

Magyar Képzőművészeti Egyetem

Doktori Iskola

**Textúra - Ismétlődő képi struktúrák a „számítógépek korának” művészetében.
Rajzolat és mintázat kapcsolata a videoművészetben és a virtuális térben**

DLA értekezés

Labancz István

2020

Témavezető: Dr. habil Előd Ágnes, egyetemi adjunktus

Köszönetnyilvánítás: Dr. Umenhoffer Tamás

Tartalom

Bevezető.....	3
Irányított véletlen a képalkotásban.....	5
Szomszédos képi elemek kapcsolódása: szabályok és lépések	8
Sztocasztikus textúrák, képpont zaj videóképeken és digitálisan - további, generált képi struktúrák, a véletlen lesimítása	10
Mintázatok alkalmazása a videóművészetben.....	13
Szerkesztett grafikai elemek ismétlése textúraegységek megrajzolásához: újabb művészeti vonatkozások.....	14
Példa a textúrák nélküli virtuális grafikákra	16
Rajzolat eltérő textúrák határán	17
Textúrainyomások	20
Fotó alapú textúrák, fotó és szkennelés.....	21
A determinisztikus és sztochasztikus kettősség a digitális fotó alapú szintézis során	22
A textúra és a plasztika kapcsolata.....	26
Az általam végzett textúraszintézis kísérletek motivációja és célja	32
Kísérlet: irányítás és véletlen.....	33
Összefoglaló: Parametrizálható textúraszintézis rajzolható irányokkal és méretezhető egységekkel .	36
Felhasznált irodalom	38
Internetes források.....	40
Képek forrása:	41
Melléklet 1.....	46
A Howard Wise Gallery-ben kiállító alkotók, és munkáik	46
Melléklet 2.....	48
Szakmai önéletrajz.....	48

Bevezető

„Azt hiszem, minden művész, aki szereti a mesterségét, érti azt, amiről beszélek. Ezek azok a pillanatok, amikor Peter (Callas) hozzám fordul a közös szobánkban a ZKM-ben (Center for Art and Media Karlsruhe), és azt mondja: »Nézd meg ezt a víz-animációt. Egy képből csináltam!« Vagyis csak egy képet rajzolt hozzá, de azt olyan ügyesen, hogy annak az egynek a képenkénti elmozdításával a vízfelület vibráló mozgásának benyomását kelti. És csillog a szeme, fojtott ujjongás van a hangjában, a monitoron tényleg ott hullámszik egy stilizált vízfelület és gyönyörű. Mestermunka.”

Waliczky Tamás

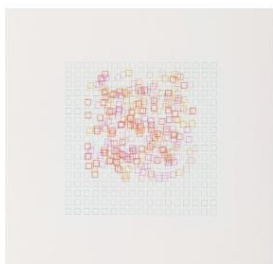
„A szemünk az egyik legfontosabb érzékszervünk. Hétköznapi tevékenységeink során túlnyomórészt a szemünkkel követjük környezetünk változásait, és ennek megfelelően döntünk saját cselekedeteinkről. A képek, a film és a televízió ezt a folyamatot kiterjesztették mind térben, mind pedig időben, hiszen segítségükkel olyan dolgokat is érzékelhetünk, amelyek tőlünk távol, vagy a valóságban sokkal korábban zajlottak le. A számítógépes grafika még tovább megy ezen az úton, és olyan világokba enged bepillantani, amelyek a valóságban sohasem léteztek.”

Dr. Szirmay-Kalos László

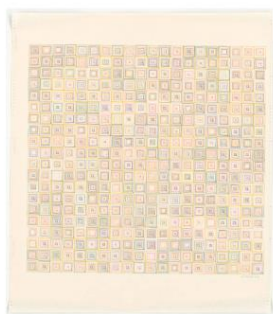
A Victoria and Albert Múzeum 2018-as, *Chance and Control: Art in the Age of Computers* című kiállításán látható művek jellemzően magukon viselik a formai és képi egységek szisztematikus ismétlődésének jegyeit. Igaz ez a legtöbb képre, de csak négy nevet kiemelve, Frieder Nake, Vera Molnar, Manfred Mohr és A. Michael Noll munkáit nézve különösen érvényes, hogy a kép, a műalkotás, egy algoritmusokkal létrehozott mintaelemet ismétlő és moduláló kísérlet eredménye [1. kép]. Azon túl, hogy a programszerűség látható nyoma valóban jellemző a korai, számítógépek bevonásával – vagy még inkább algoritmusok, vagyis konkrét lépéssorozatok szerint - készült művek megjelenésére, vélhetően felülreprezentált nézőpont a digitális médiumot használó alkotások művészettörténeti bemutatásakor.

Az algoritmus túl általános fogalom, és a számítógép által megvalósított műveletek ebbe a nagy halmazba sorolhatók valóban, de a „kimeneten” az algoritmus nyoma távolról sem szükségszerűen látható, kevésbé lényegi. Ezzel szemben számos, géppel létrehozott képen, elég csak Agnes Denes *The Crystal Fort* című képére, Yves Netzhammer metafizikus animációira, vagy bármelyik vektoros rajzra, például Saul Bass szerkesztett logóira gondolni, hogy az alkalmazott művészetet is érintsük, ez a jelleg nem érzékelhető. Ez olyan általános, mintha azt a definíciót mondanánk a műalkotások születésének folyamatára, hogy az alkotó ember művészi lépéseket hajt végre a cél megvalósulásáig, vagy, hogy a festmények kinematikai párok mechanizmusa által létrehozott ívekből állnak, mivel a festő vállának és karjának mozgása hozza azokat létre.

Könnyen belátható, hogy ez a megközelítés nem terjed ki minden szempontra, de a múzeum gyűjtése mégis rávilágít egy fontos dologra: a digitális kor képi mintázatainak és a számításeméletnek a kapcsolatára. Bizonyos, hogy ez a számításeméleti megközelítés releváns a textúramintázatok, az ismétlődő képi minták művészi képpalkotásban betöltött szerepének és tudománytörténeti vonatkozásainak megismerésében.



Quadrate Werden Rot, Frieder Nake, 1966, Germany. Museum no. E.262-2014. © Victoria and Albert Museum London/The artist. Purchased with Art Fund support



(Des) Ordres, Vera Molnar, 1974, Paris, France. Museum no. E.271-2011. © Victoria and Albert Museum, London/Vera Molnar



P-122, from the portfolio 'Scratch Code: 1970-1975', Manfred Mohr, published by Editions Média, made 1972, printed 1976, Paris, France. Museum no. E.977:3-2008. © Victoria and Albert Museum, London. Given by the American Friends of the V&A through the generosity of Patric Prince.



Computer Composition with Lines, A. Michael Noll, 1964, US. Museum no. E.35-2011. © Victoria and Albert Museum, London/A. Michael Noll. Given by the artist.

1. Kép Balról jobbra: A Victoria & Albert Múzeum 2018-as, *Chance and Control: Art in the Age of Computers* című kiállításáról kiragadott négy alkotó egy-egy munkája: Frieder Nake, Vera Molnar, Manfred Mohr és A. Michael Noll.

A fenti munkák egyértelműen textúra szerű, ismétlődő egységekből álló képeket ábrázolnak. A főleg síkban megvalósuló ismétlődés, és ezzel az algoritmikus eredő szinte minden munkán jelen van, némelyiken (Molnar, Noll, Nake) a mintázaton megjelenő méretbeli moduláció miatt a látvány térbelinek hat. A sor folytatható: a Computer Technique Group¹; Charles Csuri, William Fetter, Maughan S. Mason, Donald K. Robbins vagy Kerry Strand korai műveivel. Kijelenthető, hogy a korai, számítógéppel készült képek túlnyomó része textúraszerű. Ezt támaszthatja alá Jack Sklansky képanalízis szempontú textúra definíciója is: „Egy képen egy területnek állandó textúrája van, ha a lokális statisztikák vagy egyéb lokális tulajdonságok állandóak, lassan változnak, vagy megközelítőleg periódikusak.”² Ennek értelmezéséhez elég csak elképzelnünk, hogy a szemmel azonosítható textúraszerű struktúrák gépi elemzéssel is felismerhetőek, körülrajzolhatóak a vizsgált kép egyes részein, különböző szempontú adatgyűjtéssel és analízissal. A számos ilyen képanalízis módszer közül elég csak egy kép különböző hisztogramjaira (például pixelek sötétég és világosság szerinti mennyiségi eloszlására), vagy bipol statisztikájára gondolnunk, amelyet elképzélhetünk úgy, mint egy képen véletlenszerűen szétszórt kis pálcikák végeinél látható pixel színéből vett minták összessége. A korai digitális, vagy algoritmusokon alapuló művészi képképzési kísérletek textúra szerű jellegét bizonyítottan tekinthetjük.

Dolgozatomban a számítógépes képképzés korának ezen ismétlődő képi mintázatait vizsgálom tudománytörténeti és alkotói szempontból. Ahogy a Victoria and Albert Múzeum tárlatából is láthatjuk, az algoritmusok által generált korai számítógépes képeken olyan gyakoriak az ismétlődő, egymáshoz hasonló elemek, hogy létezik olyan kurátori szemlélet, mely szerint ezek a mintázatok, textúra-szerű képek, önmagukban is reprezentálják a számítógépes művészet egészét, mivel a számítógép is algoritmusokat használ.

Hogy áttekinthetővé váljon az algoritmus és az ismétlődő képi mintázat kapcsolata, szükséges feltárni a korai digitális képképzés céljait - melyek jellemzően tudományos célok voltak - és megvizsgálni a születő képeket, valamint hatásukat, és - talán az újszerűségükből adódó - vonzerejüket a művészeti gondolkodásra – hiszen eddigre már régen a művészet deklarált célja az új utak progresszív keresése.

¹ A csoport tagjai: Koji Fujino, Junichiro Kakizaki, Masao Kohmura, Fujio Niwa, Makoto Ohtake

² Martin Hassner, Jack Sklansky: The use of Markov Random Fields as models of texture, *Computer Graphics and Image Processing*, Volume 12, Issue 4, April 1980

Irányított véletlen a képalkotásban

Az időben visszafelé haladva, feltárandó a számítógépek bevonásával készült képek történetét, a fenti négy kiállító közül ki kell emelnünk A. Michael Nollt. Munkássága történeti jelentőségű, ugyanis ő volt az egyik kiállító, a talán legkorábbi ilyen témájú tárlaton. Ez a számítógépek segítségével létrehozott képeket bemutató kiállítás, a New York-i Howard Wise Gallery tárlata volt, amelyen két, a Bell Telephone Laboratories-ban dolgozó tudós, a mérnökből pszichológussá lett Julesz Béla úgynevezett véletlenpont sztereogrammait (RDS – Random-Dot Stereogram) és A. Michael Noll munkáit mutatta be 1965 áprilisában. A gépi képek megjelenését a kiállítótérben az is „hitelesíthette”, hogy Noll több képe hasonló Piet Mondrian vonalából álló monokróm kompozíciójához. A hasonlatosság olyan felűnő, hogy azok akár egy korai Turing tesztként is felfoghatók: felismerni-e a gépi alkotót, vagy embernek hinnénk azt?³

A digitális állományok képpé alakításához filmre rögzítették a mintázatokat. Noll képeit az IBM 7094 típusú számítógéppel hozta létre, és egy mikrofilm plotterrel nyomtatta ki, Julesz a Wise kiállításon bemutatott randompont sztereogrammjai egy korábbi, IBM 704-es modellel készültek.⁴

Julesz Béla pszichológus, a kiállításon, a nevével jegyzett képeket természetesen nem tartotta művészetnek, és ezt a nézőknek a képek alatt jelezte is. A sztereogrammait a térlátás kutatásához, és általában a vizuális percepció kutatásához hozták létre, véletlenszerűen generált pontokból, az erre felkért programozó munkatársai a Bell Laboratóriumban - nem pedig műalkotásként.

Ezek a képek algoritmikusan létrehozott, ismétlődő, egyszerű képi egységek, sorokba írt pontok „egyenlőtlenségei” voltak, ami az emberi vizuális percepció számára nem lehetett ismerős: „nincs struktúra, alak, forma és semmilyen monokuláris jelzőmózzanat”.⁵ Az ismeretlenségükben rejlő forradalmi lehetőség az volt, hogy a ponttömeg monoton képi zaja egy, csak térlátással felfedhető formát rejtett, így az észlelés elemibb folyamatai váltak vizsgálhatóvá. Ezek az úgynevezett véletlenpont sztereogramok a térlátás neurológiai területén hoztak áttörést, és bizonyították, hogy, - a korábbi paradigmával szemben - a sztereopszis, mozgásészlelés és textúradiszkrimináció folyamatai alulról fölfelé irányuló, alacsony szintű folyamatok.

Ehhez a felismeréshez a tudományos kétnyelvűsége segítette Juleszt, mivel korábban radarmérnök-ként dolgozott, és tisztában volt azzal a légifelderítésben használt, álcázott objektumok megtalálására szolgáló módszerrel, amit a két nézőpontból, repülőgépekről készített sztereóképek kínáltak. Ezek ugyanis, a parallaxisnak köszönhetően, a környezetüktől eltérő formát rejtő kamuflázsok sziluettjét jól kivehetővé, láthatóvá tették.⁶

A textúraelválasztás, melynek akár sztereoszkópikus, akár síkbéli percepcióhoz is vonatkozását tekintjük, kezdetektől előrevetítette művészi célú alkalmazás lehetőségét, az eltérő struktúrák határain megjelenő rajzolat alakításának tudatos alkalmazását. Ez az eredmény - ahogy dolgozatom későbbi részében igyekszem bemutatni - a videóművészetben, immár a mozgókép idő dimenzióját (mintázatok időbeli váltakozását, vibrálását) is felhasználva is megjelenik.

³ A. Michael Noll, “Human or Machine: A Subjective Comparison of Piet Mondrian’s ‘Composition with Lines’ (1917) and a Computer-Generated Picture.” *The Psychological Record* 16 (1966)

⁴ kiállított munkáik teljes listája az 1. mellékletben

⁵ Gerván Patrícia, Kovács Ilona: *Látod?...*, Magyar Tudomány, 2007/02 173. o.

⁶ Erről bővebben a *Dialogusok az észlelésről* című könyvében olvashatunk, a 36-37. oldalon.

A Wise Galéria 1965-ös tárlata után, a számítógép korának a gépi médium bevonásával születő művésze felkeltette a kurátorok és múzeumok figyelmét. A következő jelentős, ilyen témájú tárlatnak a *Cybernetic Serendipity* tekinthető, melyet Londonban, Jasia Reichardt kurátor mutatott be, a londoni Institute of Contemporary Arts-ban, 1968-ban.⁷ Az itt kiállító művészek közül - vizsgált szempontunk, a textúraszerű mintázatok képszintézise tekintetében - John Whitney-t kell kiemelnünk, aki *Permutations* című, Jack Citron programozó segítségével megalkotott motion graphics filmjét mutatta be. A művön megfigyelhető Whitney-t jellemző zenére mozgó – még inkább zenei harmóniák vizualizációjaként megjelenő – mintázatok ritmikus animációja. Whitney a korábbi, világháborús katonai feleslegből leselejtezett célzóberendezésből konstruált, analóg számítógépének mozgó mintázatait fordította a digitális képek nyelvére, Citron segítségével.

Munkáinak előképeiként általánosan az absztrakt filmes európai és amerikai úttörőit tekintette, de közülük is kiemelhetők azok, akik kompozícióik rajzolatait ismétlődő egységekből, pontokból, vonalakból, illetve ezek változtatásaiból és átfedéséből kirajzolódó modulációkkal hozták létre. (Erre jellemző példa Oscar Fischinger több animációja; a zenei ritmus vizualizációja pedig Hans Richterhez köti) Whitney munkássága párhuzamba állítható a XX. század olyan jellemző törekvéseivel is, mint az absztrakció és a kinematika. Korai, már digitális számítógépes munkáit Nollhoz, és saját korábbi, analóg gépekkel létrehozott munkáihoz hasonlóan, ő is celluloid szalagra rögzítette, mégpedig egyszerűen a képernyő-oszcilloszkópra irányított filmkamerával. Animált patternjei sosem figurálisak, elrendeződésüket egyenletek irányítják.

A londoni *Cybernetic Serendipity* kibernetikus művészetet bemutató tárlata párhuzamba állítható a két évvel korábbi, 1966-os New Yorki *9 Evenings: Theatre and Engineeringgel*, melynek helyszíne a 69th Regiment Armory⁸ épülete volt. Összművészeti jellegű és interdiszciplináris volt mindkettő. Itt több tudós és mérnök működött együtt művészeti projektek megvalósításán, az alkotókat segítette Billy Klüver mérnök, és maga Julesz Béla is. Ebben az együttműködésen alapuló projektben olyan technológiai megoldások kifejlesztésébe kezdtek, amelyeket művészek igényeltek és specifikáltak alkotásaik megvalósíthatóságához.

Julesz itt is aktív részese volt az eseményeknek – ezúttal nem mint kiállító, hanem mint mérnök – és mivel neve számtalanszor felbukkan a legújabb textúraszintézissel (vagyis textúrák generálásával) kapcsolatos publikációkban is, érdemes nem csak a textúraelválasztás érzékelésbéli pszichológiai eredményeit, de a kutatási projektjeihez szükséges, képgenerálási és megjelenítési munkásságát áttekintnünk.

Dolgozatomban bemutatni kívánt anyag megköveteli, hogy a képszintézis és a textúraszintézis fogalmait a későbbiekben bemutassam és szétválasszam. Fontos látnunk azonban, hogy kezdetekben a géppel generált képek gyakorlatilag mind textúrák voltak. (A kevés, térbeli, animált, végletekig leegyszerűsített rajztól eltekintve, mint például E. Edward Zajac *A Two-Gyro Gravity-Gradient Attitude Control System* animációja.) Az izgalmas pillanat, amikor természeti formák térbeli, és nem csak vonalrajzos, absztrahált, hanem naturalisztikusnak ható ábrázolásához is megnyílt az út (kellően nagy számítási kapacitás által) még váratott magára.

Julesz ugyan pszichológusként szerzett hírnevet, de mérnöki és matematikai ismeretei kiemelkedőek voltak. Foglalkozott programozással; az AUTOMAP-1⁹ számítógépes program szintén, általa kifejlesztett, a térlátás kutatásához írt algoritmus volt. Munkásságára sokat hivatkoznak, nem csak a látáskutatás pszichológiai, és a textúraszintézis mérnöki vonatkozásában – mely utóbbi a 3D képkészítés során játszik szerepet: egy bemeneti képi mintából hasonló, bővebb kiterjedésű kimenetet generál – hanem

⁷ A résztvevők közül: Gordon Pask, Jean Tinguely, Nam June Paik.

⁸ A helyszín szimbolikus, itt mutatkozott be a DADA az USA-ban

⁹ "Az én AUTOMAP-1 modellem volt az első olyan számítógépes algoritmus, ami egymást követő iterációk révén képes volt a globális térlátás néhány jelenségének magyarázatára" (Julesz 1964).

a számítógépes képek művészetben elfoglalt helyének vonatkozásában is. A művészeti és tudományos diszciplína metszetében játszott szerepe miatt érdemes áttekintenünk, mit is gondolt, mint tudós a képzőművészetről. Így ír kutatásaihoz kifejlesztett véletlenpont sztereogramok és a művészet viszonyáról a *Dialógusok az észlelésről* című könyvében: „Gyakran volt szerencsém művészekhez is. 1965 júniusában (egy szintén a Bell Laborban kutató mérnök kollégámmal) részt vettem a New York-i Howard Wise Galéria „számítógépes képzőművészeti” kiállítás alkotóinak sorában, mely a legelső volt az ilyen jellegű táratok között. A grafikák alatt külön felhívtam a látogatók figyelmét, hogy az itt látható számítógépes sztereogramok és ábrák csupán tudományos kísérletek eredményeit megjelenítő képek, és a művésznek esze ágában sem volt ezt az egészet művészeti teljesítményként értékelnie – az újságírókat ez nem érdekelte. Cikkek tömegei jelentek meg efféle szalagcímekekkel: „Embertelen komputer-művészet”, és „A számítógépek már a képzőművészetbe is betörték”. Még jobban szórakoztam azon, hogy egyes „festők” kollázsaikban még fel is használták a sztereogramjaimat. Egy alkalommal Salvador Dali meghívott műtermébe, hogy megmutassa legutolsó művét – ezt igen nagy megtiszteltetésnek éreztem. A kép Krisztust ábrázolta a kereszten, amely a DNS dupla spirálalakját formázta. Krisztus lábainál két mélybe lógó selyemsál volt látható, a moiré-hatást keltve a szemlélőben, feje körül pedig egy sztereoképnéző és egy kivágott RPS, mely utóbbi tóruszalakban helyezkedett el, amúgy pedig eredetileg az én, a *Scientific American*-ben megjelent cikkemből származott (Julesz, 1965). Az egész tórusz beleolvadt a Jézus fején levő glóriába. Rögtön tudtam, hogy végre „sikerült”! E látogatás után Dali többször kért tőlem tanácsot, különösen olyankor, amikor hatalmas, egymással bizonyos szögben elhelyezkedő sztereo-párok festésébe fogott, amelyek közé féligeszűszött tükröt állított. Néha arra is megkért, készítsek neki random-pont sztereogramokat, melyeket aztán ízlése szerint továbbvariálhattott. Ez az egész történet csak azért érdekes, mert azt mutatja, az RPSek még a képzőművészetre is hatottak. Beszélgetéseink alkalmával igen mély hatást gyakorolt rám Dali perceptuális térről szerzett ismeretanyaga. Úgy éreztem, nem csupán művészként, hanem szinte velem egyenrangú tudós kollégaként is elismeréssel adózik az RPS-ek iránt. Itt jegyezni meg, hogy alkalmanként az Op-Art művészei is meghívtak találkozóira, de míg Dali társaságára egyenesen büszke voltam, az utóbbiak nem nagyon érdekeltek. Nekem mindig az volt a véleményem, hogy a művészeknek korukat és annak szellemiségét (ide értve a perceptuális pszichológiáét is) évtizedekkel megelőző forradalmi újítók kell, hogy legyenek, amilyenek például Albers, Escher, Kandinsky és Klée voltak.”¹⁰

A Victoria & Albert Múzeum első számítógépes munkáját 1969-ben vásárolta meg, egy évvel az Institute of Contemporary Arts-ban megrendezett *Cybernetic Serendipity*¹¹ című kiállítás után. Catherine Mason a képeken a tervezett struktúra, a generált rend és az ezen belül (a képeket létrehozó folyamatokon belül) generált véletlen mozzanatok kettőségében ragadja meg a számítógépes művészetet. Mason rámutat, hogy a véletlen, vagy a véletlen egybeesés - melynek tudatos alkalmazása a művészi alkotói folyamatban¹² a XX. század elejétől fogva egyértelműen tetten érhető – egy új módon, a digitális apparátusokkal, tervezett programokkal előcsalogatható.

