Математические основы предсказания землетрясений

Дипломная работа
Студента группы ДА-61
СП ИПСА НТУУ «КПИ»
Гомольского Е. В.

Задание

- рассмотрение математических основ предсказания землетрясений
- реализация алгоритма M8
- Исследование возможности использования интеллектуального анализа данных для отладки приложений

Актуальность

- разработки исследователей в области прогноза землетрясений
- разработки программных продуктов для поддержки процесса предсказания землетрясений

Сейсмология

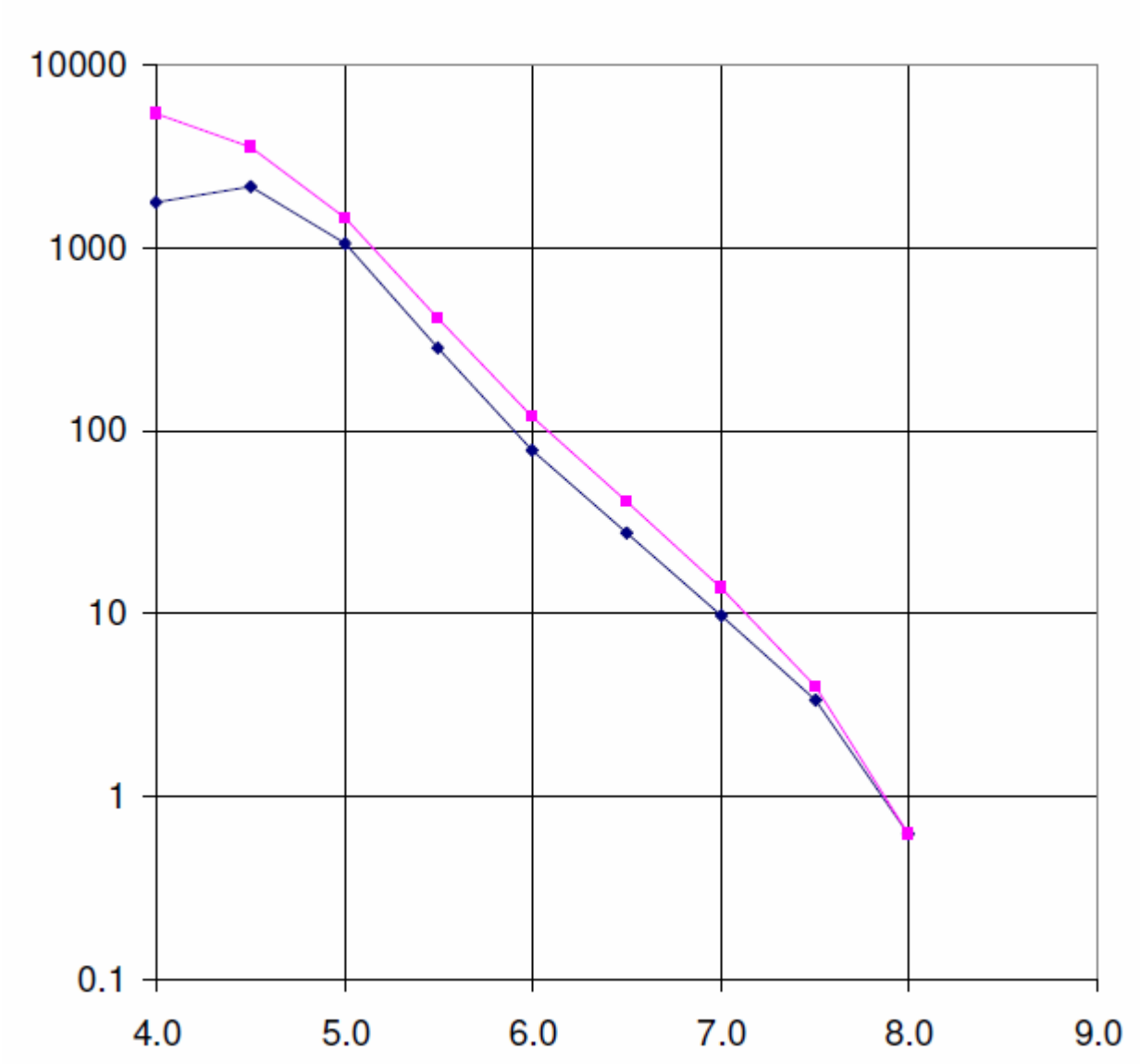
раздел геофизики, изучающий землетрясения и связанные с ними явления.

