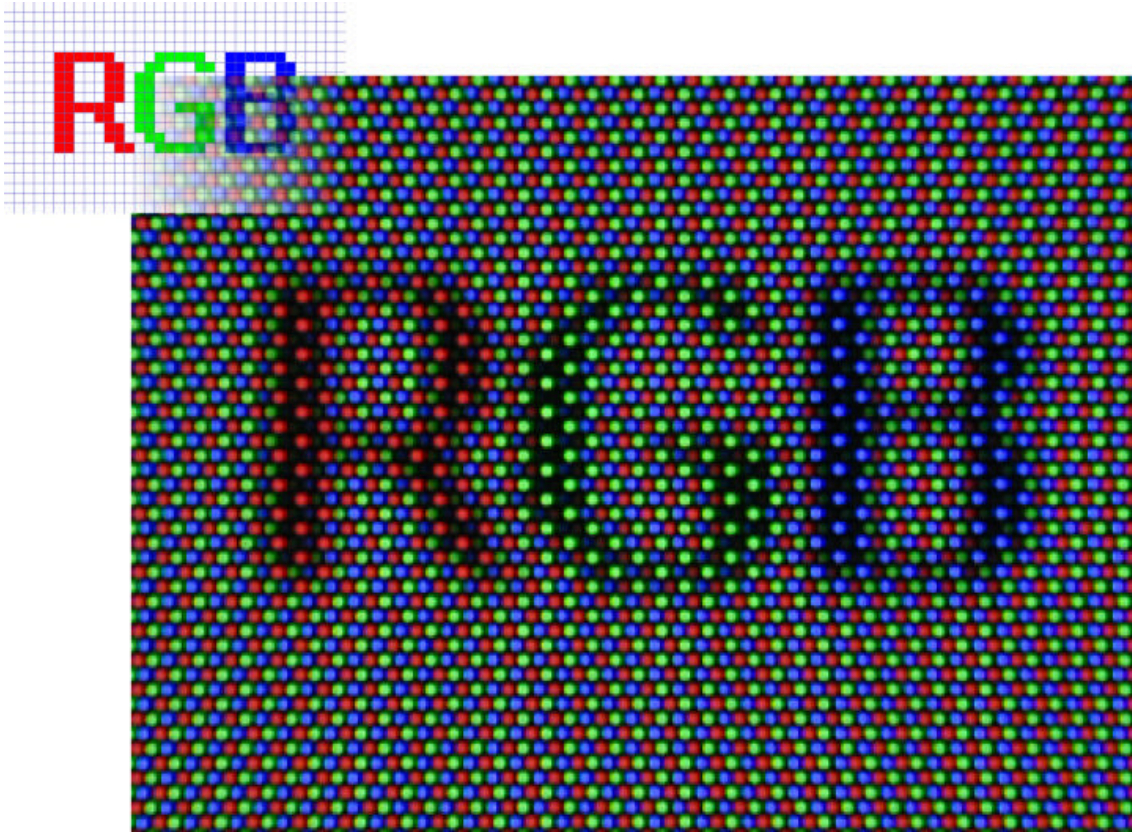


1.4 fejezet.

RGB színrendszerek



1. sz. ábra. Számítógépes monitorról készült nagyítás

Az RGB színrendszer a katódsugárcso képernyő összeadó színképzéséhez igazodik, amely a vörös, zöld és kék színeket három foszforvegyület fénykibocsátásával hozza létre. A foszforvegyületek rácsszerkezete határozza meg a fény hullámhosszát, a foszforvegyületek nyugalmi állapota és a megemelt kvantum-energiaszintje közötti különbségétől függ a kibocsátott fényenergia mennyisége. A fénykibocsátás az energiaszint esésével keletkezik. A három foszfor fénykibocsátása összeadódik, a hármas maximum fehéret, hármas minimum pedig feketét eredményez. Az energia szint emelése elektronok kinetikus energiájával történik, amelyhez a elektronsugarat az RGB színenként függetlenül vezérelt elektronágyú szolgáltatja. Az elektronsugarak soronként pásztázzák a foszforpontokat, eközben az elektronok számát a foszfor réteg előtt elhelyezett kontroll rács negatív töltése szabályozza. Minnél nagyobb a negatív töltés, annél kevesebb elektron jut át a rácson. A szekvenciális vezérlést analóg jel adja, amelyet szolgáltathat például földfelszíni televíziós adásjel, mágnesszalagos videólejátszó, videokamera stb, vagy a számítógép esetében háromcsatornás D/A (digitális-analóg) átalakító.

