

УДК 519.8

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ ЛОГИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ПАРАЛЛЕЛИЗАЦИИ В МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ

Урунбаев Э.¹, + Абдиروفиев Н.¹, Туримов Д.²

¹ Самаркандский государственный университет имени Шарафа Рашидова,
Самарканд, Узбекистан

² Университет Гачон, Соннам, Южная Корея

+ abdirofiyev.n@gmail.com

Аннотация. В данной исследовательской работе описывают разработку и применение методов распараллеливания для эффективного решения систем логических уравнений, в частности, в области медицинской диагностики. Основная статья представляет программный инструмент, использующий библиотеку PyTorch для быстрого и параллельного анализа логических связей между заболеваниями и их симптомами, формулируя эти связи в терминах булевой алгебры. Программа автоматизирует генерацию, решение и сохранение результатов этих систем, демонстрируя значительное ускорение вычислений благодаря использованию графических процессоров (GPU). Общая цель работы заключается в выявлении точных зависимостей симптомов от кардиологических заболеваний для поддержки принятия клинических решений. При решении этой задачи наиболее эффективным способом достижения ясности и логического обоснования мыслей является использование математического метода.

Ключевые слова: кардиологические заболевания, логическая функция, медицинская диагностика, симптомы болезней, система логических уравнений.

1 ВВЕДЕНИЕ

Логическая алгебра и булевы функции являются мощным инструментом для моделирования и выявления причинно-следственных связей между болезнями и их симптомами в области медицинской диагностики. Этот подход позволяет преобразовывать сложные диагностические задачи в системы логических уравнений, поддающиеся эффективному анализу.

Процесс научного изучения объектов или явлений начинается с выработки первоначальных предположений и гипотез об их свойствах и поведении. В этом процессе выдвигаются гипотезы о том, какие характеристики важны, в каких пределах эти характеристики могут изменяться и какими методами их можно измерить. Данные наблюдений, собранные посредством экспериментов, опытов и оценок специалистов, анализируются, и на их основе выявляются регулярные закономерности. Эти закономерности служат не только для систематизации существующих данных и их объяснения, но и позволяют открывать новые факты или прогнозировать результаты будущих экспериментов и экспертиз.

В научную статью [1] посвященную решению больших систем булевых уравнений (БСЛУ) и систем линейных логических уравнений (СЛЛУ), которые возникают в задачах логического проектирования, криптоанализа, распознавания образов и других областях информатики. Автор, А.Д. Закревский обсуждает, что эти задачи являются NP-трудными, требующими обширного перебора. В статье описаны комбинаторные методы, разработанные для повышения практической эффективности поиска решений, включая техники минимизации дерева поиска (перебор уравнений и перебор аргументов) и методы редукции (распространение констант, локальная редукция и силлогизмы). Также рассмотрены специальные методы для работы с СЛЛУ, включая поиск кратчайших решений в неопределенных системах и методы для решения несовместных систем, с акцентом на декомпозиционные и рандомизационные алгоритмы. Приведены результаты экспериментов, подтверждающие высокую эффективность предложенных методов.

Статья [2] посвящена разработке новых методов представления булевых функций, которые имеют ключевое значение для проектирования, тестирования и диагностики цифровых систем. В

частности, предлагаются новые разложения, обобщающие известные разложения Давио, путём использования операции минимизации на частично определённых булевых функциях, а не традиционных кофакторов. Эти разложения позволяют создавать новые графовые расширенные формы представления, такие как функциональные if-диаграммы решений, нацеленные на повышение эффективности в системах логического проектирования. Приводятся примеры, демонстрирующие, как новые разложения могут снизить стоимость представления функции (например, число литералов) по сравнению с минимальной дизъюнктивной нормальной формой. В статье также обсуждается условие ортогональности остаточных функций как механизм оптимизации представления функций.

Авторы [3] описывают методологию использования логических функций и систем логических уравнений для выявления скрытых связей между заболеваниями и их симптомами. Целью исследования является разработка программного обеспечения на основе объектно-ориентированного подхода для решения этой диагностической задачи, включая анализ реальных данных о воспалительных заболеваниях. Методы расчета высказываний имеют важное значение при описании процессов для изучения ряда важных областей, таких как биология, медицина, управление, при изучении их важных параметров не только количественно, но и их логических связей. Исследование проблем медицинской или технической диагностики объектов и явлений может быть выражено через системы логических уравнений и сведено к задаче их решения.

