

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

БРЕЧКО ВЕРОНІКА ОЛЕКСАНДРІВНА



УДК 004.25 : 004.62

**МОДЕЛІ ТА СТРУКТУРИ ДАНИХ НА ОСНОВІ АСОЦІАТИВНОЇ
ПАМ'ЯТІ ДЛЯ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ ПРОЕКТУВАННЯ
СТРУКТУР ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ**

Спеціальність 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі обчислювальної техніки та програмування Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Дмитрієнко Валерій Дмитрович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
професор кафедри обчислювальної техніки
та програмування.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Можаєв Олександр Олександрович,
Харківський національний університет
внутрішніх справ,
професор кафедри інформаційних технологій
та кібербезпеки факультету №4;

доктор технічних наук, доцент
Коваленко Андрій Анатолійович,
Харківський національний університет
радіоелектроніки,
професор кафедри електронних
обчислювальних машин.

Захист відбудеться 12 грудня 2019 р. о 16³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.14 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2.

Автореферат розісланий «08» листопада 2019 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



І.Г. Ліберг

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасні системи для обробки інформації потребують достатньо високого рівня в швидкодії. Однак виникає проблема зв'язку пам'яті та процесора, так як швидкодія процесора на порядок більше ніж у пам'яті, в результаті чого пам'ять не встигає забезпечити процесор необхідною інформацією в потрібному темпі. За рахунок ієрархічної організації пам'яті, що випереджає вибірки інформації з пам'яті, використання кеш-пам'яті в деякій мірі прискорює передачу інформації, але такий підхід потребує великих затрат ресурсів. Найбільш ефективним способом вирішення цієї проблеми є комбінування функцій зберігання та обробки інформації з використанням асоціативного методу доступу для побудови баз знань.

Бази знань можуть використовуватись в автоматизованих системах керування технологічними процесами (ТП), при проектуванні структур ТП для виготовлення деталей. Інтерактивний або діалоговий принцип побудови таких систем найбільш повно відповідає сучасним вимогам розробки ТП. Такий принцип побудови систем проектування ТП заснований на зверненні до сукупності різних баз даних, які зберігають всю інформацію, необхідну для побудови ТП (дані про технологічні операції, переходи, станочний парк підприємства, готові ТП).

Проектування ТП з використанням систем автоматизованого проектування (САПР) зводиться до двох можливих варіантів – проектування з використанням процесу-аналога (типового, групового, узагальненого) або з використанням баз даних з окремими операціями, переходами, обладнанням тощо.

Зберігання структур технологічних процесів передбачає використання структур даних, але існуючі структури не задовольняють всім вимогам технологічних процесів, тому виникає необхідність у розробці такої структури даних, що дозволить створити оптимальну базу даних. Що, в свою чергу, дозволить будувати структури технологічних процесів для складних, високоточних виробів, з можливістю коригування даних в процесі побудови структур ТП та асоціювати з однією деталлю декілька технологічних процесів. Тому виникає необхідність розробки нових методів зберігання та використання даних за допомогою нейронних мереж асоціативної пам'яті для комп'ютерних систем проектування структур ТП.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі обчислювальної техніки та програмування Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» згідно плану держбюджетних науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України: «Розробка інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень для діагностики, керування та оптимізації технічних та біотехнічних об'єктів» (ДР № 0113U000449); «Розвиток теорії нейронних мереж адаптивного резонансу та асоціативної пам'яті для створення інтелектуальних систем» (ДР № 0116U000893), в яких здобувач був виконавцем окремих етапів.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є розроблення

структури даних на основі асоціативної пам'яті для комп'ютерних систем проектування структур технологічних процесів.

Для досягнення зазначеної мети поставлені наступні задачі:

- провести аналіз існуючих методів зберігання та обробки даних за допомогою асоціативної пам'яті, обґрунтувати вибір напрямку дослідження;
- розробити архітектури та алгоритми функціонування нейронних мереж для реалізації багатонаправленої асоціативної пам'яті, що дозволять реалізувати множинні асоціації;
- розробити архітектури та алгоритми функціонування нейронних мереж багат шарової асоціативної пам'яті, що дозволять будувати ланцюги асоціацій;
- розробити структури даних на основі асоціативної пам'яті та списків, черг, що можуть використовуватись для опису операцій технологічних процесів виготовлення деталей;
- розробити структури даних на основі асоціативної пам'яті та дерев і графів, які дозволять зберігати, обновляти та коригувати інформацію при моделюванні та проектуванні структур технологічних процесів;
- розробити нейронну мережу асоціативної пам'яті, що може бути використана для визначення обладнання для операцій технологічних процесів;
- провести опис структур технологічних процесів для конкретних виробів та розробити практичні рекомендації щодо застосування нових структур даних.

Об'єкт дослідження – процеси обробки інформації з використанням асоціативної пам'яті.

Предмет дослідження – моделі структур даних на основі асоціативної пам'яті для комп'ютерних систем проектування структур технологічних процесів.

Методи дослідження. Розробка моделей асоціативної пам'яті проводилася за допомогою теорії нейронних мереж. Розробка структур даних на основі асоціативної пам'яті проводилась за допомогою теорії алгоритмів та структур даних. Дослідження процесів побудови маршрутної карти технологічного процесу проводилося з використанням теорії обробки металевих матеріалів.

Наукова новизна отриманих результатів:

- **отримала подальший розвиток** архітектура нейронної мережі N -направленої асоціативної пам'яті, яка на відміну від двонаправленої асоціативної пам'яті, що містить один вхідний та один вихідний шари та кожному вхідному вектору на даному шарі нейронної мережі відповідає одна асоціація, містить або один вхідний шар та N вихідних, або N_1 вхідних та N вихідних і має можливість побудови множинних асоціацій, що дозволило використати її в базі даних для проектування структур технологічних процесів;
- **вперше** розроблені архітектури мереж багат шарової асоціативної пам'яті та асоціативної пам'яті з керуючими нейронами, що на відміну від двонаправленої асоціативної пам'яті, у якій кожному вхідному вектору відповідає одна асоціація, має можливість побудови ланцюгів асоціацій з доступом до будь-якого елементу ланцюга та можливість коригування проміжних результатів за допомогою керуючих нейронів, що дозволило використати їх в базі даних для проектування структур технологічних процесів;

– **вперше** розроблена структура даних на основі нейронних мереж асоціативної пам'яті, яка складається з програмних компонент, кожен з яких представляє собою типовий елемент структури даних, що дозволяє більш ефективно моделювати структури технологічних процесів;

– **отримала подальший розвиток** ієрархічна нейронна мережа на основі нейронних мереж асоціативної пам'яті, що на відміну від існуючої, яка складається з нейронних мереж адаптивно-резонансної теорії, складається з блоків, кожен з яких представляє собою нейронні мережі багатонаправленої та багатопарової асоціативної пам'яті та мережу Хеммінга, які дозволяють отримувати ланцюги асоціативних даних, множинні асоціації та мають можливість донавчання, що дозволило використати її при виборі обладнання для операцій технологічного процесу.

Практичне значення отриманих результатів для синтезу комп'ютерних систем і компонентів на основі асоціативної пам'яті:

– розроблені нові архітектури нейронних мереж асоціативної пам'яті, які можуть застосовуватись не тільки для синтезу структур технологічних процесів, а і для вирішення задач штучного інтелекту, обробки зображень, розпізнавання образів, розробки ієрархічної та деревовидної асоціативної пам'яті;

– для синтезу структур технологічних процесів запропоновано структуру даних на основі нейронних мереж асоціативної пам'яті, що складається з програмних компонент, кожен з яких представляє собою одну з моделей нейронних мереж асоціативної пам'яті.

Результати роботи впроваджені:

– в державному підприємстві «Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості» (м. Харків) при виготовленні високоточних виробів;

– в навчальному процесі НТУ «ХПІ» на кафедрі обчислювальної техніки та програмування при викладанні учбових дисциплін: «Основи нейрокомп'ютерингу», «Системи штучного інтелекту», а також в курсових, дипломних та наукових роботах студентів спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія».

