

# Реляційні засоби побудови моделей логічних мереж

Дмитро Шевченко  
кафедра Програмної Інженерії  
Харківський національний університет  
радіоелектроніки  
Харків, Україна  
dmytro.shevchenko1@nure.ua

Ігор Шубін  
професор  
кафедра Програмної Інженерії  
Харківський національний університет  
радіоелектроніки  
Харків, Україна  
igor.shubin@nure.ua

## Relational tools for building logical network models

Dmytro Shevchenko  
Department of Software Engineering  
Kharkiv National University  
of Radio Electronics  
Kharkiv, Ukraine  
dmytro.shevchenko1@nure.ua

Igor Shubin  
PhD, professor  
Department of Software Engineering Kharkiv National  
University of Radio Electronics  
Kharkiv, Ukraine  
igor.shubin@nure.ua

*Анотація—Охарактеризовано математичний апарат для опису людської мови - алгебра предикатів, так само охарактеризовані ефективні технічні засоби для моделювання мови на базі цього апарату - логічні мережі. Розроблено та обґрунтовано метод бінарної декомпозиції функціональних предикатів, який відрізняється від загального методу декартової декомпозиції тим, що кількість значень допоміжної змінної зведено до мінімуму*

*Abstract—The mathematical apparatus for the description of human language - algebra of predicates is characterized, the effective technical means for modeling of language on the basis of this apparatus - logical networks are also characterized. The method of binary decomposition of functional predicates is developed and substantiated, which differs from the general method of Cartesian decomposition in that the number of values of the auxiliary variable is minimized*

*Ключові слова—алгебра кінцевих предикатів; реляційні методи; бінарна декомпозиція; логічні мережі*

*Keywords—algebra of finite predicates; relational methods; binary decomposition; logical networks*

### I. ВСТУП

Намагання вирішення задач повноцінної обробки звичної нам мови, через розробку спеціальних програм, робляться з моменту створення ЕОМ.

Разом із тим вирішення проблеми комунікації людини з ЕОМ з використанням людської мови, автоматичного перекладу та пошуку контекстноорієнтованої інформації вирішені не повністю.

Для опису таких механізмів була створена алгебра кінцевих предикатів [1]. За допомогою цієї алгебри було створено багато формальних описів різних частин людської мови. Але під час інтеграції цих моделей існує проблема вирішення великої кількості рівнянь алгебри кінцевих предикатів у реальному часі.

Пошук досконаліших технічних методів для вирішення рівнянь алгебри кінцевих предикатів в реальному часі призвів до створення логічних мереж орієнтованих на паралельну обробку інформації [2].

Однак модель логічної мережі повинна бути подана у вигляді системи бінарних рівнянь алгебри кінцевих предикатів та бути максимально компактною для економії ресурсів ЕОМ.

Існуючі методи мінімізації декомпозиції предикатів не враховують взаємозв'язків між змінними. Врахування таких особливостей дозволяє провести раціональнішу декомпозицію. В теорії реляційних баз даних пропонуються методи декомпозиції зв'язків у вигляді тверджень про зв'язки атрибутів.



Інформаційні системи та технології ICT-2020

Секція 2.

Математичне та комп'ютерне моделювання у інформаційних системах.

Оскільки предикати та реляційні зв'язки тісно пов'язані – можна використати методи декомпозиції зв'язків задля вирішення задачі декомпозиції предикатів.

Створення нових чи удосконалення існуючих метрик є необхідним для роботи адаптивних навчальних систем [2].

Метою роботи є вдосконалення існуючих засобів декомпозиції предикатів за рахунок використання існуючих методів декомпозиції зв'язків.

## II. ЛОГІЧНА МЕРЕЖІ ТА ІСНУЮЧИ МЕТОДИ СТВОРЕННЯ ЇХ МОДЕЛЕЙ

Багато вчених хотіли б розробити ідеальний паралельний комп'ютер, що базується на методах обробки інформації людським мозком [3]. Основний підхід до розробки «мозкоподібного» комп'ютера базується на гіпотезі про те, що людський інтелект є матеріальним втіленням деякої універсальної логічної алгебри. Тобто для створення такого комп'ютера необхідно створити максимально точний формальний опис цієї алгебри, яку використовує людський інтелект.

