

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

DIPLOMSKI RAD br. 679

## **Simulacija umjetnog života**

*Zvonimir Fras*

Voditelj: *Izv. prof. dr. sc. Marin Golub*

Zagreb, lipanj 2014.

# Sadržaj

1.Uvod.....	1
2.Počeci.....	2
2.1Conwayeva igra života.....	3
3.Virtualna okruženja.....	5
3.1Simulator umjetnog života Avida.....	6
3.2Simulator umjetnog života Framsticks.....	7
4.Roboti.....	11
4.1Hexapod.....	11
4.2ASIMO.....	12
4.3AIBO.....	13
4.4EATR.....	14
4.5Theo Jansen.....	15
5.Praktičan rad.....	18
5.1Tehnologija.....	18
5.1.1OpenGL.....	18
5.1.2Box2D.....	18
5.1.3Qt.....	18
5.2Novi model umjetnog života.....	19
5.2.1Svijet.....	19
5.2.2Parametri.....	20
5.2.3Biljke.....	21
5.2.4Biljojedi.....	21
5.2.5Predatori.....	22
5.3Pseudokod novog modela.....	23
5.4Radno okruženje za modeliranje umjetnog života.....	25
5.5Ispitivanje sustava.....	29
5.5.1Dva najčešća scenarija.....	29
5.5.2Utjecaj početnog smještaja pri istim parametrima.....	33
5.5.3Prenapučenost svijeta.....	34
5.6Budući rad.....	34
6.Zaključak.....	36
7.Literatura.....	37

# Simulacija umjetnog života

## SAŽETAK

---

U ovom radu opisani su neki povijesni modeli umjetnog života i uveden je novi model u kojem se promatra interakcija između biljaka, biljojeda i predatora. Za povijesne modele opisane su ideje iza modela te tehnologije i mogućnosti koje ti modeli donose.

U praktičnom dijelu izrađen je simulator na temelju novog modela i izvršeno ispitivanje simulatora. Prikazani su i objašnjeni neki od uobičajenih scenarija izvršavanja simulacije, demonstrirana je neizvjesnost života i izneseni problemi s kojima se suočavamo.

## KLJUČNE RIJEČI

---

umjetni život, model, simulator, simulacija, roboti, virtualno okruženje, biljke, biljojedi, predatori

# Artificial Life Simulation

## ABSTRACT

---

This paper describes some historical models of artificial life and introduces a new model in which interactions between plants, herbivores and predators are observed. The ideas behind the historical models, technologies and capabilities that these models bring are also described.

In the practical part of the assignment, simulator is made on the basis of the new model and then tested.

Usual simulation scenarios were displayed and explained. The uncertainty of life was demonstrated and problems we're facing were demonstrated.

## KEYWORDS

---

artificial life, alife, model, simulator, simulation, robots, virtual environment, environment, plants, herbivores, predators

# 1. Uvod

Pojam umjetnog života (*engl. Artificial Life - ALife*) odnosi se na tehnike koje pokušavaju stvoriti/simulirati žive organizme i stvorenja pomoću računala. U početku zamišljen s ciljem stvaranja bioloških fenomena pomoću računala, umjetni život danas uključuje i simulacije ponašajnih procesa koji nastaju kao rezultat svijesti i emocija. Osim toga fenomeni života i umjetni život koriste se pri rješavanju raznih problema i spadaju područje umjetne inteligencije, primjerice optimizacija rojem čestica (*engl. Particle Swarm Optimization - PSO*), optimizacija mravljom kolonijom (*engl. Ant Colony Optimization – ACO*), genetski algoritmi i drugi.

Kao proces rješavanja tih problema modeliraju se jednostavne jedinice i njihovo ponašanje na takav način da kao krajnji rezultat imamo ponašanje skupine kod optimizacije rojem čestica i mravljom kolonijom, a neki vid evolucije kod genetskih algoritama.

Više je ciljeva izrade umjetnog života i svaki istraživač ima svoj. Neki od ciljeva su razumijevanje života u terminima računala, razvoj algoritama koji se temelje na ponašanju živih organizama i oživljavanje ili personifikacija mehatroničkih tvorevina, primjerice robotika. Velik dio istraživanja umjetnog života se ipak usredotočuje na razumijevanje života, životnih i kulturoloških procesa.

Postoji neodvojiva veza između umjetne inteligencije i umjetnog života. Tradicionalni sustavi umjetnog života (strojevi stanja, sustavi planiranja i tako dalje) određuju ponašanje na eksplicitan način. Tek kad pojačamo ove statičke sustave heuristikom, umjetni život počinje zamjenjivati umjetnu inteligenciju. To rezultira rješenjima koja obično nije moguće postići čistim tehnikama umjetne inteligencije poput onih koje se koriste u računalnim igrama. Zbog toga je umjetni život važan i koristan pristup razvoju umjetne inteligencije.

Ovaj diplomski rad koncipiran je na slijedeći način:

U 2. poglavlju spominju se počeci stvaranja umjetnog života, sudar evolucijske biologije i računalne znanosti koji čine genetski algoritmi ili njihove brojne izvedbe (genetsko programiranje, evolucijske strategije itd.).

3. poglavlje bavi se virtualnim okruženjima, njihovim karakteristikama i značaju u stvaranju umjetnog života.

3.1. poglavlje opisuje sustav *Avida*, platformu za proučavanje umjetnog života razvijenu 1993. godine.

Dio istraživanja umjetnog života okrenuo se prema dizajniranju trodimenzionalnih modela umjetnih oblika života – *Framsticksu*, opisanog u 3.2 poglavlju.

Roboti i robotika su opisani u 4. poglavlju. Navedeni primjeri robota su *Hexapod*, *Asimo*, *Aibo*, *EATR* i Theo Jansenova bića.

5. poglavlje bavi se praktičnim radom. Opisane su tehnologije koje su korištene za izradu simulatora života: *OpenGL*, *Box2D* i *Qt*. Opisan je i novi model umjetnog života, njegovi parametri i radno okruženje, te je izvršeno ispitivanje istog i izvedeni zaključci.

## 2. Počeci

Najpoznatiji sudar evolucijske biologije i računalne znanosti su genetski algoritmi ili njihove brojne izvedbe (genetsko programiranje, evolucijske strategije itd.).

Sve varijante imaju sličan princip rada:

1. Stvori slučajnu grupu potencijalnih rješenja
2. Procijeni svaki podskup rješenja dodjeljujući mu vrijednost dobrote koja će označavati njegovu kvalitetu
3. Odredi podskup rješenja koristeći dobrotu kao kriterij
4. Modificiraj rješenja ubacujući nasumične promjene ili kombinirajući dijelove već postojećih rješenja
5. Ponavljaj od koraka 2 sve dok ne dobiješ rješenje koje je dovoljno dobro

Ova tehnika ispada izvrsna metoda za rješavanje raznih problema, ali zanemaruje neke važne aspekte života. Prirodni organizmi se moraju umnažati. Osim toga, organizmi u prirodi imaju mogućnost interakcije sa svojom okolinom i jedni s drugima na načine koji nisu uključeni u većinu evolucijskih algoritama.

Rad na računalnim sustavima koji prirodnije evoluiraju započeo je 1990.-e kad je Steen Rasmussen inspiriran igrom "*Core War*". U *Core Waru* programi pisani u pojednostavljenom assembleru natjecali su se u simuliranoj jezgri računala. Pobjeđivao je onaj program koji je uspješno pogasio sve ostale neprijateljske procese. Rasmussen je primijetio da su najviše uspjeha imali programi koji su se replicirali, tako da su uspijevali preživjeti ukoliko je jedna kopija bila uništena. U originalnoj igri nije bilo moguće mijenjati program nakon što je jednom napravljen, tako da je evolucija bila nemoguća.

Rasmussen je tada dizajnirao sustav sličan *Core waru* u kojem je naredba za kopiranje imala takvu manu da bi ponekad kopirala nasumičnu instrukciju umjesto one koju je trebala. To je unijelo mutacije u sustav i dalo mu priliku za evoluciju. Sustav je nazvao *Core World*, napravio jednostavan program s mogućnošću repliciranja i pokrenuo unutar sustava.

Iako je prvi pokušaj završio neuspješno, bio je zanimljiv. U početku se činilo da program evoluirao, ali su kopije ubrzo počele pisati jedna preko druge na taj način se ubijajući i cijeli sustav se urušio u neživo stanje. Ipak, moglo se primijetiti replikacija pojedinih dijelova koda i učestalo ponavljanje jednostavnijih uzoraka.

Sljedeći pokušaj zbio se godinu dana nakon prvog. Rezultat je bio sustav *Tierra* čiji je autor Thomas Ray. U *Tierri* su organizmi morali alocirati memoriju prije nego bi se mogli kopirati što ih je spriječilo da kopiranjem sebe ubiju druge. Jedini slučaj kada bi se smrt dogodila je kad bi se popunio memorijski prostor. U tom slučaju je najstariji organizam uklonjen i na njegovom mjestu se mogao roditi novi [1].

U prvom eksperimentu korišten je program duljine 80 linija. Program se replicirao i popunio memoriju. Velik broj mutacija rezultirao je lošijom funkcionalnošću, dio je bio neutralan, a

jedan dio je imao bolju funkcionalnost. Jedini cilj organizmima u ovom eksperimentu bio je povećati stopu repliciranja. Kao potvrda toga Ray je primijetio da se veličina programa polagano smanjivala. Razlog tome je vrlo jednostavan, što je program manji, manje mu vremena treba da se replicira i ima veću šansu za preživljavanje. Bilo je još iznenađujućih rezultata. Primjerice, neki organizmi su se uspijevali smanjiti uklanjajući neke ključne dijelove svog genoma i onda koristiti te iste dijelove svojih potpunijih suparnika. Ray je to nazvao oblikom parazitizma. Domaćini parazita su kao posljedicu naučili izbjegavati parazite koji su kao posljedicu tome evoluirali i naučili zaobići te nove prepreke. Neki organizmi, poznati kao hiperparaziti su razvili metode kojima bi naveli parazite da im pomognu pri kopiranju njihovog vlastitog genetskog materijala. Evolucija se nastavila u mnogim zanimljivim smjerovima i *Tierra* se činila kao pravi alat za eksperimente s evolucijom. Međutim 1992. u pokušaju da nauči digitalne organizme rješavanju specifičnih matematičkih problema, Chris Adami naišao je na brojna ograničenja pri korištenju sustava *Tierra*.

## 2.1 Conwayeva igra života

Kad pričamo umjetnom životu, teško je ne spomenuti Johna Conwaya i njegovu igru života.

Četrdesetih godina prošlog stoljeća matematičar John Horton Conway bio je zainteresiran za istraživanje svog suvremenika Johna von Neumanna koji je pokušavao pronaći hipotetski stroj koji bi mogao raditi svoje kopije. Neumann je u tome uspio kad je pronašao matematički model za takav stroj s vrlo složenim pravilima na pravokutnoj mreži. "Igra života" je proizišla kao Conwayev uspješan pokušaj da pojednostavi Neumannove ideje.

S teoretske strane igra je zanimljiva jer ima moć univerzalnog Turingovog stroja, to jest, sve što je moguće izraziti algoritamski moguće je i izračunati Conwayevom igrom života.

Od svoje objave igra je privukla pažnju fizičara, biologa, ekonomista, matematičara, filozofa i drugih. Kod igre života je zanimljivo kako složeni uzorci izviru (*engl. emerge*) iz jednostavnih pravila. Zanimljivo je vidjeti i kako se stvari dizajniraju i organiziraju u odsutnosti nekog dizajnera ili organizatora. Primjerice, filozof i znanstvenik koji se bavi kognitivnim znanostima, Daniel Dennett, koristio je analogiju prostora Conwayeve igre života kako bi ilustrirao evoluciju složenih filozofskih konstrukata kao što su svijest i slobodna volja, koristeći relativno jednostavan skup determinističkih fizikalnih zakona iz našeg svijeta.

