УДК 628.618.2

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ЗАДАЧІ ОПИСУ ПЕРЕТВОРЕНЬ ДЛЯ СИНТЕЗУ СТРУКТУРИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ З ВИКОРИСТАННЯМ РОЗРОБЛЕНОЇ АБСТРАКТНОЇ АЛГЕБРИ МОДЕЛЕЙ ІНФОРМАЦІЙНИХ СТРУКТУР

к.т.н. Г.А. Дробаха
(представив д.т.н., проф. В.І. Карпенко)

Розглянуті питання формалізації задачі опису перетворень структури інформаційної системи (ІС) на основі введеної абстрактної алгебри моделей інформаційних структур (ІСт) при синтезі потрібної структури ІС.

Вступ. Під ***моделлю інформаційної структури*** будь-якої інформаційної або інформаційно-управляючої системи підрозумівається формальний (символічний) опис елементів цей системи (наприклад, пунктів управління, джерел та споживачів інформації) та інформаційних зв'язків між ними (наприклад, наявності та властивостей каналів передачі даних, потоків інформації та ін.). Якщо у такій моделі обмежимось розгляданням тільки суттєвих властивостей структури ІС, як перелік та стан джерел і споживачів інформації та наявність і характеристика інформаційних зв'язків між ними, то таку модель стає можливим представити у вигляді кінцевого орієнтованого графу, у якому перелічені вершини відповідають переліченим джерелам та споживачам інформації (їх кількість – кінцева), а ребра графу відповідають існуючим зв'язкам між цими вершинами (джерелами та споживачами інформації, вузлами обробки інформації та ін.). У простішому випадку такий граф відображає наявність відповідних джерел та споживачів інформації (вузлів обробки інформації, вузлів інформаційної мережі) та наявність зв'язків між ними, тобто тільки структуру ІС (інформаційної мережі та ін.). При цьому кожне ребро графу є орієнтованим від джерела до споживача інформації та має відповідну довжину (завантаженість). Для відображення схеми такого графу є допустимим використовувати ***плоску модель***, у якої ребра з нульовою довжиною, та вершини, які відповідають непрацездатним джерелам і споживачам інформації, на схемі не висвітлюються (рис. 1).

Для відображення властивостей потоків інформації, яка передається від джерел до споживачів, доцільно присвоїти кожному ребру графу, що відображає структуру ІС, відповідну кількісну характеристику інформації, яка передається та прийняти, що довжина кожного ребра графу визначається або вимірюється цією кількісною характеристикою. Для визначення відповідної характеристики стосовно вершини графу достатньо передбачити у вершинах графу відповідні петлі, які мають аналогічну характеристику. Такій підхід дає можливість не тільки відображати структуру системи, але й досліджувати властивості цієї системи залежно від її структури. Коли граф моделі суттєво ускладнюється, виникає необхідність перейти до адекватної йому математичної моделі ІСт.

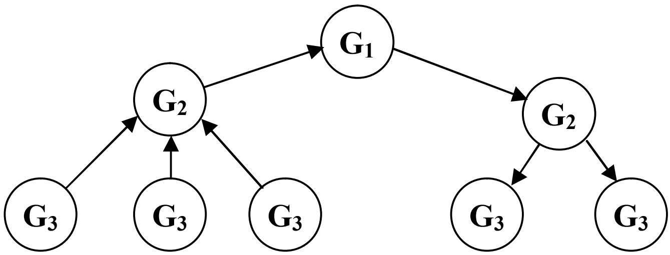


Рис. 1. Приклад графу моделі інформаційної структури

Різні варіанти розглянутого підходу до аналізу інформаційних систем використовувалися багатьма авторами при рішенні різних прикладних задач [1 – 8]. **Метою даної статті** є формалізація задачі опису перетворень структури ІС на основі введеної абстрактної алгебри моделей інформаційних структур при синтезі потрібної структури ІС.

1. Математична модель ІС та абстрактна алгебра моделей інформаційних структур. Відомо [9], що з достатнім ступенем еквівалентності модель інформаційної структури, яка відображається за допомогою розміченого орієнтованого графу, може бути замінена на ***математичну модель***, яка відображається у вигляді упорядкованої множини чисел, що задають взаємнооднозначну відповідність між пронумерованими вершинами та ребрами графу. З точки зору зручності вирішення подальших задач таку модель інформаційної структури доцільно відображати у вигляді матриці інцидентності вершин [10]. У загальному випадку при наявності m джерел інформації та n споживачів інформації стає можливим розглядати ***простір моделювання*** як деяку сукупність n-мірного простору кортежу споживачів та m-мірного простору кортежу джерел інформації. При такому підході до побудови матриці інцидентності кожний її рядок можна розглядати як n-мірний вектор зв'язків, що виходять із джерела з номером, який відповідає номеру даного рядка, причому цей вектор буде визначений у просторі споживачів, де він задає відповідні "координати" джерела інформації. Відповідно кожний стовпець матриці інцидентності можна розглядати як m-мірний вектор зв'язків, що надходять до споживача інформації з номером, який відповідає номеру стовпця. Цей вектор буде визначений у просторі джерел, де він задає “координати” споживача інформації у множині можливих джерел інформації.

