

АВТОРЕФЕРАТ

**ЗА ПРИДОБИВАНЕ НА ОБРАЗОВАТЕЛНА И НАУЧНА
СТЕПЕН “ДОКТОР”**

НА ТОДОР ПЕТКОВ ПЕТКОВ

**ТЕМА: ОБОБЩЕНОМРЕЖОВО МОДЕЛИРАНЕ НА
НЕВРОННИ МРЕЖИ**

Област на висшето образование: Технически науки
Професионално направление: 5.3. Комуникационна
и
компютърна техника

НАУЧНИ РЪКОВОДИТЕЛИ:

1. чл.кор. проф. дтн дмн Красимир Т. Атанасов
2. доц.д-р Сотир Сотиров

РЕЦЕНЗЕНТИ:

- 1.
- 2.

БУРГАС, 2015

Дисертационният труд е обсъден и допуснат до защита на разширено заседание на катедра “Компютърни системи и технологии”, проведено на 15.12.2015 г. в Университет “Проф. д-р Асен Златаров”-Бургас.

Дисертационният труд съдържа 130 страници, от които 43 фигури и 3 таблици. Използвани са 151 литературни източници. Резултатите са публикувани в 8 статии.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на2016 г. от ч. в зала в Университет “Проф. д-р Асен Златаров”-Бургас на научно жури в състав:

1. доц. д-р Станислав Симеонов
2. проф. д-р Людмил Даковски
3. доц. д-р Сотир Сотиров
4. доц. д-р Таня Пенчева
5. доц. д-р Любка Дуковска

Материалите по защитата са предоставени за заинтересуваните в кабинет 321, Органичен корпус.

Автор: Тодор Петков Петков

Заглавие: Обобщеномрежово моделиране на невронни мрежи

Бих искал да изкажа своите благодарности към ръководителите на дисертационния ми труд доц. д-р Сотир Сотиров и чл.кор. проф. дмн дтн Красимир Атанасов за знанията, помощта и съдействието, които ми предоставиха.

Благодаря и на всички колеги от катедра „Компютърни системи и технологии“ при Университет „Проф. д –р Асен Златаров“ за подкрепата и съветите дадени ми за разработването на дисертационния ми труд.

Характеристика на дисертационния труд

Развитието на изкуствените невронни мрежи се вдъхновява от биологията. Разглеждат се мрежови конфигурации и алгоритми, в аспекта на дейността на мозъка, но с това аналогията приключва. Знанията ни за работата му е доста ограничена, което не позволява да се намерят точни пътеводни ориентири, на които да може да се подражава. Затова на хората, разработвали тази материя се е налагало да се съобразяват с текущите знания в областта на биологията. В много от случаите това води до отказ от пълното копиране на съдържанието на мозъка и той става просто идея за развитието на мрежи, невъзможни за живата материя. Нарастващия интерес към тази материя предопределя нейното развитие с бързи темпове, като заедно с това и нейното приложение към различни проблеми като:

- Авиация
- Банковото дело
- Разпознаването на образи
- Разпознаване на глас
- Медицина – за определянето на диагнози

Заради тези и други приложения на невронните мрежи се налага по дълбоко изучаване на процесите протичащи в тях.

Настоящият дисертационен труд е посветен на описанието на невронните мрежи и моделирането им чрез апарата на Обобщените мрежи. Понятието „обобщена мрежа“ е дефинирано през 1982 година като математически обект и като средство за моделиране на реални процеси. Чрез моделирането на невронните мрежи с обобщени мрежи е възможно тяхното по добро възприемане и оптимизация. Направен е обзор на съществуващи невронни мрежи описани чрез обобщени мрежи. Задълбочено са изследвани невронните мрежи от тип ART (Adaptive

Resonance Theory), като е наблегнато на описанието на алгоритмите за обучение на ART1, на алгоритъме за бавно обучение на ART2 и алгоритъма за бързо обучение на ART2. Направена е и подробна симулация на обобщена мрежа описваща тестващата процедура на ART2 невронната мрежа. Дадени са и различни приложения на ART2 невронната мрежа за:

- Разпознаването на лице в изображение
- Разпознаването на цветове от изображение като целта е да се разпознаят рентгенови и изображения от ядрено магнитен резонанс
- Разпознаване на конкретен човек в изображение

Съдържание на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от 130 страници и се състои от увод, три глави, изводи, приноси, насоки за бъдеща работа, списък с публикациите по дисертационния труд и използвана литература. Дисертационният труд включва 43 фигури и 3 таблици, а използваната литература към него – 151 заглавия.

ГЛАВА ПЪРВА СЪЩНОСТ И ПРИЛОЖЕНИЕ НА НЕВРОННИТЕ МРЕЖИ; ВЪВЕДЕНИЕ В ТЕОРИЯТА НА ОБОБЩЕНИТЕ МРЕЖИ

В глава първа са дадени въведения за невронни и обобщени мрежи. Даден е и обзор на съществуващите невронни мрежи описани чрез апарата на обобщените мрежи.

