

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Тернопільський національний економічний університет
Навчально-науковий інститут інноваційних освітніх технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії

КОРІНЬ Оксана Михайлівна

Алгоритми вибору лікаря-експерта в телемедичній системі / Doctor-expert choosing algorithms in telemedicine system

спеціальність: 123 - Комп'ютерна інженерія
магістерська програма - Комп'ютерна інженерія

Магістерська робота

Виконав студент групи КІм-21
КОРІНЬ Оксана Михайлівна
Науковий керівник: к.т.н., доцент,
Дубчак Л.О.

Магістерську роботу допущено до захисту:

ТЕРНОПІЛЬ -2018

ВСТУП

Темою даного дипломного проекту є розробка алгоритму вибору лікаря-експерта в телемедичній системі.

Актуальність роботи. З розвитком технології та швидким зростанням медичних досліджень та розробок також зростає очікування людей щодо якості медичного обслуговування.

Традиційно, медичні рішення приймаються, головним чином, на основі пам'яті лікаря, а також швидких оцінок симптомів та стану пацієнта. Це вимагає від лікарів бути постійно в курсі останніх досліджень та літератури, щоб переконатись, що вони досліджують медичні випадки з сучасними знаннями.

Медичні професійні органи та медичні працівники розуміють необхідність розробки власних курсів професійної підготовки та процедур повторної сертифікації з метою забезпечення того, щоб лікарі запам'ятовували найбільш відповідні знання. Проте неможливо запам'ятати всю інформацію.

Таким чином, була надана можливість розробляти комп'ютерні інструменти та системи, які допомагають зберігати і отримувати відповідні медичні знання. Ці системи також можуть бути використані фахівцями для надання допомоги у прийнятті діагностичних та терапевтичних рішень.

Потенціал для обчислювальної техніки, методів та інструментів для надання допомоги, експертної консультації та прийняття рішень був передбачений більше, ніж чотири десятиліття тому. Незважаючи на десятиріччя досліджень у цій галузі, комп'ютерні програми та системи прийняття рішень отримують обмежене використання в системах охорони здоров'я. Через різні причини, зокрема – зручність використання, брак технологій та інструментів, а також проблеми з інтеграцією таких інструментів медичні заклади.

Поточні досягнення розвитку технологій забезпечують та дозволяють дослідникам розробляти та вдосконалювати існуючі інтелектуальні програми та

методи. Крім того, дослідження показують, що комп'ютерні додатки та, зокрема, інтелектуальні системи у галузі охорони здоров'я та медицини зараз швидко розвиваються. Ці події пов'язані із поліпшення системи охорони здоров'я, а також зниженням вартості охорони здоров'я, що є головною проблемою у багатьох європейських країнах та Сполучених Штатах. Завдяки швидкому розвитку нових технологій дані стають доступними негайно.

Дослідження показують, що штучний інтелект вніс значний внесок у розвиток біомедицини та медичної інформатики. З появою новітніх обчислювальних технологій та інструментів зросла складність розробки медичних діагностичних систем для підтримки прийняття рішень. Це пов'язано з різноманітними інструментами штучного інтелекту, які можуть широко використовуватися в медичній діагностиці для класифікації, вивчення, адаптації та модифікації наборів даних. Ці методи включають нечітку логіку, прикладні міркування, штучні нейронні мережі, генетичні алгоритми, аналіз основних компонентів та Баєсові мережі.

У медичній діагностиці нещодавно почали застосовувати нечітку логіку для діагностики дитячої астми, раку молочної залози, ішемічної хвороби серця, щитовидної залози, діабету та раку яєчників. Обґрунтування на основі випадку було використано для діагностики захворювань печінки, тоді як штучні нейронні мережі були встановлені для діагностики захворювань серцевого клапана. Експертні системи використовуються для діагностики раку молочної залози, виявлення уражень у мамографіях та визначення дефіциту заліза у жінок. Інші дослідження показують впровадження Баєсових мереж для виявлення вірусу імунодефіциту людини та прогнозування ішемічної хвороби серця.

Для діагностики різних захворювань застосовуються різні методи штучного інтелекту. Цікаво, що у багатьох медичних випадках дослідники використовують більше, ніж одну технологію штучного інтелекту для їх діагностики. Дослідники можуть використовувати певну технологію у своїй

інтелектуальній системі для класифікації загального стану здоров'я, додавши ще одну додаткову техніку для точного прогнозування діагнозу.

Оскільки дослідники продовжують розробляти розумні методи та прийоми для діагностики – комп'ютерні додатки в медицині будуть тільки посилюватися, ускладнюватися і ставити точний діагноз.

Телемедицина розглядається як одна з найважливіших нововведень у сфері охорони здоров'я не тільки з технологічної, а й з культурної та соціальної точки зору, оскільки вона забезпечує доступ до медичних послуг, підвищує якість медичної допомоги та організаційної ефективності [1]. Телемедицина відіграє певну роль у вирішенні завдань соціально-економічних змін у системах охорони здоров'я у XXI столітті (більші вимоги до охорони здоров'я, старіння населення, збільшення мобільності громадян, необхідність управління великою кількістю інформації, глобальної конкурентоспроможності та поліпшення системи охорони здоров'я), все в умовах обмежених бюджетів та обмеження витрат. Тим не менше, існують значні бар'єри для стандартизації телемедицини та для її повної консолідації та розширення.

Медичний аналіз захворювання є найглибшою проблемою в сучасному медичному світі. Медична сфера є однією з останніх галузей, які потребують інженерних методів для отримання доступу до неточної інформації. З новими досягненнями в галузі медичної техніки та інших систем управління, які були придбані шляхом використання штучних інтелектуальних методів. Штучний інтелект здійснив прогресивне дослідження, що включає нечітку логіку, штучні нейронні мережі та генетичні алгоритми. Всі ці методи працюють взагалі та надають необхідну інформацію від одного типу до іншого для вирішення складних реальних проблем. Найбільш існуючий і широко розповсюджений тип штучного інтелекту, який вони можуть надати допомогу медичним експертам у визначенні захворювання, – це розробка клінічного діагнозу системи підтримки прийняття рішень.

Клінічні системи підтримки прийняття рішень, які базуються на інтелектуальних технологіях, все частіше використовуються в галузі охорони

здоров'я. Ці системи призначені для допомоги лікарям у діагностичних процедурах, роблячи рішення більш точні та ефективні, мінімізуючи медичні помилки, покращуючи безпеку пацієнтів та зменшуючи витрати

Саме тому розробка алгоритму вибору лікаря-експерта є актуальною на сьогоднішній день.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розроблення алгоритму вибору лікаря-експерта в телемедичній системі, а також аналіз його роботи та можливості впровадження.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні задачі:

- 1) проаналізувати проблему вибору лікаря-експерта;
- 2) дослідити нечітку логіку та обрати підходящий алгоритм нечіткого виводу по базі знань;
- 3) побудувати функції належності;
- 4) сформуванати базу правил;
- 5) дослідити роботу реалізованої нечіткої системи.

Об'єкт дослідження – процес вибору лікаря-експерта в телемедицині.

Предмет дослідження – алгоритми вибору лікаря-експерта.

Методи досліджень. Для розв'язання поставлених задач у магістерській роботі використано методи нечіткої логіки (для алгоритму нечіткого виводу по базі знань, розробки бази знань та нечіткої системи).

Наукова новизна. В даній магістерській роботі вперше спроектовано алгоритм вибору лікаря-експерта в телемедичній системі. Програмна реалізація дозволяє легке та економне впровадження нечіткої системи в сервер, проте, не забезпечує захисту самої розробленої системи від несанкціонованого доступу. Тому варто реалізувати дану нечітку систему апаратно.

Публікації та апробація МР. Результати роботи апробовані на міжнародній конференції *Advances of science* 28 вересня 2018 (Карлові Вари, Чехія).

Впровадження результатів МР. Впровадження практичних результатів МР планується в департаменті охорони здоров'я Тернопільської обласної державної адміністрації.

Практична значимість. Розроблений в ході дослідження алгоритм вибору лікаря-експерта в подальшому можна використовувати у будь-якому медичному закладі. Матеріали дослідження можуть бути використані при читанні теоретичних курсів і практичних занять з нечіткої логіки.

Перший розділ. У цьому розділі розглядається поняття телемедицини. Зокрема всі її переваги та недоліки, умови, за якими слід її враховувати. Також аналізують телемедичні програми у сфері первинної медичної допомоги. Основні складові телемедицини згідно з сучасним законодавством. Нормативно-правові документи для забезпечення упровадження телемедицини в охорону здоров'я. Роль лікаря-експерта в телемедичній системі. Постановка задачі та аналіз дерева рішень.

Другий розділ. У другому розділі розробляється нечітка база правил вибору лікаря-експерта. Існуючі нечіткі системи в телемедицині. Основи нечіткої логіки. Найпоширеніші методи нечіткого виводу по базі знань. Призначення та види функції належності. Побудова та аналіз бази знань.

Третій розділ. У цьому розділі відбувається реалізація та детальний аналіз роботи розробленої нечіткої системи вибору лікаря-експерта. Аналіз функції належності вхідних та вихідних змінних. Розгляд нечіткого висновку моделі вибору методу модулярного експоненціювання. Дослідження поверхнь значень виходу нечіткої системи на основі механізму Мамдані залежно від вхідних значень.

1 СУЧАСНА ТЕЛЕМЕДИЦИНА В УКРАЇНІ ТА СВІТІ

1.1 Поняття телемедицини

Одна найбільших проблем, що стоять перед людством 21-го століття – це високоякісна медична допомога для всіх. Розуміння цього бачення буде складним, інколи неможливим, через різке зростання кількості населення світу, через старі та нові захворювання, через збільшення очікувань щодо здоров'я та через соціально-економічні умови.

Зазвичай частина труднощів у досягненні справедливого доступу до медичної допомоги – те, що той хто надає послуги та одержувач повинні бути присутніми в однаковому місці і в той же час.

Телемедицина – це доставка медичних послуг та обмін медичною інформацією на відстані. Префікс «теле» походить від грецького «на відстані», отже, простіше кажучи, телемедицина це медицина на відстані. Таким чином, вона охоплює весь спектр медичних заходів, включаючи діагностику, лікування та профілактику захворювання, безперервну підготовку медичних працівників та споживачів, а також дослідження та оцінка.

Телемедицина – термін, який впровадили у 1970-х роках, що буквально означає "зцілення на відстані" [2]. Який передбачає швидкий доступ до спільної та віддаленої медичної експертизи за допомогою інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) незалежно від того, де знаходиться пацієнт або відповідна інформація.

ІКТ мають великий потенціал у вирішенні деяких проблем, з якими стикаються як розвинені країни, так і країни, що розвиваються, в наданні доступних, ефективних, якісних медичних послуг. Телемедицина використовує ІКТ для подолання географічних перешкод та збільшення доступу до медичних послуг.

Найбільше телемедицина розвинулась за останні 20-30 років. Однак, телемедицина вважається будь-якою медичною діяльністю, яка виконується на

відстані, незалежно від того, як ця інформація передається і її історія набагато старша. Раннім прикладом медицини на відстані є перші мережі охорони громадського здоров'я у середньовіччі, коли інформація про бубонну чуму була передана через Європу такими засобами, як багаття. З розвитком національних поштових служб у середині 19 століття було полегшено засіб, за допомогою якого можна було б забезпечити дистанційну доставку особистої медичної допомоги.

У середині 19 ст з'явився телеграф – сигналізація за допомогою дротів. Під час американської громадянської війни його використовували для передачі списків жертв та замовлення медичних витратних матеріалів, з подальшим технологічним розвитком, дозволив передавати і рентгенівські знімки. У більшості країн Європи та США телеграф був швидко заміщений телефоном, як загальний засіб комунікації, але в Австралії він вижив значно довше через величезні відстані.

Телефон використовувався для надання медичних послуг з моменту свого винаходу, кінця 19 століття, і протягом 50 років так і залишився основою спілкування для таких цілей. Однак вже в 1910 році було усвідомлено, що телефон може використовуватися і для інших цілей. Інші способи використання звичайної телефонної мережі з того часу були реалізовані і включали передачу електрокардіограми (ЕКГ) та електроенцефалограми (ЕЕГ).

Наступна розробка широкого значення мала місце в кінці 19 ст, коли стало можливим спілкування по радіо. Це відбувалось спочатку за допомогою коду Морзе, а потім – за допомогою голосу. Використання радіо для надання медичної допомоги морякам було визнано дуже швидко, а в 1920 році Інститут церкви моряків Нью-Йорка став однією з перших організацій, що надають медичну допомогу саме за допомогою радіо. Міжнародний Радіо Медичний Центр (CIRM), штаб-квартира якого знаходиться в Римі, Італія, який був створений у 1935 році, протягом перших 60 років допоміг понад 42 тисячам пацієнтів, що зробило його найбільшою єдиною організацією у світі, яка використовує телемедицину для надання медичної допомоги морякам [3].

Ще одним поштовхом розвитку телемедицини стало введення телебачення. До кінця 1950-х рр. розробки у телекомунікації та відеозв'язку замкнутого типу були використані медичним персоналом в клінічних ситуаціях. Ще у 1964 році була встановлена двостороння система замкнутого телебачення між психіатричним інститутом Небраски та державною психіатричною лікарнею Норфолка, довжиною 112 миль (180 км) [4]. Система дозволила інтерактивні консультації між спеціалістами та лікарями загальної практики.

Зовсім недавно відбулося значне зростання телемедицини в режимі реального часу з широкою доступністю відеоконференцій. Це стало можливим завдяки вдосконаленню цифрових комунікацій. Недавні розробки мобільних телефонів та супутникового зв'язку дозволили забезпечити мобільну телемедицину.

Таким чином, телемедицина була поділена на три історичні періоди [5]. "Епоха телекомунікацій" в 1970-х роках характеризувалася залежністю від радіо та телебачення як інформаційного мовлення, відсутністю інтеграції аудіовізуальних даних з будь-якими іншими типами клінічних даних та складним зберіганням та доступом.

У "Цифрову епоху", яка охопила 1980-ті і початок 1990-х років, інформація була оцифрована, а телекомунікаційні мережі та комп'ютери були інтегровані через протоколи, що підтримують одночасну та високошвидкісну інтегровану передачу звуку, зображення та даних.

Поточна "Епоха Інтернету" – це наслідок посилення інтеграції між телекомунікаційними мережами та комп'ютерами за допомогою стандартизованих та відкритих протоколів доступу, що забезпечують ширшу та більш швидку доступність за допомогою менш дорогих технологій.

Згідно з повідомленням Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ), протягом періоду 1960-2000 рр. "Традиційний цикл телемедичних проєктів" доволі розчарував, адже було проведено тисячі пілотних випробувань, але лише деякі із ініціатив вийшли за рамки початкового періоду фінансування [6]. У доповіді було висловлено висновок про те, що протягом 20-го століття менше

10% проектів, що здійснюються в країнах, що розвиваються, були успішними, 45% після першого року зазнали погіршення, а решта 45% зазнали невдачі через три роки. Що стосується ініціатив, здійснених у XXI столітті, то є мало доказів того, що ця закономірність змінилася.

Телемедицина – це наука, яка постійно розвивається, оскільки включає нові досягнення в галузі технологій і адаптується до змін в медичних потребах. Як наслідок, телемедицина має величезне застосування в різних сферах діагностики, лікування, освіти та досліджень і застосовується в дерматології, радіології, кардіології, хірургії тощо.

Область телемедицини передбачає набагато більше, ніж просто передачу файлів пацієнтів. Вона передбачає освіту, тренінги, консультації та наставництво, а найближчим часом – акредитацію. В даний час хірургічні команди беруть участь у телеконференції, обмінюючись медичними порадами без необхідності передачі пацієнта. Час та витрати на подорожі з боку експертів є обмежувальними факторами для спільних консультацій чи зустрічей. Саме телемедицина повинна полегшити обмін та розповсюдження інформаційної та хірургічної освіти, даючи більш широкий доступ до експертизи та сторонньої думки без необхідності поїздки в іншу лікарню чи місто.

Існує, по суті, дві умови, за якими слід враховувати телемедицину:

- коли немає альтернативи (наприклад, у надзвичайних ситуаціях у віддалених середовищах);
- коли це краще, ніж існуючі традиційні послуги (наприклад, телерадіологія у сільських лікарнях).

Телемедицина, безумовно, є однією з найбільш динамічних областей ІТ-технологій у галузі охорони здоров'я.

Останні досягнення у покращенні доступу та використання ІКТ населенням стало найбільшим рушієм телемедицини протягом останніх десяти років, створюючи нові можливості для обслуговування та доставки медичних послуг. Заміна аналогових форм зв'язку на цифрові у поєднанні з швидким зниженням вартості ІКТ дозволили організації охорони здоров'я передбачати та

запроваджувати нові та більш ефективні способи забезпечення догляду за здоров'ям. Впровадження та популяризація Інтернету ще більше прискорили темпи розвитку ІКТ. Ці досягнення призвели до створення багатьох телемедичних прикладних програм, які світ використовує зараз.

Спільна нитка для всіх телемедичних додатків – це певний клієнт (наприклад, пацієнт або працівник медичного закладу), який отримує думку від когось з більшим досвідом у відповідній сфері. Телемедицина частково може бути класифікованою на основі:

- взаємодія клієнта з експертом;
- тип переданої інформації.

Тип взаємодії зазвичай класифікується як попередньо записаний (передача даних з проміжним зберіганням) або в режимі реального часу (також називається синхронним). У першому – інформація зберігається у певному форматі, перш ніж надсилатись, для експертної інтерпретації. Електронна пошта – це поширений метод у передачі даних з проміжним зберіганням взаємодія. А у взаємодії в режимі реального часу немає помітної затримки між інформацією, що збирається, передається та відображається. У підході "попередньо записаної", передача є асинхронною, і одержувач може отримати доступ до даних пізніше. Він використовується для передачі фотографій шкірних уражень, візуалізаційних досліджень, вимірювань хронічних захворювань між постачальниками медичних послуг або між пацієнтом та медичним працівником для другої думки, консультації спеціалістів або відгуки лікаря. Під час підходу в режимі реального часу обидві сторони повинні синхронізувати свій час. Використовується у відеоконференціях та телехірургії. Інтерактивне спілкування між особами також є можливим на сайтах.

Телемедицина має очевидні переваги у віддалених або сільських районах, де є відносно небагато лікарень. У цій ситуації це розширює доступ до медичних послуг, зменшуючи потребу пацієнтів чи лікарів подорожувати [8]. Навіть у міських районах, як показують дослідження, введення телемедицини прискорює процес направлення, покращує послідовність та якість медичної

допомоги. Підвищений рівень контактів між залученими фахівцями показав, що вони надають їм освітні переваги (продовжують медичну освіту) та зменшують професійну ізоляцію [9].

Телемедицина також має переваги у випадках, коли переміщення пацієнта може бути небажаним. У американській службі в'язниці телемедицина дешевша, ніж перевезення в'язнів до лікарні, а також це зменшує ризик втечі.

Переваги телемедицини наступні.

