

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Вінницький національний технічний університет

ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ ТЕХНОЛОГІЇ АНАЛІЗУ БІОМЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Монографія

Вінниця
ВНТУ
2012

УДК 681.784

ББК 32.86

О-62

Автори:

**С. В. Павлов, В. П. Кожем'яко, І. І. Бурденюк,
Рамі Ребхі Хамді**

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (протокол № 4 від 24 листопада 2011 року).

Рецензенти:

Р. Н. Кветний, доктор технічних наук, професор

Л.І.Тимченко, доктор технічних наук, професор

О-62 **Оптико-електронні** технології аналізу біомедичних зображень: монографія / С. В. Павлов, В. П. Кожем'яко, І. І. Бурденюк, Рамі Ребхі Хамді – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 166 с.

ISBN 978-966-641-456-7

В монографії розглянуто аналіз сучасних біомедичних експертних систем та розробки оптико-електронної експертної системи для підтримки прийняття рішень при аналізі біомедичних зображень, яка дає можливість застосовувати нові принципи та методи, зокрема, для оцінювання реологічних властивостей крові при визначення патологічних процесів багатьох захворювань та їх ускладнень.

Монографія розрахована на науковців, аспірантів, студентів спеціальностей «Лазерна та оптоелектронна техніка», «Біотехнічні та медичні апарати та системи».

УДК 681.5:613

ББК 22.34:5

ISBN 978-966-641-456-7

© С. Павлов, В. Кожем'яко, І. Бурденюк,
Рамі Ребхі Хамді, 1012

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ОБРОБЛЕННІ БІОМЕДИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ	10
1.1. Класифікація інформаційних технологій прийняття рішень	10
1.2. Принципи побудови та особливості роботи експертних систем	17
1.3. Класифікація знань, що використовуються в інформаційних експертних системах	21
1.4. Аналіз оптико-електронної елементної бази при створенні експертних інформаційних систем для оброблення біомедичної інформації	27
1.5. Особливості створення інформаційних технологій для аналізу біомедичних зображень	32
РОЗДІЛ 2 МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ АНАЛІЗУ БІОМЕДИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ПРИ СТВОРЕННІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ	38
2.1. Формування інформаційних ознак при створенні інформаційних технологій для підтримки прийняття рішень	38
2.2. Методи попереднього оброблення двовимірних біомедичних зображень (фільтрація, оконтурювання та нормалізація)	41
2.3. Метод контурного препарування та формування шаблонів - масок біооб'єктів	49
2.4. Розробка архітектури нечіткої експертної оптико-електронної системи при аналізі біомедичних зображень (на прикладі оцінювання реологічних властивостей крові)	59
РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ДОСТОВІРНОСТІ РОБОТИ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ	73
3.1. Рекомендації щодо реалізації експертних систем з врахуванням ознак біомедичних об'єктів	73

3.2. Кореляційний аналіз біомедичних об'єктів в контексті створення експертних систем для підтримки прийняття рішень	80
3.3. Рекомендації щодо побудови експертної оптико-електронної системи для підтримки прийняття рішень при аналізі біозображень	93
3.4. Дослідження ефективності експертної оптико-електронної системи аналізу біомедичної інформації при оцінюванні реологічних властивостей крові	101
3.5. Аналіз показників достовірності експертної оптико-електронної системи для прийняття рішень при аналізі біомедичних зображень	105
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ АНАЛІЗІ БІОМЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ	109
4.1. Використання оптико-електронної елементної бази при створенні інформаційних технологій прийняття рішень	109
4.2. Розроблення програмно-алгоритмічного забезпечення для аналізу біомедичних зображень	115
4.3. Розробка апаратної підтримки інформаційної технології для аналізу біомедичних зображень	131
4.4. Експериментальні дослідження та оболонка експертної системи	138
ЛІТЕРАТУРА	140
ДОДАТОК А Основні параметри матриць для оброблення біомедичних зображень	154
ДОДАТОК Б Порівняльні таблиці методів препарування	156
ДОДАТОК В Інтерфейс користувача	156
ДОДАТОК Д Інтерфейс виведення результатів	157
ДОДАТОК Е Фрагмент лістингу програмного забезпечення для аналізу біомедичних зображень	158
ДОДАТОК Ж Схема електрична принципова блока контролю оптико-електронної системи аналізу біомедичних зображень	162
ДОДАТОК З Структурна реалізація біопрцесорного перетворювача біомедичної інформації в контексті створення експертної системи	163

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

БПТ – біомедичний процесорний таймер
БФОЕМ – багатофункціональний оптико-електронний модуль
БЗ – блок знань
БД – база даних
ІО – інформаційний об'єкт
ЕС – експертні системи
КЕС – кореляційно-екстремальні системи
КЕВК – кореляційно-екстремальний вимірювач координат
МЕС – медичні експертні системи
НМ – нейронні мережі
ОЕКЕЗ – оптико-електронні кореляційно-екстремальні засоби
ОПС – однорідне процесорне середовище
ПС – інформаційна інтелектуальна система
ПРЗ – принцип різницевих зрізів
ПЗЗ – прилад з зарядовим зв'язком
СШ – системи штучного інтелекту
УПЗ – узагальнений W-спектр просторової зв'язності
ФЕ – функціональний елемент
ФП – фотоприймач

ВСТУП

Актуальність теми

На сучасному етапі розвитку автоматизованих систем управління існує велика необхідність створення інформаційних технологій з можливістю ретельного опису структур біомедичних зображень з метою встановлення точного діагнозу. На сьогоднішній день окрім покадрового оброблення інформації актуальним є створення систем з можливістю оброблення інформації за зрізами [50]. Крім того спостерігається стійка тенденція до невідповідності, яка проявляється в тому, що системи, які є досить інформативними та точними, надзвичайно дорогі, а застосування дешевих не дає достатнього рівня діагностики, необхідного на сьогоднішній день. Рівень вимог до експертних медичних систем, які використовуються в цій області, незмінно підвищується, що вимагає застосування нових інформаційних методів та підходів до його реалізації [30, 31, 111].

У цьому плані перспективним є розроблення експертних систем для перетворення, оброблення та зберігання біомедичних зображень в оптоелектронних системах з подальшим автоматичним обробленням зображень в контексті створення біомедичних експертних систем, що автоматизують процес оброблення зображень, особливо у реальному часі в динамічних системах для підтримки прийняття рішень.

За допомогою таких оптико-електронних експертних систем можливе визначення патологічних процесів, що має суттєве значення при аналізі патогенезу багатьох захворювань та їх ускладнень.

Тому актуальною є задача розроблення інформаційної технології для підтримки прийняття рішень при аналізі біомедичних зображень, яка дає можливість застосовувати нові принципи та методи, зокрема, для оцінювання реологічних властивостей крові.

У першому розділі монографії проведено аналіз інформаційних технологій для підтримки прийняття рішень і виявлено, що розвиток нових біомедичних оптико-електронних технологій, а останнім часом і створених на їх основі експертних оптико-електронних систем, викликає необхідність у розробленні нового покоління інтелектуальних оптико-електронних експертних систем комплексного діагностування. Вони, відповідно до новітніх медичних програм, повинні забезпечувати ефективну та комфортну діагностику.

Наведена класифікація інтелектуальних інформаційних технологій, де системи на основі знань у зв'язку з можливістю генерації алгоритмів розв'язання задач мають такі характерні ознаки: розвинуті комунікативні властивості, вміння розв'язувати неформалізовані задачі, здатність до розвитку і самонавчання.

Проаналізовані принципи побудови інформаційних експертних систем та класифікація знань, яка використовується в цих системах для підтримки прийняття рішень.

У другому розділі проведено аналіз математичних моделей та розроблено методи аналізу біомедичної інформації при створенні інформаційної технології. Запропоновані в роботі елементарні та комплексні вимірювання відрізняються лише рівнем складності математичних моделей. Комплексні вимірювання, які використовуються в складних математичних моделях, – це зміни патологічних станів у часі

В роботі запропоновані методи попереднього оброблення двовимірних біомедичних зображень (фільтрація, оконтурювання та нормалізація). Виділення контурів використовується, в основному, для сегментації елементів зображення, що дозволяє виділити ділянки зображення. Проаналізовано різні підходи: фільтр Кирша, фільтр Робертса, нелінійний фільтр Собела. Більше уваги було приділено застосуванню фільтра Кирша, який працює із двовимірною апертурою 3×3 (частиною зображення, з якою фільтр працює безпосередньо у визначений момент часу).

Удосконалено метод узагальненого контурного препарування, який, на відміну від існуючого, має можливість настроювання порога препарування за параметрами просторового розподілення яскравості вхідного зображення, що дозволило підвищити достовірність аналізу біомедичної інформації.

