

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ, ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ И ТЕХНИЧЕСКОЙ
ПОЛИТИКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Московский Авиационный Институт
(Государственный Технический Университет)



ЖУРНАЛ
по производственной практике

Наименование практики:

**"Разработка системы классификации на основе искусственной
нейронной сети класса Fuzzy ARTMAP"**

Студент: Кривко Артём Сергеевич

Факультет: 7 Курс: 4 Группа: 07-408

Начало 1 июля 2013г.
Окончание 19 июля 2013г.

1 Инструкция

о заполнении журнала по производственной практике

Журнал по производственной практике студентов имеет единую форму для всех видов практик.

Задание в журнал вписывается руководителем практики от института в первые три – пять дней пребывания студентов на практике в соответствии с тематикой, утвержденной на кафедре до начала практики. Журнал по производственной практике является основным документом для текущего и итогового контроля выполнения задания, требований инструкции и программы практики.

Табель прохождения практики, задание, а также технический отчет выполняются каждым студентом самостоятельно. Журнал заполняется студентом непрерывно в процессе прохождения всей практики и регулярно представляется для просмотра руководителем практики. Все их замечания подлежат немедленному выполнению.

В разделе «Табель прохождения практики» ежедневно должно быть указано, на каких рабочих местах и в качестве кого фактически работал студент. Эти записи проверяются и заверяются цеховыми руководителями практики, в том числе мастерами и бригадами. График прохождения практики заполняется в соответствии с графиком распределения студентов по рабочим местам практики, утвержденным руководителем предприятия.

В разделе «Рационализаторские предложения» должно быть проведено содержание поданных в цехе рационализаторских предложений со всеми необходимыми расчетами и эскизами. Рационализаторские предложения подаются индивидуально и коллективно.

Выполнение студентами задания по общественно-политической практике заносится в раздел «Общественно-политическая практика». Выполнение работы по оказанию практической помощи предприятию (участие в выполнении спец. заданий, работа сверхурочно и т.п.) заносится в раздел журнала «Работа в помощь предприятию» с последующим письменным подтверждением записанной работы соответствующими цеховыми руководителями.

Раздел «Технический отчет по практике» должен быть заполнен особо тщательно. Записи необходимо делать чернилами в сжатой, но вместе с тем четкой, и ясной форме и технически грамотно. Студент обязан ежедневно подробно излагать содержание работы, выполняемой за каждый день. Содержание этого раздела должно отвечать тем конкретным требованиям, которые предъявляются к техническому отчету заданием и программой практики. Технический отчет должен показать умение студента критически оценивать работу данного производственного участка и отразить, в какой степени студент

способен применить теоритические знания для решения конкретных производственных задач.

Иллюстративный и другие материалы, использованные студентом в других разделах журнала, в техническом отделе не должны повторяться, а следует ограничиваться лишь ссылкой на него. Участие студентов в производственно-технической конференции, выступления с докладами, рационализаторские предложения и т.п. должны заноситься на свободные страницы журнала.

Примечание. Синьки, кальки и другие дополнения к журналу могут быть сделаны только с разрешения администрации предприятия и должны подшиваться в конце журнала, но лучше обходиться без них.

Руководители практики от института обязаны следить за тем, чтобы каждый цеховой руководитель практики перед уходом студентов из данного цеха в другой цех вписывал в журнал студента отзывы об их работе в цехе.

Текущий контроль работы студента осуществляется руководителем практики от института и цеховыми руководителями практики заводов. Все замечания студентам руководители делают в письменном виде на страницах журнала, ставя при этом свою подпись и дату проверки. Результаты защиты технического отчета заносятся в протокол и одновременно заносятся в ведомость и зачетную книжку студента.

Примечание. Нумерация чистых страниц журнала проставляется каждым студентом в своем журнале до начала практики.

С инструкцией о заполнении журнала ознакомился:

« » _____ 2013 г. Студент _____

2 Задание

Изучение нейросетевой парадигмы Fuzzy ARTMAP; разработка программно-математического обеспечения, позволяющего классифицировать изображения символов, на основе технологии Fuzzy ARTMAP.

