

## 7. gyakorlat: Hang – hallás, kép - látás

### O.7.1. Az emberi hallás műszaki vonatkozásai

Fülünkkel a levegőben terjedő hangokat, a levegő nyomásingadozásait érzékeljük. Az állandó légköri nyomáshoz (kb. 100 000 Pa) képest igen kicsiny légnyomás-változások – hangok – erősségének jellemzésére a hangnyomásszintet, illetve a felületegységen átáramló hangtejesítmény ún. intenzitásszintjét használjuk, ezek számértékük tekintetében lényegében azonosak:

$$L_p = 20 \cdot \lg(p_{\text{eff}} / p_0) \cong L_I = 10 \cdot \lg(I / I_0), \text{ ahol } p_0 = 20 \mu\text{Pa} \text{ és } I_0 = 1 \text{ pW} / \text{m}^2$$

Noha az emberi egyedek hangérzékelése eltérő, vannak jellemzők, amelyek átlaga időben, térben elég stabil. Azon szinuszos hangrezgések intenzitása, amelyeket az átlagember éppen képes érzékelni - a hallásküszöb - erősen frekvenciafüggő. Fülünk 4 kHz környékén a legérzékenyebb, a hallhatóság tartománya kb. 20 Hz és 20 kHz közé esik. A nagyon intenzív hangok fájdalomérzetet keltenek, a fájdalomküszöb sokkal kevésbé frekvenciafüggő, mint a hallásküszöb. 1 kHz környékén e két küszöb intenzitásszintje egy kb. 130 dB széles tartományt fog át. Fontos, hogy a különböző frekvenciájú hangok okozta hangerősségérzet összehasonlítható. Az azonos erősségűnek érzett hangnyomásszinteket a frekvencia függvényében az ún. Fletcher-Munson görbesereggel ábrázolják. A szubjektív hangosságérzet számszerűsítésére éppen e görbesereg paramétere szolgál, szűkebb értelemben ezt a paramétert nevezzük hangerősségnek, s szerepét a *phon* megjelöléssel (mint afféle mértékegységgel) jelezzük. Egy hang hangerőssége annyi *phon*, amennyi a vele azonos hangosságú 1 kHz frekvenciájú hang hangnyomásszintje *decibelben*.

A hallás mechanizmusa nagyon bonyolult, számos részlete ma is tisztázatlan. Még az sem egyszerű, milyenek, még szűkebben, milyen hangerősségűnek érezzük két ismert frekvenciájú, ismert erősségű hanghatás eredőjét. Más minőségű hangérzetet keltenek a szinuszos, vagy legalább periódikus jelek és a keskenysávú zajok. Durva egyszerűsítéssel élve talán azt lehet mondani, hogy a periódikus hangok együtt vagy külön-külön zenei hatásúak. Az alapperiódus határozza meg azt az érzetet, amelyet hangmagasságnak nevezünk. Különböző magasságú hangok keveréke kelthet kellemes és kellemetlen érzetet is, ez főként a megszólaló hangok alapfrekvenciáinak arányán múlik.

Alapvető fontosságúak az ún. elfedési jelenségek. Egy viszonylag erős szinuszos, vagy keskenysávú hang megemeli a környező frekvenciákon a hallásküszöböt, akár annyira, hogy e környező hangokat nem is halljuk. Másrészt igaz az is, hogy egy hirtelen megszólaló erős hang előtti, illetve utáni gyengécske zörejek ugyancsak hallatlanok maradnak. Hallószervünk ezen fogyatékosága (ha ugyan ez fogyatékoság) éppen napjainkban vált különösképpen fontossá, jónéhány műszaki eljárás kihasználja, hogy az elfedett hangösszetevők általában feleslegesek. (Felesleges az adott alkalmazás szempontjából, de persze nem feltétlenül azok, ha pl. egy repülőgép fekete dobozáról van szó.)

Számunkra különleges jelentőségű hangjelek a beszéd és a zene. A (jó minőségűnek érzett) beszéd 300 Hz és 5 000 Hz közötti jelösszetevőkből épül fel, az átfogott hangnyomástartomány kb. 30 dB széles. Zenére a 40 Hz – 10 000 Hz, 60 dB szélességű tartományt tekinthetjük irányadónak. A térérzetet az biztosítja, hogy a két fülünkhöz a hangforrások jelei különböző utakon jutnak el, s ezért kicsit különböznek egymástól, erősségben, beérkezési időben, spektrális eloszlásban.

## O.7.2. Analóg és digitális hangjelek jellemzői

A levegő hangrezgéseit ( a léghangot) mikrofonnal alakítjuk elektromos jellé, s az elektromos jelből hangszóróval hozunk létre (az eredetire emlékeztető) légrezgéseket. Az átalakítások fogyatékoságaival (vannak ilyenek bőven) itt nem foglalkozunk, azt azonban megjegyezzük, hogy éppen ezen átalakítók oldaláról van talán a legnagyobb jelentősége a beszéd és a zene imént idézett fő jellemzőinek.

