

Оброблення, кодування і передавання інформації в мережах дистанційного та тривалого моніторингу ЕКС великої кількості людей

Богдан Шевчук, Валерій Задірака, Назар Круцкевич, Юрій Піговський, Сергій Фраєр

Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України
incors@ukr.net

Анотація

Описана інформаційна технологія організації тривалого (добового) моніторингу ЕКС та інших сигналів великої кількості людей в межах території населених пунктів, промислових та сільськогосподарських регіонів. Основу технології утворюють портативні радіохолтери, побудовані на базі інтелектуальних радіомодулів сенсорних мереж, а також засоби ретрансляції пакетів даних в центральну базу даних. Для оперативного виявлення та передавання паталогічних (найбільш інформативних) ділянок ЕКС процесори радіохолтерів виявляють достовірні суттєві відліки ЕКС, визначають інформаційні характеристики послідовностей комплексів QRS і на основі отриманих даних визначають характерні порушення ритмічності роботи серця.

1. Вступ

На сьогоднішній день серед розповсюджених захворювань населення України лідерство належить серцево-судинним захворюванням. При цьому спостерігається стійка тенденція до “омолодження” віку працездатних осіб, що вражені серцево-судинними захворюваннями, а значна частина чоловічого населення не доживає до пенсійного віку. Тому надзвичайно важливою проблемою українського суспільства є організація медичного (кардіологічного) огляду жителів міст і сіл України, виявлення потенційно хворих осіб, особливо – на ранніх стадіях захворювання, та здійснення своєчасної профілактики серцево-судинних захворювань населення. Основою для ефективної реалізації кардіомоніторингу великої кількості людей є телемедичні системи та комп’ютерні мережі, побудовані на основі інтелектуальних мережевих пристроїв з радіозв’язком. Важливою складовою побудови комп’ютерних мереж дистанційного моніторингу електрокардіосигналів (ЕКС) великої кількості людей є алгоритми функціонування мережевих пристроїв введення, оброблення, кодування та передавання інформації. Мова йде про ефективну реалізацію багатofункціональної обробки та кодування ЕКС в переносних пристроях довготривалого моніторингу ЕКС, компактного кодування і формування захищених та завадостійких даних, що підлягають передачі по каналах зв’язку з шумами. Розглянемо комплекс проблем, пов’язаних з побудовою переносних інтелектуальних пристроїв довготривалого моніторингу ЕКС, реалізації алгоритмів оперативної обробки і кодування даних моніторингу, оптимізованих за точністю та швидкодією обробки даних, формування і передавання криптистичних

та завадостійких пакетів інформації, що передаються в локально-регіональних радіомережах моніторингу ЕКС.

2. Методологічні, алгоритмічні та технологічні основи реалізації тривалого моніторингу ЕКС

Сучасний рівень розвитку мікрокомп’ютерів (мікропроцесорів, мікроконтролерів, сигнальних процесорів), мікропотужних засобів радіозв’язку, мережевих засобів ретрансляції пакетів даних на великі відстані забезпечує умови для реалізації дистанційного моніторингу ЕКС одночасно від великої кількості контрольованих осіб. Важливим завданням організації масового кардіомоніторингу населення міст і сіл є своєчасне виявлення прогресуючих порушень в роботі серця людини без відриву від виробництва, без зміни звичного ритму життя (відпочинку, праці, сну) контрольованих осіб з урахуванням доступності за вартістю мережевих засобів та послуг тривалого дистанційного моніторингу ЕКС великої кількості людей. Для цього необхідно розробити та впровадити портативні програмно-апаратні засоби дистанційного та довготривалого (добового) моніторингу ЕКС людини, аналогічні до переносних холтерівських кардіологічних пристроїв, що доповнені мережевими безпроводовими засобами зв’язку (холтерівські пристрої забезпечують введення та тривале накопичення ЕКС на електронний носій – флеш-пам’ять). При цьому первинні біомедичні сигнали накопичуються у флеш-пам’ять, а оперативно виявлені найбільш інформативні фрагменти та ділянки моніторингових сигналів (ЕКС, сигналу дихання, біомеханічних сигналів та ін.) передаються з незначними затримками в центральну базу даних моніторингової мережі. Доцільність добового моніторингу ЕКС людини пояснюється високою інформативністю таких записів ЕКС. В порівнянні з традиційним електрокардіографічним обстеженням людини, коли реєструються 12 стандартних відведень ЕКС, тривалістю декілька кардіоциклів (як правило, 3-5 сек), холтерівський моніторинг ЕКС дозволяє лікарям на ранніх стадіях захворювання пацієнта виявити скриті (рідкісні, найбільш інформативні) порушення роботи серця людини, які не реєструються стандартними обстеженнями (тобто необхідно неперервно реєструвати ЕКС на протязі тривалого часу). Виявлені та оперативно передані по радіоканалам найбільш інформативні фрагменти добових ЕКС дозволять черговим кардіологам вчасно надати необхідну медичну допомогу віддаленим кардіологічним хворим. Як правило, комп’ютер чергового кардіолога відслідковує стан багатьох пацієнтів. Таким чином