Запропоновано еталон-маски біооб'єктів через використання контурного препарування з можливістю розпізнавання клітин еритроцитів з подальшим визначенням їх кількості та сукупної площини.

Для кожної з баз даних з метою формалізації показників визначаються відповідні функції належності.

Запропоновано архітектуру оптико-електронної експертної системи (ОЕЕС), за допомогою якої забезпечується введення вхідних змінних, перетворення кількісних змінних в якісні. Ця експертна система на базі нечіткого логічного введення реалізує також функції збору, зберігання,

кореляційного аналізу та використання знань, які отримані експертами з метою аналізу реологічних властивостей крові.

В третьому розділі наведено рекомендації щодо розроблення програмного забезпечення для визначення кількості еритроцитів в зразку крові. Проаналізувавши сучасні інформаційні технології побудови експертних систем, визначено, що для реалізації експертних систем для визначення реологічних властивостей крові необхідно реалізувати процедуру автоматичного підрахунку і аналізу морфологічних параметрів об'єктів на цифрових зображеннях. Основною задачею, що розв'язується за допомогою цього програмного забезпечення, є автоматичне виділення довільних об'єктів, їх підрахунок та обчислення морфологічних параметрів. Програма використовує такі методи виділення об'єктів на знімку біозображень: повністю автоматичний; інтерактивна сегментація; порогове відсікання фону; на основі характеристик еталонних об'єктів.

При контролі та аналізі біомедичних зображень актуальною задачею є виділення із зображення потрібної інформації за допомогою автоматичних або напівавтоматичних приладів і систем. На відміну від таких видів обробки зображень, як кодування, реставрація і поліпшення якості зображень, результатом аналізу зображень звичайно є не картина, а її числовий опис.

Один з основних способів виявлення об'єктів на зображенні полягає в зіставленні з еталоном. При роботі еталон послідовно переміщається по лем зображення і досліджується його схожість з різними ділянками зображення.

Для порівняння біологічних об'єктів з еталоном використовується взаємна кореляційна функція. Для збільшення швидкості збіжності і підвищення надійності запропоновано декілька модифікацій алгоритму послідовних випробувань.

Концепція запропонованої інформаційної експертної оптико-електронної системи передбачає створення принципово нової структурної організації як каналів збору первинної інформації, так і засобів, що її обробляють, виходячи з того, що вони повинні моделювати біомедичні процеси. А це означає, що, наприклад, паралельні оптичні канали введення повинні взаємодіяти з нейроподібними мережами.

Така система, як базисна модель комплексного неінвазивного діагностування, передбачає, що це технічна система, яка сприймає інформацію,

що подається у вигляді зорового середовища довільної форми, виділяє певні ознаки біооб'єкта, обробляє їх і приймає рішення автоматично або за участю оператора.

Особливістю експертної оптико-електронної системи є можливість прийняття рішень на основі інформації з блока сенсорів. До око-процесора входять модулі попереднього оброблення, модулі-корелятори, модулі еталонів-фрагментів, модулі прийняття рішень і узагальнений модуль адаптивного прийняття рішень.

В четвертому розділі наведено рекомендації щодо використання оптико-електронної елементної бази при створенні інформаційної технології для підтримки прийняття рішень.

Запропоновано реалізацію структурної схеми інформаційного каналу експертної системи введення біомедичної інформації. Основними функціональними блоками структурної схеми є: світлочутлива матриця, блок формування зображення, мікропроцесорний пристрій управління, контролер USB.

Шляхом застосування оптико-електронних технологій розв'язується задача дослідження реології крові, що дозволяє оцінювати якісні показники стану крові з вищою інформативністю та визначати рівень патології окремих клітин крові. На основі теоретичних та практичних досліджень сформовано метод аналізу реології крові, що дає можливість підвищити ефективність комплексного діагностування стану крові. Це дозволяє якісно і кількісно оцінювати показники крові шляхом вивчення каліброметрії клітин, їх стану та в цілому визначення реологічних властивостей крові.

Основним результатом є те, що практично підтверджено доцільність та достовірність розробленої інформаційної експертної системи для підтримки прийняття рішень при аналізі реологічних властивостей крові.

Результати роботи впроваджені на базі корпорації «Лазер та здоров'я» (м. Харків). Окремі теоретичні результати роботи впроваджені у навчальний процес на кафедрі лазерної та оптоелектронної техніки ВНТУ у рамках спеціалізації «Лазерна та оптоелектронна техніка в біомедичних системах і апаратах» при викладанні таких дисциплін, як «Оптоелектронні медичні системи», «Оптоелектронні інтелектуальні системи та пристрої» та «Біомедичні системи око-процесорного типу».

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ОБРОБЛЕННІ БІОМЕДИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

1.1 Класифікація інформаційних технологій прийняття рішень

Будь-яка інформаційна система (ІС) виконує такі основні функції: сприймає інформаційні запити, що вводяться користувачем, та необхідні вхідні дані; обробляє введені та збережені в системі дані за допомогою деякого відомого алгоритму; формує необхідну вихідну інформацію [13, 127].

Системи на основі знань є інтелектуальними ІС через можливість генерації алгоритмів розв'язання задач (рис 1.1), для яких характерні такі ознаки:

- розвинуті комунікативні властивості;
- уміння розв'язувати складні задачі, що погано формалізуються;
- здатність до розвитку і самонавчання.

Комунікативні здібності ІС характеризують спосіб взаємодії (інтерфейсу) кінцевого користувача із системою, зокрема можливість формулювання довільного запиту в діалозі з ІС мовою, максимально наближеною до природної.

Складні задачі, що погано формалізуються, вимагають побудови оригінального алгоритму розв'язання в залежності від конкретної ситуації, для якої можуть бути характерні невизначеність і динамічність вхідних даних і знань.

Здатність до самонавчання – це можливість автоматичного витягу знань для розв'язання задач з накопиченого досвіду конкретних ситуацій.

У різних ІС перераховані ознаки інтелектуальності розвинуті неоднаковою мірою. Умовно кожній з ознак відповідає свій клас ІС (рис. 1.1).

Інтелектуальні бази даних відрізняються від звичайних баз даних можливістю вибірки за запитом користувача необхідної інформації, що може явно не зберігатися, а виводитися з наявної в базі даних.

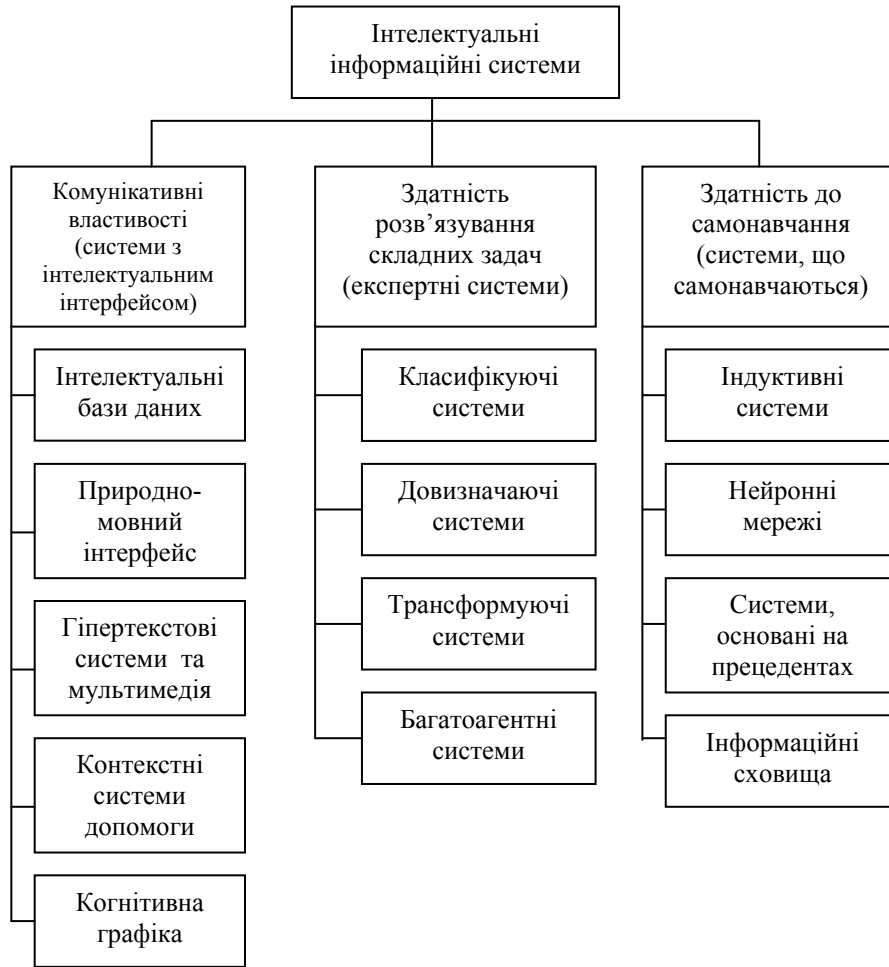


Рис. 1.1. Класифікація інтелектуальних інформаційних систем [127]

Інтелектуальна система баз допомоги користувача за структурою бази даних сама формує шлях доступу до файлів даних. Формування запиту здійснюється в діалозі з користувачем, послідовність кроків якого визначається в максимально зручній для користувача формі. Запит до бази даних може формулюватися і за допомогою природно-мовного інтерфейсу.

