

A multimédiatechnológiák alapjai

Dr. Firtha Gergely

March 31, 2020

Contents

1	Az emberi látás tulajdonságai	3
2	Fény- és színmérés	5
3	Videókomponensek	7
3.1	Eszközfüggő színterek	7
3.2	A TV-technika luma és chroma komponensei	12
3.3	Videójel komponensek	12
3.4	A digitalizálás kérdései	12

Fejezet 1

Az emberi látás tulajdonságai

Fejezet 2

Fény- és színmérés

Fejezet 3

Videókomponensek

Az előző fejezet bemutatta az emberi látás képi reprodukció szempontjából legfontosabb tulajdonságait és részletesen tárgyalta a fény- és színmérés alapjait, bevezetve a világosság fogalmát és a CIE XYZ színteret. Ez a fejezet ezekre az ismeretekre építve bemutatja a televíziós-technikában használt színes-képpont ábrázolás módját, ez alapján bevezetve a jelenleg is alkalmazott analóg és digitális videójel komponenseket.

Videótechnika szempontjából az XYZ színteret ritkán alkalmazzák képpontok színkoordinátáinak tárolására, kivétel ez alól a digitális mozi és mozifilm-archiválási alkalmazások ¹. Ugyanakkor az XYZ tér lehetővé teszi a különböző megjelenítők és kamerák által reprodukálható színek halmazának egyszerű vizsgálatát. A következő szakasz ezeket a konkrét videóeszközökre jellemző, ún. **eszközfüggő színtereket** mutatja be.

3.1 Eszközfüggő színterek

Az előző fejezetben láthattuk, hogy az emberi látás trikromatikus jellegének, valamint linearitásának (illetve az egyszerű lineáris modellnek) köszönhetően a látható színek egy lineáris 3D vektortérben ábrázolhatóak, amelyben a vektorok összegzési szabálya érvényes: Két tetszőleges szín keverékéből származó eredő színínger meghatározható a két színbe mutató helyvektorok összegeként (függetlenül az eredeti színíngereket létrehozó fény spektrumától). Az xy -színpatkón ennek megfelelően két szín összege a két színpontot összekötő szakasz mentén fog elhelyezkedni.

Ebből következik, hogy az emberi látás metamerizmusát kihasználva, a látható színek nagy része előállítható mesterségesen, megfelelően megválasztott alapszínek összegeként. Ez általánosan véve a színes képreprodukció alapja. Természetesen nem

¹ Ennek oka, hogy egyrészt reprodukcióra közvetlenül nem használható, hiszen az XYZ alapszínek nem valós színek (az X,Y,Z bázisvektorok helyén nem található látható szín), másrészt a teljes látható színek tartománya igen nagy bitmélységet igényel, ráadásul feleslegesen: Az XYZ tér pozitív térfogatát a látható színek csak részben töltik ki (sok olyan kód lenne, amihez nem tartozik látható szín), ráadásul a ezen belül is a megjelenítők a látható színeknek csak egy részét képesek reprodukálni.

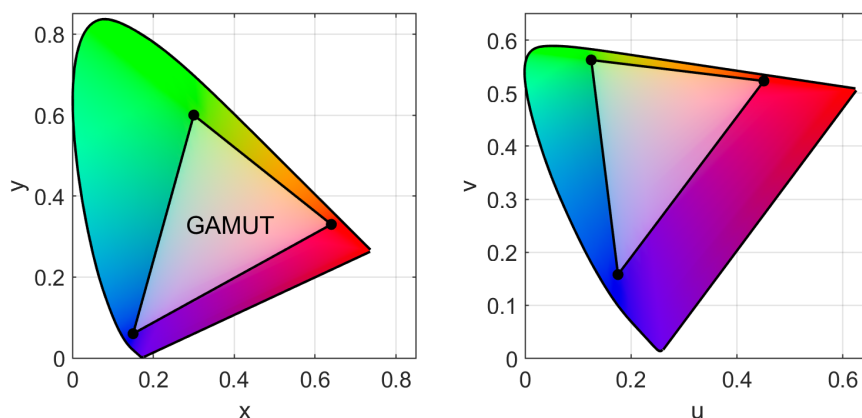


Figure 3.1. Az azonos alapszínekkel dolgozó SD formátum, HD formátum és az sRGB színtér gamutja xy és uv diagramon ábrázolva.

lehet célunk az összes látható szín visszaállítása: Minthogy a színpatkót a spektrálszínek határolják, így elvben végtelen számú spektrálszín kéne alapszínként alkalmazni az összes látható szín kikeveréséhez. Felmerül tehát a kérdés, hány alapszín szükséges a színpatkó megfelelő lefedéséhez.