Руководитель практики

от института

« » _____ 2013 г. _____

3 Табель прохождения практики

Дата	Содержание или наименование практики	Место работы	Начало работы	Конец работы	Подпись руководителя
1	2	3	4	5	6
01.07	Поиск информации	МАИ	10:00	16:00	
02.07	Изучение информации (англоязычные статьи)	МАИ	10:00	16:00	
03.07	Изучение ИНС ART семейства	МАИ	10:00	16:00	
04.07	Изучение ИНС Fuzzy ART	МАИ	10:00	16:00	
05.07	Изучение синтаксиса Matlab	МАИ	10:00	15:00	
08.07	Разработка алгоритма	МАИ	10:00	16:00	
09.07	Разработка алгоритма	МАИ	10:00	16:00	
10.07	Кодирование в Matlab	МАИ	10:00	16:00	
11.07	Кодирование в Matlab	МАИ	10:00	16:00	
12.07	Кодирование в Matlab	МАИ	10:00	15:00	
15.07	Тестирование и отладка	МАИ	10:00	16:00	
16.07	Анализ результатов	МАИ	10:00	16:00	
17.07	Оформление отчета	МАИ	10:00	16:00	
18.07	Оформление отчета	МАИ	10:00	16:00	
19.07	Предоставление отчета	МАИ	10:00	15:00	

Отзыв руководителя практики

4 **Протокол защиты технического отчета**

по второй производственной практике ст. Кривко Артёмом Сергеевичем

Слушатели:

Постановили:

Председатель: _____

Члены:

а) _____

б) _____

Дата _____

5 Технический отчет по практике

5.1 Постановка задачи

С использованием искусственной нейронной сети (ИНС) Fuzzy ART реализовать ПМО обеспечения, позволяющее классифицировать символы русского алфавита.

5.2 Описание парадигмы Fuzzy ART

Нейронные сети адаптивной резонансной теории (Adaptive Resonance Theory = ART) или ART-сети образуют целый класс различных нейросетей, предложенных Карпентером (Carpenter) и Гроссбергом (Grossberg) (Бостонский университет, 1987-1991).

В реальной практике часто данные, используемые для обучения или самообучения сети, не стабильны. В этом случае классические нейронные сети не позволяют получить требуемого результата.

При анализе систем классификации возникают противоречивые требования или свойства нейросети. С одной стороны очень важно, чтобы она была способна выявлять (обнаруживать) образы новых классов, ранее не представленных сети. Это свойство пластичности. С другой же стороны изученные классы образов должны сохраняться – свойство устойчивости работы нейросетей. Эти два свойства – пластичности и стабильности в известной мере противоречивы – дилемма пластичности-стабильности. Сети ART были разработаны для разрешения этой дилеммы, а именно: для установления новых ассоциаций (классов) нейронной сетью без забывания старых ассоциаций (классов). Семейство ART-сетей включает следующие сети:

- ART-1: для бинарных входных векторов, когда признаки распознаваемых образов принимают два значения 1 или 0;
- ART-2: расширение ART-1-сетей на непрерывные входные векторы;
- ART-2a: оптимальная версия ART-2-сетей, отличающаяся повышенной скоростью сходимости;
- ART-3: моделирование временных и химических процессов (биологических механизмов) на базе ART-2;
- ARTMAP: комбинация двух ART-сетей (например, ART-1 и ART-2);
- FuzzyART: гибридная сеть, объединяющая нечеткую логику (Fuzzy Logic) и ART-сети.

Принцип работы ART-сетей сравнительно прост. При вводе значений признаков некоторого образа ART-1-сеть пытается сопоставить ему некоторый

класс из числа уже изученных. Если такой класс удастся найти, то производится сравнительно небольшая модификация прототипа (стереотипа, типичного представителя) этого класса для того, чтобы он хорошо отображал и новый образ. В этом случае классификация образа на этом заканчивается. Если же такой класс найти не удастся, то образуется (вводится) новый класс. При этом предъявленный образ несколько модифицируется и используется затем в качестве прототипа (стереотипа, типичного представителя) для нового класса. При этом уже изученные классы не изменяются.

Сеть Fuzzy ART является расширением сети ART-1 путем применения теории нечетких множеств, что позволяет новой сети работать как с бинарными, так и с аналоговыми входными образами. Для Fuzzy ART основные фазы классификации следующие.

Предварительная обработка. Все величины входного образа должны быть в интервале $[0, 1]$

$$i_k \in [0, 1] \forall k$$

Распознавание. Восходящая сетевая активность, ведущая к предварительному выбору прототипа, определяется с использованием нечеткой конъюнкции \wedge , по формулам:

$$x \wedge y = \min\{x, y\}$$

$$X \wedge Y = \min\{x_1 \wedge y_1, \dots, x_m \wedge y_m\}$$

где Y – нечеткое подмножество X , если $X \wedge Y = Y$. Размер вектора ($|X|$) определяется его нормой L1, т. е. суммой его элементов.

