



УКРАЇНА

(19) UA (11) 57710 (13) U
(51) МПК (2011.01)
G06F 17/00
A61B 5/02 (2011.01)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ПРОМІЖНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТА

1

(21) u201009798

(22) 06.08.2010

(24) 10.03.2011

(46) 10.03.2011, Бюл.№ 5, 2011 р.

(72) ЗАКОРЧЕНИЙ ОЛЕКСАНДР ВОЛОДИМИРОВИЧ, БУДНИК МИКОЛА МИКОЛАЙОВИЧ

(73) ІНСТИТУТ КІБЕРНЕТИКИ ІМ. В.М. ГЛУШКОВА НАН УКРАЇНИ, ЗАКОРЧЕНИЙ ОЛЕКСАНДР ВОЛОДИМИРОВИЧ, БУДНИК МИКОЛА МИКОЛАЙОВИЧ

(57) Спосіб визначення проміжного стану об'єкта, в якому виконують вимірювання діагностичного параметра X засобом вимірювальної техніки, обчислення порогу та 3-х інтервалів значень параметра, інтерпретацію середнього інтервалу як проміжного стану, близького до аномального функціонування об'єкта, тобто збою, відмови, несправності, аварії, перевантаження пристрою або ризику виникнення хвороби чи перевантаження в людини, який **відрізняється** тим, що обчислюють функції належності нормального (Φ_{N1}), аномального (Φ_{N2}) та проміжного (Φ_{N3}) станів згідно з виразами

$$\Phi_{N1}(X) = F1(X) - F2(X) \text{ при } X < X_{\text{кр}},$$
$$\Phi_{N2}(X) = F2(X) - F1(X) \text{ при } X < X_{\text{кр}},$$

2

$$\Phi_{N3}(X) = \begin{cases} 2 * F2(X) & \text{при } X < X_{\text{кр}} \\ 2 * F1(X) & \text{при } X > X_{\text{кр}} \end{cases},$$

де $X_{\text{кр}}$ - поріг, $F1(F2)$ - статистична функція ймовірності навчальної групи об'єктів, що знаходяться в нормальному (анормальному) стані;

визначають межі проміжного інтервалу $X1$ та $X2$ як абсциси точок перетину графіків Φ_{N1} та Φ_{N2} з

графіком Φ_{N3} , тобто згідно з виразами

$$\Phi_{N1}(X = X1) = \Phi_{N3}(X = X1),$$

$$\Phi_{N2}(X = X2) = \Phi_{N3}(X = X2),$$

визначають стан об'єкта залежно від того, в який інтервал попадає значення параметра для даного об'єкта, згідно з правилом

$$\text{Вирішувальне правило} = \begin{cases} \text{Нормальний стан, якщо } X < X1, \\ \text{Проміжний стан, якщо } X1 < X < X2, \\ \text{Аномальний стан, якщо } X > X2, \end{cases}$$

вказані дії виконують із застосуванням комп'ютерної програми з відображенням результатів на дисплеї комп'ютера та їх роздрукуванням на принтері.

Корисна модель належить до спеціальних способів обробки даних, а саме до діагностики, і може бути використаний для віднесення об'єкту до одного з трьох станів на основі значень певного діагностичного параметру, тобто в одновимірному параметричному просторі.

Ця проблема є частковим випадком більш загальної задачі розділення групи об'єктів на кілька класів. У строгому розумінні класи - це множини об'єктів, що не вміщують підмножин, а тому не можуть перекриватися з іншими множинами. З точки зору теорії прийняття рішень задача класифікації полягає у виробленні складного (нечіткого) вирішувального правила (ВП). Такі задачі зустрі-

чаються як в галузі фізики і вимірювань так і життєвих потреб людини (біологія, медицина).

У найпростішому випадку множина об'єктів утворена тільки двома навчальними групами. Вирішення цієї задачі потребує формування навчальних груп і попереднього етапу навчання на їх основі. Складність задачі визначається тим, що діапазони значень діагностичного параметра навчальних груп, як правило, перекриваються, а достовірність класифікації залежить від типу синтезованого ВП. При цьому вирішення задачі є неоднозначним і залежить як від статистичних властивостей груп, так і способу обробки даних.

Найпростіше порогове ВП розділяє множину об'єктів на два класи залежно від того, більше чи

(13) U
(11) 57710
(19) UA

менше від порогу $X_{кр}$ величина параметра для даного об'єкту. Загалом можливо два випадки - об'єкт відноситься до класу 1 чи 2, якщо параметр $X < (>) X_{кр}$ або $X > (<) X_{кр}$. При цьому мають місце помилки 1-го (пропуску цілі, α) та 2-го (хибної тривоги, β) роду, смисл яких залежить від галузі техніки.

Наприклад, в медицині групи - це набори осіб (здорових або пацієнтів, хворих на певні захворювання), а клас 1(2) - це клас негативних (позитивних), яким залежно від природи груп відповідають певні діагностичні висновки. При цьому неправильно класифіковані особи називаються хибно не-

гативні (ХН - помилки 1-го роду) і хибно позитивні (ХП - похибки 2-го роду).

