

МЕТОД КООРДИНАЦІЇ АДАПТИВНИХ ВИМІРЮВАЛЬНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ НА ОСНОВІ ВІДКЛАДЕНОЇ У ЧАСІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ВЗАЄМОДІЇ

© Бочкарьов О. Ю., Голембо В. А., 2014

Розглянуто метод координації адаптивних вимірювально-обчислювальних процесів на основі відкладеної у часі інформаційної взаємодії. Запропоновано концепцію багатоагентної обумовленої взаємодії, згідно з якою вимірювально-обчислювальні процеси координуються за допомогою координаційного простору та відповідних правил поведінки в ньому.

Ключові слова: адаптивний вимірювально-обчислювальний процес, метод координації, координаційний простір.

COORDINATION TECHNIQUE FOR ADAPTIVE DATA ACQUISITION PROCESSES BASED ON RESCHEDULED INTER-PROCESS COMMUNICATION

© Botchkaryov A., Golemba V., 2014

The coordination technique for adaptive data acquisition processes based on rescheduled inter-process communication are considered. The concept of multi-agent conditional interplay (coordination based on coordination space and corresponding behaviour rules) is proposed.

Key words: adaptive data acquisition process, coordination technique, coordination space.

Вступ

У роботі розглянуто проблему розроблення методу координації, який би дав змогу підвищити ефективність реалізації методів організації адаптивних вимірювально-обчислювальних процесів (ВОП) у автономних розподілених системах [1] за рахунок “приховування” деталей координаційної взаємодії низького рівня. На основі аналізу різних підходів до вирішення таких проблем (передусім в області багатоагентних технологій) можна запропонувати рішення, яке базується на принципі відкладеної у часі інформаційної взаємодії [2–5]. Цей принцип передбачає використання деякого об’єкта-посередника, якому залишають інформаційне повідомлення для деякого майбутнього отримувача. Оскільки факт майбутнього отримання повідомлення є, як правило, недетермінованим, а об’єм пам’яті об’єкта-посередника обмежений, то додатково вводять процедуру поступового видалення повідомлень з пам’яті об’єкта-посередника за деяким принципом.

Стан проблеми

Сучасний розвиток технологій багатоагентних систем, особливо в частині опису та дослідження феномену емерджентної поведінки, потребує нового погляду на проблему опису та аналізу спільної історії поведінки автономних агентів з можливістю визначення закономірностей їх взаємозв’язку. Однак більшість підходів в цьому напрямі все ще або взагалі не розглядає цей аспект, або розглядає його на одному рівні з іншими аспектами. Тому існує потреба в такому підході, в якому б було сконцентровано увагу саме на сумісній історії взаємодій автономних агентів

і на вплив цієї історії на ті можливості, які з'являються у колектива агентів у майбутньому. Ця проблематика є особливо актуальною для випадку організації адаптивних ВОП в автономних розподілених системах [6], де як агент розглядається адаптивний ВОП, у складі якого реалізовано процедуру прийняття рішень щодо оптимізації процедур збору та попередньої обробки вимірювальних даних. Для вирішення цієї актуальної проблеми доцільно застосувати підхід під назвою “багатоагентна обумовлена взаємодія” [2–5]. В межах цього підходу визначаються: 1) загальні принципи координації автономних агентів; 2) спосіб опису схем багатоагентної обумовленої взаємодії (зокрема на основі координаційного простору); 3) спосіб задання правил, що регулюють поведінку автономних агентів у межах цього підходу і забезпечують можливість емерджентної колективної поведінки.

Постановка задачі

Розглянути проблему розроблення методу координації адаптивних вимірювально-обчислювальних процесів на основі відкладеної у часі інформаційної взаємодії. Розробити координаційну модель організації адаптивних ВОП та метод координації спільних узгоджених дій адаптивних ВОП.

Розв'язання задачі

Координаційна модель організації адаптивних ВОП. Для побудови координаційної моделі організації адаптивних ВОП використаємо концепцію багатоагентної обумовленої взаємодії [2–5]. Концепцію багатоагентної обумовленої взаємодії можна сформулювати так: 1) усі події розгортаються в дискретному часі та дискретному координаційному просторі з деякою наперед заданою структурою (вершини, поєднані ребрами); 2) усі ВОП без зупинки рухаються в координаційному просторі (за один такт ВОП може перейти з певної вершини координаційного простору в одну з її сусідніх вершин); 3) кожний ВОП залишає у вершинах координаційного простору “слід” заданої довжини (у формі інформаційних міток), який відображає пройдений ним у координаційному просторі шлях; 4) в координаційному просторі один ВОП не може піти по “слід” будь-якого іншого ВОП; 5) в початковий момент часу усі ВОП починають рух з різних вершин координаційного простору.

