

Міністерство освіти і науки України
Миколаївський державний гуманітарний університет ім. Петра Могили
комплексу “Києво-Могилянська академія”

Кутковецький В.Я.

Навчальний посібник

Миколаїв 2003

ББК

УДК

Друкується за ухвалою Вченої ради МДГУ ім. П. Могили від 25 травня 2002 р.
(Протокол №5 (12.6).

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як посібник для студентів вищих навчальних закладів що навчаються за спеціальністю „Інженерні системи прийняття рішень” (лист №14 / 18.2 – 1391 від 02.07.2002 р.)

Рецензенти:

Павлов Г.В. – доктор технічних наук, завідувач кафедри комп’ютерних систем управління Українського державного морського технічного університету.

Ставинський А.А. – доктор технічних наук, професор завідувач кафедри сучасних електричних систем Українського державного морського технічного університету.

Кутковецький В.Я. Розпізнавання образів: Навчальний посібник – Миколаїв: Вид-во МДГУ ім. П. Могили, 2002–150 с.

У посібнику розглянуті основні принципи та задачі систем розпізнавання образів.

Книга призначена для використання студентами вищих навчальних закладів як навчальний посібник для вивчення курсу, виконання практичних завдань, курсового та дипломного проектування. Головна увага приділена питанням практичного використання основних методів розпізнавання образів.

Зміст

Передмова.....	
1. Загальні відомості про розпізнавання образів	
1.1. Якісний опис задачі розпізнавання образів.....	
1.2. Сприйняття образів за сукупністю ознак.....	
1.3. Класифікація систем розпізнавання образів.....	
Практичні завдання.....	
2. Датчики ознак образу.....	
2.1. Загальні відомості про датчики.....	
2.2. Фізіологічний датчик: око людини.....	
2.3. Датчики переміщення і розмірів.....	
2.4. Датчики температури.....	
2.5. Датчики зображення і випромінювання.....	
2.6. Комп'ютерні візуальні датчики двомірних зображень.....	
2.7. Сканер.....	
2.8. Гама-томографія.....	
2.9. Ядерний магнітний резонанс.....	
2.10. Тактильні датчики	
2.11. Акустичні датчики.....	
2.12. Датчик Холла.....	
2.13. Електромагнітний датчик розпізнавання автомобілів.....	
Практичні завдання.....	
3. Переробка та кодування ознак образів, отриманих від датчиків.....	
3.1. Попередня обробка сигналів: нормалізація, квантування, фільтрація, диференціювання, фрагментизація, об'єднання ознак.....	
3.2. Перетворення ознак образів у коди.....	
3.3. Різницевий метод кодування сигналів.....	
3.4. Перетворення аналогового сигналу у код.....	
3.5. Метод центральних моментів для кодування ознак рухомих об'єктів.....	

3.6. Кодування зображень за допомогою його розкладу у ряд Фур'є.....	
3.7. Кодування та визначення міри близькості між об'єктами з ознаками "1" та "0"	
3.8. Кодування та визначення міри близькості між списками з цифровими компонентами.....	
3.9. Кодування та визначення міри близькості між списками з якісними компонентами.....	
3.10. Кодування для нейронних мереж.....	
3.10.1. Кодування відеозображення для перцептронів.....	
3.10.2. Кодування мовлення для перцептронів.....	
3.10.3. Кодування метеорологічного стану для перцептронів ...	
Практичні завдання.....	
4. Прості спеціалізовані методи розпізнавання образів	
4.1. Загальні відомості про прості методи розпізнавання	
4.2. Метод суміщення з еталоном.....	
4.3. Метод опорного словника.....	
4.4. Метод зондів.....	
4.5. Використання магнітних чорнил.....	
4.6. Метод маркування зображення	
4.7. Квазітопологічний метод	
4.8. Метод еталонів, що "дробляться".....	
4.9. Розпізнавальна система "Альфа".....	
Практичні завдання.....	
5. Основні методи класифікації образів, визначених за детермінованими кількісними ознаками.....	
5.1. Ознаки об'єкта.....	
5.2. Відстань між двома об'єктами	
5.3. Середньоквадратичний розкид між групами об'єктів	
5.4. Вирішальна функція, вирішальне правило.....	
5.4.1. Приклад отримання вирішальних функцій та вирішальних правил...	
5.4.2. Апаратна реалізація системи РО з використанням вирішальних функцій та вирішальних правил.....	
5.4.3. Вирішальні функції та вирішальні правила для складного розміщення класів.....	

