Wearable Health Devices

Носимі медичні пристрої

## Вступ

Носимі медичні пристрої (Wearable Health Devices, WHD) все більше допомагають людям краще контролювати стан свого здоров’я як на рівні фітнесу для відстеження самопочуття, так і на медичному рівні, надаючи більше даних клініцистам з потенціалом для ранньої діагностики та призначення лікування. Технологічна революція в мініатюризації електронних пристроїв дає змогу розробляти більш надійні та адаптивні пристрої для носіння, що сприяє глобальним змінам підходу до моніторингу здоров’я.

Носимі медичні пристрої – це нова технологія, яка дозволяє безперервно амбулаторно контролювати життєво важливі показники людини в повсякденному житті (під час роботи, вдома, під час спортивних занять тощо) або в клінічному середовищі, з перевагою мінімізації дискомфорту та перешкод при повсякденній діяльності. WHD є частиною персональних систем охорони здоров’я, концепції, введеної наприкінці 1990-х років з метою помістити окремого громадянина в центр процесу надання медичної допомоги, керування власним здоров’ям та взаємодії з постачальниками послуг охорони здоров'я. Мета полягала в тому, щоб підвищити інтерес людей до стану свого здоров’я, покращити якість медичної допомоги та використати нові технологічні можливості. Ці пристрої створюють синергію між кількома областями науки, такими як біомедичні технології, мікро- та нанотехнології, інженерія матеріалів, електронна інженерія та інформаційно-комунікаційні технології.

Використання WHD дозволяє амбулаторно отримувати життєво важливі показники та контролювати стан здоров’я протягом тривалого періоду (дні/тижні) та поза клінічним середовищем. Ця функція дозволяє отримувати життєво важливі дані під час різних повсякденних видів діяльності, забезпечуючи кращу підтримку в медичній діагностиці та/або допомагаючи кращому та швидшому відновленню після медичного втручання або травми. WHD також дуже корисні в спортивних заходах/фітнесі для моніторингу працездатності спортсменів або навіть у службах швидкого реагування або військовослужбовцях, щоб оцінити та контролювати реакцію їхнього організму в різних небезпечних ситуаціях та краще керувати своїми зусиллями та гігієною праці. Незалежно від призначення WHD до їх конструкції висуваються чотири основні вимоги: низьке енергоспоживання, надійність і безпека, комфорт та ергономічність.

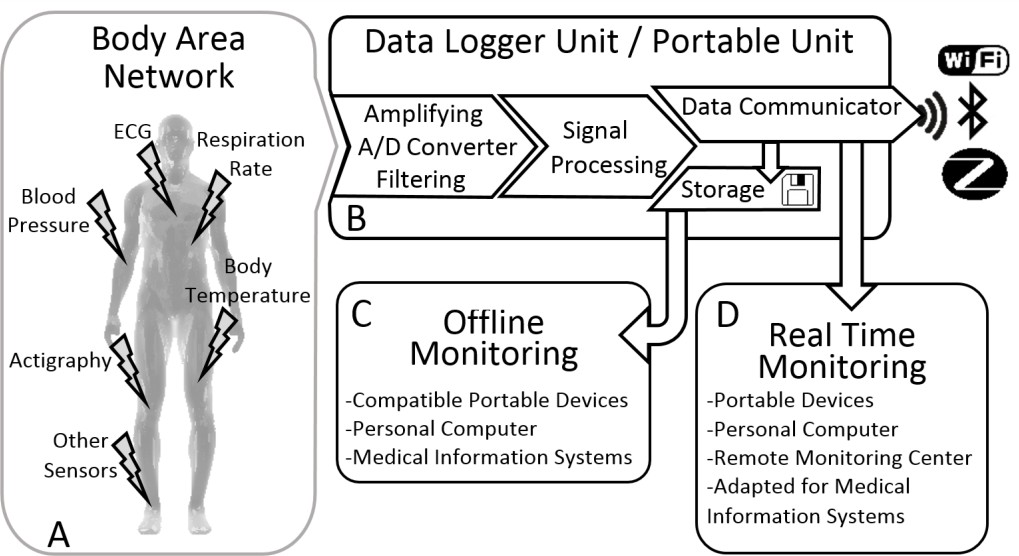
## Показники, що потрібно вимірювати

Медична література вказує на різні набори цінних життєво важливих показників, які необхідно контролювати, щоб виявити клінічне погіршення. Загалом ми визначили п’ять традиційних життєвих показників, які мають велике значення для вимірювання: частота серцевих скорочень, кров’яний тиск, частота дихання, насичення крові киснем і температура тіла. Ці п’ять сигналів, як правило, вважаються важливими для оцінки здоров’я людини, і слід проводити їх постійний моніторинг. На думку деяких дослідників, слід ще враховувати також капнографію, ударний об’єм, біль, рівень свідомості та виділення сечі. На їх думку, поєднання цих п’яти додаткових сигналів із п’ятьма основними дозволяє точно розпізнати зміни у фізіології пацієнта. Електрокардіографія також має велике значення в електричному аналізі серця, дуже важливому інструменті для прогнозування та діагностики серцево-судинних захворювань. Моніторинг рівня глюкози є дуже актуальним у людей з цукровим діабетом, захворюванням, при якому в даний час докладаються величезні зусилля для розробки неінвазивних методів моніторингу.

