

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації
та мехатроніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

Другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

Дистанційний модуль управління мобільним роботом
сільськогосподарського призначення КП 3. Розроблення інтелектуальної
складової мобільного робота сільськогосподарського призначення
(тема)

Виконав:
студент 2 курсу, групи КІТПВм-20-1

Павленко Віталій Іванович
(прізвище, ініціали)

Спеціальності 151 Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми Освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Комп'ютерно-інтегровані
технологічні процеси і виробництва
(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Хрустальова С.В.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
Зав. кафедри КІТАМ

(підпис)

Невлюдов І. Ш.
(прізвище, ініціали)

2021р.

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет _____ АКТ _____
Кафедра _____ КІТАМ _____
Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський)
Спеціальність _____ 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Тип програми _____ Освітньо-професійна
Освітня програма _____ КІТПВМ, Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва
_____ (шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КІТАМ _____
(підпис)

«_____» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____ Павленку Віталію Івановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дистанційний модуль управління мобільним роботом сільськогосподарського призначення КП 3. Розроблення інтелектуальної складової мобільного робота сільськогосподарського призначення

Затверджена наказом по університету від _____ 08.11.2021 № 1697 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____ 28.12.2021

3. Вихідні дані до роботи продукційна модель представлення бази знань; мова програмування Пролог; середовище програмування SWI Prolog; програма-оболонка Exsys Corvid. Реалізація математичної моделі на персональному комп'ютері за допомогою оболонки EXPRO.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

4.1 Вступ; _____

4.2 Аналіз сучасного стану проблеми інтелектуальних складових роботів; _____

4.3 Розробка алгоритму бази знань та вибір обладнання; _____

4.4 Моделювання бази знань та експериментальні дослідження; _____

4.5 Висновки; _____

4.6 Додатки. _____

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій Демонстраційний матеріал, представлений у форматі презентації PowerPoint (*.ppt). – 14 с. Формату А4.

6. Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	8.11.21	Виконано
2	Аналіз сучасного стану проблеми інтелектуальних складових роботів сільськогосподарського призначення	10.11.21	Виконано
3	Розробка алгоритму бази знань та вибір обладнання	15.11.21	Виконано
4	Моделювання роботи Інтелектуальної складової мобільного робота сільськогосподарського призначення	21.11.21	Виконано
5	Оформлення пояснювальної записки	27.11.21	Виконано
6	Подання атестаційної роботи в ЕК		

Дата видачі завдання 8.11.2021

Студент _____
(підпис)

Павленко В.І.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

доц. Хрустальова С.В.
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 83 с., 3 табл., 28 рис., 1 дод., 32 джерел.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА, БАЗА ЗНАНЬ, МОБІЛЬНИЙ РОБОТ,
КОЛІР, СЛІДКУВАННЯ, БІБЛІОТЕКА.

Об'єкт дослідження – процес розпізнавання та обробки вхідних зображень образів об'єктів мобільним роботом сільськогосподарського призначення.

Предмет дослідження – база знань мобільного робота сільськогосподарського призначення.

Актуальність роботи полягає в дослідженні розпізнавання та обробки вхідних зображень образів об'єктів, а саме ягід та овочей в сільському господарстві для проведення повної автоматизації процесу збору врожаю.

Мета кваліфікаційної роботи – розроблення вирішальних правил на базі продукційної моделі представлення знань для підтримки прийняття рішень мобільним роботом сільськогосподарського призначення.

Методи дослідження – теорія конструювання інтелектуальних систем в мобільних роботах сільськогосподарського призначення, продукційна модель представлення знань.

Наукова новизна роботи полягає у пошуку сучасного підходу дослідження розпізнавання об'єктів інтелектуальним мобільним роботом.

Практична цінність визначається можливістю використання знання специфіки розпізнавання об'єктів у сільському господарстві та у форматі «Розумний сад».

ABSTRACT

Explanatory note: 83 pp., 3 tab., 28 fig., 1 app., 32 sources.

INTELLECTUAL SYSTEM, KNOWLEDGE BASE, MOBILE WORK,
COLOR, TRACKING, LIBRARY.

The object of research is the process of recognition and processing of input images of images of objects by an agricultural mobile robot.

The subject of research is the knowledge base of the mobile robot. agricultural purpose.

The relevance of the work is to study the recognition and processing of input images of images of objects, namely berries and vegetables in agriculture to fully automate the harvesting process.

The purpose of the qualification work is to conduct a study of the intelligent system of recognition of objects and images by mobile robot and analysis of models and methods of object recognition.

Methods of analysis – the theory of design of intelligent systems in mobile agricultural work, production model of knowledge representation.

The scientific novelty of the work is to find a modern approach to the study of object recognition by intelligent mobile robot.

The practical value is determined by the possibility of using knowledge of the specifics of object recognition in agriculture and in the format "Smart Garden".

ЗМІСТ

Перелік скорочень	8
Вступ.....	9
1 Аналіз сучасного стану проблеми інтелектуальних складових роботів сільськогосподарського призначення	12
1.1 Аналіз сучасних інтелектуальних систем мобільних роботів сільськогосподарського призначення	12
1.2 Аналіз сучасних інтелектуальних систем мобільних роботів сільськогосподарського призначення	15
1.3 Елементи інтелектуальної складової мобільного робота сільськогосподарського призначення	19
1.4 Програмні засоби інтелектуальної складової мобільного робота сільськогосподарського призначення	23
1.5 Класифікація баз знань	25
1.6 Висновки до першого розділу	27
2 Розробка алгоритму бази знань та вибір обладнання	28
2.1 Розробка структурної схеми мобільного робота.....	28
2.2 Навчання бази знань.....	29
2.3 Оболонка експертної системи для наповнювання бази знань, та встановлення правил виведення	35
2.4 Етапи побудови штучного інтелекту, ідентифікації, концептуалізації, формалізації, реалізацій та тестування	37
2.5 Середовище інтелектуального аналізу даних	39
2.6 Програмна середовище розробки бази знань	43
2.7 Висновки до другого розділу	53
3 Моделювання роботи інтелектуальної складової мобільного робота сільськогосподарського призначення	54
3.1 Мова програмування	54

3.2	Вибір середовища моделювання процесу функціонування бази знань мобільного робота сільськогосподарського призначення	59
3.3	Формування продукційних правил під час діагностування стіглості плода	62
3.4	Проведення експерименту	64
3.5	Програмна реалізація експертної системи підтримки процесу діагностування	71
3.6	Висновки до третього розділу	73
	Висновки	75
	Перелік джерел посилання	77
	Додаток А Демонстраційний матеріал.....	82

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АЗОЛ – ангар для зберігання і обслуговування літаків;

АРМ – автоматизоване робоче місце;

БПЛА – безпілотний літальний апарат;

ДП – державне підприємство;

ДСТУ – Держстандарт України;

ЛЗ – лінгвістична змінна;

МР – мобільний робот;

НВ – навчальна вибірка;

ПЗ – програмне забезпечення;

СППР – система підтримки прийняття рішень;

ФН – функція належності;

ЦММ – цифрове моделювання місцевості;

ЦМР – цифрове моделювання рельєфу;

ШІ – штучний інтелект.

ВСТУП

Сільськогосподарська галузь є перспективним ринком для впровадження розробок в області робототехніки. У зв'язку з цим в останні роки в агросекторі активізувалася робота по конструюванню робототехнічних пристроїв, в тому числі, вона є актуальною й по сей день.

В даний час для збирання врожаю в сільському господарстві використовується здебільшого людська сила. Використання мобільних роботів дозволить зменшити час обробки врожаю, зменшити навантаження на людський ресурс, підвищит ефективність роботи.

Розроблені до теперішнього часу бази знань в мобільних роботах сільськогосподарського призначення, володіють такими недоліками, як наявність істотних затримок в каналі зворотного зв'язку і незручне для оператора середовище управління.

Для подолання цих недоліків актуальною є розробка нових інтелектуальних систем. Ідея підходу полягає в тому, що замість передачі великих за обсягом відео зображень передається мінімальний набір параметрів, однозначно визначають стан робота і його робочого середовища (набір узагальнених координат робота і координати об'єкта, з яким він взаємодіє).

Переваги:

- переважна частина людських знань може бути записана у вигляді продукції;
- системи продукції є модульними. За невеликим винятком видалення та додавання продукції не призводить до змін в інших продукціях;
- при необхідності системи продукцій можуть реалізовувати будь-які алгоритми і, отже, здатні відображати будь-яке процедурне знання;
- наявність у продукціях покажчиків на сферу застосування продукції дозволяє найбільш ефективно організувати пам'ять, скоротивши час пошуку в ній необхідної інформації. Класифікація сфер може бути багаторівневою, що

ще більше підвищує ефективність пошуку знань, оскільки дозволяє успадковувати інформацію у базі знань.

Недоліки:

– при великому числі продукцій перевірка несуперечності системи продукції стає складною. Це змушує при додаванні нових продукцій витратити багато часу на перевірку несуперечності нової системи;

– через властивій системі недетермінованості (неоднозначного вибору продукції з безлічі активізованих продукцій) виникають важливі проблеми при перевірці коректності роботи системи.

Висновки. Враховуючи всі позитивні та негативні наслідки використання бази знань в дистанційному модулі управління мобільним роботом, можна сказати, що вони є ефективними за умови, якщо буде не велике число продукцій і перевірка несуперечності системи продукції не стане складною.

Таким чином, актуальність завдання дослідження інтелектуальної складової роботи визначається потребою мобільних роботів, а з іншого – відсутністю працездатних алгоритмів, що дозволяють успішно функціонувати роботу в умовах невизначеності та в складних умовах місцевості.

Об'єкт дослідження – процес розпізнавання та обробки вхідних зображень образів об'єктів мобільним роботом сільськогосподарського призначення.

Предмет дослідження – база знань мобільного робота сільськогосподарського призначення.

Методи дослідження – теорія конструювання інтелектуальних систем в мобільних роботах сільськогосподарського призначення, продукційна модель представлення знань.

Мета кваліфікаційної роботи – розроблення вирішальних правил на базі продукційної моделі представлення знань для підтримки прийняття рішень мобільним роботом сільськогосподарського призначення.

Кваліфікаційна робота виконана згідно ДСТУ 3008-15 [1] та керуючись положеннями про вищу освіту [2-3] та стандартами освіти та науки України [4].

Під час навчання на другому (магістерському) рівні матеріали, що були

використані для написання атестаційної роботи було апробовано на міжнародних конференціях [5-9] та результати висвітлено в наукових статтях [10-14].

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СКЛАДОВИХ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРЬСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

1.1 Аналіз сучасних інтелектуальних систем мобільних роботів сільськогосподарського призначення

Цифрові технології в сільському господарстві є основою для переходу до концепції «розумне сільське господарство». Дана концепція реалізується за допомогою широкого застосування комп'ютерної та комунікаційної техніки, безпілотних літальних апаратів, роботизованих машин, програмного забезпечення для збору, систематизації, аналізу, зберігання і передачі інформації, а також методів підтримки прийняття управлінських рішень.

У системі «розумний сад» ефективні управлінські рішення приймаються на основі багатокритеріального аналізу багатовимірних масивів інформації про об'єкти виробничого процесу (грунт, рослини, сільськогосподарські машини тощо) і використання закономірностей їх взаємодії [15].

Промислове садівництво має особливості, що обумовлюють активне застосування у ньому цифрових технологій:

- множинність факторів, що визначають результати виробничого процесу: природно-кліматичних, ґрунтових, біологічних, економічних, соціальних;

- численність і територіальна розосередженість господарюючих суб'єктів, що суттєво ускладнює прийняття та ефективність управлінських рішень у масштабі галузі та на рівні регіонів.

В даний час дослідження щодо застосування цифрових технологій в сучасному садівництві ведуться з різним ступенем інтенсивності за наступними напрямками [16]:

- цифрове моделювання місцевості (ЦММ), рельєфу (ЦМР) і складання електронних карт врожайності (кількості і щільності плодів), стан листової поверхні і розмір крони дерева;
- ідентифікація та паспортизація сортів з використанням візуальних (графічних) параметрів;
- високоточне позиціонування сільськогосподарських агрегатів в безпілотному режимі при закладці плантацій і догляді за насадженнями: обробка ґрунту, скошування трави в міжряддях, догляд за пристовбурними смугами, контурна обрізка;
- управління продукційними процесами садових культур на основі застосування автоматизованих систем управління і технологій точного землеробства;
- застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для цифрового моніторингу насаджень і врожайності культур;
- використання роботизованих технологій при виконанні технологічних процесів.

Для управління технологіями обробки садових культур розглянемо систему інтелектуального управління промисловими технологіями мобільних роботів в садівництві, що складається з наступних блоків:

- блок контролю параметрів продукційного процесу, що включає системи контролю життєдіяльності рослин з комплектом датчиків (кількість опадів, температури і вологості навколишнього повітря, ґрунту, сумарної радіації);
- інформаційно-аналітичний блок для обробки та аналізу отриманої від датчиків і сенсорів інформації про процеси продукції та параметри рослин;
- блок реалізації керуючих впливів, що передбачає використання автоматизованих і роботизованих технічних засобів для виконання технологічних операцій, в тому числі підгодівлі і локального внесення засобів захисту рослин, що працюють з системами супутникового позиціонування.

На основі розроблених моделей і алгоритмів система формує управлінські рішення по підборі хімічних препаратів, доз внесення та строків проведення заходів щодо захисту рослин.

В системі враховуються екологічні критерії отримання врожаю необхідної якості та економії застосовуваних препаратів [17].

Інтелектуальна система «розумного саду» та технічних засобів для моніторингу та оперативного отримання даних про зміни стану саду та навколишнього середовища ґрунтується на світовому науково-практичному досвіді використання засобів дистанційного отримання інформації, застосування яких дозволяє оперативно здійснювати картування родючості ґрунту і врожайності культур.

Інтелектуальна система управління та моніторингу робочого процесу сільськогосподарського господарства дозволяє:

- автоматично підтримувати швидкість руху відповідно до технологічних операцій;
- контролювати і управляти роботою навісного обладнання; здійснювати автоматичне стеження за працюючим кузовним агрегатом на площині лінії і поверхні ґрунту;
- відображати оперативну інформацію про роботу системи електропостачання та навісного обладнання на моніторі кабіни оператора.

Крім виконання технологічних операцій при обробці плодово-ягідних культур, роботизовані машини затребувані і для моніторингу стану рослин та виявлення шкідників і хвороб у закритому і відкритому ґрунті, а також виконання робіт в селекції та насінництві.

Перехід від традиційних технологій до високотехнологічної системи сьогодні став можливим завдяки контролю і повному технологічному циклу виробництва продукції, шляхом застосування розумних пристроїв: робототехнічних систем, датчиків, безпілотних літальних апаратів, систем точного землеробства та інших інтелектуальних розробок.

1.2 Аналіз сучасних інтелектуальних систем мобільних роботів

Прикладом використання роботизованого засобу для моніторингу біологічних об'єктів в садівництві може бути електроприводне шасі, оснащене модулями технічного стерео-бачення і лазерними сенсорами для високоточного позиціонування на плантації (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Роботизований засіб для моніторингу біологічних об'єктів в садівництві [18]

Робот здійснює переміщення між позиціями спостереження без участі оператора під управлінням системи автоматичного водіння. Шлях руху задається одноразовим проїздом робота під управлінням оператора.

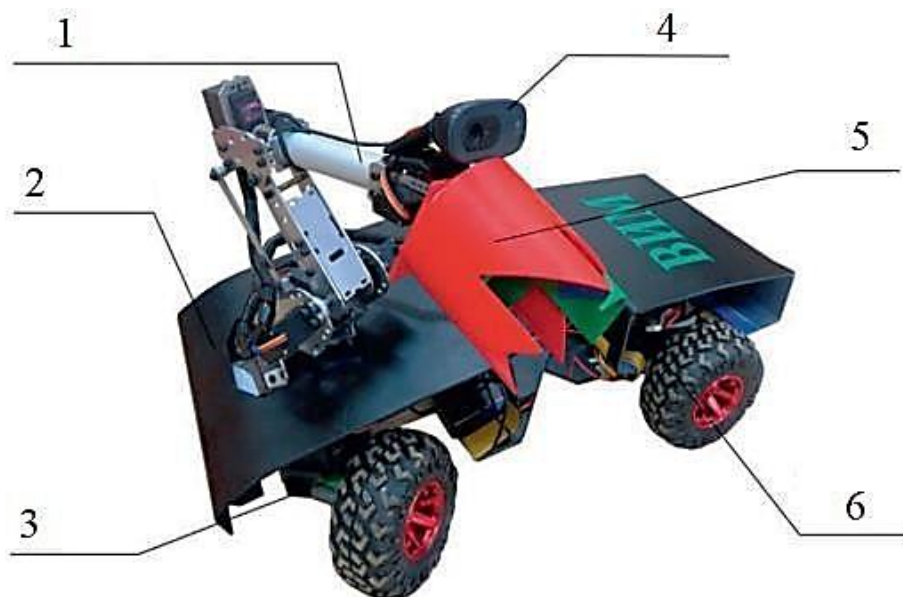
Система відео водіння дозволяє роботу здійснювати успішні проїзди в умовах нестійкого прийому сигналів супутникової навігаційної системи. Наприклад, в умовах захисних лісосмуг, крон високорослих плодових дерев або радіотіні від об'єктів забудови. Під час автоматичного переміщення робот здійснює самостійний об'їзд перешкод.