Таким чином була розроблена алгебра предикатів та алгебра предикатних операцій.

Інженерна реалізація формул цих алгебр призводить до рішення, яке називається логічною мережею.

Логічна мережа це прилад для вирішення рівнянь алгебри предикатів поданих у бінарному вигляді. Логічна мережа складається з полюсів та гілок та має алгоритм роботи, який описує їх взаємодію [4]. Усі логічні мережі мають однаковий алгоритм роботи, але склад полюсів та гілок різняться в залежності від моделю. Саме через це для кожної моделі будується окрема логічна мережа.

Моделю задається парою  $\langle X, R \rangle$ , де  $X$  – кінцева непуста множина рівнянь АКП з однією предметною змінною, яка представляє предметні змінні моделі та області їх змін;  $R$  – це множина рівнянь АКП з двома змінними, котрі описують бінарні зв'язки між змінними моделі. Моделю  $\langle X, R \rangle$  називатимемо моделлю логічної мережі. Множина  $X$  – полюса мережі, а  $R$  – гілки мережі.

Загальну структуру мережі можна зобразити неорієнтованим зв'язним графом з вершинами  $X$  та ребрами  $R$ .

Полюс мережі – комірка пам'яті, котра у кожний момент часу містить деяку підмножину значень з області змінення відповідної до неї змінної.

Гілка мережі – пара функцій: з буліана області змінення змінної  $x$  в буліан області змінення  $y$  та назад.

Задля моделювання інтелектуальних процесів в логічних мережах необхідно описувати ці процеси лише бінарними рівняннями АКП. Інакше кажучи, для опису процесів необхідно створювати моделі логічних мереж. На даний час існує декілька підходів для побудови таких моделей.

До першого підходу варто виділити такі методи побудови моделей, що виокремлюють бінарні зв'язки ще

під час формалізації досліджуваного об'єкту, отримуючи бінарні рівняння з самого початку. Такий підхід було застосовано в роботі [5], що розробила модель логічної мережі відмінювання повних присвійних прийменників. В результаті цієї роботи було створено формальний опис невеликого кінцевого предметного простору.

Другий підхід складається з виокремлення бінарних зв'язків з бінарізацією формалізованих зв'язків більшої арності. Тут бінарні зв'язки отримуються в результаті бінарізації вже формалізованих відносин, однак деякі бінарні зв'язки все ж виділяються та формалізуються окремо.

Доцільно буває інше повністю відділити формальний опис досліджуваного процесу від бінарної декомпозиції його моделі. Тоді можна розглянути такий підхід до створення поделей логічних переж, коли за основу береться вже існуюча формальна модель деякого процесу та виконується лише її бінарна декомпозиція.

Термін «декомпозиція» у загальному сенсі означає процес розбору деякого математичного об'єкту – зв'язку предиката, рівняння та інше. Зазвичай декомпозицією предиката називають перетворення даного предиката в деяку систему предикатів. Декомпозиція завжди повинна бути оборотною, тобто з отриманої системи предикатів завжди можна отримати первинний предикат. Бінарна декомпозиція моделі, описаної на мові АКП, зводиться до бінарної декомпозиції кожного її рівняння. Бінарна декомпозиція рівняння АКП – це подання цього рівняння системою бінарних рівнянь, тобто рівнянь з двома змінними.

Бінарна декомпозиція рівняння АКП зводиться до бінарної кон'юнктивної декомпозиції відповідного до цього рівняння предиката. Це означає, що вихідний предикат потрібно представити у вигляді кон'юнкції бінарних предикатів; при введенні допоміжних змінних така кон'юнкція може містити квантори існування, що зв'язують допоміжні змінні. Тому декомпозиція предиката може виконуватися або без допомоги допоміжних змінних, або за допомогою них. У першому випадку декомпозиція називається еквівалентною, у другому – нееквівалентній.

