Karafan

Quarterly Scientific Journal of National University of Skills

Autumn 2024, Vol. 21, No. 3, p. 35-56

Journal Homepage: https://karafan.nus.ac.ir/?lang=en

10.48301/KSSA.2024.472494.2967

Health in the Digital Age: Design and Implementation of an Intelligent Remote Monitoring and Care System

Motahareh Dehghan[1*], Komeil Shahvari[2], Meysam Alavi[3]

[1]Assistant Professor, Department of Industrial and Systems Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
[2]Faculty Member, Computer Engineering Department, National University of Skills, Tehran, Iran.
[3]PhD Student, Department of Industrial and Systems Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

Article Type:
Original Research

Received: 08.11.2024
Revised: 09.19.2024
Accepted: 10.15.2024

Keyword:
Internet of Things
Remote Care and Monitoring
Neonatal Mortality Reduction
Vital Signs
Fever Baby Clothes
Smart Cradle

***Corresponding Author:**
Motahareh Dehghan
Email:
m_dehghan@modares.ac.ir

ABSTRACT

Caring for neonatals and reducing mortality rates is a critical health and social priority today. Statistics indicate that many infant deaths each year result from preventable issues. Advances in technology and the Internet of Things (IoT) present new opportunities to enhance newborn healthcare and monitoring. This article discusses the necessity of developing a comprehensive IoT-based system for neonatal care. If effectively designed and implemented, this system can enable continuous health monitoring, timely alerts, and improved neonatal safety. The current study demonstrated that new technologies can significantly lower infant mortality and enhance quality of life. Its goal was to empower doctors, nurses, parents, and stakeholders to remotely monitor newborns' conditions using appropriate sensors. The Internet of Things was employed to continuously monitor a baby's vital signs, alertness, and health through sensors that track temperature, movement, and ambient light.

©2024 the authors. Published by National University of Skills, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC License) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

E-ISSN: 2538-4430
ISSN: 2382-9796

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Infant health and well-being are fundamental priorities, as early childhood care significantly impacts long-term development and quality of life. Despite medical advancements, infant mortality remains high, especially in regions with inadequate healthcare access. Contributing factors include a lack of timely care, insufficient monitoring, and ineffective warning systems. Consequently, there is an urgent need for an intelligent, comprehensive system to monitor and care for newborns.

The Internet of Things (IoT) has emerged as a transformative technology, spanning applications in healthcare, smart cities, agribusiness, and security. In healthcare, IoT devices facilitate remote monitoring, fitness programs, and elderly care, promising lower costs and enhanced care quality. This study introduces an IoT-based system to remotely monitor newborns' health. The proposed system tracks vital signs, monitors ambient conditions, and provides real-time alerts to caregivers, aiming to improve neonatal outcomes and reduce preventable infant deaths.

Methodology

The methodology for this study follows a structured, step-by-step approach to design and implement the IoT-based neonatal monitoring and care system:

Step 1: Identification of Key Health Metrics

The first step was identifying critical health parameters to monitor in newborns, including heart rate, body temperature, movement, ambient temperature, diaper moisture, and wakefulness.

Step 2: Selection of Sensors

Based on the identified metrics, appropriate sensors were selected:

- PulseSensor for heart rate
- HC-SR501 PIR sensor for motion detection
- DHT22 sensor for temperature and humidity
- WaveShare LM386 for voice recognition
- TCS3200 for color detection (body temperature)
- Humidity sensor for diaper moisture
- Special baby clothes with color-changing properties for temperature monitoring.

Step 3: System Integration and Hardware Setup

The selected sensors were integrated into a comprehensive system using Arduino Uno R3, NodeMCU boards, and a ProMake Universal Relay Shield. These components allow communication between the sensors and the mobile application.

Step 4: Development of Mobile Application

A mobile application was developed to display real-time data from the sensors. It allows caregivers to monitor the newborn's condition remotely and receive alerts if any health parameter goes beyond the defined thresholds.

Step 5: Testing and Evaluation

The system was tested by simulating different scenarios (e.g., abnormal heart rate, temperature changes, and diaper moisture). The effectiveness of the system was evaluated based on its ability to provide timely alerts and ensure continuous monitoring.

Step 6: Data Analysis and Optimization

Data collected during testing was analyzed to optimize the system's performance. Adjustments were made to improve the accuracy and reliability of sensor readings and alerts.

Results and discussion

The results demonstrate that the designed IoT system effectively monitors and tracks the health and well-being of newborns. The system's sensors successfully measure vital signs such as heart rate, body temperature, and movement, and they trigger real-time alerts when thresholds are exceeded. The system also effectively adjusts environmental conditions, such as light and temperature, based on the baby's needs. The integration of the special baby clothes with color-changing technology provided an innovative solution for temperature monitoring, adding an additional layer of safety. The mobile application successfully displayed all real-time data and alerted caregivers when necessary, enhancing the overall quality of infant care. The discussion suggests that this system could play a crucial role in reducing neonatal mortality by providing timely alerts and facilitating continuous monitoring, even in regions with limited healthcare access. Future improvements could include expanding the system's capabilities and integrating it with broader healthcare frameworks to optimize neonatal care on a global scale.

Design and implementation

The objectives of developing and implementing a comprehensive remote neonatal monitoring and care system include the following six points:

- Monitoring the baby's heart rate: A compatible sensor tracks the heart rate, which can be accessed anytime through a mobile app. Alerts are issued if the heart rate goes beyond acceptable limits.
- Monitoring movement and adjusting ambient light: The system assumes the baby is in a dark environment. When someone enters, movement is detected, and ambient light is automatically increased. Once the person leaves, the light is reduced again. Lighting conditions can also be monitored via the mobile app.
- Temperature monitoring: The compatible sensor periodically measures ambient temperature, displaying it in the mobile app. If the temperature exceeds the threshold, an alert is triggered, and the fan activates to cool the area.
- Baby wake-up monitoring: The sound sensor detects when your baby wakes up and cries. Upon detection, an alert is issued, and the crib begins to move.
- Baby health monitoring: The moisture sensor checks the diaper's moisture level to assess the baby's health, issuing alerts as necessary.
- Body temperature monitoring: This project utilizes special clothing that changes color when a baby's body temperature rises, indicating a fever. Color detection sensors measure this change and can trigger an alert for increased body temperature. The status of all sensors is displayed remotely in real-time on a mobile application. Figure 1 demonstrates the system's structure, and Figure 2 illustrates the system designed for monitoring infants.

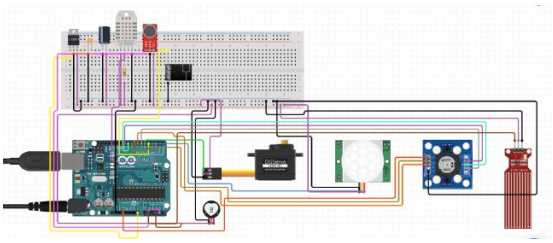


Figure 1. System structure and design schematic.

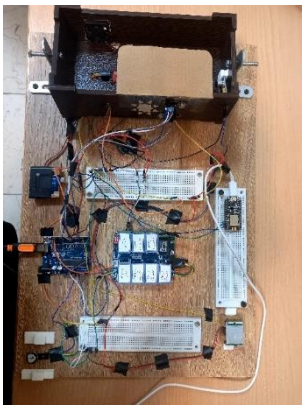


Figure 2. Comprehensive neonatal remote monitoring and care system.

The hardware and applications used in this project included[1]:

- PulseSensor heart rate sensor
- HC-SR501 PIR Motion Detection Sensor
- DHT22 Temperature Sensor
- Humidity sensor (water level)
- WaveShare LM386 Voice Recognition Sensor
- TCS3200 color detection sensor
- Feverish baby clothes
- SG90 servo motor
- Arduino Uno R3 board
- NodeMCU Board
- ProMake Universal 8ch Relay Board Relay Shield

Conclusion

The IoT-based neonatal monitoring system significantly improves infant care by addressing challenges like preventable deaths and inadequate monitoring. It ensures comprehensive care by tracking vital signs, environmental conditions, and health indicators while providing timely alerts to caregivers. The integration of color-changing clothing for temperature monitoring adds an innovative safety feature. Its adaptable design allows for scalability in neonatal care globally. Future large-scale implementations could validate its impact on reducing neonatal mortality, and integration into healthcare frameworks could enhance care coordination and efficiency, setting new standards for newborn health and safety worldwide.

