

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» (НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ, НГУ)

Кафедра общей информатики

Г. К. Кантеров

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНАЛИЗА ФОРМАЛЬНЫХ ПОНЯТИЙ ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ
ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ ЭЭГ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ
ЧЕЛОВЕКА

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

по направлению высшего профессионального образования

230100.68 ИНФОРМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

ФАКУЛЬТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Тема диссертации утверждена распоряжением по НГУ №__ от «__» _____ 201__ г.
Тема диссертации скорректирована распоряжением по НГУ №__ от
«__» _____ 2013г.

Руководитель

Д. Е. Пальчунов
д.ф.-м.н., профессор

Новосибирск, 2013г.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» (НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ, НГУ)

Кафедра общей информатики

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой Пальчунов Д. Е.

.....
(подпись, дата)

ЗАДАНИЕ

на магистерскую диссертацию

студент Кантеров Глеб Константинович

факультета ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Направление подготовки 230100.68 ИНФОРМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ
ТЕХНИКА

Магистерская программа: Технология разработки программных систем

Тема: Использование анализа формальных понятий для установления зависимости между
ЭЭГ и физиологическими параметрами человека

Цели работы: Исследовать применимость анализа формальных понятий для установления
зависимости между показателями ERSP, полом и уровнем тревожности человека

Руководитель

Пальчунов Д. Е.

д.ф.-м.н., профессор

.....
(подпись, дата)

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	4
1 Анализ формальных понятий: основные понятия	6
2 Обзор текущего состояния	9
3 Постановка задачи	10
4 Критерий для определения уровня тревожности	11
4.1 Шкалирование	12
4.2 Решение проблем производительности	13
4.3 Критерия для определения уровня тревожности	13
4.4 Прочие наблюдения	15
5 Библиотека jлcm	16
5.1 Производительность	16
5.2 Распространение	16
Заключение	17
Список литературы	18
Приложение А	20

ВВЕДЕНИЕ

Анализ формальных понятий (АФП) – алгебраическая дисциплина, представляющая собой прикладную ветвь теории решеток. Анализ формальных понятий применим для исследования данных, представленных в виде набора объектов и их свойств. Отличительной особенностью данного метода является то, что с его помощью можно в автоматическом режиме выделять схожие по признакам группы объектов и взаимосвязи между этими группами. Формальные понятия позволяют перевести обработку данных на новый уровень абстракции. Работа идет не с отдельными объектами, а с взаимосвязанными группами.

Электроэнцефалография – метод исследования головного мозга, путем фиксации его биоэлектрической активности, которая зависит от физиологического состояния человека. Анализ электроэнцефалограммы (ЭЭГ) применяется для диагностики многих заболеваний, среди которых эпилепсия, энцефалопатия и другие неврологические и психические заболевания, а так же при изучении деятельности головного мозга, связанной с реализацией таких функций как восприятие, память, адаптация и т.д.

Для выделения на ЭЭГ значимых признаков ее подвергают анализу, специалистом выделяются следующие характеристики: частота колебаний, максимальная амплитуда колебаний, фаза колебаний. При анализе обычно выделяется несколько частотных полос, которые выражены наиболее ярко. Это связано с ограниченностью возможностей восприятия при визуальном анализе ЭЭГ специалистом.

Одной из характеристик мозговой активности, основанных на электроэнцефалограмме, являются связанные с событием спектральные пертурбации (ERSP). Данная характеристика отражает функциональные изменения в мозговой активности под воздействием внешнего раздражителя. Для вычисления показателя ERSP, используется электроэнцефалограмма, записанная до и после раздражителя [9].

В рамках данной работы требовалось установить применимость анализа формальных понятий для автоматизированного установления зависимостей между ЭЭГ и физиологическими параметрами человека. Для этого было предложено установить зависимость между ERSP, полом и уровнем тревожности, с использованием анализа формальных понятий. В данной работе использовались данные, собранные для работы «Effect of trait anxiety and gender on EEG in eyes open and closed conditions», куда в числе прочего были включен полученный результат [5].

В результате была установлена зависимость уровня тревожности человека от показателей ERSP в верхней левой лобной доле коры головного мозга и пола человека, сформулирован критерий для определения уровня тревожности. Полученный критерий понятен и согласуется с представлениями физиологов об устройстве коры головного мозга.

