



Széchenyi István Egyetem
Győr



BARANYAI ZOLTÁN

A monitorok vezérlése a digitális televízió rendszerekben

Az RGB és a HDMI átvitel
összehasonlítása

Digitális képátvitel a
számítástechnikában

Digitális TV-jelek átvitele
HDMI csatornákon

I²C-busz vezérlés
IP hálózatról

EDID információk
kiolvasása

Győr, 2008

Tartalom

• ELSŐ FEJEZET: Bevezetés	4
• MÁSODIK FEJEZET: A kép minősége	5
2.1 A digitális vezérléshez vezető út	5
2.2 A képcsövek és kijelzők fejlődése	6
2.3 Az RGB átvitel temetése	7
2.4 Az RGB és a HDMI átvitel összehasonlítása	7
2.5 A set-top boxok kimenetei	10
2.5.1 Miért kell kidobni a mai set-top boxokat?	10
• HARMADIK FEJEZET: Digitális képátvitel a számítástechnikában	11
3.1 A DVI átvitel	12
3.1.1 A TMDS kapcsolat logikai felépítése	12
3.1.2 A TMDS kódolás	13
3.1.3 A TMDS karakterek dekódolása	14
3.1.4 DVI csatlakozók, és formátumok	16
• NEGYEDIK FEJEZET: Digitális TV-jelek átvitele HDMI csatornákon	17
4.1 A „HD-ready” és a „HDTV” címke követelményei	18
4.2 A HDMI átvitel	19
4.2.1 A HDMI verziói	19
4.2.2 Csatlakozók és kábelek	20
4.2.3 A HDMI átvitel architektúrája	21
4.2.4 Az időszakos TMDS kódolás	23
4.2.4.1 A Data Island időszak	25
4.2.4.2 A vezérlő időszak	27
4.2.5 A Display Data Channel	27
4.2.6 Az EDID adatok struktúrája	27

• ÖTÖDIK FEJEZET: I ² C-busz vezérlés IP hálózatról	28
5.1 Az I ² C-busz	28
5.1.1 Az I ² C-busz használata	29
5.1.1.1 START és STOP feltételek	30
5.1.1.2 Nyugtázás	30
5.1.2 Az arbitrációs eljárás	31
5.1.3 Eszközök címezése az I ² C-buszon	32
5.2 A Gigabit Ethernet Controller	33
5.2.1 A DDToIP protokoll	34
5.2.2 Az I ² C interfész	35
5.2.2.1 Az I ² C utasítások	35
• HATODIK FEJEZET: EDID információk kiolvasása	36
6.1 EDID információk kiolvasása Windowsból	36
6.1.1 Az EDID Viewer 1.0 szoftver	37
6.1.2 A WinI2C/DDC_v231 szoftver	38
6.2 EDID információk kiolvasása a CW-4901 Gigabit Ethernet Controller segítségével	39
6.2.1 A mérési összeállítás	39
6.2.2 Utasítások az I ² C-buszon	40
6.2.2.1 Az I ² C-busz vizsgálata digitális oszcilloszkóppal	41
6.2.3 Az EDID adatok kiértékelése	42
6.2.3.1 Gyártó és termék azonosítók	44
6.2.3.2 A video bemenetre vonatkozó adatok	45
6.2.3.3 Képernyőméret és átviteli karakterisztika	46
• HETEDIK FEJEZET: Összefoglalás és értékelés	48
7.1 MPEG-2 dekóder HDMI kimenettel	48

Irodalomjegyzék

Mellékletek: Az EDID_DDC program forráskódja

A monitorok vezérlése a digitális televízió rendszerekben cikk I. rész

A monitorok vezérlése a digitális televízió rendszerekben cikk II. rész

Bevezetés

A digitális átállás folyamatában a televízió technika egy olyan jelentéktelennek tűnő problémájára szeretném felhívni a figyelmet, amelyről szinte senki nem beszél. A kiváló képminőséget ugyanis nem mindig érzékeljük a televízió előtt.

A digitális átállás szükségessége a hétköznapi ember szemszögéből nem annyira egyértelmű. Az átlagembert nem érdeklik a különleges műszaki megoldások, csak a kép minőségére kényes. Az sem mellékes persze, hogy ez mennyibe kerül. Sokan a mai napig nem értik, miért kell lecserélni a megszokott szubjektíve jól működő analóg rendszert digitálisra.

Mert a digitális gazdaságosabb, új szolgáltatásokat biztosít stb., és nem utolsósorban változtatja meg a képminőségről alkotott korábbi értékrendünket. Valóban olyan jó az a kép?

Sajnos nem feltétlenül. De mit is várhatnánk, ha analóg bemenetű digitális megjelenítő (LCD, TFT, Plasma) előtt ülve szeretnénk megtapasztalni a csodát? Sokat nem. *A kép minősége* című fejezetből kiderül, miért.

A HDMI elterjedésével ugyan lassan-lassan javul a helyzet, mert egyre többen felismerik az új interfészben rejlő lehetőségeket, és inkább ezt használják az elavult SCART csatlakozó helyett. A legtöbb embernek fogalma nincs róla, hogy működik, de biztos jó! A DVI és a HDMI átvitelről minden lényeges információ megtalálható ebben a dokumentumban. Ezen kívül szó lesz az I²C-busz IP hálózatról történő vezérléséről, amelynek keretében bemutatom az olvasónak az IP TV rendszerek alapáramkörét, a Gigabit Ethernet Controller modult. Végül egy kis csemege: a monitorok kijelzőazonosítási adatainak (EDID) lekérdezésére, és értelmezésére szeretnék több alternatívát felsorolni.

A szakdolgozatot a budapesti CableWorld Kft.-nél készítettem, ahol kábeltelevíziós termékek fejlesztésével, gyártásával, és értékesítésével foglalkoznak. Ezúton is szeretnék köszönetet mondani a cég munkatársainak, akik végig egyenrangú partnerként kezeltek, és mindenben támogattak. A szakdolgozat soha nem készült volna el, ha nincs Honfy József. Nyugodjék békében!

A kép minősége

A digitális televíziótechnika bevezetésének folyamatában gyakran kéri az új rendszer előnyeinek felsorolását. A jobb képminőséget mindenki az elsők között említi, azonban ennek bizonyítása mostanáig meglehetősen nehéz feladat volt. Ebben a fejezetben arról lesz szó, hogy mitől és mikor lesz a kép minősége egyértelműen sokkal jobb, mint az analóg rendszerben volt.

2.1 A digitális vezérléshez vezető út

Az elmúlt évtizedekben számos olyan készüléket (képmagnó, DVD-lejátszó, set-top box stb.) hoztak létre, amely képcsővel nem rendelkezett, és a kép megjelenítéséhez a televízió vevőkészülék képernyőjét használta fel. E feladatok ellátásához a TV-vevőkészülékekre összetett PAL kódolt videojelet és/vagy RGB jelet fogadó bemeneteket alakítottak ki.

A kép minősége szempontjából a leggyengébbet a nagyfrekvenciás modulációval (VHF-UHF sávú csonka oldalsávú AM) átvitt PAL jel esetén kapjuk. Ennél jobb a kép minősége, ha nem kell a nagyfrekvenciás átvitelt igénybe venni, és a PAL jel közvetlenül vezethető a TV-vevőkészülék bemenetére. Az analóg technikában jártas olvasó még emlékszik rá, hogy az alapsávi átvitelből adódó minőségjavulást akkor igen nagynak ítéltük, holott a PAL kódolás-dekódolás is komoly torzításokat okozott a képen. A PAL átvitel előnye, hogy egyetlen koaxiális kábellel megoldható, és a kábelezés még a szakképzetlen felhasználó számára is elvégezhető feladat.

A PAL kódolás-dekódolás torzításainak kiküszöbölése érdekében vezették be a SCART (Syndicat des Constructeurs d'Appareils Radiorécepteurs et Téléviseurs) csatlakozót, és az átvitel kialakításánál – a korábban csak a stúdiótechnikában használt – RGB átvitelt alkalmazták. Ennek lényege, hogy a vörös (R), zöld (G), és kék (B) kép jelét három koax kábelen külön-külön viszik be a TV-vevőkészülékbe. Az RGB átvitel lényegesen jobb képminőséget eredményez, azonban az összekötő kábel vastagabb, és a hossza sem lehet túl nagy.

A műholdas-, földi-, és kábeles digitális vevők (set-top boxok) általában mind a PAL,

mind az RGB kimenettel el vannak látva. A PAL kimenetet használva a digitális vétel képminősége elméletileg sem lehet jobb, mint amire a PAL átvitel képes, így lehetetlen a képminőségének javulását szemléltetni. Az RGB kimenetet használva már némi javulás kimutatható, de megmarad a digitális átviteli lánc ezen utolsó szakaszán alkalmazott analóg átvitel összes hibája. [1]

2.2 A képcsövek és kijelzők fejlődése

Az analóg technikában a kép megjelenítésére katódsugárcsövet használtunk, a képet sorokra bontva ábrázoltuk. A sorokra történő bontás volt a digitalizálás első lépése, amelynek keretében itt Európában 625, az USA-ban 525 sorra bontották fel a képet. Pontosabban a 625 sorból 576 sorban, illetve az 525 sorból 480 sorban történt a kép átvitele, mert a többi technikai okokból nem lehetett igénybe venni. Számos esetben beszéltek vízszintes felbontásról is, pedig ez az analóg világban nem létezett. A 4:3 képarányból számítható $576 \times 4/3 = 768$ vízszintes felbontás elméleti szám volt, a tényleges felbontást az analóg átvitel frekvenciamenete határozta meg.

Napjainkban a katódsugárcsövet (Cathode Ray Tube – CRT) új, digitális megjelenítők (Liquid Crystal Display – LCD, Plasma Display Panel – PDP stb.) váltják fel, ezek felépítése teljesen eltérő, analóg részt nem tartalmaznak. A kép vízszintesen és függőlegesen egyaránt apró képpontokra van bontva, ezen kell megjeleníteni a képet. Amikor az akció keretében is több százezer forintért vásárolt plazma kijelzőre az van írva, hogy felbontása 640×480 , akkor a mi rendszerünk 576 sorát 480 sorra kell átkonvertálni és megjeleníteni. A konvertálás első lépéseként örömmel nyugtázhatjuk, hogy $576:480=1,2$ azaz öt sort felrajzolva, majd a 6. sort eldobva egyszerű konverziós eljáráshoz jutunk. Felvetődik viszont a kérdés: javul-e az analóg kép minősége, ha minden hatodik sorát elhagyjuk?

Sajnos nem, és akkor sem kapunk jobb megoldást, ha az egyik sor 40%-át és a következő sor 80%-át felhasználva akarunk új sort készíteni pixelenként 100ns alatt. Jó megoldás nincs, ezeket a tévéket nem nekünk gyártották. A tőlünk nyugatabbra lévő országokban az ilyen készülék nem más, mint *ipari hulladék*, ezért igyekeznek szabadulni tőle. Nem véletlenül vannak *ezekkel* tele a magyar bevásárlóközpontok polcai.

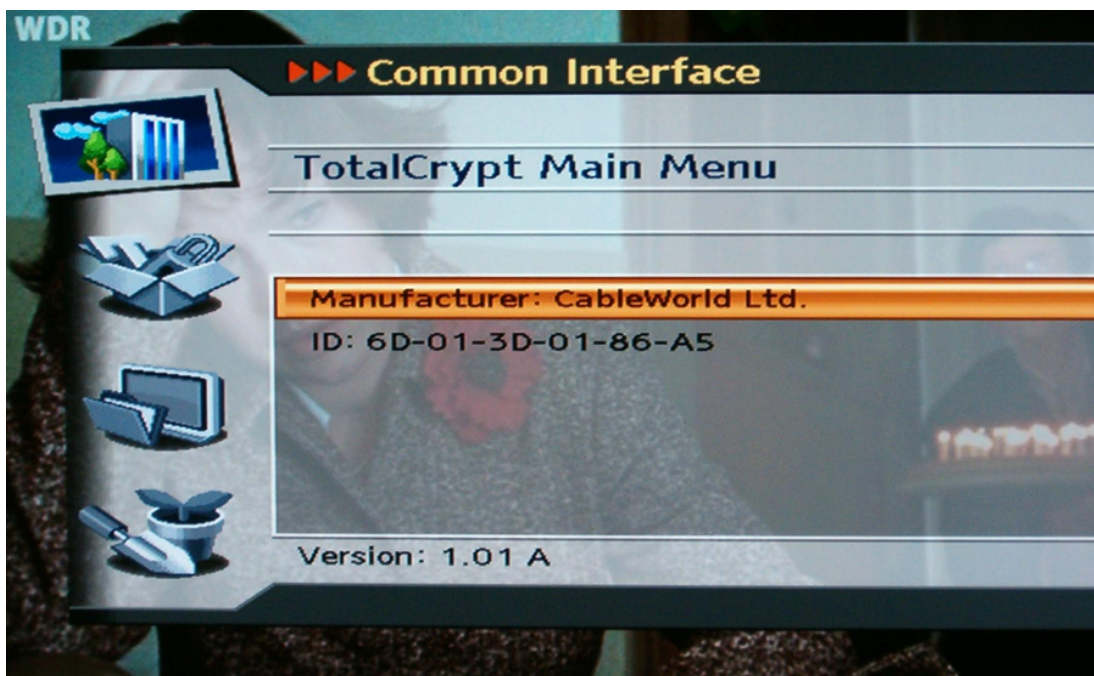
A korábbi analóg képeink megjelenítéséhez 576 soros plazmára lenne szükség, illetve olyan LCD-re, ami 576 soros, vagy ennek egész számú többszöröse. Sajnos ilyen eszközök nem léteznek. [1]

2.3 Az RGB átvitel temetése

Az analóg rendszerekben a legjobb képminőséget a SCART csatlakozós RGB átvitel esetén kapjuk, ám a digitális megjelenítők a beérkező RGB jelet azonnal A/D konverterre vezetik, mivel a pixelek az analóg jellel már nem tudnak mit kezdeni. Sokkal jobb lenne a helyzet, ha a set-top box az egyébként digitális adatfolyamból nem állítana elő analóg jelet (RGB), hisz azt a monitor előtt ismét vissza kell alakítani digitálissá, és minden átalakítás torzítással jár. Ennek elkerülésére dolgozták ki a DVI, majd ennek továbbfejlesztéseként a HDMI átvitelt. [1]

2.4 Az RGB és a HDMI átvitel összehasonlítása

A digitális átvitel jellemzőinek ismertetése előtt nézzük meg, hogy tényleg van-e szemmel látható különbség az SCART, és a HDMI csatlakozóról érkező kép között. A kísérlethez egy olyan set-top boxot célszerű használni, ami mind a két kimenettel rendelkezik, illetve egy digitális tévét. Mivel mozgó képen a jelenségek nehezen szemléltethetők, – ahogy az 1. ábra mutatja – érdemes bekapcsolni a vevőkészülék menüjét.



1. ábra
Az LCD TV képe az áttetsző kialakítású menüvel, mögötte
pedig az élőkép látható

Első lépésként csatlakoztassuk a tévét a set-top box RGB kimenetére. A későbbi összehasonlítás megkönnyítése érdekében készítsünk felvételt digitális fényképezőgéppel a

képernyő egy részletéről. Majd ismétljük meg az eddigieket, de most használjunk HDMI kábelt. Én jelforrásként 2. ábrán látható HUMAX PR-HD1000C set-top boxot, a megjelenítéshez pedig egy LG 1368 × 768 felbontású LCD tévét használtam.



2. ábra
Az LG LCD TV és a HUMAX set-top box

A képernyő olyan részletéről készítettem két fényképet, ahol a legbonyolultabb, legtöbb változást mutató területet találtam. A felvételeket, hogy közvetlenül egymás alá kerülhessenek, a következő oldalon helyeztem el. A 3. ábra felül a SCART csatlakozóról érkező kép egy részletét mutatja, alatta a HDMI képe látható.

RGB üzemmódban a videojel átvitele analóg módon történik, ezért a jelnek a finom részleteknél nagyon gyorsan kellene változnia. Gyors változásokat a véges határfrekvencia, a kivezérlés stb. miatt a rendszer nem képes átvinni. A 4. ábra felső képén jól látható, hogy az átmenetek lassúak, sőt néhol túllövések alakultak ki, a finom részletek elmosódottak, és szellemképszerű hatások is megjelentek.

Digitális átvitelt alkalmazva minden egyes pixel külön adattal kerül beállításra, így egymás mellett akár fekete és fehér pixel is megjeleníthető. Az egyik pixel adata a másokra egyáltalán nincs hatással, ezért a bemutatott jelenségek nem léphetnek fel. Az 4. ábra alsó képe sokkal részletgazdagabb, a sötét/világos átmeneteknél elmosódás nem alakult ki. [1]



3. ábra

Az LCD TV képe RGB (fent) és HDMI (lent) átvitel esetén. Az élőkép
közben természetesen megváltozott

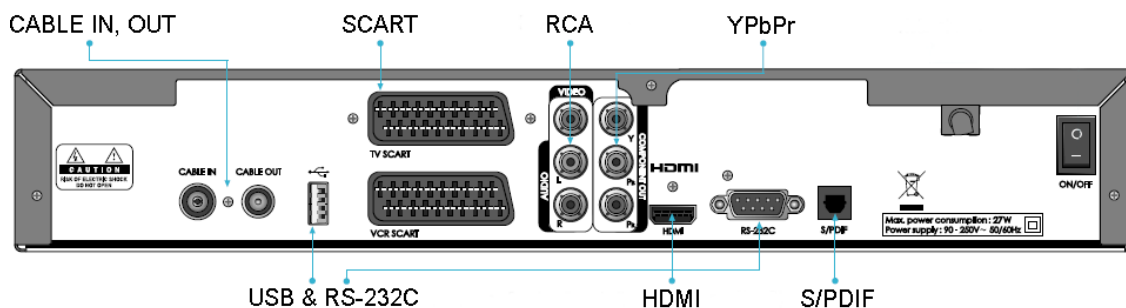


4. ábra

Az RGB átvitel okozta torzítások, alatta a HDMI képe

2.5 A set-top boxok kimenetei

Az aktualitása miatt szükségesnek tartom, hogy ejtsünk néhány szót a digitális átállás átmeneti időszakára készült set-top boxok további kimeneteiről is. Az általam használt HUMAX is egy tipikusan ilyen készülék. Az 5. ábra a HUMAX PR-HD1000C set-top box hátoldalát mutatja.



5. ábra
A HUMAX PR-HD1000C set-top box hátoldala

Analóg videojelet a koax és a SCART csatlakozásokon kívül az RCA (Radio Corporation of America), illetve az YPbPr kimenetekről is kaphatunk, de ha digitális megjelenítőnk van, célszerű inkább a HDMI átvitelt használni. Külön digitális hang kimenetet az S/P-DIF (Sony/Philips Digital InterFace) biztosít.

2.5.1 Miért kell kidobni a mai set-top boxokat?

Napjainkban az üzemeltetők többsége még nem látja a fejlődésnek ezt a szakaszát, és arra törekszik, hogy a lehető legolcsóbb set-top boxot vásárolja meg. Az előfizetők már vásárolják a HDMI bemenetes készülékeket, és elindult a reklamáció özön a rossz képminőség miatt.