Бінарна декомпозиція предиката може проводитися в кілька етапів. Якщо предикат має відповідну внутрішню структуру, то на початковому етапі за допомогою засобів кон'юнктивної декомпозиції даний предикат можна представити у вигляді кон'юнкції кількох предикатів меншої арності. Мета підготовчого етапу: зробити кон'юнктивну декомпозицію вихідного предиката найбільш раціональним способом. Після цього до отриманих небінарних предикатам треба застосувати методи бінарної декомпозиції, щоб остаточно отримати бінарне представлення вихідного предиката. Такий підхід може забезпечити більш компактне представлення вихідного предиката, ніж при безпосередньому застосуванні методу бінарної декомпозиції до вихідного предикату.



З огляду на вищесказане, нас будуть цікавити не тільки методи бінарної декомпозиції, але і будь-які засоби кон'юнктивної декомпозиції предикатів.

Розглянемо метод декартової декомпозиції [5, 6] як приклад кон'юнктивної декомпозиції.

Суть декартової декомпозиції предиката полягає в наступному. Кожному кортежу відносини, відповідного вихідного предикату, треба привласнити унікальне ім'я. Так, за допомогою допоміжної змінної, що виражає імена кортежів, з вихідного предиката утворюється новий предикат. Для повернення до вихідного предикату необхідно за допомогою квантора існування виключити з побудованого предиката допоміжну змінну. Так само за допомогою кванторів існування виконується декомпозиція допоміжного предиката в систему так званих проєкційних предикатів. Кожен проєкційний предикат є бінарним. Так досягається бінарна декомпозиція вихідного предиката.

Головні переваги декартової декомпозиції - універсальність, простота і гарантія коректності результату. Це означає, що декомпозиція, виконується без втрат інформації: з'єднавши проєкційні предикати і виключивши допоміжну змінну, буде отриманий вихідний предикат.

Розглянувши декартову декомпозицію з точки зору баз даних, легко побачити головний недолік цього методу. Допоміжна змінна, яка вводиться при декартової декомпозиції предиката, грає роль ключа, який повністю визначає кортеж відповідного цьому предикату відносини. З безлічі всіх таких імен утворюється область зміни допоміжної змінної. В результаті декартової декомпозиції відносини отримуємо систему бінарних відносин, кожне з яких містить ключ (допоміжну змінну) і один з атрибутів вихідного відносини. Тому кожне бінарне відношення містить таку ж кількість кортежів, як і вихідне відношення.

### III. РЕЛЯЦІЙНІ ЗАСОБИ ПОБУДОВИ МОДЕЛЕЙ ЛОГІЧНИХ МЕРЕЖ

Функціональним (однозначним) назовемо предикат  $P \in \text{Pre}(S)$  з функціональною залежністю  $X \rightarrow Y$ , для якого  $X \cup Y = V$  [7]. Інакше кажучи, в функціональному предикаті повинна міститися функціональну залежність, яка охоплює всі його змінні. Предикат  $P \in \text{Pre}(S)$  може містити функціональну залежність  $X \rightarrow Y$ , але при цьому не бути функціональним. Це можливо в разі, коли  $X \cup Y \neq V$ , тобто коли функціональна залежність охоплює не всі змінні предиката  $P$ .

Для чіткої постановки завдання вводимо позначення, що характеризують предметне простір. Нехай заданий остов  $T \subseteq V \times U$ , а кінцева множина  $V$  складається з двох непересічних груп змінних:  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$  і  $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ , тобто  $V = \{x_1, x_2, \dots, x_m, z_1, z_2, \dots, z_n\}$ . Нехай предметний простір  $S$  розмірності  $n$  утворюється

за допомогою остова  $T$  як декартової твір областей зміни змінних з  $V$ .

Необхідно виконати бінарну декомпозицію предиката  $P(X, Z)$  за допомогою однієї допоміжної змінної.

Сутність запропонованого методу бінарної декомпозиції полягає в способах побудови допоміжних предикатів, на основі яких за допомогою кванторів існування (шляхом виключення змінних) утворюється безліч бінарних предикатів. Останні і є результатом бінарної декомпозиції вихідного предиката. Побудова допоміжних предикатів може виконуватися по-різному, а може і зовсім не знадобитися. З точки зору будови вихідного функціонального предиката можливі три різні ситуації, які визначають послідовність дій для досягнення бінарної декомпозиції мінімальною ціною (в зазначеному вище сенсі). Розглянемо кожен випадок в порядку зростання складності.