A számítógépes pixelkép állókép, ezért a D/A átalakító számára a vörös, kék, zöld szinkordinátákat e célra elkülönített RAM terület tárolja, amelynek elnevezése raszttertár vagy kép-tár – **frame buffer**. A megjeleníthető színek számát a raszttertár mérete és a választott képernyő felbontás együttesen határozza meg. Minden képernyő foszforponthoz egy szinkordináta tartozik, következésképp a memória méretétől, pontosabban a memória szóhossztól függ a meghatározás pontossága. A szóhossz elnevezése itt színmélység – **bit depth**, amely arra utal, hogy egy bit mögött hány szín

állhat. 1 bites szó színmélysége két szín, jellemzően fekete-fehér. 1 byte (8 bit) színmélysége 256 lehetséges szín, jellemzően szürkefokozat, 3 byte (24 bit) pedig háromszor 256 szín, együttesen 16.7 millió szín meghatározására alkalmas. Az emberi szem egyidejűleg 200 szín x 20 telítettség x 500 világosság fokozat = 2.0 millió szín megkülönböztetésére képes, ezért ezt a teljesítményt jogos valódi színeknek – **true colors** elnevezéssel elismerni. A rasztertár szóhossza állítható, a D/A átalakító és a képernyő is alkalmas különböző frekvenciájú analóg jel generálására illetve fogadására. Így a rendelkezésre álló videómemóriával különböző képernyő felbontás és színmélység választható. A memória szükséglet a színmélység és képernyőfelbontás függvényében a következőképpen számítható.

$$\text{VideoMemória(Kb)} = \frac{N \cdot M \cdot B}{1024}$$

ahol **N** a képernyő pixelszám soronként, **M** a képernyő sorok száma, **B** bite-ok száma pixelenként. Eszerint 1600 x 1200 képernyő felbontás és 3 x 8 bites (3 Byte) színmélységhez 4.61 Mb videómemória szükséges.

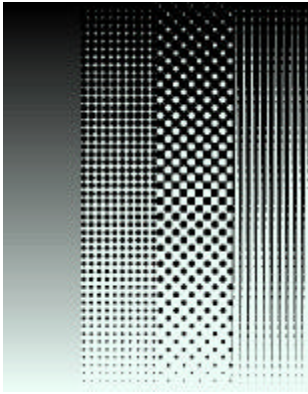
A videofrekvencia a képernyőfelbontás és a színmélységen kívül a frissítési idő (refresh rate) függvénye. A frissítési idő alatt a három elektronsugár az elsősor első képernyőpixeltől eljut az utolsó sor utolsó pixelig, és visszatér az első pixelhez. Ma már a komputeres képernyőnél minimális követelmény másodpercenként 72 kép(ismétlési) frekvencia, ugyanez a PAL Tv-nél félképenként (minden második sor) 25 Hz, mozifilmnél képenként 25 Hz.

1.sz. táblázat Képernyő felbontás, színmélység, adatátviteli frekvencia (Kerekített értékek)

Felbontás (Pixel)		Színmélység / Memória (MB)					Sávszélesség (Mhz)		
Méret	Pixel szám	8	16	24	24+8	24+16	60	75	85
640 x 480	307.200	0.25	0.49	0.74	0.98	1.47	25.2	31.5	36.0
1024 x 768	786.432	0.63	1.26	1.89	2.52	3.77	65.0	78.25	94.5
1280 x 1024	1.310.720	1.05	2.10	3.15	4.19	6.29	108.0	135.0	157.5
1600 x 1200	1.920.000	1.54	3.07	4.61	6.14	9.22	162.0	202.5	229.5