A mikrofonok szolgáltatja jel folytonos idejű és folytonos értékészletű, azaz analóg jel. Az elektromos jelet, jeleket erősítjük, keverjük, spektrális komponenseinek megoszlását módosítjuk (szűrjük). A szándékunknak megfelelő hatások mellett az elektronikus feldolgozás rendszerint nemszándékolt változásokat is okoz, pl. eszközeink zaja hozzáadódik a jelhez. Ezt a hatást a visszaalakított hangjelben magunk is zajként értékeljük, a hatás mélységének jellemzésére bevált adat az ún. jel-zaj viszony, a hasznos jel és a ráakódott zaj teljesítményének az aránya. A beszéd jól érthető (sőt, élvezhető) marad, ha a jel-zaj viszony nem süllyed kb. 30 dB alá, a zene igényesebb, itt talán 60 dB jel-zaj viszonyt illik megkövetelni.

Az analóg feldolgozási, tárolási módszerek eszközei korlátozottak, a beavatkozások nem lehetnek túl bonyolultak, pontosabban a bonyolult analóg szerkezetek drágán és/vagy rosszul reprodukálhatóak. Napjainkban az analóg eszközök a feldolgozási lánc két végén (két vége környékén) foglalnak helyet.

Beszédjelek digitális megjelenítése (távközlési célokra) jellemzően 8 kHz mintavételi frekvenciával, mintánként 8 bites kódszavak alkalmazásával történik. A 8 bites kódszavak 13 bites egyenletes kvantálású minták egyféle lebegőpontos ábrázolását végzik, így kb. 30 dB szélességű dinamikatartományban kb. 30 dB jel-zaj viszony biztosítható (a zaj forrása itt a kvantálás). Ez végső soron 64 kbps adatsűrűséget, adatátviteli sebességet igényel. A szélesebb közönségnek szánt, igényesebb műsor, zene digitalizálására 40 kHz környéki mintavételi frekvenciát (44.1, máskor 48 kHz) alkalmaznak. A minták legalább 16 bitesek, ez ugyan a leghangosabb jelre vonatkoztatva 96 dB hivatkozási jel-zaj viszonyt biztosít, de a pianisszimók már veszélyesen közel kerülnek a zaj szintjéhez. Ezzel együtt 700-800 kbps sebességgel szoktak számolni, ami a minimális térhatást biztosító két csatornán összesen kb. 1.5 Mbps sebességigényt jelent.

A digitális feldolgozást végző eszközök mondhatni tökéletesen reprodukálhatóak, bonyolultságuknak más tényezők (pl. működési sebesség, ár) szabnak határt. Az átviteli, (jel)tárolási lehetőségek árviszonyai miatt napjainkban abban vagyunk érdekeltek, hogy a hangjelek (itt, most a hangjelek, de általában: a jelek) digitális leírása lehetőleg tömör formában történjék, úgy, hogy a tömör formából is az alkalmazási célnak megfelelő minőséggel lehessen a hangot visszaállítani. Azok a tömörítési eljárások, amelyek mára széles körben elterjedtek, szabványosodtak, részben a jel (a beszéd, a zene) belső meghatározottságait, részben pedig az emberi hangérzékelés sajátosságait használják ki. Az értelmes jelekben – a korábbi minták elemzésével – felismert fejlődési trend számos, az elemzett sorozatot követő minta feljegyzését feleslegessé teheti, ezen a gondolon alapulnak a különféle predikciós (előrejelzős) beszéd-tömörítő eljárások, amelyekkel a tűrhető minőségű beszédet néhány kbps sebességű jelfolyammá lehet alakítani. Efféle eljárást alkalmaz a GSM is, itt a tömörített jel sebessége kb. 10 kbps. Az igényes hangtömörítő eljárások (a legismertebbek talán az MP3 és az AAC) főleg az elfedési jelenségek módszeres kiaknázásával érik el lenyűgöző teljesítményüket, pl. 192 kbps sebesség az 1.5 Mbps helyett, alig észlelhető minőségromlással.

### O.7.3. A fényérzékelés néhány jellemzője

Szemünk idegei a 400 – 700 nm hullámhossztartományba eső elektromágneses sugárzást érzékelik fényingernek. Az inger erőssége függ a hullámhossztól (a frekvenciától). Az azonos világosságérzetet keltő fénysűrűség (teljesítmény/térszög) hullámhosszfüggését feltérképezve szerkeszthető meg az ún. láthatósági függvény.

Egyes látóidegek e hullámhossztartományon belül is lényegesen eltérő érzékenységek, e képességüknek köszönhető a színlátás. Frekvenciaszelektivitásuk nem túl éles, ennek tulajdonítható, hogy ugyanazt a színérzetet sok, különböző spektrális összetételű fényel el lehet érni. A színhatások mesterséges reprodukciója is ezen a metamer színérzeten alapul.