Сейсмология:

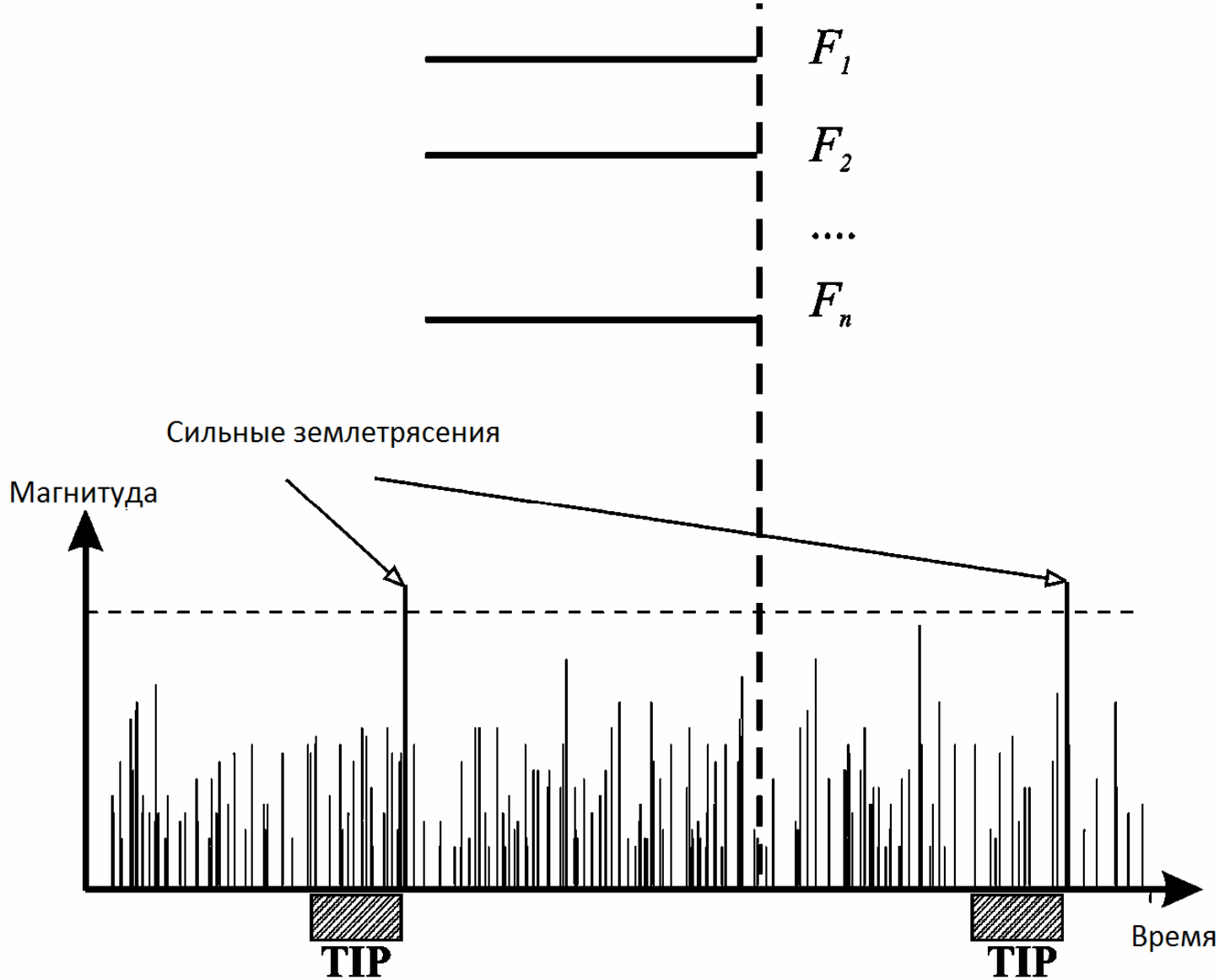
1.систематизирует и анализирует данные сейсмометрических наблюдений;

2.выясняет причины землетрясений, их связь с тектоническими процессами и возможность их предсказания;

3.решает задачи сейсмического районирования.



