

Є. І. СОКОЛ, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХП»;

М. В. ПОЧЕБУТ, канд. техн. наук, доц., ООО «ЕПАМ СИСТЕМЗ», Харків;

О. О. СІТНИКОВА, асистент, НТУ «ХП»;

ЗАСТОСУВАННЯ АПАРАТА НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ В МОДУЛІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ КОМПЛЕКСУ ДІАГНОСТИКИ ДЛЯ СІМЕЙНОГО ЛІКАРЯ

У роботі проаналізовані методи обробки первинної інформації для систем діагностування сімейного лікаря та запропонований алгоритм для універсального модулю прийняття рішень на основі апарату нечіткої логіки. Проведено програмну реалізацію алгоритму, наведено ряд практичних результатів. Головним результатом даної роботи є обґрунтування та принципи створення спеціалізованого універсального модуля мобільної операційної системи, як частини комплексу для діагностики стану здоров'я пацієнта та висновків, щодо діагнозу сімейним лікарем.

Ключові слова: сімейний лікар, нечіткий контролер, модуль прийняття рішень.

Вступ. На сучасному етапі розвитку медичної практики в нашій країні на передній план виходить впровадження сімейної медицини, однією з найважливіших завдань якої є профілактика захворювань усіх категорій пацієнтів на різних етапах спостереження.

В цілому сімейна медицина - це наука про найрозповсюджені проблеми здоров'я сім'ї та пацієнта незалежно від статі і віку; при цьому сім'я розглядається як одиниця спостереження. Згідно з визначенням, сімейний лікар - це фахівець з вищою медичною освітою, який надає первинну медичну допомогу населенню незалежно від статі і віку [1]. На сімейного лікаря покладається широкий діапазон обов'язків. Фахівець даної категорії повинен мати високий рівень компетенції з цілої низки загальномедичних напрямків. Крім цього для проведення первинних профілактичних оглядів необхідна наявність медичних діагностичних приладів.

В останньому десятиріччі величезний вплив на розвиток медичних приборів здійснює стрімка еволюція інформаційно-комунікаційних технологій, яка охоплює всі сфери життєдіяльності людини. Особливо це проявляється у сфері проектування та розробки приладів первинної діагностики.

Діапазон використаної апаратури моніторингового контролю великого спектру фізіологічних показників людини в сукупності з «інтелектуальними» системами значно розширюють можливості вдосконалення методик медичної діагностики. Ряд джерел стверджує, що саме для цієї галузі медицини найбільш важливим є безперервний контроль і прогнозування стану пацієнта при його повсякденному життєвому циклі або при проведенні спеціальних процедур. У результаті для користувача системи дані повинні бути представлені в готовому для прийняття рішення вигляді [5, 11].

Крім цього нинішній рівень розвитку діагностичних систем за рахунок постійного вдосконалення апаратної реалізації дозволяють робити їх цілком доступними і застосовними в повсякденному житті. Наприклад, все більше робіт з'являється в області діагностики з використання мобільних або, в цілому, smart-пристроїв.

Мобільні додатки медичного призначення з'явилися ще в дев'яностих роках, проте довгий час вони були орієнтовані виключно на лікарів. Виступаючи в ролі довідників та електронних картотек, вони дозволяли завжди мати під рукою необхідні для роботи матеріали. Паралельно розвивався напрямок телемедицини.

Зараз намітилася нова тенденція: розробляється все більше медичних програм для персонального використання самими пацієнтами і мобільних діагностичних комплексів.

Розвиток описаних засобів діагностики стану здоров'я пацієнтів особливо актуально і для сфери сімейної медицини, розвиток і підтримка якої в Україні виходить на державний рівень [12, 13].

Мета і завдання роботи- це розробка універсального модулю прийняття рішень для мобільної діагностичної системи сімейного лікаря.

Пропозиції по режимах роботи системи діагностики. В існуючих системах діагностики для мобільних пристроїв є кілька способів отримання первинної діагностичної інформації: а) шляхом вимірювань відповідними зовнішніми пристроями, б) шляхом введення параметрів у відповідні поля для користувача інтерфейсу (user interface – UI).