A színingerek jellemzése érdekében a szabványalkotók három ún. alapszínből indulnak ki, ezek valamilyen jól reprodukálható, azonos fénysűrűségű, közel monokromatikus vörös, zöld és kék árnyalatok. Megfelelő súlyú, arányú keverékükkel a tapasztalat szerint majd minden  $C$  színinger előállítható, így az előállítás súlytényezői a színingert a választott alapszínek koordinátarendszerében egyértelműen jellemzik:  $C = (R\ G\ B)$ . Tapasztalat, hogy bizonyos (közel azonos) súlytényezőkkal a három alapszín eredője fehér, s tapasztalat az is, hogy a  $\hat{C} = (aR\ aG\ aB)$  keverék ugyanolyan színhatású, mint  $C$ , csak a láthatósága (a világossága) függ  $a$  értékétől. További tapasztalat, hogy az azonos spektrális sűrűségű komponensekből felépülő fehér ( $E$ ) és bármely  $S$  spektrálszín (tehát nemcsak az alapszínek) keveréke  $S$ -el azonos színezetű, de eltérő telítettségű hatást eredményez. Végül az is tapasztalatként szögezhető le, hogy mindazok a  $C = (R\ G\ B)$  színingerek azonos világosságérzetet keltenek, amelyekre az alapszínek láthatósági adatából számított  $y_R, y_G, y_B$  együtthatójú  $Y = y_R R + y_G G + y_B B$  összeg ugyanakkora.

Van egy-két apró kellemetlenség. Az egyik, hogy ez a leírás nem független a választott alapszínektől, s így ugyanaz a szín más súlytényezőkkal írható le pl. a CIE és az FCC (ez két szabványosító testület) koordinátarendszerében. A – talán súlyosabbnak tűnő – az, hogy bármi is legyen a három alapszín, lesznek olyan színingerek (tipikusan a spektrális enciánok), amelyek belőlük nem keverhetők ki. Igaz, e színekhez megfelelő fénysűrűségű vöröset keverve keletkezik egy  $(0\ G\ B)$  hármassal leírható eredő, így ezen színek vörös összetevője negatív értékű.

Alkalmos lineáris transzformációval elérhető, hogy az érzékelhető fényhatásokat jelentő pontok valamennyien egy új,  $X, Y, Z$  ( $Y$  a világosságérzetet tükrözi!) koordinátarendszer első ténnyolcadába kerüljenek, azt a lehető legjobban kitöltsék, s hogy a fehér színérzetet jelentő pontok az  $X = Y = Z$  egyenesre illeszkedjenek. A különböző világosságérzetet keltő, ám egyébként azonos színhatásokat az origóból kiinduló egyenesek jellemzik. Az egyenes irányát az  $X + Y + Z = 1$  „egységsíkkal” való metszéspont  $x$  és  $y$  koordinátája „normalizáltan” szolgáltatja (ennyi elég, hiszen  $z = 1 - x - y$ ). Az  $(x, y)$  pont voltaképpen a metszéspont vetülete a  $Z = 0$  koordinátasíkra. A spektrálszíneket ebben az  $xy$  koordinátarendszerben egy – az  $y = 1 - x$  egyenesre simuló – patkó alakú görbe, az  $E$  fehéret a  $(1/3, 1/3)$  pont jelenti. A kék és a vörös (a patkó két vége) összekötő vonalán a bíborszínek foglalnak helyet. A CIE színdiagram erénye, hogy a színingereknek az alapszínek választásától független jellemzését szolgáltatja, a színösszegzési szabály érvényben marad, s a színezet és a telítettség érzetjellemezők egyértelműen számszerűsíthetők (domináns hullámhossz, színtartalom).

### O.7.4. Színes mozgókép megjelenítés analóg és digitális formában

A megfigyelt tárgyról érkező fénysugarakat szemünk optikai rendszere az ideghártyára vetíti, ott a látvány valódi képe jelenik meg, így a tárgy egyes pontjaiból induló sugarak az ideghártya jól meghatározott pontján hoznak létre ingerületet. Szemünk felbontóképességét ezért a látóidegek sűrűsége szabja meg. Elfogadott adat, hogy ez a felbontóképesség 2 szögperc (azaz a 2 szögpercnél kisebb látószög alatt érkező fénysugarak nagyjából ugyanazokat a látóidegeket ingerlik). A színezettséget érzékelő idegek sokkal ritkábbak, esetükben 10 szögperces felbontóképességet szoktak emlegetni.

Elterjedt nézet, hogy függőleges síkban kb. 20 fok terjedelmű képekre tudunk figyelni, s hogy kedveljük a 4:3 képarányt. Ezekből az adatokból adódik, hogy egy képet 600 sorban, 800 oszlopban elrendezett megfelelő világosságú és színű pontból össze lehet rakni úgy, hogy - kellő távolságból szemlélve - a látvány szemcsés mivolta nem zavaró. Régi tapasztalat, hogy a mozgás illúzióját kelti, ha a (nem túl sebesen) mozgó tárgyakról készült pillanatfelvételeket egymás után vetítjük egy ernyőre. Elég másodpercenként 25 képpel operálni (e számvetésben a periódikus elsötétítések okozta villogás kellemetlen hatásától eltekintünk), ez azt jelenti, hogy mozgókép tárolása, továbbítása érdekében legalább másodpercenként  $600 \cdot 800 \cdot 25 = 12\,000\,000$  képpont adatainak lejegyzését, továbbítását kell biztosítani. A képpontok világosságadatát 7 biten ábrázolva (ezt megint szubjektív minőségérzetünk indokolhatja), kb. 84 *Mbps* sebességigény adódik. Színességadatra csak  $5 \cdot 5 = 25$  képpontonként van szükség, s megelégedhetünk 256 színnel, ezért a fekete-fehér film kiszínezése mindössze  $8 \cdot 12 / 25 = 3.84$  *Mbps* sebességtöbblettel jár.

