

SIMULÁCIA EVOLUČNÉHO VÝVOJA IMPULZNEJ NEURÓNOVEJ SIETE

Peter Trhan, Jozef Škultéty

Katedra geografie a krajinskej ekológie, Fakulta prírodných vied,
Univerzita Mateja Bela v Banskej Bystrici, Slovenská republika

Abstrakt

Článok opisuje simuláciu impulznej neurónovej siete a jej evolučný vývoj. Evolučný proces riadi genetický algoritmus na základe svojej fitness funkcie. Simulácie boli realizované pomocou vytvorených m-súborov vo vývojom prostredí Matlab. Simulácia impulznej neurónovej siete je zameraná na modelovanie prostredia. Konkrétne sa zaoberá mapovaním obrazovej informácie na riadiace povely za účelom vytvorenia výpočtovo nenáročného navigačného systému. Preto sa tento model systému nespolieha na výpočet optického toku, ale používa umelú neurónovú sieť a genetický algoritmus.

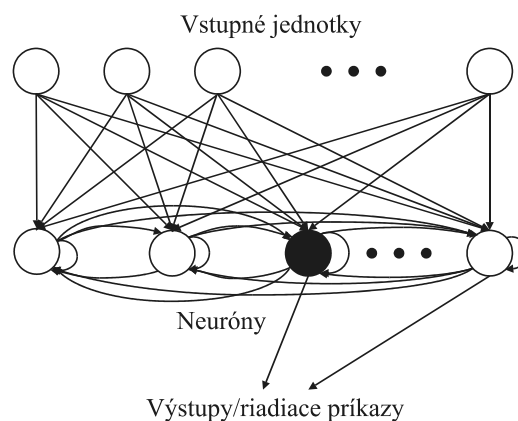
1 Úvod

Evolučný prístup je alternatívnou možnosťou modelovania prostredia. Tento prístup je výpočtovo nenáročný a jeho implementácia je vhodná pre navigačné systémy s malou spotrebou energie. Systém pri svojej činnosti využíva obrazovú informáciu okolitého prostredia a nespolieha sa na výpočet optického toku, ale používa umelú neurónovú sieť. Neurónová sieť mapuje signály obrazového senzora na riadiace povely.

Na zachytávanie priestorových a časových informácií zo zosnímaného obrazu sú vhodné rekurentné neurónové siete alebo neurónové siete zložené z impulzných neurónov [2]. Impulzné neuróny medzi sebou komunikujú pomocou impulzov, táto vlastnosť je blízka aj pre biologické neuróny. Genetický algoritmus na základe svojej fitness funkcie produkuje nové jedince populácie, ktoré kódujú aktívne spojenia umelých neurónov.

2 Architektúra neurónovej siete a jej genetická reprezentácia

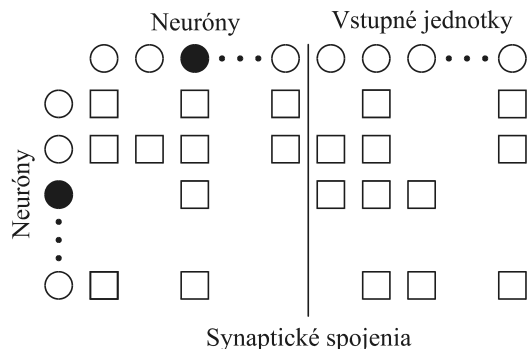
Umelá neurónová sieť je súbor jednotiek (neurónov), ktoré sú navzájom pospájané váhovanými spojeniami (synapsiami). Vstupné jednotky prijímajú signály senzora a výstupné jednotky riadia ovládacie prvky.