A set-top box és a monitor árát elemezve jó tudni, hogy a PAL és az RGB jel előállítás, a többszörös D/A és A/D átalakítás sokkal költségesebb, mint a tisztán digitális átvitel. Az MPEG dekóder kimenetén előálló adatfolyam közvetlenül alkalmas a monitor pixeljeinek vezérlésére, a PAL kóder stb., csak az átállás idejére lett beépítve. Valójában az analóg technika berendezései – mint egy hatalmas sártömeg – állnak a fejlődés útjában. A gyártók ezt jól tudják, ezért sürgetik az átállást. [1]

A bevezetőben felvetett kérdést megválaszolva: a kép minősége akkor lesz megfelelő, ha a digitális átállás folyamata a stúdiótól indulva az előfizető képernyőjéig minden területen kiszorítja az analóg megoldásokat, és az átállás miatt bevezetett köztes állapotot.

Digitális képátvitel a számítástechnikában

A digitális képátvitel már évek óta a mindennapi életünk része. Illetve része lehetne, ha a számítógép használók tisztában lennének vele, hogy mi is az a furcsa, hosszúkás csatlakozó a videokártyájukon a VGA kimenet mellett. Igen, DVI... De mégis mi az, hogy működik? És mi köze ennek a televíziótechnikához? Ebben a fejezetben ezekre a kérdésekre keressük a választ.

A HDMI átvitelt valójában nem a tévétechnikának, sokkal inkább a számítástechnikának köszönhetjük. Talán kevesen tudják, hogy míg az előbbi az analóg jelekről csak a közelmúltban kezdett áttérni digitálisra, addig az utóbbi eleve digitális képátvitellel indult, és később váltott analógra. A HDMI részletes tárgyalása előtt röviden tekintsük át a korábbi műszaki megoldásokat!

Az IBM annak idején kétféle, *digitális* képátvitelt megvalósító monitoradapterrel szerelte az első PC-ket. Az MDA (Monochrom Display Adapter) csak karaktereket jelenített meg, a CGA (Color Graphics Adapter) grafikus üzemmóddal is rendelkezett: 16 színből egyszerre négyet jelenített meg 320×200-as felbontásban. Az MDA utóda a Hercules, a CGA-é az EGA (Enhanced Graphics Adapter) lett. A Hercules 720×348 képpontos monokróm, míg az EGA 640×350-es, 16 színű (később 640×480-as, 64 színű) kép megjelenítését tett lehetővé. Az EGA továbbfejlesztését aztán nem látták célszerűnek, mert közvetlen digitális vezérléssel csak úgy tudták volna növelni a megjeleníthető színek számát, ha egyre több intenzitás értéket, vagyis bitet alkalmaznak. Az IBM '87-ben úgy döntött, hogy áttér az *analóg* képernyővezérlésre, és kifejlesztette az első VGA (Video Graphics Array) kártyákat. Ahhoz, hogy a videokártyának VGA kimenete legyen, szükség van egy digitális – analóg átalakítóra (Digital/Analog Converter – DAC), ami az eredetileg digitális jelekből analóg RGB, illetve sorszinkron, képszinkron jeleket generál.

A VGA, illetve később SVGA (Super VGA) – kiszorítva minden más monitoradaptert – hosszú időre egyeduralkodóvá vált a pc-s világban. Az LCD képernyők meghajtására viszont nem a legalkalmasabb, hiszen azokat digitálisan kell meghajtani. Ennek ellenére

több gyártó az LCD-ket is VGA bemenettel szereli, pedig ez a lehető legrosszabb megoldás. Ebben az esetben ugyanis nem egy, hanem két átalakítás történik: digitálisról analógra a videokártyán, aztán az analógról digitálisra a monitor bemenetén.

Tovább bonyolítja a helyzetet, hogy a csöves megjelenítőknek minden sor, illetve minden kép kirajzolása után szükségük van bizonyos időre, amíg az eltérítő tekercsek visszapozicionálják az elektronsugarat következő sor elejére, illetve az utolsó sor végéről a képernyő tetejére. Az folyadékkristályos kijelzőknek ezzel szemben nincs visszafutásuk, vagyis ugyanakkora felbontás mellett lényegesen kisebb képpontfrekvenciával dolgoznak.

Nyilvánvalóan a legjobb megoldás az lenne, ha a videokártya digitális jele analógra alakítás nélkül juthatna el a digitális megjelenítőhöz. Erre való a DVI.

3.1 A DVI átvitel

Az Intel kezdeményezésére 1998 szeptemberében megalakult a DDWG (Digital Display Working Group) fejlesztői csoport. A szakemberek célja az volt, hogy a digitális megjelenítők számára végre szabványba foglaljanak egy olyan interfészt, ami hasonlóan széleskörű kompatibilitást biztosít, mint a katódsugárcsöves korszakban a VGA.

A munkában az Intel mellett a következő nagy félvezetőgyártók vettek részt: Silicon Image, Compaq, Fujitsu, Hewlett-Packard, IBM, és a NEC. Nem egész egy év együttműködés után kiadták a DVI (Digital Visual Interface) 1.0-ás specifikációját.

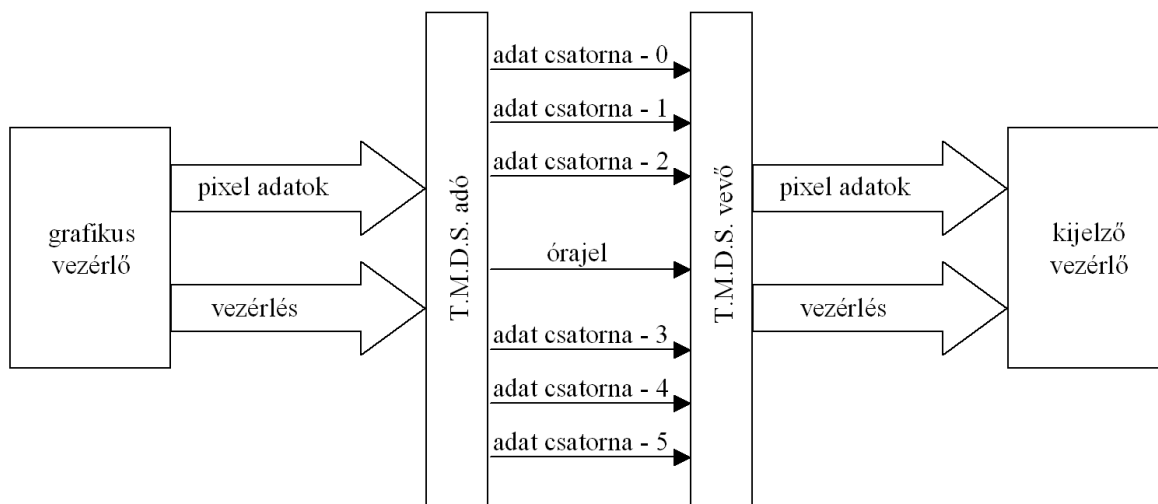
A DVI a képátvitelhez a Silicon Image által kifejlesztett TMDS (Transition Minimized Differential Signaling) kódolást használja. A TMDS lényege, hogy a lehető legkevesebb állapotváltással viszi át az adatokat, vagyis minimalizálja az átvitt jel frekvenciáját. [1] [3]

3.1.1 A TMDS kapcsolat logikai felépítése

A TMDS a három alapszint három soros csatornán viszi át. Mindegyik csatorna külön kódolóval és dekódolóval rendelkezik az adó-, illetve a vevő oldalon. A 6. ábrán a TMDS logikai felépítése látható.

A TMDS adó a videokártyától kapott színenként 8 bites pixel adatokból (vagy két bit vezérlő információból) egy meghatározott algoritmus szerint 10 bites karaktereket képez, amelyekben egyrészt minimális a állapotváltások száma, másrészt az „1”-es és „0”-s bitek eloszlása kiegyenlített (DC balancing). Ez a művelet alkalmassá teszi a jelfolyamot akár optikai kábelben való továbbításra is. A 10 bites karaktereket az adó soros csatornákon juttatja el a monitorban elhelyezett vevőnek. A TMDS vevő a kódoló algoritmus ismereté-

ben visszaalakítja a karaktereket az eredeti 8 bites adatokká, majd átadja őket a kijelző vezérlőnek.



6. ábra
A Dual TMDS logikai felépítése

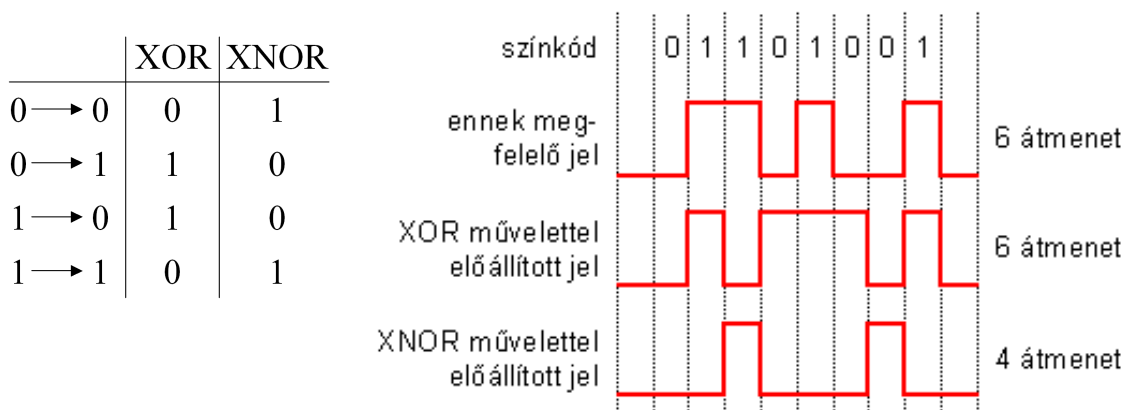
Talán sokaknak feltűnt, hogy nem három, hanem hat csatorna látható az ábrán. A magyarázat egészen egyszerű: egy TMDS kapcsolat maximális órajel-, illetve képpontfrekvenciája 165 MHz, ami a nagy felbontású – például HDTV (1920×1080) – képinformációt esetleg csak 60 Hz-es képfrissítéssel tudná átvinni. Két TMDS kapcsolatot használva megduplázódik a csatornaszám, illetve az átviteli kapacitás. Ilyenkor a páros sorszámú képpontok bitjeit az egyik összeköttetés, a páratlanokat a másik továbbítja. Ezzel a megoldással még a 2048×1024-es képet is 85 Hz-es képfrissítéssel lehet átvinni. Az egyszeres TMDS (Single TMDS) maximálisan 24 bites színmélységet, azaz színenként 8 bites megjelenítést enged meg, a dupla kapcsolat (Dual TMDS) értelemszerűen ennek a kétszeresét tudja. [1] [3] [4]

3.1.2 A TMDS kódolás

A TMDS adó bemenetére órajelciklusonként a következő jelek érkeznek: 3×8 bit színinformáció, vagy 6 bit vezérlőinformáció, továbbá 1 bit Data Enable (a továbbiakban DE) jel. Ha a DE bit értéke logikai „1”, akkor pixel adat érkezett, ha „0”, akkor vezérlőinformáció. Egy kódolóra tehát 8 bit szín, vagy két bit vezérlés kerülhet. Ezekből mindkét esetben 10 bites TMDS karakter lesz.

Amennyiben pixel adatok érkeztek, a 10 bites karakter képzése két lépésben történik. Az első, hogy a 8 bites színkódot olyan 9 bites kóddá alakítjuk, amiben minimális a „0”-ból „1”-be, illetve „1”-ből „0”-ba átmenet. Ez kizáró VAGY (XOR – antivalencia), illetve

negált kizáró VAGY (XNOR – ekvivalencia) logikai műveletekkel valósítható meg. A XOR két bit különbözőségének, a XNOR pedig a bitek egyezésének kimutatására szolgál. Előre nehéz megmondani, hogy adott esetben melyik művelet képez kevesebb átmenetű karaktert, ezért a kódoló mindkettőt elvégzi, majd a jobbat választja. A 7. ábrán egy egyszerű példa látható. Legyen a 8 bites színkód értéke 0b01101001.



7. ábra
Példa a TMDS kódolás első fázisára

Az eredetileg 6 átmenetű jelből az antivalencia 6, az ekvivalencia 4 átmenetű bitsorozatot generált. Könnyen belátható, hogy itt a XNOR hozott jobb eredményt. A dekódoláshoz tudni kell, melyik műveletet hajtottuk végre. Ezt egy hozzáadott kilencedik biten jelezzük.

A második lépésben a korábban említett „DC balanced” adatfolyam (stream) biztosítása a cél. Ehhez meg kell vizsgálni az előző 10 bites karaktert, hogy abban az „1”-esek, vagy a „0”-k voltak-e túlsúlyban. Tegyük fel, hogy a „0”-k. Ha az aktuális kódszó is több „0”-t tartalmaz, mint „1”-est, akkor egyszerűen invertáljuk. Az invertálás tényét természetesen ugyancsak jelezni kell, ezért az eddig 9 bites kódszavat ismét megtoldjuk egy bittel. Az így előállított bitsorozat lesz a következő 10 bites TMDS karakter.

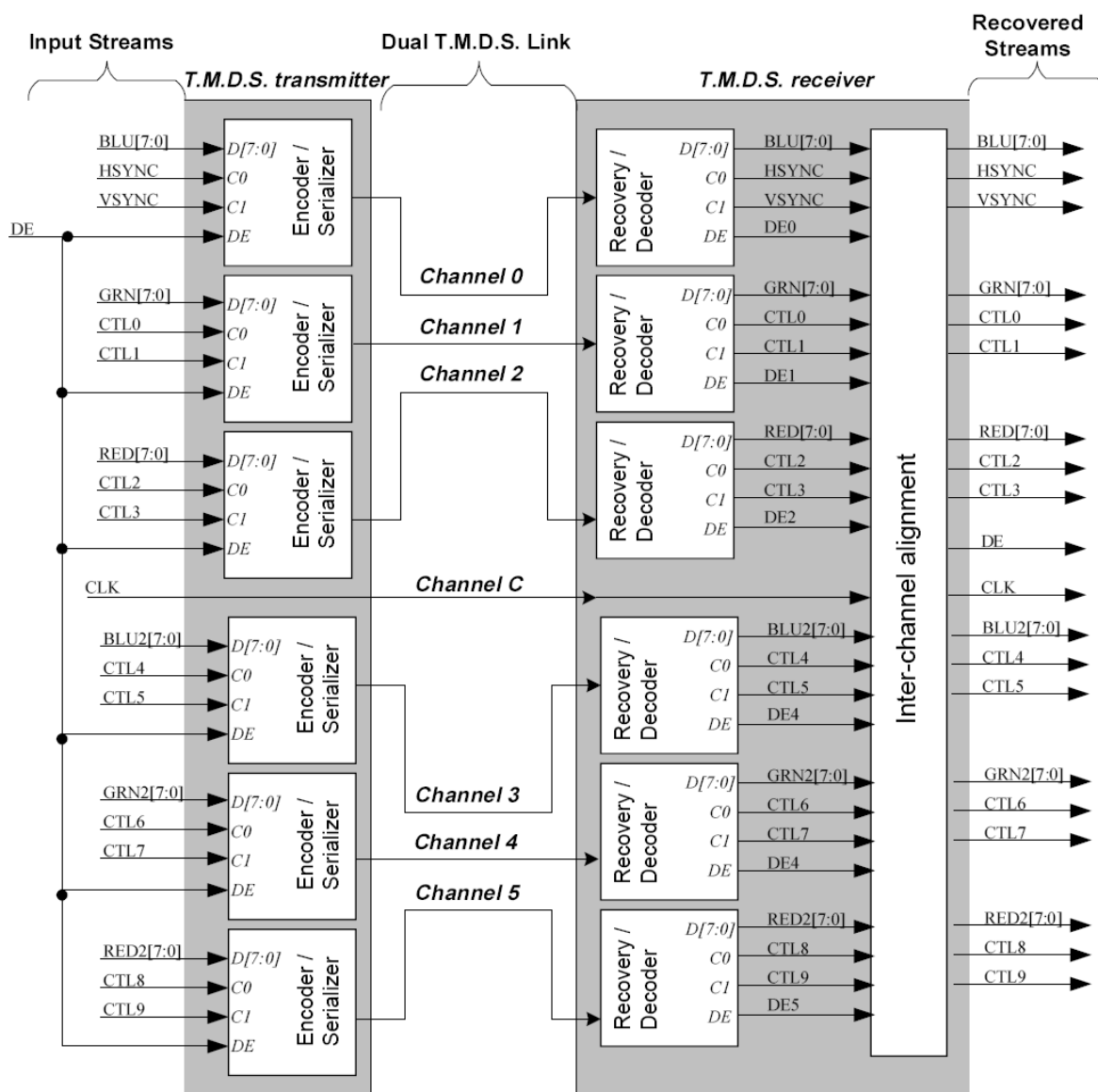
Ha a DE jel értéke logikai nulla, akkor a kódolóra két vezérlőbit érkezett. A kék szín kódolója fogadja a vízszintes (HSYNC), és a függőleges szinkron (VSYNC) biteket, a másik két színé pedig az egyéb vezérléseket (pl. alvó üzemmód). A karakterek képzése ilyenkor úgy történik, hogy a két bitet még 8-al kiegészítve olyan bitsorozatot kell előállítani, ami biztosítja az adó és a vevő oldal közötti szinkron megtartását. Az így előállított 10 bites karakterek akár hét, vagy több átmenetet is tartalmazhatnak. [1] [3] [4]

3.1.3 A TMDS karakterek dekódolása

A TMDS kapcsolat – vagyis mindhárom csatorna – átvitelét a TMDS órajel időzíti. Az órajel frekvenciája tulajdonképpen megegyezik képpontfrekvenciával, illetve a TMDS

karakterek továbbítási ütemével. Ez tehát nem bit, hanem karakterórjel. A vevő automatikusan szinkronizálja magát a karakteren belüli bitekhez. Amennyiben 128 karakternek megfelelő időn át nincs továbbítandó adat, akkor az adónak vezérlőkaraktert kell küldenie, hogy a vevővel fenntartsa a szinkronitást.

A karakterek dekódolása a kódolásnak megfelelően két lépésből áll. A tizedik bit mutatja, hogy invertálva van-e az azt megelőző 9 bites kód. Ha igen, akkor újra invertáljuk, ha nem, akkor megvizsgáljuk a kilencedik bitet. A kilencedik bit értéke arra utal, hogy melyik logikai művelettel kódolták az előtte lévő nyolcat. Ha ugyanis egy bitsorozaton a XOR, vagy az XNOR műveleteket egymás után kétszer végezzük el, akkor visszakapjuk az eredeti adatot. A 8. ábrán a kétszeres (Dual) TMDS kapcsolat tömbvázlata látható. A páratlan sorszámú képpontok adatait az egyik kapcsolat, a párosakat a másik dolgozza fel.