Відтак з погляду багатоагентної обумовленої взаємодії можна виділити два основних аспекти:

1. Сильне зумовлювання – доступні окремому ВОП можливості вибору в координаційному просторі залежать від того, що він та інші ВОП вибирали в минулому. Історія цих попередніх виборів представлена явно у вигляді системи “слідів”, які залишили ВОП у координаційному просторі. При цьому, змінюючи задану довжину “сліду”, ми можемо змінювати часову глибину зумовлювання. Наявні можливості для вибору в цьому випадку представлені явно у вигляді вільного від “слідів” простору.

2. Слабке зумовлювання – вибір окремого ВОП може залежати від того, що саме вибрали інші ВОП в певній вершині координаційного простору. Тобто, перетинаючи “слід” іншого ВОП, цей ВОП може враховувати його напрям і “силу” під час прийняття свого наступного рішення щодо переміщення в координаційному просторі. Крім того, в ситуації, коли таких слідів декілька, може враховуватись конфігурація їх взаємоперетину.

Способи опису та реалізації координаційного простору. Згідно з узагальненим описом задачі автономних розподілених досліджень [1, 6] будемо розглядати множину адаптивних ВОП $\{p(a_i)\}$, $i = 0, \dots, n$, де n – загальна кількість ВОП, які виконуються в автономній розподіленій системі. З урахуванням вимог до ітераційних процедур прийняття рішення у складі $p(a_i)$ та цілей організації колективу $p(a_i)$ [6] можна запропонувати механізм координації спільних узгоджених дій адаптивних ВОП. Механізм координації складається з компонент (\mathbf{M} , \mathbf{A}) та правил (\mathbf{RM} , \mathbf{RA}). Під \mathbf{M} розуміємо деякий координаційний простір, в структурі якого відображається проблематика організації адаптивних ВОП з погляду: 1) можливих конфліктів за володіння часткою обчислювальних та комунікаційних ресурсів; 2) узгодження спільних дій щодо вибору джерел інформації (проблема

взаємного виключення, характер взаєморозміщення в фізичному чи параметричному просторі об'єкта дослідження тощо). Під \mathbf{A} розуміємо множину $\{p(a_i)\}$, які “розміщені” в координаційному просторі \mathbf{M} . При цьому $\mathbf{M} = (\mathbf{V}, \mathbf{E})$, де $\mathbf{V} = \{v\}$ – множина вершин (точок прийняття рішення щодо вибору наступного джерела інформації), а $\mathbf{E} = \{e\}$ – множина ребер $e = \{v_i, v_j\}$, $i \neq j$, які поставлені у відповідність до джерел інформації [6]. Відповідно проходження процесу $p(a_i)$ по ребру e означає отримання інформації з відповідного джерела. Для кожного вузла задається кортеж

$$(E(v), C(v), S_t(v), D_t(v), Q_t(v)), \quad (1)$$

де $E(v) = \{e_1, e_2, \dots, e_{n(v)}\}$, – множина ребер, які належать цьому вузлу v , $n(v)$ – кількість таких ребер; $C(v) = \{c_1, c_2, \dots, c_{m(v)}\}$ – множина всіх можливих пар ребер (способів “проходження” цього вузла), таких, що $c_k = (e_i, e_j)$, $i \neq j$, $e_i, e_j \in E(v)$ для вузла v , $m(v)$ – кількість усіх таких пар ребер, при цьому $C(v, e_i) \in C(v)$ – множина усіх пар ребер, які містять ребро e_i ; $S_t(v) = \{s_t(c_1), s_t(c_2), \dots, s_t(c_{m(v)})\}$ – множина станів усіх можливих пар ребер для вузла v в момент часу t (нульове значення означає, що відповідний “прохід” закрито), де $s_t(c_k) \in \{0; 1\}$ – стан пари ребер c_k в момент часу t , такий, що якщо $s_t(c_k) = 0$, то пара ребер c_k є закритою (тобто цей спосіб проходу вузла недоступний ВО-процесу), і якщо $s_t(c_k) = 1$, то пара ребер c_k відкрита (тобто цей спосіб проходу вузла доступний ВО-процесу); при цьому $S_t(v, e_i)$ – множина станів усіх пар ребер, в які входить ребро e_i ; $D_t(v) = \{d_t(e_1), d_t(e_2), \dots, d_t(e_{n(v)})\}$ – множина індикаторів величини вибору (показує кількість “виходів” з вершини для кожного “входу”), кожний з них визначається за формулою