## Загальна архітектура систем носимих медичних пристроїв

Починаючи з останнього десятиліття, старіння населення та поява хронічних захворювань призвели до більшого інтересу до носимих фізіологічних вимірювальних приладів. Зусилля, спрямовані на їх розробку, призводять до створення невеликих носимих пристроїв з перевагами меншої вартості та більшої мобільності під час збору даних.

Зараз загальна архітектура систем WHD, яка використовується як у прототипах, так і в комерційних продуктах, виглядає наступним чином:



Представлена загальна архітектура розділена на чотири модулі:

1. Натільна мережа (Body Area Network), яка може мати різні підходи, як ми побачимо далі;
2. Блок зберігання даних;
3. Аналізатор записаних даних;
4. Моніторинг та візуалізація даних в реальному часі

### Натільна мережа

Термін Body Area Network (BAN) іноді можна сплутати з двома іншими термінами: Body Sensor Network (BSN) і Wireless Sensor Network (WSN). Ці три терміни можна використовувати в різних типах носимих пристроїв відповідно до їх архітектури. На зображенні використовується термін BAN, оскільки ця мережа пов’язана лише з датчиками, розміщеними навколо людського тіла. Взаємозв’язок цих датчиків створює мережу датчиків (BAN), які надсилаються обробляючий блок.

На найбільш загальному рівні WSN зазвичай включають велику кількість недорогих, малопотужних і крихітних сенсорних вузлів, причому кожен вузол має заздалегідь визначений набір компонентів (сенсори, мікроконтролер, пам’ять і радіоприймач, тощо), що надають кожному вузлу можливість збору даних, обчислень, зберігання та зв’язку.

З’єднання всіх датчиків за допомогою мережі має очевидні переваги, оскільки дає змогу централізувати дані в одному портативному блоці, збирати інформацію з різних датчиків і надсилати її у зовнішні мережі для віддаленої обробки. Крім того, воно покращує контроль, синхронізацію, планування та програмування всієї системи, що дозволяє системі адаптуватися відповідно до поточного стану організму та зовнішнього середовища. Бездротовий зв’язок є ключовим активом і обов’язковим для того, щоб системи могли стати мобільними та поширеними.

### Блок зберігання даних

Портативний блок (PU), також позначений як блок інтерфейсу користувача або блок зберігання даних, є місцем, де збирається вся інформація, що містить вихідні та вхідні дані WHD. Основні вхідні дані – це значення життєво важливих показників від датчиків, але він також може отримувати дані від інших підключених портативних пристроїв.

Зв’язок між датчиками та PU зазвичай здійснюється через дроти, що призводить допомагає WHD бути простішими та дешевшими. З’явилися деякі варіації цієї комунікаційної техніки, наприклад, у розумному одязі, де взаємозв’язки (дроти) вплетені в тканини. Це набагато більш сприятливий підхід у WHD, який дозволяє уникнути проводів навколо тіла, що призводить до більшого комфорту та свободи руху.

Після отримання аналогових показників PU посилює та/або фільтрує сигнали, перетворюючи потім у цифрові сигнали. Обробка сигналу може здійснюватися в PU або в іншому пристрої після передачі до нього даних. Ця обробка витягує функції для оцінки здоров’я суб’єкта, що дає змогу виявити аномалію, передбачити захворювання або підтримати діагноз. Зібрані PU вихідні дані можуть передаватися за допомогою бездротового протоколу або зберігатися на карті пам’яті SD. Як показано на малюнку, PU також може отримувати дані з онлайн-пристроїв моніторингу та зберігати їх у локальній пам'яті.

