Реалізація вершинної мінімізації булевих функцій для моделювання процесів, що не формалізуються

В. М. Рудницький, І. В. Миронець, В. Г. Бабенко, Т. В. Миронюк, С. В. Сисоєнко

Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна
*Corresponding author. E-mail: irenmir@ukr.net

Paper received 24.06.17; Accepted for publication 30.06.17.

Анотація. При проведенні даного дослідження було визначено та розглянуто особливості мінімізації булевих функцій для моделювання процесів, що не формалізуються. Було розглянуто мінімізацію кінцевих автоматів на основі вершинної мінімізації. Виходячи із запропонованого алгоритму мінімізації, при отриманні оптимального способу керування зручно використовувати поточний псевдооптимальний розв’язок, удосконалений шляхом застосування відповідної сукупності методів локального пошуку. Запропонований алгоритм вершинної мінімізації кінцевих автоматів дає можливість проведення чергового кроку методу гілок та меж, а також дозволяє налаштовувати пріоритетність складових, які впливають на керування в соціальній інженерії визначеної сфери.

***Ключові слова**: мінімізація булевих функцій, недетермінований кінцевий автомат, соціоінженерія, моделювання, процеси, що не формалізуються, евристичний алгоритм.*

Вступ. З початком формування інформаційного суспільства, стало ясно, що для багатьох управлінських завдань немає достатньо простого математичного апарату, що дозволяє обробляти отримані соціальні дані, визначати найбільш значимі з них, і проводити оцінку ефективності управління соціумом [1]. Тому важливими сьогодні стали питання дослідження різних математичних методів придатних для використання в соціоінженерії, в тому числі, мінімізації булевих функцій.

Булеві функції традиційно використовуються в якості математичних моделей вирішення різних соціальних задач, а також для прогнозування та проведення оцінки якості та ефективності певної діяльності людства в тій чи іншій сфері.

Процедура мінімізації булевих функцій, як правило, застосовується на етапі логічного синтезу для отримання наочного представлення результатів та їх оцінки при вирішенні соціальних задач.

Соціальна інженерія – є методом управління діями людини без використання технічних засобів. Метод заснований на використанні «слабких місць» людського фактора і вважається дуже руйнівним. Найчастіше соціальну інженерію розглядають як незаконний метод отримання інформації, проте це не зовсім так. Соціальну інженерію можна також використовувати і в законних цілях, і не тільки для отримання інформації, а і для здійснення дій конкретною людиною.

Аналіз останніх досліджень. Провівши аналіз останніх досліджень і публікацій, слід зазначити, що поняття «соціоінженерія» з'явилося досить давно, в 20-40-их років минулого століття. Термін «соціоінженерія» або «інжиніринг» визначається як соціальне регулювання і контроль різних організаційних структур для вирішення соціальних завдань. Прикладні дослідження в цій області проводяться в різних напрямках, зокрема в політиці, менеджменті і т.п. [2]. Однак на даний час не існує математичного апарату для побудови логічної структури відбору найбільш значущих параметрів управління, а також відсутні методи визначення ефективності управління соціоінжинірингом. Саме тому вирішення поставленої задачі є практично необхідним для подальшої розробки теоретичних основ методології оцінки ефективності соціоінжиніринга.

Для розв'язання задач мінімізації застосовують методи законів та тотожностей алгебри логіки, метод Квайна, метод Квайна-Мак-Класкі, метод Блейка-Порецького, метод карт Карно (діаграм Вейча), а також метод імплікантної таблиці логічних функцій (метод Квайна) [3, 4].

В роботах [1, 5] розглядається можливість застосування математичного апарату мінімізації недетермінованих кінцевих автоматів в оцінці ефективності управління соціоінжинірингом. Недетермінованим кінцевим автоматом (НКА) називається п'ятірка виду: $K = (Q, \Sigma, \delta, S, F)$, де Q – деяка скінченна множина станів (вершин), Σ – алфавіт, що розглядається, δ – функція переходів вигляду δ: $Q\times (\Sigma\cup \{\varepsilon\}) \to 2Q$ (ε– порожнє слово, $2Q$ – булеан множини Q), $S\subseteq Q$ – множина стартових станів (входів), $F\subseteq Q$ – множина фінальних станів (виходів).

