

LCD ÉS CRT KÉPMEGJELENÍTŐK A VIZUÁLIS KUTATÁSBAN

Csibri Péter¹, Sály Gyula¹

¹SZTE-ÁOK, Élettani Intézet

A percepció kutatásokat nagyban megkönnyítette a személyi számítógépek megjelenése. Inger megjelenítésére kezdetben könnyű hozzáférhetőségük, alacsony árak és egyszerű használhatóságuk miatt katódsugárcsőves monitort (CRT) használtak. Később egyre jobban elterjedt az olcsóbb, Liquid Chrystal Display (LCD) monitorok használata. A tudományos világ azonban kezdetben bizalmatlansággal fogadta az új technikát. Mindkét technikának megvannak a működési elvükből eredő előnyei és hátrányai, amelyek nagymértékben hatást gyakorolhatnak az általunk használt inger észleletére és az arra adott válaszra egyaránt. Az alábbiakból kiderül, hogy a két megjelenítési technika közül nem lehet egyértelmű győztest hirdetni, csak az általunk használt vizsgálati kérdés fényében dönthetjük el, hogy számunkra mely technika a legmegfelelőbb.

Kulcsszavak: vizuális kutatás, inger megjelenítés, LCD képmegjelenítés, CRT képmegjelenítés

A természettudományos kutatás eszköz- és műszerigényes. Rengeteg olyan eszközzel rendelkezünk, amelynek működési elvét ha nem is érthetjük meg minden részletében, a pontos, eredményes és élvezetes munka érdekében mégis érdemes az alapokat megismerni. Különösen igaz ez akkor, ha egy-egy műszer közvetlenül a kísérlet lebonyolításában, az adatgyűjtésben kap kritikus szerepet, hiszen megeshet, hogy adatainkat nem várt módon torzítja egy-egy helytelenül vagy nem átgondolt módon használt eszköz.

A modern idegtudományokban a vizuális ingerek prezentálásakor gyakran van szükség precíz időzítésre, az inger pontos megjelenítésre. Mégis, a legnagyobb korlátot gyakran az inger bemutatására használt eszközök jelentik (Bukhari & Kurylo, 2008; Matsumoto, Shinoda, Matsumoto, Funada, Minoda, Mizota, 2013). A képmegjelenítésre több eszköz is a rendelkezésünkre áll. A korai időkben a vizuális ingerek időben pontos megjelenítését tachistoszkóppal végezték (Mollon & Polden, 1978). Modernebb, de hasonlóképpen mechanikus eszközök a mechanikus redőnyök, amelyek komplex és drága felszerelések, igaz, igen precíz kísérlet végezhető velük (Packer és mtsai, 2001; Wiens, Fransson, Dietrich, Lochmann, Ingvar és Ohman, 2004; Fischmeister és mtsai, 2010). Szóba jöhetnek még a elektromosan vezérelt ferromágneses, folyadékkristály alapú szűrők, amelyekkel a két szembe alternáló módon érkező ingerek időzíthetők (Janssen, Vogels, Orban, 1999) de ezek szintén nehézkesek és drágák. Egyszerűbb ingereket, pl. rácsmintát gyakorlatilag késedelem nélkül megjeleníthetünk oszcilloszkópon, de ez az összetett stimulusok esetében nem használható (Orban & Spileers, 1985). A kísérlet kivitelezésében így inkább a költséghatékonyabb PC-ken keresztül történő vezérlés és az azokhoz tartozó monitorok használata terjedt el. A gyakorlatban eddig ez az esetek többségében katódsugárcsőves (cathode ray tube, CRT) monitort, ritkább esetben folyadékkristályos (liquid crystal display, LCD) kijelzőt jelentett. Mivel ennek a két eszköznek alapvetően más a technikai háttere, a különböző típusú ingerek megjelenítése velük más-más korlátok között valósítható meg.

Ebben a bemutatásban a kéttípusú monitor ingermegjelenítésének idői karakterisztikájára, precizitására fókuszálunk. Megvizsgáljuk, hogy a köztudatban a gyors és precíz, egymást követő ingermegjelenítésre kevésbé alkalmasnak tartott LCD monitorok milyen alternatívát jelenthetnek a CRT monitorok mellett olyan ingerlési körülmények között, amelyek pontos időzítést és rövid expozíciós időt igényelnek nemcsak magával a „célingerral” kapcsolatosan, hanem a „célingerek” között eltelt időben is. Ilyen helyzet lehet például az ismétlési vakság (Kanwisher, 1987), a figyelmi pislogás (Raymond, Shapiro, Arnell, 1992), az ún. *flicker*-illúziók (Chatterjee, Wu, és Sheth, 2011) és az ún. *double flash* illúziók (Shams, Ma, Beierholm, 2005). Továbbá a vizuális maszkolást felhasználó kísérletek, illetve mindazok, melyek mozgó vagy gyorsan villogó ingereket igényelnek. Ennek fényében megvizsgáljuk, hogy a kísérletben elméletben meghatározott ingerprezentációs idők miként jelenhetnek meg a valóságban a vizsgálati személyek előtt a kísérlet közben, hiszen végső soron ez az adatgyűjtés fázisa, és a helyes ingerlési mód megválasztása kritikus lehet. Attól függően pl., hogy milyen képmegjelenítési

módot használunk a méréseink során, az eseményhez kötött potenciálok latenciája szignifikánsan eltérést mutathat (Karanjia, Brunet, ten Hove, 2009; Matsumoto és mtsai, 2014).

