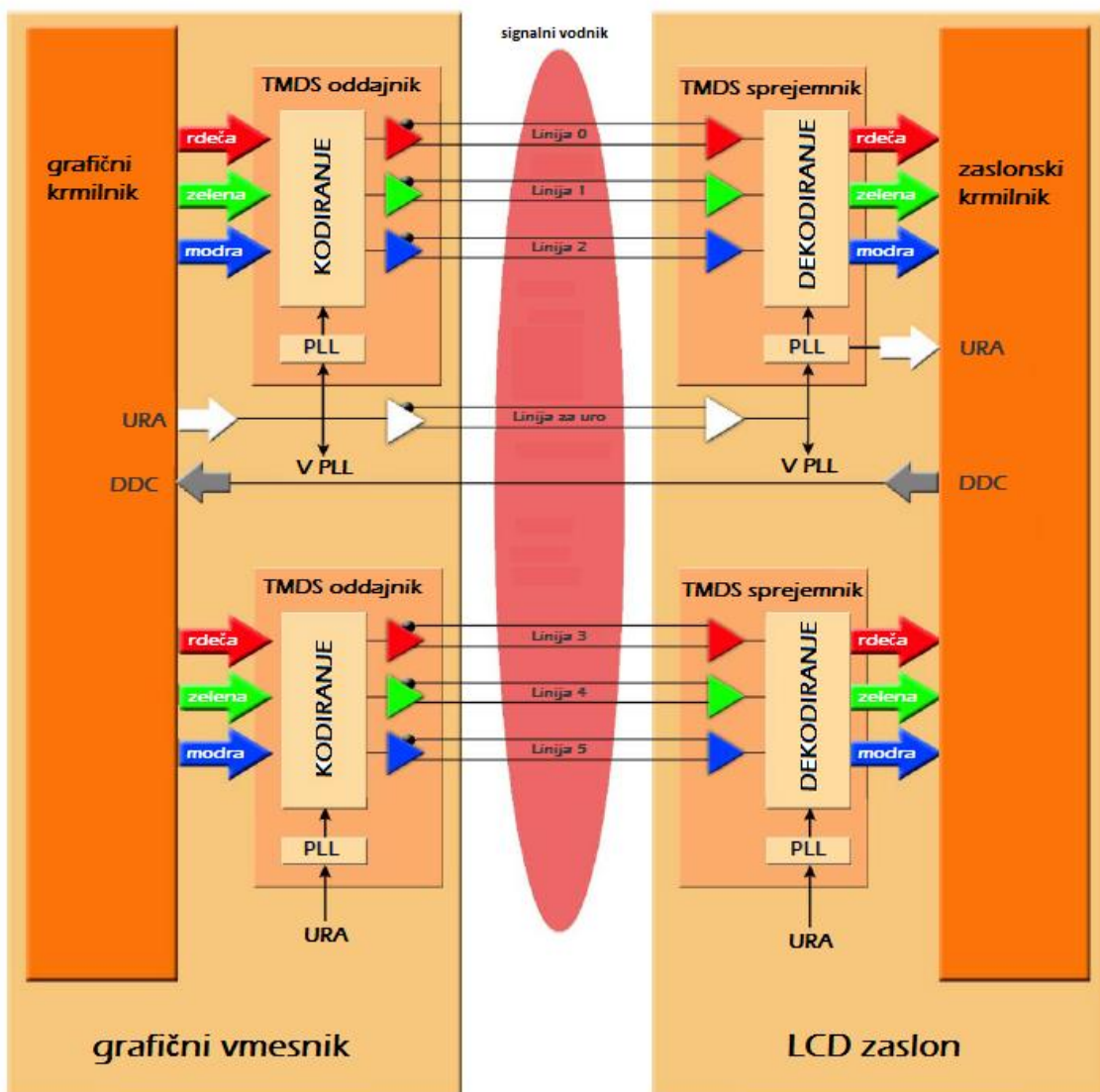
Tako kot večina ostalih vmesnikov, tudi DVI uporablja poseben kanal za branje informacij o zaslonu DDC (Display Data Channel), novejša različica imenovana DDC2 podpira tudi razširjene identifikacijske podatke o zaslonu (EDID). Če vmesnik podpira analogni in digitalni prenos, potem oddajnik gosti ločene podatke EDID. Odkar podpira DDC samo en EDID ter med tem, ko sta vključena oba signala, analogni in digitalni, se mora zaslon odločiti, kateri EDID bo poslan [14].

