

# O Futuro da Saúde Preditiva: Uma Análise do Estado da Arte em IoT e Sistemas Embarcados para Identificar Oportunidades de Inovação

Jhonatas Gomes Ribeiro<sup>1</sup>, Keyllane Francisca Guedes de Souza<sup>1</sup>,  
Phaola Paraguai da Paixão Lustosa<sup>1</sup>, Wanderson Jean Conceição Silva<sup>1</sup>,  
Felipe Gonçalves dos Santos<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Federal do Piauí (IFPI) – Campus Corrente  
Corrente – PI – Brasil

{jhon.gomes.r, keyllaneguede, paixaophaola}@gmail.com

{wanderson.jean, felipe.santos}@ifpi.edu.br

**Abstract.** This work presents a strategic guide for IoT innovation in the health-care area, focusing on embedded systems. The research analyzed the exponential growth of publications up to 2024, highlighting the leadership of India and Saudi Arabia, and the focus on monitoring restricted signals and smart home systems. The objective is to identify gaps and direct the development of proactive and predictive health solutions.

**Resumo.** Este trabalho apresenta um guia estratégico para a inovação em IoT na área da saúde, com foco em sistemas embarcados. A pesquisa analisou o crescimento exponencial de publicações até 2024, com destaque para a liderança da Índia e Arábia Saudita, e o destaque no monitoramento de sinais restritos e sistemas de casas inteligentes. O objetivo é identificar falhas e direcionar o desenvolvimento de soluções de saúde proativas e preditivas.

## 1. Introdução

A integração entre Sistemas Embarcados e IoT está transformando a saúde de um modelo reativo para um cuidado proativo e preditivo, por meio de inovações como dispositivos portáteis que monitoram múltiplos sinais simultaneamente [Siam et al. 2021] e plataformas de baixo custo para coleta em tempo real de dados cardíacos [Asif et al. 2022], possibilitando intervenções precoces em situações críticas.

Essas tecnologias são importantes para monitoramento de idosos e pacientes acamados, permitindo detectar eventos graves e melhorar a qualidade de vida [Kumar and Krishnamoorthi 2021, Tahir et al. 2022, Javed et al. 2021]. Porém, o rápido crescimento da área cria um cenário fragmentado, dificultando identificar lacunas de pesquisa.

Diante desse desafio, o artigo propõe ir além de uma revisão tradicional, realizar um mapeamento crítico da literatura para condensar o estado da arte, identificar as fronteiras da inovação e apontar oportunidades promissórias para pesquisas futuras. O objetivo é servir como guia para pesquisadores e desenvolvedores, iluminando caminhos para a criação de soluções que definam o futuro da medicina, com foco em monitoramento contínuo, automação, integração com Inteligência Artificial e resposta em tempo real.

## **2. Questões de Pesquisa**

Este trabalho apresenta uma revisão de literatura sobre o uso de sistemas embarcados e Internet das Coisas (IoT) na área da saúde, analisando tecnologias, soluções, tendências e limitações. A pesquisa segue a metodologia de [Kitchenham and Charters 2007], que orienta a definição das questões de pesquisa e a avaliação dos estudos incluídos. A investigação é guiada por uma Questão Principal (QP) que busca compreender como o mapeamento crítico da literatura revela o estado da arte e identifica oportunidades de inovação e pesquisa futura. Além disso, questões secundárias auxiliam no aprofundamento da análise dos resultados obtidos:

- **PP1:** Qual é o número de artigos publicados por ano relacionados ao tema?
- **PP2:** Quais países têm se destacado na produção científica?
- **PP3:** Quais fontes de informação (conferências ou jornais) publicaram mais artigos sobre este tópico?
- **PP4:** Quais as contribuições para qualidade de vida em residências?
- **PP5:** Como os sistemas embarcados são utilizados para prever fatalidades via sinais vitais?
- **PP6:** Como os sistemas embacados integrados a sensores vitais podem identificar ocorrências antes de eventos fatais?

## **3. Seleção dos Artigos Relevantes**

Para refinar a busca e garantir a alta relevância dos resultados, foram aplicados critérios adicionais. A pesquisa foi delimitada a publicações dos últimos cinco anos (entre 2021 e 2025), escritas em inglês e pertencentes às áreas de Computação, Engenharia, Medicina ou Neurociência.