Підвищення доступу до послуг, тобто надання спеціаліста пацієнту, який знаходиться в іншому місті. Наприклад, телерадіологія може бути використана для надання радіологічних послуг у периферійних лікарнях, у яких немає місцевого рентгенолога.

Прискорення передачі попереднього діагнозу і лікування. Подорож і час очікування між початковими консультаціями та направленням до фахівця можуть бути скороченими.

Поліпшення зв'язку між первинною та вторинною медичною допомогою. Як правило, коли лікар загальної практики передає пацієнта для лікування спеціалістом, то направляє записи пацієнта, які є його медичною історією. Спеціаліст, у свою чергу, надсилає відповідь з результатом консультації. Потім лікар загальної практики аналізує отримані варіанти діагнозу. За допомогою телемедицини пацієнт може бути присутнім у фахівця і може отримати швидку думку. При цьому оформлення документів значно скорочується.

Покращення професійної освіти та зменшення ізоляції. Наприклад, лікар загальної практики може застосувати знання отримані від лікаря-експерта та з легкістю розглядати подібні випадки в майбутньому.

Зниження витрат на доставку медичних послуг. Телемедицина може зменшити дублювання послуг, обладнання та фахівців. Наприклад, один патологоанатом може надати послуги в декількох місцях, використовуючи телепатологію.

Недоліки телемедицини наступні.

Без тактильного контакту. Для пальпації та аускультації дистанційний фахівець, як правило, повинен покладатися на додаткового помічника.

Відсутність конфіденційності. Існує потенціал для вторгнення в приватність.

Економічні мінуси. Є дефіцит кількісних даних про економіку телемедицини. Проте, за існуючими доказами багато телемедичних програм пропонують значну економію для пацієнтів (наприклад, не потрібно витратити гроші на транспорт та не потрібно пропускати навчання/роботу). Але от із заощадженнями для органів охорони здоров'я менш вражаюче.

Надмірна залежність від технології, які можуть бути ненадійними.

Клінічний ризик – як і в будь-якій іншій діяльності, клінічні ризики можливі.

А зараз розглянемо телемедичні програми у сфері первинної медичної допомоги.

Домашній моніторинг при хронічних захворюваннях. Віддалений моніторинг захворювання – це важливе застосування телемедицини. Домашні телемоніторингові системи були впроваджені у багатьох хронічних захворюваннях, таких як астма, хронічне обструктивне захворювання легенів (ХОЗЛ), діабет, гіпертонія та серцева недостатність. Систематичний огляд показав, що ці системи є надійними і точними з дуже невеликою кількістю технічних помилок. Проекти телемоніторингу призвели до позитивного поліпшення результатів, хоча результати були несумісними у всіх проектах та захворюваннях. Проте повідомляються переваги зниження рівня гемоглобіну А1с, зниження систолічного та діастолічного артеріального тиску, виявлення раннього погіршення ХОЗЛ та зниження рівня госпіталізації. Крім того, використання домашнього телевізійного моніторингу дає можливість пацієнтам активно займатися їх доглядом та поліпшити загальне самопочуття.

Домашній телемоніторинг вимагає моніторингу апаратного та програмного забезпечення, яке автоматично фіксує дані пацієнта, такі як вага, частота серцевих скорочень, рівень глюкози в крові, використання інсуліну

тощо. Деякі системи попереджують постачальника та пацієнта про попереджувальні значення; інші доповнюються веб-інформацією для самопомоги. Основні перешкоди для дистанційного моніторингу включають вартість обладнання; потреба у персоналі для встановлення, обслуговування та надійності системи; крім того, обладнання повинне бути простим і легко використовуватися пацієнтом і підходити людям похилого віку.

Більшість інститутів та постачальників інвестують у забезпечення веб-порталу їхніх систем. Це обумовлено загальним взаємозв'язком Інтернету в глобальному масштабі, а також меншими витратами, необхідними для зберігання та обслуговування даних у постачальника послуг додатків. Крім того, це дозволить надавати більше повноважень пацієнтам, приймаючи рішення у сфері охорони здоров'я. Це допоможе у покращенні спілкування між різними сторонами, такими як лікарі, лікарні та страховики. Пацієнт може ввійти на портал та замовити рецепти, мати доступ до розкладу зустрічей, переглядати бібліотеку здоров'я, а також надсилати повідомлення своєму лікарю.

У пілотному дослідженні реалізації PatientGatewa у лікарі позитивно описали свій досвід використання веб-порталу в адміністративних питаннях, таких як запити на доповнення, направлення та призначення. Однією з важливих перешкод для використання таких систем є страх перед збільшенням робочого навантаження і при цьому відсутності відшкодування. Крім того, відсутність стандартів та сумісності між різними джерелами даних становлять великий виклик для розробки цих порталів.

Телекомунікації частіше використовувались між постачальниками медичних послуг для висновків спеціалістів або для цільових напрямлень. Це вимагає більш складного обладнання, такого як цифрові камери, цифрові пристрої та засоби відеоконференції. Передача цифрових знімків сітківки лікарем первинної медичної допомоги фахівцям офтальмології була такою ж ефективною, як і особиста оцінка для скринінгу діабетичної ретинопатії. Це має величезну користь для пацієнтів із діабетом та старших пацієнтів, які живуть у

віддалених районах або не можуть відвідувати декількох лікарів через обмеження мобільності.

Практика спілкування електронною поштою між пацієнтами та лікарями значно відстає від збільшення загального використання електронної пошти та готовності пацієнтів надсилати електронні повідомлення своїм лікарям. 85% з 9000 користувачів електронної пошти, опитаних у 2000 році, повідомили про щоденне використання електронної пошти; але лише 6% надіслали електронний лист своєму лікарю [10]. Не дивлячись на дві третини клінічних пацієнтів, які отримують доступ до електронної пошти практично щодня вдома чи на роботі, 90% ніколи не використовували електронну пошту для спілкування зі своїм лікарем. У 2006 році 16,6% із 4203 лікарів у Флориді використовували електронну пошту з свого офісу для спілкування з пацієнтами; 17,4% цих лікарів (або 2,9% від загальної кількості лікарів) щоденно використовували електронну пошту з пацієнтами [11].

Відносини та перешкоди для використання електронною поштою лікарями та пацієнтами. Пацієнти розглядають спілкування електронною поштою з лікарями як зручний спосіб спілкування, що покращує їх доступ до медичного працівника і, таким чином, підвищує якість обслуговування. Причини, які повідомляли користувачі електронної пошти про їх небажання надсилати електронні листи своїм лікарям, полягали, в основному, в тому, що вони не знали електронної пошти свого лікаря. Інші бар'єри включали в себе стурбованість пацієнтів щодо ефективності та продуктивності електронної пошти [12].

Важливими перешкодами або проблемами, про які йшлося серед лікарів, є брак часу та збільшення робочого навантаження. Проте дослідження не підтвердили страх про збільшення робочого навантаження. Протягом 6 місяців не спостерігалось збільшення обсягу повідомлень або часу на відправлення повідомлень між лікарями, які використовували телефонні повідомлення зі своїми пацієнтами, порівняно з тими, хто користувався електронною поштою.

Опитування показують, що лікарі реагують в середньому на 12-13 електронних листів на тиждень, витрачаючи 5-10 хвилин на день.

Медики висловили свою стурбованість з приводу змісту повідомлень електронної пошти. Лікарі не розглядають електронні листи, придатні для дослідження нових симптомів або обговорення психічних проблем. Більше двох третин погоджуються з тим, що доцільно спілкуватися з пацієнтом по електронній пошті з приводу планування зустрічей, заповнення ліків та інформування пацієнта про звичайні результати; у той час як половина лікарів розглядають лише питання лікування хвороб та коригування дози.

Багато хто стверджує, що використання електронних повідомлень несправедливе для пацієнтів, які не мають доступу до Інтернету, особливо для бідних та літніх пацієнтів. Крім того, спілкування електронною поштою має потенціал для поліпшення догляду та зменшення навантаження в клініці, якщо його застосовуватимуть літні пацієнти з множинними супутніми захворюваннями. Хоча 52 (1,3%) із 4059 пацієнтів віком старше 65 років повідомили про використання електронної пошти з їхніми медиками на рівні громади, 50% висловили ентузіазм щодо можливості його використання [13].

Електронні листи пацієнтів загалом включають в себе одне питання чи занепокоєння і були стислими. Електронна пошта допомагає наповнювати рецептів, вирішувати адміністративні питання, проводити невідкладні консультації та надсилати результати лабораторних перевірок. Контент-аналіз повідомлень електронної пошти між педіатрами та батьками показав, що повідомлення електронної пошти містять одну проблему одночасно з запитом про медичне питання або медичне оновлення в більшості повідомлень електронної пошти [14]. Незважаючи на те, що лікарі стурбовані збільшенням робочого навантаження та вмістом електронних листів, близько половини електронних листів, надісланих пацієнтами, в основному є оновленими та не вимагають відповіді лікаря у двох дослідженнях - щодо дорослого та щодо дитячого населення.

Телефонний зв'язок. Потенційні переваги, визнані лікарями, які надають свої номери мобільного телефону пацієнтам, включають зменшення відвідувань клініки, заспокоєння пацієнта та надання їм почуття безпеки. Даючи номер мобільного телефону пацієнтам, створюється враження, що лікар турбується і це збільшує довірчі відносини між лікарем і пацієнтом.

Однією з великих проблем телефонних консультацій є ризик виникнення медичних помилок. Є три найпоширеніші категорії помилок: погана документація, помилкові рішення щодо діагнозу та неповна історія, що перебирає телефон.

Проблемами, які виникають при телефонній консультаціях, також є:

- відсутність невербальних підказок;
- відсутність прямих спостережень;
- відсутність активного слухання, оскільки лікар може займатися власною діяльністю під час дзвінка та спілкування з членами сім'ї.

1.2 Основні складові телемедицини згідно з сучасним законодавством

З розпадом Радянського Союзу Україна успадкувала високо централізовану державну систему охорони здоров'я в радянському стилі. Протягом років незалежності Україна не змогла створити систему охорони здоров'я, здатну ефективно забезпечити населення якісними та доступними медичними послугами, реагувати на поточні проблеми, пов'язані зі збільшенням смертності та поширенням СНІД, туберкульозу чи гепатиту С, а також здійснювати ефективні запобіжні заходи. Сьогодні, незважаючи на високий рівень державних видатків на медичний сектор, громадяни змушені самостійно платити за дорогий лікарський засіб. Для малозабезпечених верств населення оплата медичних послуг часто є надмірною.

Українська охорона здоров'я як і раніше надає переваги лікувальним службам профілактики, лікарням за амбулаторними послугами та фахівцями з питань первинної медичної допомоги.

Ситуація гірша в багатьох невеликих містах та селах, де не вистачає фінансових ресурсів, спеціалізованої медицини, медичних приладів, а іноді навіть лікарів. Часто пацієнти повинні подорожувати в обласні центри, щоб отримувати щось більше за базову допомогу.

Саме тому в серпні 2014 року Міністерство охорони здоров'я ініціювало розробку Національної стратегії реформування системи охорони здоров'я в Україні. За допомогою нових стратегічних підходів до підвищення якості та доступності допомоги та зменшення фінансових ризиків для людей потрібно було надати нового поштовху реформі галузі [15].

Ось що потрібно знати про реформу.

Реформа передбачає перехід від фінансування медичної установи до фінансування послуг, що надаються пацієнту. У минулому держава виділяла гроші на утримання лікарень та певну кількість ліжок; тепер ці кошти будуть використані на послуги, що надаються пацієнтам. Ряд законопроектів має змінити існуючу систему фінансування охорони здоров'я, включаючи проект закону про державні фінансові гарантії надання медичних послуг та лікарських засобів (№ 6327), який був прийнятий Верховною Радою в першому читанні 8 червня. 2017 р.

Лікарні отримають фінансову та управлінську автономію. Планується, що вони перетворяться на неприбуткові підприємства, які зможуть отримувати фінансування з різних джерел. У статті 18 Закону про медичну реформу № 2309а-d, який був прийнятий у квітні 2017 р., було запроваджено принцип «гроші вслід за пацієнтом», згідно з яким лікарні та приватні лікарі отримуватимуть прямі виплати за лікування хворого та його/її медичну справу.

Особисте страхування відіграватиме велику роль. На сьогоднішній день ринок страхових полісів в Україні практично відсутній у порівнянні з західними країнами. Відповідно до реформи, всі медичні послуги та ліки, що

надаються пацієнтам, повинні повністю або частково оплачуватися державою через державну систему страхування, яка охоплюватиме всіх осіб, які проживають в Україні. Справа тут не про страхування, а про іншу модель бюджетного фінансування, оскільки мова йде не про певний внесок, а про перерозподіл бюджетів. Його специфіка полягає в тому, що населенню не доведеться платити додаткові страхові внески, оскільки фінансове забезпечення отриманих медичних послуг буде отримано від податків. Таким чином, кожен, хто живе в Україні, автоматично застрахований, сплачуючи податки.

Впроваджується гнучка зарплата лікарів. Це буде безпосередньо залежати від кількості пацієнтів, які відвідують цього лікаря. У середньому, держава планує виділити 210 грн (7 євро) на одного пацієнта. Норма лікаря складатиме 2000 пацієнтів. Для педіатрів число буде становити 800-900 пацієнтів. Вони одержуватимуть більше за пацієнта – приблизно 270 грн. (9 євро) на одного пацієнта, беручи до уваги більшу кількість роботи та навантаження. Те саме стосується лікарів, які лікують літніх людей.

Новий орган, який називається Національна служба охорони здоров'я України, буде керувати бюджетними коштами, виділеними на фінансування послуг. Ця структура забезпечить медичні послуги населенню, підписуватиме контракти з постачальниками первинної медичної допомоги.

Лікарняні округи будуть створені для регулювання існуючої мережі лікарень. Необхідність створення лікарняних округів полягає у відсутності можливості отримувати якісну спеціалізовану допомогу на місцях у малих селах. Реформа повинна сприяти створенню однієї лікарні другого рівня інтенсивної терапії в кожному лікарняному районі.

Створення лікарняних округів та розподіл функцій між лікарнями відбувається на місцевому рівні. Місцеві органи влади краще знають потреби свого населення. З цією метою члени лікарняного округу створили дорадчий орган, який називається Рада лікарень, який розробляє план розвитку району на п'ять років, реорганізує та перепідпорядковує медичні установи, призначає та звільняє керівників медичних закладів.

Лікарняний округ має включати принаймні одну лікарню інтенсивної терапії з різними спеціальностями першого та/або другого рівня та інші медичні установи. Поліклініка Інтенсивної терапії першого рівня прийматиме щонайменше 120 000 чоловік, а другого мінімум 200 000 чоловік. Таким чином, інтенсивна лікарня буде найпотужнішою в регіоні, а інші лікарні будуть реструктуризовані.

У квітні 2018 року Міністерство охорони здоров'я розпочало програму, яка дозволила громадянам вибрати своїх лікарів первинної медичної допомоги та зареєструвати стосунки лікаря-пацієнта в новій базі даних електронної охорони здоров'я в країні.

У липні новостворена Національна служба охорони здоров'я України розпочала фінансування закладів первинної медичної допомоги, які приєдналися до нової системи. Решта приєднається до кінця наступного року.

Особливість системи охорони здоров'я в Україні є висока концентрація технічного та кадрового потенціалу в великих містах та мегаполісах. При такій ситуації якісна, своєчасна, кваліфікована медична допомога недоступна для більшості населення, яке проживає в сільській місцевості, що призводить до погіршення здоров'я населення та скорочення середньої тривалості життя. Крім того Міністерство охорони здоров'я позбавлено можливості швидко та ефективно управляти системою, особливо при виникненні надзвичайних ситуацій та проводити всеукраїнські наради не викликаючи керівників управлінь та закладів охорони здоров'я на себе [16].

У 2007 році було створено Державний клінічний науково-практичний центр телемедицини МОЗ України – єдиний спеціалізований заклад охорони здоров'я, створений для надання висококваліфікованої комплексної консультативної медичної допомоги населенню з застосуванням сучасних інформаційних та телемедичних технологій, організації заходів з розробки, апробації, впровадження їх та розвитку телемедицини в Україні.

А в 2009 році на Порталі телемедицини було розпочато телемедичне консультування та обмін досвідом лікарів. Цей проект відбувся під керівництвом Центру телемедицини.

Галузевим нормативно-правовим документом для забезпечення упровадження телемедицини в охорону здоров'я є наказ МОЗ від 26.03.2010 р. № 261 «Про впровадження телемедицини в закладах охорони здоров'я».

На жаль, внесений до Верховної Ради проект Закону «Про телемедицину» (№ 10196 від 14.03.2012 р.), який був відправлений на доопрацювання, на сьогодні так і не прийнятий.

Розвиток телемедицини є вкрай необхідним для нашої країни, особливо з огляду на антитерористичну операцію на сході.

У військовій медицині телемедичні технології здатні спростити роботу лікарів, виконати ефективний менеджмент на етапах евакуації, систематизувати та стандартизувати якість надання медичної допомоги. Враховуючи складність та затяжне лікування вогнепальних поранень, це дає змогу тримати на постійному й тривалому контролі процес лікування кожного потерпілого.

Значну роботу з впровадження телемедицини в Україні було проведено протягом останнього року з часу прийняття спільної програми України та НАТО.

Сьогодні у багатьох військових медичних закладах України проводяться заходи щодо впровадження телемедицини. Зокрема, за підтримки волонтерів та добровольчої допомоги таких компаній, як «ASUS Україна» і «DSSL Україна» в операційних клініки ушкоджень Національного головного військово-медичного клінічного центру «ГВКГ» встановлено обладнання, завдяки якому все, що відбувається в операційних, можна побачити з будь-якої точки України.

Експертами підраховано, щоб накрити системою телемедицини всю Україну потрібна зовсім незначна, як для масштабів держави, сума – трохи більше 8 млн грн. А впровадження телемедицини дає змогу заощадити до 40 % витрат на охорону здоров'я [17].

Впровадження телемедицини в Україні відбувається децентралізовано. Це можна пояснити недостатнім правовим статусом телемедичних послуг, економічним фактором й, найголовніше, відсутністю єдиних стандартів обміну медичною інформацією.

Головною метою телемедицини є поліпшення здоров'я населення шляхом забезпечення рівного доступу до медичних послуг належної якості [18].

Основними завданнями телемедицини є [19]:

- забезпечення надання медичної допомоги пацієнту, коли відстань є критичним чинником її надання;
- збереження медичної таємниці та конфіденційності, цілісності медичної інформації про стан здоров'я пацієнта;
- створення єдиного медичного простору;
- сприяння підвищенню якості допомоги та оптимізації процесів організації та управління охороною здоров'я;
- формування системних підходів до впровадження та розвитку телемедицини в системі охорони здоров'я.

Форма організації надання медичної допомоги населенню із застосуванням телемедицини – телемедична мережа.

Державне регулювання в галузі телемедицини полягає у [20]:

- 1) контролі надання телемедичних послуг належної якості;
- 2) аналізі стану телемедицини та прогнозування її розвитку;
- 3) підготовці, затвердженні та реалізації державних, регіональних і місцевих програм розвитку телемедицини.