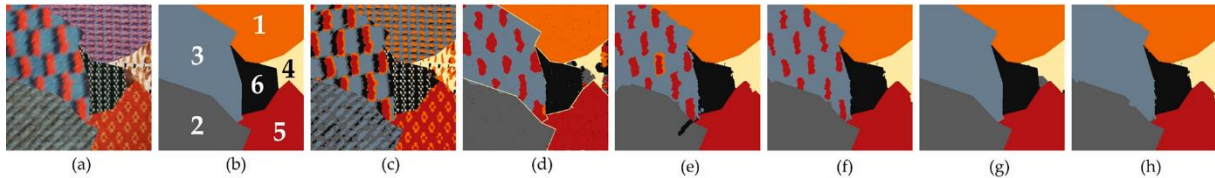
Itt eljutunk a sztochasztikus és determinisztikus struktúrák kettőségéhez. A mintázatok eltérő tulajdonságainak (vagyis az adott struktúrán belüli módosulásainak) véletlenszerű és irányított alakításával nagyobb egységek, mintegy kompozíciók, kvázi képek rajzolásának lehetőségéhez jutunk.

¹⁰ Julesz: *Dialógusok az észlelésről*, Hungarian translation Typotex, 2000 Fordították: Lukács Ágnes, Oláh Gábor, Pócs Ádám

¹¹ „Horace Walpole-tól eredő kifejezéssel, „serendipity”-nek (= képesség valószínűtlennek látszó felfedezésekre). Voltaképpen véletlencsapdának minősülnek a különböző szerencsejátékokban kutatott „biztos szisztémák” is (gondoljunk itt Duchamp rulett-módszerére, vagy más összefüggésben akár a valószínűség számításra)” - Beke László: *Véletlen mint művészet*, 1977

¹² „A véletlen felhasználása a művészi alkotói folyamatban legalább a század eleje óta tudatosan történik: Tzara versei, szürrealista automatizmus, tasizmus stb. Duchamp írja 1924-ben Picabiának: „Vous voyez que je n’ai pas cessé d’être peintre, je dessine maintenant sur le hasard.” Ladislav Novák „alakimázsai” az összegyűrt papír törésvonalalaiban keresnek véletlenszerűen kibontakozó értelmes ábrákat.....” - Beke László: *Véletlen mint művészet*, 1977

Előre kell bocsájtanunk, hogy a sztochasztikus és determinisztikus jelleg nem csak a képek létrehozásának lehetnek szempontjai, hanem a képek analízisének is. Ennek a kettősségnek a látványszerű megjelenése fellelhető a természetben megfigyelhető textúrákon is, szempont azok analízisének. A képanalízis a generálással úgymond ellentétes irányú folyamat: az algoritmus elemzi a képet, nem pedig generálja. A sztochasztikus és determinisztikus jegy két fontos paramétere a képnek.¹³



2. kép Eltérő textúrák detektálása képanalízissel, a Markov Random Field-en alapuló eljárással. A MRF-et Julesz is alkalmazta. (Visual Pattern Discrimination, 1962.)

A dolgozatom elején bemutatott művek magukon viselik mindkét jelleget, Vera Molnar épp e kettősségben, vagy Mason interpretációjában is épp e kettősségben ragadja meg az algoritmus adta lehetőségek művészeti felhasználásának lényegét.

Kezdjük vizsgálatunkat először a sejtautomatákkal, mely a textúrákat használó percepciós kísérletekhez készített képekhez Julesz és a matematikus Ed Gilbert és Jonathan Victor alkalmaztak. Ezeket a képpárokat véletlenszerűen generálták, de kódoltak beléjük „tervezett” hasonlóságokat.

Szomszédos képi elemek kapcsolódása: szabályok és lépések

A sakktábla egyszerű mintázata feltűnik számos műalkotáson. Digitális változatát, – több további, csempézhető, egyszerű képi minta mellett - már az 1979-ben megjelenő *Fairlight CMI* számítógép is felkínálta. Ez a mintázat egy egyszerű „program” szerint elkészíthető: a fekete és fehér négyzeteket úgy kell elhelyezni egymás mellé, hogy azonos színű elem nem kerülhet egymás szomszédságába, csak átlósan. Ez a mintázat nem mutat véletlenszerű jegyeket, a fekete és a fehér négyzeteket véletlenszerűen egymás mellé helyezve nagyon kicsi az esélye, hogy akár csak egy kisebb, és akár csak egy szabálytalan körvonalú területen létrejöjjön a sakktáblaminta.


Több szabály és az ismétlődő lépések komplexebb, kevésbé homogén alakzatokat eredményeznek. Ennek egy ismert példája Neumann János és Stanislaw Ulam sejtautomatája, melynek eredete 1948-ig nyúlik vissza. Az önreprodukáló gépek elvének kutatásához kigondolt matematikai modellek több változata ismert, megértésükre és szemléltetésükre Stephen Wolfram 1983-as, egydimenziós sejtautomatája (*Cellular Automata, CA*) lehet segítségünkre.¹⁴ Ezzel megérthetjük, az egyszerű szabályok meghatározásával, és időbeli, diszkrét lépésenkénti ismétlésével a sejtautomaták képképző mechanizmusát. Ha az egymás alatti sorokba rendezett négyzetek alkotta képre nézünk, könnyű megértenünk a kép generálásának folyamatát. A lenti piramisszerű alakzat mintázatát 8 szabály definiálja, melyek a vagy teli (számmal kiírva 1), vagy üres (számmal 0) négyzetek elhelyezkedését szabályozzák, lefelé, sorról sorra. A piramis tetején álló egyetlen teli kiindulási négyzet két bal oldali szomszédja két üres, vagyis: 0,0,1. Ha a szabályokra tekintünk (az ábra felső részén, jobbra) láthatjuk, hogy ennek a hármasságúnak az alsó-középső szomszédja egy teli négyzet. Ennek megfelelően a második sor bal oldalán

¹³ Discovering Texture Regularity as a Higher-Order Correspondence Problem: James Hays, Marius Leordeanu, Alexei A. Efros, and Yanxi Liu, School of Computer Science, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, USA, 2006 (https://www.researchgate.net/publication/221305353_Discovering_Texture_Regularity_as_a_Higher-Order_Correspondence_Problem)

¹⁴ részletes leírása a 2. mellékletben

megjelenő négyzet teli. Az ettől jobbra lévő négyzet ismét üres, mivel a legfelső sor hármas egység-
kinti vizsgálata során jobbra tolvazt a képzeletbeli hármas keretet a 0,0,1 után értelem szerűen 0,1,0
következik, melynek alsó szomszédja üres négyzet. Ismét jobbra csúsztatva három osztatú keretűnket,
a beolvasott érték 1,0,0. A szabály ebben az esetben újabb teli négyzetet rajzol a második sorába (a
második generációba) .

Examples of 1-Dimensional (1D) CA

- 1D CA: Each cell has at most two neighbors 
- Example: 1D CA operating through time under "Rule 90"

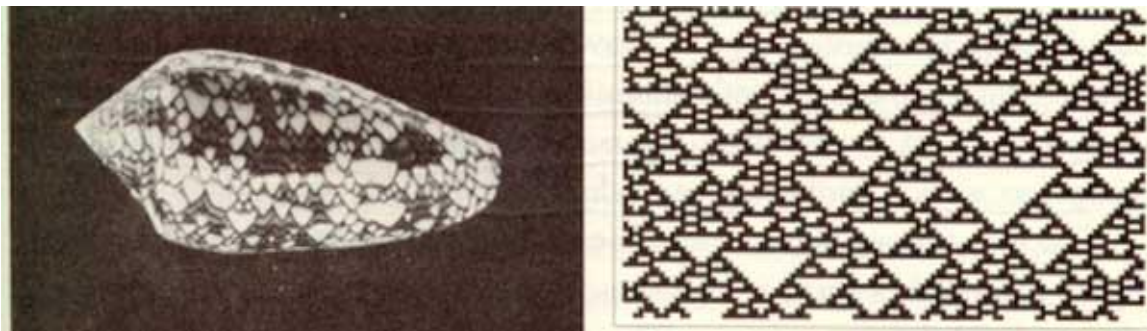


"Rule 90" = One of 2⁸ Elementary 1D CA



3. kép Wolfram egyik egy dimenziós sejtautomatája, a „90-es szabály” szerint, a kép közepéről indítva a progra-
mot.

Az ilyen struktúrák párhuzamba állíthatók Vera Molnar munkáival olyannyira, hogy a svájci Kunst Kon-
takt internetes portálján Molnar *Quantum of disorder* című kiállítását egy sejtautomata képével illusztrá-
rta.¹⁵ Ez különösebb magyarázat nélkül azonban erősen félrevezető. A biológiai rendszerek
szimulációjához, formai egységeik, struktúrájuk, megjelenésük reprodukciójához Neumann által meg-
alkotott automaták utódai, mint az 4. képen látható egydimenziós változat is alkalmas. Látványos pél-
dája ennek a sejtautomaták „30-as szabálya”¹⁶ és a tengeri csiga házának mintázata közti hasonlóság.



4. kép Tengeri csigaház mintázata és a Cellular Automaton „30-as szabály” vizualizációja

A szabályok meghatározásával létrehozott struktúra, mint Vera Molnár, még képzeletbeli számítógé-
pen (*machine imaginaire*) algoritmus szerint, fejben létrehozott mintázatai a rendszerestől eltérő, vé-
letlenszerű elemeket is alkalmaznak. A Peter Weibel szerkesztésében megjelent *Beyond Art: A Third
Culture: A Comparative Study in Cultures*-ben olvashatunk egy szimmetriáról szóló cikket Francois és
Vera Molnartól. Ez adalékuul szolgál ahhoz is, hogy megértsük milyen kapcsolatban voltak Julesssel.¹⁷

Ezen képek történetének feltárása közben tehát - ha nem számítok olyan műveket, mint John Whitney
analóg komputerével létrehozott, absztrakt kísérleti film műfajában alkotott mozgó mintázatait az

¹⁵ <http://kunst-kontakt.ch/events/vera-molnar-quantum-of-disorder/>

¹⁶ <https://mathworld.wolfram.com/ElementaryCellularAutomaton.html>

¹⁷ Vera and Francois Molnár: Making and Breaking Symmetry in Visual Art (in: *Beyond Art: A Third Culture: A Comparative Study in Cultures*, 2005)

1940-es évekből - nem művészeti célú képalkotó kezdetekre találunk. Legalábbis nem elsődlegesen. Azonban feltehető, hogy az ilyen irányú fejlesztések mögött mindig fellelhető az alkotó mérnök a képalkotás iránti vonzalma. Ilyen előzmények voltak tehát az önreprodukáló gépek kutatásához programozott sejtautomaták is.

Julesz sztereóképeibe úgy rejtett ábrákat, hogy a képeket alkotó véletlenpontokat párokban generálta. A két képen a pontpárok ugyanott és ugyanolyan fényességűek voltak, kivéve a „rejtett” ábrát kirajzolókat: azokban csak az egyik pont volt azonos a két képen, párjának fényessége/lokációja eltért.

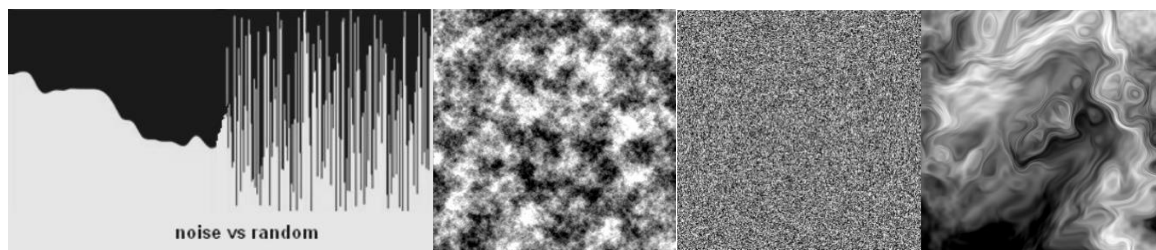
Ez a jelenség mennyiségileg és minőségileg is összevethető Kepes György korát megelőző koncepciójával, ami alapján a *New Landscape in Art and Science* kiállítást és kiadványt¹⁸ felépítette. Kepes váltogatási szempontja a művészeti és tudományos céllal létrejött képek közös nevezőjét a képstruktúrájában és formájában találja meg.

A csak matematikailag generált képi struktúrák (úgynevezett procedurális textúrák), vagyis melyekhez nem alkalmazunk digitális fotográfiát, jelentették a kezdetét a géppel generált mintázatokoknak, tehát a legkorábbi számítógépes képeknek.

Sztochasztikus textúrák, képpont zaj videóképeken és digitálisan - további, generált képi struktúrák, a véletlen lesimítása

A véletlenszerű képi zaj alakításával Ken Perlin új textúragenerálási módszert hozott létre: a *perlin noise*¹⁹ jelentős változást hozott a képalkotás területén.

A véletlenpontok részleges szabályozásával Ken Perlin zajmintázata a szomszédos értékeket közelítette egymáshoz. Így a random képzaj egymáshoz közeli elemei, pontjai – bár elrendeződésüket továbbra is generált gépi véletlen irányította – nagyobb struktúrák kirajzolására váltak alkalmassá, mivel a szomszédos pontok hasonló értékűek. Az egydimenziós Perlin-zaj és a random képpontok különbsége számsorral szemléltethető. Példánkban a szomszédos számjegyek 1 és 9 közötti értékek lehetnek. Ezeket random módon sorba állítva a szomszédos számok értéke szélsőségesen eltérhet (például 18391725826). Azonban, ha random értékek helyett Perlin-zajt alkalmazunk a számok sorba állításához, a véletlen simább: 23456765432345, vagyis a számsor szomszédos tagjainak értékei közt kisebb az eltérés. Vizualizálva e számokat, a kirajzolt diagramm is simább, így természeti formákat idéző komplexebb alakzatok, felhők, domborzat kontúrja vált procedurálisan szintetizálhatóvá.

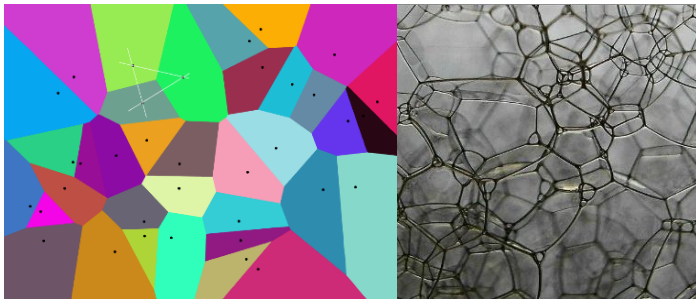


¹⁸ The New Landscape in Art and Science. Chicago: Paul Theobald, 1956.

¹⁹ A Perlin-zaj egyfajta gradiens zaj, ami a számítógépes grafikában a kép mesterséges jellegét hivatott csökkenteni. Ken Perlin az 1985-ös SIGGRAPH-on publikálta először An image Synthesizer címmel

5. kép Balról jobbra: 1 dimenziós Perlin-zaj és random pontok, 2 dimenziós Perlin-zaj és random pontok. Az ötödik képen a Perlin-zaj további gradiens hozzáadásán alapuló modulációjával Glenn Brown festményeinek faktúráit megidéző textúrát kaphatunk - bár ebben az esetben azonban bizonyára minden valódi összefüggés nélkül.

A sejtautomata és a perlin noise mellett gyakori képképző matematikai modellek a *Voronoi-cella*²⁰, a képanalízis során hasonló területek beazonosítására, körül rajzolására alkalmazott *Markov Random Mezők (MRF – Markov Random Fields)* és a *Laplace piramis*. Mindezekkel olyan képeket jeleníthetünk meg a számítógépes grafikában, melyeknek létrehozásához matematikai úton generálunk változó paraméterekkel textúrákat.



6. kép Voronoi-cella vizualizációja, és természeti formán való megjelenése. Az egymásnak torlódó buborékok középpontjainak pontos koordinátái nélkül is látható, hogy egy tökéletes, 3 dimenziós Voronoi-cellát alkotnak.

Perlin 1983-ban kidolgozott algoritmus²¹ számos természeti képződmény imitálásánál használható. Elmondható, hogy az ezzel létrehozott valóság-hű látvány megjelenésekor meglepte a nézőket a természeti formák, hegyek, felhők, hullámok, szárazföld és a tengerpart vonalának hihető ábrázolásával. Munkáját a természet virtuális-technológiai reprodukciójában jelentős előrelépésként tartjuk számon. A természet digitális ábrázolásával egyidejűleg azonban megjelent a gépi képek artifikális jellegének tényezője, mely azóta meghatározó szempont. A fotorealistikus célú képképzés ezen gyakorlati problémája azonban nem merül fel, ha az absztrakt filmes hagyományokat folytató mozgó grafika műfaját vizsgáljuk. Megjegyezhető, hogy a mesterséges és természetes látvány érzékelésekor fellépő emberi reakció kutatásakor a japán Masahiro Mori felfedezett egy anomáliát, az úgynevezett uncanny valley-t, ami a mesterségesen létrehozott figurák emberiként való elfogadásának mértékét ábrázoló grafikus diagrammon figyelhető meg.

Talán az absztrakt filmekben mérhető leginkább, ahogy kezd szétválni a művészi képképzés és a gyakran inkább csak a technológiai fejlődést demonstráló fotorealistikus képképzés. Ilyen lehet L. Nelson Max filmje, a *Carla szigete* 1981, és az őt inspiráló Loren Carpenter *Vol Libre* című klipje. Még koherens és következetesen művészeti program (nem a szó szoftveres értelmében) eredményeként értelmezhető, autonóm művészi munkákat alkottak, de a mindenkori csúcstechnológia elkezdte saját, popularizálódó, kereskedelmi útját járni. A képszintézis, a géppel generált kép, már nem jelentett egyszerre miniatúrát és rajzot. Carpenter hegyeivel a textúra fraktál térbeli tájjá változott.

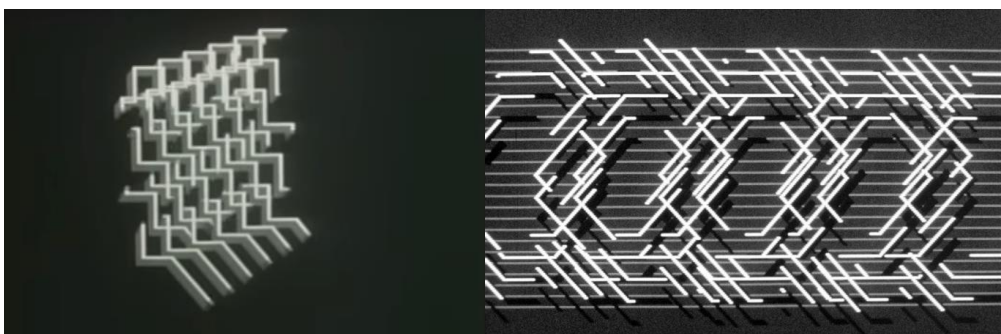
²⁰ Egy ponthalmaz egy elemének Voronoi-cellája azokat a síkbeli – illetve térbeli – pontokat tartalmazza, amikhez a ponthalmazból az adott elem van a legközelebb. A síkon egy pont Voronoi-celláját a ponthalmaz többi elemével vett felező merőlegesek által határolt tartományként kaphatjuk meg, térben pedig a felező merőleges síkok által határolt konvex tartományként.

