

УДК 656.212.5:681.3

ПАХОМОВА В. М., к.т.н., доцент,
ФЕДОРЕНКО Ю. О., магістрант (ДНУЗТ)

Рішення задачі маршрутизації в комп'ютерній мережі Придніпровської залізниці на основі нейронної моделі Хопфілда

Представив д.т.н., професор Жуковицький І. В.

Вступ і постановка проблеми

Якість обслуговування мережі УЗ, фрагмент якої представлено на рис. 1, визначається як міра продуктивності передаючої системи, що відображує якість передачі та доступність послуг. У якості таких параметрів можуть виступати: доступність сервісу (діапазон часу, на період якого сервіс доступний між конкретними точками), втрати на лінії (відкинуті пакети, котрі не були доставлені за призначенням), затримки (час, який необхідно пакету для того, щоб після передачі дістати-

ся до пункту призначення) або коливання затримки (різниця між наскрізним часом затримки, яка виникає при передачі різних пакетів), пропускна здатність каналів, відстань між маршрутизаторами та інші [2]. У свою чергу, перелічені параметри залежать насамперед від типу самої маршрутизації. На сучасному етапі одним із підходів до рішення задач маршрутизації є використання апарату штучних нейронних мереж, що дозволяє вирішувати оптимізаційні задачі комбінаторної складності.

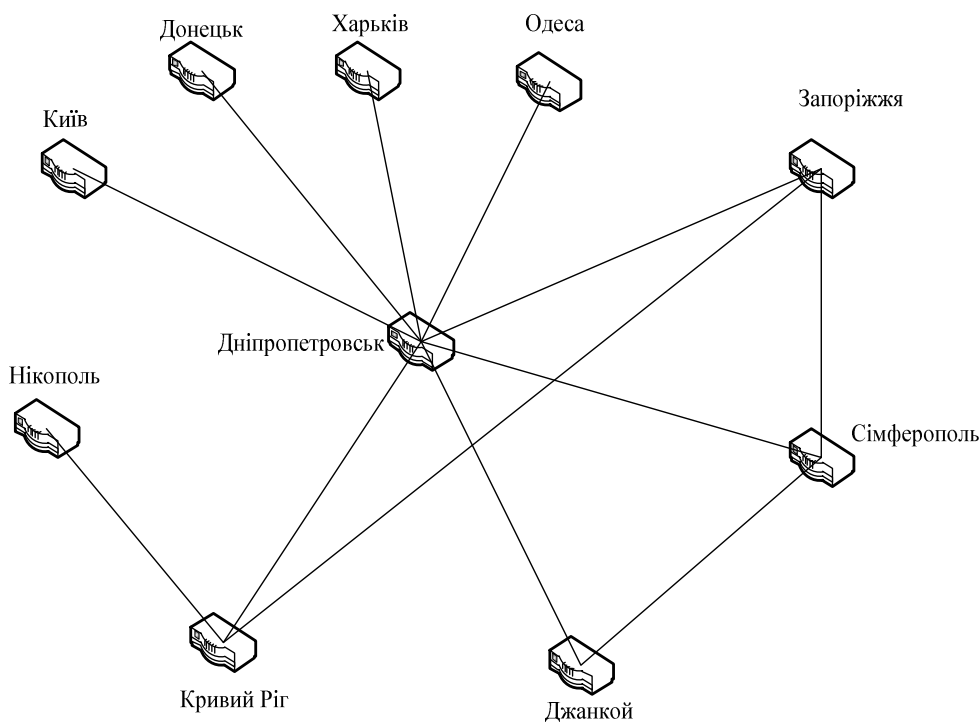


Рисунок 1 – Фрагмент мережі УЗ, з яким працює ОЦ Придніпровської залізниці

Аналіз публікацій по темі дослідження

Штучний нейрон, який складається з елементів трьох типів: помножувачів (синапсів), суматора і нелінійного перетворювача, подано на рис. 2 [6].