До роботизованих машин для догляду за плодовими рослинами відносяться автономні роботи з різними сільськогосподарськими адаптерами (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Самохідний робот обприскувач [18]

Для технологічної операції «цифрове збирання врожаю» існують роботизовані платформи з інтелектуальною системою розпізнавання ступеня стиглості і автоматичним пристроєм для знімання ягід (рис. 1.3).



1 – автоматизований маніпуляційний пристрій; 2 – система позиціонування і об'їзду перешкод; 3 – активна ходова система; 4 – система розпізнавання спілості ягід; 5 – пристрій автоматичного збирання ягід; 6 – контролер управління процесами

Рисунок 1.3 – Роботизована платформа з інтелектуальною системою розпізнавання ступеня стиглості врожаю [18]

Платформа оснащена адаптивною ходовою системою, модулем машинного зору і системою цифрового GPS позиціонування, які дозволяють здійснювати збір цифрових даних про врожай, розпізнавати ступінь його стиглості і формувати керуючий сигнал для системи знімання плодів.

Ефективне практичне застосування сільськогосподарських роботів при проведенні збиральних операцій в садівництві можливе з дотриманням основних технічних вимог:

- здатність оперативного отримання, аналізу і обробки великого обсягу інформації про стан об'єктів агросистеми та реалізації керуючого впливу при виконанні технологічних операцій;
- можливість оперативного віддаленого зміни режиму управління;
- можливість безперервної автономної роботи протягом від 10 до 12 годин;
- можливість групового застосування.

Цифровий моніторинг садових насаджень за допомогою літальних апаратів дозволяє оперативно оцінити санітарний стан насаджень, отримати інформацію про захворюваність крони дерев і в режимі онлайн оцінити врожайність плодових культур (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 – Моніторинг врожайності плодових культур [19]

Для цього широко застосовуються гіперспектральні камери з високою роздільною здатністю і частотою кадрів. Отримана інформація передається в базу даних інформаційно-аналітичного блоку для складання цифрових карт

захворюваності та врожайності культур.

Листя рослин, в яких відбувається фотосинтез, відображають випромінювання від 700 нм до 1000 нм в ближній інфрачервоній області спектра. У гіперспектральних системах ця область спектра, як правило, застосовується для відстеження стану здоров'я рослин, так як вона показує зміни в коефіцієнті відображення, коли рослина відчуває стрес [20].

Інформація, що використовується для виявлення та визначення плодів на деревах, включає в себе форму, розмір, межі або колір, а методи і алгоритми використовуються для розпізнавання змін фруктів з фізичними, хімічними або геометричними властивостями плодів.

Система візуальної обробки зображень розпізнає плоди і листя в природному середовищі і забезпечує тривимірне розташування (координати X, Y, Z) і орієнтацію плодів, тобто довжину аркушів, розмір і форму плоду [21]. Розташування допомагає переміщати блок збору, щоб направити робочий орган, в той час як орієнтація маніпулятора допомагає визначити спосіб захоплення і точку зрізу (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Інтелектуальна система розпізнавання ступеня стиглості врожаю [22]

При роботі система в автоматичному режимі формує координати розташування об'єкта (ягоди) в просторі і дає їх кількісну оцінку.

Практичне застосування цифрових агротехнологій і технічних засобів

інтелектуальних складових, оснащених навігаційним і сенсорним керуючим обладнанням, дозволить здійснити перехід до інтелектуального управління технологічними процесами та продуктивність садових культур в промисловому садівництві і підвищити екологічну безпеку товарної продукції.

1.3 Елементи інтелектуальної складової мобільного робота сільськогосподарського призначення

Застосування мобільного робота (МР) в умовах сільського господарства відрізняється великим ступенем невизначеності навколишнього середовища і передбачає включення оператора в контур дистанційного керування, що обумовлено:

- складністю розв'язуваних завдань і розширенням функцій, виконуваних бортовим технологічним обладнанням МР;
- високою ймовірністю виникнення позаштатних ситуацій при управлінні рухом МР.

Для підвищення ефективності перспективного МР необхідно збільшувати їх автономність. Підвищення ступеня автономності дозволить:

- знизити навантаження на операторів пункту управління, що здійснюють дистанційне керування МР;
- підвищити оперативність і якість управління механізмами МР за рахунок формалізації ряду функцій, виконуваних людиною, і передачі їх для реалізації бортової обчислювальної системи МР.

Обробка зображення сцени при функціонуванні робота по заздалегідь непередбаченою областю є досить складним завданням, ефективність вирішення якої визначається рядом факторів, в тому числі досконалістю інтелектуальної системи МР. Інтелектуальна складова сучасного МР повинна забезпечити систему управління (СУ) інформацією про поточну ситуацію у зовнішньому середовищі.

Однак в будь-якому випадку виникає необхідність вирішення завдань

розпізнавання та аналізу візуальної інформації про навколишнє середовище, на основі якої потім має здійснюватися автоматичне управління виконавчими механізмами МР.

Обробка та аналіз зображень в інтелектуальних складових МР характеризується наступними особливостями:

- зображення навколишнього середовища, що реєструється інтелектуальною системою МР, має велику інформаційну ємність в порівнянні з зображенням, оброблюваним промисловим роботом;
- апріорна інформація про характеристики спостережуваних об'єктів і фону найчастіше відсутня;
- розпізнавання тривимірних об'єктів за їх двовимірними проєкціями не є однозначним;
- рішення задачі розпізнавання об'єктів істотно ускладнюється, коли об'єкт знаходиться на невідомому тлі, одні об'єкти затуляють інші або спостереження проводиться при несприятливих метеорологічних умовах;
- обробка та аналіз зображень повинні виконуватися в реальному масштабі часу.

Актуальним є підхід, який базується на теорії нечітких множин і нечіткої логіки, що відповідає логіки людського мислення, що оперує нечіткими значеннями істинності ознак розпізнавання і нечіткими правилами логічного висновку.

Людина в більшості випадків визначає зображення нечіткими категоріями, наприклад: «рівний», «неоднорідний» «кольоровий». Аналогічна ситуація має місце, коли вона намагається визначити ступінь схожості або відмінності аналізованого фрагмента зображення по відношенню до відомих еталонів.

Саме прагненням домогтися максимального «узгодження» систем штучного інтелекту з психофізіологічними особливостями людини пояснюється необхідність застосування нечіткої логіки для розпізнавання зображень в інтелектуальних складових сучасних МР.

Побудова нечітких систем розпізнавання проводиться фахівцями предметної області і засноване на наслідуванні дій експерта, який на основі досвіду, інтуїції та знань про контрольовані об'єкти формує якісний опис процесу розпізнавання. Цей опис може бути перетворено в базу знань і надалі використовуватися в системі управління МР без участі людини.

При нечіткій класифікації вихідну інформацію для створення моделей розпізнаваних класів об'єктів можна витягти з навчальної вибірки (НВ), яка підтримує наближене, але при цьому більш точне визначення належності ознак об'єктів до класів, ніж це може зробити людина на вербальному рівні із загальних міркувань. У цьому випадку база знань буде включати логічні правила, що відображають нечіткі причинно-наслідкові відносини між значеннями ознак розпізнаваного об'єкта і ототожнюються класами НВ.

Проектування бази знань в термінах нечіткої логіки передбачає побудову для кожної ознаки своєї лінгвістичної змінної (ЛЗ):

$$X, T(X), G, T, M, \quad (1.1)$$

де X – назва ЛЗ, яка збігається із найменуванням признаку;

$T(X)$ – множина її значень (термів);

X – область визначення термів;

G – синтаксична процедура, яка описує процес генерування нових значень для даної ЛЗ;

M – семантична процедура, що ставить кожному новому значенню ЛЗ осмислений зміст за допомогою формування відповідної нечіткої множини.

Застосування лінгвістичної змінної при моделюванні класів об'єктів дозволяє адекватно представляти суб'єктивні думки експертів, які характеризуються недостатньою визначеністю об'єктів.

Число термів ознаки в базовому терм множині моделі розпізнаваних класів визначається з компромісних міркувань. Велика їх кількість

ускладнює роботу експертів при виборі конкретного значення лінгвістичної змінної. З іншого боку, це число не повинно бути і занадто малим, щоб не погіршувати якість оцінок експерта. На практиці лінгвістична змінна при розпізнаванні може мати базову терм-множину, що складається з 2, 3 або 5 нечітких змінних. При цьому бінарний класифікатор доцільно застосовувати для логічних ознак. Трирівневий класифікатор, що фіксує стани «низьке», «середнє», «високе», слід використовувати, коли можна виділити середній стан, щодо якого групуються результати вимірювань і спостережень. Перевагою п'ятирівневого класифікатора з терм – «дуже низьке», «низьке», «середнє», «високе», «дуже високе» є можливість акцентувати увагу на граничних значеннях ознаки розпізнавання. У загальному випадку вибір кількості термів для систем автоматичного розпізнавання визначається компромісом між адекватністю ознакової моделі класів і зручністю її програмної реалізації на бортових обчислювачах МР.

Після вибору числа і найменування термів будується нечітка лінгвістична шкала, тобто задається семантичне правило, зіставляє назві лінгвістичної змінної її сенс. Для цього визначаються функції належності (ФН) термів моделі класів, що встановлюють зв'язок кількісного значення ознаки з його якісним лінгвістичним описом.

Результатом обробки підмножини навчальних прикладів по кожному ознакою є розміщення в рядках таблиці, впорядкованих статистичних послідовностей. Кожна послідовність відповідає певному лінгвістичному терму і показує розподіл кількості значень ознаки за N інтервалами. Отримані дані можуть бути представлені у вигляді гістограм і використовуватися для виключення аномальних результатів, які не відповідають властивостям типових ФН [23].

Для вирішення завдань розпізнавання використовуємо нечіткі системи типу «багато входів – один вихід», що набули поширення при моделюванні систем управління, для яких через велику складність і неповноти даних неможливо або недоцільно будувати моделі в рамках класичної теорії.

1.4 Програмні засоби забезпечення ефективних складових мобільного робота

Виявлення об'єктів – це сучасна комп'ютерна технологія, яка пов'язана з обробкою зображень, глибоким навчанням і комп'ютерним зором для виявлення об'єктів, присутніх у файлі зображення.

Програмні засоби, які використовуються для забезпечення ефективних показників роботи інтелектуальної складової МР є мова програмування Python та бібліотека OpenCV.

OpenCV – це величезна бібліотека з відкритим кодом для обробки зображень, машинного навчання та комп'ютерного зору. Також відіграє важливу роль в процесах реальному часі. За допомогою бібліотеки OpenCV ми можемо легко обробляти зображення, а також відео, щоб ідентифікувати об'єкти.

Перш за все, вимога для виконання виявлення об'єктів за допомогою бібліотеки OpenCV полягає в тому, що бібліотека OpenCV повинна бути присутня на нашому пристрої, щоб ми могли імпортувати її в програму Python і використовувати її функції виявлення об'єктів.

В області комп'ютерного зору важливе місце займає проблема пошуку і стеження за об'єктами на основі їх кольорних характеристик. До основних переваг використання кольору в якості ключової ознаки відносяться швидкість виділення об'єкта і мала мінливість від кута зору.

Однак можна виділити дві проблеми, що ускладнюють використання кольорів для пошуку об'єкту:

- проблема зміни інтенсивності освітлення і зміщення відтінків за рахунок джерела освітлення;

- проблема інтерпретації при іменуванні кольорів, виникає в разі команд і запитів людини, що містять вказівки на той чи інший колір.

Враховуючи перераховані проблеми, поставлено завдання розробки алгоритму пошуку та виділення об'єктів на основі інформації про колір, що

володіє наступними особливостями:

- стійкість по відношенню до зміни умов освітлення;
- колір об'єкта задається попередньо людиною.

Освітлення відбуватиметься за допомогою світлодіодних ламп на мобільному роботі.

Алгоритм складається з наступних етапів:

- отримання зображення з відеокамери;
- переклад зображення з колірного простору RGB в HSV;
- фільтрація за кольором (налаштування колірної маски);
- проведення основних морфологічних перетворень – розтягування і звуження;
- знаходження контурів знайденого об'єкта.

До переваг даного алгоритму можна віднести наступні особливості:

- людина на початку вибирає тільки діапазон за шкалою H, і в результаті відразу формується тривимірна область в колірному просторі;
- людина не обмежена набором тонів, відповідних кольору або кольором, похідному з основних, він може вибирати будь-який діапазон колірних тонів на шкалі H, навіть об'єднуючи квіткові тони зі суміжними базовими кольорами в одному діапазоні;
- введення інформації про колір виконується не словесним чином (текстом або усно), а вибором діапазону колірних тонів на візуально відображеної шкалою колірних тонів, і це дозволяє уникнути індивідуальних відмінностей в розумінні колірних термінів природної мови.

Переклад зображення в колірну модель HSV обумовлений тим, що ця модель дуже зручна для пошуку на зображенні об'єктів за кольором.

Серед переваг моделі HSV можна виділити наступні:

- відділення колірного компонента у вигляді колірного тону, при цьому значення тону не залежить від змін інтенсивності зовнішнього освітлення, якщо воно є білим;
- зручність для вирішення проблеми іменування квітів за допомогою

природної мови, так як ця проблема дуже часто розглядається на основі моделей, де виділяються компоненти колірному тону і насиченості кольору, і навіть якщо застосовуються інші моделі, то все одно зазвичай виконується зіставлення з базовою моделлю Манселла, яка в зазначеному сенсі схожа на модель HSV.

Запропонований підхід до побудови моделі бази знань для мобільного робота, що функціонує в сільському господарстві дозволяє:

- створити базу знань для розпізнавання реальних об'єктів на основі НВ у вигляді нечітких причинно-наслідкових відносин між значеннями ознак об'єкта і розпізнаваними класами;

- перейти до реалізації механізму нечіткого виведення з використанням побудованої бази знань для отримання висновку про приналежність об'єкта, що характеризується спостережуваними ознаками, визначеному класу.

Завдяки підбору програмних засобів та розробленому алгоритму роботи інтелектуальної складової можливе проведення моделювання роботи мобільним роботом.

1.5 Класифікація баз знань

Залежно від рівня складності систем, у яких використовуються бази знань, розрізняють:

- бази знань всесвітнього масштабу – наприклад інтернет або Вікіпедія;
- бази знань національні – наприклад Вікіпедія;
- бази знань галузеві – наприклад автомобільна енциклопедія;
- бази знань організацій;
- бази знань експертних систем;
- бази знань спеціалістів.

Прості бази знань можуть використовуватися для створення експертних систем та зберігання даних щодо організації: документації, посібників, статей технічного забезпечення. Головна мета створення таких баз – допомогти менш

досвідченим людям знайти існуючий опис способу вирішення будь-якої проблеми предметної галузі (рис. 1.6).

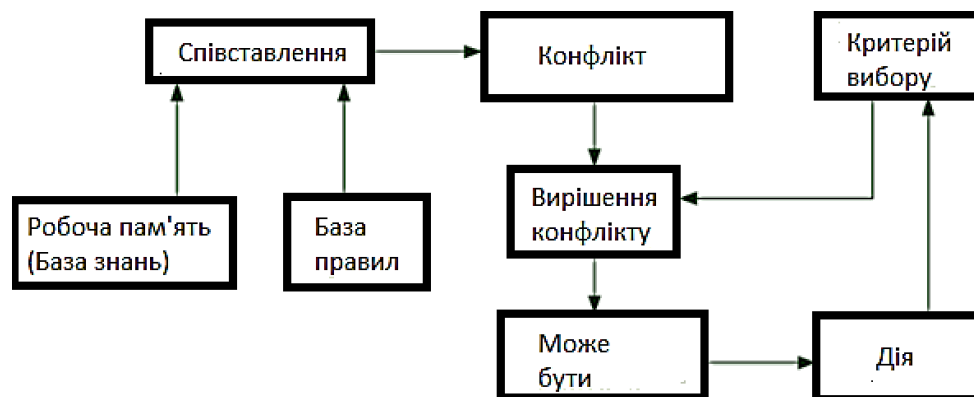


Рисунок 1.6 – Загальна характеристика баз знань.

Онтологія може бути представленням основою знань ієрархії понять та його відносин. Онтологія, що містить ще й екземпляри об'єктів не що інше, як основа знань.

База знань є важливим компонентом інтелектуальної системи. Найбільш відомий клас таких програм – експертні системи. Вони призначені для побудови способу вирішення спеціалізованих проблем, ґрунтуючись на записках БЗ і на опис користувача ситуації. Створення та використання систем штучного інтелекту вимагатиме величезних баз знань.

