

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерних наук
(повна назва)

Кафедра Системотехніки
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

ГЮИК.504200.011 ПЗ

Розробка методу контролю переміщення дронів з використанням алгоритмів
нечіткої логіки
(тема)

Виконав:

Студент 2 курсу, групи ІТІМ-19-1

Спеціальність 122 – Комп'ютерні науки
(код і повна назва напрямку)

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

Освітня програма Інформаційні технології про-
ектування
(повна назва освітньої програми)

Толокнов В.А.

(прізвище, ініціали)

Керівник доц. Ситнікова П.Е.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

(підпис)

Толокнов В.А.
(прізвище, ініціали)

2020 р.



Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерних наук
(повна назва)

Кафедра Системотехніки
(повна назва)

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 122 – Комп'ютерні науки
(код і повна назва)

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

Освітня програма Інформаційні технології проектування
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

« _____ »

_____ р.

ЗАВДАННЯ НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Толокнов Владислава Анатолійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Розробка методу контролю переміщення дронів з використанням алгоритмів нечіткої логіки»
затверджена наказом по університету від « 02 » 11 2020 р. № 1517 Ст
2. Термін подання студентом роботи (проекту) 18 грудня 2020 р.
3. Вихідні дані до роботи (проекту) Дані з датчиків дрону, база правил нечіткої логіки для їх аналізу.
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити) Вступ. Аналіз проблемної галузі та постановка задачі. Теоретичні дослідження моделі. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів)

Графік бази правил ознак обмерзання борту дрону, Діаграма класів реалізації алгоритму Мамдані, Схема нечіткого виведення по Мамдані

6. Консультанти розділів роботи (проекту)

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання, аналіз завдання, уточнення	02.11.2020	
2	Аналіз предметної області	05.11.2020	
3	Постановка задачі та вибір методу її вирішення	10.11.2020	
4	Проведення експериментальних досліджень	25.11.2020	
5	Оформлення пояснювальної записки	09.12.2020	
6	Підготовка презентації	09.12.2020	
7	Подання закінченої роботи науковому керівникові	23.12.2020	
8	Подання роботи на рецензування	23.12.2020	
9	Попередній захист	23.12.2020	
10	Подання роботи до екзаменаційної комісії	24.12.2020	


Дата видачі завдання 02 листопада 2020 р.

Студент


_____ (підпис)

Толокнов В.А.

Керівник роботи


_____ (підпис)

доц. Ситнікова П.Е.
(посада, прізвище, ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМНОЇ ГАЛУЗІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	8
1.1 Аналіз предметної галузі.....	8
1.2 Різновиди дронів	9
1.3 Законодавча база за кордоном з використання БПЛА	12
1.3.1 Законодавча база в Україні	15
1.4 Проблемна область.....	19
1.5 Способи виявлення дронів. Сучасні аналоги	20
1.6 Виявлення проблем та актуалізація рішень.....	23
1.7 Постановка задачі.....	23
2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ	26
2.1 Історія нечіткої логіки.....	26
2.2 Нечітка логіка.	28
2.3 Математичний апарат	30
2.3.1 Не чіткий логічний запит	35
2.4 Алгоритм Мамдані	37
2.5. Алгоритм Такагі-Сугено	39
2.6 Системи нечіткого виводу	41
2.7 Приклади використання систем нечіткого виводу у задачах управління	42
2.8 Область застосування нечітких систем управління.....	45
3.1. План реалізації алгоритму Мамдані.....	48
3.2. Формування бази правил.....	49
3.3. Фазифікації вхідних змінних	50
3.4. Агрегація підумов	51
3.5. Активізація підзаклучень	52
3.6. Акумуляція висновків	53
3.7. Дефазифікація вихідних змінних.....	54
ВИСНОВКИ.....	58
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	59

ВСТУП

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) є сектором авіації, який розвивається дуже швидко та має великий потенціал для зростання і створення нових робочих місць. Термін «безпілотний літальний апарат» включає як великі літаки, аналогічні за розміром і складністю пілотованому літаку, так і невеликі електронні прилади для приватного використання.

Сьогодні технології з використанням безпілотних літальних апаратів застосовуються майже у всіх сферах людського життя. А саме: агрогосподарстві для точного, своєчасного та ефективного внесення добрив і пестицидів, для інспектування безпеки різних об'єктів та місць. Також моніторинг безпеки при проведенні будівельних робіт та при роботі залізничних колій, дамб, каналів, ліній електропередач, трубопроводу, автодороги. БПЛА також використовуються у міському господарстві, це: пошук несанкціонованих звалищ; виявлення незаконної забудови; контроль якості дорожнього покриття; взяття проб повітря; заміри рівнів радіовипромінювання; виявлення дахів, які потребують ремонту; зафарбування графіті в важкодоступних місцях. Впроваджуються технології попередження катастроф та пом'якшення їх наслідків.

Спостерігається різке збільшення застосування різних безпілотних авіаційних комплексів у всіх сферах життєдіяльності людини - від археології до енергетики. Збільшення кількості БПЛА, легкість опанування, що дозволяє навіть дитині легко і без помилок ними керувати та низький рівень контролю може призводити до створення небезпечних ситуацій у повітрі, збільшувати ризик проникнення на приватні території, ведення несанкціонованої зйомки, стеження за приватним життям, відстеження руху мобільних об'єктів і проникнення в важкодоступні місця. У всьому світі ця проблема щодня стає все більш актуальною для всіх. Допомогти у вирішенні цієї проблеми може реєстрація та облік БПЛА, контроль їх розташування та притягання до відповідальності власника дрона у випадку правопорушення. Для допомоги у цьому буде створена модель, націлена на від-

творення шляху дрону на базі контрольних точок та припущення можливого подальшого маршруту.

Основною метою є реалізація робочої моделі, яка допоможе стежити за переміщеннями дронів та можливість перевірки приватності певної ділянки відносно прольотів над нею БПЛА.

1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМНОЇ ГАЛУЗІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Аналіз предметної галузі

Коптер – безпілотний літальний апарат (БПЛА), який здатний автономно переміщуватися в повітрі і не вимагає безпосереднього пілотування. Апарати управляються за допомогою джойстика або бортового комп'ютера. За сучасним позначенням, «безпілотником» є тільки той апарат, який перебуває під постійним дистанційним моніторингом пілота або пілотів і призначений для багаторазового експлуатування.

Сучасні БПЛА розрізняються характеристиками. Проте в основі роботи всякого безпілотника знаходяться базові принципи:

- здатність самостійно переміщуватися в повітрі;
- вміння витримувати задану висоту і швидкість польоту;
- переміщення додаткового вантажу різної ваги;
- можливість встановлення на апарат додаткового обладнання для фіксації інформації і передачі оператору у фактичний момент часу.

Раніше радіокеровані та повністю автоматизовані механізми об'єднували поняттям безпілотна авіація – літаки, керування (пілотування) якими виконується без пілота, за допомогою приладів різних систем, що методом використання радіо хвиль (радіолокації, телебачення) надсилають команди на автопілот. Частина системи керування можуть міститися за межами літака і бути на землі, на воді і в повітрі, на місці запуску, на шляху польоту і в районі цілі.

Залежно від принципів керування є наступні різновиди безпілотних літальних апаратів:

- безпілотні некеровані;
- безпілотні автоматичні;
- безпілотні дистанційно-пілотовані літальні апарати (ДПЛА).

У авіації після 2000 -х йде стрімке розширення саме останнього різновиду апаратів, і про них мовиться, коли вживають термін «безпілотник», «дрон», або

аббревіатуру UAV. Тобто, під терміном «безпілотник», «БПЛА»(безпілотний літальний апарат), «UAV» мається на увазі саме повітряне судно, яким через канали зв'язку керує один або декілька пілотів.

Спочатку БПЛА розроблялися для військових і оборонних цілей, але вже зараз вони знайшли безліч цілей для використання у цивільних цілей в людському житті, в тому числі фото та відео зйомки , рятувальних операцій, моніторингу інфраструктури, обробки ґрунту, тощо.

1.2 Різновиди дронів

Коптери перетворюються на реальність і з'являються в кожного. Сфера торгівлі дронами дає реальну можливість створення робочих місць і є джерелом інновацій та економічного зростання в найближчій час. Також вони несуть нові виклики пов'язані з безпекою та захистом прав громадян. Необхідне вдосконалення законодавства, а також зусилля з розробки та впровадження технологій, для того щоб інтегрувати дрони у загальний простір цивільної авіації, та підвищити рівень впевненості у безпеці і дотриманні прав приватності.

Дрони класифікують за різними критеріями: цілі використання, дальності польоту, масі корисного навантаження, базового механізму та ін.

За технічними характеристиками дрони поділяються на два типи:

- літакового(рис.1.1);
- вертолітного(рис.1.2).



Рис.1.1- Дрон літакового типу



Рис.1.2 – Дрон вертолітного типу

Принцип поділу зрозумілий з назви. В основі літакових моделей - несучі площини-крила, які забезпечують дрону високий, тривалий політ великого радіусу. Безпілотники вертолітного (або коптерного) типу оснащені гвинтами. Залежно від кількості гвинтів коптери ділять на:

- трікоптер оснащений 3 гвинтами;
- квадрокоптер з 4 гвинтами(рис.1.3);

- гексакоптер з 6 гвинтами(рис.1.3);
- октокоптер з 8 гвинтами(рис.1.3).



Рис. 1.3 – Квадрокоптер, гексакоптер та октокоптер

Дрони коптерного типу відрізняються плавністю і стабільністю польоту. Апарати підходять для моніторингу території і її детального аналізу.

Безпілотники також поділяють виходячи з мети використання. Тут можливі різні варіанти класифікації:

- військові дрони;
- цивільні.

Військові БПЛА - прабатьки всіх сучасних дронів. Їх використовують в бойових діях. Апарати відрізняються високими технічними характеристиками: здатні самостійно здійснювати приземлення, літати на далекі відстані, виконувати поставлені тактичні завдання, витримувати важкі вантажі.

Цивільні безпілотники знайшли застосування в різних галузях: геодезичні роботи, безпека, надзвичайні ситуації.

Сфера використання дронів постійно розширюється. Безпілотники виграють у класичної пілотованої авіації за сукупністю показників, тим самим привертають увагу не тільки військових і цивільних служб, а й звичайних людей, які щодня знаходять їм нове застосування.

1.3 Законодавча база за кордоном з використання БПЛА

Наші громадяни все більше подорожують по світу, фотографують, знімають на відео пам'ятки архітектури, види міст і національні парки. Однак звичайні камери сьогодні вже мало кого дивують чи цікавлять, багатьом хочеться чогось більш цікавого і навіть екстремального. Поява квадрокоптера дозволила перевернути багато традиційних понять про фотографії і відеозйомку.

Однак це не єдина обставина, що спонукає наших громадян брати з собою в подорожі безпілотники. Причиною для такого кроку можуть бути і більш серйозні підстави: змагання або традиційні зустрічі авіамоделістів, чи звичайних шанувальників безпілотних літальних апаратів. У кожному з перерахованих випадків перед власниками коптерів постає головне питання: чи можна ввозити свою модель в ту чи іншу країну, а якщо так, то з якими обмеженнями доведеться зіткнутися.

Багато моделей БПЛА стали набагато доступнішими для звичайних користувачів, а їх оснащення покращилося і стало включати фото- та відеокамери, систему автопілота і багато іншого. Управляти такими машинами тепер набагато простіше, ніж раніше. Тому в багатьох країнах влада змушена була приступити до розробки законодавства, покликаного регулювати продаж, реєстрацію та використання безпілотників. До цього кроку владу підштовхують різні причини: зростання тероризму, неадекватна поведінка деяких власників коптерів, що почастишали випадки вторгнення в особисте життя і т.п.

Далеко не завжди вітчизняні власники безпілотників обізнані про діючі в різних країнах закони, про що свідчать численні форуми і співтовариства фанатів безпілотної авіації. Іноді незнання законів може викликати великі проблеми. Щоб цього не сталося, спробуємо зупинитися на основних обмеженнях. По суті багато правил можна звести до наступного розумного принципу: не знімати військових, поліцейських, будівлі державної влади, аеропорти і вокзали. Загалом, нічого не знімати.

Єдиного європейського законодавства, в сенсі законів Європейського Союзу, щодо безпілотників не існує. Резолюції та рекомендації Європарламенту брати до уваги не варто. Кожна країна - як член ЄС, так і держави, що не входять в об'єднання, - приймають власні закони щодо правил реєстрації та польотів коптерів.

У багатьох європейських країнах норми і правила використання БПЛА, в основному, схожі (наприклад, заборони на польоти над скупченням людей або населеними пунктами), але на окремих випадках слід зупинитися докладніше.

