

A Integração de Radar de Ondas Milimétricas e Inteligência Artificial para a Detecção de Quedas em Aplicações Residenciais

Luis Fernando Knaak Kappaun
Programa de Mestrado em Computação Aplicada
Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI) Itajaí –
SC, Brasil luis.7200218@edu.univali.br

Alejandro Rafael Garcia Ramirez
Programa de Mestrado em Computação Aplicada
Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI) Itajaí –
SC, Brasil ramirez@univali.br

ABSTRACT

The growth of the elderly population intensifies the demand for effective and discreet fall detection systems that preserve user privacy. Radar-based and Internet of Things (IoT) technologies stand out in this context for offering high accuracy, continuous operation and security. Among the available solutions, the CB-LSTM model, applied to Doppler radar spectrograms, has an accuracy of over 98%. Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW) millimeter wave radars integrated with the IoT enable the generation of point clouds, local data processing and automatic alerts to caregivers, for example. This work explores how the combination of artificial intelligence, radar and IoT can enable scalable, reliable and non-invasive systems for elderly care.

PALAVRAS-CHAVE

Detecção de quedas, Sensor de radar, Internet das Coisas (IoT), Aprendizado de máquina, Tecnologia assistiva.

1 INTRODUÇÃO

O uso de radares, aliados à inteligência artificial (IA) e à IoT, tem se destacado como uma alternativa promissora para a detecção de quedas em idosos, superando limitações de dispositivos vestíveis e sistemas baseados em câmeras, que podem ser invasivos ou dependentes da colaboração do usuário. Entre os principais tipos de radares disponíveis, destaca-se o modelo CB-LSTM (Convolutional Bidirectional Long Short-Term Memory) [1,2], aplicado a espectrogramas de radar Doppler. Este dispositivo apresenta elevada acurácia ao capturar simultaneamente características temporais e espaciais dos movimentos [3]. Complementarmente, radares FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) de ondas milimétricas integrados à IoT permitem gerar nuvens de pontos em tempo real, o pré-processamento local dos dados e enviar alertas automáticos a cuidadores [4]. A integração entre aprendizado profundo, sensores de alta resolução e conectividade IoT aponta para soluções escaláveis, discretas e confiáveis, conciliando precisão e preservação da privacidade em ambientes residenciais e clínicos [6].

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os sistemas tradicionais de detecção de quedas baseiam-se em sensores vestíveis (como acelerômetros e giroscópios) e em sistemas de visão por câmeras. Apesar de difundidos, apresentam limitações importantes: os dispositivos vestíveis exigem adesão constante do usuário e recarga frequente da bateria, enquanto as câmeras levantam questões de privacidade e podem ser comprometidas por iluminação ou obstáculos no ambiente [5,7]. Como alternativa, emergem os sensores de radar, que operam de forma não intrusiva, preservando a privacidade dos indivíduos e possibilitando a captura de movimentos mesmo em condições adversas de luminosidade e oclusão. Entre as principais abordagens, destacam-se os sistemas baseados em radar Doppler [3,4], capaz de extrair informações sobre velocidade e deslocamento, e os sistemas de ondas milimétricas (mmWave) com FMCW, que permitem gerar nuvens de pontos tridimensionais e dados de velocidade Doppler em tempo real. A integração dessas tecnologias com redes neurais profundas tem demonstrado resultados promissores. Modelos como o da Memória de Longo e Curto Prazo Baseada em Contexto (CB-LSTM) aplicados a espectrogramas de radar possibilitam a extração simultânea de características temporais e espaciais, alcançando altos índices de precisão na classificação entre quedas e atividades cotidianas [6]. Complementarmente, a combinação de radar com a IoT viabiliza o desenvolvimento de arquiteturas distribuídas, nas quais o pré-processamento é realizado no próprio dispositivo, e notificações automáticas são enviadas a cuidadores ou familiares via aplicativos móveis. Dessa forma, a literatura evidencia que a convergência entre radar, inteligência artificial e IoT constitui uma abordagem robusta e escalável para a detecção de quedas. Essa integração oferece não apenas elevada acurácia e confiabilidade, mas também praticidade operacional e conformidade com requisitos de privacidade, consolidando-se como uma das soluções mais promissoras para o monitoramento remoto e inteligente de idosos em ambientes residenciais e clínicos. [4]