[1] The implementation codes are uploaded to the https://github.com/M-Dehghan-Ch/IoT-Baby-Monitoring-Project address and are available to the public.

کارافن
فصلنامه علمی دانشگاه ملی مهارت
پاییز ۱۴۰۳، دوره ۲۱، شماره ۳، ۵۶-۳۵
آدرس نشریه: https://karafan.nus.ac.ir/
doi:10.48301/KSSA.2024.472494.2967

سلامت در عصر دیجیتال: طراحی و اجرای سامانه هوشمند پایش و مراقبت از راه دور

مطهره دهقان[1*]، کمیل شهواری[2]، میثم علوی[3]

۱- استادیار، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۲- عضو هیئت علمی، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران.
۳- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۵/۲۱
بازنگری مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۲۹
پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۷/۲۴

کلید واژگان:
اینترنت اشیا
مراقبت و پایش از راه دور
کاهش نرخ مرگ‌ومیر نوزادان
علائم حیاتی
لباس کودک تب‌نما
گهواره هوشمند

***نویسنده مسئول:** مطهره دهقان
پست الکترونیکی:
m_dehghan@modares.ac.ir

چکیده

در دنیای امروز، مراقبت از نوزادان و کاهش نرخ مرگ‌ومیر آنان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اولویت‌های بهداشتی و اجتماعی مطرح است. آمارها نشان می‌دهد که هرساله تعداد قابل‌توجهی از نوزادان به دلیل مشکلاتی که می‌توان از آن‌ها پیشگیری کرد، جان خود را از دست می‌دهند. با پیشرفت فناوری و ظهور اینترنت اشیا، فرصت‌های جدیدی برای بهبود مراقبت و پایش سلامت نوزادان به‌وجود آمده است. این مقاله به بررسی لزوم ایجاد و استفاده از یک سامانه جامع مبتنی بر اینترنت اشیا برای مراقبت و پایش نوزادان می‌پردازد. این سامانه با طراحی و اجرای دقیق، امکان نظارت مستمر بر وضعیت سلامتی نوزادان، ارائه هشدارهای به‌موقع و ارتقای ایمنی آنان را فراهم می‌کند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از فناوری‌های نوین می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی به کاهش نرخ مرگ و میر نوزادان و بهبود کیفیت زندگی آنان کمک کند. هدف از این مطالعه، کمک به پزشکان، پرستاران، والدین و به‌طور کلی ذی‌نفعان، برای پایش از راه دور وضعیت نوزاد است. برای نیل به این هدف، از اینترنت اشیا استفاده شده است که در هر لحظه با کمک حسگرهای مناسب، علائم حیاتی، وضعیت بیداری و بهداشتی نوزاد پایش می‌شود و دما، حرکت و تنظیم نور محیطی نوزاد مورد بررسی و تصمیم‌گیری قرار می‌گیرد.

شاپای الکترونیکی: ۲۵۳۸-۴۴۳۰
شاپای چاپی: ۲۳۸۲-۹۷۹۶

©2024 the authors. Published by National University of Skills, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC License) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

مقدمه

در دنیای مدرن، اهمیت سلامت و رفاه نوزادان به‌عنوان یکی از اساسی‌ترین اولویت‌های جوامع بشری شناخته شده است. مراقبت‌های صحیح در دوران نوزادی، نقش بسزایی در رشد و توسعه سالم کودکان ایفا می‌کند و می‌تواند به‌طور مستقیم بر کیفیت زندگی و آینده آن‌ها تأثیر بگذارد. با این حال، آمارها نشان می‌دهد که هرساله تعداد زیادی از نوزادان به دلیل مشکلاتی که می‌توان از آن‌ها پیشگیری کرد، جان خود را از دست می‌دهند. این مسئله، نیازمند توجه ویژه و ارائه راهکارهای مؤثر برای بهبود مراقبت‌های نوزادی است. علی‌رغم پیشرفت‌های پزشکی و بهداشتی، نرخ مرگ‌ومیر نوزادان در بسیاری از مناطق جهان همچنان بالا است. دسترسی‌نداشتن به مراقبت‌های به‌موقع، نظارت ناکافی بر وضعیت سلامت نوزادان و نبود سیستم‌های هشداردهنده مؤثر، ازجمله عواملی هستند که منجر به افزایش این آمار می‌شوند. بنابراین، ایجاد یک سامانه جامع و هوشمند که بتواند به‌صورت مستمر و دقیق بر وضعیت سلامت نوزادان نظارت کند و هشدارهای به‌موقعی را ارائه دهد، ضروری به‌نظر می‌رسد. در سال‌های اخیر، تلاش‌های بسیاری در راستای بهبود مراقبت‌های نوزادی انجام شده است. تحقیقات متعددی بر روی استفاده از فناوری‌های نوین مانند اینترنت اشیا[1] در این زمینه صورت گرفته و نتایج امیدوارکننده‌ای به‌دست آمده است [۱; ۲].

اینترنت اشیا یا اینترنت چیزها در زمینه‌های مختلف ازجمله شهرهای هوشمند، کنترل ترافیک، صنعت کشاورزی، امنیت، صنعت خودروسازی، لوازم‌خانگی، خرده‌فروشی، کنترل صنعتی و مراقبت‌های بهداشتی کارایی دارد. مراقبت‌های پزشکی و مراقبت‌های بهداشتی، یکی از جذاب‌ترین حوزه‌های کاربردی برای اینترنت اشیا هستند. از کاربردهای اینترنت اشیای پزشکی، نظارت بر سلامت از راه دور، برنامه‌های تناسب‌اندام، بیمارستان‌های هوشمند و مراقبت از سالمندان را می‌توان نام برد. بنابراین، دستگاه‌های پزشکی، حسگرها و دستگاه‌های تشخیصی و تصویربرداری مختلف را می‌توان به‌عنوان دستگاه‌های هوشمند یا اشیایی که بخش اصلی اینترنت اشیا را تشکیل می‌دهند نام برد. از این رو انتظار داریم خدمات مراقبت‌های بهداشتی مبتنی بر اینترنت اشیا[2] باعث کاهش هزینه‌ها، افزایش کیفیت زندگی و غنی‌سازی تجربه کاربر شود. از دیدگاه ارائه‌دهندگان مراقبت‌های بهداشتی، اینترنت اشیا پتانسیل کاهش زمان خرابی دستگاه از طریق ارائه از راه دور را دارد. بنابراین، اینترنت اشیا با اطمینان از بهترین استفاده و خدمات‌رسانی به بیماران بیشتر، برنامه‌ریزی کارآمد با وجود منابع محدود را فراهم می‌کند [۳; ۴].

به زبان ساده، اینترنت اشیا یعنی ارتباط حسگرها و دستگاه‌ها از طریق شبکه‌هایی مانند اینترنت و اینترانت، به‌طوری که از طریق این ارتباط و تعامل بین لوازم متصل به شبکه و کاربران دارای دسترسی مجاز به این شبکه، امکان مشاهده و کنترل لوازم متصل به شبکه برای کاربران آن فراهم می‌شود [۵; ۶].

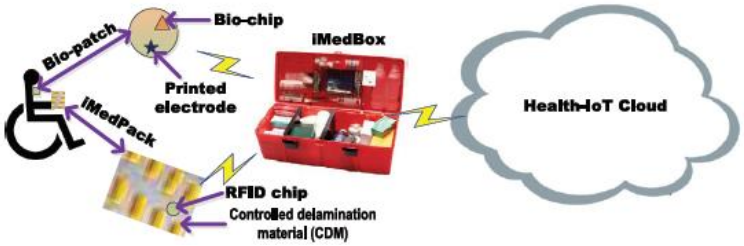
از کاربردهای اینترنت اشیا می‌توان در حوزه پزشکی و سلامت نام برد که به آن اینترنت اشیای پزشکی[3] گفته می‌شود. اینترنت اشیای پزشکی، به مجموعه‌ای از تجهیزات و لوازم پزشکی گفته می‌شود که از طریق اینترنت به شبکه سیستم‌های سلامت متصل می‌شوند [۷].

ما در این مقاله، یک سامانه جامع اینترنت اشیای پزشکی برای پایش و مراقبت از راه دور نوزادان طراحی و اجرا می‌کنیم که هدف آن، پایش علائم حیاتی نوزاد، حرکت و تنظیم نور محیطی و دمای محل نگهداری نوزاد، پایش وضعیت بیداری و بهداشتی نوزاد است. در بخش‌های بعدی این مقاله، ابتدا به مرور پژوهش‌های پیشین در این زمینه پرداخته می‌شود. سپس، به بررسی جزئیات طراحی و اجرای سامانه پیشنهادی می‌پردازیم. در نهایت، مزایا، معضلات و پیشنهادهایی را برای پژوهش‌های آینده مطرح خواهیم کرد.

