

A számítási pontosság és robusztusság elemzése analogikai CNN algoritmusok néhány osztályában (42942)

Zárójelentés (2003-2005)

A CNN (Cellular Neural/Nonlinear Networks) tömb a processzáló elemek közötti összekötés súlyok, úgynevezett templatek, beállításával programozható. Templatek sorozatából és lokális logikai műveletekkel komplex úgy nevezett analogikai algoritmusokat lehet felépíteni. Az ilyen típusú algoritmusok futtatására alakították ki a CNN Univerzális Gép architektúrát (Universal Machine [CNN-UM]), amely tárolt programú analóg mikroprocesszor. Ennek analóg VLSI implementációi 10^{12} operáció/s számítási teljesítményt adnak, pontosságuk viszont 6-7 bít (az analog VLSI technológia viszonylagos fejletlenségének következményeként). Komplex tér-idő dinamikával rendelkező rendszerek viselkedésének vizsgálatánál ez a pontosság nem elegendő. Ekkor előtérbe kerülnek az emulált digitális CNN-UM implementációk. Ezeknél esetenként a számítási pontosság állítható.

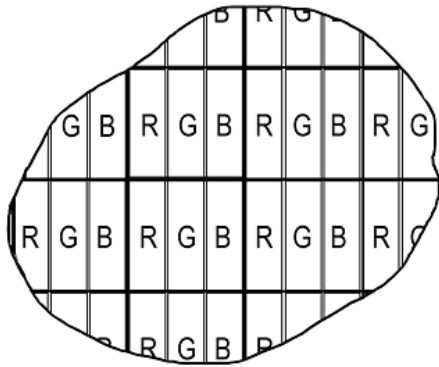
Alapvetően olyan kérdésekre kerestük a választ, hogy mekkora számítási pontosságig érdemes elmenni és ehhez milyen CNN-UM implementáció javasolható.

1. Színészlet kutatása és alkalmazása a teljes képek színi transzformációjánál

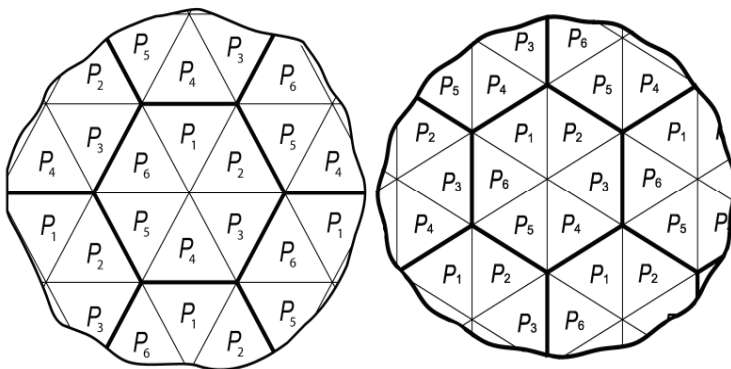
1.1 Színmegjelenítés új képmegjelenítőknél: színi transzformáció az észlelt színt leíró mennyiségekről a modern sok alapszínű képmegjelenítőknél színrendszerére[1].

Az utóbbi években áttörés történt a lapos képmegjelenítő (FPD) technológiákban. Ezeknél a képmegjelenítőknél a színes al-pixel architektúrák nagy szabadsággal tervezhetők, és ezekre vonatkozóan dolgoztunk ki tervezési elveket, hogy az architektúra vizuálisan optimális legyen. Ezen elvek segítségével vizuálisan optimális architektúrák és "image rendering" algoritmusok fejleszthetők ki a sok alapszínű képmegjelenítőkre. Ezekkel a színmegjelenítés pontossága javul és a megjeleníthető színek száma nagy mértékben növekszik. Továbbá, a javasolt új al-pixel architektúrák és "image rendering" algoritmusok kiválóan alkalmasak a gyors CNN transzformáció alkalmazására, illetve megvalósítására.

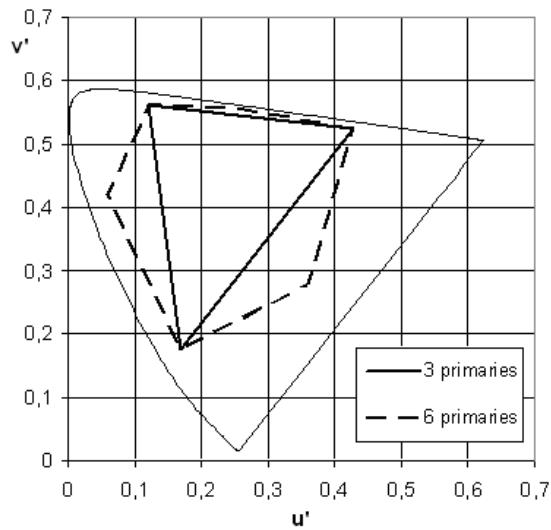
Egy hagyományos architektúra látható az 1. ábrán, és két, általunk kifejlesztett architektúra látható a 2. ábrán. Az 1. és a 2. ábrát összehasonlítva feltűnik, hogy az új architektúrák forgásszimmetrikusak, továbbá 3 helyett 6, illetve 7 alapszínű tartalmazzanak. A több alapszín egyik előnye, hogy a megjeleníthető színek száma növekszik (3. ábra). A másik előnye, hogy - megfelelő al-pixel rendering eljárással – finomabb fényerősségi részletek jeleníthetők meg, így a felbontás növekszik.



1. ábra. Hagyományos al-pixel architektúra, 3 alapszínnel.



2. ábra. Két, általunk kifejlesztett új al-pixel architektúra.



3. ábra. A 3 és a 6 alapszínű image rendering architektúrák színekészletének összehasonlítása

1.2 A színészlelet változása nagy méretű stimulus esetén és ennek modellezése színi transzformációval, valamint az eredmény lehetséges alkalmazása a teljes vizuális immerziójú képmegjelenítők esetén.

