

UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY

EXPERIMENTY S AUTOPOIETICKÝMI SYSTÉMAMI

2011

Erik Melicher

UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY

EXPERIMENTY S AUTOPOIETICKÝMI SYSTÉMAMI
Bakalárska práca

Študijný program :	aplikovaná informatika
Študijný odbor:	9.2.9 aplikovaná informatika
Školiace pracovisko:	Katedra aplikovanej informatiky
Školiteľ:	Mgr. Pavel Petrovič, PhD.

2582133b-ef1b-4c58-8dd7-fbfae7fd5ef3

Bratislava 2011

Erik Melicher



Univerzita Komenského v Bratislave
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky

ZADANIE ZÁVEREČNEJ PRÁCE

Meno a priezvisko študenta: Erik Melicher
Študijný program: aplikovaná informatika (Jednoodborové štúdium, bakalársky I. st., denná forma)
Študijný odbor: 9.2.9. aplikovaná informatika
Typ záverečnej práce: bakalárska
Jazyk záverečnej práce: slovenský

Názov: Experimenty s autopoietickými systémami

Cieľ: Preštudovať existujúce práce umelého života na tému autopoiesis, spracovať prehľad, navrhnúť a implementovať vlastný model, zhodnotiť jeho vlastnosti a porovnať s pradávajúcimi modelmi.

Vedúci: Mgr. Pavel Petrovič, PhD.

Dátum zadania: 20.05.2010

Dátum schválenia: 06.05.2011

(*) doc. RNDr. Mária Markošová, PhD.
garant študijného programu

(*) študent

vedúci

Ďakujem Mgr. Pavlovi Petrovičovi PhD. za odborné vedenie, užitočné rady a postrehy, ktoré mi poslúžili ako podklad pri realizácii praktickej i teoretickej časti mojej bakalárskej práce. Ďalej by som rad poďakoval Petrovi Bajzovi za poskytnutie "coder-friendly" prostredia, rady a nápady pri tvorbe kódu.

Čestne prehlasujem, že túto bakalársku prácu som vypracoval samostatne len s použitím uvedenej literatúry.

Bratislava 3.6.2011

.....

Erik Melicher

Abstrakt

MELICHER, Erik: *Experimenty s autopoietickými systémami* [bakalárska práca]. Univerzita Komenského v Bratislave. Fakulta matematiky, fyziky a informatiky. Katedra aplikovanej informatiky. Odbor aplikovaná informatika. Školiteľ: Mgr. Pavel Petrovič, PhD. Bratislava 2011, X strán. Stupeň kvalifikácie: bakalár.

Táto práca sa zaoberá analyzovaním umelého života, ktorý vychádza zo života reálneho, za prítomnosti metód autopoiesis. Návrhom vlastného modelu umelého života a implementáciu navrhnutých algoritmov. Výsledkom práce je aplikácia, ktorá reprezentuje navrhnutý model.

klúčové slová: autopoiesis, umelý život

Abstract

MELICHER, Erik: *Experimenty s autopoietickými systémami* [bachelor thesis]. Comenius University in Bratislava. Faculty of Mathematics, Physics and Informatics. Department of applied informatics. Bachelor thesis supervisor: Mgr. Pavel Petrovič, PhD. Bratislava 2011, X pages. Qualification degree: bachelor.

This work deals with analysis of artificial life, which is based on real life, in the presence of autopoiesis methods. Designing of own artificial life model and implementation of the suggested algorithms. The result is an application that represents the proposed model.

Key words: autopoiesis, artificial life

Predhovor

Život ako taký je nesporne zaujímavá téma. Preto sa ho ľudstvo už po generácie snaží napodobniť a stvoriť vlastný. Jednou z ciest je počítačový model a tomu sa v tejto práci venujem. Snahou o vytvorenie nového života sa učíme chápať ten súčasný a minulý a zároveň nám ponúka možnosť pozrieť sa dopredu a vykonávať rôzne experimenty. Výsledky takýchto testov sú presnejšie, lebo je možné odstrániť vplyv prostredia a rôznymi podmienkami ošetriť vplyvajúce faktory. A preto si myslím, že rozvíjanie umelého života je veľmi osožné pre výskum a ľudstvo samotné.

Obsah

Abstrakt	6
Abstract.....	7
Predhovor	8
1. Úvod	10
2. Analýza	13
3. Návrh	21
4. Záver.....	32
5. Použitá literatúra.....	33
6. Prílohy	34

1.Úvod

Motivácia a Ciele

Umelý život nachádzame už v antických legendách a mýtoch. Tento fenomén nie je neznámy ani v našich končinách. Nepoznám asi nikoho, kto by nepoznal klasickú rozprávku Cisárov pekár, v ktorej vystupoval hlinený golém.

Umelý život, ktorému je venovaná táto práca, si kladie oveľa nižšie, reálnejšie ciele. Je ním napodobnenie života na jeho najjednoduchšej báze, báze jednobunkových organizmov, čo chcú dosiahnuť nie rozdelením komplexného systému na čo najelementárnejšie procesy, ale postupom práve opačným, teda z malých častí poskladať väčší celok.

Téme sa v súčasnej dobe venuje mnoho odborníkov, medzi nimi informatici, matematici, fyzici, biológovia, filozofi, či antropológovia. Napriek rôznym prístupom sú na špičke vývoja informatici a biológovia, ktorí zaznamenali zatiaľ najvýznamnejšie úspechy.

Popri tvorbe umelého života nachádzame hlbšie spojitosti medzi aspektami reálneho života.

Umelý život nachádza uplatnenie pri simulácií rôznych testov, ktorých výhodou je možnosť nastavenia faktorov ovplyvňujúcich výsledky daných pokusov. Hudbou budúcnosti sú umelé životné formy ako napr. syntetické bunky v tele, umelé neuróny, baktérie vytvorené za účelom posilnenia imunity a mnohé iné.

A preto si myslím, že rozvíjanie umelého života je veľmi osožné pre výskum a ľudstvo samotné.

Hlavnou motiváciou a zároveň výzvou je pre mňa napodobnenie života na strojovej platforme, umelej životnej formy, metabolizmu, množenia a smrti.

Mojim cieľom je preštudovať existujúce práce umelého života na tému autopoiesis, navrhnúť a implementovať vlastný model, zhodnotiť jeho vlastnosti a porovnať ho s predchádzajúcimi modelmi.

Štruktúra práce

Táto práca sa zaoberá štúdiom problematiky umelého života a autopoiesis ako aj návrhom riešenia vlastného modelu umelého života. Pozostáva z dvoch hlavných častí: kapitola Analýza a kapitola Návrh riešenia, každá z nich je rozdelená do podkapitol. Na konci práce sa nachádza zoznam použitej literatúry.

Analýza

Táto kapitola je venovaná rozboru predošlých prác a riešení, rovnako aj informáciám, ktoré som si našudoval a následne použil pri riešení tejto práce. Obsahuje 5 podkapitol.

Život

Obsahuje všeobecnú definíciu života

Umelý život

Vysvetľuje pojem umelý život a jeho delenie

Autopoiesis

Opisuje podmienky autopoietického systému a vysvetľuje tento mechanizmus

Minimalistický model

Venuje sa vysvetleniu tohto modelu, rozpisom jeho pravidiel (vzniku, pohybu a rozpadu častíc). Tiež opisuje jeho nevýhody

Okolia

Uvádza definície najčastejšie používaných okolí a to Moorovo, Von Neumanovo

Návrh riešenia

Táto kapitola sa delí na štyri podkapitoly. Je v nej napísaný postup, podľa ktorého by mali jednotlivé častice fungovať, spôsob ich vzniku, interakcie, ich spájania a zániku. Ďalej tu ukazujem zjednodušenú, ilustračnú deklaráciu použitých tried v pascalovskom syntaxe.

Vytvorenie priestoru

Ukazuje prvý krok, ktorý model vykoná.

Pohyb

Opisuje spôsob, akým sa častice pohybujú. Taktiež uvádza ktoré častice sú schopné pohybu a ktoré nie a špecifické vlastnosti pohybu niektorých častíc

Linky

Tu je opísaná schopnosť Linkov spájať s do reťazcov, je tu načrtnutá ako tento jav naprogramovať, ďalej sa tu hovorí aj o rozpade Linku a o efekte aký to má na reťazec, rovnako s načrtnutým kódom.