Подход, описанный в данной работе, не использует специфичные знания о природе

показателя ERSP и гипотез о том, как он связан с искомым физиологическим параметром, поэтому есть основание полагать, что он может быть использован для установления зависимости между другими измеряемыми величинами и физиологическими параметрами человека.

1 Анализ формальных понятий: основные понятия

Определение 1 (Отношение частичного порядка). Бинарное отношение \leq на множестве X называется отношением частичного порядка, если имеют место:

- а. Рефлексивность: $\forall x, (x \leq x)$;
- б. Транзитивность: $\forall x, y, z (x \leq y \wedge y \leq z \Rightarrow x \leq z)$;
- в. Антисимметричность: $\forall x, y (x \leq y \wedge y \leq x \Rightarrow x = y)$.

Определение 2 (Частично упорядоченное множество). Пусть X , на котором введено отношение частичного порядка \leq . Тогда (X, \leq) называется частично упорядоченным множеством.

Определение 3 (Соответствие Галуа между частично упорядоченными множествами). Пусть (X, \leq_X) и (Y, \leq_Y) – частично упорядоченные множества. Тогда пара отображений $\phi : X \rightarrow Y$ и $\psi : Y \rightarrow X$ называются соответствиями Галуа между частично упорядоченными множествами (X, \leq_X) и (Y, \leq_Y) , если для любых $x_{1,2} \in X, y_{1,2} \in Y$ выполнено:

- а. $x_1 \leq_X x_2 \Rightarrow \phi(x_2) \leq_Y \phi(x_1)$;
- б. $y_1 \leq_Y y_2 \Rightarrow \psi(y_2) \leq_X \psi(y_1)$;
- в. $x_1 \leq_X \psi(\phi(x_1))$;
- г. $y_1 \leq_Y \phi(\psi(y_1))$.

Определение 4 (Решетка). Пусть X множество, \wedge и \vee – бинарные операции на X . Для любых $x, y, z \in X$ выполнено:

- а. Идемпотентность: $x \wedge x = x, x \vee x = x$;
- б. Коммутативность: $x \wedge y = y \wedge x, x \vee y = y \vee x$;
- в. Ассоциативность: $(x \wedge y) \wedge z = x \wedge (y \wedge z), (x \vee y) \vee z = x \vee (y \vee z)$;
- г. Поглощение: $x \wedge (x \vee y) = x, x \vee (x \wedge y) = x$.

Тогда (X, \wedge, \vee) – решетка.

Определение 5 (Формальный контекст). Формальный контекст \mathbb{K} есть тройка (G, M, I) , где G – конечное множество, называемое множеством объектов, M – конечное множество, называемое множеством признаков, $I \subseteq G \times M$ – бинарное отношение.

Замечание 1. Отношение I означает: если gIt , то объект g обладает признаком t .

Для формального контекста $\mathbb{K} = (G, M, I)$ и произвольных $A \subseteq G, B \subseteq M$ определена пара отображений:

$$A' = \{m \in M \mid gIm \quad \forall g \in A\}$$

$$B' = \{g \in G \mid gIm \quad \forall m \in B\}$$

A' и B' задают соответствие Галуа между частично упорядоченными множествами $(2^G, \subseteq)$ и $(2^M, \subseteq)$. $(\cdot)''$ – оператор замыкания, т.е для произвольного $A \subseteq G (A \subseteq M)$ имеет место:

- а. Экстенсивность: $A \subseteq A''$;
- б. Идемпотентность: $A''' = A''$;
- в. Изотонность: $A \subseteq C \Rightarrow A'' \subseteq C$.

Множество A называют замкнутым, если $A'' = A$.

Определение 6 (Формальное понятие). Пусть $\mathbb{K} = (G, M, I)$ – формальный контекст, $(A, B) \mid A \subseteq G, B \subseteq M$. Тогда пара (A, B) – формальное понятие. Множество A называется объемом понятия, B – содержанием понятия.

Подмножества произвольного множества, замкнутые относительно заданной на нем операции замыкания, образуют полную решетку [1].

Очевидно, что объем и содержание произвольного формального понятия являются замкнутыми множествами. Множество всех понятий формального контекста \mathbb{K} образует полную решетку [2].

Множество формальных понятий контекста $\mathbb{K} = (G, M, I)$ будем обозначать $\mathfrak{B}(G, M, I)$.