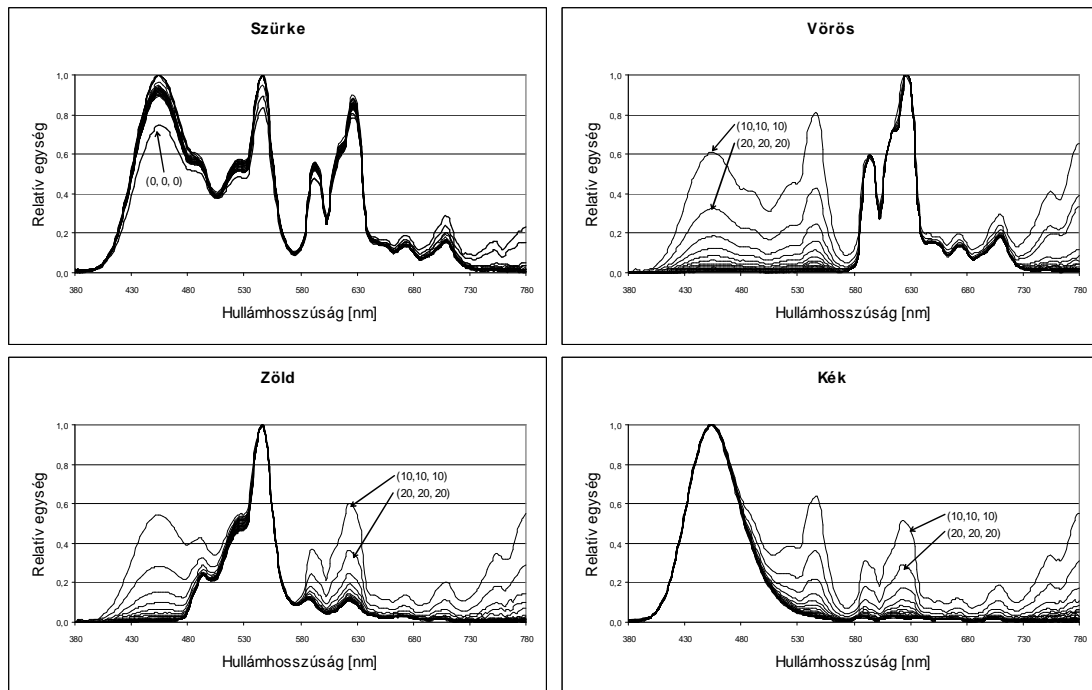
Lakóházak, épületek arculatának kialakítása során a külső és belső falak színét általában egy színmintákat tartalmazó katalógusból választhatja ki a megrendelő. Az építészek gyakorta azzal szembesülnek, hogy az elkészült felület mégsem olyan színű lett, mint várták; általában élénkebb, feltűnőbb lesz a kész fal. Az egyik lehetséges megközelítése a problémának annak vizsgálata, hogy a különböző látószögek alatti észlelés hatással van-e a színészleletre. Ez a jelenség megfigyelhető a napjainkban egyre elterjedtebb nagyképernyős monitorok és három dimenziós projekciók esetén is, melyek lehetővé tették a színminták nagy látószögek alatti vizsgálatát önvilágító stimulusok esetében is.

Munkánkban a színi mérethatást vizsgáltuk meg olyan önvilágító színíngerek esetén, melyek a teljes látómezőt kítöltik.

A jelenség megismerésére teljes belemerüléssel vizsgált és szabványos kis látószög (10° és 2°) alatt látott színíngerek észleletbeli különbsége került összehasonlításra két pszichofizikai módszer, három kísérleti személy és 16 színínger esetén. A kísérlet során alkalmazott két módszer hasonló eredményekre vezetett.

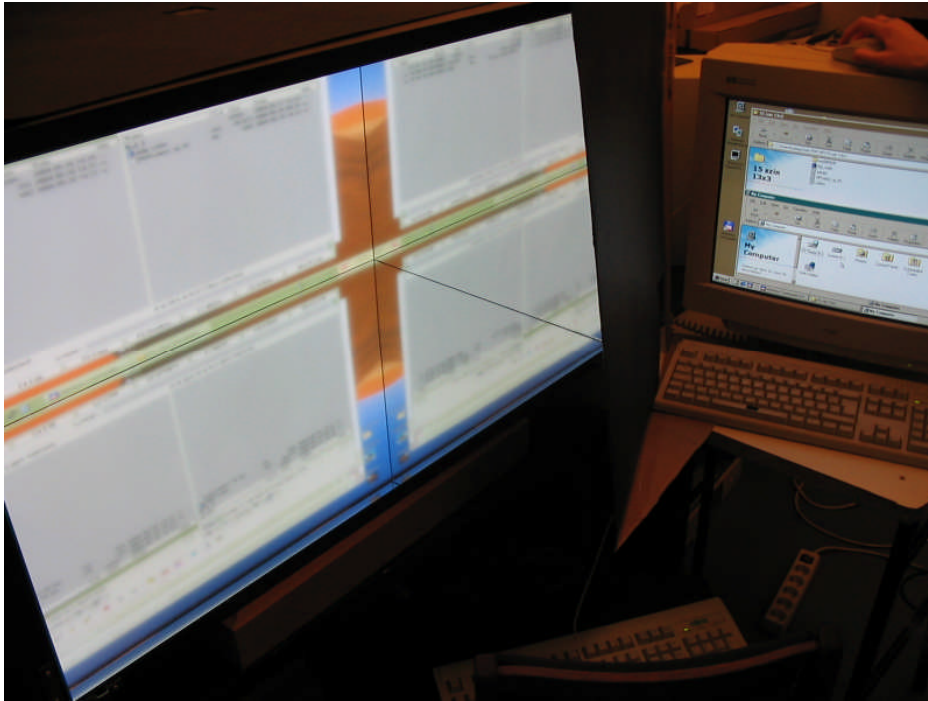
A kísérletek folyamán felmerült szimultán kontraszt hatás kiküszöbölését célzóan a beállítási módszer finomítása pontosabb képet ad a színi mérethatásról. Az eredmények értékelésénél szignifikáns különbséget találtunk a kis minták és a teljes belemerüléssel vizsgált színínger észlelete között. Legjellemzőbb eltérés a világosságészleletnél adódott. Összességében elmondható, hogy bár a 10° -os minta megfeleltetése kisebb hibát eredményez a nagy minta a 2° -os látómezővel való megfeleltetésénél, egyik mérettel történő megfeleltetés sem írja le pontosan a nagy minta színészleletét.

A plazma technológián alapuló képmegjelenítő részletes színíngermetriai jellemzésével is foglalkoztunk, ami növeli a színmegjelenítés pontosságát, és az irodalomban egyedülálló mérési metodológián alapul. A színes monitorok (katódsugárcsőes és folyadékkristályos) jellemzésére már létezett egy IEC ajánlás, azonban ezt mi plazmamonítor jellemzésére alkalmaztuk: mivel a plazmamonítorok a katódsugárcsőes és folyadékkristályos képmegjelenítőkhöz képest más technológiai sajátosságokkal rendelkeznek, ezért saját metodológiát dolgoztunk ki. A spektrális vizsgálatok néhány eredménye a 4. ábrán látható.



4. ábra. Spektrális mérések PDP szintani jellemzésére. Az ábrák relatív spektrális teljesítményeloszlásokat mutatnak, az egyes színi csatornákra külön-külön, különböző DAC értékek esetén.

A vizuális vizsgálatokhoz, vagyis a színi mérethatás kimutatásához szintén az irodalomhoz képest új, egyedülálló berendezést fejlesztettünk ki, amely a homogén, önlágitó stimulusba való teljes belemerülést eredményezi. Az elrendezés fényképe az 5. ábrán látható.

