

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ СТАНУ ПАЦІЄНТА ДЛЯ ТЕЛЕМЕДИЦИНИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглядається створення системи дистанційного моніторингу стану пацієнта для телемедицини, яка призначена для реєстрації, обробки та передавання фізіологічних показників у режимі реального часу. Обґрунтовано вибір мікроконтролера ESP32, який слугує центральним обчислювальним вузлом системи та розроблено структуру пристрою, який дає можливість одночасно здійснювати моніторинг електрокардіограми, частоти серцевих скорочень, рівня насиченості крові киснем та температури тіла пацієнта в реальному часі. Для реалізації функцій контролю фізіологічних параметрів використано модулі AD8232, MAX30102 та DS18B20. У роботі проведено аналіз вимог до телемедичної системи, розроблено конструкцію пристрою, друковану плату та технологічний процес її виготовлення. Досліджено особливості бездротового передавання медичних даних та забезпечення стабільної роботи системи в умовах дистанційного моніторингу. Результати роботи підтверджують можливість використання розробленого пристрою для безперервного контролю стану пацієнтів у телемедичних системах.

Ключові слова: телемедицина, дистанційний моніторинг, мікроконтролер ESP32, електрокардіографія, AD8232, пульсоксиметрія, MAX30102, друкована плата, бездротове передавання даних.

Development and Research of a Remote Patient Monitoring System for Telemedicine

Abstract

This paper discusses the development of a remote patient monitoring system for telemedicine, designed to record, process, and transmit physiological parameters in real time. The choice of the ESP32 microcontroller, which serves as the system's central processing unit, is justified, and a device architecture has been developed that enables simultaneous real-time monitoring of the patient's electrocardiogram, heart rate, blood oxygen saturation, and body temperature. The AD8232, MAX30102, and DS18B20 modules were used to implement the physiological parameter monitoring functions. This work analyzes the requirements for a telemedicine system and develops the device design, printed circuit board, and manufacturing process. The study investigated the characteristics of wireless medical data transmission and the assurance of stable system operation under remote monitoring conditions. The results confirm the feasibility of using the developed device for continuous monitoring of patients' condition in telemedicine systems.

Keywords: telemedicine, remote monitoring, ESP32 microcontroller, electrocardiography, AD8232, pulse oximetry, MAX30102, printed circuit board, wireless data transmission.

Вступ

В епоху сучасних технологій, де поступово змінюється сама логіка взаємодії між лікарем і пацієнтом, створення систем дистанційного моніторингу фізіологічних параметрів організму людини формується під впливом глибинних трансформацій сучасної медицини. Медичні процеси дедалі частіше виходять за межі стаціонарного середовища, набуваючи розподіленого характеру, що базується на безперервному зборі біометричних даних та їх оперативній інтерпретації. Контроль фізіологічних параметрів у режимі реального часу дозволяє фіксувати найменші відхилення функціонального стану організму, що відкриває можливість раннього виявлення патологічних змін ще до появи клінічно виражених симптомів. Система дистанційного моніторингу створює умови для індивідуалізованого ведення пацієнта, де терапевтичні рішення формуються з урахуванням динамічних змін показників серцево-судинної, дихальної та інших фізіологічних систем. Такий підхід знижує ймовірність ускладнень, підвищує точність корекції лікування та забезпечує стабільнішу підтримку життєвих функцій у пацієнтів із хронічними захворюваннями.

Метою роботи є розроблення та дослідження системи дистанційного моніторингу фізіологічних параметрів організму людини для телемедицини, яка забезпечує реєстрацію, первинну обробку, фільтрацію та бездротову передачу життєво важливих біосигналів у реальному часі.

Результати дослідження

Для створення системи дистанційного моніторингу стану пацієнта було розроблено апаратно-програмний комплекс, який забезпечує реєстрацію електрокардіографічного сигналу, частоти серцевих скорочень, рівня насичення крові киснем та температури тіла пацієнта з подальшим передаванням даних до телемедичної платформи. Для основи системи обрано мікроконтролер ESP32, який дозволяє поєднувати достатню обчислювальну продуктивність із вбудованими засобами бездротового зв'язку, такими як Wi-Fi та Bluetooth.[1]

До функціональної структури створеної системи моніторингу фізіологічних параметрів організму входять такі елементи: сенсорний модуль збору фізіологічних даних, вузол попередньої обробки сигналів, модуль бездротового передавання інформації та серверний сегмент для віддаленого доступу медичного персоналу до результатів моніторингу. Для реєстрації електрокардіограми використовують модуль AD8232, що забезпечує отримання одноканального ЕКГ-сигналу з подальшим аналізом серцево-судинної системи. Вимірювання частоти серцевих скорочень та сатурації крові киснем здійснюється за допомогою оптичного сенсора MAX30102, а контроль температури тіла – за допомогою використання цифрового датчика DS18B20.