Інтелектуальна інформаційна система – це один із видів автоматизованих інформаційних систем, іноді ІС називають системою, заснованих на знаннях. ІС є комплексом програмних, лінгвістичних та логіко-математичних засобів для реалізації основного завдання: здійснення підтримки діяльності людини та пошуку інформації в режимі просунутого діалогу природною мовою.

ІС можуть розміщуватися на якому-небудь сайті, де користувач задає системі питання природною мовою (якщо це питально – відповідальна система) або, відповідаючи на питання системи, знаходить необхідну інформацію (якщо це експертна система).

Для розробки ІС раніше використовувалися логічні мови (Пролог, Лисп тощо), а зараз використовуються різні процедурні мови. Логіко-математичне

забезпечення розробляється як самих модулів систем, так стикування цих модулів. Однак на сьогоднішній день не існує універсальної логіко-математичної системи, яка б задовольнила потреби будь-якого розробника ПС, тому доводиться або комбінувати накопичений досвід, або розробляти логіку системи самостійно. У галузі лінгвістики теж існує безліч проблем, наприклад, для забезпечення роботи системи в режимі діалогу з користувачем природною мовою необхідно закласти в систему алгоритми формалізації природної мови, а це завдання виявилось набагато складнішим, ніж передбачалося на зорі розвитку інтелектуальних систем. Ще одна проблема – постійна мінливість мови, яка обов'язково має бути відображена у системах штучного інтелекту.

1.6 Висновки до першого розділу

Проведено аналіз сучасного стану інтелектуальних систем роботизованих комплексів у сільському господарстві при визначенні та ідентифікації об'єктів.

Практичне застосування цифрових агротехнологій і технічних засобів інтелектуальних складових, оснащених навігаційним і сенсорним керуючим обладнанням, дозволить здійснити перехід до інтелектуального управління технологічними процесами та продуктивність садових культур в промисловому садівництві і підвищити екологічну безпеку товарної продукції.

Проведено обґрунтування вибору елементів моделі бази знань інтелектуальної складової. Запропонований підхід до побудови моделі бази знань для мобільного робота, що функціонує в сільському господарстві дозволяє:

- створити базу знань для розпізнавання реальних об'єктів на основі НВ у вигляді нечітких причинно-наслідкових відносин між значеннями ознак об'єкта і розпізнаваними класами;

- перейти до реалізації механізму нечіткого виведення з використанням побудованої бази знань для отримання висновку про приналежність об'єкта, що характеризується спостережуваними ознаками, визначеному класу.

2 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ БАЗИ ЗНАНЬ ТА ВИБІР ОБЛАДНАННЯ

2.1 Розробка структурної схеми мобільного робота

Структурна схема інтелектуальної складової МР представлена на рис. 2.1.

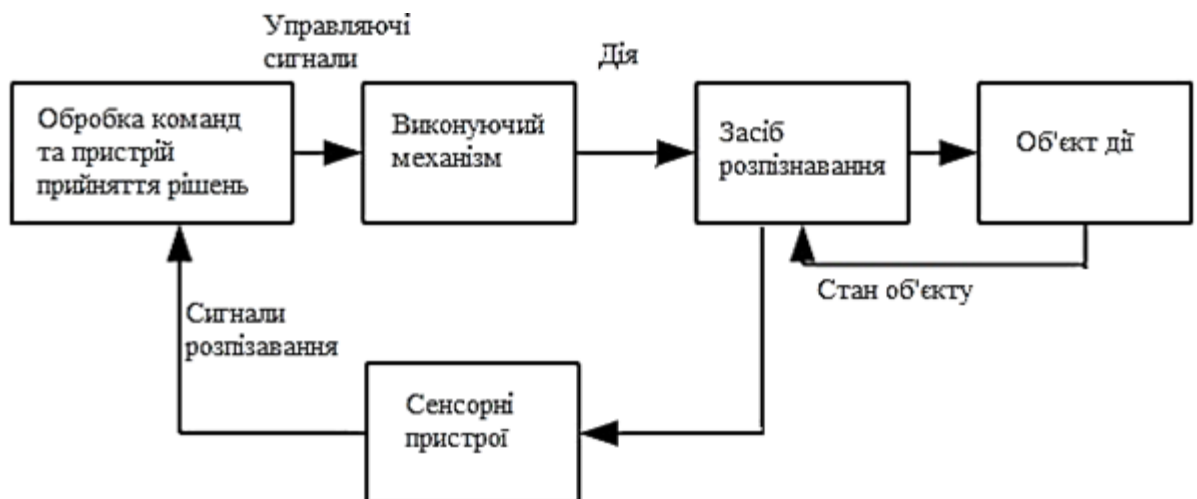


Рисунок 2.1 – Структурна схема інтелектуальної складової МР

Характерна особливість даної системи управління полягає в наявності функції розпізнавання об'єкта і його стану та у визначенні (на основі цієї інформації та отриманих від оператора команд) підлягають виконанню дій. Це значною мірою робить робот універсальним і здатним адаптуватися до навколишнього середовища, а також забезпечує простоту управління роботом.

Операції виконуються інтелектуальною складовою МР в наступній послідовності:

- складається план операцій;
- з урахуванням розпізнавання умов роботи і стану об'єкта визначається порядок дій;
- приводяться в дію виконавчі механізми робота.

Інтелектуальний робот повинен значною мірою володіти здатністю адаптації до навколишнього оточення. У цьому, зрозуміло, важливу роль

відіграють сенсорні пристрої, що сприймають зовнішню інформацію.

Сигнали, одержувані за допомогою сенсорних пристроїв, як правило, являють собою інформацію, відповідну якомусь «образу». Виходячи «з цієї інформації, можна виявити особливості об'єкта і зробити необхідні вимірювання образу.

У розпізнаванні об'єктів за допомогою пристроїв зору можна розрізнити розпізнавання самого об'єкта операції і розпізнавання сигналів відоператора.

Процес розпізнавання йде в наступній послідовності:

- попередня обробка (контурне зображення);
- розпізнавання;
- вимірювання.

У проблемі розпізнавання існує багато питань, що представляють великий інтерес, наприклад розпізнавання складних фігур, розпізнавання предметів в разі, коли деякі з них поставлені один на інший.

Для функціонування інтелектуального робота він повинен «розуміти» навколишнє оточення. Робот запам'ятовує реальний світ свого оточення у вигляді деякої моделі, але для оцінки навколишнього оточення одного зору виявляється недостатньо.

Інтелектуальний робот складає план операцій і виконує роботу на основі поданих базою знань команд і результатів розпізнавання. Команди, що подаються роботу, можуть мати саму різну форму: від простої і конкретної до досить абстрактної.

Що стосується методів використання результатів розпізнавання, то вони також можуть бути дуже різними: від зміни програм за допомогою найпростіших датчиків, що надають роботу деякі властивості адаптації, до автоматично виконуваного евристичного програмування.

2.2 Навчання бази знань

Основним методом навчання баз знань є машинне навчання.

Машинне навчання – великий підрозділ штучного інтелекту, що вивчає методи побудови алгоритмів, здатних навчатися. Розрізняють два типи навчання.

Навчання з прецедентів, або індуктивне навчання, засноване на виявленні закономірностей в емпіричних даних. Дедуктивне навчання передбачає формалізації знань експертів та його перенесення на комп'ютер як бази знань. Дедуктивне навчання прийнято відносити до галузі експертних систем, тому терміни машинне навчання та навчання за прецедентами можна вважати синонімами [24].

Машинне навчання знаходиться на стику математичної статистики, методів оптимізації та дискретної математики, але має також і власну специфіку, пов'язану з проблемами обчислювальної ефективності та перенавчання. Багато методів індуктивного навчання розроблялися як альтернатива класичним статистичним підходам. Багато методів тісно пов'язані з вилученням інформації, інтелектуальним аналізом даних.

Є безліч об'єктів (ситуацій) та безліч можливих відповідей (відгуків, реакцій). Існує певна залежність між відповідями та об'єктами, але вона не відома. Відома лише кінцева сукупність прецедентів – пара «об'єкт, відповідь», яка називається навчальною вибіркою. На основі цих даних потрібно відновити залежність, тобто побудувати алгоритм, здатний будь-якого об'єкта видати досить точну відповідь. Для вимірювання точності відповідей певним чином запроваджується функціонал якості.

Ця постановка є узагальненням класичних завдань апроксимації функцій (рис. 2.1). У класичних задачах апроксимації об'єктами є дійсні числа чи вектори. У реальних прикладних задачах вхідні дані про об'єкти можуть бути неповними, неточними, нечисловими, різнорідними. Ці особливості призводять до великої різноманітності методів машинного навчання (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Машинне навчання

Так як розділ машинного навчання, з одного боку, утворився в результаті поділу науки про нейромережі на методи навчання мереж та види топологій архітектури мереж, а з іншого, увібрав у себе методи математичної статистики, то наведені нижче способи машинного навчання виходять з нейромереж. Тобто базові види нейромереж, такі як перцептрон і багатошаровий перцептрон (а також їх модифікації) можуть навчатися як з вчителем, без вчителя, з підкріпленням, так і активно.

Але деякі нейромережі та більшість статистичних методів можна віднести лише до одного із способів навчання. Тому якщо потрібно класифікувати методи машинного навчання в залежності від способу навчання, то щодо нейромереж, не коректно їх відносити до певного виду, а правильніше класифікувати алгоритми навчання нейронних мереж (рис. 2.3) наступним чином:

а) навчання з вчителем – для кожного прецеденту задається пара «ситуація, потрібне рішення»:

- 1) метод корекції помилки;
- 2) метод зворотного розповсюдження помилки;

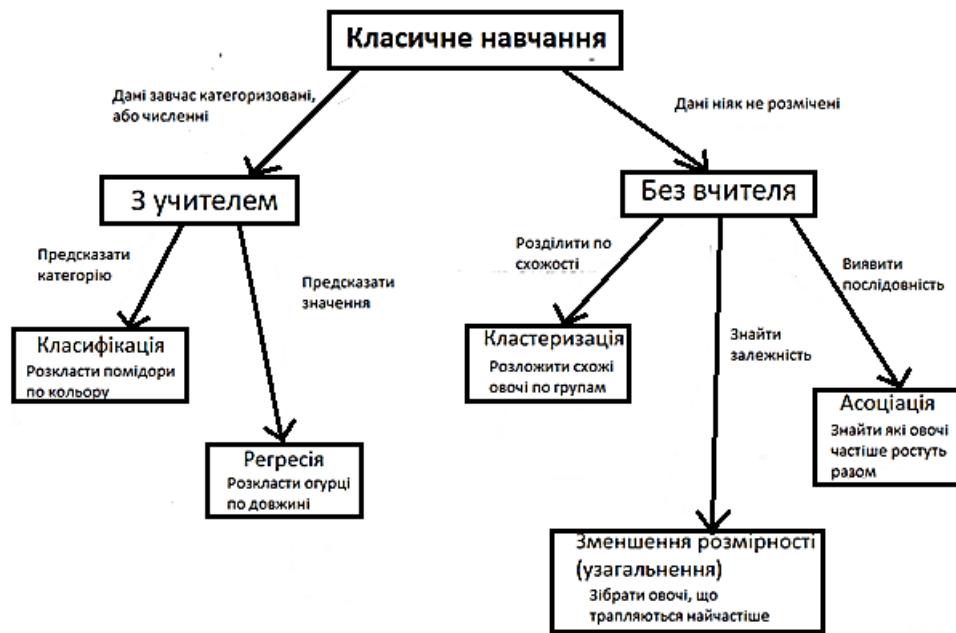


Рисунок 2.3 – Класичне навчання бази знань

б) навчання без вчителя – для кожного прецедента задається лише «ситуація», потрібно згрупувати об'єкти в кластери, використовуючи дані про попарну схожість об'єктів, та/або знизити розмірність даних:

- 1) альфа-система підкріплення;
- 2) гамма-система підкріплення;
- 3) метод найближчих сусідів;

в) навчання з підкріпленням – для кожного прецеденту є пара «ситуація, прийняте рішення»;

г) активне навчання – відрізняється тим, що алгоритм, що навчається, має можливість самостійно призначати наступну досліджувану ситуацію, на якій стане відома вірна відповідь;

д) навчання з частковим залученням вчителя (semi-supervised learning) – для частини прецедентів визначається пара «ситуація, необхідне рішення», а для частини – тільки «ситуація»;

е) трансдуктивне навчання (transduction) – навчання з частковим залученням вчителя, коли прогноз передбачається робити лише для прецедентів із тестової вибірки

є) багатозадачне навчання (multi-task learning) – одночасне навчання групі взаємозалежних завдань, кожної з яких задаються свої пари «ситуація, необхідне рішення»;

ж) багатоваріантне навчання (multi-instant learning) – навчання, коли прецеденти можуть бути об'єднані в групи, у кожній з яких для всіх прецедентів є «ситуація», але тільки для одного з них (причому, невідомо якого) є пара «ситуація, необхідне рішення».

Класичні завдання розв'язувані за допомогою машинного навчання:

– класифікація зазвичай виконується за допомогою навчання з учителем на етапі власне навчання;

– кластеризація зазвичай виконується за допомогою навчання без вчителя;

– регресія як правило, виконується за допомогою навчання з учителем на етапі тестування, є окремим випадком завдань прогнозування;

– зниження розмірності даних та їх візуалізація виконується за допомогою навчання без вчителя;

– відновлення щільності розподілу ймовірності набору даних;

– однокласова класифікація та виявлення новизни;

– побудова рангових залежностей.

Типи вхідних даних під час навчання:

– ознака об'єктів – найбільш поширений випадок;

– опис взаємовідносин між об'єктами, найчастіше відносини попарної подібності, що виражаються за допомогою матриці відстаней, ядер або графа даних;

– тимчасовий рядок або сигнал;

– зображення або відеоряд.

Типи функціоналів якості:

При навчанні з учителем – функціонал якості може визначається як середня помилка відповідей. Передбачається, що алгоритм повинен його

мінімізувати. Для запобігання перенаванчання в мінімізований функціонал якості часто в явному або неявному вигляді додають регулятор [25].

При навчанні без вчителя – функціонали якості можуть визначатися порізному, наприклад, як відношення середніх міжкластерних та внутрішньокластерних відстаней.

При навчанні з підкріпленням – функціонали якості визначаються фізичним середовищем, яке показує якість пристосування агента.

Практичні сфери застосування:

Метою машинного навчання є часткова або повна автоматизація вирішення складних професійних завдань у найрізноманітніших галузях людської діяльності:

- машинне навчання має широкий спектр додатків;
- розпізнавання мови;
- розпізнавання зображень;
- розпізнавання рукописного введення;
- технічна діагностика;
- медична діагностика;
- прогнозування тимчасових рядів;
- біоінформатика;
- виявлення шахрайства;
- виявлення спаму;
- категоризація документів;
- біржовий технічний аналіз;
- фінансовий нагляд;
- кредитний скоринг;
- передбачення догляду клієнтів;
- хемоінформатика.

Сфера застосування машинного навчання постійно розширюється. Повсюдна інформатизація призводить до накопичення великих обсягів даних у науці, виробництві, бізнесі, транспорті, охороні здоров'я. Виникають у своїй

завдання прогнозування, управління та прийняття рішень часто зводяться навчання по прецедентам. Раніше, коли таких даних не було, ці завдання або взагалі не ставилися або вирішувалися зовсім іншими методами.

2.3 Оболонка експертної системи для наповнювання бази знань, та встановлювати правил виведення

У експертних системах оболонки експертних систем – це програмне забезпечення, що містить інтерфейс, механізм виведення та відформатований каркас бази знань. По суті, оболонка експертної системи – це порожня чаша, яка має бути заповнена елементами експертних знань, які механізм виведення може обробити для користувачів. Експертні системи – це комп'ютерні програми, які надають допомогу у вирішенні проблем для конкретних проблем, яких користувачеві може знадобитися доступ, щоб вирішити, наприклад, складність у роботі програмного забезпечення. Інженер знань буде використовувати цю оболонку для розробки бази знань і налаштування її відповідно до потреб своєї конкретної клієнтської бази користувачів. Він буде налаштований так, щоб приймати введення користувача та інтерпретувати цю інформацію в сховищі даних і, для порівняння, знаходити відповідну інформацію, яка може допомогти користувачеві знайти рішення.

Поряд із керуючою інформацією, яка зберігається в базі знань, існують визначення правил та атрибутів, що регулюють видачу інформації користувачам. База знань складається з експертних тверджень, які імітують процес аналізу людського експерта у пошуках достатньої кількості знань задля досягнення рішення. Оболонки експертних систем повинні забезпечувати можливості підтримки роботи інженера з розробки бази знань, яка може функціонувати як експертна система в реальному часі. У такій експертній системі база може постійно змінюватись при видаленні або додаванні даних, оскільки згодом змінюються промислові системи, мережі, апаратні та програмні системи. Ця постійна зміна введення даних з інших систем

управління не порушує здатність бази розмірковувати на тому ж рівні експертів, незалежно від змін.