Активность t_j , каждого нейрона можно рассматривать как степень принадлежности прототипа W_j нечеткому подмножеству входного образа I

$$t_j = \frac{|I \wedge W_j|}{\alpha + |W_j|}$$

где $\alpha = const$ – величина, играющая регуляризующую роль, т.е. предотвращающая возникновение переполнения при операции деления при $|W_j| \rightarrow 0$.

Сравнение. Сходство между входом I и победившим прототипом W_j определяется степенью принадлежности образа I нечеткому подмножеству W_j . Адаптация происходит, если

$$\rho < \frac{|I \wedge W_j|}{|I|}$$

Адаптация. Адаптация победившего прототипа W_j происходит путем изменения его компонентов по отношению к вектору $I \wedge W_j$:

$$W_j^{(new)} = \eta(I \wedge W_j^{(old)}) + (1 - \eta)W_j^{(old)}$$

где $\eta \in [0, 1]$ – показатель обучения, определяющий скорость сходимости прототипов к общему минимуму значений элементов всех входных образов, принадлежащих одному классу.

Сеть ART может работать в режиме классификации, если для предварительно обученной сети установить $\eta = 0$, что предотвратит модификацию прототипов новыми входными образами. Начальная инициализация прототипов выполняется постоянной величиной

$$w_{ij} \geq 1 \forall i$$

Таким образом обеспечивается поиск сначала среди фиксированных прототипов, а затем – среди остальных. Часто используемый метод ускорения обучения в сетях ART это установка коэффициента обучения $\eta = 1$, когда прежде неиспользованный прототип адаптируется к текущему входному вектору. Входной вектор I становится первым прототипом в новом классе, если другие ранее сформированные прототипы не подходят. Однако уже сформированные прототипы должны адаптироваться более медленно ($\eta < 1$), чтобы предотвратить их искажение зашумленными входными образами.

Дополнительное кодирование. В сети Fuzzy ART существует проблема кластерного распространения, состоящая в том, что поскольку векторные элементы прототипов после адаптации только уменьшаются, сеть стремится создавать больше прототипов, которые соответствуют входным образам с большими значениями входных величин, тогда как прототипы с малыми значениями могут никогда не быть доступны. Это устраняется путем нормализации, например, путем нормализации входных образов.

Обычно используется модифицированный вариант нормализации, называемый дополнительным кодированием, который преобразовывает все входные образы к одинаковой длине вектора. При этом оригинальный вектор $A = (a_1, \dots, a_k)$ кодируется во входной образ $I = (i_1, \dots, i_m)$ с добавлением своих дополнительных элементов к оригинальному вектору. Это удваивает длину всех входных образов и прототипов

$$I = (A, A^C) = (a_1, \dots, a_k, 1 - a_1, \dots, 1 - a_k) \quad a_i \in [0, 1] \forall i$$

Норма $L1$ векторов, закодированных этим методом и имеющих одинаковую длину, является величиной постоянной, независимой от величин элементов

$$|I| = \sum_{i=1}^2 k i_i = \sum_{i=1}^k a_i + \sum_{i=1}^k (1 - a_i) = \sum_{i=1}^k a_i + k - \sum_{i=1}^k a_i = k = m/2$$

Использование дополнительного кодирования упрощает выражение:

$$\rho \leq \frac{I \wedge W_j}{k}$$

Fuzzy ARTMAP состоит из 2 модулей ART с нечеткой логикой, ART_a и ART_b , связанных ART модулем F_{ab} , называемым map field. ART_a и ART_b создают стабильное распознавание категорий в зависимости от произвольных входных данных. Каждый модуль получает либо входной, либо выходной компонент каждой пары эталонов для ассоциации. Главная функция в map field связать представленные компоненты пар эталонов. Когда появляется несоответствие между предсказанным ART_a и фактическим ART_b входом, map field подсистема активирует match tracking (отслеживание соответствия). Match tracking увеличивает параметр бдительности ρ_a в ART_a до значения, которое вызывает несоответствие и reset (сброс) в ART_a модуле. Затем активируется система поиска ART_a , чтобы найти категорию, которая правильно предсказывают текущий вход ART_b или предыдущую незафиксированную категорию ART_a .

Алгоритм Fuzzy ARTMAP:

Шаг 0

Пусть m – количество входных элементов, n – выходных элементов, M – количество элементов в F_2^a , N – количество элементов в F_2^b .

Изначально все веса адаптации устанавливаются единичными:

$$W_{j1}^a(0) = \dots = W_{j2m}^a(0) = 1$$

$$W_{k1}^b(0) = \dots = W_{k2n}^b(0) = 1$$

$$W_{jk}^{ab}(0) = 1$$

где $j = 1, \dots, M$ и $k = 1, \dots, N$

Инициализация всех узлов ART_a и ART_b модулей приводит их в состояние uncommitted. Устанавливаются параметры: параметр выбора $\alpha > 0$; параметр скорости обучения $\beta \in [0, 1]$ и параметры бдительности $\rho_a, \rho_b, \rho_{ab} \in [0, 1]$. Параметр бдительности ρ_a будет базовым $\bar{\rho}_a$.