Особистий внесок здобувача. Усі основні результати дисертаційної роботи, які виносяться на захист, отримані здобувачем особисто. У роботах, опублікованих зі співавторами, здобувачеві належить: [1] – нейромережева архітектура з можливістю донавчання, [2] – асоціативна пам'ять, що використовується при виборі обладнання для технологічних процесів, [3] – нейромережева архітектуру для зберігання асоціацій у вигляді ланцюгів даних, [4] – моделі асоціативної пам'яті для зберігання багатопарових, деревовидних та багатонаправлених асоціативних даних, [5] – вирішення задачі використання асоціативної пам'яті при проектуванні структури технологічного процесу, [6] – алгоритм функціонування трьохшарового перцептронну з можливістю донавчання, [7] – архітектура та алгоритм функціонування нейронної мережі, [8] – конфігурація та алгоритми навчання і функціонування нейронної мережі, [9] – алгоритм функціонування та структура нейронної мережі, [10] – програмні

компоненти для реалізації нейронної мережі, [11] – архітектура нейронної мережі, [12] – нейромережеву архітектуру для СППР, [13] – алгоритм функціонування нейронної мережі, що здатна донавчатися, [14] – модель асоціативної пам'яті для синтезу структур технологічних процесів, [15] – модель асоціативної пам'яті для опису структур технологічних процесів, [16] – архітектура багатошарової асоціативної пам'яті на основі нейронних мереж, [17] – архітектура нейронної мережі для опису структури технологічного процесу, [18] – модель асоціативної пам'яті для синтезу технологічних процесів, [19] – метод синтезу технологічних процесів на основі асоціативної пам'яті, [20] – архітектури та алгоритми функціонування нейронних мереж на основі асоціативної пам'яті, [21] – метод використання асоціативної пам'яті в технологічній підготовці виробництва, [22] – метод використання асоціативної пам'яті при описі технологічних процесів, [23] – використання асоціативної пам'яті в якості бази знань технологічних процесів, [24] – нейронні мережі для використання при обробці даних, [25] – нейронні мережі на основі асоціативної пам'яті для обробки даних, [26] – нові види асоціативної пам'яті для обробки даних.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на Міжнародних науково-технічних конференціях: «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (Харків, 2015 – 2018), «Прикладна математика, управління і інформатика» (Белгород, 2012), «Проблеми інформатики та моделювання» (Ялта, 2012, 2013, Одеса, 2015, 2017, 2018), «Інформатика, управління та штучний інтелект» (Харків, 2014 – 2018).

Публікації. Основний зміст дисертаційної роботи відображено у 26 наукових публікаціях, з них: 5 статей – у наукових фахових виданнях України, 1 стаття у закордонному періодичному фаховому виданні, отримано 3 патенти України на винахід та 1 свідоцтво про авторське право на твір, 16 – у матеріалах конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації становить 154 сторінки. Робота містить 63 рисунки (з них 1 на 1 окремі сторінці), 23 таблиці (з них 1 на 2 окремих сторінках), список використаних джерел з 120 найменувань на 10 сторінках, 2 додатки на 9 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи; сформульовано мету та задачі дослідження; наведено зв'язок дисертації з науковими темами та програмами; визначено об'єкт та предмет дослідження; висвітлені положення, які визначають практичне значення отриманих результатів та їх наукову новизну; висвітлено особистий внесок здобувача в одержаних результатах, їх апробацію та публікації.

У **першому розділі** проведено аналіз переваг та недоліків сучасних методів

зберігання та обробки інформації при проектуванні структур технологічних процесів, який показав, що існуючі методи на основі стандартного зберігання не забезпечують необхідної швидкодії для реалізації інтелектуальних інтерфейсів.

При створенні одиничних технологічних процесів з використанням баз даних, час економиться на те, що текст переходів в тій чи іншій мірі вже присутній в базі даних, але вибір стратегії обробки, обладнання та інструменту, залишається в руках технологів. Всі необхідні дані повинні зберігатися в базі і бути доступними при необхідності отримання інформації. Створити таку базу даних дозволяють структури даних на основі асоціативної пам'яті, які можуть зберігати великий обсяг інформації та дають можливість коригувати її в процесі експлуатації. Тому виникає необхідність розробки такої асоціативної пам'яті, що дозволить зберігати та обробляти велику кількість формалізованої інформації, яка на даний час зберігається у вигляді базових структур (списки, черги, дерева та ін.). Що, в свою чергу, дозволить будувати ТП для складних, високоточних виробів, з можливістю коригування даних в процесі побудови ТП та асоціювати з однією деталлю декілька технологічних процесів.

В роботі пропонується для вирішення цієї задачі виконати розроблення та дослідження нейронних мереж асоціативної пам'яті, моделей та структур даних для комп'ютерної системи проектування технологічних процесів.

Другий розділ присвячено розробці нових нейронних мереж на основі двонаправленої асоціативної пам'яті.

При зберіганні інформації виникає ситуація, коли елемент даних пов'язаний не тільки з одним сусіднім елементом, а з декількома одразу, тому виникає необхідність зберігання даних у вигляді деревовидної структури, що забезпечує ефективну обробку інформації за рахунок способу розміщення кожного елемента даних у вигляді частин дерева або графа.

На основі нейронних мереж двонаправленої асоціативної пам'яті (ДАП) розроблена нейронна мережа N -направленої асоціативної пам'яті (рис. 1), що складається з N шарів нейронів та дозволяє зберігати множинні асоціації. Мережа функціонує відповідно до двох алгоритмів: навчання та розпізнавання. Алгоритм навчання являє собою процес визначення навчального набору зображень і побудови матриць вагових коефіцієнтів для зв'язку вхідних і вихідних шарів нейронів.

В результаті об'єднання в структурі нейронної мережі N вихідних шарів, досягається можливість відновлення множинних асоціацій по одному вхідному вектору (зображенню).

Дана мережа може працювати в зворотному напрямку, коли множина вхідних векторів може асоціюватися з одним вихідним.

При проектуванні системи зберігання для обчислювальних систем може виникнути ситуація, коли множина вхідних векторів (зображень) пов'язана з множиною вихідних. Наприклад, комбінація заданих на вході векторів викликає множину векторів на виході, при зміні хоча б одного вхідного вектору змінюється вся множина вихідних зображень.

