

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

Biologicky motivované výpočtové modely └─Prehľad problematiky

Biologicky motivované modely

2018-01-

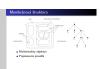
Biologicky motivované výpočtové modely

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.

Biologicky motivované výpočtové modely ∟Prehľad problematiky 넑

∟P systémy ∟Membránová štruktúra



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.

NEXT SLIDE

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

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

Biologicky motivované výpočtové modely Prehľad problematiky 2018-01

P systémy

└-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.

Biologicky motivované výpočtové modely

2018-01-

2018-01-

V úvode prezentácie vám predstavím rôzne výpočtové modely motivované biologiou. 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 prázdnosti membrán.

Biologicky motivované výpočtové modely

└─Prehľad problematiky Biologicky motivované modely

Biologicky motivované výpočtové modely

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.

Biologicky motivované výpočtové modely -Prehľad problematiky 2018-01-

∟P systémy

Prepisovacie pravidlá

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

NEXT SLIDE

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 ked 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.

Biologicky motivované výpočtové modely └─Prehľad problematiky

2018-01-└P systémy

∟Krok výpočtu P systému



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.

Biologicky motivované výpočtové modely

Prehľad problematiky

P systémy

Ukážka výpočtu P systému



V úvodnej konfigurácii ukážkového P systému je aplikovateľné iba prvé pravidlo vo vnútornej membráne. A sa prepíše na c a pošle von. V dalšom kroku sa v prepíše na abe, e sa pošle von, ab dnu. V dalšom kroku sa vdaka maximálnemu paralelizmu musia aplikovať vo vnútornej membráne obidve pravidlá, preto sa objekty ab prepíšu na cd a pošlú von. V daľšom kroku sa vdaka maximálnemu paralelizmu musia aplikovať obidve pravidlá, preto pôjdu dve áčka a jedno béčko do vnútornej membrány a jedno éčko von. Tento výpočet nikdy neskončí a každý druhý krok sa do vonkajšej membrány pošle počet éčok zodpovedajúci dalšiemu prvku Fibonacciho postupnosti.

Biologicky motivované výpočtové modely
Prehľad problematiky
P systémy
Jazyk definovaný P systémom



V akceptačnom mode vstupnú multimnožinu vložíme do špecifickej membrány a spustíme výpočet, ktorý ak zastaví, tak vstupnú multimnožinu zahrnieme do jazyka.

Pre väčšinu známych modelov sú generatívny aj akceptačný mod rovnako silné, u P systémoch to nie je vždy tak, preto sa oplatí skúmať obidva mody.

Biologicky motivované výpočtové modely
- Prehľad problematiky
- P systémy
- Varianty pravidiel



Katalytické pravidlá umožňujú objektom interagovať iba s objektom z množiny katalizátorov. Dva katalyzátory stačia na Turingovskú úplnosť. Výpočtovú silu P systémov s jedným katalyzátorom nevieme zaradiť, je to otvorený problém. Ak ale umožníme pravidlá s inhibítormi, dosiahneme Turingovskú úplnosť.

Biologicky motivované výpočtové modely
Skúmané varianty P systémov
Sekvenčné P systémy s inhibítormi
Vlastné výsledky



Teraz nasleduje druhá časť prezentácie, v ktorej predstavím vlastné výsledky.

Biologicky motivované výpočtové modely
- Prehľad problematiky
- P systémy
- Jazyk definovaný P systémom

Jazyk nad posuposefami/multimodžvami objektov Generalney mód postuposef/multimodžva objektov vypustnejeh do obletko prostradia Akospataly mód: vstupali multimodžnu vložime do špecifickaj membraj, ak výpože staty, akospatjeme

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. Kedže pre daný P systém vdaka nedeterminizmu existuje viac možných výpočtov, veľkosť definovaného jazyka môže byť aj väčsia ako 1.