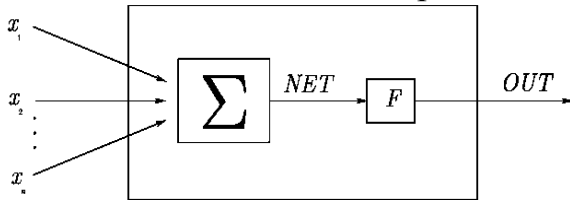


Рисунок 2 — Структура штучного нейрона

Вхідні сигнали, які в сукупності позначаються вектором X , відповідають сигналам, що приходять в синапси нейрона. Кожен сигнал помножується на відповідну вагу $w_1, w_2, \dots, w_n$, і поступає на блок, який підсумовує, позначений на рис. 2 як Σ . Кожна вага відповідає «силі» одного синаптичного зв'язку. Блок, який підсумовує, відповідає тілу біологічного елемента, складає зважені входи алгебраїчно, створюючи вихід NET . Сигнал NET далі, як правило, перетворюється активаційною функцією F і дає вихідний сигнал OUT [6].

В [1] показано, що за допомогою штучних нейронних мереж можливо забезпечити знаходження близького до оптимального рішення задачі комівояжера та пошуку найкоротшого шляху на графі. Використання нейронних мереж дозволяє знаходити маршрути в комп'ютерних мережах з великим числом вузлів, високою динамікою зміни її топології та характеристик каналів зв'язку [5]. Проведені дослідження можливості використання багат шарового персептронну, мережі Хопфілда та RBF-мережі для рішення задачі маршрутизації в телекомунікаційних системах. Визначено в [5], що названі мережі здатні розв'язати задачу маршрутизації в реальному масштабі часу з заданою точністю; мережі прямого розповсюдження та особливо мережі Хопфілда мають високий ступінь перспективним об'єктом для подальшого дослідження представляється штучна нейронна мережа Хопфілда.

Формулювання цілей роботи

Виконати аналіз існуючих штучних нейронних мереж та модифікувати схему їх класифікації. Розробити програмну модель нейронної мережі Хопфілда для рішення задачі комівояжера та пошуку найкоротшого

шляху на графі маршрутів в комп'ютерній мережі Придніпровської залізниці.

Основна частина

1. Класифікація нейронних мереж. Штучні нейронні мережі відрізняються своєю архітектурою: структурою зв'язків між нейронами, кількістю шарів, функцією активації нейронів, алгоритмом навчання. З цієї точки зору серед відомих мереж можна виділити статичні та динамічні, одно- та багат шарові мережі. Модифікована схема класифікації штучних нейронних мереж подана на рис. 3.

Класифікація штучних нейронних мереж можлива за наступними ознаками:

- за налаштуванням вагів (мережі з фіксованими зв'язками: вагові коефіцієнти нейронної мережі вибираються відразу, виходячи з умов завдання; мережі з динамічними зв'язками: для них в процесі навчання відбувається налаштування синаптичних вагів);
- за характером навчання (з вчителем, без вчителя та змішані);
- за кількістю шарів (одношарові складаються з одного шару нейронів, багат шарові – з декількох);
- за кількістю виходів (з одним входом та декількома виходами);
- за типом вхідної інформації (аналогова: вхідна інформація, представлена у формі дійсних чисел; бінарна: вся вхідна інформація в таких мережах представляється у вигляді нулів і одиниць);
- за типом активаційної функції (функція єдиного скачку: рівень виходів 0 або 1, кусочно-лінійна, сигмоїдальна: виходи безперервних значень, гіперболічного тангенсу: виходи мають область значень в інтервалі $(-1; 1)$);
- за часом передачі (синхронні: в кожний момент часу свій стан змінює лише один нейрон, асинхронні: стан міняється відразу у цілої групи нейронів, як правило, у всього шару);
- за напрямком зв'язку (зі зворотніми зв'язками: виходи нейронів пов'язані з входами, без зворотніх зв'язків: не пов'язані).

2. Математична модель нейронної мережі Хопфілда. За основу взята деталізована мережа Хопфілда зі структурою, зображеною на рис. 4 [3], що містить у собі два шари – нульовий не виконує ніяких функцій, а лише збирає виходи мережі та направляє їх знову на входи.