Подібні автомати є найпростішим прикладом так званих розпізнавачів, які використовуються в різних сферах теорії формальних мов. НКА знаходять широке застосування в програмах обробки великих масивів тексту і розпізнавання мови, при побудові лексичних аналізаторів, описі і верифікації можливих систем, що складаються зі скінченого числа станів із заданими переходами між ними [5].

Метою дослідження є визначення особливостей мінімізації булевих функцій для моделювання процесів, що не формалізуються.

Виклад основного матеріалу. В якості мінімізації булевих функцій для моделювання неформалізованих процесів розглянемо мінімізацію кінцевих автоматів, оскільки, найпростішим комбінаційним автоматом можна вважати схемну реалізацію будь-якої булевої функції. Алфавіти входів, станів і виходів автоматів задаються як звичайні множини, наприклад, переліком їх елементів. Функції переходів і виходів будь-якого кінцевого автомата можуть бути задані, зокрема, у вигляді матриці та графічно.

Задача мінімізації автомата зводиться до пошуку його мінімальної форми (мінімального автомату). Мінімальний автомат – це автомат, що має найменшу можливу кількість станів і реалізує задану функцію виходів. А, оскільки НКА використовуються в різних областях, зокрема, в синтаксичних, лексичних аналізаторах, тестуванні програмного забезпечення на основі моделей і т.п., для більш ефективного використання кінцевих автоматів в різних областях необхідно, щоб проблема мінімізації кінцевих автоматів вирішувалася в реальному часы з різною кількістю змінних. Для цього необхідно використовувати евристики і застосовувати евристичні алгоритми для вирішення задач дискретної оптимізації.

В залежності від форми представлення НКА можливо розглядати різні способи їх мінімізації. Тобто можемо розглядати вершинну мінімізацію, маючи мінімальну кількість вершин, або дугову мінімізацію, маючи мінімальну кількість дуг. Також існує ще один варіант мінімізації – зоряно-висотна, це задача побудови кінцевого автомата, що має серед всіх йому еквівалентних мінімальну вкладеність операції «зірка Кліні» [6].

В даному дослідженні будемо розглядати особливості мінімізації НКА на прикладі саме вершинної мінімізації. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити питання щодо знаходження оптимальних рішень. Нехай маємо прямокутну матрицю, що заповнена 0 та 1. Назвемо «блоком» деяку визначену кількість рядків та стовпчиків, якщо на всіх їх можливих перетинах маємо елемент 1, причому дану множину не можливо доповнити іншими рядками чи стовпчиками, не порушивши попереднього правила. Тоді «допустимим розв'язком» називається множина блоків, які перекривають всі елементи 1 в заданій матриці, а «оптимальним розв'язком» - допустимий розв'язок, що містить мінімальну кількість таких блоків. Наприклад, маємо матрицю (табл. 1):

Таблиця 1. Матриця вхідних даних

	X	Y	Z	M
A	0	0	1	1
B	1	0	0	1
C	1	0	1	1
D	1	1	1	1

В даній матриці маємо такі блоки:

$$\begin{aligned} \alpha &= \{A,B,C,D\} \cup \{M\}, \\ \beta &= \{A,C,D\} \cup \{Z,M\}, \\ \delta &= \{B,C,D\} \cup \{X,M\}, \\ \varphi &= \{C,D\} \cup \{X,Z,M\}, \\ \gamma &= \{D\} \cup \{X,Y,Z,M\}. \end{aligned} \quad (1)$$

Наведені блоки є допустимими розв'язками. А для покриття всіх елементів 1 достатньо лише: β, δ та γ – тому вони є оптимальними розв'язками.

Для проведення мінімізації розглядаються евристичні алгоритми, тобто алгоритми, які в кожен визначений момент роботи мають оптимальне рішення саме на даний момент часу. Отже, для проведення експерименту, нам необхідно вибрати блок з максимальною кількістю елементів 1, який не ввійшов до множини вже вибраних блоків.

Для створення алгоритму реалізації вершинної мінімізації булевих функцій для моделювання процесів, що не формалізуються будемо застосовувати метод гілок та меж [7].