Mint majd láthatjuk, az inger megjelenésének valódi ideje igen nagy változatosságot mutathat ahhoz képest, amit a rövid ingerprezentációkat használó cikkekben a képernyő frissítési frekvenciája alapján kalkulálnak (Elze, 2010; Wang, Nikolić, 2011). A színek, kontraszt, fényerősség, fényerősség-állandóság vagy homogenitás beállításával csak említés szintjén foglalkozunk, mivel ezek a kérdések messze meghaladják a jelenlegi munka kereteit. A cikkben így a szürke árnyalatos képek alkotásáról beszélünk, amelyet a köznyelv fekete-fehér képként ismer.

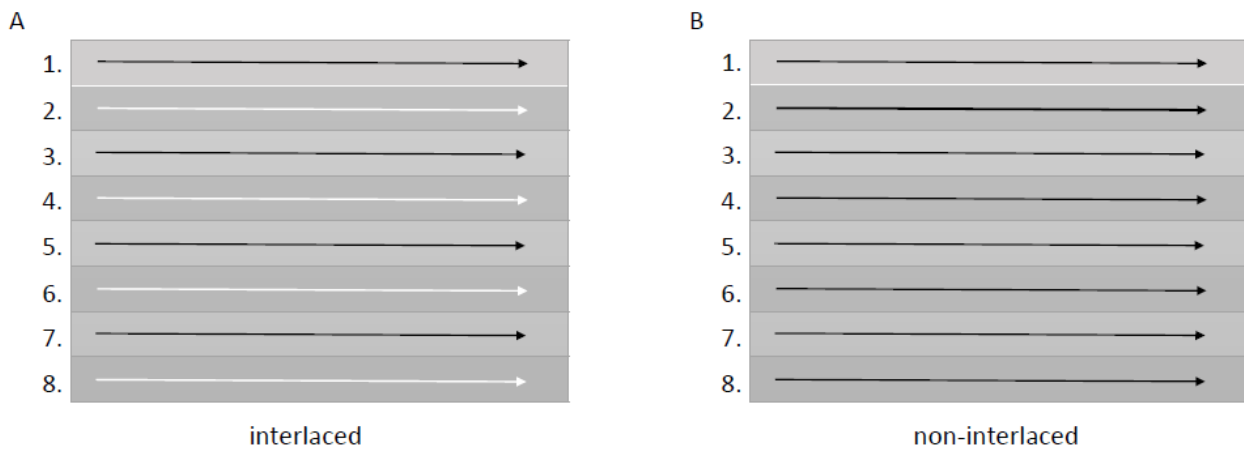
A CRT MONITOR

A CRT monitor a régebbi technika, melynek működési elve alapján a régi típusú televíziókészülékek is működnek. A vizuális laborok többségében ez a monitortípus található meg, ezért a területhez kapcsolódó fogalmak többsége is ehhez a technikához fűződik (Brainard, 1989; Sperling, 1971; Sherr, 1993; Travis, 1991). A képmegjelenítő működésének alapját az úgynevezett katódsugárcső jelenti, maga a CRT rövidítés is ezt a technológiát jelzi. A katódsugárcső, ahogy a neve is mutatja, egy cső, aminek az egyik végén elhelyezett katód elektronokat bocsát ki a cső másik vége felé. Ezeket a megfelelő felbontás elérésének érdekében egy úgynevezett Wehnelt-henger egy nyalábba fókuszálja, és nagy sebességgel vezeti a cső másik vége, az anód felé, ahol a képcső belső rétegére felvitt lumineszkáló rétegbe, az úgynevezett luminofor ernyőbe csapódva fényt bocsátanak ki. A luminofor rétegben használt anyagtól függően a fény kibocsátásának időtartama igen tág sávban mozoghat, a másodperc milliomod részétől akár órákig is terjedhet. Monitorok esetében általában P22, P15, P31 foszfort használnak, mellyel az elektronok becsapódására az említett foszforréteg luminanciája gyorsan emelkedik és maximumát szinte azonnal (1.5 ms) eléri. Ezután az energiája exponenciális csökken (Sherr, 1993). Gyakran erre az értékre hivatkozva jellemzik a CRT monitorok képmegjelenítésének időbeli precizitását. Ez a meghatározás azonban, tekintve a monitoron történő képmegjelenítés technikáját, félrevezető lehet.

A képmegjelenítés elve

A CRT-monitorokon (mint ahogy a többi monitoron is) a képet képpontokra bontva, úgynevezett pixelekben rajzolják ki. Minden egyes pixel egy bizonyos színben és adott fényerősségben világít, így a pixelek összessége, a pixelmátrix, egy képet rajzol ki a monitoron. A pixelek száma, azaz, hogy függőlegesen és vízszintesen hány képpontot tartalmaz egy monitor, adja a felbontást. Ez jellemzően VGA: 640x480, SVGA: 800x600, XGA: 1024x768, SXGA: 1280x1024, UXGA: 1600x1200, HD: 1920x1080 pixel lehet. Minél nagyobb a felbontás, annál

részletesebben rajzolhatjuk ki a képet. Egy monitor általában többféle felbontást képes használni, azt azonban érdemes tudni, hogy a különböző felbontásokat nem mindig azonos képfrissítési frekvencián képes megjeleníteni.