8. ábra
A Dual TMDS tömbvázlata

Egy TMDS órajelfrekvenciája 25 MHz-tól 165 MHz-ig változhat, ennyi tehát az egy kapcsolattal elérhető maximális képpontfrekvencia is. A Dual TMDS közös órajele szintén legfeljebb 165 MHz lehet, de ez esetben nem egy, hanem két pixel információ továbbítódik egy ciklusban. A maximális átvihető képpontfrekvencia így $2 \times 165 = 330$ MHz. [1] [3] [4]

3.1.4 DVI csatlakozók, és formátumok

Az átmeneti időszakra háromféle DVI kapcsolatot definiáltak: analóg (DVI-A), összetett (DVI-I), és digitális (DVI-D). A különböző kapcsolatokhoz eltérő kialakítású csatlakozó, és más módon kábel tartozik. A DVI-A formátum gyakorlatilag ugyanazokat a jeleket használja, mint a 15 tűs VGA: katódsugárcsőes kijelzők meghajtására tervezték. A „mama” DVI-A csatlakozó kialakítása a következő:  A 9. ábra a DVI csat-

Pin	Signal
1	TMDS Data2-
2	TMDS Data2+
3	TMDS Data2/4 Shield
4	TMDS Data4-
5	TMDS Data4+
6	DDC Clock [SLC]
7	DDC Data [SDA]
8	Analog Vertical Sync
9	TMDS Data1-
10	TMDS Data1+
11	TMDS Data1/3 Shield
12	TMDS Data3-
13	TMDS Data3+
14	+5V Power
15	Ground for +5V
16	Hot Plug Detect
17	TMDS Data0-
18	TMDS Data0+
19	TMDS Data0/5 Shield
20	TMDS Data5-
21	TMDS Data5+
22	TMDS Clock Shield
23	TMDS Clock+
24	TMDS Clock-
C1	Analog Red
C2	Analog Green
C3	Analog Blue
C4	Analog Horizontal Sync
C5	Analog GND for R,G,B

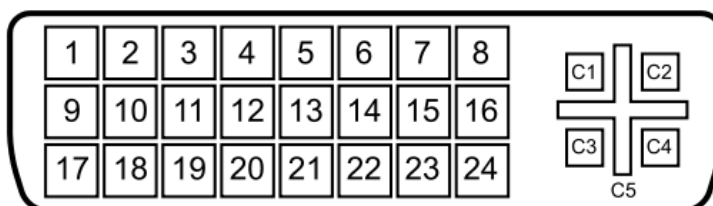
lakozó lábkiosztását, és jeleit mutatja be. A táblázatban fehér háttérrel ábrázoltam azokat jeleket, amelyek minden DVI csatlakozón ott vannak. A sárga az analóg, a kék a digitális összeköttetéshez szükséges pinok színe. Az összetett DVI-I interfészen ezek egyaránt megtalálhatóak:  Ha a monitorvezérlőn ilyen port van, akkor a megfelelő kábelt használva analóg, és digitális kijelzőt is mindenféle minőségromlást okozó átalakítás nélkül tudunk vezérelni.

A DVI-D formátum kizárólag digitális videojelet továbbít. Az single link lábkiosztása: 

Ha az egyszeres kapcsolat átviteli kapacitása kevés lenne a nagy felbontású mozgókép továbbításához, akkor a dual link DVI-D használata javasolt. Itt még három TMDS csatorna érhető el:  [4]

9. ábra
A DVI csatlakozók
lábkiosztása

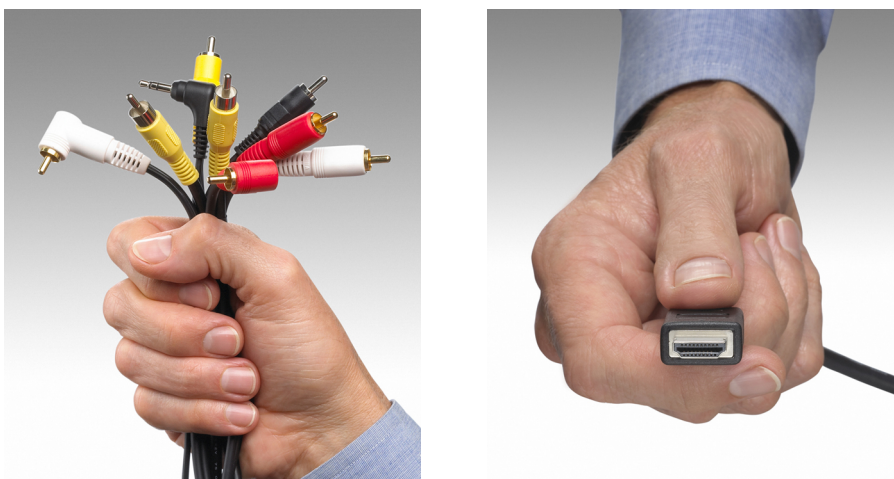
minden DVI csatlakozón van
DVI-A jelek
DVI-D single link jelek
DVI-D dual link jelek



Digitális TV-jelek átvitele HDMI csatornákon

A házimozsi rendszerek valamivel több, mint tíz éve használnak digitális optikai és koaxiális csatlakozásokat, azonban a nagyfelbontású, tömörítetlen képinformációk digitális átvitele csak a DVI elterjedése óta jellemző. A lehető legjobb minőség érdekében eddig két digitális összeköttetésre volt szükség: egy a hanghoz, egy pedig a képhez. A külön kábel(ek)en való csatlakoztatás vitathatatlanul költségesebb, bonyolultabb, vagyis eléggé kényelmetlen megoldás. Szerencsére itt a HDMI...

A DVI megjelenése után bő négy évvel, 2002 decemberében tették közzé a HDMI (High-Definition Multimedia Interface) 1.0-ás specifikációját. A DVI átvitelt létrehozó DDWG csoportból csak a TMDS kapcsolatot megalkotó Silicon Image vett részt a fejlesztésben olyan nagy gyártók mellett, mint a Philips, Sony, Thomson, Toshiba, Hitachi, és a Matsushita. Megérkezett tehát a 30 éve egyeduralkodó, mostanra jócskán elavult SCART digitális utóda. A HDMI jelenti napjainkban a legjobb minőséget, miközben a digitális képinformációt, és a digitális hangot egy kábelben (10. ábra) továbbítja.



10. ábra
Kép és hang csatlakoztatása régen, és ma

A tájékozottabb olvasók az előbbi állítást valószínűleg kétkedve fogadják, és igazuk van. A HDMI valóban nem az egyetlen alternatíva a digitális kép és hang egy kábelben

történő átvitelére. A 2007-es évben ugyanis két DVI utódként emlegetett szabvány is beszállt a kibontakozó „csatlakozóháborúba”. A legnagyobb rivális kétségkívül a számítástechnikában egyre inkább elterjedő DisplayPort lesz, de versenyben van még az Universal Display Interface (UDI) is. A televíziótechnika mindenesetre a HDMI mellett foglal állást. Erre utalnak többek között a HD logók követelményei is. [1] [6]

4.1 A „HD-ready” és a „HDTV” címke követelményei

Az EICTA (European Information, Communications and Consumer Electronics Industry Technology Association), vagyis az európai információ- és, kommunikációtechnológiai valamint szórakoztatóelektronikai szektort képviselő iparági szövetség fogalmazta meg azokat a feltételeket, aminek teljesítése esetén az adott készülék alkalmas a nagyfelbontású mozgóképek megjelenítésére. A „HD-ready” címkére azért volt szükség, hogy a készülék-forgalmazók, és a vásárlók ez alapján könnyebben tudjanak tájékozódni egy megjelenítő eszköz képességeiről.

Fontos megjegyezni, hogy a „HD-ready” nem azt jelenti, hogy a készülék alkalmas HDTV adások vételére, hanem csak azok megjelenítésére. A vételhez külön vevőberendezés, set-top box kell.

A „**HD-ready**” címkével (11. ábra, balra) jelölt készülékekre a következő előírásokat fogalmazták meg:

- minimális saját felbontása 720 fizikai sor 16:9-es képarány mellett
- HD videojelet fogad analóg YPbPr, és DVI vagy HDMI csatlakozókon
- elfogadott HD videojel formátumok:
 - 1280×720 @ 50 és 60 Hz progresszív („720p”)
 - 1920×1080 @ 50 és 60 Hz váltott soros („1080i”)
- a DVI és HDMI bemenet támogatja a (HDCP) tartalomvédelmet



11. ábra
Az EICTA „HD-ready”, és „HDTV” címkéje
(www.eicta.org)

A „HDTV” címke (11. ábra, jobbra) a vevőkészüléken feltüntetve garantálja, hogy a be-
rendezés egy kompatibilis interfészen keresztül eredeti HD jelet képes továbbítani egy
„HD-ready” képmegjelenítő eszköznek. A specifikáció a szabadon fogható és a fizetős HD
televíziós vevőkre egyaránt érvényes. A specifikációs követelmények vonatkoznak a
teljesen integrált HD digitális tévékre, a képernyő nélküli HDTV vevőkre (pl. set-top box),
és a felvételre alkalmas HD vevőkre is.

Érdekesség, hogy a „HDTV” logó program öntanúsító rendszerben valósult meg, tehát a
gyártók maguk dönthetik el, hogy a termékük megfelel-e az előírásoknak.

4.2 A HDMI átvitel

Az új interfész tulajdonképpen a DVI továbbfejlesztése: ugyanúgy három TMDS csatornát
használ az alapszínek átviteléhez, viszont a 10 bites karakterek előállítása során a szín-
biteken kívül ún. egyéb adatok (pl. digitális hang) is beépíthetők. Ebből adódóan a HDMI
csatlakozóból egy egyszerű átalakító segítségével minden további nélkül DVI jel nyerhető.
A DVI csatlakozóból a HDMI jelnek persze csak a „képi része” állítható elő.

4.2.1 A HDMI verziói

A HDMI 1.0-s szabványt a mai napig hatszor frissítették (12. ábra), azonban a
kompatibilitás megőrzése érdekében – de főleg gazdasági okokból – a gyártók még mindig
ragaszkodnak az eredeti specifikációhoz. A legutóbbit HDMI (1.3b) 2007. március 26-án
adták ki.

	HDMI 1.0	HDMI 1.1	HDMI 1.2	HDMI 1.3
Bejelentés dátuma	2002. december 9.	2004. május 20.	2005. augusztus 22.	2006. június 22.
Csatlakozó típusa	Type A	Type A, B*	Type A, B*	Type A, C (Mini HDMI)
Max. sávszélesség	165 MHz	165 MHz	165 MHz	340 MHz
Max. adatátvitel	Type A: 4,95 GBit/s	Type A: 4,95 GBit/s; Type B*: 10 GBit/s	Type A: 4,95 GBit/s; Type B*: 10 GBit/s	Type A and C: 10,2 GBit/s
Max. felbontás	1080p, 60 Hz	1080p, 60 Hz	1080p, 60 Hz	1440p, 120 Hz
Színkódolás (Color Scheme)	24 Bit RGB, 30 / 36 Bit YCbCr (YCC)	24 Bit RGB, 30 / 36 Bit YCbCr (YCC)	24 Bit RGB, 30 / 36 Bit YCbCr (YCC)	24 / 30 / 36 / 48 Bit RGB, 30 / 36 / 48 Bit YCbCr (YCC)
Hangformátumok	8 csatornás, Dolby Digital, dts, MPEG	HDMI 1.0 + DVD-Audio	HDMI 1.1 + SACD	HDMI 1.2 + Dolby TrueHD, dts-HD
Extra szolgáltatások	Első kiadás	–	Kábelhosszteszt, első PC-s verzió	Protokoll a szajszinkronhoz
Szabványfrissítések	–	–	HDMI 1.2a (2005 december 14.): CEC-támogatás (távírányító kezelés)	HDMI 1.3a (2006. november 10.): A Type C csatlakozó módosítása, javított távírányító kezelés

12. ábra
A HDMI verziói

Az 1.3-as verzió legfontosabb újdonsága az immár 10,2 Gbit/s-os adatátviteli sebesség,
ami lehetővé teszi a filmeknél használt 16:9-es 1440p (2560×1440 progresszív), ill. az ún.
WQXGA 16:10-es képarányú, 2560×1600 felbontású képek átvitelét is. A 340 MHz-es

sávszélesség érzékeltetésére jó példa, hogy a „Full HD” képet ezentúl akár 120 Hz-es képfrissítés mellett élvezhetjük. Sőt a legújabb verzió már „xvYCC” színekódolást ír elő a korábbi „YCC” helyett, így az átvitt videó az analóg filmek színspektrumának gazdagságát is elérheti. A színek ábrázolása a korábbi 24 helyett immár 48 biten történik, a színátmenetek folytonosságáról pedig a „Deep Color” technológia gondoskodik.

A hangátvitel lehetőségei is bővültek: a 8 csatornás Dolby Digital, a DVD Audio, és a SACD hangzás után ezentúl továbbítható a Blu-ray, és HD DVD filmeknél megjelent Dolby TrueHD, illetve a DTS-HD (Digital Theater System) Master Audio formátum is. [5]

4.2.2 Csatlakozók és kábelek

A kezdő mérnökpalánta jól bevált módszere az ismeretlen szerkezetek működésének megértésére a „Szereljük szét!” eljárás. Egy HDMI kábel külső héját megbontva az árnyékolás alatt négy külön árnyékolt vezetékpárt, illetve hét eltérő színű eret találunk. A 19 tűs csatlakozó lábkiosztása (13. ábra) alapján a négy vezetékpár a három alapszínnek megfelelő három TMDS soros csatorna, a negyedik pedig az ezeket időzítő órajel lesz. A DVI átvitel megismerése óta tudjuk, hogy a TMDS kódolás minimalizálja a 10 bites karakterekben a feszültségváltások számát, és a zavarvédetség érdekében közös földvezeték helyett különbségi jelátvitelt használ. Ezek szerint $4 \times (2 \text{ ér} + \text{árnyékolás}) = 12 \text{ ér}$. A maradék hét érből egyet nem használnak, a többi pedig a következő: +5V tápfeszültség, Hot Plug detektálás, Consumer Electronics Control (CEC) távirányító jel, a Display Data Channel (DDC) I²C adat (SDA), órajel (SCL), illetve a DDC/CEC Ground vezetéke.



PIN	Jelek megnevezése	PIN	Jelek megnevezése
2	TMDS Data2 Shield	1	TMDS Data2+
4	TMDS Data1+	3	TMDS Data2–
6	TMDS Data1–	5	TMDS Data1 Shield
8	TMDS Data0 Shield	7	TMDS Data0+
10	TMDS Clock+	9	TMDS Data0–
12	TMDS Clock–	11	TMDS Clock Shield
14	Reserved	13	CEC
16	SDA	15	SCL
18	+5V Power	17	DDC/CEC Ground
		19	Hot Plug Detect

13. ábra
Az „A” típusú csatlakozó lábkiosztása

Háromféle HDMI csatlakozó létezik. Az 1.0-ás specifikációban az egyszeres (single link) TMDS kapcsolatot megvalósító „A” típusú csatlakozó paramétereit határozták meg: a normál HDMI csatlakozó 11,9 mm széles, ill. 4,45 mm magas.

Az 1.2-es verzió egyik újdonsága a „B” típusú csatlakozó volt, ami már kétszeres (dual link) TMDS kapcsolattal rendelkezik. A 21,3 mm széles, és 4,55 mm magas, 29 tűs csatlakozó szintén két soros, de felül a 10 helyett 15, alul 9 helyett 14 érintkezője van. Ez a megoldás végül nem terjedt el. A tíz hónappal később kiadott 1.3-as változat a kétszeres adatátviteli sebességet dupla kapcsolat nélkül is elérte, mert az eredetileg 165 MHz-es TMDS órajel frekvenciáját 340 MHz-re növelték.

A hordozható HD eszközök (pl. videokamera) számára a 14. ábrán látható „C” típusú, ún. mini HDMI csatlakozót ajánlják. A mini HDMI 10,5 mm széles, 2,5 mm magas, az érintkezők egy sorban helyezkednek el. Minden egyéb tulajdonságában megegyezik a normál csatlakozóval. [2] [6]



14. ábra
Balra a mini HDMI csatlakozó a normál mellett,
jobbra normál-mini átalakítók láthatók

4.2.3 A HDMI átvitel architektúrája

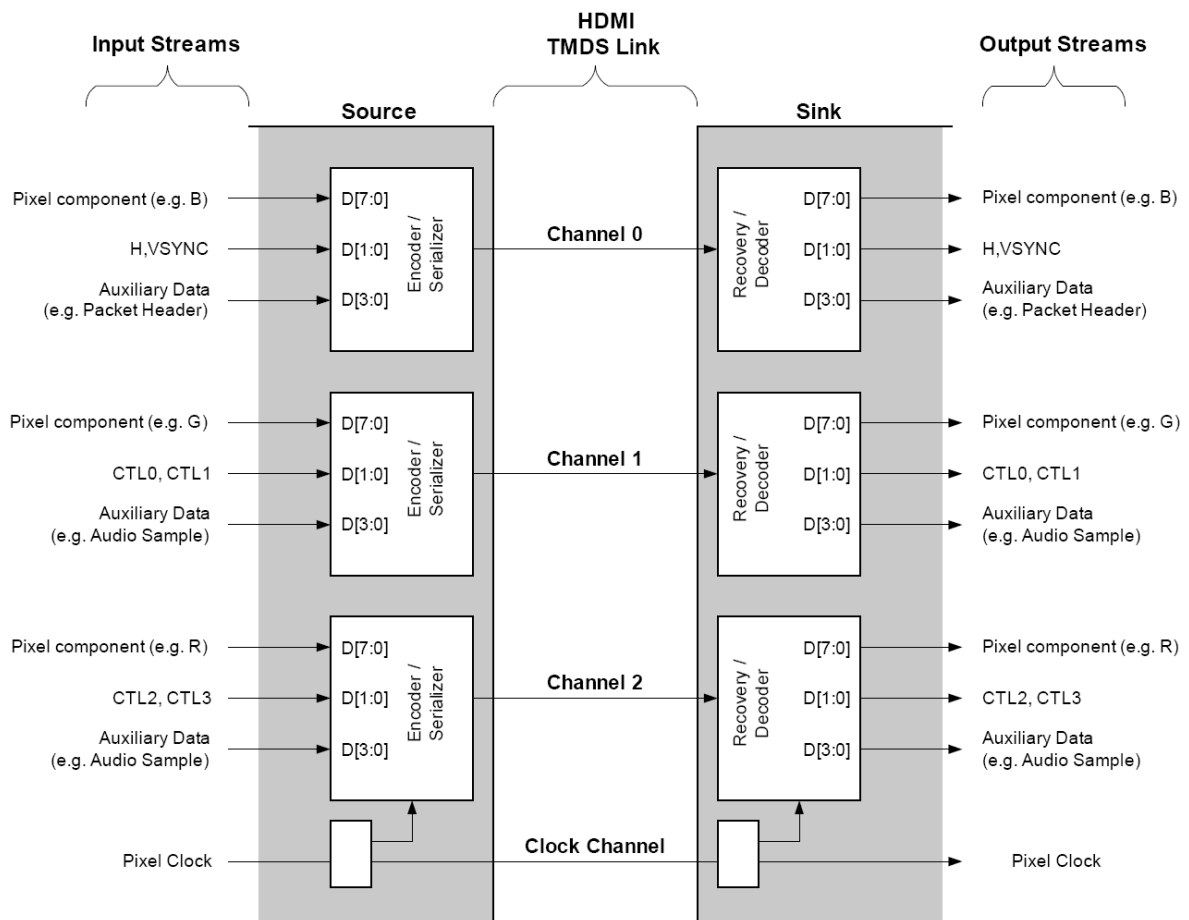
A HDMI felülről kompatibilis a DVI átvittel, a következő bekezdések megértéséhez a harmadik fejezetben leírtak ismerete szükséges.