1.1 Невронни мрежи

Тук е дадено въведение за невронните мрежи, различните предавателни функции, еднослойна и многослойна невронна мрежа. Дадено е и въведение за невронни мрежи от тип ART

1.2 Обобщени мрежи

Тук са дадени основни дефиниции, които са необходими за изложението по-нататък и кратки исторически бележки за теорията на обобщените мрежи.

1.3 Съществуващи обобщеномрежови модели на невронни мрежи

Тук е направен обзор на различни невронни мрежи описани чрез апарата на обобщените мрежи.

1.4 Цел и задачи на дисертационния труд

Преди 23 години е поставен въпроса за моделиране с Обобщени мрежи на отделни класове на

невронни мрежи. Имайки в предвид големия брой различни невронни мрежи, се оказва, че това е голяма по обем работа. От друга страна изкуствените невронни мрежи са важно разширение в понятието изчисление. Теорията на изкуствените невронни мрежи се развива стремително, но в настоящия момент това не дава основание за реализирането на много оптимистични проекти.

Нерешените и досега проблеми, върху които се основава предлаганата разработка са:

- Липса на обобщено – мрежов модел на ART1 невронната мрежа
- Липса на обобщено – мрежов модел на когнитивно невронен алгоритъм за адаптивно резонансна теория 1
- Няма обобщено – мрежов модел на алгоритъмът за бавно обучение на ART2 невронната мрежа
- Отсъства обобщено – мрежов модел на алгоритъма за бързо обучение на ART2 невронната мрежа
- Не е разработена подробна симулация и описание на ART2 невронна мрежа чрез Обобщена мрежа
- Обобщено-мрежови описания на ART невронните мрежи в различни приложения

ГЛАВА ВТОРА – МОДЕЛИРАНЕ НА ART НЕВРОННИ МРЕЖИ С ОБОБЩЕНИ МРЕЖИ

В обобщеномрежовите модели описани в тази глава основно се акцентира на описанието на обучаващите алгоритми на ART невронни мрежи. Обърнато е внимание на действието на ART1 невронната мрежа, както и алгоритъма за обучението и. Описани са също така и бавния и бързия алгоритъм на обучение на ART2 невронната мрежа.

2.1 Обобщеномрежово моделиране на статичната структура на ART1 невронната мрежа

Обобщеномрежовият модел описва действието на ART1 невронната мрежа, която борави с двоични входни вектори. Първоначално е дадено описание и дефиниция на ART1 невронната мрежа (НМ), като са описани отделните компоненти, от които се състои.

Обобщеномрежовият модел показан на фиг. 1. представя действието на ART1 НМ, като първоначално се подава входен вектор и са описани стъпките през които преминава за да обучи мрежата.

Обобщената мрежа от фиг. 1. се състои от 6 прехода и 21 позиции. Преходите представят:

$Z_1 =$ „Разпределяне на входния сигнал”;

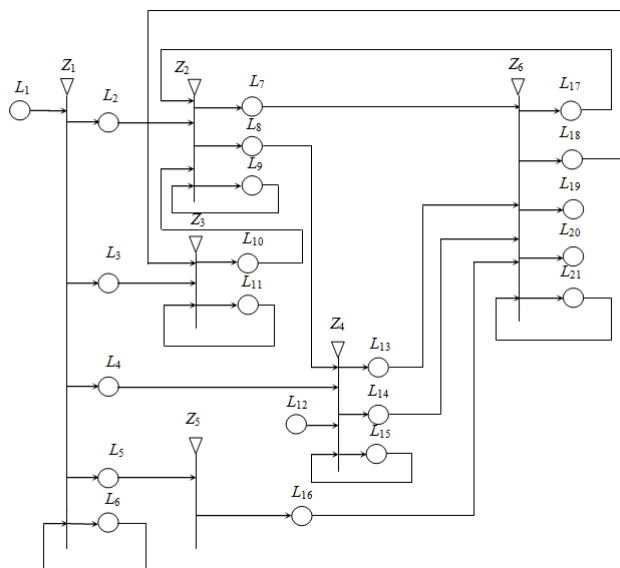
Z_2 = „Действие на Comparison Layer”;

Z_3 = „Действие на Gain 1”;

Z_4 = „Действие на Orienting Sub-system”;

Z_5 = „Действие на Gain 2”;

Z_6 = „Действие на Recognition Layer”;



Фиг. 1. OM модел на действието на ART1 NM

Дадено е подробно описание на модела.