²¹ Ken Perlin a róla elnevezett procedurális primitívjét az 1985-ös SIGGRAPH-on mutatta be az *An image Synthesizer* című dolgozatában. 2001-ben előállt a perlin zaj egy javított verziójával, a simplex zajjal.



7. kép Balra az 1980-as *Vol Libre* (Loren Carpenter) egy képkockája, jobbra a stilizáltabb *Carla szigete* (L. Nelson Max) Bár Carpenter rendere valóban részletesebb, az itt bemutatott reprodukció vélhetően egy vetített kép újbóli filmrevételével készült, amitől az kontrasztosabbnak és realiztikusabbnak hat. A természeti képződményeket még nem Ken Perlin gradiens simított zaja formázta: fraktálokból épülnek fel.

A természet virtuális ábrázolásával szemben az új médium ugyanúgy használható absztrakt formákból konstruált mozgó grafikai kompozíciók létrehozására. Larry Cuba 1985-ös, *Calculated Movements* című absztrakt filmjében, a vonalak ritmikus mintázata a meghatározó, kompozíciót felépítő elem. Munkája ezért párhuzamba állítható Molnar képeivel, és John Whitney animációival is. Cuba geometrikus formáival, szerkesztett alakzataival, az absztrakt filmes hagyományokat folytatja, mintázatai testtel rendelkező, az alattuk lévő síkra árnyékot vető egyenesek. Ez a szigorú formarendszer a mai értelemben használt, vélhetően Whitney-től származó kifejezéssel élve, a motion graphics korai példája, mert az absztrakt filmek halmazán belül, jelszerű struktúrái a betűket alkalmazó főcímekkel, animált logókkal rokoníthatók. A digitális matéria súlytalan és anyagtalan, ám könnyen alakítható jellege a textúrákra is érvényes. Maga a textúra szó nyelvi definíciója is alkalmazható és igaznak bizonyul az *Art in the Age of Computers* kiállítás számos képére: a latin textus: szövet és szöveg, és az ebben rejlő további fogalmi kapcsolatok.



8. kép Képernyőfelvételek Larry Cuba 1985-ös, *Calculated Movements* című absztrakt filmjéből.

A textúraszintézis, mint az újonnan megjelent 3D formák borítását célzó eljárás, eddigre már csak egy része a számítógépes képalkotásnak. Egyúttal fellépett a digitális textúrákkal szemben támasztott azon igény, hogy azok realiztikusnak hassanak a virtuális világ ábrázolásakor. Míg a Perlin-zaj hegyeket, felhőket, hullámokat, partvonalakat formázhat, a Voronoi-cella a megidézheti a bőr mintázatait, fakérget, és más organikus felületeket vizualizálhat. Ám a már említett procedurális, emiatt artifikális gépi jelleg elfedésére alkalmasabbnak ígérkezett a közvetlenül a fizikai világból digitalizált felszínek alkalmazása, a digitális fotók virtuális modellre helyezése. Erre a digitális kamera megjelenése, és felbontásának növekedése adott lehetőséget. Ennek egyik legkorábbi példája James Blinn NASA számára készült, 1981-es filmje²², melyen a Szaturnusz bolygó felszínét illesztette egy virtuális gömbre [24. kép].

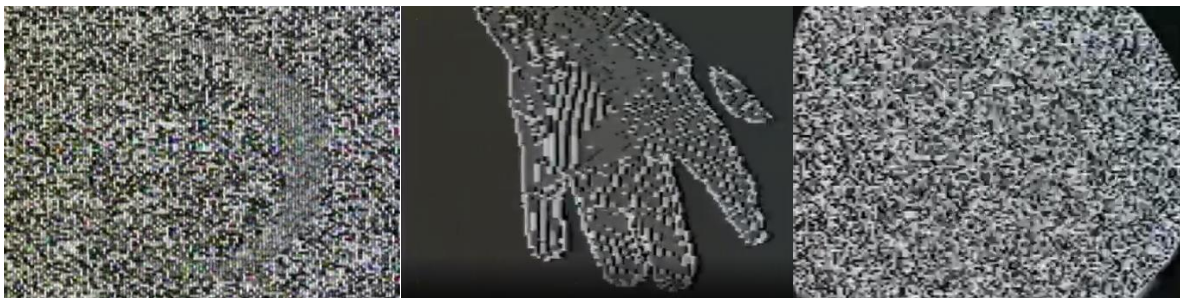
²² <https://www.youtube.com/watch?v=SQk7AFe13CY>

A textúrák képkalkotásban betöltött jelentős szerepe adja a jelenleg folytatott kutatásom, és doktori értekezésem aktualitását. Formálásuk egyik lehetősége, a fizikai világ, vagyis környezetünk textúráinak digitalizálása, majd alakítása szintézissel. Később térek ki bővebben a szó újabb jelentése, a CGI terminológiára, ami a „formák képekbe csomagolását” jelenti.

Mintázatok alkalmazása a videóművészetben

Woody Vasulka *Artifacts* című, 1980-as munkája a textúraelválasztási képesség határait viszi a nézőt.²³ Ez Julesz textúra-zajának, és textúraelválasztásra vonatkozó megfigyeléseinek művészeti alkalmazása. Ha a 22 perces videómű első 6 percének egy-egy képét kimerevítjük, gyakran nem látható felismerhető alakzat, de a lejátszás során, az „animált textúra”, a háttér és egy ellipszis, vagy mozgó emberi kéz körvonalán belüli eltérő vibrálás észlelni engedi a szem számára azok körvonalait. Ez, és korábbi munkája, az 1974-es *Noisefields*²⁴ párhuzamba állítható Julesz kísérleteivel, talán az ihlette. Az *Artifacts* egyben párbeszéd a digitális és az analóg képkalkotás között, és mivel Vasulka a saját kezét is megjeleníti és használja – egyúttal párbeszéd az ember és a gép között is. Az *Artifacts*-ban Woody Vasulka bemutatja a *Digital Image Articulator* nevű, komplex digitális képkalkotó eszközét. E szerkezet megkonstruálását szükségesnek vélte, mivel a 70-es években kapható számítógépek még nem tették lehetővé a valószerű képfeldolgozást. 1979-ban Woody Vasulka, Jeffrey Schier és Tom Moxon leírják a *Digital Image Articulator* nevű gépük használati kézikönyvét, bemutatva annak funkcióit. (Kézikönyvet sosem jelentették meg, annak szövege azonban ma már hozzáférhető.)

A képkalkotó instrumentum születésének előzménye, hogy Woody és Steina vásárolt egy DEC LSI-11 mini számítógépet 1975-ben.²⁵ Ennek hiányosságait látva, hallgatójuk Jeffrey Schider előállt egy elgondolással arra vonatkozóan, hogy hogyan lehetne felhasználni a miniszámítógépet a videó képfeldolgozásban, így elindult a *Digital Image Articulator* építése (1976-1977). Az új eszközzel, - a programozással valósidőben alakított képeken - már nem volt érzékelhető késés az interakció során. A szerkezet négyzet alakú alapelemek kombinálásával dolgozta fel a képeket [9. és 10. kép]. Az ezekre alapegységekre épülő felosztás váltotta fel Vasulkáék korábbi instrumentumát, a Rutt/Etra Scan Processort jellemző hullámformákat. Woody Vasulka szavaival: az "Az aritmetikai logikai egységben (ALU)" a gép felépíti az "A" és "B" diszkrét elemek közötti kapcsolatokat a Boolean algebra²⁶ szerint. Az új szerkezet mintázatait a négyszögletes textúregységek, és videóinputok keverésével hozta létre, amelynek látványa igen eltért az analóg videóval létrehozott képektől. A négyzetekből épülő mikrostruktúrákból létrehozott „szuperjelek” és textúrák addig ismeretlen képi jelleget eredményeztek. Az egységnyi elemekből konstruált, villogó kép újra és újra felismerhető képződményeket jeleníthetett meg. Vasulka mikrostruktúrájának építőelemei diszkrét egységek, melyekből az *Artifacts* videógrafikái felépülnek.



²³ Rudolf Frieling (SFMOMA): Történelem – Peter Callas aláírásával c. cikke

²⁴ <https://www.fondation-langlois.org/html/e/page.php?NumPage=483>

²⁵ Thomas Dreher: History of Computer Art, IV. Images in Motion (forrás: <http://iasl.uni-muenchen.de/links/GCA-IV.1e.html>)

²⁶ a bináris digitális rendszerek alapja

9. kép (előző oldal) Az 1980-as *Artifacts* teljes változatának 3 képernyőképe. Egyetlen pillanatot rögzítő állóképen többnyire lehetetlen felismerni az rajzolatokat, kell hozzá a képi zaj időben érzékelhető, eltérő fázisú vibrálása. A bal oldali képen felsejlik egy kör, a középső képen Vasulka keze, jobb oldalon szintén, de ott csak mozgóképen lenne látható.

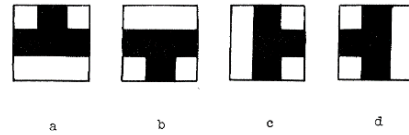
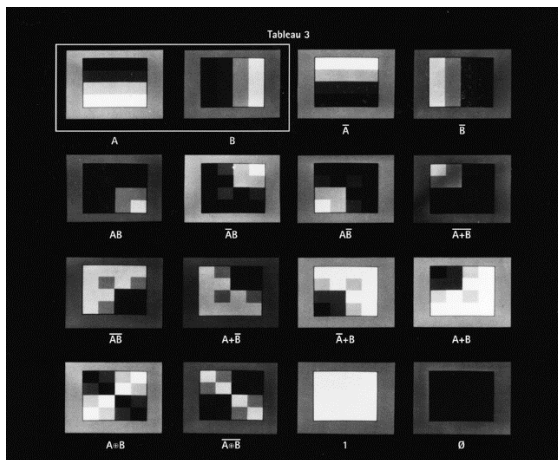


Fig. 23—Micropatterns of which Fig. 24 and 25 are composed.

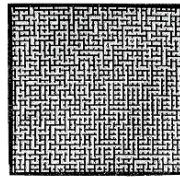


Fig. 24—Two fields (Format B) where the larger one contains (a), (b), (c), and (d) micropatterns of Fig. 23 at random, whereas the small field only (a) and (c).

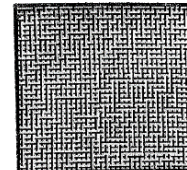
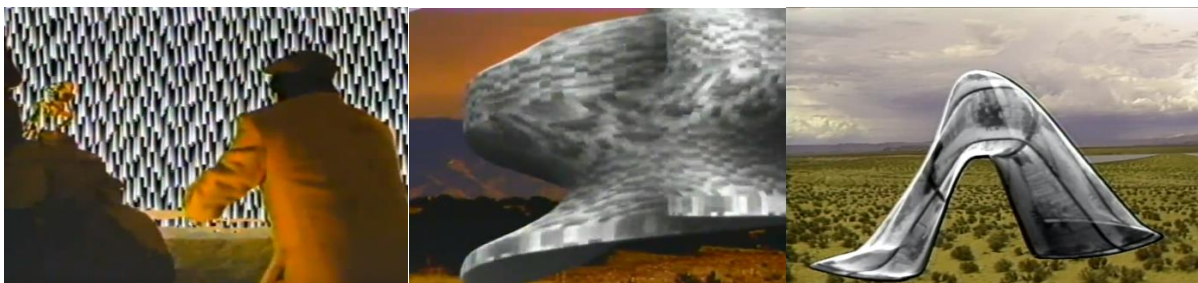


Fig. 25—Identical with Fig. 24 but the larger field contains (b) and (d) micropatterns at random.

10. kép (balra): Vasulka mikrostruktúrájának építőelemei: diszkrét egységek, melyekkel az *Artifacts* videógrafikái felépülnek

11. kép (jobbra): Julesz mikropatterneknek nevezett elemei a *Visual Pattern Discrimination* című, 1962-es cikkéből, és alattuk az azokból konstruált mintázatok.

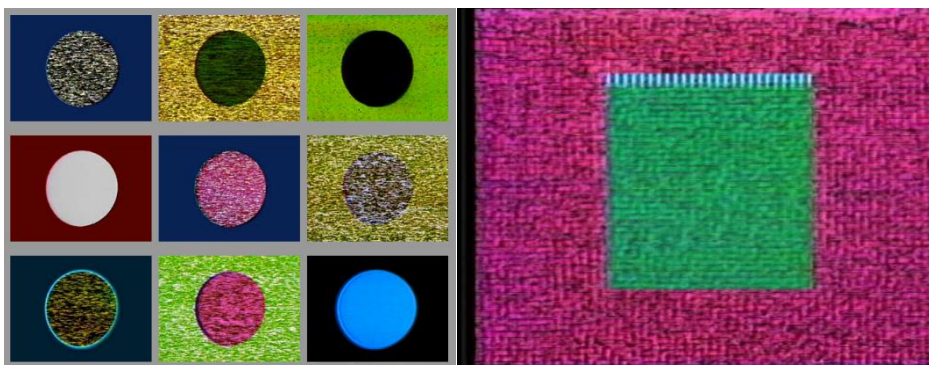
Későbbi munkáiban Vasulka is elindul a textúrák térbeli alkalmazása felé. Ennek példája az 1987-es *Art of Memory* című videója. Ebben mozgóképeket, jellemzően archív fekete-fehér felvételeket, és a korábbi mikrostruktúráit is alkalmazva, azokat geometrikus formák felszínén jeleníti meg. Steina Vasulka munkáiban szintén alapvetően jelen vannak textúrális elemek.



12. kép Az *Art of Memory* három jelenete

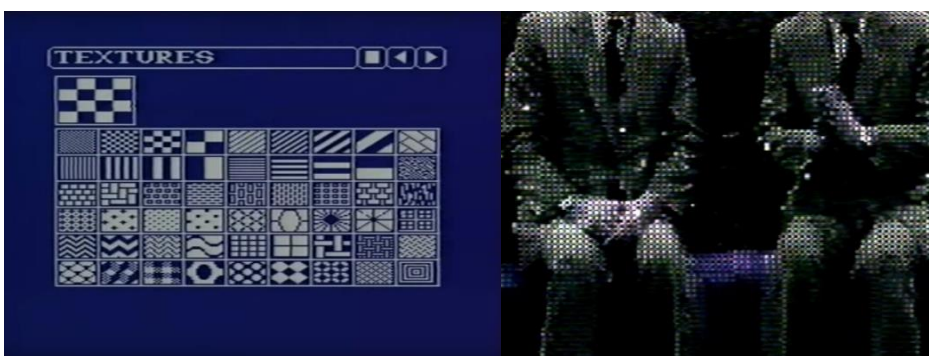
Szerkesztett grafikai elemek ismétlése textúraegységek megrajzolásához: újabb művészeti vonatkozások

A textúrába ágyazott jel ábrázolása, - Vasulkáék szerkesztett mikrostruktúrái után - az ausztrál videó-művész, Peter Callas munkáiban is megjelenik. A konkrét tudományos célhoz szintetizált képek létrehozásához használt számítógépek, - és Whitney direkt a mozgó grafikához szerkesztett instrumentumai után, - megjelentek a szélesebb körben hozzáférhető digitális gépek. Ezek kezdetektől kínáltak textúraszerkesztő funkciókat, melyeket főképp a mintázat (mintaelem, pattern) szóval lehetne definiálni. Ezek jellemzően szerkesztett elektronikus mintázatok, ismétlődő egységekből állóak, egymás mellé folytatólagosan illeszthető, úgynevezett csempézhető, determinisztikus textúrák.

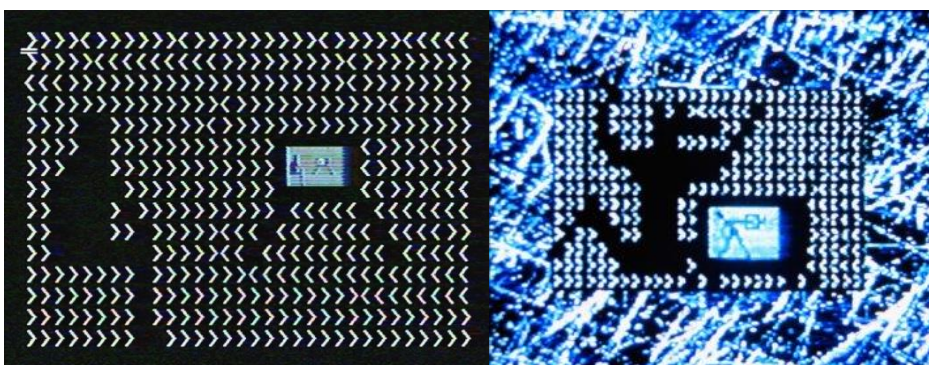


13. kép Woody Vasulka (balra) és Peter Callas textúraelválasztási kísérletet idéző videógrafikái

A Fairlight CMI (Computer Musical Instrument) számítógép - többek közt Peter Callas alkotó eszköze - felkínálta több ilyen, csempézhető, egyszerű képi mintaelemet. A CMI gépnek még a szlogenje is utalt erre a lehetőségre: Select a texture, or draw your own! – (Válassz egy beépített textúrát, vagy rajzolj meg a sajátod).



14. és 15. kép A Fairlight CMI számítógép beépített patternjei, melyek Peter Callas ausztrál videoművész több munkájában is megjelennek. Balra a gép kínálta patternek, jobbra Double Trouble című munkája 1986-ból; képek forrása: <http://scanlines.net/node/1963>



16. kép P. Callas: Communication, 1986; jobbra: Double Trouble; képek forrása: <http://scanlines.net/node/1963>

Peter Callas munkáiban patternek, elektronikus mintázatok zuhataga van jelen, és a folyamatosan mozgó videóképein maguk a textúrák is animáltak. Használja azokat alakjainak kirajzolásához, formák felszínén, általában képi zajként, kezdve a képernyő képpontjainak előtűnő tökéletlenségétől, ahogy azok a projekció során felnagyítva láthatóvá válnak. Ezen túl, a hordozók jeltömörítési mintázatain, tovább a már tudatosan festett, vagy szerkesztett mintázatokon át egészen a betűk és számok tipográfiai karakterének töredezett mintázatáig. Ezek a gyakran írásjel tömörségű – helyenként valóban betűkből álló – építőelemek, maguk is erősen redukált, de felismerhető alakok kontúrjait rajzolják ki a

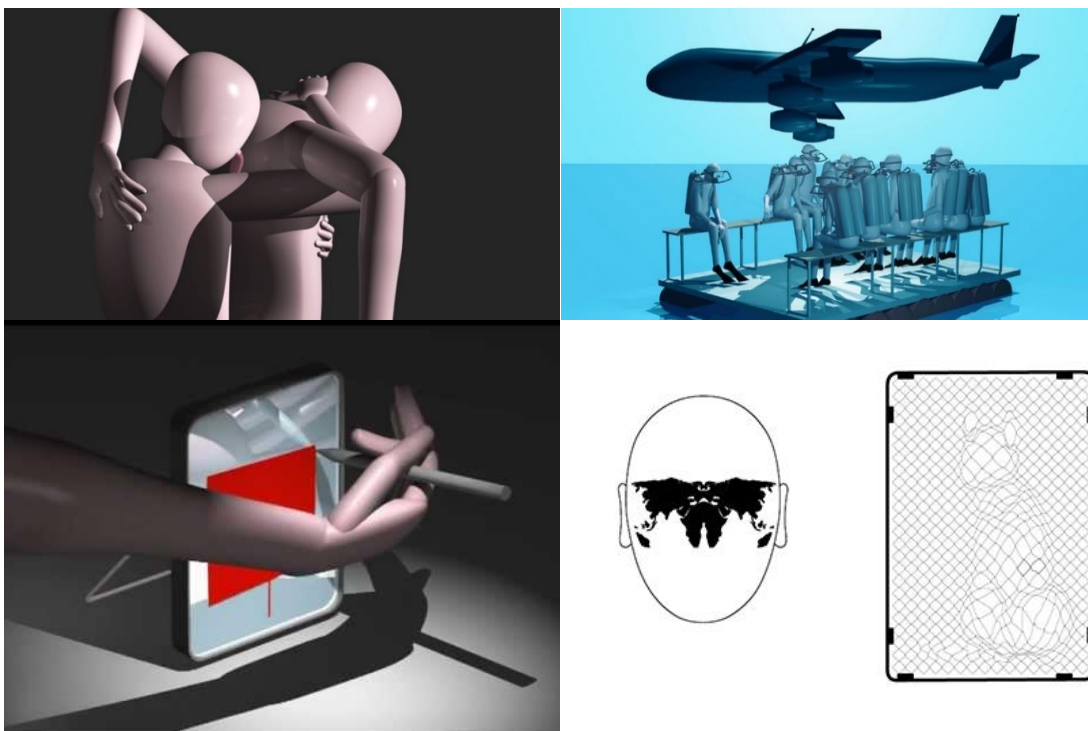
videóképernyőn. Callas videóművészeti megközelítése rajzosabb, a tradicionális grafikai médiumok világából emeli ki és kelti életre alakjait. Alkotói útja során, mai szemmel úgy tűnik, meglepő könnyedséggel jutott túl a 80-as évek videótechnológiájának szűkös keresztmetszetén, a videóképek jellemző megjelenést, - például a korlátozott számú képpontból álló képernyőképek felnagyításakor megjelenő képi zajt - grafikai formanyelvének integráns részévé emelte.