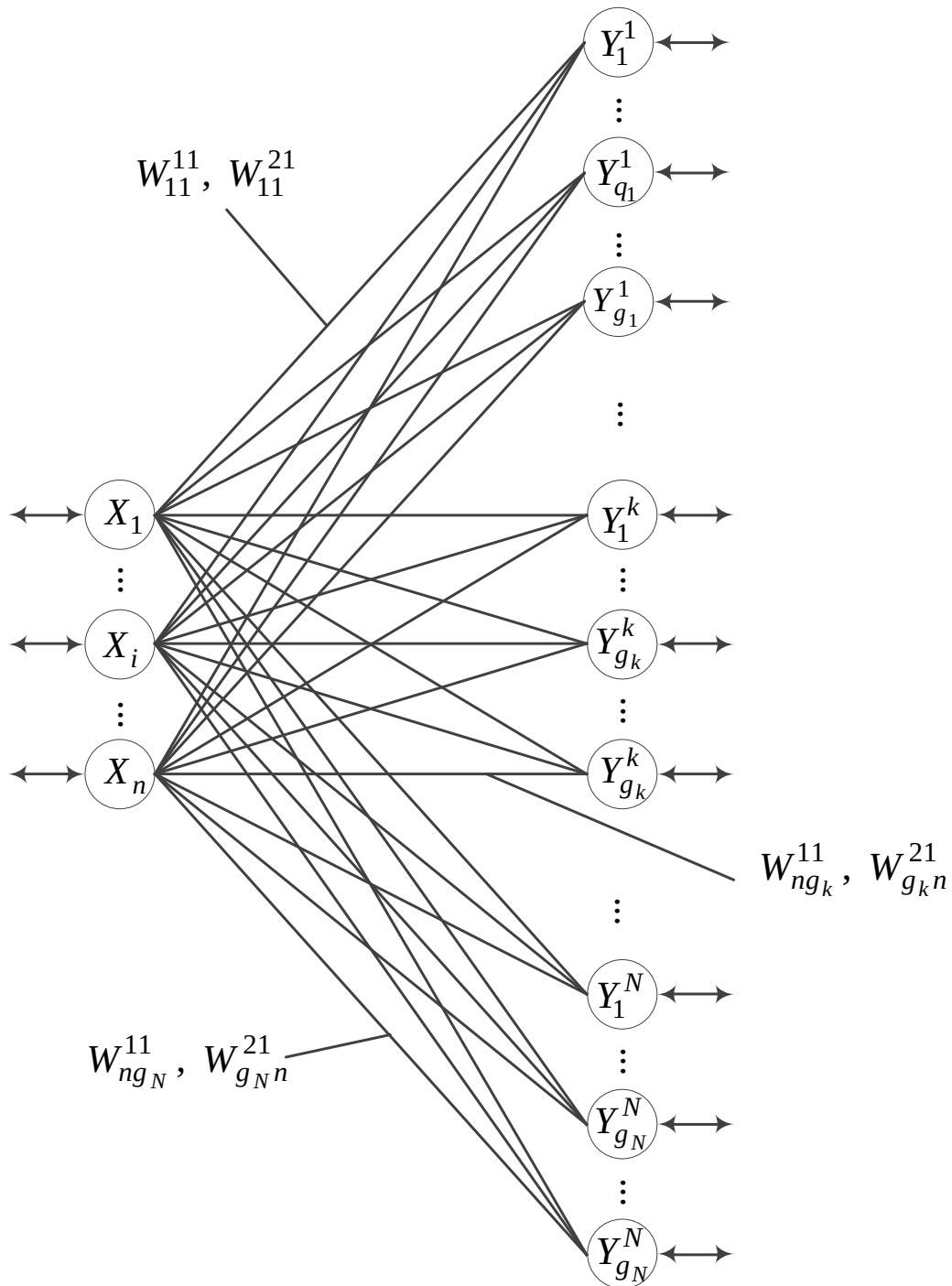


Рисунок 1 – Структурна схема N -направленої асоціативної пам'яті

Тому виникає необхідність розробки асоціативної пам'яті типу $N_1 \rightarrow N_2$, коли множина вхідних зображень асоціюється з множиною вихідних (рис. 2).

Розроблені нейронні мережі асоціативної пам'яті, що здатні відновлювати по вхідній інформації безліч асоціативних вихідних зображень, по множині вхідних даних одне вихідне зображення та по комбінації вхідних зображень множину вихідних. Тобто розроблена асоціативна пам'ять $1 \rightarrow N$, $N \rightarrow 1$ та $N_1 \rightarrow N_2$.

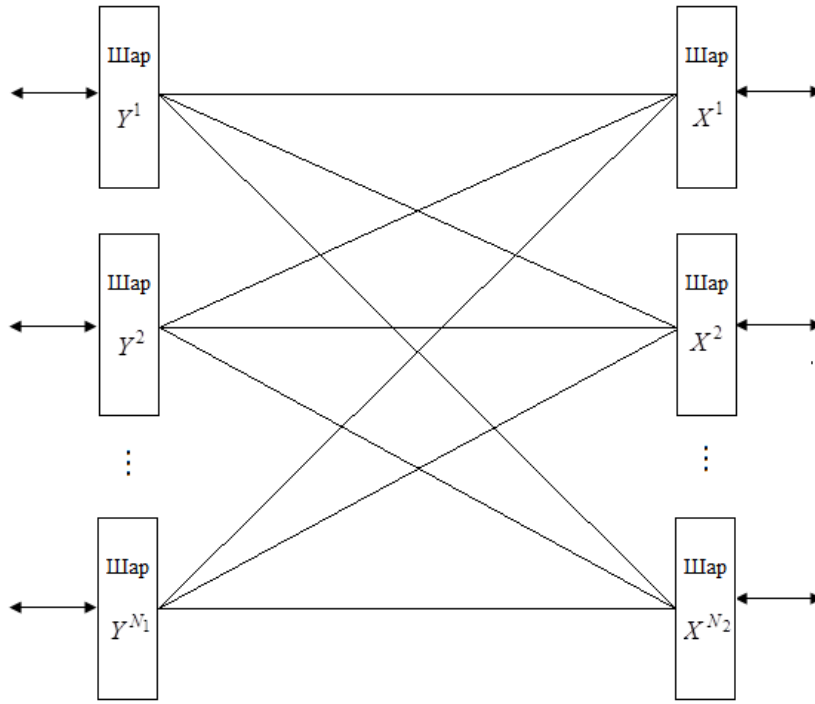


Рисунок 2 – Схема асоціативної пам'яті $N_1 \rightarrow N_2$

Розроблена нейронна мережа багатошарової двонаправленої асоціативної пам'яті. Вона дозволяє будувати ланцюги асоціативних даних. Кожен шар мережі пов'язаний з попереднім та наступним двонаправленими зв'язками, що дозволяє відновлювати дані з обох кінців мережі. Мережа складається з двох сенсорних шарів нейронів вхідного X_i ($i = \overline{1, n}$) і вихідного Y_j ($j = \overline{1, m}$), а також з N проміжних шарів $Z_{q_1}^1$ ($q_1 = \overline{1, g_1}$), $Z_{q_2}^2$ ($q_2 = \overline{1, g_2}$), ..., $Z_{q_N}^N$ ($q_N = \overline{1, g_N}$). Кожен нейрон вхідного шару X_i ($i = \overline{1, n}$) пов'язаний з кожним нейроном Z^1 -шару парами двонаправлених зважених зв'язків $W_{iq_1}^1, W_{q_1i}^2$ ($i = \overline{1, n}, q_1 = \overline{1, g_1}$), кожен нейрон Z^1 -шару пов'язаний з кожним нейроном Z^2 -шаром парами двонаправлених зважених зв'язків $W_{q_1q_2}^1, W_{q_2q_1}^2$ ($q_1 = \overline{1, g_1}, q_2 = \overline{1, g_2}$). По аналогії кожен наступний Z^k -шар пов'язаний з попереднім шаром $Z^{(k-1)}$ парами двонаправлених зважених зв'язків $W_{q_{k-1}q_k}^1, W_{q_kq_{k-1}}^2$ ($q_{k-1} = \overline{1, g_{k-1}}, q_k = \overline{1, g_k}$), а також з наступним $Z^{(k+1)}$ -шаром парами двонаправлених зважених зв'язків $W_{q_kq_{k+1}}^1, W_{q_{k+1}q_k}^2$ ($q_k = \overline{1, g_k}, q_{k+1} = \overline{1, g_{k+1}}$). Вихідний Y -шар нейронної мережі пов'язаний з попереднім Z^N -шаром парами двонаправлених зважених зв'язків.

Функціонування мережі забезпечує послідовний доступ до кожного асоціативного зображення в ланцюгу. За допомогою введення в структуру додаткових зв'язків, що забезпечать передачу інформації від одного шару нейронної мережі до всіх інших, можна отримати нейронну мережу у вигляді повнозв'язного графа (рис. 3).

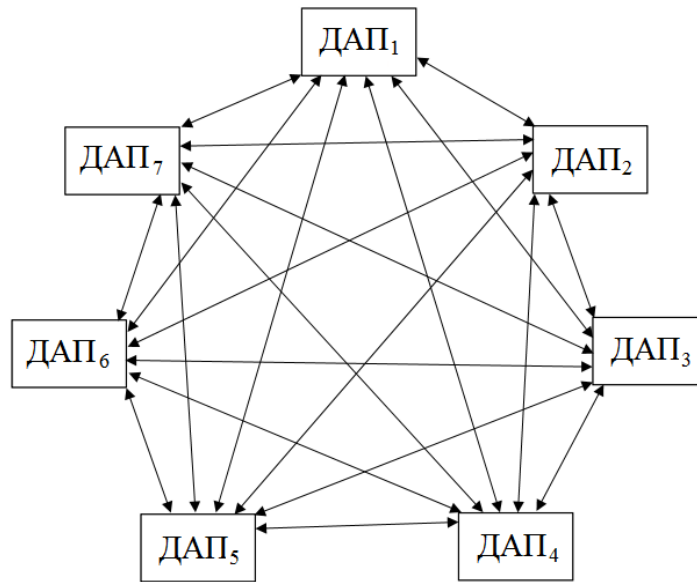


Рисунок 3 – Схема багатошарової асоціативної пам'яті, в якій кожен блок пов'язаний з усіма іншими

Така структура дозволяє отримувати вихідне зображення на виході будь-якого шару мережі при подачі вхідного зображення на будь-який інший шар.