Napjaink analóg videojelei soronkénti letapogatással készülnek. A másodpercenkénti 12 - 12.5 millió mintából egy kb. 5 - 6 *MHz* sáv szélességű jel áll össze, ez az analóg világosságjel sáv szélessége. A színességadatok ritkábban változnak, ötödekkora sáv szélesség is elég (soronként öt képpont ugyanolyan színű, az egymás alatti sorok hasonlóságát nem lehet ilyen könnyen kihasználni). Színességadatnak az *Y-B* és az *Y-R* színkülönbségi jeleket, illetve velük arányos jeleket szoktak használni (*Y*, *Cb*, *Cr* három vezetékpáron). A két „chroma” jelet olykor ügyes eljárással összeszövik egymással (*S*-video jel, az *Y* és a „chromatics” külön vezetékpáron, *Y/C*, *YC2*), illetve a világosságjellel is (kompozit video, *CVBS* jel). Egyes berendezések *RGB* jeleket szolgáltatnak, illetve fogadnak. A sorokat, képeket termináló szinkronjeleket az *Y*, illetve a *G* jellel összeolvasztva szolgáltatják.

A klasszikus digitális stúdiószabvány (*SDTV*) az analóg világosságjelet 13.5 *MHz*, a színkülönbségi jeleket 6.75 *MHz* frekvenciával mintavételezi (ezt hívják 4:2:2 mintavételi struktúrának). Mindhárom adatot 10 bittel ábrázolva adódik a 270 *Mbps* sebességigény. A képpontok efféle jellemzése ahhoz hasonló, mintha a körúti villamosban helyzetünket másodperces időközönként a földrajzi szélesség, hosszúság adataival írónk le. Ha centiméteres pontosságú helyzetjellemzésre törekszünk, sokkal kevesebb adatot igényel, ha a Petőfi hídra, az *EMKÉ*-hez, a Nyugati pályaudvarhoz képest mutatkozó relatív helyzetünket adjuk meg, s amint haladunk a körúton, a referenciát is megfelelően választjuk. Efféle gondolatlan alapulnak a képtömörítés mai technikai, szabványai. A széles körben elterjedt *MPEG-2* szabvány pl. akár néhány *Mbps* sebességű tömörítésre is képes, élvezhető minőségű színes mozgóképet szolgáltatva.

### P.7.1. Bolyongás a Fletcher görbéken

A szinuszos jelet szolgáltató függvénygenerátor jelét hangszóróra vezetjük. Az így előállított, éppen hallható 10 kHz frekvenciájú hang hangnyomásszintje 10 dB. A generátor frekvenciáját 1 kHz-re csökkentve, a mért hangnyomásszint 30 dB, tovább csökkentve 100 Hz-re a hangnyomásszint 0 dB lesz (az előállított jel amplitúdója közben nem változott!).

- a) Mekkora a 10 kHz-es hang hangossága *phon*-ban?
- b) Mekkora az 1 kHz-es hang hangossága *phon*-ban?
- c) Mekkora az 100 Hz-es hang hangossága *phon*-ban?
- d) Mivel magyarázza, hogy a mért hangnyomásszintek eltérőek, holott mind a három esetben azonos a generátor jelének amplitúdója?

Megoldás:

a) Hiába ismert a hangnyomásszint, nem ez mondja meg, milyen hangosnak halljuk. Mekkora a vele azonos hangosságérzetet keltő 1 kHz frekvenciájú hang hangnyomásszintje? A hang éppen hallható, vagyis a hallásküszöb közelében van. Az 1 kHz frekvenciájú, éppen hallható hang hangnyomásszintje 0 dB, tehát a 10 kHz frekvenciájú hang hangossága 0 *phon*.

b) Az 1 kHz frekvenciájú hangra a hangosságot éppen a hangnyomásszint számértéke adja. Az 1 kHz frekvenciájú hang hangossága tehát 30 *phon*.

c) A Fletcher görbék teknő alakúak, a hallásküszöb van közülök legalul, az ő hangosságparamétere 0 *phon*, legmélyebb pontja 1 kHz környékén van, s itt a hangnyomásszint 0 dB. A 0 *phon* paraméterű görbe 100 Hz frekvencián jóval nagyobb hangnyomásszintű. A 0 dB hangnyomásszintű 100 Hz frekvenciájú jel tehát jóval gyengébb a hallásküszöbnél, „negatív” hangosságú. Az emberi léptékben negatív hangosság persze ettől még lehetne értelmes jellemző, ha pl. a macskák hangérzékelési képességét kívánjuk jellemezni. A mi szokásos feladatainkban negatív hangosság nem játszik szerepet.

d) Ennek több oka is lehet. A hangszóró és a mikrofon – méreteikkel összefüggésben – eltérő hatásfokkal alakítják az elektromos jelet hangrezgéssé és fordítva. A különböző frekvenciájú jeleknek eltérő lehet a terjedés következtében fellépő csillapodása. Befolyásolhatja az eredményt az is, hogy a falakon bekövetkező visszaverődések eltérő hatású jelösszegződést eredményeznek a különböző mérési frekvenciákon. Már csak ezért is efféle méréseket különleges, elnyelő falú környezetben kell végezni, ezt hívják süketszobának.