реалізація оперативного дистанційного моніторингу ЕКС великої кількості людей дозволить значно підвищити якість здоров'я працездатних осіб, продовжить активний період життя осіб середнього та старшого віку.

Ланка введення, оброблення та передавання моніторингових даних має вигляд: пацієнт (i -й пацієнт) – носимий мережевий пристрій (радіохолтер) – засоби ретрансляції моніторингових даних – центральна база даних – комп'ютер чергового кардіолога, $i = 1, \dots, n$, n – максимальна кількість осіб, що підлягають моніторингу. На рис. 1 наведена структура мережі дистанційного кардіомоніторингу великої кількості людей. Оскільки швидкість передачі даних в сенсорних та локально-регіональних радіомережах досягає сотні Кбіт/с і більше, то величина n є достатньо великою (тисячі-десять тисяч осіб).

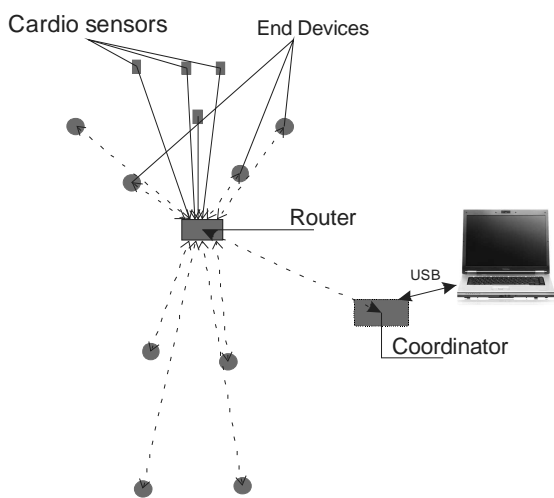


Рис.1. Структура мережі дистанційного кардіомоніторингу великої кількості людей.

Основу портативного радіохолтера утворюють радіомодуль з мікроконтролером (в найпростішому випадку, наприклад, радіомодуль IEEE 802.15.4 ZigBee, JenNet Jn5139 компанії Jennic, більш високопродуктивний радіохолтер - мікроконтролер ADuC7061 компанії Analog Devices (AD) спільно з радіомодулем Jn5139). Окрім 2-3-х ЕКС, сигналу дихання (по суті, це – ЕКС, обвідна якого чутлива до дихальних рухів грудної клітки людини за рахунок відповідного розміщення електрокардіографічних електродів) доцільно також реєструвати та передавати біомеханічні сигнали, наприклад, вихідні сигнали датчиків-акселерометрів. Можливе введення та передавання 6 або 12 відведень ЕКС.

Передавання даних кардіомоніторингу від великої кількості людей (сотні-тисячі контрольованих осіб) в межах території населених пунктів ґрунтується на поєднанні та взаємодії програмно-апаратних засобів сенсорних радіомереж і мереж ретрансляції даних в локальні, регіональні та глобальні комп'ютерні мережі (Ethernet, Internet та ін.). Важливо на контрольованих особах розмістити мікропотужні інтелектуальні радіомодулі (радіоприйомопередавачі), забезпечивши