Практичні завдання.....	
6. Нейронні мережі.....	
6.1. Загальні відомості про нейрони.....	
6.2. Математична модель нейрона.....	
6.3. Адаптивний лінійний нейрон Adaline.....	
6.3.1. Електрична схема нейрона Adaline.....	
6.3.2. Логічна функція AND та її використання.....	
6.3.2. Логічні функції OR і XOR та їх використання.....	
6.4. Навчання нейронної мережі з нейронів Adaline.....	
6.5. Приклад навчання за методом зворотного розповсюдження помилки нейронів Adaline.....	
6.6. Нейронні мережі.....	
6.7. Перцептрони.....	
6.8. Навчання перцептрону.....	
6.8.1. Загальні відомості про навчання.....	
6.8.2. Правила й алгоритми навчання.....	
6.9. Класифікація штучних нейронних мереж.....	
6.10. Багатошарові перцептрони	
6.10.1. Нейронні мережі Хопфілда та Хеммінга.....	
6.10.2. Визначення параметрів класифікатора Хеммінга.....	
6.10.3. Мережі Кохонена для кластер-аналізу та класифікації без вчителя....	
6.10.4. Мережі зустрічного розповсюдження.....	
Практичні завдання.....	
7. Метод потенціалів.....	
7.1. Потенціали у просторі цифрових ознак.....	
7.2. Двоїсті значення потенціалів рецепторів у просторі зображення.....	
7.3. Дробові значення потенціалів рецепторів у просторі зображення.....	
Практичні завдання.....	
8. Ймовірнісний метод розпізнавання образів	
8.1. Початкові відомості з теорії статистичних рішень.....	
8.2. Ймовірності помилок класифікації одномірних образів двох класів.....	
8.3. Визначення коефіцієнта правдоподібності λ_0 з урахуванням ризику	

рішення для одномірних образів двох класів.....	
8.4. Визначення класів з урахуванням коефіцієнта правдоподібності для одномірних образів двох класів при нормальному законі розподілу ознак	
8.5. Визначення коефіцієнта правдоподібності λ_0 з урахуванням ризику рішення для багатомірних образів двох класів.....	
8.6. Визначення ризику рішення для багатомірних образів кількох класів.....	
8.7. Система розпізнавання образів з використанням формули Байеса.....	
8.8. Датчики отримання випадкових величин із заданим законом розподілу Практичні завдання.....	
9. Структурний (лінгвістичний) метод розпізнавання.....	
9.1. Загальні відомості.....	
9.2. Приклади використання структурного методу розпізнавання образів.....	
9.3. Граматика структурного методу.....	
9.4. Виведення граматик.....	
9.5. Приклади використання граматики.....	
Практичні завдання.	
10. Деякі напрямки розвитку систем розпізнавання образів.....	
10.1. Колектив вирішальних правил освіти.....	
10.2. Метод групового врахування аргументів	
10.3. Метод граничних спрощень	
10.4. Експертні системи розпізнавання образів.....	
10.5. Логічні системи розпізнавання образів.....	
10.6. Кластерний аналіз.....	
10.7. Адаптивна резонансна теорія нейронної мережі.....	
10.8. Когнітрон та неокогнітрон.....	
Література.....	

Передмова.

У посібнику головна увага приділена питанням практичного використання основних методів розпізнавання образів з детальним описом алгоритмів та наведенням прикладів. Курс розрахований приблизно на 56 годин, з яких 28 годин припадає на лекції, а 28 годин - на практичні заняття. Завданням посібника є представлення методів як інструменту розпізнавання образів, що надало можливості уникнути розгляду складних теоретичних питань та їх обґрунтування. Особлива увага приділена практичним розрахункам. Студенти повинні самостійно виконати індивідуальні завдання і додатково використати готові програми ЕОМ, або самим скласти потрібні програми за визначеним алгоритмом.

