

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

Biologicky motivované výpočtové modely

Mgr. Michal Kováč

Biológia, doc. RNDr. Tomáš Grucha, PhD.

verzia: 17.1.2018

Vážení prítomní, volám sa Michal Kováč a chcel by som vám prezentovať výsledky mojej dizertačnej práce s názvom Biologicky motivované výpočtové modely.

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

V úvode prezentácie vám predstavím rôzne výpočtové modely motivované biológiou. Najviac sme sa venovali P systémom, preto budem pokračovať formálnou definíciou a prehľadom rôznych variantov P systémov.

V druhej časti predstavím 4 témy nášho výskumu, z čoho 3 články boli publikované. V našej práci sme skúmali viaceré varianty P systémov a to konkrétne Sekvenčné P systémy s inhibítormi, Sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami, Sekvenčné P systémy s množinami namiesto multimnožín, z čoho všetky spomenuté témy boli publikované. Dalším variantom P systémov, ktorým sme sa zaoberali bola Detekcia prázdnoty membrán.

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

- Prehľad problematiky
 - Biologicky motivované modely
 - Biologicky motivované výpočtové modely

Biologicky motivované výpočtové modely

Dvojité uplatnenie

- naše modely: digitálne systémy
 - simulácia biologických procesov
 - modelácia uplatnení digitálnych cel. životov
- modely na popis digitálnych systémov

Biologicky motivované výpočtové modely majú dvojaké uplatnenie. Jednak v rámci biológie môžu slúžiť ako reálne modely správania sa živých systémov, na ktorých môžeme robiť rôzne virtuálne biologické experimenty, prípadne verifikovať správnosť nášho chápania ich biologickej činnosti.

Na druhej strane môžu slúžiť ako modely na popis aj iných ako biologických systémov, čo otvára rad teoretických informatických otázok, napr. výpočtová sila alebo analýza behaviorálnych vlastností.

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

- Prehľad problematiky
 - Biologicky motivované modely
 - Biologicky motivované výpočtové modely

Biologicky motivované výpočtové modely

- Neurónové siete (od 1985)
- Celulárne automaty (od 1980)
- Evolučné algoritmy (od 1980)
- L systémy (od 1980)
- Swarm intelligence (od 1980)
- P systémy (od 1980) [1]
- ...

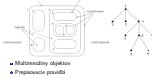
Dlho skúmané modely ako neurónové siete, celulárne automaty, evolučné algoritmy, L systémy, či swarm intelligence, si už našli svoje uplatnenie v praxi, kým membránové systémy sú ešte len v začiatkoch svojho vývoja.

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

- Prehľad problematiky
 - P systémy
 - Membránová štruktúra

Membránová štruktúra



- Multimnožinový objekt
- Prepisovacie pravidlá

Membránové systémy sú inšpirované bunkami. Základom je preto membránová štruktúra, ktorá pozostáva z regiónov, ktoré sú oddelené membránami. Tvorí to hierarchickú štruktúru, ktorá sa dá zobraziť aj ako strom.

Obsahom regionov sú multimnožiny objektov, ktoré v realite predstavujú napr. molekuly, vírusy, enzýmy alebo proteíny.

Objekty medzi sebou môžu interagovať. Táto interakcia je definovaná prepisovacími pravidlami.

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

- Prehľad problematiky
 - P systémy
 - Prepisovacie pravidlá

Prepisovacie pravidlá

$$x \rightarrow y, \text{ where } x \in \Sigma$$
$$x \rightarrow y \text{ or } x' \text{ or } x'' \text{ or } x''', \text{ where } x, x' \in \Sigma$$
$$x \rightarrow y \text{ if } z \in \Sigma \text{ (context-sensitive)}$$

Prepisovacie pravidlá majú ľavú a pravú stranu. Na ľavej strane sú reaktanty, čo je multimnožina objektov.

Na pravej strane sú produkty, čo je multimnožina objektov, pričom pre každý objekt sa definuje, či ostáva v aktuálnom regione, alebo ide cez membránu do vonkajšieho regionu alebo cez membránu s daný označením do vnútorného regionu.

Delta je špeciálny symbol, ktorý nepatrí abecede, ktorý keď je prítomný, tak po aplikovaní pravidla sa rozpustí membrána, v ktorej sa pravidlo aplikovalo a obsah membrány sa vyleje von.


Pravidlo je aplikovateľné v danom regione, ak sú reaktanty obsiahnuté v multimnožine objektov, ktorá sa aktuálne nachádza v danom regione.

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

- Prehľad problematiky
 - P systémy
 - Prepisovacie pravidlá

Prepisovacie pravidlá



Toto je ukážka P systému, ktorý generuje Fibonacciho postupnosť. Má tri membrány a pracuje s piatimi objektami a,b,c,d,e. V membráne s označením 1 sú dve pravidlá. Prvé pravidlo prepíše objekt c na objekty a,b,e, a pošle objekty a,b do vnútornej membrány a objekt e do vonkajšej membrány. Druhé pravidlo prepíše objekt d na objekt a a pošle ho do vnútornej membrány. Vo vnútornej membráne sú dve pravidlá. Prvé prepíše a na c a pošle ho von. Druhé pravidlo prepíše b na d a pošle ho von.