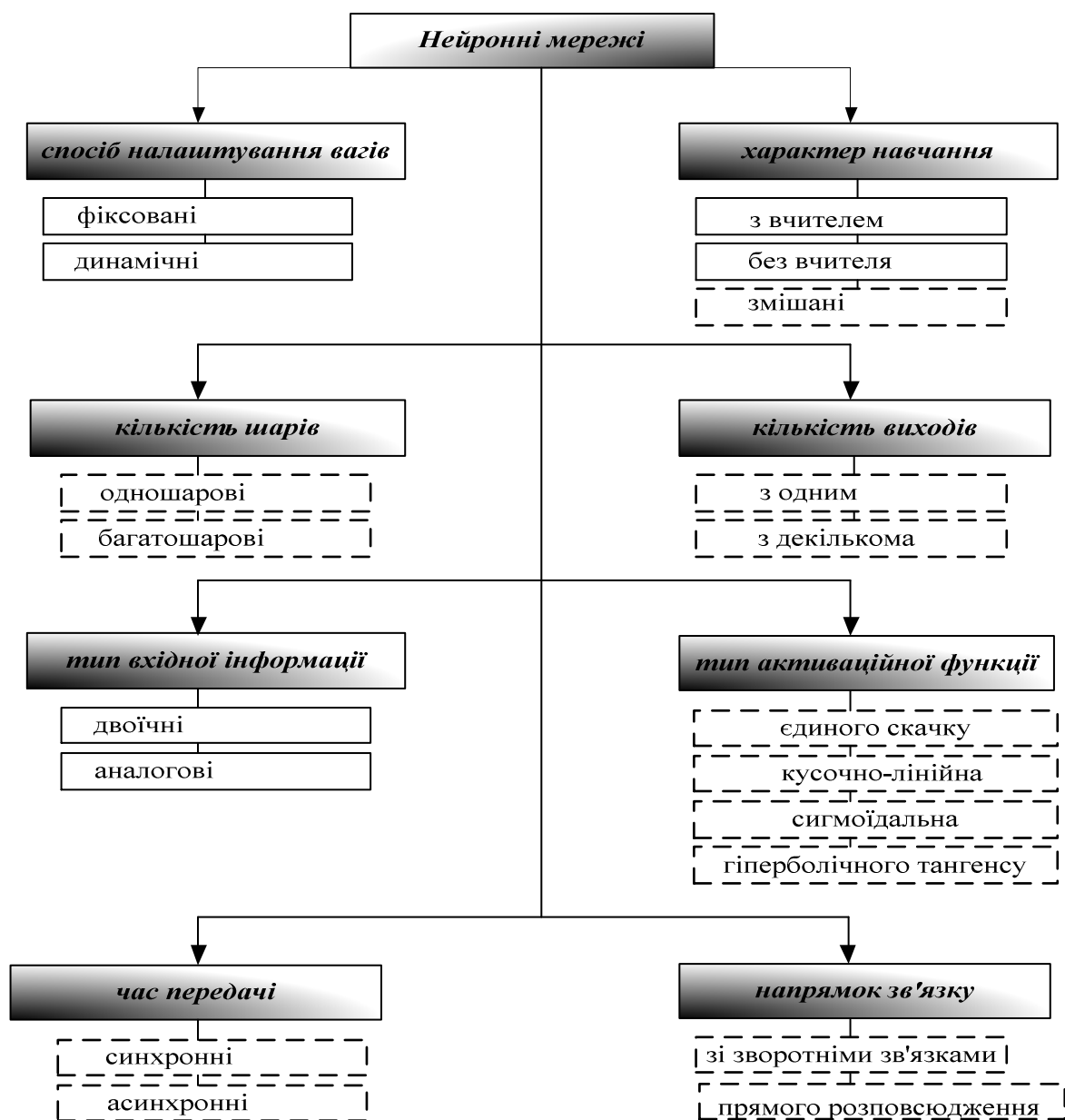


Рисунок 3 – Модифікована схема класифікації штучних нейронних мереж

Примітка: - доповнення до існуючої схеми [4]

