

УДК004.94

Ю.Е. Парфьонов

Харківський національний економічний університет, Харків

## ВИБІР МАТЕМАТИЧНОГО АПАРАТУ ПРИ РОЗРОБЛЕННІ ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Моделювання являє собою потужний метод наукового пізнання, при використанні якого об'єкт, що досліджується, замінюється моделлю. Основними видами моделювання є математичне та натурне моделювання. Можливість натурного моделювання досить обмежена. У більшості випадків перевага віддається використанню математичного моделювання. Для розроблення адекватних математичних моделей процесів, що відбуваються в інформаційних системах, важливим є вибір відповідного математичного апарату. Розглянуті питання щодо вибору математичного апарату моделювання інформаційних систем.

**Ключові слова:** інформаційна система, математичне моделювання, імітаційне моделювання, математичні схеми, мережі Петрі, E-мережі.

### Вступ

При математичному моделюванні реальному об'єкту ставиться у відповідність математичний об'єкт, який називають математичною моделлю. В загальному вигляді математична модель реальної системи з'являє собою функціонал:

$$\bar{y}(t) = F_s(\bar{x}, \bar{v}, \bar{h}), \quad (1)$$

де  $\bar{y}$  – вектор вихідних характеристик;  $\bar{x}$  – вектор вхідних впливів;  $\bar{v}$  – вектор впливів зовнішнього середовища;  $\bar{h}$  – вектор внутрішніх параметрів системи;  $t$  – час, на протязі якого функціонує система.

Математична модель системи може бути реалізована за допомогою аналітичних або імітаційних методів. При побудові математичних моделей складних систем, до яких відносяться і інформаційні системи, неминучим є ряд проблем [1]. Вони пов'язані з наявністю асинхронних паралельних процесів, численних зв'язків між елементами системи, великої кількості її параметрів, різноманітних нелінійних обмежень, впливу різних випадкових факторів. Тому застосування аналітичних методів для аналізу характеристик таких систем призводить до суттєвого спрощення реальних процесів і як наслідок - ставить під сумнів адекватність розробленої моделі.

В якості основного методу дослідження інформаційних систем доцільно використовувати імітаційне моделювання. При переході від змістовного до формального опису процесів функціонування системи використовують різні математичні схеми: безперервно-детерміновані, дискретно-детерміновані, дискретно-стохастичні, безперервно-стохастичні, комбіновані, мережні [2].

### Основний матеріал

Сутність безперервно-детермінованого підходу полягає в використанні диференціальних рівнянь.

Оскільки математичні схеми такого вигляду відображають динаміку системи, що моделюється, їх

називають D-схемами (від англ. dynamic).

Найбільш важливе застосування D-схеми знайшли у сфері автоматичного керування.

Наступним підходом є використання дискретно-детермінованих математичних схем. В цьому випадку модель системи є автоматом, який перероблює дискретну інформацію та змінює свої внутрішні стани лише у припустимі моменти часу.

Математичний апарат F-схем дозволяє описати широке коло процесів функціонування реальних об'єктів в автоматизованих системах обробки інформації для яких характерна наявність дискретних станів та дискретний характер роботи у часі. У якості таких об'єктів в першу чергу слід назвати елементи комп'ютерної техніки.

Однак, широке застосування даних математичних схем не значить, що вони є універсальними. Наприклад, даний підхід не можна застосувати при опису процесів прийняття рішень, процесів в динамічних системах з наявністю перехідних процесів та стохастичних елементів.

**Безперервно-стохастичні та дискретно-стохастичні схеми.** При безперервно-стохастичному підході використовується математичний апарат систем масового обслуговування (англ. queuing-system). Такі схеми здобули назву Q-схем. Вони використовуються для формалізації процесів функціонування систем, які по суті являються процесами обслуговування. При цьому характерним для роботи таких систем є випадкова поява заявок на обслуговування у випадкові моменти часу, тобто стохастичний характер процесу їх функціонування.

Однак, можливості оцінювання характеристик з використанням аналітичних моделей масового обслуговування є досить обмеженими в порівнянні з вимогами практики дослідження та проектування систем, які можуть бути формалізовані за допомогою Q-схем.

