

Державний комітет зв'язку та інформатизації України
Національна академія наук України
Державний науково-дослідний інститут інформаційної інфраструктури

БІЛАС ОРЕСТ ЄВГЕНОВИЧ

УДК 681.3:612.822

**МЕТОДИ РОЗПІЗНАВАННЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЇ
СТАНІВ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ЗАСОБАМИ
НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

*Спеціальність 05.13.06 – Автоматизовані системи
управління та прогресивні інформаційні технології*

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2004

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Національному університеті “Львівська політехніка” Міністерства освіти і науки України та Державному науково-дослідному інституті інформаційної інфраструктури Державного комітету зв’язку та інформатизації України та НАН України

Науковий керівник: Заслужений діяч науки і техніки, чл.-кор. НАН України, доктор технічних наук, професор

Грицик Володимир Володимирович, Державний науково-дослідний інститут інформаційної інфраструктури Державного комітету зв’язку та інформатизації України та НАН України, м.Львів, директор

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, ст. наук. співробітник

Сікора Любомир Степанович,

Державний науково-дослідний інститут інформаційної інфраструктури Державного комітету зв’язку та інформатизації і Національної академії наук України, м.Львів, пров. наук. співробітник

кандидат технічних наук, доцент

Батюк Анатолій Євгенович,

Національний університет “Львівська політехніка”, доцент

Провідна установа: Одеський національний політехнічний університет Міністерства освіти і науки України, м.Одеса, кафедра автоматизації теплоенергетичних процесів.

Захист відбудеться “ 27 ” травня 2004 р. о 14 год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.813.01 в Державному науково-дослідному інституті інформаційної інфраструктури (79601, м. Львів, МСП, вул. Тролейбусна, 11).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного НДІ інформаційної інфраструктури (79601, м. Львів, МСП, вул. Тролейбусна, 11).

Автореферат розісланий “ 26 ” квітня 2004 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
доктор технічних наук

Бунь Р.А.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Потреби в управлінні складними процесами та системами сформували ряд науково-технічних задач в області синтезу систем автоматизованого управління. Для багатьох задач синтезу систем управління характерними є неповнота, нечіткість вихідних даних про динаміку об'єкту управління, вплив джерел збурень на інформаційні і технологічні структури, інформаційна складність визначення взаємозв'язків і взаємодії між елементами системи. Інформаційна розмитість образів динамічних ситуацій спричиняє некоректну їх класифікацію і неадекватні до ситуацій процедури прийняття управляючих рішень. Класичні методи в багатьох ситуаціях недостатні для коректної оцінки стану об'єкту управління при дії збурень. Сучасні методи класифікації та розпізнавання образів засобами нейромережових технологій дають можливість ефективно розв'язати задачі класифікації динамічних ситуацій у просторі станів систем управління багатопараметричними об'єктами.

У нашій країні зроблено значний внесок у розвиток нейромережових технологій такими відомими вченими як: В.Глушков, М.Амосов, О.Івахненко, Є.Коссуль, О.Різник, В.Грицик, Н.Айзенберг, А.Шевченко, Р.Ткаченко, Ф.Гече та іншими, і в розвиток теорії систем управління – В.Глушков, В.Кунцевич, Я.Драган, В.Скуріхін, В.Боюн, Л.Сікора, Т.Вінцюк та іншими.

Подальші дослідження та розробки забезпечили впровадження нейромережових технологій для вирішення важливих задач обробки зображень та масивів даних значного об'єму, прогнозування, управління та інших сферах. Розробка і впровадження нейрокомп'ютерів та нейротехнологій є одним з важливих напрямків розвитку сучасної інформатики. Для підвищення ефективності і розширення сфери практичного застосування нейрокомп'ютерів необхідно істотно скоротити трудомісткість процесів навчання нейромереж, застосовувати нові більш ефективні методи прискореного навчання. Розробка методів та алгоритмів розпізнавання і класифікації образів з використанням нейромереж у процесах управління є актуальною задачею науки, техніки і виробництва, для вирішення якої необхідно виконати комплекс досліджень, що охоплює удосконалення архітектур та методів навчання, а також методику їх застосування у прикладних задачах.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами. Робота виконувалась в рамках держбюджетних тем ДНДІ інформаційної інфраструктури: “Інформаційний відеоскоп – високоефективна система відображення зображень реального світу різноманітної фізичної природи” та “Базові компоненти образного комп'ютера для швидкого адаптивного аналізу, розпізнавання, компресії, архівації та пошуку аудіовідеоінформації” (контракти №ОК_2001_21 та №ОК_2001_32 ДНТІП “Образний комп'ютер”, Постанова КМУ від 08.11.2000, № 1562; 2001р.); “Фундаментальні основи синтезу багатовимірних нейромереж на базі універсальних нейронних

елементів та нейроподібних систем” (контракт №Ф7/383-2001 з Міносвіти і науки України; 2001р.); “Створення інформаційно-аналітичної системи комплексного розвитку західного регіону України як одного з варіантів типової системи територіально-адміністративного управління” (контракт №202-18і/4-00 з Державним комітетом зв’язку та інформатизації України; 2000р.) та Національного університету “Львівська політехніка” – ДБ/Ланцюг.

Мета та задачі дослідження. Метою роботи є розроблення методів та алгоритмів розпізнавання і класифікації образів – станів систем управління багатопараметричними об’єктами засобами нейромережових технологій.