1. Загальні відомості про розпізнавання образів

1.1. Якісний опис задачі розпізнавання образів

Образи - це об'єкти та явища навколишнього середовища або продукти розумової діяльності людини. Прикладом образів можуть бути: люди (їх голоси, почерки, пульс, хвороби, результати розумової діяльності, стилі малювання); літери; літаки; судна; автомашини; рослинність; виробничі, соціальні, суспільні, економічні явища та процеси; рукописи, висловлювання думок (у книжках).

Ознаки образу - це якісні та кількісні параметри, сукупність яких дозволяє відрізнити один образ від іншого, робить образ індивідуальним. Ознаки можуть бути суттєвими (вони найбільшою мірою визначають індивідуальність, неповторність образу) і несуттєвими (вони меншою мірою впливають на визначення, розпізнавання і класифікацію образу), кількісними, якісними, апіорними, апостеріорними.

Ознаки, які визначаються до випробування, зветься *апіорними*. Наприклад, до проведення іспиту системи розпізнавання образів з різних джерел (книг, креслень, випробувань і т.д.) отримуються апіорні ознаки літака (габарити, кількість і тип двигунів тощо).

Ознаки, які отримуються в результаті проведення випробування системи РО, зветься *емпіричними, або апостеріорними*, тобто отриманими за результатом дослідження. Наприклад, як результат проведення іспиту датчики системи РО видають апостеріорні ознаки конкретного літака (габарити, кількість і тип двигунів тощо). Для визначення класу образу система РО порівнює апостеріорні ознаки з апіорними ознаками.

Початковий словник ознак - це найбільш повний (у розумних межах, тобто забезпечений існуючими відповідними датчиками або реальною можливістю їх створення та використання) перелік ознак образу, які отримуються за допомогою датчиків. У системах РО використовуються детерміновані, ймовірнісні, логічні, структурні та комбіновані ознаки.

Робочий словник ознак - це перелік ознак, які обрані з початкового словника ознак і використовуються у системі РО. Первинні ознаки образу, отримані первинними датчиками, у системі РО можуть бути об'єктом інтелектуальної обробки і переробляться у вторинні ознаки (об'єднуватись, роз'єднуватись, фільтруватись), в результаті чого створюється реальний простір ознак, який, власне, і використовується системою РО.

Однотипні образи - це група образів, яка описується кінцевою кількістю лише їм властивих ознак (своїм початковим словником ознак) і об'єднаних приблизно однаковими функціями та ідеєю призначення. Приклади однотипних образів: літаки, автомашини, люди, птахи і т.д.

Клас образів - це підмножина образів з найбільш схожими суттєвими ознаками, обрана з множини однотипних образів за допомогою робочого словника ознак. Приклади класів образів: однотипні образи «Автомобілі» розділяються на класи «Волга», «Лада», «Запорожець» і т.д. Часто до існуючих m класів додається $(m+1)$ -й «нерозпізнаний образ». Це означає відмову від управління, що іноді краще ніж помилкове визначення ситуації. Сукупність однотипних класів складають **алфавіт образів**.

Розпізнавання образів (РО) - це процес розділу однотипних образів на класи за допомогою відповідних методів та засобів для виділення, ідентифікації, вимірювання та інтелектуальної обробки часто неповних, нечітких, непрямих, перекручених ознак образів.

Об'єктом дослідження РО є образи: об'єкти, предмети чи явища навколишнього середовища, або предмети розумової діяльності людини.

Предметом дослідження курсу РО є методи та засоби РО.

Методи дослідження курсу РО засновані на теорії ймовірностей та математичної статистики; матричній алгебрі; диференціальному, інтегральному, операційному зчисленні; методах роботи на ЕОМ.