Оболонки експертних систем забезпечують імітацію людських експертних міркувань у методах правил, відомих як пряма та зворотна побудова ланцюжків (рис. 2.4). Пряме зв'язування в цих оболонках дозволяє отримувати дані від користувача та використовувати правила механізму логічного виведення, щоб знайти більше даних щодо цієї інформації, доки не буде достатньо інформації для формування висновку. Оскільки вихідні дані є тим, що керує пошуком, цей метод називається методом, керованим даними. Програма, яка ілюструє цей метод прямого ланцюжка, може досліджувати можливість розміщення компонентів на комп'ютері для досягнення найкращого розміщення компонентів.



Рисунок 2.4 – Оболонка експертної системи

Зворотний ланцюжок збирає дані лише за необхідності, коли база знань запитується на консультації. Мета полягає в тому, щоб знайти значення для S і причини зворотного, щоб виявити значення A і B , які завершують цільове значення S . Цей метод міркування від даних до попередніх даних, який був основою даних, називається керований метод. Додаток, що ілюструє правила виведення оболонок експертної системи, може включати лікаря, який вводить поточний набір симптомів для довідкової інформації про ті ж чи подібні

симптоми довідкової інформації з конкретної експертної системи медичної діагностики.

Очікувані знання отримують шляхом вивчення існуючих фактів, щоб отримати ймовірну нову інформацію. Це процес міркування, який використовується у механізмі логічного виведення в оболонках експертних систем. Саме цей процес ініціює прямий або зворотний ланцюжок в експертних системах на основі правил. Правила виведення, які будують механізми виведення в оболонках експертної системи, складаються з умовних пропозицій «якщо» та «потім» у ухвалах, що полегшують керівництво кроками. Ці кроки можуть бути, зокрема, у сфері фінансових послуг, людських ресурсів та обробки іпотечних кредитів, щоб спробувати знайти практичні правила як ймовірні рекомендації, коли остаточна відповідь неможлива.

2.4 Етапи побудови систем штучного інтелекту, ідентифікації, концептуалізації, формалізації, реалізації та тестування

Етап 1. Ідентифікація.

Визначаються завдання, що підлягають вирішенню. Планується хід розробки прототипу експертної системи, визначаються: необхідні ресурси (час, люди, тощо), джерела знань (книги, додаткові фахівці, методики), наявні аналогічні експертні системи, цілі (поширення досвіду, автоматизація рутинних дій та ін.), класи розв'язуваних завдань тощо. Етап ідентифікації – це знайомство та навчання колективу розробників. Середня тривалість 1–2 тижні.

На цьому етапі розробки експертних систем проходить вилучення знань. Інженер знань допомагає експерту виявити і структурувати знання, необхідні для роботи експертної системи, з використанням різних способів: аналіз текстів, діалоги, експертні ігри, лекції, дискусії, інтерв'ю, спостереження та інші. Вилучення знань – це отримання інженером за знаннями повнішого ставлення до предметної області і методи прийняття рішення у ній. Середня тривалість 1–3 місяці.

Етап 2. Концептуалізація.

Виявляється структура отриманих знань про предметну область. Визначаються: термінологія, перелік основних понять та його атрибутів, структура вхідний і вихідний інформації, стратегія прийняття рішень тощо. Концептуалізація – це розробка неформального описи знання предметної області як графа, таблиці, діаграми чи тексту, яке відбиває основні концепції та взаємозв'язку між поняттями предметної області. Середня тривалість етапу 2–4 тижні.

Етап 3. Формалізація.

На етапі формалізації всі ключові поняття та відносини, виявлені на етапі концептуалізації, виражаються деякою формальною мовою, запропонованою (обраною) інженером за знаннями. Тут він визначає, чи підходять наявні інструментальні засоби для вирішення проблеми або потрібен вибір іншого інструментарію, або потрібні оригінальні розробки. Середня тривалість 1–2 місяці.

Етап 4. Реалізація.

Створюється прототип експертної системи, що включає основу знань та інші підсистеми. На даному етапі застосовуються наступні інструментальні засоби: програмування звичайними мовами (Паскаль, Сі та ін.), програмування спеціалізованими мовами, що застосовуються в завданнях штучного інтелекту (LISP, FRL, SmallTalk та ін.) та ін. Четвертий етап розробки експертних систем Якоюсь мірою є ключовим, тому що тут відбувається створення програмного комплексу, що демонструє життєздатність підходу загалом. Середня тривалість 1–2 місяці.

Етап 5. Тестування.

Прототип перевіряється на зручність та адекватність інтерфейсів введення-виведення, ефективність стратегії управління, якість перевірочних прикладів, коректність бази знань. Тестування – це виявлення помилок у вибраному підході, виявлення помилок у реалізації прототипу, і навіть

вироблення рекомендацій щодо доведення системи до промислового варіанту [26].

Експерт і спеціаліст по знанням вносять знання, та інструкції з інформацією в модуль створення системи. Знання потрапляють в базу знань. Мобільний робот наповнює базу даних, інформація з бази даних потрапляє в інтерпретатор, отримує знання та інструкції, та повертає вже рішення і пояснення в базу даних на мобільний робот (рис. 2.5).

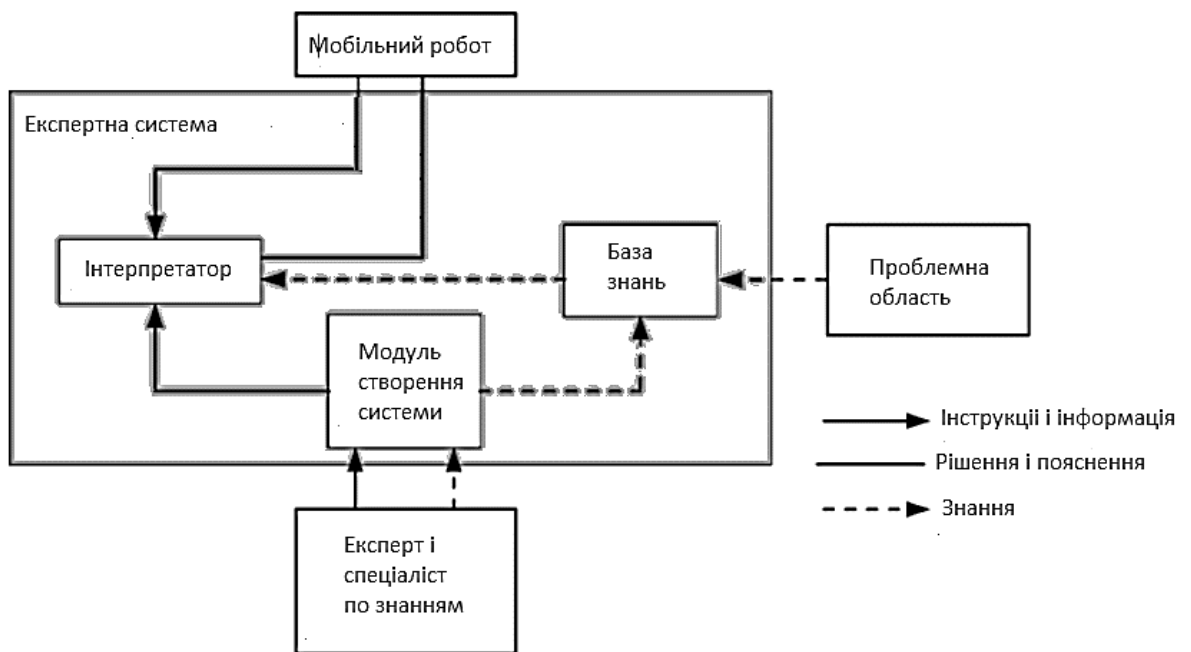


Рисунок 2.5 – Структурна схема взаємодії бази знань з мобільним роботом

Принцип побудови продукційних правил. При діагностуванні підсистеми, вхідні значення перевіряються відповідно значення параметра діагностування еталонним значенням, якщо помідор відповідає діапазону «Здоровий » відповідно.

Так як виміряти параметри діагностування безпосередньо на помідорі складно, для визначення його станів використовуються вихідні сигнали окремих блоків Z_i (3.1):

$$Z_{iH} \leq Z_i \leq Z_{iB}, \quad (2.1)$$

де Z_{iH} і Z_{iB} – нижнє та верхнє допустимі значення параметра.

Для формування продукційних правил використовуються бінарні ознаки x_i , що визначаються таким чином:

$$x_i = \begin{cases} 1 & \text{якщо } z_i \in z_{iH} \leq z_i \leq z_{iB} \\ 0 & \text{якщо } z_i \notin z_{iH} \leq z_i \leq z_{iB} \end{cases} \quad (2.2)$$

Таким чином, якщо параметр відповідає еталонним значенням, він дорівнює 1, а якщо не відповідає, то 0.

2.5 Середина інтелектуального аналізу даних

Реляційна база даних – база даних, що базується на реляційній моделі даних. Реляційна база даних створюється і потім управляється за допомогою спеціальних засобів – реляційних систем управління базами даних (РСУБД).

Поєднання прецедентного аналізу ретроспективних даних з можливостями прогностичних методів дозволяє розглядати засоби інтелектуального аналізу даних як складову та найбільш важливу частину систем підтримки прийняття рішень, здатних здійснювати підготовку та кількісну оцінку можливих варіантів рішень.

OLTP–системи є базами даних, які реалізуються, як правило, на основі стандартних систем управління базами даних. Якщо OLTP-систему використовувати для обробки ретроспективної інформації, виникає ряд складностей:

– розподілене зберігання в декількох різномірних БД істотно ускладнює комплексне використання цих даних через складність їх одночасної вибірки з

декількох джерел, можливих перетинів перелік нею збережених даних та порушень їх узгодженості (цілісності);

- зберігання ретроспективних даних різко збільшує обсяг БД і знижує її швидкодію;

- глибина ретроспективного аналізу визначається обмеженнями, прийнятими для тривалості періоду архівного зберігання даних.

У зв'язку з цим ретроспективні дані виділяються з БД з поточними даними і розміщуються в сховищі даних.

Сховище даних (Data Warehouse) – предметно орієнтований, інтегрований, не мінливий, що підтримує хронологію набір даних, організований для цілей підтримки управління. В силу величезної кількості інформації в сховищі даних потрібне введення високошвидкісних методів доступу до даних. Ці методи складають технологію оперативної аналітичної обробки даних (OLAP) і значно відрізняються від методів, що використовуються в сховищі даних (рис. 2.6).

До основних переваг сховища даних відносять:

- єдине джерело вивіреної інформації для інформаційної середовища з єдиним інтерфейсом, уніфікованими структурами зберігання, спільними довідниками та іншими корпоративними стандартами, де будуватимуться всі довідково аналітичні додатки предметної області;

- фізичні структури сховища оптимізовані для виконання довільних вибірок, що дозволяє будувати швидкі системи запитів;

- інтеграція даних з різних джерел вже виконана і тому не треба щоразу проводити з'єднання даних для просування інформації з декількох джерел;

- інформаційне сховище даних націлене на довгострокове зберігання інформації за період 10–15 років з адаптацією збереженої інформації до змін структури та параметрів: є можливість здійснювати історичний аналіз інформації;

- поділ інформаційного сховища та OLTP-систем істотно знижує навантаження на OLTP-системи з боку аналітичних додатків.

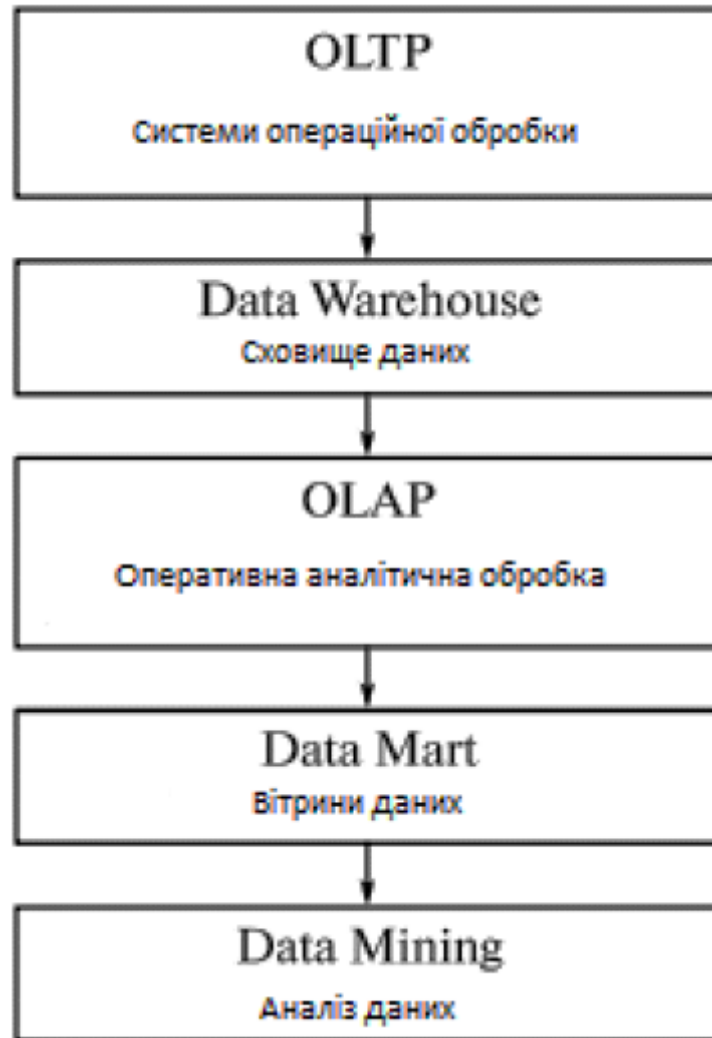


Рисунок 2.6 – Сукупність середовищ автоматизованих інформаційних систем

Сховища даних використовують багатовимірну модель даних, яка має три різновиди: MOLAP, ROLAP, HOLAP.

MOLAP передбачає формування так званого багатовимірного куба (гіперкубу). Прикладом куба може бути система прямокутних координат, по осях якої відкладаються шифри документів, індекси, але в їх перетин знаходиться числове значення. (На практиці багатовимірна модель застосовується в автоматизованих інформаційних систем , у яких по кожній із семи (десяти) координат фіксуються цифри від 0 до 9).

Кожна координата куба – вимір. Вимірювання реалізуються з допомогою індексів, які дозволяють різко збільшити швидкість доступу до даних. За різними оцінками швидкість доступу в багатовимірну модель даних в 10–100 разів вище, ніж у реляційних моделях даних. Значення результату в багатовимірній моделі міститься на перетині (у комірці) відповідних вимірювань [27].

Аналогом такої моделі можна вважати завдання функції, наприклад, $z = f(x, y)$. У багатовимірній моделі даних координати x та y суть виміру, а z – значення-результат. Як і функції декількох змінних, в багатовимірній моделі даних має бути передбачена можливість «руху» як усередині одного виміру, і переходу з одного виміру в інший (наприклад, від «лінії» до «площини»).

За підвищену швидкість доступу доводиться «платити» збільшеним обсягом пам'яті. Співвідношення між корисним і потрібним об'ємами пам'яті в багатовимірній моделі даних у 5–10 разів більше, ніж у реляційній моделі даних. Крім того, у багатовимірній моделі даних є багато порожніх осередків і потрібні спеціальні ефективні програми зберігання значення NULL. Бажано видаляти порожні осередки. У багатовимірній моделі виконуються чотири основні операції: агрегація (згортка) даних; дезагрегація (деталізація) даних; переріз (при фіксованих значеннях одного або кількох вимірювань); обертання (для двовимірного випадку це аналог транспонування матриці).

У ROLAP використовуються реляційні «складові» з двома типами таблиць. Основною є фактографічна таблиця, в якій власне і зберігаються дані. Їй підпорядковано кілька довідкових таблиць, кожна з яких характеризує одну з розмірностей куба. Можливі дві схеми структури: «сніжинка» та «зірка». У «сніжинці» довідкові таблиці мають додаткові підпорядковані їм таблиці. У «зірці» довідкові таблиці немає підпорядкованих таблиць. При використанні схеми «зірка» необхідно провести денормалізацію даних.

Порівняння MOLAP та ROLAP дає такі результати:

– MOLAP має високу швидкодію, але виникають проблеми зі зберіганням великих обсягів даних;

– ROLAP не має обмежень на обсяг даних, однак має набагато меншою швидкодією.

HOLAP поєднує переваги MOLAP та ROLAP. Справа в тому, що всі дані сховища даних одночасно ніколи не потрібні. Кожен раз використовується лише їхня частина. У зв'язку з цим доцільно дані розділити на предметні підобласті, які називають кіосками (магазинами, вітринами) даних.

Для використання в мобільному роботі Реляційна база даних підходить повною мірою. Позитивні моменти, що вплинули на її вибір:

- простота і доступність для розуміння користувачем. Єдиною використаною інформаційною конструкцією є «таблиця»;
- суворі правила проектування, що базуються на математичному апараті;
- повна незалежність даних. Зміни у прикладній програмі при зміні реляційної БД мінімальні;
- для організації запитів та написання прикладного ПЗ немає необхідності знати конкретну організацію БД у зовнішній пам'яті.