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

- Prehľad problematiky
 - P systémy
 - Krok výpočtu P systému

Krok výpočtu P systému

- Krok výpočtu
 - Vstupný
 - Pravidlo
 - Membránové pravidlo

Postupné uplatňovanie pravidiel definuje výpočet. V jednom kroku výpočtu sa uplatní:

- presne jedno pravidlo (sekv. mod)
- aspoň jedno pravidlo (paralelný mod)
- maximálna multimnožina pravidiel

V pôvodnej definícii, ktorú uvádza Paun, sa používa maximálny paralelizmus.

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

- Prehľad problematiky
 - P systémy
 - Ukážka výpočtu P systému

Ukážka výpočtu P systému

- Jazyk nad paragonizovanými/multimnožinami objektov
- Generatívny mód paragonizovanými/multimnožinami objektov
- Výpočtový mód paragonizovanými/multimnožinami objektov
- Paragonizovaný mód paragonizovanými/multimnožinami objektov

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

- Prehľad problematiky
 - P systémy
 - Jazyk definovaný P systémom

Jazyk definovaný P systémom

- Jazyk nad paragonizovanými/multimnožinami objektov
- Generatívny mód paragonizovanými/multimnožinami objektov
- Výpočtový mód paragonizovanými/multimnožinami objektov
- Paragonizovaný mód paragonizovanými/multimnožinami objektov

P systém definuje jazyk rôznymi spôsobmi. Môže to byť jazyk nad slovami - postupnosťami objektov alebo jazyk nad multimnožinami. V generatívnom mode môžeme zobrať objekty vypustené do prostredia počas výpočtu a túto postupnosť objektov alebo multimnožinu objektov zahrnúť do jazyka. Keďže pre daný P systém vďaka nedeterminizmu existuje viac možných výpočtov, veľkosť definovaného jazyka môže byť aj väčšia ako 1.

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

- Prehľad problematiky
 - P systémy
 - Jazyk definovaný P systémom

Jazyk definovaný P systémom

- Jazyk nad paragonizovanými/multimnožinami objektov
- Generatívny mód paragonizovanými/multimnožinami objektov
- Výpočtový mód paragonizovanými/multimnožinami objektov
- Paragonizovaný mód paragonizovanými/multimnožinami objektov

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

- Prehľad problematiky
 - P systémy
 - Variety pravidiel

Variety pravidiel

- Jazyk nad paragonizovanými/multimnožinami objektov
- Generatívny mód paragonizovanými/multimnožinami objektov
- Výpočtový mód paragonizovanými/multimnožinami objektov
- Paragonizovaný mód paragonizovanými/multimnožinami objektov

Literatúra spomína rôzne spôsoby definovania prepisovacieho pravidla. Pôvodná definícia, používa kooperatívne pravidlá v znení, ako som uviedol. Takto definované P systémy sú Turingovsky úplné.

Nekooperatívne pravidlá neumožňujú interakciu medzi objektami, takže na ľavej strane je vždy iba jeden objekt. Takto definované P systémy sú ekvivalentné Parikhovmu zobrazeniu bezkontextových jazykov.

Pravidlá s inhibítormi umožňujú špecifikovať množinu objektov, inhibítorov, z ktorých ak aspoň jeden je prítomný v regióne, tak dané pravidlo sa nemôže uplatniť. Takto definované P systémy sú ekvivalentné Parikhovmu zobrazeniu triedy jazykov ETOL.

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

- Prehľad problematiky
 - P systémy
 - Variety pravidiel

Variety pravidiel

- Jazyk nad paragonizovanými/multimnožinami objektov
- Generatívny mód paragonizovanými/multimnožinami objektov
- Výpočtový mód paragonizovanými/multimnožinami objektov
- Paragonizovaný mód paragonizovanými/multimnožinami objektov

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

- Prehľad problematiky
 - P systémy
 - Sekvenčné P systémy

Sekvenčné P systémy

- Jazyk nad paragonizovanými/multimnožinami objektov
- Generatívny mód paragonizovanými/multimnožinami objektov
- Výpočtový mód paragonizovanými/multimnožinami objektov
- Paragonizovaný mód paragonizovanými/multimnožinami objektov

Maximálny paralelizmus je veľmi silná vlastnosť. Globálny časovač reakcií vo väčšine prípadov tvorí hranicu toho, čo je, a čo nie je Turingovsky úplné. Ani v bunke sa nenachádza taký časovač, podľa ktorého by sa reakcie synchronizovali. Preto sa hľadajú spôsoby, ako túto vlastnosť odľahčiť, prípadne, akými spôsobmi by sa dal rozšíriť sekvenčný mod, aby sa dosiahla Turingovská úplnosť.

Sekvenčné P systémy s kooperatívnymi pravidlami nie sú Turingovsky úplné, lebo sú ekvivalentné s Vector Addition Systems a s Petriho sieťami.

Ak sa pridávajú pravidlá s prioritami, alebo s aktívnymi membránami, alebo s inhibítormi, takto definované P systémy sú už Turingovsky úplné.