Природно-мовний інтерфейс допускає трансляцію природно-мовних конструкцій на внутрішньомашинний рівень подання знань. Для цього необхідно розв'язувати задачі морфологічного, синтаксичного, семантичного та прагматичного аналізу і синтезу висловлювань природною мовою.

Природномовний інтерфейс використовується для:

- доступу до інтелектуальних баз даних;

- контекстного пошуку текстової інформації;
- голосового введення команд у системах керування;
- машинного перекладу з іноземних мов.

Гіпертекстові системи призначені для реалізації пошуку за ключовими словами у базах текстової інформації та пошуку мультимедійної інформації, що містить крім текстової і цифрової інформації графічні, аудіо- та відеообрази.

Системи контекстної допомоги є окремим випадком інтелектуальних гіпертекстових і природно-мовних систем. На відміну від звичайних систем допомоги користувач описує проблему, а система за допомогою додаткового діалогу конкретизує її і сама виконує потік рекомендацій, що відповідають конкретній ситуації. Такі системи відносять до класу систем поширення знань.

Призначення **експертних систем** полягає у розв'язанні досить складних для експертів задач на основі бази накопичуваних знань і відображає досвід роботи експертів у конкретній проблемній області. Переваги застосування експертних систем – це наявність можливості прийняття рішень в унікальних ситуаціях, для яких алгоритм заздалегідь невідомий і формується за вхідними даними у вигляді ланцюжка міркувань (правил прийняття рішень) з бази знань. При цьому розв'язання задач можна здійснювати в умовах неповноти, невірогідності та неоднозначності вхідної інформації.

Експертна система є інструментом, що підсилює інтелектуальні особливості експерта і може виконувати ролі:

- консультанта для недосвідчених чи непрофесійних користувачів;
- асистента у зв'язку з необхідністю аналізу експертом різних варіантів прийняття рішень;
- партнера експерта з питань, що стосуються джерел знань із суміжних областей діяльності.

В основі **систем, що самонавчаються**, лежать методи автоматичної класифікації прикладів ситуацій реальної практики (навчання на прикладах). Приклади реальних ситуацій накопичуються за деякий історичний період і складають навчальну вибірку. Ці приклади опису-

ються множиною ознак класифікації, причому навчальна вибірка може бути:

- «з учителем», коли для кожного прикладу задається в явному вигляді значення ознаки його належності до деякого класу ситуацій;

- «без учителя», коли за ступенем близькості значень ознак класифікації система сама виділяє класи ситуацій.

У результаті навчання системи автоматично будуються узагальнені правила чи функції, що визначають належність ситуацій до класів, які використовує система в процесі інтерпретації нової ситуації. Таким чином автоматично формується база знань, яка використовується під час розв'язання задач класифікації і прогнозування. Ця база знань періодично автоматично корегується в міру накопичення досвіду реальних ситуацій, що дозволяє скоротити витрати на її створення і відновлення.

Загальні недоліки, властиві усім системам, що самонавчаються, є такими:

- можлива неповнота і (або) надмірність навчальної вибірки і, як наслідок, відносна адекватність бази знань до проблем, що виникають;

- з'являються проблеми, пов'язані з поганою змістовною виразністю залежностей ознак і, як наслідок, нездатність пояснення користувачам одержаних результатів;

- обмеження в розмірності простору ознак викликають неглибокий опис проблемної області і вузьку спрямованість застосування.

Індуктивні системи. Узагальнення прикладів за принципом від часткового до загального зводиться до виявлення підмножин прикладів, що відносяться до певних підкласів, і визначення для них суттєвих ознак. Процес класифікації прикладів здійснюється в такий спосіб:

- вибирається ознака класифікації з множини заданих;

- за значенням обраної ознаки множина прикладів розбивається на підмножини;

- виконується перевірка належності кожної утвореної підмножини прикладів до одного підкласу;

- якщо деяка підмножина прикладів належить до одного підкласу, тобто у всіх прикладів підмножини збігається значення класоутворюю-

вальної ознаки, то процес класифікації закінчується (при цьому інші ознаки класифікації не розглядаються);

➤ для підмножин прикладів, для яких значення класоутворювальної ознаки не збігаються, процес класифікації продовжується за допомогою дерева рішень, у кінцевих вузлах якого знаходяться значення ознаки належності до визначеного класу.

Штучні нейронні мережі. У результаті навчання на прикладах будуються розв'язувальні математичні функції (передатні функції або функції активації), що визначають залежності між вхідними (X_i) і вихідними (Y_j) ознаками (сигналами). Приклад моделі штучного нейрона показано на рис. 1.2.

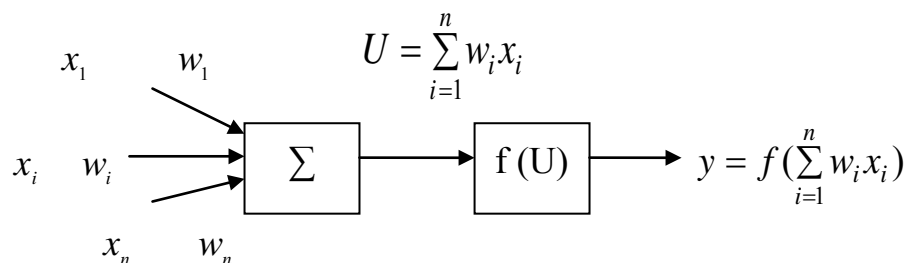


Рис. 1.2. Модель штучного нейрона

Таку модель названо за аналогією з елементарною одиницею людського мозку нейроном вона відображає залежність значення вихідної ознаки (Y) від зваженої суми (U) значень вхідних ознак (X_i), у якій вага вхідної ознаки (W_i) показує ступінь впливу вхідної ознаки на вихідну.

Розв'язувальні функції використовуються у задачах класифікації на основі порівняння їхніх значень при різних комбінаціях значень вхідних ознак з деяким граничним значенням. У випадку перевищення заданого порога вважається, що нейрон спрацював і в такий спосіб розпізнав деякий клас ситуацій. Нейрони використовуються також у задачах прогнозування, коли за значеннями вхідних ознак отримують прогнозоване значення вихідної ознаки. Нейрони можуть бути зв'язані між собою, коли вихід одного нейрона є входом іншого. Таким чином будується штучна нейронна мережа (рис. 1.3), у якій нейрони, що знаходяться на одному рівні, утворюють шари.

Навчання нейронної мережі полягає у визначенні зв'язків (синапсів) між нейронами і встановленні величини цих зв'язків (вагових коефіцієнтів). Алгоритми навчання нейронної мережі спрощено зводяться до визначення залежності вагового коефіцієнта зв'язку двох нейронів від кількості прикладів, що підтверджують цю залежність.

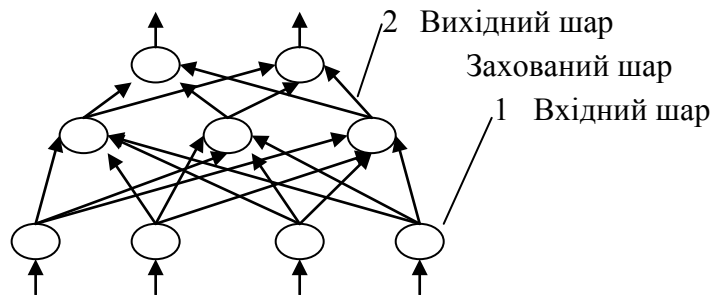


Рис. 1. 3. Структура нейронної мережі: 1 – нейрон;
2 – зважений зв'язок

Перевага нейронних мереж у порівнянні з індуктивними системами полягає в розв'язанні не тільки задач класифікації, але й задач прогнозування.