Csak emlékeztetőül: a DVI kapcsolat minden órajelciklusban csatornánként egy darab 10 bites TMDS karaktert továbbít. A 10 bites karaktereket a kódoló vagy 8 színbitből, vagy 2 bitnyi vezérlőinformációból állítja elő. A színbiteket állapotváltás minimalizáló, a kontroll biteket pedig állapotváltás maximalizáló művelettel kell 10 bitesre alakítani. Ilyen módon az előbbieket legfeljebb öt, az utóbbiak legalább hét átmenetet tartalmazhatnak. A sok átmenettel rendelkező kódszavak a karakterhatárok pontos észlelését, ezáltal a szinkron megtartását biztosítják a vevő oldalon. Egy órajelciklus alatt színenként kettő, tehát összesen hat vezérlőbit vihető át. A kék szín kódolója által továbbított vízszintes (HSYNC), és függőleges (VSYNC) szinkron vezérlőbitek határozzák meg, hogy az átvitt színinformáció pontosan melyik pixelhez tartozik. A többi vezérlőbit szabadon felhasználható, például az alvó üzemmód bekapcsolására. A DVI 1.0 nem tartalmaz másolásvédelmet, sem titkosítást, ezért jogilag alkalmatlan a védett videó tartalmak közvetítésére.

A HDMI átvitel nem kettő, hanem háromféle TMDS karaktertípust különböztet meg. A 10 bites karakter előállítható 8 színbitből (Pixel component), 2 vezérlőbitből (CTL0:3), vagy 4 bit ún. kiegészítő adatból (Auxiliary Data). A kiegészítő adat lehet *csomag fejléc* (Packet Header) a kék szín kódolóján, illetve – többek között – *hang minta* (Audio Sample) a zöld és a vörös színhez tartozó kódolón. Attól függően, hogy éppen milyen típusú karakterekkel dolgozunk, beszélhetünk *képadat* (Video Data Period), *kiegészítő adat* (Data Island Period), ill. *vezérlő adat* (Control Period) időszakról.

A DVI a DE (Data Enable) jel segítségével azonosítja a vezérlő-, vagy képpontbiteket tartalmazó karaktereket, a HDMI pedig a kontroll periódusban elküldött ún. előtaggal (Preamble) jelzi, hogy Video Data Period, vagy Data Island Period következik-e. Az előtag a zöld és a vörös szín kódolójára érkező két-két vezérlőbitből összeálló négybites kódszó. (A kék szín kódolójára HDMI átvitel esetén is a HSYNC, VSYNC bitek kerülnek.) Ha a Preamble értéke 0b1000 (CTL0:3=1000), akkor képadatok, ha 0b1010 (CTL0:3=1010), akkor pedig kiegészítő adatok következnek.

A 15. ábra a HDMI átvitel tömbvázlatát mutatja. Első pillantásra látszik, hogy a HDMI nem más, mint egy továbbfejlesztett egyszeres TMDS kapcsolat. [2] [6]

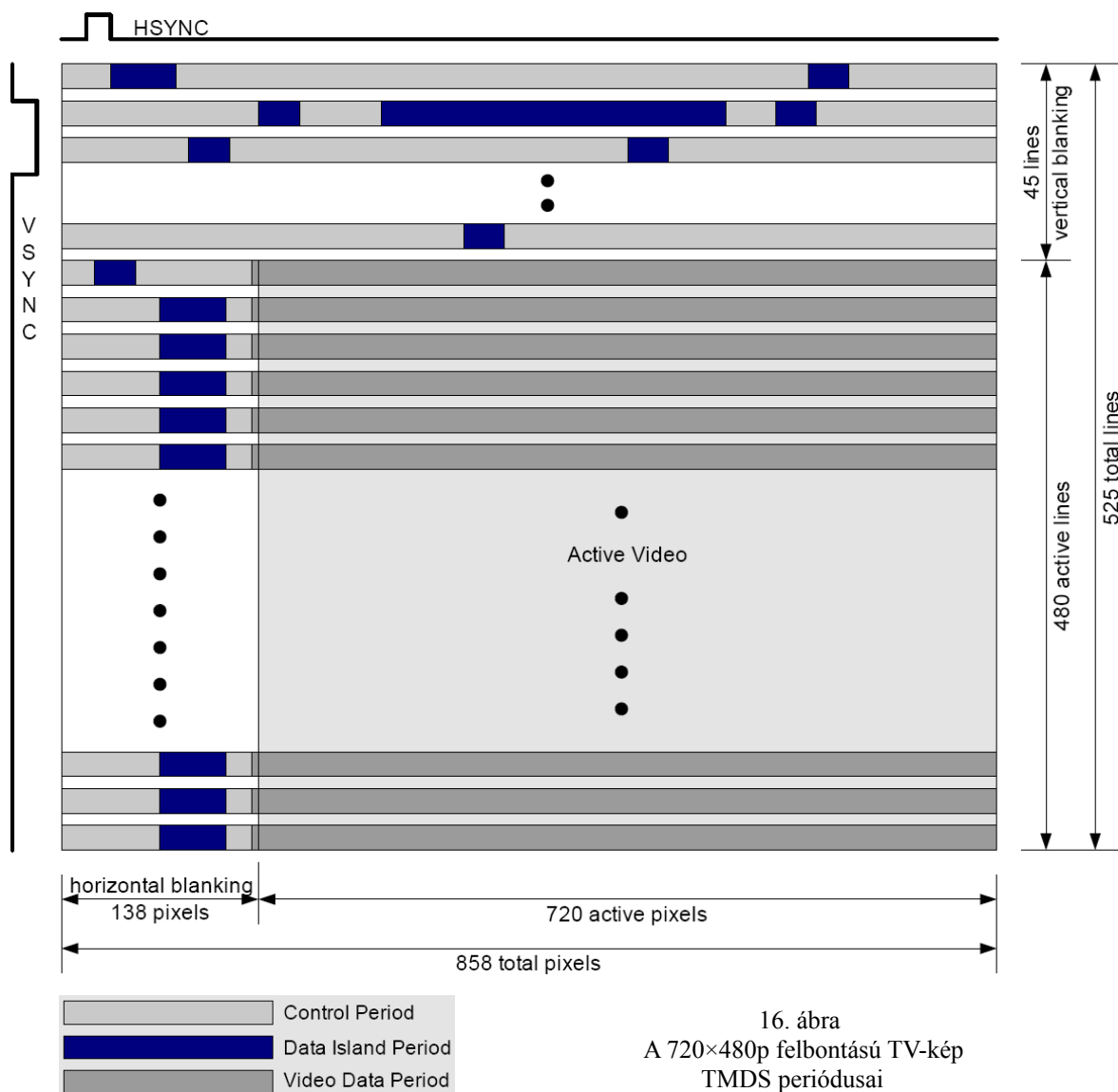


15. ábra
A HDMI átvitel tömbvázlata

4.2.4 Az időszakos TMDS kódolás

A továbbfejlesztett TMDS kapcsolat a nagyfelbontású, digitális képinformációt tömörítetlenül juttatja el a megjelenítőhöz a sokcsatornás, digitális hanginformációval együtt. A hangsúly az utolsó szón van. *Együtt*, de nem azonos időben!

A működő HDMI összeköttetés mindig a már említett három időszak egyékében van: Video Data Period, Data Island Period, és Control Period. A képadat időszakban mindhárom csatorna kódolja az aktív videó pixelek adatait dolgozza fel. A kiegészítő adat időszakban a nullás csatorna a csomag fejléceket, a másik kettő pedig az egyéb adat packeteket továbbítja. Amikor nincs továbbítandó kép, hang, vagy egyéb adat, akkor a kapcsolat szükségképpen vezérlő időszakban van. Kontroll periódusnak kell következnie továbbá minden két olyan időszak között, ami nem Control Period. A 16. ábrán egy 720×480p felbontású TV-kép különböző TMDS periódusait figyelhetjük meg.



16. ábra
A 720×480p felbontású TV-kép
TMDS periódusai

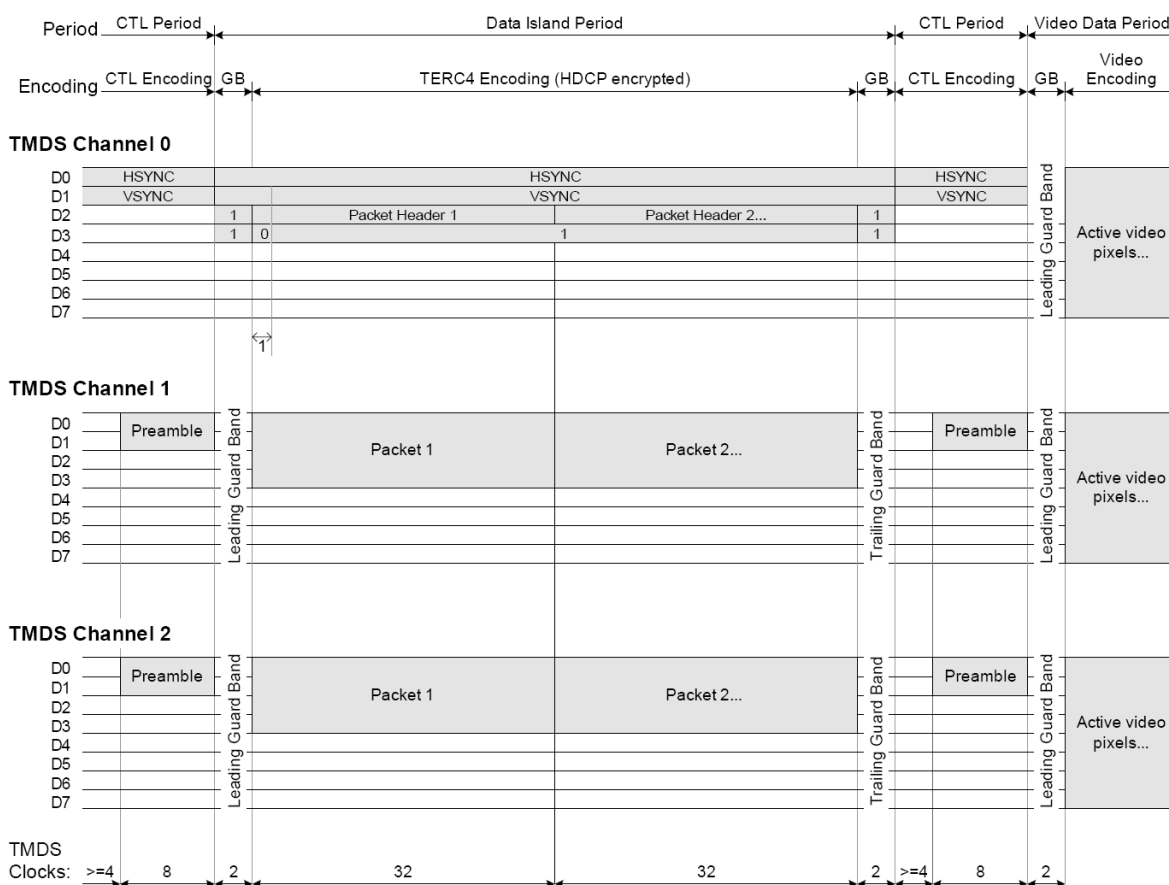
A soros átvitel hibái miatt különböző „védő” bitsorozatot (előre meghatározott karaktereket) is definiáltak. A *videó védősáv* (Video Guard Band) a képadatok érkezését jelző Preamble után kerül a csatornákra két órajelcikluson keresztül. A *bevezető* (leading) Video Guard Band értéke a három kódolón:

- ◆ TMDS_0 (kék): $q_out [9:0] = 0b1011001100;$
- ◆ TMDS_1 (zöld): $q_out [9:0] = 0b0100110011;$
- ◆ TMDS_2 (vörös): $q_out [9:0] = 0b1011001100;$

A Data Island időszak is bevezető védősávval indul, sőt *lezáró* (trailing) Guard Band karakterekkel fejeződik be. A kék szín kódolója a 2×2 védőciklus alatt a HSYNC, VSYNC jelektől függően a 0xC, 0xD, 0xE és 0xF TERC4 (lásd később) kódolt értékét dolgozza fel. A másik két csatornán a Data Island Leading és Trailing Guard Band értéke:

- ◆ TMDS_1 (zöld): $q_out [9:0] = 0b0100110011;$
- ◆ TMDS_2 (vörös): $q_out [9:0] = 0b0100110011;$

A 17. ábrán a TMDS periódusok ütemezését követhetjük nyomon az idő (karakterórajel) függvényében. [2] [6]



17. ábra
A TMDS periódusok ütemezése
az idő függvényében

4.2.4.1 A Data Island időszak

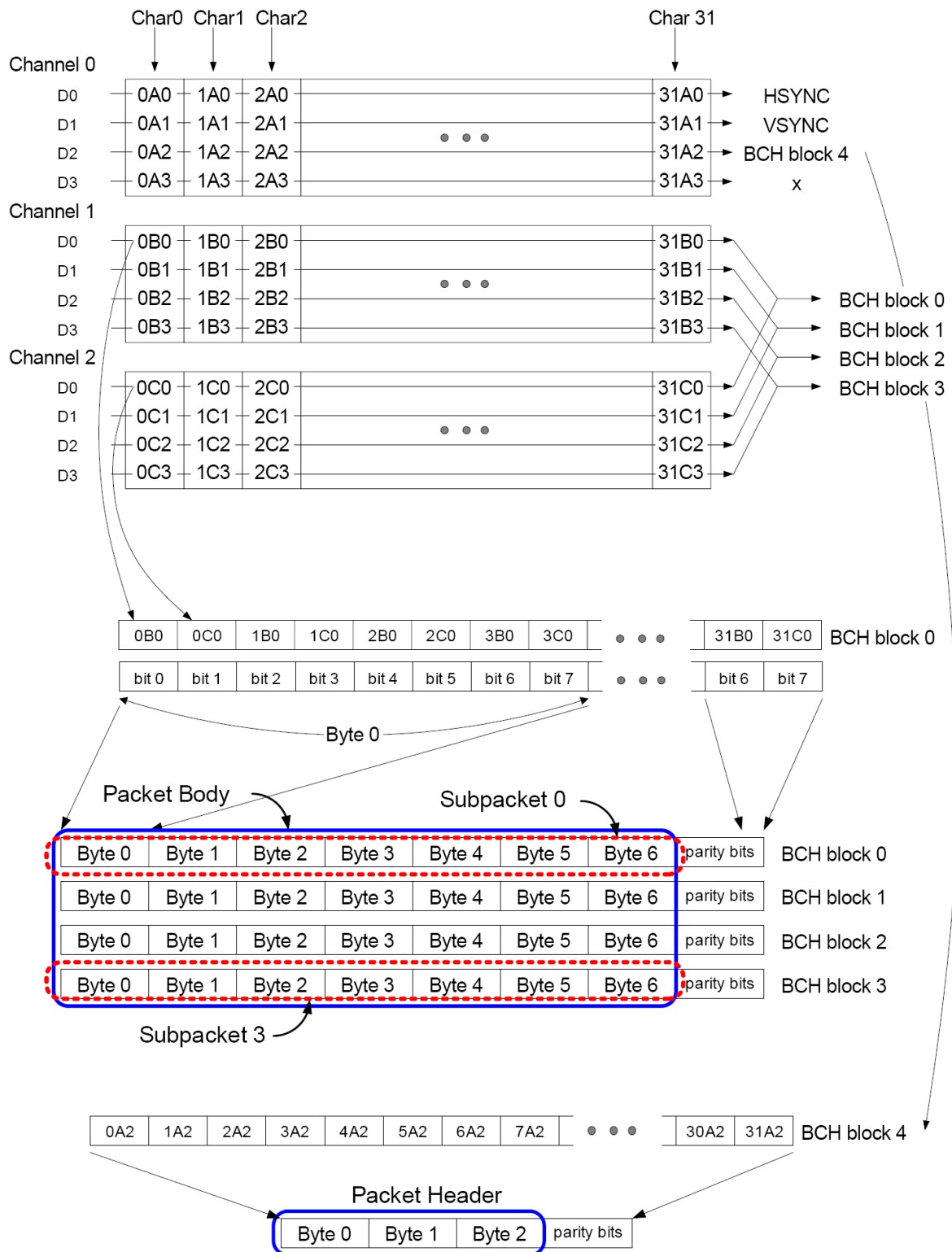
A kiegészítő adat időszakban minden karakter négy hasznos bitet (D3:0) tartalmaz. A 10 bites karakterek előállítása ilyenkor ún. TMDS hibacsökkentő, vagy TERC4 (TMDS Error Reduction Coding – 4bit) kódolással történik. A D3, D2, D1, D0 bitek különböző értékei esetén a TERC4 karakterek a következők lesznek:

◆ 0 0 0 0 :	q_out [9:0] = 0b1010011100;
◆ 0 0 0 1 :	q_out [9:0] = 0b1001100011;
◆ 0 0 1 0 :	q_out [9:0] = 0b1011100100;
◆ 0 0 1 1 :	q_out [9:0] = 0b1001110010;
◆ 0 1 0 0 :	q_out [9:0] = 0b0101110001;
◆ 0 1 0 1 :	q_out [9:0] = 0b0100011110;
◆ 0 1 1 0 :	q_out [9:0] = 0b0110001110;
◆ 0 1 1 1 :	q_out [9:0] = 0b0100111100;
◆ 1 0 0 0 :	q_out [9:0] = 0b1011001100;
◆ 1 0 0 1 :	q_out [9:0] = 0b0100111001;
◆ 1 0 1 0 :	q_out [9:0] = 0b0110011100;
◆ 1 0 1 1 :	q_out [9:0] = 0b1011000110;
◆ 1 1 0 0 :	q_out [9:0] = 0b1010001110;
◆ 1 1 0 1 :	q_out [9:0] = 0b1001110001;
◆ 1 1 1 0 :	q_out [9:0] = 0b0101100011;
◆ 1 1 1 1 :	q_out [9:0] = 0b1011000011;

A kiegészítő adatok továbbításánál BCH ECC hibajavító (BCH Error Correction Code) eljárást használnak. A BCH ECC elnevezés a fejlesztőmérnökök nevéből származik: Bose, Chauduri, és Hocquenghem. Az eljárás lényege, hogy a páros sorszámú adatbiteket a zöld (Channel 1), a páratlanokat a vörös (Channel 2) szín kódolója dolgozza fel. A 18. ábrán lent a Data Island packet felépítése látható.

A packet két fő részből áll: *csomag fejléc* (Packet Header), és *csomag „test”* (Packet Body). A Packet Body 28 bájt hosszú, és hét bájtos *alcsomagokra* (Subpacket) osztható. Az alcsomagok nyolc paritásbittel kiegészítve ún. BCH blokkokat alkotnak. Ez a négy blokk BCH(64,56) erősségű hibajavítással védett, hiszen mindegyik 64 bitből áll, amiből $7 \times 8 = 56$ bit a hasznos adat. A Packet Header csak három bájt hosszú, mégis nyolc paritásbit tartozik hozzá a négyes számmal jelölt BCH blokkban. A csomag fejléc ezek szerint BCH(32,24) védelmet kapott. Az első bájt értéke határozza meg a kiegészítő adat packet típusát.

