

# OPTIMALIZÁCIA REKURENTNÝCH NEURÓNOVÝCH SIETÍ POMOCOU GENETICKÝCH ALGORITMOV

*Ing. Michal TURČANÍK, PhD. – doc. Ing. Marcel Harakaľ, PhD.*

Katedra výpočtovej techniky a informatiky, Akadémia ozbrojených síl v Liptovskom Mikuláši

## Úvod

Genetické algoritmy predstavujú vhodný prostriedok na optimalizáciu umelých neurónových sietí. Koevolúcia (evolúcia dvoch alebo viacerých súťažiacich populácií so spoločnou mierou vhodnosti) má niekoľko funkcií, ktoré môžu potencionálne rozšíriť silu adaptácie umelej evolúcie. V príspevku je uvedený spôsob nastavenia parametrov rekurentnej neurónovej siete pomocou koevolúcie, ktorá je realizovaná súčasnou činnosťou niekoľkých genetických algoritmov. Rekurentná neurónová sieť je použitá na riadenie modelu lietadla a modelu riadenej raketovej strely. Duel (ako prostriedok pre ohodnotenie jedincov v populáciách) potom reprezentuje súboj riadená raketová strela – lietadlo.

## 1 Optimalizované systémy

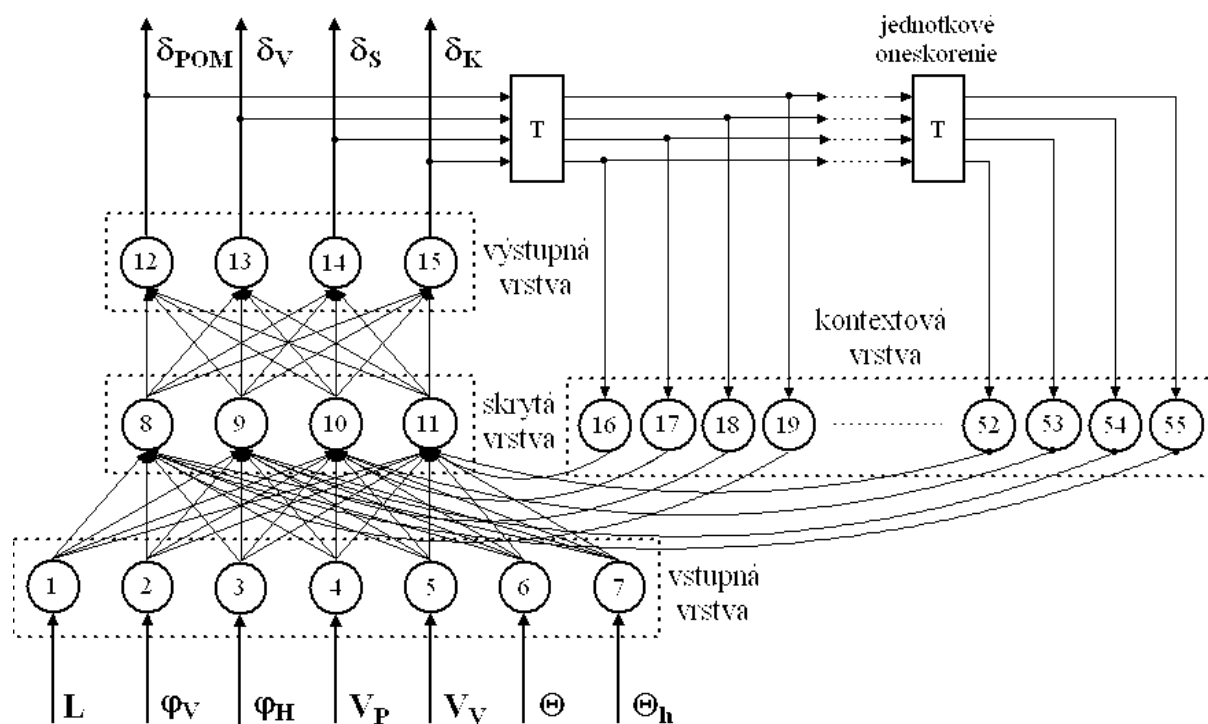
Aplikácia rekurentnej neurónovej siete je programový systém využívajúci genetické algoritmy na optimalizáciu parametrov rekurentných neurónových sietí, ktoré sú použité ako riadiaci prvok pre riadenie letu lietadla (A) a riadenej raketovej strely (M). Riadiaca rekurentná neurónová sieť pre lietadlo (RNNA) aj riadiaca rekurentná neurónová sieť pre riadenú raketovú strelu (RNNM) majú rovnakú topológiu

Optimalizácie parametrov riadiacich RNNA aj RNNM pomocou dvoch modifikovaných GA spolupracujúcich na princípe koevolúcie. Do procesu optimalizácie vstupujú váhové, prahové koeficienty a koeficienty strmosti sigmoidálnych funkcií jednotlivých neurónov.

