

Застосування Зростаючої Пірамідальної Мережі для Вирішення Задачі Ідентифікації Людини по її ЕКГ

Віталій Вишневський

Інститут проблем математичних машин і систем
НАН України
Київ, Україна
vit.vizual@gmail.com

Лілія Кізуб

Інститут проблем математичних машин і систем
НАН України
Київ, Україна
lilimmsp@gmail.com

Віталій Величко

Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України
Київ, Україна
velychko@aduis.com.com

Applications of Growing Pyramidal Network for Solving to the Problem of Human Identification with Using Electrocardiogram

Vitaliy Vishnevsky

Institute of Mathematical Machines and
Systems of NASU
Kyiv, Ukraine
vit.vizual@gmail.com

Liliya Kizub

Institute of Mathematical Machines and
Systems of NASU
Kyiv, Ukraine
lilimmsp@gmail.com

Vitalii Velychko

V. M. Glushkov Institute of Cybernetics of NASU
Kyiv, Ukraine
velychko@aduis.com.com

Анотація—У документі розглядається вирішення задачі ідентифікації людини за її електрокардіограмою, з допомогою автоматичного класифікатора. При наявності відповідних ознак – координат точок канонічного сплайну, що апроксимує тривимірну криву QRS - комплексу, з допомогою зростаючих пірамідальних мереж може бути проведена класифікація ЕКГ.

Abstract—In this paper, a solution to the problem of human identification by human's electrocardiogram has been considered with using an automatic classifier. ECG can be classified by the growing pyramidal networks when there are corresponding signs such as coordinates of the canonical spline points which approximate the three - dimensional curve of the QRS - complex.

Ключові слова—електрокардіограма (ЕКГ); зростаюча пірамідальна мережа; ідентифікація людини; QRS-комплекс; вектор ознак

Keywords—electrocardiogram (ECG); growing pyramidal network; human identification; QRS-complex; characteristic vector

I. ВСТУП

Ідеї щодо використання спеціальних методів обробки електрокардіограми в якості біометричної ідентифікації особистості (автентифікації) сформульовані відносно недавно [1-3]. Однак розвиток телемедичних технологій робить ідею такої автентифікації все більш привабливою. Річ у тому, що завдяки тотальному розповсюдженню

смартфонів та мобільного інтернету на фоні стагнації ринку медичних приладів для кабінетів функціональної діагностики, експертами вже зараз фіксується бурхливий розвиток малогабаритних мобільних медичних приладів, зокрема електрокардіографів, що використовуються в концепції мобільної та домашньої телемедицини. Оскільки діагностичні послуги для пацієнта на основі його електрокардіограми (6-ть або 12 відведень) виконуються на відстані, актуальність біометричної ідентифікації (автентифікації) набуває особливого значення, адже навіть для аналізу динаміки змін в кардіосигналі, лікар має бути впевнений, що аналізує сигнал тієї ж самої людини. Не менш актуальною, є вирішення задачі автентифікації з електрокардіограмою і в умовах впровадження страхової медицини та парадигми персоналізованої діагностики.

Отже, ідентифікація (автентифікація) людини за її електрокардіограмою в 6-ти або 12-ти стандартних відведеннях є актуальною саме зараз, на сучасному етапі розвитку мобільних медичних пристроїв, для ефективної організації телемедичних консультацій.

В роботах [4-7] нами наведені алгоритмічні рішення щодо формування системи інформаційних ознак у вигляді керуючих точок параметричного сплайну, які відповідають QRS-комплексу електрокардіограми в трьох ортогональних відведеннях або перших трьох відведеннях. Наступний етап роботи з цією системою ознак повинен використовувати автоматичний класифікатор, який власне і буде проводити ідентифікацію пацієнта. Ця стаття присвячена використанню в якості такого класифікатора «зростаючої пірамідальної мережі».

II. ПІРАМІДАЛЬНА МЕРЕЖА ТА СИСТЕМА CONFOR

Пірамідальною мережею [8] називається ациклічний орієнтований граф, в якому немає вершин, що мають одну дугу, що заходить. Вершини, що не мають дуг, що заходять, називаються рецепторами, інші вершини - концепторами. При побудові мережі вхідною інформацією служать набори значень ознак, що описують деякі об'єкти (матеріали, стани агрегату, ситуації, хвороби). Рецептори відповідають значенням ознак. У різних завданнях це можуть бути імена властивостей, стосунків, станів, дій, об'єктів або класів об'єктів. Концептори відповідають описам об'єктів в цілому і перетинам описів. У початковому стані мережа складається тільки з рецепторів. Концептори формуються в результаті роботи алгоритму побудови мережі.