При бінарної декомпозиції функціонального предиката  $P(X, Z)$  насамперед треба перевірити, чи є аргументи  $\{x_1, x_2, \dots, x_m\}$  описуваної функції  $p: A \rightarrow C$  незалежними один від одного. Взаємна незалежність  $x_1, x_2, \dots, x_m$  змінних в предикаті  $P(X, Z)$  означає виконання залежності  $Z \rightarrow x_1 | x_2 | \dots | x_m$ . Для строгої перевірки предиката  $P(X, Z)$  на наявність залежності  $Z \rightarrow x_1 | x_2 | \dots | x_m$  необхідно виконати диз'юнктивне розкладання предиката  $P(X, Z)$  по змінним  $Z$ . Після цього Вид цього розкладання дозволить точно встановити, виконується залежність  $Z \rightarrow x_1 | x_2 | \dots | x_m$  в предикаті  $P(X, Z)$  чи ні.

Якщо предикат  $P(X, Z)$  задовольняє залежності  $Z \rightarrow x_1 | x_2 | \dots | x_m$ , то бінарна декомпозиція виконується досить просто. При цьому можливі дві ситуації.

Перша ситуація має місце, коли група змінних  $Z$  складається з однієї змінної -  $z$ . Тоді допоміжна змінна не потрібна: бінарна декомпозиція  $P(X, z)$  виконується за допомогою кванторів існування безпосередньо на основі цієї залежності кон'юнкції, яку можна представити у вигляді  $\wedge \{ \{x_1, z\}, \{x_2, z\}, \dots, \{x_m, z\} \}$ . Це найпростіший випадок. Трохи складніший випадок - коли група  $Z$  складається з двох і більше змінних; тоді має місце друга ситуація.

У другій ситуації треба замінити групу змінних однієї допоміжної змінної, після чого здійснити перехід до двох допоміжних предикатів  $P_1(X, y)$  і  $P_2(y, Z)$  які є результатом проміжної декомпозиції предиката. Бінарна декомпозиція предикатів і здійснюється за допомогою кванторів існування на основі залежностей кон'юнкції  $\wedge \{ \{y, x_1\}, \{y, x_2\}, \dots, \{y, x_m\} \}$  і  $\wedge \{ \{y, z_1\}, \{y, z_2\}, \dots$



$\{y, z_n\}$  відповідно, які, як буде показано далі, виконуються в силу побудови цих предикатів.

Коли  $P(X, Z)$  не задовольняє залежності  $Z \rightarrow x_1 | x_2 | \dots | x_m$ , то має місце найскладніша ситуація з трьох можливих. Тут так само відбувається перехід до допоміжних предикатів  $P_1(X, y)$  і  $P_2(y, Z)$  з подальшою бінарною декомпозицією останніх. Однак спосіб утворення даних допоміжних предикатів в цьому випадку набагато складніше.

Нехай заданий кінцевий предикат  $P(X, Z)$  з функціональною залежністю  $X \rightarrow Z$ . Для виконання його бінарною декомпозиції за допомогою однієї допоміжної змінної, що приймає мінімально можливу кількість значень, треба виконати наступні кроки.

1. Виконати диз'юнктивне розкладання предиката  $P(X, Z)$  по змінним  $Z$ . Перевірити, чи виконується залежність  $Z \rightarrow x_1 | x_2 | \dots | x_m$  в предикаті  $P(X, Z)$  чи ні.

Якщо зазначена залежність виконується, то подальші кроки залежать від кількості змінних  $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ : якщо  $n=1$ , то перейти до пункту 2; якщо  $n > 1$ , то перейти до пункту 3. Якщо залежність  $Z \rightarrow x_1 | x_2 | \dots | x_m$  не виконується, то перейти до пункту 5.