### P.7.2. A hangerőszabályozás dilemmája

Első látásra a hangerőszabályozás nem nehéz feladat: egy potencióméter csúszkájáról táplálva a következő fokozatot elérhető, hogy a potencióméterrel kedvünk szerint állítsuk be a rádió hangerejét. Ez általában így is történik, de van ennek a megoldásnak hátrányos oldala is, ez különösen kis hangerőnél figyelhető meg: ha lehalkítjuk a rádiót, akkor megváltozik a hallásélmény, a mély és a magas hangok elsikkadnak. A Fletcher görbék valamelyest számot adnak a várható eredményről, hiszen azt mutatják, hogy az azonos hangosságparaméterű görbék nem „párhuzamosak”, 10 dB csillapítás nem azonos mértékű hangosságváltozást jelent

---

1 kHz-en és 100 Hz-en. Az a 10 dB csillapítás, ami 10 phon hangosságcsökkenést okoz az 1 kHz frekvenciájú hangon, a hallásköszöb alá szoríthatja a jel 100 Hz-es összetevőit, de mindenképpen 10 phon-nál nagyobb hangosságcsökkenést okoz a 100 Hz környéki összetevőkön.

Lehet olyan erősítőt (csillapítót) készíteni, aminél a hangerőszabályzó hangolása frekvenciafüggő erősítésváltozást okoz, mégpedig úgy, hogy az egyenletes hangosságváltozást idézzon elő. Van aki szereti használni, van, aki nem.

### P.7.3. A zaj pszofometrikus értékelése

A hangjel minőségét, élvezhetőségét számos tényező befolyásolja. A két legfontosabb talán az a frekvencia- és az a dinamikataromány, amelyen belül a jel torzításmentes, s így a valóságos élményhez közeli hangzást képes biztosítani. Az elektromos feldolgozás során zajok is keletkeznek, s a hasznos jelet additív módon (ti. hozzáadódva) befolyásolják. Zavaró hatásukat kényelmes dolog a teljesítményükkel, pontosabban a jel és a zaj teljesítményének arányával, a jel-zaj viszonytal jellemezni. Noha a jel-zaj viszony számos alkalmazásban jól minősíti a jel használhatóságát, hangjeleknél nem feltétlenül jellemző a zaj okozta minőségromlásra. 30 dB jel-zaj viszonyt okozhat olyan zaj is, amelynek spektrális komponensei a 100-300 Hz tartományban vannak, s olyan zaj is, amelyben az 1000 Hz körüli összetevők a dominánsak. A Fletcher görbéket ismerve nyilvánvalónak tűnik, hogy az utóbbi eset sokkal kellemetlenebb.

A jel-zaj viszony, mint tömör minőségi jellemző megmentése érdekében a zaj különféle frekvenciájú összetevőit súlyozva, az okozott hatásnak megfelelően súlyozva érdemes tekintetbe venni. A célszerű súlyozást szabványok rögzítik, ez módot teremt a különféle feldolgozási folyamatokban keletkező zajok összehasonlítására. Az efféle súlyozással számított zajteljesítményt nevezik pszofometrikusan mért zajteljesítménynek. A súlyozást alkalmas módon, szűrővel (is) biztosítani lehet, ezt a szűrőt nevezik pszofometrikus szűrőnek.

### P.7.4. Színezet és telítettség pszihofizikai értelmezése

A CIE színdiagram segítségével a színezetet és a telítettséget számszerűen is jellemezhetjük. Ezen fogalmak a köznyelvben a látott fényfoltnak azt a tulajdonságát ragadják meg, hogy a látvány milyen viszonyban van valamely spektrálszínnel, illetve a fehérrel. Leszögeztük, hogy a fehérből és valamely spektrálszínből a színingerek zöme kikeverhető (a bíorszínek jelentik a kivételt). A színezet pszihofizikai jellemzésére az a szín használható, amelyet a fehérrel elegyítve a minősítendő színezet előállítható. Az előállításban szerepet játszó spektrálszín hullámhosszát nevezzük domináns hullámhossznak. A CIE színdiagramon a fehér pontból (több fehér is van, itt az E fehérre kell gondolni) a minősítendő színponthoz húzott egyenes szakasz és a minősítendő színhez tartozó spektrálszínhez húzott sugár aránya a telítettségre jellemző, ezt színtartalomnak nevezzük.

#### Feladat:

A CIE színdiagram segítségével határozzuk meg az FCC szabvány szerinti alapszínek (a televíziózásban használt alapszínek) domináns hullámhosszát és színtartalmát! A

számolás során szemléltessük a színkoordináták származtatását! Fehérnek érzékeljük-e a három alapszín azonos súlyokkal képzett eredőjét?