2.2 Обобщеномрежово моделиране на когнитивен невронен алгоритъм за адаптивно резонансна теория 1

Представен е обучаващият алгоритъм на ART1 НМ, като продължение на действието на статичната структура. Входният вектор постъпва в НМ за обучение, като се подава на първия слой, Gain1 и към ориентиращата подсистема. След като се определят стойностите на тегловните коефициенти от първи слой, те постъпват във втори слой, който е на състезателен принцип за да се определят тегловните коефициенти от втори слой. Определените тегловни коефициенти постъпват в ориентиращата подсистема за да се определи дали има необходимия толеранс за обучение на неврона с входният вектор.

Обобщената мрежа (фиг. 2) се състои от 5 прехода и 27 позиции.

Преходите описват следните процеси:

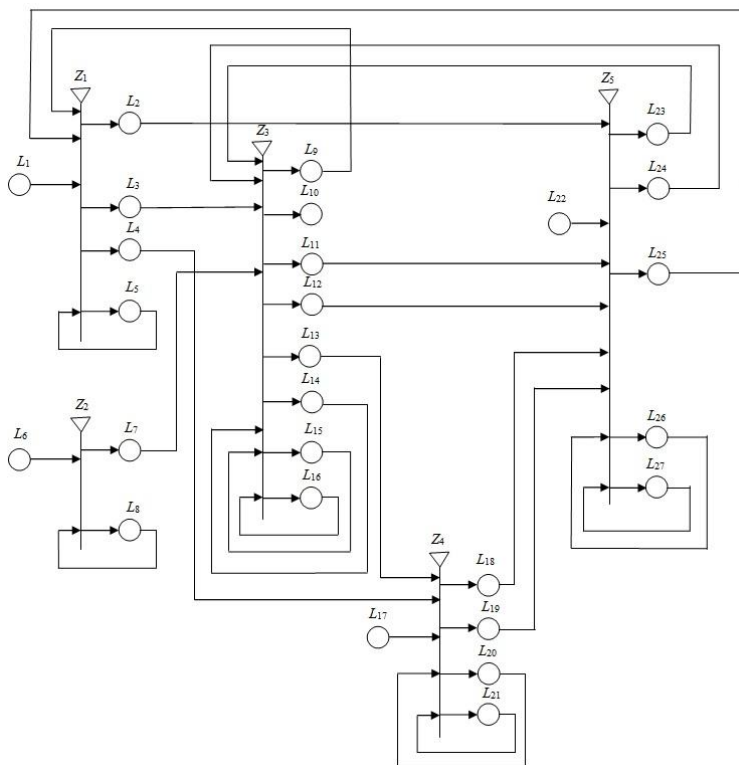
$Z_1 =$ „Разпределение на входния вектор“;

$Z_2 =$ „Инициализация на тегловните коефициенти $w_{i,j}^0$ в първи слой“;

$Z_3 =$ „Определяне на тегловните коефициенти $w_{i,j}$ в първи слой“;

$Z_4 =$ „Определяне на резонансното състояние“;

$Z_5 =$ „Определяне на тегловните коефициенти $v_{j,i}$ във втори слой“;



Фиг. 2. OM модел на алгоритъма на ART1 НМ

Дадено е подробно описание на модела.

2.3.Обобщеномрежов модел на алгоритъма за бавно обучение на art2 невронна мрежа

Алгоритъмът за бавно обучение на ART2 невронната мрежа е представен. ART2 борави с реални стойности на входния вектор. В началото алгоритъмът е описан стъпка

по стъпка с формули и е показано как всеки вектор влияе на мрежата. В края на процеса обучената мрежа се състои от стабилни клъстери със стойности според векторите. Обобщената мрежа (фиг. 3) се състои от 8 прехода и 27 позиции.

Преходите описват следните процеси:

Z_1 ="Извличане на вектор от матрицата";

Z_2 ="Изчисление на стойностите на вектора";

Z_3 ="Нормализация на данните";

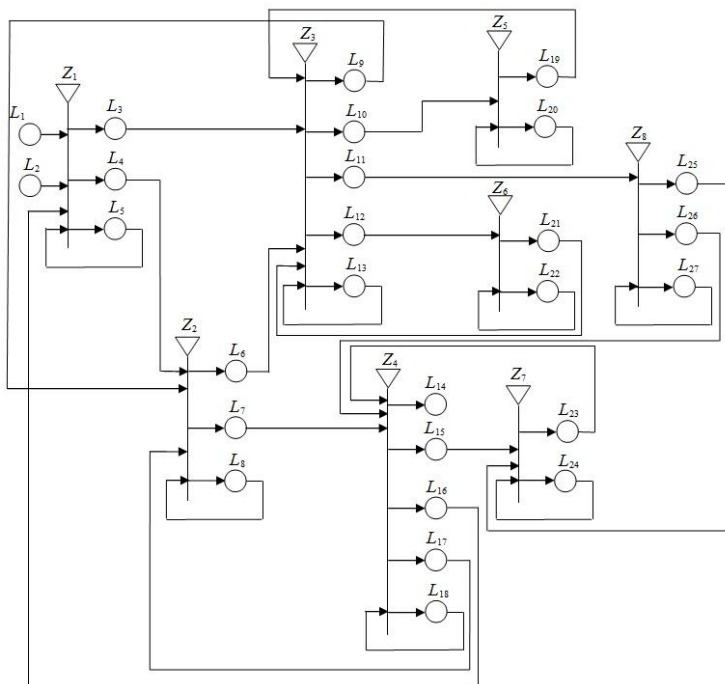
Z_4 ="Определяне на тегловните коефициенти";