Метою РО є розробка методів та засобів для точної класифікації образів з наступною задачею прийняття рішень по виконанню практичних дій, які були б адекватною реакцією на стан навколишнього середовища. Система РО є складовою частиною *штучного інтелекту*, який за своїми можливостями наближається до можливостей людини або будь-якої живої істоти, життя якої складається з безперервного виконання алгоритму: «виділити та

класифікувати образ - прийняти рішення - діяти». Метою РО є автоматизація виконання операцій; підвищення якості та швидкості виконання роботи.

Типовими задачами РО є розпізнавання і розподіл на класи: літери; текст; літаки; автомашини; птахи; обличчя, голоси, почерки, стилі письма, хвороби людини; елементи складні пристрої, що вийшли з ладу (діагностика пристроїв); елементи складних пристроїв, які у майбутньому почнуть ненормально працювати (прогнозування роботи пристроїв); виробничі, соціальні, суспільні, економічні явища та процеси і т.п.

Звичайно, найкращою системою РО є людина й інші живі істоти. Людина протягом всього свого життя розпізнає і класифікує за ознаками сигнали, об'єкти, явища, процеси, ситуації та інші образи. Людина може розпізнати (класифікувати) дерева, квіти, траву; розгадати шифр; прочитати друкований та рукописний неушкоджений або зіпсований текст (навіть з відсутніми літерами або словами та частково втраченими фразами); виконати медичну, технічну, економічну, соціальну діагностику і т.п.

Задачі РО розв'язують і інші живі істоти: звіри, риби, комахи. Навіть насіння та рослини "пізнають і класифікують" пори року: весну, літо, осінь, зиму. Їх образ життя у принципі не відрізняється від образу життя живої істоти: «виділити та класифікувати образ - прийняти рішення - діяти».

Засоби, які використовуються при РО розділяються на три групи:

1. Технічні датчики (зображення, температури, розміру, кольору, швидкості руху, тиску, ваги, магнітного поля і т.п.), які дозволяють виділити і "зважити" суттєві первинні ознаки образу.

2. Технічні засоби інтелектуальної обробки (переробки, порівняння, об'єднання, переоформлення, накопичення) інформації, в результаті чого отримують вторинні ознаки, у просторі яких здійснюється, власне, класифікація.

3. Математичне та програмне забезпечення у складі методів, вирішальних правил, обмежень, алгоритмів, програм, які використовуються для визначення класу образу.

Реальна розпізнавальна система звичайно складається з блоку, який виробляє ознаки (рецептор, у якому первинні ознаки перероблюються у вторинні ознаки); блоку прийняття рішень (класифікатора), який розподіляє образи на класи; виконавчого пристрою, який виконує відповідну дію.

Раніше вважалося, що абстрактне мислення, узагальнення, логіка, навчання на прикладах, інтелектуальна обробка даних властиві лише людині. Тепер ситуація змінилась, бо ЕОМ також може розв'язувати аналогічні проблеми.

Але треба визначити, що технічні засоби не мають такої універсальності, яка притаманна живій істоті: якщо технічна система РО класифікує літаки, то вона не може розпізнавати текст або голос людини. Тобто технічні засоби працюють лише за вузьким вказаним призначенням.

Приклад системи РО. Розглянемо з якісної сторони основні етапи створення системи розпізнавання літаків.

1. Ми маємо сукупність однотипних образів - літаки, які потрібно розділити на класи. Складаємо *алфавіт класів об'єктів* (наприклад, 1-й клас – 4-моторні літаки; 2-й клас – 2-моторні літаки; 3-й клас - 1-моторні літаки).

2. Складаємо *первинний словник ознак*: виділяємо у найбільш повному вигляді всі суттєві кількісні та якісні ознаки, які можуть бути реально визначеними датчиками - радіолокаторами, лазерами, акустичними, космічними та оптичними приладами. До таких ознак відносяться: швидкість і висота льоту; габарити; кількість і тип двигунів; конфігурація (конструкція); вага літака та інші. При цьому враховується можливість використання як *ап'юріорної* (до безпосереднього використання системи РО) інформації, так і *апостеріорної* інформації, яка отримується при безпосередньому використанні системи РО.