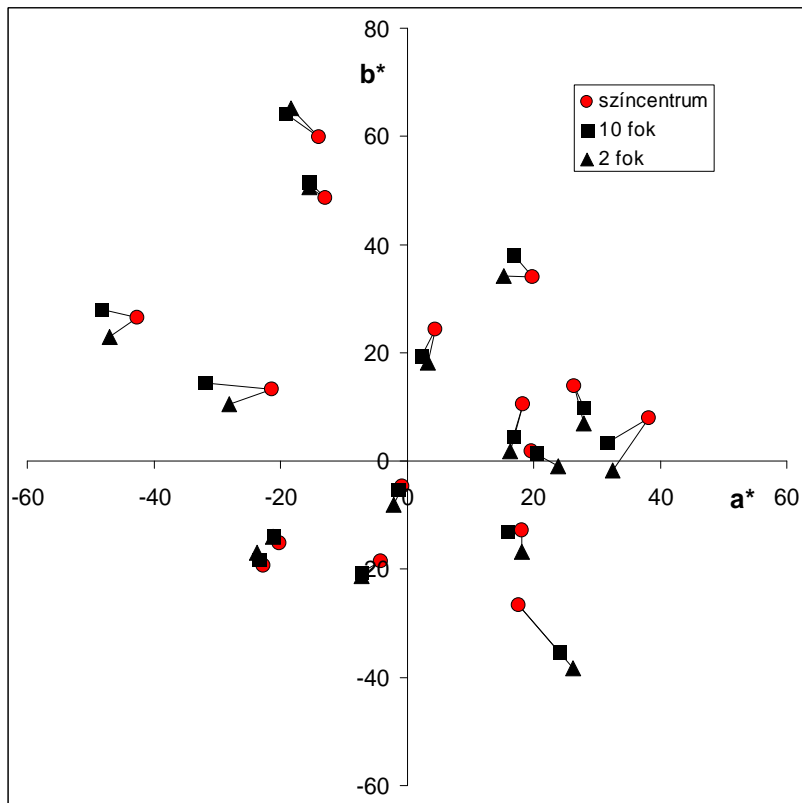


5. ábra. Kísérleti elrendezés a színi mérethatás vizsgálatára

Az 5. ábrán látható két monítor egymáshoz képest úgy helyezkedett el, hogy a megfigyelő felváltva tudta nézni őket, mert a vizuális kísérlet során váltakozva kell a nagy és a kis mintát vizsgálnia. A két monítor közé egy fekete paraván került, mely az éppen nem vizsgált képernyőt kizárta a megfigyelő látómezejéből valamint a CRT megfigyelése esetében meghatározta a pontos nézési távolságot (50 cm – amikor az éppen kítakarja a nagy monítort). A megfigyelő úgy helyezkedett el a székével, hogy a későbbiekben csupán felsőtestének mozgásával el tudja érni mindkét megfigyelési pontot. A megfigyelőnek tehát nem volt lehetősége egyazon időben mindkét monítor képét észlelni. A megfigyelőt munka közben a 6. ábra mutatja.



6. ábra. Színi mérethatás megfigyelése.



7. ábra. A színi mérethatás CIELAB a^* - b^* diagramban. Fekete négyzet jelöli a 10° -os, míg fekete kör a 2° -os kis minta megfeleltetése esetén kapott átlagértékeket. Színcentrumnak a nagyméretű, PDP-n megjelenő stimulust tekintjük, a vonalak ezektől vezetnek a 2, illetve 10 fokos összehasonlító stimulusokhoz, és ez jellemzi a diagramban a színi mérethatást.

Amint a 7. ábrából látható, a mérethatás jól kimutatható, és az eredeti színtől szignifikáns függést mutat. A színi mérethatás modellezése jó példa a CNN alkalmazására, számításigénye és a megkövetelt számítási sebesség miatt.

2. Színkonstanciára, színmemóriára, és kognitív színre vonatkozó kutatások

Színmemóriára és kognitív színre vonatkozó eredmények [2,3] valamint új színkülönbségi eredmények a memóriából történő egyeztetésnél.

A CIE a pszichofizikai színingert úgy definiálja, mint a műveletileg meghatározott értékekkel való színinger meghatározást, pl. a színösszetevőkkel kifejezve. A színészlelet nem más, mint a vizuális észlelet egy jellemzője, amely a kromatikus és akromatikus összetevők kombinációját tartalmazza. Leírható kromatikus színészlelet-nevekkel, mint a sárga, narancs, barna, vörös, rózsaszín, zöld, kék, lila stb., vagy akromatikus színészlelet-neveivel, mint a fehér, szürke, fekete stb., és jellemezhető úgy mint élénk, fakó, világos, sötét stb., vagy ezen nevek kombinációjával. Ezekhez a definíciókhoz a CIE megjegyzéseket közöl, amelyekben figyelembe veszi az észlelt színt és az ingerterület méretét, formáját, struktúráját és környezetét, a megfigyelő vizuális rendszerének adaptációs állapotát és a megfigyelő tapasztaltságát, valamint a színmegjelenés módját.

A színészlelet kognitív hatásait nem említik a CIE színészleleti definíciójában, csak néhány utalást találhatunk rá. A pszichológiai irodalomban az észlelés és a megismerés közötti különbségek nem tisztázottak. A legfőbb különbség az, hogy amíg az észlelés a tárgyak, vagy a világ egy részének azonnali leképezését jelenti az agyba, addig a megismerés azonosítható az észlelés jelentéstani és szóbeli osztályozásának egy későbbi, magasabb rendű folyamatával, vagy a tárgy vagy esemény mentális képével. A mentális kép egy olyan tulajdonság, amely egy belső értelmezésen alapul. Ennek megfelelően a kognitív színészlelet fogalmát a következőképpen adhatjuk meg. A korai vizuális feldolgozás színmodelljének eredménye a színészlelet, amely három folytonos tulajdonsággal rendelkezik: a világossággal, a színezettel és a színezetdúsággal. A korai vizuális feldolgozás után a színészlelet kategóriákba rendeződik, amely kategóriák az aktuális vizuális feladattól függenek. A kognitív színészlelet ezen kategóriák diszkrét csoportjainak egyikét jelenti. Ez a csoport függhet a vizuális feladattól, mint pl. hét alapszínészlelet csoportja, vagy a prototipikus színingerek csoportja, vagy az ismert tárgyak hosszú távú memória-színészleletének csoportja.

A színészlelettel foglalkozó tudomány kezdeti szakaszában a színmemória és a színnév pszichológiai tanulmányozása során felfedezték, hogy a színészlelet rendelkezik egy kognitív területtel. Neuropszichológiai rendellenességek és újabb neuropszichológiai kutatások bizonyították a színészlelet észleleti és a kognitív hatásai közötti különbséget.

Kísérleteinket egy színmetrikailag kalibrált monítoron végeztük el. 10 kísérleti személy vett részt a kísérletekben. Mindegyike jó színlátó volt, színlátásukat a 100Hue teszttel vizsgáltuk meg. A kísérleti körülmények minden esetben azonosak voltak. A kísérleti személyt szóban tájékoztattuk a feladatáról. A kísérlet 3 részből állt: az ún. "szimultán", "geometriai" illetve "fotó" kísérletrészekből. A szimultán kísérletben a megfigyelő a képernyőn két színingert látott, fekete téglalapban elhelyezve, a látószög

2°-os volt. A két színingerről el kellett döntenie, hogy azonosak-e vagy sem. A színingereket a megfigyelő a képernyőn 4 másodpercig látta, ezután egy szürke képet látott. A döntését meghatározott billentyűk lenyomásával kellett tudatnia, amelyet megtehetett akkor is, amikor a színingereket látta, és akkor is amikor a szürkét látta. A billentyű lenyomása után megjelent az újabb színinger-pár, amelynek azonosságát szintén el kellett döntenie.

