

## Лабораторная работа № 2 алгоритм теории адаптивного резонанса

**Цель работы.** Изучение методики описания и технологии разработки алгоритма ART1 (Adaptive Resonance Theory) на примере решения задачи классификации.

### Домашнее задание

1. Благодаря каким свойствам алгоритм ART1 является алгоритмом с обучением, основанным на биологической мотивации? В чем ее сущность?
2. Приведите блок-схему алгоритма ART1 и дайте ее описание.
3. В чем смысл оптимизации алгоритма ART1? Какими способами она проводится?

### Краткие сведения из теории

Алгоритм ART1 – это метод, благодаря которому данные разделяются и объединяются в небольшие группы (кластеры) по принципу аналогии. По этому же принципу происходит отделение несхожих данных. Поэтому главной задачей при разбивке данных на кластеры является классификация. Основной задачей классификации является изучение данных в кластерах для выявления различий между ними. Алгоритм ART1 имеет биологическое происхождение, так как предоставляет возможность обучения посредством классификации. Человеческий мозг изучает новые понятия, сравнивая с уже существующими знаниями. Если новое понятие человеку не удастся осмыслить, то он создает новую структуру для понимания явления, которое выходит за рамки существующей структуры. Впоследствии эта новая структура может стать основой для усвоения другой информации. Объединяя новые понятия с уже существующими знаниями в кластеры, а также создавая новые кластеры для усвоения абсолютно новой информации человек решает проблему. Основной вопрос задачи классификации состоит в том, как классифицировать новые данные, не уничтожив при этом уже изученные. Для решения этого вопроса алгоритм ART1 имеет все необходимые элементы. Алгоритм ART1 работает с объектами, которые называются векторами признаков. Вектор признаков является группой значений в двоичном коде, которые представляют определенный тип информации. Примером вектора признаков могут быть: статистические данные об отказах работы электрооборудования, включая причины отказов (короткое замыкание, перегрузка, старение изоляции, межвитковое замыкание, микротрещины в активных частях и корпусах электрических машин, человеческий фактор); результаты экспериментальных исследований электрооборудования, проведенные на рабочих местах и в электротехнической лаборатории; техническая документация, корреспонденция и другие. Вариант представления вектора признаков приведен на рис.1. В данном примере вектор признаков определяет поставку электрооборудования на один из производственных участков, обслуживаемых электромонтажным предприятием. Каждый объект вектора признаков показывает, обеспечена ли поставка данного типа электрооборудования для проведения монтажных работ на производственном участке (если да, то значение 1, если нет – 0). Пример вектора признаков, включающий информацию о поставке электрооборудования на производственный участок, приведен на рис. 1 (смотри слева направо): 1 - асинхронный двигатель; 0 – трансформатор; 1 - электрический кабель; 1 - вакуумный выключатель; 0 - промежуточное реле; 1 - магнитный

пускатель; 1 - токовое реле; 1 - трансформатор тока; 0 – контактор; 1 - реле времени; 1 - реле напряжения.

1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Рис. 1.

В таком виде вектор признаков описывает потребность производственного участка в конкретном электрооборудовании. Осуществляя сбор векторов признаков с различных производственных участков, и применяя алгоритм ART1, можно данные разделить на кластеры. Это дает возможность электромонтажному предприятию существенно снизить транспортные расходы (экономия времени, топлива, число транспортных средств и персонала) по доставке схожего типового электрооборудования на производственные участки, а также более обосновано решить вопрос о приобретении и комплектации востребованного электрооборудования в отделе материально-технического снабжения.

Для рассмотрения алгоритма ART1 в деталях используем его рабочие параметры:

- $\vee \cap \omega \|\vee\|$  - побитовый И – вектор, представляющий собой результат побитового И для двух векторов, в итоге получается новый вектор;
- - значимость вектора, то есть количество разрядов в векторе, которые не равны нулю;
- $\rho$  - N – количество векторов – прототипов, то есть максимальное число кластеров, которое может поддерживаться;  
 $(0 < \rho \leq 1)$ ;
  - - параметр внимательности
  - $P$  – вектор – прототип;
- $E$  – вектор признаков;
- $d$  - размер вектора;
- $\beta$  - бета- параметр, равный небольшому целому числу.