Z_5 ="Изчисление на резонансното състояние";

Z_6 ="Подтискане на шума";

Z_7 ="Обновяване на тегловните коефициенти";

Z_8 ="Определяне на печелившия неврон";



Фиг. 3 OM модел на алгоритъма за бавно обучение на ART2 HM

Дадено е подробно описание на модела.

2.4 Обобщеномрежово моделиране на алгоритъма за бързо обучение на ART2 HM

Алгоритъмът за бързо обучение на ART2 невронната мрежа е описан. В началото на процеса алгоритъмът е описан стъпка по стъпка с математически формули и е показано как всеки

вектор променя стойностите си по време на обучението. Невронната мрежа поддържа клъстеризиране чрез използването на състезателно обучение, нормализация на сигнала и потискане на шума. В края на процеса на обучение мрежата се състои от стабилно обучени клъстери със стойности според обучаващите вектори.

Обобщената мрежа (фиг. 4) се състои от 7 прехода и 26 позиции.

Преходите описват следните процеси:

Z_1 ="Извличане на вектор от матрицата";

Z_2 ="Изчисляване стойностите на вектора";

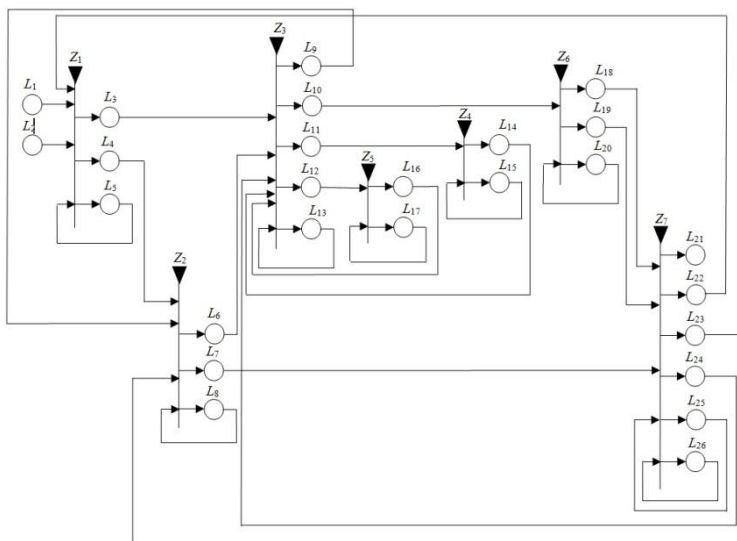
Z_3 ="Нормализация на данните";

Z_4 ="Изчисление на резонансното състояние";

Z_5 ="Подтискане на шума";

Z_6 ="Определяне на печелившия неврон";

Z_7 ="Определяне на тегловните коефициенти";



Фиг. 4. OM модел на алгоритъма за бързо обучение на ART2 NM

Дадено е подробно описание на модела.

2.5. Описание и симулация на ART2 NM чрез обобщена мрежа

В текущата работа се описва симулация на обобщеномрежов модел на ART2 NM. Представена е процедурата за тестване на обучена мрежа, за да се постигне целта е необходимо обучените стойности на „долни-горни“ и „горни-долни“ тегловни коефициенти да постъпят в мрежата в две ядра.

Когато всички ядра са инициализирани в ОМ, ядрото представляващо входен вектор може да постъпи в нея. Показно е как всяко ядро променя стойностите си по време на тестването. В края имаме две възможности – входният вектор да бъде присвоен от клъстера или да бъде премахнат от мрежата.

Целта е да се създаде достатъчно добър модел представящ работата, функционалността и тестването на Адаптивно резонансна теория 2 (ART2) НМ. Обобщеномрежовият модел позволява да се проследи и анализира разработването на процеса във времето, като всяка една от стъпките може да бъде анализирана в детайли.