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

- Skúmané varianty P systémov
 - Sekvenčné P systémy s inhibítormi
 - Vlastné výsledky

Vlastné výsledky

- Jazyk nad paragonizovanými/multimnožinami objektov
- Generatívny mód paragonizovanými/multimnožinami objektov
- Výpočtový mód paragonizovanými/multimnožinami objektov
- Paragonizovaný mód paragonizovanými/multimnožinami objektov

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

- Skúmané varianty P systémov
 - Sekvenčné P systémy s inhibítormi
 - Sekvenčné P systémy s inhibítormi

Sekvenčné P systémy s inhibítormi

- Jazyk nad paragonizovanými/multimnožinami objektov
- Generatívny mód paragonizovanými/multimnožinami objektov
- Výpočtový mód paragonizovanými/multimnožinami objektov
- Paragonizovaný mód paragonizovanými/multimnožinami objektov

Prvý variant P systémov, ktorým sme sa zaoberali, sú sekvenčné P systémy s inhibítormi.

Biologicky motivované výpočtové modely

- └ Skúmané varianty P systémov
 - └ Sekvenčné P systémy s inhibítormi
 - └ Sekvenčné P systémy s inhibítormi

Toto rozšírenie umožňuje k pravidlám pridať množinu inhibítorov I , z ktorých ak sa aspoň jeden nachádza v aktuálnej membráne, pravidlo nie je aplikovateľné.

Dokázali sme Turingovskú úplnosť pre akceptačný aj generatívny mód.

Tieto výsledky sme prezentovali na konferencii Computability in Europe v roku 2014 v Budapešti a náš článok je publikovaný v zborníku.

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

- └ Skúmané varianty P systémov
 - └ Sekvenčné P systémy s inhibítormi
 - └ Prehľad simulácie pre akceptačný mód

Pre akceptačný mód sme ukázali simuláciu registrového stroja. Obsah registra x sa reprezentuje početnosťou objektu x . Navyše máme objekt pre každú inštrukciu. Inhibítory sme využili na simuláciu inštrukcie SUB.

Biologicky motivované výpočtové modely

- └ Skúmané varianty P systémov
 - └ Sekvenčné P systémy s inhibítormi
 - └ Prehľad simulácie pre akceptačný mód

Formálne, máme registrový stroj M , kde n je počet registrov, P je množina inštrukcií označených značkami z množiny Lab , i je označenie počiatočnej inštrukcie, h je označenie koncovej inštrukcie.

Zostrojíme P systém s jednou membránou, v abecede budú označenia inštrukcií, symboly zodpovedajúce jednotlivým registrom a špeciálny ukončovaci symbol mriežka.

V počiatočnej konfigurácii membrána obsahuje označenie počiatočnej inštrukcie registrového stroja a objekty a_i podľa počiatočného stavu registrov.

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

- └ Skúmané varianty P systémov
 - └ Sekvenčné P systémy s inhibítormi
 - └ Prehľad simulácie pre akceptačný mód

Pre všetky inštrukcie ADD, ktoré zvýši hodnotu registra j o jedna a nasledujúca inštrukcia je k alebo l (rozhoduje sa nedeterministicky) budeme mať pravidlá, ktoré prepíše symbol zodpovedajúci označeniu inštrukcie na symbol a_j a symbol zodpovedajúci označeniu nasledujúcej inštrukcie.

Uvažujme inštrukciu SUB, ktorá ak má register j kladnú hodnotu, tak ju zníži o jedna, a ak je register j prázdny, tak ju nezníži, ale bude iná nasledujúca inštrukcia. Pre takúto inštrukciu budeme mať v P systéme dve pravidlá. Prvé pravidlo je kooperatívne, ktoré skonzumuje symbol a_j a vytvorí symbol k zodpovedajúci označeniu nasledujúcej inštrukcie. Druhé pravidlo je s inhibitorom a aplikovať sa môže len, ak sa v regióne nenachádza symbol a_j .

Biologicky motivované výpočtové modely

- └ Skúmané varianty P systémov
 - └ Sekvenčné P systémy s inhibítormi
 - └ Prehľad simulácie pre akceptačný mód

Ked uvažujeme registrové stroje, kde musia byť všetky registre prázdne, aby sa výpočet korektne ukončil, máme pravidlá, ktoré pri dosiahnutí koncovej inštrukcie h , ak je niektorý register neprázdny, vytvorí sa špeciálny symbol, ktorý tam už ostane navždy, a vďaka poslednému pravidlu sa dosiahne, že výpočet nezastaví. Dokázali sme, že pre každý registrový stroj vieme zostrojiť sekvenčný P systém s inhibítormi, ktorý v akceptačnom móde zastaví na rovnakých vstupoch ako registrový stroj.

Biologicky motivované výpočtové modely

- └ Skúmané varianty P systémov
 - └ Sekvenčné P systémy s inhibítormi
 - └ Prehľad simulácie pre generatívny mód

V generatívnom móde sme sa rozhodli pre simuláciu maximálne paralelného P systému $P_i 1$ pomocou sekvenčného P systému s inhibítormi $P_i 2$.

Každý maximálne paralelný krok P_i 1 simulujeme pomocou niekoľkých sekvenčných krokov P_i 2.

Biologicky motivované výpočtové modely

- └ Skúmané varianty P systémov
 - └ Sekvenčné P systémy s inhibítormi
 - └ Prehľad simulácie pre generatívny mód

Kedže pravidlá sa uplatňujú simultánne vo všetkých membránach, tento proces treba synchronizovať. Maximálne paralelný krok rozdeľujeme na 4 fázy. Fáza je reprezentovaná špeciálnym objektom a všetky pravidlá sú kooperatívne, na ľavej strane každého pravidla je fáza, ku ktorej sa pravidlo viaže.