1. ábra: Az első ábrán (A) az interlaced képmegjelenítés logikája látható ahol első lépésként a fekete nyillal jelzett sorok kerülnek kivilágításra, tehát a páros sorok, és azt követően a fehér nyillal jelzett páros sorok. A (B) ábrán a non interlaced vagyis progreszív képmegjelenítés van ábrázolva.

Egy inger megjelenítése a CRT-monitorokon az elektronoknak a különböző képpontokat alkotó luminofor rétegbe való ütközésével valósul meg. Az előbbieken említett Wehnelt-henger alapesetben a monitor középpontjába fókuszálja az elektronokat. Klasszikus esetben ez a CRT monitorok nullpontja. Ezeknek a sugaraknak az eltérítésével a monitor különböző pontjaira (pixeleire) helyezhető át a fókuszpont, így abban a pontban válthatunk ki felvillanást. Egy kép felrajzolásához tehát a fókuszált elektronsugarat gyorsan végig kell vezetni a pixelek sorozatán, hogy így pontról-pontra kirajzolja a képet; ezt nevezik „pásztázásnak”. A pásztázás mindig a legfelső sorban, balról az első képponttal kezdődik és halad tovább a jobb oldali képpontok felé. A sor utolsó pixelét elérve a következő sor bal oldalán folytatja a pásztázást és ez így megy mindaddig, míg el nem éri a legalsó sor jobb oldalán található utolsó pixelt. Ezzel kirajzolt egy teljes képet (1. ábra). Ezt a képet az angol szakirodalomban 'frame'-nek nevezik és azzal az idővel jellemzik, ami ahhoz szükséges, hogy az első, bal felső pixelről a pásztázás elérjen a monitor utolsó, jobb alsó pixeléig, tehát az egy teljes kép kirajzolásához szükséges idővel. A *frame* reciproka megadja a monitor frissítési frekvenciáját, ami az egy másodperc alatt bemutatott teljes képek számát jelenti. Így például a kísérletekben gyakran használt 16.7 ms-os ingerprezentációs idő (vagyis egy *frame*) az általában használt 60Hz-es frissítési frekvencia esetén jön létre. Ezt az időt veszik alapul a kutatások megtervezésekor az ingerek vezérlésének, kivetítési idejének meghatározásához.

Egy *frame* felrajzolásának a CRT-technikában két alapvető módszere létezik, és ezek nagymértékben meghatározzák a kapott kép jellemzőit. Az egyik ilyen technikát fent ismertettük, mikor a pásztázó sugár egyesével halad pixelről

pixelre és sorról sorra (1. ábra). Ezt nevezik progresszív *non-interlaced* (rövidítése NI, jelölése a felbontás elé írt „p”, mint pl. p1920x1080) letapogatásnak, mivel az összes sor egymást követően kerül letapogatásra. A másik lehetőség a váltott soros, vagy *interlaced* letapogatás (jelölése a monitor felbontása előtt vagy után kis „i”-betűvel történik, pl. i640x780, 1.ábra) ezzel a technikával alakul ki a hagyományos TV-kép is. Ilyenkor egy teljes kép kirajzolása két részletben történik: az első részletben csak a páratlan, a másodikban pedig csak a páros sorok kerülnek letapogatásra. A 25 fps (*frame per second*) képfriessítés tehát, 50 fél-képkockának felel meg egy másodperc alatt. Ez a frissítési frekvencia azonban igen alacsony és vibrálása miatt bántja a szemet. A modernebb készülékek már minimum 60, vagy még ennél is magasabb frissítési frekvencián dolgoznak. Az újabb CRT monitorok már mind képesek a progresszív megjelenítésre, a régebbiek viszont a magas felbontású képeknél automatikusan *interlaced* módba váltanak. A progresszív technika kontrasztosabb, „tisztább” képet eredményez. Mélységélességük kisebb, jobban lehet a fókuszt kiemelésre használni, míg a soros letapogatás egyenletesebb fényerősséget és ezzel együtt kisebb villódzást eredményez. Mélysélessége jó, azonban gyors mozgásoknál feltűnően sávozott, töredezett lehet a képe, és különösen érzékeny a tömörített képekre.

A CRT monitorok működési elvéből következően tehát nagyon fontos az előbb említett foszforréteg luminanciájának karakterisztikája, hiszen ez határozza meg a monitor válaszidejét, vagyis azt, hogy milyen gyorsan kerül egy pixel aktiválásra. Az utánvilágítás vagy foszforeszcencia pedig az az idő, amíg az elektronsugár által felvillantott képpont még látható. Ez az érték nem lehet túl „gyors”, mert akkor a kép pulzálna, mivel ebben az esetben egy kép kirajzolása után közvetlenül az alsó sor jobban világítana, mint a felső, ami villódzást eredményezne (ez a képernyő frissítési frekvenciájának növelésével kiküszöbölhető). Nem lehet azonban túl lassú sem, mivel ez értelemszerűen növelné a monitorra kitett kép késését, így utóképet eredményezne és a kép mozgó részei csíkot húznának. CRT monitorok esetében így ez az érték néhány ms-mal jellemezhető, mely rendkívül jó válaszidőt biztosít, amit az előbb említett módon a képmegjelenítési technika szorít korlátok közé.