Статья [4] фокусируется на методе решения систем логических уравнений, подчеркивая, что эта тема вызывает трудности у школьников, готовящихся к Единому государственному экзамену (ЕГЭ) по информатике. В статье предлагается пошаговый метод, включающий анализ систем и использование таблиц истинности для нахождения закономерностей и количества решений.

В связи с появлением новых методов работы с информацией в процессе решения медицинских диагностических, лечебных, статистических и управленческих задач, а также развитием технологий сбора, хранения и упорядочения информации в базах данных и хранилищах, разработка точных методов анализа больших объемов информации и моделирования изучаемых объектов должна соответствовать современным требованиям [3-6].

В медицинских исследованиях в качестве исходных данных используется только набор наблюдений, состоящий из описаний объектов, предметов, ситуаций или процессов, при этом каждое отдельное наблюдение записывается как вектор значений специфических характеристик. Эти данные формируются в процессе сбора однотипной информации в различных областях и имеют простейшую, стандартизированную форму. Они в основном используются для обоснования принятия решений и для распознавания, классификации или диагностики состояний, событий, объектов или процессов. В качестве основных технологий и методов в медицинской диагностике можно использовать технологии и подходы, основанные на математической теории распознавания и классификации [6].

2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Моделирование причинно-следственных связей с помощью логической алгебры. Основной целью данного подхода является установление определенных связей между болезнями и их симптомами. Отношения между симптомами и болезнями представляются в виде функциональной таблицы, основанной на наборе дифференциально-диагностических признаков.

Связь между симптомами болезней и самими болезнями выражается на языке булевой алгебры. Композиционные утверждения о причинно-следственных связях между симптомами и болезнями служат основой для моделирования системы логических уравнений.

Допустим, существует набор скрытых факторов (заболеваний) и видимых результатов (симптомов), а также выводы, связывающие факторы и результаты. Основываясь на этих выводах, необходимо определить возможные факторы (заболевания пациента), которые их вызвали, на основе представленного набора результатов (симптомы, наблюдаемые у пациента). Предположим, что имеется m симптомов S_1, S_2, \dots, S_m и n заболеваний D_1, D_2, \dots, D_n . Рассмотрим следующие булевы переменные ($i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$):

$$y_i = \begin{cases} 1, & \text{если у больного обнаружен } i\text{-й симптом,} \\ 0, & \text{противном случае,} \end{cases} \quad (1)$$

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{если у больного обнаружен } j\text{-е заболевание,} \\ 0, & \text{противном случае,} \end{cases} \quad (2)$$

вает большое количество возможных решений одновременно (параллельные вычисления), используя параметр `batch_size` для эффективного использования памяти. Это позволяет ускорить вычисления, особенно при использовании возможностей графических процессоров (GPU) через библиотеку CUDA, что дает значительное преимущество при обработке больших объемов данных.

Основные функции программы:

1. Чтение входных данных:
 - программа считывает введенные пользователем переменные (x и y);
 - считываются соответствующие переменные: имена симптомов и названия болезней;
 - считывается система логических уравнений из файла.
2. Создание таблицы отношений:
 - программа позволяет пользователю определить связи (значения 0 или 1) между переменными (симптомами x и болезнями y);
 - функция `create_table` создает файл "jadval.txt", в котором пользователь определяет эти отношения.
3. Генерация системы логических уравнений:
 - функция `generate_equations` автоматически генерирует систему логических уравнений на основе введенной таблицы;
 - логические выражения преобразуются в тензоры PyTorch.
4. Обработка и параллельные вычисления:
 - программа использует библиотеку PyTorch для преобразования логических выражений в тензоры, что позволяет осуществлять параллельные вычисления;
 - тензоры PyTorch, которые функционируют как многомерные массивы, используются для хранения числовых данных и выполнения математических операций;
 - тензоры могут обрабатываться на CPU или GPU (через CUDA), что значительно ускоряет параллельные вычисления, особенно при работе с большими объемами данных;
 - в процессе поиска решения (`solve`) все возможные комбинации решений (где n – количество переменных) делятся на пакеты (`batch_size`) и проверяются параллельно.
5. Решение системы:
 - метод `solve` вычисляет все возможные решения системы логических уравнений.
6. Сохранение результатов:
 - программа сохраняет полученные решения в CSV-файл;
 - результаты вычислений сохраняются в двух отдельных текстовых файлах ("javob1.txt" и "javob2.txt");
 - метод `write_to_files` сохраняет решения в удобной для пользователя форме.