### 5.1 Enojna povezava DVI

Enojna povezava DVI je sestavljena iz štirih linij TMDS. Vsaka linija pošilja podatke od sprejemnika do oddajnika po eni parici. Tri linije so uporabljene za video signal RGB, ki vsebuje rdečo, zeleno in modro barvo; skupaj 24 bitov na piksel. Četrta linija je rezervirana za uro TMDS. Vsaka povezava TMDS lahko prenaša podatke z desetkratno frekvenco ure. Največja frekvenca s katero deluje enojna povezava je 165 MHz. Največja resolucija, ki jo podpira, je 2.75 M piksla pri frekvenci osveževanja 60 Hz, ki vključuje zatemnitveni interval [7].

## 5.2 Dvojna povezava DVI

Pri dvojni povezavi DVI se število podatkovnih linij TMDS podvoji. Tako imamo 6 podatkovnih linij ter skupno uro TMDS, kot je razvidno iz slike 16. Maksimalna frekvenca je 330 MHz. V kolikor frekvenca preseže 165 MHz, oddajnik deluje s polovično frekvenco po obeh kanalih. Najnižja frekvenca kanala je v tem primeru torej 82.5 MHz [7].



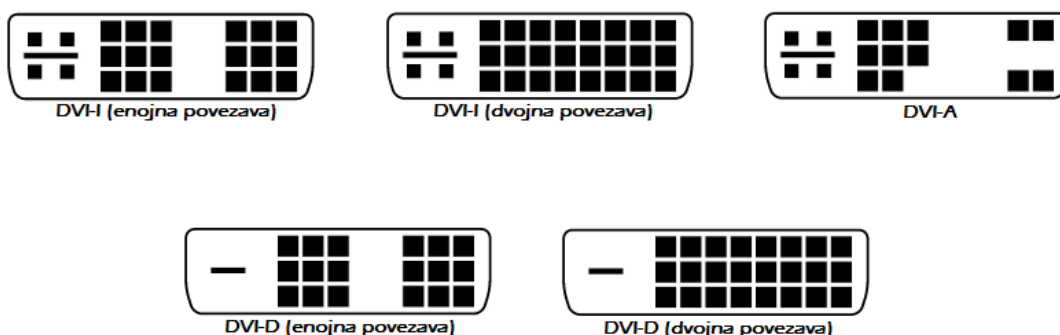
Slika 16: Arhitektura dvojne povezave DVI [7]

## 5.3 Fizične lastnosti

V nadaljevanju bomo opisali fizične lastnosti vmesnika DVI, kjer bomo predstavili različne konektorje, opisali kabel in njegove omejitve ter predstavili signale vmesnika DVI-I, ki je najpogosteje uporabljen vmesnik DVI.

### 5.3.1 Konektorji

Konektor DVI je prvotno vsebuje samo pine za prenos video signala. Obstajajo različne vrste konektorjev, kot prikazuje slika 17. Konektor z dvojno povezavo omogoča dvojno hitrost prenosa podatkov. S tem lahko povečamo ločljivost in podatke pošiljamo na daljše razdalje. V uporabi je tudi konektor z možnostjo pošiljanja analognih signalov.



Slika 17: Različni konektorji DVI

Obstaja pet različnih konektorjev DVI, ki so prikazani na sliki 17: [14]

- **Konektor DVI-I (enojna povezava)** vsebuje 18 pinov za prenos digitalnih video signalov kot tudi 5 pinov za analogni prenos. Podpira ločljivosti do  $2560 \times 1600$ .
- **Konektor DVI-I (dvojna povezava)** vsebuje 27 pinov za digitalni prenos ter 5 pinov za analogni prenos. Omogoča prenos analognih in digitalnih video signalov z dvojno povezavo in možnostjo dvojne hitrosti prenosa podatkov.

- **Konektor DVI-A** podpira samo analogni prenos video signala.
- **Konektor DVI-D (enojna povezava)** podpira samo digitalni prenos video signala. Je 18- pinski. Največja možna ločljivost je  $2560 \times 1600$ .
- **Konektor DVI-D (dvojna povezava)** podpira digitalni prenos video signala z dvojno povezavo in dvojno največjo hitrostjo prenosa podatkov. Vsebuje 27 pinov.