Закон Гутенберга - Рихтера

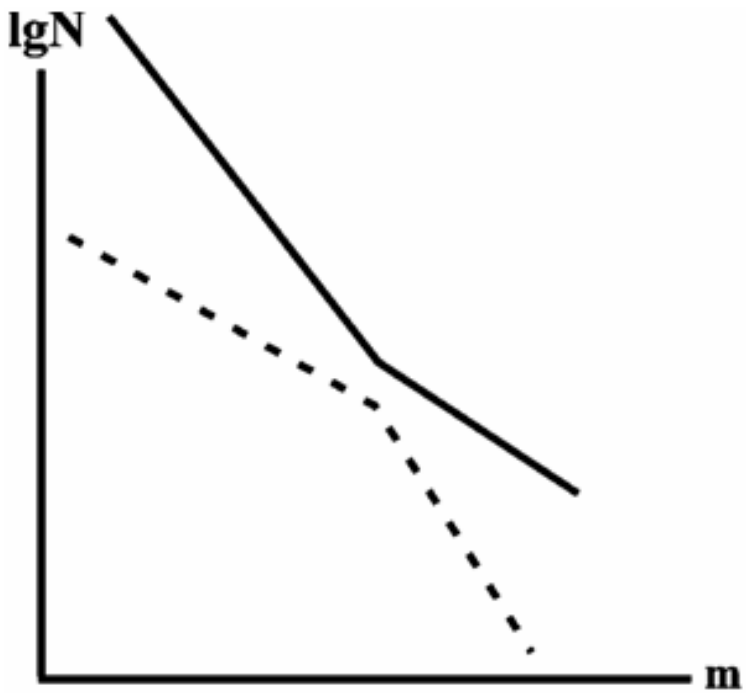


Общая схема предсказания землетрясений

Диагностические признаки

Приближение сильного землетрясений может быть предвидено следующими явлениями, отображающими изменения в сейсмических показателях:

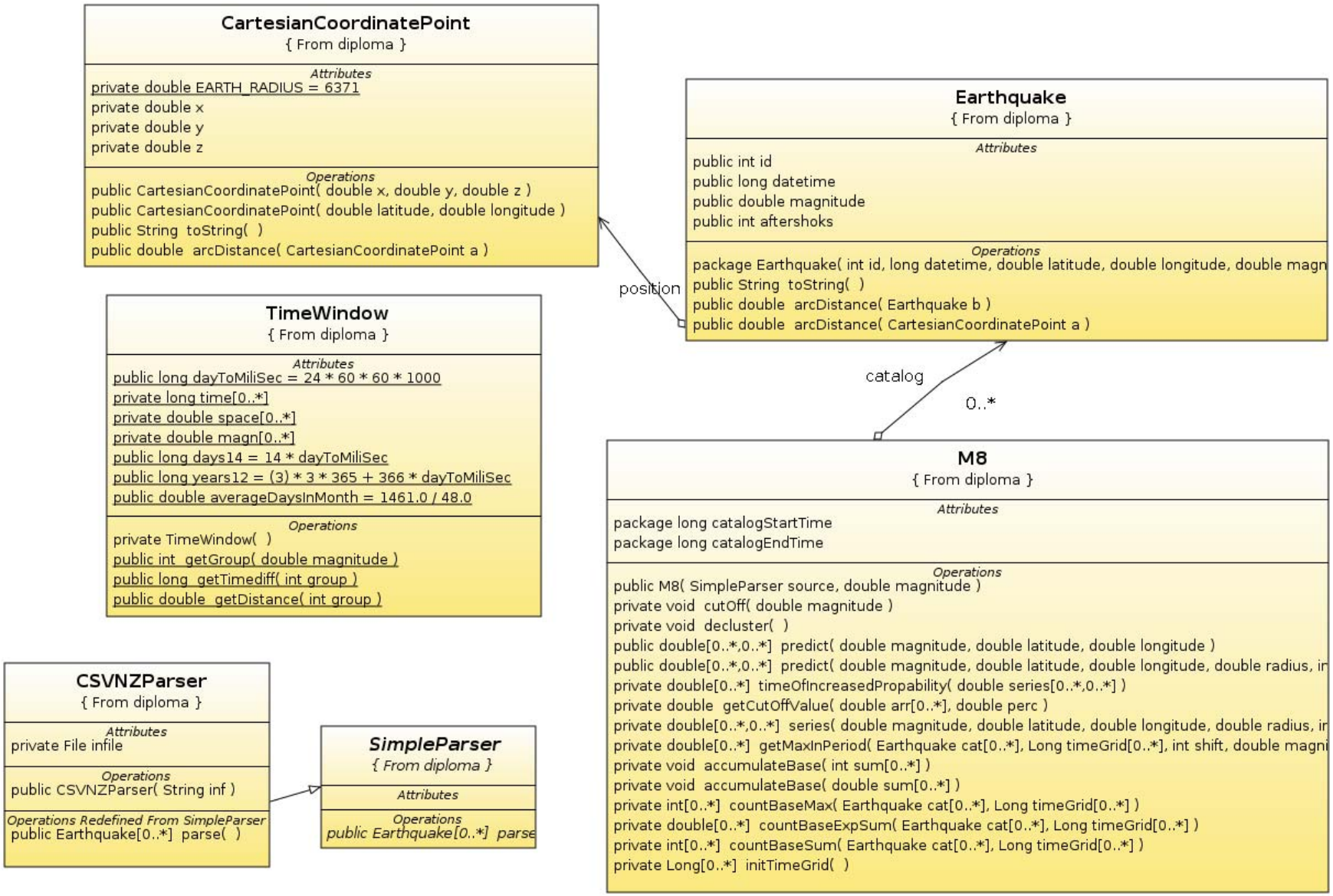
- Возрастание сейсмической активности;
- Возрастание кластеризованости в пространстве и времени;
- Возрастание корреляции между землетрясениями;
- Изменение вида зависимости магнитуды землетрясения от частоты;
- Возрастание нерегулярности в пространстве и времени, и т.д.