FOLYADÉKKRISTÁLYOS MONITOROK

A folyadékkristályos monitorok használata kísérleti célra a '90-es években kezdett elterjedni és napjainkra egyre inkább kiszorítják a CRT monitorokat a laborokból is. A technika hátterét a Friedrich Reinitzer (1888) által felfedezett folyadékkristályos halmazállapotú anyagok teremtették meg, amelyek mechanikai tulajdonságaikban folyadékokra emlékeztetnek, tehát makroszkóposan vizsgálva őket folyékonyak, mikroszkópos szinten viszont szilárd testekhez hasonló, kristályos rendezettséget mutatnak. A kijelzők esetében az úgynevezett Nematikus folyadékkristályok alkalmazása terjedt el, ezek ugyanis hosszú, fonalszerű, pálcika alakú molekulák, melyek molekuláris

tengelye folyadékkristályos állapotban egymással párhuzamos, mint például a gyufaszálak a dobozban. Ezek a molekulák jellemzően dipólus szerkezetűek, így elektromos térben polaritásuknak megfelelően a tér irányába fordulnak. Másrészt királisak, így a rajtuk áthaladó polarizált fény síkját elforgatni képesek (Baus, Marc, Colot, Jean-Louis (1989); Maier és Saupe, (1958).

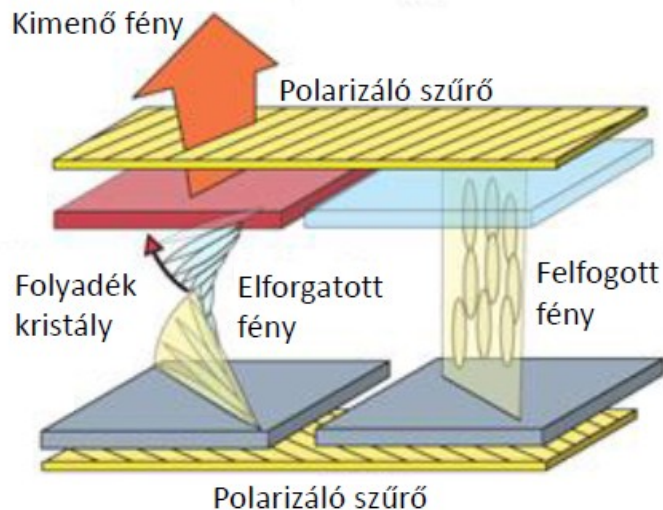
Működési elv

Az LCD-k (Liquid Chrystal Display) működéséről és tulajdonságaikról, felhasználhatóságukról a gyakorlatban több tanulmány foglalkozott már részletesebben (Elze, 2010; Liang, Badano, 2007; Elze, Tanner, 2009). Ennek az eszköznek a hasznosságáról a laborokban úgyszintén a működési elvük fényében alkothatunk teljes képet.

Az LCD monitorok működési elve mindig azonos technikára, az úgynevezett folyadékkristályos képcellára épül. Az LCD monitorok első jelentős különbsége a CRT monitorokkal szemben, hogy ezek a monitorok az úgynevezett passzív (nem önvilágító) képmegjelenítők közé tartoznak. Működésük során tehát nem keletkezik fény, a megjelenítő fényforrást igényel, melyet vagy a kijelző mögött helyezhetnek el (transzmissziós LCD), vagy a kijelző előtt, általában a képernyő oldalán (reflexiós LCD). A fényforrás régebben úgynevezett hidegkatódos lámpát (Cold Cathode Fluorescent Lamp, CCFL) takart, aminek fényét egy prizmarendszer terítette szét egyenletesen a megjelenítőn. Ez a technika esetenként foltos, nem egyenletes megvilágítást eredményezett, amit nagymértékben orvosolt a LED-technológia (Light Emitting Diode), ahol fényforrásként egymástól pár centire elhelyezett LED-eket alkalmaztak. Mindennek ellenére a pszichofizikában megkövetelt egyenletes háttérvilágítás precíz beállítása a mai napig problémás (Wiens, Fransson, Dietrich, Lohmann, Ingvar és Ohman, 2004).

Az előbbiekben leírtak szerint létrehozott fény, mint ahogy a természetes fény is, polarizálatlan, azaz nem jellemezhető egy kitüntetett rezgési síkkal. Először mindig egy polarizáló szűrőn halad keresztül, mely csak egy adott síkra párhuzamos fényt enged át, így polarizálja a fényt. Ezután a polárszűrő után két üveglap között található a folyadékkristály réteg, a folyadékkristály réteg után pedig egy másik polárszűrő, melynek polarizációs síkja az elsőre merőleges, ezzel lehetetlenné teszi az első szűrő által előállított polarizált fény tovább haladását (ha tehát az első szűrő például vízszintesen polarizál, akkor a második szűrő függőleges síkú). Itt kap szerepet a folyadékkristály réteg, amely, mint említettük, két, a belső oldalukon átlátszó ónoxid vezető réteggel bevont mikrobarázdált üveglemez közé van helyezve. A mikrobarázdákat úgy viszik fel az üveglapokra, hogy feszültségmentes állapotban a folyadékkristály molekulái ehhez igazodva egy elcsavarodott, rendezett állapotot vesznek fel, így 90°-al elforgatják a beérkező fénysugarat. Ezzel lehetővé teszik számukra a túloldali polariáló szűrőn való távozást. Feszültség hatására ez a térszerkezet megváltozik mivel a molekulák a dipólusos tulajdonságuknál fogva az elektromos térnek