Дополнительные функции и возможности:

- автоматизация – пользователю требуется ввести только входные данные; остальные процессы (генерация, решение и сохранение уравнений) выполняются автоматически;
- гибкость и расширяемость – модульная структура упрощает добавление новых функций. Программа обладает гибкостью, позволяя решать различные типы логических уравнений (систем);
- взаимодействие с пользователем – программа обеспечивает взаимодействие через основную функцию, упрощающую ввод количества переменных, их имен и таблицы;
- интеграция – программа может использовать стандартизированные форматы, такие как DIMACS, что облегчает интеграцию с другими решениями SAT (проблема выполнимости булевых формул).

4 МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ И АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

В контексте медицинской диагностики логические уравнения используются для определения причин на основе представленного набора следствий (симптомов, наблюдаемых у конкретного пациента).

Логический метод распознавания объектов включает в себя эталонную таблицу, состоящую из логических признаков и непересекающихся классов объектов. Эти классы объектов задаются как векторы из заданного пространства признаков. Метод рассматривает эталонную таблицу как логическую функцию, которая определена не везде. Основная идея заключается в построении оптимального продолжения этой логической функции на всё пространство признаков. Это позволяет расширить классы на всё пространство признаков.

Тестовый пример. Рассмотрим метод решения диагностической задачи в области кардиологии. Введем следующие обозначение:

y_1 – ишемическая болезнь сердца; y_2 – инфаркт миокарда; y_3 – аритмия; y_4 – предсердная фибрилляция; y_5 – заболевание сердечных клапанов; x_1 – учащенное сердцебиение; x_2 – головокружение; x_3 – нестабильный пульс; x_4 – тошнота; x_5 – давление; x_6 – потеря сознания.

Составляем таблицу связи между симптомами и заболеваниями.

Таблица 2. Соотношение между кардиологическими заболеваниями и симптомами, выявленное с помощью обследований

Заболевание / Симптом	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5
x_1	+	-	+	+	+
x_2	+	+	+	+	+
x_3	+	+	+	-	+
x_4	+	+	-	-	-
x_5	-	+	-	+	-
x_6	-	-	+	+	-

На основе таблицы 2 формируется система логических уравнений, состоящая из 14 переменных. Составляем систему логических уравнений от 11 переменных.

$$\begin{aligned}
 f_1 &= (x_1 \rightarrow (y_1 \vee y_3 \vee y_4 \vee y_5)); & g_1 &= (x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge x_4 \leftrightarrow y_1); \\
 f_2 &= (x_2 \rightarrow (y_1 \vee y_2 \vee y_3 \vee y_4 \vee y_5)); & g_2 &= (x_2 \wedge x_3 \wedge x_4 \wedge x_5 \leftrightarrow y_2); \\
 f_3 &= (x_3 \rightarrow (y_1 \vee y_2 \vee y_3 \vee y_5)); & g_3 &= (x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge x_6 \leftrightarrow y_3); \\
 f_4 &= (x_4 \rightarrow (y_1 \vee y_2)); & g_4 &= (x_1 \wedge x_2 \wedge x_5 \wedge x_6 \leftrightarrow y_4); \\
 f_5 &= (x_5 \rightarrow (y_2 \vee y_4)); & g_5 &= (x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \leftrightarrow y_5). \\
 f_6 &= (x_6 \rightarrow (y_3 \vee y_4)).
 \end{aligned} \tag{4}$$