17. kép Callas: Ernst Will képeskönyve: *Euro-rejtvény*, 1993. *Night's High Noon: An Anti-Terrain*, 1988 és *Double Trouble* 1986.

Példa a textúrák nélküli virtuális grafikákra

A megjelenítés technológiai korlátjainak ilyen sikeres grafikai implementációját figyelhetjük meg bő másfél évtizeddel később a svájci Yves Netzhammer 3D animációiban, aki a 2000-es évek elejétől kezdve, gyakran installációinak részeként mutatja be mozgóképes munkáit. Grafikáin - melyek rendek és vektoros rajzok - visszatér a virtuális képalkotás korábbi, még textúrák, vagy épp a procedurális Perlin-zaj előtti képi megjelenéséhez. Sematikus, legtöbbször arc nélküli alakjai emiatt igen csupas�, műanyagszerű megjelenésűek, enteriőrjei geometrikusak, berendezési tárgyai végletekig lecsupaszítottak. Netzhammer vélhetően modelljeinek épp e textúrális hatások nélküli ábrázolásával képes mégis egységes grafikai jelleget kialakítani az egyébként eltérő képalkotási technikákkal létrehozott a 3D renderei, és vektoros rajzai között.



Textúrákat gyakorlatilag egyáltalán nem használ 3D modelljeinek felszínein, de vektoros grafikái közt szerkesztett, geometrikus, csempézhető mintázatokat (angol szóval pattern-eket) megfigyelhetünk. A rajzain visszatérő egyik állat, a macska plasztikus alakját egy szabályos, stilizált kerítésdrót részleges torzításaival érzékelteti [18. Kép].

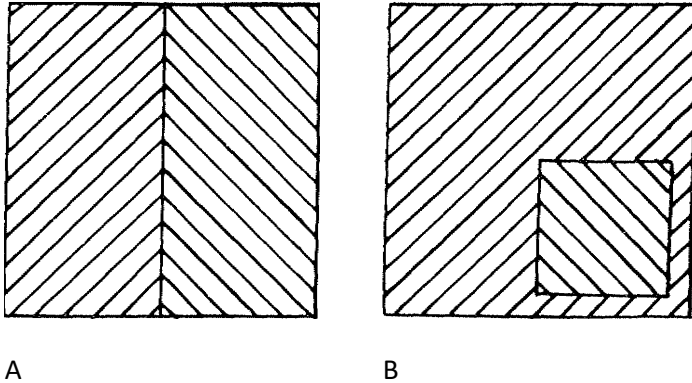
Rajzolat eltérő textúrák határán

A rajzolatok művészi megjelenítéséhez tehát, vagyis hogy a néző kontúrokat érzékeljen az ábrázolni kívánt formák körül, eszköz lehet az eltérő mintázat-struktúrák egymás szomszédságába helyezése, melyek találkozásánál - valódi test és vastagság nélküli – vonalkontúrt érzékelünk. Ennek az ábrázolási technikának az eredetét – melynek nem csak a számítógépes médiumot alkalmazó műveken láthatjuk példáit, hanem festményeken is, például Roman Opalka egyes művein [22. kép] – a sztereoszkópikus látás kutatással csaknem megegyező években születő, a textúraelválasztás kutatásához generált képekben kereshetjük. Julesz Béla sejtautomatákkal, sztereó képpárokhoz generált sztochasztikus képpontjai megjelennek *Látható mintázatok megkülönböztetése (Visual Pattern Discrimination)*, 1962 című publikációjában is. Ennek bevezetőjében Julesz kifejti, hogy az érzékelés vizsgálata során a kutatók már az ő munkásságát megelőzően is arra törekednek, hogy kontrolálják az az érzékelést kiváltó ingerinformáció mennyiségét. Ezt a kísérletek során különböző módokon érhetik el: gyengítik az ingereket zaj hozzáadásával, vagy korlátozott ideig teszik észlelhetővé a kísérleti alany számára, esetleg rögzítik azokat a retinán, vagy más módon rontják a téma észleléséhez szükséges feltételeket, csökkentve a látási, vagy hallási körülményeket. Egy másik lehetőség olyan kísérleti alanyok bevonása, akik észlelési mechanizmusa sérült, vagy hiányos. Ilyenek a csecsemők, mert észlelésük még fejletlen, vagy a kóros rendellenességek gyógyítása során végzett műtéti beavatkozás utáni kísérleti alanyok. Az állatokon végzett kísérletek említhetők még példaként. (e fordításom Julesz *Visual Pattern Discrimination* című cikkén alapul, ám a „split brain”²⁷ fogalmáról Julesz bővebben ír a *Dialógusok az észlelésről* c. könyvében). Ezen módszerek egyike sem volt teljesen kielégítő, mivel nem határozható meg pontosan, hogy ezek a beavatkozások mennyire zavarják a normális észlelési folyamatot. A közelmúltban azonban (értsd 1962-ben, e cikk akkor született) megjelent egy harmadik alternatíva is, mely számítógéppel generált, irányított (statisztikai, topológiai és heurisztikus) tulajdonságokkal rendelkező ábrákat használ, melyek azonban nem tartalmaznak felismerhető motívumokat. Ezek a mintázatok megfosztják a kísérleti alanyokat az életük során tanult észlelési viselkedésüktől, és arra készíteti őket, hogy primitívebb észlelési mechanizmusokra támaszkodjanak. Ezért ezek a kísérletekről feltételezhető volt, hogy felfedik az érzékszervekben és az idegrendszerben az információfeldolgozás során megfigyelhető néhány alapvető szervezési elvet.

A magyar származású pszichológus itt bemutatott kísérletei az ismeretlen látványminták, képi mintázatok megkülönböztethetőségét vizsgálják. A kísérletekhez sztochasztikus pontokból álló mesterséges képeket használtak, de mivel magát a látás folyamatait kutatták, következik, hogy a környezetünkben található textúrák megkülönböztetésére is érvényes. Ez az egyik oka, hogy a sokszor idézett publikáció még ma is gyakran megjelenik a legújabb, textúraszintézisről szóló tanulmányokban - több, az ezen a területen végzett kutatásához hasonlóan.

²⁷ Hasított agy paradigma (split-brain paradigm): Olyan betegek vizsgálati módszere, akiknek a corpus callosumát átvágták – ezt általában epilepsziás rohamok enyhítésére hajtják végre. A corpus callosum tartalmazza az agy két féltekéje közötti legfontosabb kapcsolatokat. Az ilyen módszerek általában abból állnak, hogy valamely érzékleti bemenetet az agy egyik féltekéjére korlátoznak, és megvizsgálják a két félteke számára hozzáférhető információ természetét. (forrás: J. B.: *Dialógusok az észlelésről*; Szakkifejezések)

A látható mintázatok megkülönböztetésére irányuló kísérlethez két generált képmező készült, melyek egymás mellé rendezve (A formátum), és egymásba ágyazva láthatóak (B formátum). Az A formátum esetében a mezők vízszintes irányban térnek el egymástól, a B formátumot pedig két dimenzióban, függőleges és vízszintes irányban is. A probléma felvetés a következő: mely tulajdonságokban kell eltérniük, hogy rájuk pillantva megkülönböztethetők legyenek egymástól? [19. kép]



19. kép A textúra-megkülönböztetési kísérletekben használt A és B formátum

Az érzékelés során történő megkülönböztetésre a kutatás során Julesz feltételezte, hogy abban igen nagyfokú spontaneitás van. Nyilvánvaló, hogy a két mező közötti különbség hosszú és alapos elemzés után felismerhető, de nem ezzel a tudatos komplex felismerési és összehasonlítási folyamattal foglalkozott, hanem az a sokkal primitívebb és spontán folyamat érdekelte, amely a két területet két különálló egységre osztja. A 20. kép szemlélteti ezt az elképzelést. A bal oldali mező hétbetűs angol szavakból áll, míg a jobb mező azonos hosszúságú értelmetlen szavakból áll (valójában ugyanazok az angol szavak vannak visszafelé leírva). Bár az angol szavak ellenőrzéssel felismerhetőek, az értelmetlen szavak viszont nem – ám ennek ellenére lehetetlen a bal és a jobb oldali mezőket két különálló egységre osztani úgy, hogy azok között egyértelmű határ jelenjen meg.

```

CERTAIN QUICKLY PUNCHED METHODS SCIENCE COLUMNS NIATREC YLKCIUQ DEHCNUP SDOHTEM ECNEICS SNMULOC
SCIENCE SPECIFY PRECISE SUBJECT MERCURY GOVERNS ECNEICS YFICEPS ESICERP TCEJBUS YRUCREM SNREVOG
METHODS RECORDS OXIDIZE COLUMNS CERTAIN QUICKLY SDOHTEM SDROCER EZIDIXO SNMULOC NIATREC YLKCIUQ
DEPICTS ENGLISH CERTAIN RECORDS EXAMPLE SCIENCE STCIPED HSILGNE NIATREC SDROCER ELPMAXE ECNEICS
SUBJECT PUNCHED GOVERNS MERCURY SPECIFY PRECISE TCEJBUS DEHCNUP SNREVOG YRUCREM YFICEPS ESICERP
EXAMPLE QUICKLY SPECIFY METHODS COLUMNS MERCURY ELPMAXE YLKCIUQ YFICEPS SDOHTEM SNMULOC YRUCREM
SCIENCE PRECISE EXAMPLE CERTAIN DEPICTS ENGLISH ECNEICS ESICERP ELPMAXE NIATREC STCIPED HSILGNE
SPECIFY MERCURY PUNCHED QUICKLY METHODS EXAMPLE YFICEPS YRUCREM DEHCNUP YLKCIUQ SDOHTEM ELPMAXE
EXAMPLE GOVERNS OXIDIZE ENGLISH SUBJECT RECORDS ELPMAXE SNREVOG EZIDIXO HSILGNE TCEJBUS SDROCER
COLUMNS SUBJECT PRECISE MERCURY PUNCHED CERTAIN SNMULOC TCEJBUS ESICERP YRUCREM DEHCNUP NIATREC
ENGLISH RECORDS EXAMPLE SUBJECT OXIDIZE GOVERNS HSILGNE SDROCER ELPMAXE TCEJBUS EZIDIXO SNREVOG
CERTAIN PRECISE PUNCHED METHODS ENGLISH COLUMNS NIATREC ESICERP DEHCNUP SDOHTEM HSILGNE SNMULOC
OXIDIZE QUICKLY SCIENCE DEPICTS SPECIFY PRECISE EZIDIXO YLKCIUQ ECNEICS STCIPED YFICEPS ESICERP
DEPICTS EXAMPLE ENGLISH CERTAIN RECORDS SCIENCE STCIPED ELPMAXE HSILGNE NIATREC SDROCER ECNEICS
SPECIFY MERCURY GOVERNS PRECISE QUICKLY METHODS YFICEPS YRUCREM SNREVOG ESICERP YLKCIUQ SKOHEM

```

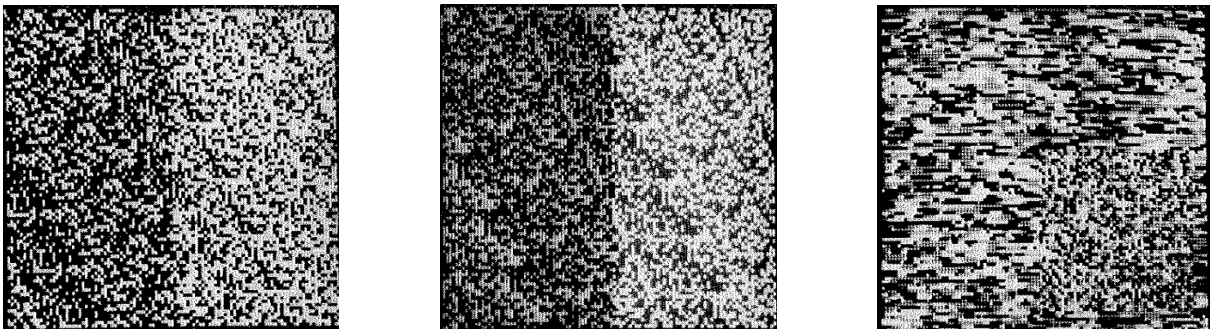
20. kép A fenti kép szemlélteti a csak a mintafelismerés alapján történő textúraelválasztást

Julesz a következőképpen foglalta össze megfigyelését: „Jóllehet, a fókuszált figyelem sok tulajdonsága érdekes lehet számunkra, e dialógusokban csupán egyetlen speciális jellemzőjét vizsgálom meg részletesebben, amit úgy fogok hívni, hogy „elszakadás a tömegtől”. Ha egy betűkből és számjegyekből álló sűrű szöveget szemlélünk, az egyes karaktereket már nem külön-külön látjuk. Ahhoz, hogy a szövegben egy adott jelet felleljünk, tüzetesen meg kell vizsgálnunk. Tudjuk, hogy az elemek egybeolvadása az általam „textúra-kialakulásnak” hívott pillanatban jelenik meg (amikor is a szomszédos elemek egy-

mást gátolják). Ebben az esetben a betűk sűrű halmaza alfabetikus textúrát alkot. Amennyiben a karakterek „texton egyensúlyban” vannak, tehát nincsenek feltűnő, kiugró jellegzetességek, betűről betűre történő vizsgálat (gyors letapogatás, vagy „olvasás”) szükséges ahhoz, hogy elkülönítsük az egymást gátló, szomszédos jeleket. A fókuszált figyelem kifejezés alatt azt az alapvető eljárást fogom érteni, amely a sűrű szöveg vagy mintázat jeleit egymástól elkülöníti. Az, hogy a betűket egyenként kell-e végignéznünk, avagy figyelmünk kiterjedhet-e különféle szomszédos karakterekre is, szintén érdekes probléma.”²⁸

Az alábbi három ábra [21. kép] olyan eseteket szemléltet, amelyek első ránézésre is két különálló terület benyomását keltik. Ezt a spontán folyamatot tekintjük vizuális megkülönböztetésnek, textúraelválasztásnak. Ez folyamat tekinthető általánosságban is annak a klasszikus észlelési folyamatnak az alapjával, mely a figura és háttér megkülönböztetésére irányul. Ezért érvényes - a látható világunkra alkalmazott szűkítéssel - a környezetünkben fellelhető textúrákra is. (Julesz kísérletei a látórendszer vizsgálatára irányultak.) Az alábbi képeken tehát a sejtautomatákkal generált véletlenszerű pontok egy részének fényessége tér el az egymás szomszédságában megjelenített mezőkön. Julesz, és kutatótársai²⁹ itt is hasonló módszert alkalmazták, mint a véletlenpont sztereogramok képpárjainak létrehozásánál: Sztochasztikus textúrákat készítettek determinisztikus "megszorítással", vagyis paraméterezhető, tervezhető részei is voltak a véletlenszerű pontoknak. A számítógépes képalkotás legeslegkorábbi példáin is fellelhető tehát a dolgozatban tárgyalt tervezett és véletlenszerű kettősség. A képek 199x105 képpontból állnak az A formátum egy-egy oldala 52 és 53 képpont széles, a B formátum négyzete 50x50 képpont, 5 képpontnyira a teljes kép aljától és jobb oldalától.

A kísérletben a képpontokhoz eltérő fényességi értékeket rendeltek. A kísérletben bemutatott n-ed rendű statisztikai eltérés itt is azt jelenti, hogy a kép két fele (az első két példán látható „A” elrendezés) eltérő fényességi fokozatú képpontjai csak részben azonos mennyiségűek és elrendezésűek a kép két oldalán. A harmadik képen, a „B” elrendezésen látható jobb alsó négyzet ugyanígy, csak részben azonos mintázatú az azt magába foglaló nagyobb mezővel.



21. kép

Az azonosság mértékét véletlenszerűen elhelyezett sokszögek, például háromszögek csúcsainál elhelyezkedő képpontok fényesség értékeinek eltérései adják, melyek a vizsgált, egymással érintkező területeken a háromszög három csúcsából csak kettőn azonosak, a harmadik csúcs fényessége eltér. Julesz: "...a szemcséesség különbségei alapján, olyan textúrákat akartam vizsgálni, amelyeknek azonos az N-ed rendű statisztikájuk, de eltérnek (N+1)-ed rendű statisztikájukban. (Itt úgy definiálom az N-ed rendű statisztikát, mint annak a valószínűségét, hogy egy véletlenszerűen a textúrára terített N-szög csúcsai bizonyos N színekre esnek.) Meg akartam határozni azt a legmagasabb N értéket, amely még textúra-szegmentációt eredményez, és szerettem volna tudni, hogy ezt a diszkriminációt milyen észleleti minőség kíséri."

²⁸ Dialógusok az észlelésről

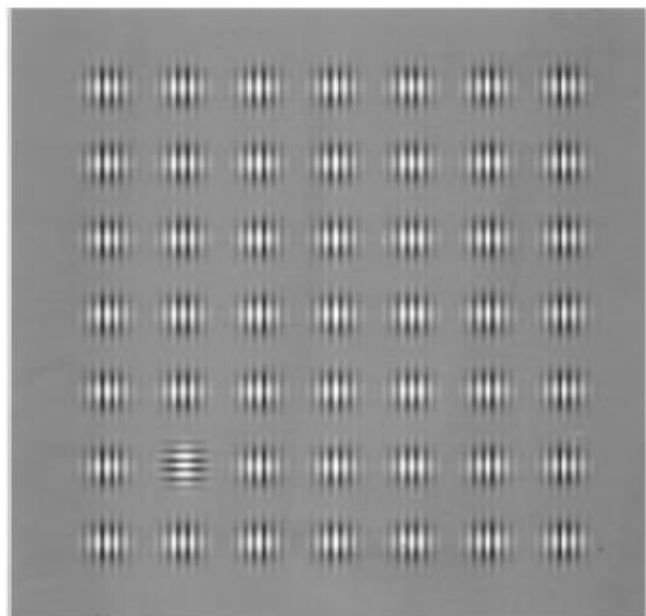
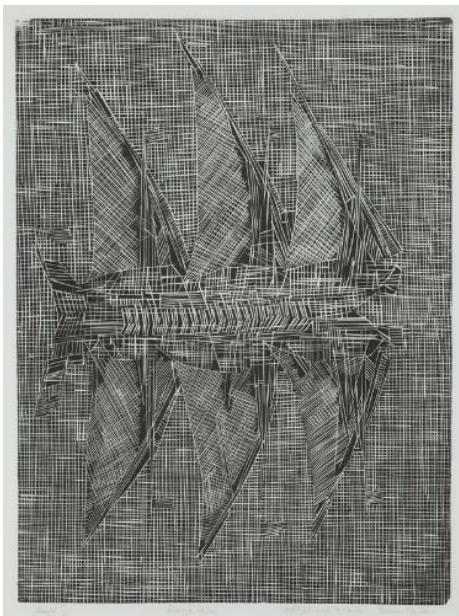
²⁹ 1962 és 1975 között David Slepian, Mark Rosenblatt, Ed Gilbert, Larry Shepp és Harry Frisch, 1977-ben és 1978-ban pedig Terry Caelli, Ed Gilbert, és Jonathan Victor voltak munkatársai.

A kísérletbe bevont alanyokat arra kérték, hogy keressék meg két mezőt, és mutassák meg annak határait, ha látják. A vizsgálati alanyoknak nem árulták el azt sem, hogy melyik formátumot látják, vagyis nem tudták, hogy a függőlegesen kettéosztott képen látható határvonalat, vagy a jobb alsó sarokba generált négyzetet keressék-e.