megfelelően rendeződnek. Az elcsavarodott szerkezet megszűnésével a fényt sem forgatja el 90° -ra ezért az elakad a második polárszűrőn (2. ábra) (Baus, Marc, Colot, Jean-Louis, 1989).



2. ábra: Az ábra bal oldalán a kikapcsolt állapotban lévő képcellát (TN-panel) látjuk, ahol Folyadék kristály molekulái elforgatják a fényt, hogy az a felső polarizátoron kiléphessen. Az ábra jobb oldalán a feszültség alá helyezett cellában a folyadék kristály részecskék a feszültségnek megfelelően rendeződnek így nem forgatják el a beérkező fényt, mely elakad a második polarizáló szűrőn. Simon Baker, updated 10 December 2013 (TFT CENTRAL)

Tehát a folyadékkristály réteg kikapcsolt módban (feszültség nélkül) 90° -al elforgatja a fény polarizációs síkját, ilyenkor a második polarizációs szűrő átengedi a megfordított fényt, bekapcsolt módban (feszültség alatt) azonban a molekulák az elektromos térnek megfelelően párhuzamosan rendeződnek, nem fordítanak a belépő fény síkján, amely elnyelődik a második polarizáló szűrőn. Míg a CRT monitoroknál a monitor válaszidejét legnagyobb mértékben a P22 foszforréteg határozta meg, az LCD-k esetében ugyan ezt az értéket a Nematikus folyadékkristályok feszültség hatására történő átrendeződése (és természetesen visszarendeződése) szabja meg. Ez az átrendeződés a CRT monitorok fényképzéséhez hasonlítva sokkal lassabb reakció. Az LCD monitoroknak ez a viszonylagos lomhasága tette szükségessé a monitor jellemzésére az úgynevezett „válaszidő” fogalmának a bevezetését, mely milliszekundumban (ms) hivatott megadni, hogy a monitor milyen gyorsan képes egyik kristályállapotból a másikba váltani.

Így már érthető is a LCD monitorok egyik legnagyobb hátránya, a kevésbé precíz ingervezérlés. Érdeemes megjegyezni, hogy a válaszidő nem csupán a monitor típusától függ, hanem attól is, hogy a monitort milyen beállítások mellett használjuk (Elze T 2010; Liang H, Badano 2007; Elze, Tanner, 2009). Így

pl.: általában sokat javíthatunk a monitorunk válaszsidején, ha nem teljesen fekete vagy fehér a kiindulási állapotunk. Az úgynevezett „over drive” technikával egy *frame* erejéig magasabb feszültséget vezetnek a rácspontba, ezzel javítva a képpont labor körülményekben nyújtott választulajdonságait (Lagroix, Yanko, Spalek, 2012). Természetesen mivel ezek a monitorok nem elektromos sugarakat használnak a kép megjelenítéséhez, elektromos sugárzást sem bocsájtanak ki magukból, ami az előnyükre írható az összehasonlítás során.

Érdemes talán még megemlíteni, hogy a fény útjának rétegeken keresztül történő vezetése áll a háttérben az LCD technika egy másik jól ismert hátrányának, az ún. láthatósági szög viszonylag kis értékeinek. Ezt vízszintes és függőleges fokokban szokták megadni pl.: $160^\circ/140^\circ$, ami a monitor felszínére merőleges irányhoz képest vízszintesen 80° jobbra és balra, és függőlegesen 70° fent és lent betekintési szöget jelent. Mivel a kísérletek során a vizsgálati személy általában a képernyő előtt ül, ezzel a hátránnyal laboratóriumi körülmények között ritkán kell számolnunk; érdemes azonban odafigyelni a nagyobb képernyők használatakor, mivel a pszichofizikai mérések során a vizsgálati személyek gyakran nagyon közel ülnek a monitorhoz. Ilyen kivételes esetben az alanyok a nagyméretű szélesvásznú megjelenítők és a kisebb betekintési szög miatt foltosnak érzékelhetik a képernyő széleit, akár illuzórikus mozgást is tapasztalhatnak.