При використанні зовнішніх пристроїв, що підключаються додатково до smart-пристрою актуальною стає проблема ціни, точності проведених вимірювань і подальше перетворення отриманих даних. При введенні даних через інтерфейс користувача точність вимірювань може забезпечити недорогий сертифікований прилад, який може дозволити собі будь-яка людина, що проводить діагностику. Проте, в цьому випадку підвищується ймовірність впливу людського фактору на точність проведених вимірювань.

У прототипі розробки універсальної системі пропонується обидва описаних варіанти отримання вхідних даних і відповідно два режими роботи.

На поточний момент режим № 1 має наступний принцип роботи: вхідні параметри вносяться в додаток через інтерфейс сімейним лікарем або самим пацієнтом. У режимі № 2 параметри вимірюються зовнішнім приладом, що підключається до smart-пристрою.

У результаті обробки даних видається рішення-рекомендація про профілактичні заходи. Спосіб обробки та прийняття рішення розглянутий у наступному розділі.

База правил буде зберігатися на віддаленому сервері в нереляційних бази даних, а пристрої будуть синхронізуватися з нею по мірі її оновлення, для постійної підтримки актуального стану. Правила додаватимуться та розширюватимуться фахівцями через адміністративну панель/веб-сервіс.

В результаті розробляється універсальна система, яка буде корисна як в повсякденному контролі за здоров'ям, так і при контролі та моніторингу стану і перебігу хвороби у «вузькопрофільних» хворих, наприклад, дітей.

Опис принципів роботи програмного модулю прийняття рішення на основі нечіткої математики. Метою розробки на даному рівні є програмний модуль для мобільних пристроїв на базі нечіткого регулятора, призначеного для аналізу параметрів здоров'я і, на основі їх значень, надання відомостей про стан здоров'я, а також необхідних рекомендацій і приписів.

Нечіткий регулятор (нечіткий контролер) - регулятор, побудований на базі нечіткої логіки - відмінно підходить для вирішення поставленого завдання, а застосування модуля на мобільних пристроях забезпечить простоту і зручність у використанні, що дозволить практично в будь-який час, якщо виникне необхідність, стежити за станом здоров'я людини і надавати важливі поради з лікування/профілактики [2].

Застосування Fuzzy-технологій у медичній діагностиці. Правильна постановка діагнозу в медицині вимагає від лікаря великого досвіду, знань і інтуїції. Своєчасно поставлений точний діагноз часто полегшує вибір методу лікування і значно підвищує ймовірність одужання хворого.

Нечітка логіка дозволяє поліпшити класифікаційні моделі для визначення класів, що перекриваються (пересічних). Нечітке моделювання дозволяє представити знання у вигляді набору нечітких логічних правил, що робить цей метод привабливим для вирішення диференційно-діагностичних завдань в медицині.

Типовий нечіткий класифікатор складається з набору правил типу «якщо, тоді» з нечіткими передумовами в слідстві правила. Передумови цих правил розбивають простір значень ознак на деяку кількість нечітких областей, слідства правил описують вихід класифікатора в цих областях. Застосування нечітких правил типу «якщо, тоді» дозволяє поліпшити інтерпретованість результатів.

В даний час відома велика кількість прикладів ефективного застосування методів Fuzzy-логіки в автоматизованих системах медичної діагностики, серед яких можна відзначити діагностику ішемічних хвороб серця, прогнозування кровотеч при пологах, розпізнавання наявності і локалізації внутрішньочерепних травматичних крововиливів при закритій травмі черепа і головного мозку, для розпізнавання підтипів транзиторних ішемічних атак, розроблена у відділенні термічних захворювань інституту хірургії ім. А.В. Вишневського РАМН нечітка експертна система визначення ступеня важкості операбельних хворих з опіками за допомогою програми fuzzy в пакеті Fuzzy logic Toolbox з використанням алгоритмів проф. Мамдані [5].