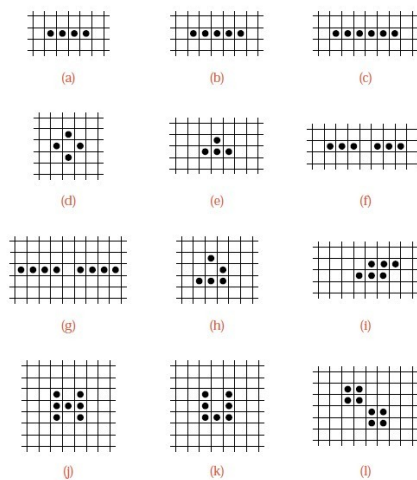
Nakon mnogo eksperimenata, Conway je zaključio da pravila treba birati prema sljedeća tri kriterija:

1. Ne smije postojati početni uzorak za kojeg postoji jednostavan dokaz da populacija može rasti bez ograničenja.
2. Početni uzorak mora biti takav da se za uzorak čini da će rasti bez ograničenja.
3. Mora postojati takav jednostavan uzorak koji raste i mijenja se određeno vrijeme prije nego to prestane na neki od sljedećih načina:
  - potpuno nestajanje (od prenapučenosti ili prevelike raspršenosti)
  - poprimanje statičnog stanja u kojem zauvijek ostaje nepromijenjen

- ulazak u oscilirajuće stanje u kojima se beskonačno ponavljaju ciklusi od 2 ili više perioda

Conwayeva igra života odvija se na dvodimenzionalnom polju od  $n \times n$  elemenata. Svaka ćelija (element) polja može imati dva stanja: ćelija je živa – 1 ili ćelija je mrtva – 0. Za svaku igru zadaje se početno stanje igre prema nekim pravilima ili predlošcima.

1. Svaka živa ćelija s manje od dva živa susjeda umire, zbog slabe naseljenosti.
2. Svaka živa ćelija s više od tri živa susjeda umire, zbog prenaseljenosti.
3. Svaka živa ćelija s dva ili tri živa susjeda ostaje živjeti bez promjene.
4. Svaka mrtva ćelija s točno tri živa susjeda postaje živa.



Slika 2.1: Neka poznata početna stanja Conwayeve igre života

### 3. Virtualna okruženja

Virtualno okruženje je prostor u kojem živi umjetni organizam. Najčešće govorimo o virtualnom okruženju modeliranom u memoriji računala. Kod Conwayeve igre života, virtualno okruženje bila je beskonačno velika matrica, kod sustava poput *Avide* imali smo bića koja su bila dio programskog kôda koji se izvršavao na virtualnom hardveru, čime je njihovo životno okruženje bila upravo memorija simuliranog računala. U drugim primjerima imali smo jednostavna bića u 2D prostorima čiji je najčešće jedini cilj bio preživjeti i razmnožiti se u čim većem broju. Njihovo virtualno okruženje bio je taj 2D prostor [4][5][6].

Virtualna okruženja uvelike određuju razvoj organizama koji u njemu žive. Budući da evolucija obično vrši selekciju, najbolje jedinke će obično preživjeti dulje ili se više razmnožavati. Upravo okolina u kojoj jedinke žive i uvjeti koje im stvorimo će uvjetovati što to "najbolje" zaista jest. Ograničenja u okolini mogu utjecati na očekivani razvoj evolucije zato je potrebno pažljivo razmotriti kakvu ćemo okolinu prirediti i koje uvjete ćemo staviti. Primjerice, u sustavu kao što je *Avida* možemo više procesorskog vremena, to jest dulji život dati biću čiji je genetski kod zapravo program koji efikasnije (u kraćem vremenu i/ili preciznije) rješava neki problem. Na taj način smo okruženje i uvjete života u okruženju oblikovali tako da će evolucija birati one jedinke koje rješavaju taj problem točnije i uz kraći programski kod.

Nekadašnja virtualna okruženja bila su ograničena toliko da su davala vizualni prikaz samo jednostavnih bića, te u njih nitko nije mogao stvarno "ući".

U današnje vrijeme, nova sučelja i 3D naprave dozvoljavaju nam potpuno uranjanje u taj virtualni svijet ili barem izravnu komunikaciju s njim u stvarnom vremenu. Ovaj način uranjanja u virtualne svjetove i interakciju s oblicima virtualnog života u njima naziva se virtualna stvarnost. U te virtualne svjetove, istraživači su uspjeli staviti i razne biljke, drveće, životinje, pa čak i druge umjetne ljude koji se u virtualnom svijetu kreću i ponašaju poput onih koji su samo uronjeni u taj svijet. Osim toga, dobili smo i *Framsticks* sustav koji je virtualizacija svijeta u kojem živimo i pomoću njega možemo promatrati korake evolucije jednostavnih (pa čak i onih nešto složenijih) organizama, te postaviti neke osnove za potpuno nove oblike života i promatrati na koji način bi oni evoluirali u okruženju sličnom našem [1][2][3].

Primjene virtualnih okruženja u praksi stvarno su široke. Virtualna stvorenja i virtualna okruženja, pa čak i virtualni ljudi, generirani su putem računala u svrhu stvaranja filmova, primjerice nedavno remek-djelo filmskog stvaralaštva, *Avatar*. Osim toga, virtualni svjetovi imaju veliku primjenu u računalnim igrama gdje se modeli animiraju i vežu umjetnom inteligencijom i tako dobivaju autonomiju i žive u virtualnom svijetu. Postaju nam protivnici ili saveznici u zadacima koje moramo obaviti. U nekim slučajevima obavljaju i repetitivne ili dosadne zadatke koje ljudi ne žele, a potrebni su za upotpunjenje doživljaja virtualnog svijeta. Ta virtualna bića mogu omogućavati ljudima da se suočavaju s njima na platformama za treniranje i na taj način značajno pojeftiniti edukaciju i trening ljudi primjerice u vojne svrhe.

Prenošenjem tih virtualnih stvorova iz virtualnih svjetova u stvarni na način da im damo ljusku koju će moći pokretati koristeći istu logiku kao i u virtualnom svijetu dobivamo robote.



### 3.1 Simulator umjetnog života Avida

1993.-e godine Adamiju su se pridružili Charles Ofria i C. Titus Brown kako bi razvili novu platformu za proučavanje umjetnog života – sustav *Avida*.

Intuitivno se čini da bi prirodni sustavi trebali biti korišteni kako bi se pokazala složenost koja proizlazi iz evolucije, međutim to je u najvećem broju slučajeva teško izvesti, te ne daje dovoljno detalja. Međutim, postoji pet opravdanja za korištenje sustava poput *Avide*:

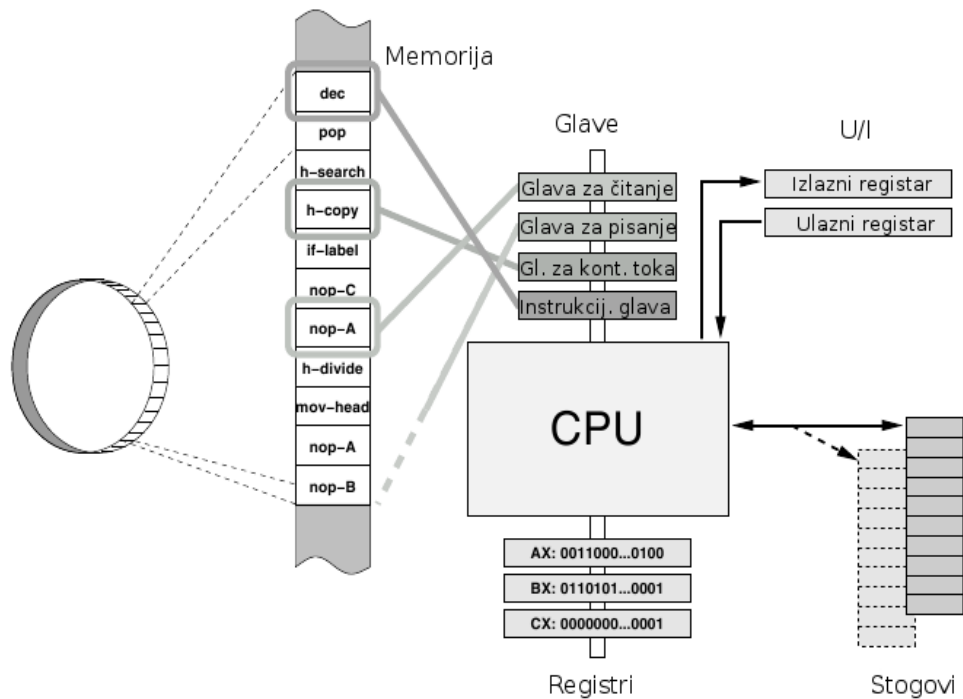
1. Oblici umjetnog života omogućavaju generalizacije samoreplicirajućih sustava van granica dosad proučavanih organskih oblika kojima je svima zajednička kemija DNK, RNK i proteina.
2. Digitalni organizmi omogućavaju nam da se posvetimo pitanjima koja je nemoguće proučiti kod organskih oblika života.
3. Pitanja koja je ipak moguće proučiti kod organskih oblika života, kod digitalnih organizama je moguće proučiti do mnogo veće razine detalja bez da utječemo na tijek evolucije.
4. Digitalni organizmi imaju mogućnost prave evolucije, za razliku od čistih numeričkih simulacija
5. Digitalni organizmi mogu se koristiti pri izradi rješenja za računalne probleme gdje je teško eksplicitno napisati programe koji taj problem rješavaju.

Sustav se sastoji od 3 glavna modula:

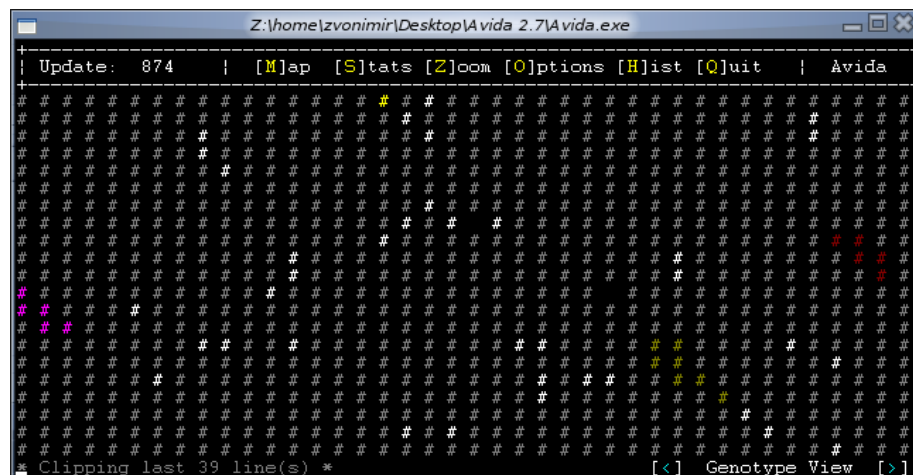
1. *Avida core*, jezgra sustava *Avida* koja osigurava da sve ključne komponente rade bez interakcije korisnika, uključujući stvaranje digitalnih organizama, okolinu koja određuje reakcije i resurse s kojima organizmi ostvaruju interakciju, raspoređivač koji svakom organizmu određuje količinu ciklusa procesore koju ima na raspolaganju, te druge podatkovne objekte.
2. Grafičko korisničko sučelje (*engl. Graphical User Interface – GUI*) koje korisnik može koristiti za promatranje i interakciju s ostalim elementima *Avida* sustava. Sučelje uključuje nadzornik populacije, alate za izradu grafova, te ostale alate za mjerenje i izmjenu različitih vrijednosti u sustavu.
3. Analitički i statistički alati. Uključuju ispitnu okolinu za proučavanje organizama van populacije, alate za manipulaciju podacima kojima je moguće izmijeniti mutacije, alate kojima je moguće vidjeti lokalnu vrijednost funkcije dobrote i mnoštvo drugih. Svi alati su sakupljeni u jednostavnom skriptnom jeziku.

*Avidin* virtualni hardver sastoji se od centralne procesne jedinice (*engl. CPU – Central Processing Unit*), registara AX, BX i CX, ulaznog i izlaznog registra, četiriju glava, memorije i dva stoga od kojih je samo jedan aktivan u jednom trenutku, ali je moguće mijenjati aktivan stog, pa su oba stoga dohvatljiva [1].

Izvršavanje počinje punjenjem memorije s genomom organizma, te pokretanjem prve instrukcije. Memorija je organizirana cirkularno tako da nakon zadnje instrukcije slijedi prva.