Megoldás:

Az XYZ CIE színösszetevőknek az FCC RGB alapszíneivel való kapcsolatát az lineáris transzformáció adja meg. A vörös alapszín színösszetevői ezért  $X = 0.61, Y = 0.3, Z = 0$ . A megfelelő színkoordináták  $x = 0.67, y = 0.33$ . A zöld pont színösszetevői:  $X = 0.17, Y = 0.59, Z = 0.07$  s a színkoordináták:  $x = 0.20, y = 0.71$ . Végül a kék alapszínre  $X = 0.2, Y = 0.11, Z = 1.12$  adódik, és az, hogy  $x = 0.14, y = 0.08$ . A diagramba berajzolva a domináns hullámhossz rendre kb. 470, 535, 610 nm, a színtartalom pedig 0.9, 0.8 és 1.0 .

A szemléltetés abban áll, hogy egy pontot, pl. egy fehérhez közeli színt kiragadva berajzoljuk az RGB és az XYZ koordinátarendszerbe, majd berajzoljuk az origót a ponttal összekötő egyenest, megszerkesztjük a metszéspontját az „egységssíkkal”, s a metszéspontot vetítjük az XY síkra. Ez egy ábrarozat lesz, kivetíteni lehet, a rajzolgatás viszont kicsit időigényes (a szerkesztés elég bonyolult és hosszadalmas).

A három alapszín azonos súlyokkal képzett eredője az az egyenes az XYZ koordinátarendszerben, amely az origót a  $\mathbf{A} = (0.98, 1.0, 1.19)$  ponttal köti össze. Ez nem pontosan ugyan, de majdnem azonos az  $\mathbf{E}$  fehérrel, hiszen  $x \cong y \cong 0.31$

### P.7.5. Színösszegzés, láthatóság

Milyen arányban kell a CIE zöld és kék alapszínét összeadni, hogy azonos világosságérzetet keltő, különböző színezetű enciánokát állítsunk elő? Az azonos világosságérzetet keltő efféle keverékek közül melyiknek az előállítására igényli a legkisebb teljesítményt? Mi a domináns hullámhossza annak a színnek, amelynél ez a keverék minimális színtartalmú?

Megoldás:

A világosságérzetet kifejező adat  $Y = 0.59 \cdot G + 0.11 \cdot B$ . Egységnyi világosságérzetet kelt 1/0.11 egységnyi zöldmentes kék és 1/0.59 egységnyi kékmentes zöld. Ha az egyikből  $\lambda$  „kanálnyt” használunk, akkor a másiktól  $1 - \lambda$  kanálnyt hozzákeverve a világosságérzet azonos marad. Tehát a  $B = 9.09 \cdot \lambda$  és  $G = 1.69 \cdot (1 - \lambda)$  összetételű keverékek egységnyi világosságérzetet keltenek. Ha az összetevők súlyát arányosan megnöveljük, akkor a világosságérzet is arányosan nő.

Nyilván a kékmentes zöld, hiszen a zöld szín láthatósága a legjobb. Algebrailag is ez jön ki, hiszen a felhasznált teljesítmény  $B + G = 9.09 \cdot \lambda + 1.69 \cdot (1 - \lambda)$ , s ez akkor a legkisebb, ha  $\lambda = 0$ . Mindez persze akkor volna gyakorlatilag is helytálló, ha az alkalmazott fényforrások a TV alapszíneit állítanák elő, s ráadásul azonos hatásfokkal.

A színtartalom vizsgálata érdekében kijelölünk egy  $\mathbf{P}$  pontot a  $\mathbf{GB}$  egyenesen, s ezt összekötjük az  $\mathbf{E}$  fehér ponttal, majd meghosszabbítjuk a patkó széle (a spektrálszín) irányába. Az így kijelölt spektrálszín legyen  $\mathbf{S}$ ! Kérdés, mikor lesz

minimális az **EP/ES** hányados. Tegyük fel, hogy a **P** pontot mozgatjuk, s az **EP** egyeneseken kijelöljük azokat a **Q** pontokat, amelyekre  $\mathbf{EQ} = c \cdot \mathbf{EP}$ ! Felismerhetjük, hogy ezek a pontok a **GB** egyenessel párhuzamos egyenesen vannak, annál távolabb az **E** ponttól, minél nagyobb  $c$  értéke. A felismerés egyenes következménye, hogy a színpatkóhoz egy olyan érintőt kell húznunk, ami párhuzamos a **GB** egyenessel. Az egyenes érintési pontja jelenti a feladatunk megoldását. Ez – szemre – kb. az  $510 \text{ nm}$  hullámhosszú fényt jelenti. A számított színtartalom kb. 25%.

### P.7.6. A kompozit videojel és rokonai

A háztartásban előforduló, különböző korból származó képfeldolgozó eszközök többé-kevésbé azonos színrendszerben dolgoznak, ám eltérő interfészekkel rendelkeznek. A teljesség igénye nélkül megemlítünk néhányat.

TV, DVD felvevő és lejátszó, videomagnó jellegzetes csatlakozója a 21 pólusú (Euro)SCART csatlakozó, amely adási vagy vételi irányú R-G-B jelek, CVBS jel, illetve S-video jel számára biztosít összekapcsolási lehetőséget. Egy-egy készülék persze nem feltétlenül használja ki e felkínált lehetőségek mindegyikét.

