

Sprawozdanie z przedmiotu: Obliczenia i systemy inspirowane biologicznie			2006-03-11
Prowadzący: dr inż. Maciej Komosiński			zajęcia: pon. 15:10
Temat: Capture the Flag – eksperyment			
Radosław Kozłowski	Inf55477	ISWD	qortes@op.pl

Słowem wstępu

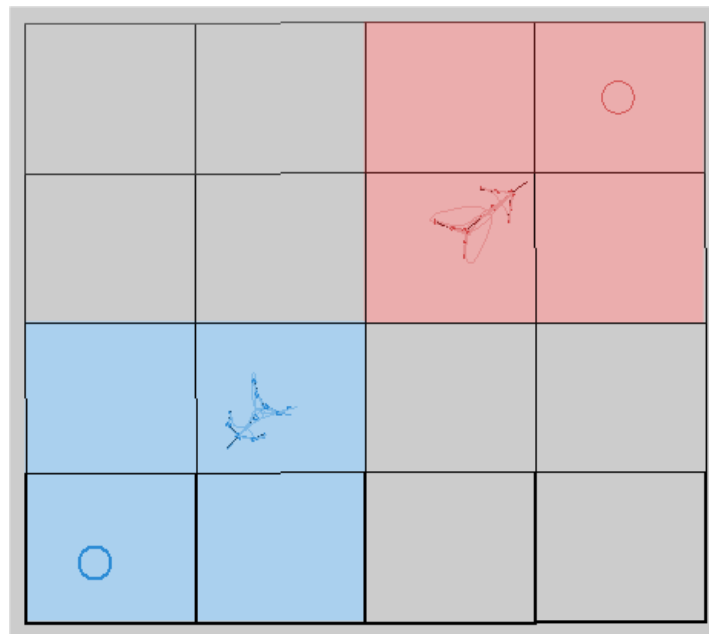
Eksperyment „Zdobądź flagę” (ang. *Capture the Flag*) jest samodzielnym projektem, zrealizowanym w ramach zajęć z OSiB dla środowiska symulacyjnego Framsticks.

Pomysł na jego realizację zrodził się w mojej głowie przy okazji poznawania symulatora EINSTEIN. Projekt autorstwa CNA Corporation pozwalał zrozumieć fundamentalne procesy zachodzące podczas współczesnych działań wojennych przy okazji prostej symulacji pola bitwy i dwóch wirtualnych armii rywalizujących o konkurencyjne flagi.

Zdecydowałem się więc na eksperyment, przy pomocy którego uda mi się zaobserwować zachowanie dwóch stworzeń (w efekcie ewolucji dwóch gatunków), próbujących wykraść sobie nawzajem przeciwne flagi. Projekt wydał mi się o tyle ciekawy, że sytuacja taka często ma miejsce w naturze. Jest to bowiem klasyczny przykład koewolucji. Mamy tu do czynienia z obustronną zmianą ewolucyjną w środowisku oddziaływującym na siebie.

Założenia

Polem rywalizacji jest plansza o kształcie kwadratu z dwoma flagami, umieszczonymi w przeciwległych kątach. Przy każdej z nich „rodzi” się osobnik, którego zadaniem jest jak najskuteczniejsze dotarcie do flagi przeciwnej (tj. szybciej, niż rywal do jego)



W danej turze rywalizuje dwóch osobników, każdy z przeciwnej drużyny – „Armii Czerwonej”, bądź „Armii Niebieskiej”.

Na zdobycie flagi ma wpływ przeciwnik. Tym samym mamy szansę zaobserwować koewolucję dwóch gatunków. Czy będzie to koewolucja konkurencyjna, czy kooperatywna- zależne to będzie od zastosowanej funkcji przystosowania. W moim przypadku założyłem, że *fitness* jest tylko pośrednio zależny od zachowania osobnika przeciwnego. Stworzeniom zależy tylko na tym, by samemu „wypaść” jak najlepiej, bez czynienia szkody rywalowi. Można więc założyć, że zaobserwuję coś w rodzaju współpracy. Nie jest to jednak w żadnym przypadku symbioza dwóch gatunków. Myślę, że przy takiej funkcji przystosowania zaobserwuję zjawisko dużo ciekawsze. A mianowicie tworzenie się niezależnych **nisz ekologicznych**. Różne gatunki naucza się nie wchodzić sobie w drogę, mając zapotrzebowanie na różne zasoby.