Bunka

Je tu vysvetlené čo je v mojom modeli považované za bunku, sú tu rozpísané podmienky ktoré musí spĺňať aby bunkou ostala, tiež sú tu uvedené podmienky za ktorých sa bunka rozvíja a zomiera. Pri všetkom je uvedený aj návrh samotného kódu.

2. Analýza

Život

Život je, podľa klasickej ešte starovekej definície, forma bytia živých bytostí. Aristoteles definoval život ako prítomnosť schopnosti samopohybu (tiež rastu a vnímania). Podľa Aristotela živé bytosti nesú svoj vlastný cieľ v sebe.

Moderní prírodovedci sa väčšinou zhodujú, že živé organizmy majú tieto (dynamické) vlastnosti:

- metabolizmus (schopnosť získavať energiu zo živín pre svoje životné pochody)
- schopnosť reprodukcie
- schopnosť mutácie (zmeny dedičnej informácie)
- individualizovanosť (jasná oddelenosť od okolia)
- možnosť rastu, diferenciácie
- prípadne aj sila aktívne odpovedať na zmeny prostredia

Umelý život

Umelý život je odbor, ktorý skúma systémy súvisiace so životom, jeho procesy a vývoj prostredníctvom simulácie s použitím počítačových modelov, robotiky a biochémie. Umelý život napodobňuje tradičnú biológiu.

Termín zaviedol americký programátor a vedec Christopher Langton v roku 1986.

Existujú tri hlavné druhy umelého života:

- soft - Ide o software. Je najmenej imitovaný. Výstupom je počítačová simulácia. V jeho implementácii nachádzame bunkové automaty, evolučné algoritmi, multiagentové systémy, neurónové siete, a pod. Využíva sa hlavne na výskum, na testy ktoré by v bežnom biologickom systéme neboli možné, alebo na odstránenie niektorých vplyvov okolia z nich.

- hard - Ide o hardware. Je obmedzený schopnosťami stroja. Používa rôzne senzory, motory a ďalšie zariadenia.
Už v súčasnosti má uplatnenie ako vo výskume a armáde, tak aj v súkromnom sektore.
- wet - Z pohľadu biochémie. Je to snaha vedcov replikovať súčasné alebo minulé molekuly, prip. vytvoriť nový, vlastný, funkčný systém, pomocou organických látok.
Využitie nachádza hlavne v biológii a medicíne.

Autopoiesis

Termín zaviedli biológovia Humberto Maturana a Francisco Varela v roku 1972:

Autopoietický mechanizmus je mechanizmus organizovaný ako sieť procesov produkcie (transformácia a likvidácia) z komponentov, ktoré sa prostredníctvom ich interakcie a transformácie neustále regenerujú a realizujú sieť procesov, ktoré ich vytvárajú.

Autopoietický systém spĺňa podmienky:

- Existuje hranica medzi ním a okolitým svetom
- Udržiava si funkčnosť, kým nezahynie
- Metabolizuje - vymieňa si látky s okolím a premieňa ich na svoje súčasti.

Tieto systémy majú najbližšie k jednobunkovým organizmom. Hranica, ktorá ich oddeľuje od okolitého sveta sa nazýva membrána. Cez túto membránu prebieha aj výmena látok s prostredím. Pohlté látky sa v bunke premieňajú na nukleové kyseliny, proteíny a iné látky potrebné na funkciu bunky, prípadne jej stavebný materiál.

Podmienky autopoietického systému v roku 1974 rozšírili Maturana, Varela a Uribe:

- Identifikovateľné hranice
- Viacero častíc tvoriacich jeden celok
- Mechanistický systém
- Automatická tvorba hraníc
- Produkcia komponentov hraníc
- Produkcia zvyšných komponentov

Minimalistický model

Dvojrozmerný bunkový automat, pozostávajúci z častí: Substrat, Catalyst, Link a Hole. Prostredie je vyplnené časticami Hole, Substrat a niekoľkými Catalystmi. Zo Substratov za prítomnosti Catalystu vznikajú Linky ktoré sa s istou pravdepodobnosťou rozpadajú na 2 substraty sú aj navzájom spájajú, vytvárajú membrány. Tieto membrány sú priepustné len pre Substraty. Predpokladajme že okolo catalystu vzniká cyklická membrána. Táto membrána prepúšťa len Substraty. Teda Substrat z okolia sa dostane cez membránu dnu, kde z neho za prítomnosť Catalystu a ďalšieho Substratu vznikne Link. Pre Link je už membrána nepriepustná, ostane teda v bunke ako náhradná stavebná častica, pre prípad že by niektorý z Linkov tvoriacich membránu rozpadol a tým "zranil" bunku. Takýto model spĺňa podmienky autopoietického systému: má jasné hranice, medzi bunkou a okolím existuje látková výmena a bunka tvorí z prijatých častíc vlastný materiál.

Pravidla tohto modelu:

V tejto časti rozpišem 3 pravidlá 3 najpodstatnejších reakcií pôvodného minimálneho modelu navrhnutého Varelom a Maturanom. Sú to vznik, spájanie, rozpad a pohyb častíc.

Vznik:

Z definície, autopoieticky systém musí byť schopný tvorby svojich súčasti. V tomto minimálnom modeli sa tvoria jedine Linky. Ich vznik je vlastne syntéza 2 Substratov za prítomnosti Catalystu. Presnejšie rozpísané, ak sa v Moorovom okolí Catalystu nachádzajú navzájom dva susedne Substraty, dôjde k syntéze Linku. Bližšie je táto reakcia rozpísaná nižšie v odseku venovanom Linku.

Rozpad:

Tak ako v systéme častice vznikajú, musia aj zanikať. V tomto modeli opäť zanikajú len Linky.

Tvorba väzieb:

Väzby vznikajú medzi časticami Link, ich spojením vzniká membrána, ktorá je priepustná jedine pre častice Substrat. Ak je takáto membrána cyklická, môžeme ju považovať za bunku.

Pohyb:

Každá častica, okrem zapojeného Linku je schopná pohybu na voľné miesto. Jediná častica Substrat je schopná sa pohybovať na obsadenú pozíciu a aj to len v prípade ak je na obsadenej pozícii Link.

Substrat (S):

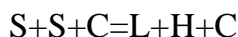
Je najzákladnejšou časticou systému, sama o sebe nemá žiadnu funkciu, okrem náhodného pohybu v priestore, ale za prítomnosti Catalystu (C) z nej vznikajú Linky (L). Pri spustení automatu je to najpočetnejšia častica.

Hole (H):

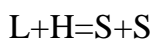
Už z názvu je skoro jasné že to je "necastica". Hole je prázdne miesto v našom systéme, miesto, ktoré neobsahuje žiadnu časticu. Hole sú dôležité pre pohyb, pretože častice sa môžu pohnúť len na voľné miesto, okrem substratov, ktoré sa môžu pohnúť aj na Link.

Link (L):

Vzniká z 2 Substratov za prítomnosti Catalystu. Keď sa v okolí catalystu nachádza substrat, ktorý susedí s ďalším substratom, vznikne na jednej z týchto pozícií Link a na druhej Hole.



Linky vytvárajú spojenia s ďalšími, susednými Linkami. Každý Link môže byť spojený s maximálne 2 susednými Linkami, no nemusí byť spojený so žiadnym. Nespojený Link je schopný pohybu v náhodnom smere. Spojené Linky strácajú možnosť pohybu. Linky sa s istou pravdepodobnosťou rozpadávajú, teda ak je v okolí Linku Hole ak táto pravdepodobnosť nastane, vznikne na mieste Linku Substrat a ďalší Substrat na pozícií Hole.



Catalyst(C):

Úloha Catalystu je určená už jeho názvom, catalyst = katalyzátor, teda nemenný urýchľovač reakcie. Jeho prítomnosť je nutná pri reakciách v tomto systéme, ale sám sa pri nich nijak nemení. Jeho funkcia už bola opísaná vo funkciách Linku. Táto častica je schopná náhodného pohybu, no nedokáže prechádzať membránou, ani samotným Linkom.