Коли простори джерел та споживачів інформації співпадають, тоді вказані вектори мають однакову розмірність та є визначеними у одному й тому ж просторі моделювання й визначають “координати” відповідних вершин графу (вузлів ІС). Введемо у цьому просторі операції суми векторів, множення на скаляр, скалярного множення та метрику простору (“декартову” відстань між двома точками). Тоді простір моделювання буде являти собою ***багатомірний евклідів*** простір. У загальному випадку немає обмежень на розмірність цього простору, але з точки зору практичних задач, які вирішуються за допомогою моделей ІСт, розмірність простору обмежується кількістю джерел та споживачів інформації у системі, що є оригіналом моделі. А значить задача визначення кращої з сукупності структур за якоюсь сукупністю показників є такою, що принципово реалізується, тому що вирішується в обмеженому просторі варіантів.

Розроблений підхід до побудови моделі структури ІС дає можливість спростити аналіз взаємних зв’язків та проводити групування елементів ІСт, а також проводити аналіз наявності лінійної залежності векторів відомими у векторній алгебрі способами. Так, використання властивостей скалярного множення дозволяє однозначно визначати два вектори, які не мають суміжних координат (у цьому випадку вектори ортогональні у просторі моделювання, а тому їх скалярне множення дорівнює нулю). У випадку булевих векторів скалярне множення векторів дає відповідь на те, скільки спільних вершин мають ці вектори.

Матриця інцидентності джерел та споживачів інформації та введені правила (оператори) її формування являють собою математичну модель ІС, яка залежно від значень, що приймають елементи матриці, відображає один з можливих **статичних** зрізів (варіант) структури, яку може мати ІС, що складається з переліченої кількості джерел та споживачів інформації.

Гомоморфізм такої математичної моделі та моделі, представленої у вигляді графу, аксіоматично слідує з наведеного визначення моделі. У практичному плані ця властивість надає можливість здійснювати взаємно однозначний перехід від наочного представлення моделі інформаційної структури у вигляді графу до математичної моделі цієї структури та зворотно від математичної моделі до її наочного представлення.

Введене аксіоматичне визначення вказаних математичних об’єктів (матриць інцидентності) передбачає існування формального правила, яке встановлює ***еквівалентність*** цих об’єктів **з** ***точки зору моделі інформаційної структури***: дві моделі інформаційних структур, які визначаються матрицями інцидентності А і В, є рівними, якщо матриці мають однакову розмірність, причому рядки та стовпці матриць мають однозначні проекції на одні й ті ж кортежі джерел та споживачів інформації, а елементи матриць на перетині рядків і стовпців з однаковими номерами співпадають між собою. Вказане правило відповідає вимогам ***рефлексивності***, ***симетрії*** та ***транзитивності*** та ***забезпечує*** необхідний ***ізоморфізм*** (відношення відповідності між об'єктами, що виражає тотожність їх структури) моделей інформаційних структур, що описуються матрицями інцидентності, що у свою чергу дозволяє дотриматися такої коректності при перетвореннях матриць інцидентності, при якій ці перетворення відповідатимуть перетворенням реальних інформаційних структур, що ними відображаються.

Таким чином, розроблена математична **модель дозволяє** відображати поточний стан ІСт та елементів ІС з достатньою повнотою. Але практика дослідження та ***синтезу*** структур ІС потребує вирішувати ряд додаткових задач, які вказують, що для дослідження інформаційної системи та синтезу її раціональної структури не менш важливою є можливість як відображення динаміки змін інформаційної структури, так і пошук правил такого її перетворення, яке дозволяє досягти шуканих властивостей інформаційної системи. Це потребує поширення визначення математичної моделі інформаційної структури за рахунок введення відповідних ***операцій*** над матрицями інцидентності, які її відображають.

Тому під ***математичною моделлю інформаційної структури*** далі розуміється опис суттєвих з точки зору вирішуваної задачі елементів цієї структури та відношень між ними, виражений на класі абстрактних математичних об'єктів та відношень між ними. Причому така модель буде коректною, якщо будуть встановлені ***коректні правила*** відповідності, які пов'язують реальні фізичні об'єкти (оригінал моделі) та відношення між ними з відповідними математичними об'єктами та відношеннями.