A 17. ábráról leolvasható, hogy egy packet átviteléhez 32 TMDS órajelciklus kell, tehát egy packet 32 karakter hosszú. A 18. ábrán fent a packet biteinek mátrixát láthatjuk, ahogy a három soros csatornán követik egymást. A D(0:3) bitekből előállított, 10 bites TERC4 karakterek helyett egyszerűbb, ha csak a hasznos bitekre figyelünk. A nullás BCH blokkot kiemelve látható, hogy a szomszédos biteket sohasem ugyanaz a kódoló dolgozza fel. [2] [6]



18. ábra
A kiegészítő adat packet felépítése

4.2.4.2 A vezérlő időszak

A kontroll periódusra jellemző, hogy a TMDS karaktereket két-két vezérlőbitből kell előállítani. A 15. ábra mutatja, hogy a kék szín kódolója a H/V szinkron, a másik kettő pedig a CTL0:3 vezérlőbiteket dolgozza fel. A 10 bites karakterek képzése a már említett állapotváltás maximalizáló kódolással történik. A D1, D0 bitek különböző értékeire az alábbi sok átmenetes kódszavakat határozták meg [6]:

- ◆ 0 0: q_out [9:0] = 0b1101010100;
- ◆ 0 1: q_out [9:0] = 0b0010101011;
- ◆ 1 0: q_out [9:0] = 0b0101010100;
- ◆ 1 1: q_out [9:0] = 0b1010101011;

4.2.5 A Display Data Channel

A kaliforniai VESA (Video Electronics Standards Association) „Plug & Play” szabványai lehetővé teszik a VGA, DVI, illetve HDMI csatlakozóval rendelkező monitorok és tévékészülékek számára, hogy azonosítsák magukat a számítógép, ill. a set-top box felé. Minden VESA szabványnak megfelelő kijelző rendelkezik egy – verziótól függően – 128 vagy 256 bájt méretű úgynevezett EDID ROM-mal, ami tartalmazza a megjelenítő különböző tulajdonságait, képességeit. Ez a „csak olvasható” memória a DDC-n (Display Data Channel) keresztül érhető el. A VESA DDC kommunikációs csatorna két szinten definiált: DDC1 és DDC2B. A DDC1 egyirányú adatcsatorna a kijelzőtől a számítógép, set-top box stb. felé, amely *folyamatosan* továbbítja az EDID információkat. A DDC2B kétirányú adatcsatorna, amely a Philips által szabványosított I²C (Inter-IC) protokollt használja. A DDC2B csatornán az EDID ROM bájtjai *kérésre* akár egyenként is kiolvashatók. [2] [9] [10]

4.2.6 Az EDID adatok struktúrája

Az EDID (Extended Display Identification Data) kiterjesztett kijelzőazonosítási adatok 1.0-s verzióját '94 augusztusában tették közzé, de a 2000. január 1-e után gyártott készülékekhez már az 1.3-as, vagy a 256 bájtosra növelt E-EDID (Enhanced EDID) verziót ajánlják. Az EDID adatstruktúra első 8 bájtja a fejléc: (00 FF FF FF FF FF FF 00)h. A következő bájtokból az ingyenesen hozzáférhető VESA szabvány ismeretében a teljesség igénye nélkül a következőket olvashatjuk ki: gyártó neve, termékkód, szériaszám, gyártás hete, gyártás éve, EDID verziószám, képernyő méret vagy képarány, átviteli karakterisztika (GAMMA), alapértelmezett fehér pont, támogatott üzemmódok stb.

Ez utóbbi talán a legfontosabb a set-top box szempontjából, mivel pontos leírást ad a display képességeiről felbontásban, ill. képfrissítésben. Például: 1360×768 @ 60Hz. [2] [11]

I²C-busz vezérlés IP hálózatról

A komolyabb odafigyelést igénylő, túlnyomórészt száraz szakmai ismereteket közlő fejezetek után – a klasszikus képzavarral élve – végre könnyedebb vizekre evezünk. Következő témánk a VESA kompatibilis megjelenítők kijelzőazonosítási adatainak (EDID) kiolvasása lesz. Az EDID ROM a DDC2B csatornán I²C-buszon keresztül érhető el, amit akár IP hálózatról is vezérelhetünk...

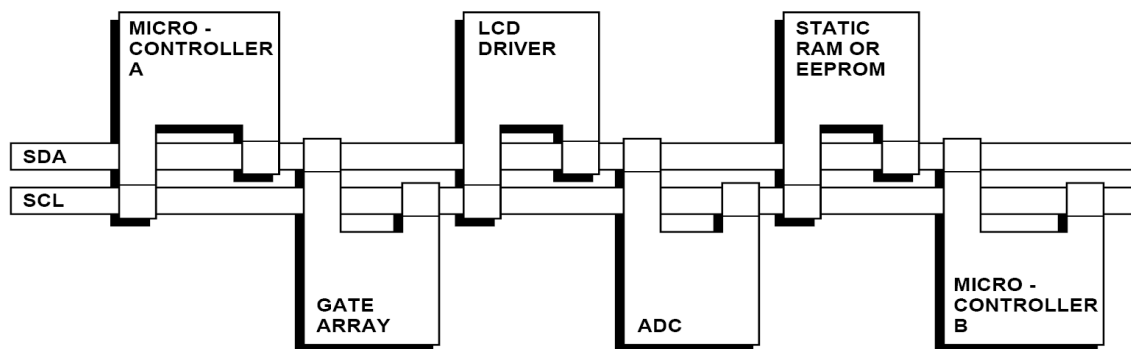
A CableWorld Kft. új, IP alapú rendszerének legfontosabb eleme minden bizonnyal az a vezérlő, ami lehetővé teszi a transport stream IP hálózatra kapcsolását. A Gigabit Ethernet Controller (GEC) modult két változatban gyártják: négy TS bemenettel, ill. négy TS kimenettel. Ezek csak a betöltött szoftverben különböznek egymástól. A modul készülékbe építve soros, párhuzamos és I²C-buszon keresztül tudja vezérelni a belső egységeket, és önállóan látja el a unicast és multicast hálózatok kezelését. Ha az I²C-buszra nem valamilyen belső egységet, hanem a HDMI kábel Display Data csatornáját kapcsoljuk, akkor egy számítógépen futtatható szoftver használatával a hálózati csatolón keresztül vezérelt GEC modul segítségével lekérdezhetjük az EDID ROM tartalmát. Ilyen szoftvert csak az I²C-busz, és a Gigabit Ethernet Controller használatában jártas fejlesztő készíthet. [8]

5.1 Az I²C-busz

Szinte minden digitális készülékben található mikrokontroller, LCD vezérlő, I/O port, RAM, EEPROM, adatkonverter stb. A integrált áramkörök (Integrated Circuit) többsége a Philips által szabványosított IC-k közti buszrendszeren, az I²C-n keresztül kommunikál.

Az I²C-busz egy kétirányú soros összeköttetés, amihez csupán két vezeték szükséges: egy soros adatvonal (SDA), és egy soros órajel (SCL). Az egy buszra csatlakoztatható eszközök számát csak a busz kapacitása korlátozza, ami legfeljebb 400 pF lehet. Mindegyik csatlakoztatott eszköz programból címezhető egy egyedi címmel, és a köztük fennálló egyszerű master/slave kapcsolat segítségével, ahol a master képes adóként és vevőként is

üzemelni. **Master**nek nevezzük azt az IC-t, amely adatátvitelt kezdeményez a buszon, generálja az ehhez szükséges órajelet, majd befejezi az átvitelt. Minden ezalatt megcímezett eszközt **slave**-nek tekintünk. Az órajel frekvenciája normál üzemmódban 100 kHz, gyors üzemmódban 400 kHz. Ugyanarra a buszra akár több master is csatlakozhat: a 19. ábrán egy két mikrokontrollert használó I²C-busz elvi felépítése látható.



19. ábra
Két mikrokontrollert használó I²C-busz
konfigurációja

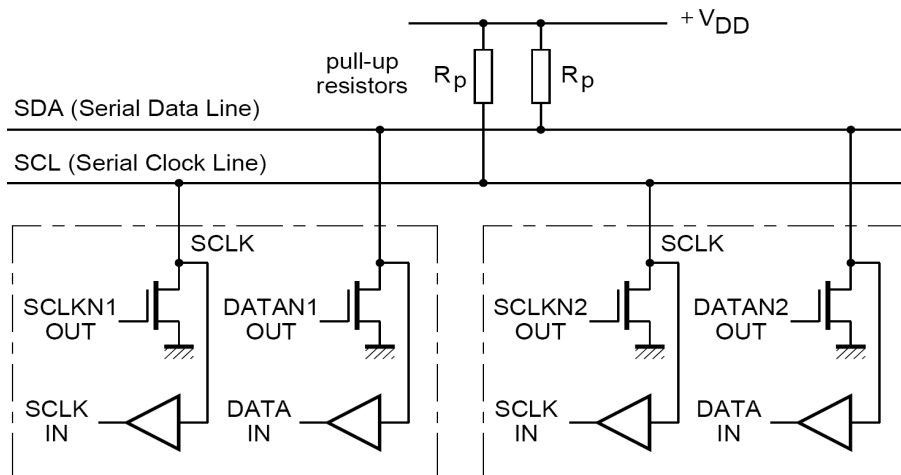
Ha az „A” mikrokontroller információt akar *küldeni* a „B” mikrokontrollernek, akkor órajelet generál, megcímezi „B”-t (**fogadó slave**), elküldi az adatokat (**küldő master**), majd befejezi az átvitelt.

Ha az „A” mikrokontroller információt akar *fogadni* a „B” mikrokontrollertől, akkor órajelet generál, megcímezi „B”-t (**küldő slave**), fogadja az adatokat (**fogadó master**), majd befejezi az átvitelt.

Minden master a saját órajeletét generálja, mikor adatátvitelt kezdeményez. Ez a buszórajel csak két esetben változtatható meg: ha egy slave az órajel alacsony szinten tartásával jelzi, hogy nem támogatja a gyors üzemmódot, vagy ha ún. arbitrációra került sor. [7]

5.1.1 Az I²C-busz használata

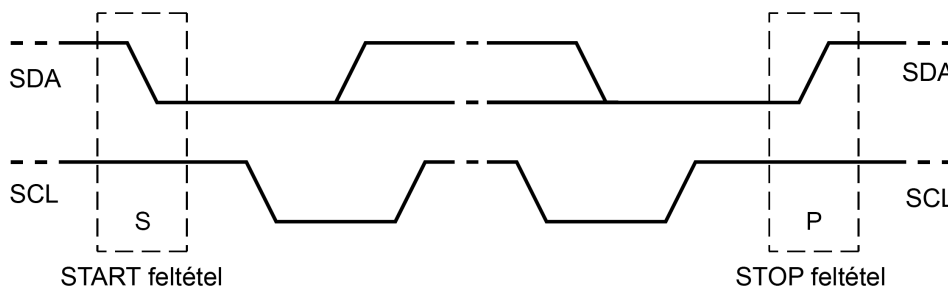
A 20. ábrán látható, hogy az SDA soros adat-, és az SCL soros órajelvezeték egy-egy felhúzó ellenálláson keresztül a pozitív tápfeszültségre kapcsolódik. A szaggatott vonal az egyes eszközökhöz tartozó áramköri elemeket határolja. Alaphelyzetben mindkét jel logikai magas szinten van, de ezek a szintek a bipoláris és CMOS áramkörök együttélése miatt nem fix feszültségértékek, hanem meghatározott tartományok. A huzalozott ÉS függvény megvalósításának érdekében a buszra csatlakozó eszközök kimeneti fokozatai mindig nyitott kollektoros, vagy nyitott drainű kapcsolások. Ezek az eszközök mind rendelkezhetnek saját tápfeszültséggel, de a felhúzó ellenállásokat 5V-ra kell kötni. [7]



20. ábra
Az egyes eszközök kapcsolódása
az I²C-buszra

5.1.1.1 START és STOP feltételek

Az adatátvitel kezdetét a START-, a végét a STOP feltételként definiált egyedi szituációk jelentik. Ezeket a feltételeket mindig a master generálja. START feltétel után a busz foglaltnak, STOP feltétel után szabadnak tekintendő. A 21. ábrán megfigyelhető, hogy egy magas-alacsony átmenet az SDA vezetéken, miközben az SCL magas jelszintű, START feltételt jelez. STOP feltétel, ha az adatvezetéken alacsony-magas átmenet történt az SCL magas szintű állapota alatt.



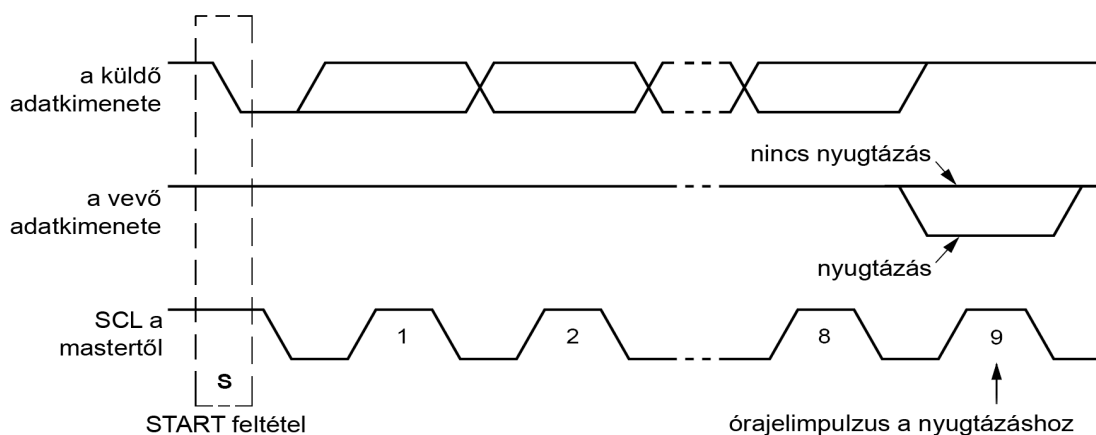
21. ábra
START és STOP feltételek

Az SDA vezetéken minden bájtnak 8 bites, az egy átvitel alatt továbbítható bájtok száma pedig korlátlan. A START és STOP feltételek között az SDA-jel állapota kizárólag akkor változhat meg, amikor az órajel alacsony szinten van, egyébként az adat érvénytelen. [7]

5.1.1.2 Nyugtázás

Az I²C kötelező nyugtázásos adatátvitel, ahol a vevő minden átvitt bájtnak egy nyugtázás bittel (ACK=acknowledgement) jelzi, hogy fogadta az adatokat. A 22. ábra a küldő és a vevő adatjeleit mutatja az órajel függvényében. A nyugtázáshoz szükséges kilencedik

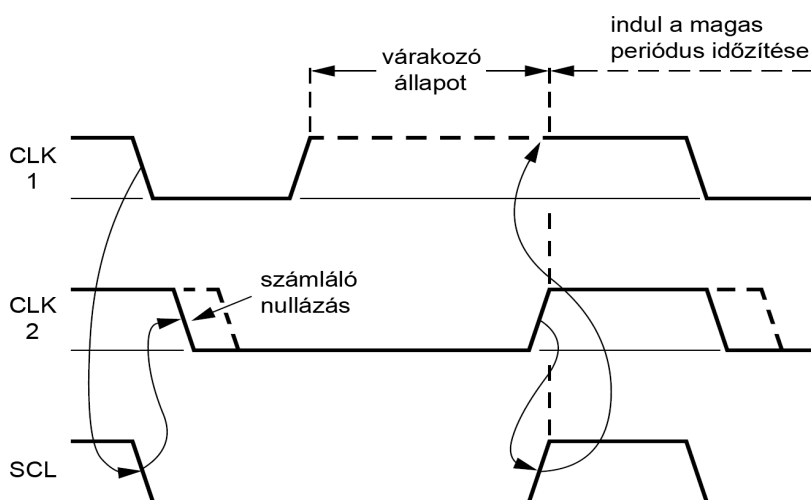
óraimpulzust a master generálja, miközben szabaddá teszi az adatvezetékét. A vevő az adatkimenetén megjelenő, a nyugtázó impulzus alatt stabil alacsony szinttel igazolhatja vissza a bájtvitelét, majd az SCL-jel lehúzásával várakoztathatja az adót, amíg nem áll készen a következő bájtfogadására. [7]



22. ábra
Nyugtázás az I²C-buszon

5.1.2 Az arbitrációs eljárás

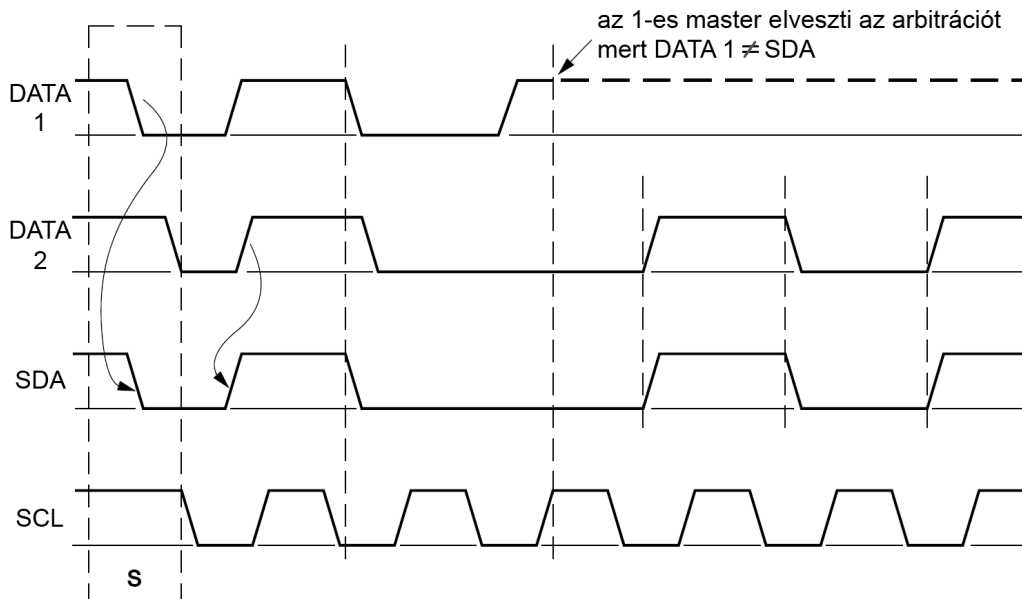
Arbitrációra akkor van szükség, ha az I²C-buszon egynél több master próbál információt küldeni a START feltétel minimális tartási idején belül. Ilyenkor az eszközök észlelik az ütközést, és az arbitrációs eljárás után átengedik a küldés jogát egyetlen masternek. A bitenkénti arbitrációhoz közös órajel kell, amit az eszközök huzalozott ÉS kapcsolatán alapuló órajelszinkronizáció biztosít. A START feltétel után az I²C-busz órajele egészen addig alacsony szinten marad, amíg a leghosszabb alacsony periódusú eszköz magas szintre nem vált (23. ábra). A gyorsabb eszközök erre az időre magas várakozó állapotba kerülnek.