Nedostatky:

Systém neprodukuje všetky svoje súčasti, Catalysty v ňom nevznikajú ani nezanikajú. Sami autori však pripúšťajú nutnosť niektorých výnimiek.

Kvôli nedostatočným podmienkam spájania Linkov sa membrána ľahkú upcháva a tým zahubí bunku. Z hľadiska evolučných pokusov je nepoužiteľný, bunky nenesú žiadnu informáciu. Nie sú schopné delenia a ak by aj boli, nemajú akú informáciu odovzdať "potomkom".

Okolia

Okolie je pojem, pod ktorým sa skrýva pole susedov konkrétneho vrcholu (z teórie grafov), či bunky pola v našom prípade. Najčastejšie sa v podobných modeloch využívajú Von Neumannovo okolie, Moorovo okolie a Okolie na šesťuholníkovej mriežke

Von Neumannovo:

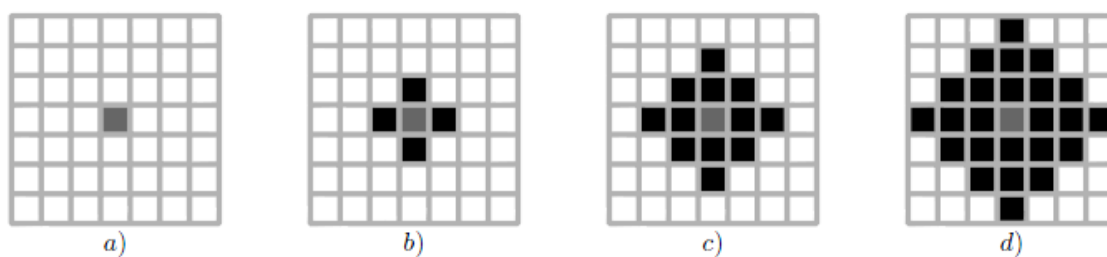
Von Neumannovo okolie má tvar piky. Susedov bunky $(x_0; y_0)$ pri vzdialenosti r , môžeme definovať nasledovne:

$$N_{(x_0, y_0, r)}^V = \{(x, y) : |x - x_0| + |y - y_0| \leq r\}$$

Počet susedov danej bunky pri vzdialenosti r je $2 \cdot r(r + 1) + 1$.

Pre $r = 0; 1; 2; 3; \dots$ platí, že počet susedov je: 1; 5; 13; 25; (Vid' obrázok 1)

Pod pojmom Von Neumannovo okolie sa často myslí okolie so vzdialenosťou $r = 1$. Vtedy sú Von Neumannovskými susedmi bunky umiestnené v najbližšom okolí a to bunka nad, pod, napravo a naľavo od pôvodnej bunky. (Vid' obrázok 1.b)



Obrázok 1. Von Neumannovo okolie so vzdialenosťou a) $r = 0$ b) $r = 1$ c) $r = 2$ d) $r = 3$

Moorovo:

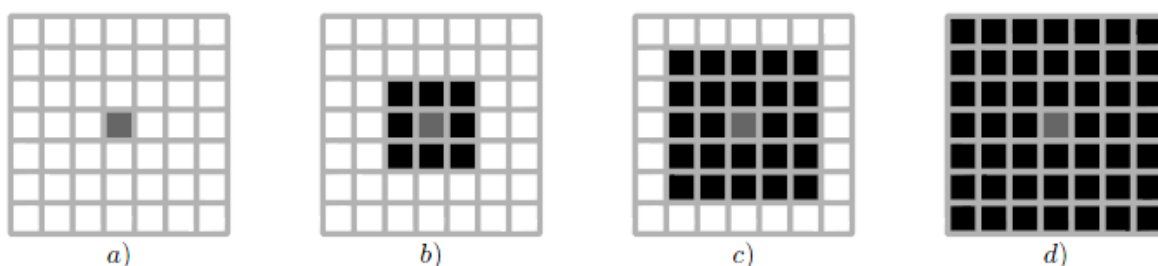
Ďalším často využívaným okolím je Moorovo okolie. Moorovo okolie má tvar štvorca. Susedov bunky $(x_0; y_0)$ pri vzdialenosti r , môžeme definovať nasledovne:

$$N_{(x_0, y_0, r)}^M = \{(x, y) : |x - x_0| \leq r, |y - y_0| \leq r\}$$

Počet susedov danej bunky pri vzdialenosti r je $(2r + 1)^2$.

Pre $r = 0; 1; 2; 3; \dots$ platí, že počet susedov je: 1; 9; 25; 49; ... (Vid' obrázok 2)

Niekedy sa pod Mooreovým okolím myslí okolie so vzdialenosťou $r = 1$, kedy má bunka za susedov všetky bunky, s ktorými ma spoločnú hranu alebo vrchol. (Vid' obrázok 2.b)



Obrázok 2. Moorovo okolie so vzdialenosťou a) $r = 0$ b) $r = 1$ c) $r = 2$ d) $r = 3$

Okolia na šesťuholníkovej mriežke:

V prácach na túto tému sa tiež využívajú okolia na šesťuholníkovej mriežke. Takýchto okolí je viacero.

Okolie six ktoré zahŕňa bunky:

$$N = ((0; 0); (0; -1); (1; -1); (1; 0); (0; 1); (-1; 1); (-1; 0)). \quad (\text{Vid' obrázok 3.a})$$

Okolie sar ktoré zahŕňa bunky:

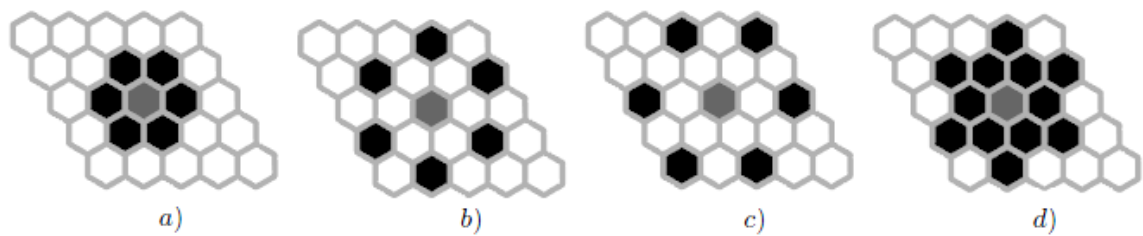
$$N = ((0; 0); (1; -2); (2; -1); (1; 1); (-1; 2); (-2; 1); (-1; -1)) \quad (\text{Vid' obrázok 3.b})$$

Okolie far ktoré zahŕňa bunky:

$$N = ((0; 0); (0; -2); (2; -2); (2; 0); (0; 2); (-2; 2); (-2; 0)) \quad (\text{Vid' obrázok 3.c})$$

Okolie star ktoré zahŕňa bunky:

$$N = ((0; 0); (0; -1); (1; -1); (1; 0); (0; 1); (-1; 1); (-1; 0); (1; -2); (2; -1); (1; 1); (-1; 2); (-2; 1); (-1; -1)) \quad (\text{Vid' obrázok 3.d})$$



Obrázok 3. Okolia na šesťuholníkovej mriežke a) *six* b) *sar* c) *far* d) *star*

3. Návrh

Priestor je reprezentovaný dvojrozmerným polom integerov. Nadobúda hodnoty:

0 - Hole

1 - Substrat

2 - Unbounded Link

6 - Catalyst

10+ - Bounded Link

Informácie o reťazcoch sú uložené v dynamickom poli: Array of Thing

Pričom platí (Zjednodušená definícia):

type

TLink = class

 x, y: Integer;

 Next, Mouth: TLink;

end;

List = record

 First, Last: TLink;

end;

Thing = record

 Membrane: List;

 Metabolism, Injuries: Byte;