Алгоритм M8

1. $N(t)$ – количество мейншоков.
2. $L(t)$ – отклонение $N(t)$ от тренда. $L(t) = N(t) - [N_{cum}(t-s)] \cdot \frac{t-t_0}{t-t_0-s}$, где $N_{cum}(t)$ - количество мейншоков с магнитудой $M \geq M_{min}$ от начала последовательности t_0 до t.
3. $Z(t)$ - концентрация мейн шоков вычисленая как отношение среднего диаметра источника l к средней длине между ними r. Грубой оценкой величин r и l могут выступать: $r \sim N^{-1/3}$, $l \sim N^{-1} \sum(t)$, где $\sum(t) = \sum_i 10^{d(M_i - f)}$, и $M_{min} \leq M_i \leq M_0 - g$; значение d выбирается таким, что бы каждое слагаемое было пропорционально линейным размерам очага (на практике, кубическому корню от энергии).
4. $B(t) = \max_i\{b_i\}$ - максимальное количество афтершоков (мера распределения землетрясений); последовательность землетрясений $\{i\}$ рассматривается в временном окне $(t - s', t)$ и в пределах магнитуд $(M_0 - p, M_0 - q)$.

Реализация


CartesianCoordinatePoint
{ From diploma }
Attributes
private double EARTH_RADIUS = 6371
private double x
private double y
private double z
Operations
public CartesianCoordinatePoint(double x, double y, double z)
public CartesianCoordinatePoint(double latitude, double longitude)
public String toString( )
public double arcDistance(CartesianCoordinatePoint a)
Earthquake
{ From diploma }
Attributes
public int id
public long datetime
public double magnitude
public int aftershoks
Operations
package Earthquake(int id, long datetime, double latitude, double longitude, double magn
public String toString( )
public double arcDistance(Earthquake b)
public double arcDistance(CartesianCoordinatePoint a)
position
TimeWindow
{ From diploma }
Attributes
public long dayToMiliSec = 24 * 60 * 60 * 1000
private long time[0..*]
private double space[0..*]
private double magn[0..*]
public long days14 = 14 * dayToMiliSec
public long years12 = (3) * 3 * 365 + 366 * dayToMiliSec
public double averageDaysInMonth = 1461.0 / 48.0
Operations
private TimeWindow( )
public int getGroup(double magnitude)
public long getTimediff(int group)
public double getDistance(int group)
catalog
0..*
M8
{ From diploma }
Attributes
package long catalogStartTime
package long catalogEndTime
Operations
public M8(SimpleParser source, double magnitude)
private void cutOff(double magnitude)
private void decluster( )
public double[0..*,0..*] predict(double magnitude, double latitude, double longitude)
public double[0..*,0..*] predict(double magnitude, double latitude, double longitude, double radius, in
private double[0..*] timeOfIncreasedPropability(double series[0..*,0..*])
private double getCutOffValue(double arr[0..*], double perc)
private double[0..*,0..*] series(double magnitude, double latitude, double longitude, double radius, in
private double[0..*] getMaxInPeriod(Earthquake cat[0..*], Long timeGrid[0..*], int shift, double magni
private void accumulateBase(int sum[0..*])
private void accumulateBase(double sum[0..*])
private int[0..*] countBaseMax(Earthquake cat[0..*], Long timeGrid[0..*])
private double[0..*] countBaseExpSum(Earthquake cat[0..*], Long timeGrid[0..*])
private int[0..*] countBaseSum(Earthquake cat[0..*], Long timeGrid[0..*])
private Long[0..*] initTimeGrid( )
CSVNZParser
{ From diploma }
Attributes
private File infile
Operations
public CSVNZParser(String inf)
Operations Redefined From SimpleParser
public Earthquake[0..*] parse( )
SimpleParser
{ From diploma }
Attributes
Operations
public Earthquake[0..*] parse

