УДК 656.025.6, 711.7.75, 519.876.5 **І.С.Сакунова**

ПРОЦЕСНА СХЕМА В ІМІТАЦІЙНОМУ МОДЕЛЮВАННІ МАТЕРІАЛЬНИХ ПОТОКІВ

Запропонована схема прогнозування розрахункових часових та кількісних оцінок доставки і накопичення вантажів на входи (виходи) транспортних систем до необхідного розміру в процесі створення транспортних імовірносно-автоматних моделей.

В рамках концепції сучасного бачення моделей складних транспортно-перевантажувальних процесів актуальними виявились дослідження стосовно застосування імітаційних методів моделювання транспортних систем та необхідності вибору математичної мови їх формального опису як універсальної алгоритмічної системи з концептуальною базою.

Вибір математичної мови імітаційного моделювання як інструменту дослідження складних стохастичних систем, в тому числі і транспортних систем, постійно поповнюється новим змістом, проробляючи нелегкий шлях від набору прийомів і методів до сукупності концепцій і загальних теорій. Процеси удосконалення методів імітаційного моделювання обумовлені необхідністю вироблення логічної завершеності створюваних розвинених мов з концептуальною базою, які дають засоби формального опису складних безперервно-дискретних систем з високим ступенем адекватності імітації і точності одержуваних результатів.

В процесі дослідження складних економічних систем імітаційними методами виявилось багато проблем, зокрема таких, як проблема забезпечення зручності опису реальних систем, що вирізняються структурною, часовою, або функціональною неоднорідністю, проблема наочності відображення структури модельованої системи та алгоритму функціонування різних її частин, проблема компактності і стандартизації форми алгоритму при дотриманні високих вимог до рівня адекватності і точності одержуваних результатів.

З позиції можливостей вирішення перерахованих проблем і задоволення вимог розробників перспективним виявився метод імітаційного опису складних транспортних систем у вигляді систем імовірносних автоматів Мура з детермінованими виходами (СІАМ)

[1,2], який отримав широке застосування і еволюційний поштовх шляхом створення модифікацій.

Створення методу СІАМ супроводжувалось серйозними теоретичними дослідженнями, гарантуючими можливість побудови автоматних моделей для вельми широкого класу економічних систем, в тому числі транспортних систем.

Велику увагу розробниками імітаційних транспортних моделей було приділено питанням застосування сучасних модифікацій автоматних моделей, таких, як агрегатно-автоматних систем, складних систем з обмеженими внутрішніми зв`язками, систем оптимізації та прийняття рішення на основі СІАМ для розв`язання багатьох транспортних задач, в тому числі для вирішення задачі дослідження і оптимізації роботи морського порту, задачі про кільцевий маршрут в аналітичному і алгоритмічному вигляді, задачі дослідження пропускної спроможності транспортних вузлів та багатьох інших.

Питанням висвітлення теоретичних засад створення методу автоматного моделювання, виникнення та застосування його модифікацій в задачах дослідження складних, в тому числі транспортних, систем присвячена монографія [3].

В даній статті описується так звана процесна схема реалізації локального процесу, що протікає в межах імовірносно-автоматної моделі матеріальних потоків у логістичній системі «виробництво-транспорт-споживання» [4].

В цілому алгоритм автоматної моделі реалізується за схемою, у відповідності до якої будується вектор станів автоматів, що переобчислюється у вузлові моменти часу моделювання – від події до події, або інакше, у відповідності з якою серед всіх можливих в майбутньому подій для чергового кроку моделювання відбирається найближча подія. Таку схему природно називати подійною.

Однак, іноді модель потребує інформації, що має прогнозно-розрахунковий характер і яка відноситься до моменту, віддаленого від чергово переобчислюваного на проміжок часу, значно більший за найближчий вузловий інтервал. Тобто, модель в конкретному місці потребує прискореного програвання локального процесу. Таку локальну схему будемо називати процесною.

Очевидно, що процесна схема не спотворює загальну, подійну, і впроваджується для визначення станів автоматів моделі, які залежать від далеких по часу реалізації випадкових величин, у вигляді ітеративних процесів (підалгоритмів). Кожний ітеративний процес розвивається по своїй послідовності подій, що не залежить від модельного часу.

Найчастіше процесні схеми застосовуються при моделюванні систем масового обслуговування, в задачах дослідження виробничого процесу, а також в моделях дослідження транспортних систем.

В останньому випадку необхідність застосування процесної схеми виникає, наприклад, в задачі імітації матеріальних потоків при моделюванні безперервного процесу формування і доставки партій вантажу від відправника до вантажоодержувача за допомогою маршрутних перевезень, а саме: при спробі з`ясувати, якими порціями і за який проміжок часу на вхід системи надійде вантаж, сумарна накопичена кількість якого досягне розмірів маршрутної партії і забезпечить початок відвантаження вантажу в поїзд, що очікує на вході чи надійшов на вхід.