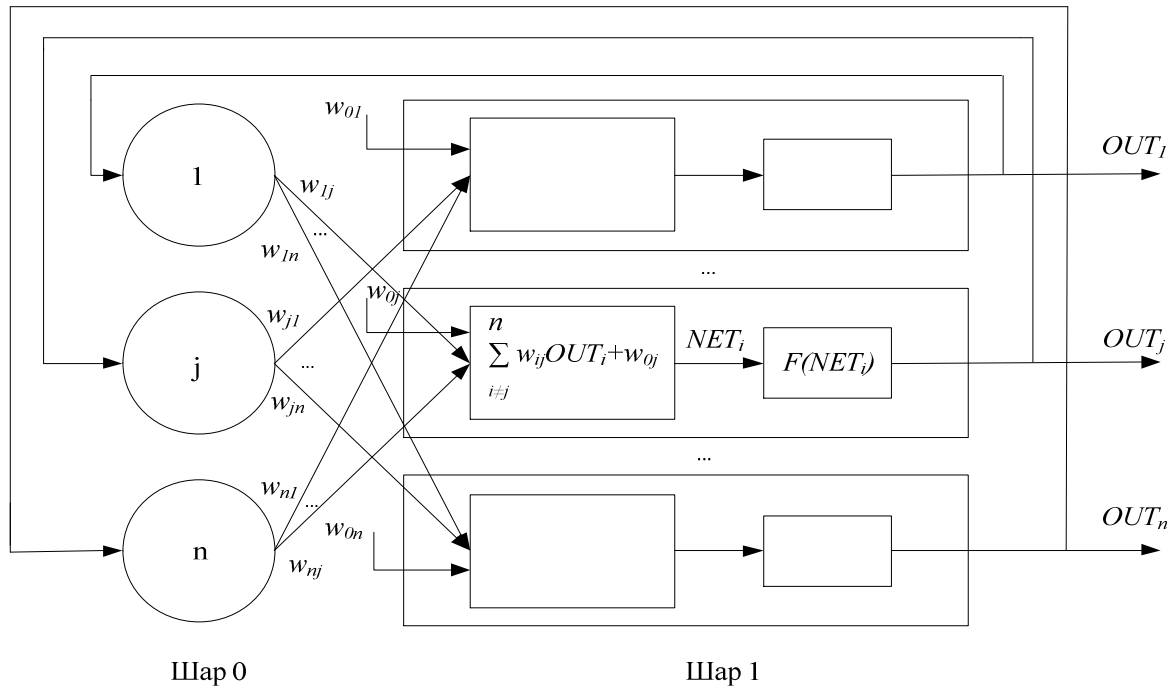


Рисунок 4 – Деталізована нейронна мережа Хопфілда

Кожен j -й нейрон першого шару обчислює зважену суму своїх входів – ваги w_{ij} , де $i, j \in [1, n]$, а також ваги зміщення w_{0j} , генеруючи вихід NET_j . Далі за

допомогою активаційної функції перетворюється на сигнал OUT_j . Рівняння руху між маршрутизаторами має наступний вигляд [1]:

$$\frac{du_{x_i}}{dt} = -\frac{u_{x_i}}{\tau} - A \sum_{j \neq i} V_{x_j} - B \sum_{Y \neq X} V_{Y_i} - C \left(\sum_X \sum_j V_{x_j} - n \right) - D \sum_Y d_{XY} (V_{Y,i+1} + V_{Y,i-1}), \quad (1)$$

де A, B, C та D - коефіцієнти; V_{x_i} – вихід нейрону, в якому маршрутизатор X розташований на i -ому маршруту; d_{XY} – відстань між маршрутизаторами; n – кількість маршрутизаторів.

Без будь-яких збитків параметр τ можна установити в 1, що і було зроблено. Рівняння руху в мережі повинне відповідати двом умовам: бути малою для тих рішень, котрі мають по одній одиниці в кожному рядку та кожному стовпці; віддавати перевагу з короткою довжиною маршруту. Це досягається за рахунок виконання наступних умов [1]:

- перша сума дорівнює нулю в тому і тільки тому випадку, якщо кожен рядок налічує не більше однієї одиниці;
- друга сума дорівнює нулю в тому і тільки тому випадку, якщо кожен стовпчик (порядковий номер відвідування) містить не більше однієї одиниці;
- третя сума дорівнює нулю в тому і тільки тому ви-

- падку, якщо матриця налічує рівно n одиниць;
- четверта сума гарантує виконання умови – перевагу коротким маршрутам.

При достатньо великих значеннях A, B та C низько енергетичні стани будуть представляти допустимі маршрути, а великі значення D гарантують, що буде знайдений короткий шлях.

У якості порогу активації [1] зручно використовувати функцію виду

$$V_{x_i} = \frac{1}{2} \left(1 + \tanh \left(\frac{u_{x_i}}{u_0} \right) \right), \quad (2)$$

де $\tanh$ – гіперболічна тангенціальна функція; u_0 – поріг значення зміщення мережі.

Використана функція активації гіперболічного тангенсу, тому що вона має максимальну схожість з реальними входними – вихідними зв'язками нейронів [1].