[1] Internet of Things (IoT)
[2] Healthcare Based on The Internet of Things
[3] Internet of Medical Things (IoMT)

پژوهش‌های پیشین

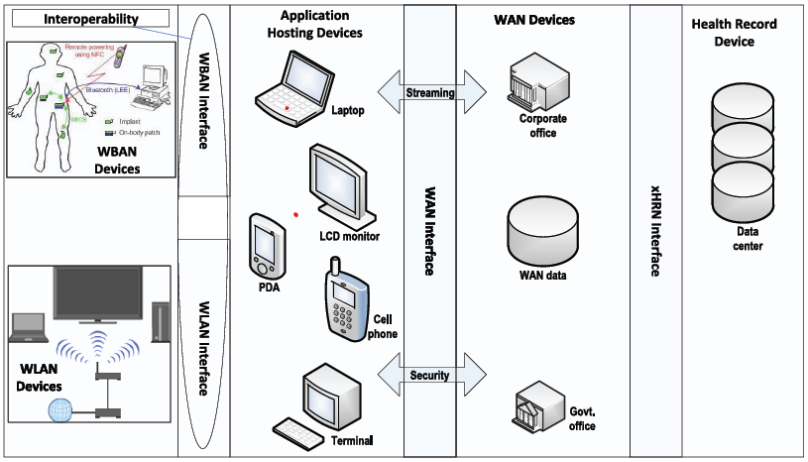
اینترنت اشیای پزشکی، انتقال و دریافت داده‌های پزشکی را تسهیل می‌بخشد و با استفاده از ارتباطات متناسب، مراقبت‌های پزشکی را امکان‌پذیر می‌سازد. توپولوژی شبکه اینترنت اشیای پزشکی به‌ترتیب عناصر مختلف یک شبکه سلامت مبتنی بر اینترنت اشیا اشاره دارد. در شکل ۱ نشان داده می‌شود که چگونه یک شبکه محاسباتی ناهمگن، مقادیر زیادی از علائم حیاتی و داده‌های حسگر مانند فشار خون، دمای بدن، نوار قلب و اکسیژن سطح خون را جمع‌آوری می‌کند. توپولوژی شبکه سلامت با استفاده از این قابلیت، محاسبات و ذخیره‌سازی دستگاه‌های الکترونیکی ثابت و متحرک مانند لپ‌تاپ‌ها، تلفن‌های هوشمند و پایانه‌های پزشکی را به شبکه‌های محاسباتی ترکیبی تبدیل می‌کند [۸]. در ادامه، علائم حیاتی بیمار با استفاده از دستگاه‌های پزشکی قابل حمل و حسگرهای متصل به بدن او ثبت می‌شود. سپس داده‌های گرفته‌شده تجزیه و تحلیل و ذخیره می‌شوند و داده‌های ذخیره‌شده از حسگرها و ماشین‌های مختلف جمع‌بندی می‌شوند. بر اساس تجزیه و تحلیل و جمع‌بندی، مراقبین می‌توانند بیماران را از هر مکانی تحت نظر داشته باشند. در شکل ۱، یک بسته‌بندی هوشمند دارویی[1] نمایش داده شده است که با استفاده از یک دستگاه اینترنت اشیا، مشکل سوءاستفاده از دارو مدیریت می‌شود و در نتیجه انطباق دارویی را تضمین می‌کند. جعبه داروی هوشمند[2] یک دروازه مراقبت‌های بهداشتی با مجموعه‌ای از حسگرهای مختلف موردنیاز و رابط‌های استاندارد بی‌سیم متعدد است که در شکل ۲ نمایش داده می‌شود.



شکل ۱. نمونه شبکه اینترنت اشیای پزشکی [۸].

حسگرهای پوشیدنی مختلف و دستگاه‌های اینترنت اشیا به‌صورت بی‌سیم به دروازه‌های مراقبت بهداشتی متصل می‌شوند که محیط بیمار را به فضای ابری اینترنت اشیا و یک شبکه ناهمگن (HetNet) که تشخیص بالینی و سایر تحلیل‌ها را ممکن می‌سازد، متصل می‌کنند. دروازه می‌تواند بررسی کند، ذخیره کند و تمام داده‌های جمع‌آوری‌شده را نمایش دهد. شناسایی فعالیت‌ها و نقش‌های مرتبط در خدمات پزشکی، یک عامل اساسی در طراحی توپولوژی شبکه سلامت مبنی بر اینترنت اشیا است. پردازش قبل، حین و پس از درمان شامل خدمات مراقبت‌های بهداشتی عمدتاً از دیدگاه ارائه‌دهندگان خدمات بهداشتی انجام می‌شود که چنین فعالیتی در زمینه خدمات فوریت‌های پزشکی نشان داده شده است [۹] و همچنین یک توپولوژی شبکه سلامت مبتنی بر اینترنت اشیا شامل محاسبات ابری برای مراقبت‌های بهداشتی فراگیر پیشنهاد شده است [۱۰]. این را می‌توان به‌عنوان یک سیستم شبکه کاملاً معمولی با حضور همه‌جانبه اتصال به اینترنت درنظر گرفت. سپس توپولوژی باید شامل برخی قوانین پزشکی در مورد یک سیستم نظارت پزشکی باشد [۱۱].

[1] Intelligent Medical Packaging (Imedpack)
[2] Intelligent Medical Box (Imedbox)



شکل ۲. توپولوژی شبکه سلامت مبتنی بر اینترنت اشیا [۱۲].

در [۱۳; ۱۴] یک سیستم پایش بلادرنگ علائم حیاتی با استفاده از فناوری اینترنت اشیا پیشنهاد داده شده است. در این مقاله، یک انکوباتور هوشمند برای ردیابی شرایط نوزاد از راه دور طراحی و اجرا شده است که امکان پایش علائم حیاتی نوزادان از راه دور با استفاده از برنامه کاربردی موبایل را فراهم می‌کند.

نویسندگان مقاله [۱۵] یک سیستم پیشرفته پایش نوزادان با استفاده از فناوری اینترنت اشیا ارائه داده‌اند که از ریزپردازنده NodeMCU ESP۸۲۶۶ و حسگرهایی برای پایش نوزادان استفاده می‌کند. در این مقاله از Arduino IDE برای برنامه‌نویسی سخت‌افزار استفاده شده است.

در [۱۶] یک سیستم پایش سلامتی نوزاد در NICU و براساس فناوری‌های اینترنت اشیا، زنجیره بلوکی، یادگیری عمیق و مه ارائه شده است. این سیستم، علائم حیاتی نوزادان را به‌صورت بلادرنگ پایش می‌کند و از حسگرهای پوشیدنی، پایشگرهای هوشمند، محاسبات مه، زنجیره بلوکی خصوصی و ابر غیرمتمرکز استفاده می‌شود.

امبانوزو[1] و همکارانش در [۱۷] یک انکوباتور ملی در آفریقای جنوبی برای پایش نوزادان به صورت بلادرنگ طراحی و اجرا کرده‌اند. در این انکوباتور، دما، رطوبت، اکسیژن محیط و ضربان قلب نوزاد اندازه‌گیری می‌شود و اطلاعات به یک گوشی هوشمند ارسال می‌شود.

عالم[2] و همکارانش در [۱۸] یک سیستم پایش هوشمند نوزاد با استفاده از اینترنت اشیا و یادگیری ماشین ارائه داده‌اند. در این سیستم فعالیت‌های نوزاد، حرکت او، دما و رطوبت محیط پایش می‌شود. همچنین از یادگیری ماشین برای شناسایی حرکت احساسات نوزاد استفاده می‌شود.

در [۱۹] یک گهواره هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا برای پایش نوزاد از راه دور طراحی و اجرا شده است. در این سامانه یک سیستم هشداردهی برای اطمینان از فضای امن نوزاد طراحی و اجرا شده است. در [۲۰] یک سیستم پایش پارامترهای انکوباتور مانند دمای بدن نوزاد طراحی و اجرا شده است. در این سیستم از ماژول ESP۳۲ برای انتقال داده استفاده شده است. همچنین داده‌های انتقال‌یافته از راه دور بر روی یک LCD و Blynk نمایش داده می‌شوند.