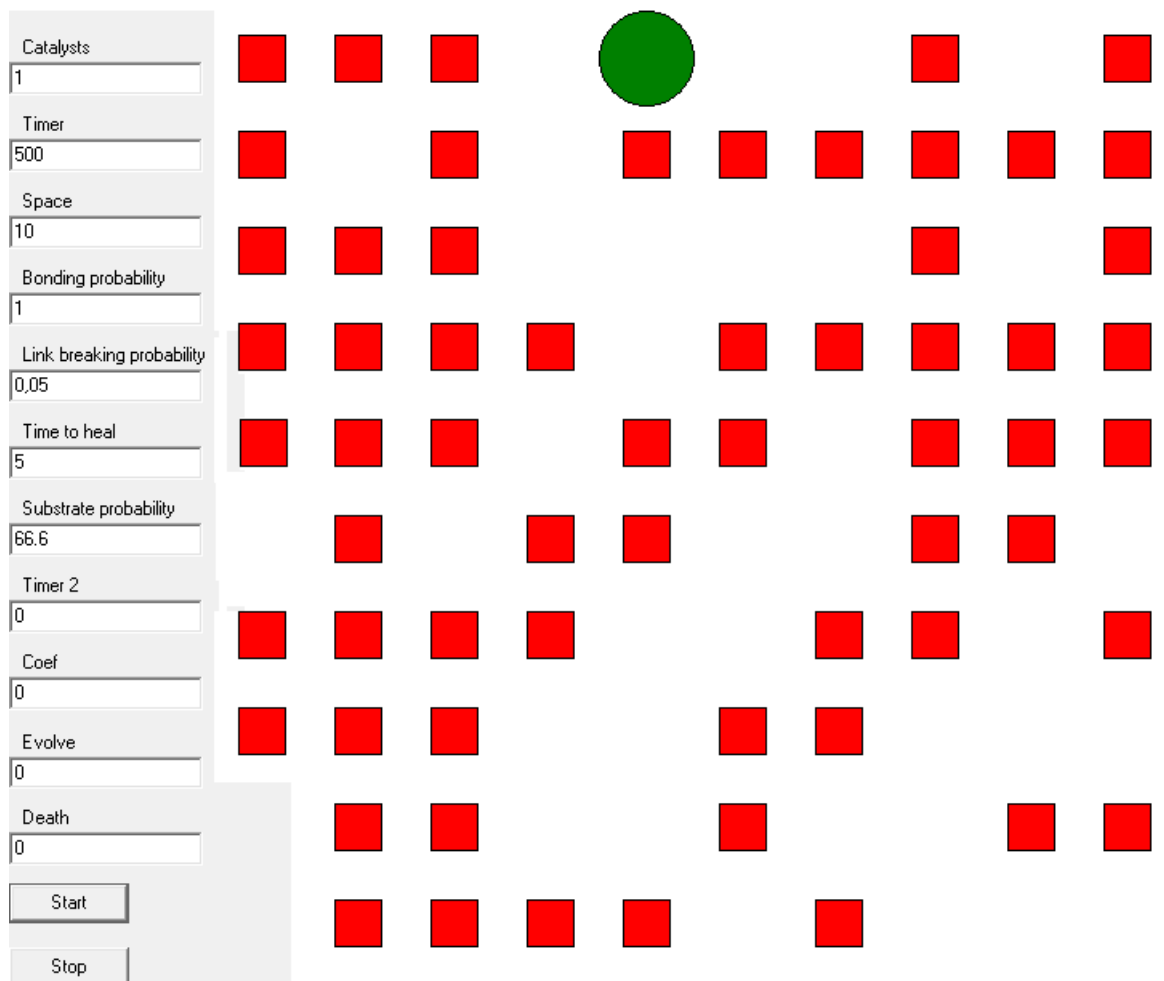
 Age, MetaState, InjState: integer;

end;

Index Thing-u v dynamickom poli + 10 (ak je index 0, tak $0+10=10$) je jeho ID pomocou ktorého môžeme identifikovať jeho súčasti v priestore (Príklad: Všetky políčka, ktoré majú hodnotu 15 patria Thing-u s ID 15 a teda jeho index v poli Thing-ov je 5). Tento prepočet bol zavedený aby ostalo aspoň 10 možností pre ostatné objekty (substrat, catalyst, ...).

Náhodne sa naplní dvojrozmerné pole hodnotami, reprezentujúcimi rôzne objekty. Spočiatku len Substratmi a voľnými plochami.

Následne sa v poli vytvorí zadaný počet katalyzátorov a nastaví sa timer.

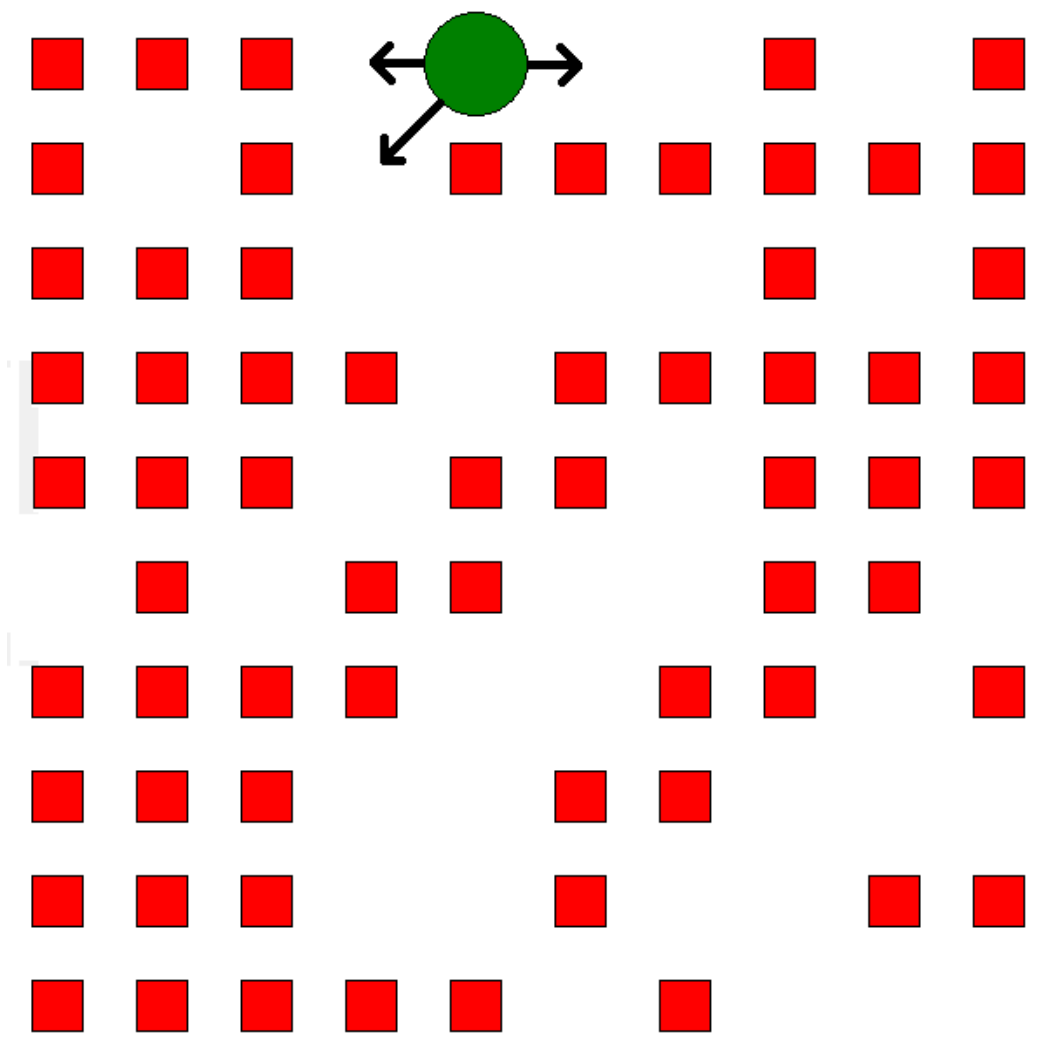


Obrázok 4. Novovytvorený priestor

Všetky pohyby sú vykonávané na rovnakom princípe. Sú medzi nimi len drobné rozdiely v závislosti od toho o aký objekt ide. Náhodne vyberiem súradnice, jedného zo susedných políčok, ak je toto políčko prázdne tak sa tam presuniem. Na pôvodnom mieste ostane "diera". Ak bude náhodne zvolené políčko naplnené

niečím iným, nič nevykonám. Údaj o posunutí sa uloží do pohybového pola, v ktorom sú záznamy a krokoch vykonaných v danom kole, aby jeden element neurobil, za jedno kolo viac krokov. Pre Catalysty a Unbound Linky nie sú nutne ďalšie podmienky. Bounded Linky sú nepohyblivé.