Biologicky motivované výpočtové modely

Prehľad problematiky

P systémy

Varianty pravidiel

Varianty provided $u \to v \\ = \text{Kooperstane } \{u \in \mathbb{N}^n \mid \text{PoRE } [t]\} \\ = \text{Non-provided } \{u \in \mathbb{N}^n \mid \text{PoRE } [t]\} \\ = \text{Non-provided } \{u \in \mathbb{N} \mid \text{Port } [t]\} \\ = \text{Non-provided } \{u \in \mathbb{N} \mid \text{Non-provided }$

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

NEXT SLIDE

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.

NEXT SLIDE

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

Biologicky motivované výpočtové modely
Prehľad problematiky
P systémy
Sekvenčné P systémy

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. NEXT SLIDE

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

NEXT SLIDE

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

Biologicky motivované výpočtové modely
Skúmané varianty P systémov
Sekvenčné P systémy s inhibítormi
Sekvenčné P systémy s inhibítormi

1. Sekvenčné P systémy s inhibítormi

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

Biologicky motivované výpočtové modely -Skúmané varianty P systémov 2018-01-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.

NEXT SLIDE

Dokázali sme Turingovskú úplnosť pre akceptačný aj generatívny mód.

NEXT SLIDE

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

2018-01-

Biologicky motivované výpočtové modely └Skúmané varianty P systémov Sekvenčné P systémy s inhibítormi Prehľad simulácie pre akceptačný mód

Formálne, majme 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.

NEXT SLIDE

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

NEXT SLIDE

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

넑

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 vdaka 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.

2018-01

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 všekty pravidlá sú kooperatívne, na ľavej strane každého pravidla je fáza, ku ktorej sa pravidlo viaže.

Biologicky motivované výpočtové modely -Skúmané varianty P systémov 2018-01-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.

2018-01.

Biologicky motivované výpočtové modely Skúmané varianty P systémov Sekvenčné P systémy s inhibítormi Prehľad simulácie pre akceptačný mód

Pre všetky inštrukcie ADD, ktoré zvýšia 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; a symbol zodpovedajúci označeniu nasledujúcej inštrukcie. **NEXT SLIDE**

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 takáto inštrukciu budeme mať v P systéme dve pravidlá. Prvé pravidlo je kooperatívne, ktoré skonzumuje symbol a_i a vytvorí symbol k zodpovedajúci označeniu nasledujúcej inštrukcie. Druhé pravidlo je s inhibítorom a aplikovať sa môže len, ak sa v regione nenachádza symbol ai.

2018-01-

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 Pi 1 pomocou sekvenčného P systému s inhibítormi Pi 2.

NEXT SLIDE

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

2018-01-

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 dalšie 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 dalšieho maximálne paralelného kroku.

Biologicky motivované výpočtové modely -Skúmané varianty P systémov 2018-01-Sekvenčné P systémy s inhibítormi └Prehľad simulácie pre generatívny mód

V druhej fáze SYNCHRONIZE sa v každom regione čaká na ostatné regiony, aby sa spustil další maximálne paralelný krok. Pošle sa synchronizačný token do vonkajšej membrány. V nej, ked sa pozbierajú tokeny zo všetkých membrán, tak vonkajšia membrána pošle signál všetkým membránam, aby mohli začať další maximálne paralelný krok.

Biologicky motivované výpočtové modely └Skúmané varianty P systémov 2018-01 Sekvenčné P systémy s inhibítormi ∟Zhrnutie výsledkov pre sekvenčné P systémy s inhibítormi

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

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 daľšom výskume.

NEXT SLIDE

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

9

Biologicky motivované výpočtové modely -Skúmané varianty P systémov Sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami

∟Sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami

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

NEXT SLIDE

Ak pre sekvenčné P systémy povolíme pravidlá, ktoré vytvárajú nové membrány, a nestanovíme žiadny 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 ekvivalentné variantu bez takýchto pravidiel.