Серед європейських країн однією з найпопулярніших серед українців довгий час залишається Італія. Італійське законодавство кілька разів змінювалося з моменту прийняття першого зводу норм про безпілотні літальні апарати в 2013 році, причому скоріше в бік посилювання. По-перше, як і в багатьох інших країнах, заборонено здійснювати польоти коптерів над великим скупченням людей, над містами, а також поруч зі стратегічними об'єктами: залізничним вокзалами, аеропортами, електростанціями, військовими базами, урядовими будівлями. По-друге, особливо жорсткі норми щодо дронів тепер діють в столиці – Римі.

Таким чином, ви зможете запустити БПЛА тільки на відкритому просторі, у віддаленні від міста не менш ніж на півтори сотні метрів, а крім цього, повинні постійно підтримувати візуальний контакт зі своїм апаратом. Не можна направляти БПЛА до людей і приватних володінь ближче ніж на 50 м. Забороняється проводити зйомку в радіусі восьми кілометрів від аеропорту. Комерційна зйомка позбавлена багатьох обмежень, проте для неї потрібно отримати ліцензію. Схожі правила діють в сусідній Франції, а також в Німеччині. Із змінами в італійському законодавстві можна ознайомитися на урядовому сайті[1]. Доступні переклади англійською мовою.

Подивитися Париж і не потрапити в лапи суворого французького правосуддя після використання безпілотника можна, якщо дотримуватися простих правил. У 2016 році Управління авіації Франції випустило спеціальну пам'ятку з десяти пунктів англійською мовою [2] для тих туристів, які прибувають в країну, маючи намір використовувати для зйомок літаючі камери. В цілому, вона повторює всі основні правила, про які вже згадувалося вище: про заборону польотів в особли-

вих зонах, про повагу до приватного життя і власності, про обмеження польотів по висоті і дальності і т.п. Зрозуміло, подібна пам'ятка не може викласти всіх деталей і тонкощів законодавства, тому відсилає читачів до сайту урядового[2] Управління цивільної авіації.

У Великобританії в липні 2017 року набули чинності поправки до існуючого з 2014 року законодавства про безпілотники, яке з'явилося після інциденту з коптером, що мало не врізався в пасажирський літак. Всі питання по ліцензуванню та дозволу на польоти регулює Управління цивільної авіації (CAA). До речі, подібна практика склалася в багатьох країнах світу. За старими правилами, власникам дронів вагою менше 20 кг ніякої реєстрації і ліцензування не потрібно. Тепер же необхідно реєструвати всі літальні апарати важче 250 г, а пілотам не тільки знати правила безпечного пілотування, а й експлуатувати тільки ті дрони, які відповідають британським законодавства (з точки зору безпеки та ін.).

Так само, як і в Італії, запускати і пілотувати дрон ви можете тільки в межах прямої видимості. Відповідно до британського законодавства, така зона складає простір в 500 м по горизонталі і 122 м по вертикалі. Також існують обмеження для БПЛА, оснащених фото- і відеокамерою. Ви не можете наближати їх до людини, автомобілю, будівлі або іншому спорудженню менш ніж на 50 м. Некомерційні коптери не можна пілотувати над великою групою людей, включаючи різні розважальні та спортивні заходи (машина повинна знаходитися не менше ніж в 150 м від такого об'єкта).

Як і в Італії, користувачі комерційних дронів повинні отримати ліцензію від Управління цивільної авіації країни. Крім того, зараз британська влада намагається провести норму про програмування БПЛА, щоб автоматично обмежувати зону їх польотів, наприклад, не дозволяти їм літати поблизу аеропортів. Така функція вже є у деяких моделей, наприклад, у серії Phantom. Крім цього, слід уточнити інформацію по дозволам для безпілотників робочим частотам. Детальніше про норми і правила польотів коптерів можна дізнатися на сайті CAA[3].

У США закон набагато суворіший по відношенню до власників дронів, що, зрозуміло. Події 11 вересня пам'ятають багато людей, а крім того, останнім часом в США відбулося кілька серйозних інцидентів з дронами. Тому з грудня 2015 року всі власники БПЛА зобов'язані зареєструвати свої машини. Для тих, хто здобував дрони до вступу в силу закону, діяла норма реєстрації апарату до 19 лютого 2016 року. Іншим фактично потрібно було реєструвати машину негайно після покупки. Порушникам загрожує цілком пристойний штраф в кількості 27 000 доларів.

Всіма питаннями подібного роду на законодавчому рівні займається Федеральне управління авіації. Загальнодержавні закони забороняють дронам підніматися вище 122 метрів, літати ближче 5 миль від аеропортів і підніматися в повітря над деякими національними парками. Вага дрона не може перевищувати 25 кг. Крім того, потрібно пам'ятати про те, що в кожному штаті вводяться свої норми і правила польотів, тому слід уважно вивчати не тільки вимоги FAA[4], а й вимоги місцевої влади.

1.3.1 Законодавча база в Україні

Відомості про законодавчі обмеження в державах - республіках колишнього СРСР (крім Прибалтики і Грузії, де, в основному, діють норми, подібні до європейських) знайти не так просто. Крім того, в ряді країн питання про експлуатацію безпілотників залишається відкритим, законодавство нечітким, а існуючі норми нерідко занадто жорсткі.

Не так давно, а саме, навесні 2018 року, державна авіаційна служба України Міністерства оборони України зареєструвала Наказ «Про затвердження авіаційних правил України» [5] Правила використання повітряного простору України, в якому мова йде про такий важливий для нас аспект як використання безпілотних літальних апаратів в межах повітряного простору України і законності тих чи інших пристроїв.

Для початку, щоб було чітке розуміння, які пристрої, згідно з Наказом, належать БПЛА (безпілотний літальний апарат).

–ПС - повітряне судно;

–ІВП - використання повітряного простору;

–ОВС - обслуговування повітряного руху;

–УВС - управління повітряного руху;

–ОЦВС - об'єднана цивільно-військова система організації повітряного руху України;

–Безпілотне ВС - ВС, призначене для виконання польоту без пілота на борту, керування польотом якого і контроль за яким здійснюється за допомогою спеціальної станції керування, розташованої поза повітряним судном;

–Візуальний політ в межах прямої видимості (VLOS) - політ, протягом якого зовнішній пілот підтримує безпосередній візуальний контакт з безпілотним ВС без використання приладів.

Розділ 2. Пункт 3. «Польоти безпілотних ВС організовуються і здійснюються відповідно до вимог нормативно-правових актів України в галузі цивільної та державної авіації з дотриманням правил польотів у повітряному просторі України та цих Авіаційних правил. Організацію таких польотів забезпечують користувачі повітряного простору (керівники авіапідприємств, організацій, власники або зовнішні пілоти ВС і т.д.), які планують або здійснюють зазначену діяльність».

Розділ 2. Пункт 4. «Польоти безпілотних ВС масою до 20 кг включно виконуються без подання заявок на ІВП, без отримання дозволів на ІВП, без інформування органів управління Повітряних Сил ЗС України та органів ОЦВС, органів Державної прикордонної служби України, органів ОВС та відомчих органів УВС ...» Тобто, в принципі, вищеописаний пункт, як і його продовження, яке буде описано трохи пізніше, не поширюється на моделі спортивного і розважального призначення загальною вагою менше 20 кг.

Дане правило має свої винятки. Таким чином, ніяких дозволів на використання дрона вагою до 20 кг не вимагається, якщо:

1. польоти виконуються без перетину державного кордону України;

2. польоти виконуються за межами встановлених заборон і обмежень ІВП, крім випадків, встановлених Положенням про ІВП;

3. польоти виконуються не ближче ніж в 5 км від зовнішніх кордонів злітно-посадкових смуг аеродромів або не ближче 3 км від зовнішніх кордонів злітно-посадкової смуги ЗПС / вертодромів, крім випадків погодження з експлуатантом аеродрому / ВПП / вертодрому;

4. польоти виконуються не ближче ніж на відстані 500 м від пілотованих повітряних суден;

5. польоти не виконуються над:

–скупченням людей на відкритому просторі і над місцями щільної забудови;

–об'єктами (зонами), визначеними Міністерством оборони України, Міністерством інфраструктури України, Міністерством внутрішніх справ України, Державною прикордонною службою України, Службою безпеки України, Національною поліцією України, Національною гвардією України, Державною фіскальною службою України, Службою зовнішньої розвідки України, Управлінням державної охорони України, іншими військовими формуваннями та правоохоронними структурами, утвореними відповідно до законів України, та щодо яких здійснюється охорона / державна охорона (за умови позначення території навколо цих об'єктів інформаційними знаками про заборону польотів безпілотних ВС і / або шляхом оприлюднення кордонів такої заборони), крім випадків виконання польотів по вирішенню зазначених вище уповноважених органів;

6. польоти виконуються в межах прямої видимості (VLOS) ;

7. максимальна висота польоту не вище:

–120 м над рівнем земної (водної) поверхні поза CTR, AFIZ, ATCA, ATCZ, спеціально встановлених зон, зарезервованого повітряного простору для забезпечення польотів за спеціально встановленими маршрутами польотів державної авіації ;

–50 м над рівнем земної (водної) поверхні в межах CTR, AFIZ, ATCA, ATCZ, спеціально встановлених зон, зарезервованого повітряного простору для забезпечення польотів за спеціально встановленими маршрутами польотів державної

авіації або якщо інформація про фактичний статус елементів структури повітряного простору на час виконання польоту відсутній;

–50 м над статичними перешкодами на горизонтальному відстані не більше 100 м від таких перешкод, як відхилення від зазначених вище обмежень по висоті за запитом власника такого об'єкта;

8. швидкість польоту безпілотного ВС становить не більше 160 км / ч Безумовно, у всіх інших випадках, якщо безпілотник має масу понад 20 кг, то необхідно його реєструвати і брати велику кількість дозволів в уповноважених органах державної влади, про які ми писали вище.

Якщо підсумувати все вищесказане, то можна зробити висновок:

–дрони-іграшки, які літають на невеликій відстані (до 50 м), мають невелику вагу і невисоку швидкість не потребують ніяких дозволів і підтверджень з боку держави і не підкоряються описаним вище правилам використання повітряного простору .

–дрони гоночні буде необхідно реєструвати в разі, якщо вони перевищуватимуть швидкість 160 км / год, порушуватимуть повітряний простір, закріплений за відомчими службами, занадто близько пролітатимуть над великим скупченням людей і місцями щільної забудови і, звичайно, не варто забувати про державні кордони і близькості злітно-посадкових смуг і аеродромів.

–що стосується напівпрофесійних і професійних дронів, то вони також будуть підкорятися всім вищеописаним правилам, якщо їх власники вирішать управляти ними, не враховуючи вищеописані моменти.

Процедура реєстрації: Отже, якщо ви власник безпілотника вагою понад 20 кг, то перед використанням пристрою за призначенням, вам необхідно в першу чергу подати заявку на використання повітряного простору в Украероцентр до 12:00 UTC напередодні здійснення діяльності для реалізації наступних цілей:

–виконання навчальних, тренувальних, випробувальних, інших польотів повітряних суден, в тому числі безпілотних ВС, на аеродромах (постійних ВПП / вертодрому) в спеціально встановлених зонах і за спеціально встановленими

маршрутами (резервування повітряного простору), зонах обмеження польотів і небезпечних зонах, визначених інструкціями з виконання польотів (ВПП)

–виконання польотів повітряних суден, в тому числі безпілотних ВС, в спеціально встановлених зонах (резервування повітряного простору) і за спеціально встановленими маршрутами з метою здійснення авіаційних робіт, обльоту радіотехнічних засобів тощо

–проведення стрільб, пусків ракет, вибухових робіт, примінення вибухових пристроїв військового призначення, знешкодження боєприпасів шляхом їх підризу (в встановлених зонах обмеження польотів і небезпечних зонах)

–разового проведення запусків (підйомів) метеорологічних радіозондов, куль-пілотів, аеростатів з визначених постійних пунктів запуску поза розкладом і з тимчасових пунктів запуску.

1.4 Проблемна область

Різноманітні безпілотники, квадрокоптери і дрони стрімко влетіли в наше життя. Дрони дуже здікавили населення своєю простотою , функціональними можливостям та доступністю особливо в ціновому плані. БПЛА з кожнім місяцем стають більш досконалыми і доступними широким масам населення. А легкість управління зробили їх популярними у будь-якому віці. Але дрон може використовуватися не тільки у корисних цілях , тим більше якщо ніхто не заборонить купити коптер злочинцю.

Продажі дронів різко зростають, збільшуючись на десятки мільйонів апаратів щорічно. За прогнозами, в 2022 році обсяг продажів досягне 15 мільярдів доларів США. Але так само стрімко росте і статистика злочинів, скоєних за допомогою дронів . БПЛА активно використовують для стеження за приватним життям, відстеження руху мобільних об'єктів і проникнення в важкодоступні місця.