V systéme je ako riadiaca rekurentná neurónová sieť použitá modifikovaná rekurentná neurónová sieť Jordanovej architektúry, ktorá je znázornená na obrázku 1. Ako kontextová vrstva je použitá skupina neurónov na ktoré je cez jednotkové váhy privádzaný výstup siete v predchádzajúcich 10 krokoch (časové okno dozadu s veľkosťou 10). Aktivačná funkcia neurónov siete je sigmoidálna s parametrami  $A=0$ ,  $B=1$  a koeficient strmosti  $\lambda$  je súčasťou optimalizovaných parametrov, ku ktorým ďalej patria váhové a prahové koeficienty jednotlivých neurónov.

Pre riadenie lietadla aj riadenej raketovej strely je použitá rovnaká topológia RNN z dôvodu použitia rovnakého matematického modelu letu. Rozdielne sú iba aerodynamické derivácie, ktoré charakterizujú aerodynamické vlastnosti lietadla a riadenej raketovej strely.

Celková dĺžka chromozómu je reprezentovaná počtom všetkých váhových a prahových koeficientov a koeficientov strmosti sigmoidálnej aktivačnej funkcie pre jednotlivé neuróny, čo pri danej topológii siete predstavuje 321 reálnych čísel.

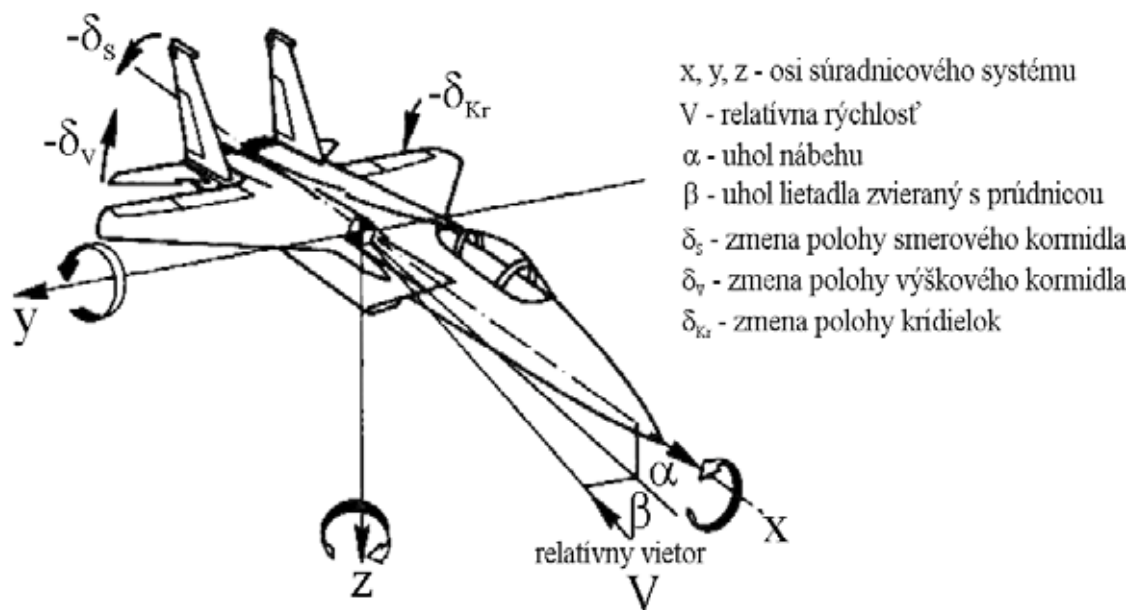


Obrázok 1 - Topológia riadiacej rekurentnej neurónovej siete

## 2 Matematické modelovanie letu

Pri matematickom modelovaní opisu vlastností lietadla sa využívajú abstrakcie z oblastí fyziky, aerodynamiky a iných vedných odborov. Lietadlo v podstate vykonáva dva základné typy pohybov a to posuvný v priestore a otáčavý okolo svojich osí (7). Pre zjednodušenie analýzy musia platiť nasledujúce predpoklady:

- V časovom úseku, v ktorom sa vykonáva analýza síl a momentov pôsobiacich na lietadlo sa nemenia podmienky, v ktorých sa lietadlo pohybuje, ani jeho hmotnosť.
- Vynechajú sa pružné deformácie leteckej konštrukcie.
- Analýza síl a momentov sa vykonáva v zemskom súradnicovom systéme  $O_0, x_0, y_0, z_0$ , čo znamená, že atmosféra, v ktorej sa lietadlo pohybuje je pevne spojená s povrchom Zeme, jej súradnicovým systémom. Uhlové polohy, uhlové rýchlosti a zrýchlenia sa považujú za neovplyvnené pohybom Zeme.