Slika 3.1: Shema Avidinog virtualnog hardvera



Slika 3.2: Map pogled na sustav Avida

### 3.2 Simulator umjetnog života Framsticks

Dio istraživanja umjetnog života okrenuo se prema dizajniranju trodimenzionalnih modela umjetnih oblika života. Takav način prikazivanja simuliranih živih bića pogodan je promatračima jer živimo u trodimenzionalnom svijetu i lakše nam se s njim povezati nego s programima u memoriji. Tako možemo lakše razumjeti ponašanje virtualnih jedinki, proučavati njihovo ponašanje tijekom evolucije, analizirati ovisnosti između grupa jedinki i

tako dalje. 3D modeli života nisu zanimljivi samo zbog grafički atraktivnog prikaza već se mogu i primijeniti na rješavanje praktičnih problema. Ako su simulacije dovoljno precizne, moguće je karakteristike simuliranih modela prenijeti na stvarne robote tako da stvarni robot ne mora učiti sve ispočetka. Dovoljno je pustiti simulirani sustav da evoluirá i kada smo zadovoljni njegovim ponašanjem, genetski kod, neuronsku mrežu ili programski kod modela prenesemo u stvarnog robota koji će se nakon toga ponašati kao i simulirani model. Na taj način, proces modeliranja, ispitivanja i optimizacije može se odvijati u virtualnom okruženju smanjujući troškove razvoja.

U tu svrhu je razvijano više programa i programskih sustava, ali su bili ili zatvorenog koda, nedostupni za istraživače ili nisu bili dovoljno općeniti.

To je dovelo do razvoja *Framsticks* platforme koja nije dizajnirana za jednu svrhu ili istraživanje jednog problema nego je građena kako bi podržala širok spektar eksperimenata i omogućila svojim korisnicima korištenje sustava na mnogo različitih načina.

Sustav je građen tako da ne unosi ograničenja na složenost ili veličinu stvorenja. Njegove neuronske mreže mogu biti bilo kojeg oblika, topologije i veličine. Izbjegavanje ograničenja izuzetno je važno jer je *Framsticks* naposljetku namijenjen otvorenoj evoluciji, gdje je interakcija između stvorenja i okoline izvor natjecanja, suradnje, komunikacije i inteligencije.

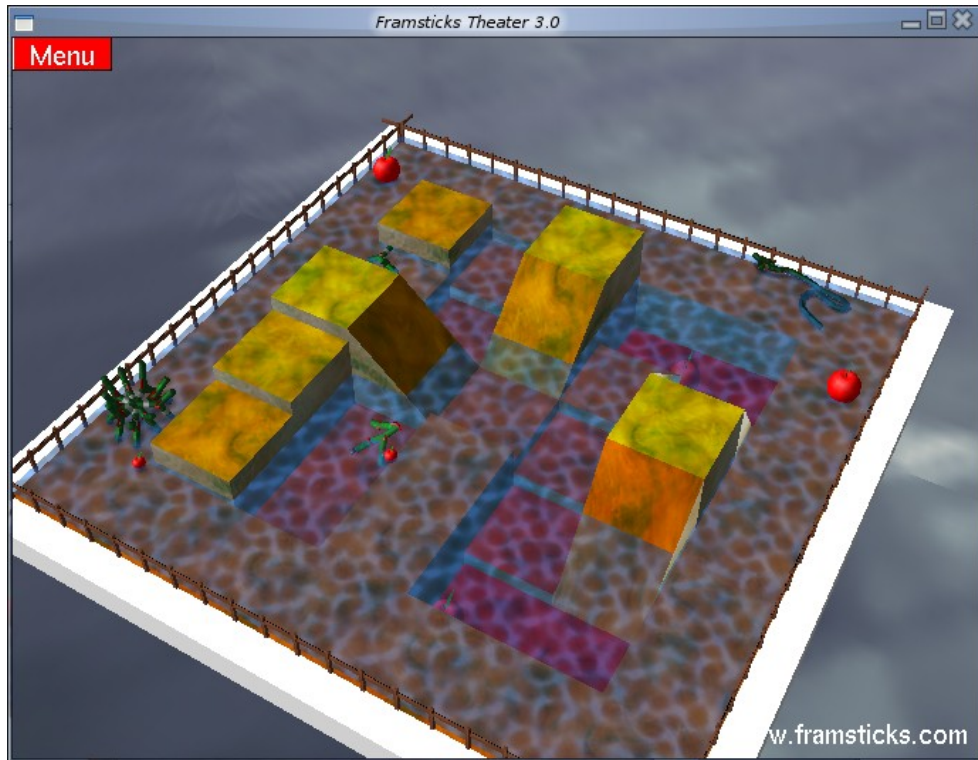
Iako je sustav pojednostavljeni model stvarnosti, može lagano proizvesti fenomene koji su složeniji nego ljudi mogu pojmiti. Zbog toga je bilo potrebno razviti alate za analizu i podršku.

*Framsticks* sustav se sastoji od više alata:

- *Framsticks GUI* (engl. *Graphical User Interface*) – grafičko korisničko sučelje. Najpopularniji *Framsticks* modul. To je mjesto gdje su stvorenja, genotipi i virtualni svijet prezentirani vizualno i gdje je moguća korisnička interakcija (pomicanje stvorova, vizualizacija genotipova...)
- *Framsticks CLI* (engl. *Command-Line Interface*) – komandno linijsko sučelje je mjesto gdje se naredbe zadaju korištenjem teksta. Korisno je za dugačke eksperimente ili eksperimente koji se mogu odvijati automatski ili iz udaljenosti.
- *Framsticks Viewer* – jednostavan program koji prikazuje bića izgrađena genotipima koje je odredio korisnik.
- *Framsticks Theater* – potpuni simulator s jednostavnim izbornikom i nekim definiranim "predstavama".
- *Framsticks Editor (FRED)* – jednostavan grafički uređivač koji omogućava korisnicima da lako dizajniraju stvorenja bez znanja o genetskom kodiranju.
- *Framsticks (network) Server* i *Framsticks (network) Clients* – mrežni poslužitelj i klijent. Poslužitelj odgovara komandom sučelju uz razliku da se kod poslužitelja naredbe šalju preko mreže. Dvije osnovne vrste klijenata su grafičko sučelje prema poslužitelju i vizualizacije virtualnog svijeta simuliranog na poslužitelju. Klijenti se mogu koristiti i na mnoge druge način primjerice za distribuiranu evoluciju,

modeliranje ekosustava i migracije, te interakciju u miješanim stvarnostima u stvarnom vremenu.

- Drugi pomoćni programi kao što su optimizatori mozga, analizatori podataka o eksperimentima itd.



Slika 3.3: Framsticks Theater prikazuje jedan od primjera

Simulacija u *Framsticksu* bavi se trodimenzionalnim svijetom i stvorenjima i pri tome u obzir uzima razne interakcije među fizikalnim objektima: statičko i dinamičko trenje, prigušenje, sila akcije i reakcije, gubici energije nakon deformacije, gravitacija i uzgon (u vodenom okruženju).

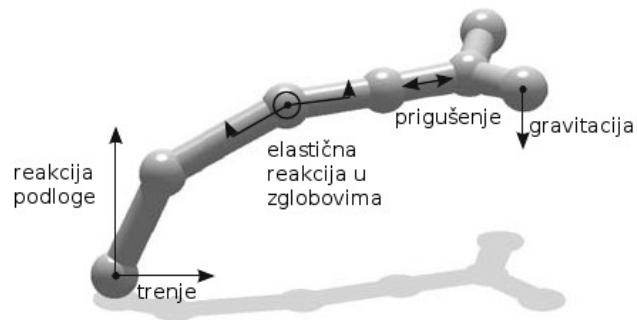
Uvijek je potrebno odlučiti hoće li se veći značaj dati točnosti ili vremenu izvršavanja simulacije. Brza simulacija je potrebna za evoluciju. S druge strane, modeli trebaju biti što realniji i detaljniji kako bi prikazali realistična ponašanja. Što složenije i sofisticiranije fenomene očekujemo, to evolucija dulje traje. Zbog toga simulacija mora bit brža i prema tome manje točna. Kako bi simulacija bila brža i kako bi izbjegli nepotrebno računanje, neki manje važni aspekti, kao što je detekcija dodira organizma sa samim sobom, uklonjeni su iz osnovnog simulatora.

*Framsticks* organizam se sastoji od tijela i mozga.

Osnovni element tijela je štap sastavljen od dva fleksibilno spojena dijela. Dijelovi i spojevi imaju neke osnovne značajke kao što su pozicija, orijentacija, masa i trenje, ali moguće je

definirati i neke druge značajke kao što su sposobnost prikupljanja energije, izdrživost zglobova prilikom sudara itd. Na spojevima je moguće okretati dijelove u sva tri stupnja slobode: okretati u oba smjera, te uvijati.

Mozak se sastoji od neurona i njihovih veza. Neuron može biti procesna jedinica, ali može stupiti u interakciju s tijelom kao senzor ili aktuator. Neuronska mreža može biti bilo koje složenosti i topologije. Neuroni mogu biti međusobno povezani na bilo koji način, pa čak i nepovezani [1].



Slika 3.4: *Framsticks* tijelo sa silama koje djeluju na njega

## 4. Roboti

Robot je automatski vođen stroj koji je sposoban samostalno obavljati neke zadaće. Većina robota može obavljati neke od sljedećih operacija: kretati se uokolo, pomicati mehanički ud, osjećati i upravljati okolinom, te djelovati inteligentno, pogotovo na način sličan ljudima ili životinjama. Iako se (još) ne razmnožavaju, ove karakteristike stavljaju robote u područje umjetnog života. To posebice vrijedi za robote koji svojim izgledom oponašaju ljude ili životinje.

Roboti s vremenom sve više i više postaju dijelom naših svakodnevnog života. Od autopilota u avionima, sve automatiziranih automobila, kućnih robota za čišćenje, pa do robota kućnih ljubimaca i humanoidnih robota koji pomažu u kući ili rade kao kustosi u nekim ustanovama. Možemo vidjeti da se sasvim sigurno radi o nekoj vrsti umjetnog života. Ta vrsta umjetnog života, zbog koegzistencije s ljudima u istom prostoru i drugih faktora povlači neka filozofska, etička i praktična pitanja.

Priča se o tome koliko su roboti stvarno živi, kakva prava imaju u odnosu na ljude, jesu li svjesni sebe ili svoje okoline, koliko su zapravo inteligentni, hoće li roboti jednog dana moći tražiti neku vrstu socijalnih, kulturoloških, etičkih ili pravnih prava i tako dalje. Kolike ovlasti trebamo odnosno smijemo dati autonomnim robotima na ratnom polju? Smiju li roboti kontrolirati druge robote i u kojoj mjeri?

### 4.1 Hexapod

*Hexapodi* su roboti inspirirani insektima sa šest nogu koje koriste za kretanje. Budući da su im potrebne samo tri noge za stabilno stajanje, hexapodi imaju širok raspon mogućnosti koje mogu iskoristiti s ostalim udovima, primjerice razne vrste kretanja ili baratanje nekim teretom.

Uz sve fluidnije kretanje sve manje slične robotima, a sve više pravim živim organizmima. Koristeći razne tehnike umjetne inteligencije daje im se autonomija kretanja i poneki primjerci zaista izgledaju jezivo živo.

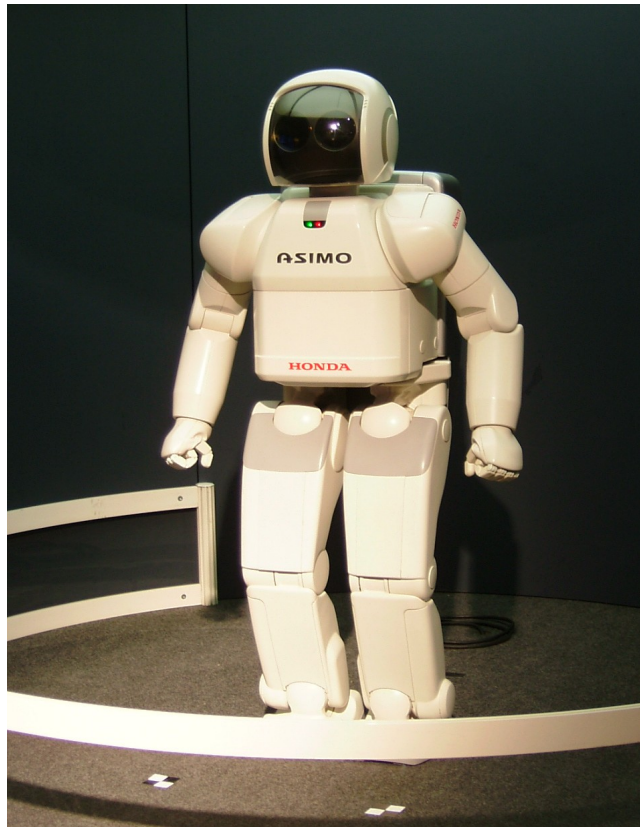


Slika 4.1: Zentini *hexapodovi* - T-Hex, A-Pod i Phoenix

## 4.2 ASIMO

Hondin humanoidni robot dobio je ime kao akronim za "*Advanced Step in Innovative Mobility*", u prijevodu "Napredni korak u inovativnoj mobilnosti". Visok je 130 cm i ima 54 kilograma. Može hodati na dvije noge brzinom do 60 km/h kao i Hitachijev robot EMIEW.