A színmélység növelésének elvben nincs akadálya, de azon kívül, hogy megnöveli a fileméretet és új fileformátumot igényel, nagyobb adatátviteli sávszélességet követel a D/A átalakítótól és a képernyő elektronikától. Így a többlet byte-ok egyelőre elkülönítve, külön csatornán (*alfa channel*) mint átlátszósági fokozatok hasznosulnak. Például 3 + 1 byte-os képnél 0-255 (vagy 255-0) lépcsővel érvényesíthető egy-egy RGB pixelszín súlyra két vagy több kép egymásrausztatásánál. A videómemória növelését a grafikus processzorok egyre bővülő utasításkészlete ösztönzi. A VGA (Video Graphics Array) volt az első elterjedt muszaki megoldás a személyi számítógépek körében, amely a rasztertár fizikailag is elkülönítette a CPU RAM-tól. Az első grafikus processzort, amelyet a rasztertár adataival önálló műveleteket is képes volt elvégezni, Myers és Sutherland fejlesztette ki. A többletmemória alkalmas több kép vagy képrészlet tárolására, ezzel jelenleg olyan képernyőműveletek gyorsíthatók, mint a nagyítás-kicsinyítés, 3D-s forgatás, kurzormozgatás (*hardware cursor*), képrészlet áthelyezés (*Blit bitting*), valós idejű vagy MPEG animálás, és az alfa csatorna. Ha a grafikus processzor alkalmas önálló renderelési számításokra is, további memória terület különíthető el a poligon- és mélységi táblázatok (*Stencil Zbuffer*), fényforrások és a különböző felbontásban nyilvántartott texturák (*Mip Mapping*) számára. Önálló terület foglal el a *Look-Up Table* is, amely a színindexáláson kívül alkalmas a képernyő gamma külön módosítására.

Ha viszont színmélység kevesebb mint 3 byte, és nincs lehetőség 16.7 millió szín kezelésére, a megjeleníthető színek száma két eljárással növelhető, a ditherálással és színindexálással. A ditherálás azzal növeli a megjeleníthető színek számát, hogy a képernyőn vagy a nyomtatásban a színkeveréshez további képpontokat von be, amelyek 1/2 szögperces látószög alatt összeolvadnak. Ezzel természetesen csökken a felbontás. A színindexálás azzal növeli a megjeleníthető színek számát, hogy rasztertárból a képernyőre kerülő színek vezérlőfeszültségét módosítja. A módosító



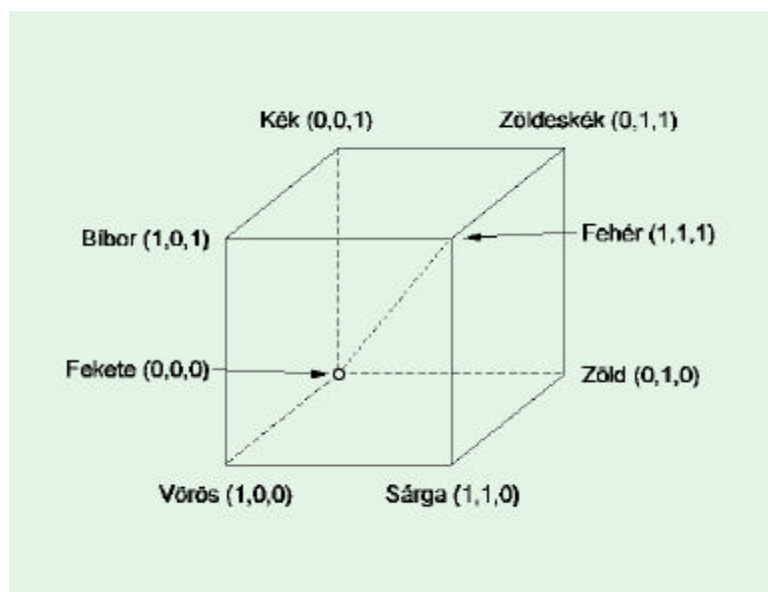
tényezők nyilvántartása a rendelkezésre álló színek megszámozásával, indexálásával történik. A táblázat elnevezése keresőtábla – **Look-up Table** vagy **LUT**, mert a D/A átalakító a rasztertár tartalmát a LUT-ból kikeresett értékekkel helyettesíti. A színindexálással ugyan nem lesz több szín, de a színlépcső vagy átosztható, vagy megnövelt terjedelmu szürkeskálával helyettesíthető. Az átosztás után egy átlagos színpalettájú kisebb kép akár adatvesztés nélkül is megjeleníthető, hiszen 4096x4096 pixel méretű kép szükséges ahhoz, hogy mind 16.7 millió szín egyszerre megjelenjen. Mivel a *True Color* teljesítmény általánosan elterjedt, a ditherálás visszaszorult a nyomtatásba, a színindexálást az adatátvitellel összefüggésben a filetmörítő eljárások alkalmazzák.