Розглянемо приклад застосування процесної схеми при моделюванні логістичної системи «виробник-транспорт-споживач». Для цього введемо позначення станів автоматів моделі, необхідних для локальної процесної схеми.

$y^{(1)П}(t_1)$ - індикатор існування на вході в момент t_1 хоча б однієї маршрутної партії вантажу.

$a^{(2)}$ - розмір партії вантажу в тоннах.

$a^{(1)}(t_1)$ - накопичена кількість тонн вантажу на вході в момент t_1, менша за $a^{(2)}$.

$C^{(21)}(t_1)$ - залишковий час до надходження порожнього поїзда на вхід.

$y^{(21)}(t_1)$ - індикатор надходження порожнього маршруту на вхід в момент t_1.

$y_{ож}^{(21)}(t_1)$ - індикатор перебування маршруту на вході в момент t_1.

Θ_M - час обороту маршруту: вхід-вихід-вхід системи.

$X(t_1)$ - поточний вузловий інтервал, що відокремлює два суміжних вузлових моменти : t_0 i t_1.

Введемо послідовності випадкових величин надходжень вантажу на вході системи:

$\xi S^{(1)}(t_1)$ - випадкова кількість вантажу в тоннах, що надійшла в момент t_1 на вхід.

$\xi C^{(1)}(t_1)$ - випадковий проміжок часу, що відокремлює надходження вантажу на вхід у момент t_1 і наступне його надходження.

Визначимо $p_i(t_1)$ як процес накопичення випадкових порцій вантажу, що надходять на вхід:

$$p_i(t_1) = (1 - y^{(1)\Pi}(t_1)) \cdot (a^{(1)}(t_1) + \sum_{k=n(t_1)}^{n(t_1)+i} \xi S_k^{(1)}) \tag{1}$$

$(i = 1,2,3,...);$

При $k = n(t_1)$ $\xi S_{n(t_1)}^{(1)}$ визначається як значення випадкової величини під номером $n(t_1)$, тобто під номером чергової реалізації надходження вантажу на вхід на момент t_1 (в подійній схемі $\xi S_{n(t_1)}^{(1)}$ позначається як $\xi S^{(1)}(t_1)$).

Аналізуючи результат обчислення кожної i-тої ітерації (1), перевіряємо накопичення вантажу на достатність (забезпечення розміру маршрутної партії) і знаходимо необхідне значення кількості ітерацій $i = I_{\partial cm}(t_1)$:

$$i = \frac{p_i(t_1) \ge a^{(2)}}{I_{\partial cm}(t_1);} \left| \frac{p_i(t_1) < a^{(2)}}{i+1;} \right.$$

Введемо позначення $q_i(t_1)$, що виражає процес накопичення часу, протягом якого запас вантажу на вході виросте до розміру партії:

$$q_i(t_1) = \sum_{k=n(t_1)}^{n(t_1)+i} \xi C_k^{(1)} \qquad (i = \overline{1, I_{\partial cm}(t_1)}); \tag{2}$$

Слід відзначити, що в подійній схемі моделювання при обчисленні поточних значень автоматів моделі, у визначення станів яких включена, наприклад, деяка випадкова величина $\xi\Re$, вибирається її чергова реалізація $\xi\Re(t_1)$ на даний момент t_1, яка бере участь у функціоналах цих автоматів, і ідентифікується станом конкретного імовірносного автомата, що записується, наприклад, таким чином

$$R(t_1) = \xi\Re(t_1).$$

Принципово важливим аспектом автоматного моделювання є те, що не для всякого багатовимірного ланцюга Маркова, що описує реальний випадковий процес, вдається побудувати автоматну модель, і проблемою тут є наявність або відсутність властивості умовної незалежності компонент марківського процесу.

Введемо поняття умовної незалежності компонент багатовимірного ланцюга Маркова.

Визначення . Назвемо компоненти $\xi_k(t) \quad (k = \overline{1, n})$ марківського вектора $\xi(t)$ умовно незалежними (в сукупності), якщо при кожному $i \quad (i = \overline{1, n})$ для довільних

$$B_i \in \Im_i,\ x \in \mathrm{X},\ x_k \in \mathrm{X}_k \quad (k = \overline{1, n};\ k \neq i)$$

справедливо

$$P\{\xi_i(t+1) \in B_i \,|\, \xi(t) = x, \xi_k(t+1) = x_k$$
$$(k = \overline{1, n}; k \neq i)\} = P\{\xi_i(t+1) \in B_i \,|\, \xi(t) = x\}$$
$$(t = 0, 1, 2, \ldots)$$

В [2] наведено ряд теорем, що лежать в основі застосування властивості умовної незалежності компонент багатовимірного ланцюга Маркова при побудові автоматних моделей імовірносних систем. При цьому з'являється можливість шляхом розширення фазового простору замінювати ланцюг Маркова з умовно залежними компонентами ланцюгом більшої розмірності з умовно незалежними компонентами. Автори [2] доводять, що якщо математична модель імовірносної системи S допускає уявлення у вигляді простого однорідного n - мірного ланцюга Маркова $\xi(t)$ у фазовому просторі $(X,\Im)$ з кінцевою множиною станів з умовно незалежними компонентами, то існує система імовірносних автоматів Γ, що представляє автоматну модель системи S.