До недоліків реляційної моделі можна віднести:

- далеко не завжди предметна область може бути представлена у вигляді «таблиць»;
- в результаті логічного проектування з'являється множина «таблиць». Це призводить до труднощів розуміння структури даних;
- БД займає відносно багато зовнішньої пам'яті;
- відносно низька швидкість доступу до даних.

2.6 Програмна середа розробки бази знань.

Є декілька найбільш поширених універсальних моделей бази знань:

- продукційна модель;
- логічна модель;
- фреймова модель;
- семантична мережа.

Існують різні програмні засоби реалізації перерахованих моделей уявлення знань (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Порівняльна характеристика програмних оболонок для створення бази знань

Ознака	Exsys Corvid	Flex	Crystal	Comdale
Представлення знань	Правила виду: "Якщо ..., то..." з вказанням долі імовірності	Правила, фрейми	Правила, фрейми	Правила, фрейми
Кількість правил	≤ 120 правил	Не обмежено	≤ 300 правил	Не обмежено
Вартість повної версії	30\$	1000\$	250\$	495\$
Наявність демо версії	+	-	+	-

За ступенем проблемної орієнтованості і, отже, зменшення витрат, необхідних для побудови експертних систем, їх можна розташувати у такому порядку:

а) універсальні мови програмування (Паскаль, 3, 3++); використовуються, як правило, не для створення експертних систем, а для створення інструментальних засобів;

б) мови штучного інтелекту (Лісп – орієнтований на обробку списків, Пролог – мова логічного програмування, РЕФАЛ – мова рекурсивних функцій);

в) мови уявлення знань (ROSIE, OPS5 – підтримують продукційний підхід до представлення знань, KRL та FRL – фреймове подання знань);

г) оболонки експертних систем загального призначення – спеціалізовані програмні системи, в яких відсутні тільки знання про конкретну предметну область і містяться всі інші компоненти експертних систем (KAS, TEIRESIAS, GURU);

д) проблемно/предметно-орієнтовані оболонки та середовища:

1) проблемно-орієнтовані засоби – призначені для вирішення завдань певного класу (завдання пошуку, управління, планування, прогнозування та ін);

2) предметно-орієнтовані засоби – включають знання про типи предметних областей, що скорочує час розробки бази знань;

е) вбудовані гібридні інтелектуальні середовища – включають до свого складу кілька різнорідних засобів представлення даних та знань, і багатший, порівняно з оболонками, набір коштів для організації інтерфейсу (LOOPS, ART, КЕЕ, G2).

Серед основних існуючих експертних оболонок систем загального призначення можна зазначити наступні:

- Flex;
- Cristal;
- Comdale;
- Exsys Corvid.

Оболонка Flex – може встановлюватися як на персональних комп'ютерах, так і комп'ютери у лабораторіях. Застосовується зазвичай у комерційному середовищі, наприклад, експертна система з нарахування пенсії. Для роботи з користувач використовується простий інтерфейс, який підтримує найпростіші у створенні бази знань. Основною особливістю є: система пропонує фреймове, процедурне та продукційне представлення знань. Flex чергує прямий і зворотний методи пошуку рішень, множина успадкування властивостей, приєднаних процедур; організує автоматичну систему питань та відповідей.

Оболонка Cristal – можливе встановлення на персональні комп'ютери. Операційні системи для роботи цієї оболонки: MS Windows, Unix, MS – Dos. Робота з користувачем здійснюється через візуальний інтерфейс. До складу оболонки увімкнена велика бібліотека вбудованих функцій. Інтерфейс розробника бази знань включає меню, редактор баз знань, графічні засоби, засоби підготовки текстових файлів та екранів, засоби трасування та

налагодження. Можлива побудова ієрархічних баз знань, що взаємодіють через файли імпорту та експорту, що дозволяє збільшити базу знань.

Оболонка Comdale – працює під операційними системами: DOS, OS/2, MS Windows. Робота можлива на комп'ютерах виробництва, не призначений для персонального використання. Наприклад, для спостереження та контролю за процесами за умов виробництва. Для прийняття рішення система організує діалог з користувачем через гипер-довідники з зручним інтерфейсом. Особливостями системи є: об'єктно-орієнтована конфігурація; можливість організації роботи у мережі; обробка переривань; зберігання та обробка даних; підтримує роботу з базою даних у реальному масштабі часу, та інтерфейс із системою передачі даних та іншими пристроями введення-виводу, що дозволяє увімкнути гіпертекст.

Оболонка Exsys Corvid – для роботи системи потрібні комп'ютери, з операційними систем: MS-DOS, MS Windows, Macintosh, Unix. Застосовується для створення ЕС у будь-якій предметній області, може бути реалізована на будь-якому комп'ютер, у тому числі персональний. Зручний інтерфейс користувача, в якому можна налагодити та протестувати експертну систему. Особливості системи: правила створюються із зазначенням частки ймовірності, яку задає експерт; підтримується зворотний висновок від фактів до мети [28].

Враховуючі значення у попередній таблиці, можна помітити, що для використання в освітньому процесі програма-оболонка Exsys Corvid підходить повною мірою. Позитивні моменти, що вплинули на її вибір:

- є демо-версія програми;
- кількість правил достатньо для експертних систем, які створюються під час вивчення дисципліни;
- дозволяє встановлювати її на персональні комп'ютери;
- експертна система у Exsys Corvid будується на правилах виду "Якщо..., то..." (продукція).

Система Exsys, як і будь-яка експертна система, має можливість пояснення одержаних результатів. При необхідності можна з'ясувати весь

перебіг обчислень, до вихідних даних. Система Exsys у процесі пошуку рішення здатна виконувати ряд обчислювальних завдань, але деякі завдання виходять за рамки його можливостей. У Exsys є можливість виклику зовнішніх програм виконання обчислень. Зовнішні програми можуть передавати дані Exsys через БД або spread sheet. Exsys може викликати майже всі MSDOS-програми як зовнішніх програм.

У Exsys Corvid використовують змінні кількох типів залежно від типу даних, що вони представляють.

Для експертної системи, яка створюється в рамках курсу, знадобляться тільки два види змінних:

– Static List Variable – змінні зі статичним переліком значень – змінні, що приймають значення із заздалегідь визначеного списку, наприклад, список множинного вибору;

– Confidence Variable – довірчі змінні – змінні, використовуються для представлення рекомендацій, які видаватиме система.

З довірчими змінними Confidence Variable асоціюється довірче значення (ступінь впевненості), яке показує, ґрунтуючись на введених користувачем даних, наскільки достовірна та чи інша рекомендація.

Змінні зі статичним списком значень можуть приймати як єдине, і кілька значень. Для вибору лише одного з перерахованих значень змінної Static List Variable існує декілька методів.

Наприклад, на закладці Options є кнопка-перемикач Allow only a single value to be set» – «Дозволити лише одне значення». Виділення цієї опції встановлює кнопки-перемикачі – "radio buttons" – для введення єдиного значення, щоб виключити вибір кількох варіантів користувачем.

Після додавання всіх змінних із вибраними властивостями потрібно перейти до створення логічного блоку.

Логічний блок може містити одне або кілька логічних дерев та/або правил. Вся система може бути побудована за допомогою кількох логічних блоків. Окремі логічні блоки дозволяють згрупувати дерева та правила, що

відносяться до будь-якого аспекту вирішуваної проблеми. Коли відкривається нове вікно "Logic Block", воно отримує ім'я "Logic Block #", де # - це номер логічного блоку. Змінювати це ім'я не обов'язково, але якщо в системі використовується більше одного логічного блоку, краще перейменувати логічний блок так, щоб його ім'я відбивало вирішуване підзавдання.

Для створення правил експертної системи необхідно вибрати змінні, які відносяться до них та за допомогою кнопки «Add Each Individually» зробити зв'язок цих змінних. Далі переходимо до створення рекомендацій.

Довірчі змінні мають багато застосувань у Exsys Corvid, але найчастіше вони використовуються для представлення можливих рекомендацій ЕС. Довірчі значення, що присіваються змінним, також можуть використовуватися у різний спосіб для побудови імовірнісних систем.

Для роботи системи потрібно створити командний блок. Для цього необхідно вибрати пункт "Command Block" у меню "Windows" або натиснути кнопку на панелі інструментів. На екрані з'явиться вікно додавання командні блоки. Щоб використати стандартну форму відображення необхідно вибрати варіант "Display Default Results Screen".

Після створення всіх блоків, правил, змінних можна перейти до запуску експертної системи Для цього необхідно натиснути відповідну кнопку на панелі інструментів та почати сеанс консультації. Результат консультації буде представлено у вигляді вікна Internet Explorer, за допомогою використання Java-applets.

Перед початком формування необхідної бази знань експерт за допомогою меню File має підключити файл із онтологіями. Списки параметрів, що його цікавлять, які будуть використані при складанні правил стануть доступні. Вікно, з яким пропонується працювати експерту, складається з двох частин. Верхня частина вікна призначена для введення лівої частини правила (антецедента), що містить поля введення Slot, Option, IS для введення відповідно атрибу та ситуації, відношення і значення. Ці поля відповідають одному умовному елементу в правилі і повинні транслюватися у відповідну

синтаксису базу знань CLIPS конструкцію `defrule`. Нижня частина вікна містить поле `Solution` для введення рішення, яке має поміщатися у праву частину (консеквент) правила.

Формування правила починається із заповнення полів, що входять до антецедента. Для цього експерт повинен вибрати в полі `Slot` цікавий його параметр із запропонованого списку, визначеного онтологією. Заповнення починається з першого пропонованого списку, інакше правило не буде збережено. Якщо значення параметра не є істотним, експерт має можливість вибрати в списку запропонованих йому параметрів порожнє поле, що дозволить сформуванню менше за довжиною правило.

Вибравши необхідні параметри, експерт переходить до заповнення поля `Option`. Вибір параметра в полі `IS` як допустимого параметра, вибраного в полі `Slot`. Наприклад, під час керування мультисервісною мережею для параметра Помидор (тип сеансу) експерт матиме можливість вибрати зі списку значення кольорів: червоний, зелений, синій.

У нижній частині графічного інтерфейсу експерт вибирає дію, яку необхідно виконати в даній ситуації. В разі прямого управління задається керуюча дія, яка має бути безпосередньо видано на мережевий елемент. При роботі в режимі підтримки прийняття рішень консеквент правила може містити ранжовану безліч рекомендацій, що видаються на консоль оператора (АРМ ЛПР).

Кнопка `Save Rule` використовується для додавання правила до БЗ. Процес установки та початкового налаштування СППР проводиться в кілька етапів. Основними з них є:

- конфігурування «оболонки» СППР відповідно до вимог конкретної прикладної області;
- адаптація СППР до конкретної предметної галузі;
- початкове формування та поповнення баз даних та знань прикладної СППР;

– тестування та перевірка адаптованої для конкретного застосування СППР.

Процедура конфігурування «оболонки» СППР відповідно з вимогами конкретної прикладної області стає можливим завдяки модульній побудові СППР.

Спочатку ця процедура здійснюється на етапі встановлення ПЗ СППР. Користувач може самостійно вибрати ті чи інші компоненти для включення в робочу конфігурацію та встановлення на відповідні обчислювальні засоби. Це стосується установки як окремих функцій АРМ, що входять до складу СППР, алгоритмів прийняття рішень, різних сервісних функцій, так і деяких АРМ цілком. Однак обов'язковою є установка, як мінімум, двох АРМ: АРМ особи, яка приймає рішення, та АРМ експерта.

У ході адаптації СППР до конкретної предметної області здійснюється підключення необхідних бібліотек об'єктів, що використовуються в керованій системі, їх властивостей, відносин між ними, правил взаємодії. Здійснюється підключення відповідних розділів баз знань і баз прецедентів, що використовуються при виробленні рішень.

Початкове формування баз даних передбачає виконання за допомогою програмного інструментарію АРМ експерта наступних дій:

- візуальне моделювання керованого об'єкта;
- складання мнемосхеми, що відображає процеси, що протікають в об'єкті керування;
- завдання властивостей та параметрів конкретних об'єктів;
- завдання зв'язків між конкретними об'єктами та їх характеристиками;
- формування правил логічного виведення та прийняття рішень;
- завдання правил прогнозування розвитку ситуацій.

У ході роботи СППР передбачено можливість внесення змін, викликаних зміною топології об'єкта управління та правил, у відповідні розділи БД та бази знань.

Заповнення та ведення бази прецедентів здійснюються автоматично на підставі досвіду самої СППР при штатному функціонуванні.

Збір діагностичної інформації в СППР, що розробляється реалізований програмними засобами стороннього розробника EXPRO.

Вибрано продукційна модель бази знань. Вибір цієї моделі обумовлений такими її особливостями:

- переважна частина людських знань може бути записана у вигляді продукції;
- системи продукції є модульними. За невеликим винятком видалення та додавання продукції не призводить до змін в інших продукціях;
- при необхідності системи продукцій можуть реалізовувати будь-які алгоритми і, отже, здатні відображати будь-яке процедурне знання;
- наявність у продукціях показників на сферу застосування продукції дозволяє найбільш ефективно організувати пам'ять, скоротивши час пошуку в ній необхідної інформації. Класифікація сфер може бути багаторівневою, що ще більше підвищує ефективність пошуку знань, оскільки дозволяє успадковувати інформацію у БЗ;
- при об'єднанні систем продукцій та мережевих уявлень виходять кошти, що мають велику обчислювальну потужність;
- природний паралелізм у системі продукцій, асинхронність їх реалізації роблять продукційні системи зручною моделлю обчислень для ЕОМ нової архітектури, у якій ідея паралельності та асинхронності є центральною.

Продукційні моделі мають принаймні два недоліки:

- при великому числі продукцій перевірка несуперечності системи продукції стає складною. Це змушує при додаванні нових продукцій витратити багато часу на перевірку несуперечності нової системи;
- через властивій системі недетермінованості (неоднозначного вибору продукції з безлічі активізованих продукцій) виникають важливі проблеми при перевірці коректності роботи системи.

Продукційні моделі мають принаймні дві вади. За великої кількості продукцій стає складною перевірка несуперечності системи продукції. Це змушує при додаванні нових продукцій витратити багато часу на перевірку несуперечності нової системи. Через властивій системі недетермінованості (неоднозначного вибору продукції з фронту активізованих продукцій) виникають важливі проблеми під час перевірки коректності роботи системи. Вважається, що якщо кількість продукцій в ІС досягає тисячі, то мало шансів, що система продукцій завжди буде функціонувати правильно. Саме тому кількість продукцій, з якою, як правило, працюють сучасні ІВ, не перевищує тисячі.

Слід очікувати, що теорії продукційних систем з'являться не раніше, ніж буде створено ефективні теорії паралельних інформаційних процесів. Але деякі результати можна отримати на основі існуючих методів оптимального управління, ввівши ряд обмежень на розуміння продукції та систем продукцій.

Інша проблема практичного застосування продукційних моделей - перехід від статичних систем до динамічних, що змінюють склад продукцій у системі або перебудовують алгоритм управління вибором продукції з фронту готових продукцій залежно від поточних ситуацій. Такі системи продукції називаються адаптивними або системами продукції реального часу. У багатьох додатках швидкість спрацьовування продукції має вирішальне значення. Досягти цього можна лише за рахунок гнучкого набору стратегій управління, серед яких мають бути стратегії різного рівня складності та швидкості спрацьовування. Низка авторів вважає, що прототипом такого управління може стати управління, яке було використане у програмі гри у шашки. Її ідеї були реалізовані в проекті CONSIM (CONflict SIMulator – моделювання конфліктів), який ставив за мету розробку системи продукційних правил для прийняття рішень під час управління повітряним боєм. Для цього проекту свого часу було створено систему EMULAR, що реалізує ряд функцій динамічної продукційної системи. На підвищення швидкості роботи таких систем розроблялися спеціальні засоби апаратної підтримки.

Проте продукційна модель і сьогодні залишається найпопулярнішою у СП. У різних випадках вона використовується також у композиції з іншими моделями представлення знань (мережі, кадри, об'єктно-орієнтовані моделі).

2.7 Висновки до другого розділу

Для створення бази даних експертних систем на тему «Дистанційний модуль управління мобільним роботом сільськогосподарського призначення КПЗ Дослідження інтелектуальної складової мобільного робота сільськогосподарського призначення» вивчено та проаналізовано кілька програм-оболонок для створення універсальних моделей уявлення знань. Для використання в освітньому процесі програма-оболонка Exsys Corvid підходить повною мірою. Для створення навчальних експертних систем на тему «Логічні моделі уявлення знань, обчислення предикатів» проведено кілька порівнянь.

3 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СКЛАДОВОЇ МОБІЛЬНОГО РОБОТА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

3.1 Мова програмування

Мова програмування Пролог може застосовуватися для реалізації логічних моделей уявлення знань. Далі розглянемо особливості цієї логічної мови до створення навчальних експертних систем.

Пролог – це логічна мова програмування, яка ґрунтується на логіці предикатів першого ладу. Назва мови – Пролог – скорочення, що означає "програмування в термінах логіки".