$$d_t(e_i) = \sum s_t(c_j), \text{ за всіх } c_j \in C(v, e_i); \quad (2)$$

тобто індикатор величини вибору $d_t(e_i)$ дорівнює сумі станів усіх пар ребер, які містять це ребро e_i для вузла v ; ця величина показує кількість доступних ВОП варіантів вибору у вузлі v , за умови, що він “зайшов” в цей вузол по ребру e_i ; якщо $d_t(e_i) = 0$, то вихід з вузла v по ребру e_i тимчасово неможливий, оскільки усі відповідні пари ребер закриті; якщо $d_t(e_i) = 1$, то вибору як такого також нема, оскільки для проходу через вузол v по ребру e_i відкрита лише одна відповідна пара ребер; $Q_t(v) = \{q_t(c_1), q_t(c_2), \dots, q_t(c_{m(v)})\}$ – множина значень лічильників часу, які визначають кількість тактів, що залишилася до “відкриття” відповідного закритого “проходу”, якщо $s_t(c_k) = 1$ (тобто пара ребер c_k відкрита), то $q_t(c_k) = 0$.

Для кожного ВОП $p(a_i)$ задається кортеж

$$(x_0(a), x_t(a), s_t(a), h(a), f_a), \quad (3)$$

де $x_0(a)$ – початкове розміщення $p(a_i)$ у координаційному просторі, $x_t(a)$ – поточна вершина, в якій міститься $p(a_i)$, $s_t(a)$ – стан $p(a_i)$, який визначає, чи може цей $p(a_i)$ продовжувати рух у координаційному просторі, $h(a)$ – довжина сліду, який залишає за собою $p(a_i)$ у вершинах координаційного простору, f_a – функція вибору $p(a_i)$ наступного вузла: $x_{t+1} = f_a(x_t, y_t)$, де y_t – вектор індикаторів можливостей переходу, таких що

$$y_t = \{\delta_t(e_i)\}, e_i \in E(x_t, I(x_t)), \quad (4)$$

де $I(x_t)$ – множина вузлів, інцидентних до вузла x_t , з якої вилучено вузол x_{t-1} , $E(x_t, I(x_t))$ – множина усіх ребер, які поєднують вузол x_t з вузлами з множини $I(x_t)$; тобто якщо $e_i \in E(x_t)$ і $e_i \in E(I(x_t))$, то $e_i \in E(x_t, I(x_t))$, і $\delta_t(e_i)$ – індикатор можливості переходу, такий що

$$\begin{aligned} \delta_t(e_i) &= 0, \text{ якщо } d_t(e_i) = 0, \\ \delta_t(e_i) &= 1, \text{ якщо } d_t(e_i) > 0, \end{aligned} \quad (5)$$

де кожний індикатор величини вибору $d_t(e_i)$ дорівнює кількості доступних ВОП варіантів вибору в наступному такті $t+1$, якщо в цьому такті t він перейде в сусідній вузол по ребру e_i .

Метод координації спільних узгоджених дій адаптивних ВОП. Метод координації спільних узгоджених дій адаптивних ВОП задається: 1) правилами $\mathbf{RM} = \{\mathbf{RM1}, \mathbf{RM2}, \mathbf{RM3}\}$, які визначають зміну станів вершин, зокрема правило $\mathbf{RM1}$ визначає ситуації “закриття проходу” через вершину, правило $\mathbf{RM2}$ визначає закономірність “випаровування” сліду, який залишає $p(a_i)$ в координаційному просторі, а правило $\mathbf{RM3}$ визначає залежності між парами ребер однієї вершини з

погляду їх “закриття” та 2) правилами $\mathbf{RA} = \{RA1, RA2, RA3, RA4, RA5\}$, які визначають спосіб переміщення $p(a_i)$ в координаційному просторі та зміну його станів. Правило RA1 визначає, що усі $p(a_i)$ починають рух у координаційному просторі з різних вершин. Правило RA2 визначає, що на кроці $p(a_i)$ не може повернутися в ту вершину, з якої він вийшов на попередньому кроці. Правило RA3 визначає, що кожний $p(a_i)$ повинен в кожному такті обов’язково здійснити перехід, якщо є така можливість. Правило RA4 визначає поведінку декількох $p(a_i)$, які одночасно потрапили до однієї вершини (проблема взаємного виключення). Правило RA5 визначає поведінку $p(a_i)$, який заблокований у вершині, внаслідок відсутності “виходів”, тобто не може продовжувати переміщення в координаційному просторі.