### 5.3.2 Signali

Vmesnik DVI-I je najpogosteje uporabljen vmesnik in omogoča prenos dveh kanalov DVI, hkrati pa omogoča tudi prenos analognega signala. V tabeli 2 so predstavljeni vsi signali in pini konektorja.

**Tabela 2: Signali konektorja DVI-I [7]**

PIN	Signali	PIN	Signali	PIN	Signali
1	TMDS podatek 2-	9	TMDS podatek 1-	17	TMDS podatek 2-
2	TMDS podatek 2+	10	TMDS podatek 1+	18	TMDS podatek 2+
3	povratek TMDS 2/4	11	povratek TMDS 1/3	19	povratek TMDS 2/4
4	TMDS podatek 4-	12	TMDS podatek 3-	20	TMDS podatek 4-
5	TMDS podatek 4+	13	TMDS podatek 3+	21	TMDS podatek 4+
6	DDC Ura	14	+ 5V	22	DDC Ura
7	DDC podatek	15	GND (povratek za HSync, VSync ter +5V)	23	TMDS Ura+
8	Analogni Vsync	16	Zaznavanje Hot Plug	24	TMDS Ura-

C1	Analogna rdeča	C3	Analogna modra	C5	Povratek RGB
C2	Analogna zelena	C4	Analogna HSync		

Pet analognih pinov je ločenih in uporablja skupni povratni vodnik. Digitalnih signalov je 24. Linije TMDS 0, 1 in 2 predstavljajo prvi kanal, linije 3, 4, 5 pa predstavljajo drugega. Pri

uporabi obeh kanalov si le-ta delita povratne linije. Podatek DDC posreduje oddajniku informacijo, kateri standard in ločljivost podpira sprejemnik TMDS [7].

### **5.3.3 Povezovalni kabel**

Maksimalna dolžina kabla v tovarniških specifikacijah ni navedena, saj je odvisna od frekvence pošiljanja podatkov. Na splošno velja, da kabli do dolžine 4,5 m podpirajo resolucijo do  $1920 \times 1200$ . S kvalitetnim kablom lahko ta resolucija deluje tudi na dolžini 10 m. Kabli dolžine 15 m podpirajo resolucijo do  $1280 \times 1024$ , za daljše dolžine pa potrebujemo ojačevalec signala DVI [14].

## 6 VMESNIK HDMI

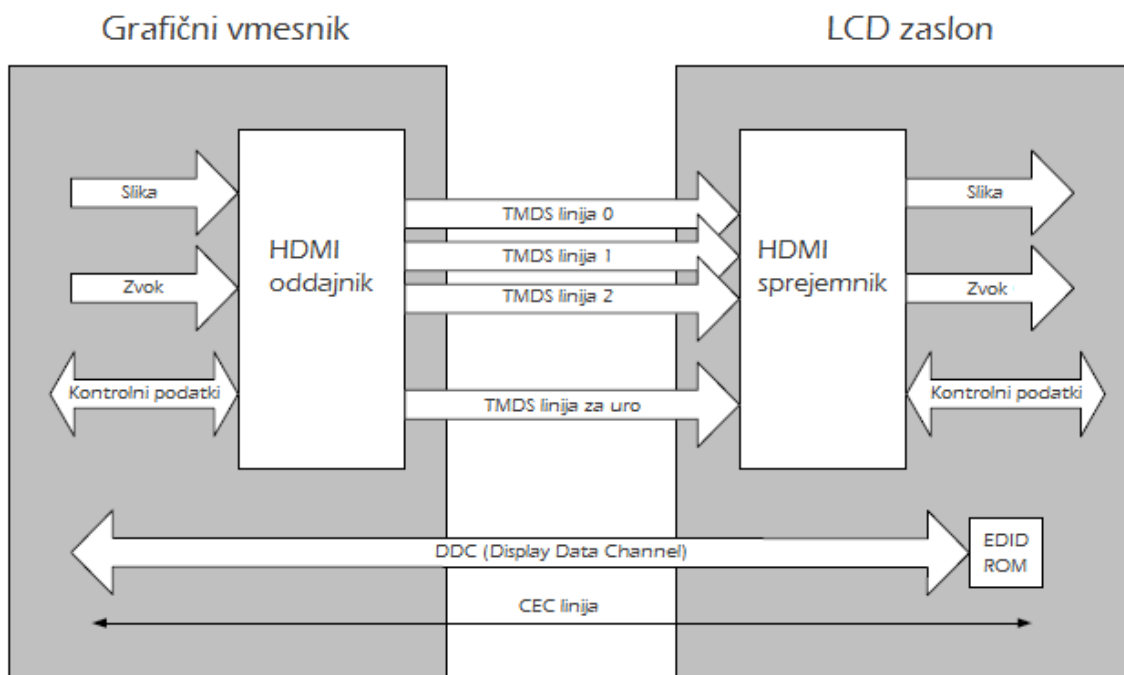
HDMI (High-Definition Multimedia Interface) je vodilna tehnologija in de-facto standard za prenos nestisnjenih video vsebin ter stisnjenih oziroma nestisnjenih zvočnih vsebin iz združljive naprave HDMI do združljive zvočne naprave, računalniškega zaslona, video projektorja, digitalnega televizorja, tabličnega računalnika ali pametnega telefona [15].

