

ФІЗИКО-МАТИМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ТЕХНІЦІ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 519.246

Сергій Лупенко

ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ МАТЕМАТИЧНОГО ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СУЧАСНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ КАРДІОМЕТРИЧНИХ СИСТЕМ

На основі аналізу сучасних комп'ютерних кардіометричних систем встановлено тенденції розвитку цих систем та обґрунтовано напрями розвитку їх математичного та програмного забезпечення, що дало змогу сформулювати цілий спектр вимог до нього.

Бурхливий розвиток та впровадження в усі сфери діяльності людини сучасних інформаційних систем та технологій, без сумніву, сприяє підвищенню рівня її життя. Повною мірою це стосується і галузі кардіометрії, що займається розробкою та впровадженням інформаційних технологій для діагностики, прогнозування, аутентифікації, контролю та корекції фізіологічного та психологічного стану людини за сигналами серця. Розробка таких інформаційних кардіометричних систем дає змогу суттєво інтенсифікувати процедуру діагностики, прогнозування та аутентифікації стану людини, відкриває можливість проведення комп'ютерних імітаційних експериментів. Вагомим аргументом на користь використання таких систем є підвищення рівня об'єктивності та достовірності аналізу сигналів серця, а саме, аналіз людиною-експертом дуже часто зумовлений природними обмеженнями сприйняття, помилками, що виникають внаслідок втоми та розсіювання уваги, відмінністю у досвіді різних експертів.

Важливим етапом проектування інформаційних кардіометричних систем є створення адекватного та ефективного їх математичного та програмного забезпечення. Якість математичного забезпечення кардіометричних систем суттєво визначає точність та достовірність методів опрацювання кардіосигналів, зумовлює рівень інформативності та репрезентативності діагностичних (аутифікаційних, прогностичних) ознак, впливає на достовірність прийнятих рішень та, певною мірою, зумовлює структуру програмної та апаратної складових проектованої кардіометричної системи.

Метою даної роботи є, на основі аналізу напрямів розвитку сучасних інформаційних систем діагностики, прогнозування, аутифікації, контролю та корекції фізіологічного та психологічного стану людини за сигналами серця, сформулювати вимоги до їх математичного та програмного забезпечення.

На даний час існує велика кількість різних за призначенням, функціями, інформативністю, точністю, достовірністю, математичним, програмним та апаратним забезпеченням інформаційних систем діагностики, прогнозування та аутифікації за циклічними кардіометричними сигналами. Залежно від умов та завдань дослідження, умовно можна виділити такі класи кардіометрії:

- кардіометрія в умовах стаціонару та в амбулаторних умовах,
- кардіометрія у стані спокою людини (пацієнта) та кардіометрія при навантаженнях людини (пацієнта) (фізичних, психологічних, дія препаратів),
- експрес-кардіометрія та комплексна багатфункціональна кардіометрія,
- кардітелеметрія — застосування телеметричних технологій у задачах кардіометрії, наприклад, телемедицина (біометрія в амбулаторних умовах) та популяційні біометричні дослідження із використанням метакомп'ютингу, зокрема, грид-технологій,
- кардіометрія за типом вимірюваних біологічних сигналів: електрокардіометрія, магнітокардіометрія, механокардіометрія, фотокардіометрія, наприклад, фотоплетизмокардіометрія.

Коротко розглянемо відомі інформаційні системи діагностики, прогнозування та аутифікації за циклічними біометричними сигналами.

Залежно від фізичної природи кардіосигналів та методів їх реєстрації у кардіодіагностичних інформаційних системах використовуються такі циклічні сигнали серця як електрокардіосигнали, магнітокардіосигнали, фонокардіосигнали, ехокардіосигнали, сфигмокардіосигнали, фотоплетизмокардіосигнали, реокардіосигнали та інші. На ринку існує багато різних за призначенням, функціями, інформативністю, програмним та апаратним забезпеченням кардіодіагностичних систем. Це, зокрема, такі системи як «КАРДІОЛАБ СЕ», «CARDIOLAB+», «СТРЕС-ТЕСТ», «КАРДІО+», «АНКАР-131», «ВАЛЕНТА ЭКГ», «КАРДІОЛАБ+ФОНО», «СФЕРА-4», «КАРДИО+», «ВАЛЕНТА ФКГ», «РЕОКОМ STANDARD», «РЕАНПОЛИ», «МИЦАР-РЕО», «ВАЛЕНТА РЕО», «MFI APOLLO CXS», «MCG1», «КАРДИОСЕНС АД», «FUKUDA DENSHI CARDIMAX FX326».

Сучасні дослідження серед множини різних методів кардіодіагностики встановили найбільш інформативні. Такими високоінформативними методами є електрокардіографічні, ехокардіографічні, магнітокардіографічні, ритмокардіографічні, сфигмокардіографічні та реокардіографічні методи дослідження серцево-судинної системи та функціонування організму людини загалом.