При дискретно-стохастичному підході для роз-

роблення методів проектування дискретних систем, які проявляють статистично закономірну випадкову поведінку має важливе значення використання схем імовірнісних автоматів (Р-схем). Вони можуть використовуватися для виявлення алгоритмічних можливостей таких систем, а також для вирішення задач синтезу дискретних стохастичних систем, які задовольняють заданим обмеженням.

Недоліком Р-схем є те, що вони не дозволяють враховувати внутрішні характеристики моделі, наприклад момент часу, коли система змінює свій стан.

**Комбіновані схеми.** Найбільш відомим загальним підходом до формального опису процесу функціонування систем є їх опис за допомогою агрегатних систем (А-схем). Такі схеми відносяться до комбінованого типу і поєднують у собі всі переваги описаних вище математичних схем. Вони дозволяють описати поведінку безперервних та дискретних, детермінованих та стохастичних систем, тобто порівняно з розглянутими схемами вони є універсальними.

В якості елемента А-схеми виступає агрегат, а зв'язок між агрегатами (усередині системи та з зовнішнім середовищем) здійснюється за допомогою оператора сполучення R. Існує клас великих систем, які через свою складність не можуть бути формалізовані у вигляді математичних схем одиночних агрегатів, тому їх формалізують деякою конструкцією з окремих агрегатів  $A_n$  ( $n = \overline{1, N_A}$ ). Серед недоліків комбінованих схем слід виділити їх складність.

**Мережні схеми.** При математичному моделюванні часто виникає потреба рішення задач, які пов'язані з формалізованим описом та аналізом зв'язків в системах, де одночасно паралельно протікають декілька процесів. Для розроблення таких моделей використовуються мережеві моделі або N-схеми. Характерною особливістю таких моделей є те, що з їх допомогою можливо моделювати процеси в системах, в яких відбувають послідовна зміна дискретних процесів, у тому числі якщо ця зміна відбувається при виконанні різноманітних умов. Тому такі схеми можуть бути використані при моделюванні систем, які відносяться до різних класів, а саме: апаратні, фізичні, програмні, економічні тощо.

**Мережі Петрі.** Найбільш поширеним формалізмом, який описує структуру та взаємодію паралельних систем і процесів, є мережі Петрі[3].

В загальному вигляді мережа Петрі описується виразом:

$$N = (B, D, I, O), \quad (2)$$

де  $B = \{s_1, \dots, s_n\}$  – множина позицій;  $D = \{t_1, \dots, t_n\}$  – множина переходів;  $I$  – пряма функція інцидентності;  $O$  – обратна функція інцидентності.

Графічним представленням мережі є дводольний орієнтований граф з двома типами вершин.

Для урахування динамічних властивостей об'єкту вводиться функція маркування  $M: B \rightarrow \{0, 1, 2, \dots, n\}$ . Маркування  $M$  полягає в присвоєнні позиціям мережі деяких абстрактних

об'єктів (міток). Кількість міток, які відповідають кожній позиції, може змінюватися.

Маркована мережа Петрі описується за допомогою виразу:

$$N_M = (B, D, I, O, M), \quad (3)$$

де  $M$  – маркування.

Функціонування такої мережі відображається шляхом переходу від поточного маркування до нового маркування.

Недоліком маркованих мереж Петрі є те, що вони дозволяють відобразити лише порядок наступу подій у досліджуваній системі. У результаті розвитку апарату мереж Петрі був розроблений ряд розширень, найбільш потужними з яких є E-мережі (Evaluationnets)[4].

**E-мережі.** Структуру будь-якої E-мережі формально можна подати як:

$$E = (P, T, I, Q, M), \quad (4)$$

де  $P$  – кінцева множина позицій;  $T$  – кінцева множина переходів;  $I: T \rightarrow P$  – вхідна функція, яка для кожного переходу задає множину її вхідних позицій;  $Q: T \rightarrow P$  – вихідна функція, яка для кожного переходу задає множину її вихідних позицій;  $M: P \rightarrow \{0, 1, 2, \dots, n\}$  – функція розмітки, яка визначає маркування позицій.

