Univerzita Karlova
Filozofická fakulta

Ústav informačních studií a knihovnictví

Dizertační práce

Mgr. Dita Malečková

OBRAZ, INFORMACE, KOMPLEXITA

Studium vizuální informace s využitím funkce informační entropie se zaměřením na výtvarnou abstrakci

IMAGE, INFORMATION, COMPLEXITY

The study of visual information incorporating the function of information entropy with a focus on abstract art.

Ve spolupráci s:

prof. RNDr. Dalibor Štys, CSc
Ing. Bc. Renata Rychtáriková, Ph.D.
Ing. Jan Urban, Ph.D.
Mgr. Anna Zhyrova, Mgr. Tomáš Náhlík, Antonín Bárta, Markéta Novotná,
Bc. Dalibor Štys ml.

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Fakulta ochrany vod a rybářství
Ústav komplexních systémů

Praha 2017

Vedoucí práce: Mgr. Denisa Kera, Ph.D.

Poděkování

Ráda bych poděkovala svým spolupracovníkům z Ústavu komplexních systémů, profesorovi Jaroslavovi Nešetřilovi z Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy za konzultaci a dalším, kteří mi pomohli a inspirovali mě při psaní této práce. Děkuji také Muzeu Kampa za poskytnuté materiály.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem dizertační práci vypracovala samostatně a s použitím uvedené literatury a pramenů.

V Praze, 31. 3. 2017

Abstrakt

Práce mapuje vztah informace a obrazu, potažmo informační vědy a obrazové analýzy, stejně jako důležitost vizualizace informace a metody vizuální analytiky se zaměřením na analýzu uměleckých děl. Zároveň se zaměřuje na proměny obrazu, především digitalizaci i nový typ přijímání obrazů a novou estetiku. Téma obrazu dále omezuje na abstraktní malbu, konkrétně dílo Františka Kupky, které je použito jako vstupní obrazová informace v experimentu, v němž je představena originální metoda analýzy obrazu využívající funkci informační entropie (konkrétně Rényiho entropie). Tato metoda byla v uvedeném výzkumu poprvé použita pro analýzu uměleckých děl se záměrem získat srovnání přirozeného a umělého třídění obrazových dat. Abstraktní dílo jsme zvolili nejen s ohledem na uvedenou historii gramatiky abstraktních forem a jejího vztahu k digitálnímu obrazu, ale také jako emblematický příklad efektivního získávání informace z komplexního prostředí. Práce shrnuje jak historické souvislosti vývoje digitálního obrazu, tak teoretickou reflexi současné obrazové analýzy a dalších technik souvisejících s obrazovou informací a akcentuje vztah abstraktní tvorby k přirozené i simulované komplexitě.

Klíčová slova

informační věda, analýza obrazu, informační entropie, kulturní analytika, vizualizace, artificiální estetika, abstrakce, abstraktní umění, komplexita

Abstract

This text focuses on the relation of information and image, hence Information Theory and Image Analysis, as well as visualization of information and methods of visual analytics focusing on analysis of art works. It also concentrates on evolution of digital image and related new type of perception and artificial aesthetics. We narrow the broader topic of the image and image information to the abstract art, namely the work of Czech painter Frantisek Kupka, which is used as input in the experiment presenting original method of image analysis using the function of information entropy (Rényi entropy). This approach was used for the first time for analysis of art works with the aim to obtain the comparaison of natural and artificial classification of image information. We chose the work of abstract art not only with regard to given history of grammatics of abstract forms and its relation to the digital image, but also as an emblematic example of effective gaining of information from complex environment. Work thus summarizes historical context of evolution of digital image and theoretical reflection of contemporary image analytics and others techniques relevant to the image information and emphasizes relation of abstract art to the natural and simulated complexity.

Key words

Information Theory, Image Analysis, Informational Entropy, Cultural Analytics, Visualization, Artificial Aesthetics, Abstraction, Abstract Art, Complexity

Obsah

OBRAZ, INFORMACE, KOMPLEXITA 1

ABSTRAKT 5
KLÍČOVÁ SLOVA 5
ABSTRACT 6
KEY WORDS 6
OBSAH 7

I. OBRAZ A INFORMACE 8

ÚVOD 8
NÁVRAT OBRAZŮ/ OBRAZ JAKO SYMBOLICKÁ FORMA 9
TECHNICKÝ OBRAZ 11
VIZUALIZACE 12
ODBOČKA 1: EDWARD LORENZ 13
MYŠLENÍ OBRAZEM 15
VIZUÁLNÍ ANALYTIKA 18
ANALÝZY UMĚLECKÝCH DĚL 23
ODBOČKA 2: DEEP DREAM 35
ARTIFICIÁLNÍ ESTETIKA 45
ABSTRAKCE 48
VÝTVARNÁ ABSTRAKCE 49
ODBOČKA 3: ČTVRTÁ DIMENZE 53
KONSTRUKCE: GRAMATIKA ABSTRAKTNÍCH FOREM 54
TECHNOLOGIE VIDĚNÍ: OD ABSTRAKCE K SOFTWARU 56
KULTURNÍ ANALYTIKA 59

II. INFORMACE, ENTROPIE, KOMPLEXITA 63

INFORMACE 63
ENTROPIE A INFORMACE 64
RÉNYIHO ENTROPIE 68
KOMPLEXNÍ SYSTÉMY A KOMPLEXITA 71
ODBOČKA 4: CELULÁRNÍ AUTOMATY 75

III. EXPERIMENT 82

VSTUPNÍ OBRAZOVÁ INFORMACE: FRANTIŠEK KUPKA: ČTYŘI PŘÍBĚHY ČERNÉ A BÍLÉ 82
POUŽITÉ METODY 87
VÝSLEDKY 93

IV. ZÁVĚR 104

ZDROJE: 110

KNIHY 110
ČLÁNKY 118
SEZNAM ILUSTRACÍ 126
PŘÍLOHY 128

I. OBRAZ A INFORMACE

Úvod

Tématem této práce je obraz jako objekt zkoumání současné vizuální a kulturní analytiky se zaměřením na umělecký obraz a výtvarnou abstrakci, kterou chápeme a popisujeme jako fenomén spojující výtvarnou tvorbu a matematickou analytiku obrazu představující zároveň přechod od tradičního obrazu k vizuálním reprezentacím zprostředkovaným digitálními médii. V práci navrhujeme empirickou metodu, která umožní práci s hypotézou spojující současné možnosti algoritmů a reflexi v oblasti informační vědy. Zatímco v oblasti kulturní analytiky hypotéza ve většině případů sleduje výběr dat a probíhá paralelně, v této práci se pokusíme získat větší odstup a kriticky zhodnotit formování a používání metod analýzy – jinými slovy jde o propojení filosofické reflexe s reálným stavem v oblasti počítačové a informační vědy, a to jak na úrovni teoretické, tak experimentální.

Zaměříme se na specifika obrazu, která souvisejí s jeho povahou nosiče informace a budeme sledovat proměny obrazu v době technologické reprodukovatelnosti, modularity, automatizace, variability a transkódovatelnosti (MANOVICH 2001). Téma obrazu jako nelineárního formátu analyzovatelného v rámci informační vědy uvedeme do kontextu zkoumání komplexních systémů souvisejícími tématy simulace, vizualizace a vytváření vzorů. Zdůrazníme roli entropie v rámci informační vědy a představíme experiment, v němž využijeme software rozpoznávání vzorů na základě informační entropie pixelu obrazu.

Návrat obrazů/ Obraz jako symbolická forma

Naše kultura je na první pohled obrazy zaplavena. Důležitost vizuální informace je jedním z klíčových témat současnosti, která je popisována jako kultura obrazu charakterizovaná obecným trendem anebo alespoň statisticky významnou změnou v přijímání informace – zatímco v předchozím období byla zřejmá dominance textu, dochází k obratu (který někteří chápou jako svého druhu návrat) k obrazové informaci. Jak se můžeme přesvědčit v každodenním životě, je tento návrat spojený s vysokou mírou výskytu doprovodných ilustrací, fotografického materiálu, grafů, vizualizací, vizuálů, ikon, glyfů, piktogramů a různých mediálních obrazově nasycených a více či méně imerzivních prostředí včetně videa, filmu, virtuální a augmentované reality, nemluvě o galeriích či parties s VJ sety či live cinema performancemi anebo street artu a graffiti.

Určitý typ návratu k obrazům (jako "pictorial turn") popsal v roce 1992 vlivný americký literární kritik a historik umění W. J. T. Mitchell a v roce 1994 Gottfried Boehm ("iconic turn"). Vizuální studia se každopádně od devadesátých let 20. století stala součástí univerzitního světa a získávají stále více pozornosti. Nejde přitom jen o kvantitativní nárůst, i když i ten je výrazným a důležitým rysem tohoto vývoje, jak ještě uvidíme. Obrazy neslouží jako pouhé „ilustrace diskurzivních argumentů", jak píše Martin Jay, profesor historie v Berkeley specializovaný na současnou vizuální kulturu a její historický kontext. Obraz a vizuální kultura jsou samostatným polem výzkumu, čímž sice obraz byl již dříve, ale jen v prostoru kunsthistorie či estetiky. Díky informační vědě, která vytvořila novou univerzální úroveň popisu, můžeme obraz zkoumat jako informační kanál v proměnách a mutacích jeho individuálních i společenských funkcí.

Vidění je obvykle chápáno jako víceméně pasivní, přirozený a intuitivní způsob přijímání informací z okolí, ale ve skutečnosti jsou koncepty jako viditelnost a představivost, role pozorovatele a způsoby reprezentace historicky a kulturně podmíněné – obraz a pozorovatel se vyvíjejí a navzájem přizpůsobují, jak

působivě popisuje například Jonathan Crary v knize Techniques of the Observer. Optické metody a přístroje jsou výsledkem průsečíků sil a znalostí a zároveň svědectvím o formování instance pozorovatele.[1]

Vidění není ani podle Lva Manoviche něčím přirozeným a daným, je to konstruovaná skutečnost, schopnost, která je neustále přizpůsobována momentálním požadavkům. Ve své dizertaci nazvané The Engineering of Vision Manovich píše: "Domnívám se, že vidění není nečasový pojem, naopak každá doba chápe vidění odlišně, v závislosti na tom, jak je používáno. Ve 20. století získalo vidění nové role média masové komunikace a pracovního nástroje a jako mnoho jiných nástrojů produkce bylo podřízeno inženýrství, racionalizaci a automatizaci." Ve věku vizuálních technik jako jsou holografie, simulátory, animace, automatické rozpoznání tvarů či tváří, mapování ("mapping"), kontrola pohybu ("motion control"), magnetická rezonance, multispektrální senzory, augmentovaná realita Google Glass či imerzivní Oculus Rift Manovich popisuje fúzi lidského a strojového vidění, která se projevuje v podobě automatizovaného "vizuálního nominalismu", jehož základ vidí v renesanční perspektivě a jehož materiální podobou jsou techniky jako radar, 3D počítačová grafika a "computer vision"; perspektiva je podle Manoviche základem jak (deskriptivní) geometrie, tak vizuálních technik moci[2].

[1] Crary ve své práci navazuje na dílo Erwina Panofského, především knihu Perspektiva jako symbolická forma z roku 1927a Ernsta Cassiera a jeho Filosofii symbolických forem.

[2] K tématu vidění a mocenských praktik viz Foucaltova analýza pohledu&dohledu. (viz např. FOUCAULT, Michel. *Surveiller et punir. Naissance de la prison*. Editions Gallimard, 2014.)

Technický obraz

Obrazy, které zaplavují svět, jsou technické obrazy, obrazy ve věku technologické reprodukovatelnosti[3] produkované nejdříve v sériích, později v distribuční síti multimediálních forem. Autorem termínu technický obraz je Vilém Flusser, který ho definoval jako obraz tvořený automatizovaným procesem technického aparátu a zařadil mezi ně především fotografii, film, televizi a počítačový obraz, jejichž podstata spočívá na úplně jiných základech než u tradičního obrazu – jak je již intuitivně zřejmé, jde o to, že jsou, jak říká Flusser, produkovány pomocí aparátů. Flusser zároveň v tomto kontextu definuje něco, čemu říká "abstrakce třetího stupně". Ta je založena na postulátu, že svět obrazů je složen z mikroskopických elementů, bezrozměrných bodů, nad nimiž lze provádět výpočty. A právě k tomu slouží technické aparáty, pomocí nichž lze tento roj částic (Flusser popisuje "neviditelné vířící bodové prvky poskládané do viditelné mřížky") zachytit a složit do abstrakce třetího stupně neboli do technického obrazu (FLUSSER 2002). Podobnou vizi obrazu jako sítě bodů má Lev Manovich ve své knize z roku 2014 Software Takes Command, kde popisuje „atom-like pixels" (MANOVICH 2013, 7) – pixely obrazu evokující atomistickou představu atomů skládajících se do větších celků. Jak píše Miquel Carvalhais ve svém textu o nové estetie (CARVALHAIS 2016), individuální symboly mizí a jsou nahrazeny tokem informací, který vnímáme stejně jako fyzický dynamický systém.

Lev Manovich, prominentní teoretik v oblasti nových médií, filmu a digitálního obrazu, popsal tento nový typ obrazů v dnes již téměř klasickém úvodu do studií nových médií, knize Language of New Media, už v roce 2001. Manovichovi byl se svou typickou schopností syntézy jako první schopen shrnout charakteristiky digitálního obrazu do několika klíčových bodů:

[3] Pojem odkazuje na práci Waltera Benjamina, jakož i dalších teoretiků počátku masové produkce obrazů jako je například Theodor Adorno: obrazy nemají své pevné místo, stávají se součástí jakéhosi globálního obrazového toku přístupného z principu odkudkoliv a kdykoliv.

1. numerická reprezentace (digitální kódování)
2. modularita (obrazy jsou složeny z elementů – pixely, obrázky, texty, zvuky, kódy – které mohou být odděleny od původního celku a složeny v jiný)
3. automatizace (možnost vytvářet či modifikovat mediální objekt s použitím existujících příkladů či algoritmů)
4. variabilita (nedefinitivnost objektu; možnost nahlížet jej z různých stran)
5. transkódování (výsledek smísení technologie a kultury; technicky možnost převedení do jiného formátu)

Vizualizace

Tento přechod k obrazu jako programovatelné struktuře se projevuje nejzřetelněji na posunu od funkce obrazu jako ilustrace k obrazu jako vizualizaci – typicky vizualizaci numericky kódovaných dat.

Vizualizace nahradila ilustraci: obraz nedoprovází text jako paralelní, doplňkový informační kanál, ale je vizuální podobou základní dynamiky vyjádřené v datech a mechanice jejich přenosu. Na vizualizace dat je v současnosti kladen ohromný důraz. Především vědecká obec (viz například situace v biologii a neurovědách[4]) pracuje s vizualizacemi jako s určitým typem univerzálnějšího, obecně srozumitelnějšího jazyka.

Důležitost vizuální informace a grafického zobrazení samozřejmě není novodobým vynálezem, nicméně po dlouhém období dominance psaného slova se vizualizace stává klíčovým nástrojem, a to především díky nutnosti zpracovat mnohem větší objemy dat. Jak píše Manuel Lima, autor knihy Visual Complexity. Mapping Patterns of Information,[5] vizualizace a sítě jsou klíčová

[4] Viz např. Olaf Breidbach: *Imaging Science: The Pictorial Turn in Bio- and Neurosciences, in: Imagery in the 21st century*
[5] Viz také webová stránka www.visualcomplexity.com

témata současnosti.[6] Za předchůdce dnešních vizualizací můžeme pokládat grafy či tabulky používané jako ilustrace textu.[7] Současné vizualizace můžeme rozdělit do dvou základních tříd: datové vizualizace a obecnější počítačově generované vizualizace. Eminentní oblast zájmu výzkumníků z různých oborů představují vizualizace komplexních souborů dat, tzv. „velkých dat" – velkých objemů dat s nelineárním rozložením, v nichž lze hledat pravidelnosti, vzory (patterns) právě díky grafickému ztvárnění.

Odbočka 1: Edward Lorenz

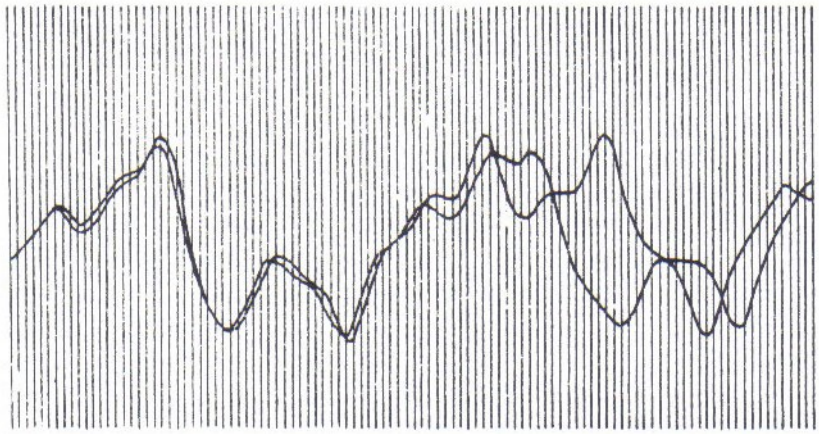
Počátek využití vizualizací, tak jak jsou ve vědě používány dnes, bychom mohli vystopovat k osobě meteorologa Edwarda Lorenze, který v padesátých letech[8] zkoumal modely předpovídání počasí a zároveň, aniž to ještě věděl, pomáhal založit nový obor, teorii deterministického chaosu. Lorenz vytvářel matematické modely pro předpovídání počasí v době, kdy byla meteorologie prostým předpovídáním na základě aktuálního stavu. Nepoužívala žádné složité matematické metody, ani výpočetní techniku. Numerické modelování počasí bylo považováno za podřadný problém. To se ovšem s příchodem sofistikovanější výpočetní techniky mělo změnit: Vědci tuto příležitost chápali jako možnost dokázat, že svět se pohybuje po deterministických, newtonovských drahách – a že je tedy možné spočítat budoucnost vesmíru na základě hodnot popisujících současné podmínky – a to Edward Lorenz změnil. Zjednodušeně řečeno tak, že obrátil pozornost k problému přesnosti měření a předpokladu, že malé vlivy je možné zanedbat. Pro nás je především důležité, že k řešení tohoto problému a formulování později velmi vlivného principu

[6] Lima se tímto tématem zabývá dlouhodobě a na jeho webu a v knize můžeme nalézt příklady vizualizací z mnoha oborů lidského vědění – biologie, ekologie, historie, urbanismu, či map world wide webu, jakož i historický kontext či vztah oblasti vizualizací k umění, designu a vědě.

[7] Z historie jen několik jmen: Vennovy diagramy, John Snow (1813–1858), Florence Nightingale (1820 –1910), William Playfair (1759 –1823); viz např. http://www.jeffersonbailey.com/speak-to-the-eyes-the-history-and-practice-of-information-visualization/)

[8] Edward Lorenz zkoumal modely předpovídání počasí od 50. let, ale až v roce 1963 vydal zásadní článek *Deterministic Nonperiodic Flow*, který se stal velkou inspirací pro vědce zkoumající deterministický chaos. Mezi jeho nejdůležitější objevy patří tzv. Motýlí efekt a Lorenzův atraktor.

motýlího efektu a ještě později objevu prvního z podivných atraktorů, Lorenzova atraktoru, použil grafickou metodu vizualizace dat. Aby mohl prohlížet vzorce, vytvořil si Lorenz jednoduchý způsob zobrazení: Namísto tisku řádku číslic nechal zařízení vytisknout určitý počet mezer, za nimiž následovalo písmeno a. Potom vybral jednu proměnnou, například směr proudění větru. Písmena a putovala dolů po papíře, poskakovala dopředu a dozadu a vytvářela vlnitou čáru, dlouhou řadu vrcholků a údolí, které představovaly obracení západního větru k severu. Pravidelnost těchto změn, rozpoznatelné cykly opakující se stále dokola, ale nikdy dvakrát stejně, jej fascinovaly.[9] Grafický výstup, na kterém se projevila výrazná změna chování systému po zadání hodnot, které se lišily až na třetím desetinném místě, vedla Lorenze k formulování teorie, jež byla inspirací pro vědce, kteří se v následujicích desetiletích zabývali nelinearitou, teorií deterministického chaosu a vědou o komplexitě.



1: Grafický výstup, který se stal základem pro teorii motýlího efektu , tj. citlivosti na malé změny v počátečních podmínkách.

[9] O Lorenzově objevu píše poutavě James Gleick ve své knize *Chaos, vznik nové vědy*, česky Ando Publishing 1996. Citát viz strana 21.

Myšlení obrazem

Klíčovým momentem myšlení Rudolfa Arnheima (1904-2007) je přesvědčení, že vnímání je silně spjato s myšlením a že umělecký výraz je jen jiným způsobem přemýšlení – že tedy skutečně existuje něco jako „myšlení obrazem“. Arnheim ve svém díle vždy zdůrazňoval, že vidění a vnímání jsou kreativní činnosti a že jsou aktivním porozuměním:

“Řád je nutným předpokladem lidského chápání. Uspořádání ve smyslu dispozice města či budovy, sady nářadí, výkladní skříně, verbálního vysvětlení faktů či myšlenek, obrazu anebo hudebního díla jsou umožňuje pozorovateli či posluchači zachytit celkovou strukturu i detailní rozvětvení struktury. Řád umožňuje soustředit se na to, co je stejné a co je rozdílné, co patří k sobě a co je odděleno. Když nic nepřebývá a nic neschází, můžeme rozumět vztahům celku a jeho částí i hierarchii důležitosti a moci, které určují, že některé struktury jsou podřízené a jiné dominantní. V mnoha případech je řád nejprve vnímán smysly. Pozorovatel vnímá organizovanou strukturu ve tvarech, barvách a zvucích, které ho obklopují. Ale je těžké, skoro nemožné, najít příklady, kdy je uspořádání daného objektu či děje omezeno na to, co je dáno přímo ve vnímání. Je to spíše tak, že vnímatelný řád bývá manifestován a chápán jako reflexe základnějšího uspořádání, ať už fyzického, sociálního či kognitivního.” [10]

[10] *“Order is a necessary condition for anything the human mind is to understand. Arrangements such as the layout of a city or building, a set of tools, a display of merchandise, the verbal exposition of facts or ideas, or a painting or piece of music are called orderly when an observer or listener can grasp their overall structure and the ramification of the structure in some detail. Order makes it possible to focus on what is alike and what is different, what belongs together and what is segregated. When nothing superfluous is included and nothing indispensable left out, one can understand the interrelation of the whole and its parts, as well as the hierarchic scale of importance and power by which some structural features are dominant, others subordinate. In many instances, order is apprehended first of all by the senses. The observer perceives an organized structure in the shapes and colors or sounds facing him. But it is hard, perhaps impossible, to find examples in which the order of a given object or event is limited to what is directly apparent in perception. Rather, the perceivable order tends to be manifested and understood as a reflection of an underlying order, whether physical, social, or cognitive.”* (Arnheim 1954)

Vnímání řádu je obecnějším způsobem přijímání než racionální myšlení, které je jeho podmnožinou – vizuální vnímání je v určitém ohledu primární, základnější než (logické) myšlení – zároveň se pohybujeme v hermetickém kruhu, kdy se vnímání a myšlení vzájemně prolínají a ovlivňují.

V kontextu, který nazýváme západní tradicí, bylo vidění tradičně považováno za podřadnější metodu poznání než racionální myšlení. Ve hvězdné hodině moderní západní filosofie, když Descartes sepsal své Meditace, zněl argument tak, že to nejdůležitější pro filosofii a kulturu, totiž obecné pojmy a geometrické tvary, nemůžeme nikdy vidět, ale můžeme je myslit. Jenže tyto argumenty v současné době neobstojí. Vizuální myšlení či myšlení obrazem jsou díky novým technikám a technologiím vizuální reprezentace praktikovány každodenně. Zatímco Descartes považoval za nemožné (nebo přinejmenším za nemoudré) představovat si například tisíc stran chiliagonu, tisícistranného polygonu, dnes si ho můžeme na monitoru prohlížet ze všech stran. Prohlížet si můžeme objekty o n dimenzích, objekty reprezentující proměnlivé systémy počasí, difrakční vzorce, povrchy atomů a další a další procesy nepřístupné pouhé imaginaci. Vědecká vizualizace neustále získává na důležitosti a radikálně mění způsob vědecké práce, ať už v přírodních, sociálních vědách, nebo matematice.

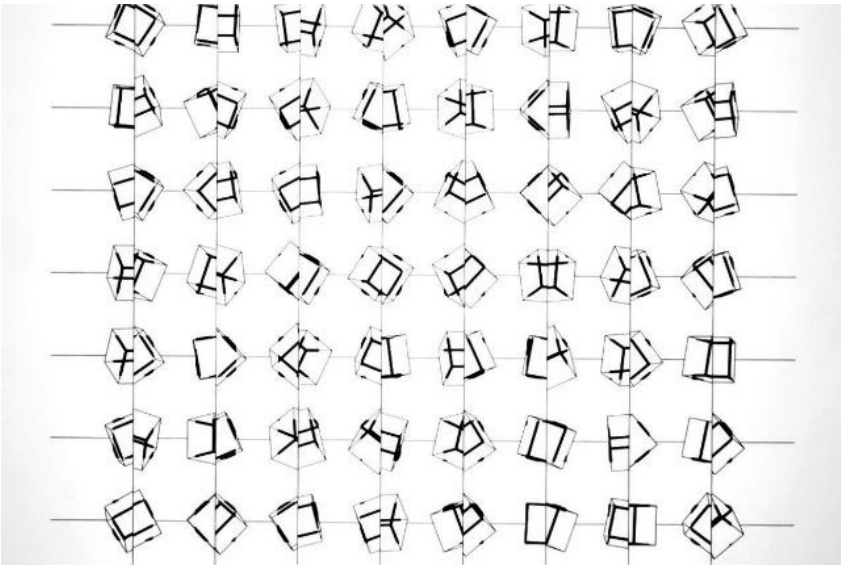
Výpočetní technika nemění jen metody práce, ale chápání samotného procesu myšlení a vnímání. Proces vidění je popisován jako výpočetní systém výkonnější než řeč. Zároveň ztrácí specificky lidský charakter – Lev Manovich to vysvětluje, pomocí pojmu vizuální nominalismus, který má své počátky u renesanční perspektivy a projevuje se v jistém typu automatizace realizované v technologických extenzích lidského vidění.

V knize Art and Illusion z roku 1960 Ernst Gombrich přirovnává čtení obrazů k luštění kódů. Během války přijímal rádiové signály a rozlišování signálu a šumu bylo jeho prací po celých šest let – jak sám říká, bylo to pro něj impulzem pro využití informační teorie pro porozumění vnímání. Podle Gombricha je obraz jako reprezentace nutně neúplný. Několik tahů štětcem nahrazuje vjem pole

trávy, několik barevných skvrn lidskou postavu. Vizuální komunikace v pojmech informační teorie potom operuje s tím, že dekódujeme signál za přítomnosti šumu. Takové dekódování je ovšem nutně pravděpodobnostní, neexistuje zde absolutní jistota ohledně původního signálu. Estetická rozkoš je pak, stejně jako informace, přímo úměrná míře nepředvídatelnosti zprávy. Podobně je v práci P. C. Vitze[11] popsána verze experimentální estetiky předpokládající, že umělecké dílo obsahuje víc informace než jakýkoliv jiný komunikační kanál, za předpokladu, že existuje optimální úroveň mezi naprostou absencí informace a naprostou informační saturovaností – úroveň, která charakterizuje ty nejpřitažlivější umělecká díla. Obdobným způsobem rozvíjel v roce 1960 německý estetik Max Bense teorii racionální estetiky a zkoušel změřit míru informace zahrnuté v klasických obrazech, například Rembrandtových grafikách. Jak měřit takový druh informace byla ovšem obtížná otázka – ostatní výzkumníci zvolili raději jednoduché abstraktní vzory, které byly jednodušeji kvantifikovatelné.

Na práci Maxe Benseho přímo navázal německý umělec Manfred Mohr, jeden z průkopníků výtvarného elektronického umění, který se původně věnoval abstrakci. Algoritmizace uměleckého procesu byla pro Mohra ideální prostředek, jak naplnit Bensovy myšlenky racionalizace umění: v 60. letech 20. století vytvořil matematická pravidla pro kombinaci geometrických elementů, což mu umožnilo svůj formalizovaný umělecký styl převést do algoritmu v programovacím jazyce. Mohr tak byl, spolu s ostatními pionýry elektronického umění, o nichž se ještě zmíníme, přímým pokračovatelem tradice geometrické abstrakce, a to zejména ve způsobu, jakým využíval matematické modely – jak sám vysvětluje v interview z roku 2011[12], matematika pro něj představovala způsob, jak zobrazit komplexní realitu – umožňuje totiž pracovat s dalšími dimenzemi a jejich grafickými znázorněními.

[11] Vitz, Paul C. "Preference for different amounts of visual complexity." *Behavioral Science* 11.2 (1966): 105-114.
[12] https://www.youtube.com/watch?v=z1TtXGkGBfk



2: Ukázka práce Manfreda Mohra: Cubic Limit (1972-77)

Vizuální analytika

Jaký je vztah člověka k obrazům, existuje něco jako univerzálie lidského vnímání? Jakými metodami lze zkoumat lidské vnímání? V čem se liší recepce digitálního obrazu a obrazu klasického, pokud se vůbec liší? Jak fungují obrazy v soukromém a ve veřejném prostoru? To jsou některé otázky, které se objevily v kontextu zkoumání vizuální informace.

Spolu s tím, jak začaly obrazy zaplavovat veřejný i soukromý prostor, se objevilo mnoho teorií a nových vědeckých disciplín[13]. Kromě vědy o obrazech

[13] V kontextu našeho zkoumání by nás samozřejmě mohly zajímat jak výzkumy lidského vnímání, tak funkce a fungování znakových a symbolických systémů. Stručně shrňme, že do tohoto kontextu patří i: Sémantika a problém jazyka. Edmund Husserl a fenomenologie, Merleau-Ponty, který se zaměřuje na problém vnímání a orientace v komplexním prostředí. Důležitá je také práce Henriho Bergsona, který zdůrazňoval roli umělce při rozšiřování lidského vědomí, a dále dílo Wittgensteina, Adorna a Gadamera, či Williama Jamese. Vývoj teorií vnímání byl doprovázen vývojem psychologických teorií – kognitivní psychologie, behaviorismus, Gestalt psychologie, experimentální psychologie. Kognitivní věda, vyvíjející se od 50. let 20. století, pak spojuje psychologii s počítačovou vědou, neurologií, či lingvistikou, antropologií a filosofií a kybernetikou. Ve druhé polovině 20. století se formuje postmoderna spojená s problematizací různých typů řádů a hierarchií, na začátku 21. století je to například spekulativní realismus

(Image Science) a experimentální estetiky (Experimental Aesthetics), je to především studium vizuální kultury (Visual culture) a zastřešující vizuální studia (Visual studies).

Studia vizuální kultury se stala součástí vědeckého a akademického světa přibližně v 70. letech 20. století. Jedním ze zakladatelů tohoto způsobu zkoumání je John Berger, spisovatel a teoretik, autor knihy Ways of Seeing (1972), která vznikla jako doplněk stejnojmenné televizní série. Nejznámějšími výzkumníky na tomto poli jsou W. J. T. Mitchell, N. Mirzoeff, M. Jay, či filozofové Jean–Luc Lyotard, Roland Barthes a poněkud diskutabilní Slavoj Žižek.

V oblasti strojové analýzy vizuální informace je v současnosti zřejmě nejrychleji se rozvíjejícím oborem rozpoznání vzorů, "pattern recognition", které odkazuje k vnímání smysluplných pravidelností ve složitém prostředí čili prostředí, kde se vyskytuje šum, a aplikuje lidskou schopnost detekování pravidelností či vzorů do strojového prostředí. Vyvíjí se od 70. let 20. století,[14] i když pionýrské práce v tomto oboru jsou již z padesátých a šedesátých let.[15] [16] Vztahem informatiky ke klasickým studiím vizuálního vnímání zabýval především James Gibson.[17] [18]

---

inspirovaný prací G. Deleuze, OOO (object-oriented ontology), ANT (actor-network theory) B. Latoura. Vlivná jsou pojetí deterministického chaosu, nelinearity a teorie komplexity. Vznikají nové disciplíny úzce spojené s extrémně rychlým vývojem počítačové vědy a nových technologií, zejména HCI (human-computer interface). To s sebou nese úplně odlišný přístup k problému rozpoznávání vzorů ("pattern recognition") založený na simulaci lidského vnímání a nové obory jako digitální humanitní vědy ("Digital Humanities") či nové typy analýzy obrazu ("image analysis").