A színdiagramban könnyen felvehető 4 színpont úgy, hogy a négy szín keverékeit lefedő négyszög (azaz a reprodukálható színek területe) csaknem azonos területű legyen a látható színek területével. Ugyanakkor az Luv színtér színpatkójából láthattuk, hogy az emberi felbontás zöld árnyalatokra vonatkozó felbontása rossz, és az perceptuálisan egyenletes színdiagram inkább háromszög alakú. Ez azt jelenti, hogy három megfelelően megválasztott alapszínnel—amelynek különböző arányú keveréseinek színezete egy háromszögön belül helyezkedik el—az egyenletes színezetű (uv) színpatkó jelentős része lefedhető. Ebből kifolyólag az additív színkeverésen alapuló képreprodukciós eszközök szinte kizárólag három megfelelően megválasztott piros, zöld és kék alapszínnel dolgozik. Az ezekből a színekből pozitív együtthatókkal (RGB intenzitásokkal) kikeverhető színek összességét egy adott **eszközfüggő színtérnek** nevezzük. Ezzel ellentétben a kolorimetrikus, abszolút színterek, mint pl. a CIE XYZ, vagy Luv , Lab színterek ún. **eszközfüggetlen színtereknek**. Továbbá az adott eszközfüggő színtérben reprodukálható különböző színezetű színek az xy -színpatkóban felvett háromszögét a színtér **gamutjának** nevezzük. Egy egyszerű példa színterek gamutjára a 3.1 ábrán látható.

Amennyiben egy RGB színtér teljesen ismert², tetszőleges C színre meghatározhatóak azok az RGB intenzitások, amelyekkel az RGB alapszíneket súlyozva megkaphatjuk a C színt (amennyiben az RGB értékek pozitívak). Ezek az adott C szín RGB koordinátái.

Vizsgáljuk most, hogyan szokás egy adott eszközfüggő (RGB) színteret definiálni

²Természetesen nem csak RGB színterek léteznek, nyomdatechnikában pl a CMYK eszközfüggő színterek elterjedtek, amelyek esetében a négy alapszín a nyomdában alkalmazott tinták színét jelzi. A következőkben a vizsgálatunkat kizárólag RGB színterekre végezzük el.

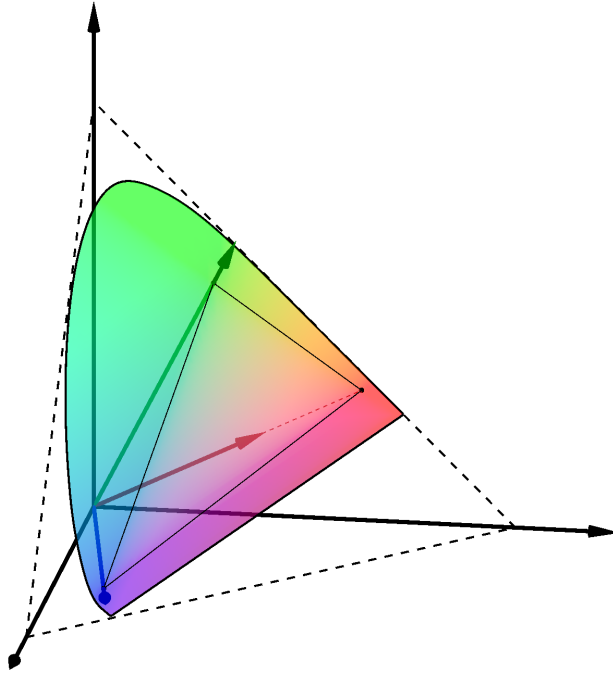


Figure 3.2. RGB színtér alapszíneinek helye, és metszéspontja az egységsíkkal az XYZ színtérben.

a gyakorlatban, azaz hogyan kell megadni a színteret ahhoz, hogy ezután tetszőleges szín RGB koordinátái számíthatók legyenek.