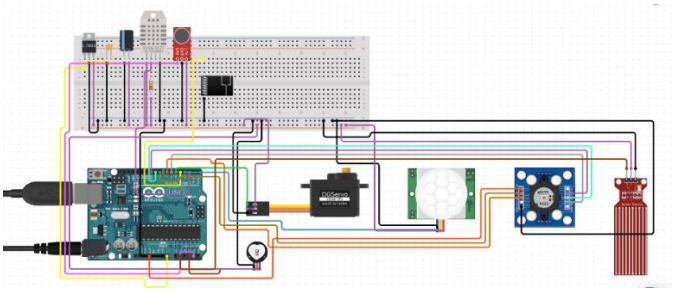
[1] Mbanuzue
[2] Alam

طراحی و اجرا

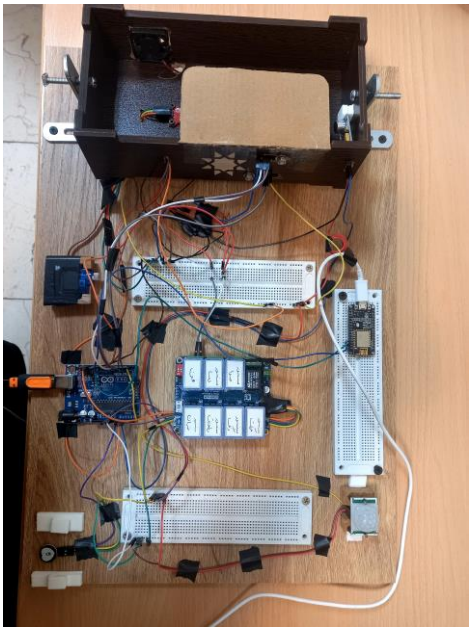
هدف از طراحی و اجرای سامانه جامع پایش و مراقبت از راه دور نوزادان شامل شش مورد زیر است:

- **پایش ضربان قلب نوزاد:** با کمک حسگر مناسب، ضربان قلب نوزاد کنترل می‌شود و امکان بررسی مقدار آن در هر لحظه از طریق برنامه کاربردی موبایل فراهم است. همچنین در صورتی که مقدار ضربان قلب از حد مجاز کمتر یا بیشتر شود اخطاری صادر خواهد شد.
- **پایش حرکت و تنظیم نور محیطی:** فرض شده است که نوزاد در محیطی با نور کم در حال استراحت است و در صورتی که فردی وارد محیط نوزاد شود حرکات او شناسایی می‌شود و به‌طور خودکار مقدار نور محیط افزایش می‌یابد. با ترک محل، مقدار نور مجدداً کاهش پیدا می‌کند. همچنین وضعیت روشنایی و نور محیطی از طریق برنامه کاربردی موبایل قابل بررسی خواهد بود.
- **پایش دما:** با کمک حسگر مناسب دمای محیط به‌طور مرتب اندازه‌گیری می‌شود و در برنامه کاربردی موبایل قابل مشاهده است. همچنین در صورتی که دما از حد آستانه بیشتر باشد اخطاری صادر می‌شود و یک فن برای کاهش دما روشن خواهد شد.
- **پایش وضعیت بیداری نوزاد:** با کمک یک حسگر صدا، بیداربودن نوزاد با کمک صدای گریه قابل پایش است و در صورتی که نوزاد بیدار شود و شروع به گریه کند اخطاری صادر می‌شود و گهواره نوزاد شروع به حرکت می‌کند.
- **پایش وضعیت بهداشتی نوزاد:** با کمک حسگر رطوبت، میزان رطوبت پوشک و وضعیت بهداشتی نوزاد بررسی می‌شود و در صورتی که لازم باشد اخطاری صادر می‌شود.
- **پایش دمای بدن:** در این پروژه از یک لباس مخصوص تب‌نما استفاده شد که با افزایش دمای بدن نوزاد رنگ آن تغییر می‌کند. با کمک یک حسگر تشخیص رنگ، این تغییر قابل اندازه‌گیری است و در صورتی که دمای بدن بالا باشد اخطاری صادر خواهد شد.

وضعیت تمامی حسگرها به‌صورت بلادرنگ و از راه دور، در برنامه کاربردی موبایل نمایش داده می‌شود.
طراحی شماتیک این سامانه در شکل ۳ و اجرای آن در شکل ۴ نمایش داده شده است.



شکل ۳. طراحی شماتیک سامانه جامع پایش و مراقبت از راه دور نوزادان.



شکل ۴. سامانه جامع پایش و مراقبت از راه دور نوزادان.

در ادامه جزئیات سخت‌افزارها و برنامه‌های کاربردی مورد استفاده در سامانه به‌طور مفصل توضیح داده می‌شود.

سخت‌افزارها و برنامه‌های کاربردی

برنامه‌های کاربردی و سخت‌افزارهای اینترنت اشیای پزشکی که در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته‌اند شامل موارد زیر هستند [۲۱]:

حسگر ضربان قلب PulseSensor

همان‌گونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود در این حسگر، قسمتی به شکل قلب طراحی شده است که انگشت بر روی آن قرار می‌گیرد و در زیر آن یک LED سبزرنگ و و یک حسگر نور تعبیه شده است. زمانی که نور سبزرنگ به انگشت دست برخورد می‌کند، هموگلوبین اکسیژن‌دار موجود در خون، آن را جذب می‌کند. هرچقدر خون قرمزتر و تعداد هموگلوبین آن بیشتر باشد، نور سبز بیشتری جذب می‌شود. با هر بار تپش قلب، خون به سمت رگ‌های موجود در نوک انگشتان دست پمپاژ می‌شود و مقدار نور سبز بازتاب‌شده نیز تغییر پیدا می‌کند. در نتیجه متناسب با ضربان قلب، یک شکل موج در خروجی حسگر نوری ایجاد می‌شود و می‌توان ضربان قلب را با کمک آن اندازه گرفت.

شکل ۴. حسگر اندازه‌گیری تعداد ضربان قلب [۲۲].

این حسگر دارای سه پایه است که با علامات -، + و S بر روی آن مشخص شده‌اند. پایه منفی به زمین و پایه مثبت به منبع تغذیه ۵ ولت متصل می‌شوند. در اینجا منظور از زمین پایه GND در برد آردوینو است. پایه S سیگنال خروجی حسگر به شکل یک مقدار آنالوگ است که باید به ورودی آنالوگ برد آردوینو متصل شود. برای استفاده از این حسگر در آردوینو باید از کتابخانه PulseSensor Playground استفاده کرد. کد اجرای زیر، نمونه‌ای برای محاسبه ضربان قلب در دقیقه است.

Code 1: heart rate calculation per minute

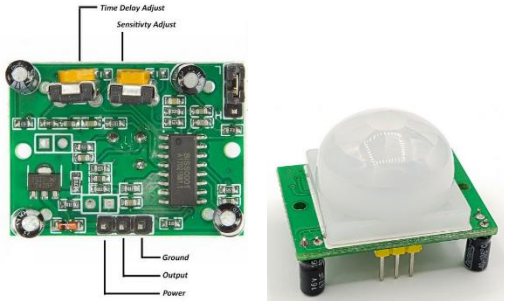
```
#define USE_ARDUINO_INTERRUPTS true
 // Includes the PulseSensorPlayground Library
#include <PulseSensorPlayground.h>
const int PulseWire = A0; // 'S' Signal pin connected to A0
const int LED13 = 13; // The on-board Arduino LED
int Threshold = 550; // Determine which Signal to "count as a beat" and which to ignore
PulseSensorPlayground pulseSensor;  // Creates an object
void setup() {
   Serial.begin(9600);
// Configure the PulseSensor object, by assigning our variables to it
   pulseSensor.analogInput(PulseWire);
   pulseSensor.blinkOnPulse(LED13);  // Blink on-board LED with heartbeat
   pulseSensor.setThreshold(Threshold);

// Double-check the "pulseSensor" object was created and began seeing a signal
   if (pulseSensor.begin()) {
      Serial.println("PulseSensor object created!");
   }
}
 void loop() {
   int myBPM = pulseSensor.getBeatsPerMinute();  // Calculates BPM

   // Constantly test to see if a beat happened
   if (pulseSensor.sawStartOfBeat()) {
      Serial.println("♥  A HeartBeat Happened ! ");// If true, print a message
      Serial.print("BPM: ");
      Serial.println(myBPM);   // Print the BPM value
      }
    delay(20);
```

حسگر تشخیص حرکت HC-SR۵۰۱ PIR

این حسگر با اندازه‌گیری اشعه مادون قرمز و تغییرات آن، حرکت را تشخیص می‌دهد. شکل ۵- الف نمای ظاهری این حسگر را نشان می‌دهد که دایره سفیدرنگ، به اشعه مادون قرمز حساس است. همچنین، براساس شکل ۵-ب، برد تشکیل‌دهنده این حسگر دارای دو دریچه مستطیلی شکل است و دو الکترود حسگر مادون قرمز در پشت این دو دریچه قرار دارد که یکی خروجی مثبت و دیگری خروجی منفی تولید می‌کند. اتصال دو الکترود به‌گونه‌ای است که مقادیر خروجی همدیگر را خنثی می‌کنند. اما اگر یک الکترود سطح کمتر یا بیشتری از امواج مادون قرمز را دریافت کند، خروجی حسگر HIGH یا LOW خواهد بود.