[14] Richard O. Duda a Peter E. Hart : *Pattern Classification and Scene Analysis* (1973), či Tou and Gonzalez*: Pattern Recognition Principles* (1974)

[15] Gibson 1950; Eden, Narasimhan, Ledley, 60. léta

[16] V 70. a 80. letech vyšly texty Fu: *Syntactic Pattern Recognition and Applications*, Grenander: *Lectures in Pattern Theory*, Gonzalez and Thomason: *Syntactic Pattern Recognition*, či Watanabe: *Pattern Recognition*

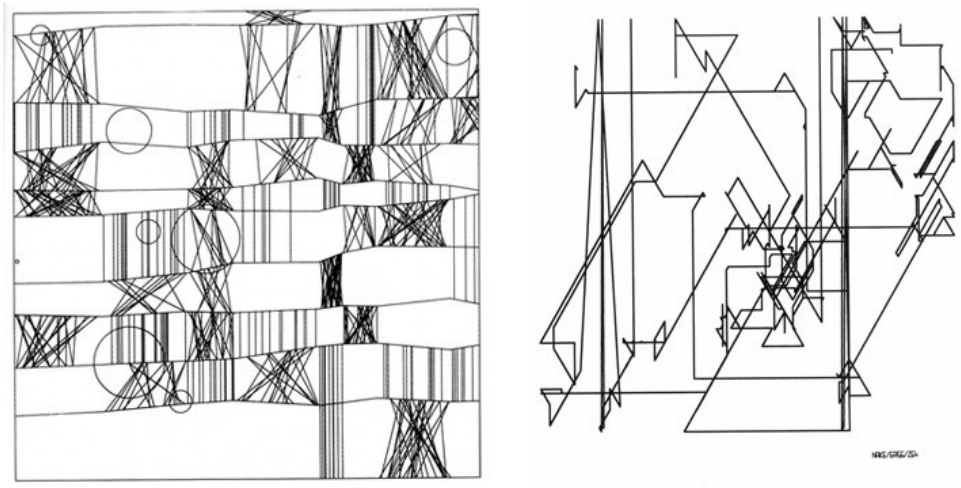
[17] Gibson, James: *The Ecological Approach to Visual Perception, 1979*

[18] Historický exkurz tématem představuje kniha autorů Youguo Pi, Wenzhi Liao, Mingyou Liu and Jianping Lu: *Theory of Cognitive Pattern Recognition:* http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/5795.pdf

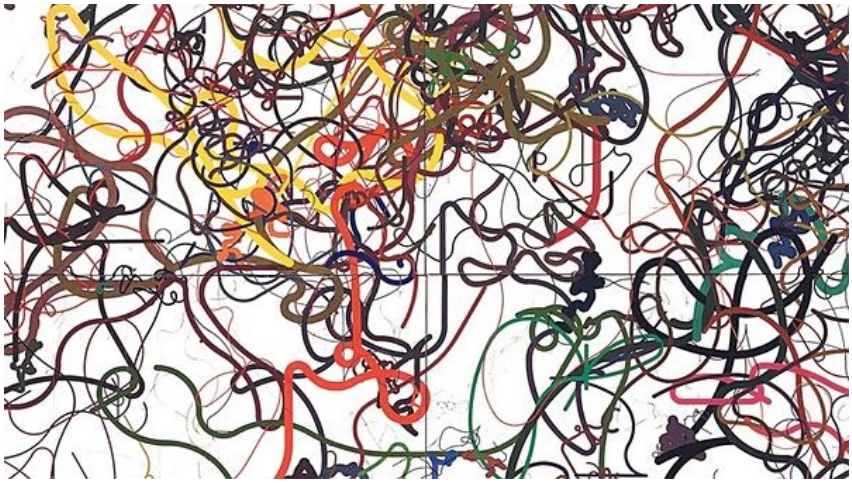
V oblasti experimentální estetiky to byli v sedmdesátých letech Abraham Moles a Frieder Nake, kteří začali analyzovat vztahy mezi estetikou a informační teorií. Frieder Nake byl zároveň jedním z prvních, kdo vytvořil počítačový program, který automaticky generoval kresby. Spolu s ním to byli A. Michael Noll a Georg Nees – všichni tři je vystavili krátce po sobě během roku 1965. Frieder Nake také vystavoval v rámci kultovní výstavy Cybernetic Serendipity v roce 1968 (kurátorkou výstavy byla Jasia Reichardt, která je zároveň autorkou teoretických studií; letos mimochodem získala ocenění jako Visionary Pioneer of Media Art na festivalu Ars Eletronica v Linzi).[19]

Tito lidé, kteří začali analyzovat vnímání i vytváření obrazů pomocí matematických analytických technik, byli v naprosté většině zároveň tvůrci a pionýři v oblasti elektronického umění. A. Michael Noll v 60. letech působil v Bell Labs a je autorem několika knih především o počátcích digitálního umění. Dalším z pionýrů elektronického umění, který ovlivnil například i Nam June Paika svými experimenty s televizí, radarem a "elektronovou malbou", je K. O. Götz (ročník 1914). Pro nás jsou nejzajímavější jeho práce ze 60. let, v nichž akcentoval vztah míry informace a krásy jako vztah mezi komplexitou a řádem, vytvářel "statisticko-metrické modulace", které, obdobně jako Zdeněk Sýkora v českém prostředí, realizoval tak, že nechal vzory generovat počítačem a pak je přenášel ručně na plátno. Mimochodem Zdeněk Sýkora je pro nás zajímavým autorem, nejen proto, že byl ojedinělým zjevem v rámci české výtvarné scény, ale především proto, že v jeho díle je dobře patrný přechod od klasické realistické krajnomalby ke kombinatorice čistě abstraktních tvarů, to vše vedeno záměrem oprostit se od subjektivity a dosáhnout výrazu univerzální dynamiky.[20] Zároveň byl prvním vizuálním umělcem, který při své tvorbě začal využívat počítače, i když výsledné linie, k jejichž výpočtu využíval kombinaci programu a náhodných prvků, nanášel ručně na plátno.

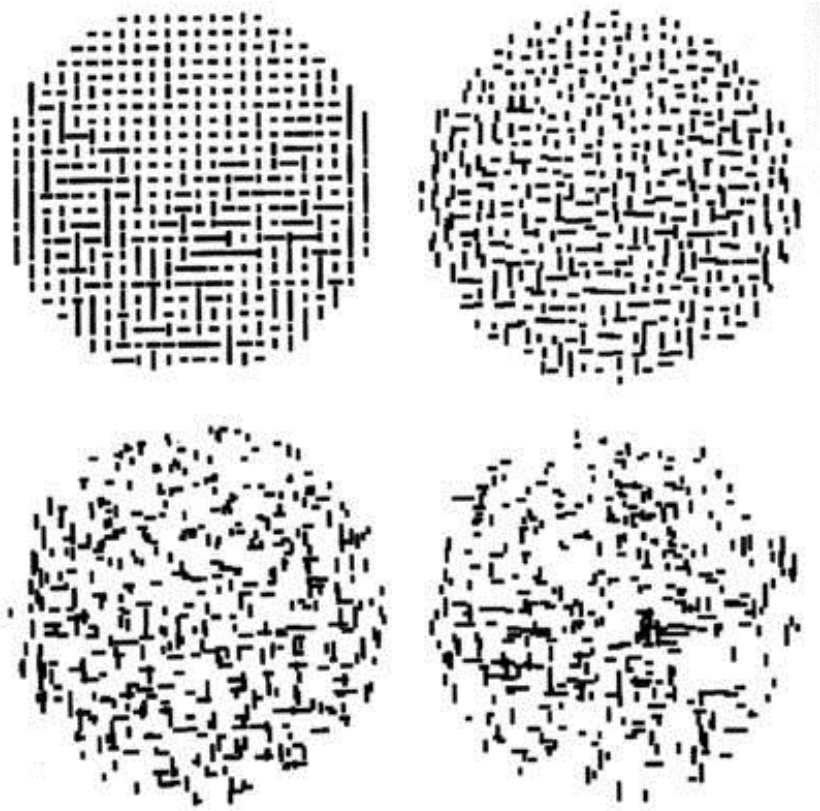
[19] http://www.aec.at/radicalatoms/en/jasiareichardt/
[20] Viz texty o Zdeňku Sýkorovi: http://www.zdeneksykora.cz/?s=texty_o_zs



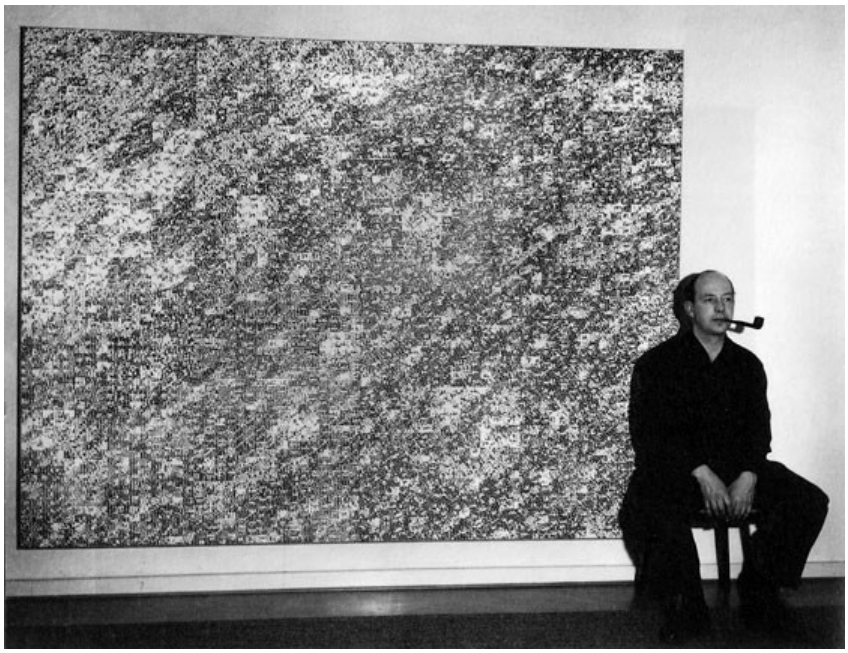
3: Frieder Nake : NR. 2 ("Klee"), 1965 and Polygon Course No. 7, 1965



4: Zdeněk Sýkora: Linie č. 24 – Poslední soud, 1983–84, olej na plátně



5: A. Michael Noll: Computer Composition With Lines (1964)



6: Karl Otto Götz: Density 10:3:2:1, 1961

V devadesátých letech to byl především Jürgen Schmidhuber, který přišel s algoritmickou teorií krásy, v níž postuloval, že esteticky nejpříjemnější je pro pozorovatele vjem, který má nejkratší popis (v potaz je brán pozorovatelova předchozí znalost a způsob zpracování dat) – což je evidentně něco, co může být kladeno do vztahu s krásou matematických rovnic (čím kratší popis pro komplexnější skutečnost, tím krásnější). Mezi související premisy patřilo to, že každý pozorovatel pracuje s předvídatelností a kompresí vnímaných jevů, a to zejména sledováním regularit jako jsou opakování, symetrie a fraktální soběpodobnost. Jeho práce zasahuje do oblasti machine learning a neuroestetiky: viz například jeho program Speed prior[21], který poskytuje měřítko komplexity podobné Kolmogorově komplexitě.

Analýzy uměleckých děl

V šesté kapitole knihy Visual Complexity. Mapping patterns of information nazvané Complex Beauty (LIMA 2013, 221) Manuel Lima tvrdí, že všudypřítomná struktura sítě také vyjadřuje či vyžaduje nový smysl pro krásu. Co je vlastně tím rysem, který člověka k některým strukturám, tvarům, či uměleckým dílům přitahuje, je složité určit, nejen proto, že se umělci obecně vzpírají vědeckým metodám určujícím hodnotu či přitažlivost díla, protože se z velké části oprávněně obávají redukcionismu. Lze pracovat s takovými prvky jako je kompozice, vyváženost, symetrie či v komplexnější podobě Gestalt. Gestalt psychologie pracuje s momentem hledání známých tvarů, pravidelností a vzorů (ve vizuálním šumu), co se ale stane, když komplexita vnímaného prostředí překročí určitou mez, za níž není možné vnímat regularity? Oblast estetického požitku leží, jak je intuitivně jasné, někde mezi monotónností řádu a zmatkem úplného chaosu, je ale docela dobře možné, že hranice vnímatelných regularit se posunuje.

[21] http://people.idsia.ch/~juergen/speedprior.html

Umělecký směr, který by podle Limy mohl nabízet odpověď na tuto otázku, se nazývá abstraktní expresionismus, konkrétně jde o dílo Jacksona Pollocka. Jeho rozměrná plátna vytvářená nanášením barvy stékáním či cákáním, nikoliv pomocí štětce, připomínají přirozené spletité sítě. Fyzik Richard Taylor se domnívá, že tato podobnost není náhodná. Ve svém článku Fractal Expresionism – Where Art Meets Science z roku 2003 Taylor popisuje zajímavý překryv mezi přírodními procesy a Pollockovou tvorbou a především fraktální povahu Pollockova díla.[22]

Podobnosti můžeme najít už v metodách tvorby, přičemž můžeme vycházet ze samotných slov Jacksona Pollocka o následování rytmu přírody a tvorbě "inside out like nature." Příroda používá fraktály jako stavební bloky, píše Taylor, a není proto překvapivé, že lidé mají pro fraktální struktury zvláštní cit, Taylor mu říká "fractal encoding", fraktální kódování. Mohli bychom jít dál a předpokládat, že v tom případě máme cit pro komplexní sítě, které jsou nejen všudypřítomné v přírodě, ale i náš vlastní kognitivně-senzorický systém představuje takovou vysoce propojenou síť. Je tedy možné, že cítíme náklonnost ke strukturám podobným našemu mozku. Jakkoli přesvědčivě Taylor argumentuje, jedná se zatím o spekulace, nicméně obory výpočetní estetiky ("computational aesthetics") a neuroestetiky se poměrně slibně vyvíjejí a mohly by poskytnout nástroje k tomuto typu zkoumání.

Zakladatel centra pro výzkum komplexních systémů v Santa Fe a nositel Nobelovy ceny za fyziku Murray Gell-Mann napsal v roce 2003 článek nazvaný Regularities and Randomness: Evolving Schemata in Science and Arts, v němž

[22] Používáme-li pojem fraktál, měli bychom alespoň stručně vysvětlit, o jaký koncept se jedná. Název fraktály pochází z roku 1975, kdy je Benoit Mandelbrot pojmenoval pro potřeby své publikace *Fraktály: Tvar, náhoda a dimenze*, ve které shrnoval svou mnoholetou práci. V následujících letech se mnohokrát prokázalo, že to, co bylo považováno za matematické kuriozity, je ve skutečnosti všudypřítomnou strukturou, emblematickým příkladem „řádem z chaosu", alternativou ke klasické geometrii a že popisuje nejen přírodní tvary a vzory, ale například dynamiku komplexních systémů počasí či burzy. Fraktály se definují především zlomkovou dimenzí a vlastností zvanou soběpodobnost. Rovněž jejich objev souvisí s aplikací metod vizualizace – byl totiž řešením pravděpodobnostní distribuce, konkrétně tak rozdílných dynamických systémů jako je vývoj cen bavlny a výskyt šumu při datových přenosech.

zmiňuje práci Herberta Simona, který mimojiné studoval mravenčí stezky, tedy to, čemu se dnes říká "swarm behavior" a co představuje velkou inspiraci pro robotiku.[23] Dalšími příklady takového synchronizovaného kolektivního chování jsou například hejna ptáků. Takové typy systémů, které při určitém kritickém množství prvků začnou vykazovat uspořádané chování, aniž by měly centrální kontrolu, jsou primárním objektem zájmů výzkumníků zabývajících se komplexními systémy. Pionýrem v této oblasti byl umělec Craig Reynolds, který vytvářel animace inspirované kolektivním chováním již v 80. letech. Zároveň se tím blížil tradici generativního umění, kterou můžeme vysledovat až do 60. let a která je v současnosti velmi silná – viz např. práce Maria Watze, Casey Rease, Jareda Tarbella a dalších umělců, kteří ve svím díle spojují přírodní procesy a tvorbu, například využitím behaviorálních algoritmů, podle nichž naprogramovaní agenti nahrazují přirozené prvky či činitele. I zde můžeme onen nikdy zcela postižitelný magnetismus díla připisovat podobnostem tohoto typu tvorby a přirozených procesů (zjednodušeně řečeno jde o jednoduché povely opakované dost dlouho). Jak píše Taylor ve své knize Chaos, Fractals, Nature z roku 2006, před rokem 1950 nevykazovala věda pro takový typ vizuální komplexity žádné pochopení. V 60. a 70. letech se však objevil jak deterministický chaos, tak fraktály a princip emergence. Spojením motýlího efektu (citlivosti na počáteční podmínky) a rekurzivní soběpodobnosti fraktálů s vyvstáním komplexních vzorů z jednoduchých interakcí vznikl (v neposlední řadě díky práci Alana Turinga, Edwarda Lorenze, či Benoita Mandelbrota) nový typ pojetí vztahu řádu a chaosu, a nový typ simulací.

Lima zdůrazňuje roli výtvarné avantgardy počátku 20. století v procesu oddělení umění od nápodoby přírody a zdůraznění procesu a experimentování. Například Rudolf Arnheim však v roce 1957 proti Pollockovi ostře vystoupil – vlastně logicky, uvědomíme-li si, že v Gestalt teorii jsou řád a chaos stále postaveny proti sobě, a představuje tak klasické pojetí umění i řádu. Na to

[23] Viz například PARIKKA, Jussi. *Insect media: An archaeology of animals and technology*. U of Minnesota Press, 2010.

reagoval Clement Greenberg se svou slavnou obhajobou Pollocka a nového typu vnímání uměleckého díla a procesu tvorby, a stal se tak "hlasem změny". Ve svém textu Inspiration, Vision, Intuitive Decision (GREENBERG 1967) popsal nový typ "řádu z chaosu", který se ve stejné době začal zkoumat i ve vědě (jde například o název knihy Ilyi Prigogina: Řád z chaosu) a nový typ krásy, kterou by bylo možné popsat jako jednotu v mnohosti (unity in diversity).

Výzkum díla Jacksona Pollocka

Richard Taylor a jeho tým, především Branka Spehar,[24] psycholožka se zaměřením na problematiku vizuálního vnímání, ve své práci zkoumali díla Jacksona Pollocka a výsledky svého více než desetiletého výzkumu shrnuli v několika článcích. Využili přitom metody sledování očních pohybů, zkoumání vizuálních preferencí, vodivost kůže, či měření EEG, čímž získali nejen perceptuální, ale i fyziologické odezvy na fraktální vzory. A do značné míry potvrdili konzistentní estetické preference fraktálních vzorů, nezávisle na tom, jedná-li se o vzory přírodní, či umělé.

Jak už bylo řečeno, fraktální vzory se od klasických geometrických vzorů liší tím, že zjednodušeně řečeno nejsou hladké. Je to rekurentní vzor s fraktální, tedy zlomkovou dimenzí. Richard Taylor a Branka Spehar v úvodu textu The Visual Complexity of Pollocks Dripped Fractals[25] fraktály popisují jako "otisky prstů přírody" (fingerprints of nature), či výraz nové estetiky. Výzkum, který Spehar popisuje, byl testem vizuální percepce, který měl ověřit přirozenou přitažlivost fraktálních tvarů – lépe řečeno, zda jsou přirozeně a uměle vytvořené fraktály (a vizuální komplexita, kterou ztvárňují) pro diváka stejně atraktivní.

[24] Webové stránky Branky Spehar: http://www2.psy.unsw.edu.au/Users/bspehar/
[25] Který uvádíme jako příklad výstupu dlouholeté práce Branky Spehar, Richarda Taylora a jejich spolupracovníků – kompletní seznam článků viz zdroje.

Autorka popisuje proces Pollockovy tvorby, který je v tomto kontextu důležitý, protože Pollock skutečně tvořil "tak jako příroda" – díky tomu, že svá plátna umisťoval na zem, barvu nanášel ze všech stran (čímž docílil izotropie) a pracoval na nich v rámci dní až týdnů, takže vytvářel přirozené vrstvy. Autoři označují jeho styl jako fraktální expresionismus.[26]

Fraktály se vyznačují fraktální dimenzí, tj. dimenzí, která má hodnoty mezi 1-2. Hodnota odpovídá členitosti útvaru – například pobřeží Austrálie má hodnoty 1,05-1,25 a pobřeží Norska 1,52. Autoři použili pro výpočet fraktální dimenze Pollockova díla metodu zvanou "box counting" (zjednodušeně řečeno plocha obrazu se překryje pravidelnou mřížkou a určuje se "zaplněnost" každého čtverečku). (TAYLOR 1999) Ve filmu dokumentujícím Pollockovu tvorbu můžeme vidět, o jak systematický proces tvorby v jeho případě šlo. Pollock svou metodu rozvíjel po více než deset let, a tento časový úsek se dá rozdělit do tří období podle hodnoty fraktální dimenze jeho děl – v prvním období byla hodnota nízká, v druhém se prudce zvýšila a ve třetím se zvyšovala už jen postupně (autoři také navrhli tuto metodu jako pomocnou metodu určování pravosti Pollockových děl).[27] I v tomto výzkumu tedy šlo o kvantifikaci vizuální přitažlivosti fraktálů – a autoři znovu zdůrazňují, že podobné výzkumy existovaly, nicméně šlo o studium přírodních, anebo matematických, počítačem generovaných fraktálů – a zde se objevil třetí druh, člověkem vytvářené fraktály. Objevily se i další výzkumy předpokládající, že existuje určitá hodnota fraktální dimenze, která by mohla mít univerzálně platnou nejvyšší míru vizuální přitažlivosti – viz např. Sprott a Aks[28] , nebo Pickover[29], který ve svém výzkumu operoval s hodnotou 1,8, kterou získal právě z analýzy Pollockových děl (ukázalo se, že hledaná "ideální" hodnota se zřejmě pohybuje spíše kolem 1,3 –

[26] Zajímavé je porovnání dvou extrémů na škále abstraktního umění – Mondriana, zástupce klasické abstrakce, procesu zjednodušování a jednoduchých geometrických tvarů – a Pollocka, který ve své tvorbě namísto zjednodušování volí techniku a sílu vizuální komplexity.

[27] R.P.Taylor, R.Guzman, T.P.Martin, G.D.R.Hall, A.P.Micolich, D.Jonas, B.C.Scannell, M.S.Fairbanks, C.A.Marlow*: Authenticating Pollock paintings using fractal geometry*

[28] Aks, D, and Sprott, J, 1996, Quantifying aesthetic preference for chaotic patterns, *EmpiricalStudies of the Arts* ,14, 1

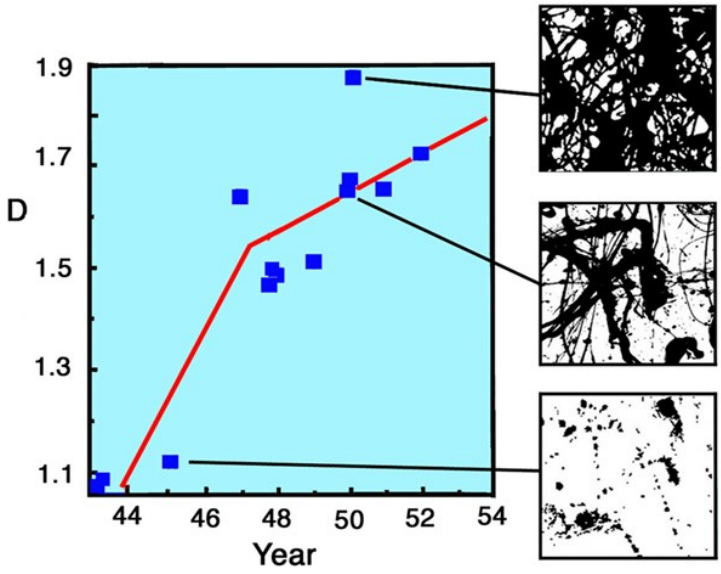
[29] Pickover, C., 1995, *Keys to Infinity*, Wiley (New York) 206

viz Sprott a Aks, 1996). Skupina Taylora a Spehar rovněž potvrdila vizuální přitažlivost fraktálů s hodnotou fraktální dimenze 1,3-1,5.

Zkoumání fraktální dimenze Pollockových děl přivedlo badatele i k problému tzv. "Lévy's flight", česky Lévyho procesu nebo Lévyho procházky. Lévyho procházka popisuje například lety ptáků, migrační pohyby zvířat, pohyb člověka pohybujícího se bezcílně po okolí svého domu – nebo kolem plátna v ateliéru. Lévyho procesy jsou charakterizovány nezávislými přírůstky a homogenitou. Například Albert-László Barabási, jeden z předních odborníků na výzkum sítí, je popisuje ve své knize Bursts[30] a uvádí do souvislosti s mocninným rozdělením ("power law") které je podle něj klíčové pro dynamiku sítí obecně. Jde o model, který skutečně připomíná pohyb člověka, který náhodně volí trasu své cesty.

7: Jackson Pollock při práci.

[30] Albert-László Barabási: *Bursts. The Hidden Pattern Behind Everything We Do*, Dutton, New York 2010, s. 157



8: Fraktální dimenze Pollockových děl v závislosti na datu vytvoření plátna (1943–1953)

V roce 2014 umělkyně Chang Liu použila software Processing k tomu, aby na základě videí vytvořila čistě strojově generované dílo Wild Growth, které bylo simulací metody Pollockovy tvorby a zároveň vegetativního růstu. [31]

9: Hang Liu: Wild Growth (2014)

[31] http://thecreatorsproject.vice.com/blog/artist-grows-pollock-worthy-paint-splatters

Richard Taylor studoval rovněž vztah Pollockových obrazů a fenoménu spontánního vidění vzorů ve složitém vizuálním prostředí tak, jak je využíváno v psychologii při aplikaci Rorschachova testu. Výsledkem tohoto zkoumání je hypotéza, že určitá fraktální dimenze podporuje "vidění tvarů" (sám Pollock se tomu snažil bránit zvyšováním hustoty linií) – a zároveň snižuje stres pokusných osob.[32]

Strojová analýza uměleckých děl: Další metody

Odborník na optiku a zkoumání obrazu David G. Stork (pohybující se pružně mezi mnoha obory včetně matematiky, fyziky, statistiky, počítačové vědy, rozpoznávání vzorů (pattern recognition), neurovědy, psychologie a teorie umění)[33] ve svém přehledném a shrnujícím textu Computer Vision and Computer Graphics Analysis of Paintings and Drawings: An Introduction to the Literature[34] přehledně shrnuje metody analýzy obrazu v digitálním věku. Moderní technologie ve službách zkoumání obrazu mají poměrně dlouhou historii. Krátce po objevení rentgenu byly rentgenové paprsky používány pro odhalování podmaleb a vrstev obrazu. K podobným účelům se používalo infračervené fotografie, reflektografie, multispektrální, fluorescenční i ultrafialové fotografie. Změna, ke které momentálně dochází, nespočívá ani tak v tom, že jsou využívány digitální technologie, ale především v tom, že výsledky neinterpretuje nutně člověk, ale čím dál častěji sofistikovaný algoritmus.

Stork shrnuje základní metody používané při strojové analýze dat (digitalizovaných) obrazů: základní metodou je zpracování informace o bodu či pixelu – většinou je to tedy barva či jas každého pixelu (což se označuje spíš jako "image processing" než obrazová analýza). Zajímavý je například výzkum

[32] Viz například popularizační článek: https://www.respekt.cz/denni-menu/veeci-potvrdli-ze-tajemstvi-rorschachovych-skvrn-objevil-uz-jackson-pollock
[33] Stručná informace o Davidu G. Storkovi např. zde: http://www.kurzweilai.net/david-g-stork, či jeho vlastní stránka http://www.diatrope.com/stork/FAQs.html
[34] http://www.diatrope.com/stork/StorkCAIP09.pdf

Grahama a Fielda, kteří zkoumali nelineární závislost optických vlastností přirozeného prostředí a realistických maleb. [35]

Další velká třída metod obrazové analýzy zkoumá větší oblasti obrazu: jedná se většinou o filtrování zdrojového obrazu tak, že barva či odstín šedi pixelu je funkcí hodnot pixelů ve vybrané oblasti. V lineárním filtrování je výstupní hodnota (barva či stupeň šedi) lineární kombinací hodnot vstupních pixelů, zatímco nelineární filtrování umožňuje libovolné funkce vstupních pixelů. Filtrování odhaluje takové vlastnosti obrazu jako specifické hrany a kontury, podobnosti mezi tvary atd. Jinou třídou nelineárních filtrů jsou morfologické operátory, které se používají spíše na černobílé obrázky se záměrem odhalit tvary a tvarovou podobnost. Jako příklad autor uvádí výzkum Storka, Meadora a Nobleho.[36]

Mezi další postupy patří perspektivní analýza, která má také svou dlouhou historii, analýza světelných podmínek obrazu, nebo analýza kompozice (viz analýza díla Pieta Mondriana[37] či Franze Klineho). Poměrně běžná je také analýza tahů štětcem – viz výzkum či Jacksona Pollocka výše, anebo zkoumání díla Vincenta van Gogha, který uvádíme jako emblematický příklad analýzy tahů štetcem, který se při studiu uměleckých děl používá.

---

[35] Graham, D.J., Field, D.: *Global nonlinear compression of natural luminances in painted art*. In: Stork, D.G., Coddington, J. (eds.) Computer image analysis in the study of art, vol. 6810, pp. 68100K–1–11. IS&T/SPIE, Bellingham (2008), či Graham, D.J., Field, D.: *Variations in intensity statistics for representational and abstract art, and for art from the eastern and western hemispheres*. Perception 37(9), 1341–1352 (2008)

[36] Stork, D.G., Meador, S., Noble, P.: *Painted or printed? Correlation analysis of the brickwork in Jan van den Heyden's View of Oudezijds Voorburgwal and the Oude Kerk in Amsterdam.* In: Rogowitz, B.E., Pappas, T.N. (eds.) Electronic Imaging: Human vision and electronic imaging XIV, vol. 7240, pp. 72401O1–10. SPIE/IS&T, Bellingham (2009)

[37] Colagrossi, A., Sciarrone, F., Seccaroni, C.: *A method for automating the classi- fication of works of art using neural networks*. Leonardo 36(1), 69–96 (2003), či Heitz, F., Maitre, H., de Couessin, C.: *Application of autoregressive models to fine arts painting analysis*. Signal Processing 13(1), 1–14 (1987)

Výzkum díla Vincenta Van Gogha

Výzkumy díla Vincenta Van Gogha, který je, jak se zdá, nejčastěji analyzovaným malířem, jsou v naprosté většině zaměřeny na stylometrii, tedy na tvary (tahy štětcem), či barvy (tyto výzkumy bývají spojené s nutným invazivním přístupem, kdy je potřeba získat vzorek barvy k chemickému rozboru).

V textu nazvaném When Van Gogh meets Mandelbrot: Multifractal classification of painting's texture [38] autoři dokládají zvyšující se zájem odborníků z oblasti výtvarného umění o nástroje zpracování a analýzy obrazu, konkrétně o multifraktální analýzu. Autoři vedli výzkum především s ohledem na možné budoucí využití při určování pravosti uměleckých děl – jejich experiment se skládal z dvou částí, v první měli vzorek sedmi obrazů a jejich sedmi kopií. Druhý soubor obsahoval částečně digitalizovaná díla Vincenta Van Gogha a jeho současníků. Autoři zkoumali texturu Van Goghových pláten, aby tak byli schopni porovnat a odlišit Goghova plátna z různých období či odlišit Van Gogha od ostatních malířů. Na výzkumu spolupracovali odborníci na výtvarné umění, zpracování obrazu, matematici a počítačoví vědci. (V referencích autoři zmiňují výzkum fraktálních vlastností díla Jacksona Pollocka.)

Jak autoři v článku zdůrazňují, se zvyšující se kvalitou digitálních nástrojů získávají i výzkumníci v oblasti umění možnosti objektivního a kvalitativního hodnocení zkoumaných děl, lépe řečeno některých jejich rysů, například "stylometrie", typických tahů štetcem, či textury. Autoři využívají především waveletovou (vlnkovou) analýzu a multifraktální analýzu a jejich kombinaci.

Waveletová čili vlnková transformace umožňuje analýzu nestacionárních signálů. Základními funkcemi této transformace jsou wavelety (vlnky), což jsou

[38] Abry, Patrice, Herwig Wendt, and Stéphane Jaffard. "When Van Gogh meets Mandelbrot: Multifractal classification of painting's texture." *Signal Processing* 93.3 (2013): 554-572.

časově omezené signály. Základní wavelet se nazývá mateřský wavelet (mother wavelet), nemá změněno měřítko a není posunut. Jeho posouváním a změnou jeho měřítka (většinou se provádí pouze roztažení – expanze) jsou z něj odvozeny další wavelety podobného tvaru, které jsou však posunuty anebo roztaženy, či zkráceny. Tyto odvozené wavelety tvoří spolu s mateřským waveletem jednu bázi.

Zatímco fraktální analýza se soustředí na upřesnění toho, jak je objekt globálně nepravidelný (soběpodobné, opakující se tvary v rámci zkoumaného prostoru obrazu), typicky pomocí jediného škálovacího exponentu, multifraktální analýza může zachytit lokální regularity objektu, a to především díky tomu, že pracuje s celým souborem škálovacích exponentů.