Определение 7 (Ассоциативное правило). Пусть $\mathbb{K} = (G, M, I)$ – формальный контекст, $A, B \subseteq M, A \cap B = \emptyset$. Выражение $A \rightarrow B$ называется ассоциативным правилом.

Поддержкой (*support*) ассоциативного правила называется величина:

$$supp(A \rightarrow B) = \frac{|(A \cup B)'|}{|G|}$$

Достоверностью (*confidence*) ассоциативного правила называется величина:

$$conf(A \rightarrow B) = \frac{|(A \cup B)'|}{|A'|}$$

Определение 8 (Многозначный формальный контекст). *Многозначный формальный контекст \mathbb{K} есть четверка (G, M, W, J) , где G – множество объектов, M – множество признаков, W – множество значений признаков, J – тернарное отношение однозначно задающее значение w признака m .*

$$(g, m, w) \in J \wedge (g, m, v) \in J \Rightarrow v = w$$

Многозначные признаки можно рассматривать как отображение $G \rightarrow W$, $m(g) = w \Leftrightarrow (g, m, w) \in J$

Определение 9 (Шкала). *Шкала для признака m многозначного контекста $\mathbb{K} = (G, M, W, J)$ есть однозначный контекст $\mathbb{S}_m = (G_m, M_m, I_m)$ такой, что $m(G) \subseteq G_m$. Объекты в шкале называются значениями шкалы, а признаки – признаками шкалы.*

Любой многозначный контекст можно привести к однозначному при помощи процедуры шкалирования (scaling). Для этого каждый признак многозначного контекста представляется формальный контекстом, называемым шкалой (scale). Возможные виды шкалирования рассмотрены в [2].

2 Обзор текущего состояния

Анализ формальных понятий имеет широкое применение в таких областях как медицина, психология, социология, лингвистика, археология, антропология, биология, химия, информационные технологии, разработка программного обеспечения, разработке компьютерных игр и даже самой математике [3, 13].

Ассоциативные правила устанавливают связи между группами объектов. Впервые задача поиска ассоциативных правил (association rule mining) была предложена для нахождения типичных шаблонов покупок, совершаемых в супермаркетах, поэтому иногда ее называют анализом рыночной корзины (market basket analysis) [7].

Методы анализа формальных понятий применяются для уменьшения числа ассоциативных правил, для того, чтобы их было проще анализировать [8].

ЭЭГ применяется для автоматической диагностики таких заболеваний как эпилепсия, болезнь Альцгеймера. Для этого применяется кластерный анализ, k -средних, дискриминантный анализ, метод главных компонент и искусственные нейронные сети [4].

Исходя из отсутствия релевантных результатов в выдаче поисковой системы Google по запросу «formal+concept+analysis eeg», есть основание полагать, что ранее АФП не применялся для анализа ЭЭГ.

3 Постановка задачи

Требовалось установить применимость анализа формальных понятий для установления зависимости между ЭЭГ и физиологическими параметрами человека. Была рассмотрена задача определения уровня тревожности человека по ERSР и полу человека. Для этого использовались данные, подготовленные в рамках работы «Effect of trait anxiety and gender on EEG in eyes open and closed conditions» [5].

Данные были получены для сорока человек в возрасте от 19 до 33 лет, не страдавших неврологическими или психологическими заболеваниями. Значения ERSР были вычислены на основании шести интервалов ЭЭГ, записанных для трех периодов с закрытыми и трех периодов с открытыми глазами, по две минуты каждый. Затем они были усреднены для семи областей коры головного мозга, в семи частотных диапазонах. Для каждого испытуемого известен пол и уровень тревожности.

4 Критерий для определения уровня тревожности

Полученные данные были нормализованы и загружены в реляционную базу данных MSSQL (Рис. 1).