شکل ۵. الف) شکل ظاهری حسگر تشخیص حرکت [۲۳]. ب) برد قابل تشکیل‌دهنده حسگر تشخیص حرکت [۲۳].

هنگامی که حسگر فعال نیست، یعنی زمانی که هیچ نوع حرکتی در محیط وجود ندارد، هر دو الکترود مادون قرمز سطح یکسانی از امواج مادون قرمز را دریافت می‌کنند و در نتیجه تفاضل خروجی دو الکترود صفر خواهد بود اما هنگامی که یک جسم گرم نظیر بدن انسان یا حیوان از مقابل این حسگر عبور می‌کند، در ابتدا یک نیمه حسگر تحت تأثیر قرار خواهد گرفت و در نتیجه یک تغییر تفاضلی مثبت در خروجی دو الکترود به‌وجود خواهد آمد. هنگامی که جسم گرم محیط را ترک می‌کند، این فرایند به‌صورت معکوس رخ می‌دهد و یک تغییر تفاضلی منفی خواهیم داشت. این سیگنال پالسی ایجادشده سبب فعال‌شدن پایه خروجی حسگر می‌شود. ماژول HC-SR۵۰۱ PIR دارای سه پایه است که عبارتند از پایه VCC که به منبع تغذیه پنج ولت متصل می‌شود، پایه GND برای زمین و پایه خروجی دیجیتال. بر روی برد حسگر، دو پتانسیومتر برای تنظیم پارامترهای حساسیت و زمان حسگر وجود دارد:

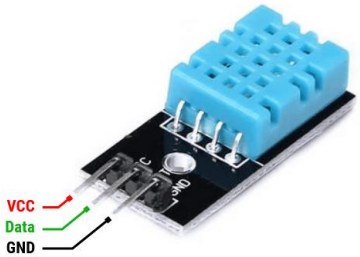
پتانسیومتر حساس[1]: برای تنظیم حداکثر فاصله‌ای که در آن فاصله حرکت قابل تشخیص باشد، از این پتانسیومتر استفاده می‌شود. رنج فاصله قابل تنظیم بین ۳ تا حدود ۷ متر است. ساختار هندسی محل به‌کارگیری حسگر می‌تواند فاصله آشکارسازی واقعی حسگر را تحت تأثیر قرار دهد.

پتانسیومتر زمان[2]: مشخص‌کننده مدت‌زمان فعال‌بودن خروجی حسگر پس از آشکارسازی حرکت می‌باشد. این زمان بین حداقل ۳ و حداکثر ۳۰۰ ثانیه قابل تنظیم است. کد با شماره Code-۲ [۲۴]، برای راه‌اندازی این حسگر قابل استفاده است.

حسگر دما DHT۲۲

حسگر دما که در شکل ۶ قابل مشاهده است، یکی از پرکاربردترین حسگرهای اندازه‌گیری دما است که قابلیت اندازه‌گیری رطوبت هوا را نیز دارد. این حسگر از سه پایه شامل VCC که به منبع تغذیه پنج ولت متصل می‌شود. پایه GND برای اتصال به زمین و پایه داده تشکیل شده است. برای استفاده از این حسگر می‌توان از دو کتابخانه <dht.h> و <DHT.h> استفاده کرد که با یکدیگر اندکی تفاوت دارند. در اجرای طرح موردنظر در این مقاله، از <DHT.h> استفاده شد.

[1] Sensitivity
[2] Time

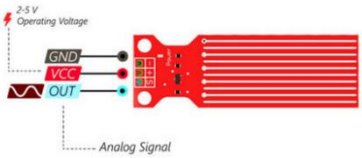


شکل ۶. حسگر DHT۲۲ برای اندازه‌گیری دمای محیط [۲۵].

کد ۳-Code [۲۴]، شیوه استفاده از این حسگر را بیان می‌کند.

حسگر رطوبت (سطح آب)

براساس شکل ۷، این حسگر شامل ۱۰ نوار مسی موازی است که پنج نوار مسی، خطوط منبع ولتاژ و پنج نوار دیگر خطوط سیگنال هستند. این دو دسته نوار، یکی در میان، روی صفحه حسگر قرار داده شده‌اند. این دو دسته، در حالت عادی، اتصالی با یکدیگر ندارند، تا زمانی که یک مایع رسانا روی سطح نوارهای حسگر قرار گیرد. یعنی در حالت خشک و بدون رطوبت، مقاومت بین این خطوط، بسیار زیاد و در نتیجه ولتاژ نوارهای مربوط به سیگنال صفر است. حال هرچه صفحه شامل نوارها بیشتر، در مایع فرورود؛ رسانایی بین دو دسته نوار قوی‌تر، مقاومت بین خطوط کمتر و ولتاژ نوارهای سیگنال به ولتاژ پایه + نزدیک‌تر می‌شود.

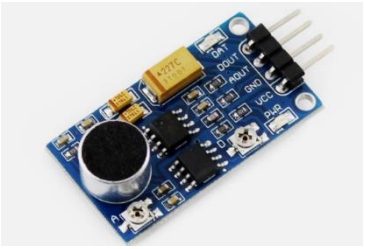


شکل ۷. حسگر اندازه‌گیری رطوبت براساس میزان مایع رسانا [۲۶].

این حسگر دارای سه پایه است که شامل یک پایه GND برای اتصال زمین، یک پایه VCC برای اتصال به منبع تغذیه و یک پایه هم برای سیگنال خروجی به شکل آنالوگ است. کد به شماره ۴-Code [۲۴]، نمونه ساده‌ای برای استفاده از این حسگر است.

حسگر تشخیص صدا WaveShare LM۳۸۶

این حسگر که در شکل ۸ نمایش داده شده است، برای تشخیص صدای محیطی، تشخیص سطح صدا و تقویت صدا استفاده می‌شود. این حسگر دارای چهار پایه است که شامل یک پایه GND برای اتصال به زمین، یک پایه VCC برای اتصال به منبع تغذیه، یک پایه AOUT به عنوان خروجی آنالوگ و یک پایه DOUT به عنوان خروجی دیجیتال است. در این پروژه از خروجی آنالوگ استفاده شده است.



شکل ۸. حسگر تشخیص صدای محیط، سطح صدا و تقویت‌کننده آن [۲۷]

نمونه کد Code-۵ [۲۴]، برای تشخیص صدای محیطی پیوسته بیش از چند ثانیه است که بعد از تشخیص صدا یک چراغ LED را روشن می‌کند و از راه دور، پیامی را برای ذی‌نفع ارسال می‌کند.

حسگر تشخیص رنگ TCS۳۲۰۰

از حسگر TCS۳۲۰۰ که در شکل ۹ نمایش داده شده است برای تشخیص طیف وسیعی از رنگ‌ها استفاده می‌شود. این حسگر دارای ده پایه است که در دو سمت آن قرار گرفته‌اند. در یک سمت پایه‌های VCC، S۱، S۰، LED و GND قرار گرفته‌اند و در سمت دیگر پایه‌های VCC، S۳، S۲، OUT و GND. پایه VCC به منبع تغذیه و پایه GND به زمین متصل می‌شوند. پایه‌های S۰، S۱، S۲ و S۳ به برد آردوینو متصل می‌شوند و با دریافت سیگنال مناسب، امکان شناسایی رنگ‌های مختلف را فراهم می‌کنند. پایه OUT به‌عنوان خروجی دیجیتال حسگر، رنگ شناسایی‌شده را به برد برمی‌گرداند. کد به شماره Code-۶ [۲۴]، نمونه ساده‌ای برای شناسایی انواع رنگ‌ها است.