Досягнення мети включало розв’язання таких задач:

- розроблення методу розпізнавання та класифікації ситуацій засобами нейромережових технологій в системах керування багатопараметричними об’єктами при дії нестационарних збурень;
- розроблення алгоритму оцінки ступеня нелінійності нейромережевого класифікатора;
- дослідження прогностичних властивостей обраного архітектурного рішення нейромережі в складній керуючій структурі;
- здійснення кластерного аналізу багатовимірних даних засобами мап, що самоорганізуються;
- розпізнавання можливих ситуацій у системі управління відбором гідроресурсів на основі методу часових вікон.

Об’єктом дослідження є процеси розпізнавання та класифікації станів у системах та процесах управління багатопараметричними об’єктами.

Предметом дослідження є методи розпізнавання та класифікації станів систем управління засобами нейромережових технологій.

Методи дослідження базуються на теорії систем керування, методах розпізнавання образів, методах обробки часових рядів, методах кластеризації та сучасних нейропарадигмах.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

- введено та обґрунтовано поняття нелінійності нейромережевого класифікатора;
- вперше запропоновано, обґрунтовано і розроблено алгоритм аналізу ступеня нелінійності класифікації образів засобами нейромережових технологій та проведено оцінку критеріїв його якості;
- розроблено метод розпізнавання та класифікації станів систем управління засобами нейромережових технологій, що полягає в передбаченні значень параметрів виходу системи та класифікації, на їхній основі, станів системи;

– запропоновано та досліджено метод прогнозування, засобами нейромережових технологій, гідрогеологічних даних з високими показниками точності для системи класифікації та управління відбором мінеральних вод;

– запропоновано та досліджено, на основі мап, що самоорганізуються, метод виявлення структури та візуалізації характеристик багатовимірних даних– показників лісової промисловості країн Центральної Європи для проведення оцінки її функціонування і управління.

Практична цінність отриманих результатів. Розроблений алгоритм аналізу ступеня нелінійності нейромережового класифікатора, який характеризує якість і функціональність нейромережового класифікатора та дає змогу підвищити інформативність зворотнього зв'язку системи керування.

Розроблений метод розпізнавання та класифікації ситуацій, засобами нейромережових технологій, у системах управління багатопараметричними об'єктами, дозволяє зменшити обчислювальні затрати при обробці великих обсягів вхідних даних.

Здійснене прогнозування гідрогеологічних даних засобами нейромережових технологій є необхідним у системі управління відбором водних ресурсів. Обчисленні прогнозні дані характеристик мінеральних вод Трускавецького родовища відзначаються високою точністю, дозволяють зменшити витрати ресурсів і забезпечити їх раціональне використання.

Проведений кластерний аналіз даних на основі мап Кохонена для виділення структури та візуалізації характеристик стану лісової промисловості, дозволив здійснити аналіз розвитку цієї галузі спільно з науковцями Міжнародного інституту прикладного системного аналізу (IIASA, Австрія). Результати аналізу представляють собою значну практичну цінність для системи управління лісовою промисловістю як окремих країн Центральної Європи, так і для промисловості в цілому.

Реалізація та впровадження. Експериментальні та теоретичні результати, отримані в дисертаційній роботі, використано в науково-технічних роботах Державного науково-дослідного інституту інформаційної інфраструктури та проєкті №412 Українського науково-технологічного центру “Розробка інформаційних технологій функціонування, програмування і налаштування нейронних систем паралельної обробки сигналів”. Запропоновані підходи кластеризації та візуалізації багатовимірних даних використані при здійсненні аналізу конкурентноздатності лісового сектору промисловості країн Центральної та Східної Європи в Міжнародному інституті прикладного системного аналізу (IIASA, Австрія). В органі господарського управління СЕЗ “Курортполіс Трускавець” ЗАТ “Трускавецький валеологічно-інноваційний центр” впроваджено систему управління та прогнозування характеристик родовища мінеральних вод.

Особистий внесок автора. Результати, викладені у дисертаційній роботі, отримані автором самостійно. У друкованих працях, які опубліковані у співавторстві, автору належать: розробка

структури та алгоритм розпізнавання станів системи керування [1, 15]; схеми систем інтелектуального управління [3, 16]; принципи та адаптація методу класифікації для декодування за критерієм мінімуму віддалі [7, 9]; результати методу кластерного аналізу та побудова самоорганізаційних мап для лісового сектору промисловості [14].

Апробація роботи. Основні положення і результати дисертаційних досліджень доповідалися та обговорювалися на ряді міжнародних та національних науково-технічних конференцій, зокрема: П'ятій, Шостій, Сьомій та Восьмій міжнародних конференціях з автоматичного управління "Автоматика" (м. Київ, 1998р.; м. Харків, 1999 р.; м. Львів, 2000 р.; м. Одеса, 2001 р.); Першій Міжнародній конференції з індуктивного моделювання (Львів, 2002); Міжнародній науково-технічній конференції "Інформаційні системи та технології" (Львів, 1999); Міжнародній науково-практичній конференції "Автоматизація виробничих процесів" (Хмельницький, 2002); Третій Міжнародній конференції "Інформаційні технології друкарства: алгоритми, системи, сигнали" – Друкотехн-2000 (Львів, 2000); Міжнародному семінарі "IIASA Midsummer Workshop" (Лаксенбург, Австрія, 2001); П'ятій Міжнародній конференції "Pattern Recognition and Information Processing" (Мінськ, Білорусь, 1999); Міжнародному семінарі "Formas Seminar on Systems Analysis and IIASA Young Scientists' Summer Program" (Люнд, Швеція, 2001); Десятій Всеукраїнській науковій конференції "Сучасні проблеми прикладної математики та інформатики"(Львів, 2003); Міжнародному Конгресі "Проблеми інформатизації рекреаційної та туристичної діяльності України: Перспективи культурного та економічного розвитку" (Трускавець, 2000, 2003); Міжнародній науково-практичній конференції "Регіональна науково-технічна політика: інноваційний розвиток та інформаційний простір" (Львів, 2000).