Obrázok 2 - Znáznornenie niektorých veličín popisujúcich pohyb lietadla

Diferenciálne rovnice opisujúce pohyb lietadla sú vo všeobecnosti nelineárne a obtiažne riešiteľné, preto sa akceptujú rôzne metódy linearizácie nelineárnych diferenciálnych rovníc. Po linearizácii, zjednodušujúcich predpokladoch a po prevedení do LaPlaceovho tvaru môžeme napísať vzťahy pre výpočet jednotlivých veličín charakterizujúcich let lietadla vo vertikálnej a horizontálnej rovine.

### 3 Duel

Ako kritériálna funkcia, teda funkcia vhodnosti, ktorá v GA určuje vhodnosť daného chromozómu bol v systéme zvolený duel medzi lietadlom (A), ktoré predstavuje korisť a riadenou raketovou strelou (M) predstavujúcom predátora. Úlohou A je čo možno najdlhšie unikáť M, zatiaľ čo úlohou M je dosiahnuť A do určitého času (spotrebovanie paliva). Popisom a skúmaním takéhoto duelu predátor – korisť (angl. predator - prey), ako hráčov s opačnými cieľmi sa zaoberá teória hier ako hra prenasledovanie – únik (angl. pursuit – evasion games) (6).

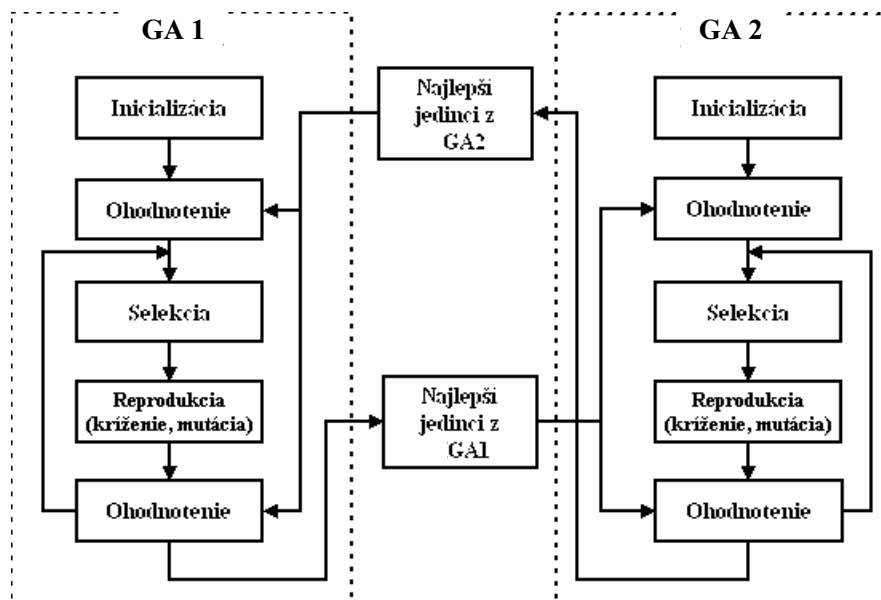
Duel prebieha vo virtuálnom prostredí, ktoré nemá žiadne priestorové obmedzenia a pre jednoduchosť tam nepôsobia žiadne vonkajšie sily a vplyvy. Na začiatku duelu sa umiestnia A aj M do štartovacích pozícií podľa nastavenia používateľom a nastaví sa ich základné parametre ako napr. počiatková rýchlosť alebo uhly natočenia. Duel prebieha po časových krokoch, ktorých frekvencia je parametrom duelu, v systéme je použitý konštantný počet 10 krokov za sekundu. V každom kroku sú nastavené vstupy riadiacej RNN podľa aktuálnej situácie a jej výstupy predstavujú vstupné veličiny matematického modelu pohybu. Duel trvá určitý počet sekúnd (analógia k spotrebovaniu paliva riadenej raketovej strely), ktorý je parametrom duelu. Víťazom duelu sa stáva A ak sa M nedokáže k nemu priblížiť na určitú stanovenú minimálnu vzdialenosť (zásah lietadla strelou). M sa stáva víťazom duelu ak to dokáže, vtedy sa duel ukončí predčasne. Vhodnosť M je minimálna vzdialenosť na akú sa M priblíži k A. Ako vhodnosť A sa podľa nastavenia používateľom berie počet krokov, počas ktorých dokázalo unikáť pred M, alebo