2. sz. ábra. Diteráló algoritmusok.

Az RGB színek kocka alakú teret foglalnak el, amelynek lineárisan növekvő értékei a Descartes féle orthogonális koordináarendszerben ábrázolhatók. Mivel a színmélység változhat, az RGB koordináarendszer normalizált, a színkoordináták nyilvántartása 0 és 1 közötti értékekkel történik. A három alapszín az X,Y,Z tengely végpontján helyezkedik el, az origóban található a fekete (a három alapszín jelenléte 0 %-os), a kocka átellenes oldalán található a fehér (a három alapszín jelenléte 100 %-os), a két sarok közötti átlón sorakoznak a szürke színek, amelyeknél $rR = gG = bB$.

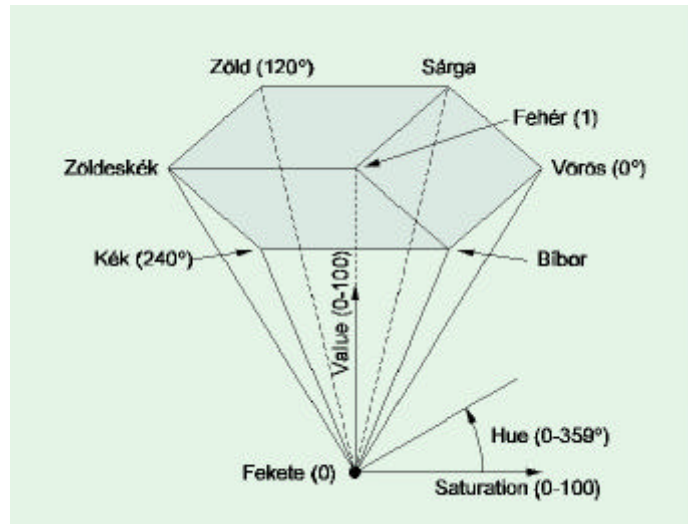
Vörös (<i>Red</i>)	0 – 1	0 - 255
Zöld (<i>Green</i>)	0 – 1	0 - 255
Kék (<i>Blue</i>)	0 – 1	0 - 255

	R	G	B
Fekete (<i>Black</i>)	0	0	0
Vörös (<i>Red</i>)	1	0	0
Sárga (<i>Yellow</i>)	1	1	0
Zöld (<i>Green</i>)	0	1	0
Kékeszöld (<i>Cyan</i>)	0	1	1
Kék (<i>Blue</i>)	0	0	1
Bíbor (<i>Magenta</i>)	1	0	1
Fehér (<i>White</i>)	1	1	1



3. sz. ábra. RGB kocka. Az átló (pontozott vonal) mentén a szürkék helyezkednek el.

HSV / HLS Color Model Színválasztáshoz az RGB színrendszert nem könnyű használni, mert színtengelyek nem kapcsolódnak a mindennapi tapasztalat színhasználatával. Ezen segít a HSV színrendszer (Smith, 1978), amely a színeket a színárnyalathoz (*H* - *Hue*), telítettséghez (*S* - *Saturation*) és a világossághoz (*V* - *Value*) kapcsolja. A *Value* elnevezést, mely egyébként a Munsell féle színrendszer használt először, helyettesítheti a *Brightness*, ekkor a színmodell elnevezése *HSB*.