A busca considerou termos-chave (“Embedded Systems”, “IoT”, “Healthcare”), publicações de 2021–2025, idioma inglês e áreas de Computação, Engenharia, Medicina ou Neurociência. String de busca final (forma completa disponível mediante solicitação): (embedded AND system AND healthcare) OR (IoT AND Internet of Things) AND PUBYEAR > 2020 AND PUBYEAR < 2026 AND (LIMIT-TO (SUBJAREA, "COMP") OR "ENGI"OR "MEDI"OR "NEUR") AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English")) AND (LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Embedded Systems")). As bases consultadas foram Scopus, ACM e Web of Science.

### **Critérios de Inclusão e Exclusão**

Os **critérios de inclusão (CI)** foram:

- **CI1:** Artigos escritos em inglês.
- **CI2:** Artigos com data de publicação nos últimos 5 anos (de 2021 a 2025).
- **CI3:** Artigos pertencentes às subáreas de computação, engenharia ou medicina.

Os **critérios de exclusão (CE)** foram:

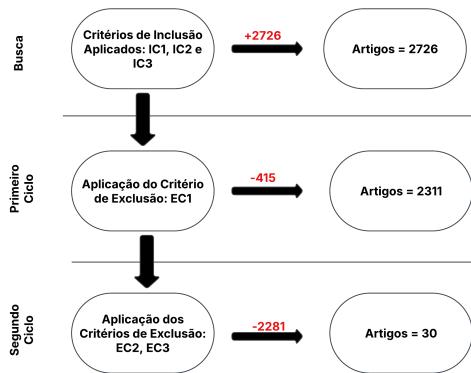
- **CE1:** Artigos não relacionados diretamente ao tópico da pesquisa.
- **CE2:** Artigos sem aplicação prática (e.g., apenas revisões bibliográficas ou trabalhos teóricos).
- **CE3:** Artigos que não atendiam aos critérios de inclusão (e.g., duplicatas, idioma incorreto, fora do período de publicação).

A Figura 1 apresenta uma representação dos ciclos da pesquisa. A aplicação da string de busca principal e dos critérios de inclusão/exclusão ocorreu entre 18/03 e 01/08 de 2025.

Inicialmente, a busca retornou os seguintes resultados:

**Tabela 1. Quantidade de Resultados por Fonte**

FONTE	QUANTIDADE DE RESULTADOS
SCOPUS	918
ACM	947
WEB OF SCIENCE	861
<b>TOTAL</b>	<b>2.726</b>



**Figura 1. Fluxograma do processo de seleção dos artigos.**

### 3.1. Processo de Seleção

A busca inicial retornou 2.726 artigos. O processo de seleção foi realizado em dois ciclos para refinar este conjunto.

No **primeiro ciclo**, após a remoção de duplicatas, foi aplicado o critério **CE1** para excluir artigos que não tratavam do uso de microcontroladores na área da saúde. Essa filtragem resultou em 2.311 artigos.

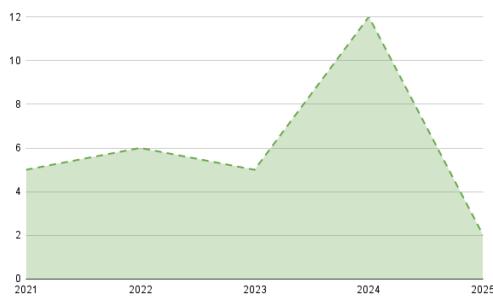
No **segundo ciclo**, foram aplicados os critérios **CE2** e **CE3**. Foram removidos os trabalhos sem aplicação prática e aqueles que não se alinhavam aos critérios de inclusão. Ao final do processo, restaram **30 artigos** para a análise final.

## 4. Resultados e Análises

Esta seção responde às seis perguntas de pesquisa com base nos 30 artigos selecionados.

### 4.1. RQ1: Qual é o número de artigos publicados por ano?

Houve interesse crescente, com pico em 2024; 2025 é parcial. Países líderes: Índia e Arábia Saudita, seguidos por China e Estados Unidos. Predomínio de periódicos de alto impacto (IEEE, Springer, MDPI, Elsevier).