Відомо, що будь-яка ***абстрактна модель*** [10] з її об'єктами, відношеннями і операціями визначається несуперечним набором правил, що вводять допустимі операції та встановлюють загальні відношення між їх результатами. Конструктивне визначення такої моделі передбачає введення будь-якої нової математичної моделі з використанням відомих математичних понять, термінів та ін. **Аксіоматичне** визначення моделі передбачає введення додаткових основних правил (визначальних аксіом), що дозволяють математично описувати деякі властивості оригіналу моделі, які неможливо (або недоцільно за якоюсь об'єктивною причиною) відображати з використанням існуючого математичного апарату.

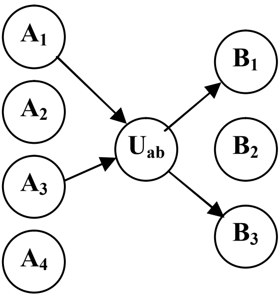
2. Розробка абстрактної алгебри моделей інформаційних структур. Під абстрактною алгеброю моделей інформаційних структур (далі по тексту – алгебра моделей інформаційних структур) підрозумівається розроблена ***прикладна теорія***, яка дозволяє математично описувати моделі ІСт та процедури їх перетворення в термінах унарних та бінарних (алгебраїчних) операцій, які пов'язують один або пару специфічних математичних об'єктів (операнди, оператори) з відповідними результатами операцій таким чином, що зберігається взаємнооднозначна відповідність між математичними моделями ІСт у просторі моделювання та тими властивостями реальних ІСт, які адекватно відображаються цими моделями.

Оригіналом моделі інформаційної структури є структура інформаційної (інформаційно-управляючої) системи у частині відображення її властивостей щодо передачі та обробки інформації між елементами цієї системи. При цьому будь-який елемент інформаційної структури (вузол структури) розглядається або як джерело, або як споживач інформації, або як вузол, що об'єднує функції джерела та споживача, або як замкнутий на себе вузол (що не має ні джерел, ні споживачів). Кожний умовний напрямок (зв'язок) розповсюдження інформації між джерелом та споживачем інформації завжди є орієнтованим від джерела до споживача. Він може характеризуватися або тільки фактом наявності чи відсутності безпосереднього зв'язку (наприклад, передається інформація чи ні, існує фізичний канал передачі даних чи ні, та ін.), або величиною деякої досліджуваної характеристики інформаційної системи (наприклад, затримка інформації при проходженні її від джерела до споживача, об'єм інформації, що передається, кількість інформаційних потоків, каналів передачі даних та ін.). Тільки у межах цих властивостей модель ІС відповідає своєму оригіналу.

Основними математичними проблемами пошуку часткових моделей ІСт у межах розробленої алгебри моделей є проблеми: ***часткового аналізу*** – визначення чи є рішення поставленої задачі, тобто чи існує хоч би одна часткова модель ІСт, яка може бути побудована у межах розробленої алгебри моделей та відповідатиме умовам вирішення цієї поставленої задачі; ***часткового синтезу*** – побудови, якщо задача має рішення, часткового рішення (або декількох рішень) шляхом знайдення сукупності таких перетворень вхідних даних, які дозволяють отримати шукану модель ІСт; ***еквівалентності*** – визначення, чи співпадають множини отриманих часткових рішень (побудованих моделей ІСт) між собою; ***мінімізації*** – побудови найменшої за визначеним критерієм моделі ІСт, еквівалентної в межах визначених властивостей оригіналу або іншої моделі. Для вирішення цих проблем як основа математичної формалізації в алгебрі моделей ІСт обрана матрична алгебра, до складу дозволених операцій якої добавлені: деякі ***прямі бінарні операції з матрицями***, наприклад операція прямого множення матриць (ця операція визначена за аналогією з операцією прямого множення груп, дійсних векторних просторів або упорядкованих множин, [10]); специфічна ***операція гра-***

дуювання елементів матриць (яка дозволяє змінити поточні значення елементів матриці відповідно до заданої шкали значень); ***операція зчеплення*** (об'єднання) матриць у складову матрицю (дозволяє описувати поєднання декілька елементів структури в одну). Показано, що множина додаткових операторів є необхідною та достатньою для опису всіх перетворень, можливих у просторі моделювання з точки зору їх фізичного змісту та стосовно можливих перетворень оригіналу моделі. У якості операндів, з якими оперує алгебра моделей ІСт, виступають: матриці інцидентності джерел та споживачів інформації; вектора станів джерел та споживачів інформації; числа та матриці, які відображають кількісні характеристики (параметри) інформаційних структур. Потреба збереження еквівалентності та гомоморфізму моделей інформаційних структур накладає додаткові обмеження на представлення операндів та допустимість операцій над ними у алгебрі моделей інформаційних структур, що відрізняє її від інших абстрактних алгебр та потребує введення додаткових операцій.