Нормативно-правовими документами для забезпечення упровадження телемедицини в охорону здоров'я є накази МОЗ України:

- Наказ МОЗ України "Про затвердження Примірного таблицю оснащення медичною технікою та виробами медичного призначення обласної (обласної клінічної), республіканської клінічної дитячої лікарні" від 31.12.2009 № 1084;

- Наказ МОЗ України "Про впровадження телемедицини в закладах охорони здоров'я" від 26.03.2010 № 261;

- Наказ МОЗ України "Про затвердження Концепції подальшого розвитку перинатальної допомоги та плану реалізації заходів Концепції" від 02.02.2011 № 52;

- Наказ МОЗ України "Про затвердження Примірного статуту Перинатального центру зі стаціонаром та Примірного положення про Перинатальний центр у складі закладу охорони здоров'я" від 15.08.2011 № 514;

- Наказ МОЗ України "Про затвердження плану заходів щодо реалізації положень Меморандуму про взаєморозуміння між МОЗ України, НАМН України, Товариство з обмеженою відповідальністю "ДТЕК", Благодійним фондом "Розвиток України" та Приватне акціонерне товариство "МТС Україна" від 26.12.2011 № 966;

- Наказ МОЗ України "Про внесення змін до наказу Міністерства охорони здоров'я України від 15 серпня 2011 року № 514" від 01.10.2012 № 763.

1.3 Роль лікаря-експерта

Для початку лікування пацієнт приходить до сімейного лікаря. Зазвичай сімейний лікар сам проводить лікування пацієнта, але іноді вирішує передати пацієнта іншому лікарю, який спеціалізується на хворобі, що турбує пацієнта. Ці лікарі-експерти, як правило, працюють у лікарнях і відомі як "консультанти". Сімейний лікар може попросити експерта про консультацію щодо пацієнта або попросити взяти на себе управління хворобою.

Основна відмінність між цими професіями полягає в тому, що термін "сімейний лікар" стосується загальної практики, тих, хто навчається у широкому спектрі медицини та медичних процедур, тоді як лікар-експерт проходить спеціальну підготовку в конкретній галузі медицини після завершення такої ж основної медичної підготовки, як лікар-експерт.

Є кілька факторів, які можуть вплинути на вибір лікаря-експерта:

По-перше, зазвичай кілька підходящих консультантів працюватимуть у одній лікарні, тому сімейний лікар та пацієнт можуть мати широкий вибір. Однак може бути, що лише один із цих консультантів зацікавлений в діагнозі пацієнта.

По-друге, хоча лікування є безкоштовним для пацієнтів, міністерство має обмежену суму грошей для лікування пацієнтів, яка перевищується кожний рік. Попит на лікування часто перевищує пропозицію, тому черги накопичуються, і пацієнти повинні чекати, щоб отримати спеціальне лікування та на призначення на консультацію з експертом. Однак очікуваний список для зустрічі між консультантами змінюється.

Лікар-експерт – це лікар, який пройшов всю свою підготовку за певної спеціалізацією і був поміщений в спеціальний реєстр за обраною спеціальністю. Їх роль цілком відрізняється від лікарів загальної практики.

Лікарі-експерти приймають кінцеву відповідальність за догляд за всіма пацієнтами, яких вони лікують, тому робота несе серйозну особисту відповідальність [21]. Також вони мають мати сертифікат про закінчення навчання (у будь-якій з визнаних спеціальностей), але науковці із великою кількістю публікацій та міжнародною репутацією можуть бути звільнені від цієї вимоги.

Налічується понад шістдесят видів, з яких лікарі-експерти можуть вибрати спеціалізацію. Всі ці спеціальності належать до таких основних категорій [22]:

- хірургія: лікування захворювань з використанням інвазивних процедур;
- медицина: вивчення впливу різних ліків та їх взаємодії;
- акушерство та гінекологія: займаються жіночим розмноженням та вагітністю;
- анестезіологія: використання ліків для анестезії пацієнтів перед будь-яким інвазивним хірургічним втручанням;
- педіатрія: лікування дітей;
- офтальмологія: лікування стану ока;

- рентгенологія: використання методів візуалізації (наприклад, рентгенівських променів та ультразвукових досліджень);
- онкологія: лікування пухлин і раку;
- психологія: лікування психічних розладів;
- патологія: вивчення хвороб та їх впливу на організм людини.

Лікарі-експерти працюють насамперед у наданні кваліфікованої клінічної допомоги (часто в рамках команди). Їх робоче навантаження зазвичай передбачає управління більш складним типом справ (з точки зору діагностики та управлінських рішень).

Також він, як правило, працює в лікарні, і його головним обов'язком є проведення досліджень та процедур, необхідних для встановлення діагнозу, а потім надавання порад та надавання лікування, де це необхідно.

Лікарі-експерти також беруть участь у багатьох інших напрямках, у тому числі [23]:

- загальне управління відомствами;
- прийняття управлінських рішень;
- викладання/навчання;
- дослідження.

Виконання професійних обов'язків у галузі експертної медицини в Україні [24]:

1. Лікар не може бути одночасно лікарем-експертом і особистим лікарем одного й того самого хворого.

2. Лікар не повинен проводити експертизу, у висновках якої зацікавлені: він сам, один з його пацієнтів, один із його близьких, друзів або група осіб, яка звернулася до нього за послугами.

3. При одержанні завдання на експертизу лікар зобов'язаний відмовитися від нього, якщо вважає, що поставлені перед ним питання не мають безпосереднього відношення до медицини, його знань та його можливостей або якщо це завдання суперечить положенням чинного законодавства чи цього Кодексу.

4. Лікар-експерт до початку експертних дій повинен проінформувати особу, яку він обстежує, щодо поставленого перед ним завдання.

5. Текст акту експертизи повинен містити тільки такі дані, які необхідні лікареві-експерту для формулювання відповіді на поставлені питання.

Взаємодія між експертом і пацієнтом повинна бути організованою так, щоб повністю гарантувати правильну організацію процесу лікування. Лікар-експерт повинен мати можливість прямого спілкування з лікарем-абонентом для уточнення деталей, визначення діагнозу в актуальний термін.

Клінічні, лабораторні та інші дані про пацієнта повинні бути надані в максимально повному обсязі.

Після визначення діагнозу лікар-експерт має зробити висновок. Висновок, отриманий у результаті консультації, повинний бути вивчений сімейним лікарем, мультидисциплінарною групою фахівців і доданий до карти стаціонарного (амбулаторного) пацієнта. Також висновок експерта повинний містити його/її номер телефону [25].

З юридичної точки зору – лікар-експерт несе повну відповідальність за якість своїх висновків і дій, але у випадку конфліктної ситуації повинна бути проведена експертна оцінка дій і обсягів інформації, наданої з абонентської сторони.

1.4 Постановка задачі та аналіз дерева рішень

В даному магістерському проєкті поставлена задача розробки алгоритму вибору лікаря-експерта в телемедичній системі. Процес проєктування складається з таких етапів, які зображені на рисунку 1.1.

З розвитком технології та швидким зростанням медичних досліджень та розробок також зростає очікування людей щодо якості медичного обслуговування.

Традиційно, медичні рішення приймаються, головним чином, на основі пам'яті лікаря, а також швидких оцінок симптомів та стану пацієнта. Це вимагає від лікарів бути постійно в курсі останніх досліджень та літератури, щоб переконатись, що вони досліджують медичні випадки з сучасними знаннями.

Проте виникає необхідність автоматизації цих процесів. Саме для цього і розробляється алгоритм вибору лікаря-експерта. Він проектується на основі нечіткої логіки та методу Мамдані.

Нечітка система розробляється та програмується в середовищі програмної системи MatLab за допомогою модуля Fuzzy Logic Toolbox.

Fuzzy Logic Toolbox надає функції, додатки і блок Simulink для аналізу, проектування і моделювання. Набір інструментів дозволяють моделювати складні системи поведінки, використовуючи прості логічні правила, а потім реалізувати ці правила в нечіткій системі логічного висновку. Крім цього, можна використовувати нечіткі блоки логічного висновку в Simulink і моделювати нечіткі системи в рамках комплексної моделі всієї динамічної системи.

А зараз детальніше розглянемо дерево рішень дипломного проектування, зображеного на рисунку 1.1.

Першим кроком є – загальний аналіз проблеми вибору лікаря-експерта. Наступне, що слідує, так це дослідження нечіткої логіки та вибір алгоритму нечіткого виводу на базі знань, в нашому випадку це алгоритм Мамдані. Потім необхідно побудувати функції належностей та сформулювати базу правил. П'ятим етапом є аналіз роботи нечіткої системи. Ну і завершальним етапом є аналіз роботи нечіткої системи.

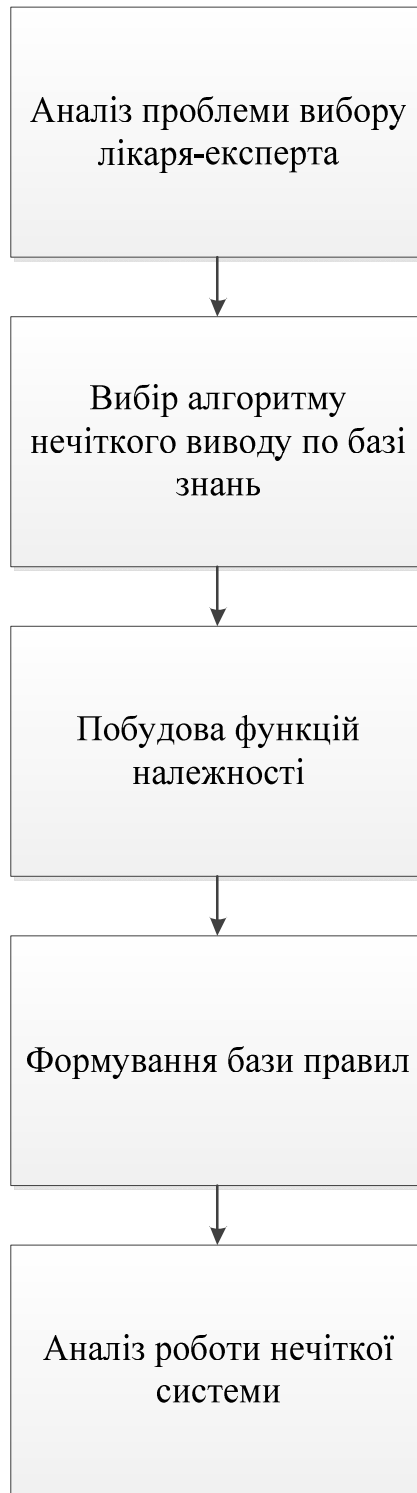


Рисунок 1.1 – Процес проектування

2 НЕЧІТКА БАЗА ПРАВИЛ ВИБОРУ ЛІКАРЯ-ЕКСПЕРТА В ТЕЛЕМЕДИЦИНІ

2.1 Існуючі нечіткі системи в телемедицині

Ретельний збір та запис показів, що стосуються пацієнтів та їх хвороб, є важливою та критичною проблемою протягом багатьох років. В останні роки багато дослідницьких груп, медичних організацій та медичних товариств почали збирати велику кількість даних про здоров'я та хвороби різними способами та формами. Це можливо завдяки прогресу у застосуванні обчислювальної техніки, щоб дозволяє лікарям забезпечити найкраще, що є можливим для їх пацієнтів з реалістичним використанням ресурсів та зниженням вартості, одночасно підвищуючи якість медичної допомоги.

Обіцянка підвищити якість та ефективність медичної допомоги для підвищення рівень та довголіття життя може бути реалізована шляхом збору та систематичного аналізу даних про здоров'я та хвороби [27].

Автоматизація та забезпечення підтримки прийняття рішень для точного розмежування та діагностики можуть бути реалізовані в процесі підготовки даних, до прогнозування, до дії, до формування добре відкаліброваних прогнозів про результати здоров'я, для вироблення ефективних планів для управління хронічними захворюваннями. Дані можуть бути перетворені в прогнозні моделі, використовуючи методи, орієнтовані на дані.

Клінічні та біомедичні відкриття залежать від збирання та систематичного аналізу великої кількості даних. Методи навчання з даних можуть служити основою для нових напрямків в клінічних науках за допомогою інструментів та аналізу, які визначають тонкі, але важливі сигнали при об'єднанні клінічних, поведінкових, екологічних, генетичних та епігенетичних даних.

Система прийняття рішень є незамінним компонентом у багатьох різних секторах. Це інтерактивна комп'ютеризована система, яка дає змогу

директивним органам складати та вивчати відповідну інформацію, щоб забезпечити належну та надійну основу для обґрунтування прийняття рішень [28]. Система прийняття рішень в загальних рисах може охоплювати різні системи, що допомагають у прийнятті рішень, включаючи дуже спрощені програмні системи та складні знання на основі систем штучного інтелекту. Клінічні рішення, прийняті професіоналами охорони здоров'я, зазвичай залежать в основному від інтелектуальних аналітичних даних, клінічних рекомендацій, медичних доказів, інструкцій та принципів, отриманих від медичної науки. Клінічні системи прийняття рішень покращують використання знань для підтримки прийняття рішень, а отже, підвищують якість надання медичної допомоги пацієнту.

Використання клінічних систем прийняття рішень ще не поширене у лікарнях та клініках; однак, вони мають потенціал для покращення зберігання та вилучення медичних записів, аналізу історії хвороби та для багатьох цілей, включаючи діагностику, оцінку інформації в режимі реального часу, зібрану з моніторів, використання ліків разом із планом лікування та обробкою великої кількості інформації та знань.

У найближчому майбутньому кожна медична інформаційна система буде оснащена функцією, яка забезпечує підтримку прийняття рішень на основі знань [29]. Підтримка на основі даних, що базується на знаннях, полягає, насамперед, в кроці перетворення медичних даних на концепцію та, по-друге, бази знань, що містить медичні відносини, від медичних концепцій до рішень. Обидва варіанти моделювання концепції та взаємозв'язку можуть бути зроблені за допомогою використання нечітких множин, нечітких зв'язків та нечітких алгоритмів прийняття рішень для збереження властивої нечіткості медичних концепцій та медичних відносин.

Підтримка діагностики та терапевтичного рішення для пацієнтів стане частиною кожної медичної інформаційної системи в найближчому майбутньому [30].

Лікарняні інформаційні системи оснащуються механізмами вибору правил для автоматичного створення інтелектуальних оповіщень, попереджень та рекомендацій лікарям.

Редактор правил, що має доступ до словників медичних даних, дозволяє користувачеві визначати правила про попередження протипоказань, попередження про взаємодію з ліками, рекомендації щодо діагностики, лікування та ін.

Деякі лабораторні інформаційні системи автоматично генерують письмові лабораторні звіти за допомогою інтелектуальної системи звітності на основі медичних знань, що зберігаються в базі знань [31]. Ці системи найближчим часом можуть стати доступними на веб-серверах, забезпечуючи тим самим по всьому світу сервіс для медичних лабораторій [32].

Системи управління даними пацієнтів в установах інтенсивної терапії намагаються подолати розповсюдження інформації, об'єднуючи та комбінуючи окремі інформаційні елементи на високотехнологічні описи діагнозів пацієнтів [33]. Ці високорівневі описи зазвичай складають медичні терміни, які використовують лікарі у спілкуванні щодо пацієнта.

Медицина звичайно застосовує лінгвістичні концепції, щоб моделювати медичні знання, такі як описи захворювань, рекомендації щодо лікування, прогностична інформація та рекомендації з проведення медичної практики. Тому таке твердження, як "Висока активність амілази практично підтверджує гострий панкреатит", може бути визначене як частина діагностичних знань.

Безпосередньо спостережувані та вимірювані дані пацієнта з історії хвороби, фізичного огляду, лабораторних досліджень та клінічних досліджень, як правило, інтерпретуються та пов'язуються зі значенням. Наприклад, якщо величина амілази в 10 разів перевищує верхнє контрольне значення (коли еталонні значення залежать від конкретного аналізу у відповідній лабораторії), то вона вважається високою.

Сучасні телемедичні мобільні комплекси (m-Health) використовуються для профілактики та реабілітації пацієнтів. Наприклад, для пацієнтів віддалених

населених пунктів передбачається первинна діагностика та оповіщення, при необхідності, станцій швидкої медичної допомоги про місце розташування цих пацієнтів [37]. Мета полягає у розробленні системи моніторингу медичних показників пацієнта з функціями експрес аналізу життєво важливих ознак.

Тому зараз ми розглянемо приклади існуючих нечітких систем в телемедицині.

MedFrame/CADIAG-IV: Інтернет-база для діагностичної та терапевтичної підтримки прийняття рішень. MedFrame призначена для формування широкої платформи для розробки різних систем, заснованих на знаннях, в медицині, наприклад, для розміщення баз знань для диференціальної діагностики або диференціальної терапії у всій області внутрішньої медицини. Вона також може розміщувати системи знань для інтерпретативного аналізу результатів лабораторних досліджень. Інтегрована інформація про пацієнтів та медичні знання, модулі редакторів знань, модулі диференціальної діагностики та терапії, а також негайний модуль оцінки випадків є основою MedFrame.

MedFrame/CADIAG-IV сумісна з урахуванням доступних медичних баз знань, що містяться в колишніх системах CADLAG [42].

Інтерполяція нечітких правил (ІНП) пропонує ефективний підхід для виведення висновку при розведенні систем на основі правил (а також для зменшення складності нечітких моделей) [43]. Проте вимоги нечітких систем можуть змінюватися з часом і тому використання статичної бази правил може впливати на точність програм ІНП. На щастя, система ІНП в дії вироблятиме достатньо інтерполюючі протягом інтерполяційного міркування. Хоча такі інтерпольовані результати відкидаються в існуючих системах ІНП, вони можуть бути використані для полегшення розробки динамічної бази правил для підтримки подальшого висновку. Це пояснюється тим, що інакше відкинуті інтерполюючі правила можуть містити цінні відомості, що охоплюють регіони, які були виявлені оригінальною базою правил.

Система інтерполяції динамічного нечіткого (СІДН) правила здатна вибирати, об'єднувати та узагальнювати інформативні, часто використовувані

інтерполюючі правила для об'єднання з існуючою базою правил під час виконання інтерполяційних міркувань. Систематичні експериментальні дослідження показують, що СІДН перевершує традиційні методи ІНП, з більшою точністю та надійністю [44]. Крім того, СІДН застосовується для аналізу мережевої безпеки при розробці динамічної системи виявлення вторгнення шляхом інтеграції з програмним забезпеченням Snort, одним із найпопулярніших ІНП з відкритим кодом. Ця інтеграція, позначена як СІДН-Snort, надалі дає додаткову кількість інтелекту для прогнозування рівня потенційних загроз. Експериментальні результати показують, що за умови включення динамічної бази правил шляхом узагальнення нових інтерполяційних правил на основі поточних умов мережевого трафіку, СІДН-Snort допомагає зменшити як помилкові, так і помилкові негативи при виявленні вторгнення.