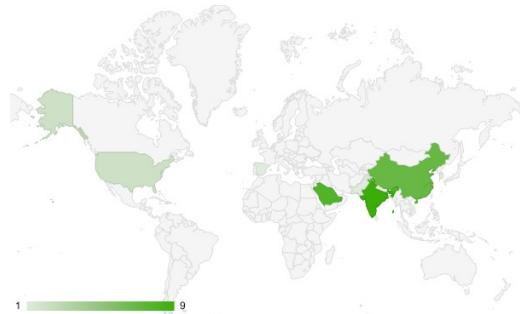


**Figura 2. Quantidade de artigos publicados por ano.**

#### 4.2. RQ2: Quais países têm se destacado na produção científica ?

Durante o processo de revisão, foram identificados 8 países e 3 continentes: Ásia, Europa e América do Norte. A Figura 3 mostra a distribuição dos países presentes nos resultados da seleção.

A Tabela II apresenta os 3 países com maior produção de artigos sobre o tema. Observa-se que Índia, Arábia Saudita e China se destacam como os principais produtores.



**Figura 3. Distribuição dos países presentes nos resultados da seleção.**

**TABELA II. Países com mais publicações.**

Países	Nº	Artigos
Índia	9	[Kumar and Krishnamoorthi 2021], [Sravanti et al. 2024], [Prasad et al. 2025], [Jain et al. 2024], [Verma et al. 2022], [Abubeker et al. 2024], [Kumar and Rajaram 2024], [Yashudas et al. 2024], [Kaur and Sharma 2024]
Arábia Saudita	8	[Siam et al. 2021], [Asif et al. 2022], [Al-Rakhami et al. 2021], [Alkanhel et al. 2024], [Yadav et al. 2022], [Almujally et al. 2023], [Arunachalam et al. 2023], [Vaiyapuri et al. 2024]
China	7	[Xu et al. 2023], [Nekui et al. 2024], [Yang 2023], [Shoukat et al. 2024], [Qian et al. 2022], [Zhang et al. 2023], [Umar et al. 2025]

Outros países entre o número de produção de artigos inclui: Estados Unidos, com 2 artigos [Javed et al. 2021, Manogaran et al. 2021]; Coreia do Sul

[Astillo et al. 2022]; Paquistão [Tahir et al. 2022]; Espanha [Escobedo et al. 2024]; e Portugal [Rivadeneira et al. 2024], cada um com 1 artigo.

#### **4.3. RQ3: Quais fontes de informação (conferências ou jornais) publicaram mais artigos sobre este tópico?**

A Tabela III mostra que os artigos sobre monitoramento de saúde baseado em IoT (apenas tipo jornal) estão distribuídos em periódicos de alto impacto, predominando as publicações indexadas nas editoras IEEE, Springer, MDPI e Elsevier.

**TABELA III. PERIÓDICOS E ARTIGOS ANALISADOS.**

<b>Periódico</b>	<b>Nº</b>	<b>Artigos</b>
IEEE Access	6	[Jain et al. 2024], [Kumar and Rajaram 2024], [Vaiyapuri et al. 2024], [Manogaran et al. 2021], [Rivadeneira et al. 2024], [Al-Rakhami et al. 2021]
Sensors (MDPI)	4	[Tahir et al. 2022], [Sravanthi et al. 2024], [Nekui et al. 2024], [Almujally et al. 2023]
Multimedia Tools and Applications	3	[Kaur and Sharma 2024], [Shoukat et al. 2024], [Yadav et al. 2022]
IEEE Internet of Things Journal	3	[Xu et al. 2023], [Qian et al. 2022], [Zhang et al. 2023]

Constata-se que os periódicos IEEE concentram o maior número de publicações, totalizando 13 artigos. O IEEE Access lidera com 6 publicações, seguido pelo IEEE Internet of Things Journal (3 artigos) e IEEE Sensors Journal (2 artigos). Completam este grupo o IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics e o IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, cada um com uma publicação.

Além dos periódicos IEEE, destacam-se as contribuições da MDPI (4 artigos), Springer (3) e Elsevier (3), bem como de periódicos com duas publicações cada, como o Computational Intelligence and Neuroscience [Siam et al. 2021, Asif et al. 2022] e o IEEE Sensors Journal [Abubeker et al. 2024, Yashudas et al. 2024]. A produção é complementada por publicações únicas em diversos outros veículos especializados de alto impacto [Kumar and Krishnamoorthi 2021, Javed et al. 2021, Prasad et al. 2025, Verma et al. 2022, Yang 2023, Arunachalam et al. 2023, Manogaran et al. 2021, Astillo et al. 2022, Escobedo et al. 2024, Umar et al. 2025], o que evidencia o caráter multidisciplinar da área.