Якщо зважена сума виходів з інших нейронів більше значення 0.7 – вихід j -го нейрона буде дорівнювати одиниці, якщо менше 0.3 – він дорівнює нулю або залишається без змін, якщо вихідний сигнал дорівнює порогу T_j . Таким чином, повинні виконуватися наступні умови:

$$V_{x_i} = 1, \text{ якщо } V_{x_i} > 0.7;$$

$$V_{x_i} = 0, \text{ якщо } V_{x_i} < 0.3; \quad (3)$$

$$V_{x_i} = V_{x_i}, \text{ якщо } V_{x_i} = T_j.$$

Критерієм зупинки для мережі Хопфілда є ітерація, на котрій стан нейронів не змінюється, а функція руху досягне мінімуму. В цьому випадку обчислення зупиняються, а отриманий результат береться в якості маршруту комівояжера.

3. Розробка програмної моделі «Норф». У середовищі MathLab реалізована нейронна мережа Хопфілда для рішення задачі маршрутизації. Структура

програмної моделі «Норф» представлена на рис. 5. Рішенням задачі маршрутизації є упорядкована множина вершин графа маршрутизаторів, а функцією рішення - сумарна довжина шляху. У випадку n

маршрутизаторів існує $\frac{n!}{2n}$ різних варіантів

маршрутів, серед яких необхідно знайти найкоротший. Сформуємо матрицю розміром $n \cdot n$. Кожну вершину графа представимо рядком, що складається з n нейронів, вихід тільки одного з яких дорівнює одиниці, а виходи інших дорівнюють нулю. В такому випадку номер нейрона з одиничним виходом вкаже на номер вершини при обході. Оскільки кожна вершина відвідується тільки один раз та в кожен момент часу відвідується тільки одна вершина, то в кожному рядку та кожному стовпці буде по одній одиниці. При кодуванні нейронів використовуються два індекси, які відповідають номеру вершини та порядковому номеру відвідування цього пункту в маршруті.

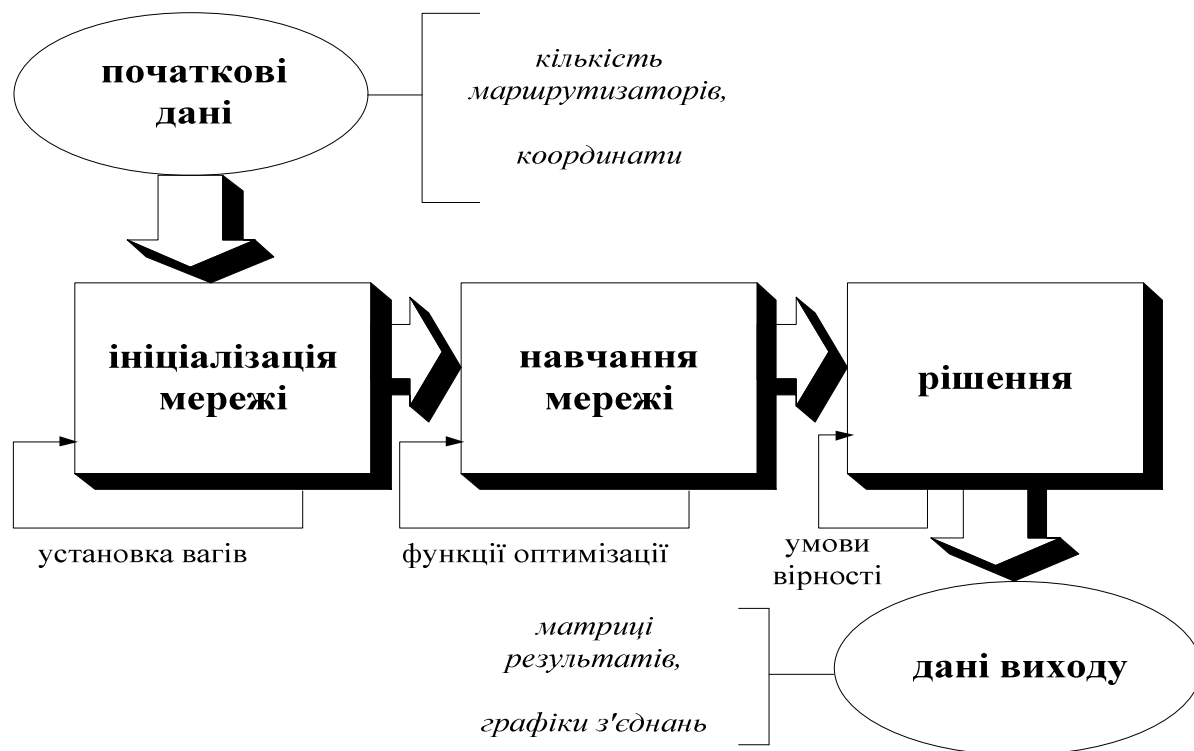


Рисунок 5 – Структура програмної моделі «Норф»