На відміну від мереж Петрі E-мережі мають такі особливості[5]: наявність декількох типів позицій; мітки можуть забезпечуватися набором атрибутів; з кожним переходом може бути пов'язана ненульова затримка і функція перетворення атрибутів міток; в будь-яку позицію може входити не більше однієї дуги і виходити також не більше однієї дуги.

Позиція являє собою пасивний елемент, який використовується для зберігання міток (фішок). Фішку умовно можна уявити як деяку частку інформації, що переміщується по E-мережі. Фішка може мати декілька атрибутів (числових характеристик). Оскільки фішки переміщуються по мережі, то передачу інформації можна здійснювати через атрибути фішок:

в одній позиції інформація записується відправником в атрибут;

після цього фішка переміщується по мережі до одержувача;

на наступному етапі інформація атрибуту читається одержувачем.

Кожна позиція E-мережі є вхідною для одного переходу та вихідною для якогось іншого.

В залежності від того, скільки фішок може зберігати одна позиція, розрізняють два типи позицій:

прості (можуть містити не більш однієї фішки);  
позиції-черги (можуть містити довільну кількість фішок).

Прості позиції зображуються колом, позиції-черги – овалом.

Якщо в позиції існує хоча б одна фішка, то така позиція зветься маркованою. Оскільки позиція-черга може містити декілька фішок, то для кожної такої позиції визначається алгоритм їх обслугову-

вання, у відповідності до якого фішки добуваються з черги (наприклад, FIFO).

Перехід представляє собою активний елемент мережі, який використовується для переміщення фішок з одних позицій в інші. Це найбільш складний елемент мережі.

Можна описати скільки завгодно типів переходів. Ця можливість визначається тим, що по-перше, нема обмежень на кількість входів ті виходів для переходу, по-друге, нема обмежень на логіку роботи переходу.

Розглянемо основні типи переходів [4].

**Т-перехід (простий перехід).** Перехід спрацьовує при наявності фішки у вхідній позиції та відсутності її в вихідній позиції. Такий перехід дозволяє врахувати в моделі зайнятість пристрою (підсистеми) на протязі деякого часу.

**Ф-перехід (розгалуження).** Перехід спрацьовує при наявності фішки у вхідній позиції та за умовою наявності доступних вихідних позицій. Даний перехід моделює розгалуження потоку інформації в системі.

**І-перехід (об'єднання).** Перехід спрацьовує у випадку доступності вихідної позиції та наявності фішок у всіх вхідних позиціях. Такий перехід моделює об'єднання потоків або наявність декількох умов, які визначають деяку подію.

**Х-перехід (перемикання).** В порівнянні з переліченими переходами він містить додаткову керуючу позицію, яка графічно зображується квадратом. Умовою спрацьовування переходу є наявність фішки у вхідній позиції та доступність вихідної позиції, номер якої визначає функція керування. В загальному випадку процедура спрацьовування може буди складною, але сутність її роботи полягає у перевірці виконання умов розгалуження потоків. Цій перехід дозволяє моделювати зміну напрямку потоку заявок.

**У-перехід (пріоритетний вибір).** Перехід спрацьовує при доступній вихідній позиції та наявності фішки у вхідній позиції, номер якої визначає функція керування. Цей перехід також містить керуючу позицію і моделює пріоритетність одних потоків інформації над іншими. При цьому процедура спрацьовування може бути визначена різним чином: як операція зрівняння міток; як функція від атрибутів міток (наприклад, чим менший час обслуговування, тим вище пріоритет).

**А-перехід (поглинач)**[5, 6]. Перехід спрацьовує тільки у випадку наявності хоча б однієї вхідної позиції. Він дозволяє моделювати звільнення моделі від фішок.

**Е-перехід (генератор)** [5, 6]. Умовою спрацьовування даного переходу є наявність хоча б однієї вихідної позиції. Даний перехід використовується при необхідності додавання фішки у вихідні позиції та дозволяє моделювати надходження заявок (фішок) до моделі.