Найпопулярніші бездротові протоколи в WHD - це Bluetooth, Wi-Fi, ZigBee і останнім часом LoRa (Long Range Radio):

* Bluetooth — це радіочастотне з’єднання на короткій відстані між портативними та стаціонарними пристроями, яке вимагає низького споживання енергії та має низьку вартість. Він ідеально підходить для WHD і широко застосовується в комерційних пристроях, таких як смартфони та ноутбуки. Нова технологія Bluetooth (версія 4.0 і версії вище) під назвою Bluetooth Low-Energy (BLE) має ще менше енергоспоживання з меншим форм-фактором, що дозволяє простіше вбудовувати її в невеликі WHD.
* Низькі рівні протоколу Wi-Fi забезпечують вищу пропускну здатність для додатків з низьким енергоспоживанням – не настільки низьким, як у технології Bluetooth, але достатньо, щоб бути хорошим протоколом підключення для використання в WHD, в основному, коли потрібна більша відстань зв’язку.
* ZigBee – це ще одна технологія, яка використовується для зв’язку з низьким рівнем енергії та низькою швидкістю передачі даних, захищена використанням Advanced Encryption Standard. Ця функція робить ZigBee ідеальним для медичних додатків, оскільки він може споживати менше енергії, ніж версії Bluetooth раніше 4.0, але з нижчою швидкістю передачі даних.
* Технологія LoRa – це бездротовий протокол з великим покриттям, низькою вартістю та низьким споживанням енергії. Очікується, що найближчим часом він подолає існуючі системи, такі як стільникові технології. Недоліком є ​​низька швидкість передачі даних, але величезною перевагою є масштабованість і налаштування кількох параметрів, таких як частотний канал, потужність передачі та швидкість передачі даних.

У побудові носимого пристрою протокол зв’язку дуже важливий для мінімізації споживання енергії. Можливий спосіб збільшити термін служби акумулятора – зменшити кількість переданих даних. За допомогою фільтрації даних можна надіслати їх лише тоді, коли вони актуальні, або зберегти у внутрішній пам’яті. У цих випадках може бути виконаний подальший автономний аналіз даних. Зберігання даних можна виконувати за допомогою карти пам’яті SD або внутрішнього слоту цифрової пам’яті, а потім передавати дані через USB-з’єднання між WHD та іншим пристроєм. Іншим методом мінімізації споживання енергії є включення методів стиснення в протокол передачі. Крім зниження споживання енергії, цей метод допомагає в випадках, коли існують обмеження пропускної здатності мережі або навіть коли простір для зберігання зменшується і потрібне стиснення даних.

### Аналіз записаних даних

Усі дані життєво важливих показників можна зберігати в портативному пристрої (наприклад, на карті пам’яті micro-SD) для подальшого використання в медичних аналізах або просто як особистий запис. Дані можуть зберігатися одночасно з моніторингом у режимі реального часу. Основною метою такого моніторингу є запис життєво важливих даних для клінічної діагностики та прогнозування медичними працівниками. Наприклад, проблеми зі сном, такі як апное, можна проаналізувати за допомогою збережених даних пацієнта: моніторинг сну вдома дозволяє контролювати сон у звичній обстановці, що призводить до надійного отримання даних.

### Моніторинг у реальному часі

Зростання потреби в моніторингу пацієнтів протягом тривалого періоду перебування в лікарні призвело до потреб у реальному часі. За допомогою WHD можна проводити клінічний моніторинг поза медичним середовищем, попереджаючи пацієнта про будь-які фізіологічні проблеми або просто дозволити йому стежити за собою та бути в курсі своїх життєвих показників під час щоденної діяльності.

У медичному середовищі WHD дозволяє вимірювання покажчиків в межах певної зони, як правило, лікарні, де пацієнти можуть переміщатися, поки їхня життєво важлива інформація бездротовим способом передається до віддаленого центру моніторингу. Деякі пристрої також можуть передавати місцезнаходження пацієнта в лікарні. Ці системи також можуть бути налаштовані з набором тривожних сигналів для кожного пацієнта, що допомагає у виявленні певної необхідної аномалії. Цей тип систем моніторингу визначено в літературі як системи «контрольована зона» та «вузька територія» і завжди вимагає медичного працівника, який надає інформацію пацієнтам.

Найбільшою перевагою WHD в моніторингу в режимі реального часу є можливість моніторингу за допомогою звичайного Інтернет-зв’язку вдома та технологій мобільної мережі на вулиці. Ця функція дозволяє пацієнту вести нормальне життя під час спостереження, при цьому його життєві показники постійно або періодично передаються до віддаленого центру моніторингу, з підтримкою здоров’я та, якщо необхідно, інформуванням пацієнта про його медичний стан. Отримання даних про оточення також важливо для того, щоб знати умови, яким піддаються люди. Наприклад, якщо літня людина зазнає надмірної холодної чи спекотної погоди, яка може спричинити інфекцію легенів, зневоднення чи інші захворювання, можна вжити відповідних заходів для запобігання небезпечної ситуації.