23. ábra
Órajelszinkronizáció az arbitráció alatt

A magas periódus akkor ér véget, mikor a leggyorsabb master SCL kimenete alacsony szintre húzza az órajelet. Az adat csak az órajel magas periódusánál érvényes.

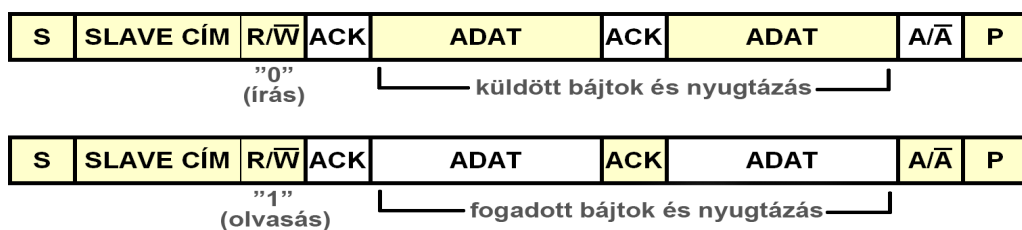
Az arbitráció szintén a huzalozott ÉS függvény sajátosságaira épül. A 24. ábrán két master „versenyét” követhetjük nyomon, amit a küldési jogért folytatnak. Ilyenkor az az eszköz, amelyik magas szintet küld, míg egy másik alacsonyot, leállítja az adatok küldését, mert a busz jelszintje nem egyezik meg a saját jelszintjével. Az arbitráció nyertese zavartalanul forgalmazhat tovább, hiszen az ütközés miatt nem történt információvesztés. [7]



24. ábra
Arbitrációs eljárás két master esetén

5.1.3 Eszközök címezése az I²C-buszon

Az I²C-buszon a START feltétel utáni első bájt tartalmazza a 7 bites slave címet, és az adatarányt jelző (R/W) bitet. A nullás R/W bit írást, az egyes olvasást jelent. A bájt elküldése után a buszra csatlakoztatott eszközök összehasonlítják az első 7 bitet a saját címükkel, majd egyezés esetén a nyolcadik bit értékétől függően fogadó, vagy küldő slave-nek tekintik magukat. A megcímezett, ill. általános hívás (slave cím=0x00) esetén minden eszköz köteles egy ACK-val válaszolni. A 25. ábra az írás és az olvasás folyamatát mutatja. [7]



25. ábra
Írás és olvasás az I²C-buszon
(a slave kimenete fehér, a masteré sárga)

5.2 A Gigabit Ethernet Controller

A digitális televíziótechnika elterjedésének hazai zászlóshajójaként a CableWorld Kft. az új termékeivel mindig kijelöli a fejlődés irányát. Az ASI átvitel háttérbe szorulásával folyamatosan erősödik az IP technológia szerepe, ennek megfelelően a CW rendszerei is változtak. A cég fejlesztői olyan speciális megoldást dolgoztak ki, amelyben a nagysebességű transport stream továbbítása, és a készülékek vezérlése egyaránt Ethernet hálózaton keresztül történik. A DDTToIP (Digital Data Transmission over IP) adatátalakítást, és a készülékvezérlést a 26. ábrán látható Gigabit Ethernet Controller (GEC) modul végzi.

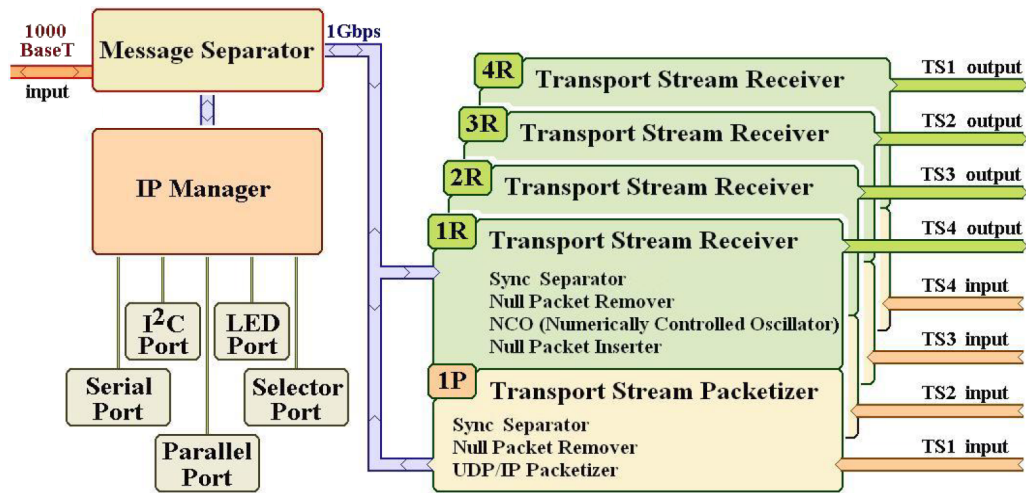


26. ábra
A CW-4901 Gigabit Ethernet Controller

A 100BaseT és 1000BaseT hálózati környezetben működő GEC panel az új, IP alapú digitális fejállomások és rendszerek központi egysége, a hálózatra kapcsolt demodulátorok, remultiplexerek, QAM modulátorok stb. vezérlője, ami a CableWorld által kidolgozott CW-net protokollt használja. A gigabites vezérlő felépítését a 27. ábra szemlélteti.

A CW-4901 kommunikáció kezelője az IP Manager, amely a készülékvezérlési funkciókat is ellátja. Ehhez kapcsolódik a négy darab azonos felépítésű, nagysebességű transport stream adó-vevő egység. A négy adó és a négy vevő nem fér el egy modulon, ezért a GEC két változatban készül (4I és 4O). A 4I változat négy különböző forrásból érkező transport streamet képes feldolgozni, és UDP csomagokban elhelyezni, a 4O pedig a gigabites bemeneti adatfolyamból az IP címek és a Port szám alapján négy kimeneti transport

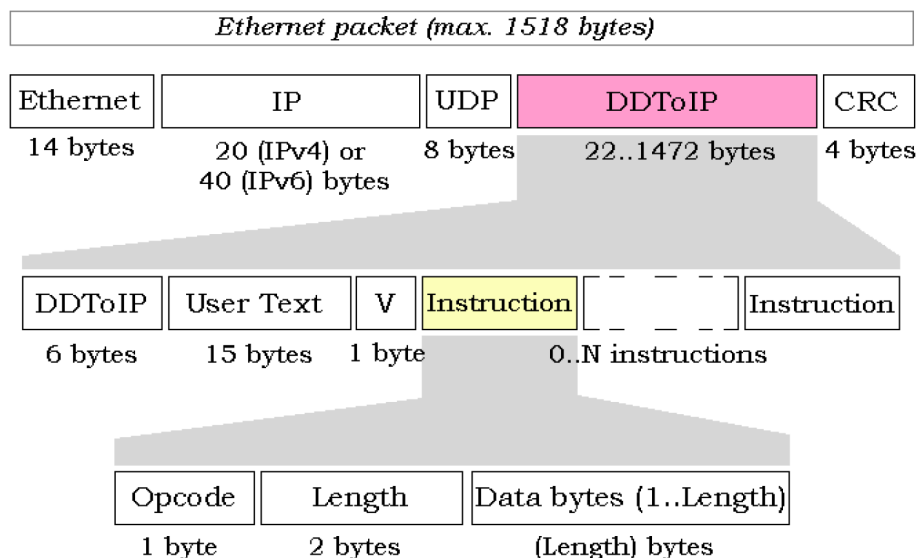
streamet tud összeállítani. A négybemenetű változat egy teljes értékű TS kimenettel is el van látva. A készülékvezérléshez soros és párhuzamos port, I²C-busz, 8 bites selector port, ill. egy LED port áll rendelkezésre. [8]



27. ábra
A GEC modul blokkvázlata

5.2.1 A DDTToIP protokoll

A rendelkezésre álló portok mindegyike UDP csomagokba ágyazott utasításokkal vezérelhető. Az UDP szegmens 8 bájtos fejrészből, és azt követő adatmezőből áll. Az Ethernet csomag hossza 64-1518 bájt, ebből az adatmező mérete 22-1472 bájt (28. ábra). Az utasítások a DDTToIP karakterekkel kezdődnek, amelyek után a felhasználónak lehetősége van a saját rendszerét azonosító karaktersorozat elhelyezésére. Az azonosító karaktereket a verzió szám, az utasítás kód, az utasítás hossz, és az adatbájtok követik. [8]



28. ábra
A DDTToIP protokoll

5.2.2 Az I²C interfész

A Gigabit Ethernet Controller I²C interfésze négy tűs: a soros adatvonal, és a soros órajel érintkezője mellett a tápfeszültség, ill. a föld csatlakozó kapott helyet. Az SDA és SCL vezetékek 2,2 kΩ-os felhúzó ellenállásokon keresztül kapcsolódnak a 3,3 V-os tápfeszültségre. A gigabites vezérlő az I²C-buszon masterként viselkedik, a slave mód nem támogatott. A master az adatátvitel során az SETHICCLOCK utasítással beállított órajelet generálja, a WRITEIIC utasítás hatására adatokat küld, a READIIC-vel pedig olvasni tudja a megcímzett eszközt. Összegezve: az I²C-busz IP hálózatról történő vezérléséhez csupán egy GEC modulra, és három utasításra van szükség.



5.2.2.1 Az I²C utasítások

A 29. ábrán látható SETHICCLOCK utasítás 4 bájt hosszú, és a GEC által generált órajel frekvenciáját állítja be. Az FRQDIV bájt értékét az $FRQDIV = \frac{6250000}{F_{IIC\ Clock}}$ képlettel számíthatjuk ki, ahol az $F_{IIC\ Clock}$ Hz-ben értendő.

Byte	7	6	5	4	3	2	1	0
1	Opcode		0x90					
2	Length (MSB)		0x00					
3	Length (LSB)		0x01					
4	FRQDIV							

29. ábra
A SETHICCLOCK utasítás leírása

A WRITEIIC és a READIIC utasításban (30. ábra) a negyedik bájt nyolcadik bitje nem az adatarányt jelző R/W bit, hanem olvasáskor az utolsó fogadott bájt utáni nyugtázást kapcsolja ki-be, íráskor pedig nincs jelentősége. [8]

Byte	7	6	5	4	3	2	1	0
1	Opcode		0x91					
2	Length (MSB)							
3	Length (LSB)							
4	SLAVEADDR							X
5-n	DATA							

Byte	7	6	5	4	3	2	1	0
1	Opcode		0x92					
2	Length (MSB)		0x00					
3	Length (LSB)		0x03					
4	SLAVEADDR							ACK
5-6	NOB							

30. ábra
A WRITEIIC (fent) és a READIIC (lent) utasítások leírása

EDID információk kiolvasása

„Minden annyit ér, amennyit használni tudsz belőle...” – ezt egy olyan embertől hallottam, akit mindig nagyra becsültem. Lássuk, vajon mit ér az a tudás, amit az eddigi fejezetekben igyekeztem átadni, ha a gyakorlatban szeretném alkalmazni!

A CableWorld Kft. tervei szerint az általuk gyártott MPEG-2 dekódereket a közeljövőben nemcsak analóg (PAL), hanem digitális (HDMI) kimenettel is ellátják. A HDMI kimenetről pedig tudjuk, hogy a Display Data csatornán képes lekérdezni a megjelenítő képességeit, hogy aztán az annak megfelelő felbontású képet, ill. formátumú hangot továbbítsa.

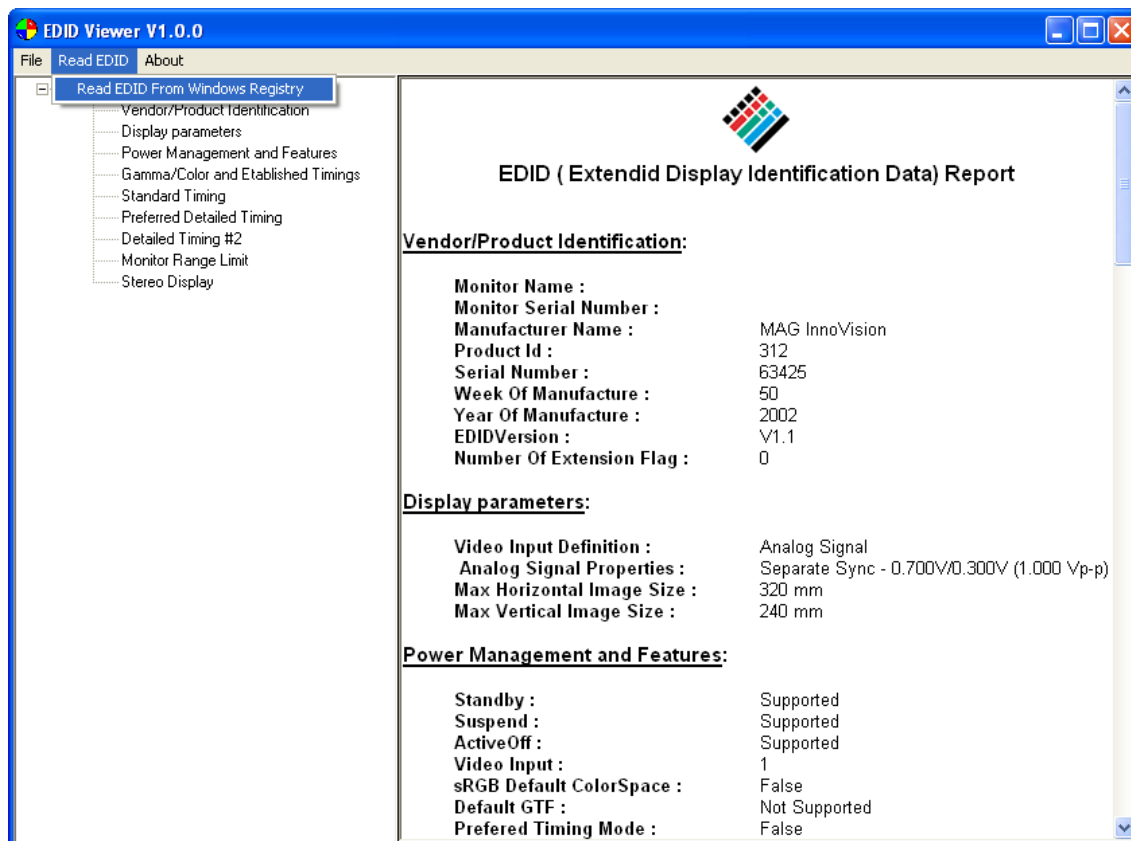
A CW-nél minden fejlesztést alapos kutatómunka és tesztelés előz meg, amit a HDMI témában én kezdtem el. A kutatómunkám eredményét szakdolgozat formájában bocsátom a cég rendelkezésére, kiegészítve a mérési eredményeimmel. A digitális világban a mérési eredmények sokszor nem oszcilloszkóp ábrák, teljesítmény viszonyok stb., hanem bitsorozatok. Ezek a hexadecimálisan ábrázolt bináris számok mindig meghatározott jelentéstartalommal rendelkeznek, amit csak a szabvány ismeretében érthetünk meg.

A szükséges VESA szabványokkal felvértezve kiolvastam a környezetemben lévő monitorok, és HD-ready tévékészülékek EDID információit, majd *.edi kiterjesztésű fájlokban rögzítettem. A kijelzőazonosítási adatokat kétféleképpen tudtam elérni.

6.1 EDID információk kiolvasása Windowsból

Az EDID információkat bárki könnyedén kiolvashatja a számítógépéhez csatlakoztatott monitorból. Bár a szabvány lassan 15 éve létezik, csak a 2000. év után gyártott VGA, vagy DVI bemenettel rendelkező készülékekkel érdemes próbálkozni, mert tapasztalatim szerint a korábbiak nem támogatják.

Az internetről számos EDID olvasó programot tölthetünk le ingyenesen. Némelyek csak a memória tartalmát, míg mások kizárólag a kiértékelt adatokat listázzák. A következőkben szeretnék bemutatni ilyen is, olyat is.



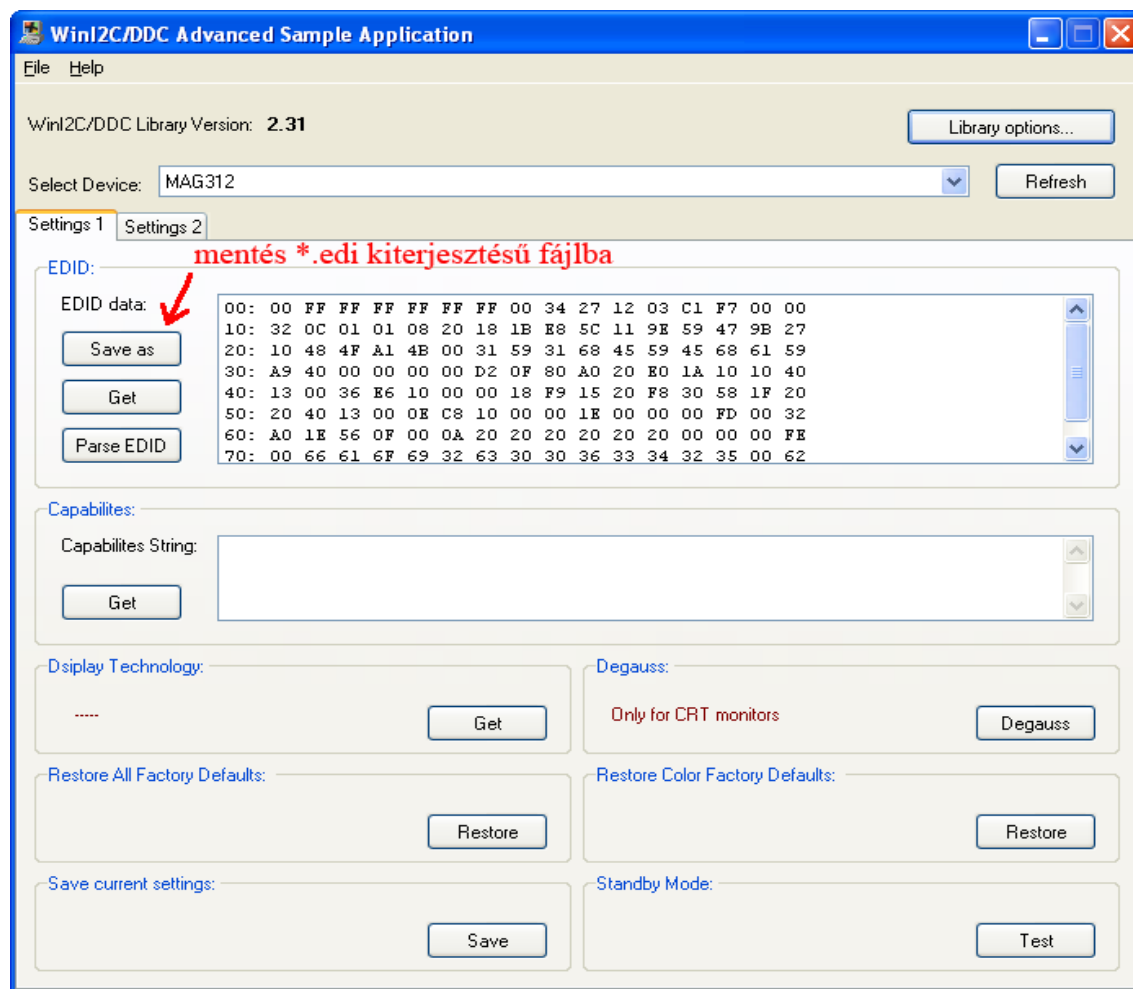
32. ábra
Az ELDIM EDID Viewer programablaka

6.1.2 A WinI2C/DDC_v231 szoftver

A WinI2C/DDC egy Windows alatt futó Display Data Channel vezérlő, amit a Nicomsoft honlapjáról töltöttem le. Ingyenesen csak a trial változat érhető el, de szerencsére ez tartalmazza a forráskódot is. A WinI2C programablaka a következő oldalon, a 33. ábrán látható. A program a gombnyomásra (GET) listázza az EDID ROM tartalmát, illetve néhány sorban – valamilyen szinten – ki is értékeli azt (Parse EDID). A dll-t meghívó forráskódot néhány sorral módosítva a „Save as” lehetőséget én hoztam létre, hogy a 128 bájtot el tudjam menteni az általam kreált *.edi formátumban.