Нехай кожну комірку вхідної матриці позначимо координатами (i, j), нехай $S(i)$ – кількість елементів 1 в рядку i, $C(j)$ – кількість елементів 1 в стовпчику j. Тоді одержимо:

1. Для кожної пари (i, j), яка містить елементи 1, підрахуємо значення функції:

$$F(i,j) = G(D(S(i)), D(C(j))), \quad (2)$$

де $G(x, y)$ та $D(x)$ – деякі функції, що обираються за допомогою генетичних алгоритмів, причому вигляд функції $D(x)$ наперед невідомий, а про функцію $G(x, y)$ відомо лише те, що вона є зростаючою.

2. Функції $R(x)$ надамо вигляду:

$$D(x) = e^{-(P_1 x)} + P_2 N(x-1)^{-1} + P_3 x + 1, \quad (3)$$

де N – розмірність таблиці відповідних станів. Такий вигляд функції або близький до вказаного теж є результатом роботи генетичного алгоритму.

3. Із множини отриманих блоків виберемо таку пару (S, C), для якої результуюча рейтингова сума дорівнює величині $\sum F(S_i, C_i)$, де $S_i \in S, C_i \in C$, а функція F, що отримується згідно (2), є максимально можливою. Розміщуємо обраний блок в результуючу множину.

4. Елементи, які ввійшли в обраний на кроці 3 блок, відмітимо спеціальним чином. Це робиться для того, щоб дані елементи не враховувались при обрахунку $F(S_i, C_i)$, але входили до будь-якого новообраного блоку. Тому, при повторному виконанні 1-3 кроків, дані елементи вже на вважаються відміченими.

5. Кроки 1-4 повторюємо до тих пір, коли будуть переглянуті всі комірки. Відмітимо, що блоки, яким належить хоча б одна комірка, яка не має «сусідів» по вертикалі та горизонталі, обов'язково будуть враховані до шуканої множини, оскільки, згідно вигляду функції (2), їх результуюча сума прямує до нескінченості.

Вибираючи кожного разу роздільний елемент для методу гілок та меж, рішення приймається на основі декількох можливих варіантів і кожен з цих варіантів кількісно оцінюється декількома предикторами (незалежна змінна, прогнозуючий параметр).

Розглянемо застосування описаних вище варіантів алгоритмів кластеризації ситуацій для методу гілок та меж. Кластеризація проводиться на множині підзадач для того, щоб після реалізації одного кроку методу гілок та меж для розв'язку деякої підзадачі застосувати вибір того ж самого елементу. Для застосування звичайних алгоритмів кластеризації необхідно на множині підзадач вибрати метрику наступним чином: нехай X та Y множини, причому $n = |X \cap Y|$ та $N = |X \cup Y|$ – кількість елементів перетину та об'єднання даних множин відповідно. Отже, метрикою матимемо множину вигляду $Q(X, Y) = 1 - n/N$.

Аналогічно для визначення метрики на множині блоків підзадач розглянемо: нехай Z_1 – множина комірок матриці першої підзадачі, які мають значення 1, Z_2 – аналогічна множина для другої підзадачі, тоді в якості метрики утворимо множину $Q(Z_1, Z_2)$.

Отже, на основі розглянутого вище матеріалу, сформулюємо алгоритм, який описує запропонований підхід до задачі мінімізації булевих функцій для моделювання процесів, що не формалізуються, тобто до вершинної мінімізації кінцевих автоматів:

1. На першому кроці визначаємо задачу із списку підзадач, для якої обираємо роздільний елемент, а для отриманого елементу реалізовуємо один крок методу гілок та меж, причому алгоритм процесу вибору роздільного елементу для одного кроку метода гілок та меж теж є окремою задачею.

2. Другий крок пов'язаний з кластеризацією ситуацій. Спочатку, при формуванні лівої задачі, необхідно визначити, з якою саме правою задачею вона є спорідненою – визначаємо пару «ліва-права», при чому, якщо вибирається розв'язок (роздільний елемент) для однієї з них, то, по можливості, цей розв'язок використовується і в іншій. Даний алгоритм працює досить швидко, оскільки роздільний елемент вже обрано.