Obrázok 1: Architektúra impulznej neurónovej siete

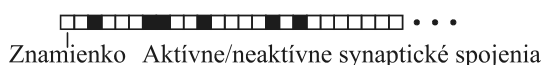
Na obrázku 1 je zobrazená všeobecná sieťová architektúra impulznej neurónovej siete (Spiking neural network – SNN), ktorá sa skladá z n neurónov a s vstupných sensorových jednotiek. Počet neurónov a vstupných jednotiek je konštantný a stanovený vopred. V priebehu evolučného procesu sa menia len aktívne synaptické spojenia a znamienka neurónov, ktoré sú geneticky kódované jedincami populácie.

Každý neurón môže byť spojený so všetkými neurónmi, vrátane samého seba a so všetkými vstupnými senzory. Neurón môže byť buď excitáčny (biele kruhy v obrázku 1) alebo inhibičny (čierne kruhy v obrázku 1), táto vlastnosť je kódovaná znamienkom neurónu. Synaptické spojenie má konštantnú váhu $w = 1$ a jej znamienko je určené znamienkom presynaptického neurónu (kladné znamienko, ak je neurón excitáčny a záporné znamienko, ak je neurón inhibičny). Presynaptický neurón je neurón, ktorého výstup je synaptické spojenie so vstupom daného neurónu.



Obrázok 2: Architektúra SNN kódujúca existujúce synaptické spojenia

Obrázok 2 znázorňuje architektúru impulznej neurónovej siete rozloženú v čase, ktorá kóduje existujúce synaptické spojeniami. Kruhy v hornom riadku predstavujú neuróny a vstupné senzory. Kruhy v ľavom stĺpci predstavujú tie isté neuróny z horného riadku. Pole štvorcov predstavuje existujúce synaptické spojenia medzi neurónmi a spojenia zo vstupných senzorych jednotiek ku neurónom.



Obrázok 3: Genetický reťazec jedného neurónu

Na obrázku 3 je ukážka binárneho genetického reťazca jedného neurónu. Prvý bit kóduje znamienko neurónu a ostatné bity v bloku kódujú prítomnosť/nepítomnosť synaptického spojenia daného neurónu s neurónmi a vstupnými senzorych jednotkami. Celková dĺžka genetického reťazca je $n \cdot (1 + n + s)$ bitov, pričom n je počet neurónov a s je počet vstupných senzorych jednotiek [1].

Aktuálny stav neurónu určuje jeho potenciál. Keď potenciál neurónu prekročí prahovú hodnotu, neurón vyšle impulz. Excitačné impulzy (impulz z neurónu s kladným znamienkom), ktoré do neurónu vstupujú, zvyšujú jeho potenciál. Naopak, inhibičné impulzy znižujú potenciál neurónu. Následkom impulzu sa zníži potenciál neurónu na zápornú hodnotu. V tomto stave je potenciál neurónu zablokovaný a neaktualizuje sa, čo zabráni vyslaniu ďalšieho impulzu v nasledujúcom časovom cykle neurónovej siete. Po danej časovej perióde sa potenciál neurónu vráti do pokojového stavu a môže sa aktualizovať prichádzajúcimi impulzmi.

Vstupné senzorych jednotky nemôžu byť spojené sami so sebou a sú vždy excitáčny. Vstupné jednotky vysielaajú impulz, ktorý je úmerný odozve odpovedajúceho senzora. Odozva senzora je vo väčšine prípadov filtrovaná a lineárne transformovaná do intervalu $\langle 0, 1 \rangle$.

3 Algoritmus vývoja neurónovej siete

Správanie impulzného neurónu po bezprostrednom vyslaní impulzu možno zhrnúť do nasledujúceho algoritmu:

1. Ak v predchádzajúcom časovom kroku $t-1$ neurón vyslal impulz, jeho potenciál bude zablokovaný a v nasledujúcom časovom kroku $t+1$ prejde do pokojového stavu a bude sa môcť aktualizovať.
2. Aktualizácia potenciálu neurónu, pokiaľ neprekročí svoju prahovú hodnotu:

$$v_i^t = v_i^{t-1} + e_i^t, \text{ ak } v_i^{t-1} + e_i^t \geq v_i^{\min}, \text{ inak } v_i^t = v_i^{\min}, \quad (1)$$

kde v_i^t je nový aktualizovaný potenciál neurónu i v čase t a v_i^{t-1} je jeho predchádzajúci potenciál v čase $t-1$. v_i^{\min} je minimálna hodnota potenciálu v pokojovom stave. Prírastok vstupujúcich impulzov e_i^t do daného neurónu i v čase t sa vypočíta:

$$e_i^t = \sum_j^N o_j^{t-1} w_{ij} s_j, \quad (2)$$

kde N predstavuje počet neurónov siete. Hodnota o_j^{t-1} je buď 0 (ak presynaptický neurón j nevyslal impulz v čase $t-1$) alebo 1 (ak presynaptický neurón j vyslal impulz v čase $t-1$). Hodnota w_{ij} je buď 0 (ak nie je vytvorené synaptické spojenie medzi neurónom i a j) alebo 1 (ak je vytvorené synaptické spojenie medzi neurónom i a j). Hodnota s_j je určená znamienkom neurónu j (-1 alebo 1).

3. Nastavenie výstupu neurónu i v čase t (o_i^t):

$$o_i^t = 1, \text{ ak } v_i^t > v_i^{\max} + r^t, \text{ potom } v_i^t = v_i^{\min} \quad (3)$$

$$o_i^t = 0, \text{ ak } v_i^t \leq v_i^{\max} + r^t, \text{ potom } v_i^t = v_i^t \quad (4)$$

T.j., ak potenciál neurónu i prekročí svoju prahovú hodnotu zmenenú o náhodne zvolenú konštantu $v_i^{\max} + r^t$, neurón vyšle impulz nastavením svojho výstupu na hodnotu 1. V opačnom prípade je výstup neurónu 0 a potenciál sa aktualizuje v nasledujúcom časovom kroku $t+1$ [1].

4. Nestálosť potenciálu neurónu:

$$v_i^t = v_i^t - k_i, \text{ ak } v_i^t - k_i \geq v_i^{\min}, \text{ inak } v_i^t = v_i^{\min}, \quad (5)$$

pričom k_i je náhodne zvolená konštanta.

4 Evolúcia neurónovej siete

Neurónová sieť, genetický algoritmus a fitness funkcia tvoria riadiaci model evolučného systému. Genetický algoritmus produkuje nové jedince populácie, ktoré sú hodnotené na základe fitness funkcie. V našom prípade predstavuje jeden jedinec celý genetický reťazec, ktorý kóduje konektivitu neurónov a ich znamienka. Týmto spôsobom sa postupne vyvíja neurónová sieť, ktorá je schopná riadiť trajektóriu mobilného robota.

Stanovenie fitness funkcie je hlavnou otázkou každého evolučného procesu. Fitness funkcia má vplyv na tvar trajektórie pohybu mobilného robota. Je žiaduce, aby sa robot pohyboval maximálnou rýchlosťou a vykonával priamočiary pohyb vpred. Na základe týchto predpokladov je pri dvojkolesových robotoch vhodnou fitness funkciou suma rýchlostí ľavého a pravého kolesa. Táto fitness funkcia dosahuje maximálnu hodnotu, keď sa oba kolesá otáčajú maximálnou rýchlosťou v smere pohybu vpred [3]. Prípadne sa môže fitness funkcia rozšíriť o ďalšie zložky, napríklad o zložku obsahujúcu aktuálnu hodnotu vzdialenosti od prekážky. Hodnota tejto zložky narastá s narastajúcou vzdialenosťou robota od prekážky.