Сравнение быстродействия

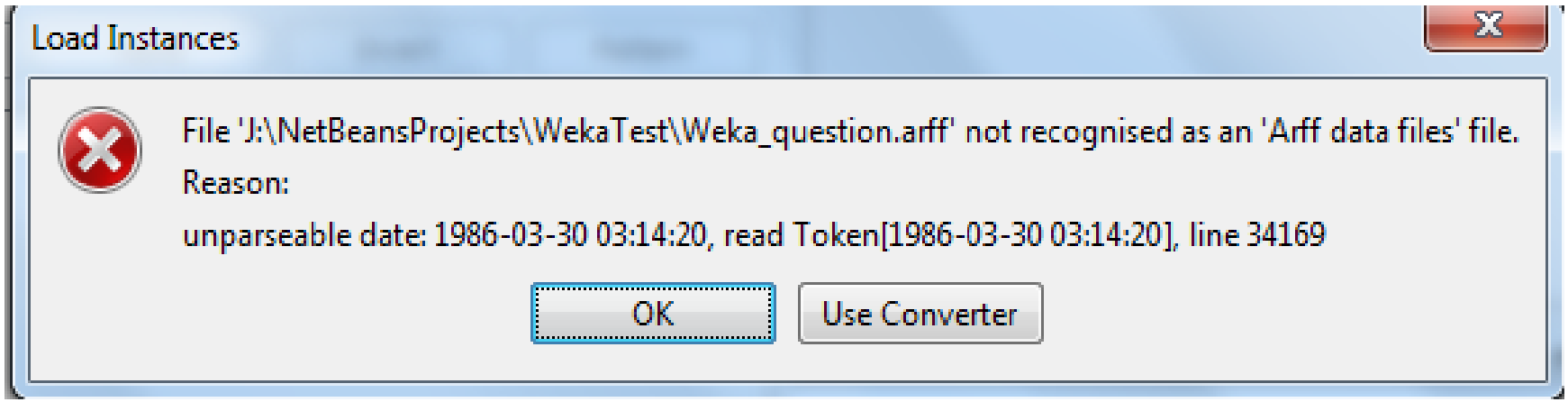
Время выполнения операций на SSLib

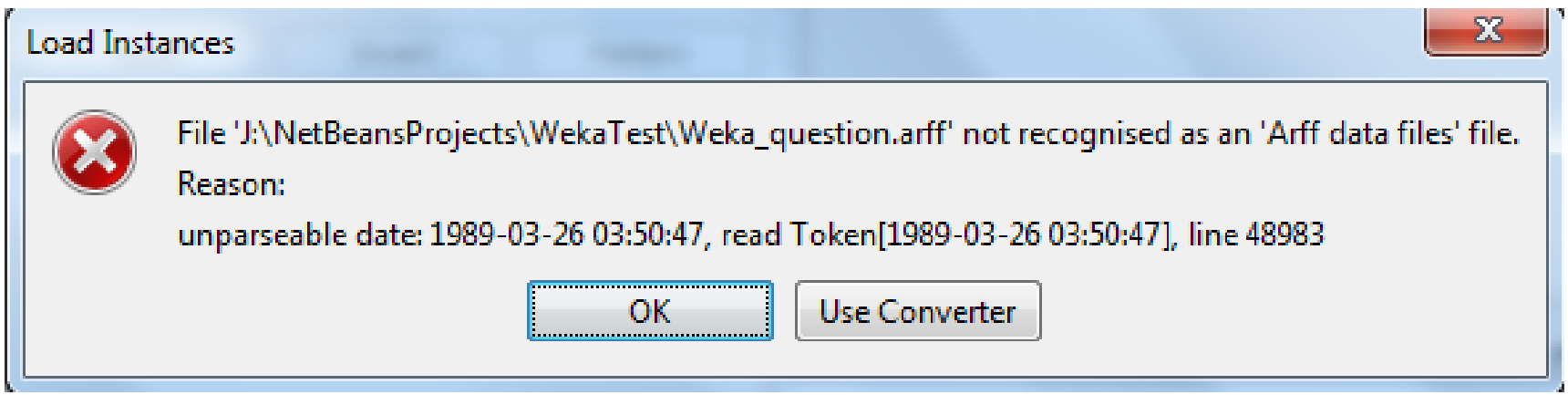
Считывание	Декластеризация	Расчет рядов и ПР
1,892	0,036	0,344
1,816	0,032	0,304
1,840	0,032	0,320
1,908	0,036	0,332
1,896	0,056	0,332
1,896	0,032	0,300
2,384	0,040	0,404
1,860	0,032	0,372
1,856	0,032	0,312
2,068	0,036	0,352
1,942	0,036	0,337

Время выполнения операций в данной реализации на Java

Считывание	Декластеризация	Расчет рядов и ПР
4,110	0,212	0,017
2,513	0,169	0,019
2,502	0,167	0,017
2,493	0,205	0,013
2,468	0,165	0,017
2,438	0,146	0,014
2,720	0,180	0,017
2,451	0,187	0,017
2,502	0,196	0,021
2,525	0,169	0,015
2,672	0,180	0,017