A képmegjelenítés elve

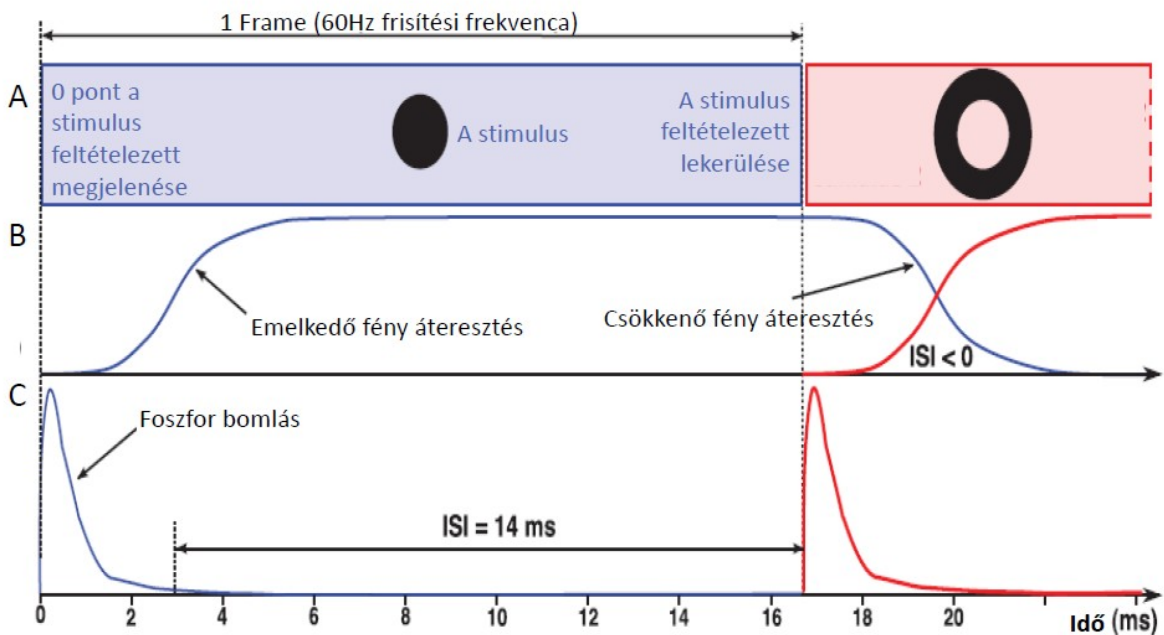
A pixelek vezérlésének elve hasonló a CRT monitoroknál leírtakhoz, melyre két technikai megvalósítás terjedt el. Az úgynevezett *passzív mátrixos LCD technológiában* a két üveglap között található a folyadékkristály réteg. A vezérlésre szolgáló vezetékeket erre az üveglapra viszik fel, ami lényegében egy egyszerű, elektromosan vezető rács, az egyik üveglapon a sorok (X), (Y) vezérlését megvalósító vezető sínekkel. Ha egy cella egy időben kap áramot az X és az Y rácstól, akkor aktiválódik. Az egyes képpontok vezérlése így kezdetben egy pixelsor kijelölésével (X) kezdődik, miután az oszlopokon (Y) végig lépkedve aktiválódnak az egyes cellák. A feszültség nagyságával a fényerőséget lehet szabályozni. A technika egyszerűen oldja meg a vezérlést, de több hátránya is van. Az ilyen képernyők általában lassúak és némely esetben úgynevezett árnyékosság jelentkezhet használatuk közben. Mivel az előbb kismértékben gerjesztett pontokban a változás más sebességgel zajlik mint ahol ilyen gerjesztés nem történt. A passzív mátrixos technika mára már túlhaladott, és csak az olcsóbb, régebbi, hordozható számítógépekben található meg.

A passzív mátrixos kijelzők mindkét említett hátrányát kiküszöböli az úgynevezett aktív mátrixos megjelenítés, aminek lényege, hogy minden egyes cellát egy külön tranzisztor vezérel. A tranzisztorokat egymás mellé rendezve egy vékony filmet képeznek belőlük, amit Thin Film Transistoroknak (TFT-nek) nevezünk. Az így létrehozott filmréteget LCD panelek vezérlésére használják, ahol minden tranzisztor egy LCD pont kapcsolását képes elvégezni, és vagy tölti

(bekapcsolt állapot), vagy kisüti (kikapcsolt állapot) az adott cellánál a kapacitást. Lényeges pont, hogy a cella töltése állandó és csak a következő képfrissítési ciklusban változik, ha arra szükség van. Ebből látható is az LCD-k egyik legnagyobb előnye a CRT-k hez képest. Míg a CRT-nél a pixelben történt foszfor felvillanás kialszik, ezért vibrál a kép, az LCD-k nem villognak, mivel az egyes cellák a következő képfrissítésig az legutoljára beállított állapotban maradnak.

CRT VAGY LCD?

Ahogy a cikk elején is említettük a „frame” lesz az alapvető egység a stimulus időtartamának meghatározására, de mint ahogy a fentiekben láthattuk, a *frame* érdemes az adott technika ismeretében értékelni. Az LCD monitorok ugyan sokkal lassabb válaszidővel jellemezhetőek (3b. ábra), de a kép megjelenítési technikájának köszönhetően előnyt is élveznek a CRT monitorokkal szemben (3c. ábra), mivel a LCD monitorokra, amint azt fentebb írtuk, megjelenítési technikájuknak köszönhetően nem jellemző a vibrálás. Az inger nem csak felvillan, hanem kirajzolás után folyamatosan fent is marad a kijelzőn. Így az általuk előállított inger közelebb áll ahhoz a feltételhez, ami a kísérlet tervezésénél elgondolásunkban szerepelni szokott (3a. ábra).