NEXT SLIDE

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

VIENT CITUE

2018-01

Biologicky motivované výpočtové modely └─Skúmané varianty P systémov

Sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami ∟Aktívny P systém

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 **NEXT SLIDE**

I je označenie membrán - zobrazenie vrcholov na čísla **NEXT SLIDE**

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

Biologicky motivované výpočtové modely -Skúmané varianty P systémov 2018-01-Sekvenčné P systémy s inhibítormi └Prehľad simulácie pre generatívny mód

Po synchronizácii treba označené objekty odznačiť, aby boli pripravené na další maximálne paralelný krok. To sa deje vo fáze

Posielanie objektov cez membránu do obaľujúcej membrány sa môže vykonať vo fáze RUN. Ale ak by sme poslali objekt do vnútornej membrány, tá ešte môže byť vo fáze RESTORE predchádzajúceho maximálne paralelného kroku. V tom prípade by sa stihli poslané objekty ešte odznačiť a mohli by sa uplatniť pravidlá toho istého maximálne paralelného kroku. Preto musíme počkať na synchronizáciu a posielanie objektov nadol vykonávať medzi fázou SYNCHRONIZE a fázou RESTORE. Túto fázu sme nazvali SENDDOWN.

2018-01

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

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

2018-01-

Biologicky motivované výpočtové modely -Skúmané varianty P systémov Sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami └─Problém zastavenia

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

Kedže pre netederministické modely môže výpočet zastaviť aj nezastaviť, má zmysel pýtať sa dve rôzne otázky: či existuje konečný výpočet a či existuje nekonečný výpočet.

2018-01

Biologicky motivované výpočtové modely -Skúmané varianty P systémov

Sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami ∟Aktívny P systém

Aktívny P systém je m+2 tica, kde Σ je abeceda, C_0 je počiatočná membránová konfigurácia a Ri je množina pravidiel asociovaná s označením membrány i. Okrem pôvodne definovaných typov pravidiel máme aj pravidlo na vytvorenie membrány s daným označením a daným obsahom.

Biologicky motivované výpočtové modely
Skúmané varianty P systémov
Sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami

Existencia konečného výpočtu

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

NEXT SLIDE

Dôkaz je pomocou redukcie. Ibarra v článku uvádza simuláciu, vdaka 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

Biologicky motivované výpočtové modely

└Skúmané varianty P systémov

-Sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami Existencia nekonečného výpočtu

Dôkaz uvádzame iba pre obmedzenie na počet membrán, ktoré sa nachádzajú v ľubovoľnej konfigurácii. Veríme, že to platí aj bez tohto obmedzenia, rozšíriť dôkaz sa ale napriek snahe nepodarilo. Obmedzenie na počet membrán vynútime upravenou definíciou, pravidlo na vytvorenie membrány je aplikovateľné, iba ak je počet membrán v konfigurácii menší ako stanovený limit. Aj ked toto obmedzenie nie je veľmi realistické z biologického hľadiska, výsledok je 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.

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

9

Biologicky motivované výpočtové modely Skúmané varianty P systémov

Sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami Existencia nekonečného výpočtu

Na tomto mieste by som chcel spomenúť Dicksonovu lemu. Tá tvrdí, že pre každú nekonečnú postupnosť n-tíc nad \mathbb{N} $\{a_i\}_{i=0}^{\infty}$ existujú i < j: $a_i \le a_j$.

NEXT SLIDE

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

NEXT SLIDE

Definujeme kodovanie konfigurácií do ntíc s vlastnosťou, že ak $enc(C_1) \leq enc(C_2)$, potom $C_1 \leq C_2$. Vdaka 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

Biologicky motivované výpočtové modely

└Skúmané varianty P systémov Sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami ∟Zhrnutie výsledkov pre sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami

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.

NEXT SLIDE

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

Biologicky motivované výpočtové modely -Skúmané varianty P systémov

Sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami Existencia nekonečného výpočtu

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

2018-01

2018-01-

Biologicky motivované výpočtové modely └Skúmané varianty P systémov

-Sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami Existencia nekonečného výpočtu

Vo všeobecnosti potrebujeme ale rozšíriť definíciu čiastočného usporiadania konfigurácií.

NEXT SLIDE

Majme konfigurácie C_1 a C_2 .