Нечітка логіка - як універсальний засіб прийняття рішень. Характеристикою нечіткої множини виступає функція приналежності (Membership Function). Позначимо через $MF_c(x)$ - ступінь приналежності до нечіткої множині C , що представляє собою узагальнення поняття характеристичної функції звичайної множини. Тоді нечіткою множиною C називається множина впорядкованих пар виду:

$$C = \{MF_c(x)/x\}, \quad MF_c(x) \in [0,1] \quad (1)$$

Значення $MF_c(x) = 0$ означає відсутність приналежності до множини, 1 - повну приналежність.

Для опису нечітких множин вводяться поняття нечіткої і лінгвістичної змінних. Нечітка змінна описується набором (N, X, A) , де N - це назва змінної, X - універсальна множина (область міркувань), A - нечітка множина на X .

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

Існує понад десяток типових форм кривих для завдання функцій приналежності. Найбільшого поширення набули: трикутна, трапецеїдальна і гаусова функції приналежності.

Функція приналежності гаусового типу описується формулою:

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

і оперує двома параметрами. Параметр c позначає центр нечіткої множини, а параметр σ відповідає за крутизну функції.

Кількість термів в лінгвістичній змінній рідко перевищує 7 [4].

Нечіткий логічний висновок. Основою для проведення операції нечіткого логічного висновку є база правил, яка містить нечіткі висловлювання у формі "якщо-то" і функції приналежності для відповідних лінгвістичних термів. [2]

У загальному випадку механізм логічного висновку включає чотири етапи: введення нечіткості (фазифікація), нечіткий висновок, композицію і приведення до чіткості, або дефазифікації. Алгоритми нечіткого висновку розрізняються головним чином видом використаних правил, логічних операцій і різновидом методу дефазифікації. моделі нечіткого висновку розроблені мамдані, сугено, ларсеном, цукамото.

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

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

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

$$\alpha_i = \min_k (A_{ik}(x_k)). \quad (3)$$

Далі знаходяться "усічені" функції приналежності:

$$B_i^*(y) = \min(\alpha_i, B_i(y)). \quad (4)$$

3. Композиція, або об'єднання отриманих усічених функцій, для чого

використовується максимальна композиція нечітких множин:

$$MF(y) = \max_i (B_i^*(y)), \quad (5)$$

де $MF(y)$ - функція приналежності підсумкової нечіткої множини.

4. Дефазифікації, або приведення до чіткості. Існує кілька методів дефазифікації. Наприклад, метод середнього центру, або центроїдний метод:

$$MF(y) = \max_i (B_i^*(y)). \quad (6)$$

Геометричний сенс такого значення - центр ваги для кривої $MF(y)$. Рисунок 1 графічно показує процес нечіткого висновку по Мамдані для двох вхідних змінних і двох нечітких правил R1 і R2 [15].