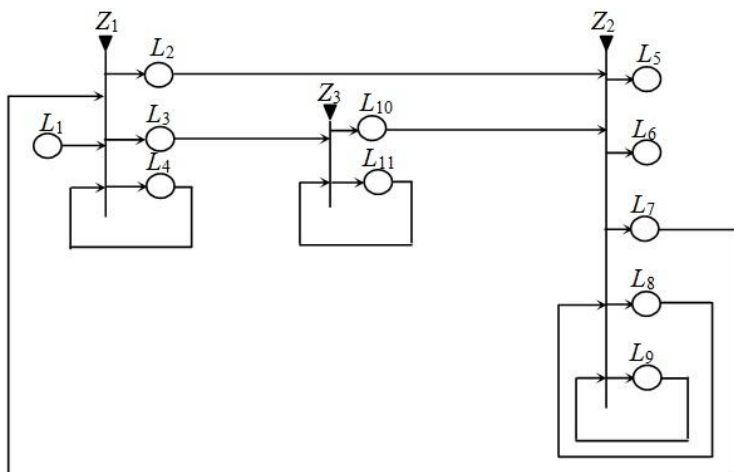
Обобщената мрежа (фиг. 5) се състои от 3 прехода и 9 позиции.

Преходите описват следните процеси:

Z_1 = “Действие на първият слой”;

Z_2 = “Действие на вторият слой”;

Z_3 = “Действие на ориентиращата подсистема”;

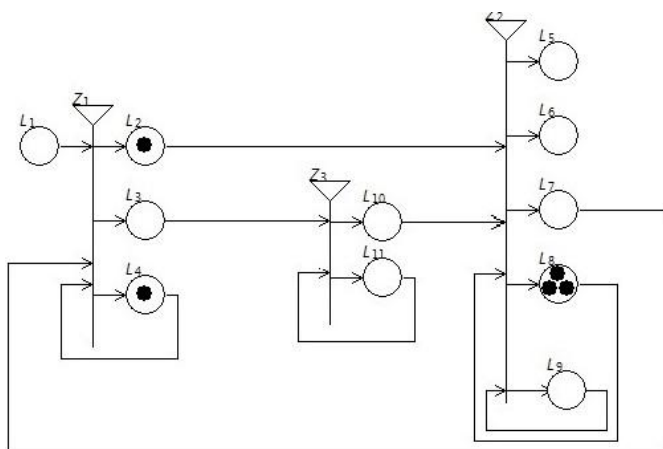


Фиг. 5 OM модел на тестването на ART2 NM

Дадено е подробно описание на модела.

СИМУЛАЦИЯ

В този раздел е представена симулация на OM модел за тестване на ART2 NM (Фиг. 6). Ядрата променят стойностите си на всяка стъпка и резултатите от изменението им е показано на фигури.



Фиг. 6. Симулация на ART2 NM
 Дадено е подробно описание на симулацията.

2.6. Изводи

В главата са разработени пет обобщеномрежови модела. В първият от тях е реализиран обобщеномрежов модел описващ статичната структура на ART1 невронната мрежа. Основно се разглежда действието на всеки слой и ориентиращата подсистема, описано е по стъпки как всеки отделен вектор постъпва в отделните модули на ART1.

Вторият модел разглежда алгоритъма на обучение на ART1 невронната мрежа описан чрез обобщена мрежа. Действието на двата слоя и ориентиращата подсистема са описани с формули, което показва процеса на клъстеризация на всеки вектор.

Третият модел представя алгоритъма за бавно обучение на втората невронна мрежа от типовете ART2. Първият слой на ART2 е по сложно устроен от този на ART1, поради причината, че невронната мрежа борави с реални стойности на входният вектор. Алгоритъмът първоначално е описан с формули, като след това чрез инструмента на обобщените мрежи е описан детайлно. Като резултат векторът може да бъде клъстеризиран или изхвърлен от мрежата.

В четвъртият модел се разглежда алгоритъма за бързо обучение на ART2 невронната мрежа. При него когато даден клъстер отговаря на критериите за обучение условието за обновяването на тегловните му коефициенти са необходими толкова итерации на първият слой когато стойностите на „долни-горни” и „горни-долни” достигнат равенство.

В последния модел се разглежда реална симулация на обобщена мрежа описваща тествашата процедура на ART2 невронна мрежа. Използван е програмния продукт Genedit, с помоща на който е постигнат крайния резултат. От постигнатите резултати се заключава, че обобщената мрежа успешно симулира работата на ART2 невронната мрежа, което се вижда от приложените резултати.

ГЛАВА ТРЕТА – ПРИЛОЖЕНИЕ НА ART2 НЕВРОННИ МРЕЖИ

В настоящата глава са разгледани три OM модела описващи приложението на ART2 невронната мрежа към различни проблеми, като за всяка от тях има получени резултати:

- Първата представя използването на ART2 невронна мрежа и собелов филтър за разпознаване на лица в изображение.
- В следващия OM модел е разгледано приложението на ART2 за разпознаване на цвят, като за целта е описан процеса на разпознаване на рентгенови и ЯМР(ядрено магнитен резонанс) изображения.
- В последния OM модел е описан процеса на разпознаване на конкретен човек в изображение чрез ART2 невронна мрежа.