Вхідні параметри моделі: кількість маршрутизаторів, для котрих знаходиться найоптимальніший шлях; координати розташування маршрутизаторів на координатній сітці у діапазоні від 0 до 1. Вихідні параметри моделі: час, за який розраховується найкоротший

шлях; кількість ітерацій, що знадобилися для одержання кінцевого результату; проміжні матриці маршрутів, що не задовольняють усім умовам задачі; графік, що наглядно відображає з'єднання маршрутизаторів найкоротшим чином.

Головним і єдиним обмеженням, що висувається до програмної моделі, є представлення координат маршрутизаторів, для яких ведеться розрахунок. Діапазон, в якому вони мають знаходитися – по осі x та по осі y – від 0 до 1, це пов'язано з формулою (1). Для того, щоб знайти координати міст (отже і розташованих в них маршрутизаторів), були взяті географічні координати та переведені у систему координат з осями

x та y в діапазоні $[0,1]$. На осі $y \in [0,1]$ для переходу від географічних координат обраний діапазон 43° – 52° пн.ш., а на осі $x \in [0,1]$ – 28° – 37° сх.д. Так наприклад, перехід для міст Київ, Дніпропетровськ, Харків зображено на рис. 6. Отримані координати наведені в табл. 1.

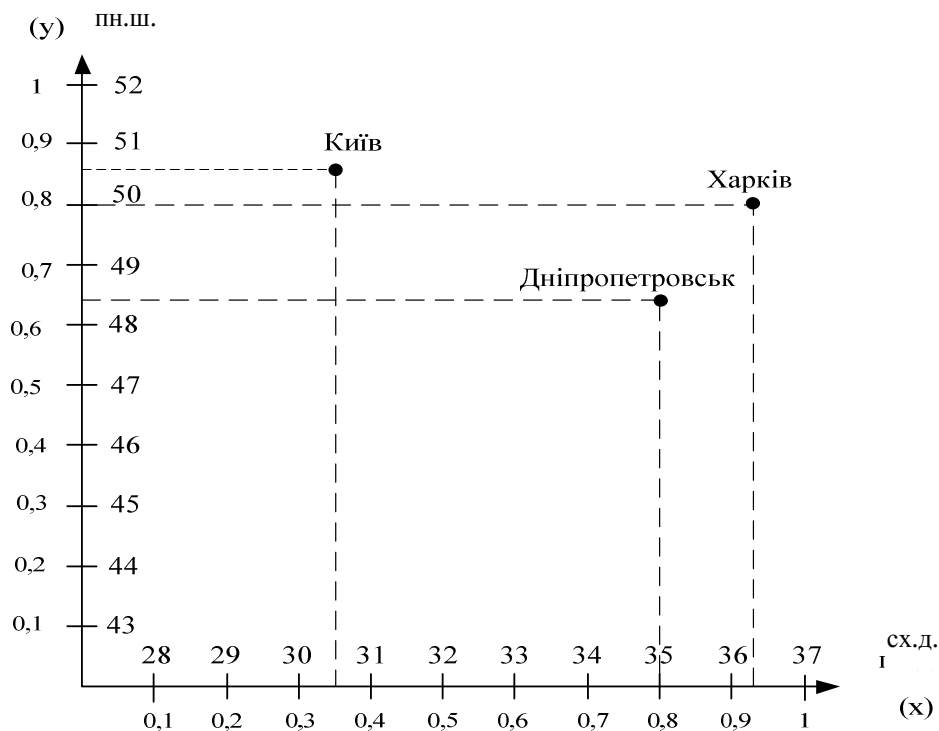


Рисунок 6 – Перехід від географічних координат

Таблиця 1 – Координати маршрутизаторів

№	Місто	Географічні координати		Координати на осі x, y
		сх.д.	пн.ш.	
1	Київ	30° 30'	50° 27'	[0.35, 0.845]
2	Харків	36° 15'	50° 00'	[0.925, 0.8]
3	Дніпропетровськ	34° 59'	48° 27'	[0.79, 0.647]
4	Кривий Ріг	33° 25'	47° 57'	[0.64, 0.59]
5	Донецьк	37° 48'	48° 00'	[1, 0.6]
6	Запоріжжя	35° 10'	47° 50'	[0.82, 0.585]
7	Нікополь	34° 34'	47° 35'	[0.74, 0.55]
8	Джанкой	34° 25'	45° 43'	[0.74, 0.375]
9	Сімферополь	34° 60'	44° 56'	[0.71, 0.295]
10	Одеса	30° 44'	46° 28'	[0.375, 0.45]