Wróćmy jednak do samej istoty koewolucji, w tym przypadku koewolucji dwóch gatunków. Aby to osiągnąć w eksperymencie wykorzystałem dwie zupełnie oddzielne pule genów. Osobniki z różnych puli genów nie mogą się ze sobą krzyżować. Symuluje to znany w naturze prezygotyczny mechanizm izolacyjny, polegający na tym, że osobniki różnych gatunków nie akceptują się.

Zbierzmy więc w całość podstawowe założenia projektu i ich analogie do natury.

Framsticks	Natura
<ul style="list-style-type: none"> • Ring jako miejsce rywalizacji. • Dwie flagi jako zasób do zdobycia. • Flagi różnią się od siebie. • Rywalizujące osobniki należą do dwóch oddzielnych pól genów. • Efekt: wzajemne nie przeszkadzanie sobie przy zdobywaniu flagi, nie pozbawione jednak rywalizacji. 	<ul style="list-style-type: none"> • Środowisko życia ptaków (jezioro). • Ryby jako ich pokarm. • Ryby te należą do osobnych gatunków. • Mamy dwa gatunki ptaków, żywiące się odpowiednim dla nich gatunkiem ryb. • Efekt: współżycie w jednym środowisku na zasadzie pozornej neutralności. Wytworzenie dwóch oddzielnych nisz ekologicznych.



Przebieg pracy

Założenia projektowe oczywiście zmieniały się dynamicznie wraz w postępiami pracy oraz moją rosnącą wiedzą na temat eksperymentu. Warto przypomnieć, że początkowo zakładałem możliwość rozmieszczenia w świecie „pożywienia”, które zwiększałyby energię osobnika oraz „walki”, która nawet została zaimplementowana i może zostać z powodzeniem wykorzystana przy ewentualnej dalszej rozbudowie eksperymentu. Na tym etapie zdecydowałem się z niej zrezygnować, w związku z założeniem „neutralności” koewoluujących gatunków.

Początkowo w eksperymencie wykorzystywałem tylko jedną pulę genów. Można więc uznać, że symulowałem koewolucję wewnątrzgatunkową, mającą na celu wyewoluowanie najsprawniejszego osobnika, a w efekcie wzmocnienie gatunku. Istotną rolę miała w tym przypadku zastosowana funkcja przystosowania, postaci:

- Dla osobnika czerwonego:

$$\text{fitness}_R = 1.0 + (d_B - d_R) / (d_B + d_R)$$

- Dla osobnika niebieskiego:

$$\text{Fitness}_B = 1.0 + (d_R - d_B) / (d_B + d_R)$$

Gdzie:

d_R – odległość „czerwonego” od flagi „niebieskiej”

d_B – odległość „niebieskiego” od flagi „czerwonej”

$\text{fitness}_R \in (0.0 ; 2.0)$

Funkcja przystosowania premiowała więc nie tylko zdobycie flagi. Jej wartość zależna była bowiem także od odległości przeciwnika od naszej flagi. Zmuszała więc nie tylko do działań ofensywnych, ale także do zabezpieczenia własnych zasobów. Okazało się to nieskuteczne. Osobnikowi zależało na wzmocnieniu siebie i jednoczesnym osłabieniu przeciwnika. Ponieważ oba przypadki dotyczyły jednego gatunku, więc finalnie prowadziło to ewolucję do nikąd. Właściwie tej ewolucji wcale nie było 😊

Zdecydowałem się więc na rozwiązanie znacznie bardziej zaawansowane i zaimplementowałem dwa oddzielne gatunki. Krzyżowanie i wymiana genów odbywała się już tylko w obrębie danego gatunku. Przy tym rozwiązaniu pozostałem do teraz.