Публікації. Основний зміст та результати роботи викладено у 17 публікаціях, у тому числі в 11 статтях у фахових виданнях.

Структура та об'єм роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури з 166 найменувань. Обсяг дисертації складає 172 сторінки, в тому числі 142 сторінки основного тексту.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано її мету і задачі, які необхідно розв'язати, описано основні наукові результати, їх новизну та практичну цінність, наведено відомості про впровадження, апробацію і структуру роботи, подано короткі анотації розділів дисертації.

У першому розділі розглянуто принципи застосування нейромережевих технологій у системах управління. На підставі аналізу літературних джерел та відомих теоретичних положень

сформульовано важливі властивості нейронних мереж, що визначають доцільність їхнього застосування у системах управління:

Паралелізм: нейронні мережі високо паралельні і можуть бути легко реалізовані, використовуючи паралельні апаратні засоби.

Властива нелінійність: нейронні мережі мають здатність моделювати набір класів нелінійних операторів як кусково-неперервні нелінійні відображення з заданим ступенем точності, при належному виборі розміру і параметрів мережі.

Здатність до навчання: нейронні мережі навчаються на прикладах, які відображають структуру моделей, що досліджуються.

Можливість узагальнення: нейронним мережам властива структурна здатність до узагальнення. Нейронні мережі здатні відтворити набагато більше ймовірних ситуацій, ніж було використано прикладів для навчання. Тому, вони володіють робастними властивостями до збурень, невизначеностей, неточностей та шумів.

Стабільність: сучасні теоретичні результати доводять, що існують нейромережеві структури управління, які забезпечують стійкість розв'язків певних задач нелінійного управління.

Ці характеристики є важливими у зв'язку із зростанням вимог до усе більш комплексних систем управління, що функціонують в умовах дії збурень різної фізичної та інформаційної природи.

Наведено структури систем керування з використанням нейроуправління, зокрема – контрольоване управління; пряме інверсійне управління; нейромережеве адаптивне управління; управління з підсиленням навчанням; гібридне управління.

Розглянуто засади побудови та функціонування штучних нейронних мереж. Проведено огляд загальних характеристик відомих нейромережевих архітектур, відображено етапи розвитку нейрокомп'ютерингу та наведено таксономію нейропарадигм. Детально розглянуто теоретичні засади та функціональні характеристики нейромережевої парадигми “Функціонал на множині табличних функцій”, запропонованої д.т.н. Р.О.Ткаченком.

В основі моделі “Функціонал на множині табличних функцій” (ФМТФ) лежить представлення нейронної мережі довільної структури, в якій всі нейрони з'єднані між собою повною системою зв'язків, що можуть починатися з виходу довільного нейрона або від джерел вхідних сигналів.

Для кожного нейрона є $n_x + n$ входів, де n_x – кількість входів нейромережі, а n – кількість нейронів. Ваги синаптичних зв'язків, що є зайвими для конкретної структури, можна приймати нульовими. Проходження сигналу з входу на вихід вершини графу передбачає обчислення зваженої суми та перетворення останньої відповідно до передатної функції нейрона. У цьому випадку вичерпним описом навченої нейромережі є представлення структури нейрона та

сукупності ваг зв'язків (рис. 1), де x_1, \dots, x_n – вихідні сигнали нейронів; $x_{n+1}, \dots, x_{n+n_x}$ – вхідні сигнали нейромережі; $W_1(i), \dots, W_{n+n_x}(i)$ – вагові коефіцієнти синаптичних зв'язків i -го нейрона.

Рис. 1. Структурна схема нейронного елемента

Вихідний сигнал i -го нейронного елемента визначається через сигнали його входів як

$$x_i = F_i \left[\sum_{j=1}^{n+n_x} x_j W_j(i) \right].$$

Оскільки для кожного нейрона в процесі задання структури та навчання нейромережі встановлюється свій набір синаптичних ваг, вважають, що вони є функціями від дискретного аргументу i – номера нейрона. Крім того кожному нейрону відповідає певна передатна функція F_i . Якщо набір векторів-реалізацій, що подаються на входи нейромережі при навчанні, контролі та використанні пронумерувати довільним чином $N=1, 2, \dots, N_m, \dots$, кожній реалізації поставити у відповідність певне число-характеристику, то кожній характеристиці реалізації N буде відповідати певний сигнал на виході кожного нейрона, який можна пов'язати з характеристикою реалізації функціонально, тобто

$$x_i = F_i^{(1)}(N),$$

де $i=1, \dots, n$; $N=1, 2, \dots, N_m, \dots$

Вихідними функціями є функції $F_i^{(1)}$, в яких аргументами є задані характеристики реалізацій, на відміну від звичайних передатних функцій F_i , аргументами яких є зважені суми по відповідних входах. Метою налаштування гетерогенних мереж є встановлення параметрів передатних функцій нейронів. Для нейронів зовнішніх шарів передатні функції можуть бути задані на основі відомих моделей сигмоїдних функцій, зокрема, використовують функцію активації $th(x)$ (тангенс гіперболічний).

