

УДК 681.32

Молнар О.О.<sup>1</sup>, Бан Г.Й.<sup>1</sup>, Гал Д.Л.<sup>1</sup>, Герасимов В.В.<sup>2</sup>,

<sup>1</sup> Ужгородський національний університет

<sup>2</sup> Мукачівський державний університет

## СИСТЕМА ТЕЛЕМЕТРІЇ З ЕЛЕМЕНТАМИ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ДЛЯ СПІВРОБІТНИКІВ СЛУЖБ ПОРЯТКУ НА ОСНОВІ ПЛІС

**Молнар О.О., Бан Г.Й., Гал Д.Л., Герасимов В.В. Система телеметрії з елементами доповненої реальності для співробітників служб порятунку на основі ПЛІС.** В даній роботі описана система телеметрії для співробітників служб порятунку, яка визначає фізіологічний стан людини (температуру тіла, ЕКГ; частоту серцевих скорочень, рівень кисню в крові, опір шкіри, частоту та глибину подиху), фізичні параметри оточуючого середовища (температуру повітря, атмосферний тиск, вологість, рівень радіації ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ), рівень ультрафіолетового випромінювання, рівень шкідливих та небезпечних газів), виводить отримані дані в поле зору пожежника за допомогою окулярів доповненої реальності та передає їх по бездротовому каналу Wi-Fi в центр спостереження. Система побудована на основі модуля DE10-Nano Kit компанії Terasic яка містить ПЛІС Intel/Altera Cyclone® V SE 5CSEBA6U23I7.

**Ключові слова:** Датчики, фізичні параметри оточуючого середовища, фізіологічний стан людини, система доповненої реальності, ПЛІС.

**Молнар А.А., Бан Г.Й., Гал Д.Л., Герасимов В.В. Система телеметрии с элементами дополненной реальности для сотрудников служб спасения на основе ПЛИС.** В данной работе описана система телеметрии для сотрудников служб спасения, которая определяет физиологическое состояние человека (температуру тела, ЭКГ, частоту сердечных сокращений, уровень кислорода в крови, сопротивление кожи, частоту и глубину дыхания), физические параметры окружающей среды (температуру воздуха, атмосферное давление, влажность, уровень радиации ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ), уровень ультрафиолетового излучения, уровень вредных и опасных газов), выводит полученные данные в поле зрения пожарного с помощью очков дополненной реальности и передает их по беспроводному каналу Wi-Fi в центр наблюдения. Система построена на основе модуля DE10-Nano Kit компании Terasic которая содержит ПЛИС Intel/Altera Cyclone® V SE 5CSEBA6U23I7.

**Ключевые слова:** Датчики, физические параметры окружающей среды, физиологическое состояние человека, система дополненной реальности, ПЛИС.

**Molnar A.A., Ban H.Y., Gal D.L., Gerasimov V.V. Telemetry system with elements of augmented reality for the employees of emergency services based on FPGA.** In this paper, the results of developing a personal telemetry system for firefighters are presented. It consists of two subsystems - measuring the parameters of human activity and determining the parameters of the environment. All received data, together with warnings of danger, are displayed in the field of view of the firefighter using AR glasses, and also through the Wi-Fi interface are transferred to the center of remote diagnostics. The system is based on the Terasic DE10-Nano Kit, which contains the FPGA Intel Cyclone® V SE 5CSEBA6U23I7.

**Keywords:** Sensors, physical parameters of the environment, physiological state of the person, system of complemented reality, FPGA.

Згідно з останніми аналітичними звітами протягом наступних 10 років більше 100 мільйонів людей будуть носити одяг з вбудованими засобами індивідуальної телеметрії. Розробка подібних пристроїв ведеться під егідою впровадження так званих «Інтернет речей» (IoT - Internet of Things) [1]. Якщо оснастити одяг безліччю датчиків (температури, тиску, вологості, пульсу, електрокардіограми, рівня кисню в крові, опору шкіри і т. д.) і підключити їх до керуючого мікроконтролера з бездротовим каналом зв'язку Wi-Fi або Bluetooth LE, отримаємо систему дистанційної діагностики. Подібне екіпування дуже корисне для стеження за станом здоров'я спортсменів, самотніх людей похилого віку, дітей з особливими потребами, співробітників служб порятунку або пожежних команд.