Az R-G-B jelekről szólva azt kell kiemelni, hogy a (tévétechnikában) használt efféle jelhármásban a G jel felel a sor- és a képszinkronért. Ez a jelhármás viszonylag ritkán nyer alkalmazást (inkább csak számítógépek képernyőjeként), annál gyakoribb a "component video", amely az Y (világosságjel és szinkron), a Pb (kék színkülönbségi jel) és a Pr (vörös színkülönbségi jel) együttese. Az YPbPr jellegzetesen három RCA csatlakozón jelenik meg. Analóg csatlakozások közül ez a mód biztosítja (elvileg) a legjobb minőséget

A CVBS (Composite Video Blanking and Synchron) jel igen összetett, időben, frekvenciában együttesen ravaszul strukturált. Két alkotója a világosságjel és a színességet hordozó „chrominancia”. Mindkettő soronként strukturált. A világosságjelbe van beépítve a két szinkronjel, ezek jelzik a sorok és a képek kezdetét. A világosságjel velük együtt kb.  $5 \text{ MHz}$  sáv szélességű, s mivel kvázi azonos, soridőnyi szakaszokból áll, ezért a spektruma fésűs, keskeny fésűfogak között széles üres szakaszokkal. A két színkülönbségi jel ugyancsak fésűs spektrumú, belőlük alkotják (a különböző színes TV rendszerek kicsit vagy meglehetősen különbözőképpen) a „chrominancia” összetevőt. Az összeszövési eljárás olyan, hogy ez a jel is megőrzi a spektrum fésűs jellegét, ám fésűfogai a világosságjel fésűfogai közé esnek, s így azokat nem zavarják. (Később még foglalkozunk ezen eljárások legalább egyikével.) A CVBS jel gyakran egyetlen RCA dugón jelenik meg (a SCART csatlakozóból kivezetett „Video” feliratú vezeték).

Az S-video csatlakozó más kivitelű. Ezen a 4 pontos csatlakozón a CVBS jel világosságjele és a „chrominancia” szét van választva, pontosabban nincs összeadva. Ez a két összetevő itt külön vezetékpáron kerül továbbításra, ezért egymást kevésbé zavarják, mint a CVBS jelnél. A megjelenített kép így valamivel jobb minőségű.

A DVD felvevők és igényesebb lejátszók rendszerint rendelkeznek HDMI (High Definition Multimedia Interface) csatlakozási lehetőséggel. Ez digitális, ez „a” digitális csatlakozási felület. Ezen a csatlakozón is a „component video” jelei jelennek meg, három önálló, soros adatfolyam formájában. Ilyenkor YCrCb jelről szoktak beszélni, itt Cr és Cb a digitalizált színkülönbségi jelek.



**G.7.1. Gyakorló feladat**

Olyan hangerőszabályzót kellene készíteni, amely 80 *phon* hangosságú jelet 20 *phonos* lépésekben a hallásküszöbig csillapítani képes. A  $\pm 5$  *phon* pontosságot elegendő a 100 Hz-6 kHz tartományban biztosítani. Készítsen táblázatot a követelményekről! Rajzolja fel a megvalósítandó csillapításkarakterisztikákat! Hány töréspontú korrektorra lesz egyáltalán szükség? Megoldható-e a feladat kizárólag ellenállások, illetve ellenállások és egyetlen kondenzátor alkalmazásával?

**G.7.2. Gyakorló feladat**

Van olyan TV készülék, amelyet a DVD lejátszóval három vezetékpár – Y, Cb, Cr feliratú – köt össze. Tegyük fel, hogy  $Cb=B-Y$  és  $Cr=R-Y$  (a valóságban e relációkban az arányossági tényező nem 1)!

- Milyen színű lesz a menyegzőről készült felvételen a menyasszony hófehér ruhája, ha a Cb és a Cr kábeleket felcseréljük?
- Melyek azok a színélmények, amelyek e cserére érzéketlenek?

**G.7.3. Gyakorló feladat**

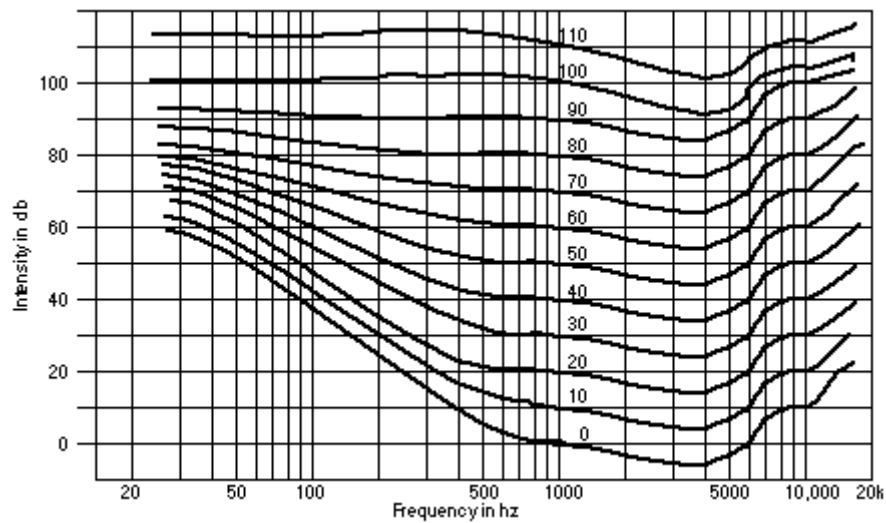
Emese (aki görkorcsolyával viszi a hitelszerződéseket az ügyfeleknek) legújabb ötlete: a világításra fordított energia tekintélyes hányada megtakarítható lenne, ha a (lényegében) fehér fényt szolgáltató fényforrások helyett mindenütt zöld fényű lámpákat használnánk.