4. Приклад рішення задачі маршрутизації на програмній моделі «Норф». При знаходженні рішення задачі найкоротшого шляху між маршрутизаторами в комп'ютерній мережі Придніпровської залізниці задані наступні вхідні параметри:

$n = 10$; $cityx = [0.35, 0.925, 0.79, 0.64, 1, 0.82, 0.74, 0.74, 0.71, 0.375]$;

$cityy = [0.845, 0.8, 0.647, 0.59, 0.6, 0.585, 0.55, 0.375, 0.295, 0.45]$.

Одержані результати представлені на рис. 7–8.

$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ $total = 1$ (a)	$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ $total = 2$ $td = 2.4546$ (б)
--	---

Elapsed time is 1.099776 seconds

Рисунок 7 – Результати моделювання:
а – проміжна матриця; б – кінцева матриця

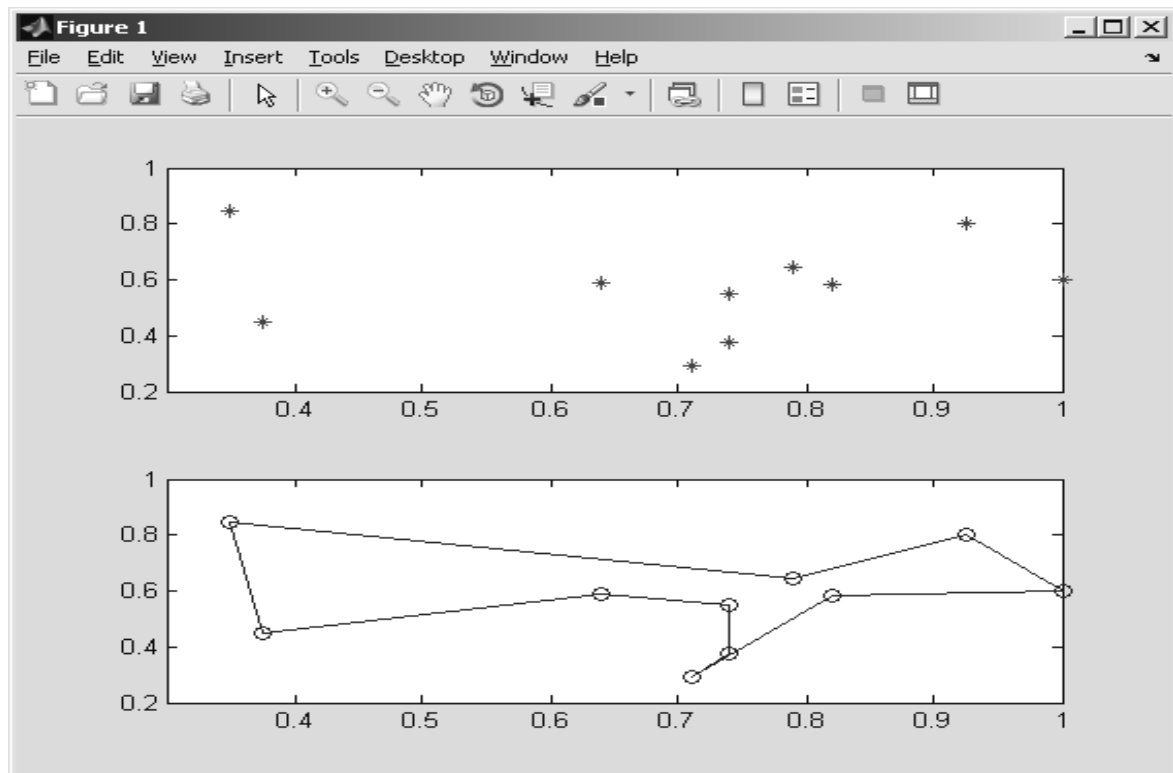


Рисунок 8 – Розташування та з'єднання маршрутизаторів

В комп'ютерній мережі Придніпровської залізниці сумарна довжина шляху (відстань між пунктами взята із табл. 2) складає 3336 км, в мережі, що представлена на рис. 8, складе 2966 км, тобто ефективністю визначатиметься зекономлений метраж кабелю, а саме 370 км.