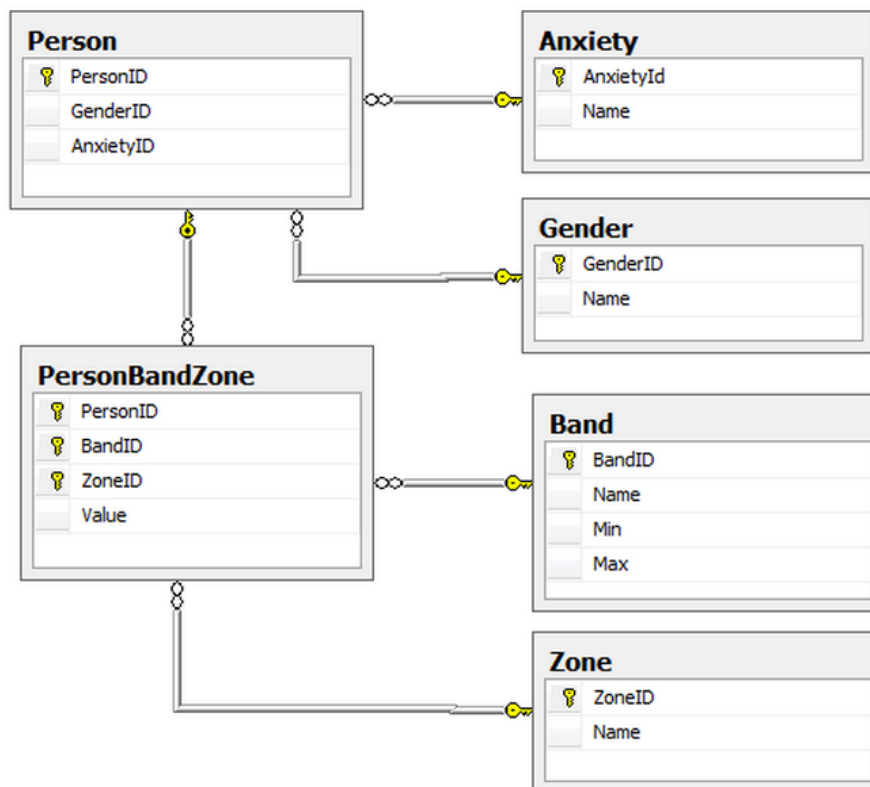


Рис. 1: Схема базы данных

На основе полученных данных был построен многозначный формальный контекст $\mathbb{K} = (G, M, W, J)$. Множество объектов G представлено в строками таблице *Person*. Множество признаков M : пол, уровень тревожности и 49 признаков, соответствующих значениям ERSР в 7 частотных диапазонах, в 7 различных областях коры головного мозга. Отношение J для пола и тревожности задается внешними ключами *GenderID* и *AnxietyID*, для значений ERSР используется пара внешних ключей *BandID* и *ZoneID*.

Таблица 1: Признаки пола и уровня тревожности

Признак	Внешний ключ	Значения
Пол	<i>GenderID</i>	мужской, женский
Уровень тревожности	<i>AnxietyID</i>	низкий, высокий

Таблица 2: Признаки, соответствующие значениям ERSР в различных частотных диапазонах, различных областей коры головного мозга, представленные в виде пары (*BandID*, *ZoneID*)

Частотный диапазон \ Область	Левая лобная	Средняя лобная	Правая лобная	Левая височная	Центральная	Правая височная	Затылочно-теменная
дельта (2 – 4 Hz)	(1, 1)	(1, 2)	(1, 3)	(1, 4)	(1, 5)	(1, 6)	(1, 7)
тэта (4 – 7 Hz)	(2, 1)	(2, 2)	(2, 3)	(2, 4)	(2, 5)	(2, 6)	(2, 7)
альфа (8 – 12 Hz)	(3, 1)	(3, 2)	(3, 3)	(3, 4)	(3, 5)	(3, 6)	(3, 7)
бэта ₁ (12 – 16 Hz)	(4, 1)	(4, 2)	(4, 3)	(4, 4)	(4, 5)	(4, 6)	(4, 7)
бэта ₂ (16 – 20 Hz)	(5, 1)	(5, 2)	(5, 3)	(5, 4)	(5, 5)	(5, 6)	(5, 7)
бэта ₃ (20 – 25 Hz)	(6, 1)	(6, 2)	(6, 3)	(6, 4)	(6, 5)	(6, 6)	(6, 7)
гамма (25 – 35 Hz)	(7, 1)	(7, 2)	(7, 3)	(7, 4)	(7, 5)	(7, 6)	(7, 7)

4.1 Шкалирование

Для приведения многозначного контекста к однозначному использовалась номинальная шкала (*nominal scale*). Пол и уровень тревожности естественным образом представляются в виде четырех признаков. Значения ERSР представляют собой континуальные величины, для каждой пары (*BandID*, *ZoneID*) значениями шкалы являлось разбиение диапазона, в который попадают значения ERSР на отрезки длиной в 0,5. Значение 0,5 выбиралось исходя из того, чтобы в большинство отрезков попадало ноль или не менее четырех человек. Так же для значений ERSР имеет место использование порядковой шкалы (*ordinal scale*), но экспериментально было установлено, что в этом случае результат получить не удастся, что вероятно связано с тем, что зависимость тревожности от значений ERSР немонотонная. Двухнаправленная порядковая шкала (*interordinal scale*) не подходила из-за проблем с производительностью, вызванных большим числом признаков в контексте.