Pomoću kamera u glavi ASIMO može detektirati kretanje više objekata procjenjujući njihove smjerove i udaljenosti. To mu omogućuje da glavom prati ljude, da prati ljude kroz prostor ili da pozdravi osobu koja mu se približi. Osim toga, ASIMO prepoznaje pokrete glavom, stavove i geste tako da može primiti naredbe ne samo glasovno nego i prirodnim pokretima tijela, na primjer, prihvatiti ruku za rukovanje ili prepoznati ruku koja ga upućuje na neko mjesto pokazujući mu smjer u kojem se treba kretati. Može i prepoznati okolinu i izbjegavati potencijalne nezgode, primjerice stepenice ili ljude i druge predmete u prostoru kako se ne bi sudario s njima [11].



Slika 4.2: Hondin ASIMO

Prepoznavanje izvora zvukova omogućuje mu da razlikuje govor od pozadinskih zvukova, odaziva se na svoje ime, okreće se licem prema ljudima kad im govori, prepoznaje neuobičajene zvukove poput pada predmeta ili udaraca te se okreće prema izvoru zvuka. Na pitanja može odgovarati kimanjem glave ili glasovnim odgovorom. Može čak prepoznati i izraze lica ljudi i razlikovati otprilike 10 različitih izraza.

Zbog svih svojih karakteristika jasno je zbog čega se ASIMO može smatrati oblikom umjetnog života.

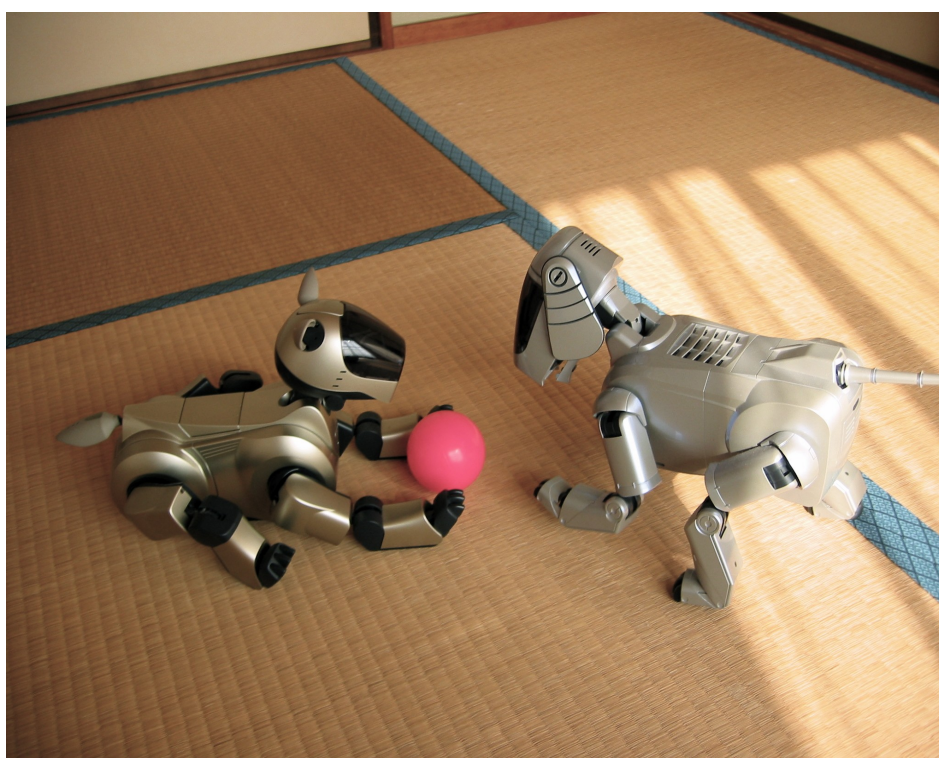
### 4.3 AIBO

Za razliku od Hondinog ASIMO-a, Sonyjev AIBO nije humanoidni robot već se radi o robotskim kućnim ljubimcima. AIBO roboti mogu hodati, vidjeti svoju okolinu kamerom, prepoznati naredbe izrečene na engleskom ili španjolskom jeziku, te se smatraju autonomnim robotima budući da mogu učiti i razvijati se na osnovu vanjskih podražaja koji dolaze od njegovog vlasnika ili okoline, a mogu učiti čak i od drugih AIBO robota [12].





Slika 4.3: noviji model AIBO robota s djecom



Slika 4.4: AIBO roboti u igri

#### 4.4 EATR

Energetski Autonoman Taktički Robot (*engl. Energetically Autonomous Tactical Robot*) je projekt razvijen od strane *Robotic Technology Inc* i *Cyclone Power Technologies Inc*. Cilj je bio razviti robotsko vozilo koje bi moglo iskoristiti biljnu biomasu za napajanje i teoretski raditi vječno. Razvijeno je kao koncept kao dio DARPA (*engl. Defense Advanced Research Projects Agency*) vojnog projekta za američku vojsku.

Projekt je zabrinuo ljude zbog glasina da će robot (ili bi barem mogao) probavljati ljudske ostatke i pretvarati ih u energiju za sebe. Nadležni iz *Cyclone Power Technologies* izjavili su da životinjska ili ljudska biomasa nije planirana kao materija za pokretanje robota, te da je robot stopostotni vegetarijanac i da će senzori biti u mogućnosti razlikovati materijale i pobrinuti se za to, iako na listi dozvoljenih materijala stoji između ostalog i pileće salo.

Ovaj robot je poseban i važan u odnosu na ostale u smislu umjetnog života upravo zbog činjenice da se mora prehraniti da bi preživio što je jedna stvar koja je zajednička živim organizmima [14].

## 4.5 Theo Jansen

Od 1990.-e Theo Jansen bio je okupiran stvaranjem novih oblika života. Umjesto sjemena koristio je žute plastične cjevčice pomoću kojih je napravio kosture koji su bili u mogućnosti hodati na vjetru. Sva energija koju ta bića koriste dolazi od vjetra, on je njihova hrana! Neka od njegovih bića pohranjuju energiju vjetra u plastične boce pod pritiskom kako bi se mogle kretati i kad vjetra nema. Primjerice, dolazi plima, stvorenje je na mjestu kojeg zahvaća voda, a nema vjetra koji bi pogonio stvorenje da se makne i stvorenje se utopi. Zahvaljujući spremnicima i sustavu udova u obliku klipova koji se mogu ispružiti i skratiti, stvorenje se može maknuti s puta vodi i preživjeti [15].



Slika 4.5: Jedno od Jansenovih bića

Prirodno okruženje u kojem ta stvorenja žive je pješčana plaža koja obiluje vjetrom i dovoljno je prostrana kako bi se stvorenja imala kuda kretati.

S vremenom su ti kosturi postali bolji pri preživljavanju prirodnih nepogoda kao što su oluje ili voda. Stvorenja detektiraju vodu kada dolazi plima i miču se od nje, da bi se kasnije vratili s osekom. Ukoliko osjete da dolazi oluja neke jedinice zabijaju klinove u pijesak kako ih vjetar ne bi odnio.



Slika 4.6: Jansenov *Beachbeest*



Slika 4.7: Jedno od Jansenovih bića na oluji

Zahvaljujući naprednom sustavu nogu moguće je velike mase prebaciti uz jako malo energije. Dovoljan je samo povjetarac.



Slika 4.8: Jedno od masivnijih Jansenovih stvorenja

## 5. Praktičan rad

### 5.1 Tehnologija

Simulator života obuhvaća nekoliko osnovnih različitih aspekata.

Život koji je potrebno simulirati odvija se u fizičkom svijetu, koji se ponaša prema ograničenjima i pravilima koja poznajemo. Osim fizičkih pravila, potrebno je modelirati i živa bića koja žive u tom svijetu, njihove nagone i način ponašanja. Na kraju, potrebno je sve uklopiti u sustav koji možemo nadzirati i vidjeti grafički prikazan.

U radu se koriste sljedeće tehnologije.

#### 5.1.1 OpenGL



Slika 5.1: OpenGL logo

njegovih pojedinih dijelova.

Za grafički sustav odabran je OpenGL (logo na slici 5.1). Iako je OpenGL biblioteka za rad s 3D grafikom, postoje projekcije koje omogućuju 2D prikaz. OpenGL je podržan od svih većih proizvođača grafičkih kartica pa će prikaz biti hardverski ubrzan gdje je to moguće.

S obzirom da simulirani svijet može biti različitih veličina, potrebno je i grafički sustav prilagoditi pregledu svijeta i

Zahvaljujući OpenGL-ovim transformacijama, bilo je moguće na jednostavan i hardverski ubrzan način, napraviti operacije poput zumiranja i pomicanja.

#### 5.1.2 Box2D



Slika 5.2: Box2D logo

Box2D je stroj otvorenog kôda za simulaciju čvrstih tijela (logo na slici 5.2), pisan u jeziku C++. Dostupan je i u drugim jezicima te se dokazao u mnoštvu igara, kao što je, na primjer, popularna igra *Angry Birds*.

Kao mjerne jedinice koristi SI sustav, a koordinate koristi na način koji olakšava prikaz u OpenGL-u.

#### 5.1.3 Qt



Slika 5.3: Qt logo

Kao poveznica OpenGL-a i Box2D-a, korištena je Qt okosnica (*engl. Framework*) (logo na slici 5.3).

Qt je složen, više-platformski sustav pisan u jeziku C++, koji omogućuje postavljanje prozora programa i različitih kontrola unutar programa, primjerice gumbiju, okvira za unos teksta i slično, kao i upravljanje njima.

Osim toga omogućava i različite mjerače vremena, te upravljanje memorijom odnosom roditelj-dijete.

Qt ima i mnoge druge mogućnosti, van dosega ovog rada.

## 5.2 Novi model umjetnog života

Unatoč biološkoj raznolikosti vrsta, na osnovu pretpostavki iz biologije zaključujemo kako većina živih bića nastaje razmnožavanjem, hrani se, raste, živi ograničeno vrijeme, te naposljetku umire.

Cilj ovog diplomskog rada bio je uspješno modelirati život i ponašanje jedinki u virtualnom okruženju na temelju uočenog karakterističnog egzistencijalnog modela jedinki i vrsta iz realnog okruženja, stvarnog svijeta.

Pri modeliranju umjetnog života potrebno je voditi računa i o drugim razlikovnim aspektima životnih vrsta poput izgleda, ponašajnog modela, a u virtualnom okruženju i o početnim parametrima koje će opisivati pojedinu vrstu.

### 5.2.1 Svijet

U okviru implementiranog računalnog programa, umjetni život odvija se u dvodimenzionalnom prostoru bez prisutne gravitacije kojeg nazivamo svijet. Možemo ga zamisliti kao svijet kojeg promatramo pod mikroskopom između stakalca, s razlikom da se veličina bića koja žive u njemu, mjeri u metrima. Na slici 5.4 vidimo jedan trenutak naseljenog svijeta u simulaciji.