В фізико-технічній галузі групи можуть включати набір послідовних вимірів значень деякого параметра, що підлягає регулюванню або контролює стан пристрою, або набір значень параметра для групи пристроїв. Тут клас 1(2) - це працездатні (непрацездатні) об'єкти, а помилки 1-го (2-го) роду мають сенс хибно бракованих працездатних (невідбракованих непрацездатних) об'єктів. Далі для визначеності будемо застосовувати термінологію, прийняту в медицині, тоді порогове ВП має вигляд (1)

$$\text{Порогове правило } (X_{кр}) = \begin{cases} \text{Негативний клас, якщо } X < X_{кр} \\ \text{Позитивний клас, якщо } X > X_{кр} \end{cases} \quad (1)$$

Сучасний рівень демонструє широке використання такого правила. Наприклад, з метою медичної діагностики воно застосоване у винаходах RU 2245671, RU 2245680, RU 2246116, RU 2266037, RU 2266045, RU 2266052, RU 2266053, UA 74466, RU 2004121099/15, RU 2004121237/15.

Проте, порогове ВП, яке відповідає бінарній (двійковій) логіці і розділяє групу об'єктів лише на два класи, є найбільш простим, отже - грубим. Подальше вдосконалення полягає у застосуванні багатозначних (нечітких) логік, які забезпечують більш детальну класифікацію і виявлення багатьох, більш ніж двох станів біологічних або технічних об'єктів. Причини, що вимагають застосування більш складних ВП, такі:

1) Складність об'єкту. Наприклад, в медицині людина є дуже складною біологічною системою, а отже - діагноз на основі порогового ВП є невірним. Тому порогове ВП не може бути прийнятним як адекватна модель організму людини. Це зумовлено наявністю так званого "фізіологічного коридору", що означає градацію показників людини типу "дефіцит-норма-надлишок" (напр., кров'яний тиск) або типу "норма-слабкий ризик-суттєвий ризик" стосовно рівня холестерину [Органов Р.Г., Чтобы защитить сердце. - М.: Медицина, 1984. - 64с.].

2) Недостатня точність визначення параметра приводить до того, що випадкова похибка при його вимірюванні може привести до хибної класифікації при значеннях параметра близьких до порогу. Іншими словами - ріст похибок класифікації для об'єктів, у яких значення параметра близьке до порогу.

3) Значна чутливість параметру до впливу зовнішніх неінформативних і неконтрольованих факторів. Це означає, що при вимірюванні (обстеженні) пацієнта або контролі стану технічного об'єкту поряд з інформативними параметрами на величину вимірюваного параметру впливають інші (неінформативні, паразитні) фактори [Золотарев В.М., Закон больших чисел. - М.: Знание, 1987. - 48 с].

Наприклад, основними факторами ризику ішемічної хвороби серця (ІХС) є стать, вік, генетичний фактор, гіперхолестеринемія, артеріальна гіпертензія, куріння, надлишкова маса тіла, мало-

руханий спосіб життя. Вони приводять до "ефекту направленої дії", тобто зміщення величини діагностичного параметру у той чи інший бік. В результаті це спричиняє різні відхилення від нормального закону статистичної функції розподілу (ФР) - асиметрія, ексцес, неунімодалність.

4) Значне перекриття груп. Це означає, що "хвости" графіків диференціальних ФР груп перетинаються так, що площі під "хвостами" досить значні. В результаті ймовірності похибок класифікації обох родів значні, а достовірність класифікації на основі порогового ВП недостатня (60-70%). Причини перекриття - розмивання неінформативними факторами (див. 4), низька чутливість (інформативність) даного параметра до змін у стані об'єкту або недостатня кількість об'єктів у групах.

Причини 2), 3) і 4) особливо стосуються нових методів діагностики і контролю, які розробляються або впроваджуються, коли необхідно відшукати саме інформативні параметри серед багатьох інших. При цьому, складність об'єкту, недостатня точність вимірювань, мала чисельність груп, а також велика чутливість параметра до зовнішніх неконтрольованих факторів знижують достовірність класифікації.

Наприклад, в способі діагностики ІХС на основі нового неінвазивного методу магнітокардіографії (МКГ) UA 74466 [Спосіб діагностики ішемічної хвороби серця, Козловський В., Будник М., Стаднюк Л., Риженко Т., 2005] достовірність дискримінації "Здорові-хворі ІХС" по параметру МР рівна 68,5%-72%. Цього недостатньо для надійної діагностики такої загрозливої патології як ІХС. Складність об'єкту полягає у тому, що ІХС є "широкою" патологією, яка включає багато нозологічних форм, що відрізняються кількістю, локалізацією, ступенем ураження коронарних артерій, наявністю/відсутністю інфаркту міокарду, ускладнень, супутніх діагнозів та ін.

Наступною за складністю є 3-значна логіка, яка дозволяє поділити групу об'єктів на 3 класи: Негативні-Проміжні-Позитивні. В медицині класи мають такий смисл: Здорові-Ризик-Хворі, Негативний ефект-Сумнівний ефект-Позитивний ефект (лікування), Малий ризик-Середній ризик-Великий ризик (захворювання) та ін. В фізико-технічній га-

лузі це - Справний прилад-Зона невизначеності-Несправний прилад, Надлишок ресурсів-Норма-Дефіцит ресурсів та ін.