Розглянемо зазначені правила детальніше.

RM1 – правило зміни станів пар ребер $C(v)$ залежно від переміщень ВОП у координаційному просторі. Для кожного вузла координаційного простору v : якщо $e_i \in E(v)$ – ребро, по якому ВОП увійшов до вузла або вийшов з нього у момент часу t , то

для всіх c_k таких, що $c_k \in C(v, e_i)$,
встановити 1) $s_t(c_k)=0$, 2) $q_t(c_k)=h(a)$.

RM2 – правило “випаровування сліду” (правило зміни стану вузла у часі). В кожному такті значення лічильника $q_t(c_k)$ кожної закритої пари ребер c_k (тобто пари ребер, для якої $s_t(c_k)=0$) зменшується на одиницю. Якщо значення лічильника дорівнює нулю, то пара ребер переходить у стан “відкрито”: $s_t(c_k)=1$ (це значить, що “слід” ВОП, що закривав цю пару ребер, остаточно “випарувався”).

Тобто для кожної пари ребер $c_k \in C(v)$ кожного вузла $v \in V$ в кожному такті виконується
якщо $q_t(c_k) > 0$, то $q_{t+1}(c_k) = q_t(c_k) - 1$.
якщо $q_{t+1}(c_k) = 0$, то $s_{t+1}(c_k) = 1$.

RM3 – правило зміни стану одних пар ребер залежно від стану інших пар ребер. Між незалежними парами ребер з множини $C(v)$ можна ввести залежність (наприклад, у вигляді деякого предиката P^* , визначеного для ребер $e_i, e_j \in E(v)$), згідно з якою, якщо одна така пара ребер переходить у закритий стан, то інша також закривається. Так може бути відображена специфіка предметної області, що моделюється координаційним простором M . Відповідно для кожного вузла v : якщо (e_i, e_j) , $i \neq j$, $e_i, e_j \in E(v)$ = пара ребер, по яких ВОП пройшов вузол к момент часу t (при цьому e_i – ребро, по якому ВОП увійшов у вузол, а e_j – ребро, по якому ВОП вийшов з вузла) і значення предиката $P^*(e_i, e_j)$ істинне, то

для всіх c_k таких, що $c_k \in C(v, e_i)$,
де e_i таке, що $P^*(e_i, e_j)$ істинне і $i \neq j$,
встановити 1) $s_t(c_k)=0$, 2) $q_t(c_k)=h(a)$.

Правила \mathbf{RA} – правила переміщень та зміни станів ВОП з множини A залежно від стану вузлів координаційного простору M у загальному випадку містять п’ять правил: $\mathbf{RA} = \{RA1, RA2, RA3, RA4, RA5\}$.

RA1 (правило “рознесеного старту”) – правило, згідно з яким в початковий момент часу усі ВОП починають рух у координаційному просторі з різних вузлів:

$\forall (a_i, a_j), a_i, a_j \in A, i \neq j: x_0(a_i) \neq x_0(a_j)$.

RA2 (правило “тільки вперед”) – правило, яке забороняє ВОП повертатися назад по пройденому шляху, тобто повертатися в той вузол, з якого він прийшов у попередньому такті:

$x_{t+1} \neq x_{t-1}, x_{t-1} \notin I(x_t)$.