СІДН є гнучким та загальним підходом, без будь-яких теоретичних обмежень щодо використання будь-якої конкретної ІНП при виконанні інтерполяції, а також в обчислювальних механізмах для здійснення оцінки та просування правил. Незважаючи на те, що поточне експериментальне дослідження ґрунтується на популярних налаштуваннях (наприклад, використовуючи метод масштабування та переміщення на основі трансформації), вони можуть бути замінені альтернативними методами. Точно, яким чином такі альтернативи можуть практично вплинути на продуктивність роботи системи, потребує додаткової оцінки [45].

Важливість клінічних систем підтримки прийняття рішень для діагностики діабету призвела до великих досліджень, спрямованих на підвищення точності, застосовності, інтерпретації та сумісності цих систем. Проте ця проблема продовжує вимагати оптимізації. Нечіткі системи, керовані правилами, підходять для медичної області, де інтерпретативність є основною проблемою. Медичний домен є надзвичайно важливим для даних та використовує дані електронних медичних записів для побудови бази знань системи прийняття рішень, а нечіткі набори є критичними.

Багатокористувацькі змінні часто необхідні для визначення правильного та персоналізованого діагнозу, що зазвичай ускладнює отримання точних та своєчасних рішень [46]. Тут використовуються численні аспекти нечіткого висновку про знання, міркування онтології та нечіткий аналітичний процес ієрархії для забезпечення більш інтуїтивно зрозумілого та точного дизайну. По-перше, ми будемо двошарову ієрархічну та інтерпретовану систему підтримки прийняття рішень. Тоді ми покращуємо це шляхом інтеграції процесу обґрунтування онтології на основі стандартної онтології. Запропонована система пропонує безліч унікальних і критичних удосконалень у відношенні реалізації точної, динамічної, семантично інтелектуальної та інтерпретованої клінічної системи підтримки прийняття рішень. Розроблена система розглядає семантичну схожість онтології з ускладненнями та симптомами діабету в процесі оцінки нечітких правил. Система була протестована, використовуючи реальний набір даних, і результати показують, як запропонована система допомагає лікарям та пацієнтам точно діагностувати цукровий діабет

FuzzyTempToxopert: нечітка система в лабораторії токсоплазмозу. FuzzyTempToxopert інтерпретує результати серологічного аналізу токсоплазмозу, отримані в ході скринінгу на токсікозних інфекцій у вагітних жінок [50]. Тести на антитіла проводяться в лабораторії токсоплазмозу кафедри педіатрії та підліткової медицини у Віденській загальноосвітній лікарні. FuzzyTempToxopert інтерпретує їх з часом і автоматично забезпечує інтерпретацію діагностики та, головне, терапевтичні рекомендації, щоб уникнути пошкодження плоду чи подальшої шкоди дитині.

FuzzyTempToxopert містить базу знань у вигляді графа рішень. Правила прийняття рішень регулюють перехід від одного рішення до іншого; кожен перехідний крок активується шляхом отримання додаткового серологічного результату тесту. Для того, щоб отримати правильні діагностичні інтерпретації, необхідно зберегти мінімальну тимчасову відстань від одного тесту до іншого. Ці мінімальні відстані перевіряються, застосовуючи нечіткі множини, що моделюють тимчасові поняття, такі як "принаймні три тижні" [6,7].

FuzzyKBWean: Нечітка система відлучення штучної вентиляції. FuzzyKBWean – це система нечіткого управління з відкритим циклом для оптимізації та контролю якості процесу вентиляції та відлучення у пацієнтів після серцевої хірургії в одному з відділень Віденської загальної лікарні [51].

Система безпосередньо підключена до системи управління даними пацієнтів у критичному догляді і працює на комп'ютерах, розташованих біля ліжка.

Нечіткі правила в FuzzyKBWean містять лінгвістично виражені фізіологічні параметри пацієнта та фактичні параметри вентилятора в їх попередніх умовах, а чіткі пропозиції щодо нових налаштувань вентилятора як наслідки правил. Таким чином, можна застосувати метод управління Sugeno для об'єднання правил на виході[21].

FuzzyARDS: моніторинг пацієнтів на основі бази знань. FuzzyARDS – це інтелектуальна онлайн-програма для моніторингу даних інтенсивної терапії хворих на гострий респіраторний дистрес-синдром [30]. Його клінічна мета полягає в тому, щоб якнайшвидше виявити дистрес-синдром у пацієнтів і забезпечити відповідні терапевтичні дії.

Теорія нечітких множин та її похідні теорії забезпечують надзвичайно придатну та загальноприйнятну основу для розробки систем знань у медицині. Клінічні дослідження, проведені до цих пір, продемонстрували доцільність відповідних даних про пацієнтів та представлення нечітких знань та обраних механізмів нечітких висновків щодо необхідної медичної застосовності та досягнутої правильності результатів.

2.2 Розроблена нечітка система

Нечітка система – це група функцій належності та баз правил. Ці функції та правила використовуються для обґрунтування даних. Системи нечітких

висновків орієнтовані на чисельну обробку. Вони приймають числа як вхідні дані, а потім переводить вхідні номери на мовні терміни, такі як малі, середні та великі. Цей переклад називається фазифікацією. Тоді завдання правил полягає в тому, щоб відобразити вхідні лінгвістичні терміни на аналогічні лінгвістичні терміни, що описують результат. Це завдання виконується блоком рішень. Нарешті, переклад результатів мовних термінів у номер результату виконаний. Цей переклад називається дефазифікацією. Всі нечіткі правила та лінгвістичні змінні зберігаються в нечіткій базі знань. Системи нечітких висновків мають здатність справлятися з неточною інформацією.

Загальна структура мікроконтролера, що використовує нечітку логіку подана на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Структура мікроконтролера

Нечіткі системи, засновані на концепції нечіткого набору, яка відображає вхідний домен у вихідний домен. Фундаментальна відмінність класичної теорії множин і нечітких множин – вихідне значення. Класичні набори мають лише два вихідні значення нуль та одиниця, а нечіткий набір має великі вихідні значення з найвищим ступенем членства.

Нечітка логіка є збільшенням булевої логіки, яка частково пов'язана з поняттям істини. Де логіка класичних (чітких) станів, що всі речі можуть бути виражені в бінарних термінах (0 або 1, чорний або білий, так чи ні). Нечітка логіка замінює булеву правду на рівень істини. Нечіткі логіки дозволяють

використовувати значення від 0 до 1, а також мовну форму, поняття невизначеності як "мало", "середнє" та "дуже".

Нечіткий підхід має переваги в результатах, пов'язаних з когнітивними характеристиками людини, особливо в ситуаціях, що складаються з формування поняття, розпізнавання образів та прийняття рішень у невизначеному середовищі.

Деякі з причин, чому варто використовувати нечітку логіку [27]:

- поняття нечіткої логіки легко зрозуміти;
- нечітка логіка дуже гнучка;
- нечітка логіка може допустити неправильні дані;
- нечітка логіка здатна моделювати дуже складні нелінійні функції;
- нечітка логіка може встановлювати та застосовувати досвід експертів безпосередньо, без проходження навчального процесу;
- нечітка логіка може працювати з технікою звичайного контролю;
- нечітка логіка базується на природній мові.

Отже, ми вибираємо нечіткий підхід для визначення вхідних змінних, визначаємо множини, що відповідають кожній змінній, а потім розробляємо систему, використовуючи нечіткі висновки.

Процес моделювання та побудови цієї нечіткої системи складається з п'яти етапів, у тому числі:

- 1) вкажіть проблему та визначте лінгвістичні змінні, які зазвичай називаються нечіткими змінами в нечіткій логіці;
- 2) визначити нечіткі множини для кожної лінгвістичної змінної;
- 3) виправлення та побудова нечітких правил;
- 4) зашифруйте нечіткі множини, нечіткі правила та процедури для виконання нечітких висновків у експертну систему;
- 5) оцініть та налаштуйте систему.

Нечітка система представляє два основних компоненти:

- 1) система висновків, яка впроваджує процес нечітких висновків, необхідний для отримання результату;

2) база знань, що представляє знання про вирішену проблему, складені збіркою нечітких правил.

Для того, щоб розпочати побудову нечіткої системи необхідно метод нечіткого виводу по базі знань. Найпоширенішими є метод Мамдані та метод Сугено.

Метод Мадамді широко визнаний за обмеження професійних знань. Це дозволяє нам ілюструвати знання більш сприйнятливим, більш людським способом.

Проте, система нечітких висновків типу Маддані передбачає значні обчислювальні проблеми. І навпаки, метод Сугено є обчислювальним фактором і робить свою роботу дуже точно з оптимізацією та адаптивними методами, що робить його придатним переважно для динамічних нелінійних систем [28].

Ці адаптивні методи можуть бути використані для адаптації функцій належності, так що нечітка система найбільш точно змоделює дані. Найбільш первинною відмінністю між системами нечітких висновків типу Мамдані та типу Сугено є спосіб отримання чіткого результату з нечіткого вводу. Незважаючи на те, що система нечітких висновків типу Мамдані використовує метод дефазфікації нечіткого результату, система нечітких висновків Сугено використовує середньозважене середнє значення для розрахунку чіткого результату. Значна команда та інтерпретативність результатів Мамдані недоступні в системі нечітких висновків Сугено, тоді як результуючі правила не нечіткі [32]. Але Сугено поліпшив процес обробки, тому що середньозважений середній час відновлював переважний метод дефазування. Оскільки база правил має інтерпретований і сприйнятливий характер, система нечітких висновків типу Мамдані широко використовується у додатках підтримки прийняття рішень. Додаткові розбіжності полягають в тому, що система нечіткої висновку типу Маддані має функції належності до результатів, тоді як система нечіткої висновку Сугено не має жодних функцій належності до результатів.

Саме тому ми будемо використовувати метод Мамдані.

Функції належності повинні варіюватися від 0 до 1. Сама функція може бути довільною кривою, форма якої ми можемо визначити як функцію, яка підходить нам з точки зору простоти, зручності, швидкості і ефективності.

Класичний набір може бути виражений як:

$$A = \{x | x > 6\} \quad (2.1)$$

Нечітка множина – це продовження класичної множини. Якщо X є всесвіт дискурсу, а його елементи позначаються за допомогою x , тоді нечіткий набір A в X визначається як сукупність упорядкованих пар.

$$A = \{x, \mu_A(x) \in X\}A \quad (2.2)$$

$\mu_A(x)$ називається функцією належності. Функція належності відображає кожен елемент X до функції належності між 0 і 1.

Панель Fuzzy Logic включає в себе 11 вбудованих типів функційналежності. Ці 11 функцій, у свою чергу, побудовані з декількох основних функцій:

- кусково-лінійні функції;
- функції розподілу Гауса;
- сигмоїдні;
- квадратичні.

Найпростіші функції членства формуються за допомогою прямих ліній. З них найпростіша функція трикутної приналежності, і вона має назву функції trimf. Це не що інше, як набір з трьох точок, що утворюють трикутник. Її вигляд зображено на рисунку 2.2.

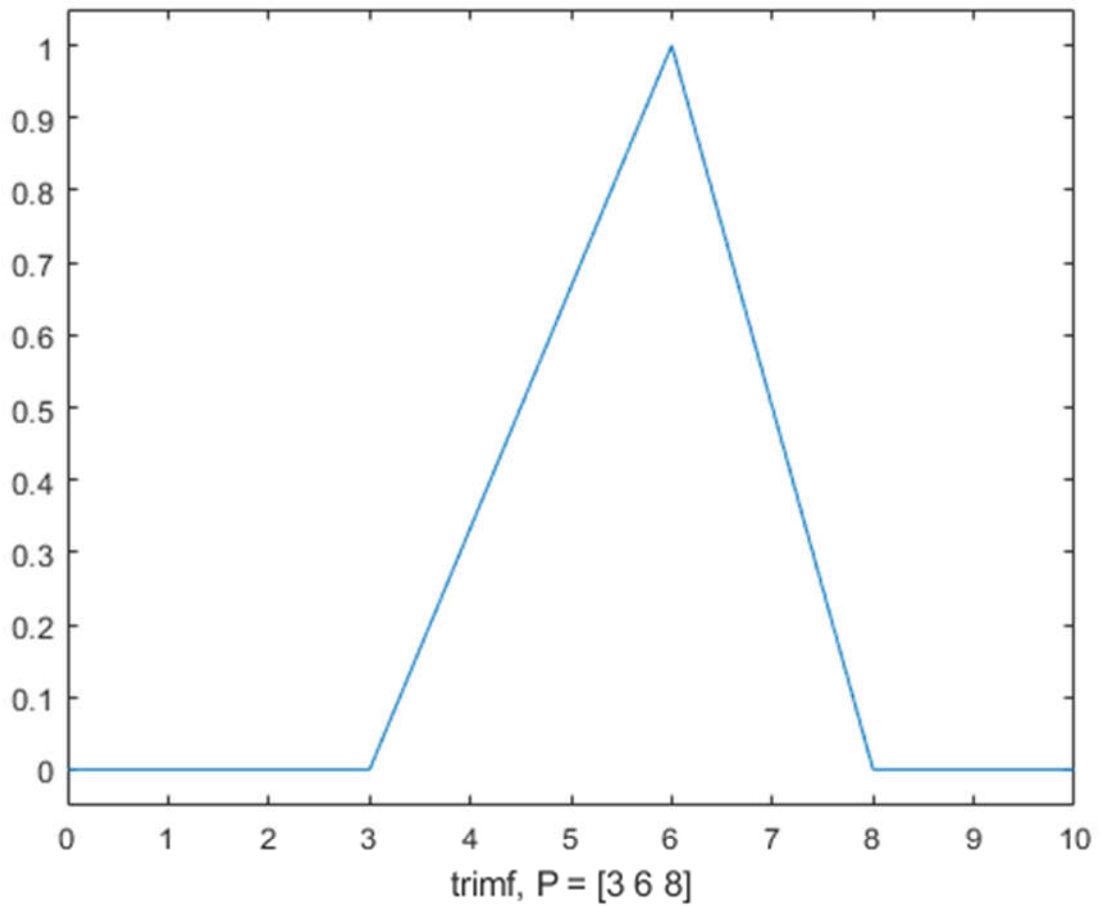


Рисунок 2.2 – Трикутна функція належності

Функція трапецієподібного членства, `trapezmf`, має плоскі вершини і є лише укороченою кривою трикутника і зображена на рисунку 2.3.

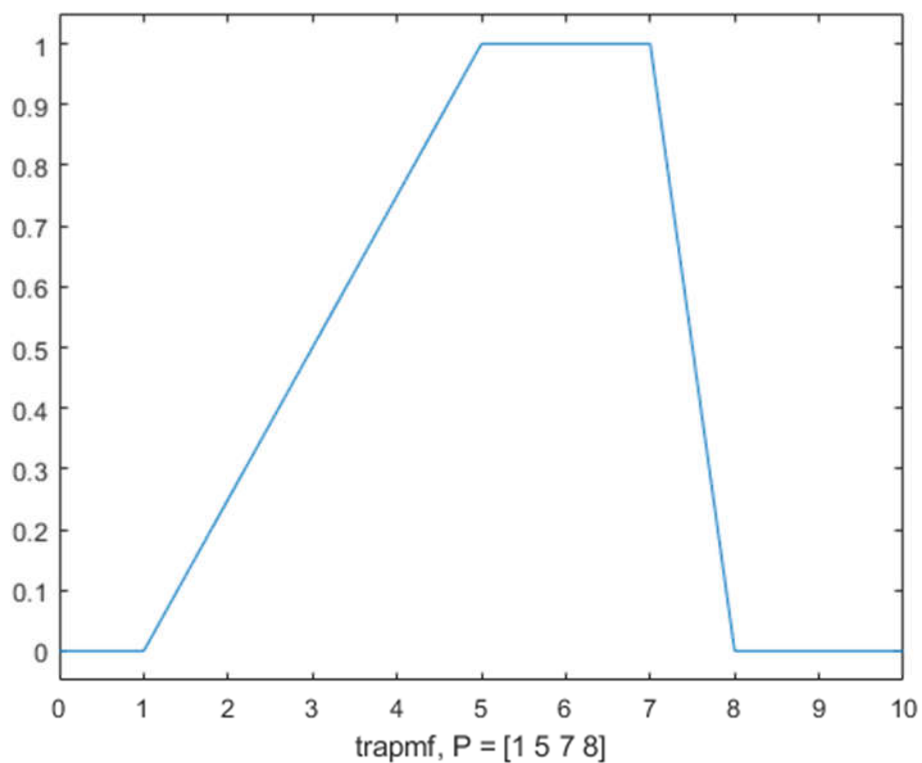


Рисунок 2.3 – Трапецієподібна функція належності

Також є функція належності Гауса (gaussmf). Загальний вигляд цієї функції належності можна розглянути на рисунку 2.4.

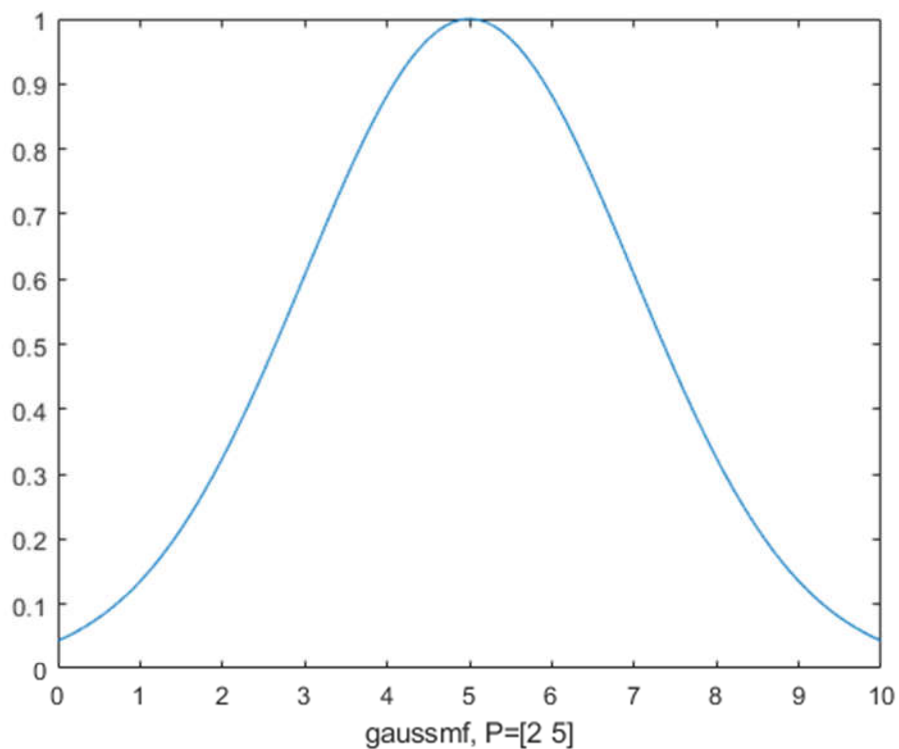


Рисунок 2.4 – Гаусова функція належності

Узагальнена дзвоникоподібна функція належності визначається за трьома параметрами і має назву `gbellmf`. Воно є надзвичайно точною і простою, саме це забезпечило її популярність. Дзвоникоподібну функція зображена на рисунку 2.5.