Eszközfűggő színterek definíciója:

Tekintsünk egy három alapszín alkalmazó RGB színteret. Az R, G és B alapszínek természetesen egy-egy vektorként találhatók meg az XYZ koordinátarendszerben, és vetületük/metszéspontjuk az egységsíkkal adja meg a színpatkón vett xy -koordinátáikat. Ezt illusztrálja a 3.3 ábra. Az alapszín-vektorok XYZ koordinátáit jelölje rendre

$$\mathbf{r}_{XYZ} = \begin{bmatrix} X_r \\ Y_r \\ Z_r \end{bmatrix}, \quad \mathbf{g}_{XYZ} = \begin{bmatrix} X_g \\ Y_g \\ Z_g \end{bmatrix}, \quad \mathbf{b}_{XYZ} = \begin{bmatrix} X_b \\ Y_b \\ Z_b \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Amennyiben a három alapszín XYZ koordinátái ismertek, úgy a színtér teljesen definiálva van: tetszőleges \mathbf{c}_{XYZ} színvektor koordinátái meghatározhatók az adott eszközfűggő RGB térben, amely \mathbf{c}_{RGB} vektor tehát azt írja le, milyen súlyozással

keverhető ki az adott C szín az RGB alapszínekből:

$$\underbrace{\begin{bmatrix} R_c \\ B_c \\ G_c \end{bmatrix}}_{\mathbf{c}_{RGB}} = \mathbf{M}_{XYZ \rightarrow RGB} \underbrace{\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix}}_{\mathbf{c}_{XYZ}}, \quad (3.2)$$

ahol $\mathbf{M}_{XYZ \rightarrow RGB}$ egy bázistranszformációs mátrix. Vice versa, az RGB színtérben adott szín XYZ koordinátái meghatározhatóak

$$\underbrace{\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix}}_{\mathbf{c}_{XYZ}} = \mathbf{M}_{RGB \rightarrow XYZ} \underbrace{\begin{bmatrix} R_c \\ B_c \\ G_c \end{bmatrix}}_{\mathbf{c}_{RGB}} \quad (3.3)$$

egyenletből. Természetesen fennáll a $\mathbf{M}_{RGB \rightarrow XYZ} = \mathbf{M}_{XYZ \rightarrow RGB}^{-1}$ összefüggés.

Utóbbi transzformációs mátrix egyszerűen meghatározható elemi lineáris algebra ismereteinkkel: $\mathbf{M}_{RGB \rightarrow XYZ}$ mátrix oszlopai egyszerűen az RGB színtér bázisainak XYZ -ben vett reprezentációja, azaz általánosan igaz

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} X_r & X_g & X_b \\ Y_r & Y_g & Y_b \\ Z_r & Z_g & Z_b \end{bmatrix}}_{\mathbf{M}_{RGB \rightarrow XYZ}} \cdot \begin{bmatrix} R_c \\ G_c \\ B_c \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

összefüggés³.

A transzformációs mátrixok több szempontból jelentősek: egyrészt lehetővé teszik a különböző színtérkonverziókat (lásd köv. bekezdés), valamint egy adott RGB térben ábrázolt képpont c_Y koordinátája megadja az adott szín relatív fénysűrűségét, azaz világosságát.

Itt jegyezzük meg, hogy az XYZ térben vizsgálva adott RGB bázisvektorokkal a pozitív együtthatókkal kikeverhető színek halmaza egy paralelepipedont feszít ki, azaz adott eszközfüggő RGB színtér az XYZ egy paralelepipedonként ábrázolható. Az RGB együtthatók definíció szerint 0 és 1 között vehetnek fel értékeket. Ennek megfelelően egy adott RGB térben az ebben a színtérben reprodukálható színek egy kockában helyezkednek el, ahol a kocka 3 origóból induló éle mentén az alkalmazott RGB alapszínek helyezkednek el. Emiatt az RGB színtereket gyakran RGB kockaként említik. A transzformációs mátrixok tehát gyakorlatilag olyan lineáris transzformációt valósítanak meg, amelyek a paralelepipedont kockába, és a kockát paralelepipedonba viszik.