Розроблена багатошарова асоціативна пам'ять з керуючими нейронами (рис. 4). Мережа складається з двох сенсорних шарів нейронів: вхідного сенсорного шару $X_i (i = \overline{1, n})$, який містить керуючі нейрони $R_{h_0} (h_0 = \overline{1, p_0})$ і вихідного шару $Y_j (j = \overline{1, m})$, а також з N проміжних шарів: шару $Z_{q_1}^1 (q_1 = \overline{1, g_1})$ з керуючими нейронами $R_{h_1} (h_1 = \overline{1, p_1})$, шару $Z_{q_2}^2 (q_2 = \overline{1, g_2})$ з керуючими нейронами $R_{h_2} (h_2 = \overline{1, p_2})$, ..., шару $Z_{q_N}^N (q_N = \overline{1, g_N})$ з керуючими нейронами $R_{h_N} (h_N = \overline{1, p_N})$. Кожен нейрон вхідного шару $X_i (i = \overline{1, n})$ пов'язаний з кожним нейроном Z^1 -шару вихідними зв'язками $W_{iq_1}^{11} (i = \overline{1, n}, q_1 = \overline{1, g_1})$, а також кожен з керуючих нейронів $R_{h_0} (h_0 = \overline{1, p_0})$ пов'язаний з кожним нейроном Z^1 -шару вихідними зв'язками $W_{h_0q_1}^{12} (h_0 = \overline{1, p_0}, q_1 = \overline{1, g_1})$. Кожен нейрон Z^1 -шару пов'язаний з кожним нейроном Z^2 -шару вихідними зв'язками $W_{q_1q_2}^{21} (q_1 = \overline{1, g_1}, q_2 = \overline{1, g_2})$, а також кожен з керуючих нейронів $R_{h_1} (h_1 = \overline{1, p_1})$ пов'язаний з кожним нейроном Z^2 -шару вихідними зв'язками $W_{h_1q_1}^{22} (h_1 = \overline{1, p_1}, q_2 = \overline{1, g_2})$. По аналогії кожен наступний Z^k -шар пов'язаний з наступним $Z^{(k+1)}$ -шаром вихідними зв'язками $W_{q_kq_{(k+1)}}^{(k+1)1} (q_k = \overline{1, g_k}, q_{(k+1)} = \overline{1, g_{(k+1)}})$ і кожен керуючий нейрон $R_{h_k} (h_k = \overline{1, p_k})$ пов'язаний з кожним нейроном $Z^{(k+1)}$ -шару вихідними зв'язками $W_{h_kq_{(k+1)}}^{(k+1)2} (h_k = \overline{1, p_k}, q_{(k+1)} = \overline{1, g_{(k+1)}})$. Нейрони останнього проміжного Z^N -шару пов'язаний з кожним нейроном

вихідного Y -шару вихідними зв'язками $W_{q_N j}^{N1}$ ($q_N = \overline{1, g_N}$, $j = \overline{1, m}$) і кожен керуючий нейрон R_{h_N} ($h_N = \overline{1, p_N}$) пов'язаний з кожним нейроном Y -шару вихідними зв'язками $W_{h_N j}^{N2}$ ($h_N = \overline{1, p_N}$, $j = \overline{1, m}$).

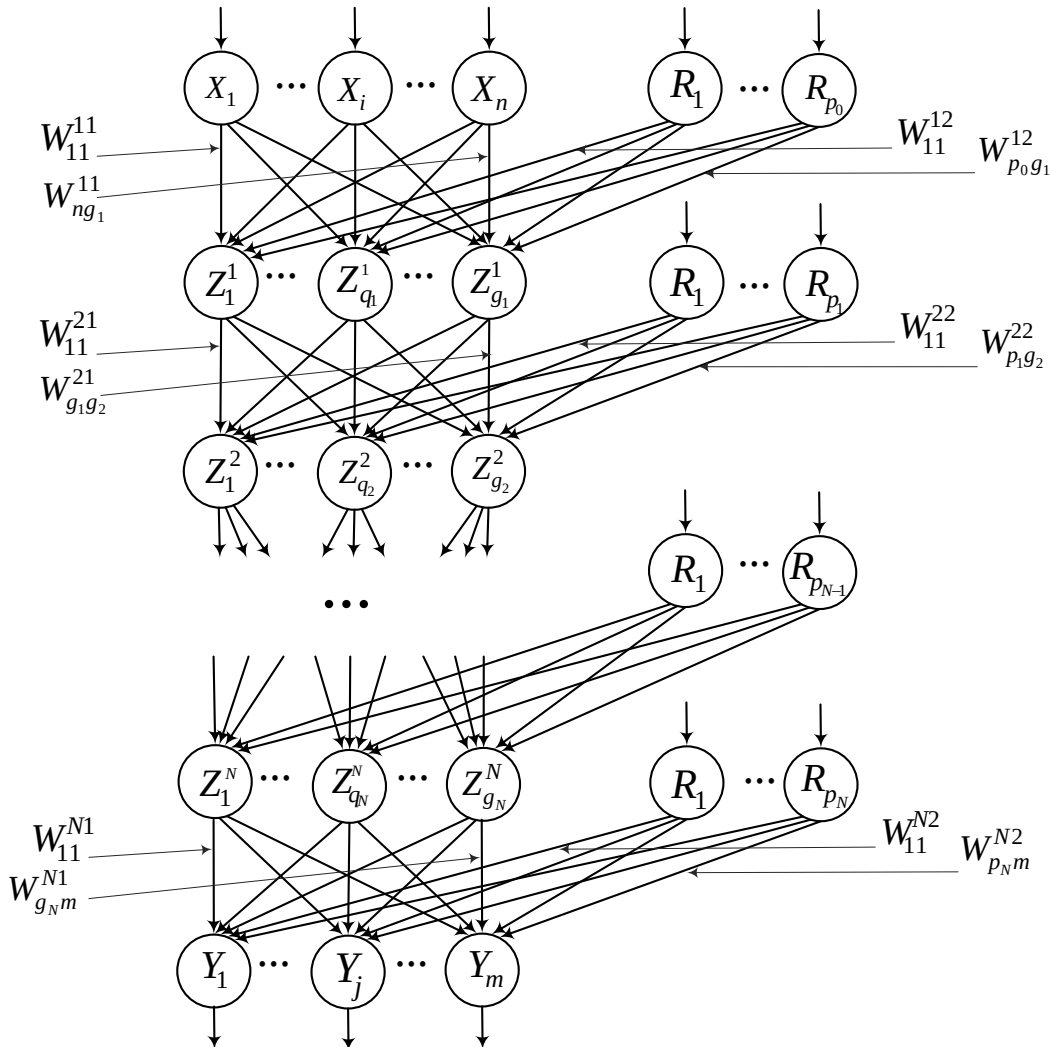


Рисунок 4 – Схема багатошарової асоціативної пам'яті з керуючими нейронами

Завдяки наявності керуючих R -нейронів в кожному шарі мережі, крім другого сенсорного, можна отримувати по одним вхідним даними кілька асоціативних зображень в залежності від сигналів керуючих нейронів.

Таким чином, розроблені нейронні мережі на основі асоціативної пам'яті, які можуть бути використані для проектування складних нейронних мереж деревовидної структури, що дозволить будувати системи зберігання та обробки різних варіантів ТП.

У третьому розділі розглядається розроблення нових видів асоціативної пам'яті, які дозволяють зберігати інформацію на основі базових структур та комбінувати їх для ефективної обробки інформації.

В сучасних обчислювальних системах використовується операція пошуку інформації. При використанні звичайної пам'яті з адресним принципом доступу

до даних ця операція займає багато часу, оскільки операнди зчитуються з пам'яті по черзі (послідовно), після чого над кожним операндом проводиться операція порівняння. Ця обставина є чинником, що збільшує час пошуку. Рішення цієї проблеми можливо завдяки одночасному (паралельному) виконанні цих операцій.

З метою прискорення пошуку даних використовується адресація за змістом, яка здійснюється шляхом одночасного доступу до всіх елементів пам'яті.

При побудові складної системи зберігання інформації в якості елементів пам'яті можна використовувати не окремі осередки, а їх об'єднання, що зберігають такі структури як списки, дерева, графи, черги і т.п. Кожна з них являє собою структурований елемент, завдяки якому забезпечується пошук і обробка даних, які зберігаються в ньому.

Багатошарові нейронні мережі асоціативної пам'яті фактично виконують зберігання списків асоціацій. Архітектура багатошарової асоціативної пам'яті у вигляді списку з блоками ДАП в якості елементів (рис. 5) дозволяє легко виконувати операції додавання, видалення та пошук елементів.