Якість експертної системи (ЕС) визначається розміром і якістю бази знань. Система функціонує в циклічному режимі: вибір (запит) вхідних даних, спостереження, інтерпретація результатів, засвоєння нової інформації, висування за допомогою правил тимчасових гіпотез і після цього вибір наступної сукупності даних (рис. 1.4). Такий процес продовжується доти, доки не надійде інформація, яка достатня для кінцевого висновку [125].

Основною особливістю ЕС є можливість накопичення знань і зберігання їх тривалий час.

Основною особливістю ЕС є можливість накопичення знань і зберігання їх тривалий час.

Експертні системи не заперечують і не замінюють традиційного підходу до програмування, вони відрізняються від традиційних програм тим, що орієнтовані на розв'язання неформалізованих задач і мають такі особливості [45]:

- можливість побудови невідомого заздалегідь алгоритму розв'язання, який генерується самою ЕС за допомогою символічних міркувань, що базуються на евристичних прийомах;
- зрозумілість отриманих рішень, тобто система «усвідомлює» у термінах користувача, як вона одержала рішення;
- спроможність аналізу і пояснення своїх дій і знань;
- спроможність набуття нових знань від користувача-експерта, що не знає програмування.

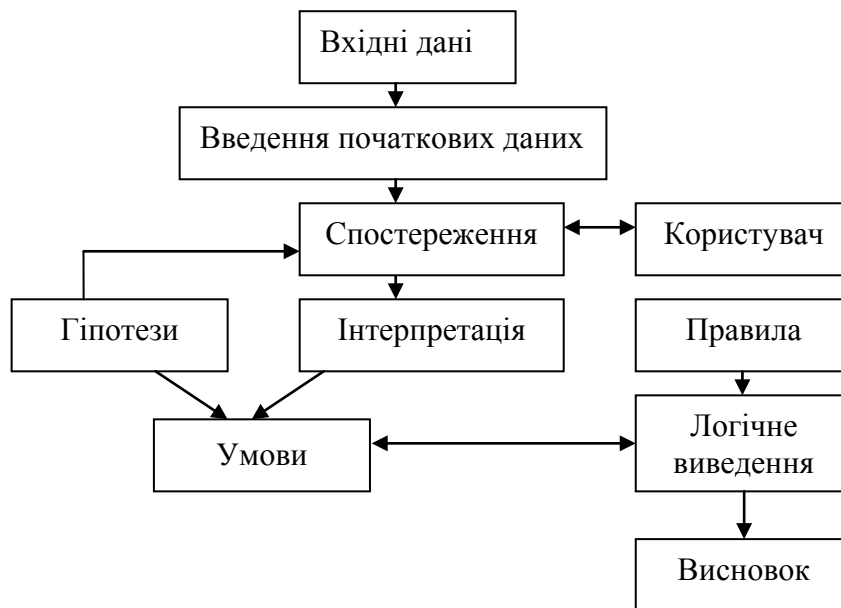


Рис. 1.4. Цикл функціонування системи на основі знань

Експертна система складається з бази знань, підсистеми логічного виведення, підсистеми пояснення, підсистеми набуття знань та діалогового процесора [45, 19, 81, 103]. ЕС можуть видавати рекомендації, проводити аналіз, виконувати класифікацію, надавати консультації і ставити діагноз. Вони орієнтовані на розв'язання задач, що звичайно вимагають проведення експертизи людиною-фахівцем. На відміну від машинних програм, що використовують процедурний аналіз, ЕС розв'язують задачі у вузькій предметній області на основі дедуктивних міркувань. Такі системи часто виявляються здатними знайти розв'язок неструктурованих і нечітко визначених задач.

Оскільки медичні знання мають емпіричний характер, слабо структуровані і погано формалізовані, саме медичні задачі доцільно розв'язувати за допомогою експертних систем, використовуючи оброблення інформації за ознаками. На сьогодні найбільша питома вага використання ЕС належить медицині. Основні типи медичних ЕС можна згрупувати в категорії: інтерпретація, діагностика, прогнозування, лікування, навчання, планування, керування. В нашому випадку це – діагностичні системи, які слугують для визначення причин захворювання за симптомами. Такі системи дозволяють визначати інформаційні ознаки біооб'єкта та здійснювати підтримку прийняття рішень для прогнозування патологій та підбору медичного лікування.

1.2. Принципи побудови та особливості роботи експертних систем

Під час розробки ЕС враховуються результати попередніх досліджень в області штучного інтелекту. Ці результати формулюють, як правило, у вигляді трьох принципів (два з них уперше висловлені Фейгенбаумом у 1979 р.) [103]:

➤ потужність експертної системи зумовлена, в першу чергу, потужністю бази знань і можливістю її поповнення, і лише в другу чергу – використовуваними методами (в дослідженнях штучного інтелекту панувала протилежна точка зору: джерелом інтелектуальності вважали невелику кількість загальних потужних процедур логічного виведення);

➤ знання, які дозволяють експерту (або експертній системі) отримувати якісні та ефективні розв'язки задач, є, в основному, евристичними, експериментальними та неповністю визначеними (необхідно також підкреслити, що знання експертів носять індивідуальний характер, тобто властиві певній людині);

➤ враховуючи неформалізованість розв'язуваних задач та евристичний характер використовуваних знань, користувач (експерт) повинен мати можливість безпосередньої взаємодії з експертною системою у формі діалогу.

Оскільки основним джерелом потужності ЕС є знання, ЕС повинні мати здатність набувати знання. Процес набуття знань можна розділити на такі основні етапи:

- отримання знань від експерта;
- організація знань з метою забезпечення ефективної роботи системи;
- подання знань у зрозумілому для системи вигляді.

Процес набуття знань здійснюється на основі аналізу діяльності експерта, який розв'язує реальні задачі з інженером знань, якого ще називають когнітологом. Евристичний характер знань робить їх набуття дуже трудомістким процесом. Трудомісткість і неформалізованість цього процесу приводить до того, що він є найбільш вузьким місцем у процесі створення експертних систем зокрема і систем штучного інтелекту взагалі [81].

Системи на основі знань, до яких відносять ЕС, мають свої особливості, які відрізняють їх від систем інших типів:

- ЕС може ефективно функціонувати лише в одній певній (як правило, досить вузькій) предметній (проблемній) області (ПО);
- база знань та механізм логічного виведення є різними компонентами ЕС, що дає можливість поєднувати механізм логічного виведення з іншими базами знань для створення нових експертних систем (наприклад, програма аналізу інфекції в крові може бути використана в пульмонології шляхом заміни використовуваної бази знань з тим самим механізмом виведення);
- ЕС можуть пояснити хід розв'язання задачі зрозумілим для користувача способом (користувачі повинні мати можливість запитати систему, яким чином був отриманий певний висновок);
- ЕС будуються за модульним принципом, що дозволяє поступово нарощувати їхні бази знань.

Основними відмінностями ЕС від інших програмних продуктів є використання не тільки даних, але і знань, а також спеціального механізму логічного виведення рішень і нових знань на основі наявних. У ЕС відомий алгоритм оброблення знань, а не алгоритм розв'язання задачі. Тому застосування алгоритму оброблення знань може привести до отримання такого результату в процесі розв'язання конкретної за-

дачі, який не був передбачений. Більше того, алгоритм обробки знань наперед невідомий і будується в процесі розв'язання задачі на підставі евристичних правил.

Експертна система відрізняється також від інших прикладних програм наявністю таких ознак:

➤ моделює не стільки фізичну (або іншу) природу певної проблемної області, скільки механізм мислення людини стосовно розв'язання задач у цій проблемній області, що істотно відрізняє експертні системи від систем математичного моделювання;

➤ основними є евристичні і наближені методи розв'язання задач, які, на відміну від алгоритмічних, не завжди гарантують успіх.

Евристика, по суті, є деяким знанням, набутим людиною у міру накопичення практичного досвіду вирішення аналогічних проблем. Такі методи є приблизними в тому сенсі, що, по-перше, вони не вимагають вичерпної початкової інформації, і, по-друге, існує певний ступінь упевненості (або невпевненості) в тому, що пропонуване рішення є вірним.

Експертні системи відрізняються також і від інших видів програм з області штучного інтелекту тим, що мають справу з предметами реального світу, операції з якими звичайно вимагають наявності значного досвіду, накопиченого людиною. Багато програм з області штучного інтелекту є суто дослідницькими і основна увага в них приділяється абстрактним математичним проблемам або спрощеним варіантам реальних проблем, а метою виконання такої програми є відпрацювання методики. Експертні системи мають яскраво виражену практичну спрямованість у науковій або комерційній області.

Однією з основних характеристик експертної системи є її продуктивність, тобто швидкість отримання результату та його достовірність (надійність). Дослідницькі програми штучного інтелекту можуть і не бути дуже швидкими, оскільки, врешті-решт, це – інструмент дослідження, а не програмний продукт. Водночас експертна система повинна за прийнятний час знайти рішення, яке було б не гіршим, ніж те, яке може запропонувати фахівець у цій предметній області.