3. Даний крок дає можливість генерації чергового роздільного елементу. На відміну від кроку 1, такий елемент поки що не є роздільним ні для якої підзадачі та і сам алгоритм відповідної генерації є чітко залежним від конкретної задачі. Третій крок виконується за допомогою «жадібних» алгоритмів і випадкового вибору, причому він обов'язково дає результат.

4. Крок для допоміжної задачі, яка використовує метод гілок та меж лише для побудови максимально наближеної побудови (вибору) роздільного елементу. При такому виборі роздільний елемент (розв'язок) може не бути оптимальним, оскільки для подальшої роботи будуть потрібні всі можливі (потенційні) роздільні елементи. Даний крок є необхідним в зв'язку з тим, що запропоновані алгоритми дають кращі результати при досить великих розмірах, оскільки генерація всіх потенційних роздільних елементів не проводиться до виконання першого кроку алгоритму.

Слід відмітити, що запропонований алгоритм є досить зручним та практичним і при паралельній реалізації. При чому паралельна реалізація застосовується також і при виборі чергової підзадачі за різними критеріями [8, 9].

Висновки. При проведенні даного дослідження було визначено та розглянуто особливості мінімізації булевих функцій для моделювання процесів, що не формалізуються. В якості такої мінімізації було запропоновано розглянути мінімізацію кінцевих автоматів, оскільки, найпростішим комбінаційним автоматом можна вважати схемну реалізацію будь-якої булевої функції. Застосування НКА є досить актуальним при проведенні досліджень в соціоінженерії, оскільки, керування тут тісно пов'язано з базами даних великих розмірів. Також актуальним є практичне застосування різних варіантів евристичних алгоритмів мінімізації НКА великих розмірів. Виходячи із запропонованого алгоритму мінімізації, при отриманні оптимального способу керування також зручно використовувати поточний псевдооптимальний розв'язок, удосконалений шляхом застосування відповідної сукупності методів локального пошуку. Запропонований алгоритм вершинної мінімізації НКА дає можливість проведення чергового кроку методу гілок та меж, а також дозволяє налаштовувати пріоритетність складових, які впливають на керування в соціальній інженерії визначеної сфери.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пивнева С.В. Особенности применения математического аппарата минимизации недетерминированных конечных автоматов в оценке эффективности управления социоинженирингом / С.В. Пивнева, Н.В. Лада // Системи обробки інформації. - 2014. - Вип. 1. - С. 93-96.
2. Кузнецов М. Социальная инженерия и социальные хакеры [Электронный ресурс] / М. Кузнецов, И. Симдянов. – Режим доступа: http://hrazvedka.ru/book/socialnaya-inzheneriya.html.
3. Савельев А.Я. Прикладная теория цифровых автоматов. - М.: Высшая школа, 1987.-455 с.
4. Самофалов К.Г., Романкевич А.М., Валуйский В. Н., Каневский Ю. С., Линкевич М. М. Прикладная теория цифровых автоматов - К.: Вища шк. Главное изд-во, 1987, - 375 с.
5. Пивнева С.В.. Особенности применения мультиэвристического подхода для решения задач минимизации недетерминированных конечных автоматов / С.В. Пивнева // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил, 2014, випуск 1(38) – с. 154-157.
6. Баумгертнер С.В. Мультиэвристический подход к проблеме звёздно-высотной минимизации недетерминированных конечных автоматов / С.В. Баумгертнер, Б.Ф. Мельников, С.В. Пивнева // Математические и компьютерные методы в технических, гуманитарных и общественных науках: моногр. – Пенза: Изд-во Приволжский Дом знаний, 2011. – С. 101-112.
7. Melnikov B. Edge-minimization of non-deterministic finite automata / B. Melnikov. – The Korean Journal of Computational and Applied Mathematics. – 2001. – № 3. – P. 469–479.
8. Крайнюков Н.И. Вычисление конечно-автоматной сложности булевых функций как задача дискретной оптимизации / Н.И. Крайнюков, С.В. Пивнева // Вектор науки. – ТГУ, 2012. – № 4. – С. 30-54.
9. Рудницкий В.Н. Параллельная реализация процесса минимизации систем частично или полностью определенных булевых функций с большим числом переменных / В.Н. Рудницкий, С.В. Пивнева, С.В. Бурмистров // Вектор науки. – ТГУ, 2013. – № 4. – С. 55-59.