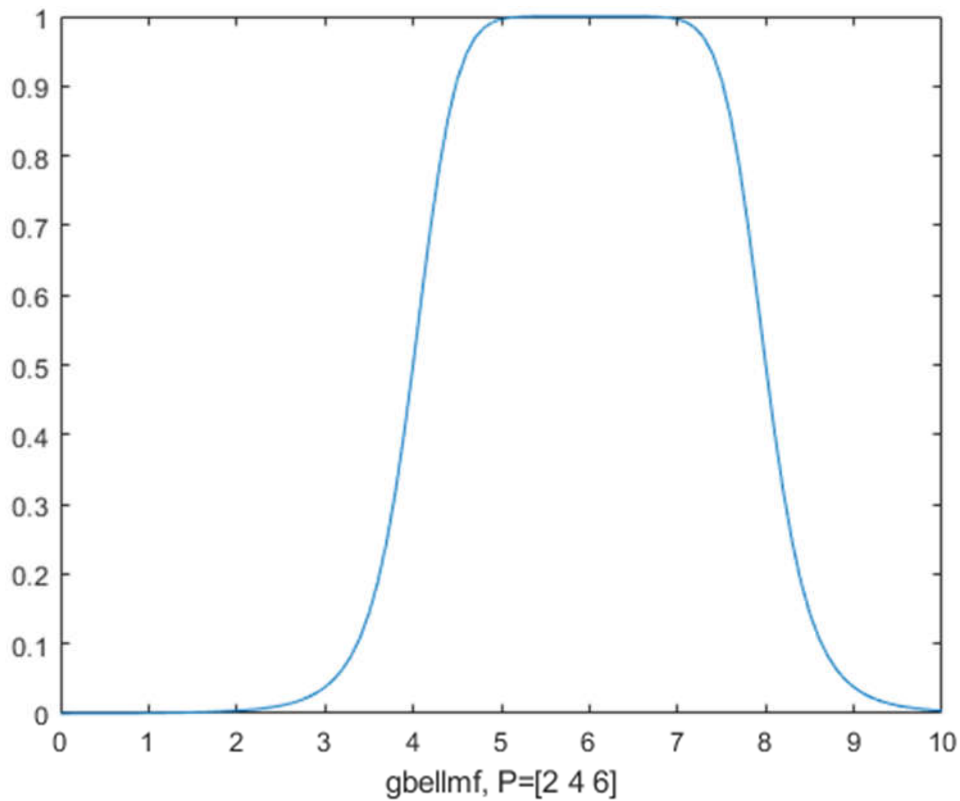


Рисунок 2.5 – Дзвоникоподібна функція належності

Для побудови функцій належності вхідних значень буде використовуватись дзвоникоподібні функції, а для вихідного – трикутна.

Для реалізації нечіткої системи вибору лікаря-експерта в телемедичній системі необхідно розробити алгоритм його роботи.

Розроблений алгоритм роботи поданий в додатку А.

Для початку лікування пацієнт приходить до сімейного лікаря. Зазвичай сімейний лікар сам проводить лікування пацієнта, але іноді вирішує передати пацієнта іншому лікарю, який спеціалізується на хворобі, що турбує пацієнта. Ці лікарі-експерти, як правило, працюють у лікарнях і відомі як

"консультанти". Сімейний лікар може попросити експерта про консультацію щодо пацієнта або попросить взяти на себе управління хворобою.

Тут і виникає необхідність вибрати лікаря-експерта.

Інформацію про лікарів ми отримали за допомогою eHealth. eHealth – це система, яка допомагає пацієнтам отримувати, а лікарям – надавати якісні медичні послуги. А ще – дозволяє контролювати, наскільки ефективно витрачаються виділені на охорону здоров'я державні кошти і запобігати зловживанням. Система розроблялася за гроші програм технічної допомоги міжнародних організацій (United States Agency for International Development (USAID), Expert Deployment for Governance and Economic Growth (EDGE), Глобальний Фонд і Світовий банк).

Саме з eHealth було взято дані для побудови рейтингу лікарів, оскільки в цій системі є інформація щодо кількості стажу, категорії, вченого ступеня та вченого звання. Вони подаються у формі вхідних лінгвістичних змінних.

За допомогою алгоритму нечіткого виведення Мамдані ми реалізуємо нечіткий висновок в системах правил нечітких продукцій. Для цього створюється продукційна база знань, в якій ми задаємо продукційні правила.

Після ідентифікації даних відбувається введення нечіткості, тобто встановлення відповідності між конкретним (зазвичай чисельним) значенням окремої вхідної змінної системи нечіткого виведення і значенням функції приналежності відповідного їй терма вхідної лінгвістичної змінної.

І останнім етапом є перетворення нечіткої вихідної множини в чітке число або значення. В нашому випадку вихідною змінною є обраний лікар-експерт.

2.3 База знань

Нечіткі правила та нечіткий аналіз є основою для системи нечітких висновків, яка перетворює вхідну змінну (чітке значення) в нечіткі змінні для прогнозування лікаря-експерта.

Нечітка логіка представляє максимальний рівень опису. Нечіткі правила складаються з вхідних та вихідних лінгвістичних змінних, що приймають значення з лінгвістичного терміна, заданого реальним світом..

База знань для побудови нечіткої системи вибору лікаря-експерта складається з правил типу «якщо-то».

Отже, кожне правило – це опис операції умова-дія, яка може бути чітко інтерпретована людьми. Цей факт робить тип Мамдані підходящими для лінгвістичного моделювання, підрайону моделювання нечіткої логіки, в якій основною характеристикою є інтерпретативність моделі та проблеми системи управління.

Існує розширення Мамдані на основі зміни структури лінгвістичного правила, що робить його більш гнучким. Цей новий тип нечіткої логіки використовує нечіткі правила у наступній формі:

$$IF X_1 is \tilde{A}_1 and \dots and X_n is \tilde{A}_n THEN Y is B, \quad (2.3)$$

де кожна змінна X_i має референціальний набір U_i і приймає значення в кінцевому домені D_i , $i = 1, \dots, n$. Референціальний набір для $Y \in V$, а його домен F . Значення змінної $Y \in B$, де $B \in F$ і величина змінної $X_i is \tilde{A}_i$, де $\tilde{A}_i \in P(D_i)$ і $P(D_i)$ позначає набір підмножин D_i . Таким чином, повним синтаксисом для попереднього правила є:

$$X_1 is \tilde{A}_1 = \{A_{11} or \dots A_{1l1}\} and \dots and X_n is \tilde{A}_n = \{A_{n1} or \dots A_{nln}\}. \quad (2.4)$$

Приклад такого роду правила показаний наступним чином. Припустимо, у нас є три вхідні змінні: X_1 , X_2 і X_3 , а також одна вихідна змінна Y , така, що встановлений лінгвістичний термін, пов'язаний з кожним з них є:

$$D_1 = \{A_{11}, A_{12}, A_{13}\}, D_2 = \{A_{21}, A_{22}, A_{23}, A_{24}, A_{25}\}, D_3 = \{A_{31}, A_{32}\}, \\ F = \{B_1, B_2, B_3\}. \quad (2.5)$$

У цьому випадку можливе правило диз'юнктивної нормальної форми може бути:

$$IF X_1 \text{ is } \{A_{11} \text{ or } A_{13}\} \text{ and } X_2 \text{ is } \{A_{23} \text{ or } A_{25}\} \text{ and } X_3 \text{ is } \{A_{31} \text{ or } A_{32}\} \\ THEN Y \text{ is } B_2. \quad (2.6)$$

Усі вхідні змінні мають по три нечітких стани і ще один стан, коли значення вхідної змінної не задане системою. Випадок, коли значення усіх вхідних змінних не задані, на практиці неможливий, тому кількість правил нечіткого висновку досліджуваної системи $N = 4 \times 4 \times 4 - 1 = 63$.

У таблиці 2.1 подана залежність виходу від стану входів.

Таблиця 2.1 – Залежність виходу від стану входів

№	Вхідні значення			Вихідне значення
	rating	qualification	experience	expert
1.	low	low	low	expert1
2.	low	low	medium	expert1
3.	low	low	high	expert2
4.	low	low	-	expert1
5.	low	medium	low	expert3
6.	low	high	low	expert3
7.	low	-	low	expert1

Продовження таблиці 2.1

8.	low	medium	medium	expert3
9.	low	high	high	expert5
10.	low	-	-	expert1
11.	low	medium	-	expert2
12.	low	high	-	expert3
13.	low	-	medium	expert1
14.	low	-	high	expert2
15.	low	medium	high	expert5
16.	low	high	medium	expert5
17	medium	medium	medium	expert4
18	medium	medium	low	expert2
19	medium	medium	high	expert4
20	medium	medium	-	expert2
21	medium	low	medium	expert3
22	medium	high	medium	expert4
23	medium	-	medium	expert3
24	medium	low	low	expert2
25	medium	high	high	expert4
26	medium	-	-	expert2
27	medium	low	-	expert2
28	medium	high	-	expert3
29	medium	-	low	expert2
30	medium	-	high	expert3
31	medium	low	high	expert4
32	medium	high	low	expert3
33	high	high	high	expert5
34	high	high	low	expert4
35	high	high	medium	expert5

Продовження таблиці 2.1

36	high	high	-	expert4
37	high	low	high	expert5
38	high	medium	high	expert5
39	high	-	high	expert4
40	high	low	low	expert3
41	high	medium	medium	expert4
42	high	-	-	expert3
43	high	low	-	expert3
44	high	medium	-	expert3
45	high	-	low	expert3
46	high	-	medium	expert3
47	high	low	medium	expert4
48	high	medium	low	expert3
49	-	-	low	expert1
50	-	-	medium	expert2
51	-	-	high	expert4
52	-	low	-	expert1
53	-	medium	-	expert2
54	-	high	-	expert2
55	-	low	low	expert2
56	-	medium	medium	expert3
57	-	high	high	expert5
58	-	low	high	expert3
59	-	medium	high	expert4
60	-	high	low	expert3
61	-	high	medium	expert4
62	-	low	medium	expert4

63	-	medium	low	expert3
----	---	--------	-----	---------

Система правил нечіткого висновку:

1. If (raitingislow) and (qualificationislow) and (experienceislow) then (expertis expert1) (1)
2. If (raitingislow) and (qualificationislow) and (experienceismedium) then (expertis expert1) (1)
3. If (raitingislow) and (qualificationislow) and (experienceishigh) then (expertis expert2) (1)
4. If (raitingislow) and (qualificationislow) then (expertis expert1) (1)
5. If (raitingislow) and (qualificationismedium) and (experienceislow) then (expertis expert3) (1)
6. If (raitingislow) and (qualificationishigh) and (experienceislow) then (expertis expert3) (1)
7. If (raitingislow) and (experienceislow) then (expertis expert1) (1)
8. If (raitingislow) and (qualificationismedium) and (experienceismedium) then (expertis expert3) (1)
9. If (raitingislow) and (qualificationishigh) and (experienceishigh) then (expertis expert5) (1)
10. If (raitingislow) then (expertis expert1) (1)
11. If (raitingislow) and (qualificationismedium) then (expertis expert2) (1)
12. If (raitingislow) and (qualificationishigh) then (expertis expert3) (1)
13. If (raitingislow) and (experienceismedium) then (expertis expert1) (1)
14. If (raitingislow) and (experienceishigh) then (expertis expert2) (1)
15. If (raitingislow) and (qualificationismedium) and (experienceishigh) then (expertis expert5) (1)
16. If (raitingislow) and (qualificationishigh) and (experienceismedium) then (expertis expert5) (1)
17. If (raitingismedium) and (qualificationismedium) and (experienceismedium) then (expertis expert4) (1)

18. If (raitingismedium) and (qualificationismedium) and (experienceislow) then (expertis expert2) (1)
19. If (raitingismedium) and (qualificationismedium) and (experienceishigh) then (expertis expert4) (1)
20. If (raitingismedium) and (qualificationismedium) then (expertis expert2) (1)
21. If (raitingismedium) and (qualificationislow) and (experienceismedium) then (expertis expert3) (1)
22. If (raitingismedium) and (qualificationishigh) and (experienceismedium) then (expertis expert4) (1)
23. If (raitingismedium) and (experienceismedium) then (expertis expert3) (1)
24. If (raitingismedium) and (qualificationislow) and (experienceislow) then (expertis expert2) (1)
25. If (raitingismedium) and (qualificationishigh) and (experienceishigh) then (expertis expert4) (1)
26. If (raitingismedium) then (expertis expert2) (1)
27. If (raitingismedium) and (qualificationislow) then (expertis expert2) (1)
28. If (raitingismedium) and (qualificationishigh) then (expertis expert3) (1)
29. If (raitingismedium) and (experienceislow) then (expertis expert2) (1)
30. If (raitingismedium) and (experienceishigh) then (expertis expert3) (1)
31. If (raitingismedium) and (qualificationislow) and (experienceishigh) then (expertis expert4) (1)
32. If (raitingismedium) and (qualificationishigh) and (experienceislow) then (expertis expert3) (1)
33. If (raitingishigh) and (qualificationishigh) and (experienceishigh) then (expertis expert5) (1)
34. If (raitingishigh) and (qualificationishigh) and (experienceislow) then (expertis expert4) (1)
35. If (raitingishigh) and (qualificationishigh) and (experienceismedium) then (expertis expert5) (1)

36. If (raitingishigh) and (qualificationishigh) then (expertis expert4) (1)
37. If (raitingishigh) and (qualificationislow) and (experienceishigh) then (expertis expert5) (1)
38. If (raitingishigh) and (qualificationismedium) and (experienceishigh) then (expertis expert5) (1)
39. If (raitingishigh) and (experienceishigh) then (expertis expert4) (1)
40. If (raitingishigh) and (qualificationislow) and (experienceislow) then (expertis expert3) (1)
41. If (raitingishigh) and (qualificationismedium) and (experienceismedium) then (expertis expert4) (1)
42. If (raitingishigh) then (expertis expert3) (1)
43. If (raitingishigh) and (qualificationislow) then (expertis expert3) (1)
44. If (raitingishigh) and (qualificationismedium) then (expertis expert3) (1)
45. If (raitingishigh) and (experienceislow) then (expertis expert3) (1)
46. If (raitingishigh) and (experienceismedium) then (expertis expert3) (1)
47. If (raitingishigh) and (qualificationislow) and (experienceismedium) then (expertis expert4) (1)
48. If (raitingishigh) and (qualificationismedium) and (experienceislow) then (expertis expert3) (1)
49. If (experienceislow) then (expertis expert1) (1)
50. If (experienceismedium) then (expertis expert2) (1)
51. If (experienceishigh) then (expertis expert4) (1)
52. If (qualificationislow) then (expertis expert1) (1)
53. If (qualificationismedium) then (expertis expert2) (1)
54. If (qualificationishigh) then (expertis expert2) (1)
55. If (qualificationislow) and (experienceislow) then (expertis expert2) (1)
56. If (qualificationismedium) and (experienceismedium) then (expertis expert3) (1)
57. If (qualificationishigh) and (experienceishigh) then (expertis expert5) (1)
58. If (qualificationislow) and (experienceishigh) then (expertis expert3) (1)

59. If (qualificationismedium) and (experienceishigh) then (expertis expert4)
(1)
60. If (qualificationishigh) and (experienceislow) then (expertis expert3) (1)
61. If (qualificationishigh) and (experienceismedium) then (expertis expert4)
(1)
62. If (qualificationislow) and (experienceismedium) then (expertis expert4)
(1)
63. If (qualificationismedium) and (experienceislow) then (expertis expert3)
(1)

3. РЕАЛІЗАЦІЯ НЕЧІТКОЇ СИСТЕМИ ВИБОРУ ЛІКАРЯ-ЕКСПЕРТА В ТЕЛЕМЕДИЦИНІ

3.1 Загальна схема розробленої нечіткої системи

Модель нечіткої системи вибору лікаря-експерта, що працює за класичним механізмом Мамдані, подана на рисунку 3.1.

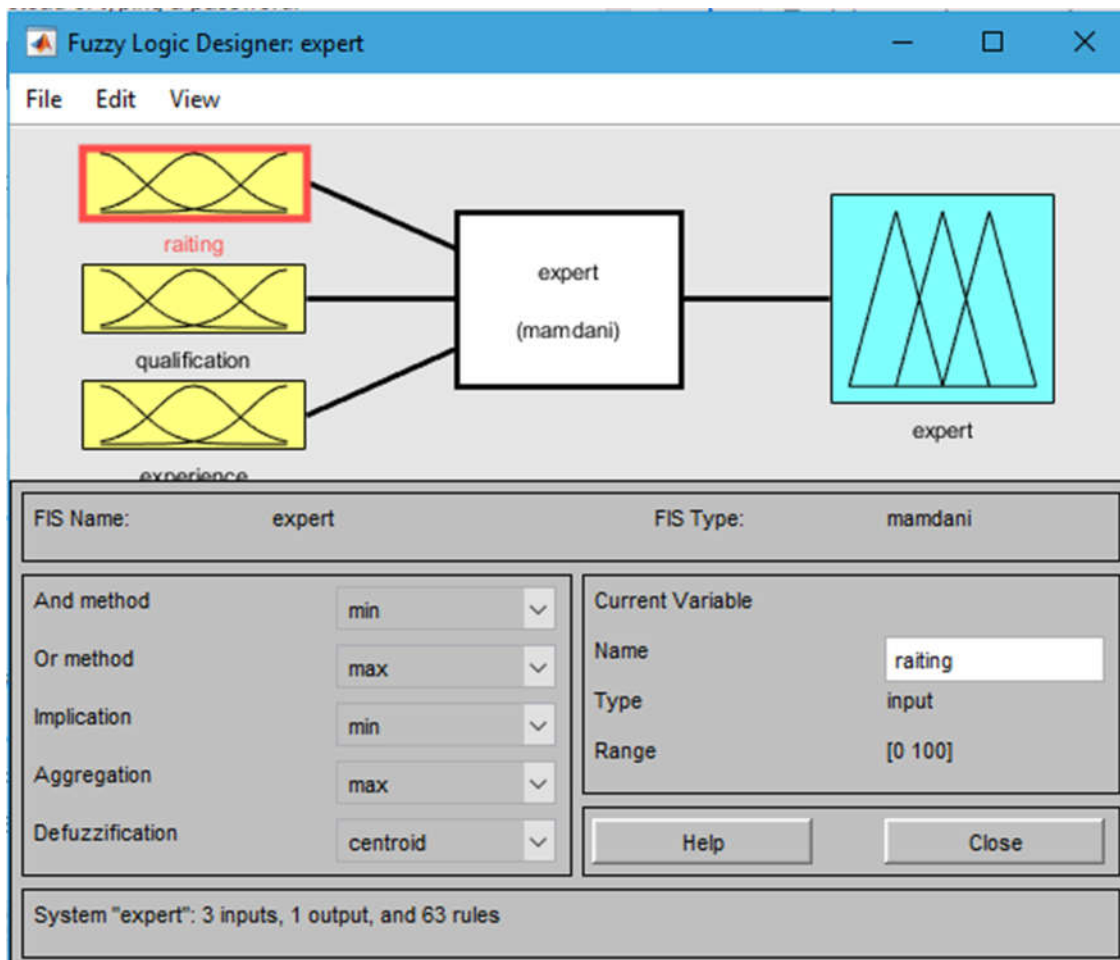


Рисунок 3.1– Схема роботи нечіткої системи

Для початку необхідно побудувати функції належності. А для цього потрібно визначити вхідні і вихідні дані.