Якщо встановити тепловізор на безпілотник це відкриє для злочинця нові горизонти, а саме дозволить працювати і відстежувати ситуацію навіть вночі. Відомі випадки використання дронів для стеження за багатими будинками для пошуку часу відсутності господарів і подальшої крадіжки у будівлях.

У деяких випадках, на "шухері" також висів дрон для попередження злочинців про небезпеку, що наближається.

Оптика з високою роздільною здатністю дозволила б отримувати фото документів і красти технології навіть через вікна. Так, квадрокоптер над банкоматом знімав кредитні картки і введені PIN коди. В останні роки безпілотники активно використовують наркодилери для прихованої доставки заборонених речовин в будь-яку точку міста. Деякі великі музичні фестивалі зіткнулись з фактами закидів дронами алкоголю і наркотиків на територію заходів.

Активно безпілотники використовують контрабандисти для переправлення через кордон сигарет, гаджетів і інших дорогих та заборонених речей. Також фіксується багато випадків підкидання у в'язниці телефонів, зброї, наркотиків та інших предметів за допомогою БПЛА.

Для псування майна і організації підпалів, на будівлі або ділянки землі скидаються легкозаймисті рідини. До важких та смертельних наслідків призводить розпорошення отрут, небезпечних отруйних і радіоактивних речовин.

Весь світ облетіли кадри використання за допомогою дрона вбудованої зброї і вибухівки, скидання бомб і мінування територій.

З вище представленої інформації можна зробити висновок, що не контрольовані перельоти БПЛА можуть привести до витоку особистої інформації, а також це є просто небезпечним для життя і здоров'я кожного, якщо коптер опиниться в руках зловмисника. Отже тема роботи є актуальною та потребує своєчасного вирішення.

1.5 Способи виявлення дронів. Сучасні аналоги

«Ручне» спостереження. Окремий повітряний дозорець з біноклем на рядовому об'єкті – це занадто. Однак періодичну оцінку обстановки над територією цілком можна довірити патрульним або вахтовим. В сенсі, повітряну тривогу може оголосити і оператор системи відеоспостереження. Але відео аналітика дозволяє вирішити цю задачу більш ефективно. Одного лише виявлення повітряних цілей тут недостатньо: необхідно, щоб система була здатна відрізнити дрон від птаха - за характером руху і траєкторії польоту. В британській спеціалізованій «протидронній» системі AUDES повітряні цілі паралельно спостерігаються телевізійною та тепловізійною камерами.

Автоматичний аудіо моніторинг на предмет виявлення БПЛА був заявлений американськими розробниками кілька років тому. Є велика база даних «звукових відбитків» за моделями дронів. Однак дійсність показала, що ці відбитки дуже легко замаскувати, наприклад, простою модифікацією лопастей гвинтів. Аудіо моніторинг істотно ускладнюється при високому рівні фонових шумів на об'єкті - як природних, так і техногенних.

Присутність безпілота можливо виявити також шляхом моніторингу радіоканалів, використовуваних для зв'язку апарату з оператором - найчастіше в діапазонах 2,4 ГГц і 5,8 ГГц. Простіші моделі БПЛА можна виявити і звичайним скануванням мереж Wi-Fi: апарати передають по мережі свої ідентифікатори SSID і унікальні MAC-адреси.

Традиційна радіолокація не дозволяє виявляти дрони звичайних розмірів - зокрема, побутові квадрокоптери. Тут можуть застосовуватися мікрохвильові радари, наприклад, Blighter B400, здатний засікати низько цілі відносно невеликих розмірів або оновлений комплекс для виявлення БПЛА "СОЛОВЕЙ-2"(рис.1.4) отримав модернізовану систему придушення перешкод і має можливість запису невідомих сигнатур радіосигналу для подальшого аналізу. Система відстежує передачі в межах "невидимого купола" радіусом до 1,5 км. Дальність дії може бути зміненою в залежності від конфігурації об'єкту, що охороняється. Це корисна можливість при забезпеченні повного покриття протяжної зони складної форми,

для чого знадобиться не один і, швидше за все, не два модуля виявлення, а ціла мережа. Дані виводяться з модуля в цифровому вигляді по мережі Ethernet через уніфікований роз'єм 8P8C. Це відкриває великі можливості для масштабування через обчислювальні мережі, передана інформація відображається на єдиному пульті диспетчера.

Пристрій має кругову сферичну діаграму спрямованості, але точність відомостей про місцезнаходження БПЛА обмежена сектором шириною 60°. Повідомлення про виявлення передається оператору на пульт управління, або відразу системі оповіщення.



Рис.1.4 – схема роботи комплексу для виявлення БПЛА "СОЛОВЕЙ-2"

Ще один з варіантів стеження за дронами запропонувала китайська компанія DJI, що займається виробництвом дронів, та продемонструвала технологію, яка дозволяє ідентифікувати найближчий безпілотник і точно визначити розташування людини, яка ним керує. Для цього потрібно мати всього лише смартфон.

Техніка використовує протокол під назвою "Wi-Fi Aware" (частина Wi-Fi, призначена для збору інформації про можливості інших пристроїв до безпосереднього підключення до них), за допомогою якого дрон передає інформацію про свої дії. Поштовхом до розробки стали побоювання, викликані тим, що безпілотні літальні апарати можуть використовуватися для шпигунства, а також випадково порушувати комерційні польоти.

1.6 Виявлення проблем та актуалізація рішень

Перед розробкою методу для контролю переміщення дронів та інтеграції його у майбутню систему для моніторингу і контролю була досліджена актуальність створення даного продукту та виконаний пошук аналогів.

Актуальність підтверджена необхідністю захисту приватної інформації та , якнайвищої цінності-людського життя , що може потрапити під загрозу.

Існує декілька аналогів системи зовсім не схожих між собою у більшості випадків вони потребують багато додаткових людських сил, постійного моніторингу та є дуже дорогими. Є й мобільна версія ,що не потребує додаткових сил та грошей , але на даний час вона на стадії розробки. Також існуючі системи базуються на аналізі минулих переміщень, але їх точність сумнівна.

У ході аналізу було виявлено доцільність використання алгоритмів нечіткої логік, націленого на аналіз існуючих даних про переміщення дрону.

1.7 Постановка задачі

Предметною областю програми, що розробляється є модель на базі алгоритмів нечіткої логіки для системи моніторингу та контролю переміщення безпі-

лотних літальних апаратів, що призначена для посилення безпеки у повітряному просторі та забезпечення недоторканності приватних територій для їх власників та підприємств. Останнім часом все більш актуальною стає проблема безпеки повітряного простору та приватних територій, адже кількість безпілотних літальних апаратів з кожним роком збільшується. Саме для задоволення потреб у боротьбі з проблемою безконтрольних переміщень у повітряному просторі і буде створена модель для веб-сервісу.

Розробити програмну модель на базі алгоритмів нечіткої логіки, що буде вдовольняти функціональні потреби веб-сервісу, що буде працювати швидко та стабільно незалежно від кількості користувачів та кількості безпілотних літальних апаратів у системі.

Використати регресивні методи та нейронні мережі у рамках реалізації алгоритму на базі нечіткої логіки.

Використати tensorflow та скрипти на python для імплементації алгоритму.

Розробити архітектуру програмної системи та спроектувати структуру даних для збереження про переміщення безпілотних літальних апаратів та меж приватних територій.

Зробити та обґрунтувати вибір мов програмування та технологій для реалізації описаного продукту та побудови моделі. Виконати перевірку актуальності моделі та можливості інтеграції у програмне забезпечення.

Розробити веб-сервіс для задоволення потреб у боротьбі з проблемою безконтрольних переміщень у повітряному просторі, який матиме інтерактивне меню, буде швидким та легким у користуванні.

Для вирішення проблеми навантаження використати асинхронне серверне рішення на базі GoLang з фреймворком Echo що дозволить легко масштабувати систему.

Для зберігання даних використати реляційну СКБД MySQL, бо дані, що потрібно використовувати, мають реляційну природу та добре підходять під реляційну модель.

Реалізувати багаторівневу, багатошаровим архітектуру, врахувати можливість масштабування, на клієнтському рівні реалізувати веб-додаток, що буде виконувати запити до єдиного серверу по HTTP протоколу.

Для розробки клієнтської front-end частини використати React та Redux та HTML5 / CSS3 та відображення інтерфейсу.

Реалізувати систему зв'язку клієнта з сервером на базі HTTP протоколу зв'язку клієнт-сервера і GET / POST / PUT / DELETE запитів. Запити виконувати на базі бібліотеки fetch.

В даній системі реалізовані наступні можливості:

- а) реєстрація користувача;
- б) авторизація в системі;
- в) можливість зареєструвати літальний апарат у системі;
- г) можливість перегляду правопорушень своїх літальних апаратів;
- г) можливість зареєструвати приватну територію.

Таким чином для успішної роботи системи були визначені вимоги до неї, що надасть змогу в ході виконання роботи розробити систему, що буде відповідати усім необхідним критеріями якості.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ

2.1 Історія нечіткої логіки

У термінах аристотелевої логіки, в якій твердження не може бути одночасно істинним і хибним, і подібні самозаперечення не мають сенсу. Якщо вони істинні, то вони помилкові, але якщо вони помилкові, то вони істинні.

І тут на сцену виходить нечітка логіка, де змінні можуть бути частковими членами множин. Істинність або хибність перестають бути абсолютними - твердження можуть бути частково істинними і частково помилковими. Використання подібного підходу дозволяє строго математично довести, що парадокс Епіменіда рівно на 50% правдивий і на 50% хибна.

Таким чином, нечітка логіка в самій своїй основі несумісна з аристотелевою логікою, особливо щодо закону *Tertium non datur* («Третього не дано» - лат.), Який також називають законом виключення середнього. Якщо сформулювати його коротко, то звучить він так: якщо твердження не є істинним, то воно є хибним. Ці постулати настільки базові, що їх часто просто беруть на віру.

Більш банальний приклад користі нечіткої логіки можна привести в контексті концепції холоду. Більшість людей здатне відповісти на питання: «Холодно чи вам зараз?». У більшості випадків (якщо ви розмовляєте ні з аспірантом-фізиком) люди розуміють, що мова не йде про абсолютну температуру за шкалою Кельвіна. Хоча температуру в 0 К можна, без сумніву, назвати холодом, але температуру в +15 С багато холодом вважати не будуть.

Але машини не здатні проводити таку тонку градацію. Якщо стандартом визначення холоду буде «температура нижче +15 С», то +14,99 С буде розцінюватися як холод, а +15 С - не буде.

Нечітка логіка - розділ математики, який узагальнює класичну формальну логіку і теорію множин. Теорія множин базується на понятті нечіткої множини.

Спочатку це була лише теорія, а в даний час нечітка логіка перетворилася

в повноцінну методику управління. Вона використовується спільно з іншими методиками управління, вдало доповнюючи їх.

Нечітка логіка зовсім не замінює традиційні методики управління, а навпаки вона використовується спільно з ними і дозволяє спростити створення і розширити можливості традиційних методик.

Переваги базуються в наступному:

- формалізується та об'єднується досвід операторів і розробників в налаштуванні панелі регулювання;
- пропонується простий метод управління для складних процесів;
- постійно враховується досвід з управління процесами даного типу, беручи до уваги виключення різного роду і особливості системи;
- враховуються вихідні дані різного роду і виробляються об'єднання різних вихідних даних.

У більшості, використовуваних в даний час додатків автоматизації технологічних процесів, нечітка логіка дозволяє застосувати досвід операторів і технологів для управління процесами.

Математична теорія нечітких множин (fuzzy sets) і нечітка логіка (fuzzy logic) є одне з найбільших досягнень математики ХХ-ого століття, якщо критерієм брати практичну користь. Дані поняття були вперше запропоновані американським вченим Лотфі Заде (Lotfi Zadeh) в 1965 р Основною причиною появи нової теорії стали міркування автора на зразок того, що ми кілька століть тому звернули на хибну доріжку прислуховуючись до аристотелевої логіки, адже життя не чорно-біле і люди кожного дня навчаються.

Перш ніж нечіткий підхід до моделювання складних систем отримав визнання у всьому світі, пройшло не одне десятиліття з моменту зародження теорії нечітких множин. І на цьому шляху розвитку нечітких систем прийнято виділяти три періоди.

Перший період (кінець 60-х- 70 рр.) Характеризується процвітанням теоретичного апарату нечітких множин (Л. Заде, Е. Мамдані, Беллмана).

У другому періоді (70-80-ті роки) появляються перші практичні результати в області управління нечіткою логікою складними технічними структурами (парогенератор з нечітким керуванням). У той же час стало присвячуватися увага питанням побудови експертних систем, побудованих на нечіткій множині, розробці нечітких контролерів. Нечіткі експертні системи для підтримки прийняття рішень знаходять широке застосування в медицині та економіці.