Problemem okazała się jednak funkcja przystosowania. Z racji tego, że była skalowana do przedziału $(0 ; 2)$, w zasadzie jej wartość informacyjna (tak dla mnie, jak i dla ewolucji) była znikoma. Wartość tej funkcji była względna co sprawiało, że przy ograniczonej wielkości populacji usuwane były osobniki, które mogły dużo pozytywnów wnieść do procesu ewolucji. Po wtóre, zgubne okazało się uzależnienie oceny przystosowania od przeciwnika. Zdecydowanie zbyt często miała miejsce sytuacja, że wizualnie słaby osobnik okazywał się doskonale przystosowany tylko dlatego, że jego przeciwnik był „inwalidą”.

Efektom tych przemyśleń była nowa funkcja przystosowania, zastosowana już dla eksperymentu z dwoma pulami genów.

- Dla osobnika czerwonego:

$$\text{fitness}_R = 1/k * (E_R - n * d_R)$$

- Dla osobnika niebieskiego:

$$\text{fitness}_B = 1/k * (E_B - n * d_B)$$

Gdzie:

k – dzielnik;

n – współczynnik decydujący, jak duże znaczenie dla przystosowania będzie miał sam fakt zdobycia flagi przeciwnej;

E_R – energia „czerwonego”;

E_B – energia „niebieskiego”;

d_R – odległość „czerwonego” od flagi „niebieskiej”;

d_B – odległość „niebieskiego” od flagi „czerwonej”;

$\text{fitness}_R, \text{fitness}_B \leq 100$;

Tak zdefiniowane przystosowanie jest jedynie pośrednio uzależnione od przeciwnika. Objawia się to faktem, że właściwie nie ma możliwości, by osobnik w drodze po flagę nie napotkał rywala. Zderzenie z nim powoduje niepotrzebną utratę energii, zależy nam natomiast na zdobyciu flagi jak najmniejszym kosztem (w sensie „zmęczenia”, czyli utraty energii właśnie). No i oczywiście nie zapominajmy, że osobniki zabijane są w momencie, gdy któryś z nich dotknie flagi przeciwnej. Wciąż więc priorytetową kwestią jest to, aby osiągnąć cel szybciej, niż zrobi to konkurent! Jak najbardziej mamy więc tu do czynienia z koewolucją.

W toku pracy nad eksperymentem przyjąłem, że $k = 10$ (ma to na celu jedynie uzyskanie większej czytelności uzyskanych wyników) oraz $n = 50$. Drugi ze współczynników ma istotne znaczenie. Początkowo wartość ta była równa 100. Wyrażało to mój duży nacisk na fakt, by osobniki przede wszystkim zdobywały flagę. Sprawiało to jednak, że stworzenia „łatwo” uzyskiwały fitness mniejszy od zera, który finalnie je dyskwalifikował, mimo, iż dawały one pewne nadzieje na dobre wyniki. Stąd zmniejszenie n , dzięki temu geny osobników, które rywal ubiegł nieznacznie, wciąż były brane pod uwagę w procesie ewolucji. Co nie zmienia faktu, że nacisk na zdobycie flagi nadal był bardzo znaczny.

Powyższą funkcję zastosowałem w ostatecznej wersji eksperymentu.

W procesie pracy nad projektem zmieniała się także wielkość populacji. Początkowo oba gatunki mogły liczyć maksymalnie po 200 instancji genotypów. Dawało to sporą różnorodność, niestety okazało się, że zbieżność ewolucji była zbyt niska. Znacznie zmniejszyłem więc parametr *Capacity* (do 30).