A geometriai kísérlet körülményei megegyeztek a szimultán kísérlet körülményeivel. Ebben a kísérletrészben a megfigyelő feladata szintén két színinger azonosságának eldöntése volt, az előzőtől kissé eltérő módon. A kísérleti személy a monítoron egyetlen színingert látott, amit meg kellett jegyeznie. Ezt később eredeti színingernek nevezzük. A színinger megjegyzésére 4 másodperc állt a kísérleti személy rendelkezésére. Ezután egy szürke kép jelent meg, amely szintén 4 másodpercig volt a képernyőn, majd az ún. összehasonlító színingert láthatta. Erről a színingerről el kellett döntenie, hogy megegyezik-e a korábban látott eredeti színingerrel, és döntését a korábban leírt kísérlettípushoz hasonlóan adott billentyűk lenyomásával jelezte. Az összehasonlító színinger is 4 másodpercig volt a képernyőn. Valamely gomb lenyomása után megjelent a következő megjegyzendő vagy eredeti színinger.

Az ún. „fotó” kísérletben a kísérleti személy a képernyőn egy fekete-fehér képet látott, amelynek egy jellemző pontján elhelyezve 4 másodpercig látott egy színingert (eredeti színingert) fekete téglalapban elhelyezve. Ezt a színingert memorizálnia kellett, majd a 4 másodperces késleltetés után megjelenő, az előzővel megegyező fekete-fehér képen azonos helyen elhelyezett színingerről kellett eldöntenie, hogy megegyezik-e az eredeti színingerrel. Döntését a többi kísérlettípushoz hasonlóan alkalmazott módon, meghatározott billentyűk lenyomásával jelezte.

A kísérlet során 3 db eredeti színingert használtunk. Ezt a három színingert korábbi kísérleteink alapján választottuk ki, mint ún. prototipikus színingert, l. Bevezetés. A színingereket, amelyekről el kellett döntenünk, hogy megegyeznek-e az eredeti színingerrel véletlenszerűen választottuk ez eredeti színingerek $\Delta E^*=20$ sugarú környezetéből a CIELAB színingertérből, úgy, hogy az eredeti színinger és a választott színinger L^* értéke megegyezett. A véletlenszerűen választott színinger megegyezhetett az eredeti színnel.

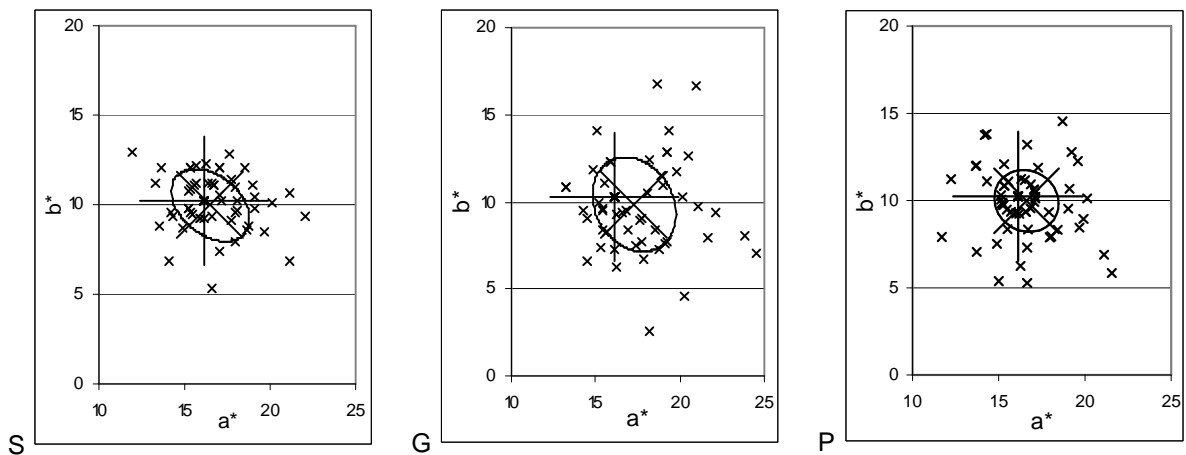
A különböző kísérlettípusok időben nem egyszerre zajlottak le. Időt hagytunk a kísérleti személyeknek a regenerálódásra, annak érdekében, hogy elkerüljük azt, hogy a kísérletekben látott színingerek befolyásolják az egyes megfigyelőknél fellépő memóriahatásokat. Ennek megfelelően a kísérleti személyek először a szimultán kísérletet végezték el, majd 1-2 nap után a geometriai kísérletet. A „fotó” kísérlettípusra a geometriai kísérlet után 2-3 héttel került sor.

A kísérletet 10 jó színlátó személy végezte el. A kísérleti módszerben leírtak alapján a kísérleti eredmények alapját a különböző kísérletfajtákból származó eredmények összehasonlításai adják. Mind a 10 személy elvégezte mind a 3 fajta kísérletet.

Az eredményeket vizsgálva a színmemória bizonyos hatásaira bukkanunk. A kísérlet alapját képező prototipikus színingerek (eredeti színek) korábbi kísérleteinkben is vizsgálat tárgyát képezték. A 3 színinger a következő: ún. kaukázusi bőr, zöld fű és kék ég. A kísérletben ezek mindegyikének $\Delta E^*=20$ sugarú környezetéből véletlenszerűen választottunk ki minden kísérlethez 50-50 színingert, a monitor színkészletét figyelembe

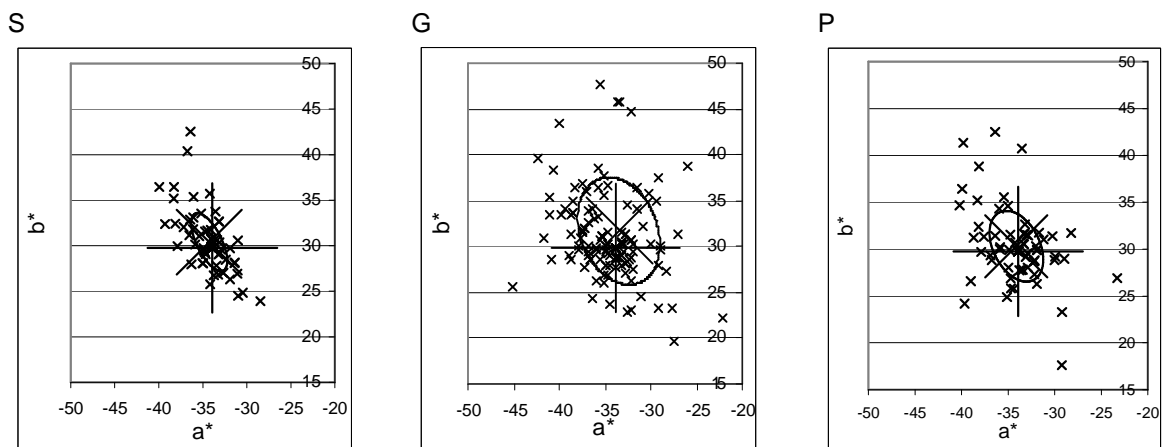
véve. A választott színíngerekről az egyes kísérletfajtákban a kísérleti személyeknek el kellett dönteniük, hogy megegyeznek-e az eredeti színnel.