Таким образом был получен однозначный контекст с 40 объектами и 784 признаками.

4.2 Решение проблем производительности

В работе использовалась программная библиотека с реализацией алгоритмов анализа формальных понятий `conexp-clj` [10], которая запускалась на персональном компьютере Intel Core i5 с 8 Гб. ОЗУ. Такая конфигурация не позволяла за разумное время произвести требуемые вычисления, поэтому было решено уменьшить объем обрабатываемого контекста.

Исходя из особенностей коры головного мозга, было основание полагать, что тревожность может быть в разной степени связана с показателями ЭЭГ в различных областях коры головного мозга. Было проанализировано насколько сильно отличаются средние значения ERSР в различных областях и частотных диапазонах с у людей с высоким и низким уровнем тревожности. Для этого для каждой тройки (*BandID*, *ZoneID*, *AnxietyID*) было подсчитано среднее значение ERSР, а затем подсчитан модуль разности между средними значениями для различных уровней тревожности. В результате значения модуля для левого лобной области коры головного мозга оказались приблизительно на порядок больше, чем в других областях. На основании этого было решено оставить в формальном контексте только левую лобную область, что позволило снизить число признаков почти в семь раз.

4.3 Критерия для определения уровня тревожности

Для того, чтобы сформулировать критерий определения уровня тревожности по показателям ERSР из формального контекста был построен базис ассоциативных правил Люксембургера [6]. При помощи аксиом Армстронга из данного базиса могут быть получены все другие ассоциативные правила. За счет этого удалось исключить из рассмотрения часть ассоциативных правил [8]. При построении базиса в качестве достоверности (*support*) было использовано значение 70%, поддержка (*confidence*) была равна 8%. Значение поддержки и достоверности выбирались исходя из того, что посчиталось, что репрезентативное правило должно поддерживаться минимум тремя испытуемыми ($\geq 8\%$), при этом достоверность два из трех не является достаточной ($> 66\%$), достоверность три из четырех была принята как достаточная ($= 76\%$).

Для того, чтобы увеличить достоверность полученных правил над базисом ассоциативных правил было проведено следующее преобразование. Пусть в базисе есть правила $\mathbb{R}_1 : A_1 \rightarrow B_1$ и $\mathbb{R}_2 : A_2 \rightarrow B_2$ и выполняются следующие свойства:

- а. если в левой части правил есть пол, то он совпадает;
- б. в правой части правил находится только уровень тревожности, и он совпадает;
- в. все интервалы, в которые попадают значения ERSР, представленные в левой части правила \mathbb{R}_1 , имеют общую границу с соответствующим интервалом правила \mathbb{R}_2 , и

наоборот;

- г. при объединении интервалов левых частей правил, у полученного правила поддержка выше 70%.

Тогда имеет место правило $\mathbb{R}_0 : A_0 \rightarrow B_0$, полученное объединением правил \mathbb{R}_1 и \mathbb{R}_2 . В результате получились следующие правила:

Таблица 3: Правила, полученные в результате преобразований

#	supp, conf	левая часть					правая часть
		delta	alpha	beta ₁	beta ₃	пол	
\mathbb{S}_1	5, 80%		$[-2.4, -1.9)$			м.	выс.
\mathbb{S}_2	5, 80%			$[-0.4, 0.1)$		ж.	выс.
\mathbb{S}_3	5, 80%	$[4.4, 5.1)$					низ.
\mathbb{S}_4	9, 89%			$[-0.9, -0.4)$			низ.
\mathbb{S}_5	6, 83%				$[-0.6, -0.1)$	м.	низ.

Для получения правил с большой поддержкой, они были сгруппированы по правым частям, из левых частей были построены дизъюнкции. В результате были получены 2 составных правила приведенных в Табл. 4.

Таблица 4: Составные правила, полученные группировкой правил из Табл. 3

#	supp, conf	левая часть (или)					правая часть
		1	2	3	4	5	
\mathbb{C}_1	10, 80%	✓	✓				выс.
\mathbb{C}_2	15, 80%			✓	✓	✓	низ.