3. На базі *первинного словника ознак* будемо *робочий словник ознак*, у який входять лише ті ознаки з первинного словника ознак, які реально будуть використовуватись у системі РО. На базі **ап'юріорних даних** (початкових даних, отриманих з минулого досвіду, – з книг, вимірювань, креслень) кожний клас літаків описується на мові ознак, взятих з *робочого словника ознак*.

4. Переходять до проектування з визначенням математичного, програмного та апаратного забезпечення і наступним реальним виконанням блоку вироблення ознак (рецептора), блоку прийняття рішень і виконавчого пристроя.

5. "Навчають", відлагоджують і випробують систему РО у дії. Припустимо, що система РО виявила невідомий літак і отримала його *апостеріорні ознаки*. Порівняння *отриманих апостеріорних ознак (по отриманих вимірах системою РО) з ап'юріорними (до проведення вимірів)* дозволяє визначити клас невідомого літака.

В дійсності етапи створення систем РО більш складні. Вони істотно залежать від об'єму фінансування, поставлених задач, наявності конкретних засобів виявлення ознак. Наприклад, якщо датчики не забезпечують отримання потрібної якості та кількості ознак, то замість 3-х класів літаків система РО буде розпізнавати лише 2 класи. З іншого боку, розглянута послідовність дій не відповідає на питання: як розбивати об'єкти на класи; як

обирати та обробляти апріорну інформацію; як обирати математичне, програмне та апаратне забезпечення системи РО. Деякі з цих питань розглядаються у даному курсі. Але основний напрямок проектування системи РО такий: система РО повинна бути створена в загальних рисах з самого початку проектування її уточнюватись та удосконалюватись з поступовим переходом від початкових апріорного словника ознак та апріорного алфавіту класів до робочого словника ознак та робочого алфавіту класів.

1.2. Сприйняття образів за сукупністю ознак

Під сприйняттям розуміють процес пізнання за допомогою чуттєвих органів або висновків. Очевидно, що ця операція є первинною у процедурі РО, бо класифікувати можна лише те, що вже усвідомлене як сукупність ознак, які належать до однотипних об'єктів або явищ.

Виділити об'єкт з навколишнього середовища можна за допомогою сприйняття й усвідомлення однієї ознаки або сукупності ознак, що йому належать. Людина сприймає ці ознаки за допомогою чуттєвих органів (зору, слуху, дотику, смаку, нюху) та розуму. Розум відіграє велику роль у розпізнаванні. Наприклад, з метою класифікації оцінку габаритів якогось об'єкта "на око" одна людина може вказати з похибкою відносно дійсних розмірів у 5%, а інша людина (навіть з кращим зором) - у 10-50%. Це пояснюється набутим досвідом, розумом. Справа ускладнюється, якщо множина об'єктів, які належить класифікувати (розбити на групи, класи), характеризується сукупністю ознак. Але й тут є люди, які за сукупністю ознак (по хмарах на небі, по вітру, по реагуванню рослин, комах, птахів) можуть передбачити (класифікувати) майбутню погоду. Лікарі за сукупністю ознак визначають (класифікують) хворобу людини. Майстер за сукупністю ознак приблизно знає, яке пошкодження треба шукати у телевізорі (класифікує пошкодження). Фінансист за сукупністю окремих ознак визнає (класифікує), що фінансове становище є загрозливим або незагрозливим.

Всьому цьому можна навчитись. Але основна проблема полягає у тому, щоб цьому навчити машину. Машина повинна сприймати процеси, образи й явища навколишнього середовища і робити висновки: класифікувати їх. Це є одна з ключових проблем штучного

інтелекту. Швидкість та ефективність класифікації образу залежить від того, наскільки добре підібрані суттєві ознаки на попередньому етапі.