Podstawowe parametry

- Świat bez band, bez nierówności terenu. `World.wrldsiz = 20`;
- Dwie niezależne grupy genotypów: „ArmiaCzerwona”, „ArmiaNiebieska”;
- Flagi (pod postacią pożywienia, usytuowane w jednakowej odległości od środka) jako dwie niezależne grupy *LiveLibrary*: ‘FlagaCzerwona’, ‘FlagaNiebieska’;
- Flagi posiadają swoją energię: `ExpParams.feede0 = 10000`;

- Każdy osobnik rodzi się w stałym dla gatunku miejscu, przy stałej odległości od flag. Szanse obu konkurentów na starcie są równe.
- Osobnik posiada energię startową, którą wykorzystuje na poruszanie się: ExpParams.Energy0=1000; ExpParams.e_meta = 0.1;
- ExpParams.capacity = 30;
- Z populacji usuwane są najsłabsze osobniki: ExpParams.delrule = 2;
- Selekcja turniejowa, dwa genotypy: ExpParams.selrule = 2;
- ExpParams.p_mut = 64; ExpParams.p_xov = 16; ExpParams.p_nop = 20;

Wyczuwanie flagi

Ciekawym zagadnieniem jest pojęcie “zmysłu”. Zwróćmy uwagę, że Framsticki takowych nie posiadają. Mi natomiast zależało, by były one zdolne do wykrywania flagi przeciwnej. Stworzyłem więc neurony [Sfr] *Smell flag red* oraz [Sfb] *Smell flag blue*. Wzorowałem się przy tym na neuronie wykrywania pożywienia. Kod wygląda następująco:

```
var g=LiveLibrary.getGroup(3);
if (g) Neuro.state = g.senseCreaturesProperty(Neuro.position_x,
Neuro.position_y, Neuro.position_z, "energy", Neuro.creature);
```

Osobnik wykrywa stworzenie z danej grupy („3” flaga czerwona, „4” flaga niebieska) i kieruje się ku niemu wg rosnącej energii. Zaznaczmy, że „flagi” posiadają dużą energię własną, przez co ułatwiają konkurentom ich wykrywanie.

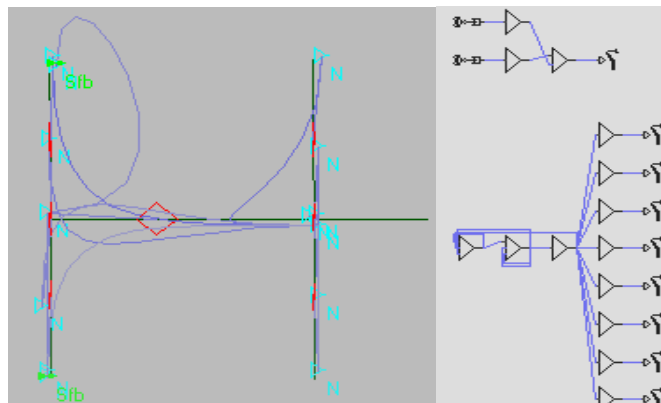
Eksperyment

Przejdźmy do sedna całego zadania, czyli przeprowadzenia właściwego eksperymentu. Podstawowym pytaniem jest, czy uda mi się zaobserwować koewolucję?

Genotyp startowy dla obu gatunków jest wspólny. To *Food Finder* (autor: Miron Sadziak)

```
IIIIffX[0:2.420, 2:-2, 1:-1][-1:1, 0:1, 0:-1][-1:1](RRIIIIffMMMXX[-1:-10]IIIIFFMMMXX[-2:-1],
fffIXXIIIIffMMMsX[6:10, 3:-10](RRIIIIffMMMIIX[-4:-10]IIIIFFMMMIX[-5:-1][S:1], ,
RRIIIIffMMMIIX[-7:10]IIIIFFMMMIX[-8:-1][S:1]), RRIIIIIffMMMXX[-10:10]IIIIFFMMMXX[-11:-
1.784])
```

gdzie [S] zastąpiłem neuronem [Sfb] bądź [Sfr] w zależności od gatunku.



Zgodnie z funkcją przystosowania możemy przypuszczać, że osobniki dążyły będą do jak najszybszego zdobycia flagi (wymuszonego chęcią zwycięstwa nad rywalem) przy jednoczesnej możliwie minimalnej utracie energii. Już początkowe iteracje pokazały, jakie problemy napotkają. Najważniejszy z nich to sprawne wykrywanie flagi do zdobycia. Ponadto okazało się, że bardzo łatwo dochodziło do kolizji między rywalami, co prowadziło do bezsensownej utraty sił. Zaznaczę w tym miejscu, że osobniki nie zostały wyposażone w neuron wykrywania siebie nawzajem. Czy więc ewolucja poradzi sobie z tym problemem? Czy nauczy się skutecznie wymijać przeszkody?