A distribuição mostra o caráter multidisciplinar das pesquisas em IoT na saúde e a qualidade consistente das publicações em periódicos consolidados e rigorosamente revisado

#### **4.4. RQ4: Como os sistemas embarcados, quando utilizados em residências, podem contribuir com a qualidade de vida e promover o bem estar dos seus usuários?**

Sistemas embarcados viabilizam a saúde domiciliar proativa com sensores vestíveis [Kumar and Krishnamoorthi 2021] e sem contato [Prasad et al. 2025] para monitorar sinais vitais e identificar riscos precocemente, enquanto modelos de IA analisam os dados para prever condições críticas [Alkanhel et al. 2024] e acionar respostas imediatas [Siam et al. 2021; Astillo et al. 2022], embora desafios de segurança [Yadav et al. 2022] e de qualidade dos datasets [Kaur and Sharma 2024] ainda limitem sua expansão.

#### **4.5. RQ5: Como os sistemas embarcados são utilizados para prever fatalidades via sinais vitais?**

Sistemas embarcados utilizam sensores vestíveis para monitorar continuamente sinais vitais e padrões de movimento de pacientes críticos [Prasad et al. 2025, Kumar and Krishnamoorthi 2021, Asif et al. 2022]. Os dados coletados são analisados por modelos de Inteligência Artificial capazes de prever o agravamento de doenças crônicas e eventos cardiovasculares [Alkanhel et al. 2024, Umar et al. 2025]. Com o uso de computação de borda, esses sistemas permitem respostas rápidas e alertas imediatos [Kumar and Rajaram 2024, Siam et al. 2021], possibilitando intervenções médicas preventivas e reduzindo o risco de fatalidades.

#### **4.6. RQ6: Como os sistemas embarcados integrados a sensores vitais podem identificar ocorrências antes de eventos fatais?**

Para prever fatalidades em pacientes críticos, sistemas embarcados utilizam múltiplos sensores que monitoram continuamente sinais vitais [Prasad et al. 2025], como a atividade cardíaca [Asif et al. 2022] e movimentos [Kumar and Krishnamoorthi 2021]. A chave é o processamento com IA, que ocorre tanto na borda (Edge Computing) para agilizar respostas [Kumar and Rajaram 2024], quanto na nuvem, onde são treinados modelos para prever eventos cardiovasculares [Umar et al. 2025]. Ao detectar padrões que antecedem crises, o sistema muda o cuidado de reativo para preditivo, emitindo alertas que possibilitem uma intervenção proativa [Siam et al. 2021]. Com a devida segurança dos dados [Yadav et al. 2022], essa integração de sensores e análise preditiva melhora o cuidado e abre uma janela de tempo crucial para salvar vidas.

### **5. Resultados e Discussões**

A literatura recente evidencia uma mudança estratégica central na saúde: a passagem de modelos reativos para sistemas de cuidado conectados, autônomos e preditivos. Essa transformação é impulsionada pela Fusão Estratégica entre o ecossistema de sensoriamento avançado, incluindo dispositivos vestíveis [Kumar and Krishnamoorthi 2021, Kaur and Sharma 2024], sensores sem contato [Escobedo et al. 2024] e infraestrutura inteligente [Javed et al. 2021, Shoukat et al. 2024] e algoritmos de Inteligência Artificial (IA) para análise multimodal e tomada de decisão clínica em tempo real.

Destacam-se como principais avanços:

- A fusão de dados de múltiplos dispositivos aumenta a precisão na

detecção de eventos críticos, como ataques cardíacos [Umar et al. 2025, Zhang et al. 2023], quedas [Al-Rakhami et al. 2021, Qian et al. 2022] e declínio cognitivo [Arunachalam et al. 2023].

- Soluções autônomas, como alertas inteligentes e intervenções automatizadas, promovem personalização do cuidado, eficiência operacional e ampliação do acesso — inclusive ao monitoramento de doenças crônicas, como diabetes, em tempo real [Alkanhel et al. 2024, Vaiyapuri et al. 2024].
- O papel estratégico da IA é evidenciado ao transformar dados biomédicos em recomendações clínicas relevantes, suporte à decisão e aprimoramento da segurança do paciente [Kumar and Rajaram 2024, Astillo et al. 2022, Almujally et al. 2023, Yadav et al. 2022].

## 5.1. Taxonomia das Soluções e Desafios em IoT para Saúde

Propomos uma taxonomia que sintetiza os principais grupos de soluções e desafios identificados, servindo como referencial estratégico para orientar iniciativas futuras:

### Soluções

- Monitoramento de sinais vitais [Kumar and Krishnamoorthi 2021, Kaur and Sharma 2024, Prasad et al. 2025, Asif et al. 2022]
- Sistemas de alerta para eventos adversos (quedas, arritmias, crises) [Al-Rakhami et al. 2021, Qian et al. 2022, Umar et al. 2025]
- Ambientes inteligentes para apoio domiciliar [Javed et al. 2021, Shoukat et al. 2024, Escobedo et al. 2024]
- Monitoramento e recomendação personalizada para doenças crônicas [Alkanhel et al. 2024, Vaiyapuri et al. 2024, Astillo et al. 2022]
- Integração de IA para predição e automação [Zhang et al. 2023, Kumar and Rajaram 2024, Almujally et al. 2023]

### Desafios

- Segurança e privacidade dos dados de saúde [Yadav et al. 2022, Siam et al. 2021]
- Qualidade de datasets e interoperabilidade entre dispositivos [Kaur and Sharma 2024, Rivadeneira et al. 2024]
- Acurácia e robustez dos modelos preditivos de IA [Zhang et al. 2023, Umar et al. 2025]
- Adoção e aceitação tecnológica pelos usuários finais [Rivadeneira et al. 2024, Javed et al. 2021]
- Escalabilidade e eficiência econômica dos sistemas embarcados [Almujally et al. 2023, Vaiyapuri et al. 2024]

Esta taxonomia destaca as principais linhas de inovação e as barreiras críticas do campo, orientando decisões, pesquisas e investimentos estratégicos para o avanço sustentável da IoT em saúde.

..

## 6. Conclusão e Direcionamentos Futuros

O principal achado deste mapeamento de 30 artigos é que o futuro da medicina preditiva na IoT é definido pela Fusão Estratégica e inseparável entre o sensoriamento avançado vestível [Kumar and Krishnamoorthi 2021, Kaur and Sharma 2024] e

sem contato ) [Escobedo et al. 2024] e os algoritmos de Inteligência Artificial (IA) [Asif et al. 2022, Zhang et al. 2023]. Esta fusão é o pilar que transforma a coleta de dados em sistemas de cuidado preditivo, possibilitando aplicações como previsão de fatalidades [Almujally et al. 2023] , ambientes inteligentes autônomos [Javed et al. 2021, Shoukat et al. 2024] e detecção precoce de riscos prasad2025design.

## 6.1. Aspectos Éticos e Legais

A incorporação da IoT na saúde combinada à inteligência artificial envolve desafios éticos e legais relevantes. É essencial garantir segurança e privacidade dos dados dos pacientes, com consentimento claro e mecanismos robustos de proteção [Siam et al. 2021, Yadav et al. 2022]. Outro ponto crítico é a transparência dos algoritmos, já que a complexidade dos sistemas pode dificultar a compreensão das decisões e afetar a confiança dos usuários [Asif et al. 2022, Rivadeneira et al. 2024]. A responsabilidade diante de erros ainda carece de regulamentação, gerando incertezas jurídicas [Kaur and Sharma 2024, Rivadeneira et al. 2024]. Também há riscos de viés algorítmico, o que pode comprometer a equidade no atendimento, sobretudo para grupos sub-representados nos dados [Kaur and Sharma 2024].

Contudo, os desafios remanescentes definem as próximas fronteiras da pesquisa e são barreiras diretas para a consolidação plena da fusão estratégica. A segurança dos dados [Siam et al. 2021, Yadav et al. 2022] e a escassez de *datasets* de qualidade [Kaur and Sharma 2024] impactam diretamente a confiabilidade e a capacidade preditiva da IA, exigindo o desenvolvimento de arquiteturas de comunicação seguras e estudos robustos de usabilidade e aceitação [Rivadeneira et al. 2024]. Superar esses desafios é o passo decisivo para solidificar a Fusão Estratégica (IoT+IA), transformando a IoT de promessa tecnológica em fundamento inabalável da prática médica do futuro.