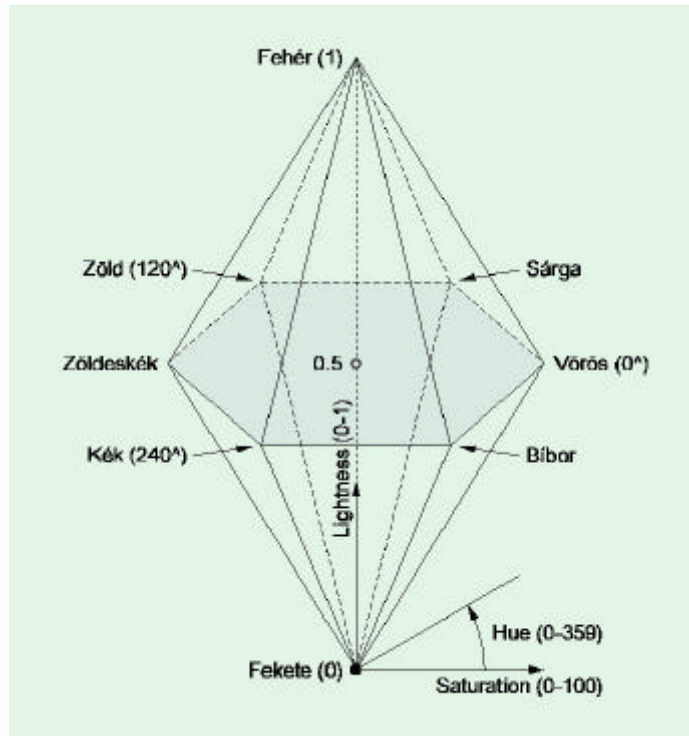
4. sz. ábra. HSV színrendszer. *Hue* – színárnyalat, *Saturation* – szín telítettség, *Value* – érték (fehértartalom). A HSV rendszer a következőképpen használható. Elsőként a *H* értékkel kiválasztjuk a tiszta színt, az *S* értékkel növeljük-csökkentjük a szín fehértartalmát, illetve a *V* értékkel növeljük-csökkentjük a szín fekete tartalmát.

A HSV színrendszer koordináta-rendszere hengeres, amelyben az érvényes színértékek csúcsára állított hatoldalú gulán belül helyezkednek el. A gúla 1 egység magas, és a tetején 1 egység sugarú. A középső tengelytől kifelé haladva a színek telítettsége (*S*) nő, a telítettségi maximumot a gúla felső peremén éri el, ahol a színárnyalatok (*H*) 0 és 359° között változnak. A kiinduló szín a vörös 0°-nál, majd a zöld következik 120°-nál, és a kék 240°-nál. Közöttük helyezkednek el a komplementer színek, a sárga, cián és a bíbor. A hatszög belsejében, a tengely felé haladva a színek fehértartalma fokozatosan emelkedik, telítettségük csökken. A gúlatengelynél a szín fehér: $S = 0$, $V = 1$. Ebben a pontban, illetve a gúla tengelyén $S = 0$, *H*-nak nincs értéke, meghatározatlan (*undefined*). A gúlaban lefelé ereszkedve a színek fekete tartalma nő, egyúttal a színterjedelem szűkül. A gúla alsó csúcsában a szín fekete: $V = 0$. Ebben a pontban nemcsak *H*-nak, *S*-nek sincs értéke. A tengelyen a szürke lépcsők találhatók. A gúla palástján felfelé haladva a színek fekete tartalma fokozatosan csökken, egyúttal telítettségük is fokozódik. A gúla belsejében színek telítetlenek, az *S* és *V* arányától függően világosabbak vagy sötétebbek, illetve szürkébbek vagy színesebbek. Például a lazacvörös értékei $H = 6^\circ$, $S = 54$, $L = 98$, a tengerzöld értékei $H = 146^\circ$, $S = 67$, $L = 55$.