Z ogromną satysfakcją muszę przyznać, że udało mi się poczynić kilka interesujących obserwacji.

Przede wszystkim ewolucja w obu gatunkach wyraźnie podążyła różnymi ścieżkami. Oba gatunki dość znacznie różniły się od siebie- nie tylko wizualnie, ale przede wszystkim pod względem strategii działania. Co ciekawe „Armia Niebieska” od początku objęła prowadzenie w rywalizacji, posiadając osobników lepiej przystosowanych. W kolejnych pokoleniach różnica ta rosła, bądź malała, ale zaznaczmy – dała się zaobserwować. Co więcej, „Armia Niebieska” okazała się być dużo bardziej kreatywna. Tym samym uwidoczniła się wspomniana wcześniej zupełnie odmienna mentalność obu rywalizujących gatunków. „Armia Niebieska” aktywnie poszukiwała nowe rozwiązania. Wykształciła bardzo skuteczny sposób poruszania się, polegających na wykonywaniu dużych „kroków”. Bardzo sprawnie nauczyła się także jak wymijać stojącego na jej drodze przeciwnika, wykazując imponujące „wygimnastykowanie” oraz coś co można chyba określić mianem zmysłu wykrywania przeszkód. Zupełnie inaczej przebiegła ewolucja w obozie „Czerwonym”. Ponieważ całą „pracę” wykonywali „Niebiescy”, osobniki z gatunku „Czerwonego” charakteryzowały się pasywnością. Nie musiały wykształcić mechanizmu wymijania, ponieważ przeciwnicy sami skutecznie usuwali się z drogi.

Można więc podsumować, że osobniki jednego gatunku wymusiły na drugim jego bujną ewolucję. Później w środowisku zaobserwowałem coś, co przypomina znaną nauce koewolucję stacjonarną. Po osiągnięciu pewnego optimum, ewolucja znacznie zwolniła. Obie, obrane przez rywalizujące gatunki, strategie okazały się skuteczne i żaden nie zamierzał ich zmienić.

Przypuszczam, że dalsza ewolucja może teraz przebiegać w kierunku zwiększenia prędkości poruszania (tak, by dopaść do przeciwnej flagi szybciej niż konkurent) przy minimalizowaniu strat energii.

Podsumowując, w efekcie koewolucji zaobserwowałem:

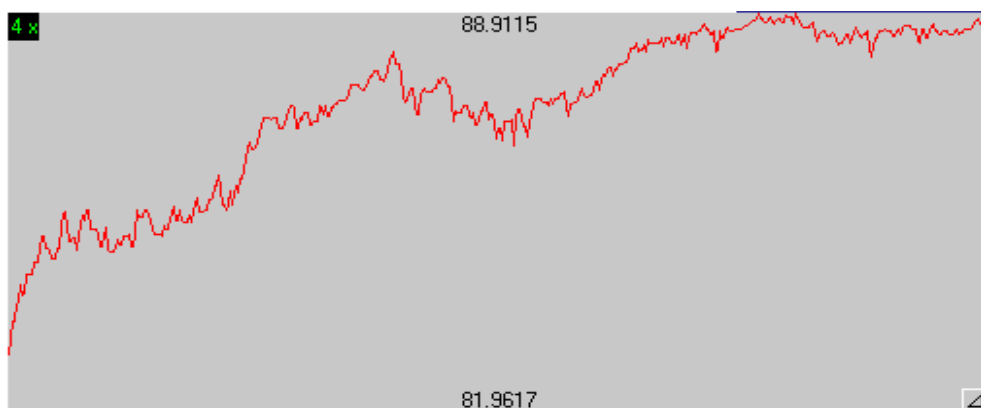
- Wyraźny liniowy wzrost przystosowania **obu gatunków** aż do ustabilizowania się niedaleko możliwego maksimum.
- Znaczne skrócenie czasu, jaki zajmuje **obu gatunkom** dojście do przeciwnej flagi.
- Skrócenie drogi, jaką pokonują osobniki **obu gatunków**, aby zdobyć flagę przeciwną.