Utemeljitelji standarda HDMI so Hitachi, Matsushita Electric Industrial (Panasonic/National/Quasar), Philips, Silicon Image, Sony, Thomson, RCA in Toshiba. Standard HDMI podpira tudi filmska produkcija kot so Fox, Universal, Warner Bros in Disney [15].

Standard HDMI 1.0 so začeli razvijati aprila 2002 s ciljem ustvariti avdio in video priključek, ki bo združljiv z vmesnikom DVI. Namen je bil tudi izboljšanje konektorja DVI-HDTV s podporo avdio signala in okrepljeno podporo za prikaz YCbCr načina ter upravljanje nadzornih funkcij drugih naprav zabavne elektronike. Z združitvijo vseh signalov na enem vmesniku so zmanjšali stroške, poenostavili uporabo in odpravili problematiko več kablov ostalih avdio in video naprav [15].

### 6.1 Povezava HDMI

Za prenos podatkov preko vmesnika HDMI potrebujemo tri podatkovne linije, ki prenašajo slikovne, zvočne in kontrolne podatke ter linijo za uro, kot prikazuje slika 18. Dodana je tudi linija DDC, ki omogoča sporazumevanje med oddajnikom in sprejemnikom o nastavitvah le-tega. Protokol CEC pa omogoča napredne kontrolne funkcije ter enostavnost upravljanja med vsemi povezanimi napravami HDMI med seboj [12].



**Slika 18: Blokovna shema povezave HDMI [12]**

Standard HDMI podpira novo vrsto inteligentnih povezav, in sicer z dvosmerno komunikacijo med video napravami, kot sta npr. predvajalnik DVD in televizor LCD, kar omogoča nove funkcionalnosti, kot sta avtomatska konfiguracija ter "Predvajanje z enim pritiskom". Uporaba tega, samodejno zagotovi najboljšo sliko za zaslon, na katerega je priključen, tako uporabniku ni potrebno izbirati med različnimi možnostmi [15].

## 6.2 Fizične lastnosti

V nadaljevanju bomo opisali fizične lastnosti vmesnika HDMI. Predstavili bomo različne konektorje ter njihove fizične lastnosti, predstavili signale najpogosteje uporabljenega vmesnika HDMI in na koncu opisali lastnosti in omejitve kabla.

## 6.2.1 Konektor

Obstaja pet različnih vrst konektorjev HDMI, ki so predstavljeni na sliki 19. Tip A in B uporabljata standard HDMI 1.0, tip C je namenjen za HDMI 1.3, tipa D in E pa uporabljata specifikacije HDMI 1.4.



Slika 19: Različne vrste konektorjev HDMI [15]

Obstaja pet različnih HDMI konektorjev [12]:

- **Konektor tipa A** ima devetnajst pinov. Podpira pasovno širino in s tem resolucijo za SDTV, EDTV in HDTV način resolucije. Tip A je združljiv z enojno povezavo DVI-D.
- **Konektor tipa B** ima 29 pinov in vsebuje šest različnih paric namesto treh za prenos slike v zelo visoki ločljivosti kot je WQUXGA (3,840×2,400) in kot potreba za zaslone v prihodnosti. Tip B je združljiv z dvojno povezavo DVI-D in še ni bil uporabljen v nobenem izdelku.
- **Mini konektor tipa C** je namenjen prenosnim napravam, zato je manjši od konektorja tipa A in B. Ohranja 19 pinov ter je povezan s specifikacijami HDMI 1.3. DDC/CEC ozemljitev je na pinu 13 namesto na pinu 17. CEC ima pin 14 namesto pin 13, rezervni pin je 17 namesto 14. Tip C mini konektorja je mogoče povezati s konektorjem tipa A.