RA3 (правило “ні кроку на місці”) – правило, яке забороняє ВОП “стояти на місці” в ситуації, коли в нього є можливість переміщуватись далі в координаційному просторі:

якщо $\exists e_i \in E(x_t, I(x_t)): \delta_t(e_i)=1$,
то $x_{t+1} \neq x_t$ & $x_{t+1} \in I(x_t)$

RA4 (правило “взаємного виключення”) – правило, яке забороняє ВОП вибирати той самий шлях, що і інший ВОП, який в цей момент часу перебуває з ним в одному вузлі:

якщо $\exists a_i, a_j \in A, i \neq j$, таких що $x_{i,t} = x_{j,t}$,
то $x_{i,t+1} \neq x_{j,t-1}$ & $x_{j,t+1} \neq x_{i,t-1}$ & $x_{i,t+1} \neq x_{j,t-1}$

RA5 (правило “пастки”) – правило, яке визначає ситуацію потрапляння ВОП в “пастку”, коли у ВОП нема можливості перейти в інший вузол, а також ситуацію виходу ВОП з “пастки”, коли в нього з’являється така можливість:

Якщо в момент часу t у вузлі $v \in$ один $p(a_i)$ ($N(v)=1$), то

якщо $s_i(a)=1$ & ($\forall e_i \in E(x_t, I(x_t))$): $\delta_i(e_i)=0$), то встановити $s_i(a)=0$,

якщо $s_i(a)=0$ & ($\exists e_i \in E(x_t, I(x_t))$): $\delta_i(e_i)=1$), то встановити $s_i(a)=1$,

Інакше, якщо в момент часу t у вузлі більше від одного $p(a_i)$ ($N(v)>1$), то з врахуванням того, що $\Lambda = \sum \delta_i(e_i)$ по всіх $e_i \in E(x_t, I(x_t))$,

якщо $\Lambda < N(v)$, то $\forall a \in A(v)$ встановити $s_i(a)=0$,

якщо ($\exists a \in A(v)$: $s_i(a)=0$) & ($\Lambda \geq N(v)$), то встановити $s_i(a)=1$.

Ідея використання цього методу координації полягає у тому, що він: 1) забезпечує взаємне виключення ВОП у разі вибору джерел інформації; 2) забезпечує зниження надлишкової інформації, яку збирають ВОП за рахунок використання слідів (в цьому випадку припускаємо, що, після відвідування джерела, інформації в ньому залишається дуже мало або вона зовсім зникає на деякий час); 3) забезпечує вирішення конфліктів щодо використання обчислювальних, комунікаційних та енергетичних ресурсів за допомогою блокування ВОП у вершинах. Зауважимо, що додатковим елементом координації в цьому випадку може бути змінна довжина сліду, вибір величини якої можна делегувати адаптивним ВОП. Отже, можна розглядати задачу адаптації довжин сліду ВОП в різних ділянках координаційного простору залежно від вибраної моделі організації адаптивних ВОП [6].

Висновки

Розглянуто проблему розроблення методу координації адаптивних ВОП на основі відкладеної у часі інформаційної взаємодії. Запропоновано концепцію багатоагентної обумовленої взаємодії, згідно з якою адаптивні ВОП координуються за допомогою координаційного простору та відповідних правил поведінки в ньому. Розроблено координаційну модель організації адаптивних ВОП та метод координації спільних узгоджених дій адаптивних ВОП.

1. Бочкарьов О. Ю. Структурна адаптація автономних розподілених вимірювально-обчислювальних систем // Вісник Національного університету “Львівська політехніка” “Комп’ютерні системи та мережі”. – 2010. – № 688. – С. 16–22. 2. Botchkaryov A., Kovela S. CyberCromlech: A new framework for collective behaviour game experiments // in Proceedings of 20th European Conference on Modelling and Simulation (ECMS-2006), Bonn, Sankt Augustin, Germany, 28–31 May, 2006. – P.540–545. 3. Botchkaryov A., Kovela S. Modeling the Emergent Behaviour using the Multi-agent Conditional Interplay // In Proceedings of 19th European Modeling & Simulation Symposium (EMSS 2007), Bergeggi, Italy, 4–6 October, 2007. – P.95–100. 4. Botchkaryov A., Golembo V. Concept of Multi-agent Conditional Interplay // Proceeding of the 3-rd International Conference ACSN-2007 / Lviv Polytechnic National University, September 20–22, 2007. – Pp.94–96. 5. Botchkaryov A., Kovela S. Concept of Multi-agent Conditional Interplay // in Proceedings of EUROSIM/UKSim 10th International Conference on Modelling and Simulation, Cambridge, England, 1–3 April, 2008. – P.100–105. 6. Бочкарьов О. Ю. Проблема організації адаптивних вимірювально-обчислювальних процесів в автономних розподілених системах // Вісник Національного університету “Львівська політехніка” “Комп’ютерні системи та мережі”. – 2012. – № 745. – С. 20–26.