Першим кроком у цьому напрямку є просте збільшення кількості параметрів. Так у патенті RU 2266042 [Способ раннего прогнозирования возникновения в периоде постинфарктного кардиосклероза злокачественных желудочковых нарушений ритма, БИПМ, №35, 2005] підвищення надійності діагностики отримано за рахунок використання 3-х параметрів. При цьому розвиток порушення ритму прогнозують на основі виконання 2-х з 3-х критеріїв наявності пізніх потенціалів шлуночків (стандартне відхилення величин RR інтервалів <70мс, величина фракції викиду лівого шлуночка $\leq 40\%$, дисперсія QT інтервалу ≥ 60 мс).

Іншим напрямком є виявлення зони ризику захворювання. Так у заявці RU 2004119998/14 [Способ прогнозирования развития остео-пороза у женщин с первичным гипотиреозом, БИПМ, №35, 2005] зона ризику виникнення остеопороза не тільки виявляється, але і ділиться на дві підзони. Для цього вимірюється 9 інформативних параметрів, з яких формують 2 узагальнених параметра - прогностичні коефіцієнти F1 і F2 як зважені суми вказаних 9 параметрів. При $F1 < (>) F2$ прогнозують низький (високий) ризик розвитку остеопороза. Недолік - визначають тільки зону ризику, а зони Здорових та Хворих не встановлюють.

Також відомі винаходи, у яких діапазон значень параметру ділиться на 3 інтервали, але середній інтервал не використовується для діагностики у явному вигляді. Так у патенті RU 2266048 [Способ прогнозирования риска рекуррентности в течении депрессивных расстройств после проведения антидепрессивной терапии, БИПМ, №35, 2005] встановлено 2 інтервали значень параметра (середнього балу тесту): $>40\%$ та $<19\%$, яким відповідає, малий та великий ризик появи депресивних епізодів. При цьому середній інтервал $19\%-40\%$, який можна інтерпретувати як "середній ризик", не приймається до уваги.

Відома також заявка RU 2004120003/15 [Способ биохимической оценки адаптации сердечной деятельности у новорожденных детей, БИПМ, №35, 2005] на основі аналізу сироватки крові для підвищення надійності діагностики визначається 3 параметри - МВ-КФК (активність міокардіальної ізоформи креатинфосфокінази), ТГ (рівень тригліцеридів), та ЛПНП (рівень ліпопротеїдів низької густини). Для кожного параметра встановлено 2 інтервали - КФК: 6,5-8,1 Од/л і 9,9-13,7 Од/л, ТГ: 0,8-1,6ммоль/л і 2,8-4,8ммоль/л, ЛПНП: 3,9-4,7г/л і 8,6-12,8г/л, по яким прогнозується, відповідно, відсутність порушень і значні порушення процесу адаптації. При цьому середні інтервали (КФК: 8,1-9,9 Од/л, ТГ: 1,6-2,8ммоль/л, ЛПНП: 4,7-8,6 г/л) параметрів, які по суті є, на нашу думку, зоною ризику виникнення вказаних порушень, також не приймаються до уваги.

Відома ряд патентів, у яких у явному вигляді визначається третій або проміжний стан.

1. Способ контроля параметра технического объекта, Пономарев С.Н., SU 1400330, БИ, №34, 1995.

2. Apparatus and method for monitoring system health based on fuzzy metrics and fuzzy rules, Bigus J., Schlosnagle D., US 2005065753, 2005.

3. Способ определения эксплуатационной группы моторного масла и устройство для его реализации, Кузнецов А.В. и др., RU 22167128, БИПМ, №36, 2005.

4. Способ компьютерной оценки игровой позиции, Баженов В.А., RU 2004124505, 27.01.2006.

5. Способ прогнозирования профиля функциональной асимметрии мозга человека, Пятин В.Ф. и др., RU 2245676, БИПМ, №4, 2005.

6. Способ АЦП-типирования черт темперамента, Петросян Е.Ю., и др., RU 2266047, БИПМ, №35, 2005.

7. Способ балльной оценки тяжести острого панкреатита, RU 2266055, БИПМ, №35, 2005.

8. Способ диагностики лямблиоза и его течения, Слюсарь Н.Н. и др., RU 2246115, БИПМ, №4, 2005.

У патенті SU1400330 діапазон параметра, який вимірюється для контролю стану технічного об'єкту, розбивається на 3 зони: зону безумовної справності, зону безумовної несправності і зону невизначеності. Зони справності і несправності утворюють поле допуску, зменшене або збільшене на величину випадкової похибки. У цих двох зонах рішення приймається на основі миттєвого значення параметра. При попаданні параметра у зону невизначеності, його багаторазово вимірюють і усереднюють, а середнє значення порівнюють з межами поля допуску.

У патенті US 2005065753 для контролю стану комп'ютерних засобів до розгляду вводять 3 стани (рівні навантаження або використання ресурсів) - Низький, Нормальний та Високий. Рішення приймають на основі величини параметра, усередненого за певний проміжок часу. Ефект полягає в тому, що стан Нормальний ігнорують, і таким чином не генерують зайві (хибні) повідомлення оператору про перевантаження системи.

У патенті RU22167128 класифікацію моторних масел на 3 групи проводять на основі розбиття діапазону значень тестового параметра - маси осаду m , на 3 інтервали. При $m \geq 17$ мг масло відносять до групи "В", при $13 \leq m \leq 17$ мг - до групи «Г», а при $m \leq 13$ мг - до групи "Д".