2. В даному випадку предикат  $P(X, z)$  задовольняє залежності кон'юнкції  $\{\{z, x_1\}, \{z, x_2\}, \dots, \{z, x_m\}\}$ . З допомогою кванторів існування на основі цієї залежності виконати бінарну декомпозицію  $P(X, z)$ . Бінарна декомпозиція предиката виконана.

3. Ввести допоміжну змінну.

4. Утворити допоміжний предикат  $P_2(y, Z)$ . Утворити допоміжний предикат  $P_1(X, y)$ . Перейти до пункту 7.

5. Кожен предикат  $P(X, \bar{c}_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, l$ , представити у вигляді виразу так, щоб число доданків в цьому виразі було мінімальним. Ввести допоміжну змінну за формулами.

6. За формулами утворити допоміжний предикат  $P_1(X, y)$ . За формулами утворити допоміжний предикат  $P_2(y, Z)$ .

7. Виконати бінарну декомпозицію допоміжних предикатів на основі залежностей кон'юнкції, що в них містяться, за допомогою кванторів існування: декомпозицію предиката  $P_1(X, y)$  виконати на основі

залежності  $\{\{x_1, y\}, \{x_2, y\}, \dots, \{x_m, y\}\}$ ; декомпозицію предиката  $P_2(y, Z)$  виконати на основі залежності  $\{\{y, z_1\}, \{y, z_2\}, \dots, \{y, z_n\}\}$ . Бінарна декомпозиція предиката  $P(X, Z)$  виконана.

#### IV. ВИСНОВКИ

В результаті проведеного дослідження була охарактеризовано математичний апарат для опису людської мови - алгебра предикатів, так само охарактеризовані ефективні технічні засоби для моделювання мови на базі цього апарату - логічні мережі. Проаналізовано сучасний стан проблеми в області розробки логічних мереж та математичних засобів для побудови їх моделей. Виявлено нестачу розвинених засобів в цій галузі. Обгрунтовано необхідність розробки засобів кон'юнктивної декомпозиції, заснованих на теорії нормалізації реляційних відносин і орієнтованих на уявлення предикатів в бінарній формі

Проведено аналіз зв'язку між операціями в реляційній алгебрі і в алгебрі скінченних предикатів.

За допомогою реляційних тверджень про залежності отримав подальший розвиток алгебри апарат декомпозиції предикатів.

У результаті аналізу було розроблено та обгрунтовано метод бінарною декомпозиції функціональних предикатів, який відрізняється від загального методу декартової декомпозиції тим, що кількість значень допоміжної змінної зведено до мінімуму.

#### ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Бондаренко М. Ф., Шабанов-Кушнарєнко Ю.П. Про алгебри предикатів. // Біоніка інтелекту. - Харків: ХНУРЕ, 2004. - № 1 (61). - С.15-26.
- [2] Лещинський В.А. Моделі бінарних логічних мереж та їх застосування в штучному інтелекті. Дисс. ... канд. техн. наук: 05.13.23. - Харків: ХНУРЕ, 2006 - 160 с.
- [3] Глушков В.М. Основи безпаперової інформатики. Изд.2-е испр. - М.: Наука. Гл.ред.фіз.-мат.літ., 1987.- 552с.
- [4] Бондаренко М.Ф., Чикина В.А., Шабанов-Кушнарєнко Ю.П. Моделі мови // Біоніка інтелекту. - Харків: ХНУРЕ, 2004. - №1. - С. 27-37.
- [5] Пронюк А.В. Метод багатошарової декомпозиції предикатів та його застосування у системах штучного інтелекту. Дисс. ... канд. техн. наук: 05.13.23. - Харків, 2004. - 191 с.
- [6] Козяев Л.Л. Методи формалізації і моделі морфологічних структур та їх застосування в системах штучного інтелекту. Дисс. ... канд. техн. наук: 05.13.23. - Харків, 2005. - 153 с.
- [7] Chetverikov G., Puzik O., Vechirska I. Multiple-valued structures of intellectual systems //Proceedings of the with Internations Computer Sciences and Information Technologies (CSIT). 2016, 7589907. -pp. 204-207