Щоб розпізнавати образи, людина повинна виділити образ з навколишнього середовища, визначити і виміряти ознаки образу за допомогою “датчиків” і за ознаками класифікувати образ. Якості датчиків, які пов’язують людину з навколишнім середовищем, використовуються чуттєві органи:

1. **Зору** – для визначення розмірів, об’єму, кольорів, інтенсивності кольорів, нерухомості, швидкості і напрямку переміщення, контрастності, яркості, структури.

2. **Слуху** – для визначення інтенсивності звуку, однотонності, гам, музики, висоти звуку, шуму, безперервності, мовлення, співу.

3. **Дотику** - для визначення гладкості, липучості, грубезності, жорсткості, м’якості, твердості, шороховатості, пружності, тиску, сили, текстури, границі, легкості переміщення, розмірів, об’єму.

4. **Смаку** - для визначення приємності, неприємності, інтенсивності, специфічності, побочних ефектів.

5. **Нюху** - для визначення приємності, неприємності, інтенсивності, специфічності, побочних ефектів.

До “датчиків” можна віднести також **розум людини**, який переробляє, об’єднує, фільтрує інформацію за сукупністю всіх отриманих ознак.

Але **розум людини** розв’язує далі не менш складну і відповідальну задачу: на базі отриманої сукупності ознак він класифікує образи.

Системи РО є технічними об’єктами, які деякою мірою моделюють вказані властивості людини. Треба визнати, що у загальному плані за компактністю, терміном служби, надійністю і іншими показниками технічні датчики є менш досконалими у порівнянні з органами людини. Але за окремими показниками технічні датчики перевершують аналогічні показники людини.

Таблиця 1.2.1. Порівняння по порогу чутливості виміряних ознак датчиками з чуттєвими органами людини.

Параметр	Зміщення	Температура, °C
Датчик	10^{-8} см	10^{-5}
Людина	2 - 3°	10^{-1}

По вимірюванню сили, швидкості, ЕРС, струму датчики (вимірювальні прилади) теж далеко випереджають людину.

У табл. 1.2.1 наведені отримані вимірювання ознак у технічних датчиків (далі – датчики) у порівнянні з людиною.

1.3. Класифікація систем розпізнавання образів

Будь-яка класифікація засновується на класифікаційних принципах, у даному випадку - властивостей інформації. Система РО класифікується: за сукупністю ознак, які обробляються (прості, складні); за кількістю рівнів датчиків ознак, які передають виміряні ознаки у систему РО (однорівневі, багаторівневі); за відношенням до навчання (без навчання, з учителем, із самонавчанням); за методами, покладаними в основу математичного, логічного та програмного забезпечення системи РО (логічні, ймовірнісні, детерміновані, лінгвістичні, нейронні і т.д.).

1. За сукупністю ознак, які обробляються, системи РО класифікуються на:

1.1. Прості СРО з фізичною однорідною інформацією: читаючі РС, в яких ознакою робочого словника є лише лінійні розміри елементів об'єктів (літер), що розпізнаються; автомати для розміну монет, де ознакою розпізнавання служить маса монети; пристрій бракування деталей, у якому ознакою брака є невідповідність лінійних розмірів або маси, тощо.

1.2. Складні СР, які використовують фізично неоднорідну інформацію: системи медичної діагностики з використанням таких даних-ознак, як тиск крові, частота пульсу, температура тіла, кардіограма тощо; системи геологорозвідки з використанням значення девіації магнітного поля землі, фізичних, хімічних, електричних властивостей породи тощо.

2. За кількістю рівнів датчиків ознак системи РО класифікуються на:

2.1. Однорівневі системи РО, які мають один рівень датчиків ознак T_1, T_2, \dots, T_n , що вимірюють властивості - ознаки невідомих об'єктів та явищ $(x_1^1, \dots, x_1^k; x_2^1, \dots, x_2^k; \dots, x_n^1, \dots, x_n^k)$ і передають їх у блок алгоритмів розпізнавання (БАР). БАР за допомогою блока апріорної інформації виробляє рішення про розпізнавання образів.