- **Mikro konektor tipa D** uporablja specifikacije HDMI 1.4 in še vedno ohranja 19 pinov. Primerljiv je z mikro USB konektorjem. Uporablja drugačno razporeditev pinov kot tipa A in C.
- **Konektor tipa E**, ki je namenjen za avtomobilski priključitveni sistem pa uporablja specifikacije 1.4. Ima zatič z zaklepom, ki ga varuje pred vibracijami in poseben okvir, ki ga varuje pred vlago.

## 6.2.2 Signali

Predstavili bomo signale konektorja HDMI tipa A, ki vsebuje 19 pinov, kot je razvidno iz tabele 3. Vmesnik HDMI vsebuje tri ločene komunikacijske kanale[12]:

- podatkovni kanal,
- DDC kanal,
- kanal namenjen CEC funkcijam ter ARC in HEC funkcijo pri HDMI 1.4.

**Tabela 3: Signali konektorja HDMI [15]**

PIN	Signali	PIN	Signali
1	TMDS podatek 2+	13	CEC
2	TMDS podatek 2 povratek	14	Rezervirano (HDMI 1.0 - 1.3)
3	TMDS podatek 2-		HEC podatek (HDMI 1.4 z ethernetom)
4	TMDS podatek 1+	15	SCL (zaporedna ura za DDC)
5	TMDS podatek 1 povratek	16	SDA (zaporedna podatkovna linija za DDC)
6	TMDS podatek 1-	17	DDC / CEC / HEC ozemljitev
7	TMDS podatek 0+	18	+5V (max. 50 mA)
8	TMDS podatek 0 povratek	19	zaznavanje Hot Plug (vse verzije)
9	TMDS podatek 0-		HEC podatek + (HDMI 1.4 z ethernetom)
10	TMDS ura+		
11	TMDS ura povratek		
12	TMDS ura-		

### **Podatkovni kanal**

Za prenos podatkov o sliki, zvoku in ostalih potrebnih podatkov se uporabljajo trije TMDS podatkovni kanali. Po njih se prenašajo trije različni tipi podatkov: podatki o sliki, kontrolni podatki in ostali podatki. Najprej se pošljejo kontrolni podatki, ki poskrbijo za sinhronizacijo med napravama in napovedujejo prenos podatkov o sliki. Med prenosom podatkov o sliki se prenesejo aktivne točke v aktivni slikovni liniji, med prenosom ostalih podatkov se informacije o zvoku in pomožni podatki pošljejo kot niz paketov.

Podatkovni kanal vsebuje tudi TMDS uro, ki je v razmerju s frekvenco piksla in jo sprejemnik uporablja za obnovitev treh podatkovnih TMDS signalov.

### **DDC kanal**

DDC (Display Data Channel) je komunikacijski kanal, ki omogoča komunikacijo med oddajnikom in sprejemnikom. Uporablja se E – DDC (Enhanced Display Data Channel), ki dovoljuje oddajniku HDMI branje podatkov o tem, kateri standard slike sprejemnik HDMI podpira in kakšno ločljivost lahko zaslon prikaže.

### **CEC, ARC in HEC funkcija**

Consumer Electronics Control (CEC) je funkcija HDMI, ki je zasnovana tako, da omogoča uporabniku uporabljanje in nadzor do 15 CEC podprtimi napravami, ki so priključene preko vmesnika HDMI. CEC omogoča tudi nadziranje in vodenje naprav med seboj brez posredovanja uporabnika.

ARC (Audio Return Chanel) omogoča televizorju, da preko enega samega kabla HDMI pošlje zvok do A/V sprejemnika ali do hišnega kina.

HEC (HDMI Ethernet Channel) omogoča napravam HDMI povezavo z ethernet omrežjem. Ethernet kanal je velik korak v evoluciji standarda HDMI, saj nam nudi rešitev s povezavo različnih naprav med seboj in z internetom s samo enim kablom.