Концептори мережі відповідають поєднанням значень ознак, що визначають кон'юнктивні класи об'єктів. При включенні вершин в піраміду об'єкту здійснюється прив'язка об'єкту до класів, визначення яких представлені цими вершинами. Таким чином при побудові мережі формуються кон'юнктивні класи об'єктів, тобто здійснюється класифікація без учителя. Класифікуючі властивості пірамідальної мережі мають велике значення для моделювання середовищ і ситуацій. Алгоритм побудови мережі забезпечує автоматичне встановлення асоціативної близькості між об'єктами на основі спільних елементів їх описів. Усі процеси, пов'язані з побудовою мережі, при обробці опису одного об'єкту локалізуються у

відносно невеликій частині мережі - піраміді, що відповідає цьому опису.

Пірамідальні мережі зручні для виконання різних операцій асоціативного пошуку. Наприклад, можна вибрати усі об'єкти, що включають задану множину значень ознак, простежуючи шляхи, що виходять з вершини мережі, яка відповідає цій множині. Для вибірки усіх об'єктів, описи яких перетинаються з описом заданого об'єкту, достатньо простежити шляхи, що виходять з вершин, які утворюють його піраміду.

Важливою властивістю пірамідальних мереж є їх ієрархічність, що дозволяє природним чином відображати структуру складених об'єктів і родовидові зв'язки.

В даній роботі для діагностики і прогнозування використовувалась система CONFOR [9]. В основу системи CONFOR [10] покладено метод індуктивного формування понять (CONcept FORmation), який базується на використанні зростаючих пірамідальних мереж. CONFOR призначений для виявлення знань, виділення закономірностей, властивих даним, використання закономірностей для вирішення задач класифікації, діагностики і прогнозування. Система CONFOR працює в трьох режимах: навчання, розпізнавання, екзамен.

Підсистема навчання здійснює виділення закономірностей (знань) які характеризують класи об'єктів [11]. Вхідними даними для підсистеми навчання служить вибірка для навчання, яка включає приклади об'єктів, що характеризуються різними класами. Кожен клас об'єктів має бути представлений деякою кількістю прикладів, достатнім для того, щоб на підставі їх аналізу була виділена закономірність, що характеризує цей клас. Приклади об'єктів задаються ознаковими описами. Ознаковий опис об'єкту повинен включати ім'я, клас, до якого об'єкт належить, і набір значень ознак, які характеризують об'єкт. Вихідні дані для підсистеми навчання – закономірності які характеризують класи об'єктів.

Процес навчання складається з наступних стадій:

- представлення початкових даних у вигляді пірамідальної мережі;
- формування понять на основі пірамідальної мережі;
- побудова логікових виразів, що відповідають сформованим поняттям.

Блок побудови пірамідальної мережі реалізує першу стадію процесу навчання, коли внутрішнє представлення об'єктів вибірки для навчання перетворюється в пірамідальну мережу.

Результатом роботи CONFOR'a в режимі навчання є узагальнена модель класів об'єктів, що включає найбільш характерні властивості цих об'єктів. Важливою особливістю алгоритму є можливість включати в поняття ознаки, які не належать об'єктам досліджуваного класу. В результаті поняття, сформовані алгоритмом, мають більш досконалу логікову структуру, що дає змогу підвищити точність діагностики та прогнозування.

Підсистема іспиту призначена для тестування якості навчання комплексу. Вхідними даними для підсистеми іспиту служить екзаменаційна вибірка що включає приклади об'єктів, які не увійшли до вибірки для навчання, але відносно яких відомо, до якого класу вони належать. Вихідні дані підсистеми - її відповідь відносно класу, до якого віднесена кожен об'єкт, і статистичні дані про кількість правильних, неправильних і невизначених відповідей підсистеми. Отримані результати зіставляються з інформацією про реальну приналежність об'єктів до відповідних класів, на основі чого можна судити про те, наскільки добре навчений комплекс.

Підсистема розпізнавання призначена для ідентифікації класу до якого належить новий об'єкт.

Вхідними даними для підсистеми розпізнавання є ознакові описи нових об'єктів. Розпізнавання виконується на підставі зіставлення опису нового об'єкту і понять, сформованих на етапі навчання. Вихідні дані підсистеми - її відповідь відносно класу, до якого віднесений об'єкт, що розпізнається.

III. ВИКОРИСТАННЯ ПІРАМІДАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАМ

В нашому дослідженні у режимі навчання вихідними даними для системи являються об'єкти вибірки для навчання – QRS-комплекси, які належать класу, який досліджується (певному пацієнту). Об'єкти вибірки для навчання представляються наборами значення ознак, тобто координатними точками канонічного сплайну, що апроксимує тривимірну криву. У режимах розпізнавання або іспиту вихідними даними є описи пацієнтів, які повинні бути розпізнані.