В третьому періоді (кінець 80-х років і триває в даний час), з'являються пакети програм для побудови нечітких систем для роботи у нових сферах та галузях, адже теорія нечітких множин може використовуватись в одній і тій же сфері багаторазово, що дає величезну кількість можливостей для реалізації. Вона застосовується в автомобільній, аерокосмічній і транспортній промисловості, в області виробів різноманітних пристроїв та техніки, у сфері економіки, аналізу і прийняття управлінських рішень та багатьох інших.

Тріумфальний хід нечіткої логіки по світу почалося після докази в кінці 80-х Бартоломеєм Коско знаменитої теореми FAT (Fuzzy Approximation Theorem). У бізнесі і фінансах нечітка логіка отримала визнання після того, як в 1988 році експертна система на основі нечітких правил для прогнозування фінансових індикаторів єдина передбачила біржовий крах. І кількість успішних fuzzy-застосувань в даний час обчислюється тисячами.

2.2 Нечітка логіка.

Угрупування нечітких систем базується на принципах fuzzy logic і теорії нечітких множин – що є частиною математики (класичної логіки).

Основна причина виникнення нової теорії стала присутність нечітких дій у житті людини, при поясненні людиною процесів, систем, об'єктів. У найчастіше механізм логічного висновку в форматі нечіткої логіки включає в себе чотири етапи:

- введення нечітких даних(фазифікація),
- нечіткий висновок,
- композиція і приведення у відповідність до чіткості або дефазифікації .

Алгоритми нечіткого вводу розрізняються головним чином видом використовуваних правил, логічних операцій і різновидом тоду дефазифікації.

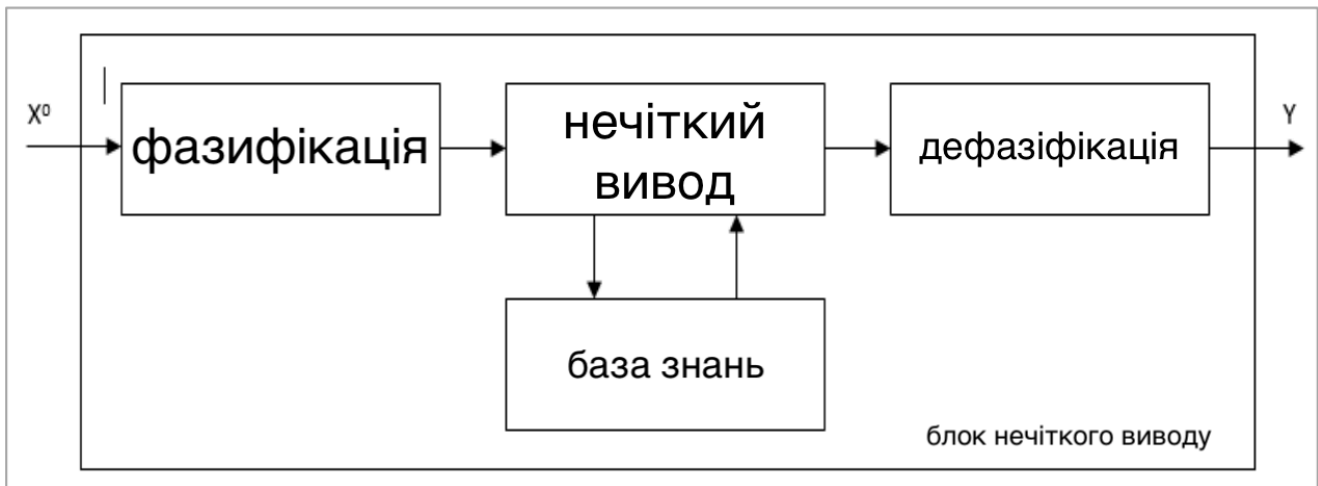


Рисунок 2.1 – Блок нечіткого виводу

Загальна схема обробки нечіткої інформації представлена на рисунку (рис. 2.1). Точні вихідні дані з датчиків, контролюючих керуючий процес, переводяться в значення лінгвістичних змінних в спеціальному блоці, який отримав назву «фазифікатор». Далі реалізуються процедури нечіткого виведення на безлічі продукційних правил, що є основою знань системи управління, в результаті чого формуються вихідні лінгвістичні значення, які переводяться в точні значення результатів обчислень в блоці «дефазифікатор». На виході останнього формуються управляючі дії, що подаються на виконавчі механізми. Ця концептуальна схема лежить в основі так званого нечіткого контролера, що використовується в інтелектуальних системах обробки невизначеною інформації, зокрема, в «інтелектуальних» системах управління.

У класичних нечітких регуляторах не передбачені механізми адаптації в реальному часі до постійно змінюваних характеристик взаємодії об'єкта управління

з навколишнім середовищем, що не дозволяє застосовувати нечіткі системи для управління об'єктами із змінним в часі властивостями.

Однак існує ряд методів, які розширюють можливості нечітких регуляторів в цій області. Одним із серйозних недоліків нечітких систем управління є неможливість передбачення поведінки системи на кілька кроків вперед, так як існуючий математичний апарат нечіткої логіки дозволяє будувати правила управління, що зв'язують лише поточний стан об'єкта за допомогою керуючого впливу, який необхідно зробити в поточній ситуації

2.3 Математичний апарат

Особливістю теорії нечітких множин виступає функція спорідненості (Membership Function). Позначення виглядає $MF_C(x)$ – рівень спорідненості до нечіткої множини C , що зображує собою підсумовує поняття характеристичної функції звичайної множини. Тоді нечіткою множиною Z називається певна кількість впорядкованих пар виду $C = \{MF_C(x) / x\}$, $MF_C(x) [0,1]$. Робимо висновок що значення $MF_C(x) = 0$ означає відсутність спорідненості з множиною, 1 - повну спорідненості.

Зобразимо та пояснимо це на зрозумілому прикладі. Візьмемо "гарячий чай" за неточне визначення. Як x (область думок) шкала температури Цельсія(в градусах) буде виступати змінною. Звичайно ж, що шкала буде змінюється від 0 до 100 градусів. Нечітка множина для змінної "гарячий чай" може виглядати будь-им чином:

$C = \{0/1; 0/11; 0/21; 0,16 / 31; 0,34 / 41; 0,66/ 55; 0,80 / 61; 0,9 / 71; 2/82; 1/91; 1/103\}$.

Так, чай з температурою 60 С можна віднести о множин "Гарячий" зі ступенем спорідненості 0,80. Для одного напій температурою 60 С може виявитися гарячим, для іншого – це вже не чай ,бо він не занадто гарячий. Саме в цьому і проявляється нечіткість завдання відповідної множини.

Нечіткі множини, як і звичайні , потребують визначення основних логічних операції. Най головнішими та необхіднішими для вимірів , є перетин і об'єднання.

Перетин двох нечітких множин (нечітка "І"): А В: $M_{FAB}(x) = \min(M_{FA}(x), M_{FB}(x))$.

Об'єднання двох нечітких множин (нечітка "АБО"): А В: $M_{FAB}(x) = \max(M_{FA}(x), M_{FB}(x))$.

В класичній теорії про нечіткі множини розроблено загальний підхід до здійснення операторів перетину, об'єднання і доповнення, реалізований в так названих трикутних нормах і конормах. Вище реалізовані операцій перетину і об'єднання - найбільш поширені випадки t-норми і t-конорми.

Для опису нечітких множин необхідно ввести поняття нечітких і лінгвістичних змінних.

Нечітка змінна визначається набором (N, X, A) , де N - це назва змінної, X - універсальна множина (область міркувань), A - нечітка множина на X.

Значеннями лінгвістичної змінної можуть бути нечіткі змінні, тобто лінгвістична змінна знаходиться на більш високому рівні, ніж нечітка змінна. Кожна лінгвістична змінна складається з:

- назви;
- множини своїх значень, яке також називається базовим терміном- множиною T. Елементи базового терм-множини являють собою назви нечітких змінних;
- універсальної множини X;
- синтаксичного правила G, за яким генеруються оновлені терми із застосуванням слів природної або формальної мови;
- семантичного правила P, яке кожному значенню лінгвістичної змінної ставить у відповідність нечітку підмножину безлічі X.

Розглянемо таке нечітке поняття як "Ціна акції". Це і є назва лінгвістичної змінної. Базова терм-множина формуватиме для неї три нечітких змінних: "Низька", "Помірна", "Висока" і поставимо область міркувань у вигляді $X = [100; 200]$ (одиниць). Останнє, що залишилося зробити - побудувати функції належності для кожного лінгвістичного терма з базового терм-множини T .

Існує понад десяток типових форм кривих для завдання функцій спорідненості. Найбільшого поширення набули: трикутна, трапецеїдальних і гауссова функції спорідненості.

Трикутна функція спорідненості визначається трійкою чисел (a, b, c) , і її значення в точці x обчислюється відповідно до виразу:

$$MF(x) = \begin{cases} 1 - \frac{b-x}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1 - \frac{x-b}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & x \notin (a; c) \end{cases}$$

При $(b-a) = (c-b)$ маємо випадок симетричній трикутної функції спорідненості, яка може бути однозначно задана двома параметрами з трійки (a, b, c) .

Трапецеїдальній функції для завдання спорідненості необхідна четвірка чисел (a, b, c, d) :

$$MF(x) = \begin{cases} 1 - \frac{b-x}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ 1 - \frac{x-c}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & x \notin (a; d) \end{cases}$$

При $(b-a) = (d-c)$ трапецеїдальна функція спорідненості бере симетричний вид.

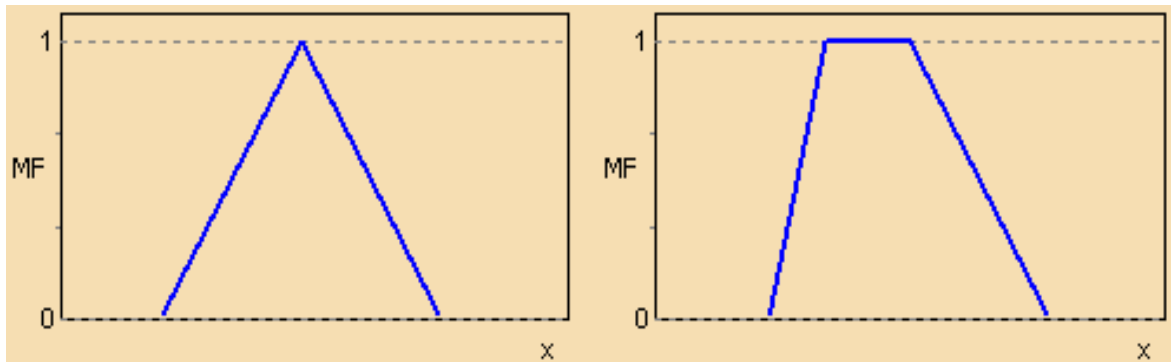


Рис.2.2 - Типові кусочно-лінійні функції спорідненості

Функція гаусового спорідненості типу описується формулою

$$MF(x) = \exp \left[- \left(\frac{x - c}{\sigma} \right)^2 \right]$$

А також оперує двома параметрами. Параметр c позначає центрів нечіткої множини а параметр відповідає за нахил функції.

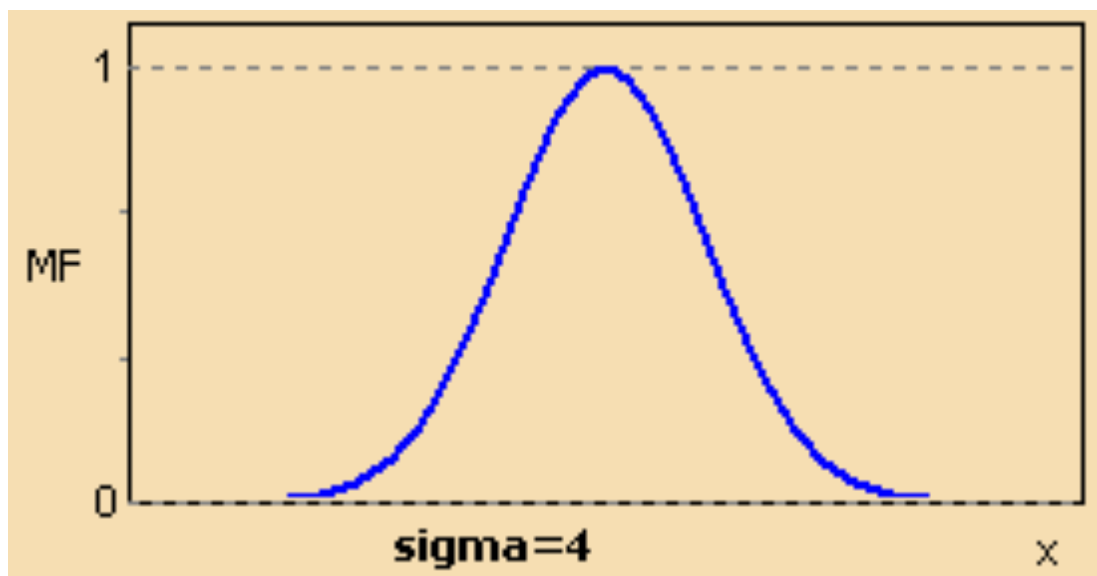


Рис.2.3- Гауссова функція спорідненості

Сукупність функцій спорідненості для кожного терма з основою терм-множини T зазвичай зображаються разом на одному графіку. На рисунку 2.4 зображено приклад прописаної вище лінгвістичної змінної "Ціна акції", на рисунку 2.5 -

формалізація неточного поняття "Вік людини". Так, для людини 48 років ступінь спорідненості до множини "Молодий" дорівнює 0, "Середній" - 0,47, "Вище середнього" - 0,20.