Изначально не существует ни одного вектора–прототипа, поэтому при выполнении алгоритма создается первый вектор –прототип из первого вектора признаков. Затем проверяются на схожесть все последующие векторы признаков с вектором-прототипом. Целью проверки является выяснение схожести вектора признаков и текущего вектора – прототипа, причем значения  $i$  меняются от 1 до  $N$ .

Проверка на схожесть определяется решением уравнения:

$$\frac{\|P_i \cap E\|}{(\beta + \|P_i\|)} > \frac{\|E\|}{(\beta + d)} P_i$$

.

Если тест на схожесть прошел успешно, то выполняется следующий тест по проверке вектора признаков и вектора-прототипа против параметра внимательности:

$$\frac{\|P_i \cap E\|}{\|E\|} < \rho$$

При использовании больших значений параметра внимательности  $\rho$  образуются крупные кластеры с большим количеством данных. При значениях  $\rho < 0,1$  векторы признаков должны соответствовать

вектору-прототипу. Если тест на внимательность (или тест на схожесть) не был пройден, проверяется следующий вектор-прототип. Если все векторы-прототипы были проверены, и при этом вектор признаков не был помещен в кластер, то создается новый вектор-прототип из вектора признаков. Это приводит к формированию нового кластера, так как рассматриваемый вектор признаков не соответствует ни одному существующему кластеру. Наконец, если тест на внимательность пройден, то алгоритм добавляет текущий вектор признаков в текущий вектор – прототип. Этот процесс представляет собой простое слияние вектора признаков и вектора прототипа с помощью операции:

$P_i = P_i \cup E$ . В завершении работы алгоритм заново проходит через все вектора признаков и сравнивает их со всеми векторами-прототипами. Дополнительная проверка размещения векторов признаков по кластерам объясняется возможностью создания новых кластеров в ходе последующих тестов векторов признаков.

Работу алгоритма рассмотрим на примере. Предположим, что имеется два кластера, которые представлены векторами - прототипами

$P_0 = \{1,0,0,1,1,0,1\}$ ,  $E_0 = \{1,1,1,0,0,1,0\}$ .

Вектор признаков имеет следующий вид  $P_1 = \{1,1,0,0,1,0\}$ .

Значения параметров алгоритма  $\beta = 1$  и  $p = 0,9$  найдены после ряда экспериментов. При решении любой задачи рекомендуется использовать несколько комбинаций, чтобы найти параметры, при которых можно добиться наилучшего результата. Значение параметра как следует из примера  $d = 7$ .

Выполним тесты алгоритма ART1, чтобы определить в какой кластер будет помещен вектор признаков:

$$\begin{aligned} P_0 \text{ и } E_0 \quad \frac{1}{1+4} &> \frac{4}{1+7} \\ P_1 \text{ и } E_0 \quad \frac{3}{1+3} &> \frac{4}{1+7} \end{aligned} \quad \bullet \quad \text{тест на сходство (Нет)}$$

тест на сходство (Да)

$$\bullet \quad \frac{3}{4} < 0,9$$

$P_1 \text{ и } E_0$

тест на внимательность (Да)

$$\bullet \quad P_1 \cap E_0 \{1,1,0,0,0,1,0\}.$$

побитовый И – вектор имеет вид

В первом тесте проведена проверка на схожесть вектора-прототипа  $P_0$  и вектора признаков  $E_0$ . Проверка показала, что тест прошел неудачно. Затем вектор признаков был проверен на схожесть с вектором – прототипом  $P_1$ . Тест прошел успешно, поэтому алгоритм начал тест на внимательность. Данный тест также прошел успешно, поэтому вектор признаков ассоциируется с кластером, который

представлен вектором  $P_1$ . Затем вектор – прототип изменяется путем выполнения операции побитового И между вектором – прототипом  $P_1$  и вектором признаков. После обновления вектора - прототипа все вектора признаков проверяются против всех доступных векторов-прототипов. При этом следует убедиться, что все вектора признаков находятся в нужных кластерах. Действие, когда векторы признаков сверяются с векторами-прототипами и создаются новые кластеры или модифицируются уже существующие, известно как процесс обучения в алгоритме. В конце обучения векторы - прототипы больше не подвергаются изменениям, и алгоритм достигает равновесия. Результат равновесия – это классифицированные исходные данные.