### Система телеметрії

Розроблена система складається з трьох основних модулів (рис.1). Модуль 1 на основі hSensor, або MAXREFDES100# фірми Maxim Integrated [2], визначає фізіологічні параметри людини, і закріплюється за допомогою спеціального реміня на грудині співробітника. В еластичний ремінь інтегровані електроди системи ЕКГ та датчик деформації грудної клітини. Оброблені дані по каналу Bluetooth LE передаються на модуль 2, пристрій збору, аналізу та збереження інформації (на основі DE10-Nano Kit фірми Terasic [3] побудованого на основі FPGA Cyclone® V компанії Intel/Altera), і через інтегрований World Wide Web (Web) – сервер, по інтерфейсу Wi-Fi (з використанням модулю RFS компанії Terasic [4]), передаються в центр спостереження. Локальний захищений накопичувач Secure Digital (SD) виконує функцію персональної «чорної скриньки» на аварійні випадки втрати зв'язку та для довготривалого збереження. В шоломі пожежника або співробітника служби порятунку вбудований цифровий

пірометр MLX90614ESF-DCI-000-SP фірми Melexis [5], який дистанційно визначає температуру об'єкту, на який дивиться співробітник, а вимірні значення поступає в модуль 2. Всі отримані та попередньо оброблені дані передаються по інтерфейсу Bluetooth LE на окуляри доповненої реальності фірми Intel/Recon Jet Pro. Ці значення відображаються в полі зору оператора, накладаючись на зображення реального світу (технологія Доповненої Реальності – Augmented Reality).



Рисунок 1. Блок-схема системи телеметрії з елементами доповненої реальності. 1 - модуль спостереження за фізіологічним станом, 2 – модуль аналізу оточення, 3 – окуляри доповненої реальності Intel/Recon Jet Pro

Сюди же виводяться попередження про небезпеки, які виявляються системою (радіацію, небезпечні гази, стан здоров'я і т. д.). В умовах обмеженої видимості на окуляри можуть також передаватись креслення приміщення, в якому знаходиться співробітник, з вказівкою місцезнаходження людини і/або членів команди. Дані про його положення отримуються від 9 координатного ІВП - Інерційного вимірювального пристрою (IMU - Inertial measurement unit), вбудованого в кожен модуль системи, а на відкритій місцевості від модуля системи глобального позиціонування (GPS- Global Positioning System), вбудованого в окуляри.

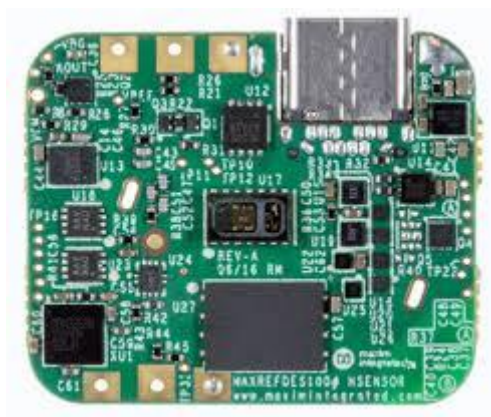
Всі елементи системи можуть бути використані як окремо, так і в будь-якій комбінації. Наприклад модуль 1 - збору інформації про фізіологічний стан, може бути корисним для стеження за самотніми людьми похилого віку, або людей з особливими потребами. При виникненні небезпеки стану здоров'я, інформація може бути передана дільничному лікарю, в соціальну службу або в службу швидкої допомоги. Модуль 2 може бути корисним для шахтарів, військових і т. д., та навіть як окремо розташована метеостанція. А окуляри доповненої реальності мають просто необмежену сферу застосувань, багато з яких ще навіть не придумані.