A 8-10. ábrán látható CIELAB a^* - b^* diagramok a megfigyelők "igen" válaszaít tartalmazzák a 3 féle kísérletfajta (szimultán, geometriai, fotó) esetén a 3 féle eredeti színíngereire lebontva. A diagramokon az eredeti színíngereket "nagy plusz" jellel, a megfigyelők által adott igen válaszok átlagát "nagy kereszt"-tel, a megfigyelők "igen" válaszaít "kis kereszt"-tel jelöltük. A diagramokon ábrázoltuk az "igen" válaszok szórási ellipsziseit is. A diagrammok alatti táblázatokban láthatók az a^* és b^* értékek szórásai.



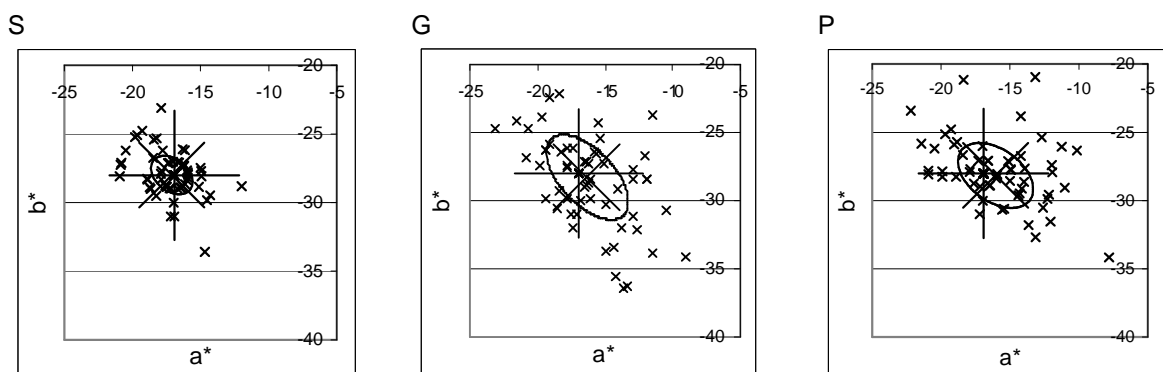
	S	G	P
STD a^*	2.3	2.5	1.8
STD b^*	2.0	2.7	1.7

8. ábra. "Bőr" típusú színíngerek



	S	G	P
STD a^*	2.0	4.5	2.9
STD b^*	3.2	5.8	3.8

9. ábra. "Zöld fű" típusú színingerek

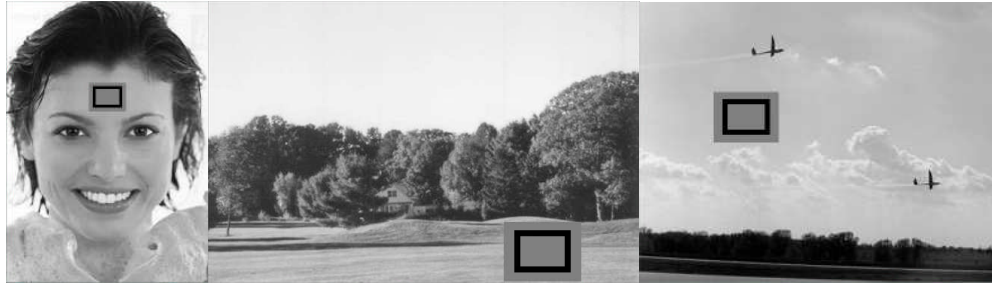


	S	G	P
STD a^*	1.5	3.0	2.7
STD b^*	1.4	3.1	2.4

10. ábra. "Kék ég" típusú színingerek

A 8-10. ábrákból látható, hogy az "igen" válaszok szórása a geometriai kísérlettípusnál a legnagyobb, fotó típusnál közepes, és a legkisebb a szimultán esetben. Ez alól kivételt jelentenek a bőr színek, ahol a fotó kísérlettípusnál jelentkezett a legkisebb szórás. A fotó típusnál megjelenő szóráscsökkenés egy színi kognitív hatásra utalhat, mivel az eredeti színingereket előző kísérleteink alapján, mint prototipikus színingereket választottuk ki.

A fotó típusú kísérletsorozatnál, ahol az eredeti színingert egy ismert tárgy fekete-fehér képe vette körül (11. ábra), az eredeti színingert kategóriába sorolása nagyon erős lehet. Ezért a megfigyelők a bőrszínre, mint kategóriára emlékeznek, vagyis egy úgynevezett kognitív színre. A geometriai kísérlettípusnál ez a tendencia nem olyan erős, ezért a szórás növekszik.



11. ábra. A fotó kísérlettípusnál használt fekete-fehér képek.

Korábbi kísérletekben az eredeti színingert és a választott színingert szignifikánsan különböztek. Ezért ezekben a kísérletekben egy "színi eltolódást" figyeltünk meg. Ez a színi eltolódás egy alap-színingert vagy egy prototipikus színingert felé történt. Jelen kísérletben az eredeti színingert egy prototipikus színingert volt, és ahogy vártuk a memória eltolódás nem volt szignifikáns. Ezt mutatja, hogy az eredeti színingert az 1-3. ábrákon ábrázolt szórási ellipsziseken belül található.

A 8-10. ábrákon, a*-b* diagramokban láthatók az egyes kísérletekben az eredeti színingerttel megegyezőnek választott színingerek kereszttel jelölve, és fehér ponttal jelölve láthatjuk az eredeti színingert. A különböző kísérletfajták eredményeiből látszik, hogy a szimultán kísérlet eredményeihez képest a geometriai kísérletre adott "igen" válaszok (az eredeti színingerttel megegyezőnek választott színingerek) nagyobb színezeti eltérésnél is feltűnnek, míg a „fotó” kísérletfajtánál az "igen" válaszok egy, a szintípusra jellemző irányultságot kapnak, amely a „fotó” kísérletfajta tulajdonságaira vezethető vissza. A „fotó” kísérletben a vizsgált színingerekkel együtt látott, a színekhez tartozó kategóriának megfelelő alakzathoz, az egyes személyek tapasztalatai alapján kapcsolt hosszú távú memóriaszínek, és ennek következtében a memóriában megjegyzett színingert eltolódik a hosszú távú színelem vagy prototipikus színingert felé. Ez jól megfigyelhető a zöld fű típusú színingerekénél. A geometriai kísérletnél a szimultán kísérlethez képest egy szórtaabb választ kapunk, amelynek okai között a memóriahatás is felsorolható, bár hatása nem annyira érvényesül, mint a fotó képeknél. A fotó eredmények a geometriai eredményekhez képest jobban irányultak, megfigyelhető a kisebb eltérés és az eredeti színingert színezeti szögétől, és a telítettebb színek felé tolokás.