### 6.2.3 Povezovalni kabel

Čeprav dolžina kabla pri standardu HDMI ni določena, z dolžino kabla narašča slabljenje in hkrati pada moč signala. Imamo pet različnih vrst kablov [16]:

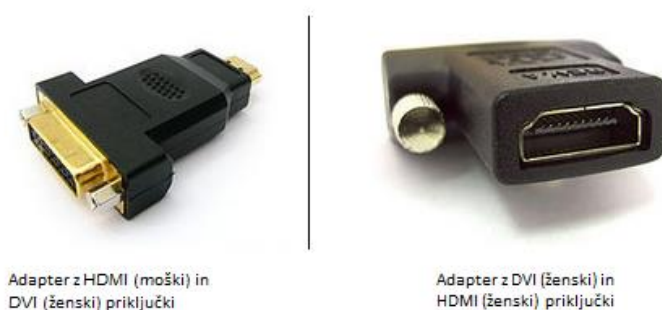
- **Standardni kabel HDMI** – Oblikovan za hišne potrebe. Podpira prenos 1080i in 720p ločljivosti, ki so najpogosteje uporabljene pri predvajalnikih DVD, digitalnih televizijah in satelitskih televizijah.
- **Standardni kabel HDMI z ethernetom** – Podpira iste lastnosti kot standardni kabel HDMI, vendar pa ima dodatni kanal za Ethernet povezavo. To funkcionalnost deluje samo, če oddajnik in sprejemnik podpirata to funkcijo.
- **Avtomobilski kabel HDMI** – podpira 1080i/720p ločljivosti. Zaradi vgrajenih relejev v avtomobilskem sistemu, ki lahko vplivajo na moč signala, ta kabel podpira močnejše signale.
- **Hitri kabel HDMI** – Podpira višje ločljivosti kot je 1080p ali več, uporaben je pri 3D televizorjih, ločljivosti 4K ( $4 \times 1080p$ ) in Blu-ray predvajalnikih.
- **Hitri kabel HDMI z ethernetom** – Prav tako podpira ločljivost 1080p ali več z dodatnim podatkovnih kanalom za ethernet.

## 7 PRIMERJAVA VMESNIKA DVI IN HDMI

V naslednjem poglavju bomo primerjali standarda DVI in HDMI ter prikazali prednosti ter slabosti obeh vmesnikov. Ker sta med seboj kompatibilna, bomo primerjali na kakšen način in s kakšnimi omejitvami ju lahko povežemo med seboj. Na koncu se bomo osredotočili na nadaljni razvoj vmesnika HDMI in prihajajočo predstavitev standarda HDMI 2.0.

### 7.1 Povezljivost vmesnika HDMI z DVI

Vsi oddajniki HDMI naj bi bili povezljivi z sprejemnikom DVI 1.0, prav tako naj bi bili vsi sprejemniki HDMI kompatibilni z oddajniki DVI 1.0 z uporabo pretvornika ali pravega kabla. Vsak pretvornik HDMI - DVI lahko deluje tudi kot pretvornik DVI - HDMI z omejitvami različnih spolov priključkov in kablov (moški, ženski). Dva primera sta prikazana na sliki 20.



Adapter z HDMI (moški) in DVI (ženski) priključki

Adapter z DVI (ženski) in HDMI (ženski) priključki

**Slika 20: Primera pretvornikov HDMI - DVI [15]**

Ko se povezujemo z napravo DVI mora oddajnik ali sprejemnik HDMI delovati po specifikacijah DVI 1.0 [12]:

- samo RGB način prenosa video signala
- ne uporablja se Video Guard Band
- ne prenašajo se podatkovni sklopi

V primeru, da priključimo na oddajnik HDMI na sprejemnik DVI, se oddajnik prilagodi omejitvam prenosa DVI. V nasprotnem primeru pa sprejemnik HDMI zazna oddajnik DVI ter njegove omejitve in deluje v skladu s tem [12].

## 7.2 Ključne razlike med vmesnikom DVI in HDMI

Vmesnik HDMI je vmesnik DVI z določenimi izboljšavami:

- DVI je omejen na RGB barve. HDMI poleg podpore RGB, podpira še YCbCr 4:4:4 in YCbCr 4:2:2, ki se široko uporablja izven računalniških vsebin,
- oddajnik HDMI podpira poleg video signala tudi prenos avdio signala. Oddajnik HDMI razlikuje med zaslonoma DVI in HDMI z branjem zaslonских podatkov EDID,
- vmesnik HDMI sicer ni VGA kompatibilen. Vmesnik DVI pa vsebuje povezljivost tudi z analognimi napravami.