minimálna vzdialenosť na akú sa  $M$  priblíži k  $A$ . Pri optimalizácii RNNM sa hľadá jedinec s minimálnou hodnotou a pri optimalizácii RNNA jedinec s maximálnou hodnotou funkcie vhodnosti.

#### 4 Koevolúcia

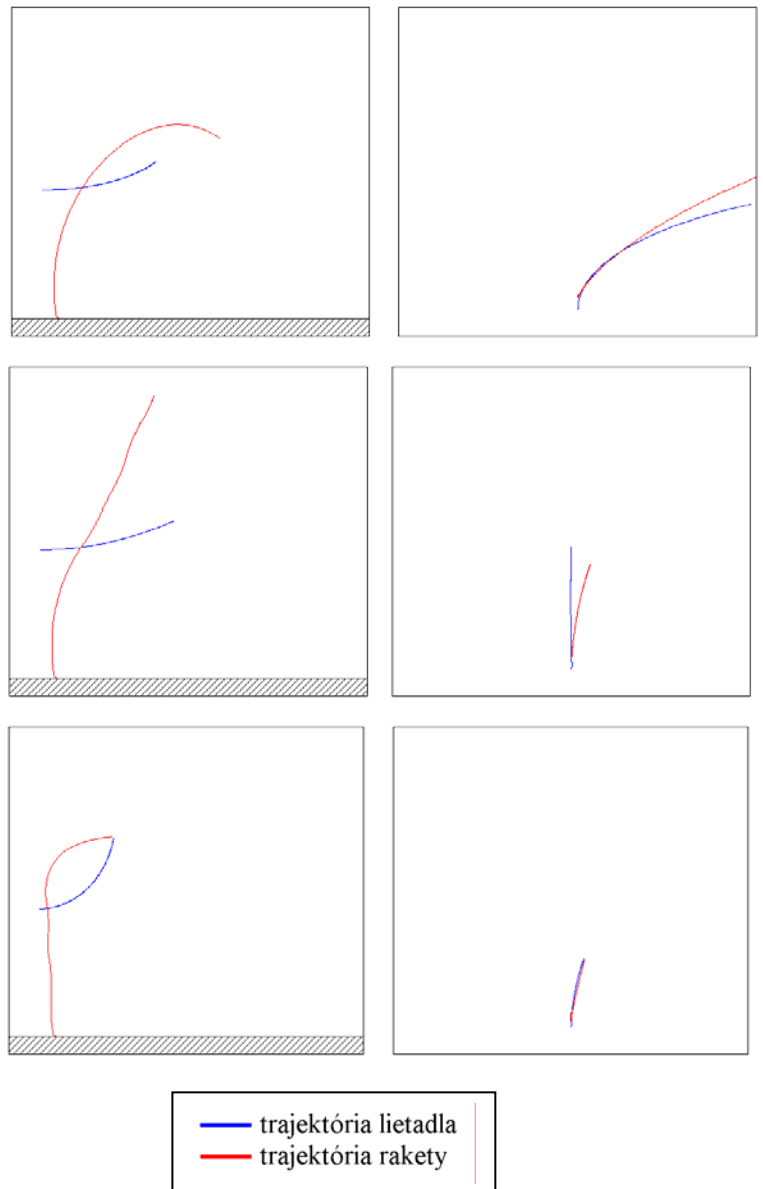
Optimalizačný systém využíva koevolúciu dvoch modifikovaných genetických algoritmov. Tieto GA sú využívané na optimalizáciu riadiacich RNN dvoch systémov – lietadla a riadenej raketovej strely. Výhodou optimalizácie pomocou koevolúcie je, že optimalizačná metóda nepotrebuje poznať usporiadanú dvojicu [vstup do NN, výstup z NN] ako je to u metódy spätného šírenia chyby (BP) a ani trénovaciu množinu údajov ako je potrebné pri optimalizácii pomocou GA. V závislosti na tom sa odstraňuje možná chyba, ktorú do optimalizácie vnáša výber trénovacej množiny údajov. Nevýhodou koevolúcie je zložitosť nastavenia optimálnych parametrov jednotlivých GA, pretože tieto musia spĺňať požiadavky na konvergenciu aj pri zmene prostredia a aktuálneho stavu toho druhého GA.