Biologicky motivované výpočtové modely

- └ Skúmané varianty P systémov
 - └ Sekvenčné P systémy s inhibítormi
 - └ Prehľad simulácie pre generatívny mód

V prvej fáze RUN v Pi 2 po jednom prepisujeme symboly pomocou pravidiel zodpovedajúcim pravidlám v Pi 1, akurát produkty si označujeme, aby neboli znovu použité, kým neskončí simulácia jedného maximálne paralelného kroku. Pomocou inhibítorov zistíme moment, kedy sa už v Pi 2 nedá aplikovať žiadne ďalšie pravidlo, ktoré by sa mohlo zahrnúť do multimnožiny pravidiel aplikovaných v Pi 1. To nám zaručí, že aplikované pravidlá sú maximálnou multimnožinou a môžeme prejsť do simulácie ďalšieho maximálne paralelného kroku.

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

- Skúmané varianty P systémov
- Sekvenčné P systémy s inhibítormi
- Prehľad simulácie pre generatívny mód

Prehľad simulácie pre generatívny mód

- Simulácia maximálne paralelného P systému T_1 pomocou sekvenčného P systému s inhibítormi T_2
- Kľúčové vlastnosti paralelných kóxi T_1 simulácie sekvenčného kóxi T_2
- Maximálne paralelné kóxi realizujúce na 4 fazy
 - READ
 - SYNCHRONIZE
 - SENDDOWN
 - RESTORE

V druhej fáze SYNCHRONIZE sa v každom regióne čaká na ostatné regióny, aby sa spustil ďalší maximálne paralelný krok. Pošle sa synchronizačný token do vonkajšej membrány. V nej, keď sa pozberajú tokeny zo všetkých membrán, tak vonkajšia membrána pošle signál všetkým membránam, aby mohli začať ďalší maximálne paralelný krok. Ďalšie dve fázy sú čisto technického charakteru. Vo fáze SENDDOWN sa zvlášť posielajú objekty do vnútorných membrán a vo fáze RESTORE sa všetko v rámci regiónu pripravuje na ďalší maximálne paralelný krok.


2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

- Skúmané varianty P systémov
- Sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami
- Sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami

Sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami

2. Sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami

Druhý variant P systémov, ktorým sme sa zaoberali, sú sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami. 

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

- Skúmané varianty P systémov
- Sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami
- Sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami

Sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami

- Pravidlo, ktoré vytvorí membránu: $a \rightarrow [a]_c$, $a \in V^*$, $c \in V^*$, $1 \leq c \leq m$
- Bez limitu počtu aplikovaných pravidiel na vytvorenie membrány (PRULE [3])
- Prírodná realizácia
- Prírodná realizácia existencie nekonečného výpočtu
- Nekonečnosť existencie konečného výpočtu

Pre tento variant sme analyzovali rozhodnuteľnosť behaviorálnych vlastností. Podarilo sa nám dokázať, že existencia nekonečného výpočtu je rozhodnuteľný problém a existencia konečného výpočtu je nerozhodnuteľný problém.

Tieto výsledky sme prezentovali na konferencii Computability in Europe v roku 2015 v Bukurešti a článok bol publikovaný v zborníku z tejto konferencie.

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

- Skúmané varianty P systémov
- Sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami
- Aktívny P systém

Aktívny P systém

- Membránová konfigurácia (T, i, c) , kde
 - T je stromová štruktúra
 - $i \in V(T) \cup \{\Delta\}$
 - $c \in V(T) \cup \{\Delta\}$
- Konfigurácia P systému je $(T, C_0, R_0, \dots, R_m)$, kde
 - T je stromová štruktúra
 - C_0 je počiatková membránová konfigurácia
 - R_i je množina pravidiel asociovaná s označením membrány i

Aby sa pri dôkazoch lepšie manipulovalo s konfiguráciou, upravili sme definíciu aktívneho P systému, kde sme izolovali pojem membránová konfigurácia. Je to trojica (T, i, c) , kde T je stromová štruktúra

i je označenie membrán - zobrazenie vrcholov na čísla

c je zobrazenie vrcholov stromu T na multimnožinu symbolov, čo predstavuje obsah membrány.

Aktívny P systém je $m+2$ tica, kde Σ je abeceda, C_0 je počiatková membránová konfigurácia a R_i je množina pravidiel asociovaná s označením membrány i .

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

- Skúmané varianty P systémov
- Sekvenčné P systémy s inhibítormi
- Zhrnutie výsledkov pre sekvenčné P systémy s inhibítormi

Zhrnutie výsledkov pre sekvenčné P systémy s inhibítormi

- Simulácia P systému s inhibítormi na Turingovsky systéme
- Publikácia výsledkov pre Petriho siete
- Regulárne, vypočítateľné membrány, pravidlá a prioritizácia
- Výsledky iných obmedzených pravidiel

Ukázali sme, že v akceptačnom aj v generatívnom móde sú sekvenčné P systémy s inhibítormi Turingovsky úplné.

Hoci tieto výsledky nie sú veľmi prekvapivé, nakoľko podobné výsledky s inhibítormi už boli ukázané pre Petriho siete, prínos týchto simulácií je aj v ukázaní spôsobu konverzie medzi rôznymi modelmi, čo môže pomôcť v ďalšom výskume.

Ďalší výskum môže nadviazať a doplniť simuláciu o iné aspekty P systémov, napríklad rozpúšťanie, vytváranie membrán, pravidlá s prioritami, ako aj skúsiť iné obmedzenie pravidiel, napríklad obmedzenie kooperácie alebo obmedzenie sily inhibítorov.