Jednoduchý postup činnosti genetického algoritmu možno opísať v nasledujúcich krokoch:

1. Inicializácia počiatočnej populácie jedincov náhodným generovaním genetického reťazca každého jedinca.

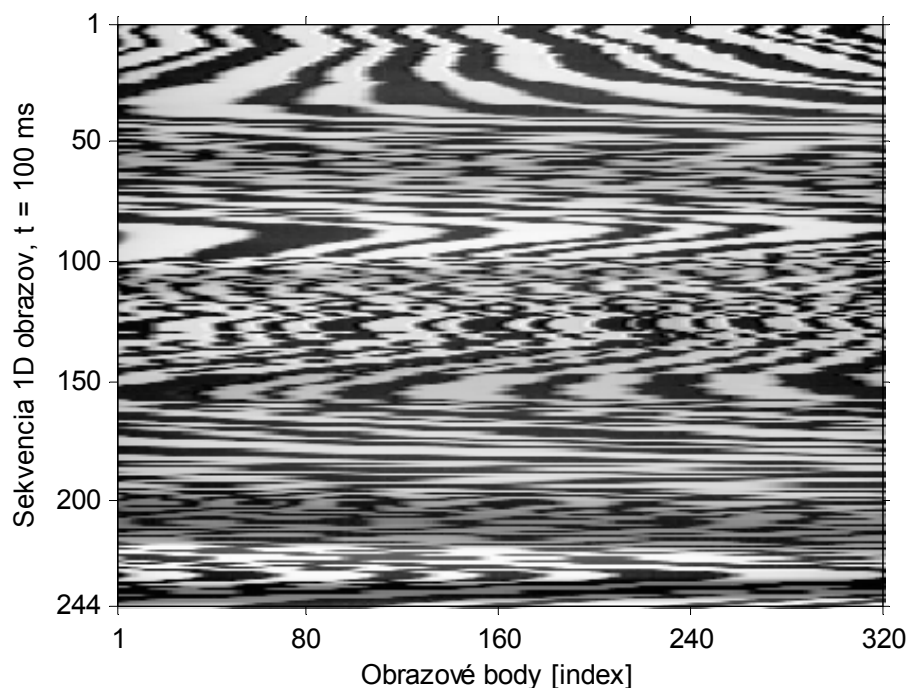
2. Hodnotenie jedincov populácie fitness funkciou a výber najlepších jedincov, z ktorých sa reprodukciou vytvoria nové jedince. Jedince sú potom náhodne párované krížením alebo mutovaním.

3. Noví jedinci sa ohodnotia fitness funkciou a nahradia tie jedince populácie, ktoré majú horšie hodnotenie. Týmto spôsobom vznikne nová populácia jedincov s lepším hodnotením. Ďalej sa pokračuje krokom 2.

5 Simulácia neurónovej siete

Vzorka sekvencie 1D obrazov (obrázok 4) bola snímaná web kamerou, pričom 2D obraz sa orezával na jeden riadok obrazu zo stredu snímača každých 100 ms [6]. 1D obrázky boli počas ich

záznamu transformované do škály šedi (grey scale módu) [5]. Scéna, v ktorej sa kamera pohybovala, je tvaru obdĺžnika s veľkosťou stien približne $1 \times 1,5$ m. Na stenách sú nalepené zvislé biele a čierne pásy, ktorých šírka je náhodne generovaná z intervalu $\langle 0,5 ; 3 \rangle$ cm. Program na záznam 1D obrazov je napísaný v jazyku Java a používa knižnicu java media framework a upravenú triedu z lejos vision [7]. Samotný program pozostáva z piatich tried (GreyScaleFilter.jar, Platno.jar, Snimky.jar, Vision.jar, Vzorka.jar), pričom posledná trieda je hlavnou triedou a tvorí rozhranie pre ostatné triedy. Program je upravený pre experiment s malým mobilným robotom Lego Mindstorms RCX 1.0 a web kamera tvorí súčasť videnia robota.