Основною перевагою цієї нейропарадигми для розпізнавання та класифікації образів у системах керування є неітераційний алгоритм навчання, що забезпечує високу швидкість навчання мережі. Показано, що точність відтворення результатів забезпечується шляхом налагодження мережі, тобто вибором її параметрів.

У другому розділі наведено структуру та опис системи керування у просторі станів, розглядаються процеси передбачення і класифікації станів системи. Способи відображення інформації про динамічний стан в цільовому просторі визначають вид алгоритму індикації режиму відносно цілей. При цьому спостерігач будує образ ситуацій, адекватний реальному протіканню процесу в технологічній системі, за даними, що поступають із каналів вимірювання.

Отримана інформація оцінюється шляхом співставлення концептуальної інформаційної моделі і її параметрів із моделлю ситуації, що склалася, спроектованою в просторі станів. Концептуальна модель формується в результаті аналізу реальної ситуації із врахуванням задач, які повинен виконати оператор (або які необхідно реалізувати при синтезуванні спецпроцесора). Прийняття рішення здійснюється на основі аналізу результатів співставлення інформаційної і образно-концептуальної моделей ситуації.

Прийняття рішень в таких умовах має складну структуру і базується на розпізнаванні ситуацій відносно обмежень $\theta(\cdot)$.

Розроблено метод визначення станів системи управління, що базується на основі моделі динамічної системи запропонованої д.т.н. Л.Сікорою. Існує структура динамічної системи – *Strukt DS*, та модель цільового простору динамічної системи – $МП_u^{ds}$:

$$\exists \text{Alg}(x, y \rightarrow z^*)^{T_n} : \text{synt}DS_z = \langle x, y, z^* \in МП_u^{ds} | \theta(x, y, z) \rangle,$$

де x та y – вхідний та вихідний сигнали відповідно, z – стан системи, T_n – інтервал спостереження.

Управління при заданому $\langle z^*(c_i), z_0 \rangle$ зводиться до пошуку:

$$\frac{dy}{dt} = F(x, u | \text{Strat}(U / C_i)),$$

де $\text{Strat}(U / C_i)$ – стратегія цільового управління, що дозволяє досягнути цільового стану системи.

Перевірка гіпотез про стан об'єкту управління в заданій ситуації базується на процедурах класифікації положення траєкторії (рис.2):

$$H_i : \{z_n \in (z_0^+ + \varepsilon, z_0^- - \varepsilon)\} \Rightarrow K_i, \bigcup_i K_i = I_\Delta,$$

$$\{K_i\} = \varphi_i(\text{Strat}(U / C_{Az})), \quad K_i \in \{K_i\}_{i=1}^m,$$

де $\{K_i\}$ – розбиття на класи інтервалу стійкості; $\text{Strat}(U / C_{Az})$ – стратегія управління об'єктом A по цілі C_z ; φ_i – дискримінантна функція розбиття інтервалу I_Δ при заданій стратегії.

Рис. 2. Режим розпізнавання ситуацій

Процедура управління базується на описі системи в просторі станів і алгоритмі рішення цільової задачі, яка визначає стратегію досягнення мети.

Модель прийняття рішень в системі управління технологічним процесом в рамках вирішення цільової задачі представляється у вигляді схеми зображеної на рис.3, де *ОПП* – особа, що приймає рішення; *БД* – база даних; *ППР* – пристрій, що приймає рішення; *ОУ* – об'єкт управління; *Strat* – стратегія управління; $\Phi_{вх}$, $\Phi_{вих}$ – потоки ресурсів на вході і виході системи; *БЗ* – база знань.

Задання області працездатності системи залежить від способу формування обмежень на ресурси:

$$\langle \forall t, V_r \rangle = \{z(t) \in [z_{\min}, z_{\max}]\}$$

при заданій стратегії управління.

Рис. 3. Модель прийняття рішень в системі управління технологічним процесом

Якщо система структурно спостережувана, то задача спостереження зводиться до визначення стану системи за вхідним і вихідним сигналами на інтервалі $\{\tau \in T\}$ виходячи зі структури моделі цільового простору:

$$\left. \begin{array}{l} \forall x(t) \in X \\ \forall y(t) \in Y \\ \{\tau\} \in T \end{array} \right| A(t, \hat{y}(t), x(t), \tau) = \hat{z}(t),$$

де $A = \text{Alg} \Big|_z^{T_n}$ – алгоритм оцінювання стану системи, \hat{y} та \hat{z} – оціночні значення виходу та стану системи, відповідно.