екологічно чисту радіопередачу даних (без шкідливого впливу на пацієнта, на медичну діагностичну апаратуру, на стан інших осіб). Сучасний розвиток мікроелектроніки та процесорної техніки призвів до появи інтелектуальних радіомодулів ISM-діапазону частот (ISM – industrial, scientific, medical: 433 МГц, 868 МГц, 902-928 МГц (для США), 2.4 ГГц) з потужністю радіопередавачів – десятки мВт. В залежності від умов радіовидимості моніторингові дані від рухомих пацієнтів передаються на десятки-сотні метрів, а засобами ретрансляції, розміщених у відповідних місцях, дані моніторингу передаються на абонентські системи стаціонарних комп'ютерних мереж. Серед інтелектуальних радіомодулів доцільно виділити модулі ZigBee-сенсорних мереж компанії Jennic (JN5148, JN5139), Freescale (MC13224V та ін.), Texas Instruments (TI) (Chipcon – CC2500, CC2530), радіомодулі компаній SEMTECH (Xemics – DP1203F), Telit, Telecontrolli та ін., доповненими високопродуктивними та мікропотужними мікроконтролерами відомих компаній. Серед засобів ретрансляції даних моніторингу можливо використати: розгалужені мережі (mesh-мережі) стандарту ZigBee; мережі стандартів Wi-Fi, WiMAX; засоби мобільних мереж GSM, CDMA та ін.; радіомодулі ISM-діапазону частот з направленими антенами.

3. Методи та засоби оброблення, кодування та передавання даних в мережах тривалого моніторингу ЕКС

В процесі тривалого кардіомоніторингу сигнали з електродів подаються на спеціалізовані холтеровські підсилювачі ЕКС, наприклад, компанії AD або TI, які засобами мікроконтролера перетворюються у відліки, які в свою чергу, підлягають накопиченню у флеш-пам'ять. В найпростішому випадку, при використанні інтелектуальних радіомодулів стандарту ZigBee, моніторингові дані накопичуються на електронний носій, а при виході ритму серця за допустимі межі – відповідні фрагменти ЕКС передаються з швидкістю 250 Кбіт/с. В більш продуктивних радіохолтерах доцільно організувати фільтрацію-стиск ЕКС [1,2] з контрольованими втратами (для мінімального спотворення обвідної ЕКС частоту введення сигналів вибирають достатньо високою, а вікно усереднення при ковзкій фільтрації бажано вибрати адаптивним), оперативне компактне кодування масивів даних, захист та завадостійке кодування інформаційних кадрів пакетів даних, формування та передавання мінімізованих по тривалості криптостійких та завадостійких пакетів даних [1]. Для реалізації оперативної обробки ЕКС здійснюють ковзке згладжування відліків сигналів, визначають суттєві відліки обвідної сигналів, включаючи екстремуми (на основі аналізу змін знаку поточної різниці $\Delta X_i^\phi = X_i^\phi - X_{i-1}^\phi$ між сусідніми відліками попередньо відфільтрованого сигналу, де X_i^ϕ – поточний відлік відфільтрованого сигналу) та точки перегину (на основі аналізу змін знаку поточної різниці $\Delta(\Delta X_i^\phi) = \Delta X_i^\phi - \Delta X_{i-1}^\phi$ між сусідніми приростами попередньо відфільтрованого сигналу), а також усереднене співвідношення сигнал/шум в околі

суттєвих відліків (на основі обчислення величини $\Delta X_i^{uu} = |X_{ics}^{cp} - X_i^{sym}|$, де X_{ics}^{cp} – усереднене значення вхідних відліків в околі суттєвого відліку X_i^{sym}). На основі аналізу величин $\Delta X_i^{uu} \leq \Delta X_{дон}$ приймають рішення про достовірність поточного локального відрізка сигналу, на якому здійснюють пошук відповідних комплексів та інтервалів ЕКС і в першу чергу – комплексів QRS та RR-інтервалів. Шляхом обчислення інформаційної характеристики [1]

$$I = \sum_{d=1}^r |\Delta X_{sym}^d|$$

на попередньо заданому відрізку достовірного ЕКС визначають характерні типи комплексів QRS та поточні величини RR-інтервалів, де

$|\Delta X_{sym}^d| = |X_{sym}^d - X_{sym}^{d-1}|$ – модуль різниці між

амплітудними значеннями сусідніх суттєвих відліків, $P_0 \leq |\Delta X_{sym}^d| \leq P_1$, P_0 , P_1 – попередньо задані