У цілому можна сказати, що ЕС характеризуються відкритістю, гнучкістю та недетермінованістю.

Відкритість ЕС означає, що користувач може перевірити шляхи розв’язання, які вибираються ЕС, на будь-якому етапі виконання програми. Наявність такої властивості ЕС важлива з низки причин. По-перше, користувач не може довіряти рекомендаціям ЕС, якщо у нього не буде можливості перевірити обґрунтованість отриманих рішень. Користувач повинен отримати всю інформацію, необхідну йому для того, щоб бути впевненим у правильності прийнятого рішення. По-друге, відкритість дозволяє оцінювати коректність знань, що використовуються на кожному етапі розв’язання. Ця обставина важлива під час налагодження бази знань.

База знань повинна описувати деяку конкретну предметну область. Під ПО розуміється зовнішній світ, в якому повинна виробляти рішення система штучного інтелекту (СШІ). Наприклад, зовнішній світ СШІ, яка керує механічним роботом, являє собою сукупність деталей, які обробляє цей робот. Часто поряд із терміном «*предметна область*» використовується термін «*проблемна область*», що підкреслює проблемний аспект зовнішнього світу, наприклад, електроніка, економіка, медицина тощо. Схему процесу формування знань про ПО наведено на рис. 1.5.

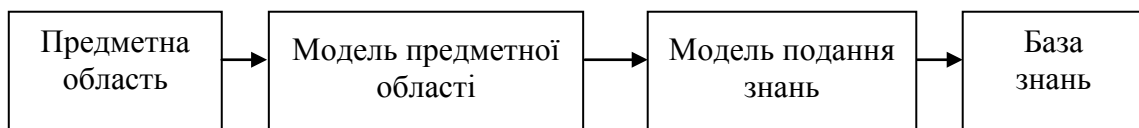


Рис. 1.5. Схема процесу формування знань про ПО

Під час створення моделей ПО та моделей подання знань (МПЗ) часто використовується поняття *простору станів*. У фізиці простір станів має фазову природу, в СШІ – дискретну (топологічну), тобто модель простору станів можна уявити у вигляді графа (гіперграфа), вершини якого відповідають станам, а ребра (дуги) – операторам переходу з одного стану в інший.

Гнучкість ЕС означає простоту модифікації бази знань. ЕС повинна мати засоби, що забезпечують доповнення, зміни та вилучення елементів бази знань.

ЛІТЕРАТУРА

1. Айзенберг Н. Н. Многозначная пороговая логика / Айзенберг Н. Н., Иваськин Ю. Л. – К. : Наукова думка, 1977. – 153 с.
2. Акаев А. А. Оптические методы обработки информации / Акаев А. А., Майоров С. А. – М. : Высш. шк., 1988. – 214 с.
3. Алгоритмическое моделирование универсальности метода распознавания изображений на основе выделения / [Кожем'яко В. П., Понура Е. И., Рами Ребхи Хамди, Кожем'яко К. В.] // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1998. – № 1. – С. 56–59.
4. Аналіз лазерних методів діагностики біотканин / [Кожем'яко В. П., Павлов С. В., Колесник П. Ф., Тимофіїв І. В.] // «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах». – Хмельницький, 1997. – № 1. – С. 32–37.
5. Аналіз методів виділення контурів при обробленні біомедичних зображень / [Кожем'яко В. П., Павлов С. В., Бурденюк І. І., Поплавський А. Б.] // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2006. – №2 (12). – С. 185–191.
6. Аналіз розвитку ПЗЗ-структур у наукових дослідженнях / [Павлов С. В., Станчук К. І., Хані Аль-Зубі, Забродська С. А.] // Вимірювальна обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2001. – № 4. – С. 13–18.
7. Анализ параллельных структур памяти и вычислительных систем с использованием параллельного доступа к памяти / [Кожем'яко В. П., Тимченко Л. И., Павлов С. В., Чеплак Г. В.]. – К., 1993. – 18 с. – Деп. в Укр ГНТБ 13.05.93, № 899.
8. Ахутин В. М. Бионические аспекты синтеза биотехнических систем / Ахутин В. М. // Кибернетика. – 1976. – № 4 (92). – С. 3–28.
9. Ахутин В. М. Биотехнические системы: теория и проектирование / В. М. Ахутин, А. Г. Немирко, Н. Н. Першин. – Л. : ЛГУ, 1981. – 220 с.
10. Ахутин В. М. Измерительно-вычислительный комплекс контроля состояния оператора / Ахутин В. М., Ермилов Н. Н. // Медицинская техника. – 1989. – № 3. – С. 8–12.

11. Бабак В. П. Обробка сигналів / В. П. Бабак, В. С. Хандецький, Е. Шрюфер. – К. : «Либідь», 1996. – 389 с.
12. Байбородин Ю. В. Основы лазерной техники / Байбородин Ю. В. – К. : Вища школа, 1981. – 408 с.
13. Бакаев Л. А. Экспертные системы и логическое программирование / Бакаев Л. А., Гриценко А. А. – К. : Наук. Думка, 1992. – 220 с.
14. Бардаченко В. Ф. Таймерні нейронні елементи та структури / Бардаченко В. Ф., Колесницький О. К., Василецький С. А. – Вінниця : «УНІВЕРСУМ-Вінниця», 2004. – 126 с.
15. Берльена Х. П. Прикладная лазерная медицина: учебное и справочное пособие / Х. П. Берльена, Г. Й. Мюллера. – М. : Интерексперт, 1997. – 331 с.
16. Биологическая кибернетика: учебное пособие для вузов / Под ред. А. Б. Когана – М. : Высш. школа, 1977. – 240 с.
17. Біомедичні оптико-електронні інформаційні системи і апарати Ч. 3. – Лазерні біомедичні системи: навч. посібник / [Кожем'яко В. П., Готра З. Ю., Павлов С. В., Микитюк З. М.]. – Вінниця : ВДТУ, 2000. – 143 с.
18. Блейхут Р. Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов / Р. Блейхут – М. : «Мир», 1989. – 284 с.
19. Бондарев В. Н. Искусственный интеллект : учебное пос. для студ. вузов. / Бондарев В. Н., Аде Ф. Г. – Севастополь : Изд-во СевНТУ, 2002. – 615 с.
20. Бохвалов Н. С. Численные методы / Н. С. Бохвалов, Н. П. Житков, Г. М. Кобельков. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 636 с.
21. Бурденюк І. І. Комп'ютерний спектрональний аналіз фотозображень очного дна / Павлов С. В., Бурденюк І. І., Черешнюк І. // Сучасні проблеми мікроелектроніки, радіотехніки, телекомунікацій та приладобудування (СПМРТП-2006): Матеріали II міжнародної науково-технічної конференції, 16–19 листопада 2006 р. : – Вінниця : «УНІВЕРСУМ-Вінниця», 2006. – С. 147.
22. Бурденюк І. І. Методика застосування інтегрального кількісного критерію для оцінки мікроциркуляції бульбарної кон'юктиви /

- Павлов С. В., Станчук К. І., Бурденюк І. І. // Современные информационные и электронные технологии (СИЭТ 2006): Труды VII Международной научно-практической конф., 22–26 мая 2006 г. : Т. 1. – Одесса, 2006. – С. 57.
23. Бурденюк І. І. Створення бази даних для медичних інформаційних систем / Васюра А. С., Бурденюк І. І., Білоконний В. Д. // Применение лазеров в медицине и биологии. Луцк-2006 : Материалы XXV международной научно-практической конференции, 24–28 мая 2006 г. – Луцк, 2006. – С. 98–99.
 24. Веревка О. В. Математические основы построения нечетких байесовских механизмов вывода / Веревка О. В., Парасюк И. Н. // Кибернетика и систем. анализ. – 2002. – № 1. – С. 105–117.
 25. Веревка О. В. Обобщение интервальных байесовских механизмов вывода и перспективы их использования / Веревка О. В., Заложенкова И. А., Парасюк И. Н. // Кибернетика и систем. анализ. – 1998. – № 6. – С. 3–13.
 26. Володарський Є. Т. Статистична обробка даних / Володарський Є. Т., Кошева Л. О. – К. : Книжкове видавництво НАУ, 2008. – 308 с.
 27. Вуйцік В. Експертні системи : навчальний посібник / Вуйцік В., Готра О., Григор'єв В. – Львів : Ліга-Прес, 2006. – 290 с.
 28. Гаврилова Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем / Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф. – СПб. : Питер, 2000. – 384 с.
 29. Галушкин А. И. Синтез многослойных систем распознавания образов / Галушкин А. И. – М. : Энергия, 1974. – 180 с.
 30. Галушкин А. И. Теория нейронных сетей / А. И. Галушкина. – М. : ИПРРЖР, Кн. 1. – 2000. – 325 с.
 31. Гитис Э. И. Аналогово-цифровые преобразователи / Гитис Э. И., Пискунов Е. А. – М. : Энергоиздат, 1981. – 447 с.
 32. Даджион Д. Цифровая обработка многомерных сигналов / Даджион Д., Мерсеро Р. ; пер. с англ. – М. : Мир, 1988. – 488 с.
 33. Дорожовець М. Основи метрології та вимірювальної техніки / М. Дорожовець, В. Мотало, Б. Стадник, В. Василюк – Львів : Вида-

- вництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 532 с.
34. Дубовий В. М. Контроль та керування в мережах теплопостачання / В. М. Дубовий, В. В. Кабачій, Ю. М. Паночишин // Монографія – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 189 с.
 35. Дэнки Гаккай Дзаси. Оптические нейрокомпьютеры / Дэнки Гаккай Дзаси. – J. 1EE Japan : (J.Inc.Elec.Eng. Japan), 1989. – v. 109, № 6.
 36. Експертна оптико-електронна нейронечітка системи аналізу біомедичних зображень / [Кожем'яко В. П., Бурденюк І. І., Коробов В. А., Ганиш Н. В.] // Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування: Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції, 8–10 жовтня 2009 р. Частина 2. : – Вінниця, 2009. – С. 45.
 37. Енслоу Ф. Г. Мультипроцесорні системи та паралельні обчислення / Енслоу Ф. Г.; пер. з англ. – М. : Мир, 1976. – 383 с.
 38. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к понятию приближенных решений / Заде Л. – М. : Мир, 1976. – 165 с.
 39. Залманзон Л. А. Преобразование Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях / Залманзон Л. А. – М. : Наука. Гл. ред. физ. мат. лит., 1989. – 496 с.
 40. Заложенкова И. А. Интегрированная система проверки гипотез: программно-алгоритмические средства / Заложенкова И. А., Парасюк И. Н. // Кибернетика и систем. анализ. – 1997. – № 5. – С. 1–9.
 41. Застосування КVP-перетворень в засобах представлення інформації / [Кожем'яко В. П., Павлов С. В., Понура О. І., Кожем'яко К. В.] // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2000. – № 1. – С. 101–106.
 42. Застосування оптико-електронних інформаційних систем для аналізу мікроциркуляції кон'юнктиви ока / [Салдан Й. Р., Павлов С. В., Колісник П. Ф., Станчук К. І, Семенець О. М., Аммар Алі Дауд.] // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2001. – № 2. – С. 124–128.

43. Злепко С. М. О некоторых критериях оценки работы медицинских информационных систем / Злепко С. М., Кадошук Т. А., Кадошук В. Т. // Материалы всесоюзного симпозиума «Применение радиотехники, электроники и связи в хирургии». – Рязань, 1979. – С. 17.
44. Исахара С. Оптические компьютеры / Исахара С. – М. : Наука. сер. Компьютеры в физике, 1992. – 250 с.
45. Искусственный интеллект. Системы общения и экспертные системы : Справочник : в 3 кн. /под ред. Э. В. Попова и др. – М. : Радио и связь, Кн. 1. – 1990. – 464 с.
46. Ищенко Е. Ф. Оптические квантовые генераторы / Ищенко Е. Ф., Климов Ю. М. – М. : Сов. радио, 1970. – 470 с.
47. Калан Р. Основные концепции нейронных сетей / Р. Калан. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2003. – 288 с.
48. Кветний Р. Н. Автоматизована система для прийняття експертних рішень з використанням GARCH-моделей / Р. Н. Кветний, В. Ю. Коцюбинський, Л. М. Кислиця // Систем. технології. – 2008. – № 3, т. 2. – С. 150–156.
49. Классификационный анализ архитектур и алгоритмов параллельных вычислительных систем / [Кожем'яко В. П., Тимченко Л. И., Павлов С. В. и др.]. – К., 1993. – 20 с. Деп. в УКРНИИНТИ 13.05.93, № 900.
50. Кожарский Л. А. Экспертные системы – интеллектуальное ядро ЭВМ пятого поколения / Кожарский Л. А. – М. : Знание, 1984. – 84 с.
51. Кожем'яко В. П. Аналіз кореляційних методів обробки зображень / Кожем'яко В. П., Станчук К. І. // Вимірювальна обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2000. – № 3. – С. 150–154.
52. Кожем'яко В. П. Вступ в алгоритмічну теорію ієрархії і паралелізму нейроподібних обчислювальних середовищ та її застосування до перетворення зображень. Ч. 2. Основи теорії пірамідально-сіткового перетворення зображень : навч. посібник / [Кожем'яко В. П., Тимченко Л. І., Кутаєв Ю. Ф., Івасюк І. Д.]. – К. : ІСДО, 1994. – 272 с.

53. Кожем'яко В. П. Застосування методу Q-перетворення для аналізу біомедичної інформації / Кожем'яко В. П., Павлов С. В., Семенець О. М. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2003. – № 6. – С. 288–290.
54. Кожем'яко В. П. Метод якісного розпізнавання образів на базі функціонально-інтегральних синтезаторів визначників та ознак як функцій логіко-часового типу / Кожем'яко В. П., Понура О. І., Кожем'яко О. В. // Вісник Вінницький педагогічний інститут. – 1998. – № 2. – С. 68–72.
55. Кожем'яко В. П. Оптоэлектронные логико-временные информационные вычислительные среды / В. П. Кожем'яко – Тбилиси : Мциениркеба, 1984. – 357 с.
56. Кожем'яко В. П. Оптико-електронні методи і засоби для обробки та аналізу біомедичних зображень: монографія / Кожем'яко В. П., Павлов С. В., Станчук К. І. – Вінниця : «УНІВЕРСУМ-Вінниця», 2006. – 203 с.
57. Кожем'яко В. П. Оптоэлектронный параллелизм в образной обработке информации с выделением признаков / Кожем'яко В. П., Сторожук Ю. Ф. // Оптоэлектронные методы и средства параллельной обработки изображений: Тезисы II Всесоюзной научн.-техн. конф. по функциональной оптоэлектронике. : – Винница – Тбилиси, 1987. – 519 с.
58. Кожем'яко В. П. Применение оптоэлектронных логико-временных сред в информационно-вычислительной технике / В. П. Кожем'яко – К. : Общество «Знание», 1988. – 20 с.
59. Кожем'яко В. П. Принципы организации логико-временных процессоров / Кожем'яко В. П. – УСиМ, 1988, – № 6. – С. 3–6.
60. Кожем'яко В. П. Проблема створення «зрячого» штучного інтелекту / Кожем'яко В. П. // Методологічні проблеми інженерної діяльності. – Вінниця : ВДТУ, 1994. – С. 71–74.
61. Кожем'яко В. П. Схемотехніка сучасного приладобудування: навчальний посібник / Кожем'яко В. П., Павлов С. В., Савалюк І. М. – Вінниця : ВДТУ, 2000. – 144 с.
62. Кожем'яко В. П. Цифровая обработка теплограмм медико-биологического объекта : методические рекомендации / Ко-

- жем'яко В. П., Тимченко Л. И., Кутаев Ю. Ф. – Винница, 1989. – 185 с.
63. Комарцова Л. Г. Нейрокмпыютеры / Комарцова Л. Г., Максимов А. В. – М. : МГТУ, 2002. – 320 с.
 64. Компактний опис моделей зображень для класифікації образів / [Тимченко Л. І., Кутаєв Ю. Ф., Чепорнюк С. В., Герцій О. А.] // Вісник ВПІ. – 1998. – № 2. – С. 72–83.
 65. Конюхов Н. Е. Оптоэлектронные контрольно-измерительные устройства / Конюхов Н. Е., Плют А. А., Марков П. И. – М. : Энергоиздат, 1985. – 152 с.
 66. Кузьмин И. В. Основы теории информации и кодирования / Кузьмин И. В., Кедрус В. А. – К. : Вища школа, 1986. – 238 с.
 67. Куприянов М. С. Цифровая обработка сигналов: процессоры, алгоритмы, средства проектирования / Куприянов М. С., В. Б. Матюшин. – СПб. : Политехника, 1998. – 592 с.
 68. Лазерні методи діагностики стану серцево-судинної системи / [Кожем'яко В. П., Павлов С. В., Тимофіїва Н. П., Тимофіїв І. В.] // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1998. – № 3. – С. 35–41.
 69. Манькин Э. А. Нейронные сети и их оптические реализации / Манькин Э. А., Сурано. И. И. – М. : ЦНИИатоминформ, 1988. – 304 с.
 70. Математична модель алгоритму паралельної обробки інформації / [Тимченко Л. І., Мартинюк Т. Б., Загоруйко Л. В., Герцій О. А., Кожем'яко А. В.] // Збірник наукових праць, випуск № 1, за результатами НТК. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький, 1998. – С. 55 – 60.
 71. Мельников В. Г. Медицинская кибернетика / В. Г. Мельников. – К. : Вища школа, 1978. – 240 с.
 72. Методологія реалізації оптико-електронних засобів око-процесорного типу для оброблення зображень / [Кожем'яко В. П., Павлов С. В., Бурденюк І. І., Поплавский А. В.] // Применение лазеров в медицине и биологии. Луцк-2006 : Материалы XXV международной научно-практической конференции, 24-28 мая 2006 г. : – Луцк, 2006. – С. 111–113.