Інформацію про поточний стан системи отримуємо як результат вимірів y_i у контрольних точках. Результати вимірювання представляємо у вигляді моделі:

$$y = \{t, \hat{y}_1, \hat{y}_2, \dots, \hat{y}_n\}, y = \psi(x(t)), x(t) = \varphi(z(t)).$$

Розпізнавання і класифікацію станів системи, внаслідок складності їх визначення аналітичним способом, реалізовано, застосовуючи ФМТФ нейромережі. Основною вимогою, що ставилася до нейромережі є швидкість перенавчання. Нейропарадигма ФМТФ, завдяки неітераційному алгоритму, забезпечує швидке навчання та перенавчання мережі. На основі оцінкових значень виходів системи, засобами нейромережових технологій здійснено передбачення виходів, за цими значеннями визначено стани системи.

У третьому розділі викладено розроблений метод визначення нелінійності нейромережевого класифікатора та аналізу на його основі якості класифікації образів з використанням нейромереж. Введено та обґрунтовано поняття нелінійності класифікації та побудовано алгоритм для її визначення.

Означення 1. Нелінійність класифікації N щодо множини даних є ймовірністю того, що довільна точка, однорідно і лінійно інтерпольована між двома довільними точками в множині даних з певною класифікацією має цю ж класифікацію.

Це визначення нелінійності стосується множини даних, але не залежить від істинності міток. Як результат, це визначення також не залежить від методу реалізації класифікатора.

Означення 2. (Нелінійність класифікатора S щодо двох об'єктів) Нехай L множина об'єктів x_i , тобто $L = \{x_1, x_2, \dots, x_p\}$, і нехай W множина міток w_j , тобто $W = \{w_1, w_2, \dots, w_M\}$. Даний класифікатор $S(x)$, який призначає кожному об'єкту $x_i \in L$ мітку $w_j \in W$, визначає підмножини L^i такі, що $\forall x \in L^i : S(x) = w_i \in W$. Нелінійність класифікатора S , щодо $\bar{x} \in L^i \times L^i$, \bar{x} – пара (x_k, x_l) і $x_k, x_l \in L^i$:

$$n(\bar{x}) = n((x_k, x_l)) = \frac{1}{\|x_k - x_l\|_0} \int_0^1 S_{\Delta}(ax_k + (1-a)x_l, x_k) da, \quad (1)$$

причому
$$S_{\Delta}(a, b) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } S(a) \equiv S(b), \\ 1, & \text{в інших випадках.} \end{cases}$$

S_{Δ} гарантує, що представлення міток-класів не впливає на визначення $n(\bar{x})$. Маючи S_{Δ} , мітки-класи можна представити, наприклад, числами. Необхідно, щоб $\bigcup_{i=1}^M L^i = L$ і $\bigcap_{i=1}^M L^i = \emptyset$, інакше класифікатор S буде призначати більше ніж одну мітку об'єкту на раз. Визначення нелінійності класифікації для двох об'єктів можна розширити до нелінійності класифікатора щодо цілої множини об'єктів L . Нелінійність класифікації $N(S, L)$ класифікатора S щодо множини L , визначається наступним чином.

Означення 3. (Нелінійність класифікатора S щодо множини об'єктів L) Нехай $n(\bar{x})$ – функція визначена рівнянням (1), нехай L – множина об'єктів і S – класифікатор, який призначає мітку кожному $x \in L$, тоді $N(L, S)$ визначається як

$$N(L, S) = \frac{1}{\sum_{i=1}^M |L^i \times L^i|} \sum_{i=1}^M \sum_{\bar{x} \in L^i \times L^i} n(\bar{x}).$$

Нелінійність N множини L визначається через обчислення окремих $n(\bar{x})$ для кожної пари в L , що мають однакову мітку. Для знаходження $N(L, S)$, пропонується алгоритм, що використовує метод Монте-Карло. Обчислена сума потім нормалізується щодо кількості пар у кожному класі.

Запропоновано алгоритм для обчислення нелінійності класифікатора $N(L, S)$.

Крок 1. Класифікуємо всі об'єкти відповідно до класифікатора S .

Крок 2. Вибираємо випадково n об'єктів x_k з множини даних L .

Крок 3. Знаходимо для кожного x_k певне x_l з тією ж міткою класифікації, тобто створюємо пару \bar{x} .

Крок 4. Генеруємо n випадкових α , де $0 < \alpha < 1$ (для кожної пари вибираємо α).

Крок 5. Порівнюємо класифікацію $S(ax_k + (1-\alpha)x_l)$ з $S(x_k)$ і вважаємо, що є нелінійність, якщо вони не класифіковані в один клас. Робимо це для всіх пар \bar{x} , підраховуючи кількість нелінійностей.

Крок 6. Нелінійність $N(L,S)$ визначається як відношення обчисленої кількості випадків нелінійностей до кількості пар n .

Введений засіб для визначення загальної нелінійності класифікаційної функції, є важливим для дослідження можливостей нейромережових класифікаторів.

Визначення нелінійності нейромережевого класифікатора на основі моделі ФМТФ здійснено на множині зі 1000 точок, навчальна множина становила сто точок. Нелінійність нейромережевого класифікатора на основі моделі ФМТФ становить 0,01, нелінійність мережі прямого поширення, що навчається за методом зворотнього поширення похибки із двома вхідними нейронами, вісьмома нейронами у прихованому шарі та одним вихідним нейроном становить від 0,02 до 0,01 для різної кількості епох навчання, а середьоквадратична похибка класифікації від 0,18 до 0,25. Середьоквадратична похибка класифікації на даній множині для класифікатора на основі моделі ФМТФ становить 0,12. Це свідчить про меншу нелінійність нейромережевого класифікатора на основі моделі ФМТФ та відповідно кращу якість класифікації.