Для експерименту були зареєстровані електрокардіограми різних людей, функціонально здорових, віком від 25 до 55 років, чоловічої і жіночої статі. Дослідження проводились у різний час доби, пацієнти знаходились у різному емоційному та фізичному стані. Для кожної особи були зареєстровані по 10 електрокардіограм і виділено з кожної від 90 до 100 QRS-комплексів. Відповідно до кожної з ЕКГ отримано вектор ознак.

Вихідні дані у вигляді таблиці об'єкт - властивість було необхідно підготувати для передачі в систему CONFOR. На цьому етапі виконувалась дискретизація даних. Дискретний аналіз розподілень об'єктів на шкалах ознак відіграє важливу роль як процес попередньої обробки інформації в різних задачах атрибутивного аналізу. Щоб виконати будь-яке логікове узагальнення для об'єктів, що описуються числовими ознаками, необхідно вміти відповідати на запитання: на скільки повинні відрізнятися числа, які характеризують деяку ознаку, для того, щоб їх можна було розглядати як одне значення ознаки. Щоб підвищити ефективність методів пошуку логікових закономірностей потрібно спростувати простір ознак, які використовуються для опису об'єктів. Одним з прийомів такого спрощення є використання ознак тільки номінального типу. Для цього діапазони значень числових ознак поділяють на інтервали, що не перетинаються.

Кожному виділеному інтервалу присвоюється індивідуальне ім'я. Таким чином, неперервні шкали числових ознак трансформуються в дискретні, а самі числові ознаки стають номінальними.

Інтервали, які виділяються в результаті дискретизації, повинні в найбільшій мірі характеризувати класи об'єктів, що мають однакові значення цільової властивості, тобто властивості, відносно значень якої досліджуються існуючі функціональні залежності між значеннями інших властивостей об'єктів. Проведення дискретизації не повинно приводити к виникненню нових функціональних залежностей, які відсутні у просторі числових ознак об'єктів. Якщо залежність між значеннями нецільових властивостей та значеннями цільової властивості об'єкта існує, але не задана явно, необхідно щоб така залежність максимально була виявлена на етапі дискретизації. Номінальні ознаки, сформовані в результаті дискретизації шкал нецільових властивостей об'єктів, повинні забезпечувати розділимість об'єктів по їх значенням цільової властивості в просторі номінальних ознак. Наведеним вимогам відповідає алгоритм дискретизації, який розглянемо нижче.

Нехай задана система ознак $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}, n = |A|$, а для кожної з ознак заданий домен D_i - множина значень ознаки A_i . Тоді кожний об'єкт q можна представити множиною $D_q = \{d_i^q \mid d_i^q \in D_i, i \in \overline{1, n}\}$. Для кожної i властивості виконується розбиття діапазону її значень на k інтервалів, рівних за довжиною та отримуємо множину $\tilde{D}_i = \{I_1^{(i)}, I_2^{(i)}, \dots, I_n^{(i)}, \dots, I_k^{(i)}\}, k = |\tilde{D}_i|$.

Для кожного інтервалу $I_n^{(l)}$ по кожній властивості V формується множина ваг $\{w_1^n, w_2^n, \dots, w_j^n, \dots, w_l^n\}$: $w_j^n = \text{Card}\{q \mid d_i^q \in I_n^{(l)}\}, j = \overline{1, l}, l = \text{Card}(V)$ – кількість значень властивості, яка досліджується.

Далі визначається тип кожного з інтервалів $I_n^{(l)}$:

$I_n^{(l)}$ - порожній, якщо для всіх j виконується $w_j^n = 0$;

$I_n^{(l)}$ - чистий, якщо існує одне w_j^n таке, що $w_j^n > 0$;

$I_n^{(l)}$ - змішаний, якщо інтервал не належить до порожнього або чистого.

До кожного не порожнього інтервалу приєднується по обидва боки задану кількість порожніх інтервалів. Інтервали одного типу, які розташовані поруч, об'єднуються. В результаті отримуємо множину інтервалів, на яку поділені значення певної числової ознаки. Дискретизація виділяє найбільш характерні інтервали в розподілах об'єктів на шкалах числових ознак, чим забезпечує компактність логікових виразів, які

формується системою CONFOR для класифікації об'єктів та підвищує якість розпізнавання.

Далі відбувається побудова мережі (рис. 1.), після цього виконується процес формування понять. Під поняттям будемо розуміти елемент системи знань, що представляє собою узагальнену логікову ознакову модель класу об'єктів, за допомогою якої реалізуються процеси розпізнавання.