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

- Skúmané varianty P systémov
- Sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami
- Sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami

Sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami

- Pravidlo, ktoré vytvorí membránu: $a \rightarrow [a]_c$, $a \in V^*$, $c \in V^*$, $1 \leq c \leq m$
- Bez limitu počtu aplikovaných pravidiel na vytvorenie membrány (PRULE [3])
- Prírodná realizácia existencie nekonečného výpočtu
- Nekonečnosť existencie konečného výpočtu

Pravidlo, ktoré vytvorí membránu, na pravej strane špecifikuje označenie membrány a multimnožinu objektov, ktoré sa v nej budú po vytvorení nachádzať.

Ak pre sekvenčné P systémy povolíme pravidlá vytvárajúce nové membrány, a nestanovíme limit na počet aplikovaní takýchto pravidiel, dosiahneme Turingovskú úplnosť, ako ukázal Ibarra v roku 2005. Ukázal aj, že pri obmedzení počtu aplikovaní takýchto pravidiel je to dá simulovať variantom bez takýchto pravidiel.

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

- Skúmané varianty P systémov
- Sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami
- Problém zastavenia

Problém zastavenia

- Problém zastavenia je definovaný pre deterministické modely
- Zastavenie: Existencia (nepoznateľného) výpočtu

Spomenuté behaviorálne vlastnosti sa podobajú na problém zastavenia. Ten je ale definovaný iba pre deterministické modely.

Keďže pre netederministické modely môže existovať výpočet, ktorý zastaví, aj výpočet, ktorý nezastaví, má zmysel pýtať sa dve rôzne otázky: či existuje konečný výpočet a či existuje nekonečný výpočet.

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

- Skúmané varianty P systémov
- Sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami
- Existencia konečného výpočtu

Existencia konečného výpočtu

- Existencia konečného výpočtu je nerozhodnuteľný problém
- Kľúčové na kľúčový problém

Podarilo sa nám dokázať, že existencia konečného výpočtu pre sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami je nerozhodnuteľný problém.

Dôkaz je pomocou redukcie. Ibarra v článku uvádza simuláciu, vďaka ktorej môžeme tvrdiť, že ak by sme vedeli rozhodovať existenciu konečného výpočtu pre sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami, potom by sme vedeli rozhodovať existenciu konečného výpočtu pre registrové stroje, čo je už známy nerozhodnuteľný problém.

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

Skúmané varianty P systémov

Sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami

Existencia nekonečného výpočtu

Existencia nekonečného výpočtu

- Graf dosiahnuteľnosti
- Existencia nekonečného výpočtu je rozhodovateľný problém
- Otvorená sa ešte menia

Skúmali sme aj opačný problém - existenciu nekonečného výpočtu. Podarilo sa nám dokázať, že je to rozhodnuteľný problém.

Dôkaz uvádzame iba pre obmedzenie na počet membrán, ktoré sa nachádzajú v ľubovoľnej konfigurácii.

Aj keď toto obmedzenie nie je veľmi realistické z biologického hľadiska, výsledok je aj tak zaujímavý, lebo sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami sú Turingovsky úplné aj s týmto obmedzením - pri simulácii registrového stroja sa v každej konfigurácii nachádzajú najviac tri membrány.

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

Skúmané varianty P systémov

Sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami

Existencia nekonečného výpočtu

Existencia nekonečného výpočtu

- Graf dosiahnuteľnosti
- Existencia nepostupnosti \leq
- $C_1 = \{P_1, A, C\}$
- $C_2 = \{P_2, A, C\}$
- $C_1 \leq C_2$ ak existujú pravidlá $P_1 \rightarrow P_2$ tak, že $P_1 \rightarrow P_2$ platí
- $C_1 \leq C_2$ ak existujú pravidlá $P_1 \rightarrow P_2$ tak, že $P_1 \rightarrow P_2$ platí
- $C_1 \leq C_2$ ak existujú pravidlá $P_1 \rightarrow P_2$ tak, že $P_1 \rightarrow P_2$ platí
- $C_1 \leq C_2$ ak existujú pravidlá $P_1 \rightarrow P_2$ tak, že $P_1 \rightarrow P_2$ platí

Majme konfigurácie C_1 a C_2 .

C_2 pokrýva C_1 (zapisujeme C_1 je menšia, alebo rovná ako C_2), ak existuje izomorfizmus f , ktorý pre každú membránu zachováva označenia a zachováva obsah, tým, že obsah každej membrány v C_1 je multimnožina obsiahnutá v obsahu zodpovedajúcej membrány v C_2 .

Táto definícia nám umožňuje tvrdiť, že ak C_2 pokrýva C_1 , potom každé pravidlo aplikovateľné v C_1 je aplikovateľné v C_2 .

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

Skúmané varianty P systémov

Sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami

Algoritmus rozhodujúci existenciu nekonečného výpočtu

Algoritmus rozhodujúci existenciu nekonečného výpočtu

- Traversa graf dosiahnuteľnosti
- Dokážeme konfiguráciu C_1 tak, že sa celá z konfigurácie konfigurácie $C_1 \leq C_2 \Rightarrow YES$
- Ak traversa skončí $\Rightarrow NO$

Algoritmus, ktorý rozhoduje existenciu nekonečného výpočtu je teda nasledovný:

Traversuj graf dosiahnuteľnosti.