Velmi podobný výzkum díla Vincenta Van Gogha je popsán v textu Image Processing for Artist Identification: Brushwork in the Paintings of Vincent van Gogh.[39] Jak autoři zdůrazňují, spolu s pokročilou mírou digitalizace obrazů a muzejních sbírek vzniká prostor pro spolupráci historiků umění a odborníků na analýzu obrazu. Jedná se například o problém určování autorství uměleckých děl, a to pomocí zkoumání stylu konkrétního tvůrce, například tahů štětce – a to v tomto případě, ostatně jako u většiny podobných výzkumů pomocí waveletové (vlnkové) analýzy, zde kombinací několika typů.[40]

Složitější metodu analýzy využívají autoři textu Rhythmic brushstrokes distinguish van Gogh from his contemporaries: findings via automated brushstroke extraction[41] – i tento výzkum doplňuje tradiční metody zkoumání maleb jako je doplňkové zkoumání dokumentů, kategorizace děl, či

[39] R. Johnson, Jr., E. Hendriks, I. Berezhnoy, E. Brevdo, S. Hughes, I. Daubechies, J. Li, E. Postma, and J. Wang: *Image Processing for Artist Identification: Brushwork in the Paintings of Vincent van Gogh*. IEEE Signal Processing Magazine, Special Issue on Visual Cultural Heritage, July 2008

[40] E.Hendriks and S. Hughes, Van Gogh's Brushstrokes: Marks of Authenticity? Proceedings of "Art, Conservation, and Authenticities: Material, Concept, Context," University of Glasgow, Scotland, Archetype Publications, December 2008

[41] LI, Jia, et al. Rhythmic brushstrokes distinguish van Gogh from his contemporaries: findings via automated brushstroke extraction. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, 2012, 34.6: 1159-1176.

mikrochemická analýza i novější digitální metody zaměřené na zkoumání barev či lokálních vizuálních rysů. Zaměřuje se na typické tahy štětcem a používá poměrně složitou kombinaci metod detekování hran („edge detection“) a tzv. klastrování („clustering-based segmentation“).

Podobných výzkumů je mnoho, uveďme například práci Babaka Saleha a Ahmeda Elgammala z univerzity v New Jersey, kteří publikovali v květnu 2015 studii zaměřenou na klasifikaci děl podle autora a stylu. Měli k dispozici 80 000 maleb od více než 1000 umělců z průběhu patnácti století. Pro popis díla vytvořili „vektorový“ popis každého obrazu tvořený 400 různými dimenzemi. Výzkumníci pak testovali algoritmus na malbách, které nebyly původně zahrnuty a výsledek byl působivý: stroj dokázal rozpoznat autora v 60% případů a styl v 45%. [42]

Matematická estetika

Jaroslav Nešetřil je uznávaný český matematik, který se ve své práci zabývá mimojiné i vztahem umění a matematiky a matematickou analýzou uměleckých děl. Spolupracoval s filosofem Miroslavem Petříčkem a byl dlouholetým přítelem a spolupracovníkem Jiřího Načeradského. V roce 1996 to byl mimochodem právě profesor Nešetřil, kdo přivedl Benoita Mandelbrota na výstavu Kupkových děl.

V roce 2007 vyšel v publikaci Mathematics and Culture V (Emmer 2016) článek Jaroslava Nešetřila a Martina Bálka Towards Matematical Aesthetics, v němž je navržena metoda čtení obrazu pomocí pojmu grupy. Zjednodušeně řečeno jde o to, že obraz vnímáme na rozdl od textu najdednou v celku, nicméně při

[42] http://www.technologyreview.com/view/537366/the-machine-vision-algorithm-beating-art-historians-at-their-own-game/
http://arxiv.org/abs/1505.00855
Další články: Toward automated discovery of artistic influence
http://link.springer.com/article/10.1007/s11042-014-2193-x#/page-1

dalším „čtení“ ho intuitivně dělíme na menší části, které by mohly korespondovat s co-grupami.[43]

Ohledně pojmu grupy zmiňme jen ve stručnosti, že za zakladatele teorie se považuje matematik Évariste Galois, který zemřel v pouhých dvaceti letech v roce 1832. Poté se grupy začaly využívat i v geometrii, Felix Klein vytvořil grupy symetrií geometrických prostorů (Erlangenský program, 1872), což byla vlastně jakási kategorizace nově vzniklých geometrií,[44] u nichž se podle Kleina dá vytvořit jakýsi evoluční strom, kde má každá nová geometrie více symetrie (tedy schopnosti reagovat na podněty, proměnit se, ale nerozpadnout: transformovat se) než předchozí.

Profesor Nešetřil se svými spolupracovníky se ve výzkumu prezentovaném v článku namísto mikroanalýzy prvků obrazu zaměřil na makroanalýzu: sám ji označuje za snahu o topologii estetiky. Vychází z vnímání celku obrazu a následně jeho částí – které matematicky popisuje jako co-grupy. Pro potřeby strojově zpracovatelné analýzy, která by zároveň postihovala lidský smysl pro krásu, se rozhodl použít jako invariant kombinatorickou entropii (hereditary combinatorial entropy) – celku obrazu a jeho částí. Logika obrazu velí rozdělit ho na části – hlavní teze článku zní, že obrázek působí harmonicky, jestliže některé z jeho podobně významných částí mají stejné hodnoty kombinatorické entropie a do značné míry se potvrdila.

Odbočka 2: Deep Dream

Mezi současné metody zkoumání obrazu a dynamiky jeho vzniku samozřejmě patří neuronové sítě. Skupina výzkumníků z Googlu zveřejnila v létě 2015 obrázky které “vysnila” umělá inteligence, které se okamžitě staly hitem internetu. Způsob, jak vznikly, je stručně vysvětlen například v textu

[43] Například psycholog Jean Piaget pokládal grupování za projev inteligence.
[44] Manuel DeLanda popisuje tuto linii jako: topologická-diferenciální-projektivní-affinní-euklidovská geometrie a považuje ji za “linii zrození reálného prostoru”, (DELANDA 2005, 23)

Inceptionism: Going Deeper into Neural Networks.[45] Autoři popisují využívání umělých neuronových sítích pro klasifikaci obrazů (obdobně jako např. pro rozpoznání hlasu). I když jde o velmi užitečné nástroje založené na dobře známých matematických metodách, "živené" miliardami obrázků, výzkumníci vlastně stále nevědí, proč některé modely fungují lépe než jiné, a tak je postupně operativně přizpůsobují, aby získali kýžené klasifikace.

Síť většinou obsahuje 10-30 vrstev umělých neuronů, obrázek je vložen do vstupní vrstvy, prochází dalšími vrstvami a výsledný obraz je výstupem poslední vrstvy. Porozumění tomu, co se přesně děje na každé vrstvě, není tak jednoduché, i když v základě jde o to, že každá vrstva má za úkol rozpoznávat určité rysy jako třeba hrany či úhly, vyšší vrstva komplexnější tvary typu dveře, či list a nejvyšší vrstvy pak vytvářejí kompletní interpretaci, konkrétně tvary typu celá budova či strom.

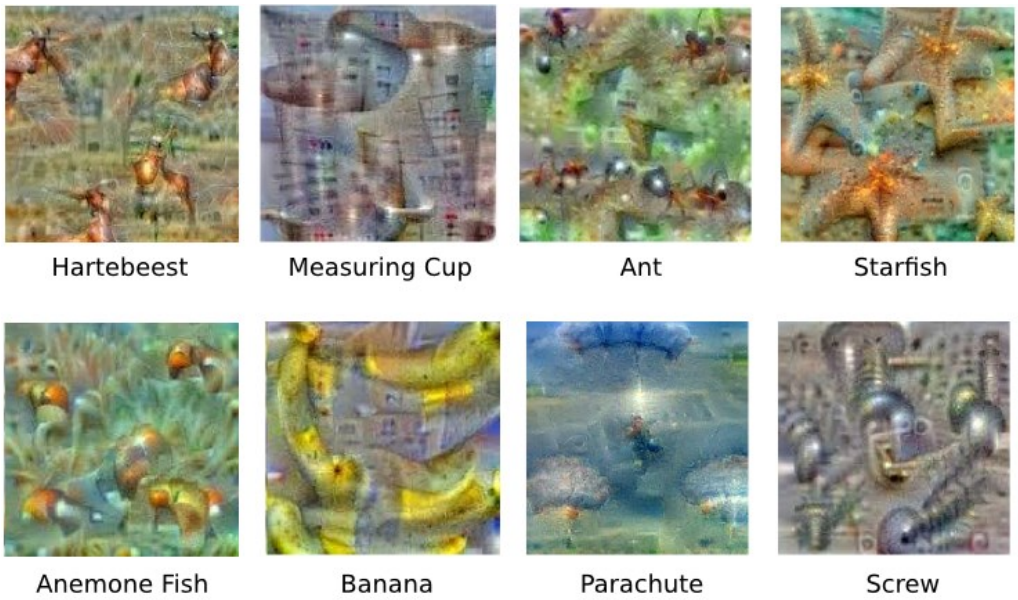
Jedním ze způsobů, jak zjistit – a vizualizovat, co se děje na různých úrovních, je proces obrátit a požadovat, aby síť vylepšila vstupní obraz tak, aby vyvolával konkrétní interpretaci. Na počátku je náhodný šum, který se neustále vylaďuje do požadovaného tvaru, což funguje, zvlášť pokud požadujeme, aby obrázek měl podobné statistické vlastnosti jako přirozený obraz. Jedním z překvapení bylo, že neuronové sítě trénované na rozlišování mezi různými typy obrazů, mají dostatek informace na to, aby obrazy generovaly. To je poměrně klíčové, protože sítě fungují tak, že jim ukazujeme mnoho příkladů toho, co se mají naučit, přičemž doufáme, že nějakým způsobem extrahují to podstatné. Problém je, jak zkontrolovat, jestli se síť skutečně nastavila tak, aby rozpoznávala ty rysy, které chceme nalézt – a zde může pomoci, když vizualizujeme onu vytvořenou představu, kterou síť má.

Namísto toho, abychom zadali přesná kritéria, můžeme také nechat síť, aby se sama rozhodovala. V tom případě prostě dodáváme náhodně vybrané obrazy a

[45] http://googleresearch.blogspot.cz/2015/06/inceptionism-going-deeper-into-neural.html

necháme síť, aby je analyzovala. Poté vybereme vrstvu a požádáme, aby zesílila to, co bylo nalezeno. Každá vrstva pracuje s rysy na různých úrovních abstrakce, takže komplexita rysů, které generujeme, závisí na tom, jakou vrstvu na jaké úrovni zvolíme. Na této úrovni je zahrnuta i zpětná vazba a posilování, takže výsledky mohou být skutečně překvapivé. Tato technika nám tedy poskytuje kvalitativní smysl úrovně abstrakce, kterou ta která konkrétní úroveň dosáhla v procesu porozumění obrazu. Autoři tuto techniku nazývají "incepcionismus" (inceptionism), což je odkaz na architekturu neuronové sítě, která je zde využívána. Další výsledky získame, využijeme-li iterací a vkládáme výstupní obrázek znovu a znovu do sítě.[46]

Tato technika tedy slouží k tomu, píší autoři, abychom lépe porozuměli tomu, jak neuronové sítě vizualizují a jak postupuje proces učení, ale také vyvolává otázky po využití takového nástroje při umělecké činnosti – jako "new way to remix visual concepts".



10: Deep Dream – příklady tvarů ze šumu

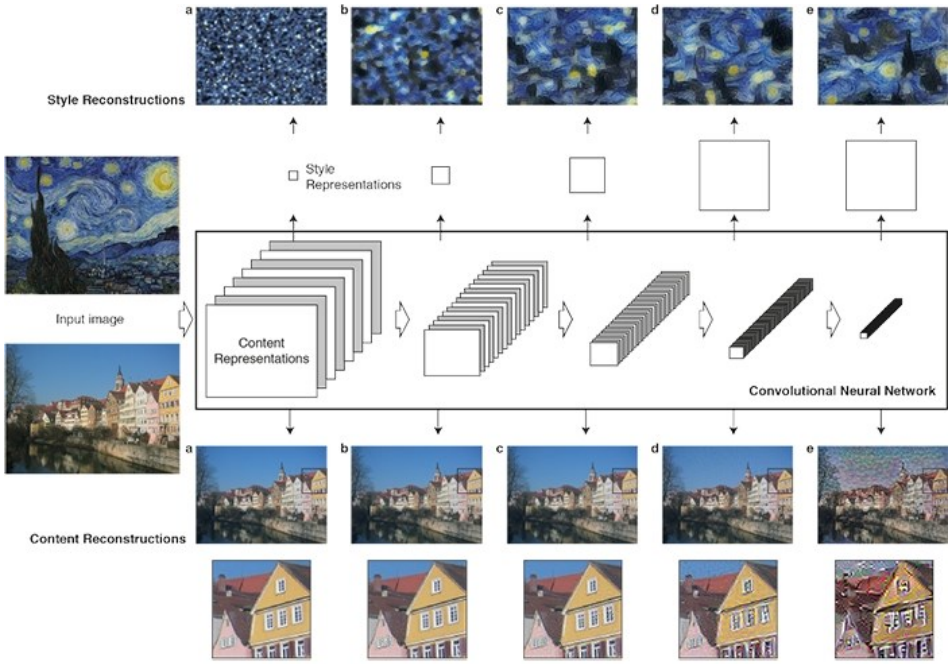
[46] Viz galerie: https://photos.google.com/share/AF1QipPX0SCl7OzWilt9LnuQliattX4OUCj_8EP65_cTVnBmS1jnYgsGQAieQUc1VQWdgQ?key=aVBxWjhwSzg2RjJWLWRuVFBBZEN1d205bUdEMnhB

11: Deep Dream – příklad výstupního obrazu

V září 2015 uveřejnila skupina výzkumníků text nazvaný A Neural Algorithm of Artistic Style[47] (Neurální algoritmus uměleckého stylu) a ukázali, jak napodobit umělecký styl úpravou fotografie s využitím neuronové sítě.[48] Jeden z prvních příkladů byla úprava fotografie Tübingenu, místa, kde Van Gogh namaloval slavnou Hvězdnou noc. Výsledek je skutečně velmi přesný. V textu autoři popisují specificky lidskou schopnost vytvořit silný vizuální vjem skloubením obsahu a stylu obrazu. Jak píší, dosud byla algoritmická báze tohoto procesu neznámá a žádný uměle vytvořený systém neměl podobné schopnosti. Nicméně v oblastech jako je rozpoznávání objektů či tváří („object and face recognition“) se schopnosti strojů blíží lidským – jde především o biologicky inspirované modely sítí nazvané Deep Neural Networks,[49] na nichž je založen

[47] http://arxiv.org/pdf/1508.06576v1.pdf
[48] Zároveň se objevily další články na podobné téma – například text nazvaný *Comparing Artificial Artists* - https://medium.com/@kcimc/comparing-artificial-artists-7d889428fce4
[49] Princip softwarové neuronové sítě se inspiruje biologickou neuronovou sítí; stavebním kamenem je neuron. Jednotlivé neurony jsou vzájemně propojeny spoji ohodnocenými vahami. Propojení a schopnost tyto váhy adaptovat (učit se) na základě trénovacích vzorů v datech poskytuje neuronové síti nové možnosti v oblasti analýzy dat. Hlavní předností neuronové sítě je tedy schopnost učit se, tedy zapamatovat si kombinace, které vedly k požadovanému výstupu a u

následující výzkum. Systém používá neurální reprezentace, aby oddělil a rekombinoval obsah a styl náhodně vybraných obrazů, a tak poskytuje neurální algoritmus tvorby uměleckých obrazů a zároveň ukazuje cestu k porozumění způsobu, jakým lidé vytvářejí a vnímají umělecká díla. Nejlepší ve zpracování obrazu jsou tzv. konvoluční neuronové sítě (Convolutional Neural Networks) – KNN, které se skládají z vrstev malých výpočetních jednotek, které zpracovávají vizuální informaci hierarchicky. Každá vrstva jednotek může být chápána jako soubor obrazových filtrů, z nichž každý extrahuje určitý rys obrazu. Výstupem každé úrovně jsou pak tzv. příznakové mapy (feature maps) – různě filtrované verze vstupního obrazu, které vytvoří celkový příznakový prostor (feature space).



12: Metoda konvoluční neuronové sítě; příznakové mapy a rozlišení obsahu a stylu.

nových vstupů se potom obracet na svou paměť a na základě zkušeností odhadovat nový výsledek. V tomto případě mluvíme o generalizaci, která je další velkou předností algoritmu neuronových sítí. Zjednodušeně řečeno, jde o přiměřenou dovednost správně zareagovat i na vstupy, které nebyly součástí trénovacích dat, a vyvodit z nich obecné závěry o datech. Často v praxi nemáme ani dostatek apriorních znalostí o tom, co způsobuje konkrétní variabilitu zkoumané proměnné, a není proto jiná možnost než se vlivy snažit popsat na základě dříve naměřených dat.

Trénované KNN vytvářejí reprezentaci obrazu, v níž se informace o objektu během hierarchického procesu zpracování neustále zvyšuje. Tak se během procesu vstupní obraz transformuje do reprezentací, které neustále porovnávají obsah obrazu s přesnými hodnotami v pixelech. Můžeme přímo vizualizovat informaci, kterou obsahuje konkrétní úroveň o vstupním obrazu, rekonstrukcí obrazu z příznakových map na oné úrovni. Zatímco vyšší úrovně zachycují vyšší úrovně obsahu typu objekty a jejich uspořádání, nižší úrovně jednoduše reprodukují přesné hodnoty originálního obrázku v pixelech – tak můžeme spojit informaci z vyšších vrstev s obsahem obrazu. K získání informace o stylu bylo využito příznakového prostoru (feature space) určeného původně k získávání informace o textuře. Příznakový prostor je vystavěn na vrcholu filtrovaných verzí obrazu na každé úrovni sítě. („This feature space is built on top of the filter responses in each layer of the network.“) Skládá se z korelací mezi různými filtrovanými verzemi obrázku; „filter responses“ nad prostorovou extenzí příznakových map. Zahrnutím korelací z mnoha úrovní získáváme stacionární, multiškálovou reprezentaci vstupního obrazu zachycující texturní informaci (v průběhu tohoto procesu pak mají lokální rysy tendenci zesilovat), a ne globální uspořádání – reprezentaci, kterou autoři nazývají reprezentace stylu. Klíčovým poznatkem výzkumu tedy je, že reprezentace obsahu a stylu v KNN jsou oddělitelné a že s nimi můžeme pracovat samostatně (a vytvářet tak nové perceptuálně smysluplné obrazy).

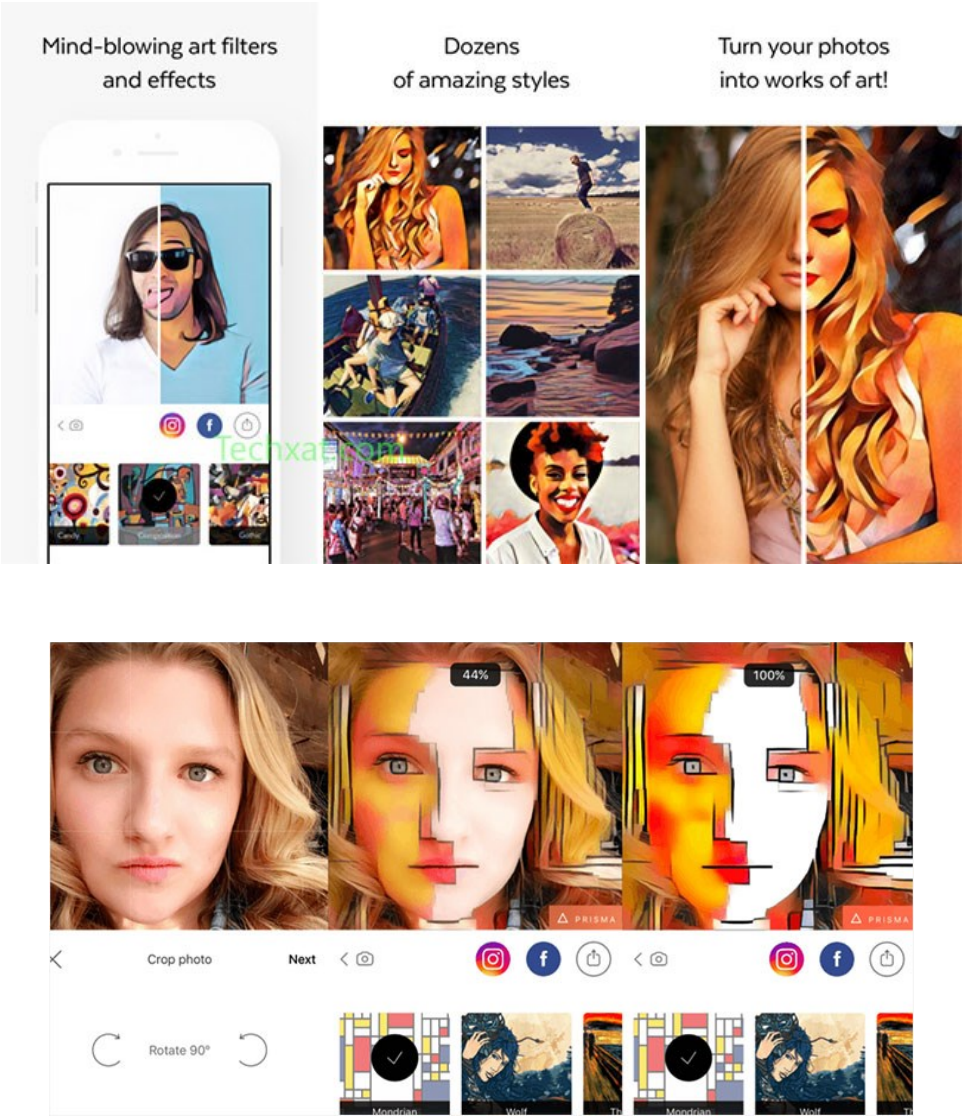
Jako ilustrace tohoto principu vznikla série obrázků, na nichž byla fotografie řady domů v Tubingenu, která sloužila jako obsah. Jako vstupní informace o stylu posloužila díla známých umělců – zůstává tedy globální uspořádání fotografie, zatímco barvy a lokální struktury pocházejí z uměleckých děl.

13: Rozdělení obsahu a stylu: kombinace fotografie reálné městské zástavby v Tubingenu a stylu Van Goghova plátna Hvězdná noc.

14: Stejná vstupní fotografie a aplikace různých uměleckých stylů.

Autoři zdůrazňují, že předchozí práce zahrnující oddělení obsahu a stylu byly založeny na smyslových vjemech („sensory inputs“) nižší úrovně komplexity jako části rukopisu, tváře či malé objekty v různých pozicích. Práce, které nějakým způsobem zahrnovaly komplexnější obraz, většinou využívaly přenos textury. Všechny ale nějakým způsobem spočívaly v non-parametrických technikách přímé manipulace s pixelovou reprezentací obrazu. Oproti tomu použitím Deep Neural Network trénované v rozpoznávání objektů provádíme manipulace v příznakovém prostoru, které explicitně vyjadřují nejvyšší úroveň informace o obsahu obrazu. Rozlišení obsahu a formy jako dvou (víceméně) nezávislých zdrojů informace je zde skutečně klíčové a poskytuje algoritmický popis toho, jak by takový proces mohl probíhat v mysli. Zkoumáním korelací mezi neurony získáváme metodu, která je použitelná jak v uměle vytvořeném prostředí, tak v biologickém. Předpoklad zní, že využitím výpočetních metod založených na simulaci chování kompexních buněk (primárního vizuálního systému) na různých úrovních zpracování obrazu, může představovat způsob, jak získat na obsahu nezávislou reprezentaci vizuálního vstupu. Každopádně je fascinující, píší autoři, že se neurální systém, který je trénovaný, aby prováděl jednu ze základních výpočetních úloh biologického vidění, automaticky učí reprezentaci obrazu, která umožňuje separaci obsahu a stylu obrazu. Vysvětlením může být, že se při učení rozpoznávání objektu síť musí stát invariantní ke všem variacím obrazu, které zachovávají identitu objektu. Autoři dokonce předpokládají, že naše přirozená schopnost oddělit obsah od stylu přímo souvisí se schopností vytvářet a oceňovat umění, a může být právě tím znakem poukazujícím na mocnou schopnost našeho vizuálního systému tvořit závěry, tj. vnímat rychle a efektivně.

V roce 2016 se stala hitem vylepšená aplikace Prisma, díky níž lze proměnit jakoukoli fotografii na umělecké dílo vytvořené ve stylu oblíbeného autora či díla.

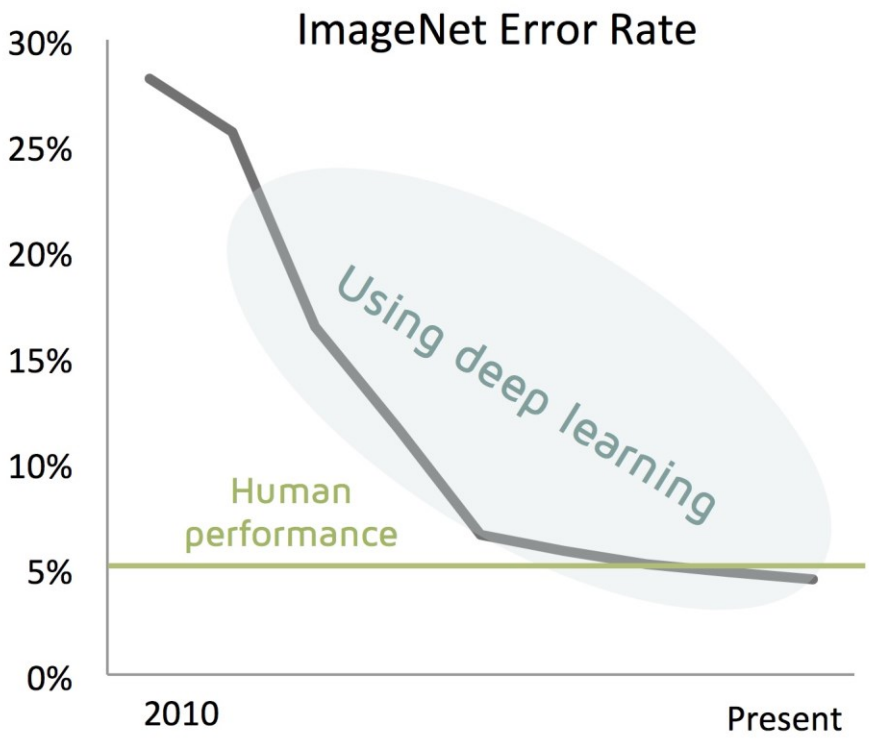


15: Aplikace Prisma.

Analýza obrazu s využitím neuronových sítí (“deep learningu”), “cloud-based” technologií a umělé inteligence je v současnosti velmi rychle se rozvíjející oblastí, viz například Arterys[50], anebo analýza obrazu založená “cognitive computing” viz zejména Watson od IBM[51]. Klasifikace obrazu je obecně jednou z prvních oblastí, kde se začala umělá inteligece a “deep learning” využívat av roce 2014 již překonala lidskou schopnost klasifikace obrazů.

[50] https://arterys.com/

[51] https://www.ibm.com/watson/



16: Míra chybování v oblasti analýzy obrazu: porovnání lidské a strojové klasifikace obrazu.[52]

Domníváme se, že není náhoda, že k „tréninku“ neuronových sítí se velmi často používají umělecká díla a analýza percepce uměleckých obrazů. Předpokládáme, že důvody nejsou povrchní a že metody abstrakce jsou v tomto smyslu skutečně modelem pro efektivní získávání dat z komplexního prostředí.

To, co je zároveň nepříliš reflektovaným problémem, který s analýzou a klasifikací obrazů úzce souvisí, je otázka po mechanismu fungování tohoto “umělého vnímání”. Filozof Daniel Dennett mluví v této souvislosti o “competence without comprehension” [53], tedy kompetenci bez porozumění: a to je přesně to, čemu bychom se měli vyhnout. Lidé skutečně přestávají mít

[52] Viz https://www.nervanasys.com/deep-learning-and-the-need-for-unified-tools/
[53] Viz např: https://www.evolutionnews.org/2012/06/dennett_on_comp/

přehled o tom, co se děje "uvnitř" neuronových sítí, spoléhají se na složitý algoritmus, a na to, že je efektivnější než lidské vidění, stávají se pasivními diváky, kteří přihlížejí a přijímají výsledky doručené umělými neuronovými sítěmi bez možnosti kontroly a také učení, tedy zpětné vazby nutné pro vlastní vývoj. Tady vidíme potencionální nebezpečí a potřebu aplikace kritického myšlení.

Artificiální estetika

Miquel Carvalhais, profesor na Filosofické fakultě univerzity v Portu, autor knihy Artificial Aesthetics, která vyšla v roce 2016, je nejen teoretikem na poli nových médií a jejich využití v umění, ale aktivně spolupracuje s umělci. Ve své knize popisuje specifika umění založeného na digitálních technologiích a odehrávajícího se na rozhraní lidského a strojového (HCI; Human-computer interface). Jak píše, rozdíl spočívá především v tom, že se numerické reprezentace dat stávají přístupnějšími a uživatel může přímo vidět, jaké mají jeho akce (získání informace, kopírování, přenášejí, rekonfigurace) vliv a lépe chápe komplexní procesy za výsledky jeho interakcí s daty. Konvenční a digitální média tak vytvářejí dva zcela rozdílné typy interakcí (jak ukazuje také Lev Manovich; MANOVICH 2001). (CARVALHAIS 2016, 132)

Změny, které přinesla výpočetní média (computational media) jsou velmi odlišné od předchozích transformací, a to nejen kvantitativně – výpočetní média jsou vynikajícími remediátory a jejich rozlišení stabilně vzrůstá – ale zvláště kvalitativně: jsme poprvé schopni programovat naše média, vytvářet artefakty, které jsou nezávislé na svých tvůrcích a uživatelích a které jsou nakonec schopny stvořit samy sebe a samy vytvářet nové zprávy a vlastní artefakty. (CARVALHAIS 2016, 26)

Podobně jako Manovich také Carvalhais zdůrazňuje charakter transkódovatelnosti digitální informace či digitálního obrazu. Transkódování

popisuje (inspirován mimojiné prací Anthony Wildena) jako "mapování" (mapping); základní akt v procesu abstrakce či rozpoznání vzorů, ne nutně ve smyslu vizuálních reprezentací, ale způsobu strukturování informace (WILDEN 1987, 107). Je to překlad z kódu do kódu, přenos určitých rysů "teritoria" do jiného média či jiného kódu reprezentace a jedna z nejdůležitějších aktivit systému závislá na informaci. (CARVALHAIS 2016, 49) V tomto smyslu ale můžeme popisovat proces transkódovaní už v práci abstraktních umělců pracujících s tradičními médii, totiž jako přenos klíčových bodů z jednoho teritoria (ve smyslu, jak jej používá Deleuze a Guattari, viz např. DELEUZE, GUATTARI 1980) do jiného teritoria či média. Je to jistý typ topologie médií ve smyslu koncentrace na klíčové body systému a možnost přenosu mezi různými systémy a substráty. Transkódování v tomto smyslu znamená možnost čerpat informaci ze všech zdrojů, vytvářet mezi nimi odkazy (cross-reference) a propojovat různá pole, odvětví a média.

V oblasti digitálních médií je utváření této univerzální úrovně spojeno především s kybernetikou, která vytvořila společný popis pro lidské a umělé systémy, a informační vědou, která poskytla pojmy jako vzor (pattern) a zpráva (message), tedy základ pro popis přenosu a uchování informace v živých i umělých systémech. Ostatně hranice mezi živým a neživým se výrazným způsobem rozmlžila, a to především v oblasti morfogeneze (Turing, Wolfram), nebo v pojmu "živá struktura" (living structure) Christophera Alexandra (ALEXANDER 2002). Norbert Wiener mluvil v tomto smyslu o automatech, ať už organických či strojových ("z masa a kostí, či kovu"; WIENER 1948, 42).

Umělci pracující s digitálním médiem označují sami sebe například jako "algoristy" (algorist[54]) – tento termín používá Roman Verostko, americký umělec, který používá v tvorbě počítače už od 60. let, pro popis svojí práce a tvorby příbuzných autorů – kromě Manfreda Mohra, Friedera Nake, Very Molnár, Harolda Cohen a dalších dnes již klasiků algoritmického umění jsou to

[54] Název používaný od roku 1995, více na: http://www.algorists.org/algorist.html

například Hans Dehlinger, Cohen nebo Ken Musgrave. Z druhé strany se jejich metodám blíží vědci se svými teoriemi o výpočetním vesmíru (Konrad Zuse, Edward Fredkin, Martin Davis, Charles Seife, Seth Lloyd a Stephen Wolfram). Stephen Wolfram popsal Princip výpočetní ekvivalence (Principle of Computational Equivalence), v němž jde, velmi zjednodušeně řečeno, o to, že výpočetní procesy mohou simulovat jiné výpočetní procesy, a protože přirozené procesy jsou rovněž chápány jako výpočetní, je možné simulovat prakticky cokoliv, zvlášť když máme Univerzální Turingův stroj (práh univerzality je totiž podle Wolframa poměrně nízko – což tvrdí jako matematik a prominentní výzkumník v oblasti celulárních automatů).

Mezi současné umělce, kteří navazují na práci klasických algoristů patří zejména Casey Reas, který začal v 90. letech na MIT experimentovat s počítači inspirován El Lissitského Prouny (kompozice těles ovládajících prostor). Jak Reas zdůrazňuje, generativní umělci byli vesměs inspirováni prací Johna Conwaye, který oživil buněčné automaty von Neumanna a Stanislava Ulama a vytvořil slavnou Game of Life, Alana Turinga, a ti mladší (kromě Rease jsou to Benjamin Fry (ročník 1975), se kterým získali v roce 2005 Golden Nicu za programovací jazyk Processing, či Golan Levin (ročník 1972) a Marius Watz) také studiem buněčných automatů Stevena Wolframa.