3.1 Обобщеномрежово моделиране за разпознаване на лица чрез ART2 невронна мрежа и собелов филтър

Разглежда се проблемът на разпознаване на лица от изображение чрез използването на невронни мрежи. В началото на процеса желаните изображения за обучение

се избират след което се прилагат филтри към тях. След като процедурата приключи ART2 невронната мрежа се разделя на два клъстера с определена прагова стойност и се обучава със съответните филтрирани изображения. Когато процесът на обучение приключи мрежата е готова за тестване, единият от клъстерите отговаря за лица съответно другият за обекти различни от лица. На последна стъпка се взима изображение за тестване и в случай, че съществува разпознато лице се обгражда в черен квадрат. Процесът е описан чрез обобщена мрежа.

Обобщената мрежа (фиг. 7) се състои от 7 прехода и 21 позиции.

Преходите описват следните процеси:

Z_1 = „Извличане на зеления слой от изображенията“;

Z_2 = „Прилагане на собелов филтър“;

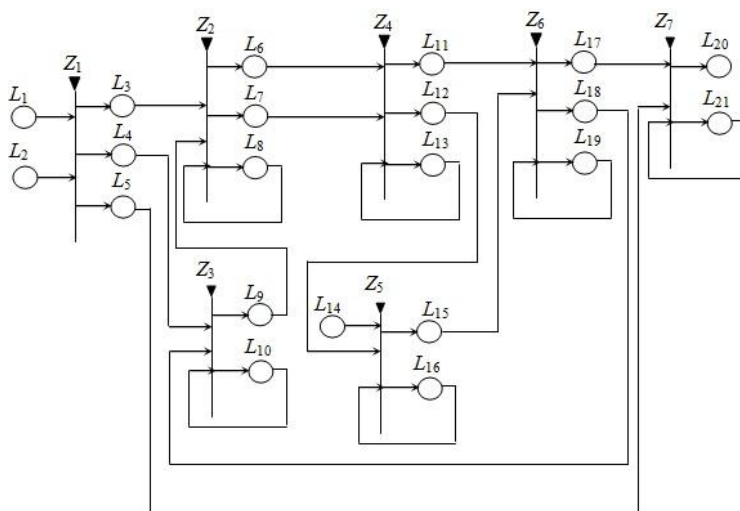
Z_3 = „Извличане на компонент от изображението“;

Z_4 = „Преобразуване от матрица във вектор“;

Z_5 = „Обучение на ART2 невронната мрежа“;

Z_6 = „Определяне на лице“;

Z_7 = „Визуализиране на данните“;



Фиг. 7. OM модел за разпознаване на лице
 Дадено е подробно описание на модела.

3.1.1. Резултати при разпознаването от НМ

Тествана е снимка в .jpg формат в невронната мрежа. Като резултат от процеса, две фигури са представени (Фиг. 8). За да получим по добри резултати са необходими повече изображения за обучение.



Тествано изображение



Изображение след тестване

Фиг. 8. Резултатни изображения

За разпознаването има приложен програмен код.

3.2 Моделиране на процеса на разпознаване на цвят в изображение чрез ART2 НМ.

Описана е употребата на адаптивно резонансна теория ART2 НМ за целта на разпознаване на цвят от рентгенови и изображения от ядрено магнитен резонанс. За да се обучи мрежата, стойностите на пикселите от RGB цветовете са взети за обучаващи вектори с три стойности, един за червения, един за зеления и един за синия. В края обучената мрежа се тества с RGB стойностите на снимката и решава как да покаже преобразуваната снимка. Като резултат се получава същата снимка с цветове според мрежата.

Използва се обобщена мрежа за да се моделира процеса описващ разпознаването на цвят в изображение.

Обобщената мрежа (фиг. 9) се състои от 5 прехода и 15 позиции.

Преходите описват следните процеси:

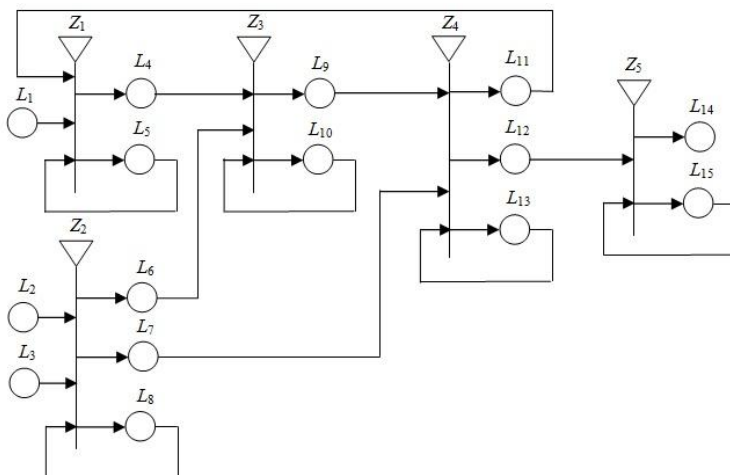
Z_1 = “Преобразуване на изображенията във вектори”;