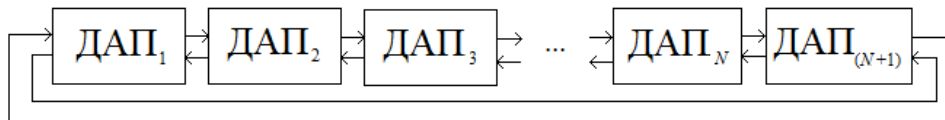


Рисунок 5 – Асоціативна пам'ять у вигляді двонаправленого списку

Коли кожен елемент списку складається з декількох складових, виникає таке поняття як мультисписок, тобто «список списків». В мультисписку кожен елемент, що являє собою одну операцію ТП, зберігає послідовність переходів в рамках цієї операції (рис. 6).

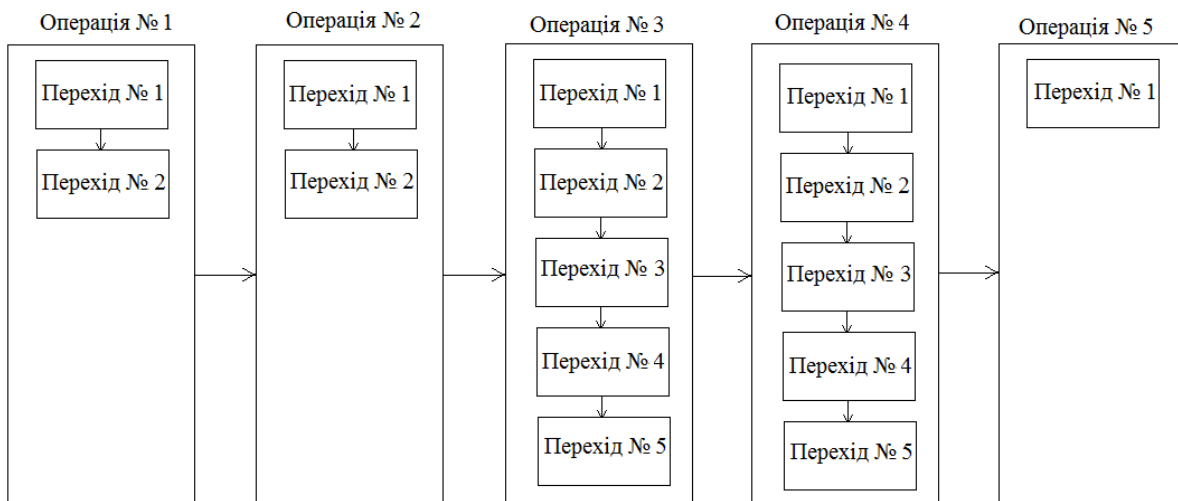


Рисунок 6 – Мультисписок перших операцій ТП з переходами

При проектуванні структури ТП може виникнути ситуація, коли є декілька варіантів подальшої роботи, наприклад, виконання двох або більше груп операцій не є суворо почерговим. Тобто операційна карта набуває вигляду графа чи дерева. Дерево списків представлено на рис. 7. Так як кожна операція

може містити декілька елементів, то кожна вершина дерева – є список дій в рамках однієї операції.

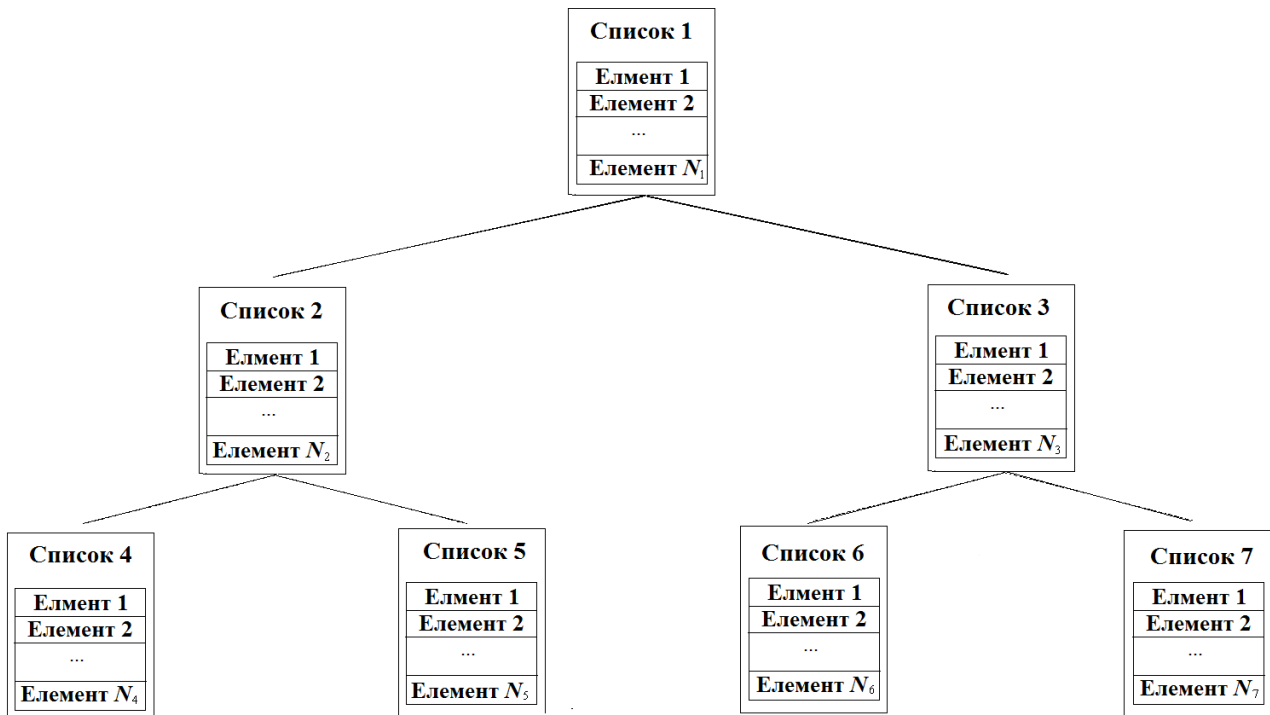


Рисунок 7 – Дерево списків

Дерево складається з вершин, кожна з яких – одна операція ТП. Кожна операція містить список переходів, які необхідно виконати в рамках цієї операції.

При використанні списків для зберігання інформації їх можна змінювати, об'єднувати, а також реалізовувати у вигляді дерев. На рис. 8 представлено дерево, одина вершина якого – це один список, який зберігається за допомогою багат шарової асоціативної пам'яті з керуючими нейронами, що забезпечує можливість зміни елементів списку.

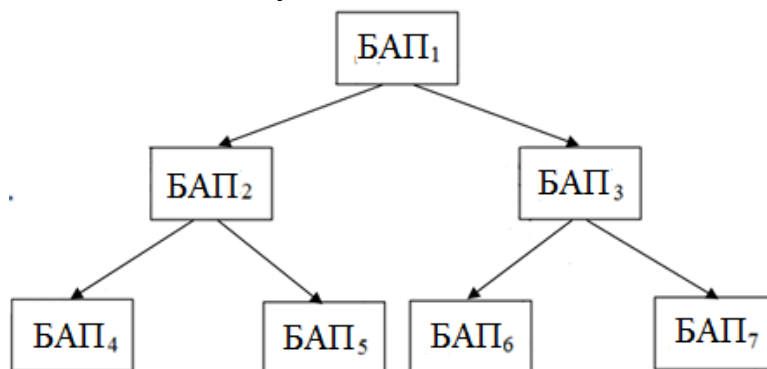


Рисунок 8 – Багат шарова асоціативна пам'ять у вигляді дерева

При побудові складної системи зберігання інформації в якості елементів пам'яті можна використовувати не окремі осередки, а їх об'єднання, що зберігають такі структури як списки, масиви, черги і т.п. Кожна з них являє собою структурований елемент, завдяки якому забезпечується пошук і обробка даних, що зберігаються в ньому. Багаторівневе комбінування цих елементів,

кожен з яких можна представити як деяку множину елементів асоціативної пам'яті, є перспективним для реалізації інтелектуальних інтерфейсів, обробки зображень та ін.

У четвертому розділі розглядаються моделі структур даних на основі нейронних мереж асоціативної пам'яті для проектування структур технологічних процесів.