Ak sa dosiahne konfigurácia C_2 , taká, že na ceste z počiatočnej konfigurácie existuje C_1 taká, že C_2 pokrýva C_1 , tak nekonečný výpočet existuje. Ak traverzovanie skončilo, tak nekonečný výpočet neexistuje.

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely


Skúmané varianty P systémov

Sekvenčné P systémy s množinami namiesto multimnožín

Sekvenčné P systémy s množinami

Sekvenčné P systémy s množinami namiesto multimnožín

- 3. Sekvenčné P systémy s množinami namiesto multimnožín

Tretí variant P systémov, ktorým sme sa zaoberali, sú sekvenčné P systémy s množinami namiesto multimnožín. 

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

Skúmané varianty P systémov

Sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami

Existencia nekonečného výpočtu

Existencia nekonečného výpočtu

- Graf dosiahnuteľnosti
- Existencia nepostupnosti \leq
- $C_1 = \{P_1, A, C\}$
- $C_2 = \{P_2, A, C\}$
- $C_1 \leq C_2$ ak existujú pravidlá $P_1 \rightarrow P_2$ tak, že $P_1 \rightarrow P_2$ platí
- $C_1 \leq C_2$ ak existujú pravidlá $P_1 \rightarrow P_2$ tak, že $P_1 \rightarrow P_2$ platí
- $C_1 \leq C_2$ ak existujú pravidlá $P_1 \rightarrow P_2$ tak, že $P_1 \rightarrow P_2$ platí
- $C_1 \leq C_2$ ak existujú pravidlá $P_1 \rightarrow P_2$ tak, že $P_1 \rightarrow P_2$ platí

Dôkaz využíva graf dosiahnuteľnosti. V prípade jednej membrány konfigurácia obsahuje iba multimnožinu objektov, preto sa dá použiť štandardná konštrukcia grafu dosiahnuteľnosti pre Petriho siete.

Vo všeobecnosti potrebujeme ale rozšíriť definíciu čiastočného usporiadania konfigurácií.

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

Skúmané varianty P systémov

Sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami

Existencia nekonečného výpočtu

Existencia nekonečného výpočtu

- Dokážeme tvrdenie: Pre každú nekonečnú postupnosť C_1, C_2, \dots existujú indexy $i < j$: $a_i \leq a_j$, pričom sa porovnávajú jednotlivé pozície v ntici.
- Dokážeme nasledovné tvrdenie: Pre každú nekonečnú postupnosť konfigurácií existuje C_1, C_2 : $C_1 \rightarrow^* C_2$ a $C_1 \leq C_2$.

Na tomto mieste by som chcel spomenúť Dicksonovu lemu. Tá tvrdí, že pre každú nekonečnú postupnosť n -tíc nad prirodzenými číslami existujú indexy $i < j$: $a_i \leq a_j$, pričom sa porovnávajú jednotlivé pozície v ntici.

Dokážeme nasledovné tvrdenie: Pre každú nekonečnú postupnosť konfigurácií existuje C_1, C_2 : $C_1 \rightarrow^* C_2$ a $C_1 \leq C_2$.

Definovali sme kodovanie konfigurácií do ntíc s vlastnosťou, že ak $enc(C_1) \leq enc(C_2)$, potom $C_1 \leq C_2$. Vďaka tomuto kodovaniu a pomocou Dicksonovej lemy dokážeme aj pôvodnú vetu, že pre každú nekonečnú postupnosť konfigurácií existuje C_1, C_2 : $C_1 \rightarrow^* C_2$ a $C_1 \leq C_2$.

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

Skúmané varianty P systémov

Sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami

Zhrnutie výsledkov pre sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami

Zhrnutie výsledkov pre sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami

- Existencia nekonečného výpočtu je rozhodovateľná
- Existencia konečného výpočtu je nerozhodovateľná

Dokazali sme, že existencia nekonečného výpočtu sa pri sekvenčných P systémov s aktívnymi membránami s obmedzením na počet membrán dá rozhodovať. Otvorený problém ostáva, či to platí pre variant bez tohto obmedzenia. Veríme, že áno, ale nemáme k tomu dôkaz.

Tiež sme dokázali, že existencia konečného výpočtu je nerozhodnuteľná. Dokázali sme to pomocou redukcie na problém zastavenia.

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

Skúmané varianty P systémov

Sekvenčné P systémy s množinami namiesto multimnožín

Sekvenčné P systémy s množinami

Sekvenčné P systémy s množinami namiesto multimnožín

- 3. Sekvenčné P systémy s množinami namiesto multimnožín

Inšpirácia pre tento variant pramenila z formalizmu Reaction systems. Nahradili sme obsah membrány, kde namiesto multimnožín uvažujeme množiny objektov.

K tomuto rozhodnutiu nás viedli dve otázky.

Nakoľko realistické je reprezentovať presný počet objektov? Niekedy nás zaujíma iba výskyt, napríklad či sa v membráne nachádza vírus, alebo nie.

Ak uvažujeme multimnožiny, máme problém explózie stavového priestoru, ktorý sa potom neprakticky analyzuje. V prípade množín je stavový priestor menší, čo umožňuje jednoduchšiu analýzu.