Ідея використовувати логіку як мову програмування виникла вперше на початку 70-х років. Першими дослідниками, які розробляли цю ідею були Роберт

Ковальський з Единбурга (теоретичні аспекти), Мартен ван Емден з Единбургу (експериментальна демонстраційна система) та Ален Колмерое з Марселя (реалізація). На сьогоднішній день популярність Прологу багато в чому зобов'язана ефективній реалізації цього мови, отриманої в Единбурзі Девідом Уорреном у середині 70-х років. Оскільки Пролог сягає своїм корінням в математичну логіку, його викладання часто починають із викладу логіки.

В даний час Пролог, незважаючи на неодноразові песимістичні прогнози, продовжує розвиватися в різних країнах та вбирає в себе нові технології та концепції, а також парадигми імперативного програмування. Зокрема, один із напрямків розвитку мови (у тому числі і в Україні) реалізує концепцію інтелектуальних агентів.

Говорячи про сфери застосування Прологу, слід зазначити, що він слабкий пристосований для вирішення завдань, пов'язаних з обробкою графіки, обчисленнями чи чисельними методами.

Разом з тим він з успіхом може використовуватися в алгебрі, яка в на відміну від чисельних методів, що займається реалізацією аналітичних методів вирішення математичних завдань на комп'ютері і припускає, що вихідні дані, як і результати рішення, сформульовані в аналітичному вигляді.

Пролог знайшов застосування і в ряді інших областей, наприклад, при розв'язанні задач складання складних розкладів. Він використовується в різних системах, але зазвичай не як основний, а як мова для розробки деякій частині системи. Завдяки цій мові програмування створено багато програм. Наприклад, у ряді авіаційних компаній для управління рухом літаків та регулювання завантаження авіаліній. Інший приклад: STAFF, який застосовується багатьма фірмами, зокрема McDonalds, оптимального розміщення персоналу.

Характеристика мови включає наступні основні поняття: факти, правила логічного висновку та запити, що дозволяють створювати бази знань, процедури логічного висновку та прийняття рішень

Програма на Пролозі описує відносини, що визначаються за допомогою пропозицій. Як і в будь-якій іншій мові, орієнтованій на символічні обчислення, пропозиції вибудовуються з термів, які у свою чергу поділяються на атоми, числа, змінні та структури. Атом записується з малої літери або в лапках, коли потрібно записати з великої букви:

- atom;
- 'Atom'.

Змінні, що записуються з великої літери, відрізняються від змінних у процедурних мовах програмування, вони пов'язані з конкретної осередком пам'яті, а скоріше ближче до математичної змінної:

- X is 2+2.

Структури є сукупністю термів, укладені в круглі дужки, у тому числі інші структури. Структура позначається ім'ям (функтором), яке розташовується перед круглими дужками:

- book('Назва', '2019', 'Харків', authors('Перший автор', 'Другий автор')).

Ще однією конструкцією є списки, елементи яких укладаються у квадратні дужки. В основі списків Пролог лежать зв'язкові списки:

– List = [a, b, [c, d], e].

Правила в Пролозі записуються у формі правил логічного висновку з логічними висновками та списком логічних умов. У чистому пролозі пропозиції обмежуються диз'юнктами Хорна, висновок: - Умова, і читаються так: «Заголовок ІСТИНА, якщо тіло ІСТИНА». Тіло правила містить посилання на предикати, що називаються цілями правила.

Факти в мові Пролог описуються логічними предикатами з конкретними значеннями. Факти в базах знань мовою Пролог представляють конкретні відомості (знання). Узагальнені відомості та знання у мові Пролог задаються правилами логічного висновку (визначеннями) та наборами таких правил виведення (визначень) над конкретними фактами та узагальненими відомостями. Пропозиції із порожнім тілом називаються фактами. Приклад факту:

- помідор (червоний);
- цей факт еквівалентний правилу;
- помідор (червоний) – ІСТИНА.

Пролог має дві основні відмінності від процедурних мов – спосіб організації обчислень та спосіб представлення даних. Обидва ці аспекти мови докорінно відрізняються від традиційних мов програмування.

Існує безліч середовищ програмування мовою Пролог, у кожній з них є свої переваги та недоліки (табл. 2.2). У ході виконання кваліфікаційної роботи розглянуто деякі із середовищ, а саме:

- PIE Prolog;
- Turbo Prolog;
- Visual Prolog;
- Swi Prolog.

Середовище PIE Prolog може працювати на будь-яких комп'ютерах під операційними системами Unix, Linux, Windows чи Mac-OS. Застосовується для

будь-яких галузей науки. Інтерфейс без використання графічних об'єктів. Особливістю середовища є те, що правила та факти формуються у різних класах, на відміну з інших середовищ. У PLE запит до програми можна вводити в будь-якому рядку. Більше того, у вікні діалогу курсор можна перевести в рядок раніше виконуваного запиту і, натиснувши клавішу Enter, запустити запит на повторне виконання.

Середовище Turbo Prolog може працювати на персональних та віртуальних комп'ютерах. Операційна система – Windows чи Android. Застосовується в будь-яких галузях науки. Немає графічного інтерфейсу. Це середовище ідентична середовищі Turbo Pascal.

Середовище Visual Prolog є вдосконаленою версією середовища Turbo Prolog. В ньому з'явився графічний інтерфейс, зручний для користувача. Операційні системи для роботи в середовищі: Linux, Unix, Mac-OS, Windows, Android. Visual Prolog автоматизує побудову складних процедур та звільняє програміста від виконання очевидних операцій. За допомогою Visual Prolog проектування інтерфейсу користувача і пов'язаних з ним вікон, діалогів, меню, рядки повідомлень про стани і т.д. графічне середовище. Зі створеними об'єктами можуть працювати різні Кодові Експерти (Code Experts), що використовуються для генерації базового та розширеного кодів мовою Prolog, необхідних для забезпечення їхнє функціонування.

Для роботи з середовищем Swi Prolog необхідно мати комп'ютер з операційною системою Windows, Unix, Mac-OS. Графічний візуальний інтерфейс у системі відсутня. Дія програми здійснюється за рахунок виконання запитів. Запит до програми починається комбінацією знаків "?-" і має обов'язково закінчуватися точкою. SWI-Prolog дозволяє розробляти різні програми, включаючи Web-додатки [29].

У табл. 3.1 відображені основні ознаки розглянутих середовищ.

Таблиця 3.1 – Порівняльна характеристика програмних середовищ

Ознака	PIE Prolog	Turbo Prolog	Visual Prolog	SWI Prolog
Безкоштовний повний пакет	+	+	-	+
Результат роботи програми	В окремому вікні, без графічних елементів	В системному вікні	В окремому вікні, з графічними елементами	В одному вікні з програмою.
Запуск програми	За допомогою запитів	За допомогою команд меню	За допомогою візуальних об'єктів	За допомогою запитів

Враховуючі основні ознаки, було обрано середовище програмування SWI Prolog. Вибір цього середовища обумовлений такими її особливостями:

- є система виділення помилок;
- безкоштовне встановлення повного пакета програми;
- синтаксис мови зручний для навчання;
- наявність онлайн компілятора даного середовища.

Для створення бази знань експертної системи необхідно сформулювати знання про деяку предметну область мовою предикатів першого порядку.

Механізм запитів, на основі якого виконуються Пролог-програми, забезпечує логічний висновок та отримання результату. Отже, створення експертної системи мовою Пролог зводиться до процесу формулювання фактів і правил та занесення їх у середу SWI Prolog.

Етапи створення експертної системи:

- перевести знання у висловлювання природною мовою;
- висловлювання подати у вигляді предикатів першого порядку;
- отримані предикати занести основою знань середовища [30].

3.2 Вибір середовища моделювання процесу функціонування бази знань мобільного робота сільськогосподарського призначення

Особливості роботи із середовищем програмування SWI Prolog полягають у наступному. Необхідно завантажити останню версію SWI-Prolog з сайту <http://www.swi-prolog.org>. Доступні версії для операційних систем MS Windows (32/64-bit) та MacOS. Встановлення програми виконується за стандартної процедури.

Для роботи в програмі необхідно запустити ярлик зі значком середовища SWI Prolog. Для створення нового файлу слід з командного рядка вибрати вкладку File, потім вкладку New. З'явиться вікно з редактором коду і в вікні, що з'явилося, ввести лістинг програми мовою Prolog.

Для збереження програми необхідно вибрати вкладку File, потім вкладку Save All, зберігати файл потрібно із розширенням .pl.

Далі, використовуючи середовище SWI-Prolog, вибрали вкладку File->Consult (Ctrl+F8). Після завантаження програми у консольному вікні видано відповідне повідомлення та з'являється можливість формувати запити до програми.

Побудова запитів у середовищі завжди починається зі знака «?-» та закінчується точкою. Дія запиту запускається натисненням на кнопку Enter.

База знань є основою будь-якої експертної системи незалежно від предметної сфери. На етапі формалізації бази знань вибрано модель уявлення знань.

Виділяють п'ять моделей баз знань:

- продукційну модель;
- семантичні мережі;
- фрейми
- формальні логічні моделі;

– об'єктно-орієнтовані моделі.

База знань ЕС складається з двох компонентів: декларативної та процедурної. Декларативна компонента містить поверхневі знання про предметну область: інформацію про сутності, властивості сутностей і зв'язків між ними. Дані про надійність функціонування системи були згруповані відповідно до ієрархічної структури. Для реалізації декларативної компоненти БЗ обрано об'єктноорієнтовану модель (рис. 3.1). Декларативна компонента враховує специфіку системи та особливості його функціонування. Процедурна компонента містить правила, що застосовуються для перетворення декларативної інформації.



Рисунок 3.1 – Модель декларативної компоненти бази знань

Декларативна компонента враховує специфіку АСМ та особливості його функціонування. Процедурна компонента містить правила, застосовувані перетворення декларативної інформації. Для реалізації процедурної компоненти вибрано продукційну модель. Отже, основа знань ЕС є комбінованою, так як містить два види моделей представлення знань. Вибір такого підходу до розробки БЗ обумовлений наступним. Недоліком моделей продукційного типу є недостатнє глибоке відображення проблемної галузі, що позначається на гнучкості формування запитів під час діалогу користувача з ЕС. Цей недолік знімається в об'єктно-орієнтованій моделі, що обумовлює вибір моделі даного типу для реалізації декларативної компоненти ЕС. Але в

продукційній моделі організації роботи механізму виведення гнучкіша. Тому для організації процедурної компоненти обрано продукційну модель даних.

Процедурна компонента представлена продукційними правилами виду:
– якщо ПЕРЕДУМОВА, то ВИСНОВОК.

Правило – із двох частин: передумови і висновка. Передумова та висновок є фактами. Для подання фактів використовується пара сутність-значення. Сутність представляє фізичні об'єкти проблемної галузі, такі як підсистеми АСМ, діагностичні параметри; значення параметрів. Поняття сутність у БЗ об'єднано з поняттям атрибут БД (декларативна компонента). Значення є рядковою величиною, наприклад, «Шпиндель не набирає потрібних оборотів», «Маніпулятор захоплює заготовлю» тощо. Висновок містить лише один факт, а передумова може містити як один, так і кілька фактів, що одночасно мають місце.

Метаправило, як правило, складається з двох частин: передумови та висновку. Передумова у метаправилах виражена фактами, а висновок свідчить про підзавдання, на яке слід перейти. Метаправила керують черговістю активізації правил та дозволяють оптимізувати процес пошуку рішення.

3.3 Формування продукційних правил для діагностування стиглості плода

Для формотворчої підсистеми було складено 5 продукційних правил.

Правило 1. Якщо «Колір зелений($rgb=(0 \leq x_r \leq 50; 100 \leq x_g \leq 365; 0 \leq x_b \leq 50)$ »), та «Діагностичний параметр. Розмір помідора = 0», то «Висновок = Помідор зелений, та малий, його потрібно залишити дозрівати».

Правило 2. Якщо «Колір зелений($rgb=(0 \leq x_r \leq 50; 100 \leq x_g \leq 365; 0 \leq x_b \leq 50)$ »), та «Діагностичний параметр. Розмір помідора = 1», то «Висновок = Помідор зелений, та великий, йому не вистачає сонця, залишити дозрівати невеликий час».

Правило 3. Якщо «Колір червоний($rgb=(100 \leq x_r \leq 365; 0 \leq x_g \leq 50; 0 \leq x_b \leq 50)$ », та «Діагностичний параметр. Розмір помідора = 0», то «Висновок = Помідор дозрів, та він замалий, зірвати його і покласти в кошик для малих помідорів».

Правило 4. Якщо «Колір червоний($rgb=(100 \leq x_r \leq 365; 0 \leq x_g \leq 50; 0 \leq x_b \leq 50)$ », та «Діагностичний параметр. Розмір помідора = 1», то «Висновок = Помідор дозрів, та він здоровий, зірвати його і покласти в кошик для здорових помідорів».

Правило 5. Якщо «Колір не підходить під зелений($rgb \neq (0 \leq x_r \leq 50; 100 \leq x_g \leq 365; 0 \leq x_b \leq 50)$ » та «Колір не підходить під червоний($rgb \neq (100 \leq x_r \leq 365; 0 \leq x_g \leq 50; 0 \leq x_b \leq 50)$ », то «Висновок = Помідор не підходить для дозрівання, та його потрібно зірвати і викинути».

Представлена функціональна модель, що відображає процес вирішення задачі при визначенні характеристик помідору на основі аналізу діагностичної інформації, що враховує ієрархічну структуру системи (рис. 3.2).

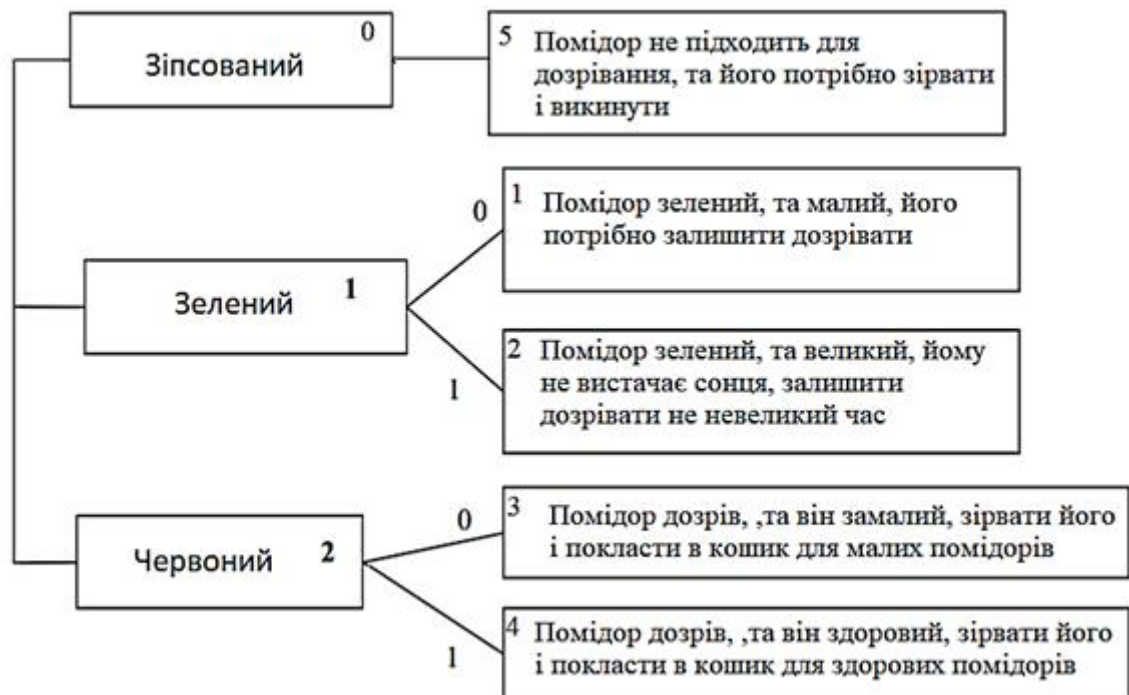


Рисунок 3.2 – Функціональна модель бази знань.

За отриманою функціональною моделлю бази знань складено таблицю переходів (табл. 3.2).

Таблиця 3.2. – Керування переходами станів

Початковий стан	Діагностичний параметр	Результат
0	0,1	5
1	0	1
1	1	2
2	0	3
2	1	4

3.4 Проведення експерименту

Для проведення експерименту використану систему EXPRO, в якій реалізовано порядок прямого та зворотнього виведення.

Побудова експертних систем у цій оболонці полягає в формалізації завдань предметної області за допомогою мови уявлення знань EXPRO, введення правил та фактів до бази знань (БЗ). Після наповнення БЗ та налагодження її засобами оболонки EXPRO, з'являється можливість вирішувати завдання предметної галузі, використовуючи знання висококваліфікованих спеціалістів-експертів.

У системі EXPRO реалізована стратегія зворотного та прямого виведення.

Прямий порядок - від фактів до висновків. В експертних системах з прямими висновками за відомими фактами знаходиться висновок, яке з цих фактів випливає. Якщо такий висновок вдається знайти, він заноситься до робочої пам'яті. Прямі висновки часто застосовуються в системах діагностики, їх називають висновками, керованими даними.