2. Komplex tér-idő dinamikával rendelkező rendszerek analízise

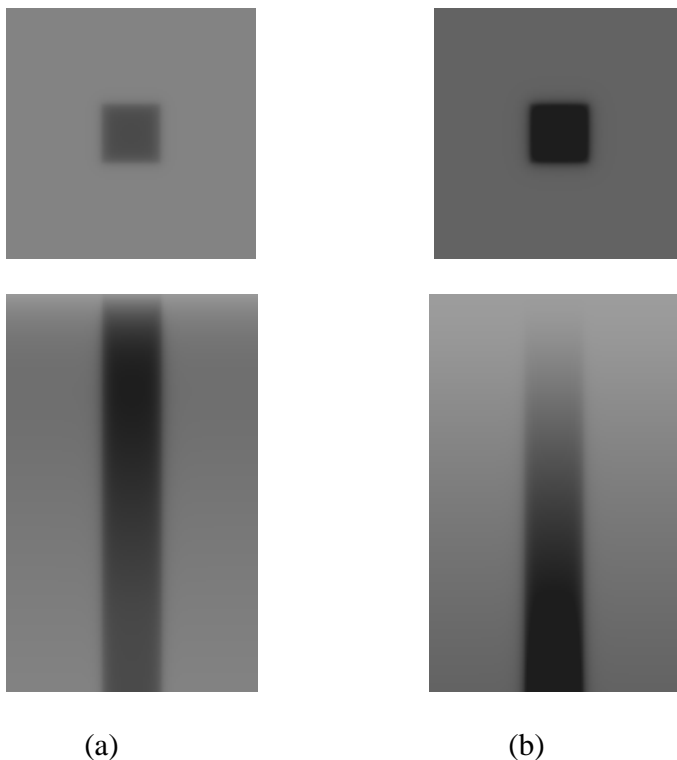
Olyan komplex tér-idő dinamikával rendelkező rendszereket akarunk analízálni, ahol a nemlinearitás nem egy bináris viselkedésre vezet.

A vizsgálatok során a változtatható számítási pontossággal rendelkező emulált digitális CNN-UM architektúrát használunk. Itt esetleg figyelembe lehet venni azt is, hogy a templatek helyfüggőek is lehetnek. Ezáltal az analizált jelenség nem feltétlenül homogén és izotróp.

Ezért a CNN-UM emulált digitális változatánál a sebességből áldozva nagyobb illetve egy adott feladat típusnak megfelelő és adaptive változtatható pontosságot kívánunk elérni. Nyilvánvaló, hogy kisebb számítási pontosság esetén több emulált digitális CNN cella rakható fel adott szilícium felületre, növelve ezzel a számítás sebességét.

2.1 Retina modell vizsgálata (5,7,9,11)

A külső retina modellt vizsgáltuk, amelyik egy három rétegű struktúra és minden réteg időállandója különböző. Az jelenlegi analóg VLSI CNNN-UM chipeken egyrétegű CNN implementálható. A külső retina paraméterei a nyúlretina mérésekből származnak.

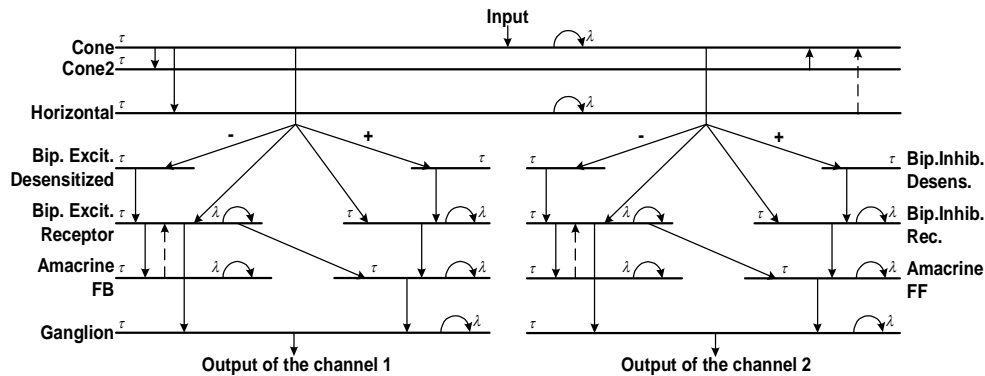


12. ábra Külső retina modell első (a) és második (b) rétegidőbeli változása egy négyszögjel gerjesztésre.

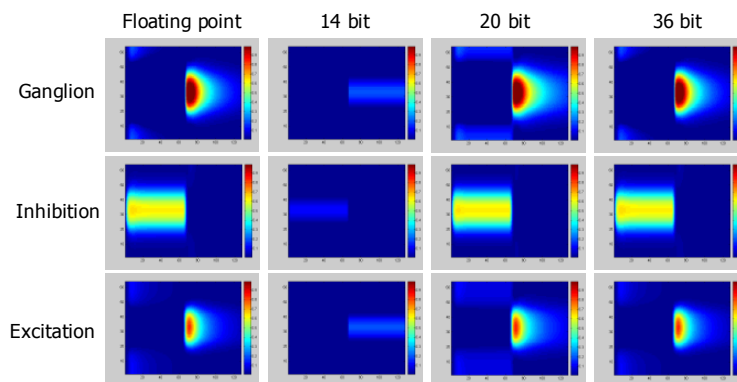
A futási eredmények összehasonlítása alapján vizsgáltuk a szükséges pontosságot összevetve a lebegőpontos software szimuláció eredményével. Azt kaptuk, hogy a template érték ábrázolása 19 bíttről 9 bítre csökkenthető.

A 12. ábrán látható 180*135 pixeles kép processzálása 257 CNN iteráció/s sebességgel történt (ami egy 1.8 GHz Pentium IV processzorral elérhető sebességnél 5-ször gyorsabb).

Kialakítottunk egy teljes emlős retina modellt, amelyben számítási szempontból a sok különböző időállandójú réteg kezelése kritikus volt.



13. ábra Két csatornás teljes emlős retina model strukturális felépítése



14. ábra Futási eredmények a számítási pontosság függvényében (165x165 pixeles képen)

Az eredmények azt mutatták, hogy a 20 bites pontosság már kielégítő volt.