Виконання умов, при яких початковий багатовимірний марківський ланцюг можна привести до ланцюга, що володіє властивістю умовної незалежності компонент, є необхідною і достатньою умовою побудови відповідної автоматної моделі. Ця обставина є дуже істотною, оскільки обгрунтовує можливість побудови автоматних моделей для широкого класу систем.

На практиці при побудові автоматної моделі забезпечення властивістю умовної незалежності компонент еквівалентного їй марківського вектора гарантується виконанням наступних необхідних і достатніх умов реалізації властивості марковості модельованого процесу:

– для окремо взятого автомата послідовність його вхідних сигналів повинна бути реалізацією незалежних, однаково розподілених випадкових величин.

– для системи імовірносних автоматів як моделі необхідне задання такої сукупності автоматів, яка б повністю визначала реальну систему в кожний модельний момент часу. Це означає побудову сукупності автоматів, що дозволяє визначати стан кожного автомата моделі у поточний момент часу залежно від стану системи автоматів в попередній момент часу.

При цьому всі випадкові величини, що беруть участь в побудові моделі, повинні задовольняти вимозі взаємної незалежності і обов'язково ідентифікуватися як стани відповідних автоматів. Таким чином, в кожний вузловий момент модельного часу реалізується лише єдине чергове значення кожної випадкової незалежної величини у вигляді відповідного стану автомата.

Процесне моделювання обумовлює вибірку такої сукупності послідовних значень випадкової величини, починаючи з чергової реалізації, яка є достатньою для переобчислення поточного значення даного розрахункового автомата. Наведемо приклад обчислення автомата, прогнозуючого залишковий час до підходу маршруту на вхід транспортної системи.

Дійсно, реалізація (1) і (2) дозволяє перейти до обчислення залишкового часу до приходу маршруту на вхід на момент t_1 :

$$
\begin{aligned}
C^{(21)}(t_1) = & (y^{(21)}(t_1) + y^{(21)}_{ож}(t_1)) \cdot [y^{(1)П}(t_1) \cdot \Theta_M + \\
& + (1 - y^{(1)П}(t_1)) \cdot [\Theta_M + q_{I_{дст}}(t_1)]] + \\
& + (1 - y^{(21)}(t_1) \cdot y^{(21)}_{ож}(t_1)) \cdot (C^{(21)}(t_0) - X(t_1));
\end{aligned}
\tag{3}
$$

Пояснимо (3) докладно. В правій частині даного функціоналу записані три взаємовиключних варіанти, кожний з яких реалізується в залежності від ненульового значення присутніх ситуативних індикаторів:

1.В момент t_1 на вхід поступає (очікує) порожній маршрут и на складах входу є по меншій мірі одна маршрутна партія вантажу. Отже, залишковий час до слідуючого приходу маршруту на вхід системи буде дорівнювати часу обороту маршруту (час перевантаження на вході та виході входить в час обороту).

2.В момент t_1 на вхід поступає (очікує) порожній маршрут, але на складах входу існуюча кількість вантажу в тоннах менша за розмір маршрутної партії. Залишковий час до слідуючого приходу маршруту на вхід системи буде сумою часу наступного обороту маршруту Θ та розрахункового часу накопичення запасу вантажу на вході до розміру партії – $q_{I_{дст}}(t_1)$, визначеного за (1,2).

3.У випадку, коли на вхід системи в поточний обчислювальний момент t_1 не надійшов маршрут (він знаходиться або в дорозі, або на виході), залишковий час до приходу цього маршруту на вхід в момент t_1 буде менший від відповідного залишкового часу в момент t_0 на розмір вузлового інтервалу $X(t_1)$.

Література

1. Бакаев А.А., Костина Н.И., Яровицкий Н.В. Автоматные модели экономических систем. – К.: Наукова думка, 1970. – 190 с.
2. Бакаев А.А., Костина Н.И., Яровицкий Н.В. Имитационные модели в экономике. – К.: “Наукова думка”, 1978. –300 с.

3. Бакаев А.А., Гриценко В.И., Сакунова И.С. Автоматное моделирование в задачах исследования сложных систем. – К.: "Логос", 2007. – 208 с.
4. Кутах А.П., Миронюк И.В., Сакунова И.С. Имитационное моделирование материальных потоков в логистической системе «производство – транспорт – потребление». //Зб. наук. пр. Серія "Транспортні системи і технології ". Вип. 4. – К.: Київського університету економіки та технологій транспорту, 2003. – с. 192-206.