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

Skúmané varianty P systémov

Sekvenčné P systémy s množinami namiesto multimnožín

P systémy s množinami objektov

P systémy s množinami objektov

- [7] počty objektov sa ignorujú
- Skladacia pravidlá nie sú deterministická.
- Existencia s kombinovanými sekvencami.
- Definícia membrány je realist. Turingový stroj

- [8] „min-enabled“ computational step (-) - sekvenčný

- Existencia s kombinovanými sekvencami

- Variácie:
 - Pravidlá bez konfliktu (objekt sa môže včleniť ako reaktant alebo ako produkt pravidla)
 - Ak je objekt produkt alebo v ľavom pravidle ako reaktant, bude spotrebovaný

Alhazov v roku 2005 uvažoval o P systémoch, kde sa ignorovali počty objektov. Pri maximálnom paralelizme je výpočet deterministický, lebo pravidlá nie sú navzájom konfliktné a maximálna multimnožina simultánne aplikovateľných pravidiel je v každej konfigurácii iba jedna.

Takto definované P systémy sú ekvivalentné s konečnostavovými automatmi, čo sa týka výpočtovej sily.

S aktívnymi membránami je model Turingovsky úplný.

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

Skúmané varianty P systémov

Sekvenčné P systémy s množinami namiesto multimnožín

P systémy s množinami objektov

P systémy s množinami objektov

- [7] počty objektov sa ignorujú
- Skladacia pravidlá nie sú deterministická.
- Existencia s kombinovanými sekvencami.
- Definícia membrány je realist. Turingový stroj

- [8] „min-enabled“ computational step (-) - sekvenčný

- Existencia s kombinovanými sekvencami

- Variácie:
 - Pravidlá bez konfliktu (objekt sa môže včleniť ako reaktant alebo ako produkt pravidla)
 - Ak je objekt produkt alebo v ľavom pravidle ako reaktant, bude spotrebovaný

Kleijn a Koutny v roku 2011 skúmali rôzne mody výpočtu pre P systémy pracujúce s množinami a sekvenčný bol tiež spomenutý pod názvom “min-enabled” .

Ukázala sa ekvivalencia s konečnostavovými automatmi.

Sekvenčné P systémy pracujúce s množinami majú tieto vlastnosti: Pravidlá sú bez konfliktu, lebo objekty sa môžu zúčastniť ako reaktanty súčasne vo viacerých pravidlách. Ak je objekt použitý aspoň v jednom pravidle ako reaktant, bude spotrebovaný.

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

Skúmané varianty P systémov

Sekvenčné P systémy s množinami namiesto multimnožín

Aktívny P systém

Aktívny P systém

- Membrána konfigurácia (T, i, c) , kde
 - T je množina buniek
 - $i \in V(T) = \{1, \dots, n\}$
 - $c \in V(T) = \{1, \dots, n\}$
- Membrána P systému je $(E, C_1, R_1, R_2, \dots, R_n)$, kde
 - E je množina
 - C_1 je množina
 - R_1, R_2, \dots, R_n je množina pravidiel

Na tomto mieste by som chcel znovu pripomenúť definíciu aktívneho P systému.

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

Skúmané varianty P systémov

Sekvenčné P systémy s množinami namiesto multimnožín

Iné spôsoby vytvárania membrány

Iné spôsoby vytvárania membrány

- Pravidlo globálnej defície
 - Vytváranie membrány, ktoré sú otvorené
- Pravidlo objektu do existujúcej membrány
- Inject or create
- Wrap or create

Pravidlá, ktoré vytvárajú nové membrány, majú isté problémy. Napríklad, čo sa stane, ak sa dva krát po sebe vytvorí membrána s tým istým označením? Tu máme dve možnosti. Bud vytvorenie druhej membrány v definícii nejakým spôsobom zakážeme, aby sme zachovali invariant, kde existuje iba jedna membrána s daným označením. Alebo povolíme dve susedné membrány s rovnakým označením, ale potom treba riešiť situáciu, keď sa posla objekt do membrány, či sa pošle do jednej, alebo do oboidvoch. Podľa pôvodnej definície je pravidlo neaplikovateľné aj v prípade, keď sa posla objekt do membrány s označením, ktoré sa v aktuálnom regione nenachádza.

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

Skúmané varianty P systémov

Sekvenčné P systémy s množinami namiesto multimnožín

Iné spôsoby vytvárania membrány

Iné spôsoby vytvárania membrány

- Pravidlo globálnej defície
 - Vytváranie membrány, ktoré sú otvorené
- Pravidlo objektu do existujúcej membrány
- Inject or create
- Wrap or create

Preto sme vymysleli alternatívne definície vytvárania membrány. Inject or create zjednocuje pravidlo pre posielanie a pravidlo pre vytváranie membrány. V prípade, ak membrána s daným označením existuje, tak sa daný objekt do nej pošle. Ak neexistuje, tak sa daný objekt zabalí do novej membrány.

Wrap or create ponecháva explicitné pravidlo na vytvorenie novej membrány, ale ak membrána s daným označením už existuje, tak ju zabalí do novej membrány s tým istým označením.