73. Метрологічний аналіз інформаційно-вимірювального каналу оптико-електронної системи для дослідження мікроциркуляції / [Павлов С. В., Мохамед Ельхатіб, Матохнюк М. В., Семенець О. М.] // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2001. – № 3. – С. 36–39.
74. Мешков В. В. Основы светотехники / Мешков В. В., Матвеев А. Б. – 2-е изд., доп. – М. : Энергоатомиздат, 1989 – 432 с.
75. Микаэлян А. Л. Оптические методы в информатике: запись, обработка и передача информации / Микаэлян А. Л. – М. : Наука. Современные физические проблемы, 1990. – 250 с.
76. Мікроелектронні сенсори фізичних величин / [В. Вуйцик, З. Готра, О. Готра, В. Григор'єв]. – Львів : Ліга-Прес, 2003. – 595 с.
77. Минцер О. П. Биологическая и медицинская кибернетика: справочник / Минцер О. П., Молотков В. Н. – К. : Наукова думка, 1986. – 374 с.
78. Мокін Б. І. Властивості слабких операцій в теорії нечітких множин / Б. І. Мокін, В. В. Камінський, С. Ш. Каців // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2001. – № 5. – С. 106–113.
79. Мур У. Р. Обзор методов обеспечения отказоустойчивости, повышающих выход годных интегральных схем / Мур У. Р. – ТИИЭР, 1986. – т. 74. – № 5.
80. Натрошвили О. Г. Организация оптоэлектронных некогерентных процессоров ЦВМ / Натрошвили О. Г., Кожем'яко В. П., Саникидзе Д. О. – Тбилиси : Ганатлеба, 1988. – 512 с.
81. Нейлор К. Как построить свою экспертную систему / Нейлор К. ; пер. с англ. – М. : Энергоавтомиздат, 1991. – 286 с.
82. Нейрокомпьютеры и их применение / Тематический выпуск «Зарубежная радиоэлектроника». – 1997. – № 2. – 80 с.
83. Немирко А. П. Цифровая обработка биологических сигналов / Немирко А. П. – М. : Наука, 1984. – 145 с.
84. Нечеткие множества и теория возможностей / под ред. Г. Ягера. – М. : Радио и связь, 1986. – 408 с.

85. Оптоэлектронная схемотехника: учеб. пособие / [В. П. Кожем'яко, О. Г. Натрошвили, Т. Б. Мартынюк, Л. И. Имнашвили]. – К. : УМК ВО, 1986. – 276 с.
86. Оптоэлектронний контроль реологічних властивостей крові при фотонній терапії / [Поплавський О. А., Ганиш Н. В., Оксєнюк Л. П., Бурденюк І. І.] // Применение лазеров в медицине и биологии (II Шахбазовские чтения): Материалы XXVIII Международной научно-практической конф., 21–24 октября 2007 г.: – Ялта, 2007. – С. 141–143.
87. Оптико-електронний метод визначення координат центру спроектваного об'єкта / [Кожем'яко В. П., Павлов С. В., Чепорнюк С. В. та ін.] // Збірник праць IV-ї Всеукраїнської міжнародної конференції «Оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів». – К., 1998. – С. 177–180.
88. Оптико-електронний метод для дослідження трофічного комплексу тканини / [С. В. Павлов, П. Ф. Колісник, М. В. Матохнюк, І. Я. Островський] // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2001. – № 1. – С. 55–60.
89. Оптико-електронні біотелеметричні системи для підтримки прийняття рішень / [Кожем'яко В. П., Павлов С. В., Колесник П. Ф., Бурденюк І. І.] // Інтернет-освіта-наука-2006 : Тези доповідей V Міжнародної конференції, жовтень 2006. : – Вінниця, 2006. – С. 53.
90. Оптико-електронні інформаційні технології контролю реологічних властивостей крові / [Кожем'яко В. П., Павлов С. В., Бурденюк І. І., Ганиш Н. В.] // Інформаційні технології комп'ютерної інженерії. – 2007. – № 1. – С. 75–80.
91. Оптико-електронні методи контролю біомедичних зображень / [Кожем'яко В. П., Ганиш Н. В., Бурденюк І. І., Білоконний В. Д.] // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2007. – № 2(14). – С. 198–208.
92. Оптико-електронні методи контролю неоваскуляризації рогової оболонки / [Салдан Й. Р., Павлов С. В., Семенець О. М., Хані Аль-Зубі] // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький. – 2002. – № 3. – С. 201–204.

93. Оптическая обработка информации, применения / под ред. Д. Касасента; пер. с англ. – М. : Мир, 1980. – 330 с.
94. Оптичні методи визначення ступеня насичення крові киснем / [Кожем'яко В. П., Павлов С. В., Злепко С. М. та ін.] // Труды международной научно-технической конференции «Приборостроение – 98». – Евпатория, 1998. – С. 322–327.
95. Ортега Д. М. Введение в параллельные и векторные методы решения линейных систем / Ортега Д. М. ; пер. с англ. – М. : Мир, 1991. – 367 с.
96. Особливості побудови оптико-електронних засобів окопроцесорного типу для оброблення зображень / [Кожем'яко В. П., Поплавський А. Б., Павлов С. В., Бурденюк І. І.] // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2006. – № 1(11). – С. 47–54.
97. Охрименко В. CMOS-датчики изображения / Охрименко В. // Электронные компоненты и системы. – 2004. – № 10. – С. 3–8.
98. Павлов С. В. Експертна система прийняття рішень при аналізі стану мікроциркуляції кон'юнктиви ока / Павлов С. В., Колісник П. Ф., Семенець О. М. // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2004. – № 2(8). – С. 113–117.
99. Павлов С. В. Исследование методов и разработка универсальных информационно-измерительных систем с оптическим преобразованием биомедицинской информации: дис. ... канд. техн. наук: 05.11.1 / Павлов Сергей Владимирович. – Вінниця, 1995. – 210 с.
100. Параллельные методы и средства распознавания образов. Том 2 / под ред. А. Н. Свенсона. – К.: Наук. думка, 1985. – С. 280.
101. Парасюк И. Н. Принципы разработки современных программных систем анализа данных / Парасюк И. Н. // Кибернетика и систем. анализ. – 1993. – № 3. – С. 155–162.
102. Підвищення вірогідності контролю реологічних властивостей крові при застосуванні оптико-електронних кореляційно-екстремальних засобів. / [Кожем'яко В. П., Ганиш Н. В., Бурденюк І. І., Поплавський О. А.] // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2007. – № 1(13). – С. 139–145.