2.2 Óceán-áramlási modell (6,7,8,13)

Az óceánok áramlását leíró modellek közül azt választottuk, amely egy 2.5D modellre vezet, nevezetesen, hogy a többretegű, csatolt modellekkel dolgozunk. Az ilyen modellek működését leíró egyenleteket a Navier-Stokes egyenletből származtattuk. Navier-Stokes egyenlet a numerikus matematika talán legnehezebb problémája.

$$\frac{du_x}{dt} = 2\Omega \sin \theta u_y - gH \frac{\partial \eta}{\partial x} + \tau_{wx} - \tau_{bx} + A \nabla^2 u_x$$

$$-\frac{u_x}{H} \frac{\partial u_x}{\partial x} - \frac{u_y}{H} \frac{\partial u_x}{\partial y}$$
(1)

$$\frac{du_y}{dt} = -2\Omega \sin \theta u_x - gH \frac{\partial \eta}{\partial y} + \tau_{wy} - \tau_{by} + A \nabla^2 u_y$$

$$-\frac{u_x}{H} \frac{\partial u_y}{\partial x} - \frac{u_y}{H} \frac{\partial u_y}{\partial y}$$
(2)

$$\frac{d\eta}{dt} = -\frac{\partial u_x}{\partial x} - \frac{\partial u_y}{\partial y}$$
(3)

ahol

η az átlagos mélység, u_x és u_y az áramló víz mennyisége x és y irányba. A Coriolis tagban Ω a Föld szögelfordulása és θ a szélességi kör, $H(x,y)$ a nyomás a víz mélységnek a függvénye, a szél és a fenék nyíró τ_{wx} , τ_{wy} , τ_{bx} és τ_{by} , továbbá A a viszkozitás.

A fenéken jelentkező nyíró feszültség komponensek lineárisan közelíthetők, ha az u_x és u_y egy σ' állandóval megszorozzuk, ahol ennek értéke $1-5 \cdot 10^{-7}$ tartományba esik. A szél okozta felületi feszültség függ a vízfelületén fújó szél sebességétől.

$$\tau_w = \rho C_d U_{10}^2$$
(4)

ahol ρ a levegő sűrűsége, U_{10} a szél sebessége a vízfelülettől 10 méterre, C_d állandó amelynek az értékét az alábbi összefüggésből számoljuk:

$$1000C_d = 0.29 + \frac{3.1}{U_{10}} + \frac{7.7}{U_{10}^2} \quad (3 \leq U_{10} \leq 6 \text{ m/s})$$
(5)

$$1000C_d = 0.5 + 0.071U_{10} \quad (6 \leq U_{10} \leq 26 \text{ m/s})$$
(6)

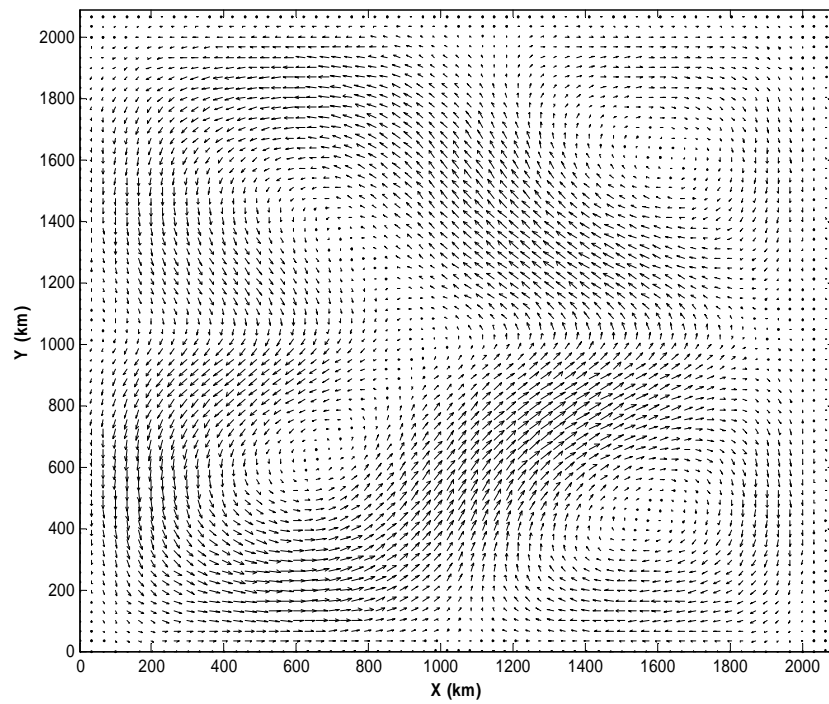
A vízszintes súrlódási tényező A egy adott végesdifferencia négyzetéhez rendelhető Reynolds szám R_c segítségével határozható meg:

$$R_c = \frac{\Delta x U}{A}$$
(7)

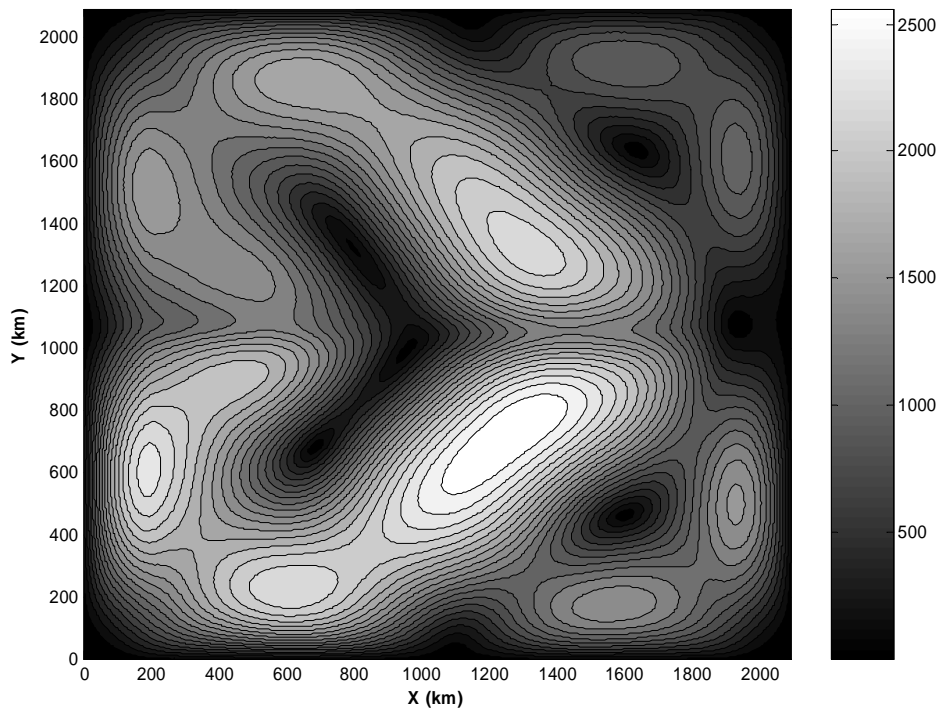
ahol Δx a rács mérete és U a rácsban a sebesség nagysága. U -t közelítjük \sqrt{gH} -val, akkor

$$A = \frac{\Delta x \sqrt{gH}}{R_c}$$
(8)

Az óceánokban kialakuló áramlások a vízfelületen fújó szél hatására jönnek létre.