2.2. Багаторівневі складні системи. В ній датчики ознак діляться на кілька рівнів. Перший рівень складається з розпізнавальних локальних датчиків нижчого рівня, які частку ознак переробляють і передають після переробки на вищі рівні. Другий рівень складається з датчиків (розпізнавальних пристроїв), призначених для фільтрації, переробки, об'єднання ознак нижчого рівня і визначення ознак власного другого рівня, які можуть передаватись на третій або ще вищий рівень.

Тобто, якщо в однорівневих СР ознаки отримуються безпосередньо в результаті експериментів, то у багаторівневих хоча б частка ознак формується на основі непрямих вимірювань, фільтрації, обробки та об'єднання ознак.

3. За відношенням до навчання системи РО класифікуються на:

3.1. Системи без навчання мають достатньо апріорної інформації для визначення *апріорного алфавіту класів та апріорного словника ознак* і для визначення опису кожного класу на мові цих ознак. Тобто у першому наближенні достатньо визначити відстані між класами або вирішальні границі та вирішальні правила, які дозволяють розділити простір ознак на класи. Звичайно для побудови цієї системи РО необхідно мати повну початкову апріорну інформацію.

3.2. Системи з навчанням. В цих системах початкової інформації достатньо для визначення апріорного алфавіту класів і апріорного словника ознак, але недостатньо (чи недоцільно використовувати) для опису класів на мові ознак. Початкова інформація дозволяє виділити конкретні об'єкти, які належать різним класам. “Вчитель” багаторазово показує системі РО навчальні образи відомого класу. Якщо система РО дає невірну відповідь, то за визначеним алгоритмом у системі РО змінюють коефіцієнти підсилювання визначених сигналів до отримання вірних відповідей. Після іспиту система РО працює самостійно.

3.3. Самонавчальні системи. В цих системах початкової апріорної інформації достатньо лише для визначення *словника ознак, але недостатньо* для класифікації об'єктів. На стадії формування системі показують *початкову сукупність об'єктів*, які задані значеннями своїх ознак. Але через обмежений об'єм початкової інформації система при цьому не отримує вказівок, до якого класу належать об'єкти початкової сукупності. Ці вказівки замінюються рядом правил, у відповідності до яких на стадії самонавчання СР *сама виробляє класифікацію*, якою вона керується в подальшому. Мета самонавчання - напрацювання такої кількості інформації, щоб її було достатньо для функціонування СР, для чого потрібно мати зворотний зв'язок для коригування та уточнення напрацьованої апріорної інформації.

4. За методами, покладеними в основу математичного, логічного та програмного забезпечення, системи РО класифікуються на:

4.1. Детерміновані системи - для будування алгоритмів розпізнавання використовують “геометричні” міри близькості, засновані на вимірах відстаней між кількісними ознаками об'єкта та еталонів класів.

4.2. Ймовірнісні системи - для будування алгоритмів розпізнавання використовують ймовірнісні методи теорії статистичних рішень. Для цього треба мати ймовірнісні залежності

між ознаками об'єктів і класами.

4.3. Логічні системи засновані на дискретному аналізі й обчисленні висловлень. Ми повинні вирішити систему булевих рівнянь з використанням логічних ознак об'єктів і знайти невідомі величини - класи, до яких ці об'єкти відносяться.

4.4. Структурні (лінгвістичні) системи - для побудови алгоритмів розпізнавання використовується речення, кожне з яких описує структуру (будову) об'єкту а з непохідних ("атомарних") елементів. Ці речення складають спеціальну мову. Класифікація об'єкта виконується шляхом порівняння речення невідомого об'єкта з еталонними реченнями класів.

4.5. Нейронні мережі використовують моделі нейронів для розпізнавання образів.

4.6. Системи з використанням методу потенціалів – ознака об'єкта розглядається як його електричний потенціал, який зменшується зі зростанням відстані до об'єкта. За рахунок цього області класів об'єктів мають велике числове значення потенціалу і можуть розглядатися як "гори, які відділяються одна від другої "ярами".