## Referências

- Abubeker, K., Baskar, S., and Yadav, P. (2024). Internet-of-Things-Assisted Wireless Body Area Network-Enabled Biosensor Framework for Detecting Ventilator and Hospital-Acquired Pneumonia. *IEEE Sensors Journal*, 24(7):11354–11361.
- Al-Rakhami, M. S., Gumaei, A., Altaf, M., Hassan, M. M., Alkhamees, B. F., Muhammad, K., and Fortino, G. (2021). FallDeF5: A fall detection framework using 5G-based deep gated recurrent unit networks. *IEEE Access*, 9:94299–94308.
- Alkanhel, R. I., Saleh, H., Elaraby, A., Alharbi, S., Elmannai, H., Alaklabi, S., Alsamhi, S. H., and Mostafa, S. (2024). Hybrid cnn-gru model for real-time blood glucose forecasting: Enhancing iot-based diabetes management with ai. *Sensors*, 24(23):7670.
- Almujally, N. A., Aljrees, T., Saidani, O., Umer, M., Faheem, Z. B., Abuzinadah, N., Alnowaiser, K., and Ashraf, I. (2023). Monitoring acute heart failure patients using internet-of-things-based smart monitoring system. *Sensors*, 23(10):4580.
- Arunachalam, R., Sunitha, G., Shukla, S. K., Pandey, S. N., Urooj, S., and Rawat, S. (2023). A smart Alzheimer's patient monitoring system with IoT-assisted technology through enhanced deep learning approach. *Knowledge and Information Systems*, 65(12):5561–5599.

- Asif, R. N., Abbas, S., Khan, M. A., Sultan, K., Mahmud, M., and Mosavi, A. (2022). Development and validation of embedded device for electrocardiogram arrhythmia empowered with transfer learning. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022(1):5054641.
- Astillo, P. V., Duguma, D. G., Park, H., Kim, J., Kim, B., and You, I. (2022). Federated intelligence of anomaly detection agent in IoTMD-enabled Diabetes Management Control System. *Future Generation Computer Systems*, 128:395–405.
- Escobedo, P., Pousibet-Garrido, A., López-Ruiz, N., Carvajal, M. A., Palma, A. J., and Martínez-Olmos, A. (2024). Bed-based ballistocardiography system using flexible RFID sensors for noninvasive single-and dual-subject vital signs monitoring. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 73:1–12.
- Jain, P., Joshi, A. M., Mohanty, S. P., and Cenkeramaddi, L. R. (2024). Non-invasive glucose measurement technologies: Recent advancements and future challenges. *IEEE Access*, 12:61907–61936.
- Javed, A. R., Fahad, L. G., Farhan, A. A., Abbas, S., Srivastava, G., Parizi, R. M., and Khan, M. S. (2021). Automated cognitive health assessment in smart homes using machine learning. *Sustainable Cities and Society*, 65:102572.
- Kaur, R. and Sharma, R. (2024). Wearable sensors and datasets for evaluating systems predicting falls and activities of daily living: recent advances and methodology. *Multimedia Tools and Applications*, 83(29):73671–73701.
- Kitchenham, B. and Charters, S. (2007). Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. Technical Report EBSE-2007-01, School of Computer Science and Mathematics, Keele University and Department of Computer Science, University of Durham, Keele, UK and Durham, UK.
- Kumar, R. H. and Rajaram, B. (2024). Design and simulation of an edge compute architecture for IoT-based clinical decision support system. *IEEE Access*, 12:45456–45474.
- Kumar, V. S. and Krishnamoorthi, C. (2021). Development of electrical transduction based wearable tactile sensors for human vital signs monitor: Fundamentals, methodologies and applications. *Sensors and Actuators A: Physical*, 321:112582.
- Manogaran, G., Alazab, M., Song, H., and Kumar, N. (2021). CDP-UA: Cognitive data processing method wearable sensor data uncertainty analysis in the internet of things assisted smart medical healthcare systems. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 25(10):3691–3699.
- Nekui, O. D., Wang, W., Liu, C., Wang, Z., and Ding, B. (2024). IoT-based heartbeat rate-monitoring device powered by harvested kinetic energy. *Sensors*, 24(13):4249.
- Prasad, P., Hussain, S. A., Thotakura, P., and Sanki, P. K. (2025). Design and Development of an IoT-Based Embedded System for Continuous Monitoring of Vital Signs. *Journal of Electronic Materials*, 54(5):3444–3451.
- Qian, Z., Lin, Y., Jing, W., Ma, Z., Liu, H., Yin, R., Li, Z., Bi, Z., and Zhang, W. (2022). Development of a real-time wearable fall detection system in the context of Internet of Things. *IEEE internet of things journal*, 9(21):21999–22007.