порогові величини, $d = 1, \dots, r$ – кількість відліків поточного відрізка ЕКС. В результаті обробки послідовності інформаційних характеристик виявлених достовірних комплексів QRS можливо оперативно визначити характерні порушення ритмічності роботи серця. Відповідно, ділянки ЕКС, на яких виявлені патологічні зміни в роботі серця (наявність екстрасистол, паталогічних комплексів QRS, PQRS, PQRST та ін.), виділяються та передаються засобами сенсорних і локально-регіональних мереж в центральну базу даних моніторингової мережі. При використанні засобів високопродуктивного радіохолтера криптозахист накопичених масивів даних та масивів, що підлягають оперативній передачі, здійснюється з використанням шифрів з одноразовим ключем [1], а завадостійке кодування інформаційних кадрів пакетів даних, які передаються сенсорними та локально-регіональними радіомережами, доцільно здійснювати на основі реалізації рекурсивного кодування даних інформаційних кадрів з використанням кодів поля Галуа та шляхом формування сигнальних коректуючих послідовностей, які передаються в каналах зв'язку з шумами [5]. Виявлення помилок на прийомній стороні ґрунтується на виконанні абонентом-передавачем біт-орієнтованої нумерації послідовності нулів і одиниць, які передаються за допомогою кодових послідовностей Галуа. При виявленні помилок рекурентним шляхом визначається місцезнаходження того символу, який потребує виправлення. Даний спосіб завадостійкого кодування не вимагає формування додаткових перевіркових кодів і характеризується швидкодіючим кодуванням та декодуванням даних на сигнальному рівні.

На рис. 2, 3 наведений зовнішній вигляд процесорної плати радіохолтера та автономний пристрій (сервер) зберігання та ретрансляції даних кардіомоніторингу з використанням ZigBee-мереж та GSM-мереж мобільного зв'язку.

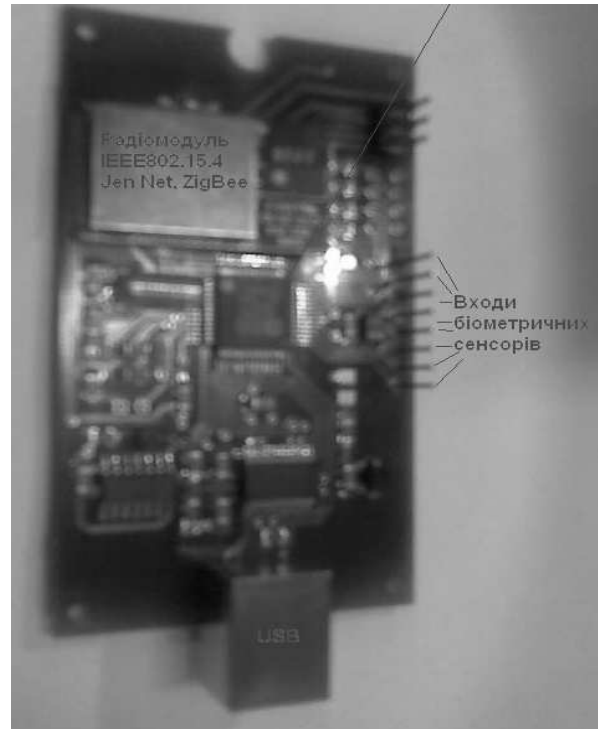


Рис. 2. Процесорний модуль радіохолтера.

4. Висновки

На першому етапі реалізації експериментальної мережі дистанційного та довготривалого (добового) моніторингу ЕКС великої кількості людей в межах території населених пунктів доцільно використовувати інтелектуальні ZigBee-радіомодулі. Реалізація безпроводної мережі з використанням технології ZigBee забезпечує високу надійність та живучість мережі кардіомоніторингу, оскільки дана технологія забезпечує утворення різних шляхів доставки пакетів даних в центральну базу даних від рухомих абонентів мережі. Реалізація багатфункціонального оброблення та кодування моніторингових даних процесорами радіохолтерів дозволить оптимізувати процес нагромадження та передавання інформації засобами моніторингової мережі, при цьому за рахунок стиснення відліків ЕКС та ін. біомедичних і біомеханічних сигналів з контрольованими втратами, а також реалізації оперативного компактного кодування масивів даних безпосередньо на об'єктах моніторингу досягається збереження енергії автономного акумулятора кардіохолтера за рахунок зменшення об'єму даних, що підлягають накопиченню у флеш-пам'яті (мінімізується кількість звернень до енерговитратної (в момент запису) пам'яті), та зменшення часу роботи радіопередавача при передачі компактних пакетів моніторингових даних. Слід зазначити, що в процесі формування пакетів даних також здійснюється компактне кодування даних без втрат, що приблизно в 1.6-2 рази підвищує швидкість передачі даних в сенсорних мережах та зменшує час роботи радіопередавачів інтелектуальних радіохолтерів. Все це призводить до збільшення часу тривалого кардіомоніторингу пацієнтів з урахуванням