3. Ábra: (A) A feltételezett ingermegjelenítés bemutatás és inger levételt látjuk két egymást követő frame esetében. Az elsőben egy kört a másodikba egy a kör köré rajzolható gyűrűt mutatunk be a képmegjelenítőn. (B) Az LCD technológia által a valóságban megjelenített ingerprezentációját mutatja be (van Gaal és mtsai 2009). (C) A CRT technika a valóságban megjelenített inger prezentációját mutatjabe. (Elze, 2010)

Ugyanakkor az inger pontos vezérlése, időzítése legalábbis a CRT-monitorokhoz képest gyengébb, az ingerek frame-ről frame-re történő pontos időzítése kevésbé precíz. A luminofor ernyő működési elvéből következik, hogy a CRT monitorok esetében a stimulusok-prezentálása nem mint egy állandóan jelenlévő inger, hanem inkább mint ingerpulzusok összessége jelenik meg. Igaz, hogy a gyors felvillanások a látórendszerünkben ugyan fuzionálnak (Kristofferson, 1967; Andrews, White, Binder és Purves, 1996; Carmel, Lavie és Rees, 2006), de ez a fúzió nem tökéletes, ahogy az elektrofiziológia felvételekben is észlelhető (Wollman és Palmer, 1995; Krolak-Salmon és mtsai, 2003). Ez a technológia tehát megnehezíti a stimulus bemutatási idejének pontos kiszámítását (Bridgeman, 1998). Például, ha egy kép normálisan 3 frame erejéig van kivetítve 100 Hz-es frissítési rátával, a teljes időtartam, amíg a képernyő fényt bocsájt ki, nem lesz $3 \times 10 = 30$ ms, hanem egy ennél jóval rövidebb időt jelent. Ez függ a felvillanás időtartamától, amelyet viszont a foszfor bomlási jellemzői határoznak meg.

Tehát van olyan típusú kutatás ahol a CRT-t érdemesebb használni, de van olyan ahol az LCD-t (Lagroix, Yanko, Spalek, 2012), és az is könnyen előfordulhat, hogy mindegy, milyen megjelenítőt használunk vizuális inger prezentálásakor (Kihara, Kapahara és Takeda, 2010). Az, hogy mennyiben érintenek minket az egyes technika korlátai, az az általunk megalkotott kutatási tervtől függ. Az azonban tisztán látszik, hogy a rohamos fejlődésének köszönhetően az LCD technika minden területen szépen beéri, sőt leghagyja a CRT monitorokat. Az újabb modellekkel akár a CRT monitorok képmegjelenítését is szimulálni lehet, annak érdekében, hogy elkerüljük az LCD monitoroknál a lassú válaszdőből származó „inger összeűszűsítést”. Ez esetben egy 120 Hz képfrissítéssel rendelkező LCD monitor minden második *frame*je egy teljesen fekete kép lesz mely így hasonlónak válik egy 60Hz-s CRT monitor „villogó” képmegjelenítéséhez (Wang & Nikolić, 2011), még ha az ilyen típusú megjelenítők egyelőre csak a nagyon magas, professzionális árkategóriában érhetők is el. Ezért tehát ha egy kutatásban azt látjuk, hogy LCD monitort használtak, nem kell rögtön gyanakodnunk az eredmények megbízhatóságát illetően.

Összefoglalva tehát, a kérdésre, hogy melyik monitor alkalmasabb a vizuális ingereket alkalmazó kísérletekben, valójában mindig csak egy adott kutatási terv ismeretében lehet válaszolni. Figyelembe kell venni, hogy mi a kérdésfeltevés, hogy pszichofizikai vagy elektrofiziológiai mérésről van szó és nem utolsó sorban hogy milyenek a vizsgált vizuális struktúra tulajdonságai.

Ez a kutatás az OTKA 83671 (S. Gy.) és TAMOP 4.2.4. A/2-11/1-2012-0001 (Cs. P.) támogatásával valósult meg. "A kutatás a TÁMOP-4.2.4.A/2-11/1-2012-0001 azonosító számú Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg."

IRODALOMJEGYZÉK

- Andrews, T. J., White, L. E., Binder, D., and Purves, D. (1996). Temporal events in cyclopean vision. *The Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, (93), 3689–3692.
- Baus, Marc; Colot, Jean-Louis (1989). "Ferroelectric nematic liquid-crystal phases of dipolar hard ellipsoids". *Physical Review* (9), 5444-5446
- Brainard, D. H. (1989). Calibration of a computer controlled color monitor. *Color Research & Application* (14), 23–34.
- Bridgeman, B. (1998). Durations of stimuli displayed on video display terminals: $(n - 1)/f + \text{persistence}$. *Psychological Science* (9), 232–233.
- Bukhari, F., & Kurylo, D.D. (2008). Computer programming for generating visual stimuli. *Behavioral Research Methods* (40), 38-45.
- Carmel, D., Lavie, N., and Rees, G. (2006). Conscious awareness of flicker in humans involves frontal and parietal cortex. *Current Biology* (16), 907–911
- Chatterjee, G., Wu, D. A., & Sheth, B. R. (2011). Phantom flashes caused by interactions across visual space. *Journal of Vision* (11), doi: 10.1167/11.2.14.
- Elze T. (2010) Misspecifications of stimulus presentation durations in experimental psychology: a systematic review of the psychophysics literature. *PLoS One*. (9). pii: e12792. doi: 10.1371/journal.pone.0012792.
- Elze T (2010) Achieving precise display timing in visual neuroscience experiments. *Journal of Neuroscience Methods* (191), 171–179. doi: 10.1016/j.jneumeth.2010.06.018
- Elze T, Tanner TG (2009) Liquid crystal display response time estimation for medical applications. *Medical Physics* (36), 4984–4990.
- F. Reinitzer (1888) "Beiträge zur Kenntnis des Cholesterins", *Monatshefte für Chemie* (9), 421–41.
- Fischmeister, F. P. S., Leodolter, U., Windischberger, C., Kasess, C. H., Schopf, V., Moser, E., and Bauer, H. (2010). Multiple serial picture presentation with millisecond resolution using a three-way LC-shutter-tachistoscope. *Journal of Neuroscience Methods* (30) 187(2):235-42. doi: 10.1016/j.jneumeth.2010.01.016. Epub 2010 Feb 1.