Рис.2.4- Опис лінгвістичної змінної "Ціна акції"

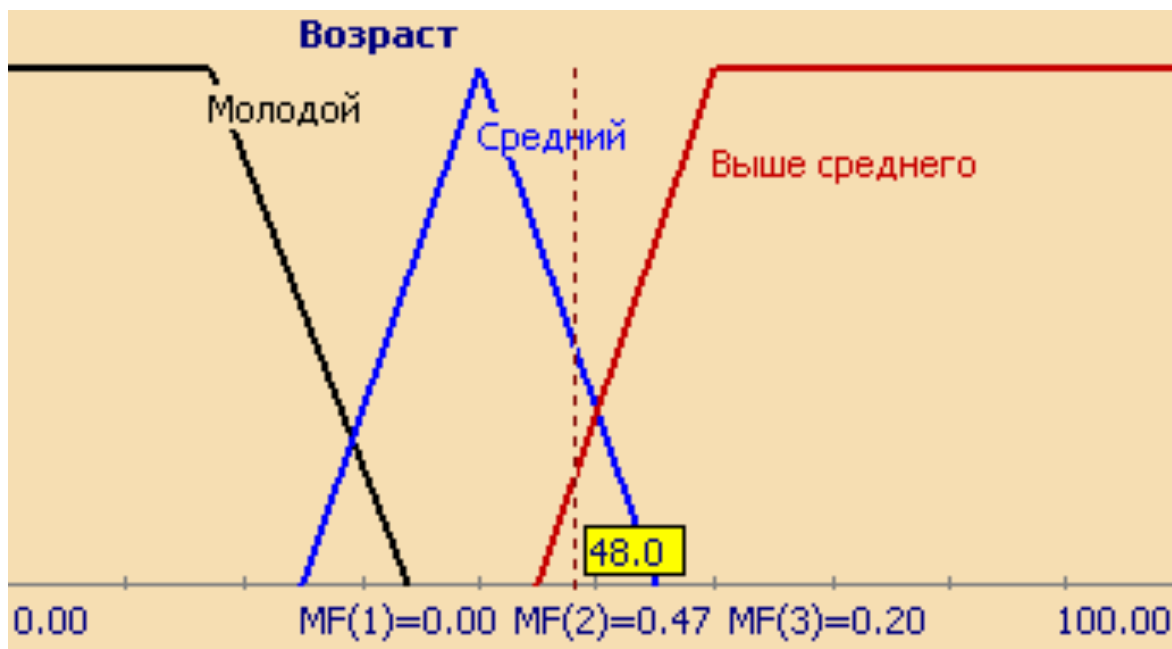


Рис. 2.5- Опис лінгвістичної змінної "Вік"

Кількість термів в лінгвістичної змінної не часто перевищує 7.

2.3.1 Не чіткий логічний запит

Основою для проведення операції нечіткого логічного висновку є база правил, що містить нечіткі висловлювання у формі "Якщо щось" і функції спорідненості для відповідних лінгвістичних термів. При цьому повинні дотримуватися наступні умови:

Існує хоча б одне правило для кожного лінгвістичного терма вихідної змінної.

Для будь-якого терма вхідної змінної є хоча б одне правило, в якому цей терм використовується в якості передумови (ліва частина правила).

В іншому випадку має місце неповна база нечітких правил.

Нехай в базі правил є m правил виду:

R_1 : ЯКЩО x_1 це A_{11} ... И ... x_n це A_{1n} , ТО y це B_1

...

R_i : ЯКЩО x_1 це A_{i1} ... И ... x_n це A_{in} , ТО y це B_i

...

R_m : ЯКЩО x_1 це A_{m1} ... И ... x_n це A_{mn} , ТО y це B_m ,

де x_k , $k = 1..n$ - вхідні змінні; y - вихідна змінна; A_{ik} - задані нечіткі множини з функціями належності.

Результатом нечіткого висновку є чітке значення змінної y * на основі заданих чітких значень x_k , $k = 1..n$.

У загальному випадку механізм логічного висновку включає чотири етапи: введення нечіткості (фазифікація), нечіткий висновок, композиція і приведення до чіткості, або дефазифікації .

Алгоритми нечіткого виведення розрізняються головним чином видом використовуваних правил, логічних операцій і різновидом методу дефазифікації. Розроблено моделі нечіткого висновку Мамдані, Сугено, Ларсена, Цукамото.

Розглянемо докладніше нечіткий висновок на прикладі механізму Мамдані (Mamdani). Це найбільш поширений спосіб логічного висновку в нечітких системах. У ньому використовується мінімаксна композиція нечітких множин. Даний механізм включає в себе наступну послідовність дій.

1. Процедура фазифікація: визначаються ступеня істинності, тобто значення функцій спорідненості для лівих частин кожного правила (передумов). Для бази правил з m правилами позначимо ступеня істинності як $A_{ik}(x_k), i = 1..m, k = 1..n$.

2. Нечіткий висновок. Спочатку визначаються рівні "відсікання" для лівої частини кожного з правил:

$$\alpha_i = \min_k (A_{ik}(x_k))$$

Далі знаходяться "усічені" функції спорідненості:

$$B_i^*(y) = \min(\alpha_i, B_i(y))$$

3. Композиція, або об'єднання отриманих усічених функцій, для чого використовується максимальна композиція нечітких множин:

$$MF(y) = \max_i (B_i^*(y))$$

Де $MF(y)$ - функція спорідненості підсумкового нечіткого множиною.

4. Дефазифікація, или приведение к четкости. Существует несколько методов дефазификации. Например, метод среднего центра, или центроидный метод:

$$MF(y) = \max_i (B_i^*(y))$$

Геометричний сенс такого значення - центр ваги для кривої $MF(y)$. Малюнок 6 графічно показує процес нечіткого виведення по Мамдані для двох вхідних змінних і двох нечітких правил $R1$ і $R2$.

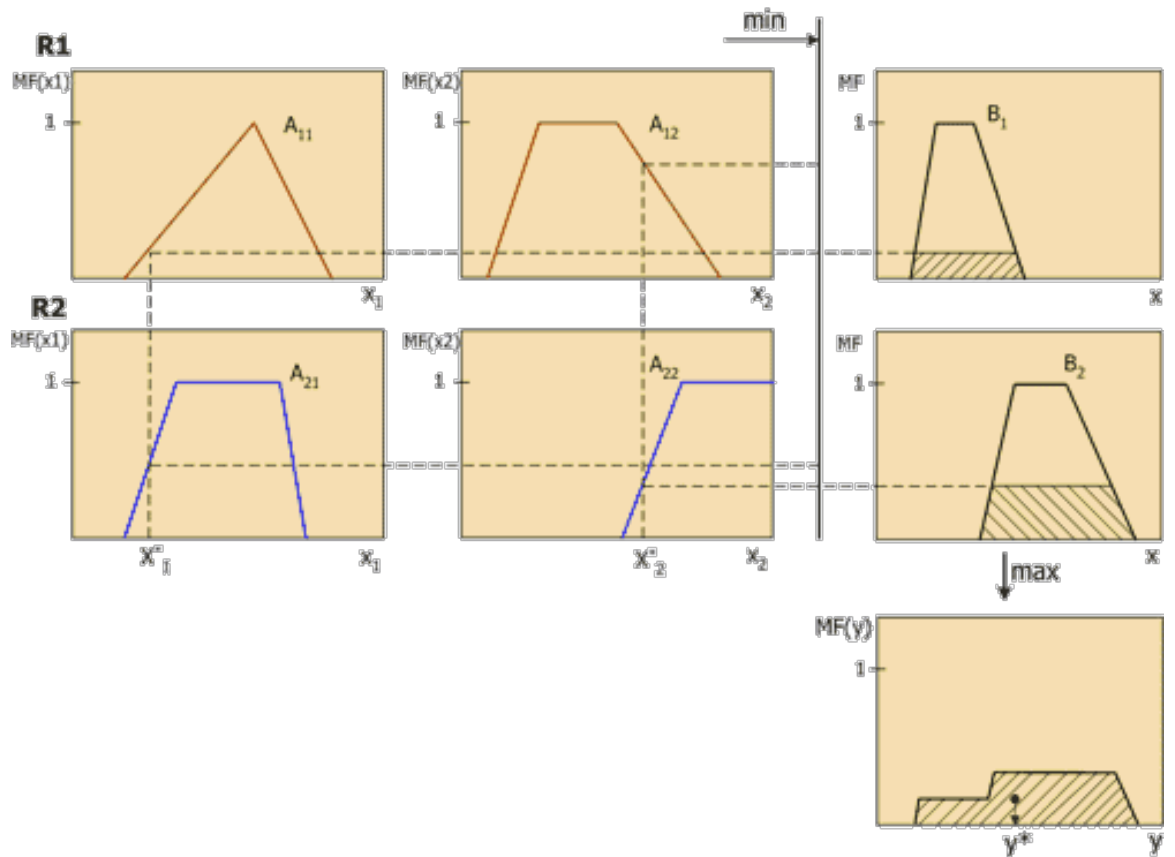


Рис.2.6 - Схема нечіткого виведення по Мамдані

2.4 Алгоритм Мамдані

Алгоритм Мамдані (Mamdani) був запропонований в 1975 р англійським математиком Е. Мамдані в якості методу для управління паровим двигуном і отримав найбільше застосування в системах нечіткого виведення.

Даний алгоритм описує кілька послідовно виконуються етапів (рис. 2.7). При цьому кожний наступний етап отримує на вхід значення отримані на попередньому кроці.



Рис. 2.7- Діаграма діяльності процесу нечіткого виведення

Алгоритм примітний тим, що він працює за принципом «чорного ящика». На вхід надходять кількісні значення, на виході вони ж. На проміжних етапах використовується апарат нечіткої логіки та теорія нечітких множин. В цьому і полягає елегантність використання нечітких систем. Можна маніпулювати звичними числовими даними, але при цьому використовувати гнучкі можливості, які надають системи нечіткого виведення.

Отже, етапи нечіткого виводу виконуються послідовно. І все значення, отримані на попередньому етапі, можуть використовуватися на наступному.

Формально алгоритм Мамдані може бути визначений таким чином:

- формування бази правил систем нечіткого виводу;
- процедура фазифікації (введення нечіткості) вхідних змінних. Кожному значенню окремої вхідної змінної ставиться у відповідність значення функції спорідненості відповідного їй теорема вхідної лінгвістичної змінної - $\mu_1(x)$, $\mu_2(x)$, ..., $\mu_n(x)$, де $\mu_1(x)$, ..., $\mu_n(x)$ - функції спорідненості для змінної x ;
- нечіткий висновок або знаходження ступенів істинності (рівнів «відсічення») для передумов («Condition №1», «Condition №2», ..., «Condition №N») кожного з правил. Процедура знаходження ступенів істинності також називається агрегуванням;
- процедура активізації, тобто знаходження усіченої функції спорідненості для вихідної змінної. Для цієї мети можна використовувати один з модифікованих методів нечіткої композиції: \min - активація, prod - активація, average - активація.
- композиція (процедура акумуляції) або об'єднання знайдених усічених функцій з метою отримання підсумкового нечіткого безлічі для вихідної змінної і результуючої функції належності;

–процедура дефаззифікації (приведення до чіткості) вихідних змінних. На етапі дефаззифікації може бути застосований метод центру тяжіння або метод бісектриси площі.