Textúrainyok

A fenti kísérletben használt képeket felépítő egységek kis, négyzet alakú pontok. Nincs jellemző irányuk, azonban, ha textúra struktúrája például vonalakból szövődik, ezek irányait érzékeljük. A textúraelválasztás ezek találkozásánál is megtörténik. Művészi példája ennek Roman Opalka *Sail I* és *II* című képei. [22. kép]

A struktúrán belül érzékelhető irányokkal rendelkező mintázatokat a természetben megfigyelhető textúrák között is szép számmal találhatunk. Az ilyen struktúra-egységeket, melyek tehát valamilyen irányt is megjelenítenek, a vizuális percepció során - bizonyos korlátok között - érzékeljük. Naomi Weisstein és Charlie Harris (1974) megmutatták, hogy egy adott irányú vonalszakasz detekciója jelentősen javul, ha a szakasz egy 3D tárgyat ábrázoló vonalrajzhoz tartozik, romlik, ha a szakasz egy véletlenszerű vonalrajzhoz tartozik, és akkor a legrosszabb, ha a vonalszakaszt elszigetelten mutatják.



22. kép (balra) Roman Opalka *Sail II*. című képe, és annak textúraelválasztáson alapuló kontúrjai.
23. kép (jobbra) Gábor foltok, (Julesz, Kovács): "Ez az ábra azt szemlélteti, hogy a célinger kiugrik háttéréből, annak ellenére, hogy detekciójához az egyes textúraelemeket létrehozó egyedi *Gábor-foltok* téri frekvenciájának és irányának az összekapcsolása szükséges. Sagi 198 alapján"³⁰ (A Gábor-folt egyfajta képi minta, amelyet ingerként használnak a látáskísérletek során, és amely képes különféle optikai illúziók létrehozására.)

Említést érdemelhet, hogy ide kapcsolható az optikai illúziók világa, valamint Julesz Bell Laboratórium-ban végzett hasonlóság azonosság követés kísérlete [23. kép]. Itt megemlíthető Jacques Ninio³¹, akinek

³⁰ Visual Pattern Discrimination

³¹ Jacques Ninio (Author), Franklin Philip (Translator): The Science of Illusions Paperback, 2001

The Science of Illusions című könyve a percepció és az optikai csalódások témáját vizsgálja, Valamint ezzel a területtel foglalkozik Akiyoshi Kitaoka³² is.

Az eddig látott példákon, a számítógéppel készített képeket procedurális zajok, véletlenszerűen különböző világosságú pixelek, determinisztikus mintázatok, és a digitálisan rajzolt mikro patternek alkották. Utóbbiak lehetnek írásjelek, szövegfolatok is. A procedurális zaj, mint a Perlin-zaj, ölthet plasztikus formát is (ahogy a fraktálok is, amint azt Carpenter virtuális hegyein-völgyein láthattuk) ha annak világos értékeit egy modell felszínének kiemelkedéseiként, sötétebb tónusait pedig besüllyedésként vizualizáljuk a számítógépen.

A képszintézis fogalmát szétválasztva a textúraszintézistől, érthetőbbé válik a kép és a textúra történeti és talán művészettörténeti kapcsolata is. A textúraszintézis tehát textúrák digitális létrehozását jelenti, míg a képszintézis téri modelleket, fényeket, fényvisszaverődéseket és fénytöréseket számít ki és jelenít meg. A korai textúraszintézis azonban – mikor a képek generálása jórészt egyenlő volt a textúráképekkel – új bemeneti nyersanyagra tett szert a digitális fotográfiákkal.

Fotó alapú textúrák, fotó és szkennelés

Fontos röviden értelmeznünk a digitális képképzés tisztán matematikai úton generált képi mintázatait, és a digitális fotográfiákból származó textúrák különbségeit. Fotográfiák 3D modellekre történő vetítésének egyik legkorábbi példája James Blinn munkája, aki a NASA számára készült, 1981-es filmjében³³, a Szaturnusz bolygó felszínének képét illesztette egy virtuális gömbre. A virtuális térben így megjelentek a valóság digitális fotográfiai leképzései, mégpedig egyre komplexebb modellek felszínére vetítve.

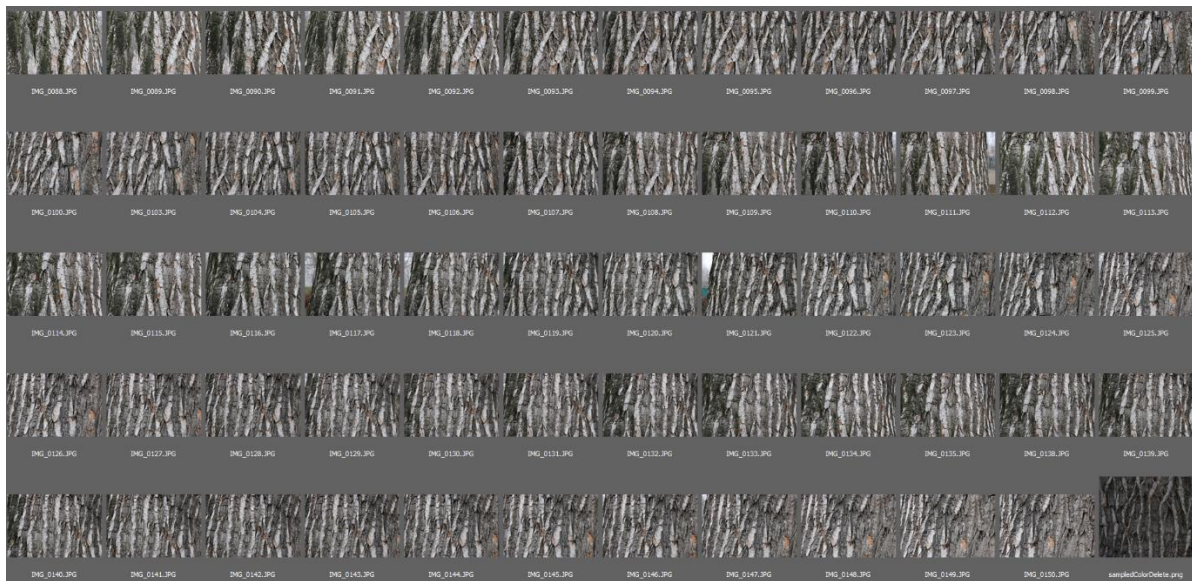


24. kép James Blinn 1981-es animációjának képkockája

Dolgozatomban a digitális fotó alapú információkat, melyek a textúraszintézishez szolgáltatnak bemeneteti nyersanyagot, nem csupán a felület színének információira értem. A fotósorozatokon alapuló, fotogrammetriai szkenneléssel rögzített felületek a színen kívül rögzítik a textúra plasztikus felszínét is. A következő képen [25. kép] egy ilyen fotogrammetriai sorozat, és annak eredménye látható.

³² Akiyoshi Kitaoka: The Fraser-Wilcox Illusion and Its Extension, in: The Oxford Compendium of Visual Illusions, 2017

³³ <https://www.youtube.com/watch?v=SQk7AFe13CY>

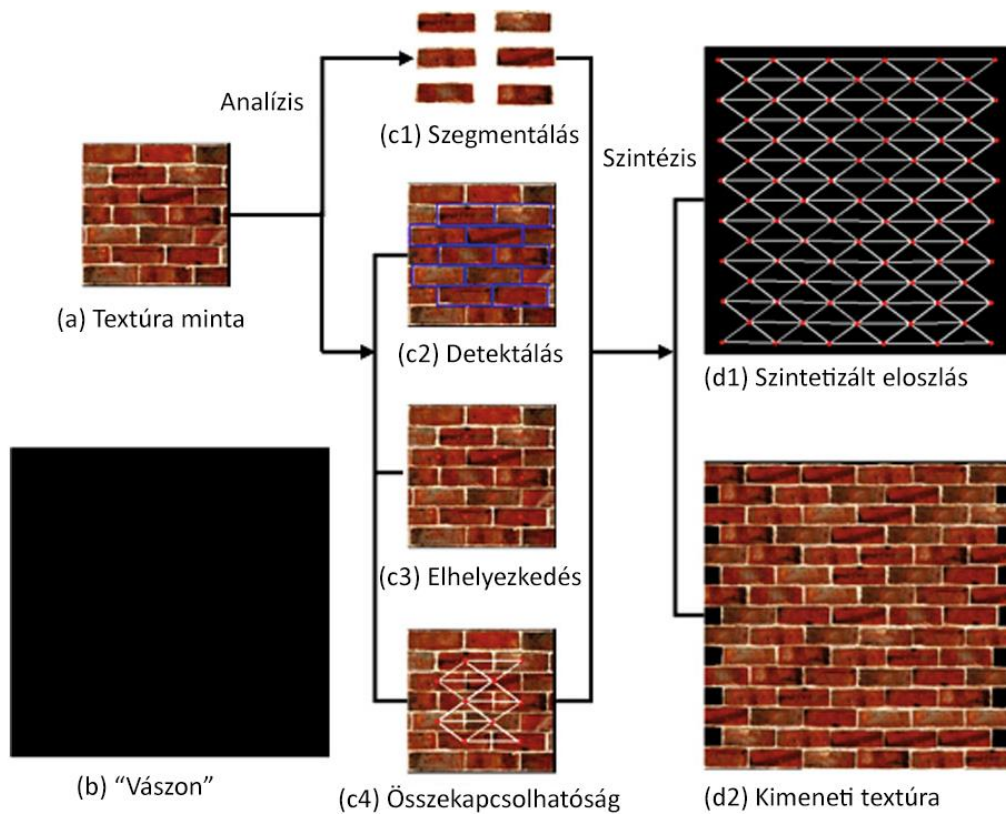


25. kép Fotogrammetriai szkenneléssel digitalizált fakéreg. Fent a teljes fotósorozat, alatta balról jobbra: a szkennelt kéreg modellje, a color map, és a plasztikus információinak képpé alakított, úgynevezett height map, melyen a világosabb részek kiemelkednek, a sötétebbek besüllyednek a renderelt modellek felszínén.

A determinisztikus és sztochasztikus kettősség a digitális fotó alapú szintézis során

Textúrák mindenütt körbe vesznek bennünket, látható környezetünk jelentős részében jelen vannak. Mivel az emberi érzékelés mind a struktúrákat, mind az ismétlődéseket illetően igen érzékeny a szabályosságok észlelésében az egyszeri megfigyelő gyakran magától értetődőnek tekint a mintázatokra, de nem veszi észre azok valódi komplexitását.³⁴

³⁴ James Hays, Marius Leordeanu, Alexei A. Efros, and Yanxi Liu: (Efros & Co) Textúrák szabályszerűségeinek felfedezése, mint magasabb rendű egyezési probléma, 2006



26. kép Textúrák szabályszerűségeinek detektálása azok kiterjesztése, vagyis szintézise során. (James Hays, Marius Leordeanu, Alexei A. Efros, and Yanxi Liu közlése nyomán)

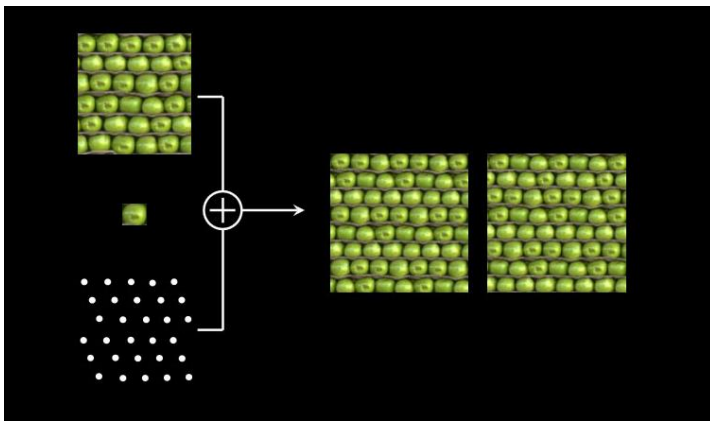
A textúrák tudományos szempontú analízise azonban hosszú ideje fennálló és meglepően nehéz kihívás. A képi textúrák iránti érdeklődés megelőzi a számítógépes képalkotás megjelenését, bizonyosan visszanyúl legálább James J. Gibson kutatásaiig, aki rámutatott a felszínen látható irányok szerepének az érzékelés folyamatában betöltött jelentőségére. Az optikai áramlás a tárgyak, felületek és élek látszólagos mozgásának mintája egy vizuális jelenetben, amelyet a megfigyelő és a jelenet közötti relatív mozgás okoz. Az optikai áramlást úgy is meghatározhatjuk, mint egy kép fényerején mért látszólagos mozgási sebességének eloszlását.³⁵ A Gibson által leírt, a látható világ érzékelésében, a tárgyak megkülönböztetésében szerepet játszó mozgó mintázatok felismerésére a digitális képanalízis is törekszik, hasonló céllal.

Később Julesz az emberi érzékelés textúrák megkülönböztetésén alapuló kutatásai során, 1981-ben kidolgozta textonelméletét. A mérhetőség érdekében az eltérő textúrák érzékelésbeli minőségét azok statisztikai adataival határozta meg. A textúrák szintéziséről, és az ahhoz szükséges, azt megelőző analíziséről szóló, újabb és újabb kutatások erről az alapvető elemről, a textonról beszélnek. A textonról mint alapvető építőkövéről, amely meghatározza az adott textúrát. A textúra alapegységeire bontásának ötlete különösen hatékonynak bizonyult számos gyakorlati, textúraszintézissel kapcsolatos probléma megoldásában. A texton egy érzet, és nem egy konkrétan mérhető egység: egy kvália-szempon-tú definíció, szemben a dolgozatban bemutatott másik, kísérletünkben alkalmazott, többnyire szabálytalan alakú pixel-folttal, a patch-el. Ezt az egységet alkalmaztunk textúraszintézis kísérleteink során (patch-based szintézis). Ez a folt ugyan eltérő alakú és méretű lehet, de mérete definiálható, és a szintézis előtt beállítható.

³⁵ <https://nanonets.com/blog/optical-flow/>

A Carnegie Mellon Egyetem kutatói (Hays et al.)³⁶ a textúrafelismerés és textúraszintézis új technológiáit átfogó cikkükben rámutatnak a szabályos textúrák szintézisének nehézségeire. A problémát az okozza, hogy éppen azért látunk szabályosnak egy mintázatot, mert az emberi percepció automatikusan gestalt csoportokba³⁷ rendezi a textonokat/texteleket, így a minta elemein belüli textonok/textelek nem egyenrangúan vesznek részt a minta kirajzolásában. Minél fontosabb szerepe van egy részletnek a minta kirajzolásában, annál kisebb a valószínűsége, hogy a szintézis során akárhova felhasználható lesz a szintetizált mintázatban.

Ezt könnyű belátni, ha egymásba illeszkedő, folytonos mintázata helyett kerek gyümölcsök sokaságát képzeljük el. Egy nem szabályosan körbevágott alma látványa, egy egész almák sokaságát bemutató képen feltűnő, és természetellenes hatást kelt, ezért a szintézis során meg kell őrizni annak kerek formáját, sziluettjét.



27. kép Az alma, mint detektált alapelem, és annak elhelyezkedés béli eloszlása

Ezért a szabályos textúrák szintézise előtt a mintázat elemzése és felismerése fontos szerepet kap. A minta ismétlődő elemeinek felismerésére több módszer létezik a digitális képelemzésben az ún. SIFT descriptor-tól (Lowe, 1999)³⁸ a Schaffalitzky et al.³⁹ által javasolt többdimenziós módszerig. Hays et al. cikke a legnagyobb kihívást jelentő, majdnem-szabályos textúrák⁴⁰ kezelésre javasol egy olyan közepesen erősen szabályozott algoritmust, ami az ismétlődő elemek lokális helyzetét egy két dimenziós, négyzetegyből álló rácsszerkezet segítségével határozza meg. [26. és 27. kép]

A részben szabályos mintázatok szintéziséhez módszerünkben (Umenhoffer, Labancz, Előd) az egyes textúrafoltokat övező határfelület pixeleiben megadott méretét (patch boundary) terjesztettük ki olyan mértékben, amíg az meghaladta az ismétlődő képi egység (pl. egy tégl a téglafalon belül) méretét, így a szintézis során a tégl alapelem nagy valószínűséggel egyben maradt.

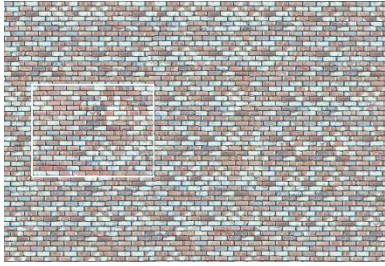
³⁶ https://www.cc.gatech.edu/~hays/papers/texture_matching.pdf

³⁷ Julesz

³⁸ Scale-invariant feature transform: A minta legjellemzőbb pontjait ismeri fel és egymáshoz képesti lokális helyzetüket indexálja. https://en.wikipedia.org/wiki/Scale-invariant_feature_transform

³⁹ F. Schaffalitzky and A. Zisserman. Geometric grouping of repeated elements within images, 1999, <https://www.robots.ox.ac.uk/~vgg/publications/1998/Schaffalitzky98/schaffalitzky98.pdf>

⁴⁰ NRT: Near-regular Texture. (Ilyenekből a Carnegie Mellon Egyetemnek nagyon nagy adatbázisa van.)



28. kép A téglafal szintézise, az eredeti bemeneti kép fehér keretben látható, körülötte a szintetizált kimeneti eredmény

A majdnem szabályos textúrák problémájának szintézis során való hatékony kezelése egyúttal megoldás az organikusabb struktúrákra is, mivel azok kisebb kihívást jelentenek – könnyebb azokat hihető, látható illesztések nélküli, nagyobb felületekké alakítani.

Ahogy a fenti kutatás is rámutat, jelentős eltérés van az artifikális, jellemzően determinisztikus, és a természetben fellelhető, inkább sztochasztikus textúrajegyek között. Erre létező megoldás, hogy a legkisebb alkotóegységük szintjén, vagyis a pixelek szintjén analizáljuk és szintetizáljuk a képeket, mellyel igen pontos eredményt kaphatunk.



29. kép Kőfal kiterjesztése pixeleken alapuló szintézissel: balra a bemenet, jobbra a szintézis. A példán 128 pixel-es bemenetből 256-os kimenet látható. (Labancz)

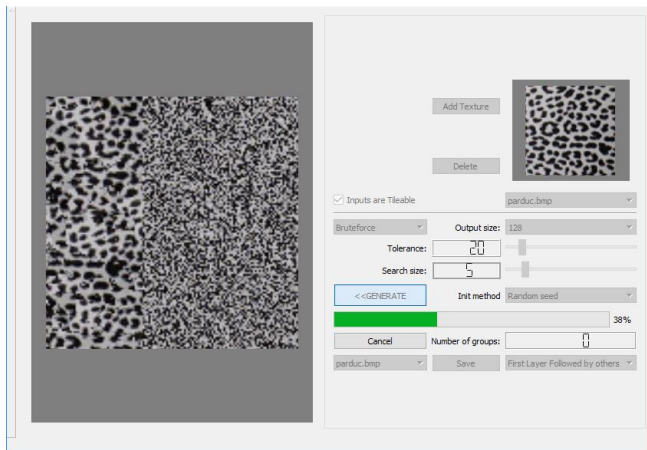
30. kép További példa a pixel alapú szintézisre

A pixel alapú szintézis során az új kép a bemenetből, vagyis a szintézis mintájául szolgáló kisebb kép alapján, pixelről pixelre növekszik egy kiindulási magból. Efros a Markov Random Field matematikai modelljét alkalmazva, egy-egy pixel feltételezett helyét úgy találja meg, hogy az összes szomszédságában eddig szintetizált pixelt összeveti a mintaképpel, keresve a hasonló elrendezésűeket. A véletlenszerűség mértéke paraméterezhető. A módszer célja a lehető legtöbb helyi struktúra megőrzése, mely által jó eredmények érhetőek el a legkülönbözőbb textúratípusokon.

Efros⁴¹ pixel alapú szintézise igen lassú, ilyen pixel alapú szintézist mi is alkalmaztunk kutatásunk korábbi fázisában. A következő kép [31. kép] a Budapesti Műszaki Egyetem docense, Dr. Umenhoffer Tamás közreműködésével programozott kísérleti szoftverével készülő szintézist mutat be. Ez a szoftver is pixel based, vagyis képpontok és szomszédos képpontjaik hasonlóságát és elhelyezkedését vizsgáló metódust használ. Az Efros által bemutatott tesztek is hasonlóan kicsi, jellemzően 128x128 pixel méretű képeket szintetizálnak, a szintézist sokszoros sebességgel bemutató videódokumentációk szemléltetik,

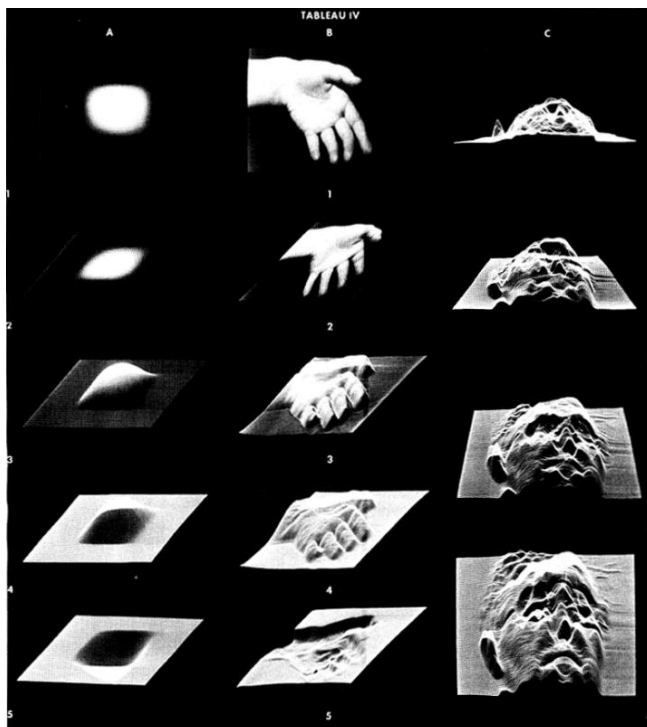
⁴¹ Texture Synthesis by Non-parametric Sampling, Alexei A. Efros and Thomas K. Leung; Computer Science Division. University of California, Berkeley; IEEE International Conference on Computer Vision, Corfu, Greece, September 1999 (<http://graphics.cs.cmu.edu/people/efros/research/NPS/efros-iccv99.pdf>)

hogy ilyen kisméretű kimenetek készítése is milyen időigényes. Emiatt a pixel based metódus nem alkalmas gyakorlati felhasználásra, amikor a 2K vagy 4K felbontású textúrák létrehozása a cél.