Вхідними змінними є:

- рейтинг лікаря, побудований на основі кількості правильно поставлених діагнозів – rating;

- професійний рейтинг лікаря, побудований на основі кількості стажу, категорії, вченого ступені та вченого звання – qualification.

А на виході у нас буде обраний лікар-експерт (expert).

Першою вхідною змінною є rating. Її величина залежить від статистики поставлених діагнозів.

Відповідно low – якщо більшість діагнозів були поставлені неправильно, medium – якщо кількість правильних і неправильних є в однакових межах, high – якщо майже усі діагнози були правильними.

Функція належності для змінної rating подана на рисунку 3.2.

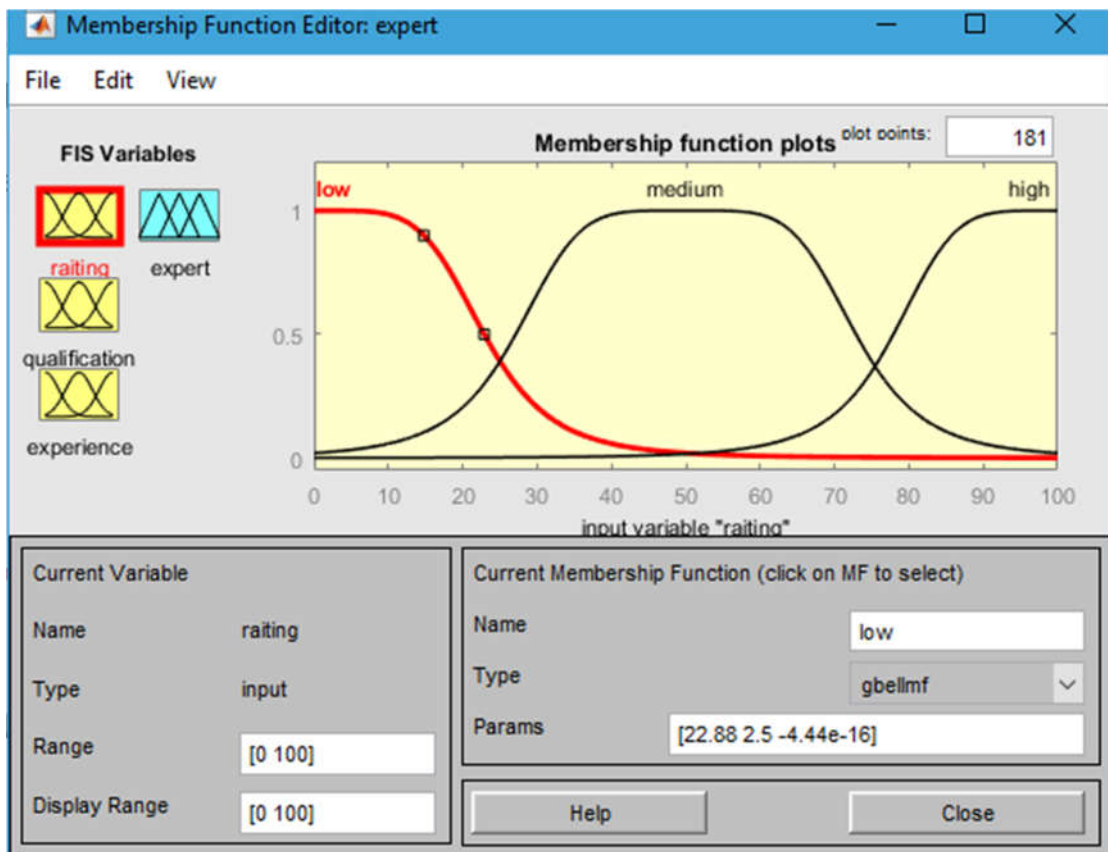


Рисунок 3.2. – Функції належності для змінної rating

Змінна qualification, яка характеризує професійний рейтинг лікаря, залежить від вченого ступеня. Вчений ступень може бути трьох видів: відсутній – low, кандидат наук – medium та доктор наук – high.

Функція належності для змінної qualification подана на рисунку 3.3.

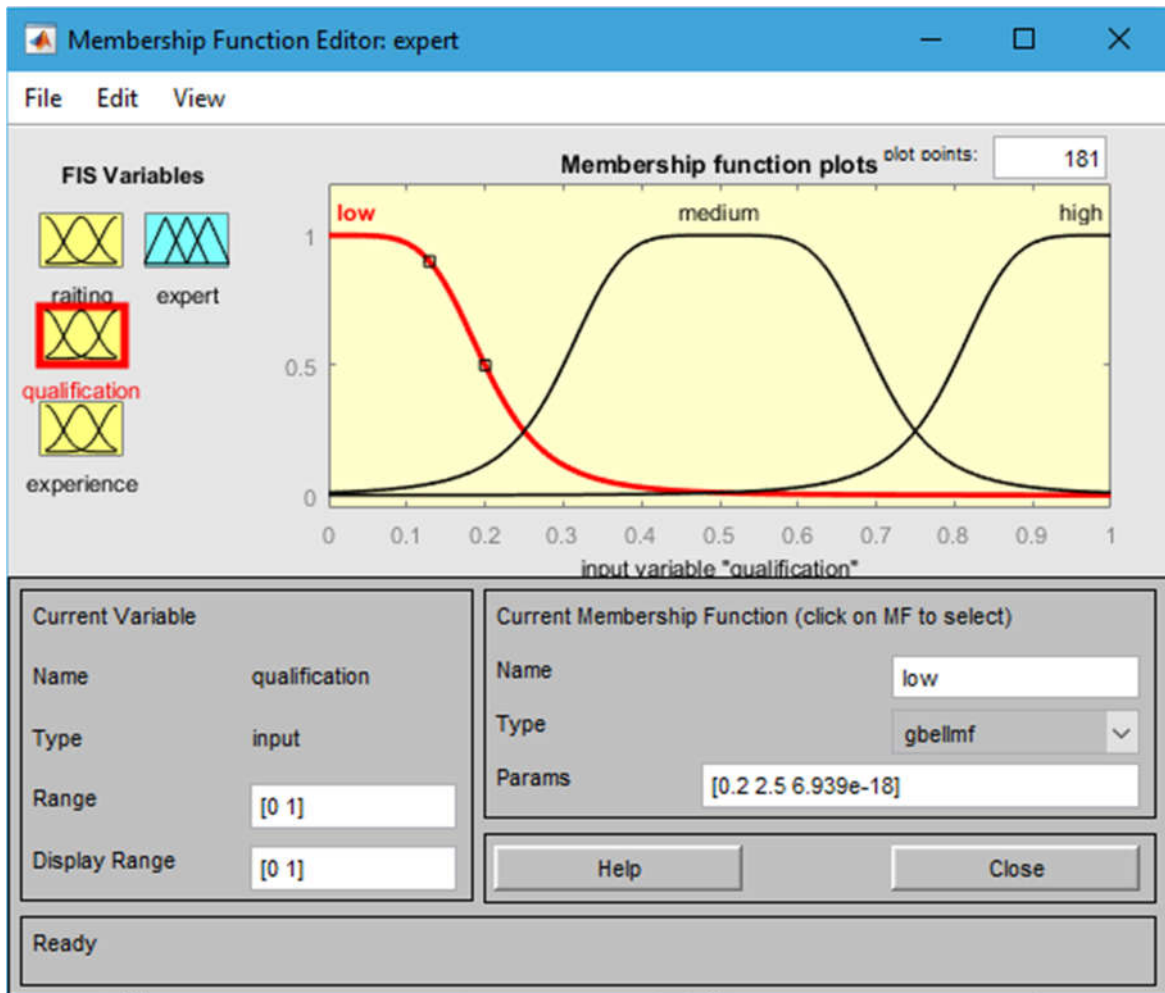


Рисунок 3.3 – Функція належності для змінної qualification

Останньою вхідною змінною є experience – кількість стажу лікаря-експерта. Кількість стажу залежить від років лікарської практики. Відповідно до стажу розділяємо лікарів на три типи: low – якщо стаж від 0 до 10 років, medium – якщо стаж від 10 до 25, high – якщо стаж від 25 до 50.

Функція належності змінної experience подана на рисунку 3.4.

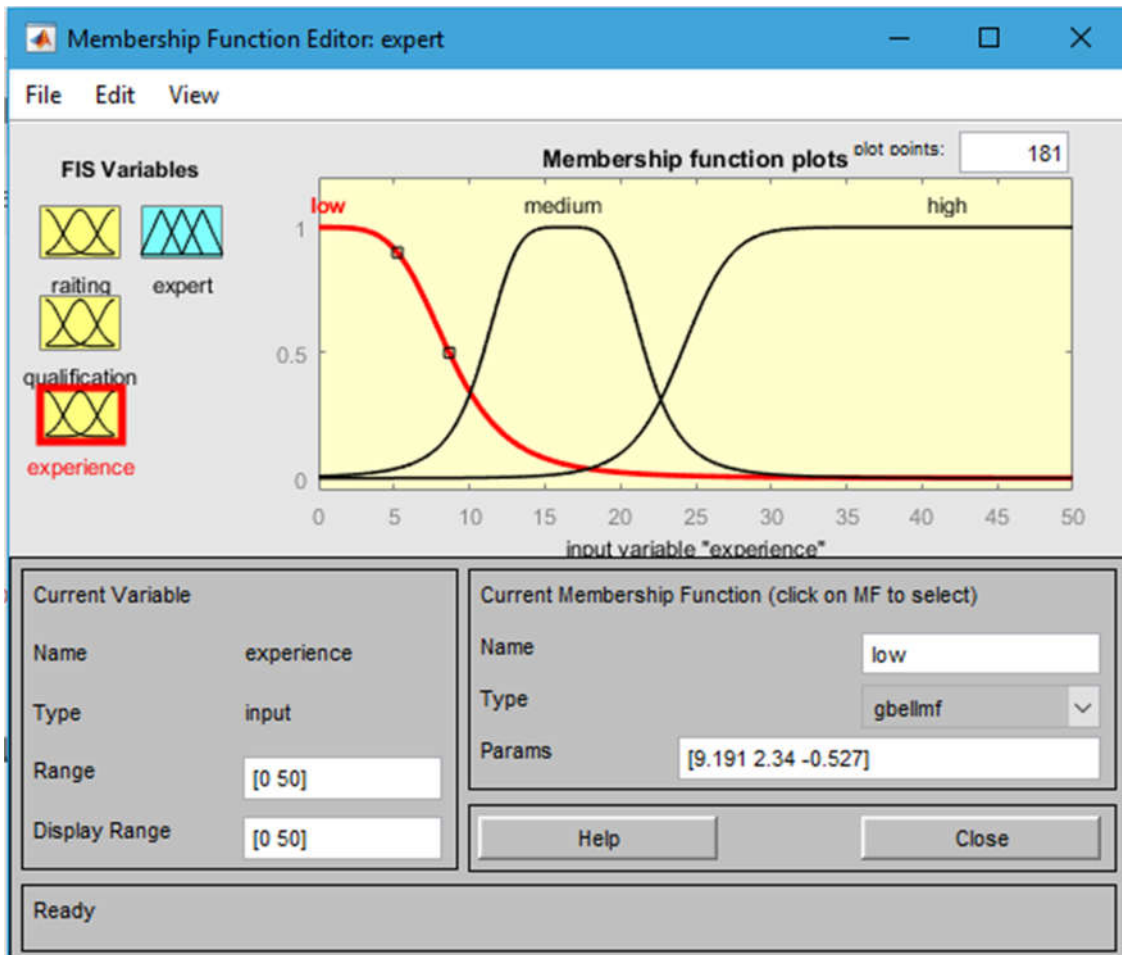


Рисунок 3.4 – Функція належності змінної experience

Вихідна змінна expert буде показувати ім'я вибраного лікаря-експерта. Ми розділи захворювання на 7 груп: хірургічні, інфекційні, шкірні, онкологічні, неврологічні, психіатричні та терапевтичні. Для кожної групи обрано по 5 лікарів-експертів. Відповідно до цього кожному експерту присвоєно номер від 1 до 5. Функція належності змінної expert подана на рисунку 3.5.

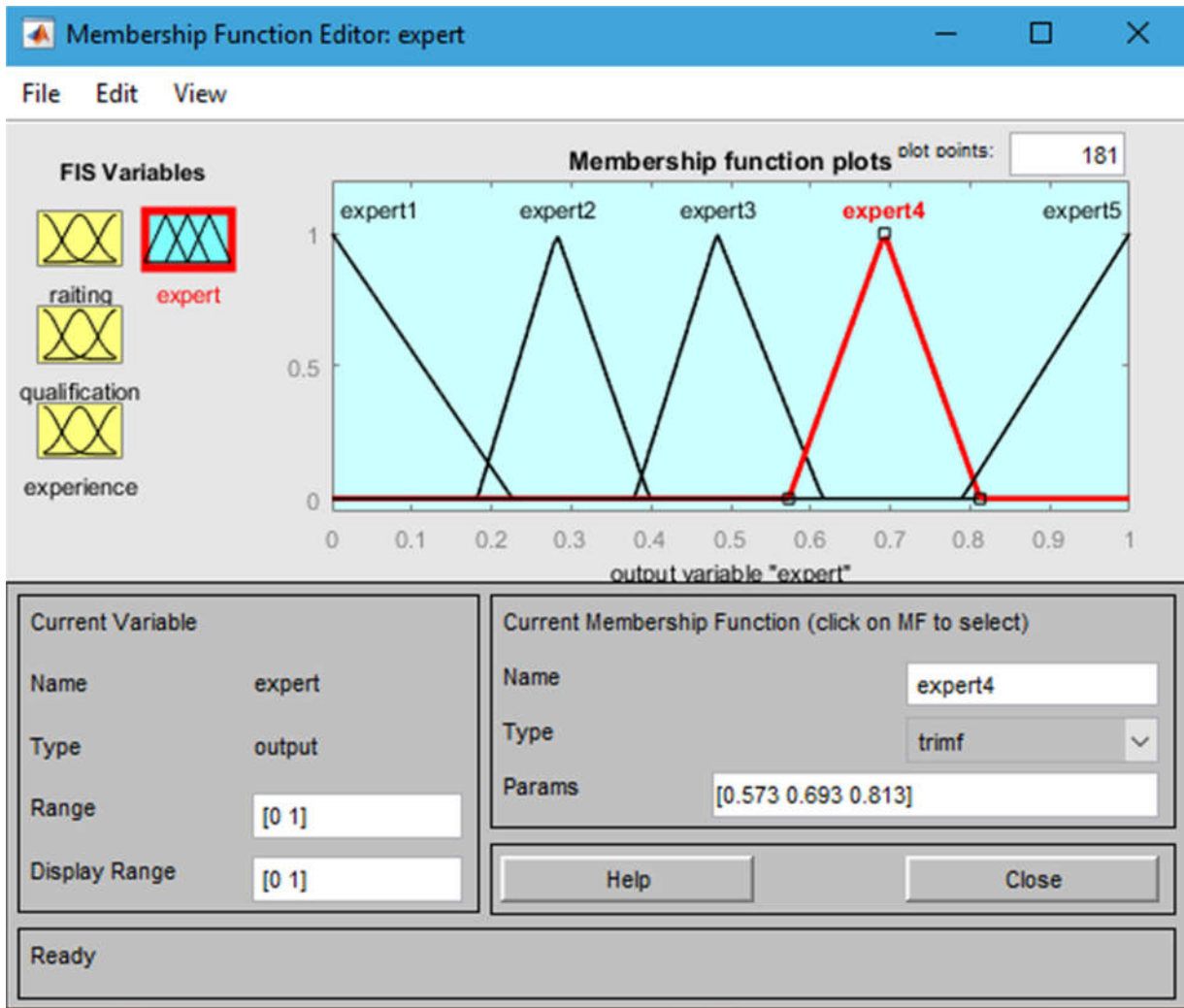


Рисунок 3.5 – Функція належності змінної expert

Одним з найпотужніших засобів для побудови нечітких моделей є пакет Matlab. Операції з нечіткою логікою у пакеті Matlab дає змогу виконувати модуль Fuzzy Logic Toolbox. Він дозволяє створювати системи нечіткого логічного виведення і нечіткої класифікації в рамках середовища MatLab, з можливістю їхньої інтеграції в засіб Simulink пакета Matlab.

Перша категорія програмних інструментів пакета Fuzzy Logic Toolbox містить функції, які можуть бути викликані безпосередньо шляхом набору імені функції в командному вікні або із власних призначених для користувача додатків. Більшість із цих функцій є функціями Matlab у вигляді m-файлів. У даному випадку користувач може подивитися запрограмовані в цих функціях алгоритми, а також редагувати і корегувати ці файли.

Блоки для пакета Simulink містять модулі, які забезпечують інтеграцію систем нечіткого логічного висновку з пакетом Simulink: Fuzzy Logic Toolbox — це пакет прикладних програм, що входять до складу середовища MatLab. Він дозволяє створювати системи нечіткого логічного висновку і нечіткої класифікації в рамках середовища MatLab, з можливістю їх інтеграції в Simulink. Базовим поняттям Fuzzy Logic Toolbox є FIS-структура — система нечіткого висновку (Fuzzy Inference System). FIS-структура містить усі необхідні дані для реалізації функціонального відображення «входи-виходи» на основі нечіткого логічного висновку відповідно до алгоритму Мамдані.

Можна використовувати наступні інструменти для створення, редагування та перегляду нечітких систем висновків:

- Fuzzy Logic Designer для обробки високорівневих проблем для системи вхідних і вихідних змінних;
- Membership Function Editor щоб визначити форми всіх членів функції, пов'язаних з кожною змінною;
- Rule Editor для редагування списку правил, який визначає поведінку системи;
- Rule Viewer для перегляду нечіткої діаграми виводу, щоб побачити, наприклад, які правила активні або як окремі змінні впливають на результати;
- Surface Viewer щоб переглянути залежність одного з виходів на одному або двох входах, тобто він генерує та карту вихідної поверхні для системи.

Ці інтерфейси користувача динамічно пов'язані між собою, оскільки зміни, які ви вносите до FIS за допомогою одного з них, впливають на те, що ви бачите на будь-якому іншому відкритому інтерфейсі користувача.

3.2 Аналіз роботи розробленої нечіткої системи

Нечіткий висновок моделі вибору методу модулярного експоненціювання, побудованого на основі заданих 63 правил з поточними значеннями змінних rating, qualification, experience та expert має вигляд, представлений на рисунку 3.6. Він відображає процес нечіткого висновку і отриманий результат.