До використання 3-значних правил також проводять і деякі задачі математичної теорії ігор. Так, у заявці RU 2004124505 для шахмат пропонують застосувати оціночну функцію, яка в логічній формі набуває таких 3 значень: «мат одній стороні», «мат іншій стороні», «пат».

Перехід від порогового до 3-значного ВП також застосовують і в медицині. Так, у патенті RU2245676 вимірюють 15 параметрів вентиляційної функції легенів, з яких у вигляді зважених сум формують 3 інтегральних параметри - Y_1 , Y_2 , Y_3 . Якщо параметр Y_1 (Y_2 , Y_3) максимальний, то діагностують лівопівкульний (рівносиметричний, правопівкульний) профіль функціональної асиметрії мозку. Недоліком способу є те, що 3 висновки роблять на основі порівняння 3-х параметрів, а не одного.

Цей недолік відсутній у патенті RU 2266047, де підраховують суму балів, відповідних набору параметрів, які застосовано для визначення 3-х градацій таких властивостей поведінки, як активність, цілеспрямованість і пластичність. Так шкала активності включає такі рівні - Низькоактивний (<10 балів), Середньоактивний (10-15), Високоактивний (>15). Шкала цілеспрямованості включає: Байдушкий (<6 балів), Зацікавлений (6-9), Цілеспрямований (>9). Пластичність має Ригідний (<8 балів), Середньостійкий (8-12) і Лабільний (>12) рівні.

Недоліком двох останніх способів є те, що вони стосуються класифікації різних груп здорових осіб. На противагу цьому, патент RU2266055 відноситься до діагностики хвороби (панкреатиту). Тут аналізують 8 якісних параметрів, виражених в балах, а інтегральний параметр підраховують як суму балів. Якщо він лежить в діапазоні 12-20 (21-29 чи 30-47) то роблять висновок про легку (середню чи важку) ступінь тяжкості гострого панкреатиту. Недолік даного винаходу полягає в тому, що він стосується тільки діагностики в рамках патології, і не виявляє здорових (хоч на нашу думку зона здорових - це кількість балів не більше 11).

Цей недолік відсутній у патенті RU2246115, який взято за прототип у якому проводять діагностику лямбліозу на основі визначення такого параметру як коефіцієнт концентрації антитіл (ККА). ВП включає 3 якісно різних висновки, а саме - при $0 < \text{ККА} < 5$ роблять висновок про негативний результат аналізу, при $6 < \text{ККА} < 10$ ($\text{ККА} > 11$) - про сумнівний (позитивний) результат. Навчальні групи становили 150 хворих і 30 здорових, а ККА визначали як до, так і після курсу лікування лямбліозу.

Отже, негативний результат означає, що лікування ефективне і пацієнт здоровий, а сумнівний - навпаки, свідчить про те, що пацієнт ще не повністю вилікувався і необхідно продовжити лікування. Перевагою способу-прототипу є те, що він визначає 3 якісні зони - «Норма-Ризик-Хворі». Сумнівний результат аналізу мають пацієнти, що становлять групу ризику, бо у них концентрація носіїв паразитарної інфекції (лямблій) ще недостатньо мала. Тому при закінченні чи перериванні курсу лікування існує велика ймовірність рецидиву захворювання внаслідок достатньо великої концентрації паразитів.

Загалом, сучасний рівень техніки демонструє застосування розділення груп об'єктів на 3 класи як на основі одного, так і декількох (RU2245676 - три) параметрів. Межі проміжної зони (ПЗ) визначають або на основі розмаху емпіричних ФР груп (прототип), або на основі бальних оцінок, що мають цілочислові значення (отже групи не перекриваються), або на основі експертних оцінок. Існують способи, де ПЗ фактично обчислюють (RU 2266048, RU 2004120003/15), але явно не використовують, бо відсутні відповідні (проміжні) навчальні групи. Таким чином, у сучасному рівні техніки відсутній загальний спосіб визначення проміжного стану на основі одного параметру, який би давав змогу визначати його однозначно незалежно від галузі техніки за наявності перекриття ФР навчальних груп, а також не вимагав би формування проміжної навчальної групи.

В основу даної корисної моделі поставлена задача вдосконалення способу діагностики, в якому шляхом застосування нових дій, режимів виконання дій та емпірично визначених границь показників однозначно визначають межі ПЗ та стан об'єкта з набору 3-х станів. Для реалізації зазначеного завдання спосіб визначення ПЗ передбачає перехід від двох навчальних (реальних) груп до трьох груп, де третя - проміжна група синтезується за допомогою двох навчальних груп. Новим порівняно зі способом-прототипом є те, що:

1. Здійснюється перехід від 2-х навчальних до 3-х синтезованих груп.

2. Здійснюється перехід від статистичних ФР навчальних груп до ФН, застосованих у нечіткій логіці.

3. Межі ПЗ визначають на основі точок перетину графіку ФН проміжної (середньої) групи з ФН першої або другої (бокових) груп.

4. ФН першої та другої синтезованих груп, на відміну від їх ФР, не перекриваються, отже вони є класами.

Суть пропонованого способу полягає у можливості діагностики проміжного стану об'єкту за рахунок обчислення функцій належності (ФН), застосованих у нечіткій логіці. Інтервал значень проміжної групи (тобто ПЗ) лежить посередині між інтервалами навчальних груп, а її ФН визначається на основі навчальних груп. Таким чином, до проміжної групи відносяться об'єкти на перетині навчальних груп, які з точки зору порогового ВП належать до хибно класифікованих.