31. kép Pixel based szintézis szoftver kezelőfelülete

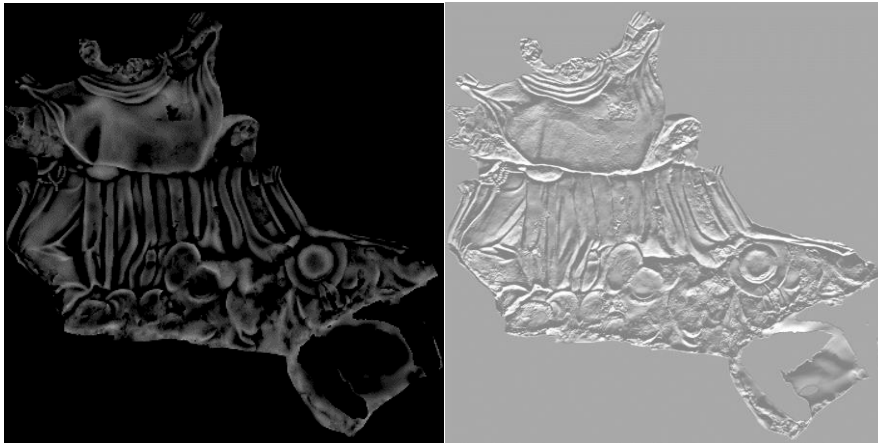
A textúra és a plasztika kapcsolata



32. kép Vasulka, Woody. *Didactic Video*, 1975, a tónusok plasztikus formává alakítása ezen az eredetileg a Rutt/Etra Scan Processor analóg képfeldolgozási metódusának demonstrálásához készült sorozaton.

A "Vasulka-effektus" során egyfajta valósidejű videó magasságtérképetet láthatunk. Ez a kép és a plasztikus forma egy korai összekapcsolása. Vasulka esetében a videó bemenet fényereje határozza meg a pontok függőleges tengelyen elfoglalt helyzetét. A világosabb és sötétebb zónák felfelé és lefelé mozognak: Ezekon a videóbemeneteken, azokat más, szintetikus hullámformákkal kombinálva a raszter

háromdimenziós kontúrtérképet képez, ahol a videó fényereje határozza meg a magasságot. Ugyanezt láthatjuk egy a fotogrammetriai szkennelésekből származó magasságtérkép esetében is: a fényesebb rész kiemelkedik, a sötétebb mélyebbre süllyed. Azonban fontos különbség, hogy a felszín valódi plasztikája csak a térbeli forma virtuális 3D rekonstruálása, kiterítése, és szürkeárnyalatos képpé alakítása után reprodukálható hűen. A fotogrammetriai szkennelés alkalmas egy felszín plasztikus formáinak megragadására, ám egy vidókép sötét-világos árnyalatai egyfajta pseudo plasztikát hoznak létre, ami erősen eltér a képen ábrázolt forma valódi alakjától.



33. kép Xavéri Szent Ferenc szobrának fotogrammetriai szkennjéhez tartozó magasságtérképe, és a kiterített felszín sűrűlőfényvel bemutatott, plasztikus formái. (Labancz)

A dolgozatban bemutatott, korai számítógépes mintázatok létrehozását célzó képszintézis – mely kezdetekben szinte egyenlő volt a számítógépes képalkotással - mostanra annak egy szűkebb szegmensé-
ként fogható fel: textúraszintézisként.

A számítógépek korának kezdeti, képalkotási folyamataihoz hasonlóan működő textúraszintézis képalkotó mechanizmusaival végeztem kísérleteket, Dr. Umenhoffer Tamás hathatós programozói segítségével⁴².

Textúramintáink szintéziséhez két, általa javasolt módszert is alkalmaztunk: az egyik a pixel-based, amely a bemeneti kép pixeleit másolva építi fel a kimeneti képet, a másik a patch-based, mely a bemeneti képből kijelölt képrészletekkel, vagyis sokkal nagyobb egységekkel, foltokkal dolgozik. Az első, a pixeleken alapuló módszer kevésbé alkalmas grafikai, vagy mozgóképi léptékű képalkotásra, mivel nagy számítás kapacitást igényel, így csak igen kis képekkel tud megbirkózni, azokkal is lassan. Emiatt a további kísérletekhez a patch-based metódust választottuk, ezzel elfogadható időtartam alatt tudtam képeket készíteni.

A mai, textúrákat szintetizáló metódusok számos tulajdonsága és célja megegyezik a korai képalkotó folyamatokéval, azokkal több szempontból is párhuzamba állíthatók. A textúraszintézisben is szerepe van a sztochasztikus determinisztikus kettősségnek, természetesen jelen van a számításelmélet és a képalkotás kapcsolata is, és már csak a szintézis céljai miatt is megfigyelhető a vizuális érzékelés során egymástól elkülönülő mintázat-struktúrák izgalmas jelensége. Utóbbi, ahogy Vasulka és Callas munkáin láthattuk, alkotói eszközzé is vált: a digitális kor vonalvastagság nélküli kontúrjai rajzolhatóak meg vele.

A szintézis céljait illetően, az egyik fontos terület a 3D modellek képekbe csomagolásának, felszínük textúrával borításának elősegítése, a szintézis segítségével kiterjesztett képstruktúrákkal. A textúraszintézis egy másik nagy alkalmazási területe a képretusálás és videóretusálás. Ennek végrehajtásához

⁴² Dr. Umenhoffer Tamás a Budapesti Műszaki Egyetem Irányítástechnika és Informatikai Tanszékén a Számítógépes Grafika csoportnak volt docense a kutatás idején

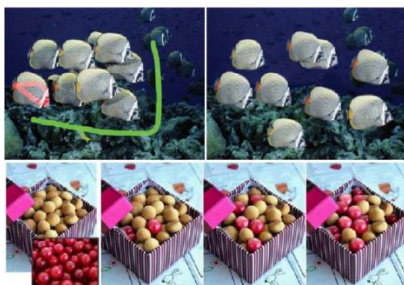
szintén a már digitálisan rögzített képeket, a bemeneteket kell alakítani, kezelni. Az objektum szintű manipulációkra - vagyis amikor a kép egy felismerhető elemét (a bemutatott ábrán az egzotikus halakat [35. kép]) vagy a háttér érzékelhető és értelmezhető alakú motívumait kell úgy megjeleníteni, ismételni, hogy azok a kép már meglévő részeihez simuljanak, ne üssenek el azoktól. Ez egyfajta algoritmus támogatta retusálás, a digitálisan rögzített valóság manipulációja.

A patch-based metódusok felhasználhatók a képek célzottan kiválasztott területeinek "átfestésére" vagy a képek tartalmának átrendezésére. Használhatók a képek ismétlődő elemeinek szerkesztésére, ugyanígy képsorozatok, mozgókép-szekvenciák szerkesztésére is. Minden ilyen irányú alkalmazás csak hatékony adatkezeléssel lehet alkalmas alkotói munkára, elkerülendő, hogy a számítási idő kezelhetetlenül hosszú legyen. A mozgóképek képkockáról képkockára történő retusálása természetesen szintézis alkalmazásával is időigényes. Az ilyen „digitális festés” eltávolítja az előtér egy részét a képről, helyettesítve azt a kép más részeiről származó képrészlettel, vagy más képekről, mozgóképek esetén a korábbi, vagy a következő frame-ről származó képi információval.

Művészeti példája a digitalizált filmkockák manipulálásának a La Société Réaliste: Gróf Ferenc és Jean-Baptiste Naudy 2010-es munkája, a *“The Fountainhead”*. Az alkotópáros az azonos című, Ayn Rand 1943-ban megjelent könyvéből 1949-ben készült filmadaptáció képkockáiról eltüntette a film összes szereplőjét.



34. kép Két képpár: a *“The Fountainhead”* című film és a La Société Réaliste retusált videójának képkockái

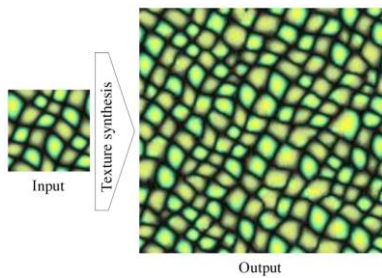


35. kép Ismétlődő elemek szerkesztése. Felül: Patch-based módszer kitölti a háttérrel, mielőtt az előtérben egy másik rétegen megjeleníti az átrendezett objektumokat.⁴³ Alul: Patch-alapú szintézis a formák látható határainak meghatározására hasonló sziluettel rendelkező tárgyak „mixeléséhez”.⁴⁴

Legyen cél akár egy digitalizált filmen a szereplők eltüntetése, a mögöttük, takarásban lévő díszletek megjelenítése, vagy egy szkennelt textúraminta (high-resolution material samples) virtuális formák borításához történő kiterjesztése, a következő illusztráción láthatjuk a textúraszintézist egyetlen képen szemléltetve [36. kép]:

⁴³ Cheng, M.-M.; Zhang, F.-L.; Mitra, N. J.; Huang, X.; Hu, S.-M. RepFinder: Finding approximately repeated scene elements for image editing. ACM Transactions on Graphics Vol. 29, No. 4, Article No. 83, 2010.

⁴⁴ Zhang, F.-L.; Cheng, M.-M.; Jia, J.; Hu, S.-M. ImageAdmixture: Putting together dissimilar objects from groups. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics Vol. 18, No. 11, 1849–1857, 2012.

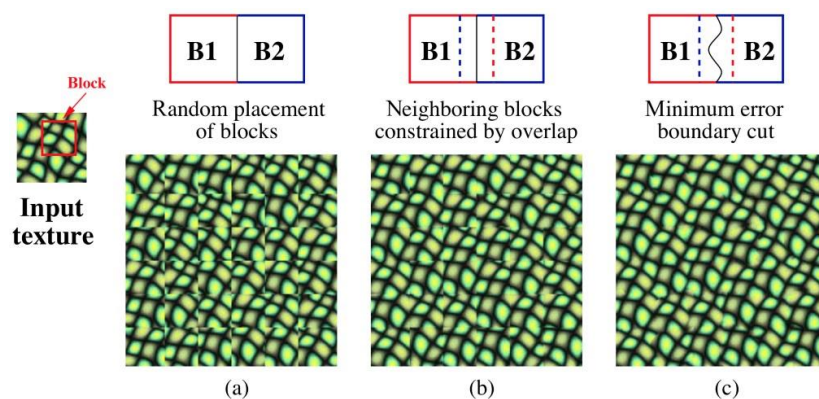


36. kép Szintézis: a textúra kiterjesztésének illusztrációja (Connelly Barnes és Fang-Lue Zhang, 2017)

A Patch-based (patch, vagyis pixelekből álló foltok, az input kép kimetszett darabjai) szintézis során a felhasználó egy vagy több mintaképet tölt be, melyek alapján egy algoritmus képes automatikusan új kimeneti képeket szintetizálni oly módon, hogy újrendezi és összekapcsolja a mintaképekből származó pixelfoltokat. Ezeket a pixelfolt egységeket nevezzük "patch"-nek, vagy "neighborhoods" az angol kifejezések alapján.⁴⁵

Ezeknek az eljárásoknak alapvető célja, hogy a kimeneti kép minél inkább egyezzen az eredeti bemeneti képpel - persze annak nagyobb kiterjedésű változataként. Ehhez szükséges, hogy a kimeneti képet felépítő egységek, a patch-ek közt minél kevésbé legyenek láthatóak artifikális hatású illesztések.

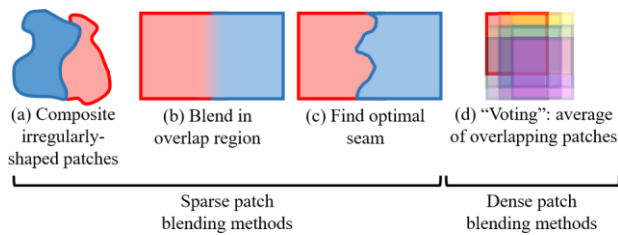
A legtöbb patch-based szintézis eljárás két fő szakaszra osztható, az egyik a "matching", vagyis az illesztés, melynek során az algoritmus megfelelő darabokat másol ki a bemeneti mintaképből, a másik pedig "blending" (összekeverés), amelynek során összeállítja és egyesíti a patch-eket a kimeneti képen.



37. kép (Connelly Barnes és Fang-Lue Zhang, 2017)

A patch-based szintézisnek ezt a képfolt-összevarrási folyamatát (image quilting) a fenti ábra [37. kép] szemlélteti. Baloldali első kis kép a bemeneti mintakép (input texture), jobbra a nagyobb kimenet, a szintetizált kép születésének három szakasza látható. Az (a) és (b) mutatják az illesztési fázisait, melynek során a patch-ek vagy véletlenszerűen kerültek kiválasztásra (a), vagy az előző kiválasztotthoz patch-hez való hasonlóságuk alapján (b). A (c) ábra a blending szakaszt mutatja, ahol az egymást átfedő patch-ek összekapcsolása történik. Ezen a példán a blending szakasz a lehető legkisebb hiba, (vagyis a lehető legkisebb eltérés) mentén történő vágással megy végbe. A felső három kis ábra: 1. a blokkok véletlenszerű elrendezése, 2. szomszédos blokkok átfedésekbe rendezve, 3. a legkisebb eltérésekre mentén történő kivágás.

⁴⁵ Connelly Barnes és Fang-Lue Zhang: A survey of the state-of-the-art in patch-based synthesis, 2017



38. kép (Connelly Barnes és Fang-Lue Zhang, 2017)

Három módszer a blending, vagyis a foltok összeillesztési szakaszához abban az esetben, mikor viszonylag kismértékűek az átfedések: összeilleszthetők, mint szabálytalan alakú patch-ek (a), az átfedő részek "blending"-elésével vagy az optimális varrásoknál elvágva azokat. Az ábra jobb oldalán [38. kép (d)] a nagyobb mértékben, „sűrűn” átfedő foltok keverési módszere is használható, melynek során a foltok sokszori ismétléssel történő egymásra helyezésével a foltot minden pixel körül meghatározzák. Ennél a módszernél az összes átfedő szín átlaga alapján a legvalószínűbb helyzetet keresi az algoritmus.

Kísérletünkben, az átfedő felületekre a blended módszert is alkalmaztuk (b), a textúrák kiterjesztésének gyakorlati alkalmazása során. Ez hatékony a patch-ek közt megjelenő éles határvonalat elrejtésére, de a nagyobb textúra rajzolatokat kevésbé őrzi meg a kimenet: a négyzet alakú blokkok körvonala felfedezhető marad. Ezért ideálisabb megoldás a patch-ek körbevágása (patch-based cut-out).

Barnes és Zhang az Patch-alapú szintézist átfogóan bemutató, 2017-es cikkében rámutat, hogy a kutatások általában az illesztés (matching szakasz) elnagyoltabb közelítő algoritmusaira összpontosítanak, mivel az ebben pontosabb eredményt produkáló algoritmusok továbbra is lassabbak, viszont az emberi látórendszer kevésbé érzékeny a kisebb színhibákra, tulajdonképpen a pixelek kisebb eltéréseire a patch-ek körül. A mi tapasztalatunk is hasonló: a kimeneti képek darabjainak határát számos szintézisemenet során megvizsgáltam, és az illeszkedés határai többnyire a nagyobb struktúrájú textúraelemek rajzolatának folytatóságágbéli hiánya miatt volt érzékelhető, sokkal kevésbé a találkozó pixeleknél.



39. kép Fakéregt ábrázoló digitális fénykép szintézise „blended” eljárással. Megfigyelhető, ahogy a függőleges irányú kéreg-struktúrák vízszintes illeszkedésének tökéletlenségei. (Labancz)

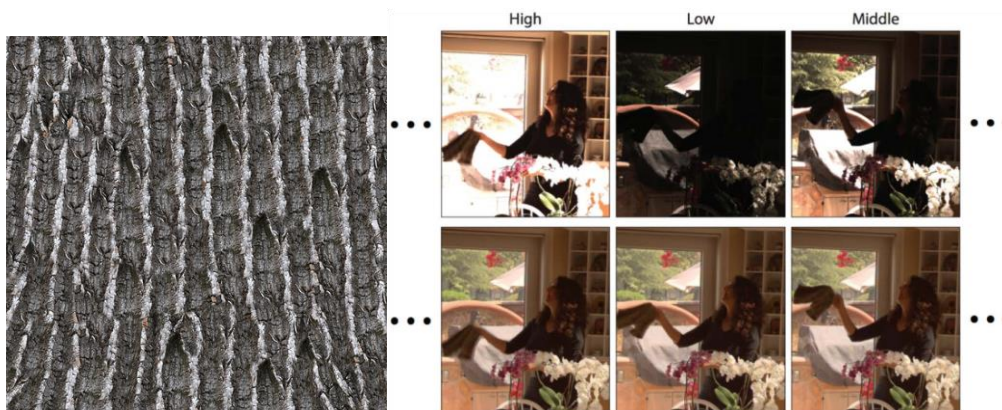
A kéreg függőleges struktúrái miatt kevésbé érzékelhető, de ez a kép négyzet alakú patch-ekből épül fel. Ezek között a blended eljárás miatt a patch körbevágott határainak pixeljei nem mutatnak elválórajzolatot. A megfelelő patch-ek összeillesztése a mintázaton fellelhető összefüggések segítségével történik, a szomszédos elemek "párjának" megtalálása véletlenszerű mintavétel útján megy végbe. A teljesen random egyezések keresése során azonban nagy a hibalehetőség.



40. kép A legkisebb hibahatárnál körbevágott darabkákból felépülő kimeneti szintézisen kevésbé láthatóak a foltok közti határok, mivel a kép nem szabályos négyzetekből épül fel. (Labancz)

Kísérletünkben két paraméterrel igyekeztünk megszorítani a véletlenszerűséget, a minél optimálisabb patch illeszkedések, vagyis természetesebb kimeneti képek létrehozásának érdekében. Az egyik az a hibaküszöb, mely az egyezések pontosságával szemben megkövetelt "szigor", a másik ennek a megkövetelt hibahatárnak megtalálásához engedélyezett próbálkozások száma. Természetesen, ha a megengedett hibaküszöb alacsony, vagyis szigorúak a szintézist irányító beállítások, de nem engedjük az algoritmust elégszer próbálkozni, a szintézisidőn gyorsítunk ugyan, de nem érjük el a kívánt egyezést.

Érdekes, de a véletlent ily módon megszorító kísérleteink azt is megmutatták, hogy bizonyos textúra-típusoknál a túl "szigorú" küszöbérték meglepő, artifikális eredményeket hozhat. Ilyen a következő ábrán látható, egy vonalba rendezett fakéreg struktúra [41. kép], fakéregből szintetizált kimenet, melyen a barázdákat nagyon „lelkiismeretesen” rendezte sorokba az algoritmus, a megadott paraméterek szerint.



41. kép Fakéregből szintetizált kimenet részlete, a kéreg struktúrája túlzottan szabályos (Labancz)

42. kép (jobbra) HDR videó rekonstrukciója (Connelly Barnes és Fang-Lue Zhang, 2017)

A textúraszintézis mozgóképi alkalmazásának példája – bár kísérleteink erre a területre nem terjedtek ki - a nagy dinamikatarományú (HDR) videók rekonstrukciója⁴⁶. [42. kép, felül] egy speciális videokamera által rögzített három képkocka látható, ezek ciklikusan változó expozíciós értékekkel készülnek (túl- és alul exponált, valamint közepes expozíció között váltakozva). Az algoritmus három ilyen képet

⁴⁶ Kalantari et al. Kalantari, N. K.; Shechtman, E.; Barnes, C.; Darabi, S.; Goldman, D. B.; Sen, P. Patch-based high dynamic range video. ACM Transactions on Graphics. Vol. 32, No. 6, Article No. 202, 2013.

használva állítja össze a nagy dinamikatarományú kimeneti párjaikat. Az alsó három kép az elkészült HDR rekonstrukció, ahol a világos és sötét területeken egyaránt jól láthatók a részletek. A mozgó képeken beazonosítandó részletek helyének megtalálásához az egyik megoldás az optikai áramlás használata, mely koordinátákat szolgáltat az egymás után következő képkockák hiányzó információinak megállapításához.