Нарешті, життєво важливі показники також можуть передаватися через Bluetooth на портативні пристрої або персональні комп’ютери для візуалізації та аналізу стану здоров’я людини. Цей тип моніторингу в реальному часі можна використовувати в спортивних заходах для аналізу життєво важливих показників спортсмена під час тренування або під час простого щоденного бігу. Цей тип системи в літературі називають «широкими зонами» та «самоконтролем» через відсутність залучення медичних працівників.

## Системи носимих медичних пристроїв

Наручні годинники, також відомі як smartwatches, розробляються вже протягом багатьох років. Одним із перших пристроїв такого типу був AMON, вперше представлений у 2002 році і здатний контролювати частоту серцевих скорочень, насичення крові киснем і температуру шкіри, вже з бездротовим модулем передачі даних. Зовсім недавно з’явилося нове покоління розумних годинників з бездротовим та мобільним зв’язком, здатним забезпечити понад 24 години життєвого моніторингу. Їх зручний дизайн, схожий на звичайний годинник, дозволяє носити його постійно. Вони розробляються як трекери активності та фітнесу, які контролюють фізичну активність, як-от спалені калорії та пройдену відстань, частоту серцевих скорочень, а нещодавно — моніторинг сну, як-от PEAKTM, який був першим розумним годинником, здатним відстежувати цикли сну. Moov — це найновіший браслет, який можна носити для контролю руху. Його можна використовувати в різних частинах тіла відповідно до виду спорту, наприклад, на руці під час плавання та на нозі під час бігу.

Лінзи Google eye lens – це тип WHD, який може представляти майбутнє носимих пристроїв, де вони переходять від макророзміру до мікро, а в майбутньому перейдуть на нанорозмір для введення в організм.

З’являється ще один тип допоміжного пристрою – вушного пристрою, який здатний отримувати кілька фізіологічних параметрів, таких як рівень насичення киснем і частоту серцевих скорочень. Valencell, основний постачальник сенсорних технологій, стверджує, що вушний сигнал у 100 разів чіткіше, ніж на зап'ясті. Таких пристроїв дуже мало, і вони можуть являти собою нову трендову лінію.

Велика група носимих пристроїв пов’язана з діяльністю серця. Для постійного контролю за цим параметром існують три основні типи носових пристроїв: нагрудні ремені, клейкі пластирі і футболки із вбудованою електронікою. Коли електронні технології зустрічаються з одягом, з’являється номінал розумного одягу, який є одним із найкращих варіантів отримання великої кількості фізіологічних сигналів, оскільки він охоплює більшу площу тіла.

## Висновки

Носимі медичні пристрої є нещодавньою реальністю і все ще розробляються з метою інтеграції в медичні системи охорони здоров’я. На ринку є кілька персональних пристроїв моніторингу, здатних забезпечити миттєву оцінку та передачу за одним параметром. Але основний цінний потенціал WHD – це інтеграція кількох біосенсорів, інтелектуальної обробки та сповіщень для підтримки медичних додатків, взаємодіючи з постачальниками медичних послуг, використовуючи деякі технології, які ще не доступні на ринку, лише для досліджень.

Наступні кілька років створюють ряд нових цікавих проблем у WHD, і щоб їх подолати, необхідно адаптувати ці технології. Важливо вивчити вимоги користувачів, щоб розробити інтегрований підхід до послуг здоров’я замість пристроїв і програм для окремих захворювань. Розробка таких пристроїв та їх інтеграція в архітектуру інтелектуальних домашніх сервісів можуть мати деякі основні проблеми, які потребують певної уваги: ​​ефективність пристрою, надійність та ненав’язливість; питання конфіденційності та етики; сумісність; навчання кінцевих користувачів використання WHD; та соціальне включення, що запобігає ізоляції користувачів, що може призвести до зниження взаємодії з опікунами та лікарями.

Гарна новина полягає в тому, що ринок, здається, стає більше обізнаним про можливості WHD, і це призведе до збільшення інвестицій у дослідження та розробки та кращих продуктів, щоб вийти на ринок, сподіваючись, що підвищить зростання ринку в найближчі роки.

Носимі медичні пристрої здатні контролювати велику кількість життєво важливих показників людського тіла, від попереднього сенсорного спостереження у випадку дихальних шляхів немовлят до фітнес-програм або навіть солдатів на полі бою. Ця особливість WHD викликає велике захоплення цією технологією та багато можливостей для продовження її розвитку. Завдяки новим досягненням у сфері нових матеріалів, електроніки та телекомунікаційних інформаційних технологій, а також приходу великих транснаціональних компаній, таких як Google, а також невеликих стартапів, WHD, як очікується, подолають свої проблеми та вийдуть на споживчий ринок з більшим впливом у наступні роки.