При розробці систем керування складними технологічними об'єктами виникає необхідність побудови структури обробки даних, коли результати роботи одного рівня разом з іншими вхідними даними є вхідною інформацією для наступного шару. Вирішити це завдання можна завдяки комбінації декількох нейронних мереж асоціативної пам'яті, тобто мати можливість побудови ланцюжків асоціативних даних, коригування проміжних даних і побудови множинних асоціацій.

Використовувати таку пам'ять можна при проектуванні моделі технологічного процесу в якості банку даних, який призначений для забезпечення необхідною інформацією процесів автоматизованого проектування всіх підсистем. Основними функціями банку даних є збір, накопичення, зберігання, заміна, пошук і перетворення всіх видів інформації, що переробляється в системі, що дозволяє істотно спростити алгоритми і програми функціональних підсистем і різко скоротити час роботи ЕОМ.

Синтез структури технологічного процесу лезвійної обробки конкретної деталі ґрунтується на загальній теорії процесів обробки виробів з металу та базується на трьох пов'язаних між собою моделях – часовій, функціональній та просторовій. За допомогою часової моделі отримується впорядкована послідовність етапів обробки деталей $\{D_1, D_2, \dots, D_k\}$ та послідовність операцій в часі на множині поверхонь, що обробляються:

$$Q = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_k\},$$

де Q_p – p -та послідовність операцій на етапі D_p , $p = \overline{1, k}$

Функціональна модель $M_\phi(C, Q)$ визначає послідовність перетворення заготовки в деталь за допомогою операцій Q_q .

Просторова модель структури технологічного процесу визначає схему установки деталі, що обробляється, при виконанні кожної операції.

Перетворення заготовки в деталь за допомогою операцій по формі аналогічне спискам простої структури даних та структури даних на основі нейронних мереж асоціативної пам'яті.

При проектуванні технологічного процесу виготовлення деталі будується технологічна карта. Деталь «Блок циліндрів» з прикладом нумерації поверхонь представлена на рис. 9.

Для побудови технологічної карти визначаються види операцій над базовими поверхнями з урахуванням чорнової, напівчистої і чистої обробок. Приклад технологічної карти ТП для операції 070 зображений на рис. 10.

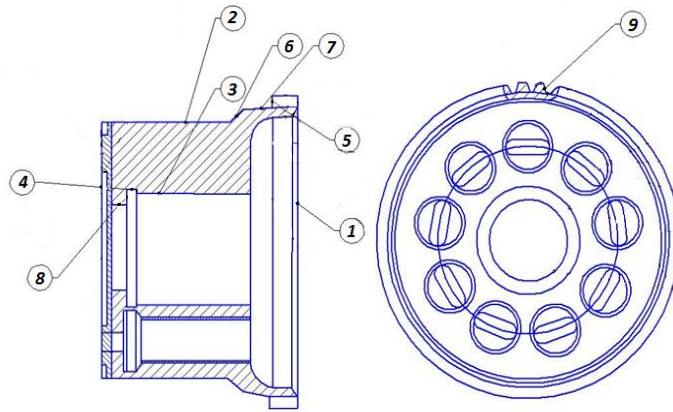


Рисунок 9 – Деталь «Блок циліндрів»

Перехід	Зміст переходу	Верстат	Інструмент (код і найменування)			Режим обробки					h_a
			допоміжний	ріжучий	вимірювальний	T	i	S	t	V	
Чорнове точіння											
070	Токарна з ЧПУ – точити поверхню 4	Токарний автомат с ЧПУ 16K20T1-01					2	0,57	4	100	0
							2	0,52	4	128	0,2
							2	0,47	4	147	0,4
Квалітет											
Шорсткість											
MOTC		Cimstar LD 422									

Рисунок 10 – Технологічна карта ТП

Одним етапом обробки можна вважати одну операцію ТП. Така структура представляє собою послідовність дій у вигляді списку (рис. 11).

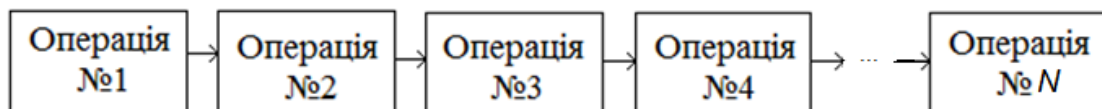


Рисунок 11 – Список операцій ТП

Кожна операція ТП складається з множини дій (переходів), тому доцільним є представлення списку операцій ТП у вигляді мультисписку, при послідовній обробці або деревом списків, при паралельній обробці.

Для вибору обладнання для однієї операції ТП була розроблена ієрархічна нейронна мережа на основі асоціативної пам'яті. В якості вхідних даних на нейронну мережу надходять послідовності даних про виконуваної операції і вигляді оброблюваної поверхні (рис. 12). В результаті отримуємо тип станка, інформація про який виступає в якості вхідних даних другого шару нейронної мережі і разом з керуючим сигналом другого шару у вигляді даних про габаритні розміри заготовки і станочному парку, на виході другого шару отримуємо клас станка. Дані про клас станка і керуючий сигнал у вигляді квалітету поверхні на виході третього шару мережі дадуть групу станків, які можуть виконувати конкретну операцію.

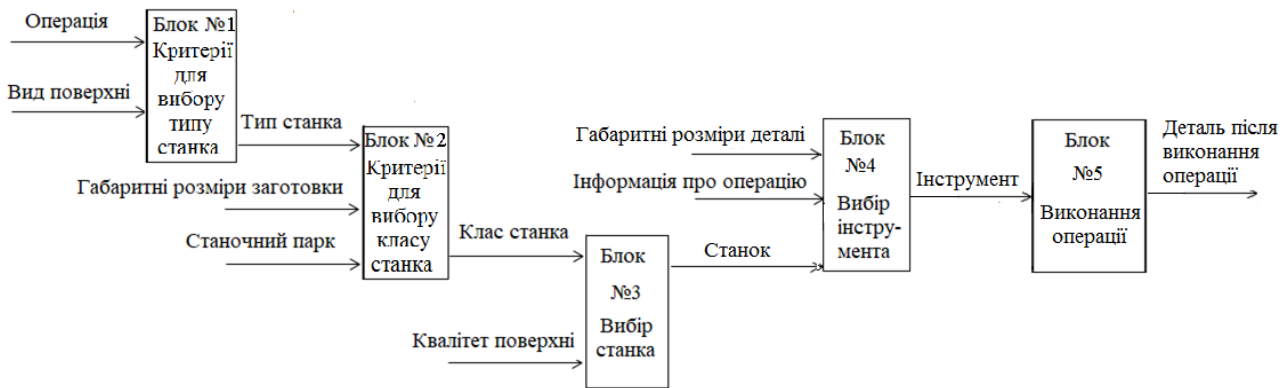


Рисунок 12 – Ієрархічна нейронні мережа для вибору обладнання для однієї операції ТП

Блоки 1, 3 (рис. 12) представляють собою багатошарову асоціативну пам'ять з керуючими нейронами, що дозволяє коригувати дані в процесі проектування, блок 2 (рис. 12) – нейронна мережа Хеммінга, що має можливість донавчання, блок «Вибір інструмента» (рис. 12) – *N*-направлену асоціативну пам'ять, дозволяє вибрати з наявного обладнання на підприємстві декілька інструментів із заданими параметрами, які можуть виконати конкретне завдання.

У додатках наведено акти впровадження результатів наукових досліджень дисертаційної роботи; список публікацій здобувача за темою дисертації.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішено науково-практичну задачу розроблення структури даних на основі нейронних мереж асоціативної пам'яті для комп'ютерної системи проектування технологічних процесів. Проведені в дисертаційній роботі дослідження дали можливість отримати наступні основні результати:

1. Проведений огляд різних видів асоціативної пам'яті у сфері обчислювальної техніки та систем проектування технологічних процесів показав, що одним з напрямків вдосконалення існуючих систем проектування технологічних процесів є розроблення нової структури даних на основі нейронних мереж асоціативної пам'яті.

2. Розроблено архітектури та алгоритми функціонування нейронних мереж багатонаправленої асоціативної пам'яті, що дозволяють будувати множинні асоціації, тобто отримувати по одному вхідному вектору множину вихідних, по комбінації множини вхідних векторів один вихідний та по комбінації множини вхідних векторів множину вихідних векторів. Це дозволяє описувати структури технологічних процесів, що мають чисельні розгалуження та результати яких визначаються декількома вхідними векторами.