#### **Модуль спостереження за фізіологічним станом**

Орієнтуючись на потреби розробників мобільних електронних пристроїв для спостереження за показниками фізичної активності користувача, компанія Maxim Integrated Products розробила платформу hSensor (MAXREFDES100#) [2]. На мініатюрній платі hSensor знаходиться одно каналний аналоговий інтерфейс для перетворення біо-потенціалів (електрокардіографію (ЕКГ), електроміографію (ЕМГ) або електроенцефалографію (ЕЕГ)) в цифровий код - MAX30003, безконтактний датчик частоти серцевих скорочень (ЧСС) і рівня насичення крові киснем MAX30101, датчик температури MAX30205 (його точність відповідає специфікації клінічної термометрії ASTM E1112, 0.1°C в межах від 37°C до 39°C), мікроконтролер з пониженим енергоспоживанням MAX32620 на ядрі ARM Cortex-M4F і контролер живлення MAX14720.

MAX30003 забезпечує формування в цифровому форматі кривої електрокардіограми (ЕКГ) та визначення частоти серцебиття. Його вхідний аналоговий канал оснащений захистом від

електростатичного розряду, виконує фільтрацію від електромагнітних завад, виявляє наявність постійного струму, має високий вхідний імпеданс, низький рівень шуму, високий коефіцієнт послаблення синфазної складової, різні варіанти програмованих фільтрів низьких та високих частот, а також аналого-цифровий перетворювач високої роздільної здатності. М'яка послідовність включення живлення гарантує, що на вхідні електроди не потрапляють великі сигнали від перехідних процесів. MAX30003 здатний працювати з великими напругами підключеними до електродів, і має швидкий режим відновлення, для миттєвої регенерації після перевантаження, наприклад після дефібриляції або електрохірургічного втручання.



а.



б.

Рисунок 2. Зовнішній вигляд модуля hSensor а. (реальні розміри майже вдвічі менші ніж на фото), можливий варіант програми представлення отриманої інформації б. на платформі Андроїд.

Платформа hSensor, за рахунок мікросхеми MAX30101 підтримує різні типи вимірювання фотоплетизмографії на відбивання, включаючи пульс-оксиметрію та ЧСС на трьох довжинах хвиль - 880 нм (інфрачервоний, ІЧ), 660 нм (червоний) та 537 нм (зелений).

Крім того, оснащення hSensor включає інерційні датчики (які можуть бути використані для визначення положення та руху людини в просторі), барометричний сенсор атмосферного тиску (його показання легко перетворюються в висоту над рівнем моря з точністю  $\pm 20$  см, що може служити датчиком падіння людини), флеш-пам'ять програм та даних і інтерфейс Bluetooth LE. До складу платформи входить плата налаштування, драйвери, графічний інтерфейс користувача і вбудоване ПО, доступне в початкових кодах.

### Модуль аналізу оточення

В якості системи обробки та доповнення отриманих даних додатковою інформацією (рівень радіації, ультрафіолетового опромінення, наявності шкідливих газів і т. д.) був розроблений модуль 2 на основі DE0-Nano Kit фірми Terasic [3] побудованого на основі програмованої логічної матриці (FPGA) Cyclone® V компанії Intel/Altera доповненої блоком розширення RFS тої же компанії.

DE0-Nano - малогабаритна плата для розробників. Його відмінні особливості:

- Intel Cyclone® V SE 5CSEBA6U23I7, (110K логічних елементів LE);
- Встановлена пам'ять EPCS16 для збереження конфігурації;
- Вбудований USB-Blaster II для програмування; JTAG режим;
- HDMI TX, сумісний з DVI 1.0 і HDCP v1.4;
- Три 50 МГц джерела тактових сигналів від тактового генератора;
- Два 40-контактних роз'єми розширення;
- Один роз'єм розширення Arduino (Uno R3 сумісний);
- Один 10-контактний роз'єм розширення входу аналогових сигналів (спільно з аналоговим входом Arduino);

- АЦП, 4-контактний SPI інтерфейс з FPGA.