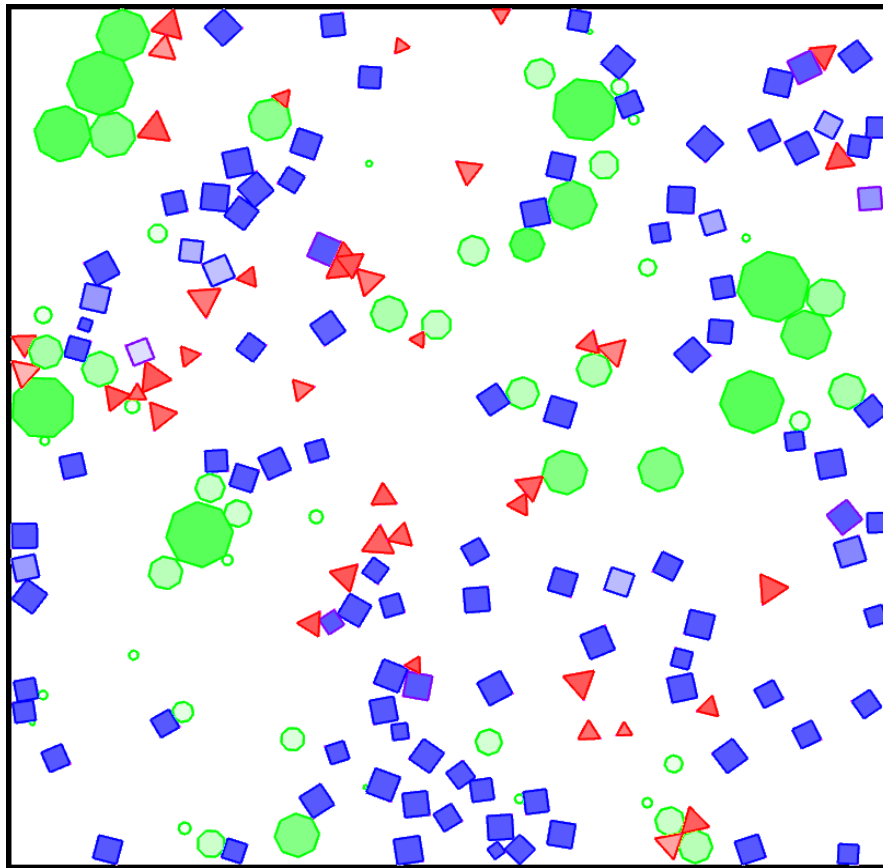
Zahvaljujući Box2D-u, svijet se ravna po istim fizikalnim principima kao svijet u kojem živimo.

Kako bi to bilo moguće, svakom biću je dodijeljeno dinamičko tijelo (`b2_dynamicBody`) pomoću kojeg se računaju pozicija, sile i moment koje djeluju na tijelo, te brzine. Osim toga, tijelu se određuje i oblik (`b2PolygonShape`) i tvar od kojeg je tijelo (`b2FixtureDef`). Oblik tijela i tvar od koje se sastoji su izuzetno bitni u fizici svijeta kojeg poznajemo jer se pomoću njih računa masa, centar mase, kutevi dodira i druge stvari bez kojeg svijet ne bi bio to što jest.

Zbog ograničenih resursa računala, uvedena su ograničenja na veličinu svijeta, koju je moguće podesiti prema željama. Veličinu svijeta je moguće mijenjati tijekom izvođenja simulacije.

Pretpostavljen je vanjski izvor energije, kao što je Sunce, koji omogućuje razvoj i rast biljaka, koje predstavljaju ključnu komponentu u simulaciji života, kao bića na dnu hranidbenog lanca, bez kojih je bilo kakav viši oblik života teško zamisliv.

Simulacija se odvija u realnom vremenu s koracima po 1/60 s. Upravo toliko vremena prođe između osvježavanja ekrana.



Slika 5.4: Primjer naseljenog svijeta

### 5.2.2 Parametri

Svim bićima je moguće podesiti istu vrstu parametara, kao što je vidljivo na slikama 5.5, 5.6 i 5.7.

*Count* određuje broj bića te vrste koji će se dodati u svijet pritiskom na gumb *Create*.

*Size* je srednja vrijednost veličine biće koja se dodaju u metrima. Veličina bića će varirati oko te vrijednosti.

*Growth Rate* je iznos s kojim se množi veličina u svakom koraku simulacije, i predstavlja brzinu rasta. Osim tim parametrom, brzina rasta je određena i starošću bića i to obrnuto proporcionalno, tako da starija bića sporije rastu.

*Mutation Rate* je parametar koji ima višestruku ulogu. Pri stvaranju grupe bića, koristi se za stvaranje raznolikosti mijenjajući početne vrijednosti svih parametara. Tijekom simulacije prilikom svakog razmnožavanja omogućuje mutacije svih parametara bića maksimalno do iznosa  $\pm \textit{Mutation Rate} * 100\%$  vrijednosti parametra.

*Max Age* također ima višestruku ulogu. Osim što određuje maksimalnu dob koju organizam može doživjeti, direktno utječe na dob u kojoj se bića mogu početi razmnožavati jer se u pravilu bića koja dulje žive kasnije počinju razmnožavati.

*Energy* je jedan od ključnih parametara za bilo koji život. Život se u velikoj mjeri svodi na razmjenu energije i bez nje nema života, pa je potrebno podesiti početnu energiju koju će bića imati.

### 5.2.3 Biljke

Intuitivno, zelenu boju zbog klorofila asociramo s biljkama, a oblik krošnji drveća, presjek njihovih debla i stabljiki podsjećaju na kružnice. Zbog svega navedenog biljke su predstavljene zelenim osmerokutima.

Nemaju sposobnost vidjeti svoju okolinu niti se kretati. Slično kao i na Zemlji, predstavljaju izvor energije pretvarajući Sunčevu energiju u hranu za druge organizme. Njihova energija ovisi o njihovoj veličini i rastu tijekom cijelog života.

Kada dosegnu određenu veličinu i starost (30% od maksimalne duljine života), razmnožit će se ukoliko sjeme padne na plodno tlo. Vjerojatnost da sjeme padne na plodno tlo određena je kao  $1 - \text{Mutation Rate}$ .

Kao i biljke koje poznajemo na Zemlji, niti u simulaciji ne žive vječno već umiru nakon nekog vremena ili kada ih biljojedi pojedu (poglavlje 5.2.4). U tom slučaju im se oduzima dio veličine, a time i energije, slično kao kad se drvetu podrezuju grane. Ukoliko im veličina padne ispod nekog praga (koji ovisi o početnim vrijednostima parametara *Growth Rate* i *Max Age*), neće više moći postići veličinu potrebnu da bi se razmnožili te neće moći nastaviti vrstu. To podržava "pravo jačega" i poklapa se sa situacijom koju možemo vidjeti među biljkama u stvarnom životu.

Parameter	Value
Count	70
Size	5,00
Growth Rate	1,000100
Mutation Rate: ±	0,200000
Max Age	120,00
Energy	200,00

Slika 5.5: Izbornik za stvaranje biljaka

### 5.2.4 Biljojedi

Biljojedi se hrane biljkama. U simulaciji su predstavljeni plavim kvadratima.



Kako bi došli do prijeko potrebnih biljaka, moraju vidjeti gdje se biljke nalazi. Biljojedi i predatori imaju senzore kojim vide svoju okolinu i svjesni su svega što se nalazi unutar vidnog polja. Sve što se nalazi van tog polja im je potpuna nepoznanica. Moraju se i kretati kako bi došli do njih. Za to se moraju okrenuti u pravom smjeru i krenuti primjenom stalne sile. Pri kretanju, naravno, gube onoliko energije koliko su uložili u gibanje. Kada se hrane biljkama, oduzimaju im energiju i smanjuju veličinu. Ukoliko su u mogućnosti, tj. ako su im biljke u blizini i nemaju zalihu od ranije, biljojedi će jesti više nego im treba i tako napraviti zalihu do 200%.

Rastom i kretanjem gube energiju. Bježe od predatora koji se hrane njima. Kada su zreli za razmnožavanje i imaju dovoljno energije, traže partnera s kojim bi nastavili vrstu. Dovoljan je jedan dodir s pravim partnerom za stvaranje potomka.

Pravi partner je onaj koji je također dovoljno zreo i s dovoljno energije.

Biljojedi, kao i u stvarnosti bježe od predatora. Ukoliko postoji predator u njihovom vidnom polju, biljojed će pogledati koji predator mu se nalazi najbliže, okrenuti se direktno od njega i bježati.

U slučaju da ih dohvati predator od kojeg nisu uspjeli pobjeći, bit će na neko vrijeme paralizirani, neće moći bježati i predator će se moći mirno hraniti. Ako se predator nahrani ili izgubi interes prije nego izvuče svu energiju iz biljojeda, paraliza ubrzo prolazi i biljojed ima ponovnu šansu preživjeti, ako se uspije oporaviti od napada.

U situaciji kada nisu u opasnosti, niti gladni, niti spremni za razmnožavanje, lutaju svijetom, krećući se nasumično.

Property	Value
Count	50
Size	2,00
Growth Rate	1,000100
Mutation Rate: ±	0,200000
Max Age	120,00
Energy	500,00

Slika 5.6: Izbornik za stvaranje biljojeda

### 5.2.5 Predatori

Crvene boje, koja predstavlja opasnost, i u obliku trokuta, predatori su na vrhu hranidbenog lanca. Hrane se isključivo biljojedima koje love čim im se nađu u vidnom polju, ukoliko su

gladni. Prilikom hranjenja paraliziraju biljojede, uzimaju im energiju i smanjuju veličinu. Kada su zreli za razmnožavanje i imaju dovoljno energije, slično kao i biljojedi, traže odgovarajućeg partnera i razmnožavaju se jednim dodirrom.

Energiju koriste za rast i kretanje, a umiru kada se ne uspiju prehraniti ili kada im istekne genetski predodređeno vrijeme.

U slobodno vrijeme lutaju po svijetu krećući se nasumično i plaše biljojede koji im se nađu u blizini.

Property	Value
Count	15
Size	2,00
Growth Rate	1,000100
Mutation Rate: ±	0,200000
Max Age	70,00
Energy	500,00

Slika 5.7: Izbornik za stvaranje predatora

### 5.3 Pseudokod novog modela

Osim zasebnih elemenata, potrebno je opisati i kako sustav radi kao cjelina.

U tablici 5.1 opisan je pseudokod simulatora. Taj pseudokod opisuje događaje koji se odvijaju svakog trenutka u simuliranom svijetu. Svi događaji izvode se paralelno. Da bi se to omogućilo, logika bića je razdvojena od osvježavanja fizičkih karakteristika. U tu svrhu se najprije za svako biće u populaciji traži njegova odluka i tek potom se osvježavaju fizičke karakteristike. Budući da bića odluke donose na temelju svojeg unutarnjeg stanja, svoje pozicije, te pozicija bliskih mu bića, a ne na temelju odluka drugih bića, jer mu njihove odluke ne mogu biti poznate, svi događaji u simulatoru se efektivno odvijaju paralelno.

Kako svijet u simulatoru treba promatrati u stvarnom vremenu, fizikalni model je napravljen da to omogućuje, a osvježavanja se izvode svakih 1/60 sekundi.

