

Biologicky motivované výpočtové modely

Mgr. Michal Kováč
Školiteľ: doc. RNDr. Damas Gruska, PhD.

FMFI UK

5.11.2015

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

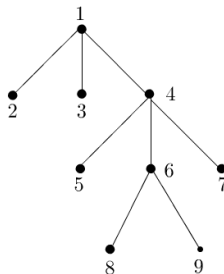
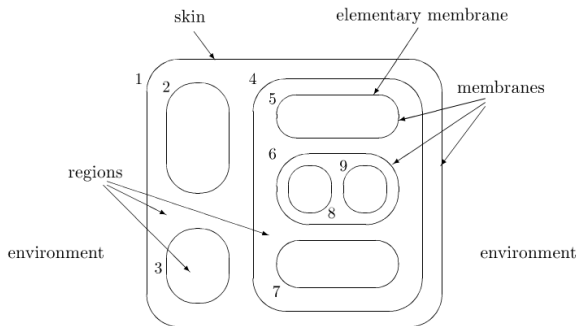
Dvojaké uplatnenie:

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

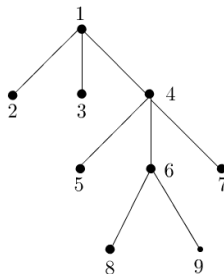
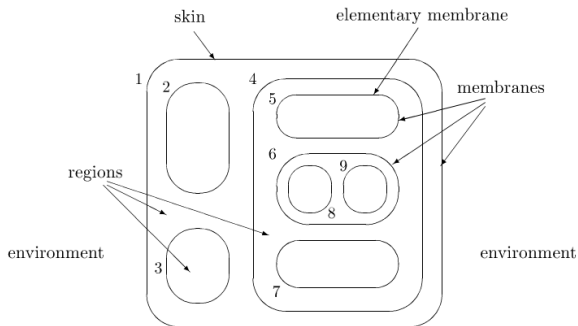
Biologicky motivované výpočtové modely

- 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

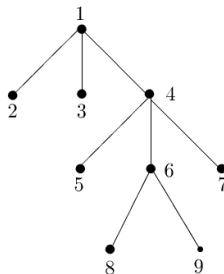
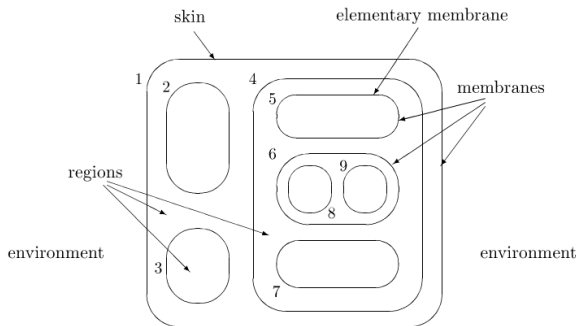


Membránová štruktúra



- Multimnožiny

Membránová štruktúra



- Multimnožiny
- Pravidlá

Výpočet a jazyk

- Maximálny paralelizmus

Výpočet a jazyk

- Maximálny paralelizmus
- Jazyk
 - Generatívny mód: postupnosť objektov vypustených do okolitého prostredia

Výpočet a jazyk

- Maximálny paralelizmus
- 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

Variety pravidiel

- Kooperatívne ($a \mid b \mid b \rightarrow b$) (RE [Păun, 1998])

Variety pravidiel

- Kooperatívne ($a \mid b \mid b \rightarrow b$) (RE [Păun, 1998])
- Nekooperatívne ($b \rightarrow c$) (CF [Sburlan, 2005])

Variety 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])

Variety 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 ($a \mid b \rightarrow a \mid c \mid d$)
 - 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

- Maximálny paralelizmus vs. sekvenčný mód
- Sekvenčné P systémy s kooperatívnymi pravidlami (VASS [Ibarra et al., 2005])

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])

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])

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])

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])

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

Prehľad simulácie pre akceptačný mód

- Simulácia registrového stroja
- Obsah registra x sa reprezentuje početnosťou objektu x
- Objekt pre každú inštrukciu

Prehľad simulácie pre akceptačný mód

- Simulácia registrového stroja
- Obsah registra x sa reprezentuje početnosťou objektu x
- Objekt pre každú inštrukciu
- SUB inštrukcia sa simuluje pomocou inhibítora
 - $i : SUB(x, j, k)$
 - $ix \rightarrow j$
 - $i \rightarrow k|_{\neg x}$

Prehľad simulácie pre generatívny mód

- Simulácia maximálne paralelného P systému Π_1 pomocou sekvenčného P systému s inhibítormi Π_2 .

Prehľad simulácie pre generatívny mód

- Simulácia maximálne paralelného P systému Π_1 pomocou sekvenčného P systému s inhibítormi Π_2 .
- Každý maximálne paralelný krok Π_1 simulujeme sekvenčnými krokmi Π_2 .

Prehľad simulácie pre generatívny mód

- Simulácia maximálne paralelného P systému Π_1 pomocou sekvenčného P systému s inhibítormi Π_2 .
- Každý maximálne paralelný krok Π_1 simulujeme sekvenčnými krokmi Π_2 .
- Produkty si označujeme, aby neboli použité, kým neskončí daný maximálne paralelný krok.