Для ілюстрації розглянемо простий приклад (рис. 2), коли $A = (a_i)$ – булев вектор-стовпець, який відображає зв'язки між визначеною кількістю джерел ($m = 4$) на один і той же вузол обробки інформації, а відповідно $B = (b_j)$ – булав вектор-рядок, який відображає зв'язки від цього вузла до визначеної кількості споживачів ($n = 3$) інформації, причому $a_i = 1$ ($b_j = 1$), тільки, якщо такий зв'язок є (в інших випадках елементи векторів дорівнюють нулю).



$$A = \begin{vmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{vmatrix} \quad B = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

$$C = A \otimes B = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

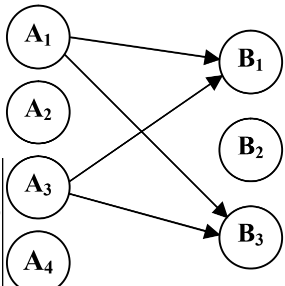


Рис. 2. Приклад перетворення структури за правилом $C = A \cdot B$

У результаті прямого матричного множення A на B ($\otimes$) формується матриця інцидентності C розмірністю $[m \times n]$, яка відображає структуру зв'язків від визначених джерел інформації до відповідних споживачів інформації через цей вузол обробки інформації, тобто таке правило дає формальну відповідь на питання, яку адекватну інформаційну структуру потрібно мати, якщо виключити з ІС проміжний вузол обробки інформації.

Висновки щодо застосування теорії алгебри моделей інформаційних структур при вирішенні прикладних задач. Застосування теорії алгебри моделей інформаційних структур для опису та перетворення моделей інформаційних структур дозволяє спростити вирішення таких прикладних задач, як: визначення кількості зв'язків між джерелами та споживачами; довжини шляху, кількості та раціональних маршрутів передачі інформації; кратності транзитних маршрутів передачі інформації; знаходження транзитивних замикання та циклів; визначення кількості вхідних та вихідних зв'язків вузла обробки інформації; виділення неорієнтованого графу моделі з орієнтованого; "поглинання" проміжних інформаційних структур та формування моделі інформаційної структури за умовою виключення втрат інформації та виключення надлишкового інформаційного перевантаження вузлів обробки інформації; визначення потрібних джерел (споживачів) інформації при відомій структурі системи управління; упорядкування джерел та споживачів (вузлів) інформаційної системі за рівнями ієрархії та ін.

З використанням розробленого математичного апарату алгебри моделей інформаційних структур реалізована прикладна програма, яка дозволяє проводити синтез структур інформаційних систем та їх візуалізацію.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Цвиркун А.Д., Акинфиев В.К. Структура многоуровневых и крупномасштабных систем. Синтез и планирование развития. – М.: Наука, 1993. – 160 с.*
2. *Альянах И.Н. Моделирование вычислительных систем. – Л.: Машиностроение, 1988. – 223 с.*
3. *Советов Б.Я., Яковлев С.А. Построение сетей интегрального обслуживания. – Л.: Машиностроение, 1980. – 350 с.*
4. *Дружинин В.В., Конторов Д.С. Системотехника. – М.: Радио и связь, 1985. – 200 с.*
5. *Месарович М., Токахора Я. Общая теория систем. – М.: Мир, 1988. – 312 с.*
6. *Павлов В.М. Системный анализ сложных систем. – М.: МО РФ, 1999.*
7. *Мазур И.И, Шапиро В.Д., Ольдерогге Н.Г. Управление проектами. – М.: Экономика, 2001. – 574 с.*
8. *Бондарев В.Н., Аде Ф.Г. Искусственный интеллект. – Севастополь: Изд-во Сев. НТУ, 2002. – 615 с.*
9. *Оре. О. Теория графов. – 2-е изд. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1980. – 336 с.*
10. *Основи дискретної математики / Ю.В. Капітонова, С.Л. Кривий та ін. – К.: Наук. думка, 2002. – 580 с.*

Надійшла 14.10.2003

***ДРОБАХА Григорій Андрійович**, кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри ХВУ. Область наукових інтересів – військова кібернетика.*