Решение системы уравнений (4) представляются в виде таблицы $T_{(k,m+n)}$. Первые m столбцов соответствуют наличию симптомов x_1, x_2, \dots, x_m , а остальные n столбцов – наличию болезней. k – количество полученных решений. То есть,

$$\begin{aligned}
 T_{i,j} &= \begin{cases} 1, & \text{если у больного обнаружен } i\text{-й симптом;} \\ 0, & \text{противном случае;} \end{cases} \\
 (i=1, \dots, k; j=1, \dots, m), \\
 T_{i,s} &= \begin{cases} 1, & \text{если у больного обнаружен } j\text{-е заболевание;} \\ 0, & \text{противном случае;} \end{cases} \\
 (i=1, \dots, k; s=m+1, \dots, m+n).
 \end{aligned} \tag{5}$$

Теперь, чтобы определить, какая комбинация симптомов может возникнуть при заболевании s , нам нужно вывести все столбцы $T_{i,j} = 1$ при $T_{i,s} = 1$. При составлении таблицы истинности диагностическая задача заключается в применении выявленной зависимости к конкретному пациенту. При определении решений системы (4) нас интересуют только те решения, для которых соответствующее значение x равно 1 для всех симптомов, наблюдавшихся у исследуемого пациента. В таблице 3 приведены результаты, полученные при решении системы уравнений (4) с помощью разработанного программного обеспечения [3].

Анализируются решения, полученные в результате решения системы уравнений (4) с использованием алгоритма классификации. Решения поставленной задачи требуют определения причин, которые могут их вызвать (болезнь пациента), на основании представленного набора последствий (симптомы, наблюдаемые у конкретного пациента) на основе Таблицы 3.

Отсюда следует, что при заболевании

y_1 – заболевание – наблюдается с симптомами – (x_1, x_2, x_3, x_4) или $(x_1, x_2, x_3, x_4, x_6)$ или $(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$ или $(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$;

y_2 – заболевание – наблюдается с симптомами – (x_2, x_3, x_4, x_5) или $(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$ или $(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$;

y_3 – заболевание – наблюдается с симптомами – (x_1, x_2, x_3, x_6) или $(x_1, x_2, x_3, x_5, x_6)$ или $(x_1, x_2, x_3, x_4, x_6)$ или $(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$;

y_4 – заболевание – наблюдается с симптомами – (x_1, x_2, x_5, x_6) или $(x_1, x_2, x_3, x_5, x_6)$ или $(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$;

y_5 – заболевание – наблюдается с симптомами – (x_1, x_2, x_3) или (x_1, x_2, x_3, x_6) или $(x_1, x_2, x_3, x_5, x_6)$ или (x_1, x_2, x_3, x_4) или $(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$ или $(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$;

Таблица 3. Соответствующие решения системы уравнений

x1	x2	x3	x4	x5	x6	y1	y2	y3	y4	y5
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0
1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1
1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1
1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1
1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1
1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Результаты, представленные в таблице 3, показывают, что при всех заболеваниях, наряду со специфическими симптомами, встречаются случаи проявления и других симптомов. В таких случаях для диагностики заболевания требуются дополнительные исследования.

5 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в данной исследовательской работе рассмотрен метод определения связи кардиологических заболеваний с сопутствующими симптомами. Статья посвящена разработке и внедрению параллельных методов для решения систем логических уравнений, полученных из логических функций. Основная задача исследования состояла в том, чтобы выявить четкие связи между заболеваниями и их симптомами. Решение и анализ этих систем логических уравнений позволили описать зависимость признаков (симптомов) заболеваний от самих заболеваний.

На основе составления композитного рассуждения о причинно-следственной связи между кардиологическими заболеваниями и симптомами была смоделирована система логических уравнений. Решая систему логических уравнений и анализируя результаты решения, на примере кардиологических заболеваний выявлена зависимость симптомов от этих заболеваний.

Ключевым результатом работы является разработка программного средства, обеспечивающего эффективное и гибкое решение для параллельного решения систем логических уравнений. Программа использует логическую алгебру для представления взаимосвязей между заболеваниями и симптомами. Таким образом, разработанный программный инструмент эффективен и гибок при обработке больших объемов данных и может применяться в различных областях, включая научные исследования, инженерию и искусственный интеллект.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Закревский А.Д.* Решение больших систем логических уравнений. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2009. С.96.
- [2] *Прихожий А. А.* Новые разложения булевых функций по операции исключающее или в системах логического проектирования //Системный анализ и прикладная информатика. – 2014. – №. 1-3. – С. 9-16.
- [3] *Abdirofiyev N.* Logical model and software for determining the relationship between symptoms of diseases and diseases //Scientific journal of Samarkand University. – 2025. – Т. 1. – №. 162. – С. 5-12.
- [4] *Фирсова С.А.* Метод решения система логических уравнений. // Вестник Таганрогского института им. А.П. Чехова. 2020, № 2.