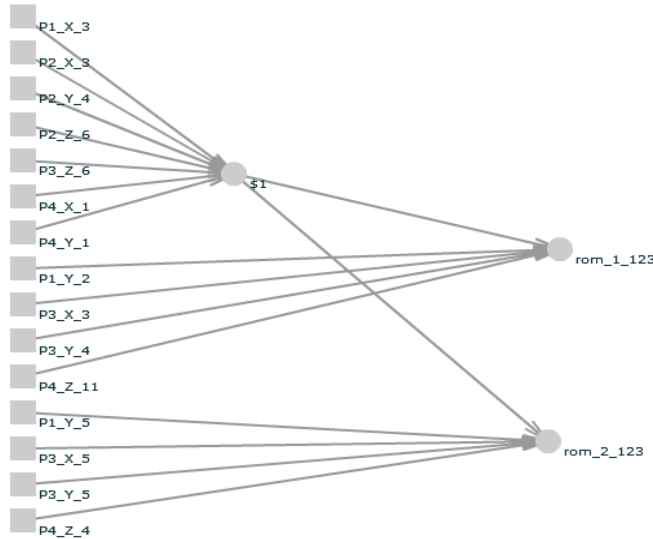


Рис. 1. Фрагмент побудованої пірамідальної мережі

Результатом роботи CONFOR'a в режимі навчання є узагальнена модель класів - пацієнтів, що включає найбільш характерні властивості цих об'єктів. В режимі розпізнавання, використовуючи експериментальні дані, було проведено два варіанти експерименту. В першому експерименті виконувалась попарна класифікація. Одного пацієнта розрізняли з-поміж електрокардіограм другого пацієнта.

Для двох пацієнтів, у яких на вході в систему кількість апроксимованих QRS-комплексів дорівнювала 100 і 100, при попарній класифікації правильно ідентифіковано 100 об'єктів і 90 об'єктів. При класифікації другої пари пацієнтів з такою ж кількістю QRS-комплексів, правильно ідентифіковано всі об'єкти, тобто 100% ідентифікація.

В другому експерименті приймали участь 5 пацієнтів. Кожному з них належало по 10 апроксимованих QRS-

комплексів. За результатами класифікації, всі 5 класів - пацієнтів були розпізнано правильно.

В даний час продовжуються модельні експерименти на великій кількості даних за участю більшої кількості пацієнтів.

IV. ВИСНОВКИ

Використовуючи систему CONFOR, що базується на використанні зростаючих пірамідальних мереж в режимі розпізнавання можливо вирішення завдання - ідентифікація. При наявності відповідних ознак проведено серію експериментів, які показують ефективність застосування цього інструменту в якості класифікатора для електрокардіограм. В проведеному експерименті точність ідентифікації була досить високою.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] L.Fainzilberg, T. Potapova, "Computer Analysis and Recognition of Cognitive Phase Space Electrocardiographic Image", Proceeding of 6th International Conference on Computer analysis of Images and Patterns, Prague, 1995, pp 668-673.
- [2] L. Biel., O. Petersson, L. Philipson, P. Wide, "ECG analysis: a new approach in human identification," IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2001, vol 3, pp. 808-812.
- [3] S. Yogendra Narain, P., "Biometrics Method for Human Identification Using Electrocardiogram," Proceedings of third International Conference, ICB. Alghero, Italy, 2009, pp. 1270-1279.
- [4] V. Vishnevsky, "Telemedicine technologies and scientific research," Ukrainian Journal of Telemedicine and Medical Telematics, 2006. - vol.4, №1, pp. 9-13.
- [5] V. Vishnevsky, "Grid system for mass storage and processing of digital electrocardiograms," Ukrainian Journal of Telemedicine and Medical Telematics, 2013, vol. 11, №. 1, pp. 202-208.
- [6] V. Vishnevsky, V. Kalmykov, T. Romanenko, "Approximation of one-, two- and three-dimensional curves arcs by parametric splines," Mathematical Machines and Systems, 2015, No. 4, pp. 160.
- [7] V. Vishnevsky, T. Romanenko, L. Kizub, "Experimental Verification of Possibility of Human Identification by the Electrocardiogram," Proceedings of 5TH International Conference on Application of Information and Communication Technology and Statistics in Economy and Education, Sofia, Bulgaria, 2015, pp. 318.
- [8] V. Gladun, "Growing pyramidal networks - the organization of memory of intellectual systems," Artificial intelligence, 2003, No. 3, pp. 70-77.
- [9] <http://confor.inhost.com.ua/confor2/>
- [10] The Association of Developers and Users of Intelligent Systems [Online]. Available: <http://www.aduis.com.ua>.
- [11] V. Gladun, V.Velichko, "Instrumental Complex of Decision-Making Support on the Basis of the Network Model of the Subject Object Field," Decision Support Systems. Theory and practice, Kiev, 2012, pp. 128.