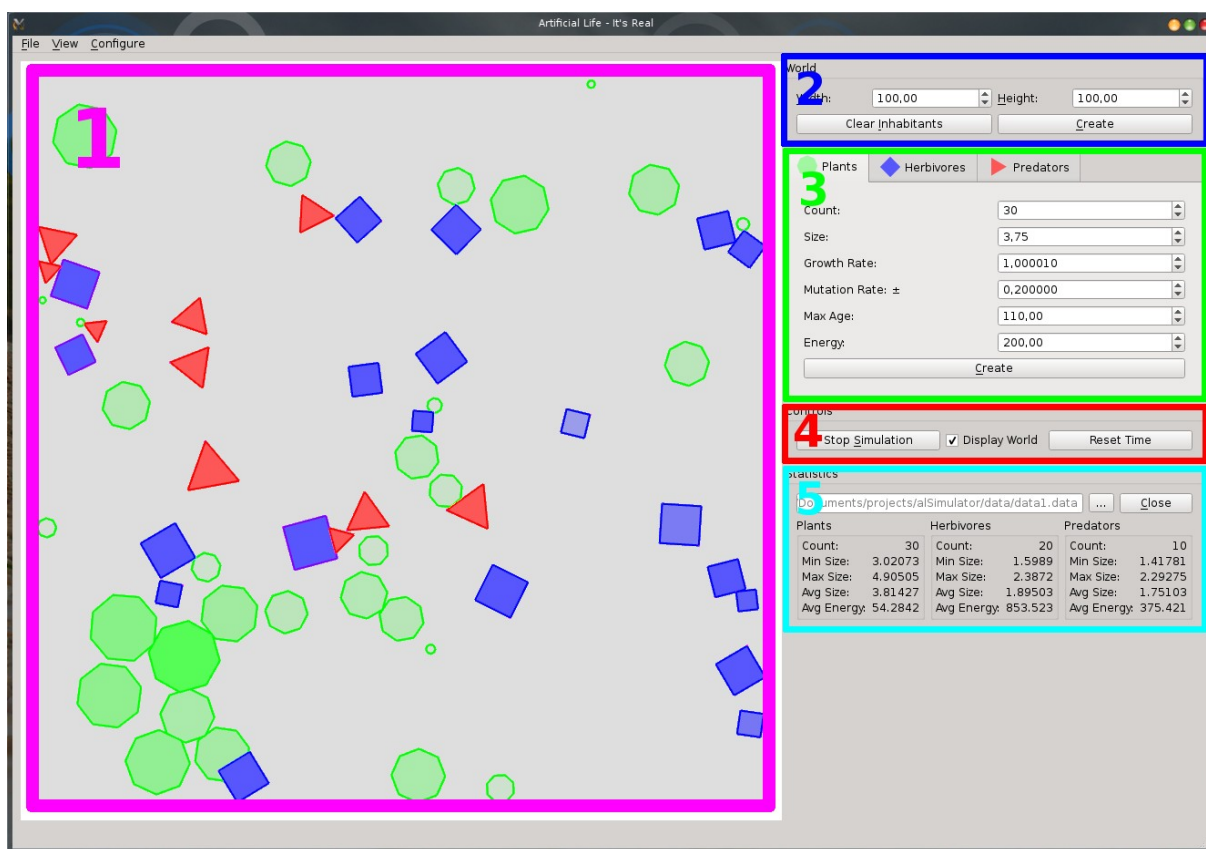
Sve dodatne pravilnosti proizlaze iz trenutnog smještaja pojedinih bića. Bića ne pamte niti rade planove van trenutnog okruženja i potreba.

Iz ovih pravila proizlaze ciklus života i evolucijski razvoj.

Tablica 5.1: Pseudokod simulatora

```
Ponavljaj svakih 1/60 sekundi
{
  Za svako biće B iz populacija
  {
    B.rasti()
    B.stari(1/60)
    ako B.uOpasnosti()
      B.idi(od opasnosti)
    ako B.energija() = niska
      B.idi(prema hrani)
    ako B.sposobnoZaRazmnožavanje()
      B.idi(prema potencijalnom partneru)
    ako B.kontakt(hrana) i ako B.energija() nije maksimalna
      B.jedi(hrana)
    ako B.kontakt(partner) i ako B.sposobnoZaRazmnožavanje()
      B.razmnoži(partner)
    ako B.mrtvo()
      populacija.ukloni(B)
  }
  Izračunaj nove pozicije i brzine svih objekata u svijetu
  na osnovu promjena koje su se dogodile u zadnjih 1/60
  sekunde()
}
```

## 5.4 Radno okruženje za modeliranje umjetnog života



Slika 5.8: Prikaz programa s označenim dijelovima

### 1. Prozor u simulirani svijet.

Ovdje je moguće gledati u stvarnom vremenu, bilo koji dio simuliranog svijeta iz bilo koje udaljenosti.

Pomicanje pogleda moguće je pritiskom na lijevu tipku miša unutar prozora i pomicanjem. Točka koja je primljena pritiskom na tipku bit će pomaknuta na ono mjesto gdje je tipka puštena. Cijeli proces se osvježava uživo pa je moguće intuitivno pratiti pomak.

Korištenjem kotačića miša moguće je zumirati. Pomicanjem prema gore zumira se prema točki gdje se pokazivač nalazi, pomicanjem prema dolje odzumirava se od te točke.

Pogled se osvježava nakon svake promjene u svijetu, tipično svaku 1/60 sekunde.

Samim pogledom na bilo koje biće u svijetu moguće je puno saznati o njemu.

Sva bića definirana su oblikom, vanjskom konturom, bojom i orijentacijom.

Prema obliku i boji zna se vrsta kojoj biće pripada.

Veličina je sljedeća očita informacija koja je vidljiva iz svijeta i izražena je konturom.

Kontura je iste boje kao i biće ali izraženije nijanse kako bi stalno bila uočljiva, osim ako je biće paralizirano, tada mijenja boju u purpurnocrvenu.

Nivo energije koju biće posjeduje moguće je vidjeti kao prozirnost bića. Potpuno neprozirno bića ima 100% ili više energije. Potpuno prozirno biće, biće kojem je vidljiva samo kontura, ima 0% energije i mrtvo je pa nestaje iz svijeta. Svi ostali nivoi prozirnosti su linearno ramziješteni između 100 i 0.

Purpurnocrvena točka na jednom od vrhova bića predstavlja orijentaciju bića, odnosno njegovu glavu. To je bitna karakteristika bića jer se ona kreću u tom smjeru.

## 2. **Kontrole svijeta**

Ovo je područje u kojem se svijet stvara. Izborom širine *Width* i visine *Height*, odabire se veličina svijeta u metrima. Klikom na gumb *Create* stvaraju se fizičke granice svijeta unutar kojih se bića rađaju.

Promijenom dimenzija za vrijeme izvođenja simulacije i klikom na gumb *Create*, mijenja se veličina svijeta.

Dodatna kontrola *Clear Inhabitants* omogućuje se čišćenje svijeta od svih bića koja se trenutno nalaze u njemu. To je potrebno kod ponovnog pokretanja simulacije, ukoliko želimo zamijeniti trenutnu populaciju novom.

## 3. **Stvaranje bića**

Ovaj okvir sadrži 3 kartice. Sve 3 kartice imaju sličnu funkcionalnost i isti način korištenja. Ovisno o tome je li otvorena kartica za biljke, biljojede ili predatore, bit će moguće stvoriti grupu tih bića pritiskom na gumb *Create*.

Svi parametri su pobliže opisani u poglavlju 5.2.2.

## 4. **Kontrole simulacije**

Pritiskom na gumb *Start Simulation* pokreće se simulacija i tekst na gumbu se mijenja u *Stop Simulation* jer se isti gumb koristi i za njeno zaustavljanje.

Simulacija bilježi vrijeme od pokretanja u datoteku sa statistikom. U slučaju ponovnog pokretanja simulacije, potrebno je prethodno vratiti vrijeme na nulu. Upravo tome služi gumb *Reset Time*.

Kriptički *Display World check-box* ima ulogu omogućavanja osvježavanja prikaza u prozoru za simulirani svijet. Pri ispitivanju sustava sa svrhom generiranja datoteka sa statističkim podacima, nije potrebno vidjeti što se događa u svijetu uživo. Razvoj svijeta može dovesti do većih populacija od preko 500 bića, koje ukoliko su na manjem prostoru stalno imaju međusobnu interakciju. Obrada svih tih interakcija je računalno zahtjevna i može dovesti do pada broja osvježavanja ispod 60 u sekundi. U takvim slučajevima isključivanje osvježavanja prozora u svijet može ubrzati izvršavanje ciklusa, a tako i generiranje datoteka sa statistikom.

*Reset Time* gumb vraća vrijeme na vrijeme postanka svijeta. Tu se nalazi kako bi omogućio razne scenarije u svijetu, a tipično se koristi kod pokretanja simulacije novog svijeta s novim bićima, u kombinaciji s *Clear Inhabitants* gumbom iz kontrola svijeta.

## 5. **Statistika**

Prvi red u ovom prostoru služi za odabir datoteke u koju će se statistika pohraniti. Ime, odnosno putanju, datoteke moguće je upisati u široki prostor za tekst ili klikom na gumb "... " izabrati iz prozora za odabir datoteka. Pri odabiru iz prozora za odabir datoteka odabrana datoteka automatski će se otvoriti. Za otvaranje nove datoteke potrebno je postojeću prvo zatvoriti pritiskom na gumb *Close*.

Ovakav naizgled suviše kompliciran sustav za odabir datoteka je odabran iz više razloga.

U osnovnom načinu korištenja ponaša se kao i otvaranje datoteka u bilo kojem drugom programu.

Pri uzastopnom pokretanju simulacija s različitim parametrima, u svrhu stvaranja statističkih datoteka, omogućuje jednostavnu promjenu imena datoteka upisom broja na kraj putanje datoteke, bez potrebe za primjetno duljim otvaranjem prozora za odabir datoteke, odabira putanje i upisivanjem imena u otvorenom prozoru. Dulji postupak je također moguć, za one kojima taj način više odgovara.

#### **Format podataka u datoteci za statistiku**

Svaki redak predstavlja stanje u jednom trenutku u simulaciji i prikazan je u tablici 1. Vrijednosti su zapisane u tekstualnom obliku s razmakom između. Kod decimalnih vrijednosti koristi se točka za odvajanje cijelog i decimalnog dijela.

Takav zapis povoljan je za korištenje u programu za iscrtavanje **gnuplot**.

*Tablica 5.2: Redoslijed vrijednosti u retku*

<b>Redoslijed vrijednosti u retku:</b>	<b>Opis vrijednosti</b>
1	Trenutno vrijeme u simulaciji
2	Broj biljaka
3	Veličina najmanje biljke
4	Veličina najveće biljke
5	Srednja veličina biljke
6	Srednja vrijednost energije biljaka
7	Broj biljojeda
8	Veličina najmanjeg biljojeda
9	Veličina najvećeg biljojeda
10	Srednja veličina biljojeda
12	Srednja vrijednost energije biljojeda
13	Broj predatora

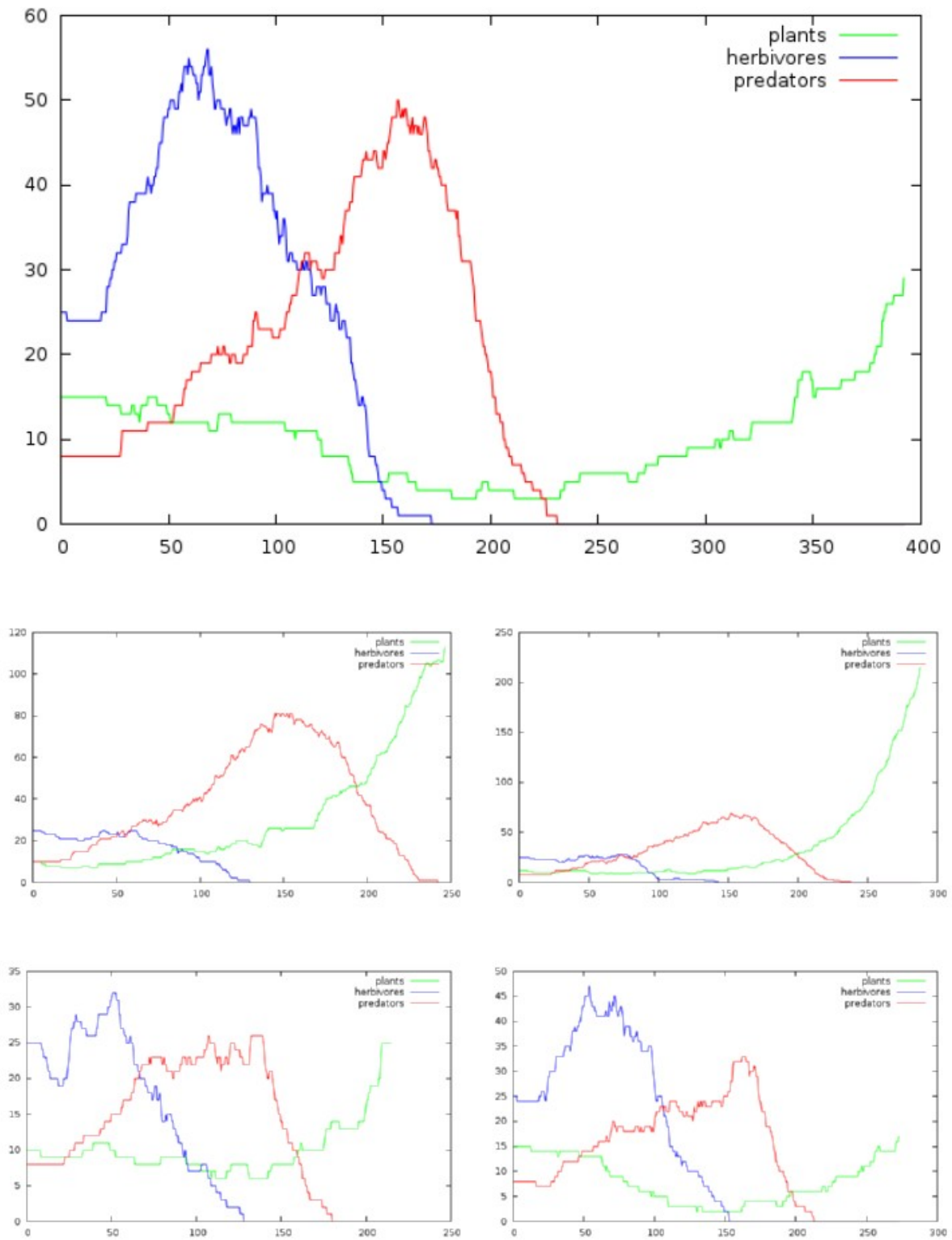
14	Veličina najmanjeg predatora
15	Veličina najvećeg predatora
16	Srednja veličina predatora
17	Srednja vrijednost energije predatora

**Primjer pokretanja programa gnuplot:** `plot "data1.data" using 1:2 with lines title "plants", "data1.data" using 1:7 with lines title "herbivores", "data1.data" using 1:12 with lines title "predators"`

Ta naredba prikazuje na istom grafu kako se s vremenom mijenjao broj biljaka, biljojeda i predatora za datoteku *data1.data*.