Перетин ФН вказаних трьох груп дозволяє знайти два граничні значення діагностичного параметра, які ідентифікуються як межі ПЗ, у якій ймовірність належності особи до будь-якої з навчальних груп менша, ніж ймовірність належності до проміжної групи. ВП полягає у класифікації певного об'єкту на 3 класи залежно від того, у який з 3-х інтервалів попадає величина параметра для даного об'єкту. Це відповідає ВП, прийнятому у нечіткій логіці, бо ФН даної групи в межах відповідного інтервалу є максимальною.

Поставлена задача у способі визначення проміжного стану об'єкта вирішується шляхом:

1) Обчислення функцій належності нормального (ФН₁), аномального ФН₂ та проміжного ФН₃ станів згідно виразів

$$\text{ФН}_1(X) = F_1(X) - F_2(X) \text{ при } X < X_{\text{КР}} \quad (2)$$

$$\text{ФН}_2(X) = F_2(X) - F_1(X) \text{ при } X > X_{\text{КР}} \quad (3)$$

$$\text{ФН}_3(X) = \begin{cases} 2 * F_2(X) & \text{при } X < X_{\text{КР}} \\ 2 * F_1(X) & \text{при } X > X_{\text{КР}}, \end{cases} \quad (4),$$

де F_1 (F_2) - функція ймовірності (ФЙ) навчальної групи об'єктів, що знаходяться в нормальному (анормальному) стані, $X_{\text{КР}}$ - поріг.

2) Визначення меж проміжного інтервалу X_1 та X_2 як абсцис точок перетину графіків ФН_1 та ФН_2 з графіком ФН_3 , тобто згідно виразів

$$\text{ФН}_1(X=X_1) = \text{ФН}_3(X=X_1) \quad (4')$$

$$\text{ФН}_2(X=X_2) = \text{ФН}_3(X=X_2) \quad (5)$$

3) Визначення стану об'єкта залежно від того, в який інтервал попадає значення параметра для даного об'єкту, згідно правила

$$\text{Вирішувальне правило} = \begin{cases} \text{Нормальний стан, якщо } X < X_1, \\ \text{Проміжний стан, якщо } X_1 < X < X_2, \\ \text{Аномальний стан, якщо } X > X_2, \end{cases} \quad (6)$$

Технічний результат полягає у тому, що:

1. Спосіб не вимагає окремої навчальної групи для проміжного стану.

2. Межі ПЗ визначаються однозначно, бо ФН монотонні.

3. Це є загальний спосіб, при якому смисл класів залежить від специфіки галузі техніки.

4. Є змога прогнозувати можливість попадання об'єкту у небажаний режим (тобто хвороба для людини або несправність для технічного об'єкту) та попереджати його за рахунок корекції його стану (профілактика для людини та регулювання технічного об'єкту).

Короткий опис ілюстрацій:

Фіг.1 - Визначення функцій належності (ФН) нормального (здорові) та аномального (хворі на

ішемічну хворобу серця, ІХС) станів на основі функцій ймовірності груп по діагностичному параметру МР.

Фіг.2 - Визначення ФН нормального (здорові) та аномального (ІХС) станів на основі функцій ймовірності груп по параметру Nst.

Фіг.3 - Визначення ФН проміжного стану (ризик появи ІХС) на основі функцій ймовірності груп здорових та хворих ІХС для параметра МР.

Фіг.4 - Визначення ФН проміжного стану (ризик появи ІХС) на основі функцій ймовірності груп здорових та хворих ІХС для параметра Nst.

Фіг.5 - Визначення меж проміжної зони для параметра МР.

Фіг.6 - Визначення меж проміжної зони для параметра Nst.

Таблиця

Величини меж проміжного інтервалу, медіан груп та порогів для ряду діагностичних параметрів

Показник	Поріг	Медіана		Межі	
		Здорових	Хворих	X мін	X макс
Nst	6,37	3.69	12.75	2.66	10.95
MP	9,62	7.74	11.89	7.56	11.65
ПВС	2,34	1.59	3.29	1.8	2.98
ПНС	5,84	4.84	6.91	4.45	7.21
Y	11,86	10.84	12.76	9.91	13.7
СВП	25,19	22.67	28.03	18.6	32.02
Nj	3,84	3.48	4.18	2.98	4.74
X	12,03	11.97	12.09	10.8	13.06
Z	13,53	13.46	13.63	12.14	14.63

Реалізація способу передбачає вимірювання певного діагностичного параметра та формування двох навчальних вибірок. В основній реалізації проводять магнітокардіографічне (МКГ) обстеження груп здорових та хворих на ІХС. Далі виконують попередню обробку даних, побудову карт розподілу магнітного поля серця в квадраті 20×20см над грудною кліткою пацієнта та реконструкцію розподілу густини струмів у серці [див. Будник М.М., Чайковський І.А., Магнітокардіографія: аналіз даних з точки зору медичного застосування // Методичні вказівки для магістрів спеціальності "Радіофізика і електроніка" спеціалізації "Медична радіофізика"- КНУ імені Тараса Шевченка. Київ, 2005. - 52с].