شکل ۹. حسگر تشخیص رنگ TCS3200 [۲۸].

لباس کودک تب‌نما [۲۹]

این لباس از الیافی تولید شده است که با افزایش دما، رنگ آن تغییر می‌کند. همان‌گونه که در شکل ۱۰ قابل مشاهده است، به‌طور عادی رنگ لباس صورتی است اما با افزایش دما رنگ آن سفید می‌شود. کاربرد اصلی این لباس برای کمک به والدین و پرستاران است تا بتوانند به‌راحتی از افزایش دمای بدن نوزاد باخبر شوند و اقدامات لازم را انجام دهند. استفاده از دماسنج برای پایش پیوسته دمای بدن نوزاد ممکن است مشکلاتی به همراه داشته باشد، برای مثال اینکه باید دمای نقاط خاصی از بدن اندازه‌گیری شود، چسباندن دماسنج به نوزاد ممکن است حساسیت پوستی یا زخم ایجاد کند یا جابه‌جایی و حرکت نوزاد ممکن است در کار دماسنج اختلال ایجاد کند اما استفاده از این لباس باعث می‌شود تا بتوان به‌راحتی تغییر دمای بدن نوزاد را پایش کرد بدون اینکه مشکلی برای نوزاد به‌وجود آید.

برای پایش از راه دور تغییر رنگ لباس می‌توان از روش‌های گوناگونی استفاده کرد. روش ساده‌تر استفاده از حسگر تغییر رنگ است که در این پروژه مورد استفاده قرار گرفت. همچنین می‌توان با استفاده از دوربین و با کمک پردازش تصویر نیز تغییرات لباس را اندازه گرفت. استفاده از دوربین می‌تواند مزایای دیگری نیز داشته باشد مانند مشاهده وضعیت

نوزاد به‌صورت تصویری، تحلیل وضعیت صورت نوزاد با هوش مصنوعی و شناسایی عواطف و اتخاذ راهبرد مناسب با توجه به وضعیت نوزاد.

شکل ۱۰. لباس کودک تب‌نما [۲۹].

سروو موتور[1] SG۹۰

براساس شکل ۱۱، سروو موتور یک نوع موتور است که دارای زاویه چرخش و شتاب چرخش قابل کنترل است. با کمک این موتور به‌راحتی می‌توان تاب‌دادن گهواره را اجرایی کرد. این موتور سه کابل خروجی دارد که یکی به برق ۵ ولت، یکی به زمین و دیگری به برد آردوینو متصل می‌شود.

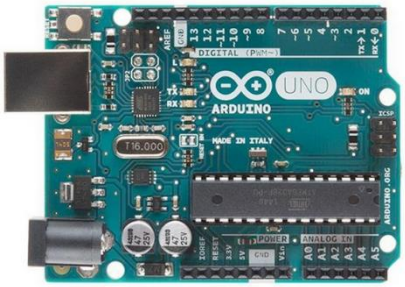
شکل ۱۱. سروو موتور برای حرکت گهواره [۳۰].

برای استفاده از این موتور باید کتابخانه <Servo.h> را بر روی آردوینو نصب کرد. با استفاده از کد Code-۷ [۲۴] می‌توان این موتور را کنترل کرد تا به مقدار موردنیاز حرکت کند.

برد Arduino Uno R۳

برد Arduino Uno یک برد ریزپردازنده بر پایه ATmega۳۲۸P است که در پروژه‌های اینترنت اشیا استفاده می‌شود. براساس شکل ۱۲، این برد شامل ۱۴ پایه ورودی/خروجی دیجیتال (پایه‌های صفر تا ۱۳)، ۶ ورودی آنالوگ (پایه‌های A۰تا A۵)، یک ورودی USB و یک ورودی تغذیه است. این برد برای تامین تغذیه ابزارهای جانبی مانند حسگرها حاوی پایه‌های ۳/۳ ولت و ۵ ولت و همچنین پایه زمین (GND) است.

[1] Servo Motor



شکل ۱۲. برد ریزپردازنده Arduino بر پایه ATmega۳۲۸P [۳۱].

برد NodeMCU

این برد که در شکل ۱۳ قابل مشاهده است، یک بستر اینترنت اشیا بر پایه ESP۸۲۶۶ است که قابلیت اتصال از طریق wifi را فراهم می‌کند و به دلیل نبود wifi در Arduino Uno R۳ در این پروژه مورد استفاده قرار گرفت. این برد در پروژه‌های ساده‌تر و کم‌هزینه‌تر می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد ولی ویژگی‌های آن برای این پروژه کافی نبود. این برد برای کارکردن نیاز به منبع تغذیه ۵ ولت دارد که از طریق اتصال USB قابل تأمین است.

شکل ۱۳. برد Nodemcu بر پایه ESP۸۲۶۶ [۳۲].

ارسال و دریافت اطلاعات بین دو برد به‌صورت سریال قابل انجام است. برای این کار پایه‌های D۱ و D۲ از برد NodeMCU به دو پایه دیجیتال برد Arduino متصل می‌شوند که در این پروژه از پایه‌های ۱۱ و۱۲ استفاده شد. در قسمت نرم‌افزاری، نیاز به کتابخانه <SoftwareSerial.h> داریم. کد اجرا در سمت NodeMCU در کد به شماره Code-۸ [۲۴] بیان شده است. همچنین کد اجرا در ریزپردازنده Arduino در Code-۹ [۲۴] نمایش داده شده است.

شیلد رله ProMake Universal ۸ch Relay Board

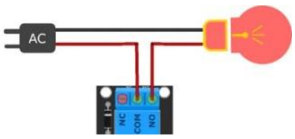
از رله‌ها برای کنترل و خاموش و روشن کردن وسایل مختلف مانند چراغ، فن و ... استفاده می‌شود. برد رله استفاده‌شده مانند شکل ۱۴، دارای هشت کانال با شماره‌های یک تا هشت است؛ به این معنی که می‌توان هشت وسیله مختلف را با کمک آن کنترل کرد. ارتباط و کنترل این رله از طریق فناوری I2C انجام می‌گیرد. همچنین از طریق طریق درگاه‌های Grove و QWIIC می‌توان تا ۸ برد رله مختلف را به‌هم متصل کرد و ۶۴ دستگاه مختلف را با کمک آن روشن و خاموش کرد. ارتباط I۲C باعث می‌شود که کنترل این ۶۴ دستگاه فقط از طریق دو پایه SDA و SCL انجام شود. برای اتصال این برد به برد آردوینو از یک کابل Grove استفاده می‌شود که دارای چهار پایه است. پایه اول به منبع

تغذیه ۵ ولت متصل می‌شود، پایه دوم به زمین، پایه سوم SDA است که در برد آردوینو برابر با پایه A۴ و پایه چهارم SCL است که در برد آردوینو برابر با پایه A۵ است.

شکل ۱۴. شیلد رله برای کنترل و خاموش و روشن کردن وسایل [۳۳].

در این ارتباط که می‌توان از یک تا هشت برد رله استفاده کرد. هر برد دارای آدرس I۲C متفاوتی خواهد بود که با کمک یک DIP switch سه‌تایی قابل تغییر خواهد بود. با کمک این سوئیچ می‌توان اعداد صفر تا هفت را به هر برد رله منتسب کرد و به این ترتیب هشت رله به‌هم متصل خواهند بود و آدرس مجزایی خواهند داشت. برای ارسال دستور به هر برد، باید آدرس برد و کانال رله را مشخص کرد. آدرس هر برد را به کمک کد Code-۱۰ [۲۴] می‌توان شناسایی کرد که برای اجرای آن باید از کتابخانه "I۲CScanner.h" استفاده کرد.