3. Розроблено архітектури та алгоритми функціонування нейронних мереж багатошарової асоціативної пам'яті з керуючими та без керуючих нейронів, що дозволяють будувати ланцюги асоціації та коригувати їх в процесі функціонування нейронних мереж. Це дозволяє описувати в компактній формі

структури технологічних процесів, що описуються за допомогою різного виду списків, черг, дерев.

4. Запропоновано структури даних на основі нейронних мереж асоціативної пам'яті та списків (однозв'язних, двозв'язних, циклічних, мультисписків), черг, що використовуються для опису операцій технологічних процесів механообробки з урахуванням множини переходів в рамках однієї операції та циклічного повтору одного або декількох з них.

5. Запропоновано структури даних на основі нейронних мереж асоціативної пам'яті та дерев і графів, що дозволяють зберігати, обновляти та коригувати інформацію, а також комбінувати фрагменти інформації для моделювання та проектування структур технологічних процесів. Деревовидні структури використовуються для опису двох або більше варіантів подальшої обробки.

6. Запропоновано ієрархічну нейронну мережу асоціативної пам'яті, яка на відміну від існуючих містить у якості першого та третього блоків багат шарові нейронні мережі з керуючими нейронами, другого блоку – нейронну мережу Хеммінга, що має можливість до навчання, четвертого блоку у вигляді N-направленої асоціативної пам'яті та використовується для визначення обладнання (станків та інструментів) для операцій технологічного процесу.

7. Результати дисертаційної роботи впроваджені в державному підприємстві «Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості» (м. Харків) та в навчальному процесі НТУ «ХП» на кафедрі обчислювальної техніки та програмування (м. Харків).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Бречко В.О. Нейронные сети Хемминга и Хебба, способные до обучаться / В.Д. Дмитрієнко, О.Ю. Заковоротний, В.О. Бречко // Вісник Національного технічного університету «ХП». Збірник наукових праць. Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ «ХП», 2013. – № 19 (992). – С. 30-45.

Здобувачем запропоновано нейромережеві архітектури з можливістю донавчання.

2. Бречко В.О. Применение нейронной сети многослойной ассоциативной памяти для оптимального выбора оборудования технологического процесса / В.Д. Дмитрієнко, И.П. Хавина, В.О. Бречко // Вісник Національного технічного університету «ХП». Збірник наукових праць. Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ «ХП», 2015. – № 32 (1141). – С. 51–59.

Здобувачем запропоновано асоціативну пам'ять, що використовується при виборі обладнання для технологічних процесів.

3. Бречко В.О. Многослойная нейросетевая память, хранящая цепочки ассоциаций / В.Д. Дмитрієнко, Р.П. Мигущенко, О.Ю. Заковоротний, В.О. Бречко // Вісник Національного технічного університету «ХП». Збірник

наукових праць. Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ «ХПІ», 2015. – № 33 (1142). – С. 48–58.

Здобувачем запропоновано нейромережеву архітектуру для зберігання асоціацій у вигляді ланцюгів даних.

4. Бречко В.О. Моделирование многослойной, многонаправленной и древовидной ассоциативной памяти / В.Д. Дмитрієнко, С.Ю. Леонов, В.О. Бречко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ «ХПІ», 2018. – № 42 (1318). – С. 148–159.

Здобувачем запропоновано моделі асоціативної пам'яті для зберігання багатощарових, деревовидних та багато направлених асоціативних даних.

5. Бречко В.О. Використання асоціативної пам'яті при проектуванні технологічного процесу / В.Д. Дмитрієнко, С.Ю. Леонов, В.О. Бречко // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава : Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, 2019. – Вип. 3 (55). – С. 123–127.

Здобувачем вирішено задачу використання асоціативної пам'яті при проектуванні структури технологічного процесу.

6. Бречко В.О. Трехслойный перцептрон, способный дообучаться / В.Д. Дмитрієнко, О.Ю. Заковоротний, В.О. Бречко // Автоматизированные технологии и производства: сб. научн. тр. / под ред. Б.Н. Парсункина. Вып. 6. Магнитогорск: изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та, 2014. – С. 12–21.

Здобувачем розроблений алгоритм функціонування трьохшарового перцептрону з можливістю донавчання.

7. Пат. на винахід 108712 Україна, МПК G06G 7/60. Пристрій багатощарової асоціативної пам'яті з керуючими нейронами / В.Д. Дмитрієнко, О.Ю. Заковоротний, І.П. Хавіна, В.О. Бречко (Україна); заявник та володар патенту НТУ «ХПІ». – № а 2014 04330; заявл. 22.04.14; опубл. 25.05.15, бюл. № 10. – 11 с.

Здобувачем розроблено архітектуру та алгоритм навчання нейронної мережі.

8. Пат. на винахід 108947 Україна, МПК G06G 7/60. Пристрій багатощарової двонаправленої асоціативної пам'яті / В.Д. Дмитрієнко, О.Ю. Заковоротний, І.П. Хавіна, В.О. Бречко (Україна); заявник та володар патенту НТУ «ХПІ». – № а 2014 02402; заявл. 11.03.14; опубл. 25.06.15, бюл. № 12. – 8 с.

Здобувачем розроблено архітектуру та алгоритм навчання нейронної мережі.

9. Пат. на винахід 108949 Україна, МПК G06G 7/60. Пристрій N-направленої асоціативної пам'яті / В.Д. Дмитрієнко, О.Ю. Заковоротний, В.О. Бречко (Україна); заявник та володар патенту НТУ «ХПІ». – № а 2014 02642; заявл. 17.03.14; опубл. 25.06.15, бюл. № 12. – 8 с.

Здобувачем розроблено архітектуру та алгоритм навчання нейронної мережі.

10. Комп'ютерна програма «Комп'ютерна програма для дослідження нейромережевої багатошарової двонаправленої асоціативної пам'яті» / В.Д. Дмитрієнко, О.Ю. Заковоротний, В.О. Бречко // Свідectво про реєстрацію авторського права на твір № 57996. – Зареєстр. в Держ. службі інтелектуальної власності України 05.01.15.

Здобувачем запропоновано програмні компоненти для реалізації нейронної мережі.

11. Бречко В.О. Ассоциативная нейронная сеть АРТ / В.Д. Дмитрієнко, О.Ю. Заковоротний, В.О. Бречко // Сборник трудов Международной молодежной конференции «Прикладная математика, управление и информатика». – Белгород: ИД «Белгород», 2012. – Т. 1. – С. 115-118.

Здобувачем запропоновано архітектуру нейронної мережі.

12. Бречко В.О. Системы поддержки принятия решений на основе иерархических нейронных сетей адаптивной резонансной теории / В.Д. Дмитрієнко, В.О. Бречко // Проблемы информатики та моделювання. Тезиси XII Міжнародної науково-технічної конференції. – Харків: НТУ «ХПІ», 2012. – С. 15.

Здобувачем розроблено нейромережеву архітектуру для СППР.

13. Бречко В.О. Сеть Хебба, способная дообучаться / В.Д. Дмитрієнко, О.Ю. Заковоротний, В.О. Бречко // Проблемы информатики і моделювання. Тезиси XIII міжнародної науково-технічної конференції. – Харків: НТУ «ХПІ», 2013. – С. 29.

Здобувачем запропоновано алгоритм навчання нейронної мережі, що здатна донавчатися.

14. Бречко В.О. Стабильно-пластичные нейронные сети, использующие расстояние Хемминга / В.Д. Дмитрієнко, О.Ю. Заковоротний, В.О. Бречко // Проблемы информатики і моделювання. Тезиси XIII міжнародної науково-технічної конференції. – Харків: НТУ «ХПІ», 2013. – С. 30.

Здобувачем розроблено алгоритми функціонування стабільно-пластичних нейронних мереж.

15. Бречко В.О. Многослойная ассоциативная память в задачах синтеза технологических процессов / В.Д. Дмитрієнко, О.Ю. Заковоротний, І.П. Хавіна, В.О. Бречко // Інформатика, управління та штучний інтелект. Тезиси науково-технічної конференції студентів, магістрів та аспірантів. – Харків: НТУ «ХПІ», 2014. – С. 26.

Здобувачем запропоновано модель асоціативної пам'яті для синтезу технологічних процесів.

16. Бречко В.О. Многослойная ассоциативная память на основе искусственных нейронных сетей / В.Д. Дмитрієнко, І.П. Хавіна, В.О. Бречко // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. Тези доповідей XXIII міжнародної науково-практичної конференції. – Харків: НТУ «ХПІ», 2015. – С. 40.