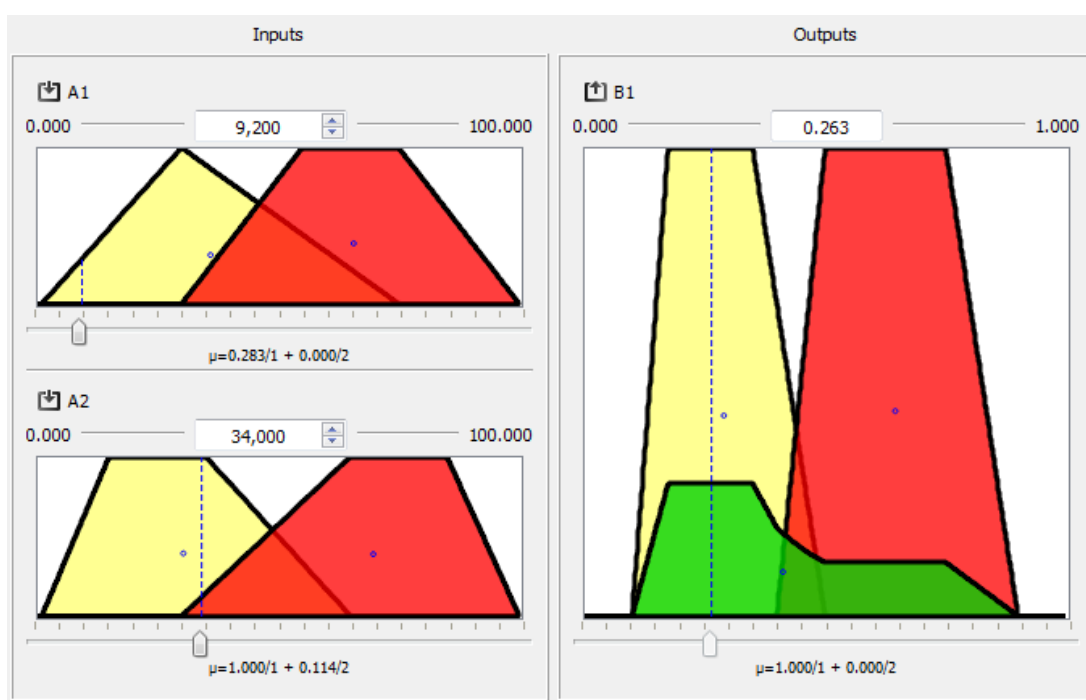


Рис. 1 – Схема нечіткого висновку по Мамдані

Розробка нечіткого логічного висновку та бази правил для модуля прийняття рішень. Здоров'я людини є якісною характеристикою, що складається з набору кількісних параметрів: антропометричних (зріст, вага, об'єм грудної клітки, геометрична форма органів і тканин); фізичних (частота пульсу, артеріальний тиск, температура тіла та інші).

Розроблений модуль буде отримувати на вхід необхідні йому параметри, такі як вік, систолічний (верхній) артеріальний тиск, пульс, температура пацієнта і т. д., і видавати в результаті потрібну інформацію про стан здоров'я пацієнта і відповідні рекомендації.

Список параметрів, діапазони їх значень, рекомендації, приписи і набір правил будуть задаватися експертами, змінюватися і доповнюватися в міру необхідності.

Всі необхідні вхідні параметри повинні бути заздалегідь відомі або будуть попередньо фіксуватися сторонніми пристроями і будуть вводитися вручну (режим 1). Процес їх формування та отримання в даній роботі не розглядається.

Приклади вхідних параметрів та їх можливі значення. Для стану організму людини існує поняття «норми», коли значення параметрів вкладаються у визначений, вироблений медичною наукою і практикою діапазон. Відхилення значення від заданого діапазону може з'явитися ознакою і доказом погіршення здоров'я. Зовні втрата здоров'я буде виражатися у вимірювальних порушеннях в структурах і функціях організму, змінах його адаптивних можливостей. Нижче наведені можливі діапазони вхідних параметрів на основі даних початкової експериментальної вибірки. Діапазони сформовані для демонстрації роботи модуля.

Вік (років):

1. Молодий (М), 10 – 28;
2. Дорослий (Д), 25 – 60;
3. Літній (Л), більше 55.

Систолічний (верхній) артеріальний тиск (мм рт. ст.):

1. Знижений (З), до 115;
2. Нормальний (Н), 100 – 130;
3. Підвищений (П), більше 125.

Пульс (ударів за хвилину):

1. Сповільнений (С), до 70;
2. Нормальний (Н), 65 – 95;
3. Прискорений, (П), більше 90

Температура (°C):

1. Низька (Н), до 36,0;
2. Нормальна (Норм), 35,8 - 37,4;
3. Висока (В), більше 37,0.

Описання вхідних змінних її нечітких термів представлено на рисунку 2.

В даній роботі для демонстрації вихідна змінна “Висновок” описується 27 термами в діапазоні чітких значень від 0 до 28.,

В якості алгоритму нечіткої логіки застосовувався алгоритм Мамдані. В якості застосованих функцій приналежності в основному була використана гаусова функція, а також колоколоподібна, S-подібна і Z-подібна функції. Основною була вибрана саме гаусова функція приналежності, так як при цьому область «перекривання» функцій значно зменшується, і ймовірність ефективності проекту підвищується.

Приклади отримання висновків за вхідними параметрами. Далі наведено результати, що графічно відображають залежність отриманих висновків від значень вхідних параметрів.