NEXT SLIDE

 C_1 je menšia ako C_2 (C_2 pokrýva C_1), ak existuje izomorfizmus f, ktorý pre každú membránu:

NEXT SLIDE

zachováva označenia $l_1(d) = l_2(f(d))$

NEXT SLIDE

a zachováva obsah: $c_1(d) \subseteq c_2(f(d))$

NEXT SLIDE

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-

Biologicky motivované výpočtové modely

nekonečného výpočtu

-Skúmané varianty P systémov Sekvenčné P systémy s aktívnymi membránami Algoritmus rozhodujúci existenciu

Algoritmus, ktorý rozhoduje existencu nekonečného výpočtu je teda nasledovný:

Traverzuj 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

Biologicky motivované výpočtové modely -Skúmané varianty P systémov

Sekvenčné P systémy s množinami namiesto multimnožín

-Sekvenčné P systémy s množinami

3. Sekvenčné P systémy s multimnožín

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

Biologicky motivované výpočtové modely -Skúmané varianty P systémov 2018-01-

Sekvenčné P systémy s množinami namiesto multimnožín -Sekvenčné P systémy s množinami

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

multimnožín uvažujeme množiny objektov.

NEXT SLIDE

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,

NEXT SLIDE

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

Biologicky motivované výpočtové modely └Skúmané varianty P systémov 2018-01

-Sekvenčné P systémy s množinami namiesto

multimnožín └P systémy s množinami objektov

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".

NEXT SLIDE

Ukázala sa ekvivalencia s konečnostavovými automatmi. **NEXT SLIDE**

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.

Biologicky motivované výpočtové modely -Skúmané varianty P systémov 넑

Sekvenčné P systémy s množinami namiesto multimnožín

-Iné spôsoby vytvárania membrány

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, ked sa posiela objekt do membrány, či sa pošle do jednej, alebo do obidvoch.

Podľa pôvodnej definície je pravidlo neaplikovateľné aj v prípade, ked sa posiela objekt do membrány s označením, ktoré sa v aktuálnom regione nenachádza.

Biologicky motivované výpočtové modely └─Skúmané varianty P systémov

Sekvenčné P systémy s množinami namiesto multimnožín

└─Zhrnutie výsledkov

2018-01

Pri všetkých variantoch sme ukázali Turingovskú úplnosť pomocou simulácie registrového stroju. 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.

Biologicky motivované výpočtové modely -Skúmané varianty P systémov

—Sekvenčné P systémy s množinami namiesto multimnožín

P systémy s množinami objektov

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 pravidliel je v každej konfigurácii iba jedna.

NEXT SLIDE

2018-01

2018-01

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

NEXT SLIDE

S aktívnymi membránami je model univerzálny.

Biologicky motivované výpočtové modely

└Skúmané varianty P systémov

-Sekvenčné P systémy s množinami namiesto multimnožín

∟Aktívny P systém

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

Biologicky motivované výpočtové modely -Skúmané varianty P systémov 2018-01-

Sekvenčné P systémy s množinami namiesto multimnožín

-Iné spôsoby vytvárania membrány

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.

NEXT SLIDE

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

Biologicky motivované výpočtové modely -Skúmané varianty P systémov 2018-01

Sekvenčné P systémy s množinami namiesto multimnožín

Zhrnutie výsledkov

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

Pomocou sémantika inject or create sa sa podarilo simulovať registrový stroj podobným spôsobom s tou istou zložitosťou. **NEXT SLIDE**

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

Biologicky motivované výpočtové modely -Skúmané varianty P systémov 2018-01-Sekvenčné P systémy s množinami namiesto multimnožín –Zhrnutie výsledkov

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

Biologicky motivované výpočtové modely └─Skúmané varianty P systémov 2018-01-Detekcia prázdnosti membrán └─Detekcia prázdnosti membrán

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

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

NEXT SLIDE

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.