- [5] Дюкова Е.В., Журавлев Ю.И. Дискретный анализ признаков описаний в задачах распознавания многомерных объектов. // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2000, Т. 40, № 8, С.1264–1278.
- [6] *Abdirofiyev N., Adilova D.* Logical method for determining the connection between symptoms and diseases // AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2024. – Т. 3244. – №. 1. – С. 030051. <https://doi.org/10.1063/5.0241440>.
- [7] Катериночкина Н.Н., Королева З.Э., Мадатян Х.А., Платоненко И.М. Методы решения булевых уравнений. – М.: Верховный Совет РАН, 1988. – 22 с.
- [8] Левченко В.С. Булевы уравнения в алгебре логики и теории множеств. // Вестник вычислительной математики и кибернетики Московского университета. № 15, 1999, № 3. С. 17–20.
- [9] Урунбаев Э., Байжуманов А., Бердимуродов М. Реализация алгоритма построения корректора многозначных логических функций. // Международная конференция по информатике и коммуникационным технологиям (ICISCT), 2022, Ташкент, Узбекистан, 2022, с. 1–5, doi: 10.1109/ICISCT55600.2022.10146968.
- [10] Кабулов А., Урунбаев Э., Ашууров А. Логический метод построения оптимального корректора нечётких эвристических алгоритмов. // Международная конференция по информационным наукам и коммуникационным технологиям (ICISCT), 2019, Ташкент, Узбекистан, 2019, с. 1-4, doi: 10.1109/ICISCT47635.2019.9011906
- [11] Бадагиева, Е.З. Решение систем логических уравнений с опорой на построение таблицы истинности // Информатика в школе. – 2017. – №4(127). – С. 40 – 45.
- [12] Балабанов, А.А., Орлова, Д.А. Решение систем логических уравнений на основе совместного применения рекуррентного метода и теоретико-множественного подхода // Электронные информационные системы. – 2015. – №3(6). – С. 76 – 89.
- [13] Бушмелева, Н.А. Решение систем логических уравнений методом отображений // Педагогическое искусство. – 2018. – №2. – С. 29 – 32.
- [14] Криветченко, О.В. Типологизация методов решения систем логических уравнений информационные технологии в прикладных исследованиях // Информационные технологии в прикладных исследованиях. Сборник научных трудов. – Новосибирск, 2013. – Выпуск 3. – С. 249 – 267.

Поступила в редакцию 06.06.2025

Цитирование: Урунбаев Э., Абдиروفиев Н., Туримов Д. (2025). Методы решения систем логических уравнений с использованием технологии параллелизации в медицинской диагностике. *Международный журнал теоретических и прикладных вопросов цифровых технологий*, 8(3), –С. 142-148. <https://doi.org/10.62132/ijdt.v8i3.297>.

METHODS FOR SOLVING SYSTEMS OF LOGICAL EQUATIONS USING PARALLELIZATION TECHNOLOGY IN MEDICAL DIAGNOSTICS

Urunbaev E.¹, Abdirofiyev N.¹, Turimov D.²

¹ Samarkand State University named after Sharaf Rashidov, Samarkand, Uzbekistan

² Gachon University, Seongnam, Republic of Korea

Abstract. In this research paper, the development and application of parallelization techniques for the efficient solution of systems of logical equations, particularly in the field of medical diagnostics, are described. The primary article presents a software tool that leverages the PyTorch library for rapid and parallel analysis of logical relationships between diseases and their symptoms, formulating these relationships in terms of Boolean algebra. The program automates the generation, solution, and storage of results for these systems, demonstrating significant computational acceleration through the utilization of graphical processing units (GPUs). The overarching objective of the study is to identify precise dependencies of symptoms on cardiological diseases to support clinical decision-making. In addressing this challenge, the most effective approach to achieving clarity and logical substantiation of reasoning is through the application of mathematical methods.

Keywords: cardiac diseases, disease symptoms, logical function, medical diagnostics, system of logical equations.