Зворотний порядок виведення – від висновків до фактів. У системах з зворотним висновком спочатку висувається деяка гіпотеза про кінцеве судження, а потім механізм виведення намагається знайти в робочій пам'яті факти, які могли б підтвердити або спростувати висунуту гіпотезу. Процес

пошуку необхідних фактів може включати досить велика кількість кроків, при цьому можливе висування нових гіпотез (цілей). Зворотні висновки керуються цілями. Інтерфейс системи EXPRO є стандартним Windows-додаток з головним меню, панеллю інструментів, та рядком стану (рис. 3.3).

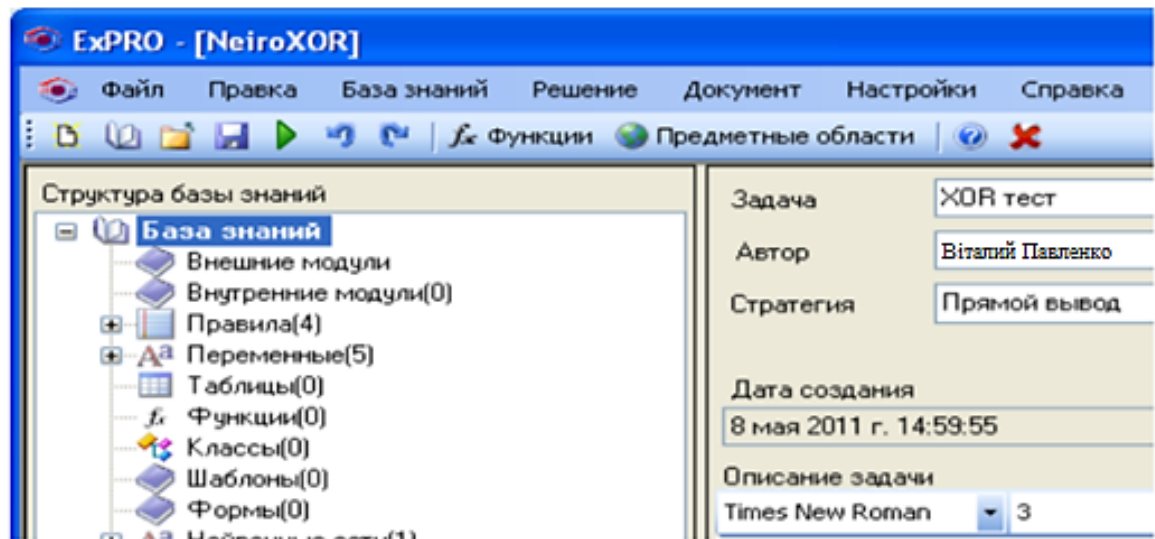


Рисунок 3.3 – Головне меню оболонки EXPRO

Окрім основного вікна у системі існує велика кількість робочих діалогових вікон, що описані у відповідних розділах.

Головне меню системи є класичним меню Windows та складається з 6 пунктів:

- файл;
- виправлення;
- вид;
- база знань;
- рішення;
- документ;
- налаштування;
- довідка.

При натисканні на один із пунктів на екрані з'являється підменю зі списком команд. Багато команд головного меню продубльовані кнопки на панелі інструментів. Такі команди мають зліва від назви невеликий малюнок.

На рис. 3.4 – 3.5 представлений вид Меню файлів та Меню Правка.

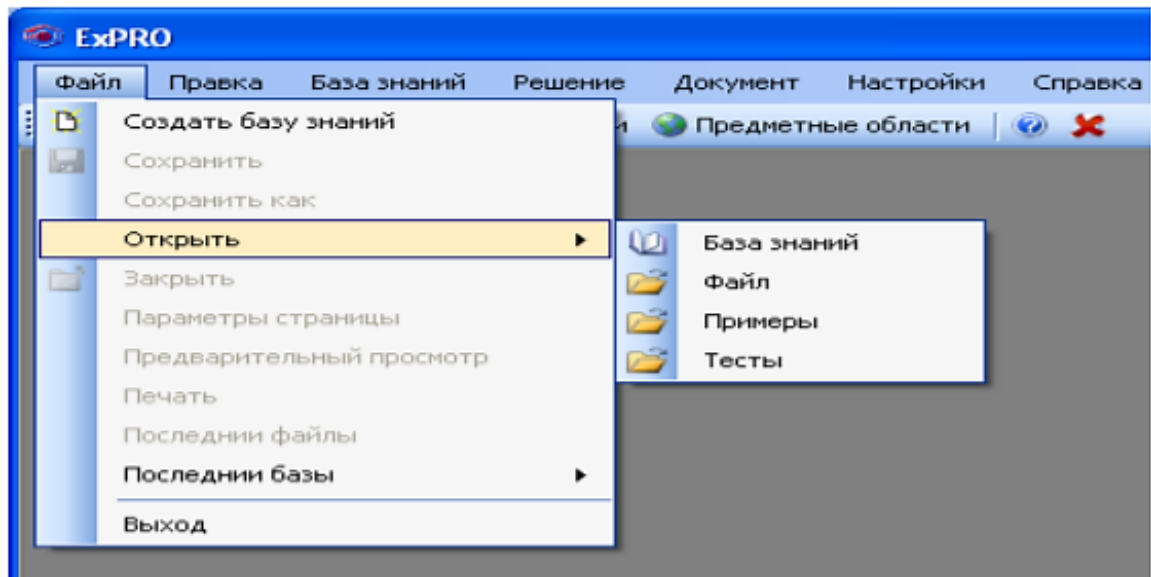


Рисунок 3.4 – Меню файл

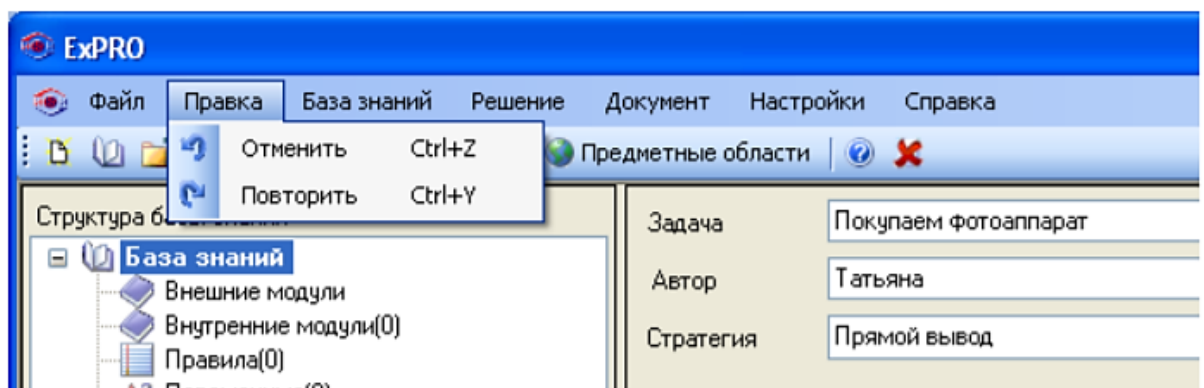


Рисунок 3.5 – Меню Правка

В меню База знань (рис. 3.6) знаходяться команди для роботи з базами знань. Меню Рішення (рис. 3.7) містить команди, пов'язані з рішенням завдання та відображенням результатів рішення.

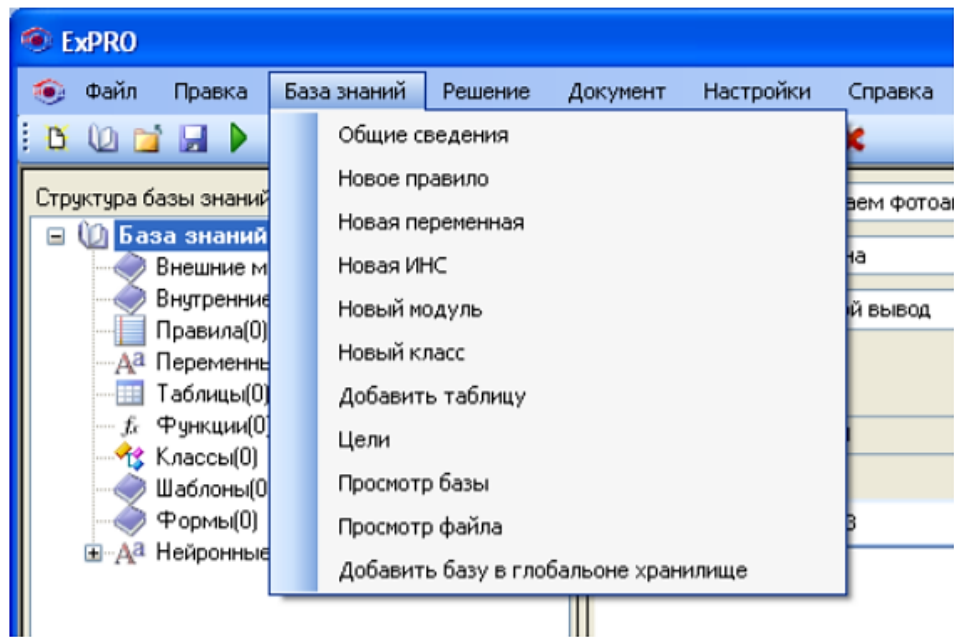


Рисунок 3.6 – Меню база знаний

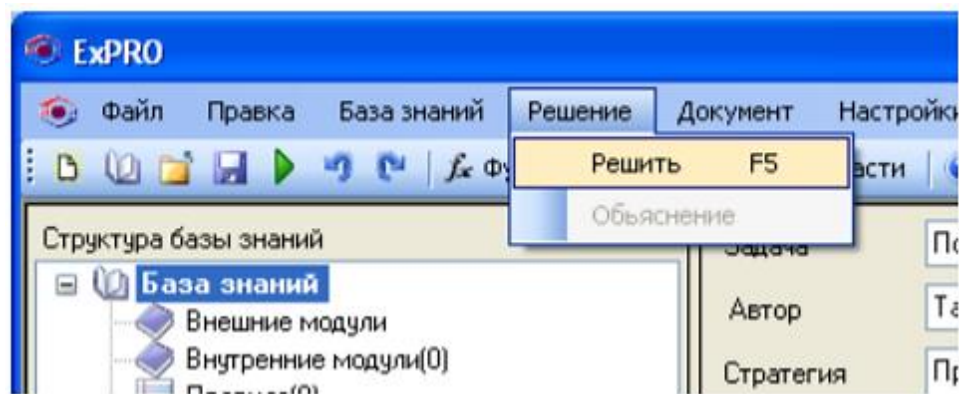


Рисунок 3.7 – Меню Решения

Рішення - запускає трансляцію бази знань і, у разі успішної трансляції, відображає діалогове вікно Рішення.

Меню Документ містить команди для створення звітів та перенесення результатів рішення у формат Microsoft Word, дозволяє створити та вибрати шаблон. Шаплони використовуються при створенні типових баз знань.

Меню «Налаштування» містить команди, які відкривають діалогові вікна налаштувань системи EXPRO.

- шаплони – відкриває діалогове вікно керування шаблонів;

- шрифти – відкриває діалогове вікно керування шрифтами. У меню довідка знаходяться команди виклику довідкової системи та відображення інформації про програму;

- довідка – відкриває довідкову систему;

- про програму – відкриває вікно Про програму, що містить інформацію про версію системи EXPRO, її творців та рік випуску.

Для створення та редагування бази знань в оболонці EXPRO передбачено вікно Структура бази знань (рис. 3.8).

Для створення правил необхідно вибрати розділ Правила. У цьому редакторі можна ввести назву правила, внести правило бази знань, додати коментар.

У мові EXPRO використовуються кілька груп функцій: виведення даних, функції керування, обчислювальні функції тощо.

Розглянуто групу введення та виведення даних.

ВВЕДЕННЯ – введення даних.

Здійснює введення числових та символічних значень змінних.

Опис: <Змінна>=ВВЕДЕННЯ(<Коментар>), де Змінна - Ім'я змінної; Коментар – символічна константа, що виводиться у діалоговому вікні під час введення даних.

Змінній надається значення, що вводиться.

Приклад:

Вік = ВВЕДЕННЯ ("Вік пацієнта")

ВИБІР – введення даних зі списку значень

Здійснює введення даних зі списку значень.

Опис: <Змінна>=ВИБІР(<Коментар>,[<Список>]), де Список – список значень чи змінних, значення яких задано.

ВВЕДЕННЯСП – введення списку значень та змінних.

Введення списку даних. Ознакою закінчення введення є введення порожнього значення.

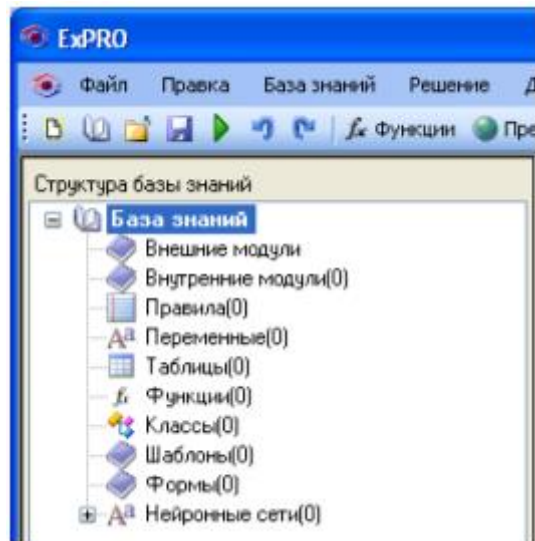


Рисунок 3.8 – Структура бази знань

Опис: <Змінна>= ВВЕДЕННЯСП(<Коментар>), де Коментар – символна константа, що виводиться у діалоговому вікні при введення даних.

Приклад:

Координати= ВВЕДЕННЯСП("Координати точки")

Після введення списку: Координати = [40,32,70]

ВВЕДЕННЯБЛ - Введення блоку даних.

Вводить дані зі списку, що відображається у діалоговому вікні.

Опис: <Змінна>= ВВЕДЕННЯБЛ (<Коментар>,[<Список змінних>])

Приклад:

ДРент = ВВЕДЕННЯБЛ ("Дані для показника рентабельності власного капіталу",[Чистий прибуток, Резервний капітал, Цільове фінансування])

ВИХІД – виведення даних у діалогове вікно.

Виконує виведення констант та значень змінних.

Опис: ВИСНОВОК (<Параметри>), де Параметри = <Число> | <Рядок> | нс | <Змінна> | <Список> ; нс – перехід на новий рядок.

На рис. 3.9 представлено меню Редактор правил.

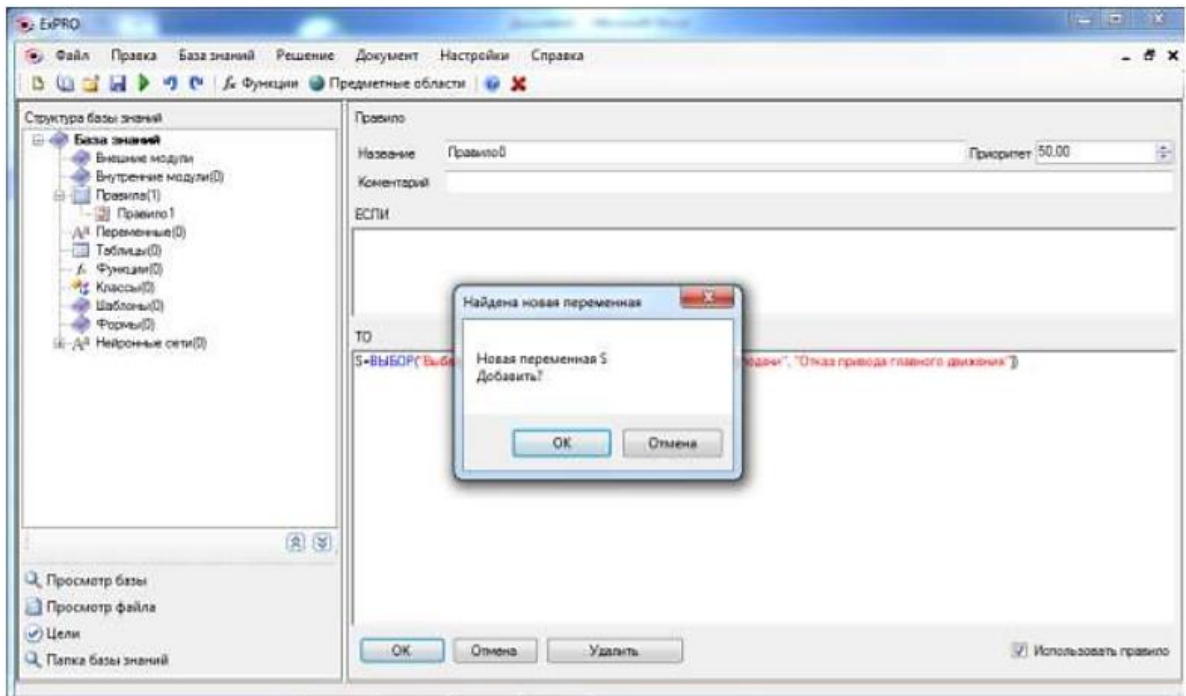


Рисунок 3.9 – Редактор правил

Приклад:

ВИХІД(Модель обладнання)

ВИХІД ("Діагностика захворювань")

ВИХІД ("Розмір річного прибутку: Пг=", Пг), де Пг – чисельне значення змінної

МАЛЮНОК – вихід малюнка.