Чіткі значення отриманих висновків будуть проектуватися на ключі, за якими будуть вилучатись рекомендації і розпорядження з бази знань. У рамках роботи для демонстрації буде використовуватися спрощена розроблена база знань, що складається з 27 записів. Діапазон кожного виводу буде проектуватися на один ключ. Рекомендації та приписи складені на основі інформації з джерел [8, 9, 10].

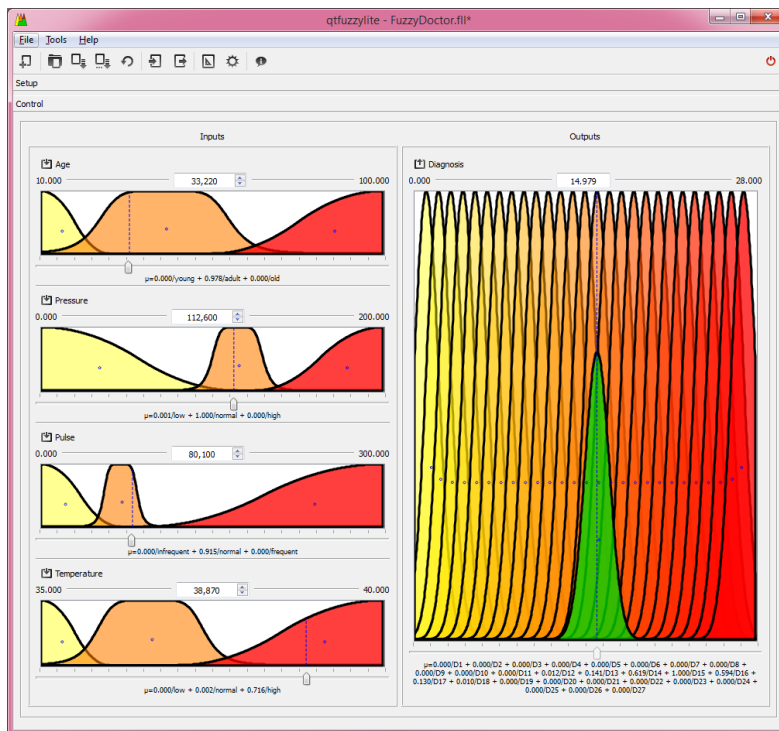


Рис. 2 – Стани входних параметрів, що призводять до формування висновку

Використані технології. Бібліотека Fuzzylite – кросплатформенна, безкоштовна та відкрита бібліотека для програмування контролерів нечіткої логіки на C++. Jfuzzylite – та ж сама бібліотека fuzzylite, але повністю запрограмована на Java. Qtfuzzylite – кросплатформенна, безкоштовна та відкрита бібліотека, заснована на Qt, необхідна для реалізації графічного інтерфейсу користувача при використанні fuzzylite. Її мета – дозволити користувачеві реалізувати візуальний дизайн для своїх нечітких логічних контролерів та взаємодіяти з ними у реальному часі.

Використані бібліотеки надають широкий діапазон можливостей по використанню контролерів, лінгвистичних термів, дефазифікаторів, імпорту та експорту даних у різні формати. Крім того є реалізовані додаткові можливості по створенню 2D поверхонь для відображення контурів будь-якого контролера. Застосування багатопоточності та реалізація потокобезпеки. Завантаження коду, документації та бінарників для різноманітних платформ [8].

Висновки. Головним результатом даної роботи є обґрунтування та принципи створення спеціалізованого універсального модуля мобільної операційної системи, як частини комплексу для діагностики стану здоров'я пацієнта та висновків, щодо діагнозу сімейним лікарем.

Ефективним з точки зору отримання комплексного вихідного значення є використання функції приналежності гаусового типу, так як при цьому область перекривання функцій значно зменшується, і ймовірність ефективності проекту підвищується. Запропоновано новий підхід для прийняття рішень з постановки первинного діагнозу сімейним лікарем, що враховує декілька входних критеріїв, а масштабованість модуля дозволяє збільшувати кількість входних параметрів.