4.7. Експертні системи РО. Експертні системи застосовують там, де існують евристичні або інтуїтивні методи рішень і немає точних алгоритмів або розрахунків. Експертна система - це сукупність комп'ютерних програм, яка містить накопичені знання багатьох експертів у певній предметній області і здатна в рамках цієї області класифікувати об'єкти, давати відповіді, рекомендації, поради, запитуючи при необхідності додаткову інформацію.

Найчастіше вона використовує правила, які мають форму:

"ЯКЩО...ТОДІ...ІНАКШЕ...". Твердження, як правило, мають ймовірнісну оцінку.

Верхній рівень цих систем є логічним, але висновки в ньому робляться *не методом порівняння* (порівняння отриманої апостеріорної інформації з апріорною), а методом *дедукції, індукції, аналогії, тобто методами, властивими лише людині*. При цьому отримані логічні висновки повинні породжувати нові речення, нові знання, які поповнюють базу даних і знань.

Класи об'єктів у таких експертних будуть виглядати як *нечіткі множини за рахунок полутонів, нюансів* (наприклад: об'єкт майже круглої форми, ніжно-рожевого кольору, приблизно рівний по об'єму тенісному шару і т.п.). Належність об'єктів або явищ до класів базується на рівняннях, які використовують функції еквівалентності з використанням ймовірнісних характеристик. Машина на базі отриманої інформації генерує гіпотезу про клас невідомого об'єкта, яка не суперечить отриманій інформації. Вважається, що програму в експертних системах треба виконувати на мові LISP або Пролог.

Практичні завдання

1. Для індивідуально обраного з табл. П.1.1 одного об'єкта визначити алфавіт класів (2-3 класи) та початковий і робочий словники ознак класів. Визначити датчики, які потрібно використовувати для визначення ознак об'єктів. Вказати вимоги до нормалізації та квантування сигналів.

Нормалізація - це приведення образу до нормальних умов з метою порівняння з еталоном (приклад: зображення купюри у пачці грошей зі зменшенням товщини пачки теж зменшується у розмірах; її потрібно нормалізувати, тобто привести до розмірів еталону і потім порівнювати їх).

Квантування ознак: безперервна ознака, що змінюється (наприклад, електрична напруга), розбивається на піддіапазони (наприклад, еталонна напруга 220 В має піддіапазони “Нормальна напруга $200 \text{ В} < U < 233 \text{ В}$ ”, “Понижена напруга $U < 200 \text{ В}$ ”, “Підвищена напруга $U > 233 \text{ В}$ ”). Сигнал отримується при переході межі піддіапазонів, і ЕОМ обробляє у даному випадку лише три сигнали.

На базі ознак описати алгоритм (процедуру) розділу об'єктів на класи для конкретного виробництва. Описати умовний виробничий процес з використанням створеної системи РО.

Таблиця П.1.1

№	Об'єкт, явище, процес	№	Об'єкт, явище, процес
1	Олівець / Голка	16	Гайка / Ключ
2	Ножиці / Деревина	17	Попільниця / Монета
3	Лінійка / Залізний прут	18	Годинник наручний / Гітара
4	Папір / Замок	19	Горіх / Радіоактивне джерело
5	Купюра / Цибуля	20	Яблуко / Осцилограма
6	Фотокартка / Книжка	21	Груша / Взуття
7	Котушка ниток / Кнопка	22	Слива / Сумка
8	Окуляри / Гиря	23	Синусоїда / Портфель
9	Футляр / Мікрофон	24	Блискавка / Рушник
10	Чашка / Квітка	25	Робота двигуна / Плакат
11	Стакан / Горох	26	Електричне зварювання / Клещі
12	Ложка / Пшениця	27	Риболовний крючок /

			Вимикач
13	Виделка / Мука	28	Шапка / Флакон від духів
14	Ніж / Картопля	29	Електрична лампочка / Шайба
15	Консервна банка / Папка	30	Збільшувальне скло / Напільник

2. Для 4-х перших літер власного прізвища розробити власну систему розпізнавання образів (чотири класи). Літери - великі, друковані.