Biologicky motivované výpočtové modely Skúmané varianty P systémov 넑 Detekcia prázdnosti membrán └Vyjadrenia k posudkom



Keď stromy nie sú izomorfné, tak podľa preorderu dostanú iný order number, a teda v kódovaní bude nenulová iná časť. Tým pádom nebude platiť ani $enc(C_1) < enc(C_2)$ ani $enc(C_2) < enc(C_1)$. Porovanie kodovaní nie je alfabetické, ale podľa pozícií. Na to, aby bolo jedno kodovanie väčsie ako druhé, musí byť aspoň na jednej pozícii väčšie a na ostatných väčšie alebo rovné. Inými slovami - ak sú kódovania porovnateľné $enc(C_1) < enc(C_2)$ alebo $enc(C_2) < enc(C_1)$, potom už nutne musí byť nenulová tá istá časť a teda stromy sú izomorfné. **NEXT SLIDE**

Na tomto príklade máme stanovený limit na počet membrán 2. Existujú len dve navzájom neizomorfné stromové štruktúry s nanajvýš dvomi vrcholmi, bud je to samostatný vrchol alebo koreň plus jeden vrchol. Preto kodovanie pozostáva z dvoch častí. Uvádzam príklady dvoch membránových konfigurácií. Prvá má

ما: كالماليمية أن معملة الماكلا كالمالة

Biologicky motivované výpočtové modely

└─Skúmané varianty P systémov

2018-01

Detekcia prázdnosti membrán

└─Vyjadrenia k posudkom

Motivácia vôbec niečo modifikovať pramenila z toho, že v pôvodnej definícii bolo posielanie do membrány definované iba pre prípad, kedy cieľová membrána existuje. Vytvorenie novej membrány bolo definované iba pre prípad, kedy cieľová membrána neexistuje. Prirodzene sa žiadalo zjednotiť tieto dva pojmy, aby výsledný jeden pojem bol definovaný vo všetkých prípadoch, aj ked cieľová membrána existuje, aj ked neexistuje. Tak vznikla modifikácia inject or create.

Wrap or create na druhej strane zabezpečuje, aby pravidlo pre vytvorenie membrány v každej situácii nejakú membránu vytvorilo.

Biologicky motivované výpočtové modely -Skúmané varianty P systémov 2018-01-Detekcia prázdnosti membrán Detekcia prázdnosti membrán

pri výpočte.

Zaoberali sme sa aj inými variantami P systémov, ktoré rôznymi

spôsobmi umožňujú detekciu prázdnosti membrán a využívajú to

4. Detekcia prázdnosti membrán

Biologicky motivované výpočtové modely Skúmané varianty P systémov

Detekcia prázdnosti membrán

└Vyjadrenia k posudkom

Áno, máte pravdu. Dôkaz funguje len pre pravidlá s ľavou stranou veľkosti nanajvýš 2. Napr. pre pravidlá s ľavou stranou veľkosti 3 by sme potrebovali, aby $M(a_i) = 2$. Dalo by sa to spraviť zavedením symbolov s dvomi bodkami, ktoré by mali v každej membráne nanajvýš 1 výskyt. Navyše by symbol s dvomi bodkami mohol vzniknúť iba, ak je prítomný symbol s jednou bodkou. Tým pádom by sme vedeli zistiť, že dané pravidlo s tromi rovnakými symbolmi na ľavej strane nie je aplikovateľné. Analogicky by to bolo aj pre väčšie počty symbolov na ľavej strane.

NEXT SLIDE

2018-01-

Áno, má tam byť neklesajúci. Hoci uvádzam znamienko j=, v texte mám increasing.

Biologicky motivované výpočtové modely –Skúmané varianty P systémov 2018-01-Detekcia prázdnosti membrán └Vyjadrenia k posudkom

Ak je otázka: "Dá sa tento umelý predpoklad vynútiť inak?" -¿ Nenapadá mi žiadny iný spôsob, ako by sa dalo v definícii vynútiť dodržiavanie tohto ohraničeni.

Ak je otázka: "Fungoval by ten dôkaz aj bez tohto umelého predpokladu?" -¿ Pravdepodobne áno, ale v dokáže využívame tento limit pri stanovení počtu navzájom neizomorfných stromov. Bez tohto umelého predpokladu máme iba hypotézu, že by to šlo pomocou tvrdenia, že ak máme nekonečnú postupnosť membránových štruktúr, kde susedné prvky postupnosti sa líšia len vytvorením alebo rozpustením membrány, tak sa v nej bude nejaká vlastnosť opakovať tak, aby existovali dva prvky postupnosti, ktoré sa dajú potom cykliť.