Далі відбирають ряд інформативних параметрів [див. Діагностичні критерії хронічної ішемічної хвороби серця на основі реєстрації та аналізу магнітокардіограм / Будник М., Войтович І., Козловський В. та ін. // Препринт 2002-5, Ін-т кібернетики ім. В.М.Глушкова НАНУ, Київ, -49с.]. Для ілюстрації відібрано два з них - МР і Nst з огляду на те, що розподіл першого близький до гаусового, а другого - має значну асиметрію.

Попередньо обчислюють емпіричні функції ймовірності (ФЙ) груп здорових $F_{кг}(X)$ та хворих на ІХС $F_{хв}(X)$. В реалізації в групи становлять 70 здорових волонтерів (контрольна група - КГ) та 81 хворий на ІХС.

На Фіг.1-2 ФЙ подані пунктиром, відповідно для параметрів МР і Nst, звідки видно, що у даній реалізації, групі здорових відповідає інтервал менших значень параметрів. Перед обчисленням ФН визначають поріг за допомогою точки перетину графіків ФЙ груп - величини MP_{KR} і Nst_{kr} на Фіг.1-2. Ці процедури аналогічні діям, що застосовані в патенті UA 84884 [Спосіб класифікації групи пацієнтів, Будник М., Закорчений О., 2010] і не є предметом даної корисної моделі.

Ідея корисної моделі полягає у вирішенні задачі розділення групи об'єктів на 3 класи за допомогою ФН станів. ФН стану - це поняття, що відрізняється від статистичної ФЙ групи і застосоване у нечіткій логіці. Величина ФН вказує на ймовірність належності певної особи при даному значенні параметра до одного з 3-х станів - нормального, проміжного чи аномального, які у даній реалізації

мають сенс, відповідно, як "здорові", "ризик виникнення ІХС", "хворі на ІХС".

Пропонований спосіб включає 4 етапи обробки: 1) Побудова ФН нормального та аномального станів; 2) Побудова ФН проміжного стану; 3) Визначення меж ПЗ; 4) Синтез ВП з урахуванням ПЗ.

Етап 1.

ФН нормального та аномального станів обчислюють як різниці ФЙ відповідних груп при значеннях параметра, де ця різниця більше нуля, тому що ймовірність за визначенням знаходиться в діапазоні від 0 до 1. Це означає, що ФН нормального стану $\Phi_{НЗд}(X)$ обчислюють як різниця ФЙ здорових і ФЙ хворих в області значень параметра, менших порогу, згідно виразу (8)

$$\Phi_{НЗд}(X) = F_{Зд}(X) - F_{ХВ}(X), \text{ при } X < X_{кр} \quad (8)$$

На противагу цьому, ФН аномального стану $\Phi_{НХВ}(X)$ обчислюють як різницю ФЙ хворих і ФЙ здорових в області значень параметра, більших, порогу згідно виразу (9)

$$\Phi_{НХВ}(X) = F_{ХВ}(X) - F_{Зд}(X), \text{ при } X > X_{кр}. \quad (9)$$

Вирази (8-9) забезпечують монотонну зміну ФН від 1 на краях діапазону значень параметра до 0 при пороговій величині параметра (Фіг.1-2). Інша перевага так введених ФН полягає у тому, що вони не перетинаються, отже нормальному ("здорові") та аномальному ("хворі ІХС") станам відповідають окремі класи об'єктів.

Етап 2.

З огляду на те, що ФН нормального та аномального станів не перетинаються, об'єкт не може одночасно належати обом класам, тобто бути "здоровим" і "хворим" одночасно. Всі такі об'єкти обох навчальних груп тепер відносяться до третього класу, який має назву проміжний стан.

Згідно пропонованої корисної моделі до проміжного стану відносять об'єкти, хибно класифіковані згідно порогового ВП. Тоді ФН проміжного стану визначають як подвоєну ФЙ здорових на інтервалі, де значення параметра менше порогу, та як подвоєну ФЙ хворих на інтервалі, де значення параметра більше порогу.

$$\Phi_{НПР}(X) = \begin{cases} 2 * F_{ХВ}(X), & \text{при } X < X_{кр}, \\ 2 * F_{Зд}(X), & \text{при } X > X_{кр}, \end{cases} \quad (10)$$

Смисл виразу (10) полягає у тому, що величина ФЙ групи на "чужому" (згідно порогового ВП) інтервалі значень параметра рівна ймовірності похибок 1-го чи 2-го роду [див. UA 74466]. ФН проміжного стану наведено на Фіг.3-4, відповідно для параметрів MP і $N_{ст}$. З Фіг.3-4 видно, що вказана ФН максимальна при величині порогу і монотонно

спадає по бокам на інтервалі значень параметра, де має місце перекриття обох навчальних груп.

Етап 3.

Нанесемо на один графік ФН нормального та аномального станів, отримані на Етапі 1, а також ФН проміжного стану, отриману на Етапі 2. В результаті отримаємо ФН всіх станів, приведені на Фіг.5-6, відповідно для параметрів MP і $N_{ст}$. З Фіг.5-6 видно, що ФН проміжного стану перетинається з ФН обох "крайніх" станів.

Згідно виразів (8-10) всі ФН змінюються монотонно, при цьому ФН проміжного стану змінюється у напрямку, протилежному до напрямку двох інших ФН. Звідси витікає, що завжди будуть існувати дві точки перетину вказаних ФН (див. Фіг.5-6).