Obrázok 4: Vzorka sekvencie 1D obrazov

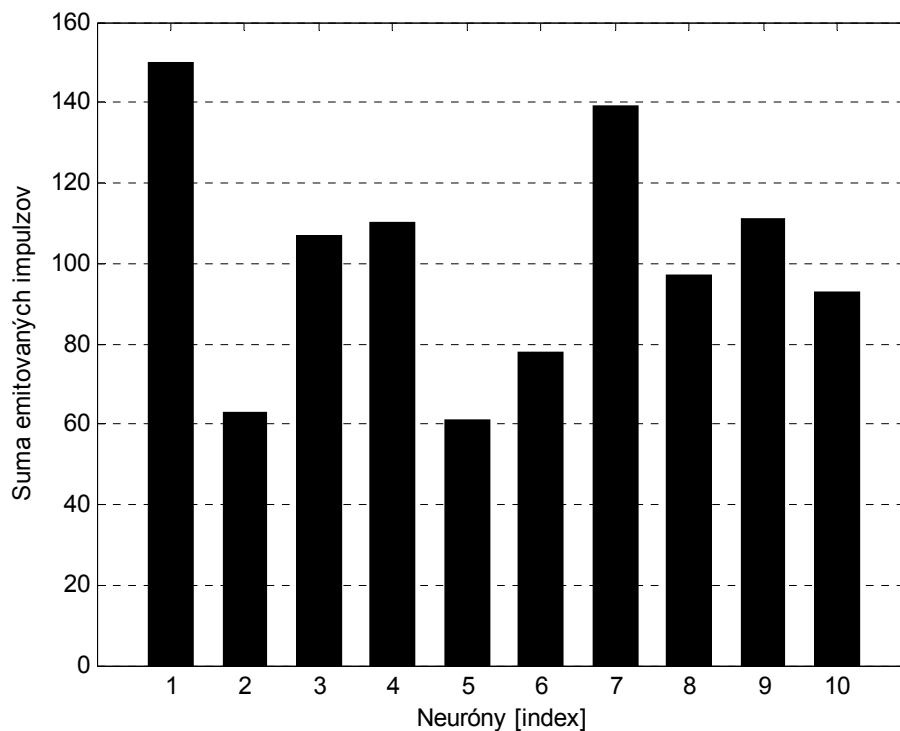
Simulácia vývoja impulznej neurónovej siete bola realizovaná m-súbormi (main.m, row_filter.m) vo vývojom prostredí Matlab, za účelom overenia algoritmu a jeho neskoršej implementácii v autonómnom navigačnom systéme mobilného robota. Pri simulácii bol použitý náhodne generovaný genetický reťazec (jeden jedinec) kódujúci znamienka neurónov a ich synaptické spojenia.

TABUĽKA 1: UKÁŽKA ČASTI GENETICKÉHO REŤAZCA POUŽITÉHO V SIMULÁCII

znamienka	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1
neurón [index]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1
2	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1
3	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1
4	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
5	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1
6	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1
7	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
8	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1
9	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1
10	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1

Tabuľka 1 je ukážkou časti genetického reťazca, ktorý bol náhodne vygenerovaný počas simulácie. V tabuľke nie sú zobrazené existujúce synaptické spojenia medzi neurónmi a vstupnými senzorymi jednotkami. Hodnota 1 v tabuľke predstavuje existujúce synaptické spojenie a hodnota 0

vyjadruje absenciu synaptického spojenia, pričom riadok tabuľky kóduje genetický reťazec jedného neurónu. Simulovaná sieť sa skladala z 10 neurónov a 20 vstupných sensorových jednotiek. Sekvencia vzorky 1 D obrazov bola upravená z riadku 320 obrazových bodov na riadok 20 obrazových bodov (bol použitý každý 16 obrazový bod). Týmto spôsobom získané 20 bodové 1D obrazy boli filtrované Laplaceho filtrom [4] s váhami $[-0,5; 1; -0,5]$. Pri simulácii sa vykonalo celkovo 6 000 cyklov aktualizácie celej siete, pričom vstupné sensorové jednotky boli aktualizované len každý 25 cyklus. Počas ostatných cyklov sa sieť aktualizovala len emitujúcimi impulzami a vstupné sensorové jednotky boli nastavené na hodnotu 0.