Як зростання кількості пацієнтів, так і тривалий час дослідження роботи серця призводять до нагромадження даних, що ускладнює їхню обробку та зберігання. Використання телемедицинських сервісів на основі грид-технологій дозволяє в короткі проміжки часу опрацьовувати біометричні дані та забезпечує необхідні обсяги пам'яті на їх збереження. Телемедицина — напрямок медицини, який передбачає використання новітніх інформаційних технологій обробки та передачі даних задля віддаленого консультування, діагностування та терапії [1], а також обміну медичною інформацією. На сьогодні розробкою медичних грид-систем займається значна кількість країн. Із впроваджених медичних грид-систем варто відзначити Medical Grid, Health-e-Child, ACGT, EUMedGrid, SHARE, Infogenmed, CDSS, gPTM3D, BioGRD та інші. Стосовно України слід відзначити проект «Медична Грид-система для популяційних досліджень в галузі кардіології на базі даних електрокардіограм»

(<http://medgrid.immsp.kiev.ua>), основною метою якого є накопичення та інтелектуальна обробка даних ЕКГ обстежень по всій території України, а також Український Академічний Грід, що є національною грід-мережею та передбачає використання в медичній галузі.

З використанням грід-середовища в телемедицині стало можливим нагромадження великих об'ємів даних медичної інформації, що дає змогу проводити популяційні дослідження, навчання спеціалістів, розробку систем підтримки прийняття рішень та порівняння точності й достовірності діагностичних методів. Грід означають як узгоджене, відкрите і стандартизоване середовище, що забезпечує гнучкий, безпечний та скоординований розподіл ресурсів у рамках віртуальної організації [2, 3], де в ролі ресурсів виступають обчислювальні, інформаційні, мережеві ресурси, а також ресурси збереження даних. Значною перевагою грід є додатковий рівень віртуалізації, що забезпечує користувачам лише інформацію про доступний ресурс і не змушує їх заглиблюватись у технологічні аспекти.

До типових недоліків існуючих кардіометричних систем слід віднести такі:

1. Недостатня точність, достовірність (згідно зі статистикою до 20 % діагнозів є неадекватними), інформативність автоматизованої діагностики, аутентифікації, прогнозу.

2. Недостатній розвиток інформаційних систем і технологій сумісної (паралельної) обробки та імітації сукупностей взаємопов'язаних кардіосигналів, які характеризуються спільною ритмічною структурою, що ускладнює розробку інформаційних систем комплексної діагностики, аутентифікації, прогнозу.

3. Недостатній рівень розбудови загальних методів та програмних засобів імітації циклічних сигналів серця, які б, шляхом проведення процедури параметричної ідентифікації, давали змогу керувати характеристиками морфологічного характеру та характеристиками ритму широкого класу імітованих кардіосигналів та забезпечували б необхідний рівень точності та достовірності імітації.

4. Незважаючи на подібність просторово-часової структури

кардіометричних циклічних сигналів, має місце неузгодженість підходів, моделей та методів опрацювання різних за природою циклічних кардіометричних сигналів.

5. Завдання діагностики, прогнозу та аутентифікації за одними і тими ж кардіосигналами вирішуються, виходячи із різних принципів, моделей та методів.

6. Наявність ряду суперечностей та неузгодженостей в інтерпретації опрацьованих кардіосигналів, що зумовлено значним різноманіттям стандартів (методів) їх аналізу та особливостями різних медичних наукових шкіл, зокрема, неоднозначністю трактування багатьох фундаментальних понять у кардіографії, що суттєво ускладнює розробку алгоритмів автоматизованого аналізу кардіосигналів.

Наведені вище недоліки спричиняють і визначають напрями розвитку та вимоги до математичного і програмного забезпечення сучасних інформаційних кардіометричних систем діагностики, прогнозування та аутентифікації. Їх математичне та програмне забезпечення повинно задовольняти вимогам, переліченим нижче.

Група вимог інформативності: а) забезпечувати регулювання необхідного рівня інформативності обробки циклічних біометричних сигналів у широкому діапазоні за рахунок наявності засобів адаптації до вимог стосовно роздільної здатності по їх дискретизації та квантуванню (експрес-діагностика за 1-2 відведеннями ЕКГ, стандартний аналіз ЕКГ за 12-ма відведеннями, аналіз ЕКГ високої та надвисокої роздільної здатності), а також за рахунок адаптації до необхідної кількості каналів реєстрації біометричних сигналів (ЕКГ та МКГ картування, дисперсійне картування, векторкардіографія, дипольна електрокардіотопографія, комплексний сумісний аналіз за сукупністю синхронно зареєстрованих біометричних сигналів електричної, магнітної та акустичної природи); б) забезпечувати високий рівень інформативності (детальності) аналізу серцевого ритму, а саме, аналіз тривалостей не лише R-R-інтервалів, але й тривалостей дрібніших сегментів серцевого циклу: тривалостей зубців Р та Т, QRS-комплексу, тривалості інтервалу QT і т.п. із використанням сучасних напрацювань у галузі теорії випадкових

процесів та нейромережових технологій; в) мати засоби запровадження нових типів діагностичних, прогностичних та аутентифікаційних ознак біометричних циклічних сигналів, які не впливають із лікарської практики, є прихованими для безпосереднього візуального спостереження за сигналом; г) в системах автоматизованого аналізу ЕКГ методи обробки та прийняття рішень повинні враховувати відомості з інших джерел (вік, стать, конституція тіла, скарги хворого, особливості перебігу захворювання, відомості про біомеханічні властивості серця і т.п.), які не містяться безпосередньо в аналізованих циклічних сигналах, але які обов'язково враховуються лікарем при інтерпретації сигналів; д) мати засоби для розширення сфери застосування відомостей, що отримані опрацюванням циклічних сигналів серця, на діагностику та прогноз стану не лише серцево-судинної системи, а й інших систем організму та організму людини в цілому (діагностика та прогноз регуляторних механізмів організму людини; психологічне тестування, моніторинг та контроль).