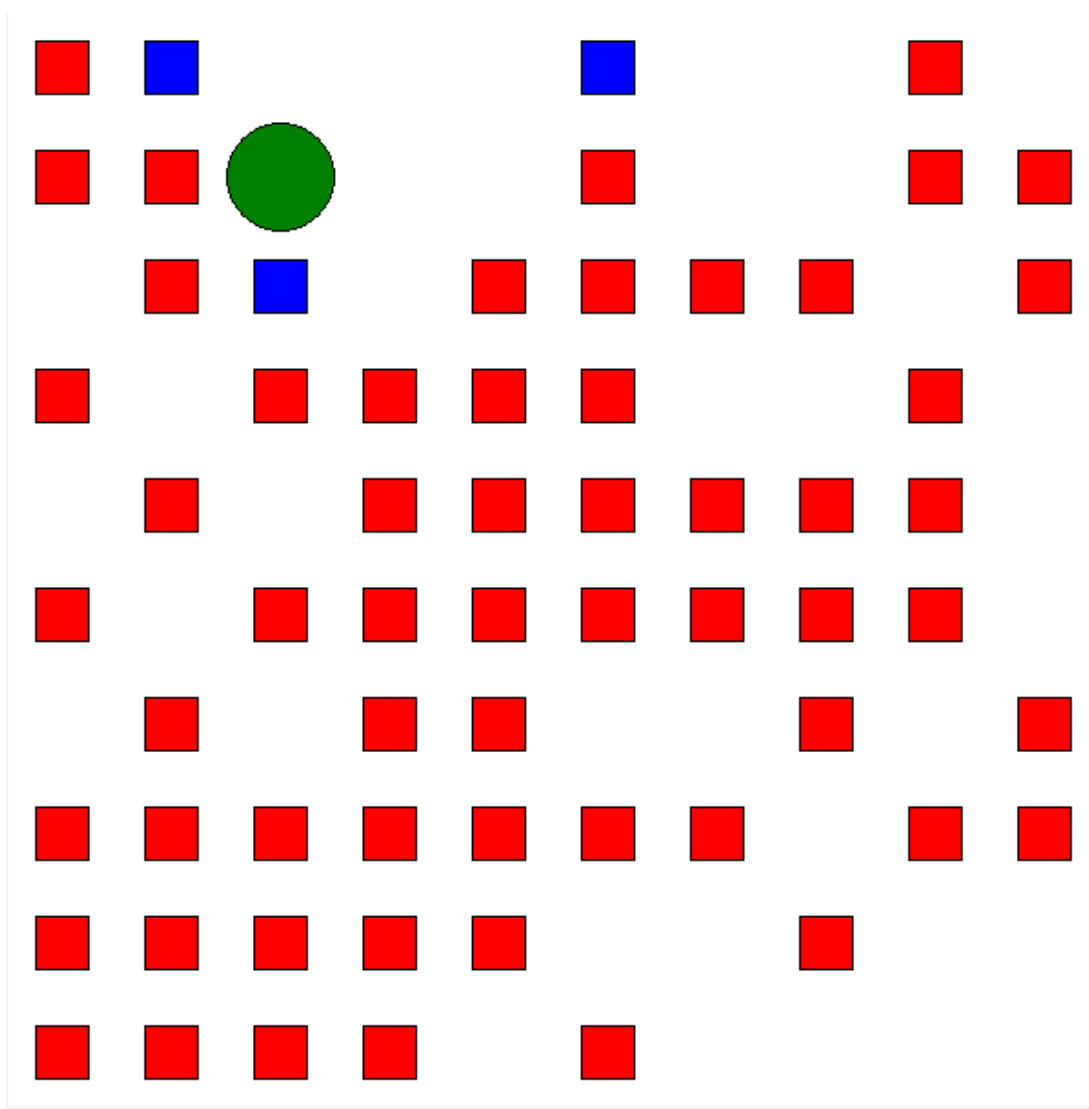
Pre Substraty je tento pohyb náročnejší. Ak je náhodne vybrané políčko prázdne, posunie sa ako ostatné častice, ale ak je na náhodnej pozícii Link, či už bounded alebo unbounded, tak je nutné skontrolovať pozíciu o jedno políčko ďalej v smere pôvodného, náhodného pohybu (ak bola pôvodná pozícia [5,4] a náhodné susedné políčko, na ktorom je umiestnené Link je [6,5], skontroluje sa pozícia [7,6]), ak je táto pozícia voľná, Substrat sa presunie tam. Ak pri tomto pohybe prekročí Substrat hranicu bunky, čo je Cyklický útvar tvorený bounded Linkami o dĺžke viac ako 2, incrementneme , alebo decrementneme hodnotu Metabolism pre Thing so zodpovedajúcim ID podľa toho či substrat do bunky vstúpil, alebo ju opustil.



Obrázok 5. Možnosti pohybu Catalystu

Linky v priestore vznikajú aj zanikajú. K ich vzniku je potrebný Catalystr. Ďalej je nutné aby s Catalystrom susedili 2 substraty, ktoré sú susedné aj sebe navzájom, ak je tato podmienka splnená, vznikne na pozícií jedného z nich Hole a na pozícií druhého Link. Teda postup je nasledovný: Ako prvé sa skontroluje okolie katalyzátoru, či má ako suseda Substrat. Potom sa v náhodnom poradí skontroluje okolie nájdeného Substratu či má ako suseda ďalší Substrat susediaci s katalyzátorom. Ak áno, vznikne na pozíciu druhého Substratu Link.

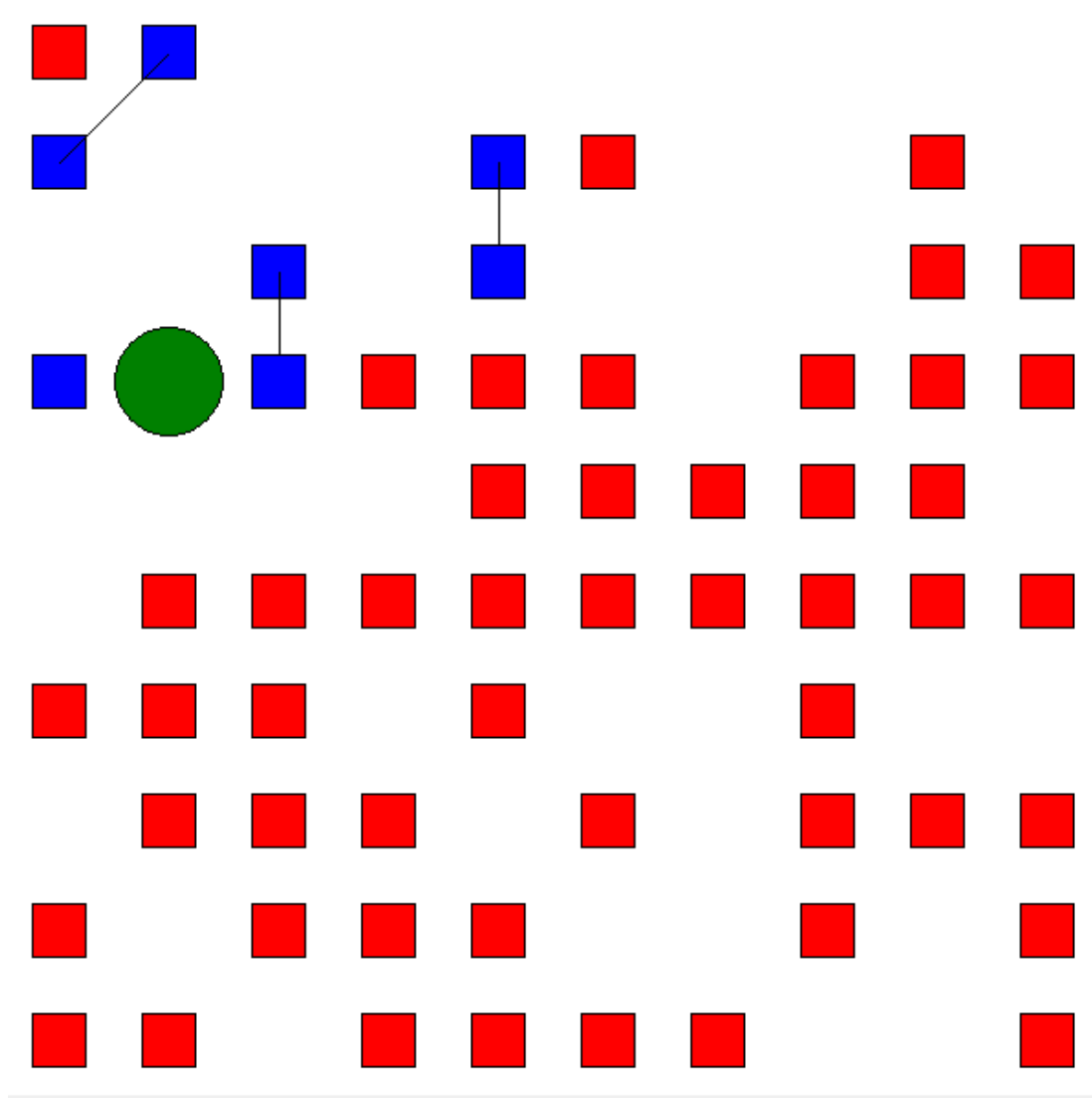
$C+S+S \rightarrow C+L+H$.