A WinI2C/DDC nem a Windows registry-ből, hanem tényleg a Display Data csatornán keresztül olvassa ki az adatokat. Hiába módosítottam a rendszerleíró adatbázist, az eredmény változott meg.

A bemutatott programok telepítőjét a mellékelt CD-re írtam. A WinI2C/DDC egy 30 napos program, amelyben a mentés funkció csak akkor létezik, ha az ártírt AdvancedSample exe fájlt a Program Files\WinI2C-DDC\Samples\Delphi Advanced Sample könyvtárba másoljuk felülírva az eredetit.



33. ábra
A WinI2C/DDC programablaka

6.2 EDID információk kiolvasása a CW-4901 Gigabit Ethernet Controller segítségével

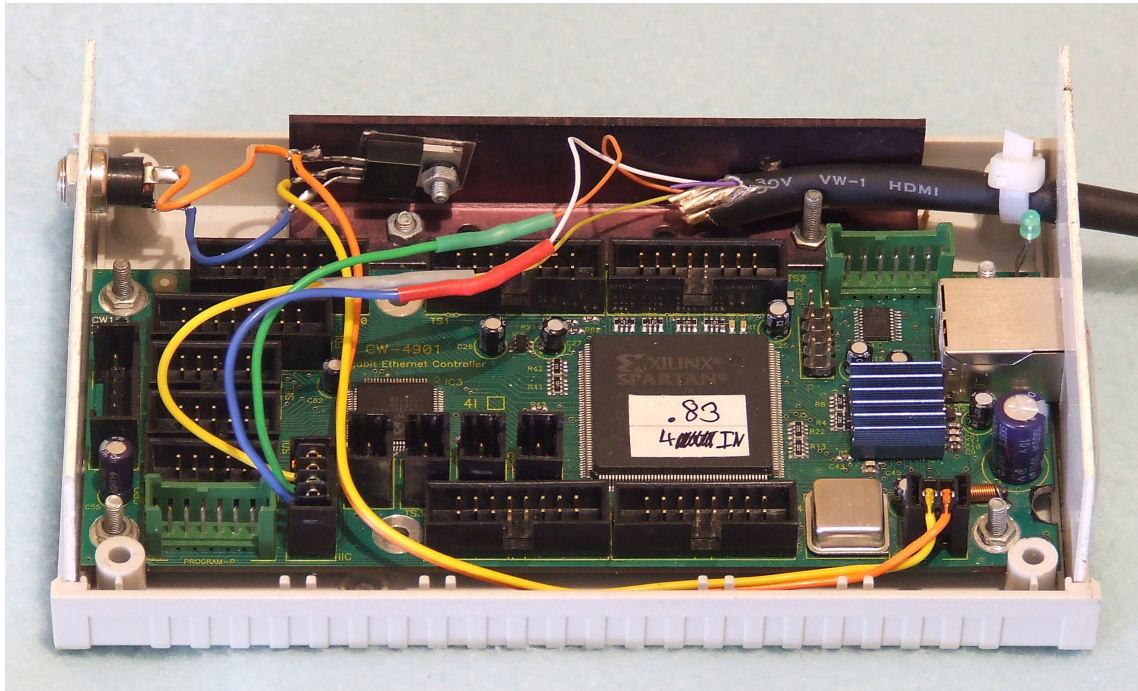
Büszkén mondhatom, hogy a gigabites vezérlő I²C-busz csatlakozását én próbáltam ki a gyakorlatban először. A használati utasításból kikerestem a három alapvető utasítás szintaktikáját, és elkezdtem a szoftverkészítést. A szoftvert Delphi fejlesztői környezetben, ún. Object Pascal (objektum-orientált Pascal) nyelven írtam. Az EDID_DDC névre keresztelt tesztprogram forráskódját a dolgozat végén mellékeltem, és a csatolt CD-n is megtalálható.

6.2.1 A mérési összeállítás

A CableWorld Kft. termékei a 10.123.13.101 IP címmel kerülnek ki a gyártásról, ezeket üzembe helyezéskor külön-külön új címre kell állítani. A rendelkezésemre álló GEC modul új IP címe 10.123.13.75 lett, amit a 10.123.13.225 címre konfigurált számítógéphez csatlakoztam egy kereszt (crossover) kábellel. Ezen kívül a gigabites vezérlő I²C csatlakozója-

nak SDA, SCL, és GND vezetéseket összeforrasztottam egy félbevágott HDMI-HDMI kábel SDA, SCL, és GND ereivel.

A Gigabit Ethernet Controller 3,3 V-os tápfeszültségét egy 5V-os adapterrel, és a stabil 3,3 V-os feszültséget adó TS1117-es IC-vel biztosítottam. A TS1117-est egy méretes hűtőbordára erősítettem, ahogy a 34 ábrán látható. [8]



34. ábra
A Gigabit Ethernet Controller,
mint I²C-busz vezérlő

6.2.2 Utasítások az I²C-buszon

A DDToIP protokoll szabályai szerint minden utasítás a „DDToIP” szócskával, és 15 darab azonosításra használható karakterrel kezdődik, sőt az utasításkód előtt még egy 0x01 értékű bájtot is el kell küldeni. Az EDID memóriát a következő procedúrával kérdeztem le:

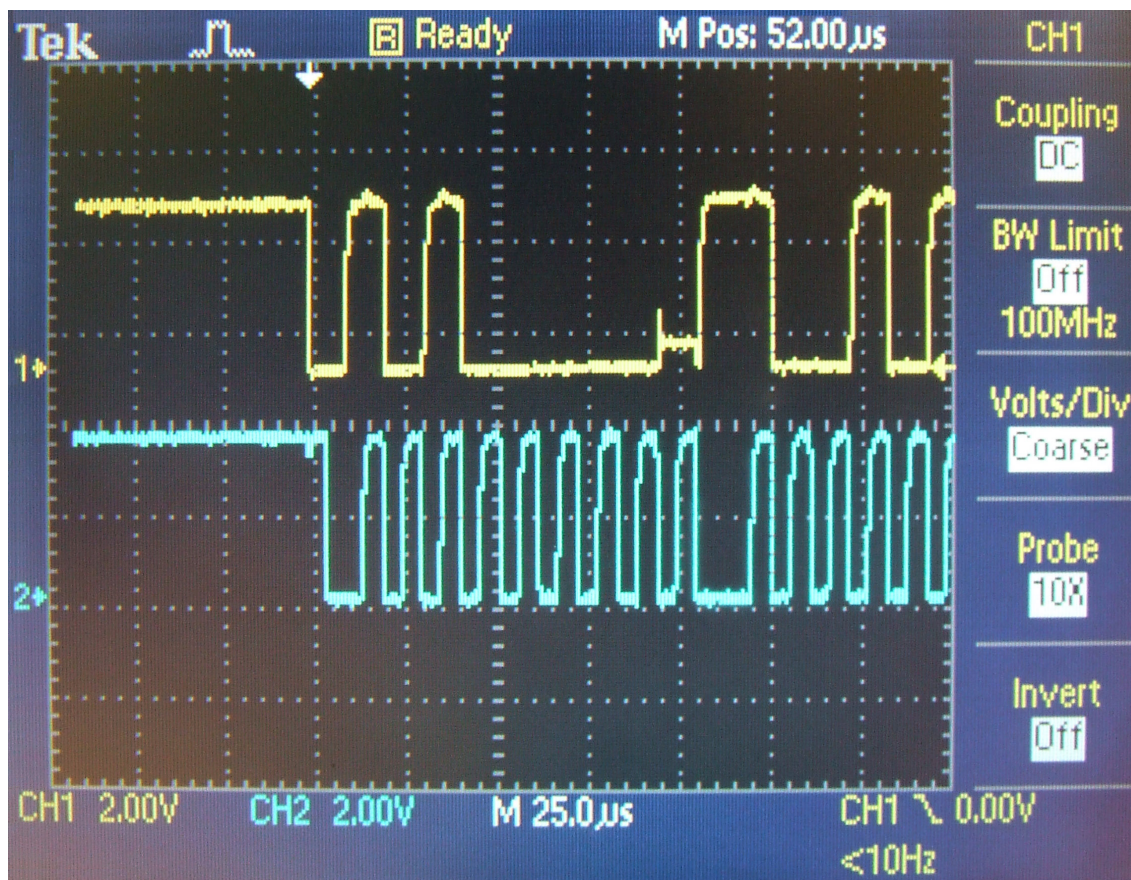
```
procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
var s:string;
begin
    Form1.IdUDPServer1.Active:=true;
    s:='DDToIP'+READING__E-EDID'+char($01)+
// SET_CLOCK 100kHz
    char($90)+char($00)+char($01)+char(62)+
// WRITE_to_$00
    char($91)+char($00)+char($02)+char($A0)+char($00)+
// READ form $00
    char($92)+char($00)+char($03)+char($A0)+char($01)+char($00);
// Send to Gigabit Ethernet Controller
    Form1.IdUDPServer1.Send('10.123.13.75',56750,s);
end;
```

A $FRQDIV = \frac{6250000}{F_{IIC\ Clock}}$ képletben a 100 kHz-es órajelnek az **FRQDIV** bájtt 62,5-es értéke felel meg, de az egyszerűség kedvéért a törtrészt elhagytam. A READIIC utasítás előtt jelezni kell azt is, hogy melyik memóriacímről kezdve szeretnénk olvasni az adatokat, ezért a WRITEIIC segítségével egy 0x00 értékű bájtot küldtem el. Az EDID ROM slave címe 0xA0, mérete 128 vagy 256 bájtt, ennek megfelelően a READIIC utasítás utolsó három bájttja a 0xA0, 0x01 és 0x00 lett. [8] [12]

6.2.2.1 Az I²C-busz vizsgálata digitális oszcilloszkóppal

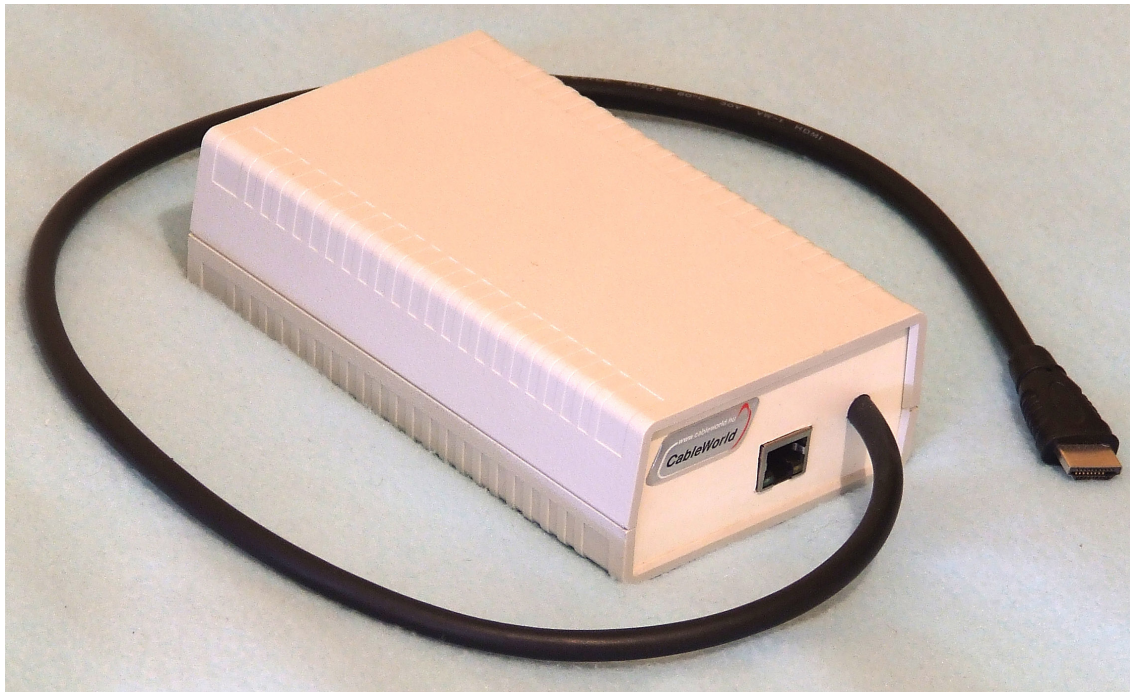
A szoftverkészítés ezen fázisában szerettem volna meggyőződni arról, hogy valóban a megfelelő bájtokat küldtem-e ki a GEC IP címére, ill. az I²C-buszon tényleg azok az impulzusok jelennek-e meg, amiket vártam. Az előbbi kérdésekre az Ethernet protokoll analízátor, az utóbbira pedig egy digitális tároló oszcilloszkóp segítségével kaphattam választ.

A GEC modul és a HDMI kábel SDA vezetéke közé egy 220 Ω-os ellenállást iktattam be, aminek a gigabites vezérlő felőli lábára csatlakoztattam a tárolós szkop 1-es mérőfejét, hogy a szintkülönbség alapján meg tudjam különböztetni a különböző irányból érkező jeleket. A 2-es mérőfejet az SCL vezetékre tettem. A képernyőn a 35. ábra képét láttam.



35. ábra
A digitális tároló oszcilloszkóp képe

Az ábrán jól látható a START feltétel, és könnyedén leolvasható slave address. A kilenc órajelimpulzus fölött az adatvonalon a 0b10100000, vagyis a 0xA0-s cím rajzolódik ki. Az EDID olvasó szerkezet végre lezárható, bedobozolt állapotában a 36. ábra mutatja.



36. ábra
Az EDID olvasó szerkezet

6.2.3 Az EDID adatok kiértékelése

Az EDID olvasó szerkezet, és az átírt WinI2C-DDC program alkalmazásával egy katódsugárcsőes monitor, öt TFT megjelenítő, és két HD-ready tévékészülék kijelzőazonosítási adatait olvastam, és értékeltem ki. Ezek a következők voltak:

- ◆ MAG_786PF – 17” CRT
- ◆ IISonic – 17” TFT
- ◆ Samsung_SyncMaster_151s – 15” TFT
- ◆ Samsung_SyncMaster_710N – 17” TFT
- ◆ Samsung_SyncMaster_793s – 15” TFT
- ◆ SONY_SDM-X52 – 15” TFT
- ◆ TECHNIKA_26” TFT-TV
- ◆ TechniSat_HD-Vision40 – 40” LCD-TV

Ne felejtsük el, hogy a GEC alkalmazásával a VGA és DVI bemenettel szerelt monitorokat ugyanúgy ki lehet olvasni, csak az I²C csatornára nem a HDMI kábel SDA és SCL ereit kell kötni, hanem egy VGA, ill. DVI kábelét. Ezt természetesen ki is próbáltam.

A kijelzőazonosítási adatok kiértékelése az E-EDID szabvány alapján lehetséges. A 37. ábrán az EDID adatok struktúrája látható.

Méltóságon alulinak tartanám, ha most a szakdolgozat írók jó szokása szerint 30-40 oldalon keresztül külön-külön bemutatnék minden programrészletet, vagy részletesen magyarázgatnám a szabványt, fél oldalas táblázatok tömkelegét zúdítom az olvasóra csak azért, hogy minél több oldalam legyen. A programom forráskódját írott és elektronikus formátumban úgyis mellékeltem, az utasítások mellett elhelyezett megjegyzéseim pedig minden bizonnyal egyértelművé teszik majd, miről is van szó. Ezt a néhány oldalt inkább amolyan ízelítőnek szánom. [11]

Address	Bytes	Description	Format
00h	8	Header: = (00 FF FF FF FF FF FF 00)h	See Section 3.3
08h	10	Vendor & Product Identification:	See Section 3.4
08h	2	ID Manufacturer Name	ISA 3-character ID Code
0Ah	2	ID Product Code	Vendor assigned code
0Ch	4	ID Serial Number	32-bit serial number
10h	1	Week of Manufacture	Week number or Model Year Flag
11h	1	Year of Manufacture or Model Year	Manufacture Year or Model Year
12h	2	EDID Structure Version & Revision:	See Section 3.5
12h	1	Version Number: = 01h	Binary
13h	1	Revision Number: = 04h	Binary
14h	5	Basic Display Parameters & Features:	See Section 3.6
14h	1	Video Input Definition	See Section 3.6.1
15h	1	Horizontal Screen Size or Aspect Ratio	Listed in cm. → Aspect Ratio --- Landscape
16h	1	Vertical Screen Size or Aspect Ratio	Listed in cm. → Aspect Ratio --- Portrait
17h	1	Display Transfer Characteristic (Gamma)	Binary --- Factory Default Value
18h	1	Feature Support	See Section 3.6.4
19h	10	Color Characteristics:	See Section 3.7
19h	1	Red/Green: Low Order Bits	Rx1 Rx0 Ry1 Ry0 Gx1 Gx0 Gy1 Gy0
1Ah	1	Blue/White: Low Order Bits	Bx1 Bx0 By1 By0 Wx1 Wx0 Wy1 Wy0
1Bh	1	Red-x: High Order Bits	Red-x Bits 9 → 2
1Ch	1	Red-y: High Order Bits	Red-y Bits 9 → 2
1Dh	1	Green-x: High Order Bits	Green-x Bits 9 → 2
1Eh	1	Green-y: High Order Bits	Green-y Bits 9 → 2
1Fh	1	Blue-x: High Order Bits	Blue-x Bits 9 → 2
20h	1	Blue-y: High Order Bits	Blue-y Bits 9 → 2
21h	1	White-x: High Order Bits	White-x Bits 9 → 2
22h	1	White-y: High Order Bits	White-y Bits 9 → 2
23h	3	Established Timings	See Section 3.8
23h	1	Established Timings I	
24h	1	Established Timings II	
25h	1	Manufacturer's Reserved Timings	
26h	16	Standard Timings: Identification 1 → 8	See Section 3.9
36h	72	18 Byte Data Blocks	See Section 3.10
36h	18	Preferred Timing Mode	
48h	18	Detailed Timing # 2 or Display Descriptor	
5Ah	18	Detailed Timing # 3 or Display Descriptor	
6Ch	18	Detailed Timing # 4 or Display Descriptor	
7Eh	1	Extension Block Count N If Block Maps are used then 00h ≤ N ≤ FEh and FFh is invalid. If Block Maps are not used then 00h ≤ N ≤ FFh.	Number of (optional) 128-byte EDID EXTENSION blocks to follow – if Block Maps are used then 254 is the maximum value of 'N'. If Block Maps are not used then 255 is the maximum value of 'N'.
7Fh	1	Checksum C 00h ≤ C ≤ FFh	The 1-byte sum of all 128 bytes in this EDID block shall equal zero

37. ábra
Az EDID adatok struktúrája

6.2.3.1 Gyártó és termék azonosítók

A fejléc után a 0x08 címtől a gyártót azonosító 2 bájt hosszú Plug and Play Device Identifier (PNPID) kapott helyet. A PNPID kód három 5 bitesre tömörített ASCII karakterből áll, ahol "00001=A"; "00010=B; ... ; "11010=Z". (A teljes PNPID lista megtalálható a CD-n.)