Група вимог точності та достовірності обробки: а) мати засоби адаптації до змін ймовірнісних характеристик шумів, наводок, що містяться в методах попередньої фільтрації та виділення тренду біометричних сигналів; б) мати засоби адаптації до змін ритму та морфологічної структури циклічних сигналів, що містяться в методах розбиття (сегментації) на статистично однорідні сегменти довготривалого сигналу; в) для підвищення точності, достовірності та зменшення обчислювальної складності методів та алгоритмів біометрії, для порівняння за цими ознаками існуючих методів. Ці методи та алгоритми необхідно апробувати на великій за обсягом вибірці реальних біометричних сигналів, що відповідають певним станам людини (пацієнта). Технологічно це можна зробити шляхом створення та експлуатації загальнодержавної, загальноєвропейської, світової електронної розподіленої інформаційної системи біометричних досліджень, реалізація якої можлива за рахунок використання засобів метакомп'ютингу, зокрема, прогамних та апаратних засобів грид-середовища.

Вимога багатозадачності: бути придатним для використання у

завданнях діагностики, прогнозу та аутентифікації за циклічними сигналами. Бути придатним для використання у задачах експрес-аналізу, діагностик та прогнозу стану в умовах стаціонару, в задачах телемедицини та популяційних досліджень, як у стані спокою, так і при фізичних, психологічних та фармакологічних навантаженнях пацієнта.

Вимога паралелізму: бути придатним для проведення аналізу біометричних циклічних сигналів у паралельних та розподілених обчислювальних засобах, а саме, розроблене математичне та програмне забезпечення повинно бути адаптоване до реалізації на базі обчислювальної кластерної системи з можливістю реалізації у грід-середовищі, що забезпечить високу обчислювальну продуктивність функціонування інформаційних систем діагностики та аутентифікації людини за циклічними біометричними сигналами і, як наслідок, уможливить опрацювання значного обсягу даних, що мають місце при проведенні комплексної кардіодіагностики в стаціонарних умовах, в задачах телемедицини та популяційних досліджень у грід-середовищі.

Вимога доступності: математичне та програмне забезпечення повинно бути доступним, мати невисоку собівартість, що зумовлює його проектування із використанням відкритого програмного забезпечення та реалізації на недорогому апаратному забезпеченні із залученням обчислювальних ресурсів грід-середовища.

Вимога кросплатформенності: програмне забезпечення повинно бути придатним до використання на різних апаратних (Intel, AMD, IBM) та програмних платформах (Windows, Linux, Unix, Mac OS).

Висновки та напрями подальших наукових досліджень.

На основі аналізу сучасних комп'ютерних кардіометричних систем, виявлено тенденції розвитку цих систем та обґрунтовано напрями розвитку їх математичного та програмного забезпечення, що дало змогу сформулювати цілий спектр вимог до нього. Відзначено важливу роль метакомп'ютингу, а саме, програмно-апаратних засобів грід-середовища, оскільки обсяг кардіометричних даних та складність їх

опрацювання (обчислень) є надвеликою. Це обґрунтовує актуальність запровадження телебіометрії, телемедицини, популяційних досліджень, що потребує створення єдиного інформаційного середовища та відповідного йому математичного та програмного забезпечень, на що вказують ряд вітчизняних та закордонних наукових публікацій, функціонування ряду програм та дослідницьких проєктів.

Література

1. Norris A.C. Essentials of telemedicine and telecare / A. C. Norris. — John Wiley and Sons, 2002. — p. 177.
2. Foster I. The anatomy of the grid: enabling scalable virtual organizations / I. Foster, C. Kesselman, S. Tuecke // International Journal of High Performance Computing Applications. — 2001. — vol. 15 (3), pp. 200–222.
3. Foster I. A security architecture for computational grids / I. Foster, C. Kesselman, G. Tsudik, S. Tuecke // Proc. 5th ACM Conference on Computer and Communications Security Conference, 1998. — pp. 83–92.

Serhiy Lupenko

MODERN COMPUTERIZED CARDIOMETRIC SYSTEMS: TRENDS OF MATHEMATICAL BASIS AND SOFTWARE DEVELOPMENT

On the basis of modern computerized cardiometric systems analysis the trends of development in this field are pointed out. Direction of prospective development of mathematical basis and software are characterized. This enabled the formulation of specifications for specialized software.