Таблиця 2 – Відстань між пунктами мережі Придніпровської залізниці, км

	Дн-к	Київ	Дон.	Харк.	Одеса	Зап.	Сімф.	Джанк.	Кр.Р.	Нікоп.
Дн-к	-	533	253	210	346	70	458	369	151	97
Київ		-	786	487	489	602	842	780	451	602
Дон.			-	333	599	350	577	488	404	377
Харк.				-	556	307	837	775	361	334
Одеса					-	443	353	291	195	470
Зап.						-	361	272	248	27
Сімф.							-	89	476	337
Джанк.								-	414	245
Кр.Р.									-	248
Нікоп.										-

Висновки

- На основі існуючих штучних нейронних мереж модифікована схема їх класифікації за різними ознаками: налаштуванням вагів, характером навчання, кількістю шарів та виходів, типом вхідної інформації та активаційної функції, часом передачі та напрямком зв'язку.
- Аналіз джерел показав, що багатшаровий перцептрон, мережа Хопфілда та RBF-мережа здатні розв'язати задачу маршрутизації в реальному масштабі часу з завданою точністю; мережі прямого розповсюдження та особливо мережі Хопфілда мають високий ступінь стійкості роботи на відміну від мережі RBF; найбільш перспективним об'єктом для подальшого дослідження представляється штучна нейронна мережа Хопфілда.
- У середовищі MathLab розроблена програмна модель «Норф», в основі якої нейронна мережа Хопфілда, для рішення задачі комівояжера та пошуку найкоротшого шляху на графі маршрутів в комп'ютерній мережі. Головним обмеженням моделі є представлення координат об'єктів в діапазоні від 0 до 1. Вхідними параметрами моделі можна маніпулювати (в залежності від специфіки задачі): доступність сервісу, втрати на лініях, затримки та їх коливання, пропускна здатність, відстань між маршрутизаторами та інші.
- Для Придніпровської залізниці при прокладенні нового маршруту у комп'ютерній мережі знайдений найкоротший шлях між маршрутизаторами на основі розробленої програмної моделі «Норф», ефективність якої визначає зекономлений метраж кабелю 370 км.

Література

- Hopfield, J.J. "Neural" Computation of Decisions in Optimization Problems [Текст] // Biological Cybernetics. Springer-Verlag, 1985. – Pp. 141–152.
- Захватов М. Якість обслуговування в операторських мережах [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://www.opennet.ru/docs/RUS/qos_oper
- Кутиркин А.В. Использование нейронной сети Хопфилда для решения оптимизационных задач маршрутизации [Текст] / А.В. Кутиркин, А.В. Семин. – М.: МИИТ, 2007. – 15 с.
- Нейронні мережі. Портал штучного інтелекту [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.aiportal.ru/articles/neural-networks/model-neuron>.
- Павленко М.А. Анализ возможностей искусственных нейронных сетей для решения задач однопутевой маршрутизации в ТКС [Текст] / М.А. Павленко // Проблемы телекоммуникаций. – 2011. – № 2 (4). – 7 с.
- Тарков М.С. Нейрокомп'ютерні системи [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.intuit.ru/departament/expert/neuro>.

Резюме

Модифікована схема класифікації штучних нейронних мереж. У середовищі MathLab реалізована нейронна мережа

Хопфілда для знаходження близького до оптимального рішення задачі комівояжера та пошуку найкоротшого шляху на графі маршрутів в комп'ютерній мережі Придніпровської залізниці

Модифицирована схема классификации искусственных нейронных сетей. В среде MathLab реализована нейронная сеть Хопфилда для определения близкого к оптимальному решению задачи коммивояжера и поиска кратчайшего пути на графе маршрутов в компьютерной сети Приднепровской железной дороги

Classification scheme of artificial neural networks is modified. In a medium MathLab is implemented Hopfield neural network to determine near-optimal solution to the traveling salesman problem and finding the shortest path routing on a graph in a computer network of Dnieper railway

Ключові слова: задача комівояжера, штучний нейрон, активаційна функція, мережа Хопфілда, навчання мережі

Рецензент д.т.н., професор Лістровий С. В. (УкрДАЗТ)

Поступила 10.06.2012 г.