Z_2 = “Обучение на невронната мрежа”;

Z_3 = “Определяне на клъстера за входния вектор”;

Z_4 = “Определяне на стойностите на пикселите на изображението”;

Z_5 = “Преобразуване на изходния вектор в изображение”;



Фиг. 9 OM модел на процеса на разпознаване на цвят в изображение чрез ART2 невронна мрежа

Дадено е подробно описание на модела.

3.2.1. Резултати при разпознаването от невронната мрежа

За да се тества алгоритъма се използва произволно изображение свалено от интернет (Фиг. 10). Резултатните изображения след процеса с разпознатите цветове са показани на (Фиг. 11)

Цветовете, които не са взети под внимание са обозначени в бял цвят. Може да се види от полученото рентгеново изображение след тестване в

мрежата, че има черни точки около черния разпознат обект, обяснението е, че разпознаваният цвят е сивият и стойностите на пикселите от [1 1 1] до [244 244 244] се приемат за сив цвят.



Фиг.10.

Оригинални изображения



Фиг.11 Изображения след тестване

За разпознаването има приложен програмен код.

3.3. Обобщеномрежово моделиране на процеса на разпознаване на човек в изображение чрез ART2 НМ

Представен е метод с помощта на който се определя човек в изображение. Комбинирани са инструментите на невронните мрежи и алгоритъм за разпознаване на лица. Невронната мрежа използвана за разпознаване е ART2, която е разделена на два клъстера обучени съответно единият с човека, който се разпознава, а другият с лицата на други хора. Използваният алгоритъм за намирането на лице в изображение е Viola-Jones, който се комбинира с невронната мрежа за идентифицирането на човека.

Използван е обобщеномрежов модел за описване на процеса на разпознаване.

Обобщената мрежа (Фиг. 12) се състои от 7 прехода и 19 позиции.

Преходите описват следните процеси:

Z_1 = “Прилагане на Viola-Jones алгоритъм и извличане на лице от изображение”

Z_2 = “Разделяне на входното множество”;

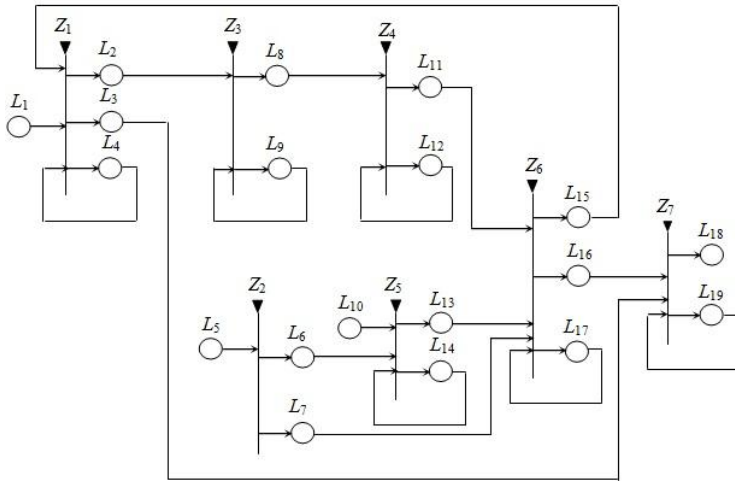
Z_3 = “Нормализация на лицето и извличане на червения слой”;

Z_4 = “Преобразуване на матрицата във вектор”;

Z_5 = “Обучение на невронната мрежа”;

Z_6 = “Тестване на невронната мрежа”;

Z_7 = “Визуализация на резултатите в изображението”;



Фиг. 12 OM модел на процеса на разпознаване на човек чрез ART2 NM

Дадено е подробно описание на модела.

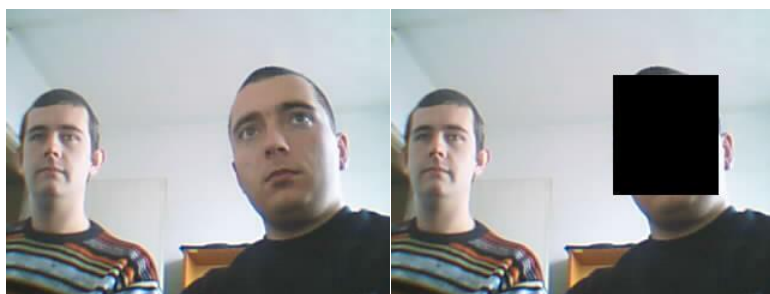
3.3.1. Резултати при разпознаването от невронната мрежа

За да се обучи мрежата се използва множество от изображения с размер от 35x40 пиксела за хора, в Таблица 1 са показани някои от обучаващите изображения

Първо множество			
Второ множество			

Таблица 1. Изображения за обучение на ART2 NM

На Фиг. 13 е показано изображението използвано при тестване от лявата страна е първоначалното изображение в дясно от него е изображението след тестване в мрежата. Може да се види, че търсеният човек е разпознат успешно, като резултат лицето му е обозначено в черен правоъгълник.