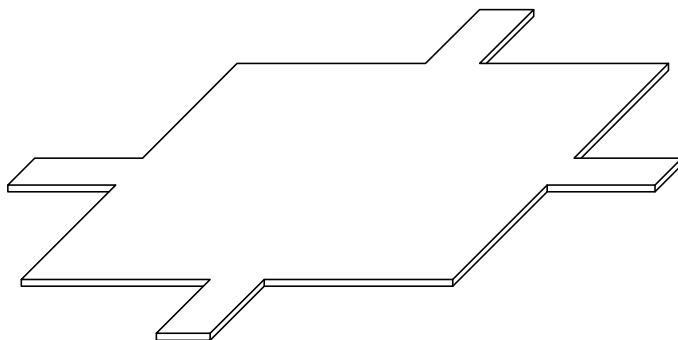
15.a ábra Az áramló víz sebessége



15.b ábra Az áramló víz mennyisége

2.3 Tactilis sensor mechanikai vizsgálata (5,7,9,11)

Megvizsgáltuk a 16.a ábrán látható MEMS (Micro ElectroMechanical Sensor) viselkedését normális irányú nyomás esetén. A szilícium lemez $100\mu\text{*}100\mu$ méretű és 2.85μ vastag, a felfüggesztése 12.5μ méretű.

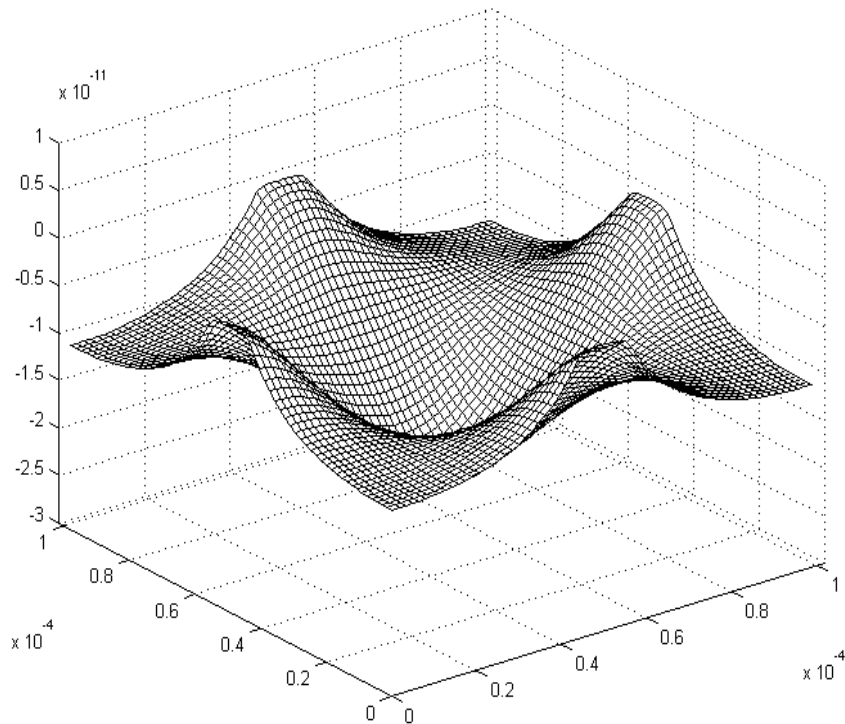


16.a ábra Egy nyomásérzékelő MEMS geometriája

A normál nyomás hatását a 3.a ábrán látható struktúrán egy a Lamé egyenletből származtatható negyedrendű parciális differenciálegyenlet írja le.

$$h\rho w_{tt} = p - D(w_{xxxx} + 2w_{xxyy} + w_{yyyy}) \quad (9)$$

ahol w a függőleges elmozdulás, ρ a lemez sűrűsége, h a vastagsága és D anyagjellemző. Ezt térben és időben diszkretizáljunk az emulált digitális megoldásoknál.



16.b ábra a lemez elmozdulása 3.81 μ s múlva

A 64 bites lebegőpontos megoldást összevetettük 32 bites és 18 bites fixpontos megoldással. A 64 bites lebegőpontos megoldást a 32 bites fixpontos megoldás 0.001% pontossággal követte, amely több nagyságrenddel meghaladja a kívánt pontosságot.

Irodalomjegyzék

1. G. Kutas, H. K. Choh, Y. Kwak, P. Bodrogi, L. Czúni, Sub-Pixel Arrangements and Color Image Rendering Methods for Multi-Primary Displays, *Journal of Electronic Imaging*, 2005. (Accepted for publication)
2. Tünde Tarczali, Du-Sik Park, Peter Bodrogi, Chang Yeong Kim, Long-term memory colors of Korean and Hungarian observers, *COLOR Research and Application*, 2005. (Accepted for publication)
3. G. Derefeldt, T. Swartling, U. Berggrund, P. Bodrogi, Cognitive Color, *COLOR Res. Appl.* 29/1, pp. 7-19
4. Z. Nagy, P. Szolgay, "Configurable Multi-Layer CNN-UM Emulator on FPGA", *IEEE Trans. on CAS I* Vol. 50, No. 6, pp. 774-778, (2003.)
5. Z. Nagy, Zs. Szolgay, P. Szolgay, "Tactile sensor modeling by using emulated digital CNN-UM", *Proc. of IEEE CNNA04*, Budapest, 2004.
6. Z. Nagy, P. Szolgay, "Emulated digital CNN-UM implementation of a barotropic ocean model", *Proc. of IJCNN*, Budapest, 2004.
7. Z. Nagy, P. Szolgay, "Solving Partial Differential Equations on Emulated Digital CNN-UM Architectures", *Functional Differential Equations*, Vol 13. No1 pp 61-87, 2006.
8. P. Kozma, P. Sonkoly and P. Szolgay, "Seismic Wave Modeling on CNN-UM Architecture", *Functional Differential Equations*, Vol 13. No1. pp 43-60, 2006.
9. Á. Zarándy, P. Földesy, P. Szolgay, Sz Tőkés, Cs. Rekeczky, T. Roska, "Various implementations of topographic, sensory, cellular wave computers", *Proc. of ISCAS05, Kobe*, 2005.
10. Z. Nagy, Zs. Vörösházi, P. Szolgay, "An Emulated Digital Retina Model Implementation on FPGA", *Proc. of CNNA05 Hsinchu*, 2005, pp. 278-281
11. A. Kis, F. Kovács, P. Szolgay, "Hardware and Software Environment for a Tactile Sensor Array", *Proc. of Eurosensors 2005, Barcelona*, 2005, pp. 208-212
12. P. Sonkoly, S. Kocsárdi, P. Kozma, P. Szolgay, "Inverse Elastic Wave Propagation Modeling on CNN-UM Architecture", *Proc. of ECCTD20005, Cork*, 2005, pp. 385-388
13. Z. Nagy, P. Szolgay, "Emulated Digital CNN-UM Implementation of a 3-dimensional Ocean Model on FPGA", *Proc. of the 8th Military and Aerospace Programmable Logic Devices International Conferences, MAPLD2005, Washington DC*, 2005.