2.5. Алгоритм Такагі-Сугено

Алгоритм Сугено, запропонований Сугено і Такагі, формально може бути заданий наступним набором правил:

- формування бази правил систем нечіткого виводу. База правил містить набір продукційних правил тільки в формі: якщо «Передумова 1» і «Передумова 2», то «Висновок 1», де вихідний змінної є деяке дійсне число;

- процедура фазифікації (введення нечіткості) вхідних змінних. Процедура фазифікації вхідних змінних збігається з процедурою фазифікації в алгоритмі Мамдані;

- процедура агрегування або знаходження рівнів «відсічення» для всіх правил нечітких продукцій. Для знаходження ступенів істинності використовується операція \min - кон'юнкції;

- процедура активізації подзаключеній в нечітких правилах продукцій. Розраховуються значення ступенів істинності всіх висновків правил нечітких продукцій; здійснюється розрахунок звичайних (НЕ нечітких) значень вихідних змінних кожного правила в формі; визначається безліч $C = (c_1, c_2, \dots, c_q)$ і безліч значень вихідних змінних $W = (w_1, w_2, \dots, w_q)$, де q

- загальна кількість правил з бази правил;

- композиція (процедура акумуляції) або об'єднання знайдених усічених функцій з метою отримання підсумкового нечіткого безлічі для вихідної змінної і результуючої функції спорідненості. Дана процедура практично відсутня, тому що для розрахунків використовуються дійсні числа;

Нечіткі системи Такагі-Сугено (TS) успішно використовуються, головним чином методом спроб і помилок, для вирішення багатьох проблем управління та моделювання; але їх застосування як сигнальних фільтрів залишається повністю вивченим.

Порівняно з нечіткими аналогами, нечіткі контролери та моделі TS важко ефективно побудувати, оскільки в правилі є велика кількість конструктивних параметрів. Кількість різко зростає із збільшенням кількості вхідних нечітких наборів та вхідних змінних. Крім того, існує мало опублікованих результатів щодо взаємозв'язку між нечіткими контролерами / моделями / фільтрами TS та їх нечіткими аналогами.

У цій роботі ми досліджуємо, стосовно деяких популярних нечітких контролерів, моделей та фільтрів, аналітичну структуру загального класу нечітких систем TS з декількома входами з одним виходом MISO (multi-input single-output), які використовують довільні нечіткі правила з нашим нещодавно запровадженим спрощеним лінійним правилом послідовний. Інші компоненти нечітких систем у цьому дослідженні є загальними: довільні неперервні вхідні нечіткі набори, будь-який тип нечіткої логіки I та узагальнений розмивач, що містить широко використовуваний центроїдний розмивач як особливий випадок.

Ми доводимо, що загальними нечіткими системами MISO TS є: (1) нелінійні контролери змінного коефіцієнта підсилення, коли вони реалізовані як контролери, або (2) нелінійні функції, що змінюються в часі, авторегресивні з додатковими вхідними ARX(auto-regressive with the extra input) моделями, коли реалізовані як моделі, або (3) нелінійний нескінченний імпульсний відгук IIR(infinite impulse response) або кінцевий імпульсний відгук FIR(finite impulse response) фільтри, реалізовані як фільтри. Крім того, ми конструктивно доводимо, що загальні нечіткі системи TS із спрощеним лінійним правилом, що є наслідком, є універсальними апроксиматорами і можуть довільно апроксимувати будь-яку безперервну функцію у закритій області.

Практичне значення цих результатів полягає в тому, що ці нечіткі системи з набагато меншими конструктивними параметрами завжди здатні створювати рі-

шення для різних проблем управління, моделювання та фільтрації. Ми також встановлюємо достатні умови, які можна використовувати для обчислення кількості вхідних нечітких наборів та правил, необхідних для досягнення заданої точності наближення.

2.6 Системи нечіткого виводу

Поняття нечіткого виведення займає центральне місце в нечіткій логіці в теорії нечіткого управління. Говорячи про нечітку логіку в системах управління, можна дати наступне визначення системи нечіткого виведення.

Система нечіткого виводу - це процес отримання нечітких висновків про необхідному управлінні об'єктом на основі нечітких умов або передумов, що представляють собою інформацію про поточний стан об'єкта.

Цей процес поєднує в собі всі основні концепції теорії нечітких множин: функції спорідненості, лінгвістичні змінні, методи нечіткої імплікації і т.п. Розробка і застосування систем нечіткого виводу включає в себе ряд етапів, реалізація яких виконується на основі положень нечіткої логіки.

Класичні нечіткі системи володіють тією нестачею, що для формулювання правил і функцій спорідненості необхідно залучати експертів тієї чи іншої предметної області, що не завжди вдається забезпечити. Адаптивні нечіткі системи (adaptive fuzzy systems) вирішують цю проблему. У таких системах підбір параметрів нечіткої системи проводиться в процесі навчання на експериментальних даних. Алгоритми навчання адаптивних нечітких систем щодо трудомісткі і складні в порівнянні з алгоритмами навчання нейронних мереж, і, як правило, складаються з двох стадій: 1. Генерація лінгвістичних правил; 2. Коригування функцій спорідненості. Перше завдання відноситься до задачі переборного типу, друга - до оптимізації в безперервних просторах. При цьому виникає певна суперечність: для генерації нечітких правил необхідні функції спорідненості, а для

проведення нечіткого виведення - правила. Крім того, при автоматичній генерації нечітких правил необхідно забезпечити їх повноту і несуперечність.

Значна частина методів навчання нечітких систем використовує генетичні алгоритми. В англійській літературі цьому відповідає спеціальний термін - Genetic Fuzzy Systems.

Значний внесок у розвиток теорії і практики нечітких систем з еволюційною адаптацією внесла група іспанських дослідників на чолі з Ф. Херрера (F. Herrera).

Нечіткі запити до баз даних (fuzzy queries) - перспективний напрямок в сучасних системах обробки інформації. Даний інструмент дає можливість формувати запити на природній мові, наприклад: "Вивести список недорогих пропозицій про винаймання житла близько до центру міста", що неможливо при використанні стандартного механізму запитів. Для цієї мети розроблено нечітку реляційну алгебру і спеціальні розширення мов SQL для нечітких запитів. Велика частина досліджень в цій області належить західноєвропейським вченим Д. Дюбуа і Г. Праді.

Нечіткі асоціативні правила (fuzzy associative rules) - інструмент для вилучення з баз даних закономірностей, які формуються у вигляді лінгвістичних висловлювань. Тут введені спеціальні поняття нечіткої транзакції, підтримки і достовірності нечіткого асоціативного правила.

2.7 Приклади використання систем нечіткого виводу у задачах управління

Одним з основних напрямків практичного використання систем нечіткого виводу є рішення задач управління різними об'єктами або процесами. В цьому випадку побудова нечіткої моделі ґрунтується на формальному поданні характеристик досліджуваної системи в термінах лінгвістичних змінних. Оскільки крім алгоритму управління, основними поняттями систем управління є вхідні і

вихідні змінні, то саме вони розглядаються як лінгвістичні змінні при формуванні бази правил в системах нечіткого виведення.

У загальному випадку мета управління полягає в тому, щоб на основі аналізу поточного стану об'єкта управління визначити значення керуючих змінних, реалізація

яких дозволяє забезпечити бажану поведінку або стан об'єкта управління. В

нині для вирішення відповідних завдань використовується загальна теорія управління, в рамках якої розроблено різні алгоритми знаходження оптимальних законів управління об'єктами різної фізичної природи.

Розглянемо лише основні визначення, необхідні для розуміння особливостей і місця систем нечіткого виводу при вирішенні завдань управління.

Базова архітектура або модель класичної теорії управління ґрунтується на поданні об'єкта і процесу прийняття рішень шляхом використання деяких систем (рис. 2.8). При цьому об'єкт управління характеризується деяким кінцевим безліччю вхідних параметрів і кінцевим безліччю вихідних параметрів. На вхід системи управління надходять деякі вхідні змінні, які формуються за допомогою кінцевого безлічі датчиків. На виході системи управління з використанням деякого алгоритму управління формується безліч значень вихідних змінних, які ще називають керуючими змінними або змінними процесу управління. Значення цих вихідних змінних надходять на вхід об'єкта управління і, комбінуючи зі значеннями вхідних параметрів об'єкта управління, змінюють його поведінку в бажаному напрямку.

Найбільш типовим прикладом розглянутої моделі управління є так званий інтегрально-диференціальний контролер або PID-контролер (proportionalintegral-derivative controller). Алгоритм його управління заснований на порівнянні вихідних параметрів об'єкта управління з деякими заданими параметрами і визначенні величини розбіжності між ними або помилки. Після цього розраховуються величини вихідних змінних в формі адитивної суми величини цієї помилки, значення інтеграла і похідної за часом протягом певного проміжку часу.

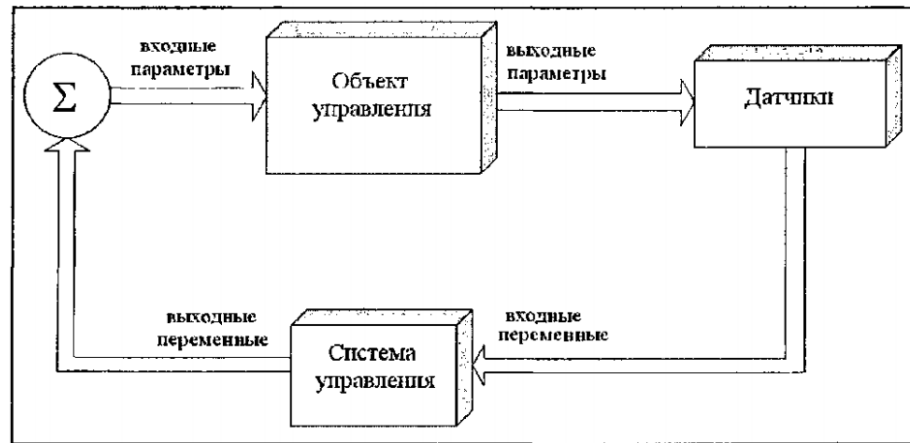


Рис.2.8 - Архітектура компонентів процесу управління зі зворотним зв'язком

Один з недоліків PID-контролерів полягає в припущенні про лінійний характер залежності вхідних і вихідних змінних процесу управління, що істотно знижує адекватність цієї моделі при вирішенні окремих практичних завдань. Інший недолік моделі пов'язаний зі складністю виконання відповідних розрахунків, що може привести до неприпустимих затримок в реалізації керуючих впливів при оперативному управлінні об'єктами з високою динамікою зміни вихідних параметрів.

Архітектура або модель нечіткого управління заснована на заміні класичної системи управління системою нечіткого управління, в якості якої використовуються системи нечіткого виведення. У цьому випадку модель нечіткого управління (рис. 2.9) будується з урахуванням необхідності реалізації всіх етапів нечіткого виведення, а сам процес виведення реалізується на основі одного з розглянутих вище алгоритмів нечіткого виведення.



Рис. 2.9 - Архітектура компонентів процесу нечіткого управління

2.8 Область застосування нечітких систем управління

На початку дев'яностих років двадцятого століття з'явився інтерес до методів управління, які отримали назва «нечітка логіка управління». В той час в основному в Японії з'явилася велика кількість електротехнічних і електронних додатків в побутової техніки, в яких були застосовані методи управління даного типу. Пральні машини, працюють автоматично і не потребують будь-якої регулювання, відеокамери з технологією Steadyshot (TM) забезпечує автоматичну стабілізацію зображення і багато інших інновацій стали привертати увагу широкої громадськості до терміну «Нечітка логіка».

В автомобільній промисловості завдяки застосування методів нечіткої логіки з'явилося автоматичне перемикавання передач в трансмісії системи упорскування, шумоподавляючі системи і кондиціонери повітря. Кількість додатків заснованих на даних методах управління безперервно збільшується для безперервних процесів, для додатків пакетної обробки, а так ж для автоматизованих систем (розглядаються в даній статті). Нечітка логіка, завдяки використанню її в цій галузі, отримала опис і формулювання в якості методу програмування.

Вона дозволяє систематизувати емпіричні знання і застосувати їх для управління процесами в разі труднощів із застосуванням класичних методів управління. Теорія нечіткої логіки дозволяє описати набори методів управління, які нескладно застосувати для реальної системи і дозволяє врахувати досвід операторів і технологів для динамічного управління процесом.

Це дозволяє описувати на Нечіткої логіці окремі частини виробничого процесу, такі як ініціалізація, завдання параметрів і т.д.

Обробка нечіткої інформації і нечіткий висновок давно застосовуються в різних інтелектуальних системах, однак найбільш широке поширення нечіткі системи отримали в галузі управління.

Серед причин поширення Fuzzy-управління, зазвичай, виділяють наступне:

- 1) особливі якості систем управління з нечіткою логікою, зокрема мала чутливість до зміни параметрів об'єкта управління;
- 2) синтез систем управління з нечіткою логікою при застосуванні сучасних засобів апаратної і програмної підтримки часто простіше, ніж традиційних.

Як і у будь-яких систем управління у систем з нечіткою логікою існує область, в якій їх застосування є найкращим. В якості таких областей, як правило, виділяють наступні:

- 1) системи регулювання, для яких модель об'єкта управління визначена лише якісно;
- 2) надбудова над традиційними системами регулювання (наприклад, над ПД-регуляторами) для додання їм адаптивних властивостей;
- 3) відтворення дій людини-оператора;
- 4) системи організаційного управління верхнього рівня.

Загальною передумовою для застосування нечітких систем управління є, з одного боку, наявність невизначеності, пов'язаної як з відсутністю інформації, так і складністю системи, і неможливістю або недоцільністю її опису традиційними методами.