HPS (Hard Processor System) і підключені до неї компоненти:

- 800 МГц двох ядерний ARM Cortex-A9 процесор;
- 1 ГБ DDR3 SDRAM (32-бітна шина даних);
- 1 Гбіт Ethernet з роз'ємом RJ45;
- USB OTG порт, USB Micro-AB роз'єм;
- Слот для Micro SD карт;
- Акселерометр (I2C інтерфейс + переривання);
- Міст UART - USB, USB Mini-B роз'єм;
- LTC 2x7 роз'єм розширення (для плат розширення Linear Technology).

Даний модуль об'єднує вбудований двох ядерний процесор ARM® Cortex™ -A9 з програмованою логікою для максимальної гнучкості дизайну.

В свою чергу плата RFS призначена для бездротового зв'язку, моніторингу навколишнього середовища і розробки додатків IoT (Internet of Things) [4]. Він може використовуватися з платою FPGA серії DE для розширення його функціоналу. RFS використовує 2x20 GPIO для взаємодії з платою FPGA. Обладнаний модулями бездротового зв'язку Wi-Fi (відстань до 100 метрів) та Bluetooth (відстань до 10 метрів). Крім того він оснащений декількома додатковими датчиками: 9-осьовим IMU: акселерометром, гіроскопом, магнітометром, датчиком освітлення, датчиком вологості та температури.

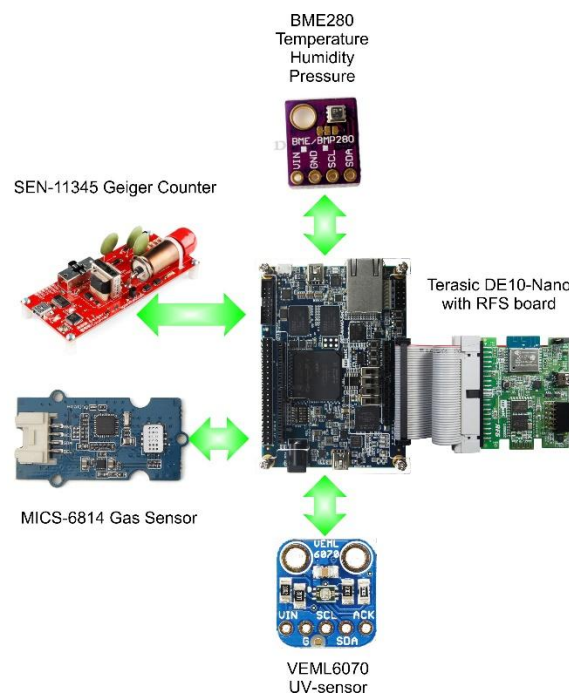


Рисунок. 3. Блок схема модуля моніторингу оточення.

### Датчики

Під час вибору датчиків перевага була надана простим, легко доступним, дешевим і, що найважливіше, з низьким або наднизьким енергоспоживанням пристроям. В якості датчика температури, тиску та вологості, ми використали BME280 від Bosch Sensortec [6]. BME280 є інтегрованим датчиком навколишнього середовища, розробленим спеціально для мобільних пристроїв, де розмір та низьке енергоспоживання є ключовими обмеженнями дизайну. Він поєднує в собі високу лінійність, високоточні датчики тиску, вологості та температури, призначені для низького споживання струму (3.6  $\mu\text{A}$  @ 1 Гц), довготривалої стабільності та високої заводськості. Інтервал вимірювання тиску 300 ... 1100 ГПа з відносною точністю  $\pm 0,12$  ГПа та роздільною здатністю 0,18 Па. Інтервал вимірювання температури -40 ... 85  $^{\circ}\text{C}$  з відносною точністю  $\pm 1,0$   $^{\circ}\text{C}$  та роздільною здатністю 0,01  $^{\circ}\text{C}$ . Інтервал вимірювання вологості 0 ... 100% з відносною точністю  $\pm 1\%$  та роздільною здатністю 0.008%.