هر کانال رله را می‌توان به یک وسیله متصل کرد. به‌طور کلی هر رله سه خروجی دارد. این سه خروجی با نام‌های NC، NO و COM شناخته می‌شوند. خروجی NC به معنی مدار بسته است و جریان برق برقرار است تا زمانی که دستور قطع صادر شود به این معنی که دستگاه روشن خواهد بود و با فعال‌شدن رله خاموش خواهد شد. خروجی NO به معنی مدار باز است و دستگاه خاموش خواهد بود تا زمانی که رله فعال شود. با توجه به نیاز فقط یکی از این دو به دستگاه متصل خواهند شد. خروجی COM همیشه متصل خواهد بود. نمونه‌ای از بستن مدار به کمک رله در شکل زیر قابل مشاهده است. در این تصویر سر پنج ولت منبع تغذیه به COM وصل می‌شود و NO به دستگاه مورد نظر. همچنین سیم زمین نیز مستقیم از دستگاه به منبع تغذیه متصل می‌شود. با فعال‌شدن رله، جریان برق، برقرار و دستگاه روشن می‌شود. به‌طور معمول برای کنترل بردهای I۲C از کتابخانه <Wire.h> استفاده می‌شود. برای این رله علاوه بر <Wire.h> نیاز به یک کتابخانه دیگر با نام "pca۹۵xx.h" داریم که با کمک آن وضعیت رله‌های هر برد را تغییر می‌دهیم. وضعیت هر رله با یک بیت مشخص می‌شود که اگر یک باشد رله خاموش و اگر صفر باشد رله روشن خواهد بود. کد Code-۱۱ [۲۴] نمونه‌ای برای کنترل این رله است.



پرومیک [۳۳] I۲C برد رله هشت کانال با کنترل شکل ۱۵.

اتصالات پایه‌های آردوینو که در پروژه فعال شده‌اند، در جدول ۱ قابل مشاهده است.

جدول ۱. اتصالات پایه‌های آردوینو در پروژه کنونی.

نام پایه	نوع اتصال	نام پایه	نوع اتصال
A۵	-	۰	-
A۴	-	۱	-
A۳	-	۲	حسگر حرکت
A۲	حسگر صدا	۳	حسگر رنگ- S۰
A۱	حسگر رطوبت	۴	حسگر رنگ – S۱
A۰	حسگر ضربان	۵	حسگر رنگ- S۲
VIN	-	۶	حسگر رنگ-S۳
GND	-	۷	حسگر رنگ-OUT
GND	پایه زمین حسگرها	۸	-
۵V	پایه vnn حسگرها	۹	سروو موتور
۳.۳V	-	۱۰	حسگر دما
RESET	-	۱۱	NODEMCU- D۲
IOREF	-	۱۲	NODEMCU- D۱
-	-	۱۳	-
-	-	GND	پایه زمین حسگرها
-	-	AREF	-
-	-	A۴	SDA – رله
-	-	A۵	SCL -رله

زمانبندی اجرای توابع و حسگرها

بسیاری از توابع و حسگرها برای اجرا نیاز به تأخیر مختصری دارند که از چند میلی‌ثانیه تا چند ثانیه طول می‌کشد. در پروژه‌های ساده از تابع delay است که برحسب میلی‌ثانیه یک وقفه بین دستورات ایجاد می‌کند اما در پروژه‌های بزرگ‌تر این روش مناسب نیست و روش جایگزین استفاده از تابع millis است. این تابع، مدت‌زمانی که از شروع کار گذشته را برحسب میلی‌ثانیه برمی‌گرداند. به این ترتیب می‌توان برای حسگرها و توابع مختلف یک زمان‌سنج تنظیم کرد تا در زمان مناسب اجرا شوند. کد زمان‌بندی اجرای توابع و حسگرها در Code-۱۲ [۲۴] قابل نمایش است.

بحث و نتیجه‌گیری

در دنیای معاصر، مراقبت از نوزادان و کاهش نرخ مرگ و میر آن‌ها به یکی از دغدغه‌های اصلی بهداشتی و اجتماعی تبدیل شده است. مقاله حاضر به بررسی کاربرد فناوری نوین اینترنت اشیا، در ارتقاء کیفیت مراقبت و پایش وضعیت نوزادان پرداخته است. این سامانه‌ها با استفاده از حسگرهای مختلف قادر به پایش لحظه‌ای علائم حیاتی، وضعیت محیطی و بهداشتی نوزاد هستند و از این طریق هشدارهای به موقع را برای والدین و مراقبین فراهم می‌آورند. ویژگی‌های کلیدی این سامانه شامل پایش ضربان قلب، حرکت نوزاد، نور محیط، دما، وضعیت بیداری، وضعیت بهداشتی و دمای بدن نوزاد است. این قابلیت‌ها با هدف کاهش خطرات و بهبود کیفیت زندگی نوزادان طراحی شده‌اند. در جدول ۲، پژوهش حاضر با پژوهش های پیشین در این حوزه مقایسه می شوند.

جدول ۲. مقایسه پژوهش حاضر با پژوهش‌های پیشین.

مقاله	نوآوری	پایش دمای بدن	پایش ضربان قلب	پایش حرکت در محیط استراحت نوزاد	پایش و تنظیم نور محل استراحت نوزاد	پایش دمای محیطی	پایش وضعیت بیداری نوزاد	پایش وضعیت بهداشتی نوزاد	پایش حرکت نوزاد
Real Time Monitoring of Vitals of a Baby Using IoT-Enabled Smart Baby Incubator [14]	طراحی انکوباتور هوشمند برای پایش علائم حیاتی نوزاد از راه دور	✓	✓	×	×	×	×	×	×
IoT-BIMS: Internet of Things Based Infant Monitoring System [13]	طراحی انکوباتور هوشمند برای پایش علائم حیاتی نوزاد از راه دور	✓	✓	×	×	×	×	×	×
An Automated Infant Monitoring System Utilizing Microsensor Technology for Motion Detection and Audio Surveillance [15]	طراحی یک سیستم پیشرفته پایش نوزادان با استفاده از فناوری اینترنت اشیا	×	×	×	✓	×	✓	×	×
A Blockchain-Enabled IoT Framework for NICU Infant Health Monitoring System [16]	طراحی و پیاده‌سازی یک سیستم پایش سلامتی نوزاد در NICU و براساس فناوری‌های اینترنت اشیا، زنجیره بلوکی، یادگیری عمیق و مه	✓	✓	×	×	×	×	×	×
Real-Time Monitoring of Neonatal Incubator Parameters Via Iot-Integrated Device: Design, Implementation, and Evaluation [17]	طراحی و پیاده‌سازی یک انکوباتور ملی در آفریقای جنوبی برای پایش نوزادان به صورت بلادرنگ	×	✓	×	×	✓	×	×	×
IoT based smart baby monitoring system with emotion recognition using machine learning [18]	طراحی یک سیستم پایش هوشمند نوزاد با استفاده از اینترنت اشیا و یادگیری ماشین	×	×	×	×	✓	×	×	✓
IoT based smart intruder system for baby monitoring [19]	طراحی و پیاده‌سازی گهواره هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا	×	×	×	×	×	✓	×	×
Baby Incubator with Room Temperature and Skin Temperature Monitoring Via IoT-Based WIFI Network [20]	طراحی انکوباتور هوشمند برای پایش علائم حیاتی نوزاد از راه دور	✓	✓	×	×	✓	×	×	×
مقاله کنونی	طراحی و پیاده‌سازی یک سیستم جامع پایش و مراقبت از نوزاد و مبتنی بر اینترنت اشیا	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×

در ادامه این پژوهش می‌توان، برای ارزیابی دقیق‌تر تأثیر این سامانه‌ها بر کاهش مرگ‌ومیر نوزادان، آزمایش‌ها و اجراهای بیشتری در مقیاس وسیع‌تر انجام داد. این مطالعات می‌توانند به تأیید تأثیرات مثبت سامانه‌های اینترنت اشیا پزشکی در شرایط مختلف کمک کنند. همچنین، پژوهش‌های آتی می‌توانند بر نحوه تعامل والدین و پرستاران با این سامانه‌ها تمرکز کنند. درک بهتر از نیازها و واکنش‌های انسانی به این فناوری‌ها می‌تواند به بهبود طراحی و کاربری سامانه‌ها کمک کند. تحقیق در زمینه نحوه ادغام این سامانه‌ها با سیستم‌های بهداشتی و درمانی موجود می‌تواند به بهبود هماهنگی و کارایی مراقبت‌های نوزادان کمک کند. در مجموع، پژوهش‌های آینده می‌توانند به بهینه‌سازی و گسترش کاربرد سامانه‌های اینترنت اشیا در مراقبت از نوزادان کمک کنند و به ارتقای استانداردهای بهداشتی و ایمنی نوزادان در سطح جهانی منجر شوند.