2.9 Нечітка логіка та дрони

Кожного разу, коли безпілотник намагається приземлитися на рухомій платформі, такий як фургон для доставки або розміщення військового корабля у відкритому морі. Він повинен приземлитися у визначеному районі з невеликою похибкою. Посадка безпілотника на рухому платформу є дуже складною проблемою з наукової та інженерної точки зору.

Щоб вирішити цю проблему, дослідники UC застосували концепцію, яка називається нечіткою логікою, яку люди використовують підсвідомо щодня.

Хоча вчені стурбовані точністю у всьому, що вони роблять, більшість людей переживають свій день, роблячи висновки та використовуючи нечітку логіку. Замість того, щоб бачити світ чорно-білим, нечітка логіка допускає нюанси або ступінь істинності.

У мовному плані ми навіть говоримо про великі, середні та малі, а не визначаємо точні набори.

Дослідники хочуть перекласти такий тип нечітких міркувань, який використовується у людей для управління системами.

Нечітка логіка допомагає дрону приймати хороші навігаційні рішення серед моря статистичних шумів. Його називають «генетично нечітким», оскільки система розвивається з часом і постійно відкидає менші рішення. В даний час він випробовується в експериментах з посадки квадрокоптерів на роботах, встановлених на посадочних майданчиках, в лабораторії досліджень багатоагентних систем БПЛА UC (MASTER).

Цей проект може вирішити реальні проблеми, такі як оснащення транспортного засобу супутнім безпілотником, який зможе здійснювати доставку і самостійно приземлятися.

3 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1. План реалізації алгоритму Мамдані

Для реалізації алгоритму використовувався об'єктно-орієнтований підхід. Вихідний код написаний на мові програмування Java. Діаграма (рис. 3.1) показує найбільш істотні зв'язки і відносини між класами, задіяними в алгоритмі.

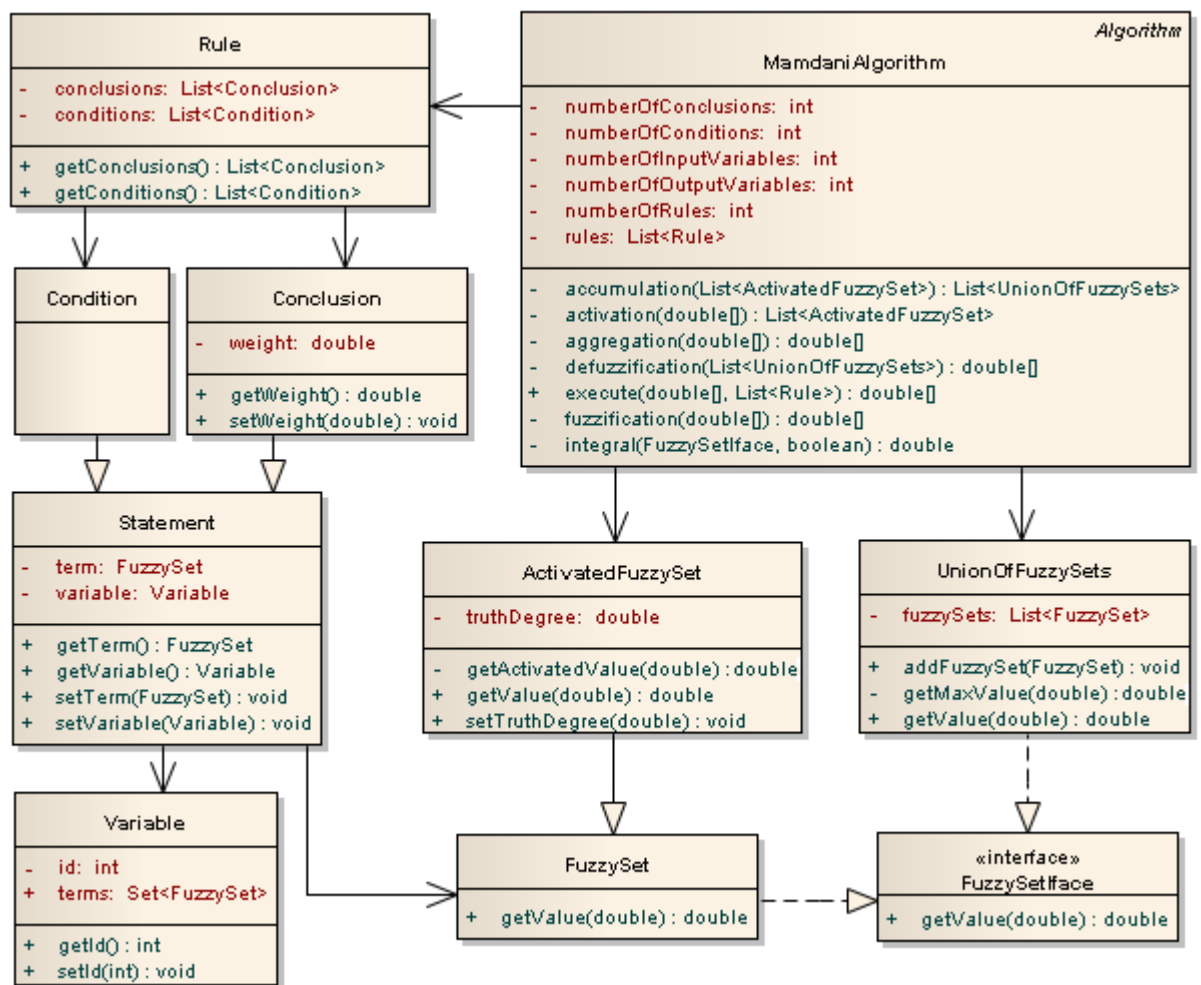


Рис. 3.1- Діаграма класів реалізації алгоритму Мамдані

Правила (Rule) складаються з умов (Condition) і висновків (Conclusion), які в свою чергу є нечіткими висловлюваннями (Statement). Нечітке висловлювання включає в себе лінгвістичну змінну (Variable) і терм, який представлений нечітким

безліччю (FuzzySet). На нечіткому безлічі визначена функція спорідненості, значення якої можна отримати за допомогою методу `getValue ()`. Це метод певний в інтерфейсі `FuzzySetIface`. При виконанні алгоритму необхідно буде скористатися «активізованим» нечітким безліччю (`ActivatedFuzzySet`), яке певним чином переопределяє функцію спорідненості нечіткої множини (`FuzzySet`). Також в алгоритмі використовується об'єднання нечітких множин (`UnionOfFuzzySets`). Об'єднання також є нечітким безліччю, і тому має функцію спорідненості (певну в `FuzzySetIface`).

Алгоритм Мамдані (`MamdaniAlgorithm`), включає в себе всі етапи (рис. 3.1.) і використовує базу правил (`List <Rule>`) в якості вхідних даних. Також алгоритм передбачає використання «активізованих» нечітких множин (`ActivatedFuzzySet`) і їх об'єднань (`UnionOfFuzzySets`).

3.2. Формування бази правил

База правил - це безліч правил, де кожному підзаключенню зпівставлений певний ваговий коефіцієнт.

База правил може мати такий вигляд (для прикладу використовуються правила різних конструкцій):

RULE_1: IF «Condition_1» THEN «Conclusion_1» (F1) AND «Conclusion_2» (F2);

RULE_2: IF «Condition_2» AND «Condition_3» THEN «Conclusion_3» (F3);

...

RULE_n: IF «Condition_k» THEN «Conclusion_ (q-1)» (Fq-1) AND «Conclusion_q» (Fq);

Де F_i - вагові коефіцієнти, які означають ступінь впевненості в істинності одержуваного підзаключення ($i = 1..q$). За замовчуванням ваговий коефіцієнт

приймається рівним 1. Лінгвістичні змінні, присутні в умовах називаються вхідними, а в заключних вихідними.

3.3. Фазифікації вхідних змінних

Цей етап часто називають приведенням до нечіткості. На вхід надходять сформована база правил і масив вхідних даних $A = \{a_1, \dots, a_m\}$. У цьому масиві містяться значення всіх вхідних змінних. Метою цього етапу є отримання значень істинності для всіх підумови з бази правил (рис. 3.2). Це відбувається так: для кожного з підумови знаходиться значення $b_i = \mu(a_i)$. Таким чином виходить безліч значень b_i ($i = 1..k$).

```
private double[] fuzzification(double[] inputData) {
    int i = 0;
    double[] b = new double[numberOfConditions];
    for (Rule rule : rules) {
        for (Condition condition : rule.getConditions()) {
            int j = condition.getVariable().getId();
            FuzzySet term = condition.getTerm();
            b[i] = term.getValue(inputData[j]);
            i++;
        }
    }
    return b;
}
```

Рис. 3.2- Імлементацию фазифікації

3.4. Агрегація підумов

Як уже згадувалося вище, умова правила може бути складовим, тобто включати підумови, пов'язані між собою за допомогою логічної операції «AND». Метою цього етапу є визначення ступеня істинності умов для кожного правила системи нечіткого виведення. Для кожного умови знаходимо мінімальне значення істинності всіх його підумов (рис. 3.3). Формально це виглядає так:

$$c_j = \min \{b_i\}.$$

де:

$$j = 1..n;$$

i - число з безлічі номерів підумови в яких бере участь j -а вхідні змінна.

```
private double[] aggregation(double[] b) {
    int i = 0;
    int j = 0;
    double[] c = new double[numberOfInputVariables];
    for (Rule rule : rules) {
        double truthOfConditions = 1.0;
        for (Condition condition : rule.getConditions()) {
            truthOfConditions = Math.min(truthOfConditions, b[i]);
            i++;
        }
        c[j] = truthOfConditions;
        j++;
    }
    return c;
}
```

Рис. 3.3- Імplementацію агрегації підумов

3.5. Активізація підзаключень

На цьому етапі відбувається перехід від умов до підзаключень. Для кожного підзаключення знаходиться ступінь істинності $d_i = c_i * F_i$, де $i = 1..q$. Потім, знову кожному i -му підзаключенню зіставляється безліч D_i з новою функцією приналежності. Її значення визначається як мінімум з d_i і значення функції належності терму з підзаключення. Цей метод називається *min-активізацією*, який формально записується в такий спосіб:

$\mu^i(x) = \min \{d_i, \mu_i(x)\}$, де:

$\mu^i(x)$ - «активізована» функція приналежності;

$\mu_i(x)$ - функція належності терму;

d_i - ступінь істинності i -го підзаключення.

Отже, мета цього етапу - це отримання сукупності «активізованих» нечітких множин D_i для кожного з підзаключення в базі правил ($i = 1..q$) (рис. 3.4).

```
private List<ActivatedFuzzySet> activation(double[] c) {
    int i = 0;
    List<ActivatedFuzzySet> activatedFuzzySets = new ArrayList<ActivatedFuzzySet>();
    double[] d = new double[numberOfConclusions];
    for (Rule rule : rules) {
        for (Conclusion conclusion : rule.getConclusions()) {
            d[i] = c[i]*conclusion.getWeight();
            ActivatedFuzzySet activatedFuzzySet = (ActivatedFuzzySet) conclusion.getTerm();
            activatedFuzzySet.setTruthDegree(d[i]);
            activatedFuzzySets.add(activatedFuzzySet);
            i++;
        }
    }
    return activatedFuzzySets;
}

private double getActivatedValue(double x) {
    return Math.min(super.getValue(x), truthDegree);
}
```

Рис. 3.4- Імлементацию активізації підзаключень

3.6. Акумуляція висновків

Метою цього етапу є отримання нечіткої множини (або їх об'єднання) для кожної з вихідних змінних. Виконується він наступним чином: для i -тої вихідної змінної зіставляється об'єднання множин $E_i = \cup D_j$. Де j - номери підзаключень в яких бере участь i -та вихідна змінна ($i = 1..s$). Об'єднанням двох нечітких множин є третя нечітка множина з наступною функцією приналежності:

$\mu^i(x) = \max \{ \mu_1(x), \mu_2(x) \}$, де $\mu_1(x)$, $\mu_2(x)$ - функції приналежності поєднаних множин (рис. 3.5).

```
private List<UnionOfFuzzySets> accumulation(List<ActivatedFuzzySet> activatedFuzzySets) {
    List<UnionOfFuzzySets> unionsOfFuzzySets =
        new ArrayList<UnionOfFuzzySets>(numberOfOutputVariables);
    for (Rule rule : rules) {
        for (Conclusion conclusion : rule.getConclusions()) {
            int id = conclusion.getVariable().getId();
            unionsOfFuzzySets.get(id).addFuzzySet(activatedFuzzySets.get(id));
        }
    }
    return unionsOfFuzzySets;
}

private double getMaxValue(double x) {
    double result = 0.0;
    for (FuzzySet fuzzySet : fuzzySets) {
        result = Math.max(result, fuzzySet.getValue(x));
    }
    return result;
}
```