Szín (<i>Hue</i>)	0 – 359°
Telítettség (<i>Saturation</i>)	0 – 100 %
Világosság (<i>Value</i>)	0 – 100 %

	H	S	V
Fekete (<i>Black</i>)	0	-	-
Vörös (<i>Red</i>)	0	1	1
Sárga (<i>Yellow</i>)	60	1	1
Zöld (<i>Green</i>)	120	1	1
Kékeszöld (<i>Cyan</i>)	180	1	1
Kék (<i>Blue</i>)	240	1	1
Bíbor (<i>Magenta</i>)	300	1	1
Fehér (<i>White</i>)	-	-	1

HLS Color Model A HLS színrendszer abban különbözik a HSV rendszertől, hogy a $V=1$ síkból a fehér végpontot kiemelkedik, így dupla hatszögletű gúla keletkezik. Az elnevezések sorrendje a megkülönböztetés érdekében felcserélődött, színárnyalat – Hue (H), világosság – Lightness (L), telítettség – Saturation (S). A HLS modell használatánál zavaró lehet, hogy a színek telítettségük maximumát $L = 0.5$ értéknél érik el. Akárcsak a HSV rendszerénél, a HLS rendszerben sem azonos a színek világosságtartalma. $V=1$ illetve $L=0.5$ értéknél a kékek, vörösek sötétebbek, a sárgák, zöldek világosabbak. Akárcsak a többi számítógépes színrendszer, HSL-ben sem egyeneletes a színlépcsők.



5. sz. ábra. HLS színrendszer. Hue – színárnyalat, Lightness – fehértartalom, Saturation – szín telítettség.

A HSV-HLS színek RGB képernyőszínek, a HSV-HLS rendszerben végzett grafikai műveletek eredményének nyilvántartása továbbra is az RGB színrendszerben történik. A színválasztó palettán kívül a képmódosító eljárásoknál alkalmazhatók, a rendereléshez azonban nem. A HSV-HLS interpoláció ugyanis közbeékelődő színeket eredményez, márpedig a renderelést kiegészítő antialiasing képjavító eljárások az alakzatok kontúrján kirajzolódó kontrasztot színinterpolációval csökkentik. Például a vörös-zöld átmenet közepe HSV-ben sárga ($60^\circ, 1, 1$), mert a vörös értéke - $0^\circ, 1, 1$, a zöldé - $120^\circ, 1, 1$. RGB-ben viszont barna ($0.5, 0.5, 0$), mert a vörös értéke - $1, 0, 0$, a zöldé - $0, 1, 0$. A különbség tehát jelentős. A HSV interpoláció elonye viszont, hogy a színátmenet telítettsége állandó, az RGB-nél változó.



6. sz. ábra. Színinterpoláció a vörös és a zöld szín között az RGB és az HSL színrendszerben.

LUV / YIQ Color Mode A LUV és YIQ színrendszerek az európai (*Phase Alternate Line* – PAL), a illetve az észak-amerikai televíziós szabvány (*National Television System Committee* - NTSC) és a digitális video számára készültek. A LUV színrendszer további elnevezései: YUV, YCbCr

A LUV/YIQ színrendszerek sajátosságait alapvetően az határozta meg, hogy a színes adás fekete-fehér képernyőn is látható legyen. Ez a színes televízió bevezetésének időszakában alapvető feltétel volt. Ezzel összefüggésben meg kell oldani azt a problémát is, hogy a különböző színű, de azonos világosságú anyagok a fekete-fehér képernyőn ugyanolyan szürkének látszanak. E követelményeknek a HSV - HSL színrendszerek nem feleltek meg, mert azonos L - V értékhez különböző színek tartoznak, ráadásul a különböző L - V értékeknél a színskála terjedelme változó.