Umělci vyžívající ve své tvorbě digitální média, musejí přirozeně ovládat software a programovací jazyky a od programátorů se liší spíše svým záměrem než metodami – jak si ukážeme v následujícím oddíle, ani práce abstraktních umělců nebyla vždy vedena jen nějakým zcela nepraktickým záměrem, nešlo vždy o "umění pro umění" a softwarové inženýrství a umělecká abstrakce mají možná společného víc, než by se na první pohled mohlo zdát.

Abstrakce

Definice abstrakce zahrnuje přechod od smyslového k racionálnímu, zobecnění na základě pozorování většího vzorku konkrétního; postihování podstaty věcí (racionální myšlení může pracovat jen s obecným).

Abstrakce může být obecně chápána jako efektivní způsob získávání optimální míry informace z okolí. Například autoři knihy Explorations in information space: knowledge, agents, and organization[55], v části nazvané Energie, data, informace a vědění popisují, jak živé systémy vnímají variety z okolí a rozlišují mezi signifikantními a "zašuměnými" varietami, čímž získávají užitečnou informaci, kterou konvertují do smysluplné představy. Energie živého systému se projevuje na dvou úrovních: mechanické a informační, která funguje nelineárně – čím vyšší je evoluční stupeň, tím více je kladen důraz na informaci (viz příklad fotosyntézy a vidění, což jsou dva různě komplexní způsoby reakce organismu na světlo). Na jakékoliv úrovni směsi atomů a bitů (energie a informace) vzrůstá entropie – což řeší za prvé úspora energie a za druhé selekce dat, která má zabránit informačnímu zahlcení a příliš energeticky náročnému zpracování a přenosu dat. Taková selekce musí probíhat buď jako vymazání dat (viz Landauer, Bennett), nebo zvýšenou efektivitou jejich zpracování: to znamená obecně řečeno vytvořit řád, a tedy možnost předvídání, na základě zhodnocení smyslové zkušenosti. Autoři popisují strategii informaci zpracovávajícího organismu pomocí pojmů kodifikace a abstrakce (srovnatelné s pojmy diskriminace a asociace u W. Jamese). Proces kodifikace můžeme asociovat s termodynamickou entropií a proces abstrakce se Shannonovou entropií – ve zkratce řečeno konkrétní varieta oproti abstraktní vykazuje vyší stupeň informační entropie (kterou chceme snížit, abychom snížili energetickou náročnost zpracování dat): abstrakce je efektivní kódování.

[55] Boisot, Max H., Ian C. MacMillan, and Kyeong Seok Han. *Explorations in information space: knowledge, agents, and organization*. Oxford University Press on Demand, 2007.

Výtvarná abstrakce

Výtvarná abstrakce v podobě, v jaké se objevila na počátku 20. století, nevídaným způsobem oddělila zobrazovanou realitu od nápodoby přirozených objektů a scén a zároveň byla pokračováním klasické evropské tradice založené na protikladu ideje a jevu. Abstrakce v obecnějším smyslu, totiž jako schopnost odhlížet od jednotlivostí směrem k obecným principům, je základem veškerého západního myšlení. Na počátku 20. století získala nové médium, když byla využita v malbě, což je vlastně velmi neintuitivní aplikace mimojiné právě vzhledem k tomu, že schopnost abstrakce byla tradičně v protikladu s principem nápodoby, tradičně atributem malby a výtvarného umění obecně.

Skutečně také došlo k tomu, že se úplně změnilo pojetí malby jako takové, došlo k odklonu od zobrazování a napodobování přirozených tvarů a skutečností a namísto toho se výtvarní umělci zaměřili na "neviditelné světy", na zachycování dynamiky zakládající pozorovatelné jevy, zkrátka na něco, co bylo tradičně doménou racionálního myšlení a intuice, matematiky a vědy. Jak píše W. J. T. Mitchell (MITCHELL 2005), abstraktní obrazy vlastně nechtějí být obrazy; chtějí být osvobozeny od zobrazovací funkce ("image-making"). V jistém smyslu jde podle Mitchella o konec dlouhého období určité podoby umění – ve výtvarné abstrakci se protnula malba a nejčistší abstraktní myšlení vlastní matematice, a vzniklo tak nové paradigma.

Můžeme diskutovat o míře radikality, ale je jisté, že role umění se na počátku 20. století změnila. Z vleklé krize hodnot a nihilismu fin de siècle se umění znovuzrodilo ne pro potřeby estetického potěšení a věrné nápodoby přírodních tvarů a scenérií, ale jako radikálně kritická metoda poznání skutečnosti skrz analýzu vnímání a tvorby. Jak napsal Clement Greenberg v textu Modernist Painting[56]: "Podstata modernismu spočívá v použití určitých disciplinárních metod ke kritice disciplíny samé, ne se záměrem podvracet, ale pevněji ji zakotvit v oblasti její kompetence. Kant používal logiku, aby ustavil její limity,

[56] Viz např. zde:
http://cas.uchicago.edu/workshops/wittgenstein/files/2007/10/Greenbergmodpaint.pdf

aby se tak, zatímco on ze svých pravomocí hodně ustoupil, logika v tom, co jí zůstalo, stala jistější."[57]

První léta 20. století byla obdobím uměleckého a kulturního kvasu. Atmosféra fin de siècle a nového začínajícího století byla, zvlášť co se týče umění, výbušná. Nové styly vznikaly jako houby po dešti a v těch prvních letech, než byl vývoj přetržen světovou válkou, vznikl a byl definován expresionismus (1901), fauvismus (1906), futurismus (1909), kubismus (1909), suprematismus (1915), či dada (1916) (jejichž předchůdci byly impresionismus či divizionismus konce 19. století) a vznikla také abstraktní malba jako taková.

Mezi průkopníky abstraktní malby patří Kazimir Malevič, Vasilij Kandinskij, Piet Mondrian, Robert Delaunay, Theo von Doesburg a také český malíř František Kupka. Kupka byl v mnoha ohledech jedinečný a jeho cesta k abstrakci přímo ilustrativní. Autor jeho monografie Karel Srp popisuje Kupkův vliv jako "největší změnu v dějinách malířství od počátku novověku", když podle něj Kupka provedl "ostrý řez zasahující do celého dosavadního vývoje malířství". (SRP 2012, 14) Kupkův umělecký vývoj zahrnoval klasickou figurativní malbu, karikaturu, v níž si vytříbil schopnost detekce klíčových rysů zobrazované skutečnosti a dále přechod k vlastnímu stylu, který ve svých počátcích nesl znaky expresionismu či fauvismu, především na úrovni práce s barvou, která funguje jako autonomní prvek nezávislý na formě. Minimálně v roce 1912, kdy je poprvé vystaveno jeho zlomové dílo Amorfa. Dvoubarevná fuga, je však Kupka skutečně tak novátorský, že nemá předchůdce – a v jistém smyslu ani nástupce. O důležitosti a smyslu Amorfy. Dvoubarevné fugy bylo již napsáno mnoho, ostatně i o celku Kupkova díla. Pro naše účely je neméně důležité, že sám Kupka, podobně jako ostatní abstraktní umělci té doby, psal teoretické texty o principech výtvarné tvorby (především kniha O tvoření v

[57] "*The essence of Modernism lies, as I see it, in the use of characteristic methods of a discipline to criticize the discipline itself, not in order to subvert it but in order to entrench it more firmly in its area of competence. Kant used logic to establish the limits of logic, and while he withdrew much from its old jurisdiction, logic was left all the more secure in what there remained to it.*"

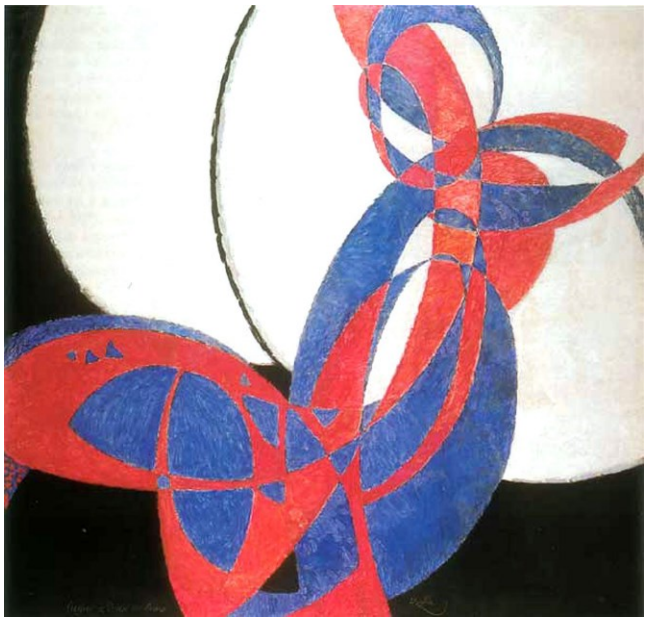
umění výtvarném). Kupka se zajímal o moderní fyziku, biologii, ale třeba i archeologii (vytvořil na základě archeologických nálezů pomyslnou podobu pravěkého člověka), fyziognomii a fungování oka, teorii barev a filozofii.

Zajímal se také o tehdy populární problém čtvrté dimenze. Kupka se vyjadřoval o kubistech jako o těch, co "pykají za zločiny páchané na přírodě", nicméně s nimi sdílel právě zájem o čtvtou dimenzi, v té době jak mezi umělci tak matematiky poměrně populární koncept vyšší dimenze reality, která zahrnuje a zakládá viditelnou realitu. Kupka také bezpochyby znal texty Henri Poincarého na toto téma a zajímal ho vztah viditelné, hmatatelné a "motorické" reality. Kupka, jak zmiňuje Linda Dalrymple Hendersonová, rozvíjel "šestý smysl" a "nadvědomí" inspirován mimojiné teosofisty. Hendersonová samozřejmě zmiňuje i jeho praxi jako spiritistického média, o níž se sám Kupka v pozdějších letech vyjadřuje ve smyslu, že šlo o mladickou nerozvážnost. Nicméně se na mnoha místech zmiňuje o různých typech vizionářských intuicí a vědomí chápaném jako ultrasenzitivní film schopný zachycovat (cítit a vidět) i neznámé světy, jejichž rytmy by nám připadaly nepochopitelné. Podobně jako Charles H. Hinton, průkopník "hyperfilosofie", se i Kupka snažil zachycovat vyšší realitu jako prostorový element vyjádřený pohybem v čase (pohyb ve 4D není pohybem, jak jej známe, ale kvalitativní změnou). Podle Hendersonové končí Kupkův zájem o čtvrtou dimenzi v letech 1912-13 (viz cyklus Lokalizace grafických sil), kdy přechází k totálně abstraktnímu umění (které on sám ovšem označuje jako konkrétní).

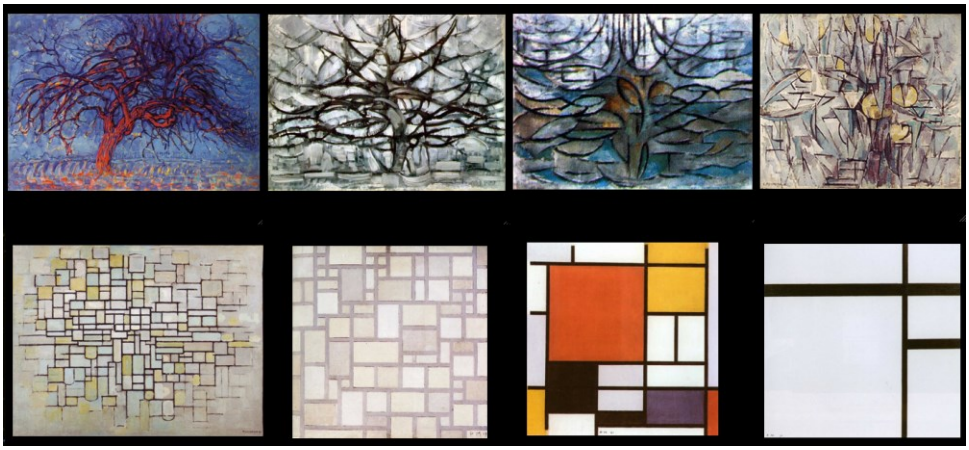
V roce 1913 také v Kupkových zápiscích nacházíme citát z Wittgensteinovy Poznámky o barvách, který je zajímavý i tím, že podle mnohých označuje Kupkův ústup z dobytých pozic a období hledání nového výrazu a také slepých cest, mezi něž mnoho z historiků řadí například Kupkovo machinistické období: "Myslí si o každém představitelném úsilí, že vyjádří jeho podstatu čtyřmi rozměry, že vyjádří pohyb nepohyblivými prostředky atd., filozofují, jsou vzrušeni myšlenkami, a dokonce snad, vědou. Malují rentgenové paprsky, elektrické vlny, malují vnitřek země a dno moře, a odtud se vydávají do

nekonečnosti, jsou to blázni. A toto má být účel umění? Určitě ne." (HENDERSON 2013, 222)

Účelem umění tedy nemá být ilustrovat vědu. Není jím ani nápodoba přírodních tvarů, proti tomu Kupka ostře vystupuje v mnoha dochovaných textech a výrocích. Nabízí se otázka, co tedy alespoň podle Kupky je a má být záměrem a cílem umělecké tvorby.



17: František Kupka: Amorfa. Dvoubarevná fuga (1912)



18: Názorná ukázka vývoje abstraktního výrazu u Pieta Mondriana.

(Obdobně jako u Kupky je na Mondrianově díle jasně patrný přechod od klasické figurální malby či krajinonomalby k abstrakci).[58]

Odbočka 3: Čtvrtá dimenze

Zajímavý a poněkud zapomenutý kontext výtvarné abstrakce počátku 20. století představuje právě problém čtvrté dimenze. Linda Dalrymple Henderson o něm napsala obsáhlou knihu nazvanou The Fourth Dimension and Non-Euklidean Geometry in Modern Art. Problém čtvrté dimenze byl na počátku 20. století velmi populární, obzvlášť mezi výtvarnými umělci. Dnes si většinou čtvrtou dimenzi spojujeme s dimenzí času, tak, jak ji známe z Einsteinovy teorie relativity, ale původně byla spojena s prostorem. Nejznámějším autorem, který se v té době zabýval problémem čtvrté dimenze, byl Charles H. Hinton, který formuloval "hyperfilozofii" neboli filozofii hyperprostoru. Hintonovo zapomenuté dílo bylo soustředěno kolem problému čtvrté dimenze prostoru, což je prostorová dimenze, která je pro trojdimenzionální svět tím, čím prostor pro plochu, a rozšiřování lidského "space sense" neboli prostorového smyslu tak, aby byl schopen tuto čtvrtou dimenzi vnímat.

Je zajímavé, jak se v dílech průkopníků elektronického umění v 60. letech 20. století opět objevuje motiv další prostorové dimenze či dimenzí, ovšem bez nádechu mysticismu, který je výrazným prvkem například u P. D. Ouspenského a dále u Kazimira Maleviče a dalších. Další dimenze jsou prozkoumávány pomocí matematických nástrojů, které poskytuje výpočetní technika vybavená grafickým rozhraním. "Chcete-li pracovat se strojem, musíte být schopni s ním mluvit",[59] říká Manfred Mohr. Způsob tázání se změnil spolu s prostorem, z něhož umělec získává opěrné body pro svoje dílo – pro mnohé byla na počátku 20. století čtvrtá dimenze věčností nepochopitelnou omezeným

[58] Více o Mondrianově díle např. zde: http://thecharnelhouse.org/2015/09/04/mondrian-order-and-randomness-in-abstract-painting-1978/
[59] "If you want to work with a machine, you have to be able to talk to the machine."

trojdimenzionálním mozkem. S příchodem nového média se umělci obracejí ke stroji, který dokáže propočítat a zobrazit to, co nedokáže lidské oko a ruka.[60]

Konstrukce: gramatika abstraktních forem

Lev Manovich v předmluvě ke knize Manuela Limy Visual Complexity. Mapping Patterns of Information píše: "Je zajímavé, že jazyk vizualizace informace má také mnoho paralel s jazykem geometrické abstrakce, který vykrystalizoval ve dvacátých letech 20. století v práci Pieta Mondrana, Kazimíra Maleviče, Františka Kupky a dalších modernistických umělců."[61] (LIMA 2013, 12)

Podle Manoviche mají abstrakce počátku 20. století a jazyk nových médií a technických obrazů mnoho společného, dokonce by se dalo říci, že abstrakce byla v jistém silném smyslu předchůdcem mediálního obrazu, což ilustruje na vývoji umělecké avantgardy v prvních letech Sovětského svazu. Manovich, který se etabloval jako znalec sovětské avantgardy dvacátých a třicátých let, působivě ukazuje,[62] jak se zde na počátku 20. století intenzivně prolínaly oblasti umění, vědy a masové komunikace. Manovich, sám pocházející z Ruska, popisuje období prvních let SSSR, kdy v revolučním nadšení lidé jako Moholy-Nagy, Kandinskij, či Rodčenko zkoumali proces komunikace vizuálními prostředky a způsoby ovlivňování mas. Byly založeny instituce jako INKhUK (Institut umělecké kultury, Moskva 1920-24), GAKhN (Státní akademie uměleckých věd, Moskva 1921-30), či VKhUTEMAS (Vysoká škola umělecko-technická, Moskva 1920-30). Umělec se v tomto prostředí stal inženýrem, jehož cílem byla racionalizace vizuální efektivity. Někteří z tvůrců, kteří zde působili, pokračovali později jinde v Evropě – například Vasilij Kandinskij působící v

[60] Zajímavý je v tomto smyslu i vztah textu a hypertextu, který do jisté míry odpovídá vztahu mezi prostorem a hyperprostorem. Viz např. *"Ordinary text may be regarded as a special case – the simple and familiar case – of hypertext, just as three dimensional space and ordinary cube are simple and familiar special cases of hyperspace and hypercube."* (Ted Nelson: Brief Words on the Hypertext, 1967)

[61] "*Interestingly, this language of information visualisation also has many parallels with the language of geometric abstraction, which crystallized in the second decade of the twentieth century through the work of Piet Mondrian, Kasimir Malevich, Frank Kupka, and another modernist artists."*

[62] Například již ve své dizertaci *The Engineering of Vision from Constructivism to Computers*

Moskvě (Narkompros, Národní komisariát pro obrodu založený v roce 1917, či VKhUTEMAS), odjel později do Německa (Bauhaus) a pokračoval dále do Francie. Kandinskij, stejně jako Kupka, zastával názor, že umělec by neměl napodobovat přírodní tvary, ale, jak se často vyjadřoval Kupka, tvořit tak jako příroda, nenapodobovat, ale vyjadřovat univerzální pravidla, což, jak napsal Kandinskij, znamená vytvářet svět umění stejně reálný a konkrétní jako přirozený svět.

Manovich uvádí vývoj evropské umělecké avantgardy prvních let 20. století (Seurat, Signac, Klee, Kandinsky, Mondrian) do souvislosti se zkoumáním jazyka abstraktních forem, které nebylo ani tak vedeno záměrem stvořit autentické umělecké dílo, jako spíše vizuální vjemy formující lidské bytosti jako organizované výkonné jednotky. Vznikaly různé grafické abecedy a slovníky, systémy grafických znaků, barev; i Kandinskij přišel se slovníkem barev, tvarů a jejich kombinací a psychologickým efektem každého prvku. Vznikaly laboratoře pro experimentální estetiku a teorii umění. Provádělo se systematické zkoumání základních objemů, linií, barev a textur. Umění mělo být chápáno a prováděno jako věda. Paralelně k tomu vznikaly fyziologické teorie (I. P. Pavlov) a byly položeny základy kognitivní psychologie, vědecké estetiky (Charles Henry) či psychologie vnímání věnující se zkoumání "atomů mysli" (Wilhelm Wundt, Charles Blanc, Humbert de Superville, Gustav Fechner).[63]

[63] Není bez zajímavosti, že v roce 1909, tedy v době, kdy se objevuje první abstrakce v klasickém vizuálním umění, se například také koná konference o regulaci automobilové dopravy – a objevuje se koncepce dopravních značek jako jednoduchých univerzálních grafických symbolů.

19: El Lisickij: Nový člověk, 1920

Technologie vidění: Od abstrakce k softwaru

Lev Manovich je ceněný především pro schopnost systematicky shrnout velmi komplexní a diferenciovanou oblast nových médií – jeho kniha The Language of New Media z roku 2001 je uznávána jako "první systematická a rigorózní teorie nových médií". Manovich se novými médii a především jejich vizuální stránkou zabývá od 90. let, a to jak teoreticky, tak prakticky (od roku 1984 působil jako grafik a programátor, vytvářel 3D filmové animace), přičemž zároveň pracoval na doktorátu z experimentální psychologie. Jeho dizertace z roku 1993 nazvaná The Engineering of Vision from Constructivism to Computers vycházela především z jeho podrobné znalosti sovětské avantgardy počátku 20. století – a souvislost avantgardních (především výtvarných) směrů a nových médií (především digitálního obrazu) je téma, které se objevuje již od 90. let v téměř všech jeho textech včetně zatím poslední knihy Software Takes Command.

V textu Avant-garde as Software z roku 1999 Manovich představuje vizi, v níž se volání po "novém jazyce", ať už ve výtvarném umění či filmu, které je typické pro desátá a dvacátá léta 20. století (viz např. Cinéma pur čili absolutní film), vrací s podobnou intenzitou a podobnou fascinací "novým" znovu v 90. letech 20. století. Rozdíl je v tom, že tentokrát není spojena s konkrétním médiem, ale médii obecně. Nová média sdílejí s vizemi počátku 20. století touhu po radikální kulturní inovaci – ale dá se skutečně říci, že jsou pokračováním kulturní revoluce avantgardní tradice? Shodneme se, že kromě společné touhy po inovaci a radikální proměně vizuálního jazyka (opět zdůrazněme, že se zde jedná především o výtvarnou avantgardu) sdílejí další společné rysy, například to, že modernistická avantgarda byla také do značné míry spojena s experimentováním s novými médii, která v té době představoval především film a fotografie. Nutno podotknout, že Manovich v tomto textu sice zmiňuje i vývoj abstraktní malby v letech 1910-14, ale soustředí se spíš na vývoj technik s potenciálem ovlivňování mas: kinematografie, grafický design, typografie, reklama – neboli vznik masové vizuální kultury (ve 20. a 30. letech 20. století).

Jedna z hlavních Manovichových myšlenek je, že počítačové technologie po dlouhou dobu pouze využívaly prvků vytvořených v rámci avantgardních vizuálních experimentů, aby je dále kombinovaly. (Viz princip remediace popsaný Bolterem a Grusinem; BOLTER, GRUSIN 2000.) Avantgardní techniky se téměř nepozorovaně staly součástí příkazových řádků a počítačového rozhraní: rutiny post-industriální společnosti.

Přináší tedy výpočetní technika něco nového, anebo jen recykluje staré nové formy? Manovich přesvědčivě ukazuje, že na úrovni komunikačních technologií se v podstatě s ničím skutečně novým nesetkáváme. Již v textech z 90. let přitom otevírá možnost revoluce estetických forem, která může teprve přijít – v textu Avant-garde as Software zmiňuje dva rysy "nové avantgardy", které skutečně představují nový prvek:

1. Novomediální avantgarda má těžiště v přístupu a manipulaci s informacemi.
2. Nová média jsou post- či meta-média využívající starší média jako materiál.

Avantgarda se stává softwarem, tvrdí Manovich a tato myšlenka se jako nit vine jeho dalšími texty včetně jeho zatím poslední knihy Software Takes Command z roku 2013. Nová média, tak jak je definovali Alan Kay a Ted Nelson, jsou podle Manoviche v jistém smyslu skutečně dalším stádiem ve vývoji projektu avantgardy (MANOVICH 2013, 82). Rozdíl lze ilustrovat například na názvu textu Teda Nelsona z roku 1965 A File structure for the complex, the changing and the indeterminate – ten název by se klidně mohl vyskytnout o osmdesát let dříve, až na to, že by ta v tom případě "file structure" nahradil "-ism". Veškeré "-ismy" byly zaměřeny na vytvoření nového systému organizace informací a v podstatě zápasily mezi s sebou o nejlepší pohled na svět, zatímco "file structure" představuje metasystém, který podporuje mnoho druhů informačních struktur.

Evoluce výtvarné avantgardy tedy probíhá jako posun od využití mnoha materiálů, z nichž každý byl médiem, které určovalo specifičnost konkrétního typu obrazu po několik datových struktur, které jsou mnohem univerzálnější a aplikovatelnější v tom smyslu, že na jejich základě mohou být vytvořeny různé typy obrazů – vizualizací datové struktury.

Avantgardnost nových médií spočívá především v jejich permanentní rozšiřitelnosti (permanent extendability) (MANOVICH 2013, 91) - nové médium je nové, protože se mu vždycky dají přidat další vlastnosti (92) a je neustále znovu definováno (constantly redefined) (MANOVICH 2013, 93): dá se tedy říci, že ve své nejvlastnější struktuře jsou výpočetní média avantgardní, protože jsou neustále rozšiřována a tak znovu nově definována. ("In its very structure computational media is "avantgarde" since it is constantly being extended and thus redefined.") Designéři nových médií stvořili metasystém,

který je schopen podporovat mnoho typů informačních struktur. (MANOVICH 2013, 83).

Jak už jsme viděli, vidění není podle Manoviche něčím přirozeným a daným; je to v podstatě konstruovaná skutečnost, schopnost, která je neustále přizpůsobována dobovým požadavkům. V textu Abstrakce a komplexita[64] z roku 2004 si Manovich klade otázku, jaký typ obrazu vyžaduje a vytváří naše propojená a zasíťovaná, "super komplexní" společnost zvyklá na pravidelný příděl informací, zejména obrazových, ale soustředí se na jeden specifický typ obrazu – abstrakci, respektive softwarovou abstrakci. Ukazuje, že paradigmatem spojujícím odlišné proudy a směry výtvarné abstrakce na počátku 20. století a zároveň vědecké teorie a dominantní vědecké paradigma byla redukce, zatímco v současnosti je novým paradigmatem, které se opět projevuje jak ve vědě, tak v umění, komplexita, která absorbovala prvky teorie chaosu, komplexních systémů, samoorganizace, autopoiesis, princip emergence a také umělý život, modely a metafory z evoluční biologie (genetické algoritmy; memy), neuronové sítě. Obraz, který vznikl, je komplexní a proměnlivý, mnohovrstevnatý a dynamický.

Kulturní analytika

Co ale znamená komplexita? Vrátíme se k tomuto problému v dalším oddílu, ale můžeme již zde avizovat, že se jedná o složitost měřenou především v závislosti na míře propojení prvků systému vykazujícího globální chování.

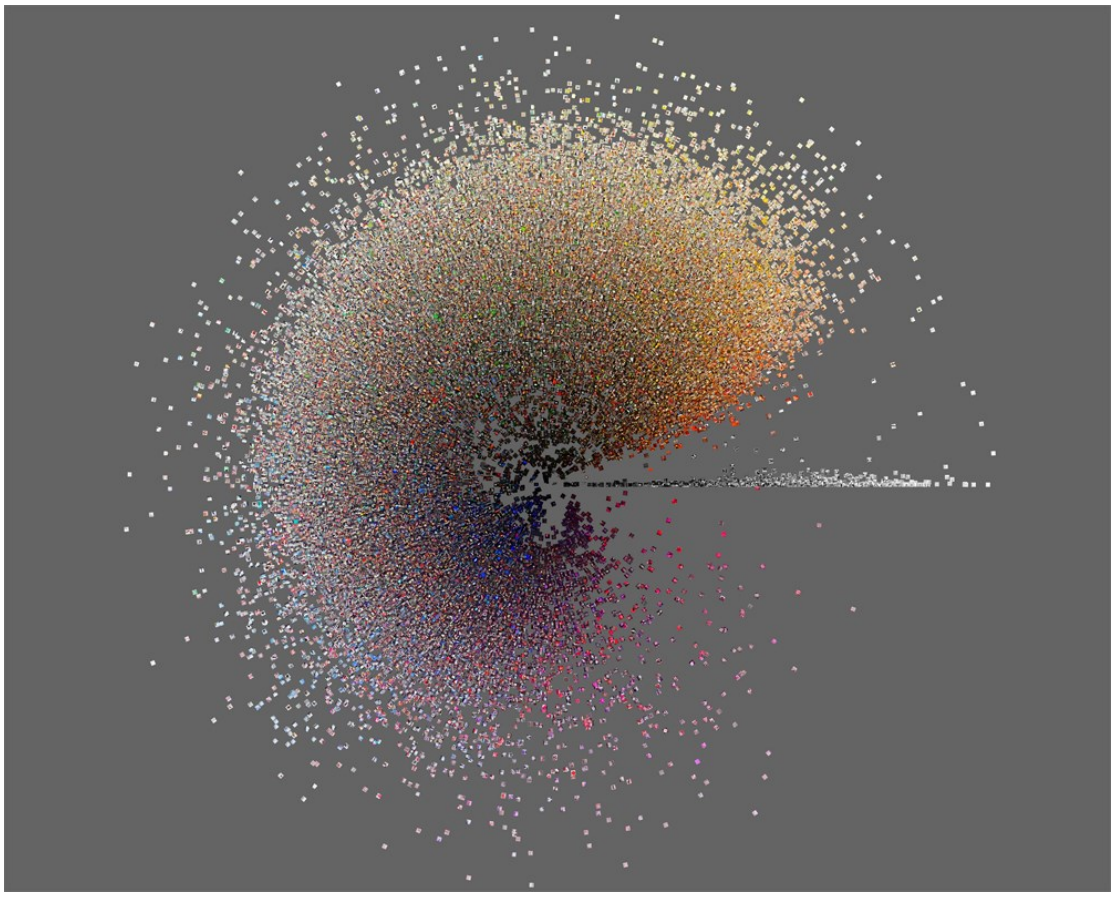
Lev Manovich se ve své práci věnuje nejen teoretické reflexi nových médií a technologií, ale, jak jsme již zmínili, i praktické stránce. Působí na City University of New York, kde vede Laboratoř kulturní analytiky (Cultural Analytics Lab[65]). Na jeho webu lze najít příklady aplikace kulturní analytiky na

[64] Manovich, Lev: *Abstraction and complexity,* 2007.
[65] http://lab.culturalanalytics.info/

velká obrazová data: ať již se jedná o 7 442 454 obrázků z Instagramu publikovaných během pěti měsíců v oblasti Manhattanu, z nichž se svými spolupracovníky získává informaci o nerovnoměrné distribuci sdílení, ze které následně usuzuje na nerovnost ekonomickou (Inequaligram, 2016). Tomuto projektu předcházela vizualizace On Broadway (2013)[66] reprezentující život v 21. století skrze kompilaci obrázků a dat sebraných na třináctikilometrové trase Broadwaye protínající newyorský Manhattan. Výsledkem je „nový pohled na město vytvářený aktivitou tisíců lidí a okamžitým sdílením v médiích". Manovich zde měl k dispozici 660 000 instagramových fotografií sdílených na Broadwayi během šesti měsíců v roce 2014, posty z Twitteru obsahující obrázky ze stejného období, obrázky z Google Street View, přes 8 miliónů Foursquare checkinů (2009-2014), 22 milliónů záznamů o vystupování a nastupování z taxi (2013) a průměrné příjmy z části města, kterou Broadway protíná. Z dalších projektů pro představu uveďme analýzu fotografické sbírky Muzea moderního umění (MoMA) z roku 2014, kdy Manovich a jeho tým vytvořili vizualizace 18 941 fotografií, které rozložili podle kvalit obrazu (tón a sytost) v souvislosti s informacemi o obraze (datum pořízení fotografie atd.), anebo projekt Phototrails (2013), v němž pracovali s více než dvěma milióny obrázků sdílených na Instagramu ve třinácti světových metropolích, a získali tak obraz vizuální identity jednotlivých měst.

Manovichova kulturní analytika je součástí širší oblasti Digital Humanities, kterou můžeme zjednodušeně definovat jako proces a výsledek situace, v níž humanitní vědy využívají výpočetní metody. Za pionýra v této oblasti se pokládá Roberto Busa, který použil ve 40. letech 20. století počítač pro analýzu v oblasti lingvistiky a literární analýzy. V současnosti je to ohromná oblast, kam spadají téměř všechny typy výzkumu humanitních věd, při nichž se využívá výpočetní technologie, včetně kulturní analytiky Lva Manoviche, která je na pomezí sociologie a Image science.

[66] http://www.on-broadway.nyc/



20: Lev Manovich: Phototrails (2013); fotografie z Instagramu sdílené v Tokiu.

Ve věku pokročilé technologie je neefektivnost hříchem proti Svatému Duchu,[67] cituje v úvodu své knihy[68] Evgeny Morozov Aldouse Huxleyho. Stejně jako Morozov zpochybňuje svobodu, kterou přinášejí nová média v globálním světě řízeném informačními technologiemi, můžeme zpochybnit obraz společnosti tak, jak jej předkládá kulturní analytika. Můžeme se značnou mírou jistoty předpokládat, že i avantgardní pokrokoví umělci, kteří působili v prvních letech po vzniku Sovětského svazu na vytváření "nového člověka" a kteří byli většinou v následujících letech vyhnáni či popraveni,[69] změnili názor na společnost, v níž je jednotlivec prvkem systému, který má svou jasně určenou funkci a pokud ji neplní, je korigován či eliminován. Samozřejmě, že netvrdíme,

[67] "In an age of advanced technology, inefficiency is the sin against the Holy Ghost."
[68] Morozov, Evgeny: To Save Everything, Click Here: The Folly of Technological Solutionism, PublicAffairs, 2014.
[69] Viz například materiály k výstavě Generation Z: Renoise, CTM, Berlin 2014. http://www.ctm-festival.de/archive/festival-editions/ctm-2014-dis-continuity/transfer/generation-z-renoise/

že Lev Manovich předkládá takovou vizi společnosti, nicméně nástroje, které vyvíjí, používá a poskytuje, jsou v jistém smyslu prodloužením oněch avantgardních praktik, jejichž proměnu v software tak přesvědčivě popisuje.

Manovich ve své dizertaci (MANOVICH 1993) popisuje vývoj člověka jako prvku systému od "lidského motoru" (human motor) po "lidský procesor" (human information processing). Vidění jako efektivní nástroj, vizuální jazyk jako univerzální komunikační kanál ovlivňujícící masy klade do vztahu například s Benjaminovým postřehem, že lidské senzorium se proměnilo ve složité cvičiště (complex kind of training). A jak byl člověk redukován na jednotku zpracování informace a obraz na informaci komprimovanou do obrazového formátu, role nerozlišenosti, náhody, šumu, tělesnosti byla vytlačena do nevědomí (pokud bychom chtěli definovat vedle lidského strojové nevědomí, museli bychom se soustředit na roli šumu a technologické chyby – glitche[70]).

Nejen z tohoto důvodu je pro náš výklad i experiment klíčová funkce entropie. Posunem od motoru (oblast termodynamiky a entropie jako nemožnost perpetua mobile, a tedy nutnost dodávané práce) k informačnímu procesoru, klíčové metafoře postindustriálního, informačního věku se z termodynamické entropie stává informační entropie – neboli informace, univerzální pojem definující míru nepředvídatelnosti a náhody v komunikaci, tedy kódování a dekódování signálu. Efektivita tělesné práce se stala méně důležitou než efektivita mysli (zahrnující efektivitu vidění).

[70] Glitch: technologická chyba jako objekt (estetického) zájmu je ve své „čisté" podobě (pure glitch) chápán jako vpád náhodnosti, jako narušení hladkého průběhu procesů a odhalení základní struktury. Viz například práce Rosy Menkman či Imana Moradi.

II. INFORMACE, ENTROPIE, KOMPLEXITA

Informace

Claude E. Shannon, bez jehož práce by neexistovala teorie informace, a tedy ani tento text, o řadě vědeckých oborů a paradigmatu informačního věku nemluvě, pracoval, jak zdůrazňuje například James Gleick, autor obsáhlé knihy Informace[71], během války jako kryptograf. Jeho pozdeji tolik vlivné pojetí informace je v podstatě kryptografické: informace je zpráva, která je výběrem z mnoha možných zpráv.

0/1

Informace je Něco, proti kterému stojí nutně Nic. Základem artikulovaného poznání je binární logika. Počátky explicitního využití binárního kódu v rámci informačního přenosu sahají k G. W. Leibnizovi, který (mimojiné inspirován čínskou Knihou proměn I-ting), vytvořil systém, skládající se z řady nul a jedniček, který umožnil logické slovní prohlášení převést na čistě matematické (Mathesis Universalis). V roce 1847 vytvořil G. Boole algebraický systém známý dnes jako booleovská algebra (je založený na binárním přístupu, který používá ze tří základní operace: AND, OR a NOT).[72] Tento systém nebyl uveden do praxe, dokud si postgraduální student Claude Shannon nevšiml, že booleovská algebra je podobná elektrickému obvodu. V roce 1937 Shannon napsal „nejvlivnější diplomovou práci století“ nazvanou A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits,[73] která se stala východiskem pro využití binárního kódu v počítačových jazycích.

---

[71] Gleick, James: *The Information. A History. A Theory. A Flood*, Pantheon Books, New York 2011

[72] Co se týče vztahu Leibnizova a Booleova systému, nevíme o přímé inspiraci, ale Leibniz byl v době, kdy Boole pracoval na svém logickém systému, obecně zdrojem inspirace – viz http://plato.stanford.edu/entries/leibniz-logic-influence/

[73] Shannon, Claude Elwood. "A symbolic analysis of relay and switching circuits."*American Institute of Electrical Engineers, Transactions of the* 57.12 (1938): 713-723.

James Gleick ve své velkoryse pojaté historii pojmu informace (GLEICK 2011) ukazuje, že na počátku informačního věku byly vlastně dvě události, které se staly na stejném místě, z nichž té první bylo věnováno více pozornosti, zatímco ta druhá byla ve skutečnosti tou důležitější – jedná se konkrétně o Bell Labs, vynález tranzistoru a matematickou definici informace.

Shannon podle Gleicka svou prací, i když to nebylo ihned zřejmé, ustanovil informaci jako „krev a palivo“ (blood&fuel) našeho světa. Dnes se stanovisko, že všechny vědy jsou svým způsobem vědami o informaci, vůbec nezdá být přehnané. Biologie popisuje život jako informační technologii a pracuje s pojmy zpráva, instrukce, kód. Život je chápán jako proces síťování, jako informační technologie, tělo informační procesor. Richard Dawkins shrnul tento nový přístup v tvrzení, že život nechápeme jako nějakou zvláštní jiskru oživující hmotu, ale jako informaci. Informace ve fyzice se zdá být stejně důležitá, ne-li zásadnější než hmota a energie. Informace je chápána jako kosmický princip organizace a řádu. Někteří tvrdí, že základní jednotkou skutečnosti je bit. Poslední žijící Einsteinův spolupracovník Wheeler vidí novou fyziku jako vědu o informaci. Někteří vědci popisují vesmír jako gigantický (kvantový) počítač zpracovávající informaci.[74]

Entropie a informace

“Zjednodušeně řečeno entropie je nezkomprimovatelná, a proto představuje neredukovatelnou informaci o systému.” [75]

Jeden z překvapivých momentů Shannonovy teorie bylo ztotožnění entropie a informace. Entropie se objevuje jako klíčový pojem termodynamiky a v Shannonově Matematické teorii komunikace z roku 1948 byla nově formulována jako informační entropie. Shannon využil Boltzmannův vzorec

[74] Viz digitální fyzika; G. Chaitin, S. Wolfram, S. Lloyd; Ervin László.
[75] Sethna, James P. *"Entropy, order parameters, and complexity." Statistical Mechanics, Laboratory of Atomic and Solid State Physics, Cornell University, Ithaca, NY (2006): 14853-2501.*

jako univerzální vzorec pro jakékoliv pravděpodobnostní rozdělení, protože podle něj byla termodynamická Boltzmannova entropie jediná funkce, která uspokojovala nároky na funkci, která by měřila nejistotu obsaženou ve zprávě (kde zpráva je vlákno binárních bitů). Šlo o jeden z nejpřekvapivějších momentů Shannonovy teorie, protože informace a entropie byly tradičně chápány jako protiklady.

Shannonova entropie dlouho čelila kritice ohledně toho, zda vůbec jde o entropii, postupem času se ale ukázalo, že jde o obecnější formu termodynamické entropie. Na definici entropie můžeme vidět nejen evoluci pojmu představující v určitém smyslu vývoj typický pro vědu dvacátého století, ale také vývoj pojmu klíčového pro vymezení pojetí informace, kde entropie funguje jako modelová veličina v rámci systémů složených z mnoha prvků s globálními, emergentními vlastnostmi. Co se týče zmatení ohledně vztahu entropie a uspořádanosti, začněme tím, říká Leonid M. Martyushev (MARTYUSHEV 2013), že budeme entropii popisovat jako neurčitost spíše než neuspořádanost. Jak píše v článku pro časopis Entropy: "Jádro nedorozumění ohledně pojmu entropie leží v rozdílných pojetích pojmu řád. Pro laiky je řád představován systematičností a uspořádaností, zatímco pro odborníky je založen na komplexitě předpovědi (chování systému). Tato komplexita souvisí s počtem mikrostavů – čím větší je jejich počet, tím vyšší je komplexita a tím obtížnější je předpověď."

Zatímco u Clausia byla entropie čistě termodynamickou veličinou, která neměla mimo fyziku smysl, od doby Boltzmanna a Gibbse, kdy byla popsána matematicky, je aplikovatelná na jakýkoliv statisticky popsatelný systém – poprvé tedy vznikla možnost mluvit o entropii mimo termodynamiku nebo dokonce fyziku – možnost, které využil Shannon. Vznikla tzv. Shannon-Weaverova, zkráceně Shannonova neboli informační entropie. Stejně jako u termodynamiky, která byla reakcí na tehdejší moderní technologie, souvisely problémy, které řešil C. E. Shannon, s novými technologiemi své doby, telegrafem a telefonem. Shannon pracoval v Bell Labs a řešil přenos signálu po

síti, neboli problém šumu a ztráty dat (stejný problém, který v IBM řešil Benoit Mandelbrot). Jeho řešení se ale nakonec stalo nejen technickým nástrojem, nýbrž i základem informační vědy (Information theory). Obdobně jako řešil Clausius ztrátu tepla, hledal Shannon vyjádření míry ztráty informace při přenosu dat. Shannonova entropie je ale mnohem obecnější, je použitelná všude, kde jsou neznámé kvantity, které mohou být popsány jedině pravděpodobnostním rozdělením.[76]

Shannon předpokládal, že máme set událostí, jejichž pravděpodobnost výskytu je p1, p2… pn. Pravděpodobnosti jsou známy, ale to je vše, co o tom, která událost nastane, víme. Můžeme najít míru toho, kolik "výběru" je zahrnuto v selekci události či jak nejistí jsme ohledně výsledku? (Přičemž nejistota plyne z množství možností, ze kterých vybíráme.) A jak tuto míru či veličiny pojmenovat? Shannon ji chtěl nazval informace nebo neurčitost, ale byl to údajně John von Neumann, který navrhl, aby ji nazval entropie.[77]

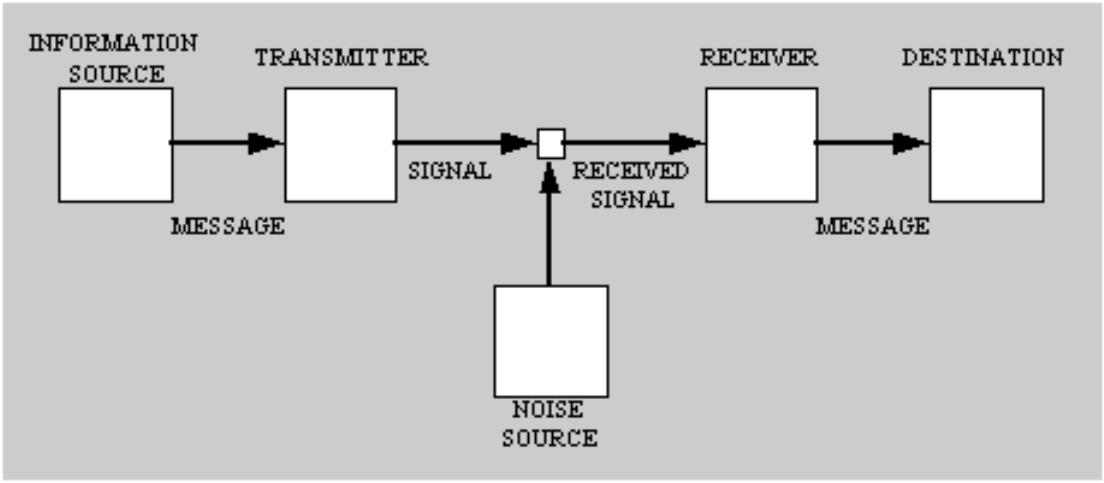
Shannonova definice informace, tak jak se objevila v díle Matematická teorie komunikace z roku 1948, zní:

Information of a macrostate (a source) as a function of the number of possible microstates (ensemble of possible messages) that could be sent by that source.

Informace makrostavu (zdroje) je funkcí počtu možných mikrostavů (celku možných zpráv), které mohou být odeslány tímto zdrojem.

[76] Například podle E. Jaynese je termodynamická entropie jen zvláštním případem informační entropie: vždy jde o pravděpodobnost, že nastane specifický mikrostav systému, který se projeví jako daný makrostav.

[77] Podle další z verzí dokonce von Neumann neřekl jen, že tento pojem se používá v termodynamice a má podobný význam, ale dokonce, že Shannonova míra, později nazvaná entropie, je speciálním případem jeho vlastní, von Neumannovy entropie (součást kvantové teorie, v té době používaná ve statistické fyzice). Viz John Von Neumann: *Matematické základy kvantové mechaniky* (1932).



21: Shannonovo schéma informačního přenosu

Během pár let se Shannonova práce stala ve vědeckých kruzích proslulou, a když v roce 1948 vyšla i s komentářem Warrena Weavera, podle mnohých zapůsobila jako časovaná bomba. Informace je zde informací zbavenou významu, psychologického faktoru, sémantického obsahu. Je: nejistotou (měřitelná počtem možných zpráv), překvapením (neboli malou pravděpodobností výskytu), obtížností (přenosu zprávy) a entropií. V této definici, která odhlíží od sémantické složky a soustředí se na protiklad informace a šumu, je informace chápána ne jako zpráva, ale signál – posílá se vždy signál, který může nést zprávu. Shannonův model komunikace obsahuje: zdroj (osobu či stroj), transmiter kódující zprávu, kanál (médium přenosu signálu), přijímač dekódující zprávu, příjemce (člověka či věc) a zdroj šumu. Signál definoval jako proud diskrétních symbolů spíše než kontinuální vlnu, jako obranu proti šumu zavedl symboly navíc (stejně funguje redundance využívaná v přirozených jazycích) a učinil metodu použitelnou i pro počítače. Pojem komunikace se tak rozšiřuje třeba i na oblast umění, obecně vlastně lidské chování, ba dokonce i ne-lidské chování – i stroj může být odesílatelem zprávy. Navíc zapojil fyziku stochastických procesů, které nejsou ani deterministické, ani náhodné, ale řídí se souborem pravděpodobností. Pokud postulujeme, že každá událost má jistou pravděpodobnost závisející na stavu systému a historii a za událost dosadíme symbol, pak nám vyjde jazyk jako

stochastický proces. Výběr způsobující nejistotu ohledně toho, co nastane, je informačním obsahem. Tzv. Shannonova entropie vycházející z pravděpodobnosti zprávy má za jednotku bit (tedy rozlišení ano/ne, 1/0) a zpráva zde není tvořena, ale vybírána – zpráva je výběr. Jinými slovy podle Shannonovy teorie jsou informace a nejistota dvě strany téže mince: čím více nejistoty, tím více informace po jejím odstranění.[78]

3 stádia/ druhy entropie

1. Entropie jako míra nevratných změn v systému: termodynamická entropie; "šipka času" – nevratnost
2. Entropie jako míra neuspořádanosti systému (Maxwellův démon): rovnovážná entropie; měří logaritmus počtu různých stavů systému – neuspořádanost
3. Entropie jako míra nevědomosti o systému (reprezentovaného počtem možností stavů, v nichž se může nacházet); nízká entropie znamená vysokou předvídatelnost: nejobecnější entropie – nevědomost

<u>Rényiho entropie</u>

V našem experimentu nepoužíváme Shannonovu, ale Rényiho entropii, která je univerzálnější – Shannonova entropie je vlastně mezním případem Rényiho entropie, platí pro hodnotu $\alpha=1$.

Rényiho entropie byla definována maďarským matematikem Alfrédem Rényim v šedesátých letech 20. století.[79] Rényi navazuje na Shannonovu Matematickou teorii informace, kterou rozšiřuje a píše, že určení míry entropie – a informace – je mnohem jednodušší, když považujeme kvantity za sady generalizovaných

[78] Viz např. FRIGG, Roman; WERNDL, Charlotte. Entropy - A guide for the perplexed. *Probabilities in physics*, 2011, 115.
[79] Viz například text *On measures of entropy and information*: RÉNYI, ALFRED. On measures of entropy and information. In: *Fourth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability*. 1961. p. 547-561

pravděpodobnostních distribucí (distribuce generalizované náhodné proměnné).

Základem je stejně jako u Shannona postulát, podle něhož může být entropie pravděpodobnostní distribuce interpretována nejen jako míra nejistoty, ale také míra informace. Míra informace, kterou získáme, když pozorujeme výsledek experimentu (závislý na náhodě) může být chápán jako numericky roven míře nejistoty ohledně výstupu experimentu před tím, než se uskutečnil.

Problematikou generalizovaných entropií (neboli jednotné obecné míry entropie/informace) se dlouhodobě zabývá Constantin Tsallis.[80] Stejnou problematikou se v šedesátých letech zabývali také čeští výzkumníci, jejichž jména figurují v názvu „Tsallis–Havrda–Charvat entropy." Jejich práce byla bohužel přerušena politickým vývojem v tehdejším Československu.[81]

Porovnáním efektivity různých generalizovaných entropií se dlouhodobě zabývá japonský výzkumník Sumiyoshi Abe. V článku Stability of Tsallis entropy and instabilities of Rényi and normalized Tsallis entropies: A basis for q-exponential distributions[82] porovnává Rényiho, Tsallisovu a generalizovanou Tsallisovu (neboli Tsallis-Havrda-Charvátovu) entropii. Je známo, píše Abe, že je mnoho komplexních systémů, jejichž statistické vlastnosti ve stálých stavech („stationary states") jsou dobře popsány pomocí q-exponenciální distribuce, a které jsou generalizací Zipf-Mandelbrotova mocninného rozdělení. Vztahuje se k z pohledu konvenční statistické fyziky nenormálním distribucím – a protože jsou v přírodě velmi časté, je důležité vytvořit bázi, která by je popisovala.

---

80 Tsallis, Constantino. "Possible generalization of Boltzmann-Gibbs statistics."*Journal of statistical physics* 52.1-2 (1988): 479-487. Tsallis, Constantino. "Generalized entropy-based criterion for consistent testing." *Physical Review E* 58.2 (1998): 1442. Gell-Mann, Murray, and Constantino Tsallis. "Nonextensive entropy-Interdisciplinary applications." *Nonextensive Entropy-Interdisciplinary Applications, by Edited by Murray Gell-Mann and C Tsallis, pp. 440. Oxford University Press, Apr 2004. ISBN-10: 0195159764. ISBN-13: 9780195159769* 1 (2004)

81 K dispozici je pouze jejich článek z časopisu Kybernetika *Quantification method of classification processes. Concept of structural $ a $-entropy* (Havrda, Jan, and František Charvát. "Quantification method of classification processes. Concept of structural $ a $-entropy." *Kybernetika* 3.1 (1967): 30-35).

82 Abe, Sumiyoshi. "Stability of Tsallis entropy and instabilities of Rényi and normalized Tsallis entropies: A basis for q-exponential distributions." *Physical Review E* 66.4 (2002): 046134.

Zatímco Rényiho entropie je aditivní, Tsallisova je neaditivní – i to je důvod, proč je Rényiho entropie používána pro popis multifraktálních systémů, tedy přirozeně se vyskytujících systémů se škálou fraktálních dimenzí.

Petr Jizba se svý japonským spolupracovníkem Toshirico Arimitsu vydali v roce 2004 článek, v němž popisují využití Rényiho entropie ve statistické fyzice.[83] Autoři popisují situaci, v níž se statistická fyzika musela v uplynulých letech nějakým způsobem vyrovnat s „vpádem" nových oborů včetně informační vědy. Pokládají Rényiho entropii za uznanou nejobecnější míru informace v rámci informační vědy a Shannonovu entropii za speciální případ Rényiho entropie v případě, že se parametr alfa limitně blíží k jedné. Příčinu toho, proč není Rényiho entropie dosud využívána tolik jak Shannon-Gibbsova entropie, vidí v problému renormalizace Rényiho entropie pro nediskrétní distribuce a malém vhledu do významu parametru alfa – a právě zkoumání funkce parametru alfa je součástí našeho výzkumu.

Ohledně využití Rényiho entropie v analýze obrazu viz například Threshold selection using Renyi's entropy.[84] Rényiho entropie je zde zmiňována v souvislosti s prahováním („tresholding") obrazu, tedy jednou z nejčastěji používaných metod analýzy obrazu, která je založena na předpokladu, že pozadí a objekt se liší distribucí bodů (různými odstíny na šedé škále). Měří se hodnota jasu každého pixelu a účelem je nalezení takové hodnoty (prahu) v histogramu, pro kterou bude platit, že všechny hodnoty jasu nižší než práh odpovídají pozadí, zatímco všechny hodnoty vyšší než práh odpovídají popředí. Existují "bilevel" metody (rozlišují pouze objekt a pozadí) a "multilevel" (rozlišují více objektů).

---

[83] Jizba, Petr, and Toshihico Arimitsu. "The world according to Rényi: thermodynamics of multifractal systems." *Annals of Physics* 312.1 (2004): 17-59. Viz také další text od stejných autorů: Jizba, Petr, and Toshihico Arimitsu. "Observability of Rényi's entropy." *Physical review E* 69.2 (2004): 026128.

[84] Sahoo, Prasanna, Carrye Wilkins, and Jerry Yeager. "Threshold selection using Renyi's entropy." *Pattern recognition* 30.1 (1997): 71-84.

Rényiho entropie se používá jako generalizovaná míra informace systému, a to nejen obrazu – multifraktální struktura se může nacházet v jakékoliv dostatečně složité sítí, tedy distribuci prvků – bodů či pixelů obrazu, slov v textu, nebo třeba tónů v hudbě. Když Rényi pracoval na svém konceptu, šlo mu o to najít nejobecnější definici míry informace, která by zachovala aditivitu pro nezávislé události a byla kompatibilní s axiomy teorie pravděpodobnosti. Ukázal, že Shannonova entropie má zamlčený předpoklad, totiž že používáme lineární průměr.

Komplexní systémy a komplexita

"*Within the multiplicity of these ecologies, complexity reigns supreme.*"[85]

Komplexní systémy jsou definovány jako systémy složené z velkého množství prvků, které vykazují emergentní vlastnosti, to jest vlastnosti, které nemají jednotlivé prvky, ale celek, který vytvářejí, přičemž zde není žádný typ centrální kontroly – chování celku je určeno lokálními interakcemi mezi prvky.

Takový typ systémů, které zkoumá interdisciplinární věda o komplexitě, určitým způsobem navazuje na antickou teorii atomistů, nicméně v moderní době se poprvé v podobě, která je klíčová pro náš výklad, objevuje v termodynamice, konkrétně v Boltzmannově definici entropie.

Stejný typ organizace velkých souborů prvků vykazujících jednotné chování byl popsán i v jiných oborech lidského poznání. Pokud bychom se přesunuli dále do 20. století, nacházeli bychom je častěji a častěji, přičemž k jejich výskytu by mocně přispívala teorie sítí či teorie deterministického chaosu. Ráda bych však zdůraznila jeden rys, který s tímto typem systémů souvisí a který je pro jejich zkoumání typický – totiž důležitost tvaru. Ať už jde o v současnosti tolik oblíbenou vizualizaci velkých dat anebo problém morfogeneze, který ve své

[85] "V multiplicitě těchto ekologií vládne komplexita." (Joel Slayton v předmluvě ke knize M. Fullera Media Ecologies)

práci řešil Alan Turing, u komplexních systémů je důraz na tvar, vizuálně vnímatelnou pravidelnost či obrazovou informaci vždy nesmírně silný.

James Crutchfield, americký matematik a fyzik, ředitel Centra pro vědy o komplexitě (Complexity Sciences Center)[86] popisuje svou cestu ke studiu komplexity jako spojení dvou symetrických problémů:[87] prvním byla problematika, která je tématem teorií deterministického chaosu: tj. to, že jednoduché systémy vykazují komplexní, "chaotické" chování. Znamenalo to, že velká míra náhodnosti, kterou pozorujeme v přirozeném světě, může mít v pozadí jednoduché nelineární dynamické systémy. Druhá strana mince je problematičtější: pokud jednoduché systémy spontánně generují zdánlivě náhodné chování, proč systémy na vyšší úrovni složené z mnoha prvků vykazují uspořádanost? Neboli co je základem organizace v chaotickém světě? Tato otázka ho podle jeho vlastních slov přivedla k zkoumání mechanismů tvoření tvarů (pattern formation) v prostorově rozvitých dynamických systémech.

Stephen Hawking vyřkl na začátku 21. století proroctví, že nové století bude věkem komplexity.[88] Nové „paradigma komplexity" se od té doby objevuje v různých kontextech, nejen v oblasti vědy. Komplexita složí jako nástroj popisu kolektivní inteligence mravenčích společenství, organizace a fungování lidské společnost, buněk organizujících oko či mozek, světové burzy i internetové sítě. Komplexní adaptivní systémy (Complex Adaptive System; CAS) jsou takové systémy, které přijímají informace z okolí, identifikují regularity a kondenzují je do schématu či modelu, který podléhá zpětné vazbě, když je aplikován na reálný svět a znovu upraven. Jsou to systémy složené z velkého množství prvků, bez centrální kontroly, v nichž z jednoduchých pravidel vzniká komplexní

[86] http://csc.ucdavis.edu/Welcome.html
[87] Například zde: http://csc.ucdavis.edu/~chaos/papers/QsOnComplexity.pdf
[88] Například zde: http://blogs.scientificamerican.com/the-curious-wavefunction/2013/04/23/stephen-hawkings-advice-for-twenty-first-century-grads-embrace-complexity/

kolektivní chování, sofistikované zpracování informací a adaptace skrze učení a evoluci. To zároveň znamená, že jsou to systémy vyvíjející se v čase.[89]

Tradičně se rozlišuje několik pramenů vedoucích ke vzniku teorie komplexity, o kterých se alespoň stručně zmíníme. Za výchozí bod je obecně považován postulát, že „celek je víc než suma částí" pocházející původně z ekologie, dále studium dynamiky chaotických systémů (jehož počátek se klade do oblasti meteorologie a je spojen s průkopnickou prací Edwarda Lorenze z počátku šedesátých let 20. století, kdy jako první popsal „motýlí efekt", tj. extrémní citlivost na počáteční podmínky), nové poznatky v teorii evoluce, systémové teorie (obecná teorie systémů Ludwiga von Bertalanffy z roku 1968, tektonika (věda o strukturách a organizaci, 1912-17) Alexandra Bogdanova, kybernetika Norberta Wienera) anebo teorie sítí, z nichž vycházejí další zásadní charakteristiky komplexních systémů a dějů. K tomu, aby se komplexita stala novým paradigmatem, bylo ovšem potřeba právě také teorie informace (tak jak ji formuloval Claude Shannon) a vývoje výpočetní techniky a počítačových simulací, které pro popis komplexních systémů poskytují metody. (Meze redukcionismu se začaly ukazovat už v myšlenkovém díle Jamese C. Maxwella, či Henri Poincarého: viz problém tří těles, či obchodního cestujícího, v nichž se ukazuje exponenciální růst složitosti.)

Za všechny ostatní myslitele zabývající se komplexitou zmiňme ještě například Friedricha Hayeka, nositele Nobelovy ceny za ekonomii, který, inspirován prací Karla Poppera a Warrena Weavera, věnoval většinu svého úsilí studiu komplexních fenoménů, přičemž se neomezoval jen na ekonomii, ale zahrnul do svého zkoumání i poznatky z psychologie, biologie a kybernetiky. Gregory Bateson nastínil vztah mezi antropologií a systémovou teorií, když popsal kulturu jako ekosystém. Podle Stevena Strogatze (jeden z průkopníků teorie

[89] Ve fyzice existují základní dva typy času: čas klasické mechaniky a teorie relativity a čas termodynamiky: čas, který má směr. Děje klasické mechaniky nezahrnují šipku času, jsou symetrické v tom smyslu, že jejich začátek a konec se dají prohodit, jejich procesy jsou reverzibilní. Jediná veličina, která ve fyzice vyžaduje „šipku času", je entropie.

sítí) byl pro každou z dekád dvacátého století klíčový pojem začínající na „c“: kybernetika (cybernetics) v šedesátých letech, teorie katastrof (catastrophe theory) v letech sedmdesátých. V osmdesátých letech to byla teorie chaosu (chaos theory) a v devadesátých komplexita (complexity). Na začátku 21. století se dalším pojmem zdá být konsilience (consilience), výsledek snahy o propojení přírodních a společenských věd v rámci studia komplexity.

Definice komplexity je poměrně problematická. Jak definovat složitost? Kde se nachází hranice, za níž je nějaký systém komplexní? Etymologicky lze její původ vysledovat k latinskému complexus (objetí, shrnutí) od slovesa complecti (obklopovat, obejmout, zahrnovat) v přeneseném smyslu zvládnout, rozumět, z com- (s) a plectere (tkát, plést, splétat, proplétat) a plicare (překládat, skládat, kroutit). Základem je řecký kořen plek- (splétat). Latinské plectere zároveň souvisí se staroslovanským plesti (plést). Komplexita tedy evidentně souvisí se spletitostí. To můžeme formulovat také tak, že u komplexního systému nejde o počet prvků, ale složitost jejich propojení, hustotu sítě.

Definovat míru komplexity je ale skutečně problém. Zde jen stručný přehled několika základních řešení: Míra komplexity se může měřit pomocí: velikosti systému (toto měřítko evidentně nevyhovuje, velikost systému a jeho složitost nejsou přímo úměrné). Můžeme také měřit algoritmický informační obsah. Musíme si ale dávat pozor, protože algoritmická složitost souvisí s „teorií složitosti“, což není „naše“ teorie komplexity, ale matematický obor, v němž se podle úrovně složitosti klasifikují výpočetní systémy. Nicméně toto měřítko funguje obdobně, jen se navíc rozlišuje algoritmická komplexita (délka nejkratšího programu popisujícího objekt) a efektivní komplexita. Efektivní komplexitu popsal již jeden z průkopníku vize komplexity Murray Gell-Mann, mimojiné nositel Nobelovy ceny za objev kvarku: „Chceme-li se vyhnout technickému jazyku, můžeme definovat efektivní komplexitu nějaké entity jako délku vysoce komprimovaného popisu jejich pravidelností. Pro techničtější definici potřebujeme formální přístup jak k pojmu minima deskriptivní délky, tak rozdílu mezi pravidelnostmi (regularitami) a těmi rysy, s nimiž je zacházeno

jako s náhodnými či nahodilými.“[90] Jde, stručně řečeno, o pokus, jak oddělit komplexitu a náhodnost. Tento typ komplexity je také nazýván Kolmogorova-Chaitinova komplexita. Dalším měřítkem může být logická hloubka (Charles H. Bennett), která určuje, jak těžké je objekt sestrojit, anebo třeba termodynamická hloubka (Seth Lloyd; sekvence událostí vedoucí k objektu, zdroje vyžadované ke konstrukci), výpočetní kapacita (Stephen Wolfram), statistická komplexita (James P. Crutchfield; minimum informace nutné k předpovědi budoucnosti systému), fraktální dimenze či stupeň hierarchie (Herbert A. Simon; soběpodobné vzory na všech úrovních).

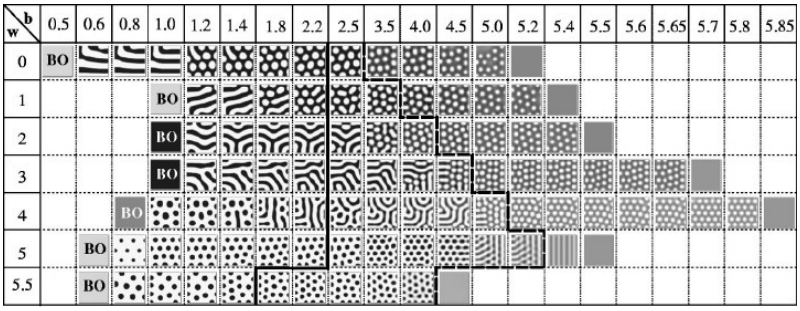
Odbočka 4: Celulární automaty

Jak už jsme několikrát zmínili, fenomén komplexity je spojen s vizualizací, a to jak na úrovni vizualizace dat, tak přírodních morfogenetických procesů (které jsou chápány jako svého druhu výpočetní). Nejznámější a nejzřejmější ilustrací komplexity, která vzniká z aplikace jednoduchých, dostatečně douho opakovaných pravidel, jsou celulární automaty.

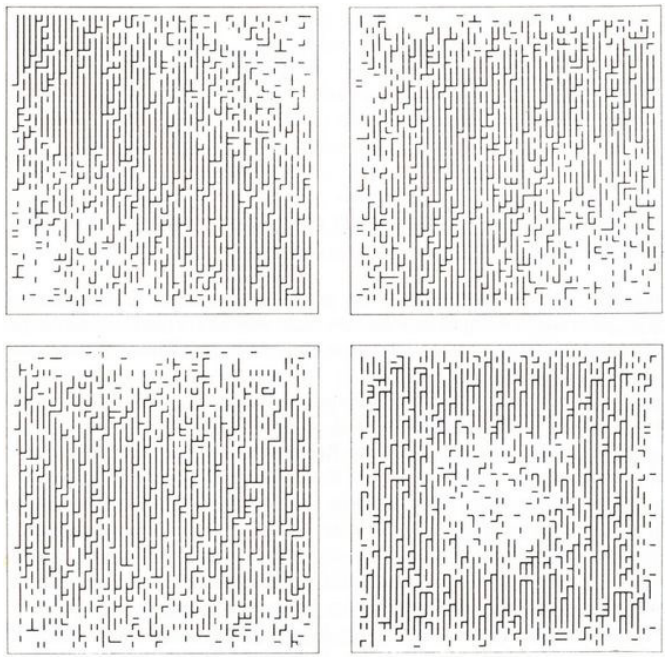
První celulární automat vznikl v roce 1953 ve spolupráci Johna von Neumanna a Stanislawa Ulama na základě textu Obecná logická teorie automatů Johna von Neumanna z roku 1948 zabývajícím se zpracováním informace v přirozených i umělých systémech charakterizujím život jako logický proces, což mimojiné znamená, že komplikovanost stejně jako uspořádanost pod jistou minimální úrovní vede k degeneraci a nad touto úrovní dokáže sebe sama udržovat a dokonce zesilovat. Teorie navazovala na koncept Turingova univerzálního stroje: za jistou mírou komplexity stačí dodat správné instrukce a stroj dokáže vše, co jakýkoliv jiný stroj. (Turingův článek The chemical basis of morphogenesis (TURING 1990) je příkladem matematického přístupu k

[90] “*In nontechnical language, we can define the effective complexity (EC) of an entity as the length of a highly compressed description of its regularities. For a more technical definition, we need a formal approach both to the notion of minimum description length and to the distinction between regularities and those features that are treated as random or incidental.*”

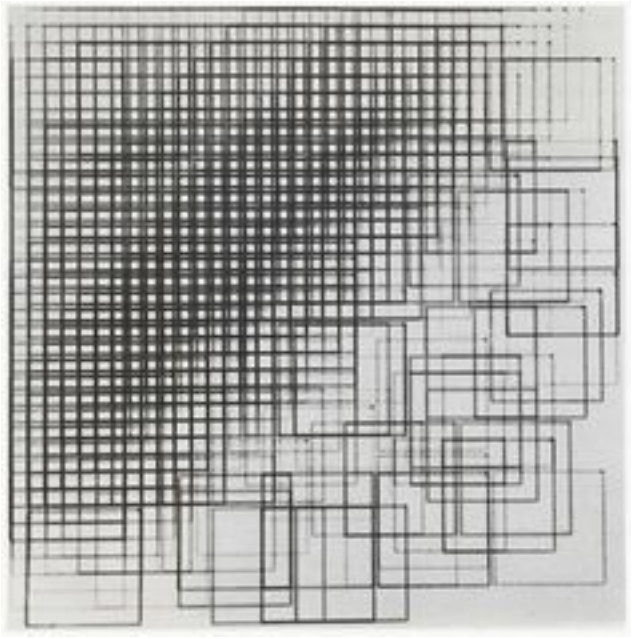
morfogenezi a vývoj přirozených tvarů je zde ilustrován specializovanými celulárními automaty.) Konrad Zuse se zabýval celulárními automaty od roku 1967. Friedrich Nake pomocí Zuseho technologie vytvářel v 60. letech pionýrská díla elektronického umění.



22: Turingovy vzory[91]

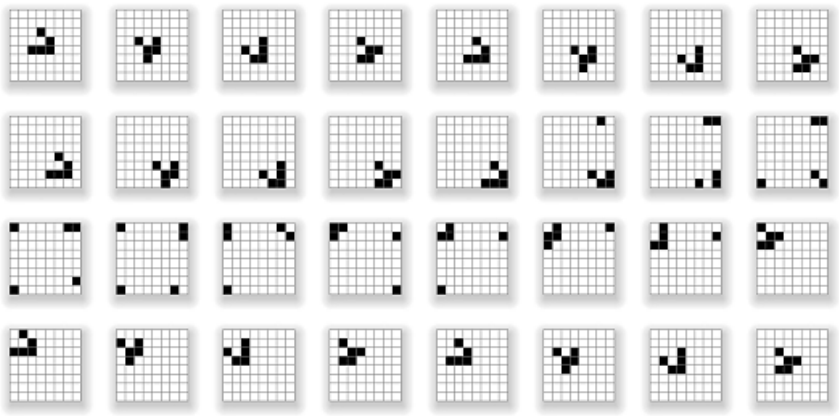


91
https://www.researchgate.net/publication/12025147_Resonant_suppression_of_Turing_patterns_by_periodic_illumination/figures?lo=1

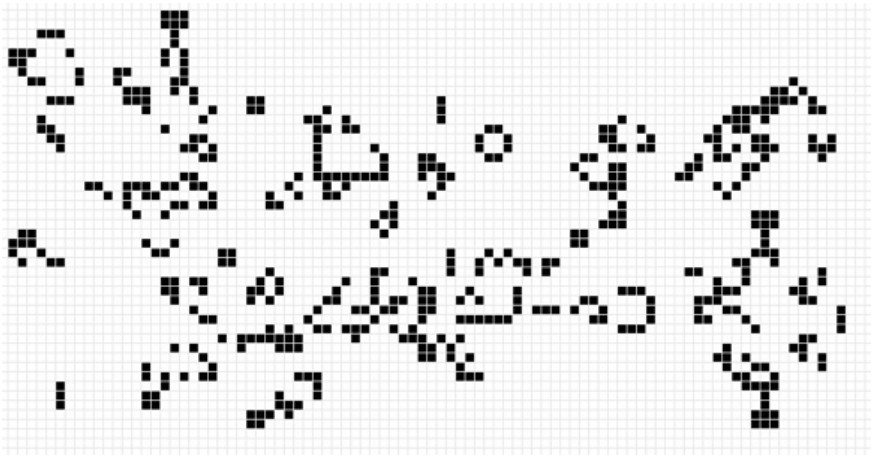


23: Frieder Nake: Walk-Through-Raster, Serie 2.1, 1966

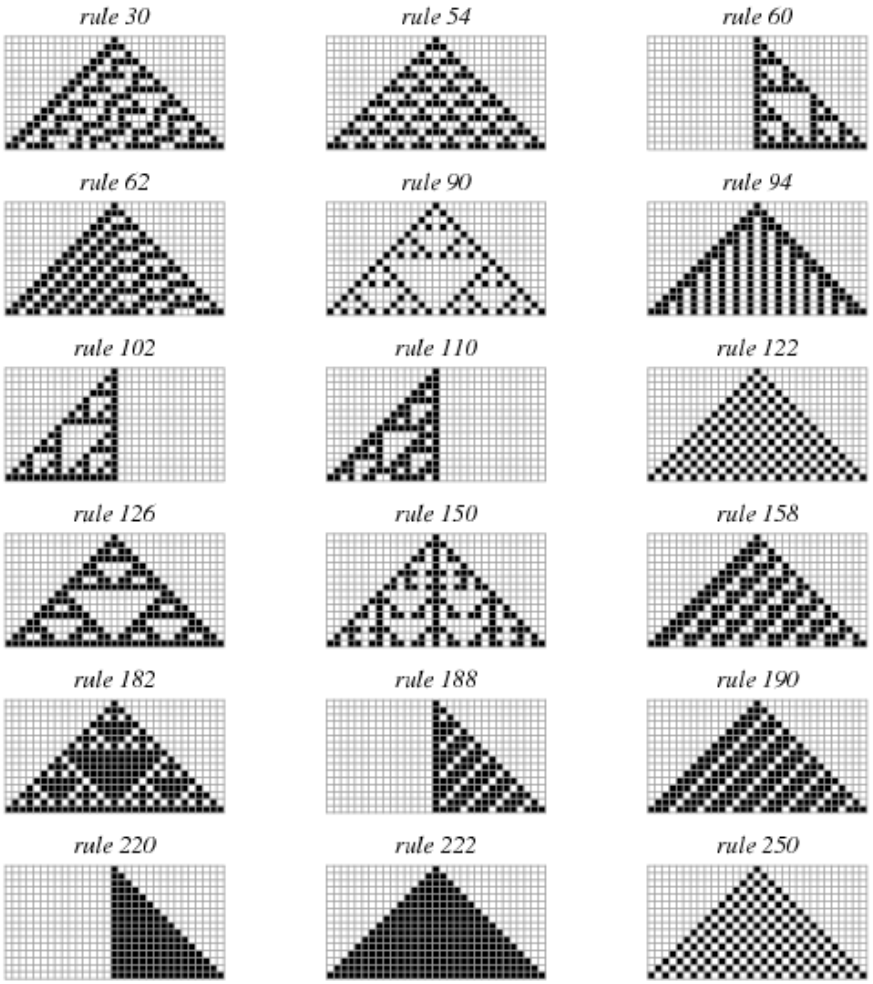
Do povědomí širší veřejnosti se celulární či buněčné automaty dostaly v roce 1970 s hrou Game of Life (Hra života) Johna Conwaye. Conwayova hra inspirovaná prací Johna von Neumanna získala ohromnou popularitu především díky tomu, že navzdory nejjednodušším pravidlům generuje komplexní vzory – jakési virtuální organismy (prvním a nejznámějším byl „glider“ – kluzák).



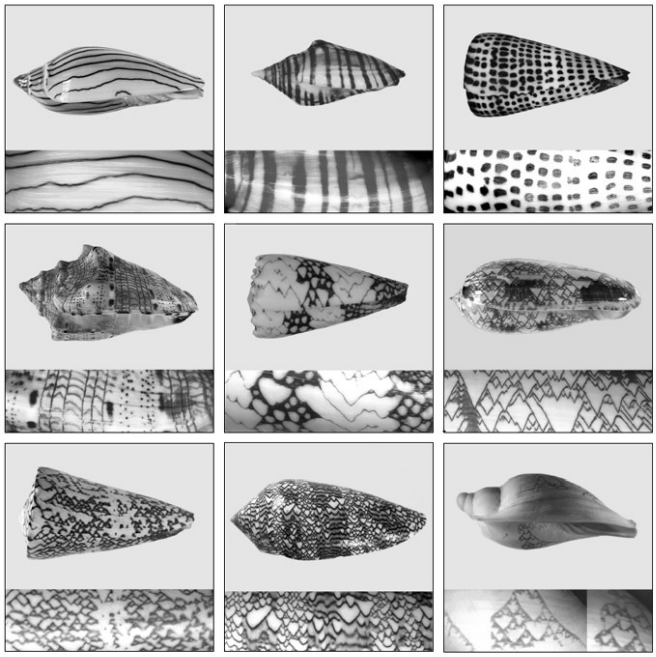
24: Game of Life: Cyklus “kluzáku” (glider)



25: Game of Life: náhled.



26: Wolframova “pravidla” (rules); vzory vytvořené celulárními automaty.



27: Přirozené tvary (vzory na skořápkách měkkýšů)
podobající se vzorcům vytvořeným Wolframovými celulárními automaty.

Wolfram například v přednášce, v níž shrnuje třicet let své práce,[92] popisuje moment, kdy si uvědomil, že počítače nejsou jen užitečný nástroj, ale ta "velká věc" a začal se ptát, jaký typ programu by mohla používat příroda. Původní myšlenka přirozeně zněla, že by to musel být velmi komplikovaný program, tisíce, možná milióny řádky kódu. Ale pak se zamyslel a začal s velmi jednoduchým programem ("jeden či dva řádky kódu"), a v rámci experimentu nechal tyto programy běžet. Takové programy se nazývají celulární automaty a skládají se z linie tvořené buňkami. Běží v diskrétním čase, jsou zde "skoky", mezi nimiž se buňky zapínají a vypínají podle jednoduchých pravidel, v závislosti na stavu sousedních buněk. V průběhu času začnou nad sebe kladené linie vytvářet vzory, většinou opakující se, někdy fraktálovité, ale někdy se objeví něco opravdu zvláštního. Něco zvláštního, to je právě příklad pravidla/rule 30. Pravidlo 30 vytváří velmi komplikovaný vzor, který zdánlivě působí jako výsledek složitého programu, ale ve skutečnosti je základ úplně stejně jednoduchý jako u ostatních. Wolfram sám popisuje okamžik, kdy poprvé uviděl tento vzor, jako svůj "Galileo moment". Byl to okamžik spojený s pochopením moci výpočetních metod. Wolfram na základě tohoto to objevu pracoval několik dalších dekád s celulárními automaty a NKS je výsledkem tohoto výzkumu.

Komplexní chování vycházející z tak jednoduchých pravidel přivedlo Wolframa k myšlence, že celý vesmír může být založen na poměrně jednoduchém programu. Postupem času si uvědomil, že nechce jen vytvářet programy a nové technologie, ale hledat už vytvořený program, obsažený v přirozené skutečnosti – ve výpočetním vesmíru. Před 75 lety, píše Wolfram, přišel Alan Turing s myšlenkou výpočetního vesmíru, což spustilo celou počítačovou revoluci. Wolfram na tomto základě vytvořil Princip výpočetní ekvivalence (Principle of Computational Equivalence), který mimojiné implikuje nejen, že univerzální

[92] Odkaz na Wolframovu přednášku z TED konference: http://blog.wolfram.com/2010/04/27/stephen-wolframs-ted-talk-computation-is-destined-to-be-the-defining-idea-of-our-future/. Další texty na oficiálním webu: http://www.stephenwolfram.com

počítače jsou možné, ale že jsou ve skutečnosti ve výpočetním vesmíru časté. Nejjednodušší celulární automat je univerzálním počítačem (nejjednodušším Turingovým strojem). Tyto jednoduché věci, které mohou zřejmě existovat v přirozeném světě, jsou výpočetně tak mocné jako počítače, které stavíme, nebo jako lidský mozek. Všechno, inteligence, svobodná vůle, jsou podle Wolframa a dalších zastánců teorie výpočetního vesmíru jako je třeba Jurgen Schmidhuber, Seth Llyod, či Ervin László podoby univerzálních výpočetních procesů.

III. EXPERIMENT

V roce 2011 jsem se poprvé setkala s výzkumníky z Ústavu komplexních systémů Jihočeské univerzity[93], kteří v té době vyvíjeli program na rozpoznání vzorů určený na analýzu buněčných tkání. Jejich unikátní přístup založený na výpočtu informačního přínosu bodů neboli součtu hodnot entropií pixelů obrázku, jsem se rozhodla využít pro analýzu uměleckých děl, konkrétně souboru kreseb pionýra abstraktního umění Františka Kupky. Prvkem, který podle mě spojoval přirozeně se utvářející tvary a výtvarnou abstrakci, byl univerzální morfogenetický princip, o němž jsme předpokládali, že propojuje oblasti přírodního, lidského a strojového (utváření vzorů) a představuje optimální míru (vizuální) informace – ověření této hypotézy jsme chtěli dokázat zapojením lidských pozorovatelů a zhodnocením toho, jaké rysy jim připadají klíčové. Ráda bych ovšem předem upozornila, že jakkoli byly metody, které jsme použili, ověřené a exaktní, byl náš výzkum spíše pilotním projektem poukazujícím na možnosti interdisciplinárního přístupu k obrazové analýze.

Vstupní obrazová informace: František Kupka: Čtyři příběhy černé a bílé

František Kupka se, ostatně podobně jako většina předních umělců počátku 20. století, také zabýval vývojem abstraktních motivů, i když se neuchyloval k takové systematičnosti, aby vytvářel gramatiku abstraktních forem jako příslušníci hnutí Bauhaus či slovníky symbolů jako sovětští konstruktivisté. Jestli se Kupka někdy přiblížil k vytvoření takové "gramatiky abstraktních forem", bylo to ve Čtyřech příbězích černé a bílé, které byly vydány jako 24 tisků v roce 1926. Kupka se zde snažil zachytit "principy tvoření". Jak sám napsal: "Chci hlavně touto sérií dokázat možnosti tvoření v pravém slova smyslu."[94]

[93] http://www.frov.jcu.cz/cs/ustav-komplexnich-systemu-uks
[94] Karel Srp: *Geometrie myšlení*, s. 179 – z dopisu Waldesovi, 1926

Kupka byl jedním z průkopníků abstraktního umění a hlavní linií vinoucí se celým jeho životem a dílem bylo zachycení přírodní dynamiky bez toho, aby člověk přírodu napodoboval a obkresloval – můžeme zde vycházet z jeho vlastního teoretického díla (zejména kniha O tvoření v umění výtvarném) a prací teoretiků analyzujících a interpretujících jeho dílo.

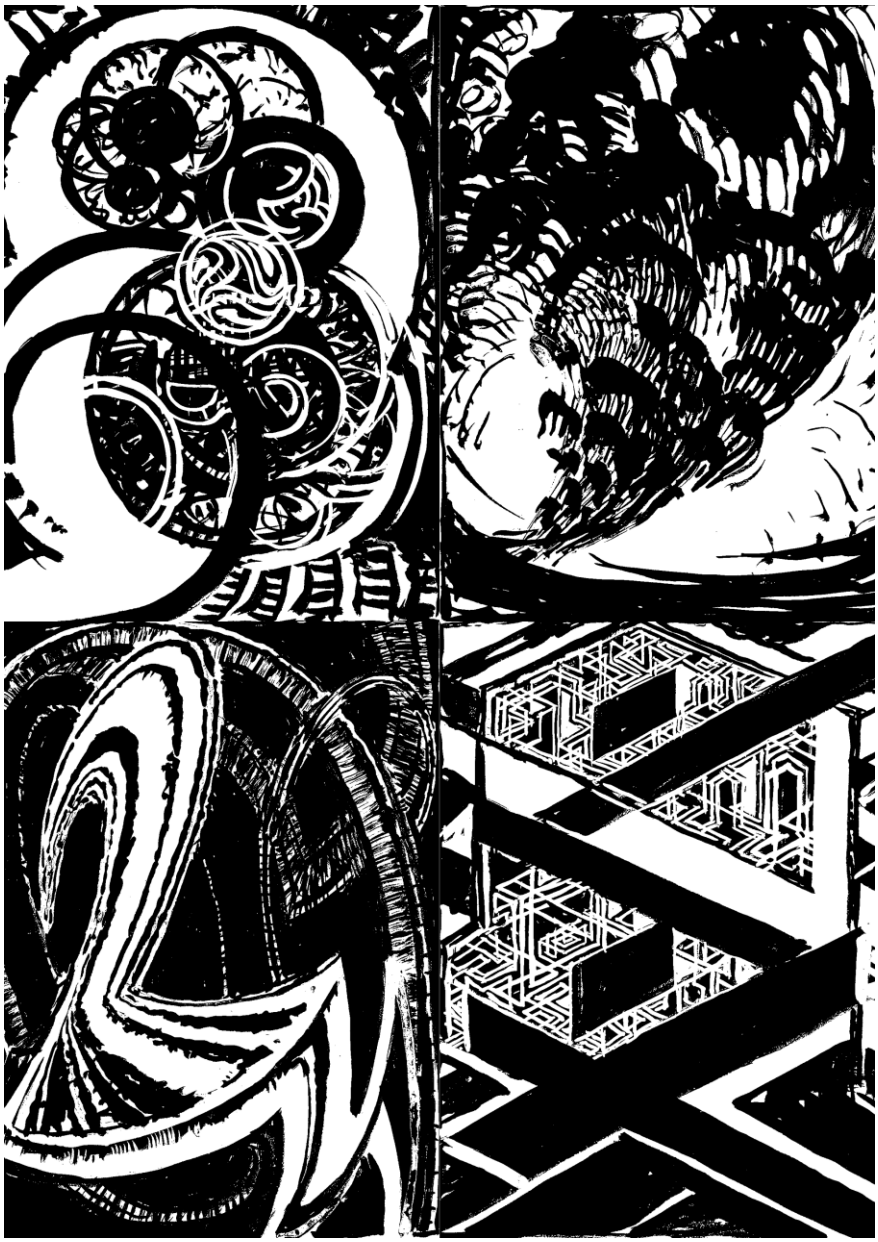
Kupka nestál ani na straně realismu, protože, jak zjistil, přírodu a skutečnost nelze nikdy vystihnout dostatečně věrně, a už vůbec ne na straně iluze, kterou považoval na lež. Odmítal jakékoliv napodobení, a to především od roku 1912, kdy došlo ke zlomu v jeho tvorbě. Záchranu obrazu podle Kupky představovala geometrie, ale ne například tak, jak se jí chopili kubisté, nýbrž geometrie ve své klasické (řecké) podobě a významu.

Kupka byl podle vlastních slov přesvědčen, že malíř či obecně umělec, který chce stvořit nosné a soudržné dílo, nesmí přírodu napodobovat, ale "tvořit tak jako příroda". Pokud jde o vztah umění a vědy, "Kupka zdůrazňoval komplementárnost pojmů a principů i základních forem poznání, vědy a umění, neboť je chápal vždy jako součást jednoho celku. Proto význam vědy či technologie ani nepodceňoval ani nepřeceňoval – výsledky moderních věd nestudoval se záměrem podřídit uměleckou tvorbu vědeckým principům, nýbrž ve snaze obohatit její nástroje. Viděl společné rysy umění a vědy i jejich rozdíly – pojímal je jako dva způsoby poznání, které se mohou navzájem inspirovat a ovlivňovat." (ANDĚL 2000, 88). Jaroslav Anděl ve své knize také píše: "Současné vědecké výzkumy, zejména teorie nelineárních systémů, jako jsou fraktální geometrie, teorie chaosu a komplexity, dávají Kupkovi za pravdu – vytvářejí nový kontext, který staví umělcovo dílo do samého centra současných úvah a diskusí. Obrazce, které vznikly na základě nedávno vyvinutých počítačových modelů nelineárních systémů a procesů, vykazují četné paralely s morfologií Kupkových obrazů." (ANDĚL 2000, 17) A zároveň víme o Kupkově zaujetí tématem vidění: "Je rovněž známo, že František Kupka se jako jeden z prvních umělců ve své tvorbě zabýval komplexitou zrakového vjemu, hledal ve fyziologii zraku zásadní inspiraci." (HUBATOVÁ-VACKOVÁ 2005, 14) Víme i

to že Kupka mimojiné navazoval na práci Jana Evangelisty Purkyně a jeho zkoumání entopických jevů – v souvislosti s naším zkoumáním představuje Purkyněho práce, především jeho „archeologie abstraktního umění“, v rámci které se věnoval studiu vnitřních obrazců (paobrazů atd.) a jejich podobnosti s abstraktními orbnamenty a motivy, a jeho vliv na Kupku samozřejmě zajímavý prvek.

Získali jsme reprodukce z Muzea Kampa[95], které vlastní významnou část Kupkova díla, a s laskavým svolením je mohli použít pro náš výzkum. Zvolili jsme soubor studií k cyklu Čtyři příběhy černé a bílé, který vyšel v knižní podobě v roce 1926. Jak píše Meda Mládková, která Kupkovi pomohla mu ze zapomnění a vydobila mu místo mezi pionýry abstraktní malby, v knize František Kupka. Ze sbírky Jana a Medy Mládkových: “Jak z názvu plyne, jedná se o čtyři různé příběhy jednotlivých formálních řešení. Skutečně je možné rozdělit je na čtyři různé skupiny: organickou, kosmickou, vertikální a diagonální. Na jedné straně tedy motivy stvořené (organické), na druhé straně motivy čistě geometrické. Tyto dřevoryty jsou jakousi rekapitulací celé předchozí abstraktní Kupkovy tvorby z doby od roku 1911 do války, rozvedené pak ještě částečně po válce do roku 1925.”[96]

[95] Šlo o nezkomprimované reprodukce vysoké kvality ze sbírek Muzea Kampa.
[96] *František Kupka. Ze sbírky Jana a Medy Mládkových* (vydalo Muzeum Kampa v roce 2008), s. 318



28: Ukázka studií k cyklu Čtyři příběhy černé a bílé.

29: Čtyři příběhy černé a bílé (studie, 1924-25)

Použité metody

Abychom mohli porovnat lidskou a strojovou klasifikaci obrazů a zhodnotit, jestli můžeme detekovat univerzální úroveň popisu, využili jsme metodu, kterou byla vyvinuta v Ústavu komplexních systémů Jihočeské univerzity a která využívá výpočtu informační entropie každého bodu (pixelu) obrazu a jejich součtu, což umožňuje přesnější kalibraci nástrojů vizuální analýzy. Výsledky výpočtů jsme poté porovnali s lidským vnímáním, respektive tříděním obrázků.

Informační entropie

Základní funkcí, kterou jsme při výpočtech použili, je informační entropie. Informační entropii, jak jsme již viděli, definoval C. E. Shannon jako limitu komprimovatelnosti zprávy. Entropie představuje míru nejistoty ve smyslu nepředvídatenosti (překvapivosti) zprávy. Jinými slovy míra informace, kterou získáme, když pozorujeme výsledek experimentu (závislý na náhodě) může být chápán jako numericky roven míře nejistoty ohledně výstupu experimentu před tím, než se uskutečnil.

Shannon definoval entropii jako míru překvapení, přičemž chápal zdroj informace jako Markovův proces, tedy diskrétní, stochastický, kontrolovaný systém, v němž každý následující stav závisí jen na současném (a ne všech předchozích), tak na akci uživatele, a je tedy vhodným modelem pro reálné systémy (viz také “random walk” či “Lévy’s walk”). Závislost na náhodnosti (představované hodem mincí) je vyjádřena v bitech, tedy rozdílu ano/ne. Entropie (H) je pak sumou pravděpodobností čísel 1 – n vynásobená počtem potřebných hodů, který vyjádříme jako logaritmus (se základem 2) počtu výsledků. Počet výsledků můžeme vyjádřit jako 1 děleno pravděpodobností výsledků – a tak získáme Shannonův vzorec pro informační entropii.

$$H = \sum_{i=1}^{n} p_i \, log_2 \frac{1}{p_i}$$

Rovnice pro výpočet Shannonovy entropie

My ve výpočtech nepočítáme se Shannonovou, ale Rényiho entropií. Rényi počítá s parametrem α (nedimenzionálním škálovacím exponentem), jejíž výhoda tkví především v tom, že ji lze aplikovat který na multidimenzionální či multifraktální systémy (v rámci našeho výzkumu jde zjednodušeně řečeno o oblasti obrazů s různou mírou detailnosti). Různé hodnoty parametru α zdůrazňují různé oblasti souboru dat (zde obrazu) s různou intenzitou. Rényiho entropie je aditivní, hodnoty se tedy sčítají.

$$H_\alpha (X) = \frac{1}{1-\alpha} log \ (\sum_{i=1}^{n} p_i^\alpha)$$

Rovnice pro výpočet Rényiho entropie

Point Information Gain

Zvláštním přínosem této práce je pak představení a aplikace metody PIG (Point Information Gain), která byla vyvinuta v Ústavu komplexních systémů Jihočeské univerzity pro účely analýzy obrazové informace původně biologických vzorků.[97]

Každý pixel je popisován v rámci pravděpodobnosti svého výskytu, respektive výskytu své úrovně intenzity v histogramu obrázku. My jsme se rozhodli použít černobílou variantu obrázků, teoreticky je ovšem možné postup aplikovat jak

[97] Viz například text: Rychtáriková, Renata; Korbel, Jan; Macháček, Petr; Císař, Petr; Urban, Jan; Soloviov, Dmytro; Štys, Dalibor: *Point information gain, point information gain entropy and point information gain entropy density as measures of semantic and syntactic information of multidimensional discrete phenomena*

na odstíny šedi, tak barevné odstíny. V našem případě šlo tedy skutečně jen o rozlišené běžných a vzácných bodů, tedy o vztah bodu a jeho okolí. Informační hodnota bodu (PIG, Point Information Gain, informační přínos bodu), založená na pravděpodobnosti jeho výskytu, se získá tak, že postupně každý pixel z obrázku odebereme a měříme informační hodnotu celku před a po odebrání – tak získáme informační hodnotu jednoho každého pixelu (jde tedy o kombinaci intenzity bodu (dvě hodnoty, černá a bílá) a pravděpodobnosti jeho výskytu (singulární vs běžný bod). PIE je pak suma všech PIG pro daný obrázek. Dále můžeme získat PIED, Point information entropy density, ta navíc nepotlačuje vzácné body: nenásobí se zde počtem bodů se stejným PIG. Získáváme tedy hodnotu PIG pro každý bod (pixel) v obraze při určité hodnotě Rényiho koeficientu alfa (která určuje práh viditelnosti v závislosti na vzácnosti bodů).

$$PIG_{\alpha,x,y} = \frac{1}{1-\alpha} log_2 \frac{\sum_{i=1}^{n} p_{i,x,y}^{\alpha}}{\sum_{i=1}^{n} p_i^{\alpha}}$$

Rovnice pro výpočet PIG_{α}

$$PIE_{\alpha} = \sum_{j=0}^{m} \sum_{i=0}^{o} PIG_{\alpha,x,y}$$

Rovnice pro výpočet PIE (kde m a o jsou počty pixelů ve směru osy x a y).

Obecný problém, kterého je náš výzkum součástí, je problematika relativní entropie sloužící k diferenciaci dat. Pro tyto účely je obvykle využívána relativní Shannonova entropie čili Kullback-Leiblerova divergence (KL divergence), která se také označuje jako informační přínos ("information gain") či relativní informace. Rényiho divergence je spektrum měřítek divergence generalizující KL divergenci, stejně jako Rényiho entropie generalizuje Shannonovu entropii.

My používáme alternativní přístup založený na jednoduchém rozdílu mezi entropiemi. Generalizací Shannonovy i Rényiho entropie získáváme celou třídu

měřítek informace, které umožňují zaměřit se na různé části pravděpodobnostího rozdělení (a chápat je jako různé části multifraktálního systému s různou fraktální dimenzí, která zjednodušeně řečeno určuje míru složitosti, tedy míru detailů systému). Rozdíl Rényiho entropií nám umožňuje změřit informační přínos daného prvku diskrétního souboru – PIG (Point Information Gain). Point Information Entropy a Point Information Gain Entropy Density (PIE, PIED) jsou měřítka v informačním prostoru. To pouhé divergence Rényiho entropií nejsou, protože nezávisí monotónně na vzdálenosti v informačním prostoru. To znamená, že když od sebe odečítáme Rényiho entropie pro různé pravděpodobnosti, tak napřed s menším rozdílem pravděpodobností klesá i rozdíl entropií, ale pak začne stoupat, což se v případě PIE a PIED neděje. Naše metoda je tedy jednodušší než Rényiho divergence a snáze použitelná.

PIG a PIE jsme vypočítali dvěma způsoby: z celku obrázku (the Whole method), kdy se vytvářejí statistiky výskytu intenzit z celého obrázku – tuto informaci nazýváme sémantickou – a "z kříže" (the Cross method), kdy se počítá jen s informací získanou ze dvou ramen kříže tvořeného osou x a y protínajících se v určeném bodě – zde získáváme syntaktickou informaci. V případě syntaktické informace zároveň vzniká prostor pro definování okolí, což je námět na další výzkum týkající se definice okolí snímaného bodu (viz kategorie "rectangular", v níž jsme experimentovali s velikostí okolí bodu a která naznačuje další možný vývoj metody). Celková informace (každého obrázku při dané hodnotě parametru α) byla nakonec vypočítána jako vektor $PIE_{\alpha,Tot} = [PIE_{\alpha,Cr}, PIE_{\alpha,Wh}]$.

Regresní analýza

Získali jsme tak dvě matice neboli pravděpodobnostní distribuce: lidé-skupiny-obrázky/obrázky-PIE-alfy. Ty představují vstup do PLSR. Čímž se dostáváme

k regresní analýze, která nám umožnila tyto dvě pravděpodobnostní distribuce porovnat, tj. zmapovat topologický prostor s jeho překryvy a významnými body.

Regresní analýza je označení statistických metod, pomocí nichž odhadujeme hodnotu jisté náhodné veličiny (závislá, cílová, vysvětlovaná proměnná, regresand) na základě znalosti jiných veličin (nezávisle proměnných, regresorů, kovariát anebo vysvětlujících proměnných). Regresní analýzy se používají pro porovnání dvou souborů dat, z nichž jeden bývá často subjektivním hodnocením a druhý objektivními daty[98] – jejich porovnání není lineární, hledají se výrazné rysy spojující obě skupiny.

Vstupy do PLSR jsou tedy dva: vysvětlující proměnná (predictor matrix) (X) obsahující vektory hodnot PIE_α jako funkci parametru α pro každý obrázek a cílová či vysvětlovaná proměnná (response matrix) (Y) znázorňující vektory klasifikace od tříditelů. Vzhledem k tomu, že lidé, kteří třídili obrázky, měli za úkol pouze rozdělit je do pěti skupin podle vizuální podobnosti, ukázalo se, že si skupiny neodpovídají a bylo potřeba udělat evaluaci skupin – tak jsme získali skupiny, které si sice neodpovídaly počtem obrázků, ale tím, že první skupina zahrnovala „špičaté" geometrické tvary, druhá spíše organické oblé tvary atd.

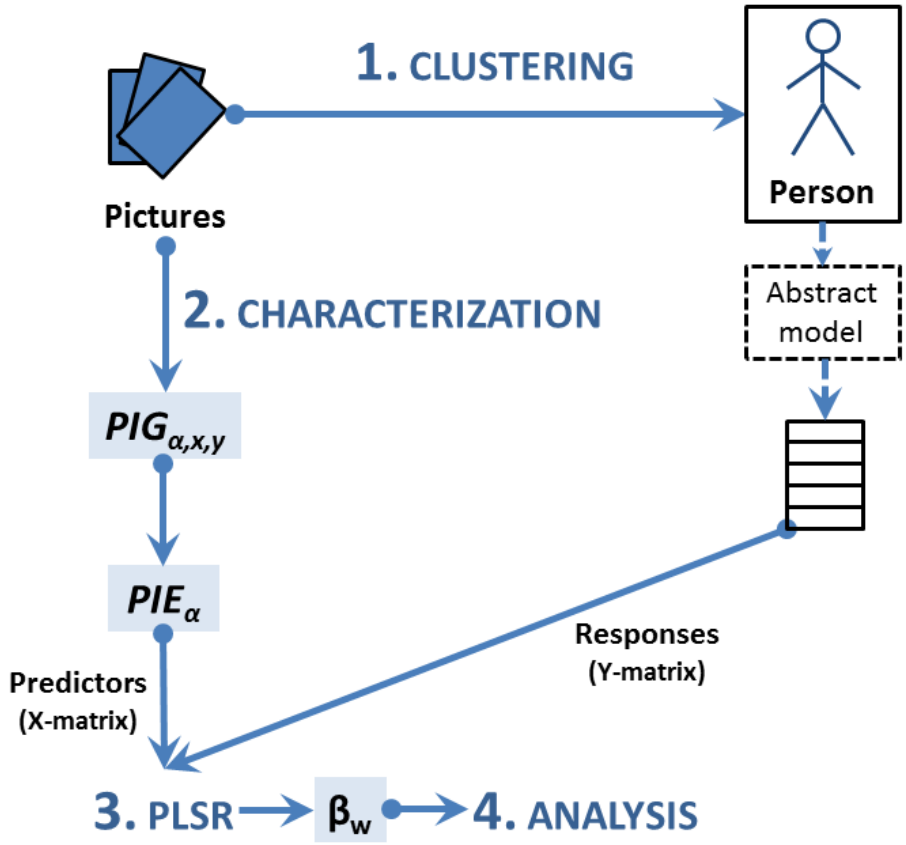
Použili jsme regresní analýzu PLSR (Partial Least Squares Regression), což je statistická, lineárně regresivní metoda porovnání očekávaných a pozorovatelných dat. PLS regrese je dílem švédského statistika Hermana Wolda a jeho syna Svante Wolda. Alternativní a – a podle Wolda vhodnějším – názvem je projekce do latentních struktur („projection to latent structures"). My jsme využili software Unscrambler společnosti CAMO.

PLSR byla použita se záměrem nalézt spektrum hodnot parametru α, které popisuje, tedy předvídá třídění obrázků. Tyto hodnoty, výstupy PLSR, jsou

[98] Používá se poměrně často například v potravinářství; pak by jeden soubor dat byl výstupem panele hodnotitelů testované potraviny, druhý pak jejím chemickým složením – výsledkem by pak mělo být zjištění, jaká látka či spíše kombinace látek vede k tomu, zde že ona potravina lidem chutná.

popsány jako regresní koeficienty β_w. Výsledné pozitivní hodnoty β mají přímý vliv na třídění, zatímco negativní jsou k modelu lidského vnímání danému PLSR v negativním vztahu.

Viz následující schéma:



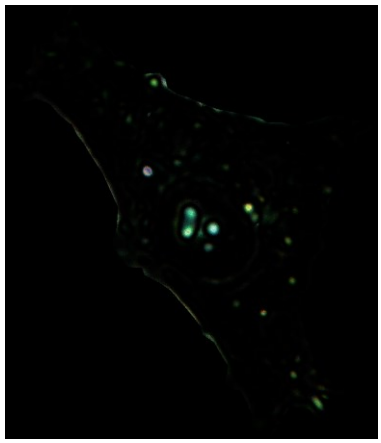
30 : Schéma experimentu.

Nejdříve jsme nechali pokusné osoby třídit obrázky (“clustering”), čímž jsme získali něco, co značujeme jako abstraktní modely ve vnímání jednotlivých osob. To je proměnná Y. Proměnná X jsou výpočty PIG, potažmo PIE. Lidská třídění a strojový výpočet jsme pak porovnali pomocí regresní analýzy a získali jsme vážené regresní koeficienty beta, které jsme dále interpretovali.

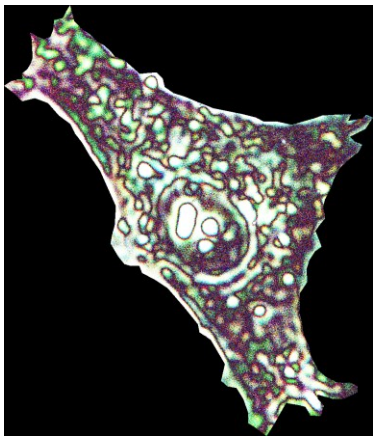
Výsledky

Čtení obrazu

Jak už jsme uvedli, Rényiho entropie je pro naše účely vhodnější než Shannonova. Zatímco Shannonova entropie pracuje s jednou hodnotou parametru α, Rényiho entropie může operovat s mnoha hodnotami tohoto parametru. Pro ilustraci toho, jak vypadá práce s různými hodnotami parametru α, připojujeme následující náhledy, na nichž nastavení hodnoty α (minimum 0,1/maximum 4) ovlivňuje míru, v níž jsou vnímány detaily obrazu.[99]



31: Buňka osteosarkoma MG-63 (zvětšení objektivu 40x) při α=0,1



32: Buňka osteosarkoma MG-63 (zvětšení objektivu 40x) při α=4

[99] K využití Rényiho entropie např také: E. Gokcay, J. C. Principe: *Rényi entropy and Information theoretic clustering*[99]. Jde o algoritmus založený na výpočtu Rényiho entropie aplikovaný na nelineární data s dobrými výsledky vytváření nelineárních závislostí mezi clustery/skupinami.

A zde obrazový materiál, který jsme používali v našem výzkumu:

33: Černobílá varianta původní kresby.

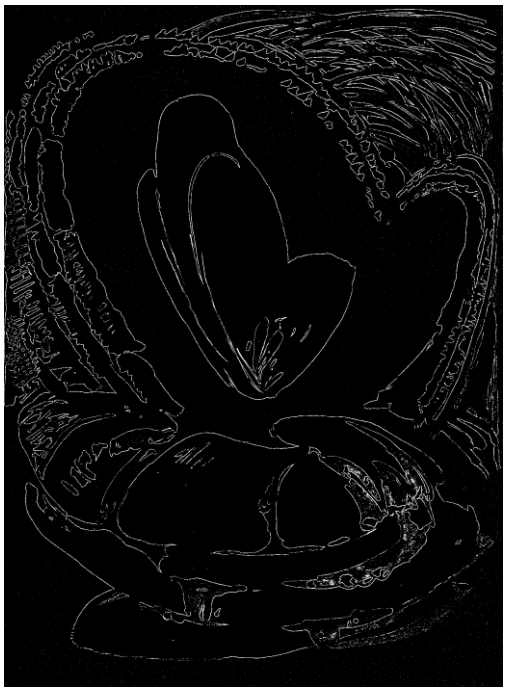
Součástí výsledků našeho výzkumu jsou i tyto verze původní obrazové informace. Následující obrázky znázorňují to, co bychom mohli nazvat "strojovým viděním" – jsou to vizualizace přepočtu obrázku při jisté hodnotě alfa (pro jednoduchost uvádíme jen hodnoty 2 a 4, ale výpočty se prováděly v celé škále 0, 1-4) a jistém (zvětšujícím se) okolí bodu (7x7 pixelů až 59x59 pixelů). Zvlášť ve srovnání s výsledným obrázkem ze softwaru ImageJ (ilustrace 38, strana 97), což je program na zpracování obrazové informace založený na programovacím jazyku Java vyvíjený v Národním institutu zdraví (National Institutes of Health) Spojených států amerických, který obsahuje funkci informační entropie, ovšem ve srovnání s naším výzkumem ve velmi zjednodušené formě a bez možnosti volit hodnotu parametru alfa, je zřejmé, že náš software je mnohem přesnější a umožňuje zaměřit se na detaily obrázku.

34: Obrázek při hodnotě alfa=4, rectangular: okolí 7x7

35: Obrázek při hodnotě alfa=2, rectangular: okolí 23x23

36: Obrázek při hodnotě alfa=2, rectangular: okolí 59x59

37: Obrázek při hodnotě alfa=4, rectangular: okolí 59x59



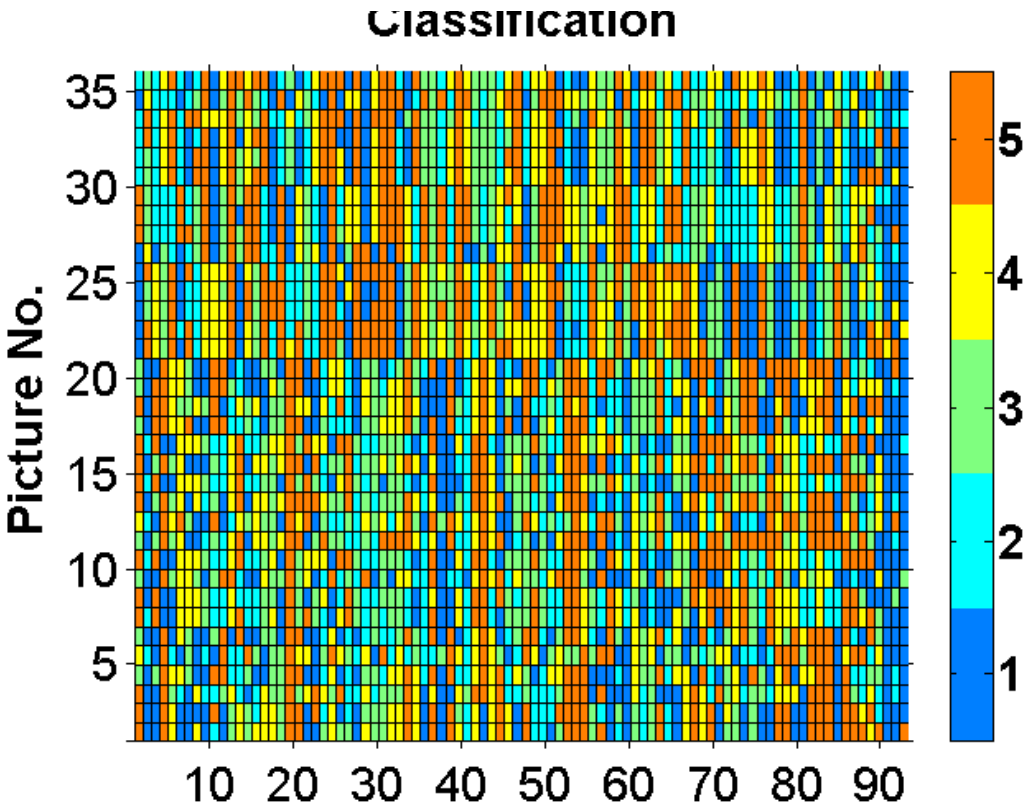
38: Výsledek aplikace informační entropie z ImageJ softwaru

Toto je tedy ukázka vstupní a výstupní obrazové informace, respektive strojového "čtení" obrazu. Na obrázcích je patrné, že různé úrovně, které vynášíme a které odpovídají jejich informačnímu přínosu v daném kontextu, poskytují jinou vizuální informaci. Situaci také můžeme popsat tak, že vizualizujeme určité způsoby vnímání kontextu. Jinými slovy i když původní obrázek je černobílý, různé tloušťky a kontexty čar, možná i způsoby jejich vedení, dávají jinou informaci. Při analýze jsme použili jen dva z možných typů kontextu (z celku obrazu a „z kříže" – a začali jsme experimentovat s různě velkým okolím, viz „rectangular" verze), ne nezbytně ty nejvýznamnější – další možnosti chápání kontextu, tj, vztahu objektu a pozadí, mohou být předmětem budoucího zkoumání (jehož cílem by bylo nalézt algoritmus nejbližší lidskému vnímání).

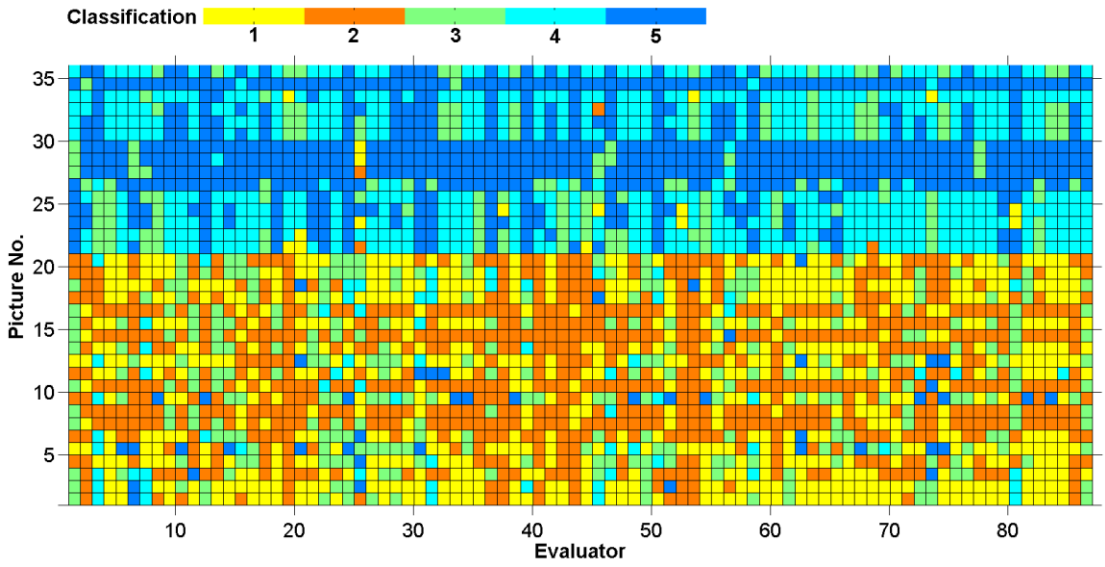
Setřídění vektorů

Matice na ilustraci 40 (strana 99) představuje setříděné vektory. Důležitým a zpočátku přehlíženým momentem bylo, že jsme přečíslovali skupiny tak, aby si

odpovídaly – to jest, aby skupiny se stejným číslem u každého člověka byly složeny z víceméně stejných obrázků. To představovalo velký posun v porovnání třídění jednotlivých lidí – rozdíl je dobře patrný na ilustracích 38 a 39. Stále platí, že množství obrázků ve skupině se samozřejmě lišilo a žádné dělení nebylo úplně totožné – ale daly se vysledovat výrazné podobnosti, např. obrázky s oblými (skupina 1, 2) a ostrými (4, 5) tvary.



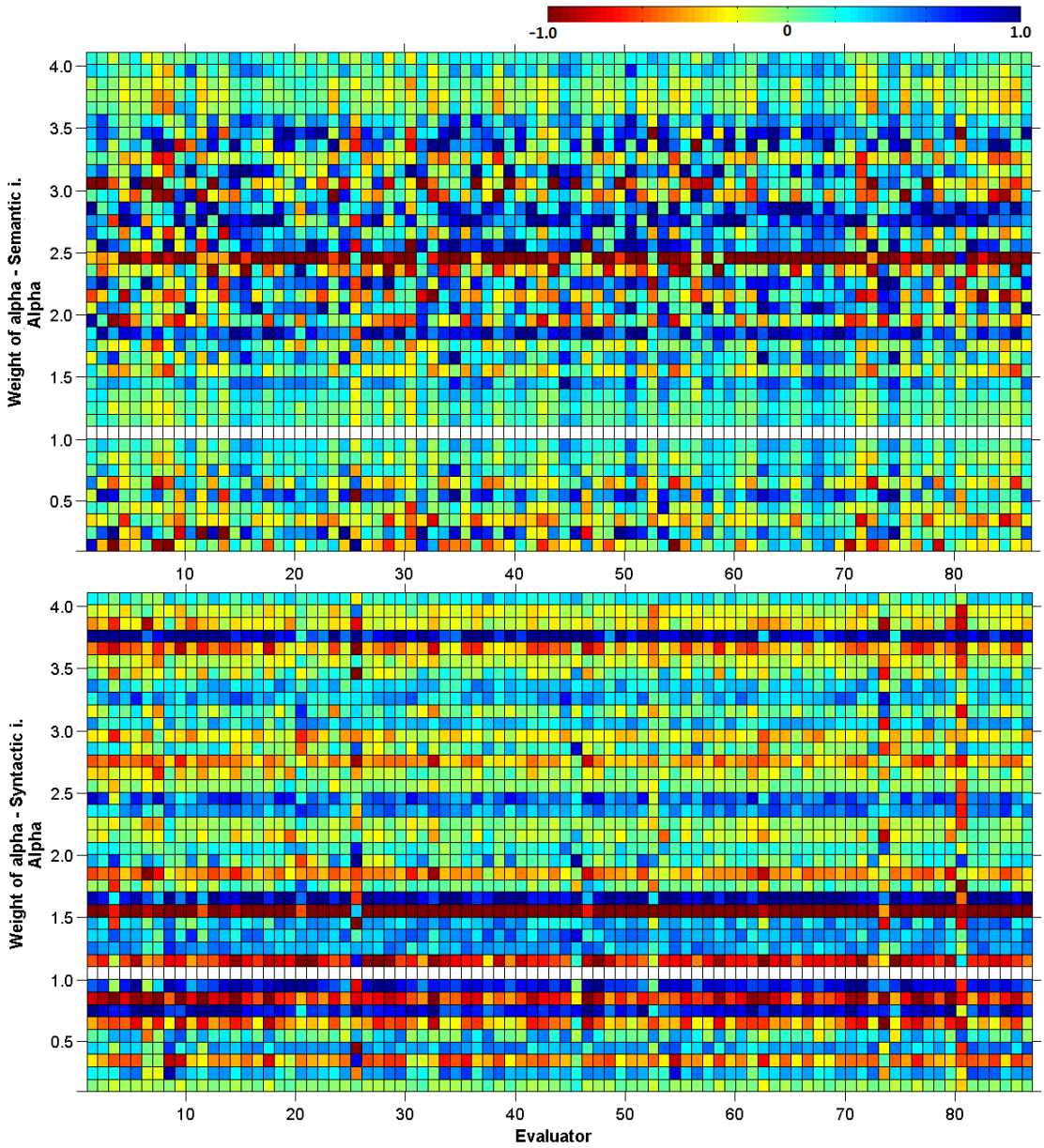
39: Nezkorelované vektory.



40: Zkorelované vektory.

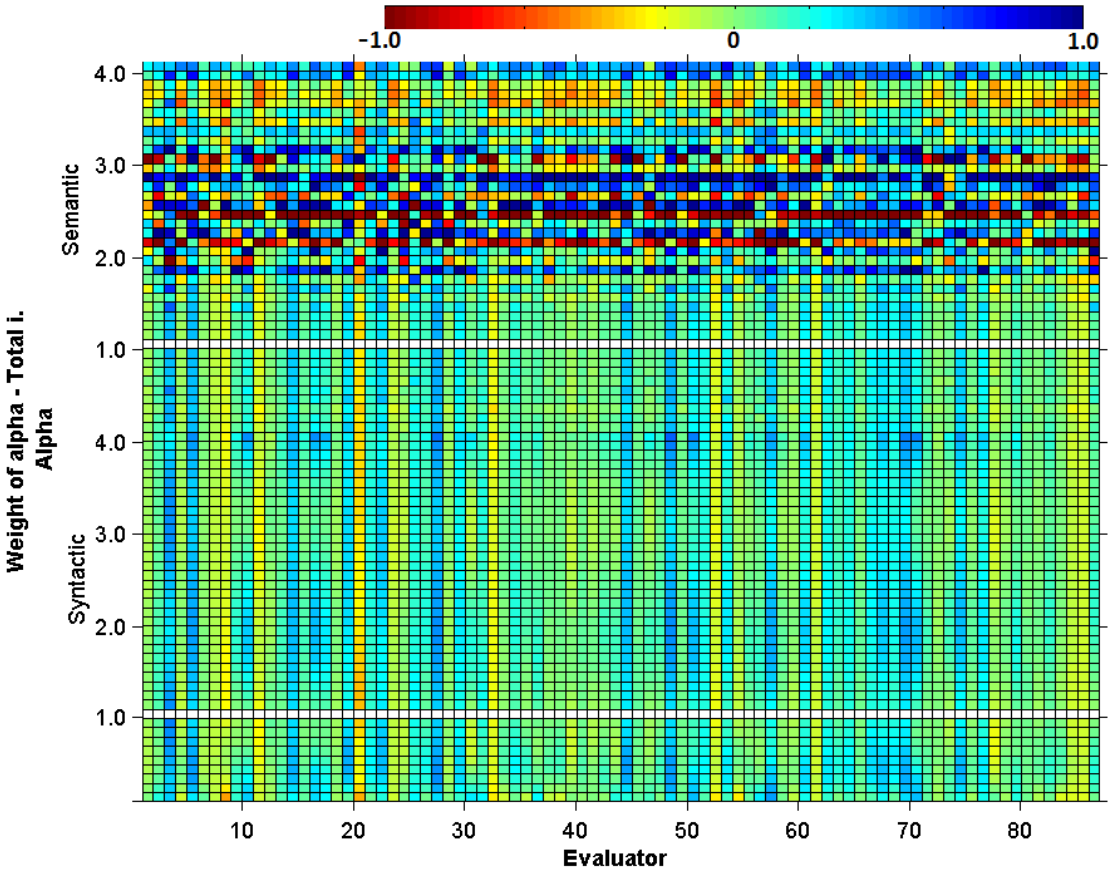
Na ose x jsou zaneseni pozorovatelé, na ose y obrázky a pomyslná osa z ukazuje skupiny rozdělené podle barev.

Výsledky regresní analýzy



41: Vážené regresní koeficienty β pro syntaktickou a sémantickou informaci.

Na obrázku vidíme normalizované vážené regresní koeficienty βw, které jsme získali pomocí PLSR popisující váhu Rényiho koeficientu α pro klasifikaci 35 Kupkových kreseb do pěti skupin podle $PIE_{\alpha,}$. Červená barva znamená, že koeficienty mají negativní vztah k modelu, modrá barva znamená, že mají pozitivní vztah k modelu. (Zelená znamená neutrální vztah.)



42: Celkový výsledek.

Na ose x jsou hodnotitelé, na ose y hodnoty alfa, na (pomyslné) ose z shoda na určitých hodnotách alfa, tedy beta (vážený regresní koeficient) určující jeho důležitost při třídění obrázků.

Rozdíl mezi dvěma grafy je dán tím, že v v prvním případě je PLSR pro vektory PIE(Whole) a PIE(Cross) počítána odděleně, v druhém případě byla PLSR počítána s vektorem PIE(Total) složeným ze subvektorů PIE(Whole) a PIE(Cross).

Vážené regresní koeficienty β_w vypočítané z hodnot PIEα z kříže, které sloužily jako vstup do PLSR, jsou jednotnější. Vykazují menší variabilitu ve srovnání s hodnotami vypočítanými z $PIE_{\alpha,}$ z celku. Signifikantní část koeficientů β se vyskytuje v rozmezí 0,7-1,6. Silnou zónu lokálního minima můžeme vidět na hodnotě α=3,7. Většina hodnotitelů mají minimální a maximální hodnoty β na

α= 1,5 a 1,6. Hodnoty β signifikantní pro lidské vnímání se pohybují mezi hodnotami α 2,4-2,5 a 2,7-2,8. Mnoho hodnotitelů klasifikovalo obrázky podle α=2,1 (23 hodnotitelů), 2,2 (17 hodnotitelů), 2,5 (10 hodnotitelů) a 3,0 (17 hodnotitelů). Signifikantní zóna koeficientu β pro syntaktickou informaci je při α ≤ 1,6 se silnou oblastí v α ≤ 3,0.

Pro sémantickou informaci vypočítanou pomocí PIE (z celku obrazu) jsou signifikantní hodnoty spektra koeficientů β jakožto funkce Rényiho koeficientů α situovány mezi 1,8 a 3,4. Většina hodnotitelů (62) měla maximální hodnotu β mezi 2,3 – 2,5. Výskyt lokálního minima v α se rovná 1,8; 2,0; 2,2; 2,5; 2,7; 2,8; 3,1 a 3,3 ve vetšině případů (47 hodnotitelů). Kombinace maximálních hodnot β koeficientů v α=2,4 s minimálními hodnotami α 2,7 a 3,3 je nejčastější (11 hodnotitelů pro každý α parametr). U některých hodnotitelů také můžeme pozorovat silnou oblast β koeficientu v α ≤ 0,5.

Můžeme zde tedy učinit opatrný závěr, že lidé vnímají především sémantickou informaci (zde celek obrazu) předložených obrázků. Syntaktická informace (detail) je pro proces klasifikace sekundární. Během klasifikace se lidé řídili především většími oblastmi a nesoustředili se tolik na detaily.

Vyhodnocení

Výsledkem našeho výzkumu je ověření efektivnosti unikátní metody výpočtu informační hodnoty obrazu. Metoda Point Information Gain se v porovnání se standartním softwarem jako je ImageJ ukázala být flexibilnější a přesnější a představuje potenciál pro budoucí vývoj metod analýzy obrazu.

Zároveň jsme navrhli a realizovali způsob porovnání lidských a strojových dat, které jsou na sobě nelineárně závislé a výsledky, jakkoli je náš eperiment, jak už jsem předeslala, spíše pilotním výzkumem, jsou poměrně přesvědčivé – podařilo se nám najít určité úrovně informační entropie (konkrétně parametru

α Rényiho entropie), u nichž došlo ke shodě mezi lidmi, kteří rozdělovali obrázky do skupin a strojovým výpočtem – což je dobrá odrazová pozice pro další zkoumání – konkrétně experimentování s okolím bodu a rozlišením oblastí obrazu (což je obdobná metoda jako kogrupování profesora Nešetřila) a nastavováním parametrů Rényiho entropie. Zároveň je samozřejmě možné pokračovat ve výzkumu využití regresní analýzy v oblasti vizuálních studií a porovnání lidských a strojových (obrazových) dat, jejích možností a limitů.

V neposlední řadě jsme do jisté míry ověřili předpoklad, že abstraktní umění představuje určitý hraniční fenomén; jde jak historicky, tak technicky o oblast, která je srozumitelná jak pro přirozené lidské vnímání, tak pro výpočetní technologie a digitální média.

Doporučení pro další výzkum

Doporučení pro pokračování výzkumu a další výzkumné otázky a problémy se týkají především těchto oblastí:

- rozšíření výzkumu (práce s větším vzorkem)
- referenční sada dat
- další třídění: ověřování metody
- definice okolí bodu
- váhy skupin (opakovanější skupiny mají větší váhu)
- role softwaru

IV. ZÁVĚR

Statistika nejistoty

Formulace teorie informace byla založena na obratu pozornosti k formálním nesémantickým prvkům v komunikačních obvodech. Vývoj probíhal paralelně s vývojem v oblasti matematiky a s kybernetikou a vedl k mnoha proměnám takového rozsahu a rázu, až můžeme mluvit o změně paradigmatu. Pozornost upřená k formálním nesémantickým prvkům v komunikačních obvodech znamenala, že se zprávy změnily v příkazy, osoby v adresy a zboží v data.[100]

Obrazy se změnily v mřížku vyplněnou body různé intenzity a hustoty. Díky kombinatorickým výpočetním technologiím se tato mřížka stala proměnlivým povrchem schopným odrážet dynamiku jevů. Obrazy v rámci naší práce chápeme a popisujeme jako "time-machines"[101], stroje času anebo spíš časové kapsule, tedy jako doklady o pozorovateli, o oblasti a hranicích viditelného, které se proměňuje v závislosti na techno-historickém stádiu vývoje.

Současné obrazy jsou strojově čitelné nejen proto, že jsme vylepšili nástroje matematické analýzy obrazu, ale proto, že jsou "born digital", jsou zachycovány, uchovávány, přenášeny a transformovány ve fromě digitální mřížky. Jak jsme dokázali, není to něco, co by postrádalo návaznost na předchozí vývoj, a to nejen technologický, ale i umělecký.

Zároveň se převod na formální systém stal předpokladem propojení různých úrovní, protože se vytvořila úroveň popisu, u níž přestalo být důležité, zda jsou přirozené, či umělé – popisujeme vnitřní dynamiku, úroveň propojení, způsoby více či méně efektivní komunikace nezávisle na materiálním substrátu systému.

---

[100] Viz např. "*Messages were seen as commands, persons as adresses, and goods as data* (...)." Jussi Parikka v textu Mapping Noise cituje Friedricha Kittlera (The History of Communication Media); PARIKKA, HUHTAMO 2011, s. 270

[101] HUHTAMO, Erkki. Time machines in the gallery. An archeological approach in media art. *Immersed in Technology. Art and Virtual Environments*, 1996, 232-268.

To je skutečně do značné míry pokračováním abstraktních metod tak, jak byly používány v matematice, přírodních vědách a na počátku 20. století ve výtvarné abstrakci.

Spolu s vývojem nových metod založených na výpočetní technologii a její nesmírné kombinatorické síle se objevily metody popisu sítí – komplexních, hustě propojených systémů, které mají často emergentní vlastnosti, to jest vlastnosti, které se objevují právě až po dosažení určité úrovně propojenosti prvků systému. Mezi nejčastěji uváděné příklady emergentních vlastností patří vědomí (jako emergentní vlastnost mozku).

Zajímavou a nepříliš prozkoumanou oblast představuje v kontextu teorie informace fenomén, který je protikladem a doplňkem vědomí – totiž nevědomí, tak jak jej popsal v klasické psychoanalýze Sigmund Freud. Nevědomí představuje "temnou" oblast, kam vědomí nedosáhne, ale je na ní založeno, vychází z ní a čerpá z ní energii i vzorce chování. Nevědomí je v podstatě tělo a jeho působení ve vědomí. Samotný Freud omezil roli těla příliš omezeně na sexualitu, jak kritizovali například Gilles Deleuze a Félix Guattari ve svých ve své době nesmírně vlivných a populárních filosofických dílech Antioidipus (1972) a Tisíc plošin (1980). Podle Deleuze a Guattariho se Freud omezil na mikropoolitiku rodiny a nereflektoval nevědomí jako multiplicitu, jako vnímanou a zakoušenou mnohost vykazující nějaký typ jednotného chování. Role těla anebo spíš opomenutí role těla jak v teorii informace, tak kybernetice a současných virtuálních prostorech je tématem, které rozvíjí například N. Katherine Hayles (HAYLES 1999) či Mark Hansen (HANSEN 2006).

To, že je systém komplexní a že má emergentní vlastnosti, znamená, že můžeme sledovat procesy samoorganizace, spontánně povstávajícího řádu – jehož vznik a vývoj je přesně popsatelný, jakkoli těžko předvídatelný, a to především pomocí pojmů z teorie deterministického chaosu a teorie

komplexity (Feigenbaumova konstanta, Ljapunovův exponent; [102] téma chaotických atraktorů; na úrovni vědomí se v současnosti prosazuje spíše kvantová teorie). To, co je pro nás důležité, je, že komplexita, samoorganizace, emergence a informace mají společný projev: vzor, vzorec (pattern), tedy něco, co má vždy i vizuální podobu: tvar, obrazec. Morfogeneze je ostatně také emergentní proces anebo lépe řečeno morfogeneze je proces, který doprovází samoorganizaci a emergenci. Na úrovni přirozených systémů to vidíme například na Bělousovo-Žabotínského reakci,[103] na úrovni umělých systémů u celulárních automatů. I v případě vědomí můžeme pozorovat proces spontánního utváření vzorů, a teď nemám na mysli formaci myšlenek a abstrahování informace z komplexního okolí, ale proces, který je skutečně spontánní, neřízený a souvisí se zpracováním a ukládáním informace: sen.

Jak připomíná Jussi Parikka v textu Mapping Noise,[104] existence šumu se objevila na horizontu lidského myšlení ve stejnou dobu jako nevědomí. Stejně jako je nevědomí širší oblast, z níž jako by se vynořovalo vědomí jako oblast racionality a řádu, je informace obklopena šumem, vynořuje se z něho jako vzorec, pravidelnost, předvídatelnost. Turing, Shannon, Gombrich, Wiener, ti

---

[102] Ljapunovsky stabilní tvary jsou ty, jejichž všechna řešení dynamického systému (přesněji řečeno diferenciálních rovnic popisujících dynamický systém) v okolí rovnovážného bodu x zůstávají v blízkosti x navždy. Jen malá sada koeficientů vede k Ljapunovovsky stabilním systémům (tj. systémům, které se, vychýleny z rovnováhy, opět vracejí do oblasti atraktoru). Možno klást do vztahu s Batesonovým metapatternem anebo "pattern language" Christophera Alexandra.