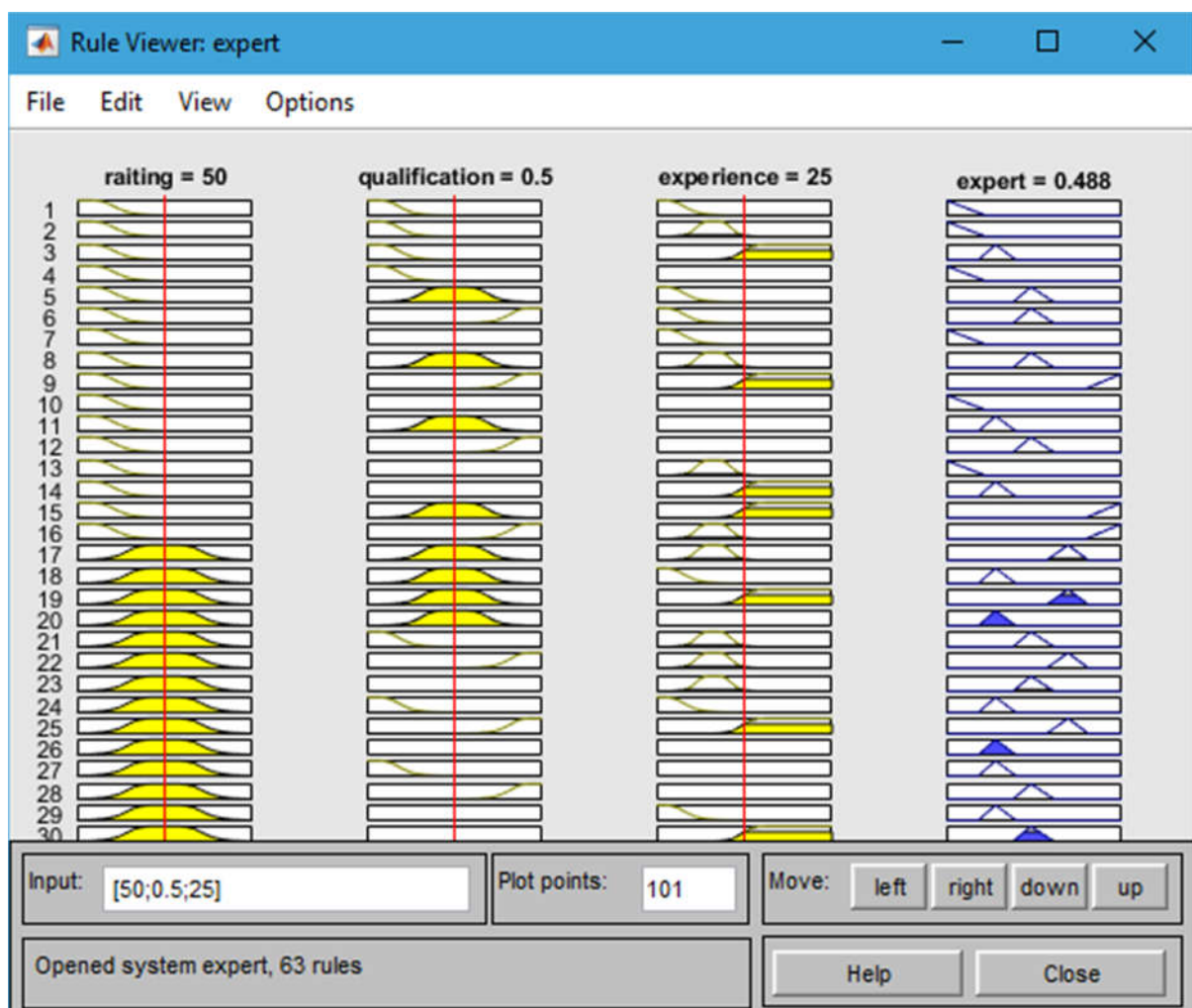


Рисунок 3.6 – Нечіткий висновок моделі вибору методу модулярного експоненціювання

Головне вікно засобу перегляду складається з декількох графічних вікон, розташовуваних по рядках і стовпцях. Кількість рядків відповідає числу правил

нечіткого висновку, а кількість стовпчиків - числа вхідних і вихідних змінних, заданих в розробленій нечіткій системі.

Поверхні значень нечіткої системи на основі механізму Мамдані подані на рисунках 3.7 - 3.12. Засіб перегляду поверхні виведення дозволяє будувати тривимірну поверхню як залежність однієї з вихідних змінних до вхідної, або залежність однієї з вхідних змінних до іншої вхідної змінної. Кількість нових ліній по осях X і Y визначається в полях вводу Xgrids, Ygrids. Поверхні значень підтверджують правильність побудови бази правил нечіткого висновку.

На рисунку 3.7 подано поверхню значень виходу нечіткої системи на основі механізму Мамдані залежно від значень змінної rating від змінної qualification.

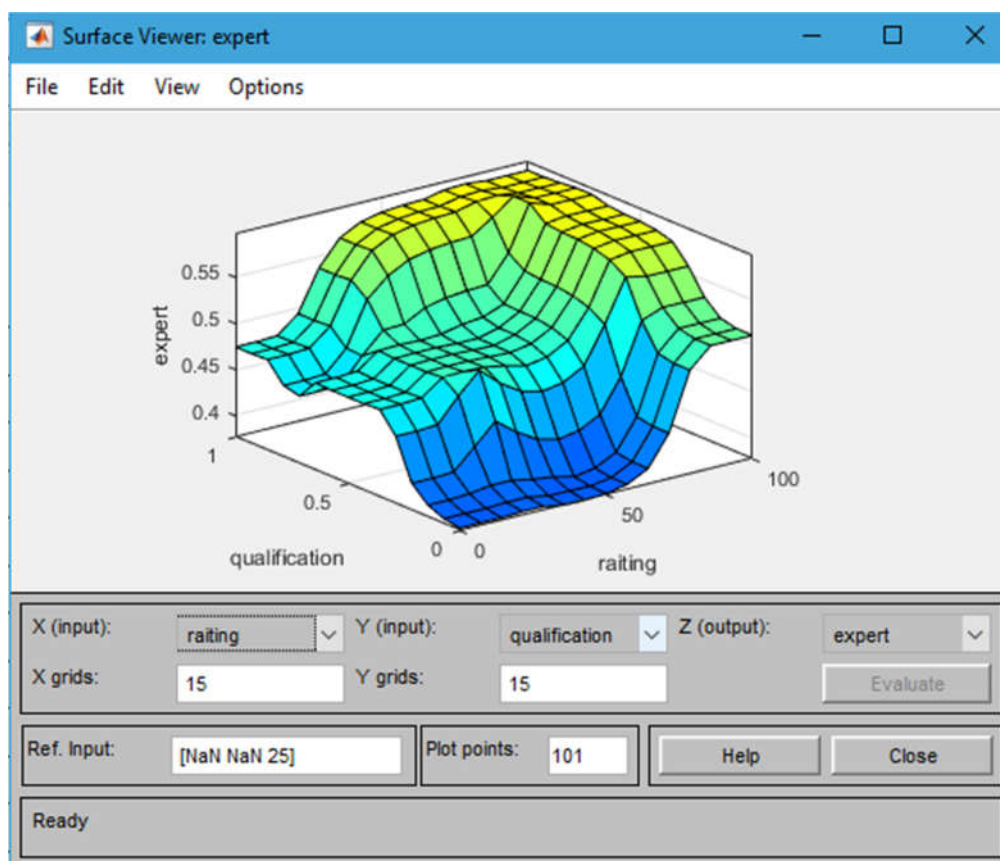


Рисунок 3.7 – Поверхня значень виходу нечіткої системи на основі механізму Мамдані залежно від значень змінної rating від змінної qualification

На рисунку 3.8 подано поверхню значень виходу нечіткої системи на основі механізму Мамдані залежно від значень змінної rating від змінної experience.

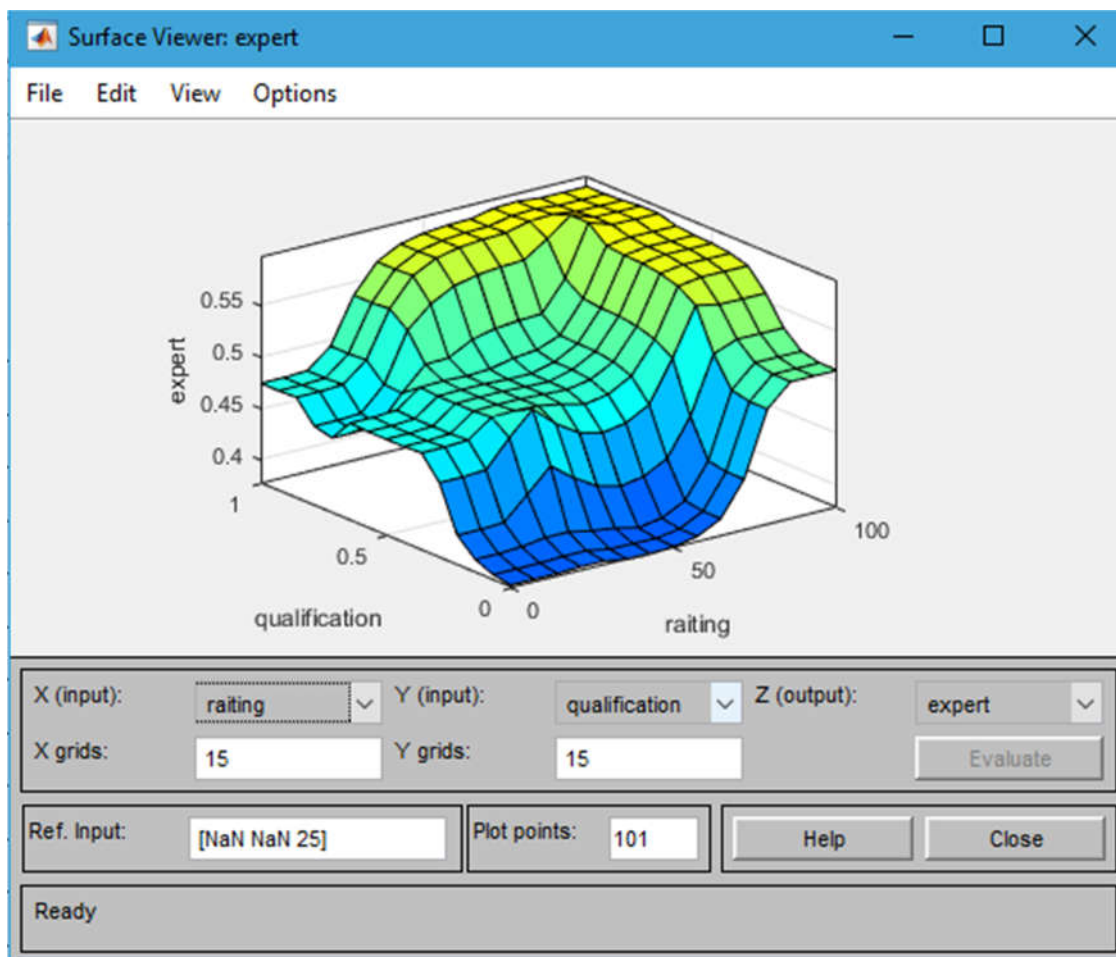


Рисунок 3.8 – Поверхня значень виходу нечіткої системи на основі механізму Мамдані залежно від значень змінної rating від змінної experience

На рисунку 3.9 подано поверхню значень виходу нечіткої системи на основі механізму Мамдані залежно від значень змінної qualification від змінної rating.

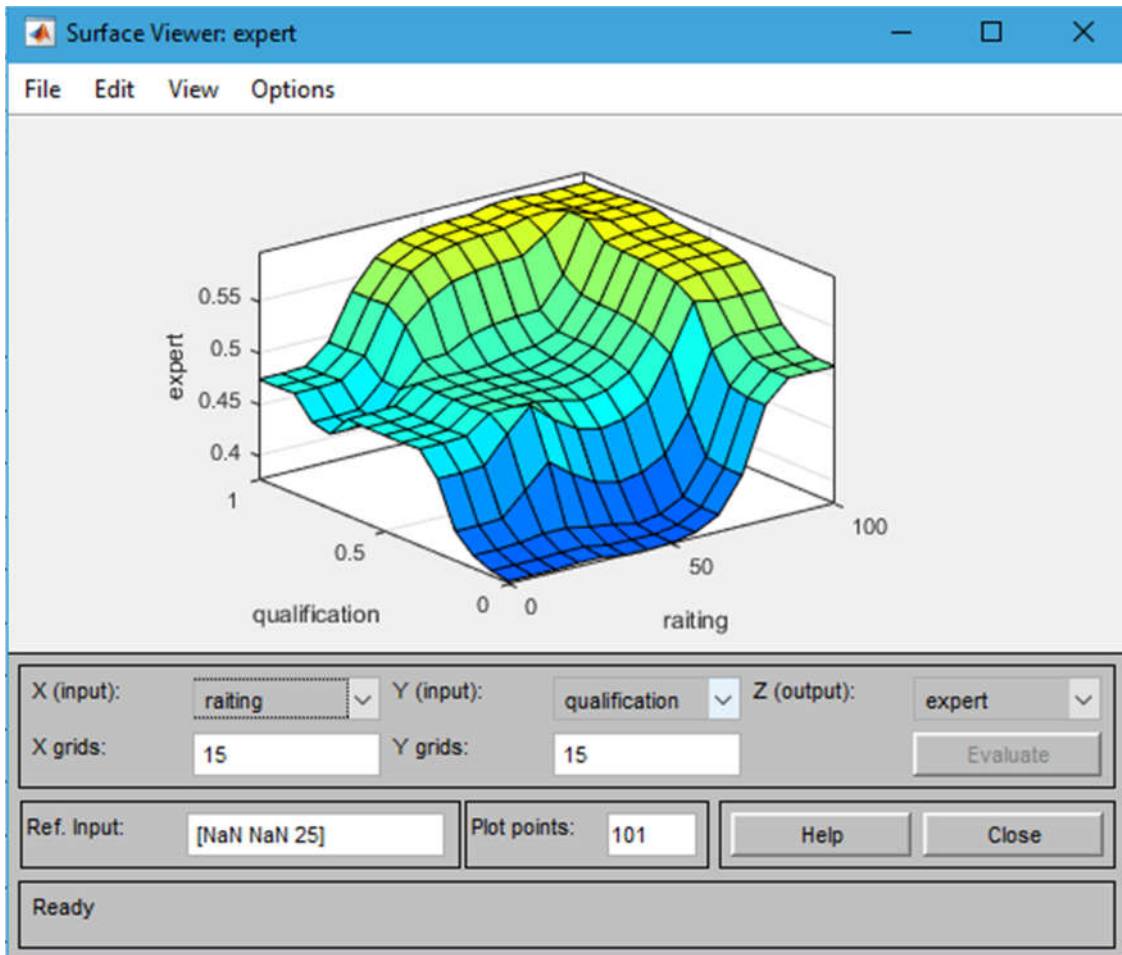


Рисунок 3.9 – Поверхня значень виходу нечіткої системи на основі механізму Мамдані залежно від значень змінної qualification від змінної rating

На рисунку 3.10 подано поверхню значень виходу нечіткої системи на основі механізму Мамдані залежно від значень змінної qualification від змінної experience.

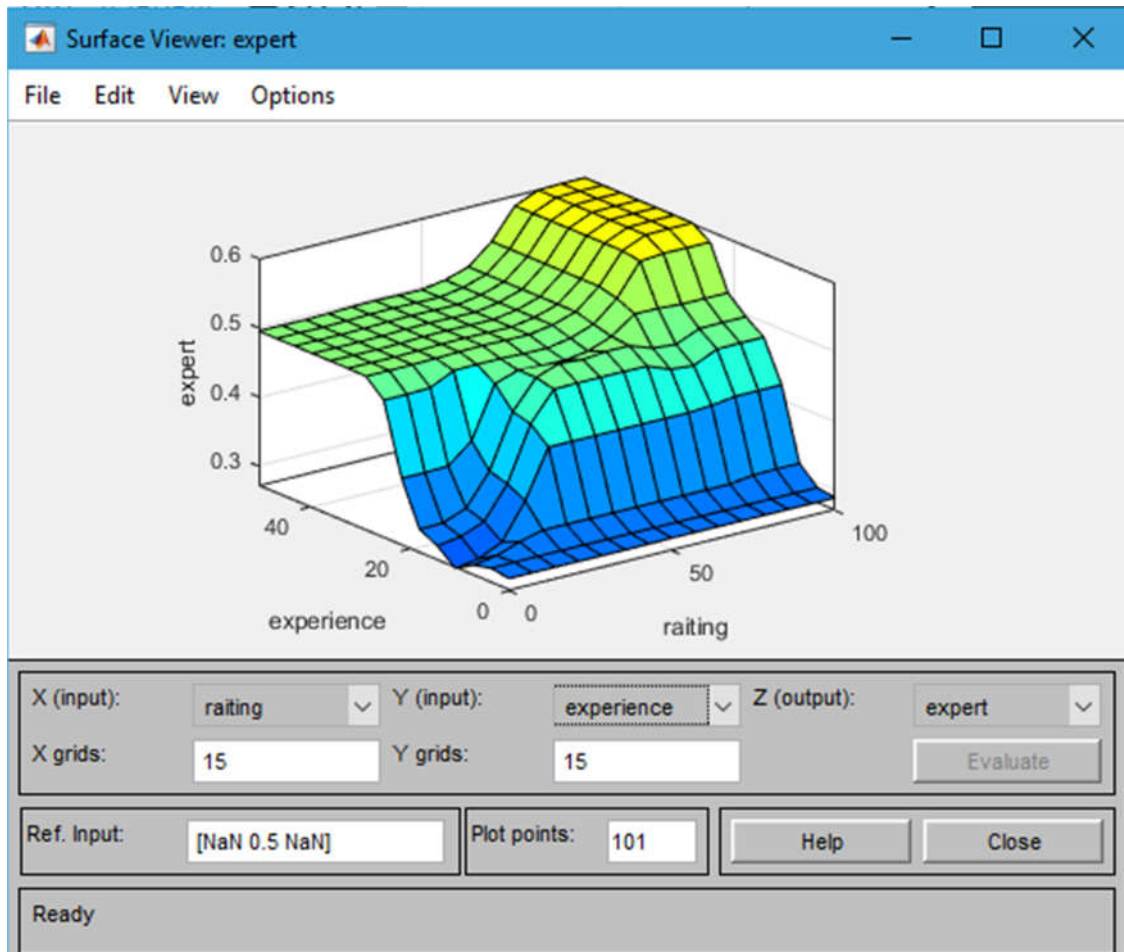


Рисунок 3.10 – Поверхня значень виходу нечіткої системи на основі механізму Мамдані залежно від значень змінної qualification від змінної experience

На рисунку 3.11 подано поверхню значень виходу нечіткої системи на основі механізму Мамдані залежно від значень змінної experience від змінної rating.