Шаг 1

Получаем вектор a и соответствующий классу вектор b . Вектор a – вход в модуль ART_a , b – вход в модуль ART_b . Все входные значения вектора a должны быть в пределах $[0, 1]$. Производится дополнительное кодирование (описано выше).

$$A = (a, a^C)$$

$$B = (b, b^C)$$

Шаг 2

Для каждого входа A и B j -й узел слоя F_2^a и k -й узел слоя F_2^b дают

$$T_j(A) = \frac{A \wedge W_j^a}{\alpha + |W_j^a|}$$

$$T_k(B) = \frac{B \wedge W_k^b}{\alpha + |W_k^b|}$$

Шаг 3

Используется правило "победитель забирает все" для выбора верного класса распознавания. Здесь выходы максимальных весов суммируются. Победители в ART_a и ART_b индексируются J и K соответственно, где

$J = \max(T_j(A) : j = 1, \dots, M)$ и $K = \max T_k(B) : k = 1, \dots, N$. Если получается более одного победителя с одинаковыми максимальными значениями, то выбирается с меньшим индексом.

Шаг 4

Проверяется критерий бдительности. Если узлы J и K удовлетворяют условиям

$$\frac{A \wedge W_J^a}{|A|} \geq \rho_a \quad \text{and} \quad \frac{B \wedge W_K^b}{|B|} \geq \rho_b$$

тогда они считаются представителями входных классов A и B и переходят к Шагу 5. После того, как категории J и K выбраны для обучения они переходят в состояние committed. Если они нарушают условие выше, то узлы J и K сбрасываются, и переходят к Шагу 3. Происходит поиск других узлов в F_2^a и F_2^b которые удовлетворяют критериям.

Шаг 5

Проверяется критерий match tracking. Если

$$\frac{|y^b \wedge W_J^{ab}|}{|y^b|} \geq \rho_{ab}$$

тогда достигнуто необходимое отображение и переходим к Шагу 6.

Если

$$\frac{|y^b \wedge W_J^{ab}|}{|y^b|} < \rho_{ab}$$

то, соответствие между J и K не достигнуто. В этом случае параметр бдительности ρ_a увеличивается, пока не станет больше чем $|A \wedge W_J^a|/|A|$; это приводит к сбросу в ART_a и переходу на Шаг 3 с новым параметром бдительности для выбора другого узла в F_2^a , который будет иметь требуемое соответствие.

Шаг 6

Обновляются веса:

$$W_J(t) = \beta(A \wedge W_J(t-1)) + (1 - \beta)W_J(t-1)$$

$$W_K(t) = \beta(B \wedge W_K(t-1)) + (1 - \beta)W_K(t-1)$$

где параметр скорости обучения β выбирается из диапазона $[0, 1]$. Для быстрого обучения $\beta = 1$. Веса узлов проигравших в обновлении не нуждаются: $W_j^a, j \neq J$, $W_k^b, k \neq K$

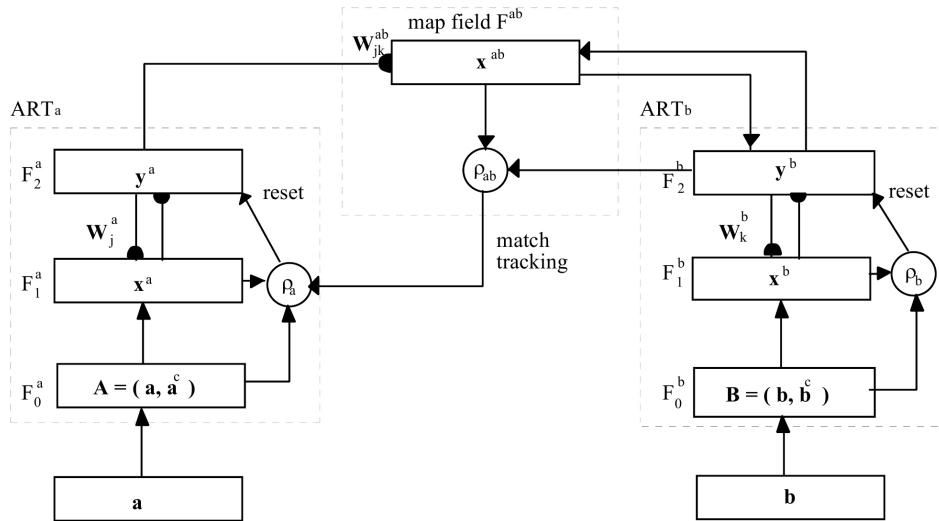
Веса map field для быстрого обучения определяются

$$W_{jk}^{ab}(t) = \begin{cases} 1, \text{ если } j = J, k = K \\ 0, \text{ если } j = J, k \neq K \\ W_{jk}^{ab}(t-1), \text{ в других случаях} \end{cases}$$

Шаг 7

Переход к Шагу 1 и распознавание следующей пары.