Obrázok 6. Vznik prvých Linkov (+3 Linky -6 Substratov)

Linky sa môžu navzájom spájať. Každý Link môže byť spojený s najviac dvoma ďalšími Linkami, teda môže mať nasledovníka (Next) a sám môže byť nasledovníkom iného Linku. Tento jav nastane ak existuje Link, ktorý je spojený s menej ako dvoma ďalšími Linkami a má suseda, ktorý je tiež spojený s menej ako dvoma Linkami.

Unbounded Link + Unbounded Link - Zvýši sa veľkosť pola Thingov, do najvyššej bunky pola sa uloží thing, v ktorom je ako First nastavený jeden z pôvodne Unbounded Linkov, ako jeho Next je nastavený druhý z týchto Linkov, ako Last tohto reťazcu je nastavený opäť druhý, ktorého Next ostane prázdny.

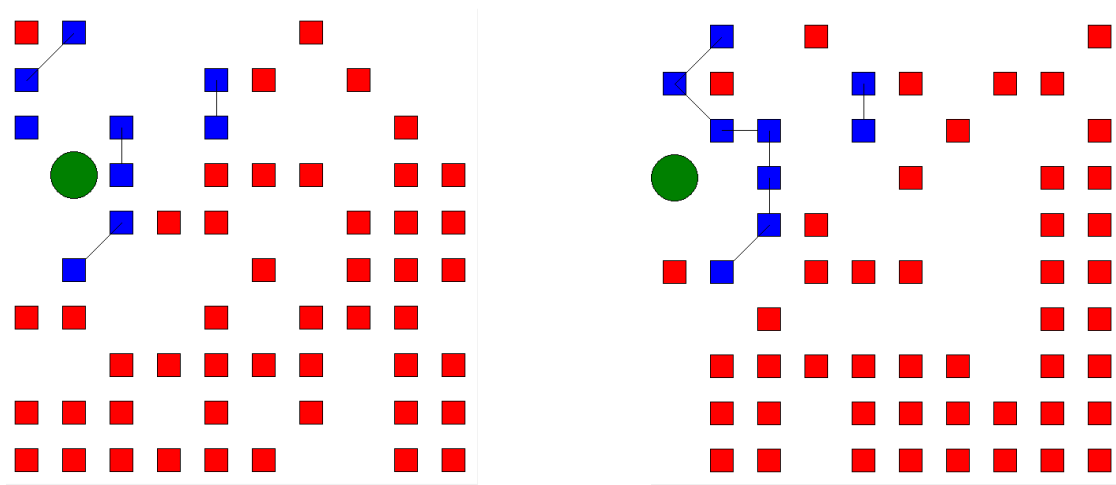


Obrázok 7. Spájanie unbounded Linkov

Unbounded Link + Bounded Link (First/Last) - Ak ide o Last, creatne sa Last.Next so súradnicami Unbounded Linku, hodnoty Last sa zmenia na súradnice Unbounded Linku. Ak by šlo o First, hodnoty First by sa zmenili na súradnice Unbounded Linku a hodnoty First. Next (súčasneho First) sa zmenia na hodnoty doterajšieho Firstu.

Bounded Link (First/Last) + Bounded Link (First/Last) -
First + Last (rôznych reťazcov)

Ak nastane situácia, kedy sa stretnú First Link jedného reťazca a Last Link iného, dôjde k spojeniu týchto reťazcov, teda hodnota Last. Next prvého reťazca sa prenastaví na hodnotu First druhého reťazca, Last prvého reťazca sa prenastaví na hodnotu Last druhého reťazca a všetky častice nesúce ID druhého reťazca zmenia svoju hodnotu na ID prvého reťazca.



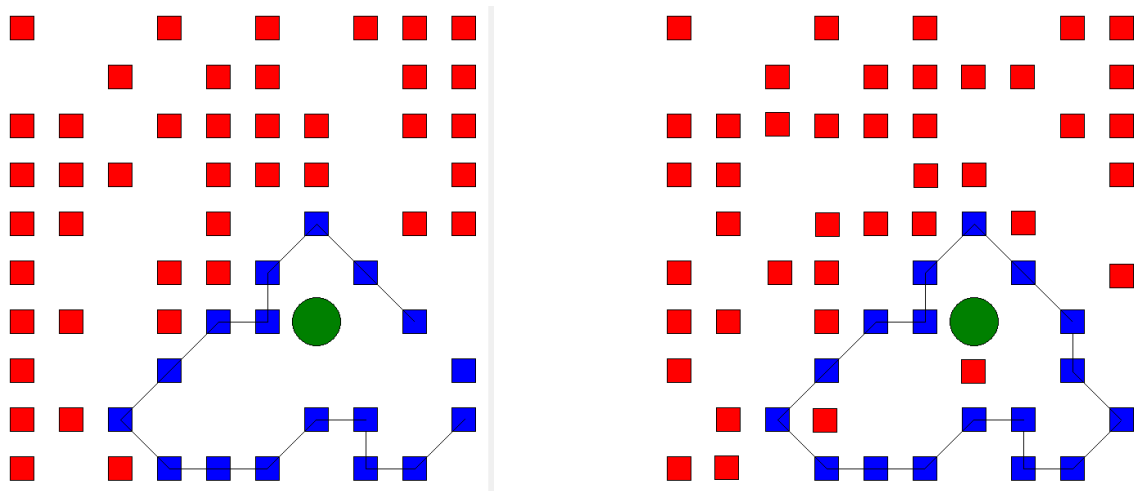
Obrázok 8. Spájanie reťazcov

First + Last (rovnakého reťazca)

V tejto chvíli hovoríme o zrode bunky. Teda je nutné zacykliť spájaný zoznam, ktorým je reprezentovaná membrána. To dosiahneme prenastavením hodnoty Last.Next na hodnotu First a následne aj hodnoty Last na hodnotu First.

Stretnutie rovnakých koncov

V takomto prípade sa jednoducho otočí jeden zo spájaných zoznamov a ďalší postup je rovnaký ako v predchádzajúcom prípade.

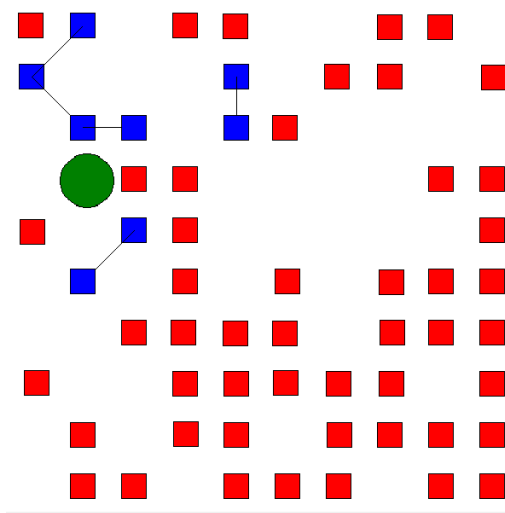


Obrázok 9. Vznik Bunky

Link s istou pravdepodobnosťou aj zaniká. Keď nastane táto situácia tak si skontroluje svoje okolie a hľadá diery. Ak takéto pozície existujú, jednu z nich náhodne vyberie a uloží na Substrat, ďalší Substrat uloží na pôvodnú pozíciu Linku. Ak sa nenájde vhodná diera, rozpad sa neuskutoční. Toto platí pre unbouded Linky, ktorých zánik nemá žiaden väčší dopad na okolie.