References

[1] Latif, S., Rana, R., Qadir, J., Ali, A., Imran, M. A., & Younis, M. S. (2017). Mobile Health in the Developing World: Review of Literature and Lessons From a Case Study. *Institute of Electrical and Electronics Engineers Access*, *5*, 11540-11556. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2710800

[2] Lunze, K., Bloom, D. E., Jamison, D. T., & Hamer, D. H. (2013). The global burden of neonatal hypothermia: systematic review of a major challenge for newborn survival. *BioMed Central Medicine*, *11*(1), 24. https://doi.org/10.1186/1741-7015-11-24

[3] Ahadiani, M., Masoudi, O. A., Malaek, S. M. B., & Majidi, N. (2022). Identifying the Drivers and Propellants of IoT Application in the Management of Iran's Aviation Industry. *Quarterly Scientific Journal of National University of Skills*, *19*(Special Issue), 597-618. https://doi.org/10.48301/kssa.2022.316253.1870

[4] Pani, S. K., Patra, P., Ferrari, G., Kraleva, R., & Wang, X. (2021). *The Internet of Medical Things: Enabling Technologies and Emerging Applications*. Institution of Engineering and Technology. https://doi.org/10.1049/PBHE034E

[5] Dehghan, M., & Khosravian, E. (2023). Private Federated Learning for APT Detection in Internet of Drones. *Quarterly Scientific Journal of National University of Skills*, *20*(3), 465-484. https://doi.org/10.48301/kssa.2023.409787.2649

[6] Stoyanova, M., Nikoloudakis, Y., Panagiotakis, S., Pallis, E., & Markakis, E. K. (2020). A Survey on the Internet of Things (IoT) Forensics: Challenges, Approaches, and Open Issues. *Institute of Electrical and Electronics Engineers Communications Surveys & Tutorials*, *22*(2), 1191-1221. https://doi.org/10.1109/COMST.2019.2962586

[7] Vishnu, S., Ramson, S. R. J., & Jegan, R. (2020, March 05-06). *Internet of Medical Things (IoMT) - An overview* [Conference session]. 5th International Conference on Devices, Circuits and Systems, Coimbatore, India. https://doi.org/10.1109/ICDCS48716.2020.243558

[8] Pang, Z., Tian, J., & Chen, Q. (2014, February 16-19). *Intelligent packaging and intelligent medicine box for medication management towards the Internet-of-Things* [Conference session]. 16th International Conference on Advanced Communication Technology, Pyeongchang, Korea (South). https://doi.org/10.1109/ICACT.2014.6779193

[9] Xu, B., Xu, L. D., Cai, H., Xie, C., Hu, J., & Bu, F. (2014). Ubiquitous Data Accessing Method in IoT-Based Information System for Emergency Medical Services. *Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Industrial Informatics*, *10*(2), 1578-1586. https://doi.org/10.1109/TII.2014.2306382

[10] Guigang, Z., Chao, L., Yong, Z., Chunxiao, X., & Jijiang, Y. (2012, October 10-13). *SemanMedical: A kind of semantic medical monitoring system model based on the IoT*

sensors [Conference session]. Institute of Electrical and Electronics Engineers 14th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom), Beijing, China. https://doi.org/10.1109/HealthCom.2012.6379414

[11] Gachet, D., Buenaga, M. D., Aparicio, F., & Padrón, V. (2012, July 4-6). *Integrating Internet of Things and Cloud Computing for Health Services Provisioning: The Virtual Cloud Carer Project* [Conference session]. Sixth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing, Palermo, Italy. https://doi.org/10.1109/IMIS.2012.25

[12] Mohamad Ishak, D. N. F., Abdul Jamil, M. M., & Ambar, R. (2017, May 6-7). *Arduino Based Infant Monitoring System* [Conference session]. International Research and Innovation Summit, Melaka, Malaysia. https://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/226/1/012095

[13] Harika, K. H., Manikala, R., Evangeline, C. S., Tadikonda, R., & Tadikonda, P. (2023, March 17-18). *IoT-BIMS : Internet of Things Based Infant Monitoring System* [Conference session]. 9th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems, Coimbatore, India. https://doi.org/10.1109/ICACCS57279.2023.10112861

[14] Gokul, S., MohanRaj, S., Keerthana, S. S., & Raja, M. S. (2024). Real Time Monitoring of Vitals of a Baby Using IoT- Enabled Smart Baby Incubator. *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering*, *11*(04), 213-216. https://doi.org/10.26562/ijirae.2024.v1104.08

[15] Poobt, K., & Petcharat, T. (2024, March 29-31). *An Automated Infant Monitoring System Utilizing Microsensor Technology for Motion Detection and Audio Surveillance* [Conference session]. 2024 Institute of Electrical and Electronics Engineers International Conference on Cybernetics and Innovations, Chonburi, Thailand. https://doi.org/10.1109/ICCI60780.2024.10532572

[16] Madhusudhan, R., & Pravisha, P. (2023, October 16-18). *A Blockchain-Enabled IoT Framework for NICU Infant Health Monitoring System* [Conference session]. 7th Cyber Security in Networking Conference, Montreal, Quebec, Canada. https://doi.org/10.1109/CSNet59123.2023.10339773

[17] Mbanuzue, C., Hassan, O., & Owolabi, F. (2024). Real-Time Monitoring of Neonatal Incubator Parameters Via Iot-Integrated Device: Design, Implementation, and Evaluation. *International Journal of Research and Innovation in Applied Science*, *9*(4), 127-143. https://doi.org/10.51584/IJRIAS.2024.90409

[18] Alam, H., Burhan, M., Gillani, A., Haq, I. U., Arshed, M. A., Shafi, M., & Ahmad, S. (2023). IoT Based Smart Baby Monitoring System with Emotion Recognition Using Machine Learning. *Wireless Communications and Mobile Computing*, *2023*(1), 1175450. https://doi.org/10.1155/2023/1175450

[19] Shinde, S. K., Vijay, J. F., Meena, S. G., Roopa, H., Prasad, S. J. S., & Ramesh, S. (2023, October 28-29). *IoT based smart intruder system for baby monitoring* [Conference session]. American Institute of Physics Conference Proceedings, Chennai, India. https://doi.org/10.1063/5.0121400

[20] Mahendra, F. G., Rahmawati, T., Kholiq, A., & Mujahid, M. U. F. (2023). Baby Incubator with Room Temperature and Skin Temperature Monitoring Via IoT-Based WIFI Network. *Jurnal Teknokes*, *16*(3), 121-129. https://doi.org/10.35882/teknokes.v16i3.583

[21] Robot Cafe Inspiring Creativity. (2024). *Sensors*. Thecaferobot. https://thecaferobot.com/store/sensors

[22] Robot Cafe Inspiring Creativity. (2024). *Pulse and heart rate sensor module*. Thecaferobot. https://thecaferobot.com/store/pulsesensor
[23] Robot Cafe Inspiring Creativity. (2024). *Infrared motion detection sensor module HC-SR501*. Thecaferobot. https://thecaferobot.com/store/pir-motion-sensor
[24] Github. (2024). *IoT-Baby-Monitoring-Project*. https://github.com/M-Dehghan-Ch/IoT-Baby-Monitoring-Project
[25] Robot Cafe Inspiring Creativity. (2024). *Temperature and humidity sensor DHT22 brand ASAIR*. Thecaferobot. https://thecaferobot.com/store/sensor-dht22-1
[26] Robot Cafe Inspiring Creativity. (2024). *Water level detection sensor - humidity sensor*. Thecaferobot. https://thecaferobot.com/store/rain-sensor
[27] Robot Cafe Inspiring Creativity. (2024). *Voice recognition module made by waveshare*. Thecaferobot. https://thecaferobot.com/store/sound-sensor-module-waveshare
[28] Robot Cafe Inspiring Creativity. (2024). *Tutorial on setting up the GY-31 TCS3200 color sensor with Arduino*. Thecaferobot. https://thecaferobot.com/learn/interfacing-gy-31-tcs3200-color-sensor-module-with-arduino
[29] Knowledge enterprise company of Hoshmand Nasaj Technologies. (2024). *Baby fever clothes*. Birano. https://biranoshop.ir/product/
[30] Chista Shop. (2024). *Micro Servo Motor SG90*. Chista. https://echista.ir/
[31] Robot Café Inspiring Creativity. (2024). *Arduino UNO R3 board - with Arduino logo*. Thecaferobot. https://thecaferobot.com/store/arduino-uno-r3
[32] Robot Café Inspiring Creativity. (2024). *Nodemcu board based on ESP8266*. Thecaferobot. https://thecaferobot.com/store/development-boards/microcontrollers/esp8266
[33] Robot Café Inspiring Creativity. (2024). *ProMake Universal 8ch Relay Board with I2C Control - PMB-RLY-001*. Thecaferobot. https://thecaferobot.com/store/promake-universal-8ch-relay-i2c-control-iot-board