Address	Byte #	Bits at Address 08h	Bits at Address 09h	Description
08h	1	7		Bit 7 is reserved
		0		Set bit 7 to 0
		1		Reserved – Do Not Use
		6 5 4 3 2		Character #1 Location
		0 4 3 2 1 0		Compressed ASCII Code - Bit #
08h/09h	1 & 2	1 0	7 6 5	Character #2 Location
		4 3	2 1 0	Compressed ASCII Code - Bit #
09h	2		4 3 2 1 0	Character #3 Location
			4 3 2 1 0	Compressed ASCII Code - Bit #

38. ábra
A PNPID tömörített ASCII karakterei

A 38 ábráról leolvasható, hogy az első karaktert a 0x08 című bájt 6→2 bitjei, a másodikat a 0x08-as 1→0, és a 0x09-es 7→5 bitjei, míg a harmadikat a 0x09-es című bájt 4→0 bitjei alkotják. Ezeket a karaktereket a következő programrészlettel azonosítottam:

```
// ID Manufacturer Name
AData.Read(b1,1);
AData.Read(b2,1);
Form1.Edit15.Text:='0x08'; // Address
Form1.Edit22.Text:='2'; // Bytes
Form1.Edit29.Text:='0x'+inttohex(b1,2)+inttohex(b2,2); // Value
c[1]:=b1 and $7C; // Bit 7 is reserved - Do not Use
c[1]:=c[1] shr 2; // Character #1 Location
c[4]:=b1 and 03;
c[4]:=c[4] shl 3;
c[5]:=b2 shr 5;
c[5]:=c[5] and $07;
c[2]:=c[4] or c[5]; // Character #2 Location
c[3]:=b2 and $1F; // Character #3 Location
h:=char(c[1]+64)+char(c[2]+64)+char(c[3]+64);
Form1.Edit1.Text:=h;
if(h='OEM') then Form1.Edit1.Text:='OEM - Original Equipment Manufacturer';
if(h='SNY') then Form1.Edit1.Text:='SNY - Sony';
if(h='SAM') then Form1.Edit1.Text:='SAM - Samsung Electric Company';
if(h='MAG') then Form1.Edit1.Text:='MAG - MAG InnoVision';
if(h='TSD') then Form1.Edit1.Text:='TSD - TechniSat Digital GmbH';
```

Az EDID_DDC névre keresztelt szoftvert úgy terveztem, hogy az összetartozó információkat együtt jelenítse meg, emellett mindenhol látható legyen a kiértékelt bájt címe és értéke is. Az első lapon a gyártót azonosító karakterek mellett helyet kapott még a termék kód, a szériaszám, a gyártás ideje, ill. az EDID verziószám (39. ábra). [11]

Vendor / Product Identification		Address	Bytes	Value
ID Manufacturer Name:	SNY - Sony	0x08	2	0x4DD9
ID Product Code:	8016 SDM-X52	0x0A	2	0x501F
ID Serial Number:	16843009	0x0C	4	0x01010101
Week of Manufacture:	45	0x10	1	0x2D
Year of Manufacture:	2002	0x11	1	0x0C
EDID Structure Version:	1	0x12	1	0x01
EDID Structure Revision:	3	0x13	1	0x03

39. ábra
A SONY_SDM-X52 TFT kijelző
gyártó & termék információi

6.2.3.2 A video bemenetre vonatkozó adatok

Ezeket az adatokat csupán egyetlen bájtal adták meg, amelyben a 7. bit határozza meg, hogy analóg, vagy digitális interfésről van-e szó. A maradék 6 bit jelentését digitális bemenet esetén a 40. ábrán látható táblázat, egy konkrét példát pedig a 41. ábra mutat be.

14h	7				Video Signal Interface:				Bit 7	
	1				Input is a Digital Video Signal Interface:				(see Note 3)	
	7 6 5 4				Color Bit Depth:				Bits 6 → 4	
	1	0	0	0	—	—	—	—	Color Bit Depth is undefined	
	1	0	0	1	—	—	—	—	6 Bits per Primary Color	
	1	0	1	0	—	—	—	—	8 Bits per Primary Color	
	1	0	1	1	—	—	—	—	10 Bits per Primary Color	
	1	1	0	0	—	—	—	—	12 Bits per Primary Color	
	1	1	0	1	—	—	—	—	14 Bits per Primary Color	
	1	1	1	0	—	—	—	—	16 Bits per Primary Color	
	1	1	1	1					Reserved (Do Not Use)	
	7				3 2 1 0				Digital Video Interface Standard Supported:	Bits 3 → 0
	1	—	—	—	0	0	0	0	Digital Interface is not defined	(see Note 4)
	1	—	—	—	0	0	0	1	DVI is supported	
	1	—	—	—	0	0	1	0	HDMI-a is supported	
1	—	—	—	0	0	1	1	HDMI-b is supported		
1	—	—	—	0	1	0	0	MDDI is supported		
1	—	—	—	0	1	0	1	DisplayPort is supported		
1	—	—	—	→	→	→	→	All remaining values for Bits 3 → 0 are Reserved: Do Not Use		

40. ábra
A digitális bemenetre vonatkozó
bitek jelentése [11]

41. ábra
A TECHNIKA TFT-TV video bemenetére
vonatkozó információk

6.2.3.3 Képernyőméret és átviteli karakterisztika

A képernyő méretét és a GAMMA értékét két bájt írja le, de csak a következő számításokkal lehet őket meghatározni a 42. ábrán látható táblázat alapján:

$$\text{képarány}_{\text{Landscape}} = (\text{tárolt érték} + 99) \div 100$$

$$\text{képarány}_{\text{Portrait}} = 100 \div (\text{tárolt érték} + 99)$$

Address	2 Bytes	Value	Description
15h	1	01h → FFh	If byte 16h ≠ 00h then byte 15h = Horizontal Screen Size in cm. (Range is 1 cm → 255 cm)
		01h → FFh	If byte 16h = 00h then byte 15h = Aspect Ratio (Landscape) (Range is 1 : 1 AR → 3.54 : 1 AR)
		00h	If byte 15h = 00h then byte 16h = Aspect Ratio (Portrait)
16h	1	01h → FFh	If byte 15h ≠ 00h then byte 16h = Vertical Screen Size in cm. (Range is 1 cm → 255 cm)
		01h → FFh	If byte 15h = 00h then byte 16h = Aspect Ratio (Portrait) (Range is 0.28 : 1 AR → 0.99 : 1 AR)
		00h	If byte 16h = 00h then byte 15h = Aspect Ratio (Landscape)
15h, 16h	2	00h, 00h	If both bytes 15h and 16h = 00h then the screen size or aspect ratio are unknown or undefined.

42. ábra
A képernyőméret és az átviteli karakterisztika meghatározása

A 43. ábra a TechniSat televízió méreteit demonstrálja. Végezetül vessünk egy pillantást a Samsung_SyncMaster_710N által támogatott üzemmódok listájára is (44. ábra)! [11]

HDMI Display Data Channel Control 1.0 Developed by Baranyai Zoltán

Olvasás az I2C-busról

HDMI™
HIGH-DEFINITION MULTIMEDIA INTERFACE

Megnyitás
Mentés másként

Kromatikus koordináták Alapértelmezett fehér pont Támogatott üzemmódok Szabványos üzemmódok
Gyártó / Termék Video bemenet Képernyőméret, gamma Kijelzőjellemzők

Basic Display Parameters

	Address	Bytes	Value
Horizontal Screen Size: 89 cm	0x15	1	0x59
Vertical Screen Size: 50 cm	0x16	1	0x32
Aspect Ratio: 1,78 16:9			

Display Transfer Characteristics

	Address	Bytes	Value
GAMMA: 2,40	0x17	1	0x8C

43. ábra
A TechniSat_HD-Vision40 mérete és
átviteli karakterisztikája

HDMI Display Data Channel Control 1.0 Developed by Baranyai Zoltán

Olvasás az I2C-busról

HDMI™
HIGH-DEFINITION MULTIMEDIA INTERFACE

Megnyitás
Mentés másként

Gyártó / Termék Video bemenet Képernyőméret, gamma Kijelzőjellemzők
Kromatikus koordináták Alapértelmezett fehér pont Támogatott üzemmódok Szabványos üzemmódok

Established Timings

	Address	Bytes	Value
720 x 400 @ 70Hz (IBM,VGA) 800 x 600 @ 72Hz (VESA)	0x23	1	0xBF
720 x 400 @ 88Hz (IBM,XGA2) 800 x 600 @ 75Hz (VESA)			
640 x 480 @ 60Hz (IBM,VGA) 832 x 624 @ 75Hz (Apple, Mac II)			
640 x 480 @ 67Hz (Apple, Mac II) 1024 x 768 @ 87Hz (IBM-Interlaced)			
640 x 480 @ 72Hz (VESA) 1024 x 768 @ 60Hz (VESA)	0x24	1	0xEF
640 x 480 @ 75Hz (VESA) 1024 x 768 @ 70Hz (VESA)			
800 x 600 @ 56Hz (VESA) 1024 x 768 @ 75Hz (VESA)			
800 x 600 @ 60Hz (VESA) 1280 x 1024 @ 75Hz (VESA)			
Manufacturer's Timing: 1152 x 870 @ 75Hz	0x25	1	0x80

Legend: Supported
Not Supported

44. ábra
A Samsung_SyncMaster_710N által
támogatott üzemmódok

Összefoglalás és értékelés

Diplomaterv feladatként be kellett mutatnom, hogy miért van szükség a digitális televízió rendszerekben új átviteli módok bevezetésére a monitorok bemenetén, ezért képminőség vizsgálattal meggyőződtem róla, van-e látható különbség az RGB, és a HDMI csatlakozó jele között.

A DVI és a HDMI szabványok alapos tanulmányozása után igyekeztem olyan leírást készíteni az alkalmazott műszaki megoldásokról, amelyet a szakemberek, és a hozzá nem értők egyaránt tudnak használni.

A Gigabit Ethernet Controller modul vezérlése során jártasságot szereztem a Delphi fejlesztői környezet használatában. Az I²C-busz IP hálózatról történő vezérlése egy olyan kuriózum, amit az iskolában soha nem tanultam volna meg.

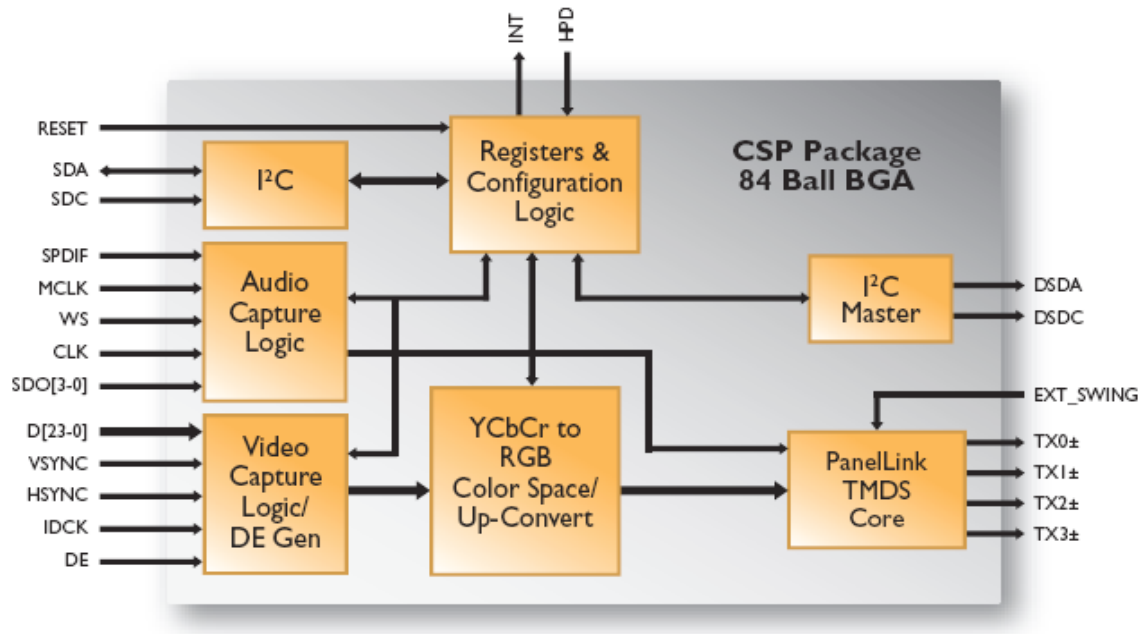
A kijelzőazonosítási adatok (EDID) lekérdezése és kiértékelése tökéletes gyakorlati feladatnak bizonyult, amely lépésről-lépésre kellemes sikerélményekkel ajándékozott meg.

Örülök, hogy a diplomatervezési gyakorlatomat a CableWorld Kft.-nél végezhettem. A kollégák példát mutattak szorgalmukkal, és szakmai felkészültségükkel. Bízom benne, hogy valamilyen szinten én is hasznos tagja voltam a fejlesztői „csapatnak”. Az itt töltött idő alatt kétszer is megcsillogtathattam szerény újságírói képességeimet, amikor a CW folyóiratban publikáltam a munkám eredményeit.

7.1 MPEG-2 dekóder HDMI kimenettel

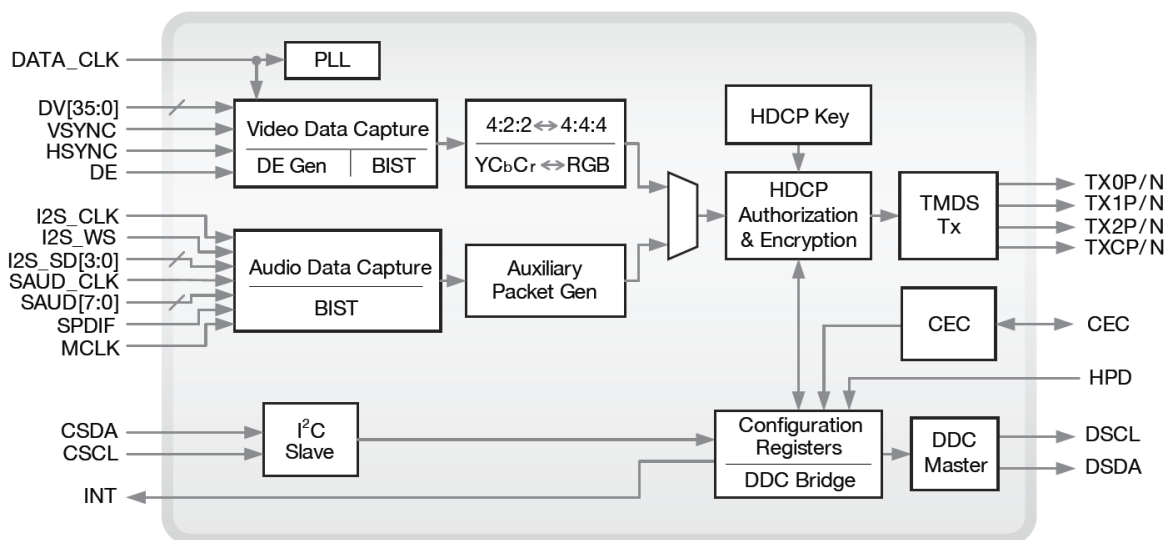
A CableWorld Kft. olyan Fujitsu MPEG-2 dekóder IC-t használ, ami az ITU_R 656 szabványnak megfelelő kimenettel rendelkezik. A HDMI kimenethez nyilvánvalóan olyan HDMI adó IC-t kell választani, ami az ilyen formátumú videojelet tudja fogadni. A HDMI átvitelt megalkotó nagy gyártók mindegyike forgalmaz HDMI Transmitter áramköröket, ezért a feladat nem tűnik megoldhatatlannak.

Megfelelő választásnak tűnik például a Silicon Image **Sil 9020 HDMI Transmitter** egysége (45. ábra), ami támogatja az ITU-R BT.60, és az ITU-R BT.656-os jeleket is.



45. ábra
A Sil 9020 HDMI Transmitter felépítése

A Sil 9024 HDMI Transmitter szintén megfelel a kritériumoknak. De más gyártótól is válogathatunk. Az **ANX 8560™** HDMI Transmitter már az 1.3-as verzió szerint működik, blokkvázlata a 46. ábrán látható.



46. ábra
Az ANX 8560 HDMI Transmitter blokkvázlata

Baranyai Zoltán

Irodalomjegyzék

- [1] Baranyai Zoltán: A monitorok vezérlése a digitális televízió rendszerekben
CableWorld hírek 36. szám, 2007. október
http://www.cableworld.eu/cwnews/CWh_36.pdf
- [2] Baranyai Zoltán: A monitorok vezérlése a digitális televízió rendszerekben
CableWorld hírek 37. szám, 2008. február
http://www.cableworld.eu/cwnews/CWh_37.pdf
- [3] Csórián Sándor: Új megjelenítő interfész
Computerworld magazin, 2000. év 6. szám
<http://szt.hu/archiv.php?id=10993>
- [4] Digital Display Working Group: Digital Visual Interface Revision 1.0
A DDWG hivatalos honlapja, 1999. április 2.
http://ddwg.org/lib/dvi_10.pdf
- [5] Erdős Márton: HDMI 1.3: Forradalom a házimoizálásban
CHIP Magazin, 2007. szeptember
<http://www.chipmagazin.hu/>
- [6] High-Definition Multimedia Interface Specification Version 1.3a
A HDMI hivatalos honlapja, 2006. november 10.
<http://www.hdmi.org/download/HDMISpecification13a.pdf>
- [7] The I²C-bus specification Version 2.1
Philips Semiconductors, 2000. január
http://www.nxp.com/acrobat_download/literature/9398/39340011.pdf
- [8] Gigabit Ethernet Controller (CW-4901) Version 2.00
ByteStudio Limited Partnership, CableWorld Ltd., 2007
<http://www.cableworld.eu/content/4901k-a.pdf>
- [9] Enhanced Display Data Channel (E-DDC) Standard Version 1.1
Video Electronics Standards Association (VESA), 2004. március 24.
<http://www.vesa.org/>
- [10] Display Data Channel Command Interface (DDC/CI) Standard Version 1.1
Video Electronics Standards Association (VESA), 2004. november 30.
<http://www.vesa.org/>
- [11] Enhanced Extended Display Identification Data (E-EDID) Standard Revision 2
Video Electronics Standards Association (VESA), 2007. március 27.
<http://www.vesa.org/>
- [12] Kuzmina Jekatyerina, Dr. Tamás Péter, Tóth Bertalan: Programozzuk Delphi 7
rendszerben! Ötödik kiadás, 2006. február
<http://www.computerbooks.hu>