Для визначення рівня ультрафіолетового випромінювання ми вибрали VEMML6070 від Vishay [7]. Це сучасний датчик ультрафіолетового (УФ) випромінювання з інтерфейсом I<sup>2</sup>C. Застосована в VEMML6070 технологія Filtron™ забезпечує найкращу спектральну чутливість для охоплення всього ультрафіолетового спектру. В режимі очікування споживання енергії менше 1 мкА.

Як сенсор  $\alpha$ ,  $\beta$  і  $\gamma$  часток було вирішено використовувати плату SEN-11345 SparkFun Geiger Counter, яка обладнана вбудованим мікроконтролером ATmega328. Плата містить перетворювач високої напруги і підключається до хост-системи через стандартний COM-порт.

Одним із найскладніших завдань при проектуванні мобільних систем екологічного моніторингу є вибір газових датчиків. Більшість з них споживають 200-250 мА струму, що неприйнятно для мобільного застосування. Успішним винятком є газовий сенсор MiCS-6814 від SGX Sensortech [8]. MiCS-6814 - надійний MEMS сенсор. Оскільки він обладнаний аналоговим виходом, для спрощення проектування було вирішено використовувати готовий модуль Grove - Multichannel Gas Sensor. Він побудований на базі мікроконтролера ATmega168PA, та має інтерфейс I<sup>2</sup>C з програмованим адресом.

Цей набір датчиків, якщо необхідно, може бути розширений у майбутньому. Для спрощення підключення додаткових модулів доцільно використовувати «розумні» сенсори, які обладнані вбудованими засобами попередньої обробки та калібрування, з мікропроцесорним управлінням.

Таблиця 1. Система дозволяє визначати наступні параметри:

Фізіологічні	Навколишнього середовища
- Температуру тіла;	- Температуру повітря
- ЕКГ;	- Атмосферний тиск
- Частоту серцевих скорочень;	- Вологість
- Рівень кисню в крові;	- Рівень радіації ( $\alpha$ , $\beta$ , $\gamma$ )
- Опір шкіри;	- Рівень ультрафіолетового випромінювання
- Частоту та глибину подиху.	- Рівень шкідливих газів *

\* - Окис вуглецю CO (1 – 1000 ppm), двоокис азоту NO<sub>2</sub> (0,05 – 10 ppm), етанол C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>OH (10 – 500 ppm), водень H<sub>2</sub> (1 – 1000 ppm), аміак NH<sub>3</sub> (1 - 500 ppm), метан CH<sub>4</sub> (>1000 ppm), пропан C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> (> 1000 ppm), 3-бутан C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> (>1000 ppm). ppm - parts per million – одна мільйонна частина або 10<sup>-6</sup>.

### Окуляри доповненої реальності

Для того, щоб не відволікати увагу людини, яка використовує дану систему від виконання службових обов'язків, та своєчасно попереджати його про небезпеки, виявлені датчиками, дуже доцільно виводити отриману інформацію в поле зору оператора, накладаючи його на зображення оточуючої реальності. Для цього було вирішено використати окуляри доповненої реальності Intel/Recon Jet Pro [9].



Рисунок. 4. Окуляри доповненої реальності Intel/Recon Jet Pro.

Окуляри Recon обладнані двох ядерним ARM процесором частотою 1 ГГц, 1 Гб SDRAM, 8 Гб флеш-пам'яті, графічним чіпом, має величезну кількість вбудованих датчиків (3D акселерометр, 3D гіроскоп, 3D компас, барометр) і засобів зв'язку (GPS, Wi-Fi (IEEE802.11a/b/g/n 2.4GHz), Bluetooth 4.0 + BLE, ANT+™). Мініатюрний екран, з роздільною здатністю 428x240, на який проектується зображення непрозорий, але його розміщення не заважає огляду. Екран

розташований в правому нижньому кутку периферичного зору. Екран включається тільки за бажанням людини - для цього служить спеціальна система виявлення погляду. Recon Jet обладнаний камерою з роздільною здатністю 1280x720 для зйомки відео і фото. Його вага становить 60 грам.