Викладено результати реалізованого методу кластерного аналізу багатовимірних даних засобами мап, що самоорганізуються, який дав можливість виявити структуру та візуалізувати характеристики – показники лісової промисловості країн Центральної та Східної Європи та провести оцінку її функціонування для формування управлінських рішень (рис.4).

Рис. 4. Результати кластерного аналізу показників лісової промисловості (Угорщина, 2000)

У четвертому розділі запропоновано нейромережові методи для задач класифікації та прогнозування ймовірних станів об'єктів управління, наведено концептуальну схему функціонування нейромереж (рис. 5).

Використання нейромереж для вирішення задач прогнозування, мабуть, набуло найширшого застосування в порівнянні з усіма іншими практичними задачами. За допомогою нейромережових технологій прогнозуються курси валют, акцій, поведінка фізичних систем тощо. Для здійснення прогнозів використовують нейромережі прямого поширення, навчання та функціонування котрих здійснюється в режимі часових вікон. У практиці прогнозування часто відсутня вичерпна інформація про об'єкт, ознаки якого пов'язані з часом. Слід також враховувати можливу неточність вхідних даних, вплив випадкової складової, наявність пошкодженої, помилкової інформації.

Дані про поведінку такого об'єкта часто представлені як результати спостережень в рівномірні відліки часу. Для моментів часу $t=1, 2, \dots, h$ дані спостережень набувають вигляду часового ряду $x(t_1), x(t_2), \dots, x(t_h)$. Задача прогнозування із застосуванням нейромереж також

зводиться до побудови гіперповерхні відповідної складності. Інформація про значення часового ряду до моменту n дозволяє давати оцінки параметрів $x(t_{h+1}), x(t_{h+2}), \dots, x(t_{h+m})$.

Прогнозування гідрогеологічних даних нейромережами на основі моделі ФМТФ.

Гідрогеологічні дані, що отримують зі спостережень свердловин мінеральних вод та хімічних аналізів важливі з точки зору ефективного управління відбором мінеральних вод, тобто планування об'єму їхнього використання. Дані щодо хімічного та органічного складу також потрібні при проведенні біологічних та медичних експериментів. Особливість трускавецьких цілющих вод полягає в тому, що це органічно-мінеральні води, хімічний та органічний склад яких коливається під впливом різних факторів. З огляду на це важливим є прогнозування дебіту джерел мінеральних вод, їх хімічного та органічного складу.

Для обробки гідрогеологічних даних застосовано штучну нейронну мережу прямого поширення на базі парадигми “Функціонал на множині табличних функцій”. Програмна реалізація нейронної мережі *Neural Net Emulator*, розроблена на її основі, показала високу точність прогнозування та зручність у використанні. Основними перевагами програми є висока швидкодія у режимах навчання та прогнозування, зручний, інтуїтивно-зрозумілий інтерфейс, швидка переконфігурація нейронної мережі.

Програма функціонує у двох фазах. У першій фазі (фазі навчання нейронної мережі) здійснюється підбір оптимальних параметрів нейронної мережі (рис. 6). Контроль якості навчання проводиться за допомогою вікна фази навчання шляхом порівняння відхилення від взірцевого набору даних (показується абсолютна та середньоквадратична величина відхилення від реальних значень). Це вікно дозволяє також окремо проглянути вхідні та вихідні набори даних, що використовуються для навчання нейронної мережі у вигляді графіків або таблиць.

Рис. 6. Вікно нейромережевого емулятора з визначеними параметрами

У другій фазі (фазі прогнозування) нейронна мережа функціонує в режимі прогнозування у відповідності до набору даних на її входах.

Вивід результатів здійснюється у вікно фази прогнозування. Це вікно має такі ж функції, що і вікно фази навчання. Результати прогнозування також зберігаються у файлі. Програмну реалізацію нейронної мережі використано для прогнозування дебіту мінеральної води та її мінералізації.

Навчальна вибірка включала дані протягом 1983-1998 рр. Після підбору оптимальної конфігурації нейронної мережі було досягнуто відтворення навчальної вибірки з високою точністю (рис. 7).

Рис. 7. Фаза навчання нейромережі

Отримані результати передбачень порівнювались з реальними результатами аналізів та вимірів, що підтвердило їх високу точність та достовірність. Максимальна похибка передбачення становила 15,08%.

Важливою характеристикою мінеральних вод також є рівень кислотності. При налаштованих параметрах нейромережі, з високою достовірністю отримано спрогнозовані значення рівня кислотності джерела 9Б (рис. 8).

Рис. 8. Реальні та спрогнозовані дані рівня кислотності джерела 9Б

Експлуатація родовища мінеральних вод курорту Трускавець вимагає проведення постійного моніторингу для визначення реальних параметрів режимів експлуатації джерел мінеральних вод з використанням сучасної інформаційно-вимірювальної системи та здійснення прогнозування оцінок стану гідрогеологічних ресурсів з метою їх ефективного використання. Застосування нейромережевих технологій обробки гідрогеологічних даних, як показують отримані результати досліджень, є ефективним для прогнозування хімічного складу і дебіту джерел мінеральних вод та використання їх у системі управління експлуатації родовища мінеральних вод.