- Segítsen Emesének, s az  $Y=0.3R+0.59G+0.11B$  összefüggés alapján magyarázza meg az értetlenkedőknek, miféle fiziológiai alapja van e bájos hölgy ötletének! (A megvilágított tér világossága nem változhat.)
- Számítsa ki, hány százalék lenne a megtakarítás!
- Milyen bizonytalansági tényezői vannak az efféle számvetésnek?

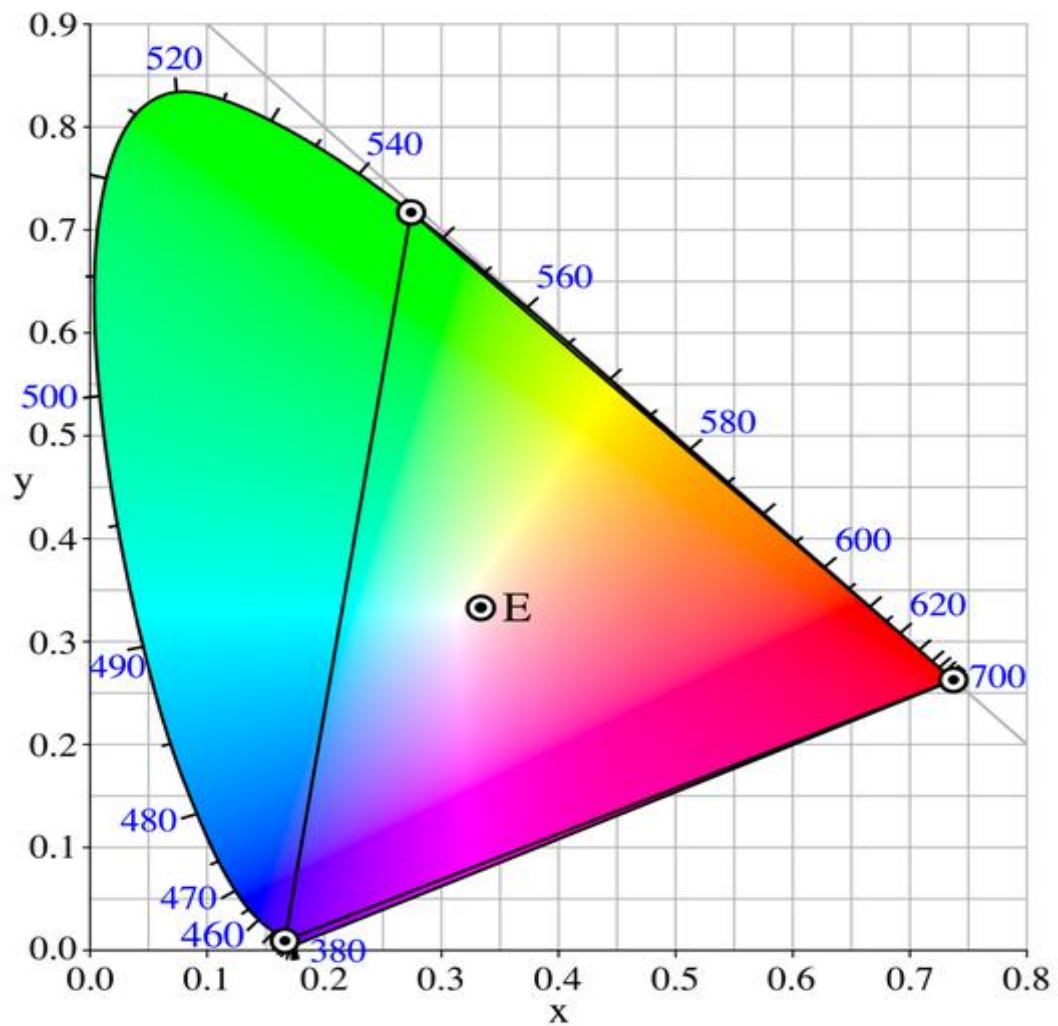
**G.7.4. Gyakorló feladat**

Színes monitor egy pixelének megjelenítéséhez a színkülönbségi jelek  $R-Y=0.35$ , illetve  $B-Y=-0.15$ , a világosságjel pedig 45%-os.

- Mekkorák a pixel jellemző RGB színösszetevők?
- Milyen színűnek érzékeljük ezt a képpontot?
- A képpont színét egy szabványos E fehér szín és egy RGB alapszín keverésével kívánjuk előállítani. Mekkora a fehér és mekkora az alapszín súlytényezője?
- Mekkora a pixel szintartalma?



Azonos hangosságú szinuszos hangok intenzitása (Fletcher-Munson görbék)  
 (<http://www.webervst.com/fm.htm>)



A CIE színdiagram és a CIE alapszínek  
 ([http://en.wikipedia.org/wiki/Image:CIExy1931\\_CIERGB.png](http://en.wikipedia.org/wiki/Image:CIExy1931_CIERGB.png))