Использование интеллектуального анализа данных для отладки приложений





1940,1,4,13,6,24,-41,174.5, , 1940,1,6,18,19,24,-41.5,175, ,4.5 1940,1,7,9,34,48,-40,175.5, , 1940,1,8,9,41,24,-41.7,
1940,1,9,16,26,36,-42,178, , 1940,1,11,12,35,24,-40.2,173, , 1940,1,21,7,16,54,-39,177, , 1940,1,24,4,8,18,-39,175.5
1940,1,24,4,1,12,-39,175.5, , 1940,1,27,4,32,42,-40,174, , 1940,1,27,7,16,54,-40,174, , 1940,2,1,18,37,54,-40,174.5,
1940,2,5,9,15,54,-41.5,173.5, , 1940,2,7,11,12,48,-40,174.5, , 1940,2,7,19,36,48,-39.2,176.5, , 1940,2,7,28,42,12,-4
1940,2,9,12,27,8,-41.5,172, , 1940,2,13,2,52,6,-43,173, ,3 1940,2,13,3,4,54,-43,173, , 1940,2,14,9,48,18,-40.2,175.7,
1940,2,14,11,55,6,-40.3,175.2, , 1940,2,15,16,22,24,-40.2,174.5, , 1940,2,19,23,29,36,-42,176, , 1940,2,23,3,32,38,-
1940,2,24,3,38, ,-43.5,171.5, , 1940,2,26,6,16,36,-39.5,176.5, ,6 1940,3,14,21,18,42,-40,174.5, , 1940,3,17,11,36,38,-
1940,3,17,17,6,54,-37.7,178.5, , 1940,3,19,14,53,38,-39,176.5, ,5 1940,3,19,14,58,48,-39,176.5, , 1940,3,19,15,31,38,-
1940,3,19,17,6,36,-39.2,177, ,4.5 1940,3,28,7,43,38,-38,177, , 1940,3,23,5,22,36,-41,174.5, , 1940,3,27,2,48,8,-39.8,
1940,3,28,16,3,8,-38,177, ,4 1940,3,28,16,4,42,-38,177, , 1940,3,28,16,9,18,-38,177, , 1940,3,28,28,18,38,-38,177, ,4
,-38,177, ,3.5 1940,3,28,22,44,42,-38,177, ,3 1940,3,28,22,46, ,-38,177, ,3.5 1940,3,29,18,36, ,-38,177,188, 1940,4,2,
, 1940,4,2,18,8,12,-46.5,169, , 1940,4,3,2,53,6,-38,177,188, 1940,4,12,22,11,54,-43.5,173, , 1940,4,17,19,44,24,-48,
1940,4,17,19,45,24,-48,175, ,3 1940,4,19,6,41,38,-48.1,176.2, ,4.5 1940,5,1,11,17,38,-41,174, , 1940,5,12,12,48, ,-38,
1940,5,12,13,5, ,-38,176, , 1940,5,12,13,38, ,-38,176, , 1940,5,12,13,48, ,-38,176, , 1940,5,12,14,28, ,-38,176, ,
,-46,168, , 1940,5,28,21,38,42,-39.5,177, , 1940,6,2,6,28, ,-39,177, , 1940,6,2,19,17,38,-37,175,288, 1940,6,3,8,19,
1940,6,4,9,1,36,-39,175.5, , 1940,6,4,12,5, ,-39,175.5, , 1940,6,4,12,7, ,-39,175.5, , 1940,6,12,8,42,8,-39.5,175.3,
1940,6,15,1,58,38,-37,175,288, 1940,6,16,11,15,54,-48.2,172.8,288, 1940,6,19,5,15,45,-48,174, , 1940,6,19,28,23,8,-3
1940,1,4,13,6,24,-41,174.5, , 1940,1,6,18,19,24,-41.5,175, ,4.5 1940,1,7,9,34,48,-40,175.5, , 1940,1,8,9,41,24,-41.7,
1940,1,9,16,26,36,-42,178, , 1940,1,11,12,35,24,-40.2,173, , 1940,1,21,7,16,54,-39,177, , 1940,1,24,4,8,18,-39,175.5
1940,1,24,4,1,12,-39,175.5, , 1940,1,27,4,32,42,-40,174, , 1940,1,27,7,16,54,-40,174, , 1940,2,1,18,37,54,-40,174.5,
1940,2,5,9,15,54,-41.5,173.5, , 1940,2,7,11,12,48,-40,174.5, , 1940,2,7,19,36,48,-39.2,176.5, , 1940,2,7,28,42,12,-4
1940,2,9,12,27,8,-41.5,172, , 1940,2,13,2,52,6,-43,173, ,3 1940,2,13,3,4,54,-43,173, , 1940,2,14,9,48,18,-40.2,175.7,
1940,2,14,11,55,6,-40.3,175.2, , 1940,2,15,16,22,24,-40.2,174.5, , 1940,2,19,23,29,36,-42,176, , 1940,2,23,3,32,38,-
1940,2,24,3,38, ,-43.5,171.5, , 1940,2,26,6,16,36,-39.5,176.5, ,6 1940,3,14,21,18,42,-40,174.5, , 1940,3,17,11,36,38,-