Суть корисної моделі полягає у застосуванні вказаних точок перетину для вирішення задачі розділення на 3 класи. При цьому їх абсциси визначають дві межі ПЗ. Перша межа, що розділяє проміжний та нормальний стани X_{min} , є абсцисою точки перетину графіків ФН проміжного стану та ФН нормального стану згідно виразу (11)

$$\Phi_{НЗд}(X=X_{min}) = \Phi_{НПР}(X=X_{min}) \quad (11)$$

Друга межа, що розділяє проміжний та аномальний стани X_{max} також є абсцисою точки перетину графіків відповідних ФН згідно виразу (12)

$$\Phi_{НХВ}(X=X_{max}) = \Phi_{НПР}(X=X_{max}) \quad (12)$$

Етап 4.

Обчислення меж ПЗ дає можливість розбити область значень параметра на 3 інтервали: (1) $X < X_{min}$, (2) $X_{min} < X < X_{max}$, (3) $X > X_{max}$ (див. Фіг.5-6). В результаті є змога виявити попадання об'єкту не тільки у небажаний режим (тобто хвороба для людини або несправність для технічного об'єкту), але і в режим, близький до небажаного. Це дає змогу попереджати аномальні стани за рахунок корекції стану об'єкту (профілактика для людини чи регулювання технічного об'єкту).

Для цього необхідно синтезувати ВП, яке включає три висновки про стан об'єкта, тобто відносить його до одного з 3-х класів в залежності від того, в який із 3-х інтервалів значень параметра, визначених на Етапі 3, попадає значення вимірюваного параметру для даного об'єкту.

У даній корисній моделі при діагностиці даного об'єкту за допомогою вимірювання певного параметра і попаданні його значення в 1-й (2-й, 3-й) інтервал робиться висновок про наявність нормального (проміжного, аномального) стану згідно виразу (13)

$$\text{Вирішувальне правило} = \begin{cases} \text{Нормальний стан, якщо } X < X_{min}, \\ \text{Проміжний стан, якщо } X_{min} < X < X_{max}, \\ \text{Аномальний стан, якщо } X > X_{max}, \end{cases} \quad (13)$$

В основній реалізації принцип корисної моделі демонструється на прикладі медичної діагностики. Так, на основі Фіг.5, де вказано межі ПЗ по параметру MP , діагностичне ВП має вигляд (14)

$$\text{Медичний діагноз} = \begin{cases} \text{Здорові особи, при } MP < MP_{min}, \\ \text{Ризик виникнення ІХС, при } MP_{min} < MP < MP_{max}, \\ \text{Хворі на ІХС, при } MP > MP_{max}, \end{cases} \quad (14)$$

Аналогічний вигляд матиме ВП і на основі Фіг.6, де вказано межі ПЗ для параметру N_{ST} . В Таблиці 1 приведено межі ПЗ для ряду інших параметрів, а також для порівняння - відповідні медіани і пороги.

Перевагою пропонованої корисної моделі є те, що запропоновано загальний спосіб, який забезпечує перехід від простого порогового ВП на основі двійкової логіки до більш складного, що застосовує тризначну логіку і враховує наявність проміжного стану при діагностиці стану технічних чи біологічних об'єктів. Це дає змогу сформулювати більш детальний (технічний чи медичний) діагноз, що включає три різні висновки.

Спосіб може бути застосований у медицині для діагностики захворювань на ранній стадії або для масового скринінгу населення, коли ставиться задача виявлення осіб, у яких існує ризик виникнення певної патології. Це корисно з огляду на те, що у таких осіб деструктивні зміни в організмі ще не набули незворотного характеру і можуть бути усунуті профілактичними чи загальмованими вчасними лікувальними заходами.

Також спосіб може бути застосований у техніці для діагностики стану складних технічних пристроїв, програмних систем та програмно-технічних (автоматизованих) комплексів. Пропонований спосіб дозволяє прогнозувати можливість попадання об'єкту у небажаний (нестійкий, неконтрольований, аварійний, непрацездатний, перевантажений та ін.) режим технічного об'єкту. Це корисно, бо дає можливість попереджати входження вказаного об'єкту у небажаний режим чи стан за рахунок

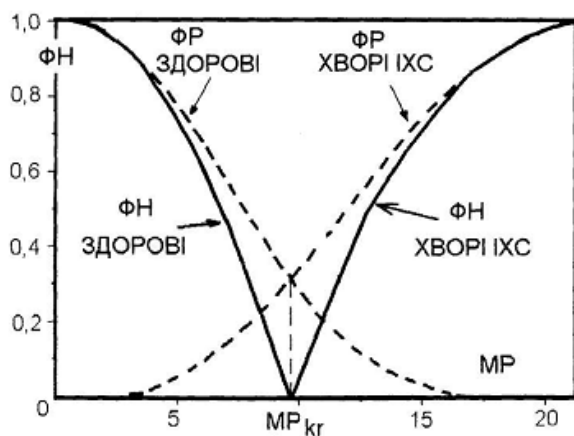
здійснення вчасного його регулювання або зменшення впливу негативних факторів.

Інший технічний результат пропонованого способу полягає у тому, що не потрібно окремої навчальної групи для проміжного стану. Вказану групу обчислюють з двох навчальних груп на основі вилучення з них хибно класифікованих об'єктів.