### Висновки

Система персональної телеметрії дозволяє в реальному часі аналізувати отримані від первинних датчиків дані за рахунок вбудованого мікро контролера, і при виникненні критичних фізіологічних показників, передавати їх медикам швидкої допомоги, дільничному лікарю або в центр стеження за станом здоров'я співробітників служб порятунку. Аналіз комбінації показників різних датчиків дає додаткову інформацію. Наприклад, різке зменшення атмосферного тиску разом з даними акселерометра сповіщає про падіння людини (з точністю краще за 20 см), а підвищення тиску (і прискорення), про можливий вибух. Пристрій може бути доповнений або ж спрощений за рахунок видалення зайвих датчиків в залежності від передбачуваного використання. Розроблено прототип з мінімально необхідною кількістю сенсорів з дистанційним доступом по WEB-інтерфейсу. Масове використання аналогічних систем дозволить суттєво покращити показники виживання при інфаркті міокарда, інсульті, виникненні надзвичайних станів і т. д.



Рисунок. 5. Поле зору пожежника з показниками сенсорів які накладаються на зображення реального світу

Для підвищення автономності телеметричної системи доцільно використовувати сучасні альтернативні джерела живлення, які дозволяють перетворювати рух та деформацію людського тіла в електричний струм на основі п'єзоелектричних [10] або трибоелектричних [11] перетворювачів.

### Подяка

Практична реалізація даного проекту стала можливою за рахунок гранту наданою Фондом Підтримки Людських Ресурсів Угорщини по програмі Підтримки Молодих Талантів Нації. Модуль DE10-Nano Kit наданий в якості підтримки компанією Terasic для участі в конкурсі Innovate FPGA design contest 2018 яка проводиться компанією Intel.



1. Buyya, R., Dastjerdi, A.V. (2016) Internet of Things: Principles and Paradigms. Morgan Kaufmann. – 378p.
2. MAXREFDES100#: Health Sensor Platform [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.maximintegrated.com/en/design/reference-design-center/system-board/6312.html/tb\\_tab0](https://www.maximintegrated.com/en/design/reference-design-center/system-board/6312.html/tb_tab0).
3. DE10-Nano User Manual, Terasic Inc., 2017. – 118p. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.terasic.com](http://www.terasic.com).
4. RFS User Manual, Terasic Inc., 2017. – 62p. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.terasic.com](http://www.terasic.com).
5. MLX90614 family Single and Dual Zone Infra Red Thermometer, Melexis, 2015. – 52p. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.melexis.com](http://www.melexis.com).
6. BME280 Combined humidity and pressure sensor, 2015 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://ae-bst.resource.bosch.com/media/\\_tech/media/datasheets/BST-BME280\\_DS001-11.pdf](https://ae-bst.resource.bosch.com/media/_tech/media/datasheets/BST-BME280_DS001-11.pdf)
7. UVA Light Sensor with I<sup>2</sup>C Interface [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.vishay.com/docs/84277/veml6070.pdf>
8. MiCS-6814 Data Sheet 1143 rev 8 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.sgxsensortech.com/content/uploads/2015/02/1143\\_Datasheet-MiCS-6814-rev-8.pdf](https://www.sgxsensortech.com/content/uploads/2015/02/1143_Datasheet-MiCS-6814-rev-8.pdf)
9. Recon Jet™ Pro [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.reconinstruments.com/enterprise/jet-pro/>
10. Molnar, A.A., Kuritnik I.P., Gerasimov V.V., Karabekov D.Zh. Piezoelectricity as a power source for portable electronic devices in the man-clothes system in Russian // Bulletin of University of Karaganda, Series Physics, 2015. – № 4 (80). – С. 62-65.
11. Molnar O., Gerasimov V., Kurytnik I.P. Triboelectricity and construction of power generators based on it // Przegląd Elektrotechniczny, 2018. – № 1. – PP. 167-171.