

Modelovanie hipokampálnej reprezentácie priestoru pomocou rekurentnej samoorganizujúcej sa mapy

Martin Takáč

Centrum pre kognitívnu vedu FMFI UK
Mlynská dolina, 842 48 Bratislava
takac@ii.fmph.uniba.sk

Abstrakt

Predstavíme model hipokampálnych neurónov reagujúcich na konkrétne miesta v prostredí pozostávajúci z rekurentnej samoorganizujúcej sa mapy, ktorá počíta aktivitu neurónov z časovej postupnosti eferentných kópií informácie o vykonanom pohybe a zmyslových vnemoch. Ukážeme existenciu neurónov kódujúcich retrospektívnu aj prospektívnu trasu pohybu, či reagujúcich na okraje prostredia. Tiež ukážeme, že vzniknutá alocentrická mapa môže kódovať navigačný cieľ a viesť k jeho úspešnému dosiahnutiu.

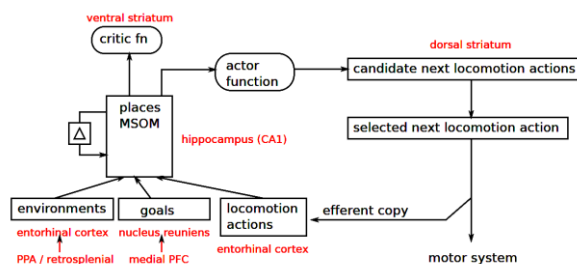
1 Úvod

V hipokampálnych oblastiach CA1 a CA3 boli objavené neuróny reagujúce na konkrétne miesta v lokálnom prostredí (*place cells*, ďalej PC, O'Keefe a Nadel, 1978, Moser a spol., 2008). Aktivita PC závisí aj od aktuálneho priestorového cieľa (Ekstrom a spol., 2003), zmyslovej (čuchovej, zrakovej) informácie (Moser a spol., 2008), či agentovej minulosti alebo budúcej trasy (Frank a spol., 2000). Tieto fenomény reprodukuje náš model.

2 Model

Jadrom modelu agenta (Obr. 1) pohybujúceho sa v prostredí je rekurentná samoorganizujúca sa mapa typu MSOM (Strickert a Hammer, 2005), ktorej neuróny sa naučia reprezentovať rôzne *sekvencie* vstupov – postupnosti lokomočných akcií, ktoré systém vykonal. Pokiaľ je štruktúra prostredia taká, že postupnosť akcií je možné vykonať iba v istých častiach prostredia, aktivita buniek MSOM bude korelovať s prítomnosťou na tých miestach v prostredí, kam sa je možné takouto postupnosťou dostať. Nejednoznačnosti možno ešte zredukovať, pokiaľ MSOM dostáva ako ďalší vstup senzorické vnemy – napr. pach, farbu stien, atď. Aktivita MSOM zároveň reprezentuje stav, na základe ktorého model určí nasledujúcu lokomočnú akciu pomocou architektúry aktér-kritik trénovanej posilňovaním. V základnej

verzii agent dostane pozitívnu odmenu za úspešný krok vpred, negatívnu za náraz do steny, a malú penalizáciu za otáčanie na mieste, aby sme agenta motivovali k pohybu. Model sme ďalej modifikovali tak, že v jednom zo štyroch rohov bola umiestnená „potrava“ – ak agent stúpil na dané miesto, dostal veľkú odmenu. To, v ktorom rohu je odmena, korelovalo so senzoricou nápoved'ou, ktorú agent vnímal na novopridanej vstupnej vrstve *ciele/goals*.



Obr. 1: Architektúra modelu.

3 Experimenty

Agent bol umiestnený na mriežke so stenami ohraničujúcimi prostredie a vytvárajúcimi koridory rôznych tvarov. Steny mohli byť zafarbené 4 rôznymi farbami a prázdne políčka mohli mať 'pach' (4 typy alebo bez pachu). Agent vnímal pach políčka, na ktorom stál, a farbu stien 3 políčok pred sebou (resp. neprítomnosť steny). V každom kroku mohol vykonať jednu zo štyroch akcií: posun o políčko vpred, otočenie o 90 stupňov doľava resp. doprava, a otočenie o 180 stupňov. Eferentná informácia o vykonanej akcii sa posielala naspäť na vstup. Agent dostával po každej vykonanej akcii odmenu tvoriacu spolu s aktivitou MSOM trénovacie dáta pre architektúru aktér-kritik, ktorá vyberala nasledujúcu akciu. Model sme testovali vo viacerých prostrediach a vo viacerých verziách: (a) na vstupe len vykonaná akcia, (b) na vstupe akcia + zmyslový vnem, (c) na vstupe akcia + zmyslový vnem + nápoveda o umiestnení odmeny.

4 Výsledky

Analýzou správania agenta a aktivity jeho MSOM sme zistili nasledovné:

- Aktivita buniek MSOM korelovala s pozíciami v prostredí – jedna bunka však mohla korelovať s viacerými pozíciami, napr. v symetrických prostrediach boli bunky slepé na orientáciu a reagovali napr. na všetky 4 rohy alebo steny (pri narušení symetrie napr. rôznym zafarbením stien sa nejednoznačnosť reprezentácie zredukovala).
- Bunky boli citlivé nielen na pozíciu, ale aj *retrospektívnu trajektóriu*, čiže spôsob, akým sa na pozíciu agent dostal.
- V prípade tonicky aktivovanej reprezentácie cieľa (senzorickej nápovede korelujúcej s určitým umiestnením odmeny) sa agent naučil cesty k cieľom a jeho vnútorná reprezentácia kodovala trajektórie *perspektívne*, t. j. vzhľadom na aktuálny cieľ.

5 Záver

Napriek svojej jednoduchosti model naznačujúce mechanizmy postačujúce na vznik buniek správajúcich sa ako PC. Presnejší model navigácie by mal zahŕňať tzv. mriežkové bunky (*grid cells*, Fyhn a spol., 2004).

Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol s podporou grantu VEGA 1/0796/18. Model bol vytvorený v spolupráci s Alistairom Knottom z University of Otago na Novom Zélande.

Literatúra

O'Keefe, J. and Nadel, L. (1978). *The hippocampus as a Cognitive Map*. Clarendon Press, Oxford.

Moser, E., Kropff, E., a Moser, M.-B. (2008). Place cells, grid cells, and the brains spatial representation system. *Annual Review of Neuroscience*, 31, 69–89.

Ekstrom, A. D., Kahana, M. J., Caplan, J. B., Fields, T. A., Isham, E. A., Newman, E. L., a Fried, I. (2003). Cellular networks underlying human spatial navigation. *Nature*, 425(6954):184–188.

Frank, L., Brown, E., a Wilson, M. (2000). Trajectory encoding in the hippocampus and entorhinal cortex. *Neuron*, 27(1): 169–178.

Strickert, M. a Hammer, B. (2005). Merge SOM for temporal data. *Neurocomputing*, 64, 39–71.

Fyhn, M., Molden, S., Witter, M. P., Moser, E. I., a Moser, M.-B. (2004). Spatial representation in the entorhinal cortex. *Science*, 305(5688):1258–64.