Обробка результатів та діагностика за допомогою експертної системи з нечіткою логікою дозволить робити більш точний аналіз стану здоров'я пацієнтів і визначати список необхідних рекомендацій та приписів. Модуль є універсальним і може бути інтегрований в діагностичну систему, що працює під будь-якою популярною мобільною операційною системою.

Список літератури: 1. Журнал "Медицинская сестра" №3, 2004 год. 2. *Гостев В.И.* / Проектирование нечетких регуляторов для систем автоматического управления: монография // *В.И. Гостев.* – Нежин: ООО "Видавництво "Аспект-Поліграф", 2009. – 416 с. 3. *Заде Л.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. 4. *Гостев В. И.* / Синтез нечетких регуляторов систем автоматического управления // *В.И. Гостев.* – К.: Издательство "Радіоаматор", 2005. – 708 с. 5. *Зак Ю.А.* // Принятие решений в условиях нечетких и размытых данных, М.: Книжный дом "Либроком", 2012. — 350 с. 6. *Калакутский, Л. И.* // Аппаратура и методы клинического мониторинга: Учебное пособие [Текст] / *Л. И. Калакутский, Э. С. Манелис.* – Самара: СГАУ, 1999 – 160 с. 7. *Juan Rada-Vilela.* Fuzzylite: a fuzzy logic control library, 2014. URL [Електронний ресурс] <http://www.fuzzylite.com>. 8. <http://prostuda03.ru/main/37-ponizhennaya-temperatura-tela-pri-prostude-rekomendacii.html> 9. <http://doctorpiter.ru/articles/339/> 10. <http://www.polezno.com/sovety/41> 11. *Гусев, В.Г.* Получение информации о параметрах и характеристиках организма и физические методы воздействия на него [Текст] / *В. Г. Гусев* – М: Машиностроение, 2004. – 597 с. 12. Постановление Кабинета Министров Украины № 989 от 20.06.2000 "О комплексных мерах внедрения семейной медицины в систему здравоохранения". 13. Приказ МЗ Украины № 214 от 11.09.2000 "О комплексных мерах внедрения семейной медицины в систему здравоохранения".

Bibliography (transliterated): 1. Zhurnal "Medicinskaya sestra" №3, 2004. 2. *Gostev V.I.* / Proektirovanie nechetkix reguljatorov dlya sistem avtomaticheskogo upravleniya: monografiya – Nezhin: ООО "Vidavnictvo "Aspekt-Poligraf", 2009. 416. 3. *Zade L.* Ponyatie lingvisticheskoy peremennoj i ego primenenie k prinyatiyu priblizhennyx reshenij. Moscow: Mir. 1976. 4. *Gostev V. I.* / Sintez nechetkix reguljatorov sistem avtomaticheskogo upravleniya. – K.: Izdatelstvo "Radioamator", 2005. 708. 5. *Zak Yu.A.* // Prinyatie reshenij v usloviyax nechetkix i razmytyx dannyx, Moscow: Knizhnyj dom "Librokom". 2012. 350. 6. *Kalakutskij, L. I., E. S. Manelis.* // Apparatura i metody klinicheskogo monitoringa: uchebnoe posobie [tekst] – Samara: SGAU. 1999 160. 7. *Juan Rada-Vilela.* Fuzzylite: a fuzzy logic control library. 2014. URL <http://www.fuzzylite.com>. 8. <http://prostuda03.ru/main/37-ponizhennaya-temperatura-tela-pri-prostude-rekomendacii.html>. 9. <http://doctorpiter.ru/articles/339/>. 10. <http://www.polezno.com/sovety/41>. 11. *Gusev, V. G.* Poluchenie informacii o parametrax i xarakteristikax organizma i fizicheskie metody vozdejstviya na nego [Tekst] – Moscow: Mashinostroenie, 2004. 597. 12. Postanovlenie Kabineta Ministrov Ukrainy № 989 ot 20.06.2000 "O kompleksnyx merax vnedreniya semejnoy mediciny v sistemu zdravooxraneniya". 13. Prikaz MZ Ukrainy № 214 ot 11.09.2000 "O kompleksnyx merax vnedreniya semejnoy mediciny v sistemu zdravooxraneniya".

Надійшла (received) 03.08.2014