У додатках подано результати здійсненого кластерного аналізу показників лісової промисловості, наведено основні тексти програмних засобів, а також копії актів про впровадження результатів дисертаційних досліджень.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ТА ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язана науково-практична задача – розробка методів та алгоритмів розпізнавання і класифікації станів систем управління засобами нейромережевих технологій. Це дало можливість застосувати нейромережеві технології для передбачення ймовірних ситуацій у системах керування та управління багатопараметричними об'єктами. У результаті цього отримано наступні наукові результати:

1. Результати аналізу основних нейромережевих архітектур та методів нейромережевого розпізнавання образів показали доцільність вирішення задач розпізнавання та прогнозування, зокрема станів динамічної системи управління, засобами нейромережевих технологій.

2. Запропоновано і створено методологію розпізнавання і класифікації станів систем керування, засобами нейромережових технологій, що полягає в передбаченні значень параметрів виходів системи та, на їхній основі, класифікації станів системи.
3. Введено та обґрунтовано доцільність поняття нелінійності нейромережового класифікатора для аналізу функціональності та якості роботи нейромережового класифікатора.
4. Розроблено алгоритм аналізу ступеня нелінійності нейромережового класифікатора, що є важливим для визначення можливостей класифікації образів засобами нейромережових технологій. Експериментальні дослідження показали менший ступінь нелінійності – 0,01 нейромережового класифікатора на основі моделі “Функціонал на множині табличних функцій” (ФМТФ), ніж нейромережі зворотнього поширення помилки із ступенем нелінійності від 0,01 до 0,02 та відповідно кращу якість класифікації.
5. Реалізовано метод кластерного аналізу багатовимірних даних засобами мап, що самоорганізуються, який дав можливість виявити структуру та візуалізувати характеристики – показники лісової промисловості країн Центральної та Східної Європи та провести оцінку її функціонування для формування управлінських рішень.
6. Засобами ФМТФ нейромережі, на основі методу часових вікон, ефективно реалізовано прогнозування гідрогеологічних даних, зокрема характеристик джерел мінеральних вод Трускавецького родовища, у системі управління відбором мінеральних вод для ефективного їх використання.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Грицик В.В., Білас О.Є. Нейромережові засоби інтелектуального управління у системах керування // Інформаційні технології і системи.- 2003.- Т.6.- №1.-2.- С. 58-62.
2. Білас О.Є. Нейрокомп'ютери і нейромережі та їх застосування // Вісник Державного університету “Львівська політехніка”: Прикладна математика.- №364.- 1999.- С. 348-351.
3. Білас О., Томашевський О. Інтелектуальне управління та нейромережове розпізнавання станів системи керування // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”: Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології.- № 481.- 2003.- С. 115-120.
4. Білас О.Є. Класифікація образів з допомогою нейромереж та можливість оцінки її якості // Комп'ютерні технології друкарства.- №4.- 2000.- С.208-213.
5. Білас О.Є. Обробка часових рядів з допомогою нейромереж // Труды Одесского политехнического университета.- Вып. 3(15).- 2001.- С. 127-130.

6. Білас О.Є. Розпізнавання станів системи керування засобами нейромереж // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація.- Вип. 48.- 2002.- С.270-274.
7. Білас О.Є., Томашевський О.М. Нейромережева класифікація станів та зашумлених даних у системах керування // Вісник Технологічного університету Поділля.- №3.- Т.1 (41).- 2002.- С.185-189.
8. Білас О.Є. Застосування штучних нейромереж на функціоналі табличних функцій для виділення контурів // Вестник Харьковского государственного политехнического университета: Системный анализ, управление и информационные технологии.- №97.- 2000.- С. 114-116.
9. Білас О.Є., Томашевський О.М. Застосування класифікації для декодування інформації // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”: Комп’ютерна інженерія та інформаційні технології.- № 413.- 2000.- С. 84-89.
10. Білас О. Огляд нейромережевих застосувань // Вісник Державного університету “Львівська політехніка”: Комп’ютерна інженерія та інформаційні технології.- №386. - 1999.- С. 68-73.
11. Білас О. Аналіз якості класифікації образів з використанням нейромереж // Вісник Державного університету “Львівська політехніка”: Комп’ютерна інженерія та інформаційні технології.- №392.- 2000.- С. 109-111.
12. Білас О.Є. Взаємозв’язок між кластеризацією та багатовимірним масштабуванням з використанням нейромереж / Автоматика-2000: Збірник наукових праць.- Львів: ДНДІП, 2000.- Т. 6.- С.40-43.
13. Білас О.Є. Прогнозування гідрогеологічних даних з допомогою нейромереж // 8-ма Міжнар. конф. з автоматичного управління “Автоматика-2001”: Тези.- Одеса, 2001.- Т.2.- С.140.
14. Viitamo E., Bilas O. Competitiveness of the Forest Sector in the EU Candidate Countries — Cluster Analysis.- International Institute for Applied Systems Analysis, Interim Report: IR-02-012.- Laxenburg, Austria, 2002.- 47 p.
15. Грицик В.В., Білас О.Є. Розпізнавання та класифікація станів у системах керування // I-а Міжнар. конф. з індуктивного моделювання: Праці.- Львів, 2002.- Т.1, ч.2.- С. 303-308.
16. Білас О.Є., Томашевський О.М. Інтелектуальне управління засобами нейромереж // Всеукраїнська наук. конф. “Сучасні проблеми прикладної математики та інформатики”: Матеріали.- Львів, 2003.- С. 23.
17. Білас О.Є. Задача визначення контурів та її опис через Булеві функції // 5-а Українська конф. з автоматичного управління “Автоматика-98”: Праці.- Київ, 1998.- Т.4.- С.28-32.