A lehetőség, ami kisebb bemeneti minta kiterjesztésével, egy nagyobb kimenet létrehozását valósítja meg, a képalkotás több különböző területén felhasználható. A már említett képek, képsorozatok, és videók szerkesztése, retusálása mellett valós manuális művészi munkával létrehozott képeket imitáló, vagy azok keletkezési folyamatát imitáló⁴⁷ álló és mozgóképi látvány létrehozására is alkalmas. További jelentős, a jövőbeli kutatási irányokat meghatározó tényező a tanulóalgoritmusok alkalmazása a szintézis során. Erről olvasva elképzelhetjük archív felvételek ilyen felnagyítását, mintegy részleteiben fiktív múlt megjelenítését.

Az általam végzett textúraszintézis kísérletek motivációja és célja

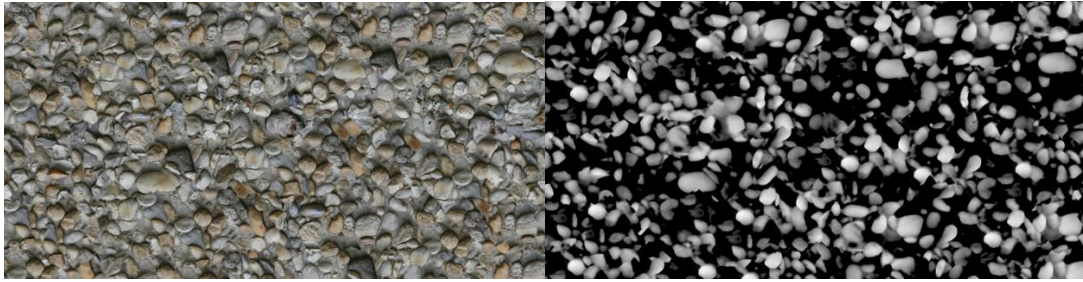
Az utóbbi években a virtuális képalkotó technológia területén végzett kutatásom a textúraként felhasználható felületek⁴⁸ szintézisét célozta. Alkotói praxisom során, modellek felületeinek textúrázásához szerettem volna felhasználni a fotogrammetriai szkenneléssel digitalizált textúrákat. Ezek, némi előzetes szerkesztés után kiválóan alkalmasak 3D modellek borítására, mert nem csak a felület színét, hanem a szkennelési eljárásnak köszönhetően a felület plasztikus információit is hordozzák [25., 33., 43., kép]. A fotogrammetriai szoftverek⁴⁹ képesek a több szögből exponált képsorozatokból rekonstruálni a téma formáját, így felületek plaszticitását is.

A könnyen, mindenki számára hozzáférhető fotogrammetriai szkennelési eljárással a környezetünkből kiemelt formák, tárgyak, akár karakterek a virtuális 3D térben, animációs vagy interaktív virtuális teret alkalmazó munkáink részeivé válhatnak. Ugyanilyen módon egyedi textúraminták is nyerhetőek a környezetünkben felfedezett, vagy utazásunk során látott fákról, házfalakról, és így tovább. (A nagy, online elérhető textúra adatbázisokra támaszkodva a munkák kevésbé individuálisak, az onnét származó minták felismerhetőek.) Az így „kinyert” réteges textúra - mint szín és plasztikus információ - mérete azonban korlátozott, mivel a természetben sem fordulnak elő végtelen kiterjedésű, homogén struktúrájú felületminták. Szükséges ezért azok kiterjesztése, hogy többször, és nagyobb felületeken is felhasználhatóak legyenek. Ez a művelet manuálisan elvégezve nehézkes, és igen időigényes, elvonja az időt más, individuálisabb alkotói folyamatoktól. Hasznos lehet tehát egy célirányos, textúraszintézis módszer, mely a betöltött textúrákat oly módon terjeszti ki, hogy a textúrák színét és felszíni formáit (utóbbi a magasságtérkép, vagyis az úgynevezett displacement, vagy height map) korrelálón, tehát a szín és mélységi textúra struktúráját együttesen kezeli. Így, a szintézis eredményeképpen, az eredeti bement kiterjedésénél jóval nagyobb felületek, teljes 3D poligon geometriák borítására alkalmas kimenet hozható létre.

⁴⁷ <https://arxiv.org/abs/2001.01026>

⁴⁸ Térbeli értékkel rendelkező felület értelemben használom a szót, mivel felszín formájának és színének együtteséről beszélek, hiszen a fotogrammetriás 3D szkennelésből származó adatokból mindkettőhöz egyszerre hozzájuthatunk

⁴⁹ kísérleteimben a ReCap 360-at és a Meshroom-ot használtam



43. kép A szkenneléssel digitalizált két felszíni jellemző: a kavicsos beton felszín színei és plasztikussága, melyet a korábban bemutatott példákhoz hasonlóan, a szürkeárnyaltos képen világos (a kiemelkedő) és a sötét (be-süllyedő) értékek tárolnak. (Labancz)

Kísérlet: irányítás és véletlen

A dolgozat elején bemutatott kettősség, az „esély és kontroll”, a sztochasztikus és determinisztikus, a textúraszerű képi struktúrák építéséhez érvényes a mostani, alkalmazott kutatási területünkön is.

A *Chance And Control* tárlatának kiállítója, mint Vera Molnar, a determinisztikus mintázataikat véletlenszerűnek ható elemekkel kombinálták. A textúraszintézis-kísérleteink során, mi is építettünk arra a kettősségre, melyet Julesz és munkatársai is alkalmaztak, mikor olyan véletlenpontokból álló képpárokat generáltak, melyekben mégis voltak kontrollált elhelyezkedésű pontok.

A vizuális érzékelés neurobiológiai kutatásához generált mintázatok vizsgálata irányult egyrészt a textúrák struktúrájának megkülönböztetésére⁵⁰ és irányult a térben kirajzolódó formák felismerése. Ahogy az első szempont a grafikához, utóbbi a virtuális világról készült render-ek, és sztereoszkópikus képek vonatkozásában több szempontból kapcsolódik a térbeli formák napjainkban is kutatott ábrázolásához.

Julesz textúraszintézissel készült képei, az azokhoz használt matematikai modellek, tudománytörténeti és művészettörténeti szempontból is jelentősek, mivel épp a fenti kettősség alkalmazása miatt, láthatóan a „számítógépek korának” legkorábbi művészeti produktumaira is hatással voltak. Egyrészt képalkotó eljárásaival, valamint a textúraelválasztás jelenségének feltérképezésével munkája nyomán olyan ismeretek váltak elérhetővé, melyet a közelmúlt virtuális képalkotó eljárásaira irányuló kutatások és fejlesztések - még 60 évvel elteltével - is gyakran használnak, hivatkoznak.

A kimeneti textúrastruktúrák szintézisének létrehozásához, ahogy korábban leírtam, gyakorlati okokból a patch-based metódust választottuk, mert ez tud kellően nagyméretű kimeneteket generálni, mivel a születő kép építőegységei nem a pixelek, hanem az annál jóval nagyobb patch-ek.

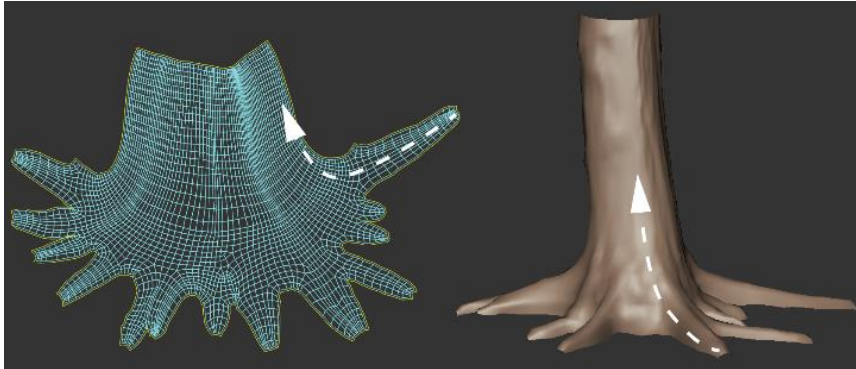
A patch-based metódus általunk használt változata a szintézis során szétszabdalja a bemeneti mintát, majd véletlenszerűen elkezdti egymáshoz illeszteni a kivágott darabokat. Erre a számítógép által végzett véletlen próbálgatásra - a 3D grafikai és képalkotási célunknak megfelelően - ideális esetben eleve gyakorolható bizonyos befolyás. Ez az illeszkedő darabok hasonlóságának mértéke. Ehhez társul a másik parametrikus tényező: az időkorlát meghatározása, vagyis hogy hány alkalommal próbálkozhat az algoritmus a véletlenszerűen kiválasztott patch-ek összepárosításával.

Ennek a szövedéknek, ennek a kimeneti képnek azonban, ha az a célunk vele, hogy 3D modellre alkalmazzuk, figyelembe kell vennie a modell textúrázásához kiterített szabásmintáját, az UV atlaszát. Ezen

⁵⁰ Irányok, sűrűség, világosság, csupa olyan tulajdonság, amely grafikai/képalkotói szempontból is érvényes

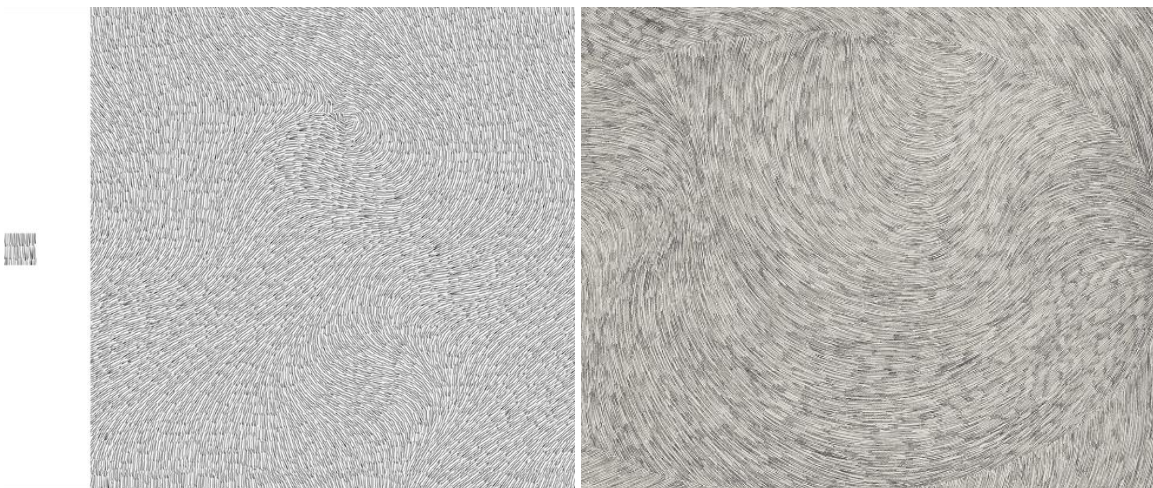
a szabásmintán, a kiterítéshez szétszabdalt forma darabjai különböző mértékben elforgatva jelenhetnek meg. Az elforgatás oka részben az optimális helykihasználás, melynek érdekében célszerű a kiterített darabokat úgy elhelyezni, hogy minél jobban kitöltsék a helyet a rendelkezésre álló képtéren, de a modellek kiterítése során is óhatatlanul fellép, hogy a síkba terítés során a felszín koordinátái elmozdulnak egymáshoz képest.

Mivel a téri formákon látható textúráirányok a síkba kiterítés során elfordulhatnak, sőt egyes részeik átméreteződhetnek, hasznos lenne, hogy az ilyen iránybéli változásokat alakítani lehessen. A kutatás során így a patch-ekre bontott képi egységek elforgathatóságával és méretezhetőségével kísérleteztünk.



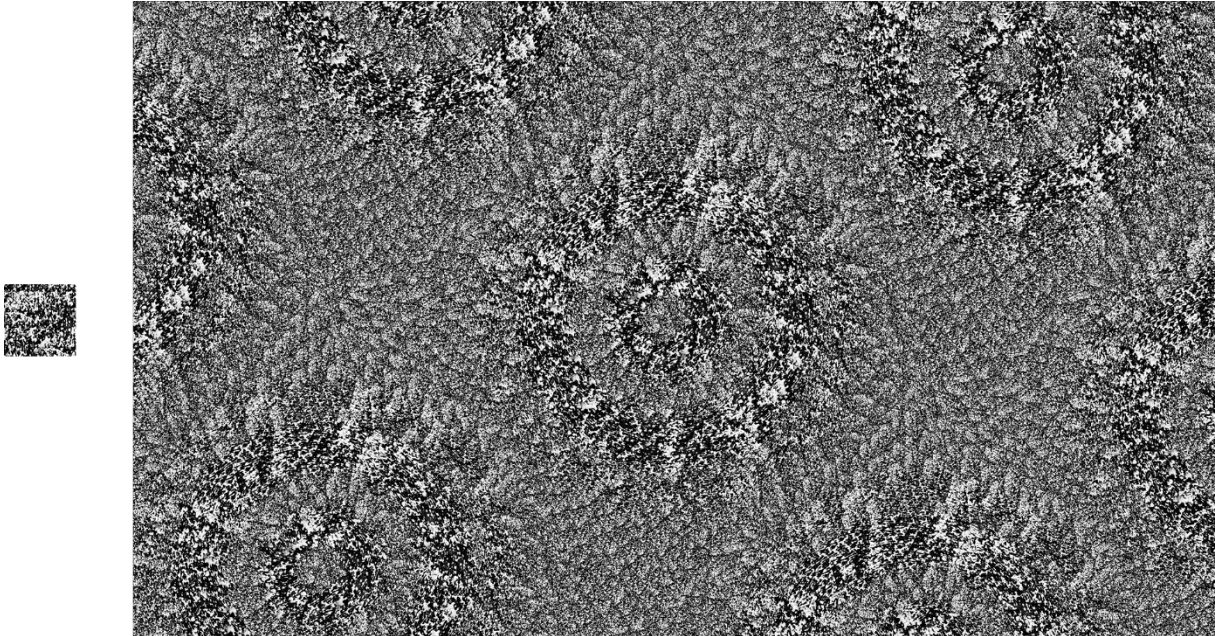
44. kép A nyíl a fakéreg barázdáinak irányát jelzi, mely a térbeli modellen megközelítőleg függőleges, a kiterített formán azonban irányt vált. (Labancz)

A kísérletek eredményeképpen Dr. Umenhoffer Tamás programozó segítségével - aki már a szintézissel kapcsolatos ötleteléseink során felvetette a fent leírt, 3D formák borítására alkalmazott szintézis irány és méret béli vonatkozásainak megoldását - elérhetővé vált egy grafikus kezelőfelületen a szintézis előtt úgy irányvonalakat berajzolni, hogy azokat a szintézis figyelembe veszi. Kísérleti felületünkön ugyanígy megvalósítható méretbeli variánsokat is meghatározni a szintézis előtt.



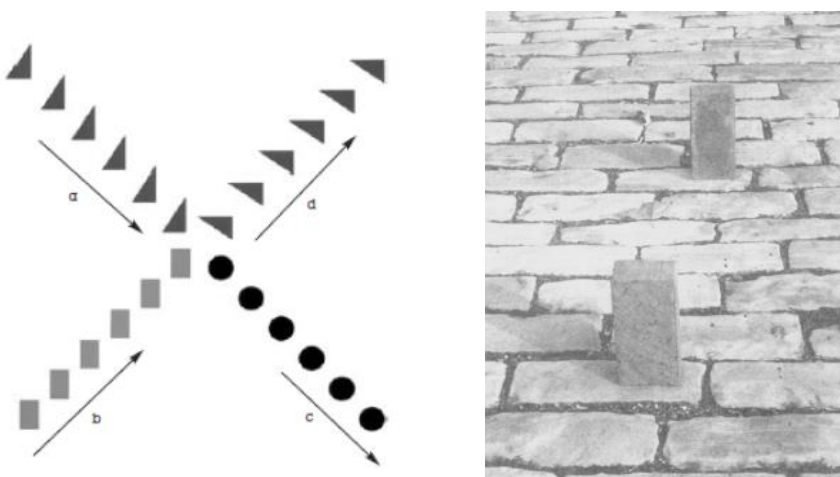
45. kép Grafikai kísérletek: balra a kicsi képen az input textúra, jobbra mellette az irányrajzolt kiterjesztett kimenet (Labancz, 2019), amelyek vonalai Szíj Kamilla jobb oldali képen látható struktúráit idézik.

Ezek a kísérleteink összekapcsolják a rajzoló emberi alkotó jelenlétét az algoritmusok munkájával, mert az algoritmusok által formált, szintetizált kép létrehozásába a felhasználó parametrikusan beavatkozhat, és így virtuális rajzolatokat, gesztusokat festhet a szintézis irányításához. Ezzel az alkotói lehetőséggel, valamint azzal, hogy a plasztikus információk a képi struktúrával együttesen szintetizálódnak, új képalkotási kísérletekre nyílt lehetőség.



46. kép Balra a kis input textúra, jobbra a méret és irány előrajzolt szintézis (Labancz)

Alkotó és kutató munkámhoz kapcsolódik, hogy a szkennelt felületek felszíni plasztikájának, geometriájának textúrává alakítása (height map, displacement map), majd a szintetizált textúra ismételt geometriává való visszaalakítása, mint az információ ilyen konverziója, hasonlóan érdekes kutatási terület.



47. kép A textúrák két strukturális jellemzője: irány és méret. Balra Julesz által a Bell Laboratóriumban végzett hasonlóság (azonosság követés) kísérlet illusztrációja jobbra E. Bruce Goldstein optikai áramlásról írt cikkében szereplő, „Textúragrádiens két téglával” címmel ellátott illusztráció

Összefoglaló: Parametrizálható textúraszintézis rajzolható irányokkal és méretezhető egységekkel

Kutatásomhoz kapcsolódik a textúraészleléssel kapcsolatos kísérletek eredményeinek gyakorlati alkalmazása: munkám művészi-alkotói célok elérésének, azok megvalósíthatóságának érdekében indult. Ez a következőképpen foglalható össze: textúraminták „individually”, szabadon szkennelhetőek környezetünkben, az utóbbi néhány évben könnyen elérhetővé vált fotogrammetriai szkenneléssel. Ezek a minták igen alkalmasak 3D modellek borítására, ám hatékony alkalmazásukhoz arra van szükség, hogy bizonyos mértékig alakíthatóak, és kiterjeszthetőek legyenek.

Ezek a szkennelt minták nem csak a digitális fényképezéssel eddig elérhető „szín” textúrát, vagyis egy képet jelentenek, (amit terminus technicusszal élve *diffuse map*-nak nevezhetünk a 3D modelleken) hanem a felszín többi, topológiai tulajdonságát is: a plasztikus információkat (*displacement map*), a kontaktárnyékokat (*AO map*) is tartalmazó struktúrát. Ezeket együttesen szerettem volna – persze korreláló módon - az egész modellre kiterjeszteni. Ez textúraszintézissel megvalósítható.

Julesz Béla olyan mintázatok véletlenszerű generálását valósította meg munkatársaival⁵¹ 1962-ben, melyekbe a mintázat különböző mértékű változtatásával (például a pontok fényességével) megjeleníthet/elrejtethet egyszerű geometrikus alakzatokat (határvonalakat), de a szemlélőt maga a mintázat semmilyen ismert alakzatra nem emlékezteti, mivel ki akarta zárni az érzékelésben támpontot nyújtó, tanult, felismerhető rajzolatok adta segítséget, melyre kísérleti alanyai támaszkodhattak volna az elkülönítés során. A textúraminták folytatólagossága, vagy elkülönülése így tisztán az érzékelés elsődleges mechanizmusai szerint mehetett végbe. Ez részben párhuzamba állítható a textúraszintézis céljaival, hiszen adott bemeneti textúrából oly módon kell a struktúrát véletlenszerűen ismételve, kiterjesztett kimenetet létrehozni, hogy azon az ismétlődő elemek találkozásai ne legyenek felismerhetőek, zavaróak.

Az én célom is az volt, hogy – bár épp hogy ismerős képi minták sokaságából - kavicsokból, kérgekből - és nem különböző fényességű pontok sokaságából – de olyan hihető textúra-szövedéket hozunk létre, amely a folytatólagos, illeszkedő struktúrát mutat, artifikális jegyek nélkül. A virtuális 3D képalkotás ezen, gyakran szolgai és unalmas fázisa ugyanis az érdembeli tervezéstől és alkotástól vonta el az időt.