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

Skúmané varianty P systémov

Sekvenčné P systémy s množinami namiesto multimnožín

Zhrnutie výsledkov

Zhrnutie výsledkov

	Inject or create	Wrap or create
maximal	1000	1000
minimal	1000	1000
maximal	1000	1000
minimal	1000	1000
maximal	1000	1000
minimal	1000	1000

Pri všetkých variantoch sme ukázali Turingovskú úplnosť pomocou simulácie registrového stroja. Jednotlivé simulácie sme medzi sebou porovnali s ohľadom na dve veličiny. Merali sme maximálny počet membrán v niektorej konfigurácii P systému v závislosti od najvyššej hodnoty registra. A tiež sme merali počet krokov výpočtu P systému potrebných na simuláciu jedného kroku registrového stroja. V prvom riadku tabuľky je jednoduchá simulácia podľa pôvodnej definície, ktorá nie je veľmi efektívna. Na jeden krok registrového stroja je potrebných až $O(n)$ krokov.

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

Skúmané varianty P systémov

Sekvenčné P systémy s množinami namiesto multimnožín

Zhrnutie výsledkov

Zhrnutie výsledkov

	Inject or create	Wrap or create
maximal	1000	1000
minimal	1000	1000
maximal	1000	1000
minimal	1000	1000
maximal	1000	1000
minimal	1000	1000

Pomocou binárneho označenia membrán sa nám podarilo optimalizovať túto simuláciu na logaritmický čas.

Pomocou sémantiky inject or create sa sa podarilo simulovať registrový stroj podobným spôsobom s tou istou zložitosťou.

Sémantika wrap or create sa ukázala ako vhodnejšia, čo sa týka časovej zložitosti, ale počet vytvorených membrán v simulácii sa znížiť nepodarilo.

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

Skúmané varianty P systémov

Sekvenčné P systémy s množinami namiesto multimnožín

Zhrnutie výsledkov

Zhrnutie výsledkov

	Inject or create	Wrap or create
maximal	1000	1000
minimal	1000	1000
maximal	1000	1000
minimal	1000	1000
maximal	1000	1000
minimal	1000	1000

Tieto výsledky sme prezentovali a boli publikované v zborníku z konferencie Concurrency, Specification and Programming v roku 2015 v Rzesove. Rozšírená verzia článku bola zaslaná do karentovaného časopisu Fundamenta Informaticae.

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely


Skúmané varianty P systémov

Záver

Záver

Záver

Na záver zhrniem dosiahnuté výsledky a predstavím možnosti ďalšieho výskumu



2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

Skúmané varianty P systémov

Záver

Záver

Záver

Uvažovali sme napríklad objekty vyhýbajúce sa prázdny membránam. Pravidlo posielajúce objekt do prázdnej membrány sa síce uplatní, ale daný objekt ostane v aktuálnej membráne.

V inom variante sa daný objekt síce pošle do membrány, ale ak je prázdna, tak sa z neho stane iný objekt.

A posledný variant obsahuje špeciálne objekty, ktoré reprezentujú vákum. Takýto objekt sa vytvorí automaticky v prázdnej membráne, nemôže byť vytvorený prepisovacím pravidlom. Môže ale byť na ľavej strane pravidiel, teda interagovať s inými objektami. Pri týchto variantoch sme dosiahli iba čiastočné, alebo triviálne výsledky, ktoré neboli vhodné na publikáciu.

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

Skúmané varianty P systémov

Záver

Vyjadrenia k posudkom (doc. Sosík)

Vyjadrenia k posudkom (doc. Sosík)

Komentár ohľadom znenia vety 4.1.2, kde sa tvrdí, že P systémy sú ekvivalentné *PsRE* - takto sa to často používa v literatúre.

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

Skúmané varianty P systémov

Záver

Vyjadrenia k posudkom (doc. Sosík)

Vyjadrenia k posudkom (doc. Sosík)

Avšak správne má byť, že P systémy generujú triedu jazykov *PsRE*.

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

Skúmané varianty P systémov

Záver

Vyjadrenia k posudkom (doc. Sosík)

Vyjadrenia k posudkom (doc. Sosík)

Další komentár bol ohľadom zápisu multimnožiny.

Chyby pramenili často z toho, že v rôznej literatúre sa používalo rôzne označenie. Oddeľovanie čiarkami je chybne. Najviac prehľadné je podľa mňa zápis pomocou stringu, čiže bez oddeľovačov, ale v prípade, ak sú prvky multimnožiny viacznakové, tak sa oddelia zvislou čiarou. Avšak v dôkaze 4.3.1 máme zvislú čiaru použitú aj v prípade jednoznakových prvkov multimnožiny.

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

Skúmané varianty P systémov

Záver

Vyjadrenia k posudkom (doc. Sosík)

Vyjadrenia k posudkom (doc. Sosík)

Další komentár bol ohľadom označenia membrány v dôkaze. Pri simulácii operácie *ADD(i)* registrového stroja máme pravidlo, ktoré vytvorí membránu s označením *i*.

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

Skúmané varianty P systémov

Záver

Vyjadrenia k posudkom (doc. Sosík)

Vyjadrenia k posudkom (doc. Sosík)

Má tam byť *i* namiesto 1.

2018-01-17

Biologicky motivované výpočtové modely

Skúmané varianty P systémov

Záver

Vyjadrenia k posudkom (doc. Sosík)

Vyjadrenia k posudkom (doc. Sosík)

Dôkaz 4.4.1 má dve strany, Example 4.4.1 ukazuje konfiguráciu P systému pre ukážkovú konfiguráciu registrového stroja. Je to jeden odstavec v strede dôkazu, ktorý potom ešte pokračuje. Mohli sme dôkaz lepšie štruktúrovať.

