

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 2018-01 Prehľad modelov 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 └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** 

넑

2018-01

Obsahom regionov je multimnožina 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 ∟P systémy └─Varianty pravidiel

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 ET0L.

2018-01-

Biologicky motivované výpočtové modely

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.

Prehľad modelov

2018-01

Biologicky motivované výpočtové modely Prehľad problematiky

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 ∟P systémy Prepisovacie pravidlá

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

**NEXT SLIDE** 

2018-01-

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.

2018-01-

Biologicky motivované výpočtové modely └─Prehľad problematiky

└P systémy  $ldsymbol{}^{ldsymbol{}ldsymbol{}}$ 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
Prehľad problematiky
P systémy
Výpočet a jazyk

V process a packy,

Neak vjejocht

Pacilini

Pacilini

Maintake paculari

Anapolitic

Facilities

Maintake paculari

Anapolities

Anapo

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
Výpočet a jazyk



V akceptačnom mode môžeme pre nejaké zobrazenie slov alebo multimnožín na konfigurácie P systému pre dané slovo spustiť výpočet s konfiguráciou, ktorá je obrazom toho slova podľa daného zobrazenia.

V akceptačnom mode môžeme pre nejaké zobrazenie f slov na konfigurácie P systému pre dané slovo w spustiť výpočet s konfiguráciou f(w).

Ak tento výpočet zastaví, teda sa už nedá použiť žiadne dalšie pravidlo, dané slovo alebo 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
Skúmané varianty P systémov
Sekvenčné P systémy s inhibítormi
Sekvenčné P systémy s inhibítormi

эхину з шининости

Posledný zo spomenutých rozšírení sme prezentovali na konferencii Computability in Europe 2014 a náš článok je publikovaný v zborníku.

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

2018-01

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<sub>i</sub> podľa počiatočného stavu registrov.

Biologicky motivované výpočtové modely
Prehľad problematiky
P systémy
Výpočet a jazyk

Vypočet zi jazyk

« Neok-vjpožiu

- Idanský

- Idanský

- Manusku prolnký

- Jazyk

- Lamentina prolnký

- Jazyk

- Lamentina prolnký

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
Sekvenčné P systémy

Sekvenfine P' systemy

• Maximiling parlitimus vs. sekvenčný mód

• Sakonstná P systemy s koaperatívnými pravidani (VAS

[P])

• s plotizaní (PuSE [P])

• s látivnými menházaní (PuSE [P])

• s látivnými menházaní (PuSE [P])

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

Prehľad simulácie pre akceptačný mód

Prehľad simulácie pre akceptačný mód

\* Šimulácia regimoviha straju

\* Obash nejima z sa separanaja početrodno objekta z

\* Obash nejima z sa separanaja početrodno objekta z

\* Objekt po skladi lidrovicia

\* SUD istravicia sa simulaja pomocos lehibitars

\* SUD istravicia sa simulaja sub simulaja simul

Uviedli sme dôkaz Turingovskej úplnosti pre akceptačný aj generatívny mod. Pre akceptačný mod 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.

2018-01-04

Biologicky motivované výpočtové modely

Skúmané varianty P systémov

Sekvenčné P systémy s inhibítormi

Prehľad simulácie pre akceptačný mód

Prehlad simulácies pre akceptažný mód

«Regierosý stoj M = (n, P, k, h, Lab)» P systen (E, p, u, B)» E = (E, p, u, B)» E = (E, p, u, B)» E = (E, u, u, B)

Pre všetky inštrukcie ADD, ktoré zvýšia hodnotu registra j o jedna a nasledujúca inštrukcia je k alebo I (rozhoduje sa nedeterministicky) budeme mať pravidlá, ktoré prepíše symbol zodpovedajúci označeniu inštrukcie na symbol  $a_j$  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  $a_j$  a vytvorí symbol k zodpovedajúci označeniu nasledujúcej inštrukcie. Druhé pravidlo je s inhibítorom a aplikovať sa môže len, ak sa v regione nenachádza symbol  $a_j$ .

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 mode 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.

넑

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

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

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

V generatívnom mode 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.

2018-01-

Biologicky motivované výpočtové modely -Skúmané varianty P systémov 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 množinami namiesto multimnožín

P systémy s množinami objektov

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