$L+H \rightarrow S+S$

Zánik bounded Linkov, Linkov ktoré sú už súčasťou nejakého útvaru, je trochu náročnejší. Ak zaniknú, tak sa rozpadnú aj prepojenia v ktorých sú zapojené. To znamená, že ak sú súčasťou necyklického reťazca, tento reťazec sa rozpadne na 2 reťazce. To znamená: Zo spájaného zoznamu Linkov tvoriacich pôvodný útvar treba vymazať rozpadnutý Link, teda treba naň zrušiť všetky odkazy, nesmie byť ničím nasledovník (Next). Ďalej treba nastaviť Last a First pre novovzniknuté reťazce. Sused rozpadnutého Linku, ktorý ostal v spojení s pôvodným First bude teraz označený ako Last. Sused rozpadnutého Linku, ktorý ostal v spojení s pôvodným Last bude teraz označený ako First, ďalej treba zväčšiť pole Thingov o jedna, do bunky s najvyšším indexom vložiť Thing, ktorý obsahuje tento nový reťazec a zmeniť hodnoty políčok v priestore na $\text{High}(\text{Things})+10$.



Obrázok 10. : Rozpad Linku (pokračovanie obrázku 7)

Bunka je v mojom modeli reprezentovaná Cyklickým spájaným zoznamom Thingov. Tento zoznam musí obsahovať aspoň tri Thingy a Last a First musia mať rovnaké hodnoty (Cyklický). Ak v priestore vznikne takýto útvar, začne rásť jeho vek (Age). Ďalej je bunka schopná metabolizmu. Môže prijímať Substraty zo svojho okolia. Keď vstúpi Substrat incremente sa hodnota Metabolism pre danú bunku, z tejto hodnoty vieme zistiť metabolický stav bunky. Tento stav závisí od dĺžky membrány, teda čím dlhšia je membrána tým viac Substratov musí bunka pohltiť, aby bola v dobrej kondícii. Ak je tento stav dlhodobo nepriaznivý, narastie šanca, že sa Linky tvoriace membránu bunky začnú rozpadáť. Bunka takpovediac, zomrie hladom. Z bunky môžu Substraty aj vystúpiť, čo zníži hodnotu Metabolizmu.

Ak dôjde k rozpadu Linku v bunkovej membráne, bunka je zranená. Živý organizmus, dlho zranený neprežije a preto aj Bunka v mojom systéme po istej dobe zahynie.

Metabolizmus - Ako som už vyššie uviedol, metabolický stav závisí od dĺžky membrány a počtu pohltených Substratov. Ďalej pri kalkulácii tohto stavu

používame hodnoty Coef a Starvation, zadané používateľom, podľa vzorca:

$MetaState := MetaState + Metabolism - (Dĺžka\ membrány \div Coef)$

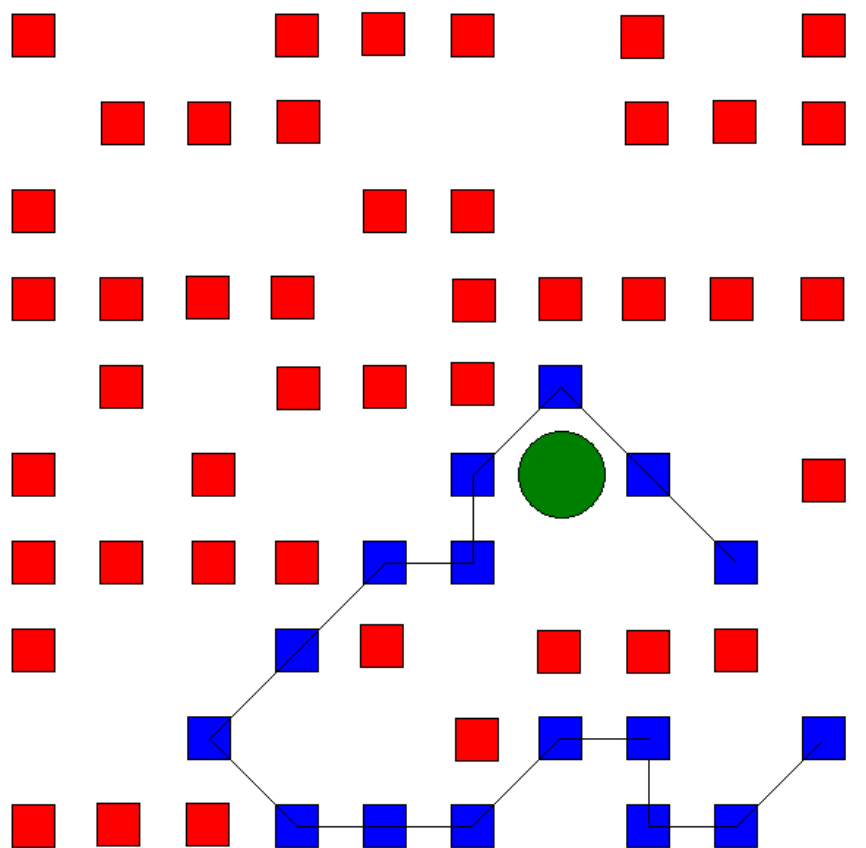
Pričom, ak je dĺžka membrány menej ako Coef vzorec vyzerá:

$MetaState := MetaState + Metabolism - 1$

Tento prepočet sa opakuje pri každom X-tom rube Timeru ($X = Timer2$).

Metabolism je určený počtom prijatých/vylúčených Substratov. To či Substrat pri pohybe prekročil membránu je jednoduché určiť, je to vec niekoľkých If-ov (nebudem ďalej rozoberať). To či membránu prekročil cestou von, alebo dnu určím tým, že budem kontrolovať hodnoty políčok pola v smere pohybu Substratu, ak narazím na Membránu, skontrolujem či je súčasťou membrány, ktorú Substrat prekročil, ak áno, viem že Substrat vstúpil do bunky a treba incrementnúť Metabolism, ak nie, Metabolism treba decrementnúť.

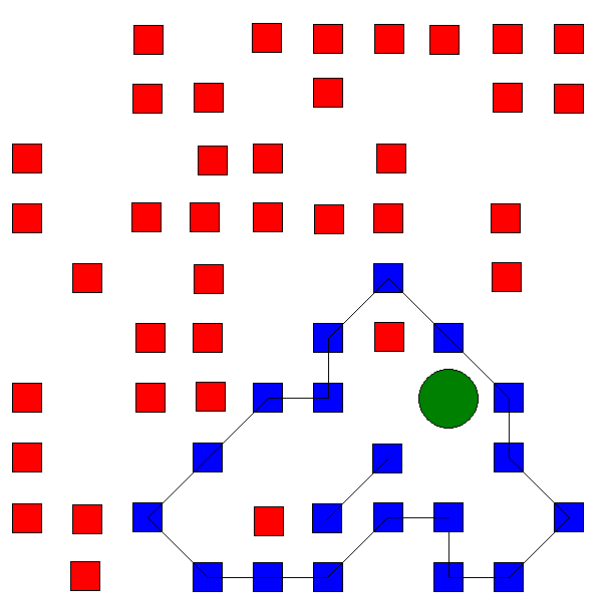
Ak je MetaState dlhšie záporný, vzrastie šanca na rozpad Linkov tvoriacich Membránu hladujúcej bunky.