Для завдання будь-якого переходу необхідно визначити наступні характеристики:

функція збудження;

процедура спрацьовування;

функція управління (тільки для керованого переходу);

процедура обчислення часової затримки;

процедура перетворення атрибутів.

Функція збудження визначає умови, при яких перехід активується. Вона повинна вертати значення "істина", якщо вимоги збудження виконуються і "неправда" – в іншому випадку.

Процедура спрацьовування визначає правила переміщення фішок переходом в кінці фази активності. Всі стандартні переходи переміщують фішки з вхідних позицій у вихідні.

Усі переходи поділяються на два класи: керовані та некеровані. Керовані переходи графічно зображуються як і некеровані, але з додавання керуючої позиції. Функція управління визначається тільки для керованих переходів. Вона визначає номер вихідної позиції, до якої буде переміщено фішку процедурою спрацьовування. Таким чином моделюється логіка обробки даних.

Процедура обчислення часової затримки визначає затримку переходу у фазі активності або інакше тривалість фази активності. Ця процедура використовується для моделювання затримки фішок при переході з одного пристрою до іншого.

Щодо процедури перетворення атрибутів, то вона представляє собою будь-які дії, які направлені на маніпуляцію атрибутами фішок.

## Висновки

Таким чином, можна сказати, що застосування мережних схем, а саме Е-мереж, дозволяє не тільки враховувати асинхронні паралельні процеси та часові характеристики, але й логіку обробки даних. Такі схеми також мають зрозуміле представлення, що спрощує розроблення та дослідження достатньо повних імітаційних моделей процесів, які відбуваються в інформаційних системах.

## Список літератури

1. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5 / Ю.Г. Карпов. – СПб. :БХВ-Петербург, 2005. – 400 с.
2. Советов Б.Я. Моделирование систем / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – М.: Высш. шк., 2005. – 343 с.
3. Котов В.Е. Сети Петри / В.Е. Котов. – М.: Наука, 1984. – 160 с.
4. Nutt G.J. Evaluation Netsfor Computer Systems Performance Analysis / G.J. Nutt // AFIPS Proceedings of the FJCC. – 1972. – Vol. 41. – P. 279.
5. Дмитриева Е.А. Система Е-сетевого имитационного моделирования EVA / Е.А. Дмитриева. – Томск : Изд-во ТПУ, 1994. – 31 с.
6. Применение Е-сети для описания параллельных процессов [Электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу: [http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/ITIS/MODEL\\_SL\\_SIS/METHOD/LEK/BYKOV/L8.htm](http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/ITIS/MODEL_SL_SIS/METHOD/LEK/BYKOV/L8.htm)

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Лістровий, Україн-

### ВЫБОР МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Ю.Э.Парфенов

*Моделирование представляет собой мощный метод научного познания, при использовании которого исследуемый объект, заменяется моделью. Основными видами моделирования является математическое и натурное моделирование. Возможности натурального моделирования довольно ограничены. В большинстве же случаев предпочтение отдается использованию математического моделирования. Для разработки адекватных математических моделей процессов, происходящих в информационных системах, важным является выбор соответствующего математического аппарата. Рассмотрены вопросы выбора математического аппарата моделирования информационных систем.*

**Ключевые слова:** информационная система, математическое моделирование, имитационное моделирование, математические схемы, сети Петри, E-сети.

### CHOICE OF MATHEMATICAL APPARATUS TO DEVELOPS IMITATING MODELS OF INFORMATION SYSTEMS

Y.E. Parfyonov

*Modeling is a powerful method of scientific knowledge, where a real object is represented by a model. The main types of modeling are mathematical and full-scale modeling. Full-scale modeling has rather limited application. In most cases, preference is given to the use of mathematical modeling. In order to develop adequate mathematical models of processes occurring in information systems, it is important to choose appropriate mathematical apparatus. The article is devoted to analysis of the issues concerning choice of mathematical formalism to develop models of information systems.*

**Keywords:** information system, mathematical modeling, simulation, mathematical diagrams, Petri nets, evaluation nets.