При розробці системи особливу увагу було приділено забезпеченню стабільності вимірювань та електромагнітної сумісності окремих вузлів. У конструкції друкованої плати виконано розділення аналогової, цифрової та силової частин пристрою, що дозволило мінімізувати взаємний вплив високочастотних цифрових сигналів на чутливі аналогові канали. Антенну область мікроконтролера ESP32 винесено за межі металізованих ділянок плати, а довжину провідників для передачі ЕКГ-сигналу мінімізовано, для того, щоб знизити рівень наведень і паразитних шумів.[2]

Конструктивно пристрій реалізовано у компактному корпусі, розміри якого 82×48×20 мм. Для монтажу електронних компонентів було розроблено двосторонню друковану плату розміром 68×38 мм на основі матеріалу FR-4. Джерелом автономного живлення слугував літій-іонний акумулятор ємністю 2200 мА·год із зарядним контролером TP4056.

У ході дослідження було проаналізовано параметри функціонування системи в умовах бездротового передавання даних. Встановлено, що середній час отримання інформаційного пакета становить від 210 до 480 мс за наявності прямої видимості між пристроєм та мережевим вузлом. Навіть за наявності перешкод у вигляді бетонних перегородок передавання даних залишається стабільним, а використання механізму повторного надсилання дозволяє зменшити втрати інформації.

Для виготовлення пристрою обрано двосторонню субтрактивну технологію виробництва друкованих плат із металізацією отворів, нанесенням паяльної маски та шовкографії. Технологічний процес включає контроль топології, формування провідників, свердління, металізацію, монтаж компонентів, програмування мікроконтролера та проведення функціональних випробувань готового виробу.[3]

Отримані результати підтверджують, що розроблену систему можна використовувати для безперервного дистанційного контролю стану пацієнтів у домашніх умовах, під час реабілітації або амбулаторного спостереження. Запропоноване рішення забезпечує оперативне отримання медичних даних, підвищує ефективність взаємодії між пацієнтом і лікарем та створює передумови для подальшого розвитку телемедичних технологій. Загальний вигляд системи дистанційного моніторингу стану пацієнта зображено на рис. 1.



Рис. 1 – Макет системи дистанційного моніторингу стану пацієнта на базі ESP32

Висновки

У ході виконання роботи було розроблено систему дистанційного моніторингу стану пацієнта для телемедицини, призначену для реєстрації, первинної обробки та передавання фізіологічних параметрів у режимі реального часу. Проведено аналіз сучасних телемедицинських систем, обґрунтовано вибір елементної бази та розроблено конструкцію електронного пристрою на основі мікроконтролера ESP32. Спроектовано друковану плату, виконано компонування електронних вузлів і розроблено технологічний процес виготовлення виробу.

Експериментальні дослідження підтверджують стабільність функціонування системи та можливість її використання для дистанційного моніторингу електрокардіограми, частоти серцевих скорочень, сатурації крові киснем і температури тіла пацієнта. Створена система дистанційного моніторингу стану пацієнта може використовуватися як складова сучасних телемедицинських комплексів для підвищення доступності медичного спостереження та покращення якості медичного обслуговування пацієнтів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Запорожан Л. П. Теренда Н. О. Литвинова О. Н. Панчишин Н. Я. Феш М. С. Необхідність розвитку української телемедицини за сучасних умов. Вісник соціальної гігієни та організації охорони здоров'я України. 2020. № 2. С. 64-72.
2. Auwal A. M. IoT integration in telemedicine: investigating the role of internet of things devices in facilitating remote patient monitoring and data transmission. Journal of Critical Care and Critical Care Reviews. 2023. С. 17-38. URL:<https://www.tridhascholars.org/pdfs/iot-integration-in-telemedicine-investigating-the-role-of-internet-of-things-devices-in-facilitating-remote-patient-monitoring-and-data-transmission-JOCCR-7-1148.pdf> (дата звернення: 12.05.2026).
3. Abdulmalek S. та ін. IoT-based healthcare-monitoring system towards improving quality of life: a review. Healthcare. 2022. Vol. 10. № 10. URL:<https://doi.org/10.3390/healthcare10101993> (дата звернення: 18.04.2026).

Климчук Наталія Василівна – студентка гр. BMI-22б, кафедра біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email: nataliaklimcuk959@gmail.com

Науковий керівник – Штофель Дмитро Хуанович – к. т. н., доцент, кафедра біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email: shtofel@vntu.edu.ua

Klymchuk Nataliya V. – student of gr. BMI-22b, department of biomedical engineering and optical-electronic systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. email: nataliaklimcuk959@gmail.com

Scientific supervisor – Shtofel Dmytro Kh., Cand. Tech. Sci., Associate Professor, department of biomedical engineering and optical-electronic systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. email: