

E-LOGOS

ELECTRONIC JOURNAL FOR PHILOSOPHY

ISSN 1211-0442

12/2009



University of Economics
Prague

Principy Darwinovy teorie evoluce v aplikacích umělé inteligence

David Čunek



Abstrakt

Cílem této práce bylo ověřit shodu Darwinovy teorie evoluce oproti modelům známých z umělé inteligence. Jako vhodné modely byly vybrány buněčné automaty, protože jejich smyslem je simulace života.

Jako první bylo třeba odpovědět na otázku, odkud život vlastně povstává. V první a druhé kapitole bylo zjištěno, že existuje vztah mezi komplexitou a uspořádáním systému a vznikem života. V komplexních systémech po počáteční fázi chaosu vzniká samoorganizací řád. Tento řád nevykazuje známky nestability, protože po jeho narušení a vzniklém chaosu má systém vůli se znovu uspořádat.

V třetí kapitole bylo zjištěno, že k vytvoření druhů dojde až po určité míře komplexity pravidel, na kterých tento řád stojí. Bylo rovněž zjištěno, že vyskytuje-li se v systému více druhů, vedou mezi sebou jistou analogii konkurenčního boje. Rovněž bylo ověřeno, že jakýkoliv zásah do pravidel, na kterých tento systém stojí, může vést k nevratným degenerativním změnám.

V poslední čtvrté kapitole bylo zjištěno, že nutnou podmínkou evoluce jsou mutace genetických informací. Jedině tak se může organismus přizpůsobovat měnícím se podmínkám prostředí a lépe obstát v konkurenci. Selekcí výběr organismů provádí sama příroda. V případě buněčných automatů je tento proces simulován programem v souladu s Darwinovou teorií evoluce.

Poslednímu evolučnímu principu vyhovoval ovšem pouze buněčný automat známý jako „evoluční smyčka“ Hiroki Sayamy, založený na automatu Chrise Langtona.

.

Úvod

Cílem této práce je poukázat na společné rysy mezi Darwinovu evoluční teorií a metodami používanými v umělé inteligenci. Práce se snaží objasnit úlohu evoluce v komplexních systémech jako je ekonomie, biologie, neurologie a jejich modely, reprezentovanými prostředky umělé inteligence. Ústředním tématem je komplexita¹ zdánlivě jednoduchých problémů, při jejichž řešení selhávají tradiční postupy řešení.

Práce se zejména zabývá otázkami vzniku organismů v komplexních systémech a konkrétními příčinami vzniku života. Dále jsou diskutovány jednotlivé principy Darwinovy teorie evoluce, které jsou verifikovány oproti modelům známých z umělé inteligence, zejména oproti buněčným automatům.²

Komplexní systémy

Odpověď na otázku, co má společného lidský mozek, rozdělení bohatství ve společnosti, vývoj člověka a vesmíru je, že vztahy, které vedly k jejich utváření jsou natolik složité, že jejich popis tak, aby skutečně odráželi realitu, se jeví jako nemožný úkol.

Je třeba si uvědomit, že tyto vztahy nejsou produktem lidské činnosti, nýbrž vznikaly po dlouhou dobu evolučně samoorganizačními procesy. Jakákoliv myšlenka, že se nám jednoho dne podaří tyto vztahy postihnout v soustavě nějakých rovnic a utvořit tak univerzální modely odrážející skutečnou realitu komplexních systémů, je mylná.

Přesto se o to dnes a denně pokoušíme. Hledáme vztahy mezi mikročásticemi v domnění, že tímto odhalíme tajemství vesmíru. Hledáme vztahy mezi neurony v mozku v domnění, že odhalíme podstatu člověka. Tímto přístupem, označovaným také jako „přístup zdola“, jsme se ale nedostali blíže k poznání člověka a vesmíru. Dostali jsme se pouze k tomu, že rozumíme tomu, co se děje na nejnižší úrovni.

Překážkou v našem porozumění těmto systémům je právě jejich komplexita, kterou nelze postihnout žádným modelem. Musíme vždy brát v úvahu, že model je jakési zjednodušení reálných vztahů. Toto zjednodušení bývá v mnoha případech natolik drastické, že je jejich aplikace v reálných podmínkách nemožná.

Neproniknutelnou hráz komplexity je možné obejít „přístupem shora“, kdy místo toho, abychom se zaměřili na popis vztahů na nejnižší úrovni, naopak hledáme souvislosti mezi emergencí jevů vyvstávajících v komplexních systémech. Tento fenomenologický³ přístup využívá empirických dat a stochastickými metodami je schopen vytvářet modely, ve kterých je možné předikovat určité stavy systému.

¹ Wikipedia, Complexity, online: <http://en.wikipedia.org/wiki/Complexity>

² Wikipedia, Cellular automaton, online: http://en.wikipedia.org/wiki/Cellular_automata

³ Wikipedia, Fenomenologie, online: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Fenomenologie>

Je vhodné zdůraznit, že tento přístup respektuje komplexitu systému tím, že bere v úvahu jeho předchozí vývoj. Bere se v úvahu, jakými evolučními změnami systém procházel a z toho se usuzuje na jeho pravděpodobný vývoj. Nicméně k plnému pochopení komplexních vztahů v systému také nevede, protože popisuje pouze systém tak jak se jeví „shora“.

Je jisté, že za dramaticky změněných okolností na nejnižší úrovni nebude model reálně aplikovatelný. V další kapitole si ukážeme jak komplexita vzniká, a že i drobná změna „pravidel“ na nejnižší úrovni může vést k dramaticky rozdílnému chování celého systému.

Emergence komplexity

Emergence komplexity v evolučních systémech je fenomén, při kterém dochází k vytváření mnoha komplikovaných vztahů, které se dopředu nedají předvídat. Warren Weaver dokonce předpokládá, že komplexita systému je stupeň obtížnosti predikce vlastností systému, jestliže jsou dány vlastnosti jeho částí.⁴ Podle Weavera se komplexita vyskytuje ve dvou podobách, uspořádaná a neuspořádaná komplexita.⁵

Zdrojem neuspořádané komplexity je velký počet částí systému a nedostatek korelace mezi jednotlivými elementy. Neexistuje žádný konsensus o tom, co je zdrojem uspořádané komplexity. Přesto lze předpokládat, že jím bude dobrá korelace mezi elementy systému. V systému tvořeném elementy, které se vzájemně neovlivňují nelze předpokládat, že dojde k nějakým evolučním změnám.

Rozdíl mezi uspořádanou a neuspořádanou komplexitou si lze předvést i na systému s velmi jednoduchými pravidly. Tento příklad je známý jako Langtonův mravenec⁶ a jedná se o buněčný automat,⁷ který je jakousi simulací života v konečném prostoru složeném z čtverců. Po prostoru se pohybuje „mravenec“, který jej upravuje k obrazu svému, přičemž dodržuje následující pravidla:

- 1) na černém čtverci se otoč o 90° doprava, přepni barvu čtverce, pohni se dopředu



Obrázek 1: Trajektorie Langtonova mravence po 11000 krocích

⁴ Wikipedia, Complexity, online: <http://en.wikipedia.org/wiki/Complexity>

⁵ Weaver, Warren (1948), "Science and Complexity", American Scientist 36: 536 (Retrieved on 2007-11-21.)

⁶ Wikipedia, Langton's ant, online: http://en.wikipedia.org/wiki/Langton's_ant

⁷ Wikipedia, Cellular automaton, online: http://en.wikipedia.org/wiki/Cellular_automata

- 2) na bílém čtverci se otoč o 90° doleva, přepni barvu čtverce, pohni se dopředu

Zajímavé je, že ze začátku se mravenec chová velmi chaoticky. Přestože v prostoru vytvoří velké množství složitých tvarů, nelze v nich vysledovat žádný řád. Po určitém čase se ale jeho trajektorie ustálí a začne vytvářet pravidelné uspořádané struktury.

Příklad naznačuje, že po překročení určité hranice complexity, systém tíhne k samouspořádání. K tomuto se přiklání i John von Neumann,⁸ který píše: „Tento fakt, že komplikovanost, stejně jako uspořádanost pod minimální úrovní vede k degeneraci, a nad touto úrovní dokáže sebe sama udržovat a dokonce zesilovat, bude jistě hrát významnou roli v každé příští teorii těchto jevů.“

John von Neumann má však na mysli jiné automaty. Stroje schopné se sami reprodukovat, které díky mutacím umožní v průběhu času vznik složitějších organismů, u kterých v prostředí s omezenými zdroji dojde k selekčnímu tlaku, který povede k čemusi na způsob darwinovské evoluce.

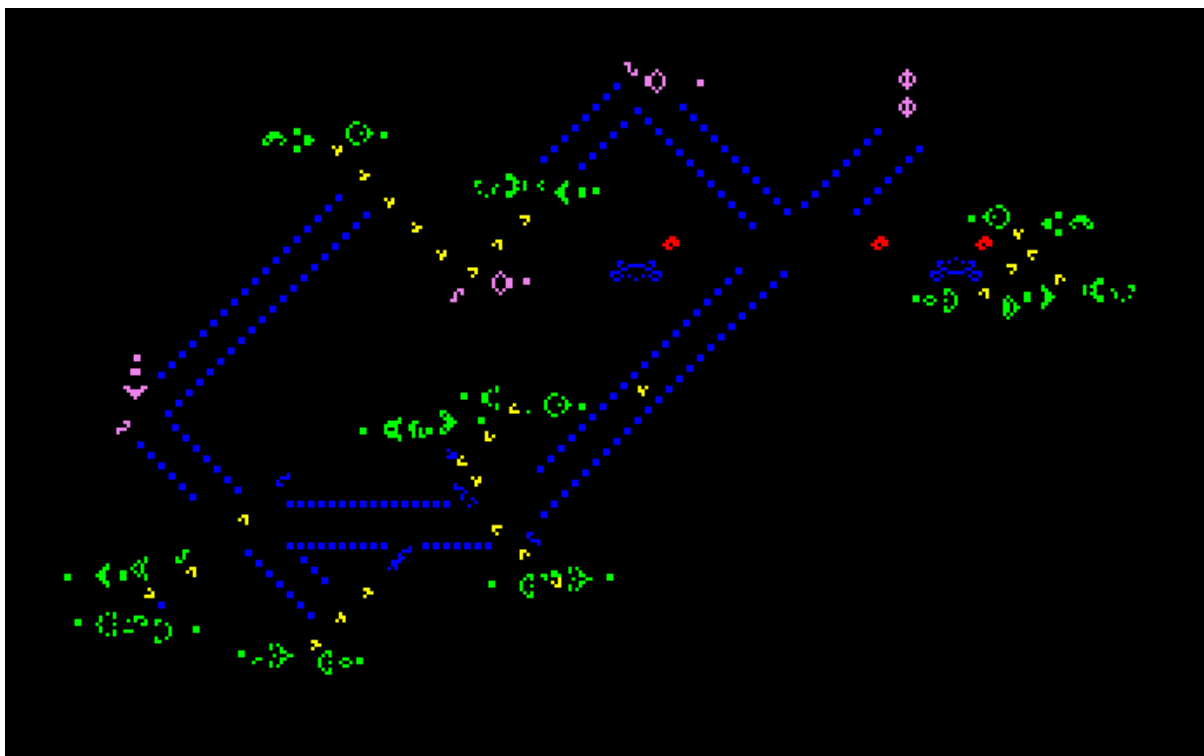
Vznik druhů

Jednoduchý příklad buněčného automatu už byl představen o kapitulu výše. Bylo v něm prokázáno, že komplexita je východiskem pro vznik spontánního řádu. Výše uváděný příklad má však jednu chybu, a sice že struktura, na které se systém stabilizuje, je vždy stejná. Ať už bude výchozí pozice mravence jakákoliv, vždy se vytvoří ta samá struktura, která se pravidelně (po 104 krocích) opakuje. Podle Darwinovy evoluční teorie bychom spíše předpokládali, že za různých podmínek vzniknou různé formy života.

Podíváme se jak tyto naše očekávání naplňuje snad nejznámější buněčný automat „Hra života“⁹ matematika Johna Conwaye. Jedná se o stejný typ buněčného automatu jako v předchozím případě. Zajímavé ovšem je, že pouhou drobnou úpravou pravidel dosáhl vzniku různých druhů „organismů“, které mezi sebou reagují a vzájemně se ovlivňují. Tyto tvary dostaly i svá jména jako Kluzák, Žába a Loď.

⁸ Wikipedia, John von Neumann, online: http://cs.wikipedia.org/wiki/John_von_Neumann

⁹ Wikipedia, Conway's Game of Life, online: http://en.wikipedia.org/wiki/Conway's_Game_of_Life



Obrázek 2: Conwayova „Hra života“

Tyto „organismy“ jsou schopny produkovat další (jiné) organismy, zatímco jiné organismy hubí ostatní organismy. Některé organismy se pohybují, jiné ne a některé ovlivňují pohyb jiných organismů. Zdá se tedy jako by prostor skutečně žil svým vlastním životem. Do jisté míry je tento život i v souladu s Darwinovou teorií evoluce.

Vždyť přeci struktury přizpůsobují svůj tvar takovým způsobem, aby zůstaly naživu. Každá buňka struktury je ovlivňována okolními, které nevyhnutelně vedou k její smrti přežití nebo zrození nové buňky. Protože k této selekci dochází čistě na základě hustoty okolních buněk, jedná se tedy o jakýsi druh konkurenčního boje o prostor.

Dalo by se tedy říci, že tento buněčný automat respektuje teorii o přirozeném výběru, protože v procesu vývoje „života“ v tomto automatu dochází k selekci jednotlivých druhů na základě jejich charakteristik. Charakteristiky přitom můžeme uvažovat na nejnižší úrovni – tj. úrovni buněk, nebo na nejvyšší úrovni – tj. úrovni organismů, které buňky vytváří. Na nejnižší úrovni mají buňky tendenci se shlukovat a množit, pokud je jich ale moc, nemají zdroje se dále množit a hynou. To, zdali se buňka nachází ve správný čas ve správném prostředí, je jediná charakteristika, která určuje její přežití.

Nabízí se řada analogií v reálném světě, kde přirozený výběr funguje podobným způsobem. Pokud se rostlinám podaří vyrůst na místě, kde je pro ně nevhodná teplota nebo vlhkost, také postupně hynou. Pokud se zvíře vyskytuje na území predátorů, dochází k jejímu úbytku a může postupně vyhynout. Organismy reálného světa však mají účinnou zbraň, jak čelit měnícím se podmínkám prostředí. A tím jsou mutace, kterým se budu věnovat v následující kapitole.

Ještě bych rád připomenul, že z poměrně jednoduché charakteristiky pro přežití buňky vznikají další charakteristiky (na vyšší úrovni) pro organismy, které buňky vytváří. Je to například možnost se pohybovat, ovlivňování chování jiných struktur a vytváření dalších struktur nebo jejich zničení. Tyto charakteristiky vyvstaly až z komplexity celého systému, přestože na nejnižší úrovni se jedná pouze o jednoduché pravidlo.

Pokud bychom se snažili upravit pravidla chování na nejnižší úrovni, je velmi pravděpodobné, že jejich změnou dojde ke kolapsu celého systému. Organismy buďto vyhynou nebo celý prostor obsadí pouze jeden z nich. Domnívám se, že citlivost na změny parametrů na nejnižší úrovni je společná jak pro tyto systémy, tak i pro systémy reálného světa jako je ekonomie, politika, sociologie, psychologie a neurologie.

Toto tvrzení podporují i někteří liberální¹⁰ filosofové, kteří se domnívají že by se nemělo uměle zasahovat do pravidel, na kterých stojí komplexní systémy jako je ekonomie nebo sociologie. Podle Friedricha Hayeka¹¹ jsme ve svém jednání omezeni pravidly, jejichž účel nebo původ často neznáme a jejichž samotné existence si často nejsme vědomi. Otázkou je jak tedy můžeme ovlivňovat něco, čemu nejsme sami schopni dokonale porozumět.

Mutace druhů

V předchozí kapitole jsme ukázali, že z poměrně jednoduchých pravidel mohou povstávat složitější druhy. Vadou na kráse předchozího příkladu ovšem je, že počet organismů, které se v něm vytváří, je konečný. Po určitém počtu kroků se „svět“ této hry na život ustálí v podobě, ve které dochází už pouze k cyklickým změnám.

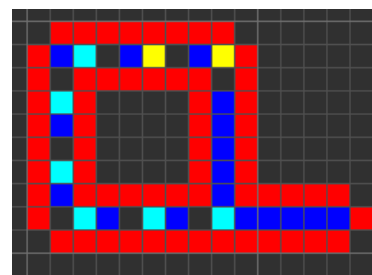
Toto je v ostrém rozporu s Darwinovou teorií evoluce, která předpokládá, že ke změnám dochází kontinuálně prostřednictvím změn v reprodukci organismů. Vychází z toho, že organismy nejsou zcela neměnné, že rámcově dědí vlastnosti svých rodičů.

¹⁰ Wikipedia, Liberalismus, online: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Liberalismus>

¹¹ Wikipedia, Friedrich Hayek, online: http://cs.wikipedia.org/wiki/Friedrich_Hayek

Naše znalosti v této oblasti rozšířil až vznik genetiky¹² jako vědní disciplíny, která nás obdařila poznatky, které ani Charles Darwin nemohl mít k dispozici v roce 1859, kdy vydal svou slavnou knihu, která se zkráceně nazývá *O původu druhů*.¹³ Této vědní disciplíně se nebudu podrobněji věnovat, uvedu pouze, že základním poznatkem z oblasti genetiky je, že každý organismus obsahuje genetickou informaci, která se přenáší z rodiče na potomka. Tyto informace determinují konkrétní charakteristiky organismu a nepřenášejí se zcela přesně. Dochází v nich k náhodným změnám nebo k jejich křížení. Tyto změny se označují jako mutace.

Asi před dvěma lety jsem našel stránku¹⁴ Hiroki Sayama, kterému se podařilo vyvinout strukturu, která se mění interakcí s dalšími strukturami a vyvíjí se do nových druhů. Tento jev je podrobněji popsán v jeho disertaci.¹⁵ Jedná se v podstatě o rozšíření Langtonových smyček,¹⁶ což je specifický druh „organismu-buňky“ žijící v osmistavovém buněčném automatu a obsahující jak genotyp (genetickou informaci), tak i fenotyp (tělo buňky). Buňka obsahuje dva geny. Modrý gen obsahuje informaci o růstu ramena a žlutý gen informaci o jeho ohýbání. Genetické informace v buňce rotují a při kontaktu s ramenem jej prodlužují a ohýbají až dojde k vytvoření identické buňky. Celý rozmnožovací cyklus Langtonovy smyčky uvádím v příloze.



Obrázek 3: Langtonova smvčka

Sayama dokázal tuto strukturu jemně modifikovat tak, aby byla schopná mutace. Toto dosáhl rozšířením na devět stavů a jemnou modifikací přechodových pravidel. Takto modifikovaná smyčka je schopna vytvářet nejenom své vlastní identické kopie, ale při interakci jinou strukturou je schopná přenést do ní část své genetické informace. Po přenosu genetické informace vznikají jiné (často menší) struktury, které se lépe vyrovnávají s nedostatkem prostoru.



Obrázek 4: Sayamova evoluční smyčka

Zajímavé je rovněž to, že nedochází ke konvergenci k určitému stavu, ale automat běží do nekonečna „buňky“ neustále

¹² Wikipedia, Genetika, online: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Genetika>

¹³ Charles Darwin, O vzniku druhů přírodním výběrem, neboli uchováním prospěšných plemen v boji o život

¹⁴ Hiroki Sayama, Evoloop, online: <http://necci.org/postdocs/sayama/sdsr/index.html>

¹⁵ Hiroki Sayama, Constructiong evolutionary systems on a simple deterministic cellular automata space

¹⁶ Wikipedia, Langton's Loops, online: http://en.wikipedia.org/wiki/Langton's_loops

vznikají a zanikají, soupeří o prostor, vytvářejí se nové tvary a nejsme schopni nalézt opakující se vzor „světa-prostoru“, přestože se jedná o striktně deterministický¹⁷ automat.

Buňky jsou sice bezpohlavní, takže nemůže být ani řeč o pohlavním výběru formulovaném Darwinem (i když existují také smyčky, které tuto podmínku respektují), nicméně i v přírodě existují druhy, které jsou schopny samoreprodukce.

Smyslem tohoto příkladu je poukázat na to, že skutečná evoluce se nemůže odehrávat bez mutací v genetických informacích určujících chování organismu. Mutace zajišťují náhodné změny organismu, které v prostředí, ve kterém organismy soupeří o zdroje, determinují kdo zůstane na živu a kdo zemře.

Stejně tak jako se v tomto příkladu vyskytují častěji organismy menší, které mají lepší schopnost přežít v omezeném prostoru, stejně tak se i reálném světě častěji vyskytují pozitivní mutace zaručující přežití toho, kdo je schopen se lépe přizpůsobit.

Vyskytují se samozřejmě i negativní mutace; koneckonců i v tomto příkladě se občas vyskytne neobvykle velká buňka, která ovšem rychle zahyne, protože není schopna přežít v daném prostředí. Podobně je tomu i v živých organismech, kdy při degenerativní mutaci nemá organismus mnoho šancí prosadit se v konkurenci ostatních druhů a nebo není schopen se přizpůsobit prostředí.

O to, kdo přežije a kdo, ne se stará příroda sama prostřednictvím přírodního výběru.¹⁸ V buněčných automatech se o to sice stará počítačový program, nicméně stavěný tak, aby dodržoval principy přírodního výběru. Evoluční smyčky navržené Hirokou Sayama na základech smyček Chrise Langtona, tak plně respektují Darwinovu evoluční teorii a jsou v současnosti asi nejlepší ukázkou shody principů formulovaných Darwinem aplikovaných v buněčných automatech.

Závěr

Cílem této práce bylo ověřit shodu Darwinovi teorie evoluce oproti modelům známým z umělé inteligence. Jako vhodné modely byly vybrány buněčné automaty, protože jejich smyslem je simulace života.

Jako první bylo třeba odpovědět na otázku, odkud život vlastně povstává. V první a druhé kapitole bylo zjištěno, že existuje vztah mezi komplexitou a uspořádáním systému a vznikem života. V komplexních systémech po počáteční fázi chaosu vzniká samoorganizací řád. Tento řád nevykazuje známky nestability, protože po jeho narušení a vzniklém chaosu má systém tendenci se znovu uspořádat.

¹⁷ Wikipedia, Determinismus, online: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Determinismus>

¹⁸ Wikipedia, Přírodní výběr, online: http://cs.wikipedia.org/wiki/P%C5%99irozen%C3%BD_v%C3%BDb%C4%9Br

V třetí kapitole bylo zjištěno, že k vytvoření druhů dojde až po určité míře komplexity pravidel na kterých tento řád stojí. Bylo rovněž zjištěno, že jestliže se v systému vyskytuje více druhů, vedou mezi sebou jistou analogii konkurenčního boje. Rovněž bylo ověřeno, že jakýkoliv zásah do pravidel, na kterých tento systém stojí, může vést k nevratným degenerativním změnám.

V poslední čtvrté kapitole bylo zjištěno, že nutnou podmínkou evoluce jsou mutace genetických informací. Jedině tak se může organismus přizpůsobovat měnícím se podmínkám prostředí a lépe obstát v konkurenci. Selektční výběr organismů provádí sama příroda. V případě buněčných automatů je tento proces simulován programem v souladu s Darwinovou teorií evoluce.

Poslednímu evolučnímu principu vyhovoval ovšem pouze buněčný automat známý jako Evoluční smyčka Hiroki Sayamy, založený na automatu Chrise Langtona.

Bibliografie

Coveney, Peter; Highfield, Roger; Mezi chaosem a řádem: Hranice komplexity: hledání řádu v chaotickém světě; Mladá Fronta; Praha 2003; ISBN 80-204-0989-0

Hynek, Josef; Genetické programování a genetické algoritmy; Grada; Praha 2008; ISBN 978-80-247-2695-3

Anzenbacher, Arno; Úvod do filosofie; Portál; Praha 2004; ISBN 80-7178-804-X

Pavlík, Ján; F. A. Hayek a teorie spontánního řádu; Professional Publishing; Praha 2004; ISBN 80-86419-57-6

Markoš, Anton; Kelemen, Josef; Berušky, andělé a stroje; Dokořán; Praha 2004; ISBN 80-86559-1

Barabási, Albert-László; V pavučině sítí; Paseka; Praha 2005; ISBN 80-7185-751-3

Internetové zdroje

Wikipedia, Complexity, online: <http://en.wikipedia.org/wiki/Complexity>

Wikipedia, Langton's ant, online: http://en.wikipedia.org/wiki/Langton's_ant

Wikipedia, Cellular automaton, online:

http://en.wikipedia.org/wiki/Cellular_automata

Wikipedia, John von Neumann, online:

http://cs.wikipedia.org/wiki/John_von_Neumann

Wikipedia, Conway's Game of Life, online:

http://en.wikipedia.org/wiki/Conway's_Game_of_Life

Wikipedia, Liberalismus, online: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Liberalismus>

Wikipedia, Friedrich Hayek, online:

http://cs.wikipedia.org/wiki/Friedrich_Hayek

Wikipedia, Genetika, online: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Genetika>

Hiroki Sayama, Evoloop, online:

<http://necsi.org/postdocs/sayama/sdsr/index.html>

Hiroki Sayama, Constructiong evolutionary systems on a simple deterministic cellular automata space, online:

<http://necsi.org/postdocs/sayama/sdsr/index.html#phd>

Wikipedia, Langton's Loops, online:

http://en.wikipedia.org/wiki/Langton's_loops

Wikipedia, Determinismus, online: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Determinismus>

Wikipedia, Charles Darwin, online:
http://cs.wikipedia.org/wiki/Charles_Darwin

David Čunek, Langton Loops – Applet, online: <http://gapa.own.cz/>