Рис. 3.5- Імplementацію акумуляції висновків

3.7. Дефазифікація вихідних змінних

Мета дефазифікація отримати кількісне значення (crisp value) для кожної з вихідних лінгвістичних змінних. Формально, це відбувається таким чином. Розглядається і-та вихідна змінна і множина, що до неї відноситься - E_i ($i = 1..s$). Потім за допомогою методу дефазифікації знаходиться підсумкове кількісне значення вихідної змінної (рис. 3.7). У даній реалізації алгоритму використовується метод центру тяжіння, в якому значення і-ой вихідної змінної розраховується за формулою (рис. 3.6), де:

$\mu_i(x)$ - функція приналежності відповідної нечіткої множини E_i ;

Min і Max - кордони універсуму нечітких змінних;

y_i - результат дефазифікації.

$$y_i = \frac{\int_{Min}^{Max} x \cdot \mu_i(x) dx}{\int_{Min}^{Max} \mu_i(x) dx}$$

Рис. 4.6- Формула методу центру тяжіння

```
private double[] defuzzification(List<UnionOfFuzzySets> unionsOfFuzzySets) {
    double[] y = new double[numberOfOutputVariables];
    for(int i = 0; i < numberOfOutputVariables; i++) {
        double i1 = integral(unionsOfFuzzySets.get(i), true);
        double i2 = integral(unionsOfFuzzySets.get(i), false);
        y[i] = i1 / i2;
    }
    return y;
}
```

Рис. 3.7- Формула методу центру тяжіння

3.8. Прикладне використання

З кожним роком попит на послуги з моніторингу земної поверхні комплексними БЛА легкого типу (до 15 кг) росте. Про це свідчить статистика: БЛА серії Supercam за 2014 р здійснили близько 1200 робочих польотів, за 2015 г. - більше 1500. При цьому кожен політ записується на наземну станцію управління (НСУ), після чого передається в загальну базу даних; всі позаштатні ситуації детально розбираються і враховуються при подальшій модернізації комплексів. Завдяки цьому, зібраний великий обсяг інформації про випадки обмерзання БЛА, польотах при сильному вітрі, в різних кліматичних зонах, в гірській місцевості.

При проведенні робіт під час туману, дощу, снігу, з температурою на робочій висоті нижче $+ 4^{\circ} \text{C}$ можливо обмерзання БЛА. Під обмерзанням зазвичай розуміють утворення льоду на лобових крайках і виступаючих частинах апарату. Найбільш схильні до обмерзання лопаті гвинта, передня кромка крила, виступають елементи корисного навантаження, а також елевони, керуючі БЛА під час польоту (малюнок 2). Полій, утворена на корпусі, веде до збільшення маси і розбалансування апарату, що призводить до поступової втрати повітряної швидкості і висоти, аж до повної втрати контролю над БЛА. Для зниження ймовірності обмерзання можлива обробка зовнішньої поверхні апарату водо-відразливою рідиною, проте досвід показує, що в силу особливих умов польоту БЛА дана міра ефективна лише в 50% випадків. З цієї причини розроблений строгий алгоритм дій оператора при появі ознак обмерзання борту.

Ознаки обмерзання:

- збільшення тангажу, до значень $7^{\circ} - 9^{\circ}$ (робоче положення $3^{\circ} - 5^{\circ}$);
- збільшення рівня газу, до значень 70 - 80% (робочий рівень 35 - 65%);
- збільшення кривизни тангажу до 100 - 150 одиниць (робоче положення ± 60 одиниць);

Також літак не може утримувати задану висоту, або провалюється по висоті.

При появі незначних ознак обмерзання необхідно знизити висоту польоту, при погіршенні роботи необхідно: включити режим «Фіксований газ»; для підтримки заданої висоти польоту додати обертів двигуна (~ до 60%); повернути апарат на точку старту і здійснити посадку.

Таким чином існує певний нечіткий набір ознак, що свідчать про небезпечні погодні умови. Розробимо базу правил для виявлення цих ознак (рис. 3.8, 3.9, 3.10).

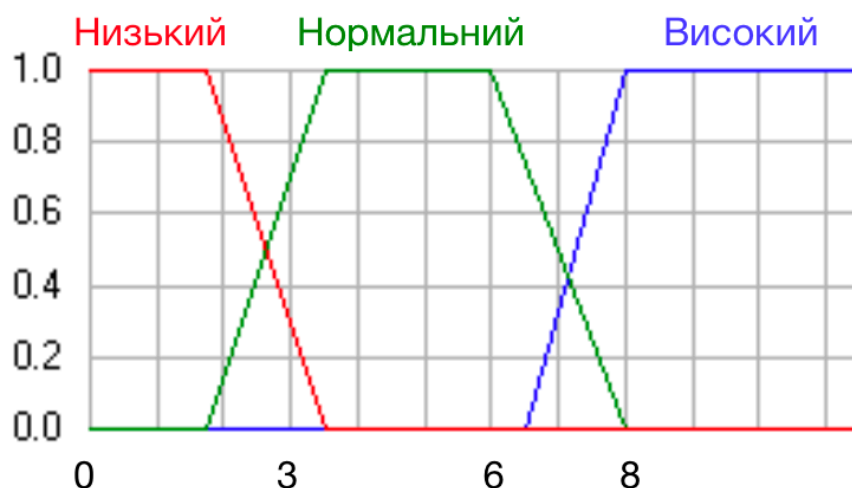


Рис. 3.8- Графік значень тангажу

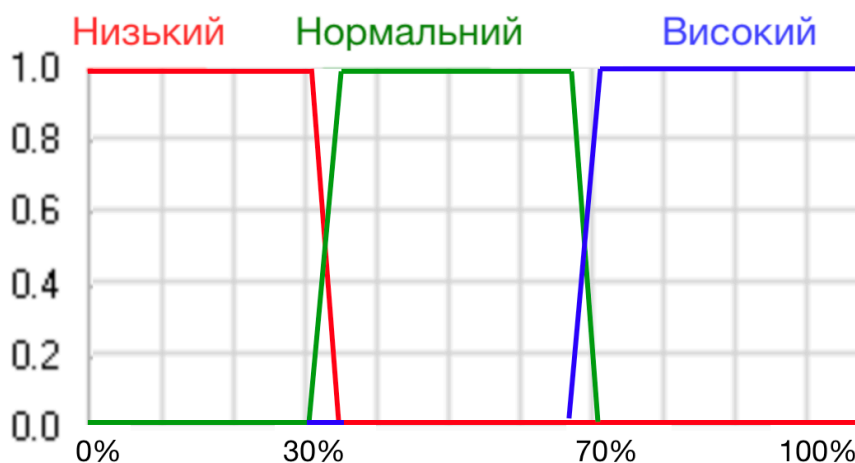


Рис. 3.9- Графік значень газу

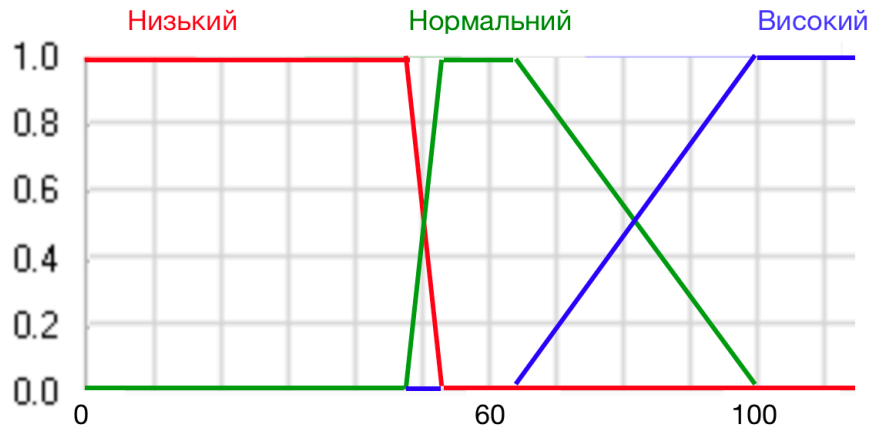


Рис. 3.9- Графік значень кривизни тангажу

Таким чином, використовуючи реалізацію алгоритму Мамдані та набір даних на основі графіків нечітких ознак, можливо з суттєвою ймовірністю дізнатися про проблеми з керуванням дрону через вплив погодних умов.

ВИСНОВКИ

У ході атестаційної роботи я використав знання для проектування програмного продукту та створення програмної моделі. У ході проектування була проаналізована предметна галузь для якої буде розроблятися програмний продукт. У ході моделювання була виконана підготовка до реалізації моделі. Було вирішено питання як зберігати дані для їх найменшого розміру та найбільшої ефективності використання місця у файлі. Була проведена робота над пошуком та аналізом можливих конкурентів та сформовані тези які показують чому програмний продукт краще. Були описані вимоги до системи та функціонування моделі. Прочитано та вивчено публікації та роботи які стосуються основних методів розробки компонентів системи та роботи з великими об'ємами даних та проектування моделей, що можуть з ними взаємодіювати. Був реалізований алгоритм нечіткої логіки та описана база правил нечіткої логіки для виявлення ознак негативного впливу погодних умов на дрон.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ente Nazionale per l'Aviazione Civile - Italian Civil Aviation Authority – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.enac.gov.it/>
2. DroneRules – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.ecologie.gouv.fr/en>
3. ‘Updates about drones– Information on the latest guidance and developments relating to drones– [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.caa.co.uk/Consumers/Unmanned-aircraft/Our-role/Updates-about-drones/>
4. Federal Aviation Administration - Regulations and Guidelines – [Електронний ресурс] – Режим доступу: - <https://www.faa.gov/>
5. Про затвердження Авіаційних правил України «Правила використання повітряного простору України» – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1056-18#Text>
6. National RPAS Regulations – Eurocontrol – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.eurocontrol.int/articles/national-rpas-regulations> – Загол. з екрану.
7. Advisory Circular – Federal Aviation Administration – [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.faa.gov/uas/media/AC_107-2_AFS-1_Signed.pdf – Загол. з екрану.
8. United States Court of Appeals – [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://www.cadc.uscourts.gov/internet/opinions.nsf/FA6F27FFAA83E20585258125004FBC13/\\$file/15-1495-1675918.pdf](https://www.cadc.uscourts.gov/internet/opinions.nsf/FA6F27FFAA83E20585258125004FBC13/$file/15-1495-1675918.pdf) – Загол. з екрану.
9. Mat Buckland. Programming Game AI by Example. Jones & Bartlett Publishers, 1 edition, 2004. P. 36-70.
10. Ian Millington. Artificial Intelligence for Games (The Morgan Kaufmann Series in Interactive 3D Technology) .Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 2006. P. 371-395.
11. Alan Turing. Computing machinery and intelligence. Mind LIX, 1950. P. 2.

12. Daniel Johnson and Janet Wiles. Computer games with intelligence. In In Procs. 10th IEEE Intl Conf. on Fuzzy Systems, IEEE, 2001. P. 61-68.
13. E. Hastings, R. Guha, and K. Stanley. Automatic content generation in the galactic arms race video game. In Proceedings of the 5th international conference on Computational Intelligence and Games, CIG'09, 2009. P. 5.
14. Lofti A. Zadeh. Fuzzy sets and systems. System Theory, 1965.
15. Jiljang Wang Gabriyel Wong. A fuzzy-control approach to managing scene complexity. Game Programming Gems 6, 2006. P. 5-7.
16. Larry O'Brien. Fuzzy logic in games. Game Developer Magazine, 1996. P. 6-7.
17. Mason McCuskey. Fuzzy logic for video games. Game Programming Gems 1, 2000. P. 7-8.
18. Michael Zarozinski. Imploding combinatorial explosion in a fuzzy system. Game Programming Gems 2, 2001. P 342-350.
19. William E. Combs. The Fuzzy Systems Handbook 2nd Ed, Academic. 1999. P 48-50.
20. Penelope Sweetser and Janet Wiles. Current ai in games: a review. Australian Journal of Intelligent Information Processing Systems, 2002 P. 24-42.
21. Алекс Дж. Шампандар. Штучний інтелект в комп'ютерних іграх. Москва. «Вільямс», 2007 стор. 450-478.
22. Копитчук І. Н., Тішин П. М. Моделі, методи та інформаційна технологія підвищення точності реєстрації маси рухомих вантажів в тензометричних системах. Одеса - 2016 стр.35-46.
23. (Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов О.С. Нечіткі моделі та мережі. // Телеком - 2007р. Стр.218-230.
24. Kosko B. Fuzzy systems as universal approximators // IEEE Transactions on Computers, vol. 43, No. 11, November 1994. – P. 1329-1333.
25. Cordon O., Herrera F., A General study on genetic fuzzy systems // Genetic Algorithms in engineering and computer science, 1995. – P. 33-57.