

# Biologicky motivované výpočtové modely

Michal Kováč

FMFI UK

24.6.2013

[0]

## 1 Prehľad problematiky

- Prehľad modelov
- P systémy

## 2 Skúmané varianty P systémov

- Sekvenčné P systémy s inhibítormi
- Sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami
- Detekcia prázdnoty membrán
- Sekvenčné P systémy s množinami namiesto multimnožín

# Biologicky motivované výpočtové modely

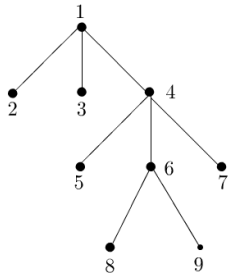
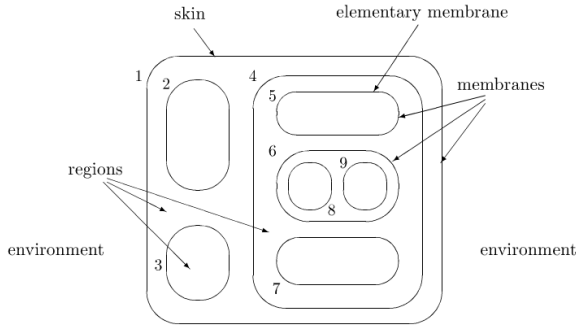
Dvojaké uplatnenie:

- reálne modely živých systémov
  - virtuálne biologické experimenty
  - verifikácia správnosti chápania ich činností
- modely na popis iných systémov

# Biologicky motivované výpočtové modely

- Neurónové siete (od 1943)
- Celulárne automaty (od 1948)
- Evolučné algoritmy (od 1954)
- L systémy (od 1968)
- P systémy (od 1998) [Păun, 1998]
- Calculi of Looping Sequences (od 2007)
- Reaction systems (od 2007)
- ...

# Membránová štruktúra



- Multisets
- Rewriting rules
- Passive vs. Active

# Varianty pravidiel

- kooperatívne ( $a \mid b \mid b \rightarrow b$ ) (RE [Păun, 1998])
- nekooperatívne ( $b \rightarrow c$ ) (CF [Sburlan, 2005])
- nekooperatívne s inhibítormi ( $a \rightarrow b \mid \neg_{c,d}$ ) (ETOL [Ionescu and Sburlan, 2004])
- katalytické ( $a \mid b \rightarrow a \mid c \mid d$ )
  - katalytické s 2 katalyzátormi (RE [Freund et al., 2005])
  - s 1 katalyzátorom (otvorený problém)
  - s 1 katalyzátorom a inhibítormi (RE [Ionescu and Sburlan, 2004])

# Sekvenčné P systémy

- Maximálny paralelizmus vs. sekvenčný mód
- Sekvenčné P systémy s kooperatívnymi pravidlami (VASS [Ibarra et al., 2005])
  - s prioritami (RE [Ibarra et al., 2005])
  - s aktívnymi membránami (RE [Ibarra et al., 2005])
  - **s inhibítormi (RE [Kováč, 2014])**
- Jazyk
  - Generatívny mód: postupnosť objektov vypustených do okolitého prostredia
  - Akceptačný mód: daná konfigurácia je akceptovaná, ak sa systém vie dostať do stavu, kde sa už nedá použiť žiadne pravidlo

# Sekvenčné P systémy s inhibítormi

- Kováč (2014). Using Inhibitors to Achieve Universality of Sequential P Systems.  
In *Electronic Proceedings of CiE 2014*



# Prehľad simulácie pre akceptačný mód

- Simulácia registrového stroja
- Obsah registra  $j$  sa reprezentuje početnosťou objektu  $j$
- Objekt pre každú inštrukciu
- SUB inštrukcia sa simuluje pomocou inhibítora
  - $i : SUB(j, k, l)$
  - $ij \rightarrow k$
  - $i \rightarrow l \mid \neg j$

## Prehľad simulácie pre generatívny mód

- Simulácia maximálne paralelného P systému  $\Pi_1$  pomocou sekvenčného P systému s inhibítormi  $\Pi_2$ .
- Každý maximálne paralelný krok  $\Pi_1$  simulujeme sekvenčnými krokmi  $\Pi_2$ .
- Produkty si označujeme, aby neboli použité, kým neskončí daný maximálne paralelný krok.
- Pomocou inhibítorov zistíme moment, kedy sa už v  $\Pi_2$  nedá aplikovať žiadne pravidlo, aby sa mohol simulovať ďalší maximálne paralelný krok.
- Synchronizácia medzi membránami pomocou tokenu.

# Sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami

- Bez limitu počtu aplikovaní pravidla na vytvorenie membrány (RE [Ibarra, 2005])
- Kováč, M. (2015). [Decidability of termination problems for sequential p systems with active membranes.](#)  
In Beckmann, A., Mitrană, V., and Soskova, M., editors, *Evolving Computability*, volume 9136 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 236–245. Springer International Publishing

# Problém zastavenia

- Problém zastavenia je definovaný pre deterministické modely
- Zovšeobecnenie: Existencia (ne)konečného výpočtu

# Existencia nekonečného výpočtu

- Graf dosiahnuteľnosti
- Čiastočné usporiadanie  $\leq$ :
  - $C_1 \leq C_2 \Rightarrow$  každé pravidlo v  $C_1$  je aplikovateľné v  $C_2$ .
  - Pre každú nekonečnú postupnosť konfigurácií existuje  $C_1, C_2$ :  
 $C_1 \rightarrow^* C_2$  a  $C_1 \leq C_2$ .
- Dicksonova lemma: Pre každú nekonečnú postupnosť n-tíc nad  $\mathbb{N} \{a_i\}_{i=0}^{\infty}$  existujú  $i < j$ :  $a_i \leq a_j$

# Algoritmus rozhodujúci existenciu nekonečného výpočtu

- Traverzuj graf dosiahnuteľnosti
- Dosiahnutá konfigurácia  $C_2$ , taká, že na ceste z počiatočnej konfigurácie existuje  $C_1 \leq C_2 \Rightarrow \text{YES}$ .
- Ak traverzovanie skončilo  $\Rightarrow \text{NO}$ .

# Existencia konečného výpočtu

- Pre daný P systém  $\Pi$  a danú konfiguráciu  $C$  vieme zostrojiť P systém  $\Pi'$  :  $\exists$  konečný výpočet  $\Pi' \Leftrightarrow C$  je dosiahnuteľná v  $\Pi$ .

# Detekcia prázdnoty membrán

- Objekty vyhýbajúce sa prázdny membránam
- Mutovanie objektov pri poslaní do prázdnej membrány
- Objekt reprezentujúci vákuum



# Sekvenčné P systémy s množinami namiesto multimnožín

- Kováč and Gruska (2015). [Sequential p systems with active membranes working on sets.](#)

In Zbigniew Suraj, L. C., editor, *Proceedings of the 24th International Workshop on Concurrency, Specification and Programming*, pages 247–257

# Nevýhody používania multimnožín

- Nakoľko realistické je reprezentovať presný počet objektov?
- Efektivita verifikačných techník

## P systémy s množinami objektov

- Alhazov [Alhazov, 2006]: počty objektov sa ignorujú (R), s aktívnymi membránami (RE)
- Kleijn, Koutny [Kleijn and Koutny, 2011]: “min-enabled” computational step  $\Rightarrow$  (R)
- Maximálny paralelizmus  $\Rightarrow$  determinizmus
- Pravidlá bez konfliktu (objekty sa môžu zúčastniť ako reaktanty súčasne vo viacerých pravidlách)

# Sekvenčné P systémy s množinami objektov a aktívnymi membránami

- $\Pi = (\Sigma, C_0, R_1, \dots, R_m)$
- $C = (T, l, c)$ 
  - $l : V(T) \rightarrow \{1, \dots, m\}$
  - $c : V(T) \rightarrow 2^\Sigma$
- Pravidlá
  - $u \rightarrow w$
  - $u \rightarrow w\delta$
  - $u \rightarrow [{}_j v_1]_j v_2,$   
kde  $u \in \Sigma, |u| \geq 1, v_1, v_2 \in \mathbb{N}$  a  $w \in (\Sigma \times \{\cdot, \uparrow, \downarrow_j\})$

# Iné sémantiky vytvárania membrány

- Problémy pôvodnej sémantiky:
  - Vytváranie membrány, ktorá už existuje
  - Posielanie objektu do neexistujúcej membrány
- Inject-or-create
- Wrap-or-create

# Simulácia registrového stroja

	priestor	čas
original	$O(n)$	$O(n)$
original	$O(\log(n))$	$O(\log(n))$
inject-or-create	$O(\log(n))$	$O(\log(n))$
wrap-or-create	$O(n)$	$O(1)$

Ďakujem za pozornosť

## Vyjadrenia k posudkom

- Štandardnou motiváciou pre skúmanie týchto modelov je potenciál vysokého paralelizmu. Práca je príliš zameraná na sekvenčný mód, ktorý úplne eliminuje potenciál tohto modelu.
-