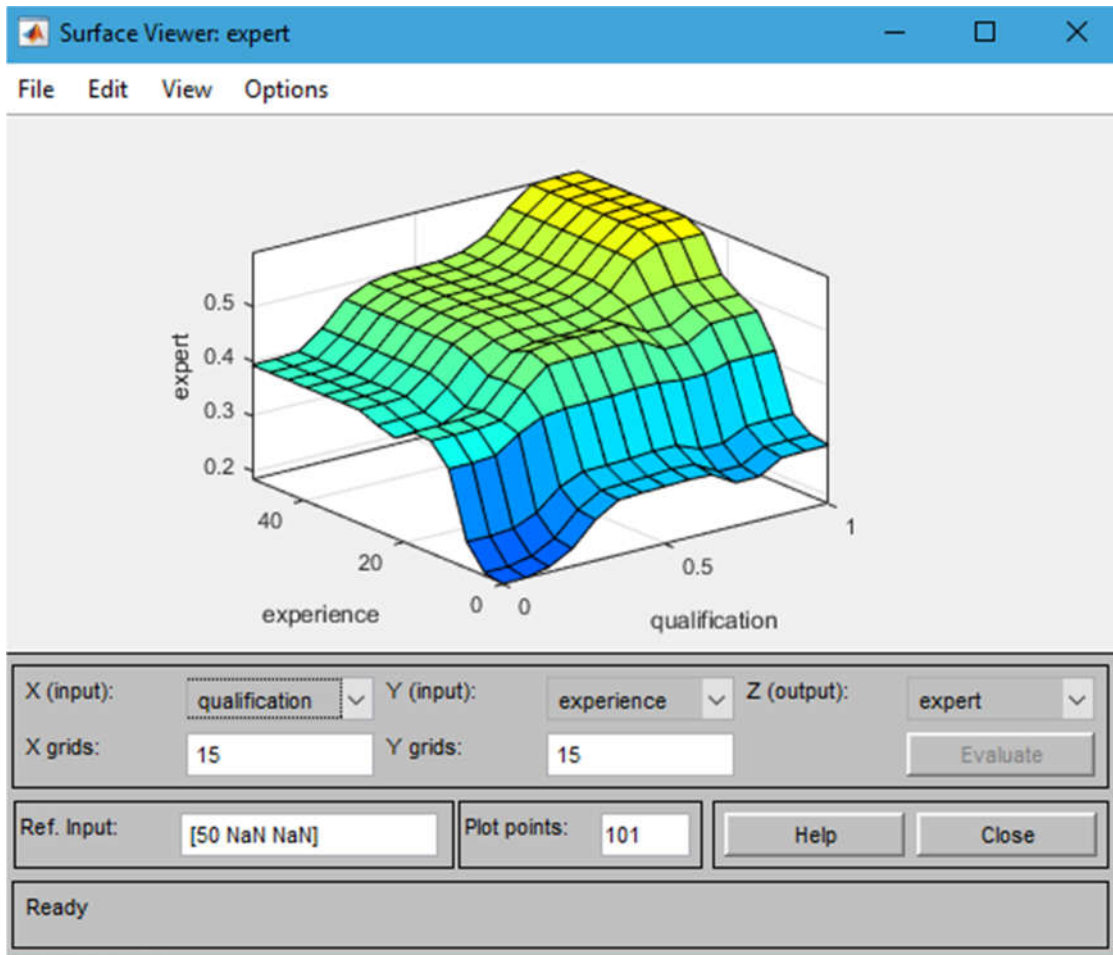


Рисунок 3.11 – Поверхня значень виходу нечіткої системи на основі механізму Мамдані залежно від значень змінної experience від змінної qualification

На рисунку 3.12 подано поверхню значень виходу нечіткої системи на основі механізму Мамдані залежно від значень змінної experience від змінної rating.

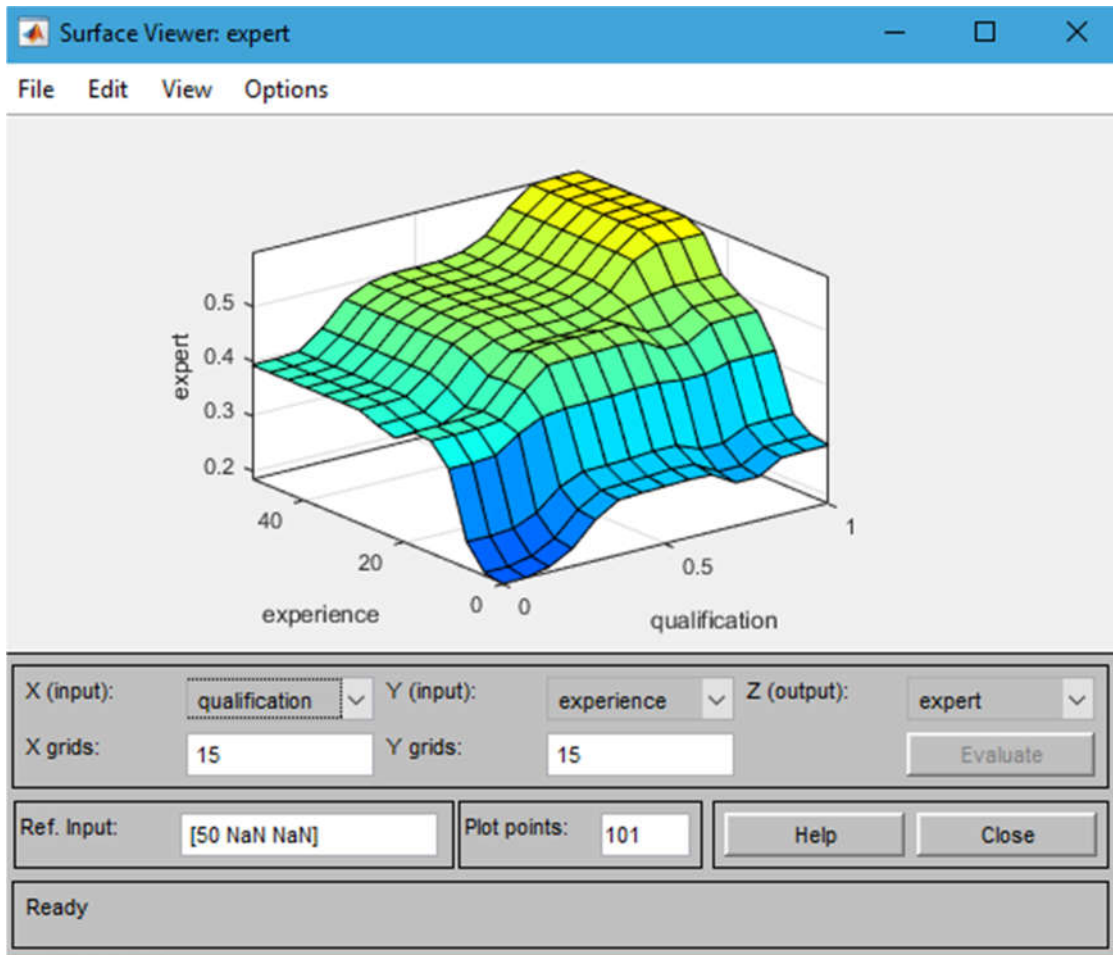


Рисунок 2.13 – Поверхня значень виходу нечіткої системи на основі механізму Мамдані залежно від значень змінної experience від змінної rating

3.3 Реалізація нечіткої системи

Результати моделювання нечіткої системи подані у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати моделювання нечіткої системи

Вхідні значення			Вихідне значення
Rating	qualification	Experience	expert
25,9	0,404	38,3	0,497

Продовження таблиці 3.1

45,2	0,765	46,1	0,548
77,7	0,223	8,73	0,346
60,8	0,38	3,31	0,29
93,4	0,211	21,4	0,447
17,5	0,717	21,4	0,372
95,8	0,536	42,5	0,602
9,04	0,223	6,93	0,24
84,9	0,958	48,5	0,603
58,4	0,608	27,4	0,504

MatLab код даної нечіткої системи поданий в додатку В.

Дані, подані в таблиці підтверджують правильність роботи розробленої нечіткої системи вибору лікаря-експерта. Також на основі цих даних можна побачити чітку залежність вихідних значень від вхідних.

В подальшому її можна використовувати у будь-якому медичному закладі. Програмна реалізація дозволяє легке та економне впровадження нечіткої системи в сервер, проте, не забезпечує захисту самої розробленої системи від несанкціонованого доступу. Тому варто реалізувати дану нечітку систему апаратно.

Особисті дані – це будь-яка інформація, що стосується ідентифікованої чи ідентифікованої фізичної особи (суб'єкта даних) та особи, яка може бути ідентифікована безпосередньо або опосередковано, зокрема, за посиланням на ідентифікаційний номер або на один чи більше факторів, характерних для його фізичної, фізіологічної, психічної, економічної, культурної або соціальної ідентичності. Через зазначене вище, інформація, що стосується здоров'я людей, також повинна розглядатися як персональна інформація.

І обробка персональних даних означає будь-яку операцію чи сукупність операцій, що виконуються над персональними даними, незалежно від того, автоматично чи ні, такі як збір, запис, організація, зберігання, адаптація чи

зміна, пошук, консультації, використання, розкриття інформації, передача, розповсюдження, комбінування, блокування, стирання чи знищення (важко передбачити будь-яку діяльність, пов'язану з даними, які не підлягають обробці).

З огляду на формат або середовище, на якому міститься ця інформація, поняття особистих даних включає, наприклад, інформацію, доступну в будь-якій формі, будь то алфавітна, цифрова, графічна, фотографічна або акустична. Вона включає інформацію, що зберігається на папері, а також інформацію, що зберігається в пам'яті комп'ютера за допомогою бінарного коду, або навіть відеокліпу, наприклад. Це є логічним наслідком охоплення автоматичної обробки персональних даних у межах його сфери. Зокрема, з цієї точки зору звукові дані та зображення розглядаються як особисті дані, оскільки вони можуть представляти інформацію про особу.

Телемедицина охоплює безліч різноманітних послуг, а ті, що частіше згадуються в експертних оцінках – це телерадіологія, телепатологія, теледерматологія, телеконсультація, телемоніторинг, телехірургія та телеофтальмологія. У зв'язку з тим, що надання вищезазначених послуг включає в себе персональні дані, оскільки ці послуги включають передачу інформації про здоров'я пацієнтів через текст, звук, зображення та інші форми даних для профілактики, діагностики та подальшого лікування пацієнта, це питання слід розглядати з точки зору захисту даних.

Право людини на захист даних за своїм характером включає право людини самостійно визначати, які особисті дані людина хоче зробити доступним іншим, а також право знати: хто, чому, з якоїсь причини збирає та зберігає інформацію незалежно від того, чи це на користь людини чи ні.

Однак, права захисту даних не є абсолютними правами, оскільки ці права підлягають обґрунтованим обмеженням у певних обставинах з причин суттєвого суспільного інтересу. Звичайно, оцінюючи, чи є обґрунтоване обмеження прав, слід враховувати таке:

- 1) обмеження повинно бути передбачене законом;

2) воно має бути спрямоване на законну мету;

3) воно повинне бути необхідним у демократичному суспільстві.

Право людини може бути обмеженим в умовах, передбачених законом, для захисту прав інших людей, демократичного устрою держави, громадської безпеки, добробуту та моралі.

Основною умовою обробки персональних даних є наявність правової бази для такої обробки. У випадку традиційного надання медичної допомоги передбачається, що обробка персональних даних пацієнта здійснюється на підставі наступних принципів (необхідних для легітимації обробки):

- суб'єкт даних дав свою явну згоду на обробку цих даних;

- обробка даних особи необхідна для захисту життєвих інтересів суб'єкта даних або іншої особи, якщо суб'єкт даних фізично або юридично нездатний давати свою згоду;

- обробка даних необхідна для цілей профілактичної медицини, медичної діагностики, надання медичної допомоги або лікування або управління службами охорони здоров'я, і якщо ці дані обробляються фахівцем з охорони здоров'я відповідно до національного законодавства або правил, і компетентні органи несуть відповідальність за професійну таємницю або іншу особу, яка також підпадає під дію аналогічного обов'язку щодо таємності.

Саме для того, щоб забезпечити достатній захист особистих даних пацієнтів і рекомендується реалізувати даний алгоритм вибору лікаря-експерта апаратно.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання магістерської роботи:

1) Проаналізовано сучасний стан систем вибору лікаря-експерта і виявлено, що не існує на даний час програмного чи апаратного засобу для вибору лікаря-експерта.

2) Проаналізовано теорію нечіткої логіки та можливість її застосування для побудови системи вибору лікаря-експерта та обрано можливі алгоритми нечіткого виводу по базі знань Мамдані, що дозволяє побудувати систему, що відповідає сучасними вимогам телемедицини.

3) Обрано функції належності дзвоноподібного типу для вхідних змінних розробленої нечіткої системи, що дозволило експериментально довести її працездатність та правильність результатів її роботи.

4) Побудовано нечітку базу знань для вибору лікаря-експерта, яка відображає усі сучасні вимоги до медичних фахівців.

5) Розроблено нечітку систему, яка працює в режимі реального часу та може бути реалізована як програмно так і апаратно.

6) Здійснено моделювання роботи нечіткої системи в середовищі Matlab, що дозволило отримати результати близькі до реальних.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ORCAD 9.x ORCAD 10.x. Практика моделирования / Ю.И. Болотовский, Г.И. Таназлы. – М.: СОЛОН-Пр., 2012. – 208 с.
2. Автоматизированные информационные технологии в экономике. / Под общ. ред. И.Т.Трубилина. – М.: Финансы и статистика: 2000.
3. Виктимологическое моделирование в криминологии и практике предупреждения преступности: Монография / Т.В. Варчук. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2012. – 239 с.
4. Закономерности деформирования почв: Математическое моделирование / Д.И. Золотаревская. – М.: ЛИБРОКОМ, 2013. – 144 с.
5. Имитационное моделирование: Учебное пособие / Н.Б. Кобелев, В.А. Половников, В.В. Девятков. – М.: КУРС, НИЦ ИНФРА-М, 2013. – 368 с.
6. Интерьер: дизайн и компьютерное моделирование. / Д.А. Ларченко, А.В. Келле-. – СПб.: Питер, 2011. – 480 с.
7. Информатика. Базовый курс” Под ред. С.В.Симоновича. – СПб., 2000.
8. Исследование операций в экономике / Под ред. Н.Ш. Кремера. – М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 1997.
9. Исследование операций. Задачи, принципы, методология: Учебное пособие для студентов вузов. / Вентцель Е.С. – М.: Высш. шк., 2001. – 206 с.
10. Карта моделирования будущего. Как найти истинный смысл своей судьбы и создать новую реальность / К. Бейрон-. – М.: Эксмо, 2013. – 304 с.
11. Компьютерное моделирование / А.Л. Королев. – М.: БИНОМ. ЛЗ, 2013. – 230 с.
12. Компьютерное моделирование нанотехнологий, наноматериалов и наноструктур: моделирование наносистем методами молекулярной динамики: Курс лекций / С.Ю. Юрчук. – М.: МИСиС, 2013. – 47 с.

13. Компьютерное моделирование физических систем: Учебное пособие / Л.А. Булавин, Н.В. Выгорницкий, Н.И. Лебовка. – Долгопрудн: Интеллект, 2011. – 352 с.
14. Компьютерные технологии обработки информации / Под. ред. С.В.Назарова. – М.: Финансы и статистика, 1995.
15. Лычкина, Н.Н. Имитационное моделирование экономических процессов: Учебное пособие / Н.Н. Лычкина. – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2012. – 254 с.
16. Математика в экономике: математические методы и модели: Учебник для бакалавров / М.С. Красс, Б.П. Чупрынов; Под ред. М.С. Красс. – М.: Юрайт, 2013. – 541 с.
17. Математические методы и модели в экономике: Учебник / К.В. Балдин, В.Н. Башлыков, А.В. Рукосуев. – М.: Флинта, МПСИ, 2012. – 328 с.
18. Математические методы и модели исследования операций: Учебник / А.С. Шапкин, В.А. Шапкин. – М.: Дашков и К, 2013. – 400 с.
19. Математические методы построения стохастических моделей обслуживания. / Калашников В.В. – М.: Наука, 1988. – 310 с.
20. Математическое и компьютерное моделирование. Вводный курс: Учебное пособие / Ю.Ю. Тарасевич. – М.: ЛИБРОКОМ, 2013. – 152 с.
21. Математическое моделирование многоагентных систем конкуренции и кооперации (Теория игр для всех): Учебное пособие / В.Н. Колокольцов, О.А. Малафеев. – СПб.: Лань, 2012. – 624 с.
22. Математическое моделирование производственного и финансового менеджмента: Учебное пособие / В.Н. Савиных. – М.: КноРус, 2013. – 192 с.
23. Математическое моделирование экономических процессов и систем: Учебное пособие / О.А. Волгина, Н.Ю. Голодная, Н.Н. Одяко. – М.: КноРус, 2012. – 200 с.

24. Методичні вказівки до написання техніко-економічного розділу дипломних проектів освітньо-кваліфікаційного рівня «Магістр» підготовки 6.050102 комп'ютерна інженерія / І.Р. Паздрій – Тернопіль: ТНЕУ, 2014. – 37 с.
25. Методичні рекомендації до виконання дипломного проекту з освітньо-кваліфікаційного рівня “Магістр” напряму підготовки 6.050102 «Комп'ютерна інженерія» фахового спрямування «Комп'ютерні системи та мережі» / О.М. Березький, Л.О.Дубчак, Р.Б. Трембач, Г.М. Мельник, Ю.М. Батько, С.В. Івасьєв / Під ред. О.М. Березького. – Тернопіль: ТНЕУ, 2014. – 65с.
26. Методы и модели оптимизации управленческих решений: Учебное пособие / А.Р. Урубков, И.В. Федотов. – М.: ИД Дело РАНХиГС, 2012. – 240 с.
27. Моделирование бизнес-процессов. / Маклаков С.В. – М: Диалог МИФИ, 2002.
28. Моделирование микроэкономических процессов и систем: Учебник / Л.Н. Васильева, Е.А. Деева. – М.: КноРус, 2012. – 392 с.
29. Моделирование систем: Учебно-практическое пособие / В.В. Афонин. – М.: БИНОМ. ЛЗ, ИНТУИТ, 2012. – 231 с.
30. Моделирование экономических систем и процессов: Учебное пособие / М.П. Власов, П.Д. Шимко. – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2013. – 336 с.
31. Основы теории математического моделирования: Учебное пособие / А.И. Барботько, А.О. Гладышкин. – Ст. Оскол: ТНТ, 2013. – 212 с.
32. Системное проектирование сложных программных систем. / Липаев В.В. – М: СИНТЕГ, 1998.
33. Теоретические основы разработки и моделирования систем автоматизации: Учебное пособие / А.М. Афонин, Ю.Н. Царегородцев, А.М. Петрова, Ю.Е. Ефремова. – М.: Форум, 2011. – 192 с.
34. Теория массового обслуживания в экономической сфере: Учебное пособие для вузов. / Лабскер Л.Г. – М.: Банки и биржи: ЮНИТИ, 1998. – 319 с.

35. Теория массового обслуживания. / Ивановский В. Б., Чернов В. П. – М.: ИНФРА-М, 2000.
36. Теория очередей и управление запасами. / Рыжиков Ю. И. – СПб: 2001.