[103] Bělousovo-Žabotinského reakci objevil sovětský chemik Boris Bělousov v padesátých letech dvacátého století. Zjistil, že ve směsi bromičnanu draselného, síranu ceričitého a kyselin propionové a citronové ve zředěné kyselině sírové osciluje koncentrace ceričitých a ceritých iontů tak, že se směs střídavě zabarvuje žlutě a odbarvuje do bezbarvé formy. Tato oscilační reakce vytvářející charakteristické vzory slouží jako učebnicový příklad nerovnovážné termodynamiky a také jako inspirace pro praktické aplikace (například japonští vědci nedávno reakci použili při výrobě oscilačních gelů, které lze využít v mikroreaktorech). Bělousův objev by pravděpodobně zapadl, kdyby si ho byl v roce 1961 nevšiml Anatolij Žabotinskij, který ho poprvé představil veřejnosti v roce 1968 v Praze. Poté následovalo pár let, kdy se podobným výzkumem zabývalo velké množství českých vědců. Ale v okamžiku, kdy Ilja Prigogine získal v roce 1977 Nobelovu cenu za výzkum v oblasti disipativních struktur, byla většina výzkumu týkajícího se samoorganizace zastavena. V oblasti umělecké tvorby s ní v současnosti pracuje například Eva Schindling.

[104] PARIKKA, Jussi. Mapping noise: Techniques and tactics of irregularities, interception, and disturbance. *Media archaeology: Approaches, applications, and implications*, 2011, 256-77.

všichni v průběhu druhé světové války pracovali na šifrování a dešifrování zpráv – tj. na rozlišení šumu a informace.

V tomto smyslu je samozřejmě o to zajímavější role média: jak ukazuje například Jeffrey Sconce v knize Haunted media (SCONCE 2000), na počátku nových médií, konkrétně v případě telegrafu došlo ke zvláštnímu prolnutí nového technického média a spiritistických praktik. Nová média byla v tomto smyslu od začátku posthumanistická, protože otevírala nelidská senzoria: přes šum lidského těla po signály z vesmíru (viz například Electronic voice phenomena; EVP). Do jisté míry je otevření těchto nelidských senzorií v linii záměru abstraktních umělců, kteří se snažili zbavit subjektivity v prospěch univerzální úrovně zachycující vnitřní dynamiku jevů skrze viditelné vzory. (A také jejich respektu vůči otevíraným prostorům: jak píše František Kupka v části své knihy věnované bodu: "Kolik bodů, tolik očí, jimiž prostor na nás číhá." (KUPKA 1929, 117).)

Jedním ze způsobů, které umožňují společný popis přirozených vzorů a patternů vytvářených například Wolframovými celulárními automaty, je diagramatika založená na pojmu diagram Gillesa Deleuze a Félixe Guattariho a rozvíjená například Manuelem DeLandou – jde zjednodušeně řečeno o sdílený, "topologický" prostor možností (popisovaný jako univerzální singularita: součástí jeho evoluce je nutnost i náhoda). Což je zároveň podmínkou možnosti simulací přirozených komplexních systémů.[105] Digitální obraz je díky své transkódovatelnosti čili schopnosti překladu z kódu do kódu, přenosu určitých rysů "teritoria" do jiného média či jiného kódu reprezentace (CARVALHAIS 2016, 49) vhodným "diagramatickým" médiem.

N. Katherine Hayles ve své knize How We Became Posthuman, v níž sleduje vývoj pojmu informace a jeho vztah k materialitě a tělesnosti, ukazuje, že informace je chápána jako vzorec spíše než prezence ("pattern rather than a

[105] Pro další informace viz např. Harari, Yuval Noah: Homo Deus, London 2016; The Data Religion, s. 367; koncept „dataismu" (dataism)

presence") (HAYLES 1999, 25) (což v linii jejího výkladu vede k odtělesnění informace a subjektivity). Hayles cituje Warrena Weavera a jeho interpretaci Shannonovy teorie: informace je závislá jak na předvídatelnosti, tak nepředvídatelnosti; vzorci (pravidelnosti) a náhodnosti.[106] Vztah regularit, pravidelností, předvídatelnosti a řádu na jedné straně a náhody, chaotičnosti, nepředvídatelnosti a překvapivosti na straně druhé je samozřejmě klíčovým bodem celé teorie informace, stejně jako vnímání uměleckých děl (a vnímání obecně).

Studium vzorů ve smyslu tvaru a ornamentu je jak oblastí, v níž se setkává věda a umění, tak polem výzkumu, které může poskytnou nové nástroje pro zkoumání fungování komplexních, přirozených i umělých systémů. Právě v těchto dnech začínají vznikat projekty jako Neuralink, které se zaměřují na konkrétní technologická řešení propojení lidského mozku a umělé neuronové sítě; lidské a digitální inteligence: jakkoli to může znít podivně, právě obrazy mohou být klíčem pro pružné propojení přirozeného a umělého; mohou se stát jazykem tohoto rozhraní anebo lépe řečeno, jsou tímto jazykem a my jej jako takový můžeme zkoumat.

Náš výzkum je příspěvkem ke studiu komplexních vzorů, přičemž jeho hlavní přínos vidíme v důrazu na lidskou schopnost abstrakce (zde vizuální abstrakce) a na vývoj a využití nástrojů poskytnutých informační vědou na analýzu obrazu, a to nejen konkrétních technologií, ale i teoretické reflexe jejich možností, ať už je to zkoumání mechanismů tvoření tvarů (Crutchfield), nebo fenoménu estetické rozkoše (Gombrich), univerzální přitažlivost fraktálů (Taylor, Spehar), či estetická topologie (Nešetřil) či obecně vztah informace a entropie. Zkoumání obrazů, které vznikají na rozhraní lidského a digitálního, je a bude přirozeně založeno na matematických metodách, neměli bychom však

[106] "Warren Weaver, in his interpretation of Shannon's theory of information, suggested that information should be understood as depending on both predictability and unpredictability, pattern and randomness." (N. Katherine Hayles: How We Became Posthuman, s. 32; citovaná pasáž: Shannon, C. Weaver, W.: The Mathematical Theory of Communication, University of Illinois Press, 1949)

zapomínat, že lidské strategie se osvědčily také díky schopnosti reagovat na nepředvídatelné a nepředvídatelně, že lidé mají privilegium dělat chyby, což je základ jejich svobody a že bychom se neměli nechat uzavřít do mřížky, která by byla příliš těsná.

Zdroje:

Knihy

Použitá a citovaná literatura.

ANDĚL, Jaroslav; KOSINSKÁ, Dorothy a kolektiv autorů: František Kupka. Průkopník abstrakce, malíř kosmu. Národní galerie v Praze, Praha 2000. ISBN 3-7757-0692-5

ANDĚL, Jaroslav; KOSINSKI, Dorothy M.; KUPKA, František: Painting the universe: František Kupka, pioneer in abstraction. Distributed Art Pub Inc, 1997.

ALEXANDER, Christopher: The Nature of Order: An Essay on the Art of Building and the Nature of the Universe. Book One: The Phenomenon of Life. 1980. Berkeley, California: The Center for Environmental Structure, 2002. ISBN 978-0972652919

ARNHEIM, Rudolf: Art and visual perception: A psychology of the creative eye. University of California Press, 1954.

ARNHEIM, Rudolf: Visual thinking. University of California Press, 1969. ISBN 978-0520013780

ARNHEIM, Rudolf: Entropy and Art – an Essay on Disorder and Order (pp. 1–2). Berkeley and Los Angeles, London: University Of California Press, 1971.

ARNHEIM, Rudolf: The Power of the Center: A Study of Composition in the Visual Arts. University of California Press, 1983.

AUMONT, Jacques: Obraz. Akademie múzických umění v Praze, 2005. ISBN 80-7331-045-7

BAEYER, Hans Christian von: Information. The New Language of Science. Phoenix, London 2004. ISBN 0 75381 782 9

BARABÁSI, Albert-László: Bursts. The Hidden Pattern Behind Everything We Do. Dutton, New York 2010. ISBN 978-0452297180

BERGSON, Henri: Myšlení a pohyb (Vnímání změny, s.140-172), Mladá fronta, edice Myšlenky, Praha 2003. ISBN 80-204-1008-2

BERRY, David M. (editor): Understanding Digital Humanities. Palgrave Macmillan, London 2012. ISBN 978-0-230-29265-9

BOISOT, Max H., a kol.: Explorations in information space: knowledge, agents, and organization. Oxford University Press, 2007.

BOLTER, J. David; GRUSIN, Richard A.: Remediation. Understanding new media. MIT Press, 2000. ISBN 9780262024525

CARVALHAIS, Miguel: Artificial Aesthetics: Creative Practices in Computational Art and Design. U. Porto Edições, Porto 2016. ISBN 978-989-746-092-0
Dostupné online: https://www.carvalhais.org/txt/Carvalhais2010.pdf

CEJPEK, Jiří: Informace, komunikace a myšlení. Karolinum, Praha 2005. ISBN 80-246-1037-X

COVENEY, Peter; HIGHFIELD, Roger: Mezi chaosem a řádem. Hranice komplexity: hledání řádu v chaotickém světě. Mladá fronta, edice Kolumbus, Praha 2003. ISBN 80-204-0989-0 (první vydání 1995)

CRARY, Jonathan: Techniques of the Observer: On Vision and Modernity in the 19th Century. The MIT Press, 1992. ISBN: 978-0-262-53107-8

CRARY, Jonathan: Suspensions of Perception: Attention, Spectacle and Modern Culture. MIT Press, 2001. ISBN 978-0-26253107-8

DAVIES, Paul; GREGENSEN, Niels Henrik (ed.): Information and the Nature of Reality. Cambridge University Press, New York 2010. ISBN 978-0-521-76225-0

DELANDA, Manuel: Intensive science and virtual philosophy. Continuum, London 2005. ISBN-13: 978-0-8264-7932-7

DELEUZE, Gilles; GUATTARI, Félix: Tisíc plošin. Herrmann & synové, 2010. ISBN 978-80-87054-25-3

ELKINS, James: Visual Studies: A Skeptical Introduction. Routledge, New York 2003. ISBN 0-415-96681-7

EMMER, Michele: Mathematics and Culture V, Springer, 2016. ISBN 978-3662500446

FIŠEROVÁ, Michaela: Obraz a moc, Karolinum 2015. ISBN 9788024626352

FLUSSER, Vilém: The Shape of Things. A philosophy of Design. Reaktion Books, London 2012, ISBN 978 1 86189 055 9 (copyright 1993, první vydání v anglickém jazyce 1999)

FLUSSER, Vilém: Moc obrazu. Výtvarné umění, Praha 1996, ISSN 0862-9927

FLUSSER, Vilém: Do univerza technických obrazů, OSVU 2002. ISBN 80-238-7569-8

FOUCAULT, Michel. Surveiller et punir. Naissance de la prison. Editions Gallimard, 2014. ISBN 978-2070729685

FRIEDHOFF, Richard Mark; BENZON, William: Visualization. The second computer revolution. Freeman, New York 1989. ISBN 978-0810917095

FULLER, Matthieu: Media ecologies: Materialist energies in art and technoculture. MIT press, 2007. (první vydání 2005) ISBN: 9780262562263

GELL-MANN, Murray: The Quark and the Jaguar. Adventures in the Simple and the Complex. Holt Paperback, New York 1994, ISBN 978-0-8050-7253-2

GIBSON, James: The perception of the visual world. Houghton Mifflin, Oxford 1950.

GIBSON, James: The Ecological Approach to Visual Perception. Classic Edition Psychology Press, 2014. (první vydání 1979)

GLEICK, James: Chaos. Vznik nové vědy, Ando Publishing, Brno 1996. ISBN 80-86047-04-0

GLEICK, James: The Information. A History. A Theory. A Flood. Pantheon Books, New York 2011. ISBN 978-0-375-42372-7

GLEICK, James: Informace. Historie. Teorie. Záplava. Argo/Dokořán, Praha 2013. ISBN 978-80-7363-415-5 (Dokořán), 978-80-257-0901-6 (Argo)

GOMBRICH, Ernst Hans: Art and illusion: A study in the psychology of pictorial representation. Phaidon, London 1977.

GRAU, Oliver (ed.): Imagery in the 21st Century. MIT Press, Cambridge 2013. (první vydání 2011) ISBN: 978-0-262-52535-0

HANSEN, Marc: New philosophy for new media. MIT press, 2006. (první vydání 2004) ISBN: 978-0-262-58266-7

HAYLES, N. Katherine: Chaos and Order. Complex Dynamics in Literature and Science. The University of Chicago Press, Chicago 1991. ISBN 0-226-32144-4

HAYLES, N. Katherine: How We Became Posthuman: Virtual bodies in cybernetics, literature, and informatics. University of Chicago Press, 1999. ISBN 0-226-32146-0

HENDERSON, Linda Dalrymple: The Fourth Dimension and Non-Euklidean Geometry in Modern Art. Princeton University Press, 2013. (první vydání 1983) ISBN 978-0-262-58244-5

HENDRIKS, E.; HUGHES, S.: Van Gogh's Brushstrokes: Marks of Authenticity? Proceedings of "Art, Conservation, and Authenticities: Material, Concept, Context," University of Glasgow, Scotland, Archetype Publications, 2008.

JAY, Martin: Downcast Eyes: The Denigration of Vision in Twentieth-Century French Thought. 1994

JAY, Martin; BRENNAN, Teresa (ed.): Vision in Context: Historical and Contemporary Perspectives on Sight. Psychology Press, 1996. ISBN: 9780520088856

KUPKA, František: Tvoření v umění výtvarném. Brody, Praha 1999. (první vydání 1923) ISBN 80-86112-16-0

LIMA, Manuel: Visual Complexity. Mapping Patterns of Information. Princeton Architectural Press, New York 2013. (první vydání 2011) ISBN 978-1-61689-219-7

MANDELBROT, Benoit: Fraktály. Tvar, náhoda a dimenze. Mladá fronta, edice Kolumbus, Praha 2003. ISBN 80-204-1009-0 (první vydání 1975)

MANDELBROT Benoît B.: The Fractal Geometry of Nature. San Francisco: W.H. Freeman. 1983, ISBN 0-7167-1186-9

MANOVICH, Lev: The Language of New Media. MIT Press, 2001. ISBN: 9780262133746

MANOVICH, Lev: Software takes command. A&C Black, 2013. ISBN 9781623567453

MERLEAU-PONTY, Maurice: Viditelné a neviditelné. OIKOYMENH, Praha 2004. ISBN 80-7298-098-X

MIRZOEFF, Nicholas: The visual culture reader. Psychology Press, 2002. ISBN 9780415252225

MITCHELL, Melanie: Complexity (A guided tour), Oxford University Press, New York 2009. ISBN 978-0-19-512441-5

MITCHELL, W.J.T.: Image Science: Iconology, Visual Culture and Media Aesthetics. University of Chicago, Chicago 2015. ISBN 978-0-226-23133-4

MITCHELL, W.J.T: What Do Pictures Want?: The Lives and Loves of Images. University of Chicago, Chicago 2005. ISBN 978-0-226-53245-5

MITCHELL, W.J.T: Picture Theory: Essays on Verbal and Visual Representation. University of Chicago, Chicago 1994. ISBN 978-0-226-53232-5

MITCHELL, W.J.T: Iconology: Image, Text, Ideology. University of Chicago, Chicago 1986. ISBN 978-0-226-53229-5

MLÁDKOVÁ, Meda: František Kupka: ze sbírky Jana a Medy Mládkových ve Washingtonu; František Kupka: from the Jan and Meda Mládek collection in Washington. Ringier, 2007.

MONDRIAN, Piet: Lidem budoucnosti, Triáda 2002. ISBN 80-86138-31-3

PARIKKA, Jussi; HUHTAMO, Erkki (ed.): Media Archaeology: Approaches, applications, and implications. University of California Press, 2011. ISBN 978-0-520-26274-4

PETŘÍČEK, Miroslav: Myšlení obrazem. Herrmann & synové, Praha 2009. ISBN 978-80-87054-18-5

PRIGOGINE, Ilya; STENGERSOVÁ, Isabelle: Řád z chaosu, Mladá fronta, edice Kolumbus, Praha 2001. ISBN 80-204-0910-6 (první vydání 1984)

SCONCE, Jeffrey. Haunted media: Electronic presence from telegraphy to television. Duke University Press, 2000. ISBN 978-0-8223-2553-6

SHANNON, Claude E.; WEAVER, Warren: The Mathematical Theory of Communication. University of Illinois Press, 1998. (první vydání 1948)

SRP, Karel: František Kupka. Geometrie myšlenek. Arbor vitae, Praha 2012, ISBN 978-80-87164-92-1

STONIER, Tom: Information and the Internal Structure of the Universe: An Exploration into Information Physics. Springer, 2013. ISBN 978-3540198789

STONIER, Tom: Informace a vnitřní struktura vesmíru. BEN, Praha 2002. ISBN 80-7300-050-4

SVATOŇOVÁ, Kateřina: Odpoutané obrazy: archeologie českého virtuálního prostoru. Academia, Praha 2013. ISBN 978-80-200-2273-8

TAYLOR, R.; NEWELL, B.; SPEHAR, B.; CLIFFORD, C.: Fractals: a resonance between art and nature (pp. 53-63). Springer, Berlin, Heidelberg 2005.

WIENER, Norbert. Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine. MIT press, 1961. ISBN: 9780262230070

WILDEN, Anthony. The Rules Are No Game: The Strategy of Communication. London: Routledge & Kegan Paul, 1987. ISBN 0-7100-9868-5

WOLFRAM, Stephen. A New Kind of Science. Champaign, Illinois: Wolfram Media, 2002. ISBN 1-57955-008-8

ZIELINSKI, Siegfried: Deep time of the media: Toward an archeology of hearing and seeing by technical means. Cambridge, Massachusets: The MIT Press, London 2008. ISBN: 9780262740326

Články

ABE, Sumiyoshi. Stability of Tsallis entropy and instabilities of Rényi and normalized Tsallis entropies: A basis for q-exponential distributions. Physical Review E, 2002, 66.4: 046134.

ABRY, Patrice; WENDT, Herwig; JAFFARD, Stéphane. When Van Gogh meets Mandelbrot: Multifractal classification of painting's texture. Signal Processing, 2013, 93.3: 554-572.

BÁLEK, Martin; NEŠETŘIL, Jaroslav. Towards mathematical aesthetics. Charles Univ., 2004.

BECK, Kent; CUNNINGHAM, Ward. Using pattern languages for object-oriented programs. Technical Report No. CR-87-43, 1987.

BEHRENS, Roy R. Rudolf Arnheim: The little owl on the shoulder of Athene. Leonardo, 1998, 31.3: 231-233.

BINONGO, José Nilo G. Who wrote the 15th book of Oz? An application of multivariate analysis to authorship attribution. Chance, 2003, 16.2: 9-17.

CRUTCHFIELD, James P.: Five Questions on Complexity. Stable URL: http://csc.ucdavis.edu/~chaos/papers/QsOnComplexity.pdf

DIXON, Dan. Analysis Tool or Research Methodology: Is there an epistemology for patterns?. In: Understanding digital humanities. Palgrave Macmillan UK, 2012. p. 191-209.

FIŠEROVÁ, Michaela. Miroslav Petříček, Myšlení obrazem. Teorie vědy/Theory of Science, 2012, 34.2: 265-273.

FORSYTHE, Alex, et al. Predicting beauty: fractal dimension and visual complexity in art. British journal of psychology, 2011, 102.1: 49-70.

GATYS, Leon A.; ECKER, Alexander S.; BETHGE, Matthias. A neural algorithm of artistic style. arXiv preprint arXiv:1508.06576, 2015.

GELL-MANN, Murray. Regularities and randomness: Evolving schemata in science and the arts. Art and complexity, 2003, 47-58.

GOKCAY, Erhan; PRINCIPE, Jose C.. Information theoretic clustering. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24.2: 158-171.

GOLDT, Sebastian; SEIFERT, Udo. Stochastic Thermodynamics of Learning. Physical Review Letters, 2017, 118.1: 010601.

GRUNDMANN, Uta. The intelligence of vision: An interview with Rudolf Arnheim. Cabinet Magazine, 2001, 2.
Stable URL: http://www.cabinetmagazine.org/issues/2/rudolfarnheim.php

HARRISON, Warren. An entropy-based measure of software complexity. IEEE Transactions on Software Engineering, 1992, 18.11: 1025-1029.

HAVRDA, Jan; CHARVÁT, František. Quantification method of classification processes. Concept of structural $ a $-entropy. Kybernetika, 1967, 3.1: (30)-35.

HUBATOVÁ-VACKOVÁ, Lada. „Vnitřní zrak. Jan Evangelista Purkyně, laboratoř vizuality a moderního umění “.Umění 6/53, str. 566-585. Dostupné z URL:< http://www. cts. cuni. cz/soubory/reporty/CTS-05-05. pdf>. S, 2005, 1-2.

JAY, Martin. That visual turn. Journal of visual culture, 2002, 1.1: 87-92.

JIZBA, Petr; ARIMITSU, Toshihico. The world according to Rényi: thermodynamics of multifractal systems. Annals of Physics, 2004, 312.1: 17-59. Stable URL: http://www.fjfi.cvut.cz/files/k402/pers_hpgs/jizba/publications/Jizba,%20Arimitsu,%20Annals%20of%20Physics,%20312%20(2004)%2017-59.pdf

JIZBA, Petr; ARIMITSU, Toshihico. Observability of Rényi's entropy. Physical review E, 2004, 69.2: 026128.

JIZBA, Petr; DUNNINGHAM, Jacob A.; JOO, Jaewoo. Role of information theoretic uncertainty relations in quantum theory. Annals of Physics, 2015, 355: 87-114.

JOHNSON, C. Richard, et al. Image processing for artist identification. IEEE Signal Processing Magazine, 2008, 25.4.

KARAYEV, Sergey, et al. Recognizing image style. arXiv preprint arXiv:1311.3715, 2013.

LI, Jia, et al. Rhythmic brushstrokes distinguish van Gogh from his contemporaries: findings via automated brushstroke extraction. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 2012, 34.6: 1159-1176.

LORENZ, Edward N. Deterministic nonperiodic flow. Journal of the atmospheric sciences, 1963, 20.2: 130-141.

LYU, Siwei; ROCKMORE, Daniel; FARID, Hany. A digital technique for art authentication. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2004, 101.49: 17006-17010.

MANOVICH, Lev. The engineering of vision from constructivism to computers. Rochester, NY: University of Rochester, 1993.

MARTYUSHEV, Leonid M.: Entropy and Entropy Production: Old Misconceptions and New Breakthroughs, journal Entropy, special edition Maximum Entropy Production, Mars 2013. ISSN 1099-4300 Stable URL: http://www.mdpi.com/1099-4300/15/4/1152

MORDVINTSEV, A.; OLAH, C.; TYKA, M.: Inceptionism: going deeper into neural networks. Technical report, Google Inc., 2015. Google Research Blog, bit. ly/1BkXP09, 2015.

MUREIKA, J. R.: "Fractal dimensions in perceptual color space: a comparison study using Jackson Pollock's art." Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science 15.4 (2005): 043702.

NORVIG, Peter: On Chomsky and the two cultures of statistical learning. Author Homepage, 2011.

RÉNYI, Alfred: On measures of entropy and information. In: Fourth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability. 1961. p. 547-561

REED, S. K.: Pattern recognition and categorization. Cognitive Psychology, 3, 382–407, 1972. doi: 10.1016/0010-0285(72)90014-X

RIGAU, Jaume; FEIXAS, Miquel; SBERT, Mateu. Conceptualizing Birkhoff's Aesthetic Measure Using Shannon Entropy and Kolmogorov Complexity. In: Computational Aesthetics. 2007. p. 105-112.

RYCHTÁRIKOVÁ, Renata et al.: Multifractality in Imaging: Application of Information Entropy for Observation of Inner Dynamics Inside of an Unlabeled Living Cell in Bright-Field Microscopy. ISCS 2014: Interdisciplinary Symposium on Complex Systems. Springer International Publishing, 2015.

SAHOO, Prasanna; WILKINS, Carrye; YEAGER, Jerry: Threshold selection using Renyi's entropy. Pattern recognition 30.1, 1997: 71-84

SETHNA, James P.: Entropy, order parameters, and complexity. Statistical Mechanics, Laboratory of Atomic and Solid State Physics, Cornell University, Ithaca, NY 2006: 14853-2501.

SHANNON, Claude Elwood. "A symbolic analysis of relay and switching circuits."American Institute of Electrical Engineers, 1938: 713-723.

SCHEIRER, W. J.; WILBERB, M. J.; ECKMANN, M., & BOULTD, T. E.: Good recognition is non-metric. Pattern Recognition, 47(8), 2721–2731, 2014. doi: 10.1016/j.patcog.2014.02.018

SPEHAR, Branka, et al. Universal aesthetic of fractals. *Computers & Graphics*, 2003, 27.5: 813-820.

SPEHAR, B.; TAYLOR, R. P.; CLIFFORD, C. W. G., & NEWELL, B. R.: The visual complexity of Pollock's dripped fractals. In Unifying Themes in Complex Systems IV, Springer Berlin Heidelberg, 2008. (pp. 175-182).

STERLING, Bruce: Generation Generator (New Aesthetics), 2012, stabilní URL: http://www.wired.com/beyond_the_beyond/2012/04/generation-generator-new-aesthetic/

STORK, David G. Computer vision and computer graphics analysis of paintings and drawings: An introduction to the literature. In: *International Conference on Computer Analysis of Images and Patterns*. Springer Berlin Heidelberg, 2009. p. 9-24.

SUNDBERG, Rolf. Aspects of statistical regression in sensometrics. *Food quality and preference*, 2000, 11.1: 17-26.

ŠTYS, Dalibor, URBAN, J.; VANĚK, J.; CÍSAŘ, P.: Analysis of biological time-lapse microscopic experiment from the point of view of the information theory. *Micron*, 2011, 42.4: 360-365.

ŠTYS, D.; VANĚK, J.; NÁHLÍK, T.; URBAN, J. & CÍSAŘ, P.: The cell monolayer trajectory from the system state point of view. *Molecular biosystems*, 2011, 7.10: 2824-2833.

ŠTYS, Dalibor; URBAN, Jan; VANĚK, Jan; CÍSAŘ, Petr: Analysis of biological time-lapse microscopic experiment from the point of view of the information theory. *Micron*, 2011, 42.4: 360-365.

ŠTYS, Dalibor; JIZBA, Petr; URBAN, Jan; NÁHLÍK, Tomáš; ŠTYS, Dalibor K.: Point Information Gain, Point Information Gain Entropy and Point Divergence Gain: measures of information in a structured dataset, 2012 (preprint submitted to Physics Report)

ŠTYS, D., et al. Point information gain, point information gain entropy and point information gain entropy density as measures of semantic and syntactic information of multidimensional discrete phenomena. *arXiv preprint arXiv:1501.02891*, 2015.
http://arxiv.org/pdf/1501.02891v4.pdf

TAYLOR, Richard P.; MICOLICH, Adam P.; JONAS, David. Fractal analysis of Pollock's drip paintings. *Nature*, 1999, 399.6735: 422.

TAYLOR, Richard P.; MICOLICH, Adam P.; JONAS, David. Fractal expressionism. *Physics World*, 1999, 12.10: 25.

TAYLOR, Richard P.; MICOLICH, Adam P.; JONAS, David. The construction of Jackson Pollock's fractal drip paintings. *Leonardo*, 2002, 35.2: 203-207.

TAYLOR, Richard. Pollock, Mondrian and the nature: Recent scientific investigations. *Chaos and Complexity Letters*, 2004, 1: 29.

TAYLOR, Richard P., Spehar, B., Wise, J. A., Clifford, C. W., Newell, B. R., Hagerhall & Martin, T. P. Perceptual and physiological responses to the visual complexity of fractal patterns. *Nonlinear Dynamics Psychol. Life. Sci*, 2005, 9: 89-114.

TAYLOR, Robert P., et al. Authenticating Pollock paintings using fractal geometry. *Pattern Recognition Letters*, 2007, 28.6: 695-702.

TAYLOR, Richard P., et al. Perceptual and physiological responses to Jackson Pollock's fractals. *Brain and Art*, 2014, 43.

TSALLIS, Constantino. Possible generalization of Boltzmann-Gibbs statistics. *Journal of statistical physics*, 1988, 52.1: 479-487.

TSALLIS, Constantino. Generalized entropy-based criterion for consistent testing. *Physical Review E*, 1998, 58.2: 1442.

TSALLIS, Constantino; GELL-MANN, Murray: "Nonextensive entropy-Interdisciplinary applications." Nonextensive Entropy-Interdisciplinary Applications, by Edited by Murray Gell-Mann and C. Tsallis, pp. 440. Oxford University Press, Apr 2004. ISBN 9780195159769 1

TURING, Alan Mathison. The chemical basis of morphogenesis. Bulletin of mathematical biology, 1990, 52.1-2: 153-197.

VITZ, Paul C. Preference for different amounts of visual complexity. *Behavioral Science*, 1966, 11.2: 105-114.

YARICHIN, E. M. Informational paradigm of technical vision. *Pattern Recognition and Image Analysis*, 2006, 16.1: 120-122.

YOUGUO, P., Wenzhi, L., Mingyou, L., & Jianping, L. (2008). Theory of Cognitive Pattern Recognition. In Y. Peng-Yeng (Ed.), Pattern Recognition Techniques, Technology and Applications (pp. 433–462). Vienna, Austria: I-Tech. doi: 10.5772/6251

Článek založený na výzkumu popsaném v této dizertační práci vyšel v létě 2015:

RYCHTÁRIKOVÁ, Renata; MALEČKOVÁ, Dita; URBAN, Jan; BÁRTA, Antonín; NOVOTNÁ, M; ZHYROVA, A.; NÁHLÍK, T.; ŠTYS, D.: Study of Human Perception with the Usage of Information Entropy Analysis of Patterns, PURPLSOC The Workshop 2014, Baumgartner and Sickinger (Eds.), pp. 324–342, ISBN 978-3-7375-5458-9, 2015, Austria.

http://www.lehmanns.de/shop/sozialwissenschaften/33112629-9783737554589-purplsoc-pursuit-of-pattern-languages-for-societal-change-purplsoc-the-workshop-2014

Seznam ilustrací

Pořadí	Strana	Název
1	14	Grafický výstup, který se stal základem pro teorii motýlího efektu.
2	17	Ukázka práce Manfreda Mohra: Cubic Limit (1972-77)
3	21	Frieder Nake : NR. 2 ("Klee"), 1965; Polygon Course No. 7, 1965
4	21	Zdeněk Sýkora: Linie č. 24 – Poslední soud, 1983–84, olej na plátně
5	22	A. Michael Noll: Computer Composition With Lines (1964)
6	22	Karl Otto Götz: Density 10:3:2:1, 1961
7	28	Jackson Pollock při práci.
8	29	Fraktální dimenze Pollockových děl v závislosti na datu vytvoření plátna (1943–1953)
9	29	Hang Liu: Wild Growth (2014)
10	37	Deep Dream – příklady tvarů ze šumu
11	38	Deep Dream – příklad výstupního obrazu
12	40	Metoda konvoluční neuronové sítě; příznakové mapy a rozlišení obsahu a stylu.
13	41	Rozdělení obsahu a stylu: kombinace fotografie a stylu Van Goghova plátna.
14	41	Stejná vstupní fotografie a aplikace různých uměleckých stylů.
15	43	Aplikace Prisma.
16	44	Míra chybování v oblasti analýzy obrazu: porovnání lidské a strojové klasifikace obrazu.
17	52	František Kupka: Amorfa. Dvoubarevná fuga (1912)
18	52	Názorná ukázka vývoje abstraktního výrazu u Pieta Mondriana.
19	56	El Lisický: Nový člověk, 1920
20	61	Lev Manovich: Phototrails (2013); fotografie z Instagramu sdílené v Tokiu.
21	67	Shannonovo schéma informačního přenosu
22	76	Turingovy vzory
23	77	Frieder Nake: Walk-Through-Raster, Serie 2.1, 1966
24	77	Game of Life: Cyklus "kluzáku" (glider)
25	78	Game of Life: náhled.
26	78	Wolframova "pravidla" (rules); vzory vytvořené celulárními automaty.
27	79	Přirozené tvary (vzory na skořápkách měkkýšů) podobající se vzorcům vytvořeným CA.

28	85	Ukázka studií k cyklu Čtyři příběhy černé a bílé.
29	86	Čtyři příběhy černé a bílé (studie, 1924-25).
30	92	Schéma experimentu.
31	93	Buňka osteosarkoma MG-63 (zvětšení objektivu 40x) při α=0,1
32	93	Buňka osteosarkoma MG-63 (zvětšení objektivu 40x) při α=4
33	94	Černobílá varianta původní kresby.
34	95	Obraz při hodnotě alfa=4, rectangular: okolí 7x7
35	95	Obraz při hodnotě alfa=2, rectangular: okolí 23x23
36	96	Obraz při hodnotě alfa=2, rectangular: okolí 59x59
37	96	Obraz při hodnotě alfa=4, rectangular: okolí 59x59
38	97	Výsledek aplikace informační entropie z ImageJ softwaru
39	98	Nezkorelované vektory.
40	99	Zkorelované vektory.
41	100	Vážené regresní koeficienty beta pro syntaktickou a sémantickou informaci
42	101	Celkový výsledek.

Přílohy

Příloha 1: Kód pro výpočet PIG/ PIE z z kříže (“cross”)

Příloha 2: Kód pro výpočet PIG/ PIE z celku obrázku („whole“)

Příloha 3: Text článku (sborník konference PURPLSOC, 2015)

Příloha 4: Vstupní obrazová informace (František Kupka: studie k cyklu Čtyři příběhy černé a bílé, 1924-25)