Jak widać oba gatunki znacznie „zyskały”. Potwierdza to przypuszczenie sprzed przeprowadzenia obserwacji, że funkcja przystosowania wywoła „współpracę” między gatunkami, mimo założenia o rywalizacji. Pomimo współistnienia w środowisku i (poprzez obecność w nim) wpływania wzajemnego na siebie- oba gatunki zyskały.

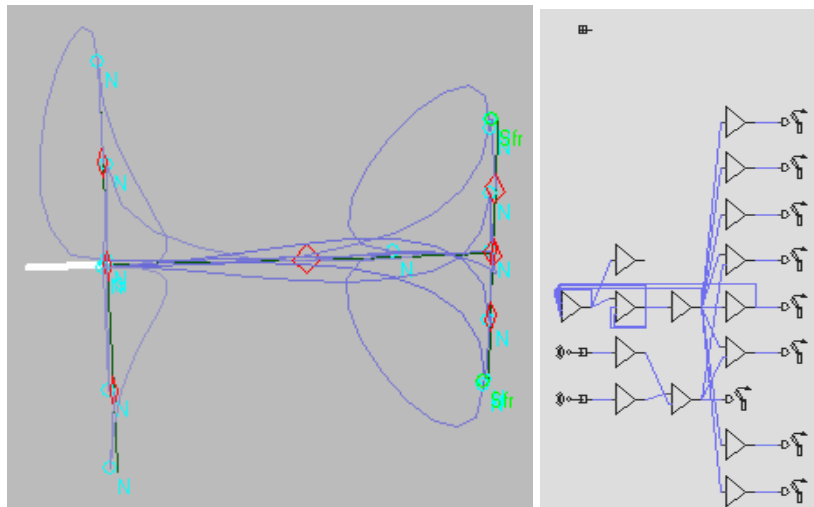
Przykładowy zbiór genotypów dla obu gatunków (po około 25 tysiącach operacji genetycznych):

Name	Genoty...	Bo...	Brain ...	Ordinal ...	Life span	Fitness	Final fitn...
Ezapig Okaek...	llfffssX[...	13	25	10208	1047	89.53	89.53
Erapim Okaek...	llfffssX[...	13	25	10266	1052	89.48	89.48
Ynizim Okaek...	llfffssX[...	13	26	10267	1094	89.06	89.06
Etapiw Okaek...	llfffssX[...	13	25	10230	1101.67	88.98...	88.9833
Irugus Okaek...	llfffssX[...	13	25	10256	1110	88.975	88.975
Ymapuz Okae...	llfffssX[...	13	25	10183	1106	88.94	88.94
Anugaw Okae...	llfffssX[...	13	25	10224	1059	88.87	88.87
Ahapus Okae...	llfffssX[...	13	25	10175	1121	88.79	88.79
Igizic Okaekohe	llfffssX[...	13	25	10222	1121.5	88.785	88.785
Owoun Okaek...	llfffssX[...	13	25	10111	1134	88.66	88.66
Ulapas Okaek...	llfffssX[...	13	25	10144	1100	88.59	88.59
Isyhih Okaeko...	llfffssX[...	13	25	10142	1150	88.5	88.5
Ymugiw Okaa...	llfffssX[...	13	26	10165	1173	88.27	88.27
Usapuw Okae...	llfffssX[...	13	25	10187	1184	88.16	88.16
Ysugal Okaek...	llfffssX[...	13	25	10170	1080	88.14...	88.1425
Igapir Okaeka...	llfffssX[...	13	25	9923	1187.5	88.125	88.125
Emapar Okae...	llfffssX[...	13	25	10118	990.5	87.595	87.595
Enafuf Ukaete...	llafffX[...	13	29	10410	871	91.29	91.29
Irafam Ukaete...	llafffX[...	13	28	10275	938	90.62	90.62
Ezafiw Ukaete...	llafffX[...	13	29	10262	943	90.57	90.57
Upafaw Ukaet...	llafffX[...	13	28	10393	945	90.55	90.55
Anafup Ukaet...	llafffX[...	13	29	10390	1031	90.465	90.465
Ydafik Ukaete...	llafffX[...	13	29	10346	956	90.44	90.44
lkafaw Ukaet...	llafffX[...	13	29	10386	954.5	90.37...	90.3733
Isafit Ukaetehe	llafffX[...	13	28	10395	969	90.31	90.31
Ocafac Ukaet...	llafffX[...	13	29	10335	991.5	90.25...	90.2575
Adafil Ukaetehe	llafffX[...	13	29	10406	975	90.25	90.25
Ezafac Ukaet...	llafffX[...	13	29	10369	980.5	90.195	90.195
Ykafan Ukaet...	llafffX[...	13	29	10309	981.833	90.18...	90.1817
Atafih Ukaetehe	llafffX[...	13	29	10215	984	90.16	90.16
Yhafuf Ukaete...	llafffX[...	13	29	10336	986	90.14	90.14
Ifafir Ukaetehe	llafffX[...	13	28	10359	958	90.125	90.125
Upafum Ukaet...	llafffX[...	13	29	10291	988.5	90.115	90.115
Ulafuk Ukaete...	llafffX[...	13	29	10373	997	90.03	90.03
Atafap Ukaete...	llafffX[...	13	29	10402	1000	90	90
Irafir Ukaetehe	llafffX[...	13	29	10408	1003	89.97	89.97