## 7.3 Prednosti in slabosti vmesnika DVI ter HDMI

Vmesnik HDMI je bil razvit zaradi potreb po standardiziranem vmesniku, ki bi prenašal video, avdio in kontrolne signale po istem kablu, hkrati pa naj bi bil majhen po zunanosti in prijazen uporabniku. Prav v tej luči najbolj prekaša vmesnik DVI, saj DVI ne podpira prenosa zvočnih signalov ter tako potrebuje ločen avdio kabel za prenos zvoka. Vmesnik DVI je fizično tudi precej večji in ni prijazen uporabniku. Poleg tega sedanje različice vmesnika DVI ni mogoče izboljšati in ima fizične, funkcionalne in stroškovne omejitve.

Vmesnik HDMI je zadnja leta postal najbolj razširjen vmesnik za prenos digitalnih vsebin, zato ni več vprašanja preko katerega standarda povezati naprave zabavne elektronike. Prav tako cenovno dostopni kabli zadoščajo veliki večini potreb za predvajanje video in avdio vsebin. V najnovejši različici HDMI 1.4, ki podpira ethernet, pa si obetamo povezljivost različnih naprav z omrežjem ter posledično z internetom, kar nam odpira popolnoma nove možnosti.

## 7.4 Standard HDMI 2.0

Standard HDMI 2.0 bo v bližnji prihodnosti nadomestil standard HDMI 1.4a/b, ki je v današnji uporabi. Razlog zato je bližajoči se vzpon naprav zabavne elektronike, ki podpirajo ločljivosti 4K UHD, ki sta štirikrat večji resoluciji kot današnji standard 1080p. S tem se bistveno poveča tudi hitrost prenosa podatkov po vsakem TMDS kanalu iz 3,4 Gb/s na 6 Gb/s. Kljub večjim časovnim zamikom pri predstavitvi, naj bi bile specifikacije HDMI 2.0 predstavljene še tekom letošnjega leta.

Današnji televizorji že podpirajo resolucije 4K, vendar skupaj s specifikacijami HDMI 1.4 lahko prikažejo samo 24 do 30 okvirjev na sekundo. To zadošča za gledanje filmov, ne zadošča pa za video igre, ki potrebujejo 50 do 60 okvirjev na sekundo. V prihodnosti pa se načrtuje in je tudi že v fazi testiranja, oddajanje digitalne televizije v standardu 4K UHD z osveževanjem 50 do 60 okvirjev na sekundo, ki pa jo današnji televizorji s podporo 4K UHD in skupaj z vmesnikom HDMI 1.4 ne podpirata. Zato današnji televizorji z vgrajenim vmesnikom HDMI 1.4, ne bodo mogli izkoristiti vseh možnosti, ki jih ponuja ločljivost 4K UHD, le pri Samsungu so omenili možnost nadgradnje njihovih televizorjev proti plačilu, ko izide standard HDMI 2.0 [17].

Ob prihodu na tržišče pa bo s vmesnikom HDMI 2.0 mogoče izkoristiti vse lastnosti ločljivosti 4K UHD z osveževanjem 60 okvirjev na sekundo, ki bo kmalu postal standard pri prenosu video vsebin v visoki ločljivosti.

## 8 SKLEPNE UGOTOVITVE

V diplomskem delu so predstavljeni standardi in tehnologije, ki jih potrebujemo za vzpostavitev povezave z zaslonom LCD.

Predstavljene informacije tega diplomskega dela bi zadoščale za pregled med različnimi standardi za povezavo zaslonov LCD in morebitno lažjo izbiro med različnimi digitalnimi vmesniki. Izpostavili smo dva vmesnika, ki prevladujeta vsak na svojem področju. Vmesnik DVI na področju povezav med računalniškim zaslonom in grafično kartico ter vmesnik HDMI, ki vedno bolj prevladuje na področju povezav različnih naprav zabavne elektronike. Uporaba ostalih digitalnih vmesnikov ni razširjena, zato jih posebej nismo izpostavljali, saj njihova razširjenost kljub nekaterim dobrim lastnostim še ni zaživila.

Ob morebitnem nakupu novih rešitev za povezovanje različnih naprav zabavne elektronike ni več vprašanje katero povezavo uporabiti. Vmesnik HDMI s svojo razširjenostjo v večini novih napravah multimedijske elektronike ter svojimi izredno naprednimi funkcijami, ki jih dodatno zagotavlja, prevladuje na tem segmentu povezav. V bližnji prihodnosti razširjenost drugih vmesnikov torej ni pričakovati.