Ennek a textúra-szövedéknek a létrehozásához a sztochasztikus és determinisztikus jelleg arányának kontrolálására volt szükség. Ez a módszer állandó kísérője, kezdetektől meghatározó tényezője a „számítógépek korának” képalkotó mechanizmusában, legyen az akár tudományos, vagy művészeti célú.

A kísérleteink eredményeképpen irányokat és méreteket rajzolhattam be szintézis indítását megelőzően, melyekett a szintézis figyelembe vett. Ezek az irány és méret információk a textúrázni kívánt 3D modell kiterített, UV atlaszára is rajzolhatóak, segítve a 3D modellek többrétegű, egyedi textúrával történő borítását. A kísérlet további, igen fontos eleme, hogy a szintézis több rétegen: a szín és felszín plasztikus információit együttesen figyelembe véve valósult meg. Az alábbi képen együttesen látható mindez: hihető textúra struktúra egy 3D modell felszínén, amely szín és plasztikus információk korreláló szintézisével jött létre egy jóval kisebb bemeneti mintából. A felszínen ennek a bemeneti mintának irány és méret béli variánsai láthatóak.

⁵¹ Köztük Ed Ghilberttel és Jonathan Victorral



48. kép Szintetizált többrétegű kéreg textúra (Labancz).

Felhasznált irodalom

Peter Callas : A jelen láthatatlan történetei, videók és komputer-animációk. Crew nyomda, Budapest, 2006.

Lichter Péter: Utazás a lehetetlenbe - Az avantgárd film absztrakt formái a science fiction filmekben (Budapest, 2018)

Jasia Reichardt, The Computer in Art by Jasia Reichardt (1971-03-01) Publisher: Littlehampton Book Services Ltd (1971-03-01) (1656), ASIN: B01A0C4WRY

Gibson, J.J.: The Perception of the Visual World. Houghton Mifflin, Boston, Massachusetts (1950)

Béla Julesz: Dialógusok az észlelésről (eredeti címe: Dialogues on perception)

Cambridge, Mass., MIT Press, 1995 ISBN: 0 262 10052 5

Béla Julesz: Visual Pattern Discrimination, IRE Transactions on Information Theory (Volume: 8 , Issue: 2 , February 1962)

Hassner M. and Sklansky, J. The use of Markov random fields as models of texture. Computer Graphics and Image Processing, Volume 12, Issue 4, April 1980, Pages 357-370

"The Howard Wise Gallery Show of Computer-Generated Pictures (1965): A 50th-Anniversary Memoir," LEONARDO, Vol. 49, No. 3 (2016), pp. 232-239.

Kortárs Magyar Művészeti Lexikon I–III. (főszerkesztő: Fitz Péter., Enciklopédia Kiadó, 1999–2001)

Benjamin J. Balas: Texture synthesis and perception: Using computational models to study texture representations in the human visual system

A tekintet szintaxisa - François Molnar válogatott tanulmányai a kortárs művészet tükrében, Kiadó: Gondolat, ISBN: 9789636932633

Szirmay-Kalos László, Számítógépes grafika, ComputerBooks, Budapest, 2000, ISBN: 9636182086

Véra Molnar, plaisir de géométrie (Horváth László, 2011) dokumentumfilm

"Electronic Abstractions" 1953. Published by Ben F. Laposky, Cherokee, Iowa

Image Melding: Combining Inconsistent Images using Patch-based Synthesis, Soheil Darabi, Eli Shechtman, Connelly Barnes, Dan B Goldman, Pradeep Sen, UNM Advanced Graphics Lab, Adobe Systems

Benedek, C., Sziranyi, T., February 2007. Markovian framework for structural change detection with application on detecting built-in changes in airborne images. In: Int. Conf. on Signal Processing, Pattern Recognition and Applications. ACTA, Innsbruck, Austria, pp. 68–73.

Beyond Art: A Third Culture: A Comparative Study in Cultures, Art and Science in 20th Century, 2005 Szerkesztette: Peter Weibel

Texture Synthesis by Non-parametric Sampling Alexei A. Efros and Thomas K. Leung Computer Science Division University of California, Berkeley Berkeley, CA 94720-1776, U.S.A.

Improved Texture Networks: Maximizing Quality and Diversity in Feed-forward Stylization and Texture Synthesis,, Dmitry Ulyanov, Andrea Vedaldi, Victor Lempitsky

Stefan Gustavson, Simplex noise demystified, Linköping University, Sweden (stegu@itn.liu.se), 2005-03-22

Beke László: Véletlen mint művészet, 1977

An Image Synthesizer, Computer Graphics, Vol. 19, No. 3. (also in Computer Graphics: Image Synthesis, IEEE, Salem, 1988)

John Whitney, Digital Harmony on the Complementarity of Music and Digital Art, 1980.

Kepes György *New Landscape in Art and Science*, 1963

A. Michael Noll, "Patterns by 7090," Bell Labs Technical Memorandum, August 28, 1962.

Noll, "Patterns by 7090," 4.

A. Michael Noll, "The Digital Computer as a Creative Medium," IEEE Spectrum, Vol. 4, No. 10, (1967)

Stuart Preston, "Art Ex Machina," New York Times, April 18 1965, X23.

Meyer Schapiro, Modern Art: 19th & 20th Centuries, Selected Papers, (New York: Braziller, 1978). 252-254.

Piet Mondriaan, Composition in Line (1916/1917), Kröller-Müller Museum, <https://krollermuller.nl/en/piet-mondriaan-composition-in-line-second-state-1>

A. Michael Noll, "Human or Machine: A Subjective Comparison of Piet Mondrian's 'Composition with Lines' (1917) and a Computer-Generated Picture." The Psychological Record 16 (1966)

Herbert W. Franke, Computer Graphics – Computer Art. Translated by G Metzger, (New York: Phaidon, 1971)

A. Michael Noll, "The Beginnings of Computer Art,"

Jon Gertner, The Idea Factory: Bell Labs and the Great Age of American Innovation, (New York: Penguin Press, 2012)

Caroline Jones, Machine in the Studio: Constructing the Postwar American Artist, (Chicago: The University of Chicago Press, 1996).

Lillian Schwartz, "Computer and Appropriation Art: The Transformation of a Work or Idea for a New Creation," Leonardo, Vol 29, No. 1. (1996)

Csetverikov Dmitrij, Digitális képelemzés alapvető algoritmusai, Jegyzet, Eötvös Lóránd Tudománygyetem Informatikai Kar, 2014

RepFinder: Finding Approximately Repeated Scene Elements for Image Editing
Ming-Ming Cheng, Fang-Lue Zhang, Niloy J. Mitra, Xiaolei Huang, Shi-Min Hu, 2010
(SiggraphPaper)

Feature-based probabilistic texture blending with feature variations for terrains John Ferraris, Feng Tian and Christos Gatzidis Bournemouth University, Poole, UK
DOI: 10.1002/cav.1460 SPECIAL ISSUE PAPER
COMPUTER ANIMATION AND VIRTUAL WORLDS Comp. Anim. Virtual Worlds 2012; 23:435–445 Published online 7 June 2012 in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com).

Kalantari, N. K.; Shechtman, E.; Barnes, C.; Darabi, S.; Goldman, D. B.; Sen, P. Patch-based high dynamic range video. ACM Transactions on Graphics. Vol. 32, No. 6, Article No. 202, 2013.

Zhang, F.-L.; Cheng, M.-M.; Jia, J.; Hu, S.-M. ImageAdmixture: Putting together dissimilar objects from groups. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics Vol. 18, No. 11, 1849–1857, 2012.

Cheng, M.-M.; Zhang, F.-L.; Mitra, N. J.; Huang, X.; Hu, S.-M. RepFinder: Finding approximately repeated scene elements for image editing. ACM Transactions on Graphics Vol. 29, No. 4, Article No. 83, 2010.

Internetes források

Thomas Dreher: History of Computer Art, IV. Images in Motion. Forrás:

<http://iasl.uni-muenchen.de/links/GCA-IV.1e.html>

[ZKM](https://zkm.de/en/artwork/the-esthetics-of-disappearance-ausschnitt-excerpt)

<https://zkm.de/en/artwork/the-esthetics-of-disappearance-ausschnitt-excerpt>

RepFinder

http://www.graphics.stanford.edu/~niloy/research/rep_finder/repFinder_sig_10.html

<https://vitalab.github.io/article/2018/11/22/Label-Refinement-Network.html>

<https://neural.love/https://www.artpool.hu/veletlen/naplo/beke.html>

<https://computer-arts-society.com/>

<https://deepai.org/publication/painting-many-pasts-synthesizing-time-lapse-videos-of-paintings>

<https://computeranimationhistory-cgi.jimdofree.com>

A. Michael Noll, “Bell Lab” <http://noll.uscannenberg.org>

Képek forrása:

1. kép

<https://www.vam.ac.uk/exhibitions/chance-and-control-art-in-the-age-of-computers>

2. kép

<https://www.mdpi.com/2072-4292/11/23/2878/htm>

3. kép

<https://www.stephenwolfram.com/>

4. kép

<https://artificialnature.net/gct753/cellular.html>

5. kép

balról az 1.: <https://www.autohotkey.com/boards/viewtopic.php?t=31122>

a további három (Labancz)

6. kép

<http://alexbeutel.com/webgl/voronoi.html>

<https://hu.pinterest.com/pin/779333910512988484/>

7. kép

Youtube, képernyőfelvétel

8. kép

Youtube, képernyőfelvétel

9. kép

<https://www.fondation-langlois.org/html/e/page.php?NumPage=483>

10. kép

<https://www.fondation-langlois.org/html/e/page.php?NumPage=489>

11. kép

Julesz Béla, Visual Pattern Discrimination, 1962

12. kép

Youtube, képernyőfelvételek

13. kép

<https://zkm.de/en/artwork/the-esthetics-of-disappearance-ausschnitt-excerpt>

14. kép

Youtube, képernyőfelvétel

15. kép

<http://scanlines.net/node/1963>

16. kép

<http://scanlines.net/node/1963>

17. kép

<http://scanlines.net/node/1963>

18. kép

<http://netzhammer.com/>
Netzhammer, Concave Thoughts

19. kép

Julesz Béla, Visual Pattern Discrimination, 1962

20. kép

Julesz Béla, Visual Pattern Discrimination, 1962

21. kép
Julesz Béla, Visual Pattern Discrimination, 1962

22. kép
<http://www.artnet.com/artists/roman-opalka>

23. kép
<https://www.researchgate.net/>

24. kép
Youtube, képernyőfelvétel

25. kép
Labancz

26. kép
James Hays, Marius Leordeanu, Alexei A. Efros, and Yanxi Liu közlése nyomán

27. kép
<https://slideplayer.com/>

28. kép
Labancz

29. kép
Labancz

30. kép
<https://slideplayer.com/>

31. kép
Budapesti Műszaki Egyetem, VIK, Umenhoffer

32. kép

<http://iasl.uni-muenchen.de/links/GCA-IV.1e.html>

33. kép

Labancz

34. kép

<https://www.imdb.com/title/tt0041386/>

<https://vimeo.com/13819250>

35. kép

Connelly Barnes és Fang-Lue Zhang: A survey of the state-of-the-art in patch-based synthesis, 2017

38. kép

u.o.

39. kép

Labancz

40. kép

Labancz

41. kép

Labancz

42. kép

Connelly Barnes és Fang-Lue Zhang: A survey of the state-of-the-art in patch-based synthesis, 2017

43. kép

Labancz

44. kép

Labancz

45. kép

Labancz és <https://balkon.art/home/vera-molnar-rakoczy-gizella-szij-kamilla/balkon-szij-kamilla-04/>

46. kép

Lababncz

47. kép

Julesz Béla, Visual Pattern Discrimination, 1962. és <https://www.jstor.org/stable/1574269>

48. kép

Labancz

Melléklet 1

A Howard Wise Gallery-ben kiállító alkotók, és munkáik

GAUSSIAN-QUADRATIC – 1963

MICHAEL NOLL

LABYRINTH – 1960

BELA JULESZ

VERTICAL-HORIZONTAL NUMBER THREE – 1964

MICHAEL NOLL

SIMILARITY – 1964

BELA JULESZ

STUDY OF CONTOURS – 1963

BELA JULESZ

COMPUTER COMPOSITION WITH LINES – 1964

MICHAEL NOLL

VARIATIONS ON COMPUTER COMPOSITION WITH LINES – 1965

MICHAEL NOLL

KALEIDOSCOPE – 1962

BELA JULESZ

QUASI-KALEIDOSCOPE – 1962

BELA JULESZ

SIX REALIZATIONS – 1965

MICHAEL NOLL

NINETY PARALLEL SINUSOIDS WITH LINEARLY-INCREASING PERIOD – 1964

MICHAEL NOLL

Melléklet 2

Szakmai önéletrajz

Labancz István

Tervezőgrafikus-művész MA
egyetemi tanársegéd, doktori fokozatszerző
Magyar Képzőművészeti Egyetem

mobil: +36 70 334 3914

email: labancz.istvan@mke.hu

Eddigi tudományos/művészeti tevékenységek

Kiállítások

2019

- „Részletek Mesterei” - A Magyar Képzőművészeti Egyetem Grafika tanszék tervezőgrafika specializáció oktatóinak és diákjainak közös kiállítása, Livia Villa, Budapest
- Kiállítás a Somorjai Nemzetközi Művésztelep alkotóival, Somorja, Korona Udvar
- Levitáció – csoportos kiállítás, Pozsonyi Magyar Intézet, Szlovákia

2018

- Graphics Now – Recent Works 2018: Bemutatkozik a Magyar Képzőművészeti Egyetem Grafika Tanszéke, Pécs
- XXI. Országos Tervezőgrafikai Biennále, Munkácsy Mihály Múzeum, Békéscsaba
- Tipozóna /2/: Szinkronitás/aszinkronitás, Templom Galéria, Eger
- Tipozóna: Alkalmazott Művészeti Intézet kiállítóterme, Sopron
- Hommage Molnár Kálmán, Fészek Galéria, Budapest

2017

- Akkor és Most csoportos kiállítás, Magyar Képző és Iparművészek szövetsége, Budapest
- Plakát a plakát után: 130 kortárs plakát az elmúlt 30 évből Klebelsberg Kultúrkúria, Bp., Magyarország.

2016

- Kor/Társ IV. csoportos kiállítás, Eötvös10 Közösségi és Kulturális Szintér

2014

- JELES, csoportos kiállítás, Hegyvidék Galéria

Megvalósult terv

2019

- ITU Telecom World, Drón Show, „Ledfal animáció” (megrendelő CollMot Robotics Kft., társalkotó Előd Ágnes)
- Litexs 0.1 szoftver, Logótervezés, Graphic User Interface és ikonkészlet, webes arculati tervezés (megrendelő: Open Dimension Kft.)

2017

- Atelier Garden, Logótervezés, Motiongraphics, animált logó (megrendelő: Atelier Garden Kft.)
- Keyglider, érintőképernyős mobiltelefonos játék Android platformra (társalkotó: Turóczy Tamás)

2016

- Open Dimension, Céges arculat és logótervezés (megrendelő: Open Dimension Kft.)

Egyéb publikációk

2018

XXI. Országos Tervezőgrafikai Biennále, Katalógus
Typozone /2/ szerkesztette: Csontó Lajos, Szigeti Csongor

2017

Plakát a plakát után: 130 kortárs plakát az elmúlt 30 évből, szerkesztette Kulinyi István

2014

Hiba és Társai, az MKE DI Kiállítása, Katalógus, szerkesztette: Beke László, Mayer Éva

2014 előtt

Hiba és társai, az MKE DI hallgatóinak kiállítása, Dunaszerdahely, 2013.

XVII. Országos Tervezőgrafikai Biennále, Magyar Alkotóművészek Háza, Budapest. 2011.

XVII. Országos Tervezőgrafikai Biennále, Békéscsaba 2010. IX. Őszi Tárlat, Tatabánya 2009.,
VIII. Őszi Tárlat, Tatabánya 2008.

XVI. Országos Tervezőgrafikai Biennále, Békéscsaba 2008.

Tudományos és kutatási tevékenysége és eredményei

2017-2020

Robotkaros kutatócsoport, EFOP-3.6.1-16 Művészeti kutatás és együttműködés – inter és crossdisz-
ciplináris projektek, kutatási infrastruktúra-fejlesztés és kapacitás-növelés a Magyar Képzőművészeti
Egyetemen

Textúraszintézis alkalmazás fejlesztése (Dr. Umenhoffer Tamás, BME; Előd Ágnes DLA, MKE), specifi-
káció és

Grafikus felhasználói felület

"KeyGlider" érintőképernyős készségfejlesztő mobiljáték kifejlesztése Android platformra.
Alkotótárs Turóczy Tamás. Publikálás a GooglePlay-en, 2017 júniusától 2019 májusig.

2014. Alkalmazásfejlesztés, textúráló alkalmazástervek specifikációjának kidolgozása, részvétel a
BME-MKE egyetemek közti együttműködésben.

2012. DLA képzés megkezdése, "Új interfészek, interaktív technikák 3D sztereoszkópikus
vizualizációs alkalmazásokhoz" kutatási témában, témavezető Dr. Előd Ágnes.

2011. „Design template készletek kialakítása újszerű alkalmazásokhoz és szolgáltatásokhoz
a legújabb okostelefon és táblagép platformokon" témájú, Magyar Telekom Nyrt. K+F pro-
jektfejlesztési munkájának koordinálása. Ennek során a Magyar Képzőművészeti Egyetem
Grafika Tanszéke, hallgatók bevonásával megtervezte és elkészítette több érintőképernyős

applikáció grafikus felhasználói felületét és egy Kinect vezérlésű, sztereó megjelenítőre implementált alkalmazás ergonómiai irányítását és 3D grafikai megjelenését.

2010. A Magyar Telekom Nyrt. két („Interaktív TV alkalmazás design” és „Smart Phones (Okos-telefon) alkalmazás design”), az MKE bevonásával folytatott K+F projektjében szervezési és kapcsolattartói feladatok ellátása, az alkalmazás-fejlesztésekben résztvevő hallgatók kutatási tevékenységének koordinálása. A K+F projekt során a Magyar Képzőművészeti Egyetem hallgatók bevonásával tucatnyi érintőképernyős mobil alkalmazás felületének kialakíthatóságát kutatta, valamint grafikai rendszereit tervezte meg. Az MKE bevonásával folytatott K+F projektjében szervezési és kapcsolattartói feladatok ellátása, az alkalmazás-fejlesztésekben résztvevő hallgatók kutatási tevékenységének koordinálása, a kezdeményezésnek köszönhetően tucatnyi érintőképernyős mobil alkalmazás felületének kialakíthatóságát kutatta, valamint grafikai rendszereit tervezte meg.

Művészeti oktatási tevékenység

2019 - 2014. részvétel az MKE Grafika Tanszék diplomabíráló bizottság munkájában; részvétel az MKE Grafika tanszék felvételi bizottság munkájában.

2018. Intézményi Művészeti Diákköri Konferencia, részvétel a zsűri munkájában

2014. BKF, 2015-től METU óraadó, Budapesti Metropolitan Egyetem, óraadó, témavezető és konzulens

2014. MKE IMDK részvétel a zsűri munkájában, Térbeli művészet/szobrászat kategória

2014. Intézményi Művészeti Diákköri Konferencia, részvétel a zsűri munkájában (térbeli művészet/szobrászat kategóriában); részvétel az MKE Grafika tanszék diplomabíráló bizottság munkájában ; részvétel a Grafika tanszék felvételi bizottságának munkájában

TÁMOP 4.2.2 projektben óraadó, MKE DI 2 féléves extrakurrikuláris kurzus 2013-2015

2013. MKE Doktori Iskola workshop Fotogrammetriai felszínek újra szerkesztése, Retopo és Remap UV

2013. április, MKE Doktori Iskolája által hirdetett workshop vezetése: Fotogrammetriai felszíne újra szerkesztése, Retopo és Remap UV; részvétel a Grafika tanszék felvételi bizottságának munkájában; részvétel az MKE Grafika tanszék diplomabíráló bizottság munkájában

2011. október- 2013. május; extrakurrikuláris kurzus: Autodesk Maya szoftver oktatása a Magyar Képzőművészeti Egyetem Doktori Iskolájában, (TÁMOP 4-2-2).

2010. Márciustól júniusig a Grafika Tanszék Tervezőgrafika Szakirány felvételi előkészítőjének projektvezetése.

Díjak és kitüntetések

2010. XVII. Országos Tervezőgrafikai Biennále Fődíja

2009. Gál Mátyás Díj

Tagságok: Magyar Képzőművészek és Iparművészek Szövetsége, Tervezőgrafikus Szakosztály

Nyelvismeret

Nyelv: angol

Nyelvvizsga típusa: komplex C

Nyelvvizsga foka: középfok