Так как уровень тревожности может быть либо низкий, либо высокий, общее правило можно сформулировать следующим образом:

- если выполнена левая часть составного правила \mathbb{C}_1 , и не выполнена левая часть составного правила \mathbb{C}_2 , то тревожность высокая;
- если выполнена левая часть составного правила \mathbb{C}_2 , и не выполнена левая часть составного правила \mathbb{C}_1 , то тревожность низкая;
- иначе критерий неприменим.

Критерий оказался применим к 23 из 40 испытуемых, при этом точность составила 19/23. Среди 23 испытуемых, к которым применим критерий:

- у 13 верно определилась низкая тревожность;

- у 4 ошибочно определилась низкая тревожность;
- у 6 верно определилась высокая тревожность.

Результаты визуализированы на Рис. 2

4.4 Прочие наблюдения

Так же удалось установить зависимость между показателями ERSР и полом человека, но данный результат не является практически значимым, потому что существуют более точные методы для установления пола испытуемого. Кроме того исходя из исходных данных наблюдается, что женщины более склонны к высокому уровню тревожности.



Рис. 2: Результаты применения критерия для определения уровня тревожности по показателям ERSР и полу человека

5 Библиотека `jлcm`

В ходе работ по формированию критерия для определения уровня тревожности выяснилось, что ни одна из рассмотренных библиотек для виртуальной машины Java (JVM) не обладала достаточным уровнем производительности. В частности, для работы по Дергачева Д. В. требовалось найти множество формальных понятий, включающих минимум 100 объектов для формального контекста, содержащего порядка $1.5 \cdot 10^6$ объектов и 500 свойств. Существует эффективная реализация алгоритма Linear time Closed item set Miner (*LCM*) на языке C [11]. Автором была адаптирована это реализация для платформы JVM, что было оформлено в виде программной библиотеки `jлcm`.

5.1 Производительность

Реализация обладает уровнем производительности, достаточным для того, чтобы построить формальные понятия, включающие минимум 1000 объектов для формального контекста с порядка $1.5 \cdot 10^6$ объектов и 500 свойств, который был предоставлен Дергачевым Д. В. На персональном компьютере Intel Core i5, 8 Гб. ОЗУ данные вычисления заняли не более пяти секунд, что является более чем достаточным. Дальнейшее исследование производительности не проводилось, ввиду ее достаточности.

5.2 Распространение

Для того, чтобы обеспечить процесс непрерывной интеграции изменений в библиотеку `jлcm`, был настроен сервер непрерывной интеграции Jenkins [16]. Сборка происходит после каждого изменения исходного кода в репозитории библиотеки. В процесс сборки новой версии программной библиотеки включен этап, на котором происходит функциональное и модульное тестирование библиотеки, что проверять реализуемость функциональных требований после модификаций исходного кода библиотеки. В случае успешного прохождения тестов, артефакты, полученные в результате сборки загружаются в общедоступный репозиторий Maven, что позволяет использовать данную библиотеку в других проектах и интегрировать ее в системы автоматизации их сборки.

Заключение

Результаты

Результаты работы автора:

- методами анализа формальных понятий была установлена связь между значениями ERSP и тревожностью человека;
- сформулирован критерий определения уровня тревожности по полу и показаниям ERSP, критерий применим для 23 из 40 испытуемых, для 19 из 23 испытуемых критерий верно определяет уровень тревожности;
- разработана библиотека `jlcm` для выделения формальных понятий для платформы JVM.

Результаты были включены в доклад на конференции, посвященной исследованию головного мозга человека [5].

Работа была апробирована на 51-ой Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс» [12]. Полученные результаты были опубликованы в журнале «Альманах современной науки и образования» [14].

Точки развития

- В ходе работы не удалось применить полученный критерий для определения тревожности по показателям ERSP и полу человека на какой-либо другой выборке, кроме рассмотренной, ввиду отсутствия подготовленных для этого данных. При появлении такой возможности одной из точек развития является проверка полученного критерия.
- Подход, описанный в данной работе может быть использован для установления зависимости между ЭЭГ и другими физиологическими параметрами человека.
- Ввиду соображений производительности и трудозатрат по переносу реализации библиотеки LCM для JVM, библиотека `jlcm` использует фрагменты кода на языке C. Библиотека показала свою работу под управлением Windows, Linux, Mac OS. Тем не менее из-за использования машинного кода, она не обладает свойствами переносимости, присущим другим библиотекам для платформы JVM. Вопрос о том, можно ли устранить это ограничение без значительных потерь в производительности, остается открытым.