A vendar to ni edina rešitev za povezavo različnih naprav multimedijske elektronike med seboj. Še vedno so zelo uporabne tudi druge povezave, predvsem analogne, ki prav tako enostavno in cenovno ugodno v povprečju zadoščajo kot rešitev povezav.

Zato je ob povezovanju različnih naprav multimedijske elektronike med seboj smiselna uporaba dosedanjih delujočih rešitev, v primeru nakupa novih rešitev pa je priporočljiva uporaba vmesnika HDMI.

## 9 VIRI

- [1] Pahor, D., Drobnič, M.: Leksikon računalništva in informatike, Pasadena, Ljubljana 2002
- [2] LVDS Owner's Manual, Fourth Edition, 2008, Zadnji dostop 1.7. 2013, Dostopno na: <http://www.ti.com/lit/ml/snla187/snla187.pdf>
- [3] Marvin Raaijmakers: LCD Subpixel, Zadnji dostop 1.7. 2013, Dostopno na: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:LCD\\_subpixel\\_\(en\).png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:LCD_subpixel_(en).png)
- [4] Liquid-crystal display, Zadnji dostop 1.7. 2013, Dostopno na: [http://en.wikipedia.org/wiki/Liquid-crystal\\_display](http://en.wikipedia.org/wiki/Liquid-crystal_display)
- [5] Myers, L.: Display Interfaces Fundamentals and Standards, John Wiley & Sons Ltd, West Sussex 2002
- [6] Display resolution, Zadnji dostop 1.7. 2013, Dostopno na: [http://en.wikipedia.org/wiki/Display\\_resolution](http://en.wikipedia.org/wiki/Display_resolution)
- [7] Silicon Image: Digital Visual Interface & TMDS Extensions, Oktober 2004, Zadnji dostop 1.7. 2013, Dostopno na: <http://www.siliconimage.com/docs/SiI-WP-007-A.pdf>
- [8] Becke, Borgert, Corrigan, Dehmelt, Feulner, Gonzalez, Groenebaum, Kabir, Kacprzak, Kinnaird, Zipperer: Comparing Bus Solutions, Marec 2000, popravljeno Februar 2004, Zadnji dostop 1.7. 2013, Dostopno na: <http://www.cs.put.poznan.pl/wswitala/download/pdf/ti-appl-slla067a.pdf>
- [9] Kempainen: Low-Voltage Differential Signaling (LVDS), National Semiconductor, Maj 2002, Zadnji dostop 1.7. 2013, Dostopno na: <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5988-4797EN.pdf>
- [10] Granberg, T.: Handbook of digital techniques for high-speed design, Pearson Education, Inc, New Jersey 2004
- [11] Završnik, T.: Povezava grafičnega krmilnika z LCD zaslonom, Diplomsko delo, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko, Ljubljana 2007
- [12] Hitachi, Matsushita Electric Industrial Co., Philips Consumer Electronics, International B.V., Silicon Image, Inc., Sony Corporation, Thomson Inc., Toshiba Corporation: High-Definition Multimedia Interface Specification Version 1.3, Junij 2006, Zadnji dostop: 1.7. 2013, Dostopno na: [https://engineering.purdue.edu/ece477/Webs/S12-Grp10/Datasheets/CEC\\_HDMI\\_Specification.pdf](https://engineering.purdue.edu/ece477/Webs/S12-Grp10/Datasheets/CEC_HDMI_Specification.pdf)

- [13] Lattice Semiconductor: 8b/10b Encoder/Decoder, Februar 2012, Zadnji dostop 1. 7. 2013, Dostopno na: <http://www.latticesemi.com/~media/Documents/ReferenceDesigns/8b10bEncoderDecoder-Dokumentation.ashx>
- [14] Digital Visual Interface, Zadnji dostop 1.7. 2013, Dostopno na: [http://en.wikipedia.org/wiki/Digital\\_Visual\\_Interface](http://en.wikipedia.org/wiki/Digital_Visual_Interface)
- [15] HDMI, Zadnji dostop 1.7. 2013, Dostopno na: <http://en.wikipedia.org/wiki/Hdmi>
- [16] HDMI FAQ, Zadnji dostop 1.7. 2013, Dostopno na: <http://www.hdmi.org/learningcenter/faq.aspx>
- [17] HDMI 2.0 Specification and 4K UHD (2160p) Resolutions, Zadnji dostop 1.7. 2013, Dostopno na: <http://www.audioholics.com/education/display-formats-technology/hdmi-2.0-specification>