³ Az összefüggés érvényessége könnyen tesztelhető pl. $\mathbf{c}_{RGB} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ helyettesítéssel, amely az R

alapszín RGB -ben vett reprezentációja, és (3.4) egyenletben a transzformációs mátrix első oszlopát választja ki.

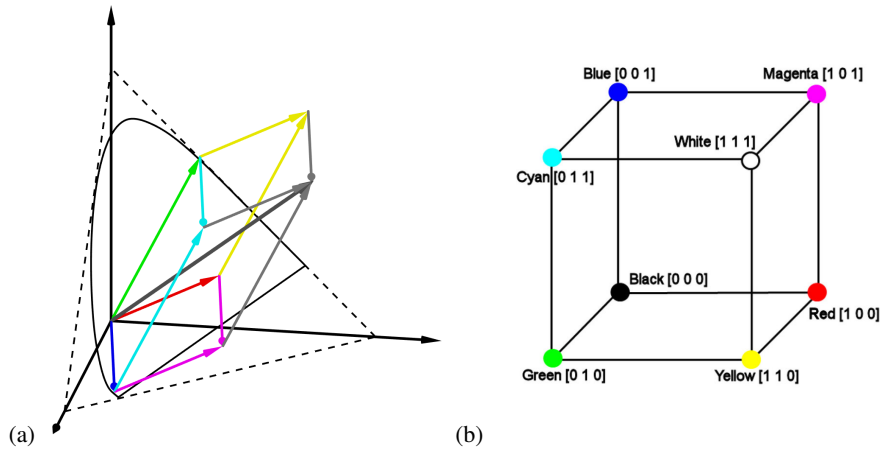


Figure 3.3. Egy adott RGB színtér ábrázolása az XYZ térben (a) és az RGB kockában (b). Az (a) ábrán szereplő vektorok színe a végpontjukban található szín határozza meg.

Egy RGB színtér tehát teljes egészében adott, amennyiben az alapszín-vektorok XYZ koordinátái ismertek (ez tehát 9 koordináta ismeretét jelenti). A gyakorlatban az ilyen definíció helyett az alkalmazott alapszínek színezetét, azaz xy -koordinátáit adják meg. Ennek az oka egyrészt a színtér gamutjának egyszerű ábrázolása (lásd 3.1 ábra), másrészt a fehér szín konzisztens, RGB színtértől független relatív fénysűrűsége (Y koordinátája).

Definíció szerint egy adott színtér ún. **fehérpontja** az adott térben elérhető legvilágosabb (legnagyobb fénysűrűségű) pontja, amelyet az alapszínek egyenlő arányú keverékével érhetünk el. Mivel adott térben a 100%-os fehér a legvilágosabb elérhető szín, ezért definíció szerint a relatív fénysűrűsége (Y koordinátája) egységnyi. A 100%-os fehér tehát hasonlóan az XYZ -hez, definíció szerint

$$\mathbf{w}_{RGB} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad \text{és} \quad Y_w = 1. \quad (3.5)$$

A 3.3 ábrán látható példában a fehér szín vektora a paralelepipedon szürkével jelölt főátlója, ezen vonal mentén helyezkednek el a különböző világosságértékű (árnyalatú) fehér színek. A fehér szín színezete, azaz x_w és y_w koordinátái ezen vektor egységsíkkal vett dőféspontja határozza meg. Általánosan tehát, definiáltuk az adott RGB tér fehérpontját, amelynek érzékelt színezetét az adott alapszínek határozzák meg. Ez más szóval a szín akromatikus pontja, amely kijelzőről kijelzőre változhat, az alkalmazott pl. LCD elemek függvényében.

A három alapszín xy -koordinátái mellett a fehérpont x_w és y_w koordinátái és $Y_w = 1$ fénysűrűsége már elegendő információ szükség esetén a transzformációs mátrixok meghatározásához.

Szintér konverziók:

A TV technika eszközfüggő szinterei:

3.2 A TV-technika luma és chroma komponensei

3.3 Videójel komponensek

3.4 A digitalizálás kérdései