Білас О.Є. Методи розпізнавання та класифікації станів систем управління засобами нейромережових технологій. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – автоматизовані системи управління та прогресивні інформаційні технології. – Державний науково-дослідний інститут інформаційної інфраструктури, Львів, 2004.

У дисертаційній роботі розв'язана науково-практична задача – розробка методів та алгоритмів розпізнавання і класифікації образів засобами нейромережових технологій у системах керування. Це дозволило застосувати нейромережові технології для передбачення ймовірних станів у системах керування та управління багатопараметричними об'єктами. Розроблений метод визначення нелінійності класифікатора дозволяє оцінити можливості та якість функціонування нейромережового класифікатора.

Запропоновано і створено методологію розпізнавання і класифікації станів систем керування, засобами нейромережових технологій, що полягає в передбаченні значень параметрів виходів системи та, на їхній основі, класифікації станів системи.

Результати роботи знайшли практичне застосування у наукових дослідженнях та системі управління відбором мінеральних вод в органі господарського управління СЕЗ “Курортополіс Трускавець” ЗАТ “Трускавецький валеологічно інноваційний центр”.

Ключові слова: система управління, штучна нейронна мережа, розпізнавання образів, класифікація, передбачення станів, самоорганізаційна мапа, кластеризація.

Билас О.Е. Методы распознавания и классификации состояний систем управления средствами нейросетевых технологий. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – автоматизированные системы управления и прогрессивные информационные технологии. – Государственный научно-исследовательский институт информационной инфраструктуры, Львов, 2004.

В диссертационной работе решена научно-практическая задача – разработка методов и алгоритмов распознавания и классификации образов средствами нейросетевых технологий в системах управления. Это дало возможность применить нейросетевые технологии для прогнозирования вероятных состояний в системах управления полипараметрическими объектами. Разработанный метод определения нелинейности классификатора даёт возможность оценить качество функционирования нейросетевого классификатора.

Предложено и создано методологию распознавания и классификации состояний систем

управления, средствами нейросетевых технологий, который состоит в прогнозировании значений параметров выходов систем и, на их основании, классификации состояний системы.

Результаты работы нашли практическое применение в научных исследованиях и системе управления отбором минеральных вод в органе хозяйственного управления СЭЗ “Курортполис Трускавец” ЗАО “Трускавецкий валеологическо-инновационный центр”.

Ключевые слова: система управления, искусственная нейронная сеть, распознавание образов, классификация, прогнозирование состояний, самоорганизационная карта, кластеризация.

Bilas O. Methods for recognition and classification of the control system states using neural network technologies. – Manuscript.

Dissertation for granting a scientific grade of the Candidate of Technical Sciences in speciality 05.13.06 – automatic control system and progressive information technologies. – State Institute of Informational Infrastructure, Lviv, 2004.

The dissertation resolves scientific-practical problem – creation of pattern recognition and classifications methods by means of neural networks technologies in control systems.

Incompleteness, uncertainty of input data on dynamics of controlled object, disturbing effect on the information and technology structures, information complexity of determination of the interdependencies and interaction between the system elements are typical for many problems of control system synthesis. Information fuzziness of the dynamic situations results in incorrect classification and inadequate procedures of control decision making. Classical methods are insufficient for correct estimation of control object state under influence of disturbances. Methods for pattern classification and recognition by means of neural network technologies allow solving the problems of classification of dynamic situations in the space of states of the control systems for multiparametric objects.

Methods for recognition and classification using neural network technologies give an opportunity to solve problems of prediction probabilistic states in control systems of polyvalent objects.

The following problems were solved:

- the method of pattern recognition and classifications by means of neural networks technologies in control systems of polyvalent objects with acting of nonstationary influences have been created;
- the algorithm of estimation of neural networks classifier nonlinearity was made;
- the prognostic properties of the selected architectural solution of neural network were investigated;
- the cluster analysis of multidimensional data by means of self-organized maps (using indicators of forest industry) was carried out;
- recognition of probabilistic situations in control system of hydroresources selection on the basis of time windows method was carried out.

The developed method of definition classifier nonlinearity allows to estimate capabilities and quality of performing neural networks classifier.

Results of the created software functioning has been use during researches in governmental grants of the State Scientific and Research Institute of Information Infrastructure, project №412 “An elaboration of information technologies of functioning, programming and adjusting neuron systems for parallel signals processing ” of the Science and Technology Center in Ukraine. Proposed approaches were used during fulfillment of analysis of the Central and Eastern European Countries forest sector competitiveness at the International Institute for Applied System Analysis (IIASA, Austria). The system for control and prognosis of mineral water characteristics introduced at the economic administration organ of the SEZ “Kurortopolys Truskavets” “Truskavets valeological and innovation center” Corporation.

Key words: control system, artificial neural network, pattern recognition, classification, state prediction, self-organizing map, clusterization.