Опис: <Ім'я змінної> = МАЛЮНОК(<СТР>), де СТР = Рядок | <Змінна>.

Малюнок виводиться у вікно результату. Можна відкривати кілька малюнків. Вікна малюнків закриваються користувачем.

Приклад:

FI="plush.jpg"

Рис1=РИСУНОК(FI)

РИСУНОК ("plush.jpg")

3.5 Програмна реалізація експертної системи підтримки процесу діагностування

Створено нульове правило продукційної моделі (рис. 3.2). Реалізація цього правила представлена на рис. 3.10.

Правило

Название: ..Правило 0 Приоритет: 50.00

Комментарий:

ЕСПИ

ТО

Рисунок 3.10 – Правило «0»

Після заповнення форми натискаємо кнопку Ок. Редактор ідентифікує створену змінну S і пропонує додати цю змінну. Після натискання на кнопку Ок у вікні Структура бази знань у вкладці Змінні з'явиться нова змінна S, а на вкладці Правила з'явиться нове перше створене правило «0». Для створення нового правила необхідно навести курсор миші на вкладку Правило та натиснути ліву клавішу.

На рис. 3.11 представлено правило «Вибір діагностичного параметра».

Це правило дозволяє здійснити вибір параметра діагностування. У дереві рішень (рис. 3.2.) дані параметри представлені блоками 0-2.

Правило

Название: Правило выбора параметра Приоритет: 50.00

Комментарий:

ЕСПИ

S0=Колір

ТО

S2=ВЫБОР("Параметр соответствует эталонным значениям? Если соответствует, то выберите 1, иначе 0." ["0", "1"])

Рисунок 3.11 – Правило «Вибір діагностичного параметра»

Як уже зазначалося раніше, дані параметри приймають значення 1 і 0. Кожному значенню відповідає своя рекомендація (рис. 3.2).

Якщо параметр діагностування відповідає еталонним значенням, то необхідно вибрати значення «1», інакше «0» (рис. 3.12).

Правило

Название: Правило1 Приоритет: 50.00

Комментарий:

ЕСПИ

S1-Размер помидора

ТО

S2-ВЫБОР("Параметр соответствует эталонным значениям? Если соответствует, то выберите 1, иначе 0.";{"0";"1"})

Рисунок 3.12 – Правило «1»

Всі елементи дерева рішень, на яких закінчується пошук, в даному прикладі задаються цієї змінної. Але для кожної ситуації вона буде набувати свого значення.

Після введення всіх правил необхідно перейти до вкладки База знань основного меню та вибрати вкладку Цілі (рис. 3.13).

Створену базу знань необхідно зберегти та запустити кнопкою Вирішити на панелі основного меню (рис. 3.14). Натиснувши на ПОШУК експертна система запуститься.

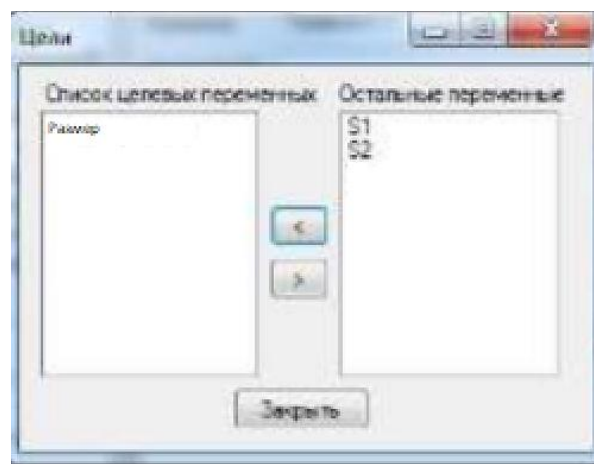


Рисунок 3.13 – Цілі

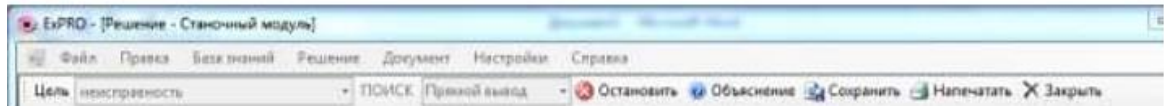


Рисунок 3.14 – Запуск экспертной системы

Після закінчення пошуку експертна система видасть рекомендацію, що відображено на рис. 3.15.

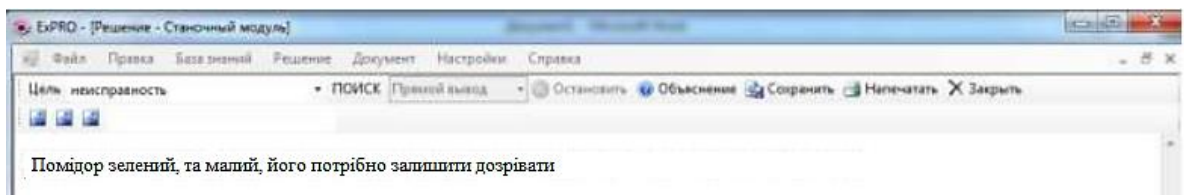


Рисунок 3.15 – Результат пошуку

Якщо отриманий висновок не викликає довіри у користувача, то Експертна система запропонує пояснення(рис 3.16).

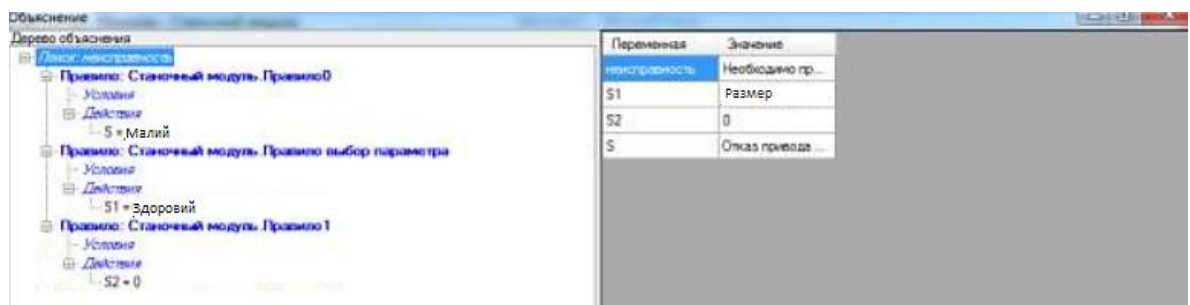


Рисунок 3.16 – Пояснения полученного решения

3.6 Висновки до третього розділу

Для формування БЗ експертної системи були згруповані відповідно до ієрархічної структури системи. Виділено характеристика об'єкту, колір, розмір

Розроблено та програмно реалізовано базу знань експертної системи, яка включає декларативну компоненту у вигляді об'єктноорієнтованої моделі, що містить знання про розміри об'єкта та параметри діагностування.

ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи основну увагу приділено розробленню бази знань для мобільного робота.

У першому розділі проведено аналіз сучасного стану інтелектуальних систем роботизованих комплексів у сільському господарстві при визначенні та ідентифікації об'єктів. Практичне застосування цифрових агротехнологій і технічних засобів інтелектуальних складових, оснащених навігаційним і сенсорним керуючим обладнанням, дозволило здійснити перехід до інтелектуального управління технологічними процесами та продуктивність садових культур в промисловому садівництві і підвищити екологічну безпеку товарної продукції. Проведено обґрунтування вибору елементів моделі бази знань інтелектуальної складової. Представлений підхід до побудови моделі бази знань для мобільного робота, що функціонує в сільському господарстві. Створено базу знань для розпізнавання реальних об'єктів на основі НВ у вигляді нечітких причинно-наслідкових відносин між значеннями ознак об'єкта і розпізнаваними класами.

Завдяки підбору програмних засобів та розробленому алгоритму роботи інтелектуальної складової можливе проведення моделювання роботи мобільним роботом.

Далі основуючись на принципах, розглянутих раніше, створили базу знань для розпізнавання реальних об'єктів на основі НВ у вигляді нечітких причинно-наслідкових відносин між значеннями ознак об'єкта і розпізнаваними класами, перейшли до реалізації механізму нечіткого виведення з використанням побудованої бази знань для отримання висновку про приналежність об'єкта, що характеризується спостережуваними ознаками, визначеному класу.

Завдяки підбору програмних засобів та розробленому алгоритму роботи

інтелектуальної складової можливе проведення моделювання роботи мобільним роботом.

В результаті проведення кваліфіційної роботи було досягнуто мети, проведено дослідження інтелектуальної системи розпізнавання об'єктів та образів мобільним роботом та аналіз моделей та методів розпізнавання об'єктів. Експертна система була згруповані відповідно до ієрархічної структури системи.

Розроблено та програмно реалізовано базу знань експертної системи, яка включає декларативну компоненту, що містить знання про розміри об'єкта та параметри діагностування.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008: 2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. – К.: ДП “УкрНДНЦ”, 2016. – 30 с.
2. Методичні вказівки до розробки й оформлення кваліфікаційної роботи студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології, освітньо-професійних програм: «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп’ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп’ютеризовані та робототехнічні системи» / Упоряд. І.Ш. Невлюдов, В.В. Євсєєв, С.П. Новоселов, О.М. Цимбал., – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 50 с.
3. Положення про кваліфікаційну роботу здобувача вищої освіти на другому (магістерському) рівні [Електронний ресурс] : Наказ ХНУРЕ від 06 травня 2021 р. № 143. – Режим доступу: https://nure.ua/wp-content/uploads/Main_Docs_NURE/143-vid-06.05.2021-pro-vvedennja-v-diju-rishennja-vchenoi-radi-universitetu.pdf
4. Невлюдов І.Ш. Основи наукових досліджень: Навч. посібник / І.Ш. Невлюдов, Ю.М. Олександров, А.О. Андрусевич, О.О. Чала. – Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2019. – 396 с.
5. Павленко, В. І. Метод дистанційного управління мобільним роботом на основі технології інтернету речей [Текст] / В. І. Павленко, А. Поліщук, М. Рогаткін // Міжнародна конференція «Виробництво та Мехатроні системи (M&MS 2021)» / Харківський національний університет радіоелектроніки; [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.]. – Харків : ХНУРЕ, 2021. – Вип. 1. – 150 с.
6. Павленко, В. І. Технологія об’ємної мікрообробки МЕМС [Текст] / В. І. Павленко, І. А. Сітало // Автоматизація та приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2019): збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки; [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.]. – Харків : ХНУРЕ, 2019. – Вип. 1. – 207 с.

7. Павленко, В. І. Методи управління розумним будинком [Текст] / В. І. Павленко, М. Ю. Білоус // Автоматизація та приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2019): збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки; [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.]. – Харків : ХНУРЕ, 2019. – Вип. 2. – 199 с.

8. Павленко, В. І. Технологія поверхневої обробки МЕМС [Текст] / В. І. Павленко, І. А. Сітало // Автоматизація та приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2019): збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки; [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.]. – Харків : ХНУРЕ, 2019. – Вип. 1. – 207 с.

9. Павленко, В. І. Особливості автоматизованого управління технологічними процесами [Текст] / В. І. Павленко, М. Ю. Білоус // Автоматизація та приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2019): збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки; [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.]. – Харків : ХНУРЕ, 2019. – Вип. 2. – 199 с.

10. Павленко, В. І. Індустрія 4.0 як промислове виробництво майбутнього [Текст] / А. Є. Мажара, В. І. Павленко, О. М. Бурма // Автоматизація та приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2019): збірник студентських наукових статей\ Харківський національний університет радіоелектроніки; [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.]. – Харків : ХНУРЕ, 2019. – Вип. 2. – 199 с.

11. Павленко, В. І. LIGA технологія [Текст] / А. Є. Мажара, В. І. Павленко, О. М. Бурма // Автоматизація та приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2019): збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки; [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.]. – Харків : ХНУРЕ, 2019. – Вип. 2. – 199 с.

12. Павленко, В. І. Інтернет-технології в учбовому процесі [Текст] / І. А. Сітало, В. І. Павленко, О. О. Чала, // Синергетика, мехатроніка, телематика дорожніх машин і систем у навчальному процесі та науці. Збірник наукових

праць за матеріалами II міжнародної науково-практичної конференції. – Харків, ХНАДУ, 2018. – 184 с.

13. Павленко, В. І. Дефекти кристалічної будови металів [Текст] / В. І. Павленко // Збірник студентських наукових статей «автоматизація та приладобудування» АПР-2018 1 частина (Випуск 2018): - Харків/ Редкол.: Невлюдов І.Ш. (голова), та інші. Харків: Вид-во Харківського національного університету радіоелектроніки [електронне видання], 2018. - 237с.

14. Павленко, В. І. Аналіз методів контролю шорсткості функціональних відбиваючих поверхонь МОЕМС-елементів [Текст] / В. І. Павленко // Збірник студентських наукових статей «автоматизація та приладобудування» АПР-2017 2 частина (Випуск 2017): - Харків/ Редкол.: Невлюдов І.Ш.(голова), та інші. Харків: Вид-во Харківського національного університету радіоелектроніки [електронне видання], 2017. - 182 с.

15. Невлюдов І.Ш. Дипломне проєктування для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно інтегровані технології»: Навч. посібник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.В. Токарева, Г.В. Пономарьова. – К. : пр. Космонавта Комарова, 1, 2016. – 245 с.

16. Невлюдов І.Ш. Основи наукових досліджень: Навч. посібник / І.Ш. Невлюдов, Ю.М. Олександров, А.О. Андрусевич, О.О. Чала. – Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2019. – 396.

17. Yevsieiev V. Visual components formal description development for the automated design of software products and modules for computer-integrated production technological preparation systems. Вчені записки таврійського національного університету імені В.І. Вернадського Серія: Технічні науки. 2018. Том 29 (68) № 1 Частина 1. С.143–147. DOI: 10.31474/2075-4272-2018-1-31-24-31.

18. Visual monitoring of the break surface of the installation connection of electronic equipment / Nevliudov I., Starodubcev N., Demska N., Omarov Sh. // Information system and innovative technologies in projekt management [Text]: Collective monograph edited byl. Linde, I. Chumachenko, V. Timofeyev. – Kharkiv :

NURE, 2019. – p. 258-270.

19. Оценка достоверности результатов имитационного моделирования по результатам аналитического моделирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-dostovernosti-rezultatov-imitatsionnogo-modelirovaniya-po-rezultatam-analiticheskogo-modelirovaniya/viewer>.

20. Image Recognition using TensorFlow [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу : https://www.tutorialspoint.com/tensorflow/image_recognition_using_tensorflow.htm.

21. Норвиг П. Artificial Intelligence: A Modern Approach, 4th Edition / П. Норвиг, С. Рассел., 2021. – 706 с.

22. Логинов Д. Machine Learning Refined. Foundations, Algorithms, and Applications 2nd. edition / Д. Логинов, А. Катсаггелос, Б. Реза., 2020.

23. 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, освітньо-професійних програм: «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи» / Упоряд. І.Ш. Невлюдов, В.В. Євсєєв, С.П. Новоселов, О.М. Цимбал., – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 50 с.

24. Математичне моделювання: Конспект лекцій / Упоряд. В.В. Безкоровайний. – Харків: ХНУРЕ, 2010. – 116 с.

25. Моисеев А. В., Моисеев Д. А. Имитационное моделирование систем массового обслуживания, описывающих процесс производства продукции // Научный альманах. – 2015. – №. 7. – С. 724-727.

26. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука: Пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – 480 с.

27. Кузьменко В.М. Спеціальні мови програмування. Програмні та інструментальні засоби моделювання складних систем

28. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисциплін «Моделювання систем» для студентів спеціальності 7.080401 – Інформаційні управляючі системи та технології та "Математичне моделювання" для

студентів спеціальності 7.091401 – Системи управління та автоматики / Упор. В.В. Безкоровайний, З.А. Імангулова, Н.І. Калита. – Харків: ХНУРЕ, 2005. – 48 с.

29. Кузьменко В.М. Спеціальні мови програмування. Програмні та інструментальні засоби моделювання складних систем: навч. посібник / В.М. Кузьменко. – Харків: ХТУРЕ, 2000. – 324 с.

30. Хрустальов К. Л. Automation of control processes for autonomous robotic platforms based on the use of technical vision systems / К. Л. Хрустальов, А. О. Функендорф, Д. А. Кобеляцький, 2018. – С. 31–34.

31. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці» у випускних роботах ОКР «бакалавр» усіх форм навчання / Упоряд.: Б.В. Дзюндзюк, В.А. Айвазов, Т.Є. Стиценко. – Харків: ХНУРЕ, 2012. – 28 с.

32. Закон № 2694 – Закон України «Об охране труда» от 14.10.92 г. № 2694-ХІІ.