1940,3,17,17,6,54,-37.7,178.5, , 1940,3,19,14,53,38,-39,176.5, ,5 1940,3,19,14,58,48,-39,176.5, , 1940,3,19,15,31,38,-
1940,3,19,17,6,36,-39.2,177, ,4.5 1940,3,28,7,43,38,-38,177, , 1940,3,23,5,22,36,-41,174.5, , 1940,3,27,2,48,8,-39.8,
1940,3,28,16,3,8,-38,177, ,4 1940,3,28,16,4,42,-38,177, , 1940,3,28,16,9,18,-38,177, , 1940,3,28,28,18,38,-38,177, ,4
,-38,177, ,3.5 1940,3,28,22,44,42,-38,177, ,3 1940,3,28,22,46, ,-38,177, ,3.5 1940,3,29,18,36, ,-38,177,188, 1940,4,2,
, 1940,4,2,18,8,12,-46.5,169, , 1940,4,3,2,53,6,-38,177,188, 1940,4,12,22,11,54,-43.5,173, , 1940,4,17,19,44,24,-48,
1940,4,17,19,45,24,-48,175, ,3 1940,4,19,6,41,38,-48.1,176.2, ,4.5 1940,5,1,11,17,38,-41,174, , 1940,5,12,12,48, ,-38,
1940,5,12,13,5, ,-38,176, , 1940,5,12,13,38, ,-38,176, , 1940,5,12,13,48, ,-38,176, , 1940,5,12,14,28, ,-38,176, ,
,-46,168, , 1940,5,28,21,38,42,-39.5,177, , 1940,6,2,6,28, ,-39,177, , 1940,6,2,19,17,38,-37,175,288, 1940,6,3,8,19,
1940,6,4,9,1,36,-39,175.5, , 1940,6,4,12,5, ,-39,175.5, , 1940,6,4,12,7, ,-39,175.5, , 1940,6,12,8,42,8,-39.5,175.3,
1940,6,15,1,58,38,-37,175,288, 1940,6,16,11,15,54,-48.2,172.8,288, 1940,6,19,5,15,45,-48,174, , 1940,6,19,28,23,8,-3
1940,6,24,7,41,24,-41,174, , 1940,6,25,21,4,48,-48,178.3, , 1940,6,38,6,21,36,-38.5,179, , 1940,6,38,13,5,42,-36,178
1940,7,2,11,23, ,-37.8,176.3, , 1940,7,2,13,14, ,-41,174, , 1940,7,3,18,15,38,-37,179,188, 1940,7,6,8,35,6,-38,177,
1940,7,6,16,56,48,-39.5,177.2, , 1940,7,8,8,5,12,-39.5,177.7, , 1940,7,8,19,51,48,-40.5,174.5, , 1940,7,9,14,47,48,-
1940,7,9,17,58,6,-38,177, ,4 1940,7,18,8,15,8,-41,175, , 1940,7,13,17,9,54,-41.5,172.8, , 1940,7,14,8,53,6,-41,174.5,
1940,7,17,22,1,38,-42,178.5, , 1940,7,19,28,55,12,-41.5,173.2, , 1940,7,22,5,42, ,-40,176, , 1940,7,22,13,31,38,-40.
1940,7,31,9,41,38,-41,175.5, , 1940,7,31,22,32,6,-41.8,172.5, ,4 1940,8,2,4,58,48,-38.5,178.3,78,5 1940,8,2,5,7,24,-39
1940,8,2,13,15,8,-39,174, , 1940,8,2,13,34, ,-39,174, , 1940,8,4,11,5,8,-42.5,174, , 1940,8,7,13,6,54,-40,173, ,
1940,8,18,15,14,12,-38.5,178, , 1940,8,17,13,58,12,-38.7,177, , 1940,8,19,14,23,6,-40.2,173.8, , 1940,8,19,18,21,18,-
1940,8,28,18,7,42,-40.5,172.7, , 1940,8,28,18,48,12,-41,175, , 1940,8,28,18,58,8,-38.5,176.2,78, 1940,8,22,21,19,36,-
1940,8,23,23,8,18,-40,176.5, , 1940,8,24,17,38,18,-38.5,178, , 1940,9,1,21,1,6,-42,174, ,3.7 1940,9,5,8,53,1,-38.7,17
1940,9,5,18,57,44,-39,175.5, ,3.8 1940,9,6,23,36,45,-40.5,174.5, ,4 1940,9,13,17,26,43,-39,175.5,288,3.9 1940,9,15,4,23,

Выводы

К основным недостаткам алгоритма M8 можно отнести очень большое количество варьируемых параметров, для которых хотя и существуют рекомендованные значения, но каждый из них должен выбираться исходя из специфики исследуемой области

Реализация алгоритма на языке Java имеет следующие перевесы над зарубежной реализацией в библиотеке SSLib:

1. Кросс платформенность;
2. Скорость выполнения функции предсказания;

Интеллектуальный анализ данных можно использовать для отладки приложений