## 5.5 Ispitivanje sustava

### 5.5.1 Dva najčešća scenarija



Slika 5.9: Grafovi jednog od uobičajenih scenarija života, biljke preuzimaju. Na x osi prikazano je vrijeme, na y osi broj primjeraka pojedine vrste. Zelenom linijom prikazane su biljke, plavom biljojedi, a crvenom predatori.



Jedan od uobičajenih scenarija prikazan je slikom 5.9. Iako naizgled različiti, grafovi imaju mnogo toga zajedničko.

Svjetovi prikazani grafovima počinju s različitim brojem pojedinih životnih vrsta. Bića su određena različitim početnim parametrima i pozicionirana su na različita početna mjesta.

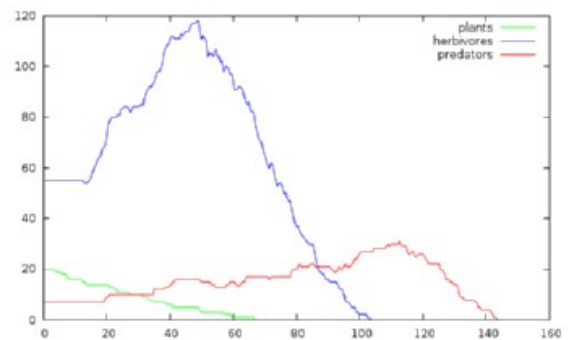
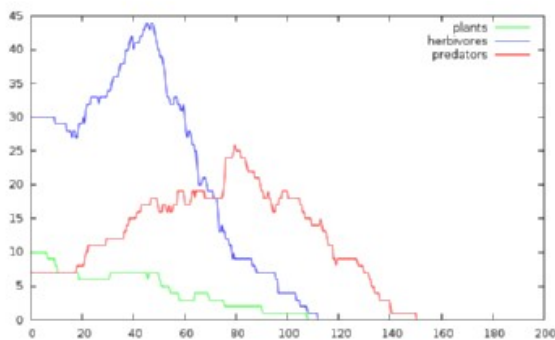
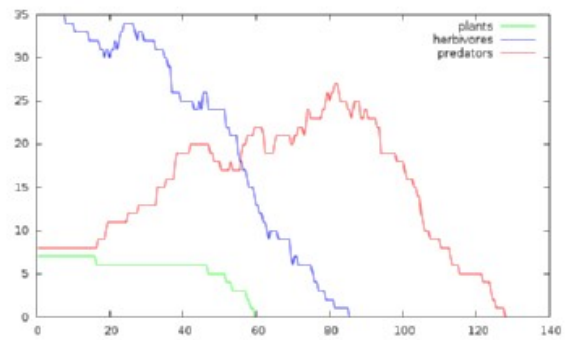
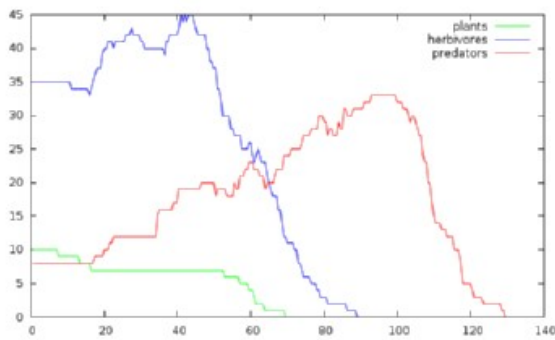
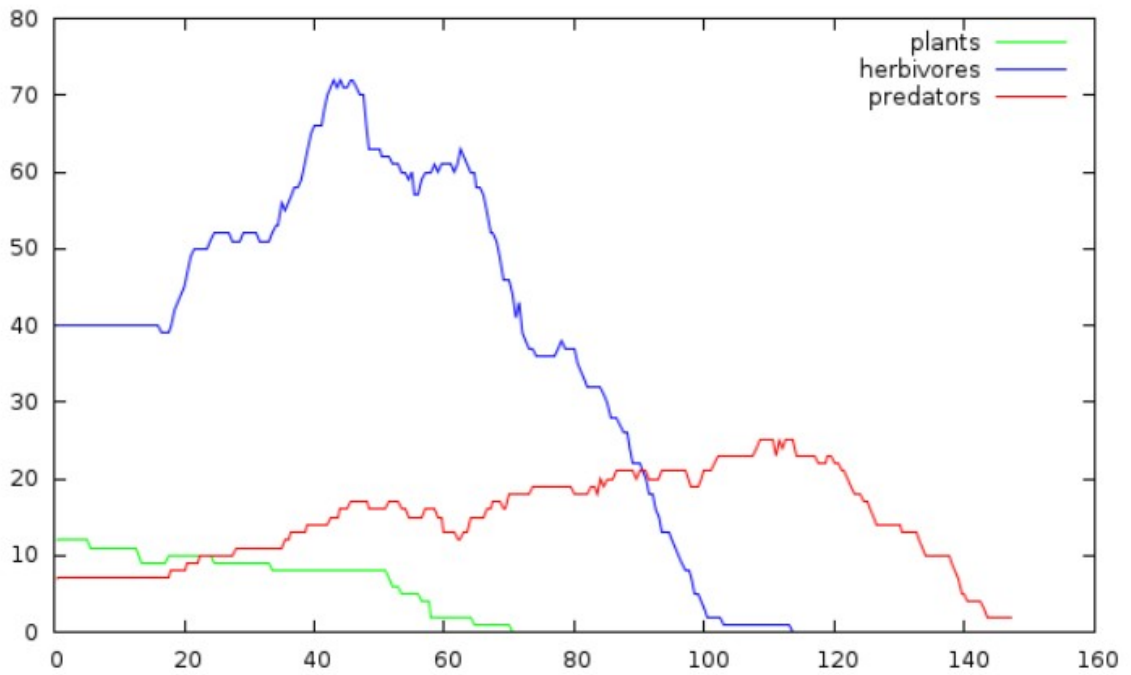
Unatoč tome, broj bića na svijetu se ponaša jako slično.

U početku biljojedi imaju dovoljno hrane, nemaju previše neprijatelja i brzo se razmnožavaju. Kako ih postaje sve više, potrebno im je više hrane koja je rjeđe dostupna. Osim toga, važnije od dostupnosti hrane, u ovom slučaju je broj neprijatelja, koji isto tako brzo raste, zbog dostupnosti hrane u sve većem broju.

Kada broj predatora poraste u odnosu na broj biljojeda, a broj biljaka se smanji, biljojedi počnu izumirati. Zbog povećanog broja predatora i, često, nedostatka hrane, biljojedi izumiru.

Izumiranjem biljojeda, događaju se dvije bitne stvari: predatori ostaju bez hrane i počnu izumirati, a biljke ostanu bez prirodnog neprijatelja i neometano se mogu razmnožavati, što dovodi do eksponencijalnog rasta broja biljaka.

Ovaj scenarij možemo nazvati **biljke preuzimaju**.



Slika 5.10: Grafovi jednog od uobičajenih scenarija života, biljke izumiru. Na x osi prikazano je vrijeme, na y osi broj primjeraka pojedine vrste. Zelenom linijom prikazane su biljke, plavom biljojedi, a crvenom predatori.

Drugi najčešći scenarij prikazan je slikom 5.10. I ovdje svjetovi započinju potpuno različiti i završavaju istom sudbinom.

U početku ima hrane u izobilju i biljojedi, a posljedično i predatori, počinju se množiti. Ukoliko broj predatora ne poraste dovoljno da smanji broj biljojeda na vrijeme, dolazi do izumiranja biljaka. Izumiranjem biljaka, ubrzo izumiru biljojedi, koje na tom putu zatim prate predatori.

Ovaj scenarij možemo nazvati **biljke izumiru**.

Promatranjem ovih scenarija sa stajališta pokretnih bića, koja svojim ponašanjem mogu utjecati na svoju sudbinu, dolazimo do zanimljivih zaključaka.

U prvom scenariju nakon početnog rasta populacije, dolazi do borbe za opstankom uslijed pomanjkanja resursa. Ta borba dovodi do izumiranja uključenih vrsta, dok se biljke kao resurs nakon toga oporavljaju i preuzimaju svijet. To možemo usporediti s borbom za hranu i pitku vodu koju možemo vidjeti u nekim dijelovima svijeta. Ljudska vrsta se u tom slučaju nalazi pri vrhu broja populacije, te je nemoguće reći gledamo li prvi ili drugi scenarij, ili možda neki treći, dok su mnoge vrste do sada već izumrle.

Drugi scenarij dovodi analogiju koja nam je u današnje doba možda čak bliža, ako ga usporedimo s borbom za naftu, koja je trenutno većinski izvor energije u svijetu. Nestankom izvora energije, bića više na hranidbenom lancu još neko vrijeme mogu preživjeti, pa čak i napredovati, hraneći se onima niže, nesvjesni nadolazeće sudbine, međutim prije ili kasnije i oni izumiru.

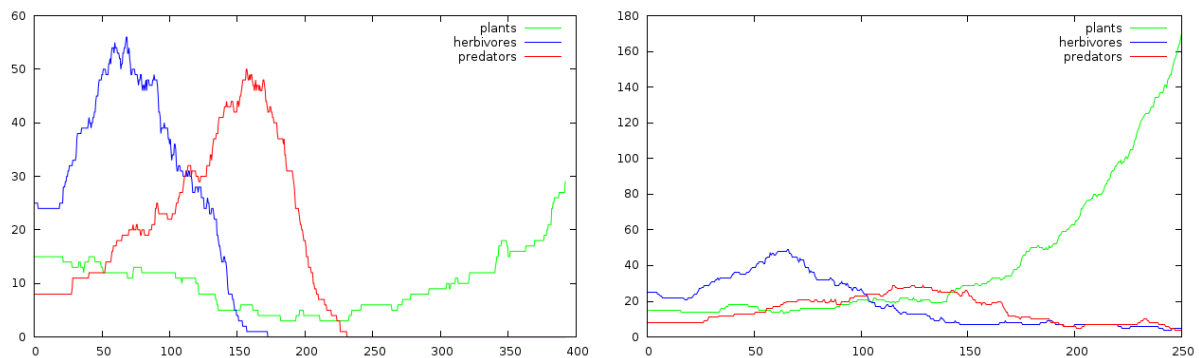
Bića u simulaciji nemaju nikakvu inteligenciju i vode se isključivo nagonima.

Ponašanje oba sustava je jako slično.

Svako biće ima želju nastaviti vrstu i iz tog razloga se razmnožavaju. Takvo ponašanje ima smisla kada je preživljavanje direktno ugroženo, a rasursa ima dovoljno, međutim kada ne postoji velika prijetnja na preživljavanje ili resursi postanu ograničeni, takvo ponašanje mogu dovesti do populacije koja će istrošiti resurse i kao posljedica toga izumrijeti.