Prehľad simulácie pre generatívny mód

- Simulácia maximálne paralelného P systému Π_1 pomocou sekvenčného P systému s inhibítormi Π_2 .
- Každý maximálne paralelný krok Π_1 simulujeme sekvenčnými krokmi Π_2 .
- Produkty si označujeme, aby neboli použité, kým neskončí daný maximálne paralelný krok.
- Pomocou inhibítorov zistíme moment, kedy sa už v Π_2 nedá aplikovať žiadne pravidlo, aby sa mohol simulovať ďalší maximálne paralelný krok.

Sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami

- Bez limitu počtu aplikovaní pravidiel na vytvorenie membrány (RE [Ibarra, 2005])

Sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami

- Bez limitu počtu aplikovaní pravidiel na vytvorenie membrány (RE [Ibarra, 2005])
- Kováč, M. (2015). *Decidability of Termination Problems for Sequential P Systems with Active Membranes*.
In Beckmann, A., Mitran, 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

Problém zastavenia

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

Existencia nekonečného výpočtu

- Graf dosiahnuteľnosti

Existencia nekonečného výpočtu

- Graf dosiahnuteľnosti
- Čiastočné usporiadanie \leq :
 - $C_1 \leq C_2 \Rightarrow$ každé pravidlo v C_1 je aplikovateľné v C_2 .

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 $C_1 \leq C_2$.

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

Detekcia prázdnoty membrán

- Objekty vyhýbajúce sa prázdny membránam

Detekcia prázdnoty membrán

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

Detekcia prázdnoty membrán

- Objekty vyhýbajúce sa prázdny membránam
- Mutovanie objektov pri poslaní do prázdnej membrány
- Objekt repretujúci 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?
- Nepraktická analýza kvôli veľkosti stavového priestoru

P systémy s množinami objektov

- Alhazov [Alhazov, 2006]: počty objektov sa ignorujú

P systémy s množinami objektov

- Alhazov [Alhazov, 2006]: počty objektov sa ignorujú
 - Maximálny paralelizmus \Rightarrow determinizmus.

P systémy s množinami objektov

- Alhazov [Alhazov, 2006]: počty objektov sa ignorujú
 - Maximálny paralelizmus \Rightarrow determinizmus.
 - Ekvivalencia s konečnostavovými automatmi.

P systémy s množinami objektov

- Alhazov [Alhazov, 2006]: počty objektov sa ignorujú
 - Maximálny paralelizmus \Rightarrow determinizmus.
 - Ekvivalencia s konečnosťavými automatmi.
 - S aktívnymi membránami je model univerzálny.

P systémy s množinami objektov

- Alhazov [Alhazov, 2006]: počty objektov sa ignorujú
 - Maximálny paralelizmus \Rightarrow determinizmus.
 - Ekvivalencia s konečnosťavými automatmi.
 - S aktívnymi membránami je model univerzálny.
- Kleijn, Koutny [Kleijn and Koutny, 2011]: “min-enabled” computational step (= sekvenčný mód)

P systémy s množinami objektov

- Alhazov [Alhazov, 2006]: počty objektov sa ignorujú
 - Maximálny paralelizmus \Rightarrow determinizmus.
 - Ekvivalencia s konečnostavovými automatmi.
 - S aktívnymi membránami je model univerzálny.
- Kleijn, Koutny [Kleijn and Koutny, 2011]: “min-enabled” computational step (= sekvenčný mód)
 - Ekvivalencia s konečnostavovými automatmi.

P systémy s množinami objektov

- Alhazov [Alhazov, 2006]: počty objektov sa ignorujú
 - Maximálny paralelizmus \Rightarrow determinizmus.
 - Ekvivalencia s konečnostavovými automatmi.
 - S aktívnymi membránami je model univerzálny.
- Kleijn, Koutny [Kleijn and Koutny, 2011]: “min-enabled” computational step (= sekvenčný mód)
 - Ekvivalencia s konečnostavovými automatmi.
- Vlastnosti:
 - Pravidlá bez konfliktu (objekty sa môžu zúčastniť ako reaktanty súčasne vo viacerých pravidlách).
 - Ak je objekt použitý aspoň v jednom pravidle ako reaktant, bude spotrebovaný.

Sekvenčné P systémy s množinami objektov a aktívnymi membránami

- $\Pi = (\Sigma, C_0, R_1, \dots, R_m)$

Sekvenčné P systémy s množinami objektov a aktívnymi membránami

- $\Pi = (\Sigma, C_0, R_1, \dots, R_m)$
- $C = (T, l, c)$
 - $l : V(T) \rightarrow \{1, \dots, m\}$
 - $c : V(T) \rightarrow 2^\Sigma$

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 spôsoby vytvárania membrány

- Problémy pôvodnej definície:
 - Vytváranie membrány, ktorá už existuje
 - Posielanie objektu do neexistujúcej membrány

Iné spôsoby vytvárania membrány

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

Iné spôsoby vytvárania membrány

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

Simulácia registrového stroja

	membrány	čas
original	$O(n)$	$O(n)$

Simulácia registrového stroja

	membrány	čas
original	$O(n)$	$O(n)$
original	$O(\log(n))$	$O(\log(n))$

Simulácia registrového stroja

	membrány	čas
original	$O(n)$	$O(n)$
original	$O(\log(n))$	$O(\log(n))$
inject-or-create	$O(\log(n))$	$O(\log(n))$

Simulácia registrového stroja

	membrány	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.

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.
- V práci sa hovorí o slabých rozšíreniach sekvenčných P systémov s čiastočnými výsledkami. Aký je v uvedenom smere pokrok od podania dizertácie?