Obrázok 5: Histogram množstva vyslaných impulzov z odpovedajúcich neurónov

Obrázok 5 vyjadruje množstvo vyslaných impulzov z príslušných neurónov po simulácii 6 000 cyklov aktualizácie neurónovej siete. Na základe výstupov (podľa množstva vyslaných impulzov) štyroch vybraných neurón sa tvoria riadiace povely pre motory. Dva neuróny sú určené pre riadenie jedného motora, t.j. jeden neurón stanovuje rotáciu motora v smere pohybu vpred a druhý neurón je určený pre opačnú rotáciu motora.

6 Záver

V realizovanej simulácii ešte nebol implementovaný genetický algoritmus, kvôli chýbajúcej odozve videnia robota, ktorá vzniká pri jeho skutočnom pohybe vo vytvorenej scéne. Napriek tomu použitie jednoduchého programovateľného prostredia Matlab a jeho grafických výstupov má význam pri overovaní a optimalizácii algoritmov ešte pred ich samotnou implementáciou.

Ďalšou úlohou bude implementácia simulovaného evolučného procesu (impulzná neurónová sieť a genetický algoritmus) v malom mobilnom robote Lego Mindstorms s firmware lejos 2.1 pre jeho riadiacu jednotku RCX 1.0. Na snímanie obrazu scény v smere pohybu robota, bude použitá kamera s malým rozlíšením. Evolučný algoritmus impulznej neurónovej siete sa bude realizovať v desktopovom počítači, ktorý bude pomocou bezdrôtovej komunikácie vydávať riadiace povely pre pohyb robota.

PodĎakovanie

Príspevok bol podporený grantom VEGA č. 1/4391/07.

Literatúra

- [1] Floreano, D., Epars, Y., Zufferey, J.C., Mattiussi, C.: *Evolution of Spiking Neural Circuits in Autonomous Mobile Robots*. In: International Journal of Intelligent Systems, vol. 21, num. 9, p. 1005-1024, 2006
- [2] Floreano, D., Zufferey, J. C., Mattiussi, C.: *Evolving Spiking Neurons from Wheels to Wings*. In: Dynamic Systems Approach for Embodiment and Sociality, vol. 6, p. 65-70, 2003
- [3] Zufferey, J. C.: *Bio-inspired vision-based flying robots*. Ph.D. Thesis, 189 p. Lausanne : EPFL, 2005
- [4] *3×3 Laplace filter*. 2007
<http://www.incx.nec.co.jp/imap-vision/library/wouter/laplace3.html>
- [5] Branický, M.: *Java Servlets – grafické efekty a cache, konverzia s využitím šedej škály*. 2007
<http://interval.cz/clanky/java-servlets-graficke-efekty-a-cache/>
- [6] Developer Forums, *Java Media Framework – getting blank screen when capture the image from video file*. 2007
<http://forum.java.sun.com/thread.jspa?threadID=5215066&tstart=30>
- [7] *LEJOS, Java for Lego Mindstorms*. 2007
<http://lejos.sourceforge.net/>

Mgr. Peter Trhan

Katedra geografie a krajinej ekológie, Fakulta prírodných vied, Univerzita Mateja Bela v Banskej Bystrici, Tajovského 40, 974 01 Banská Bystrica, Slovenská republika, email: trhan@fpv.umb.sk

Jozef Škultéty

Študent aplikovanej informatiky Katedry informatiky, Fakulta prírodných vied, Univerzita Mateja Bela v Banskej Bystrici, Tajovského 40, 974 01 Banská Bystrica, Slovenská republika, email: jozef.skultety64@gmail.com