103. Попов Э. В. Экспертные системы: Решение неформализованных задач в диалоге с ЭВМ / Попов Э. В. – М. : Наука, 1987. – 288 с.
104. Поспелов Д. А. Искусственный интеллект –основа новой информационной технологии / Поспелов Д. А. – М. : Наука, 1988. – 269 с.
105. Продеус А. Н. Экспертные системы в медицине / Продеус А. Н., Захрабова Е. Н. – К. : ВЕК, 1998. – 320 с.
106. Прэтт У. Цифровая обработка изображений / Прэтт У. – М. : Мир, т. 1, 2. 1982.
107. Реалізація експертної нейронечіткої оптико-електронної системи аналізу біомедичних зображень / [Павлов С. В., Коробов В. А., Васюра А. С. та ін.] // Применение лазеров в медицине и биологии (IV Шахбазовские чтения): Материалы XXXII Международной научно-практической конф., 7–10 октября 2009 г. : – Гурзуф, 2009. – С. 196–198.
108. Реалізація інформаційних оптико-електронних технологій при флуоресцентній ангиографії / [Павлов С. В., Станчук К. І., Бурденюк І. І., Гладська О.] // Сучасні наукові дослідження – 2006 : Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції, Т. 46., 20–21 лютого 2006 р. : – Дніпропетровськ, 2006. – С. 19–21.
109. Реєстрація, обробка та контроль біомедичних електрографічних сигналів : навч. посібник / [В. Вуйцік, З. Ю. Готра, О. З. Готра, та ін.] – Львів : Ліга-Прес, 2009. – 308 с.
110. Розенберг В. Я. Введення в теорію точності вимірювальних систем / Розенберг В. Я. – М. : Сов. радіо, 1975. – 302 с.
111. Розенблатт Ф. Принципы нейродинамики. Перцептроны и теория механизмов мозга / Ф. Розенблатт ; пер. с англ. В. Я. Алтаева, Б. А. Власюка, Ю. А. Крутикова, Ю. А. Патругина // под. ред. д-ра физ.-мат. наук С. М. Осовцева. – М. : Мир, 1965. – 480 с.
112. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети / Ротштейн А. П. – Винница. : «УНИВЕРСУМ–Винница», 1999. – 320 с.

113. Ротштейн А. П. Медицинская диагностика на нечеткой логике / Ротштейн А. П. – Винница. : Континент, 1996. – 132 с.
114. Русин Б. П. Системы синтезу, обробки та розпізнавання складноструктурованих зображень / Русин Б. П. – Львів : Вертикаль, 1997. – 264 с.
115. Свечников С. В. Квазиимпульсно–потенциальные оптоэлектронные элементы и устройства логико-временного типа / Свечников С. В., Кожем'яко В. П., Тимченко Л. И. – К. : Наукова думка, 1987. – 214 с.
116. Свечников С. В. Квазиимпульсные оптоэлектронные элементы и устройства логико-временного типа / Свечников С. В., Кожем'яко В. П., Тимченко Л. И. – К. : Наукова думка, 1987. – 253 с.
117. Свечников С. В. Нейротехнические системы обработки информации / Свечников С. В., Шквар Л. М. – К. : Наукова думка, 1983. – 240 с.
118. Сергієнко І. В. Інформатика в Україні: становлення, розвиток, проблеми / Сергієнко І. В. – К. : Наук. думка, 1999. – 352 с.
119. Сергієнко І. Нечіткі інформаційно-діагностичні технології: проблеми становлення / Сергієнко І., Парасюк І. // Вісник НАН України. – 2002. – № 7. – С. 28–37.
120. Соколов Е. Н. Нейробионика, организация нейроподобных элементов и систем / Соколов Е. Н., Шмелев Л. А. – М. : Наука, 1983. – 279 с.
121. Станчук К. І. Перспективність використання оптико-електронної елементної бази при побудові систем аналізу біомедичних зображень / Станчук К. І. // Вимірювальна обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2001. – № 8. – С. 128–133.
122. Створення оптико-електронних інформаційних технологій «око-процесорного типу» для контролю та аналізу біомедичних зображень / [Павлов С. В., Коробов В. А., Ганиш Н.В., Бурденюк І. І.] // Применение лазеров в медицине и биологии (II Шахбазовские чтения): Материалы XXVIII Международной научно-практической конф., 21–24 октября 2007 г.: – Ялта, 2007. – С. 150–152.

123. Степанов М. В. Оптические нейрокомпьютеры / Степанов М. В. – М. : Нейрокомпьютер, 1992. – № 1. – 91 с.
124. Структура організації дубль-паралельних оптико-електронних багатоканальних систем для біомедичних досліджень / [Кожем'яко В. П., Павлов С. В., Мохаммед Ель – Хатіб, Станчук К. І.] // Збірник наукових праць Міжнародної науково-технічної конференції «Приладобудування-99». – Ялта, 1999 . – С. 308–311.
125. Таунсенд К. Проектирование и программная реализация экспертных систем на персональных ЭВМ / К. Таунсенд, Д. Фохт ; пер. с англ. – СПб. : Финансы и статистика, 1990. – 320 с.
126. Томпкинса У. Микрокомпьютерные медицинские системы. Проектирование и применение / Томпкинса У., Уэбстера Дж. – М. : Мир, 1983. – 250 с.
127. Туктарова Л. Р. Интеллектуальные информационные системы [Електронний ресурс]. Режим доступу до джер.: [http:// www.ugkr.ru/Lektiis.html](http://www.ugkr.ru/Lektiis.html)
128. Уоссерман Ф. Нейрокомпьютерная техника, теория и практика / Уоссерман Ф. – М. : Мир, 1992. – 290 с.
129. Физика и биофизика : учебник / [В. Ф. Антонов, А. М. Черныш, Е. К. Козлова, А. В. Коржуев]. – М. : ГЭОТАР – Медиа, 2008. – 480 с.
130. Функциональная оптоэлектроника : учебное пособие / [Кожем'яко В. П., Тимченко Л. И., Кутаев Ю. Ф., Лысенко Г. Л.]. – К. : Вища школа, 1990. – 185 с.
131. Фурно Г. Микрокомпьютерные медицинские системы: проектирование и применения / Фурно Г. ; пер. с англ. – М. : Мир, 1983. – 546 с.
132. Хейеса-Рота Ф. Построение экспертных систем / Ф. Хейеса-Рота, Д. Уотермана, Д. Лената; пер. с англ. – М. : Мир, 1987. – 441 с.
133. Хуан К. Перспективные методы параллельной обработки и архитектура супер-ЭВМ / Хуан К. – ТИИЭР, 1987. – т. 75. – № 10.
134. Хуанг Т. С. Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений / Хуанг Т. С., Эклунд Дж. О., Нуссбаумер Г. Дж. – М. : Мир, 1984. – 224 с.

135. Широков Ф. В. На пути к нейрокомпьютерам / Широков Ф. В. – М. : Итоги науки и техники. Сер. Физические и математические модели нейронных сетей. ВИНТИ. – 1990. – № 1.
136. Шлезингер М. Десять лекций по статистическому и структурному распознаванию / М. Шлезингер, В. Главач. – К. : Наукова думка, 2004. – 548 с.
137. Эддоус М. Методы принятия решения / Эддоус М., Стенсфилд Р.; пер. с англ. – М. : Аудит, ЮНИТИ, 1997. – 590 с.
138. Эпштейн М. И. Измерения оптического излучения в электронике / Эпштейн М. И. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 254 с.
139. M. Kostruba Device for measurement of micro-object linear dimension / A. M. Kostruba, O. G. Vlokh // International Conference on «Optical Storage, Imaging and Transmission of Information», 14–16 May 1996. – Kiev Ukraine: SPIE the International Society for Optical Engineering, 1997. – 73–77 p.
140. Hsu K., Brady D., and Psaltis D. Experimental Demonstrations of Optical Neural Computers, Neural Inf. Process. Syst.: 1st IEEE Conf., Denver, Colorado, November 8–12, 1987. – New York, 1988. – PP. 377–386.
141. Rotshtein A. Design and Tuning of Fussy IF – THEN Vuly for Medical Didicol Diagnosis. In Fussy and Neuro-Fussy Systems in Medicine (Eds: N. Teodovescu, A. Kandel, I. Lain.). – USA. CRC-Press, 1998, pp. 235–295.
142. Optoelectronic Complex For Monitoring After Human Body State/ [V. Kozhemjako, S. Pavlov, P. Kolesnik, I. Savaluk] // Proceedings of the 2-nd International Symposium on «Microelectronics Technologies and Microsystems», Lviv, 1998.
143. Optic-electronic technologies for coherent tomographic images processing / [V. Kohzemiako, S. Pavlov, V. Nikolaychuk and ether] // IV International Conference on Optoelectronic Information Technologies «PHOTONICS-ODS 2008». – Vinniza, 2007. – С. 141.
144. Stepanov M.V. A New Neural Network Algorithm for Solution of Multitarget Tracking Problem with One- Communicating Optical Neurocomputer. – UCNN'93-Nagoya, Japan, Int. Joint Conf. on Neural Networks, Oct. 25–29, 1993.

Наукове видання

Володимир Прокопович Кожем'яко
Сергій Володимирович Павлов
Ірина Іванівна Бурденюк
Рамі Ребхі Хамді

**ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ ТЕХНОЛОГІЇ АНАЛІЗУ
БІОМЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ**

Монографія

Редактор Н. Мазур

Оригінал-макет підготовлено С. Павловим

Підписано до друку 19.03.2012 р.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. др. арк. 9,59
Наклад 100 прим. Зам № 2012-036

Вінницький національний технічний університет,
КІВЦ ВНТУ,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-85-32.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті,
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-81-59
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.