Първоначално

След тестване

Фиг. 13. Първоначалното и изображението след тестване
За разпознаването има приложен програмен код.

3.4. Изводи

В главата са разработени три обобщеномрежови модела описващи приложението на ART2 невронната мрежа за различни проблеми.

- В първия модел се разглежда приложението на ART2 невронната мрежа и собелов филтър за разпознаването на лица в изображение.
- При втория модел се разглежда приложението на ART2 невронната мрежа за разпознаването на цвят в изображение, като целта е да се разпознаят рентгенови и ЯМР изображения.
- Последният модел описва приложението на ART2 невронната мрежа и Viola-Jones алгоритъма за определянето на конкретен човек в изображение.

ПРИНОСИ КЪМ ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Основните приноси в дисертацията са с научно-приложен характер и се свеждат до предлагането на нови модели. Приносите с научно-приложен характер могат да се формулират като разработване на:

- Обобщеномрежов модел на ART1 невронна мрежа;
- Обобщеномрежов модел на когнитивно невронен алгоритъм за адаптивно резонансна теория 1;
- Обобщеномрежов модел на алгоритъма за бавно обучение на ART2 невронната мрежа;
- Обобщеномрежов модел на алгоритъма за бързо обучение на ART2 невронната мрежа.

Приносите с приложен характер представляват разработване на програми за:

- симулиране поведението на обобщеномрежовия модел на ART2 невронната мрежа;
- симулиране поведението на обобщеномрежовите модели на ART2 невронната мрежа за обработка на изображения;
- за всяка от невронните мрежи има разработен софтуер за:
 - разпознаването на лица в изображение;
 - разпознаването на цвят и изображение, като целта е да се разпознаят рентгенови и ЯМР изображения;
 - използване на Viola-Jones алгоритъма за определянето на конкретен човек в изображение.

НАСОКИ ЗА БЪДЕЩО РАЗВИТИЕ

Разработените обобщеномрежови модели дават възможност да се формулират различни идеи за техни бъдещи приложения. Например разработването на обобщеномрежови модел на процеса на криптиране текст в изображение, също както и оптимизация на ART2 алгоритъм.

Списък на публикациите по дисертационния труд

- 1* T. Petkov, S. Sotirov, "Generalized net model of the ART1 Neural Network" -Annual of "Informatics" Section Union of Scientists in Bulgaria, Volume 6, 2013, Burgas, 32-38.
- 2* Petkov T., S. Sotirov, "Bio-inspired Artificial Intelligence: Generalized Net Model of the Cognitive and Neural Algorithm for Adaptive Resonance Theory 1", Int. J. Bioautomation, 2013, 17(4), 207-216. (SJR 0.228)
- 3* Petkov T., S. Sotirov, Modeling the process of color image recognition using art2 neural network, International Journal Bioautomation 2015, Vol. 19 Issue 3, 303-310. (SJR 0.228)
- 4* Petkov T., S. Sotirov, Generalized net model of slow learning algorithm of unsupervised ART2 neural network, IWIFSGN'2013 Twelfth International Workshop on Intuitionistic Fuzzy Sets and Generalized Nets, Warsaw, 2014, 61-70.
- 5* Petkov T., S. Sotirov, A Generalized Net Model Based on Fast Learning Algorithm of Unsupervised Art2 Neural Network, Intelligent Systems'2014, Advances in Intelligent Systems and Computing, Springer, Volume 322, 2015, 623-632 (SJR 0.149).
- 6* Petkov T., S. Sotirov, Describing and Simulation of the Generalized Net Model of the ART2 Neural Network,"Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences" Tome 68, No 11, 2015, 1431-1438, (IF 0.219)
- 7* Petkov T., S.Sotirov, M. Krawczak, I. Vardeva. Generalized Net Model of Face Recognition using ART2 Neural Network and Sobel Filter. Issues in IFSs and GNs, SRI-PAS, Vol. 11, 2014, 23–31

8* Petkov, T., S. Sotirov, S. Surchev, Generalized Net Model of Person Recognition Using ART2 Neural Network and Viola-Jones Algorithm. In Novel Developments in Uncertainty Representation and Processing, Springer International Publishing, 2016, 257-265. (SJR 0.149).