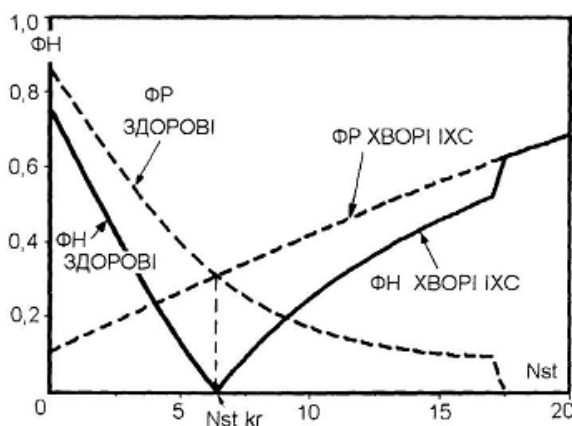
Додатковою перевагою пропонованого підходу є простота обчислень. Межі ПЗ визначають як координати точок перетину 3-х ФН. Однозначність результату забезпечена монотонністю вказаних функцій та її протилежною тенденцією (зростання чи спадання).

В основній реалізації способу застосовано приклад медичних діагностичних параметрів, отриманих в результаті обстежень здорових і пацієнтів, хворих ІХС, але корисна модель цим не обмежений. Даний спосіб може бути застосований до обробки кількісних параметрів, вимірюваних будь-яким іншим методом для визначення стану будь-якого іншого об'єкта. При цьому смисл станів визначається специфікою галузі застосування.

Конкретна реалізація способу у корисній моделі описана детально з метою ілюстрації. Зрозуміло, що на практиці, люди, досвідчені в діагностиці можуть внести деякі зміни і модифікації, які витікають із специфіки певної галузі техніки (наприклад, клінічної ситуації). Проте, якщо ці різні зміни і модифікації зроблені без суттєвих відхилень від даної корисної моделі, вони підпадають під дію даної корисної моделі.



Фіг. 1



Фіг. 2

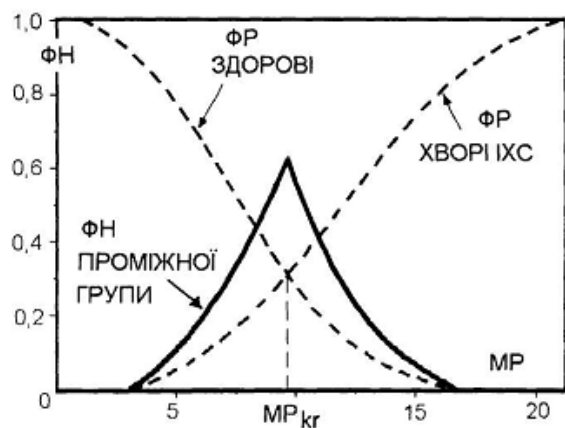


Fig. 3

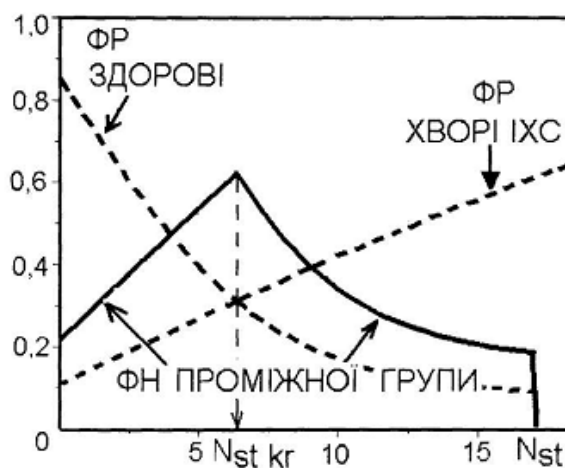


Fig. 4

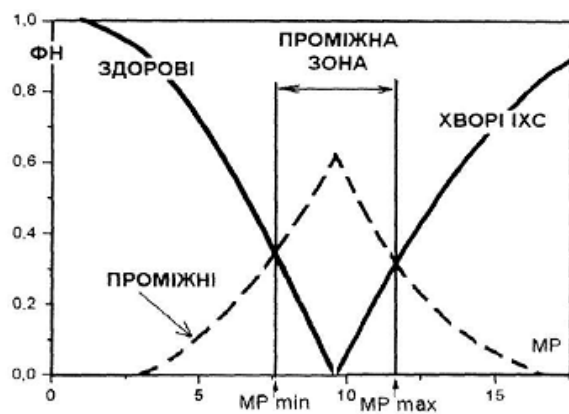


Fig. 5

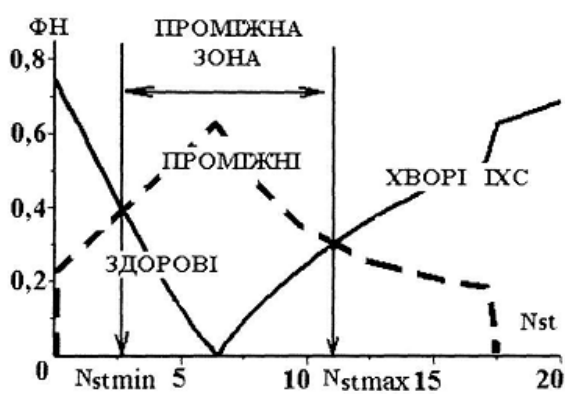


Fig. 6