Здобувачем розроблено архітектуру багатошарової асоціативної пам'яті на основі нейронних мереж.

17. Бречко В.О. Определение структуры технологического процесса с помощью нейронной сети многослойной ассоциативной памяти / В.Д. Дмитрієнко, І.П. Хавіна, В.О. Бречко // Проблеми інформатики і моделювання. Тезиси XV міжнародної науково-технічної конференції. – Харків: НТУ «ХПІ», 2015. – С. 40.

Здобувачем запропоновано архітектуру нейронної мережі для визначення структури технологічного процесу.

18. Бречко В.О. Синтез технологических процессов на основе нейронных сетей ассоциативной памяти / В.Д. Дмитрієнко, І.П. Хавіна, В.О. Бречко // Інформатика, управління та штучний інтелект. Тезиси науково-технічної конференції студентів, магістрів та аспірантів. – Харків: НТУ «ХПІ», 2015. – С. 27.

Здобувачем розроблено модель асоціативної пам'яті для синтезу технологічних процесів.

19. Бречко В.О. Задача синтеза технологического процесса лезвийной обработки партии деталей / В.Д. Дмитрієнко, І.П. Хавіна, В.О. Бречко // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. Тези доповідей XXIV міжнародної науково-практичної конференції. – Харків: НТУ «ХПІ», 2016. – С. 132.

Здобувачем запропоновано метод синтезу технологічних процесів на основі асоціативної пам'яті.

20. Бречко В.О. Нейронные сети на основе двунаправленной ассоциативной памяти / В.О. Бречко // Інформатика, управління та штучний інтелект. Тезиси науково-технічної конференції студентів, магістрів та аспірантів. – Харків: НТУ «ХПІ», 2016. – С. 8.

21. Бречко В.О. Нейронные сети ассоциативной памяти в технологической подготовке производства / В.Д. Дмитрієнко, В.О. Бречко // Інформатика, управління та штучний інтелект. Тезиси науково-технічної конференції студентів, магістрів та аспірантів. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – С. 40.

Здобувачем запропоновано метод використання асоціативної пам'яті в технологічній підготовці виробництва.

22. Бречко В.О. Использование ассоциативной памяти при проектировании технологического процесса / В.О. Бречко // Проблеми інформатики і моделювання. Тезиси сімнадцятої міжнародної науково-технічної конференції. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – С. 14.

23. Бречко В.О. Нейросетевая база знаний для систем проектирования технологических процессов / В.Д. Дмитрієнко, І.П. Хавіна, В.О. Бречко // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. Тези доповідей XXV міжнародної науково-практичної конференції. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – С. 78.

Здобувачем запропоновано метод використання асоціативної пам'яті в якості бази знань для проектування технологічних процесів.

24. Бречко В.О. Использование ассоциативной памяти в обработке данных / В.Д. Дмитрієнко, С.Ю. Леонов, В.О. Бречко // Проблеми інформатики і

модельовання. Тези доповідей вісімнадцятої міжнародної науково-технічної конференції. – Харків: НТУ «ХПІ», 2018. – С. 37.

Здобувачем розроблено нейронні мережі на основі асоціативної пам'яті для використання при обробці даних.

25. Бречко В.О. Перспективні види комп'ютерної асоціативної пам'яті / В.Д. Дмитрієнко, В.О. Бречко // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. Тези доповідей XXVI міжнародної науково-практичної конференції. – Харків: НТУ «ХПІ», 2018. – С. 171.

Здобувачем розроблено нейронні мережі на основі асоціативної пам'яті для використання при обробці даних.

26. Бречко В.О. Использование структурированной ассоциативной памяти / В.О. Бречко // Информатика, управління та штучний інтелект. Тезиси науково-технічної конференції студентів, магістрів та аспірантів. – Харків: НТУ «ХПІ», 2018. – С. 16.

АНОТАЦІЇ

Бречко В.О. Моделі та структури даних на основі асоціативної пам'яті для комп'ютерних систем проектування структур технологічних процесів. На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2019.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню науково-практичної задачі, яка полягає в розробленні та дослідженні моделей та структур даних на основі асоціативної пам'яті для комп'ютерних систем проектування структур технологічних процесів.

В дисертаційній роботі запропоновано архітектури, алгоритми навчання та функціонування і програмні компоненти, що реалізують розроблені нейронні мережі N -направленої асоціативної пам'яті, багатошарової асоціативної пам'яті та асоціативної пам'яті з керуючими нейронами, що використовується в базі даних для проектування структури технологічного процесу; розроблено структуру даних на основі нейронних мереж асоціативної пам'яті, яка дозволяє більш ефективно моделювати технологічні процеси.

Проведені експериментальні дослідження вдосконаленої комп'ютерної системи проектування структур технологічних процесів як на рівні математичного моделювання, так і на реальному об'єкті, підтвердили достовірність запропонованих рішень.

Ключові слова: структури даних, список, черга, дерево, граф, асоціативна пам'ять, нейронна мережа, технологічний процес.

Бречко В.А. Модели и структуры данных на основе ассоциативной памяти для компьютерных систем проектирования структур технологических процессов. На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 - компьютерные системы и компоненты. -

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2019.

Диссертация посвящена решению научно-практической задачи, которая заключается в разработке и исследовании моделей и структур данных на основе ассоциативной памяти для компьютерных систем проектирования структур технологических процессов.

В диссертационной работе предложено архитектуры, алгоритмы обучения и функционирования, и программные компоненты, реализующие разработанные нейронные сети N -направленной ассоциативной памяти, многослойной ассоциативной памяти и ассоциативной памяти с управляющими нейронами, используемый в базе данных для проектирования структуры технологического процесса; разработана структура данных на основе нейронных сетей ассоциативной памяти, которая позволяет более эффективно моделировать технологические процессы.

Разработаны новые архитектуры нейронных сетей ассоциативной памяти, которые могут применяться не только для синтеза структур технологических процессов, но и для решения задач искусственного интеллекта, обработки изображений, распознавания образов, разработки иерархической и древовидной ассоциативной памяти. Для синтеза структур технологических процессов предложена структура данных на основе нейронных сетей ассоциативной памяти, состоит из программных компонент, каждый из которых представляет собой одну из моделей нейронных сетей ассоциативной памяти.

Результаты работы внедрены в государственном предприятии «Харьковский научно-исследовательский институт технологии машиностроения», в государственном предприятии «Южный государственный проектно-конструкторский и научно-исследовательский институт авиационной промышленности», в учебном процессе НТУ «ХПИ» на кафедре вычислительной техники и программирования.

Проведенные экспериментальные исследования усовершенствованной компьютерной системы проектирования структур технологических процессов как на уровне математического моделирования, так и на реальном объекте, подтвердили достоверность предложенных решений.

Ключевые слова: структуры данных, список, очередь, дерево, граф, ассоциативная память, нейронная сеть, технологический процесс.

Brechko V.O. Models and data structures based on associative memory for computer systems of technological processes structure design. Manuscript.

There is the dissertation of the obtaining the scientific degree of the technical sciences candidate in specialty 05.13.05 – computer systems and components – National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, 2019.

The research is devoted to solving a scientific and practical problem, which is to develop and study the models and structures of data based on associative memory for computer systems of technological processes structure design. In the research work, architecture, algorithms of training and functioning and software components are proposed that implement the developed neural networks of N -directional associative

memory, multilayered associative memory and associative memory with control neurons used in the database for the design of the structure of the technological process; the structure of data on the basis of neural networks of associative memory is developed, which allows you more effectively to model technological processes. Experimental studies of the improved computer system design of structures of technological processes were carried out at the level of mathematical modeling and on the real object, the reliability of the proposed decisions are confirmed.

Keywords: data structures, list, queue, tree, graph, associative memory, neural network, technological process.



Відповідальний за випуск
Вчений секретар НТУ «ХП»
д.т.н., проф. Заковоротний О.Ю.

Підписано до друку 28.10.2019р.
Формат 60 x 84 1/16. Папір офсетний.
Друк-цифровий. Умовн. друк. арк. 0,9. Тираж 100 прим. Зам. № 28102901

Надруковано у копі-центрі «МОДЕЛІСТ»
(ФО-П Миронов М.В., Свідоцтво ВО4№022953)
м. Харків, вул. Мистецтв, 3 літер Б-1
Тел. 7-170-354
www.modelist.in.ua