Список литературы

1. Биркгоф Г. Теория решеток // М.: Наука. — 1984. — 568 с.
2. Ganter B., Wille R. Formal Concept Analysis: Mathematical Foundations // Springer. Berlin. — 1999. — 294 p.
3. Ganter B., Stumme G., Wille R. Formal Concept Analysis: Foundations and Applications // Springer. Berlin. — 2005. — 359 p.
4. Adeli H., Ghosh-Dastidar S. Automated EEG-Based Diagnosis of Neurological Disorders: Inventing the Future of Neurology // CRC Press. — 2010. — 423 p.
5. Savostyanov A., Knyazev G., Levin E., Tsai A. Effect of trait anxiety and gender on EEG in eyes open and closed conditions // 18th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping (OHBM). — 2012.
6. Luxenburger M. Implications partielles dans un contexte // Mathematiques, Informatique et Sciences Humaines. №29(113). — 1991. — Pp. 35–55.
7. Silverstein C., Brin S., Motwani R. Beyond market baskets: Generalizing association rules to dependence rules // Data Mining and Knowledge Discovery. №2(1). — 1998. — Pp. 39–68.
8. Stumme G., Taouil R., Bastide Y., Pasquier N., Lakhal L. Intelligent Structuring and Reducing of Association Rules with Formal Concept Analysis // KI 2001: Advances in Artificial Intelligence. — 2001.
9. Makeig S., Elbert T., Braun C. Magnetic event-related spectral perturbations // 9th International Conference on Biomagnetism. Vienna. — 1993.
10. Borchmann D. Conexp-clj, a general purpose software tool for Formal Concept Analysis // [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://github.com/exot/conexp-clj/>.
11. Uno T., Asai T., Uchida Y., Arimura H. LCM: An Efficient Algorithm for Enumerating Frequent Closed Item Sets // [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.9.6348&rep=rep1&type=pdf>.
12. Кантеров Г. К., Дергачев Д. В. Определение тревожности человека по показаниям ЭЭГ и полу с использованием анализа формальных понятий // Материалы 51-й Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс»: Информационные технологии, Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск. — 2013. — С. 46.

13. Llanso D., Gomez-Martin P. P., Gomez-Martin M. A., Gonzalez-Calero P. A. Iterative Software Design of Computer Games through FCA // CLA. — 2011. — Pp. 143–158.
14. Дергачев Д. В., Кантеров Г. К. Определение тревожности человека по показаниям ЭЭГ и полу с использованием анализа формальных понятий // Альманах современной науки и образования №5. Тамбов: Грамота. — 2013. С. 62–66.
15. Apache Maven Project // <http://maven.apache.org/>.
16. Jenkins. An extendable open source continuous integration server // [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://jenkins-ci.org/>.

Приложение А

(обязательное)

Перечень условных обозначений

АФП – анализ формальных понятий

ЭЭГ – Электроэнцефалограмма

ERSP – event-related spectral perturbation, связанные с событием спектральные пет-рубации

JVM – Java virtual machine, виртуальная машина Java

LCM – Linear time Closed item set Miner, алгоритм представленный в [11]

Список публикаций

Кантерова Глеба Константиновича

№ п/п	Наименование работы, ее вид	Форма работы	Выходные данные	Объем в стр.	Соавторы
1	Определение тревожности человека по показаниям ЭЭГ и полу с использованием формальных понятий	печатная, аудио-визуальная	Кантеров Г.К., Дергачев Д.В. Определение тревожности человека по показаниям ЭЭГ и полу с использованием анализа формальных понятий // Материалы 51-й Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс»: Информационные технологии, Новосибир. гос. ун-т. Новосибирск. — 2013. С. 46	1	Дергачев Д. В
2	Определение тревожности человека по показаниям ЭЭГ и полу с использованием формальных понятий	печатная	Дергачев Д.В., Кантеров Г.К. Определение тревожности человека по показаниям ЭЭГ и полу с использованием анализа формальных понятий // Альманах современной науки и образования №5. Тамбов. Грамота. — 2013. С. 62–66.	11	Дергачев Д. В