Przykładowy przebieg średniej wartości przystosowania (końcowe pojedynki) dla „Armii Czerwonej”.



Najlepszy z wygenerowanych osobników: **Enafuf Ukaetehe** (Armia Niebieska)



Genotyp:

```
lllafffx[0:3.053, 2:-2.765, 1:-0.756, 4:1][-1:1, 0:1, 0:1.099, si:2][-1:0.295]LLa(RRIllffMMMMX[-1:-9.77, 2:-0.786]lFFMMMMX[-2:-1.51, fo:0.0781975, si:2], fflXllffMMMMsqX[9:10, 5:-10]lX[-6:-1.789, fo:0.04])(RRIllffMMMMlWlX[-5:-10, -2:-0.628, in:0.90194]lllAFFMMMMlX[*][[-7:-0.996, fo:0.04][Sfr:0.996, s:0], , RRIllffMMMMlX[*][[-10:4.236, s:-0.12])(lllFFFMMlX[-11:-0.991][Sfr:1, fo:1]), RRIllffMMMMlX[-13:9.156]lllFFFMMMiX[*][[-15:-1.178, fo:0.617857, fo:0.04])
```

Fitness: 91.29

Podsumowanie

Celem eksperymentu „Capture the Flag” było zaobserwowanie procesu koewolucji dwóch gatunków, rywalizujących o dwa niezależne zasoby. Miałem nadzieję, że uda mi się uzyskać (w sensie mikro) osobniki skutecznie osiągające swoje cele, oraz (w sensie makro) zauważyć interesujące zależności, znane także w naturze. Z przyjemnością stwierdzam, że się to udało.

Osobniki nie tylko nauczyły się współżyć w jednym środowisku, ale przede wszystkim zwiększyły swoje możliwości, osiągając przeciwne flagi wyraźnie szybciej i mniejszym nakładem sił niż początkowo.

Zaznaczmy, że koewolucja przyjęła charakter czegoś, co nieśmiało można określić mianem współpracy międzygatunkowej. W efekcie *fitness* rósł równo przez cały czas trwania eksperymentu i to dla obu gatunków. Minimalne różnice między gatunkami wynikały jedynie z różnych dróg ewoluowania przez nie obranych. Bo co niezwykle ważne, w efekcie oba gatunki różniły się dość znacznie od siebie. Mimo analogicznego celu, ewolucja w obu przypadkach wybrała różne ścieżki i strategie.

Odnosiniki

- <http://qortes.imejl.pl/osib/ctf.ppt>
- <http://qortes.imejl.pl/osib/ctf-exp.zip>