Достоинством алгоритма ART1 является его оптимизация. Она осуществляется путем изменения значений трех важных параметров алгоритма, а именно: максимально допустимого количества кластеров, бета - параметра и параметра внимательности. Максимально допустимое количество кластеров должно быть достаточно большим, чтобы алгоритм при необходимости мог создать новый кластер. Бета - параметр и параметр внимательности важны для правильной ориентации алгоритма ART1.

Недостаток алгоритма ART1 заключается в том, что конечный набор кластеров (и векторов-прототипов) может изменяться в зависимости от порядка, в котором проводилось обучение.

### **Рабочее задание**

1. Дать описание исходного кода, реализующего алгоритм ART1, опираясь на векторы признаков (базы данных о поставках электрооборудования на производственные участки электромонтажным предприятием). Ограничить максимальное число производственных участков NN и размер (длину) d вектора признаков в программе в соответствии с вариантом задания (по указанию преподавателя). При отладке программы использовать значения NN = 10 и d = 11.
2. Составить полный листинг программы решения задачи классификации, при которой исходные данные (векторы признаков) разделяются и объединяются в кластеры с помощью алгоритма ART1.
3. На основе пункта 2 рабочего задания создать в среде Delphi программу - исполняемый файл, который может загружаться и выполняться под управлением Windows.
4. Привести демонстрационный пример решения задачи классификации, указав в нем строковые названия элементов векторов – признаков (перечень поставок электрооборудования). Для снижения затрат времени на ручной ввод справочных данных электрооборудования в программе использовать коды поставок в виде обозначений A1, A2,..., AN, B1,B2,..., BN, C1,C2, ...,CN и т.п.
5. Выполнить оптимизацию алгоритма ART1 путем изменения значений его параметров, используя исходные данные демонстрационного примера решения задачи классификации в пункте 4 рабочего задания.

### **Вопросы к защите**

1. Выполните разбор алгоритма ART1 на следующем примере. Вектора признаков имеют вид:

2.  $E_0 = \begin{pmatrix} 0,0,0,0,0,1,0,0,1,0,0 \end{pmatrix}$   
 $E_1 = \begin{pmatrix} 0,1,0,0,0,0,0,1,0,0,1 \end{pmatrix}$   
 $E_2 = \begin{pmatrix} 0,0,0,1,0,0,1,0,0,1,0 \end{pmatrix}$   
 $E_3 = \begin{pmatrix} 0,0,0,0,1,0,0,1,0,0,1 \end{pmatrix}$   
 $P_0 = E_4 = \begin{pmatrix} 1,0,0,1,0,0,0,0,0,1,0 \end{pmatrix}$   
 $E_5 = \begin{pmatrix} 0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,1 \end{pmatrix}$   
 $P_2 = E_6 = \begin{pmatrix} 1,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0 \end{pmatrix}$   
 $E_7 = \begin{pmatrix} 0,0,1,0,0,0,0,0,1,0,0 \end{pmatrix}$   
 $E_8 = \begin{pmatrix} 0,0,0,0,1,0,0,1,0,0,0 \end{pmatrix}$   
 $E_9 = \begin{pmatrix} 0,0,1,0,0,1,0,0,1,0,0 \end{pmatrix}$
- Кластеры представлены векторами-прототипами:
- $P_1 = \{0,0,0,0,0,1,0,0,1,0,0\};$   
 $\{0,1,0,0,0,0,0,1,0,0,1\};$
- $P_2 = \{0,0,0,1,0,0,1,0,0,1,0\}.$
3. Параметры алгоритма имеют следующие значения:  $d = 11$ ,  $\beta = 1$  и  $p = 0,9$
4. Укажите основные параметры алгоритма ART1 и дайте их описание.
5. В чем заключается работа алгоритма ART1 и насколько этапов его можно разделить?

## Литература

1. Т. Джонс. Программирование искусственного интеллекта в приложениях./ Пер. с англ. Осипов А.И. – М.: ДМК Пресс. 2004.- С. 43 - 62.
2. Алгоритм ART1. Исходный код программы с использованием алгоритма отжига содержится в папке software/ch3. Загрузка с сайта издательства «ДМК Пресс» [www.dmk.ru](http://www.dmk.ru).