- Janssen P, Vogels R, Orban GA. (1999) Macaque inferior temporal neurons are selective for disparity-defined three-dimensional shapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences U S A.* (14):8217-22.
- Kanwisher NG (1987) Repetition blindness – type recognition without token individuation. *Cognition* (27), 117–143.
- Karanjia R, Brunet DG, ten Hove MW. (2009) Optimization of visual evoked potential (VEP) recording systems. *Canadian Journal of Neurological Sciences* (1), 89-92.
- Kihara K, Kawahara J, Takeda Y. Kristofferson, A. B. (1967). Successiveness discrimination as a two-state, quantal process. *Science* (158,) 1337–1339.
- Kihara K, Kawahara J, Takeda Y. (2010) Usability of liquid crystal displays for research in the temporal characteristics of perception and attention. *Behavior Research Methods* (4), 1105-13. doi: 10.3758/BRM.42.4.1105.
- Krolak-Salmon, P., Henaff, M. A., Tallon-Baudry, C., Yvert, B., Guenot, M., Vighetto, A., Mauguière, F., and Bertrand, O. (2003). Human lateral geniculate nucleus and visual cortex respond to screen flicker. *Annals of Neurology* (53), 73–80
- Lagroix HE, Yanko MR, Spalek TM. (2012) LCDs are better: psychophysical and photometric estimates of the temporal characteristics of CRT and LCD monitors. *Attention, Perception, & Psychophysics* (5), 1033-41. doi: 10.3758/s13414-012-0281-4.
- Liang H, Badano A (2007) Temporal response of medical liquid crystal displays. *Medical Physics* (34), 639–646.
- Maier W. and Saupe A.; Saupe (1958) Eine einfache molekulare theorie des nematischen kristallinflüssigen zustandes *Zeitschrift für Naturforschung* (13), 564-566
- Matsumoto CS, Shinoda K, Matsumoto H, Funada H, Minoda H, Mizota A. (2013) Liquid crystal display screens as stimulators for visually evoked potentials: flash effect due to delay in luminance changes. *Documenta Ophthalmologica* (2), 103-12. doi: 10.1007/s10633-013-9387-9. Epub 2013 May 22.
- Matsumoto CS, Shinoda K, Matsumoto H, Funada H, Sasaki K, Minoda H, Mizota A. (2014) Comparisons of Pattern Visually Evoked Potentials Elicited by Different Response Time Liquid Crystal Display Screens. *Ophthalmic Research* (3), 117-123.
- Mollon, J. D., and Polden, P. G. (1978). Time Constants of Tachistoscopes. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* (30), 555–568.
- Packer, O., Diller, L. C., Verweij, J., Lee, B. B., Pokorny, J., Williams, D. R., Dacey, D. M., and Brainard, D. H. (2001). Characterization and use of a digital light projector for vision research. *Vision Research* (41), 427–439.
- Raymond JE, Shapiro KL, Arnell KM (1992) Temporary suppression of visual processing in an RSVP task - an attentional blink. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception* (18), 849–860
- Shams L, Ma WJ, Beierholm U. (2005) Sound-induced flash illusion as an optimal percept. *Neuroreport*. (17), 1923-7.

- Sherr S (1993) *Electronic Displays*. New York: Wiley
- Sperling G (1971) Flicker in computer-generated visual displays - selecting a CRO phosphor and other problems. *Behavior Research Methods* (3), 151–153.
- Travis D (1991) *Effective Color Displays: Theory and Practice*. New York: Academic Press
- Wang P, Nikolić D. (2011) An LCD Monitor with Sufficiently Precise Timing for Research in Vision. *Front Hum Neurosci*. Aug 18;5:85. doi: 10.3389/fnhum.2011.00085. eCollection 2011.
- Wiens S, Fransson P, Dietrich T, Lohmann P, Ingvar M, Ohman A. (2004) Keeping it short: a comparison of methods for brief picture presentation. *Psychological Science* (4), 282-5.
- Wollman, D. E., and Palmer, L. A. (1995). Phase locking of neuronal responses to the vertical refresh of computer display monitors in cat lateral geniculate nucleus and striate cortex. *Journal of Neuroscience Methods* (60), 107–113.