Ljudi u razvijenijim dijelovima svijeta pokazuju smanjeni natalitet u posljednjim godinama, te sporiji globalni rast. Razvijaju se i alternativni izvori energije koji će zamijeniti naftu.

## 5.5.2 Utjecaj početnog smještaja pri istim parametrima



Slika 5.11: Graf lijevo: prvi uobičajeni scenarij; Graf desno: Svijet uz iste parametre zbog drukčijeg početnog razmještaja, ima drugačiju sudbinu.

Početni smještaj, pogotovo biljaka, ima bitan utjecaj na ishod sustava. Biljke djeluju poput zidova, predatori ne mogu proći kroz njih i teško ih je pomaknuti, a biljojedi ih mogu jesti i na taj način mijenjati topologiju.

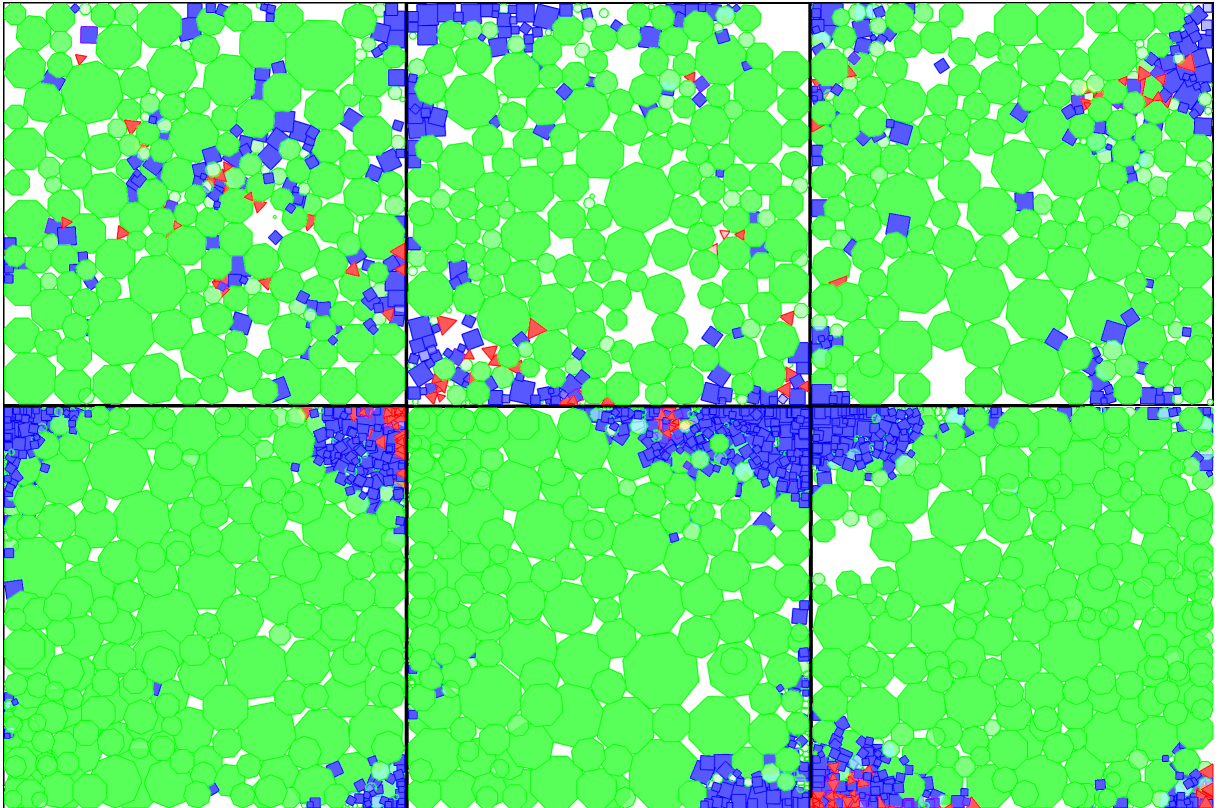
Biljojedi bježe od predatora bez obzira na njihovo trenutno zdravlje, odnosno količinu energije koju imaju, tako da će zanemariti glad ukoliko se predator nalazi u blizini i početi će bježati.

U slučaju da se stvori situacija u kojoj predatori zaštite biljke na taj način da se nađu između biljojeda i biljaka, biljojedi od straha ne mogu prići biljkama i jesti ih, biljke se stignu razviti prije nego izumru ili prije nego biljojedi izumru. Ubrzo dolazi do prenapučenosti svijeta.

Maksimalna duljina života također ima utjecaj na to jer ovisno o njoj je omogućeno i razmnožavanje. Ukoliko se duljina života smanji, bića će se prije moći razmnožavati, pa tako i brže napučiti svijet. To je pogotovo bitno kod biljaka, koje ne moraju tražiti odgovarajućeg partnera nego je dovoljno baciti sjeme. Sjeme se ne prihvati uvijek nego ovisi o stupnju mutacije, no ipak će se lakše razmnožiti nego, na primjer, biljojed ili predator koji u svojoj neposrednoj okolini ne vidi odgovarajućeg partnera.

Spomenuta topologija predstavlja osnovu za budući rad uvođenjem karata koje imaju granice poput onih koje rijeke, planine i mora čine u stvarnom svijetu.

### 5.5.3 Prenapučenost svijeta



Slika 5.12: Primjeri prenapučenosti svijeta

Do prenapučenosti dolazi najčešće kada biljke postanu previše brojne i izguraju druge vrste prema rubovima svijeta. U nekim situacijama to može dovesti do izumiranja predatora, pa i biljojeda, ukoliko su ih biljke razdvojile tako da se ne mogu razmnožavati.

U drugim situacijama, kao što je na primjer očito u donjem redu na slici 5.12, dogodi se takav raspored da se biljojedi nalaze između biljaka i predatora.

Ukoliko dođe do toga, sve vrste imaju resursa na pretek, nalaze se u blizini jedan drugog, te nije potrebno tražiti niti hranu niti partnera za rasplod. Kao posljedica toga, broj svih vrsta linearno ili eksponencijalno raste budući da ne postoji mehanizam koji bi vodio računa o napučenosti, primjerice kao što je u Conveyevoj igri života slučaj (poglavlje 2.1), što predstavlja osnovu za budući rad.

## 5.6 Budući rad

Radi se o složenom sustavu s velikim brojem parametara koje je moguće podešavati. Kao i život koji simulira, rezultati su često nepredvidivi, te je za iste početne parametre moguće

dobiti različite ishode. Potrebno je napraviti dodatak na sustav koji bi automatski radio uzastopna ispitivanja kako bi se dobili statistički dobri rezultati.

Zbog bolje sličnosti sa stvarnim svijetom, trebalo bi dodati i svejede, koji bi jeli biljke, biljojede, pa čak i predatore ukoliko se nađu u takvoj situaciji.

Bića u trenutnom sustavu imaju unaprijed određeni oblik i ponašanje, te nemaju sposobnost pamćenja van trenutnog vidokruga.

Potrebno je napraviti svojevrsni DNK kojim bi se definirao izgled bića i njihovo ponašanje.

Uz odgovarajuću implementaciju, taj DNK može koristiti i kao memorija, slično kao što je to u memoriji računala (poglavlje 3.1)

DNK sustav omogućio bi kodiranje bilo kakvih početnih bića, primjerice pomoću vanjskih konfiguracijskih datoteka.

Osim toga omogućio bi izrazitiji razvoj i čak stvaranje novih životnih vrsta.

Tome bi trebalo dodati različite oblike svjetova putem učitanih karata.

Kako bi se istraživanje moglo obavljati brže, potrebno je sustav dizajnirati tako da se može izvršavati na više procesora, u više dretvi.

Novonapravljeni sustav omogućit će nam još bolji uvid u život i poslužiti kao platforma za proučavanje života. Uz složenija bića s gotovo neograničenim potencijalom za razvoj očekuju se pojave kao što su socijalni fenomeni.

## 6. Zaključak

Život je uvijek fascinirao ljude i uvijek su ga proučavali. Razvojem matematike i računalstva, razvijeni su sustavi koji život simuliraju.

Dodatan razvoj računala omogućio je simulaciju života sličnog onom koji vidimo u stvarnosti.

U sklopu rada uveden je novi model umjetnog života, napravljen simulator, te izvršeno njegovo ispitivanje. Model se sastoji od biljaka, biljojeda i predatora, u ograničenom prostoru, s fizičkim modelom koji odgovara onom kojeg vidimo u stvarnom svijetu. Bića nemaju pamćenje i vode se isključivo nagonima, reagirajući na neposrednu okolinu, a veličina im se mjeri u metrima.

Simulator je napravljen u jeziku C++, uz Qt okolinu, zbog prenosivosti između platformi.

Grafičko sučelje sastoji se od prozora u svijet, kontrola svijeta i simulacije uz velik broj podesivih parametara te prostora za statističke podatke. Statistiku je moguće pohraniti u datoteku u formatu pogodnom za otvaranje u programu za crtanje grafova gnuplot.

Za fizički sustav iskorišten je Box2D, a za hardverski ubrzan prikaz svijeta, zaslužan je OpenGL.

Ispitivanjem su primijećeni i opisani uobičajeni scenariji koji se događaju često i uz različite početne parametre. Scenariji "biljke preuzimaju" i "biljke izumiru" su uspoređeni sa sličnim pojavama koje primjećujemo u ljudskom društvu i dana je nada za ljudsko društvo.

Život je izrazito nepredvidiv fenomen i uz slične početne uvjete može se razviti u neočekivanim smjerovima. Uz svu tu nepredvidivost, jednostavni i složeni sustav pokazuju slično ponašanje.

## 7. Literatura

- [1] Andrew Adamatzky and Maciej Komosinski, *Artificial Life Models in Software*, Springer, 2005
- [2] Nadia Magnenat Thalmann, Daniel Thalmann, *Artificial Life and Virtual Reality*, John Wiley & Sons Ltd, 1994
- [3] Guy W. Lecky-Thompson, *AI and Artificial Life in Video Games*, Course Technology, 2008
- [4] Rodrigo Setti, *SimVida - An Artificial Life Experiment*, 2008, dostupno na adresi: <http://simvida.sourceforge.net/>, pristupano: 16.6.2014.
- [5] gLife, dostupno na adresi: <http://glife.sourceforge.net/>, pristupano: 16.6.2014.
- [6] Tanner Helland, *Artificial Life Simulator (in VB6)*, 2011, dostupno na adresi: <http://www.tannerhelland.com/vb6/artificial-life-simulator-vb6/>, pristupano: 16.6.2014.
- [7] Ed T. Toton III, *Artificial Life Experiments*, dostupno na adresi: <http://necrobones.com/alife/>, pristupano: 16.6.2014.
- [8] Martin Gardner, *MATHEMATICAL GAMES The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game "life"*, 1970, dostupno na adresi: [http://ddi.cs.uni-potsdam.de/HyFISCH/Produzieren/lis\\_projekt/proj\\_gamelife/ConwayScientificAmerican.htm](http://ddi.cs.uni-potsdam.de/HyFISCH/Produzieren/lis_projekt/proj_gamelife/ConwayScientificAmerican.htm), pristupano: 16.6.2014.
- [9] *Artificial Life Links*, dostupno na adresi: <http://www.alcyone.com/max/links/alife.html>, pristupano: 16.6.2014.
- [10] *Robot*, dostupno na adresi: <http://en.wikipedia.org/wiki/Robot>, pristupano: 16.6.2014.
- [11] *ASIMO, an acronym for Advanced Step in Innovative Mobility*, dostupno na adresi: <http://en.wikipedia.org/wiki/ASIMO>, pristupano: 16.6.2014.
- [12] *AIBO Artificial Intelligence Robot*, dostupno na adresi: <http://en.wikipedia.org/wiki/Aibo>, pristupano: 16.6.2014.
- [13] *DARPA Grand Challenge*, dostupno na adresi: [http://en.wikipedia.org/wiki/DARPA\\_Grand\\_Challenge](http://en.wikipedia.org/wiki/DARPA_Grand_Challenge), pristupano: 16.6.2014.
- [14] *Energetically Autonomous Tactical Robot (EATR) Project*, 2003, dostupno na adresi: <http://www.roboticstechnologyinc.com/index.php/EATR>, pristupano: 16.6.2014.
- [15] Theo Jansen, *Strandbeest*, dostupno na adresi: <http://www.strandbeest.com/>, pristupano: 16.6.2014.