Obrázok 11. Zranenie Bunky(pokračovanie obrázku 8)

Zranenie a liečenie bunky - Vyššie som opísal rozpad Linkov, no nakoľko chcem dať bunke šancu na regeneráciu, rozpad tu nebude fungovať rovnako. Pri rozpade Linku tvoriaceho membránu bunky nedôjde okamžite k zmene ID a modifikácii hodnôt Last, First a Next. Zmení sa len hodnota políčka, na ktorom bol pôvodne Link, už tam nebude ID, ale Substrat a samozrejme sa zmení aj jedno políčko v okolí z Hole na Substrat a tiež sa incrementne hodnota Injuries. Hodnotu Injuries využijeme pri zisťovaní zdravotného stavu bunky, podľa vzorca:

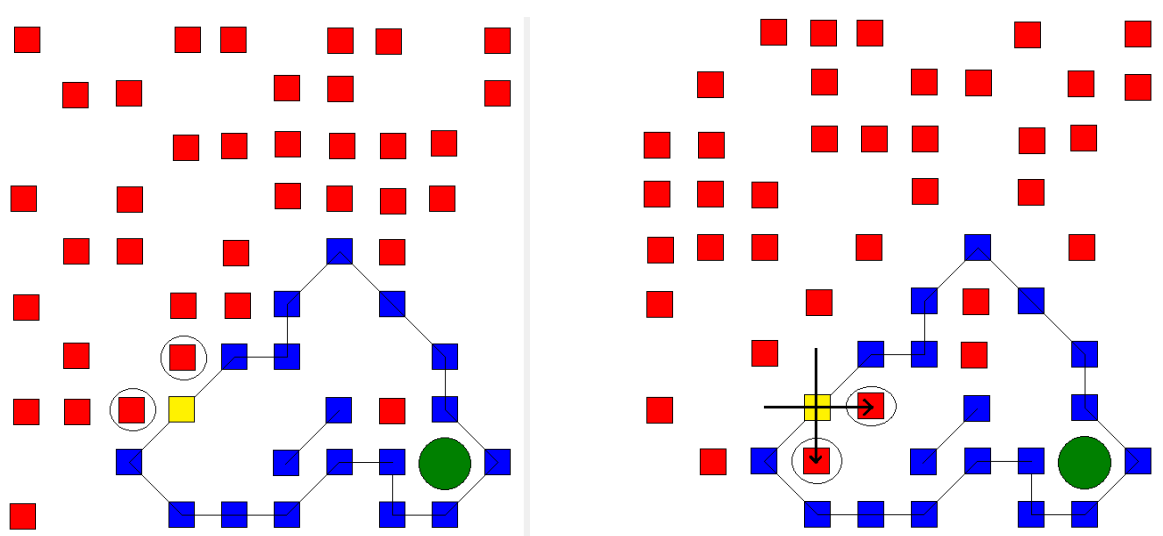
$InjState := InjState + Injuries$. Pricom, ak je hodnota injuries 0 hodnota InjState sa nastaví tiež na 0. Tento prepočet sa opakuje pri každom X-tom rúne Timeru ($X = Timer2$). Ak hodnota InjState dosiahne hodnoty Death (zadaná na vstupe), dôjde k rozpadu bunky, teda k úprave hodnôt First, Last, Next a ID tak aby miesto jednej bunky ostal, jeden alebo viac reťazcov. Hojenie bude prebiehať nasledovne. Ak sa putujúci unbounded Link dostane na pozíciu, ktorá je označená ako Next Linku patriaceho bunka a zároveň je nastavený Next tejto pozície na ďalší Link tej istej bunky, znamená to, že sa Link dostal na miesto zranenia a môže ho zhojiť, v takom prípade sa hodnota tejto pozície zmení na ID bunky +10 (z vyššie uvedených dôvodov +10) a decrementne sa hodnota injuries danej bunky. V ideálnom prípade bunku zahojí Link, ktorý pochádza z jej vnútorného prostredia, teda bunka sa zhojí sama.



Obrázok 12. Zhojenie Bunky(pokračovanie obrázku 11)

Ďalej na obrázku vidíme vytvorenie ďalšej vnútornej štruktúry. Tieto štruktúry pôsobia niekedy až nevhodne, kým nie sú spojené sú ideálny stavebný materiál, ale akonáhle sa sformujú, strácajú schopnosť pohybu a zaberajú vnútorný priestor bunky, teda je menšia šanca že bunka pohltí Substrat. Napriek tomu sa mi tieto štruktúry zdajú vhodné pre model, pôsobia "nádorovo". Podľa tvrdenia "prežije najsilnejší", by bunky naplnené podobnými štruktúrami mali zahnúť skôr.

Vývin - Ak sa bunka dožije veku Evolve (nastavuje sa pri štarte) , dôjde k vzniku bunkových ústočiek. Bunkové ústočká sú schopné vŕahovať Substraty zo svojho okolia dnu do bunky. K tomu aby takéto ústočká vznikli je treba nastaviť súradnice Mouth danej bunky na súradnice náhodného Linky tvoriaceho membránu bunky. Ústočká fungujú na princípe bodovej súmernosti, kde stredom súmernosti sú ústočká. Príklad: Nech majú ústočká súradnice [7,8] a Substrat mimo ich bunky má súradnice [7,9]. Po pohltení Substartu ústočkami sa bude Substrat nachádzať na pozícii [7,7] a na pozícii [7,9] bude Hole, ale to len v prípade ak bola na pozícii [7,7] pred pohltením Hole, v inom prípade by ústočká Substrat nepohltili.



Obrázok 13. Funkcia Ústočiek

4. Záver

V tejto práci sme sa venovali základným pojmom zo sveta umelého života. Ukázali sme si definíciu života, či už reálneho alebo umelého. Ďalej sme si ukázali minimalistický model autorov Maturana a Varelu. Na základe výsledkov skúmania témy a vlastných idey sme navrhli a implementovali funkčný model autopoietického systému, ktorý má možnosť obširnejších nastavení a ďalej rozvíja pôvodný minimalistický model. Navrhnutý model sa správa veľmi podobne pôvodnému minimalistickému modelu od Varelu a Maturana. Je tu však možné nastaviť veľkosť sveta, počet Catalytov, pomer Substratov k ostatným časticiam pri vytvorení sveta, a mnoho iných. Máme tu možnosť určiť vplyv zranení na bunku a aj to či bude trpieť hladom. Bunka zomiera na základe svojich vnútorných procesov a nielen kvôli náhodnému rozpadu Linkov. Bunka je schopná vývinu, môžu jej narásť ústočka. Keď uvážime tieto možnosti, je model zaujímavý a vhodný na pokusy, napr. na pozorovanie vplyvu počtu Catalytov na populáciu, ale to už je vec používateľa.

Práca splnila ciele, ktoré sme si vytýčili. Značne mi rozšírila obzor a vyvolala veľký záujem o danú tému. Počas navrhovania modelu, bol nápadov až prebytok a preto by som v práci rád ďalej pokračoval. Išlo hlavne o viaceré možnosti nastavenia ako napríklad toky prostredia, či prítomnosť negatívnych častíc, ktoré by narúšali funkcie bunky. Možnosť ďalšieho vylepšia vidím vo využití frameworku OpenCL. Ten pracuje s rôznymi platformami zložených zo zosieťovaných GPU a CPU. Je to ideálne riešenie pre paralelne výpočty.

5. Použitá literatura

McMULLIN, Barry (1997): *Computational Autopoiesis: The original Algorithm*. Santa Fe Institute, Working Paper Number: 97-01-001, Dublin City University, School of Electronic Engineering, Technical Report Number: bmcm9701, Dostupné na internete: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.15.7359>

McMULLIN, Barry, VARELA, Francisco, J. (1997): *Rediscovering Computational Autopoiesis*. SFI, Working Paper Number 97-02-012. DCU Technical Report: bmcm9703, Dostupné na internete: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.49.6602>

BEER, Randall, D. (2004): *Autopoiesis and Cognition in the Game of Life*. Artificial Life 10: 309-326 (2004) Massachusetts Institute of Technology, USA.

WIEDERMANN, Jiří: *Self-reproducingself-assembling evolutionary automata**. Academy of Science of the Czech Republic, Czech Republic 2004.

McMULLIN, Barry (1999): *Some Remarks on Autocatalysis and Autopoiesis*. DCU Technical Report: bmcm9901.

WIEDERMANN, Jiří (2005): *Autopoietic Automata*. Academy of Science of the Czech Republic, Czech Republic. Technical report No.929

6. Prílohy

Zdrojové kódy budú uploadované na adrese:
padre.kaciccka.com/bc.zip