- Rivadeneira, J. E., Fernandes, J. M., Rodrigues, A., Boavida, F., and Silva, J. S. (2024). An Evaluation of Unobtrusive Sensing in a Healthcare Case Study. *IEEE Access*, 12:89405–89417.
- Shoukat, M. U., Yan, L., Zhang, J., Cheng, Y., Raza, M. U., and Niaz, A. (2024). Smart home for enhanced healthcare: exploring human machine interface oriented digital twin model. *Multimedia Tools and Applications*, 83(11):31297–31315.
- Siam, A. I., Almaiah, M. A., Al-Zahrani, A., Elazm, A. A., El Banby, G. M., El-Shafai, W., El-Samie, F. E. A., and El-Bahnasawy, N. A. (2021). Secure health monitoring communication systems based on IoT and cloud computing for medical emergency applications. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2021(1):8016525.
- Sravanthi, M., Gunturi, S. K., Chinnaiah, M. C., Lam, S.-K., Vani, G. D., Basha, M., Janardhan, N., Krishna, D. H., and Dubey, S. (2024). Adaptive FPGA-Based Accelerators for Human–Robot Interaction in Indoor Environments. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 24(21):6986.
- Tahir, S. B. u. d., Dogar, A. B., Fatima, R., Yasin, A., Shafiq, M., Khan, J. A., Assam, M., Mohamed, A., and Attia, E.-A. (2022). Stochastic recognition of human physical activities via augmented feature descriptors and random forest model. *Sensors*, 22(17):6632.
- Umar, M. A., Abuali, N., Shuaib, K., and Awad, A. I. (2025). An explainable artificial intelligence and Internet of Things framework for monitoring and predicting cardiovascular disease. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 144:110138.
- Vaiyapuri, T., Alharbi, G., Dharmarajlu, S. M., Bouteraa, Y., Misra, S., Ramesh, J. V. N., and Mohanty, S. N. (2024). IoT-enabled early detection of diabetes diseases using deep learning and dimensionality reduction techniques. *IEEE Access*.
- Verma, D., Singh, K. R., Yadav, A. K., Nayak, V., Singh, J., Solanki, P. R., and Singh, R. P. (2022). Internet of things (IoT) in nano-integrated wearable biosensor devices for healthcare applications. *Biosensors and Bioelectronics: X*, 11:100153.
- Xu, W., Hong, L., Zheng, J., Li, M., Hua, Y., and Zhao, X. (2023). Wearable smart sensor system for monitoring and intelligent prediction of sodium ions in human perspiration. *IEEE Internet of Things Journal*, 11(5):8146–8155.
- Yadav, K., Alharbi, A., Jain, A., and Ramadan, R. A. (2022). An IoT based secure patient health monitoring system. *Computers, Materials and Continua*, 70(2):3637–3652.
- Yang, L. (2023). Data monitoring for a physical health system of elderly people using smart sensing technology. *Wireless Networks*, 29(8):3665–3678.
- Yashudas, A., Gupta, D., Prashant, G., Dua, A., AlQahtani, D., and Reddy, A. S. K. (2024). Deep-cardio: Recommendation system for cardiovascular disease prediction using iot network. *IEEE Sensors Journal*, 24(9):14539–14547.
- Zhang, D., Liu, X., Xia, J., Gao, Z., Zhang, H., and de Albuquerque, V. H. C. (2023). A physics-guided deep learning approach for functional assessment of cardiovascular disease in IoT-based smart health. *IEEE Internet of Things Journal*, 10(21):18505–18516.