обмеженого заряду акумуляторів кардіохолтерів. На основі реалізації експрес-аналізу ЕКС засобами радіохолтерів забезпечується оперативна доставка в

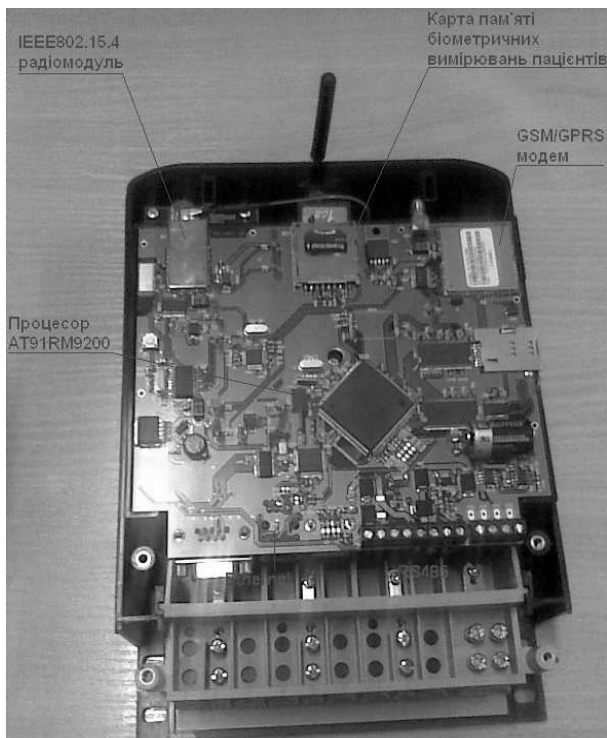


Рис. 3. Сервер зберігання та ретрансляції кардіомоніторингових даних.

центральну базу даних діагностичної інформації про поточний стан серцево-судинної системи віддалених пацієнтів. Для ретрансляції оперативної діагностичної інформації на великі відстані можливо використати різноманітні безпроводові засоби та мережі зв'язку, при цьому в залежності від дальності зв'язку та території, яка охоплюється зв'язком, необхідно планувати відповідні витрати на експлуатацію апаратури ретрансляції моніторингових даних. В найпростішому випадку доцільно використовувати засоби ретрансляції в ISM-діапазоні частот в зоні тривалого перебування контролюючих осіб (вдома, на роботі, в зонах

відпочинку, в клініках і т.д.). Запропонована технологія дистанційного, тривалого та оперативного кардіомоніторингу великої кількості людей створює умови для здійснення економічно вигідної діяльності (за помірну оплату населенню міст і сіл можуть надаватись відповідні послуги) та дозволить зберегти і продовжити активне життя багатьом жителям України.

5. Література

- [1] Шевчук Б.М., Задірака В.К., Гнатів Л.О., Фраєр С.В. Технологія багатофункціональної обробки і передачі інформації в моніторингових мережах. –К.: Наук. думка, 2010. – 370 с.
- [2] Шевчук Б., Фраєр С. Ефективні методи фільтрації-стиску сигналів і зображень для побудови пристроїв і систем тривалого моніторингу станів об'єктів/ Оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів: Восьма Всеукр. міжнар. конф. – Київ: Укр. асоц. з обробл. інформ. та розпізн. образів, 2006. – С. 143-146.
- [3] Шевчук Б.М. Оптимізація процесів введення і оперативного оброблення сигналів в комп'ютерних мережах дистанційного моніторингу станів об'єктів дослідження і керування // Оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів : VII Всеукр. між нар. конф. – К.: Укр. асоц. з обробл. інформ. та розпізн. образів, 2004. – С. 263 – 266.
- [4] Шевчук Б., Фраєр С., Горін Ф. Методи фільтрації і стиску електрокардіосигналів для побудови систем та пристроїв довготривалого моніторингу стану серцево-судинної системи організму людини/ Оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів: Сьома Всеукр. міжнар. конф. – Київ: Укр. асоц. з обробл. інформ. та розпізн. образів, 2004. – С. 267-270.
- [5] Николайчук Я.М., Воронич А.Р., Гринчишин Т.М. Теоретичні основи, принципи формування та передавання інформації на основі сигнальних коректуючих кодів// Матеріали проблемно-наук. міжгалуз. конф. “Інформаційні проблеми комп'ютерних систем, юриспруденції, економіки та моделювання” (ПНМК-2010). – Бучач: Бучачський ін-т менеджменту і аудиту, 2010. – С. 41-48.