Архитектура сети Fuzzy ARTMAP



5.3 Состав и описание ПМО

Программно-математическое обеспечение разрабатывалось в среде математического программирования Matlab.

ПМО включает следующие функции:

- **ARTMAP_Add_New_Category**
 - добавление новой категории(класса) в сеть;
- **ARTMAP_Classify**
 - распознает образец на основе уже обученной сети;
- **ARTMAP_Create_Network**
 - создает новую сеть;

- **ARTMAP_Learn**
 - обучает сеть на заданной эталонной выборке;
- **ART_Activate_Categories**
 - вычисление значений активации для каждого образца;
- **ART_Calculate_Match**
 - вычисление степени соответствия;
- **ART_Complement_Code**
 - выполняет дополнительное кодирование над входными данными;
- **ART_Update_Weights**
 - обновляет веса для победившего класса.

ARTMAPExample - содержит пример использования сети Fuzzy ARTMAP, используя вышеперечисленные функции, в нем непосредственно используются функции:

`ART_Complement_Code`, `ARTMAP_Create_Network`, `ARTMAP_Learn`, `ARTMAP_Classify`.

5.4 Тестирование ПМО

Входными данными для обучения является изображение символов русского алфавита шириной 32 пикселя и высотой $32 \times N$ пикселей, где N - количество символов в обучающей выборке (т.е. на один символ отводится 32×32 пикселя). Для тестирования в графическом редакторе было создано изображение с 5 буквами (А, Б, В, Г, Д):



Порядок следования не важен, т.к. еще одним входным параметром является вектор значений названий классов соответственно в порядке их следования на изображении (в данном случае: А,А,Б,В,В,Б,Г,Г,Д,Д).

Далее изображение усредняется в области квадрата 2×2 пикселя, т.о. на каждый символ теперь отводится 8×8 пикселей. Получается такой результат



Это позволяет снизить временно-вычислительную сложность, оставив при этом достаточное количество элементов в векторе признаков каждого класса:

$8 \cdot 8 = 64$.

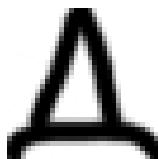
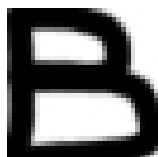
После обучения сети на вход в функцию классификации подается изображение 32×32 пикселя с распознаваемым символом. Он также проходит предварительную обработку по уменьшению разрешения.

Примеры распознавания:

Верно распознаются деформированные символы:



Искаженные:



Смещенные с деформациями:

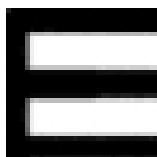


Однако, иногда, возникают случаи неверного распознавания, например:



распознано как Б. Связано это с выборкой эталонов, сделав ее больше, этого можно избежать.

При попытке распознать букву неизвестного пока класса, например:



система в качестве результата классификации выдаст -1, при этом выполнив дообучение, после чего можно распознать другое изображение той же буквы:



получив верный результат.

5.5 Анализ результатов

В результате работы с искусственной нейронной сетью Fuzzy ARTMAP можно отметить очевидные свойства ее применения:

- параллельная классификация множества объектов, что потенциально позволяет использовать параллельные вычисления и получить высокую скорость обработки информации;
- переобучение при успешной классификации, что позволяет иметь небольшое количество эталонов для обучения;
- дополнительное обучение новым категориям в случае не соответствия распознаваемого объекта ни одному имеющемуся в "памяти" сети.

Одновременно с этим переобучение при достаточно долгой эксплуатации может привести к вырождению классов, ввиду того, что при обучении используются операции выбора минимального значения признака. Это однако, можно предотвратить, либо периодической загрузкой эталонов, либо не использовать переобучения при наличии большого числа репрезентативных эталонов.

Также важно понимать цели использования данной ИНС с тем, чтобы верно выбирать параметры сети, т.к. от них будет зависеть скорость обучения, распознавания, способность сетью отличать объект не существующего класса и создавать новый. Возможно они будут противоречивы, что требует ясного понимания поставленной задачи.