REFERENCES

1. Pivneva, S.V. Peculiarities of the application of the mathematical apparatus for minimizing nondeterministic finite automata in evaluating the effectiveness of socioengineering management / S.V. Pivnyova, N.V. Lada // Sistemi obrobki informatsii. - 2014. - Vip. 1. - P. 93-96.
2. Kuznetsov, M. Social Engineering and Social Hackers [Electronic resource] / M. Kuznetsov, I. Simdyanov. - Access mode: http://hrazvedka.ru/book/socialnaya-inzheneriya.html.
3. Savelev, A.Ya. Applied theory of digital automata. - M: Higher School, 1987.-455 p.
4. Samofalov, K.G., Romankevich, A.M., Valuisky, V.N., Kanevsky, Yu. S., Linkevich, M.M., Application theory of digital automata - K .: Vishcha shk. The main publishing house, 1987, - 375 p.
5. Pivneva, S.V. Peculiarities of the application of the multi-heuristic approach for solving problems of minimization of nondeterministic finite automata. S.V. Pivneva // Scientific Proceedings of the Kharkiv University of Air Forces, 2014, Issue 1 (38) - p. 154-157.
6. Baumgertner, S.V. A multi-heuristic approach to the problem of stellar-altitude minimization of nondeterministic finite automata. Baumgertner, B.F. Melnikov, S.V. Pivneva // Mathematical and computer methods in technical, humanitarian and social sciences: monogr. - Penza: Publishing house of the Privolzhsky House of Knowledge, 2011. - P. 101-112.
8. Krainyukov, N.I. Calculation of the finite-automaton complexity of Boolean functions as a discrete optimization problem / N.I. Krainyukov, S.V. Pivnyev // The Vector of Science. - TSU, 2012. - № 4. - P. 30-54.
9. Rudnitsky, V.N. Parallel implementation of the process of minimizing systems of partially or completely defined Boolean functions with a large number of variables. Rudnitsky, S.V. Pivneva, S.V. Burmistrov // Vector of science. - TSU, 2013. - № 4. - P. 55-59.

Implementation of vertex minimization of Boolean functions for modeling non-formalized processes

V. N. Rudnitsky, I. V. Myronets, V. G. Babenko, T. V. Myronyuk, S. V. Sysoienko

Abstract. In this study were identified and discusses the features of minimization of Boolean functions for modeling non-formalized processes. The minimization of finite automata was considered on the basis of vertex minimization. Proceeding from the proposed minimization algorithm, in obtaining the optimal control method, it is convenient to use the current pseudo-optimal solution, improved by applying the corresponding set of local search methods. The proposed algorithm for vertex minimization of finite automata makes it possible to carry out the next step of the method of branches and boundaries and also allows you to prioritize the components that affect the management of social engineering in a well-defined field.

Keywords: *minimization of Boolean functions, non-deterministic finite automaton, social engineering, modeling, non-formalized processes, heuristic algorithm.*

Реализация вершинной минимизации булевых функций для моделирования неформализованных процессов

В. Н. Рудницкий, И. В. Миронец, В. Г. Бабенко, С. В. Сысоенко

Аннотация. При проведении данного исследования были определены и рассмотрены особенности минимизации булевых функций для моделирования процессов, которые не формализируются. Было рассмотрено минимизацию конечных автоматов на основе вершинной минимизации. Исходя из предложенного алгоритма минимизации, при получении оптимального способа управления удобно использовать текущее псевдооптимальное решение, усовершенствованное путем применения соответствующей совокупности методов локального поиска. Предложенный алгоритм вершинной минимизации конечных автоматов дает возможность проведения очередного шага метода ветвей и границ, а также позволяет настраивать приоритетность составляющих, которые влияют на управление в социальной инженерии четко определенной сферы.

Ключевые слова: *минимизация булевых функций, недетерминированный конечный автомат, социоинженерия, моделирование, неформализованные процессы, эвристический алгоритм.*