V optimalizačnom systéme je zvolená koevolúcia na základe výmeny údajov. Na obrázku 3 je znázornená implementácia výmeny údajov medzi jednotlivými genetickými algoritmi v systéme. Každý jedinec v oboch populáciách sa stretne v dueli s vopred definovaným počtom najlepších jedincov z druhej populácie a jeho vhodnosť je priemerom dosiahnutej vhodnosti v týchto dueloch. Výmena informácií medzi jednotlivými genetickými algoritmi prebieha na základe parametra frekvencia výmeny  $I$ . Tento parameter určuje po koľkých generáciách sa vymieňajú informácie medzi GA a plynule sa zvyšuje aby sa stihli vyrovnáť prípadné veľké evolučné skoky v konkurenčnej populácii. Výmena jednotlivých údajov (optimalizačných kritérií) je vykonávaná za pomoci množiny najlepších jedincov s každej populácii.



Obrázok 3 - Výmena údajov medzi genetickými algoritmi pri koevolúcii

Na obrázku 4 sú znázornené priebehy niektorých duelov počas priebehu optimalizácie metódou koevolúcie pre pohľad z boku a zhora.



Obrázok 4 – Príklady priebehu duelu rakety s lietadlom

## Záver

Koevolúciu možno vhodne použiť v prípade, kedy nie je možné jednoducho vytvoriť učiacu množinu. Taktiež v prípade, ak do učiacej množiny nie možné zahrnúť všetky vzorky z dôvodu ich zložitého vytvárania. Pri použití koevolúcie je učiacia množina postupne vytváraná a modifikovaná. Takto možno zabezpečiť adaptáciu populácie i na situácie, ktoré nie sú štandardné alebo nebolo predpokladané, že nastanú.

Koevolúcia dvoch súťažiacich populácií môže produkovať komplexnejšie riešenia. Úspech populácie RNN pre riadenie lietadla spôsobuje neúspech populácie RNN pre riadenie riadenej raketovej strely a naopak neúspech populácie RNN pre riadenie lietadla je zapríčinený úspechom populácie RNN pre riadenie riadenej raketovej strely. Snahou neúspešnej populácie je adaptácia na víťaznú populáciu, ktorej výsledkom je úspech v nasledujúcej generácii, čo platí pre obe populácie. Výkonnosť jedinca v populácii závisí taktiež od individuálnych stratégií jedincov v druhej populácii počas procesu evolúcie. Zmena povrchu miery vhodnosti („landscape“), vzhľadom na zmeny jedincov v druhej populácii, pôsobí preventívne proti uviaznutiu v lokálnom minime. Koevolúcia dvoch populácií je podobná evolúcii jednej populácie s meniacim sa okolným prostredím, ktoré na ňu pôsobí.

## Literatúra

- (1) Nolfi, S. – Floreano, D.: Co-evolving predator and pray robots: Do ‘arms races’ arise artificial evolution? *Artificial Life, Special Issue on „Evolutionary Robotics“*, May, 1998.
- (2) Kaločay, P. - Turčaník, M.: Možnosti optimalizácie neurónových sietí pomocou genetických algoritmov. Zborník VA č. 1, ročník VIII, Liptovský Mikuláš, 2001, s. 97-106.
- (3) Goldberg, D. E.: *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison-Wesley Publishing Company, USA, 1989.
- (4) Koza, J.: *Quick Introduction to Genetic Programming*. Technical Report CS-TR-96-1542, Stanford University, Department of Computer Science, January 1996.
- (5) Kvasnička, V. - Beňušková, Ľ. - Pospíchal, J. - Farkaš, I. - Tiňo, P. - Král, A.: *Úvod do neurónových sietí*. Vydavateľstvo IRIS, Bratislava, 1997.
- (6) BASAR, T., OLSDER, G.J.: *Dynamic Noncooperative Game Theory*, 2<sup>nd</sup> edition, Academic Press, San Diego, 1995.
- (7) LAZAR, T. a kol.: *Tendencie vývoja a modelovania avionických systémov*, Vydavateľská a informačná agentúra MO SR, Bratislava, 2000.

## Kontakt:

Dept. of Informatics and Computer Sciences  
Faculty of Telecommunication Technology and Informations Systems  
AOS at Liptovský Mikuláš

Slovak Republic

Tel, Fax: ++421 044256039

E-mail: [turcanik@valm.sk](mailto:turcanik@valm.sk)