A LUV / YIQ rendszerekben a színek világosság tartalmának meghatározása teljesen elkülönül. Az L vagy Y jel elnevezése *Luminance* vagy *Luma*, a három alapszín világosságtartalmát a következő szorzókkal származtatja:

$$Y = 0.3 \times \text{Vörös} + 0.59 \times \text{Zöld} + 0.11 \times \text{Kék}.$$

A fekete-fehér TV készüléken csak ez a jel látható. A színinformációkat két külön jel hordozza, amelyhez a PAL és az NTSC rendszerben enyhén eltérő színskálák és sáv szélességek tartoznak. Az NTSC rendszerben az Y tengelyen a narancs-cián színek, a Q tengelyen a bíbor-zöld színek találhatóak, a sáv szélesség $Y-I-Q = 4.2-1.5-0.55$ Mhz. A PAL rendszerben a sáv szélességek $Y-U-V = 5-1.3-1.3-7.6$ Mhz.

RGB - YUV / YIQ lineáris transzformációt tehát együtthatók egészítik ki, amelyek a LUV rendszerrel a következők:

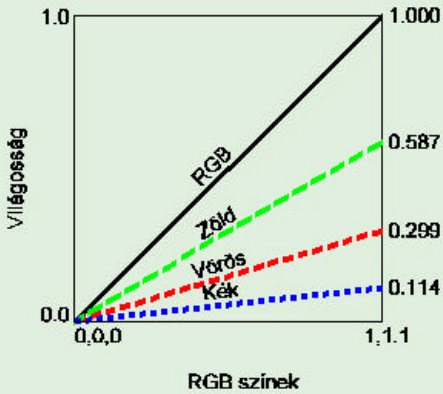
		Relatív súly				
		R	G	B		
R		0.299	0.587	0.114	=	L
G		-0,147	-0.289	0.437		U
B		0.615	-0.515	-0.100		V

7. sz. ábra $Y = 0.3 \times \text{Vörös} + 0.59 \times \text{Zöld} + 0.11 \times \text{Kék}$.

Mindkét rendszerben a világosság információk számára biztosított frekvencia a duplája a színekének, amely megfelel annak a ténynek, hogy a szűrkefokozatok a színhez képest sokkal több információt tartalmaznak, - különösen a szűk látószöggel észlelt kis részletek felismerésénél. A színek tekintetében a muszaki paraméterek a két földrész eltérő izlését tükrözik. Az NTSC rendszer a vörös irányában eltolódott, az I tengely a fontosabb, a Palhoz képest ugyan kevesebb színt tartalmaz, de a nagyobb sáv szélesség miatt pontosabban továbbítható. Ennek következtében az emberi borszín valóságban megjeleníthető, a kevesebb szín élénkebb képet eredményez. A Pal rendszer színrendszere kiegyensúlyozottabb, az U és V tengelyek szintartománya közel azonos szintartományt fog át, és a sáv szélességek is azonosak.

A világosság jel megnövelt jelentősége miatt, mindkét televíziós szintartomány (gamut) szűkebb mint a számítógépé. A YUV / YIQ színtér foglalata a kék tengely irányában egyhöz összenyomódott Descartes féle ortogonális koordináta-rendszer, amelyet az RGB színek még így sem töltenek ki teljesen, hanem egy konvex poliéderen belül helyezkednek el.

A I/Q illetve U/V színtengelyek színértékeiből képzett jelet - egymáshoz képest 90° -al elfordítva - PAL=4.43 MHz illetve NTSC=3.58 MHz frekvenciájú szinuszhullámra ültetik, majd a két jelet egyesítik. Az egyesített jel elnevezése C mint *Chrominance* vagy



Chroma.. Az NTSC rendszerben az I/Q tengely elnevezése onnan származik, hogy az I színjel fázisa egybeesik a hordozó hulláméval – *In Phase*, a Q színjel pedig a fázisra meroleges, azaz negyed körrel elfordul – *Quadrature*. Mindkét rendszernek hátránya, hogy a jelek egyesítésével a színek eltorzulhatnak. A PAL rendszer elnevezése onnan származik, *Phase Alternate Line* – soronkénti fázisváltás, hogy az U és V tengely színeiből képzett jelek fázisa képernyő soronként felcserélődnek, így módon a színhibák kiegyenlíthetők..