3 SOLUÇÃO PROPOSTA

Este estudo pode ser dividido nas seguintes etapas:

1 Aquisição de Dados: Utilização de sensores de radar Doppler e de ondas milimétricas (FMCW). Coleta de sinais refletidos do corpo humano durante quedas simuladas e atividades cotidianas. Geração de espectrogramas e nuvens de pontos 3D com informações de velocidade Doppler.

2 Pré-processamento: Filtragem de ruídos e remoção de dados espúrios (como reflexos estáticos e assinaturas Doppler nulas), normalização dos sinais coletados. Aplicação de técnicas como

janelas deslizantes e médias móveis para organizar os dados em sequências temporais.

3 Modelagem com Inteligência Artificial: Implementação do modelo CB-LSTM, combinando redes convolucionais (CNN) para extração de características espaciais e redes bidirecionais para dependências temporais. Treinamento supervisionado do modelo com banco de dados balanceado entre eventos de quedas e não quedas.

4 Integração com IoT: O pré-processamento inicial e a detecção primária são realizadas no próprio dispositivo de radar. Resultados são enviados em tempo real para servidores remotos via Internet. Geração de alertas automáticos a cuidadores por meio de aplicativos móveis.

5 Avaliação e Validação: Uso de métricas de desempenho, precisão, recall e curva ROC (AUC). Comparação dos resultados obtidos.

A Figura 1 ilustra o ambiente de experimento, com o radar posicionado em altura, na parte superior do armário, para monitorar o espaço e registrar os sinais durante diferentes atividades.



Figura 1. Layout do experimento.

Reforça-se que o sistema opera de forma não invasiva, dispensando o uso de câmeras ou dispositivos vestíveis, o que contribui para a preservação da privacidade dos usuários.

4 RESULTADOS ESPERADOS

Espera-se que o sistema proposto alcance elevada precisão na detecção de quedas, com acurácia superior a 95% e significativa redução de falsos alarmes. A solução deve apresentar, mesmo na presença de obstáculos, baixa iluminação ou múltiplos indivíduos. A integração com IoT permitirá uma resposta em tempo real, com envio automático de alertas a cuidadores e registro dos eventos em servidores dedicados.

4.5 Caracterização do Conjunto de Dados e Exemplos Experimentais

Com o objetivo de aproximar o sistema proposto de cenários reais de aplicação, foram analisados dados experimentais previamente validados na literatura, compostos por diferentes tipos de quedas e atividades cotidianas frequentemente confundidas com eventos de queda [3].

Ao todo, participaram dos testes 97 voluntários, todos estudantes com idades entre 18 e 22 anos, incluindo 57 participantes do sexo masculino. O conjunto de dados totalizou 4435 amostras, sendo 2475 eventos de queda e 1960 eventos de não queda. As atividades classificadas como não queda incluíram ações comuns do dia a dia, como caminhar, agachar e levantar, enquanto os eventos de queda contemplaram diferentes cenários, tais como queda direta, queda ao caminhar, queda ajoelhada e queda ao sentar [3].

Essa diversidade de ações permite representar de forma mais realista situações encontradas no cotidiano, esses resultados experimentais preliminares reforçam a viabilidade da abordagem proposta e servem como referência para a implementação e validação do sistema desenvolvido neste trabalho aumentando a robustez do sistema proposto quando comparado a conjuntos de dados mais restritos presentes na literatura. Esses resultados preliminares evidenciam o potencial da abordagem baseada em radar Doppler para a identificação de padrões associados a eventos

A Figura 2 apresenta exemplos de espectrogramas obtidos durante a aquisição dos sinais radar para diferentes atividades investigadas. Observa-se que cada tipo de movimento gera assinaturas distintas no domínio tempo-frequência, evidenciando o potencial dessas representações para a extração de características espaciais e temporais utilizadas no processo de classificação por inteligência artificial.

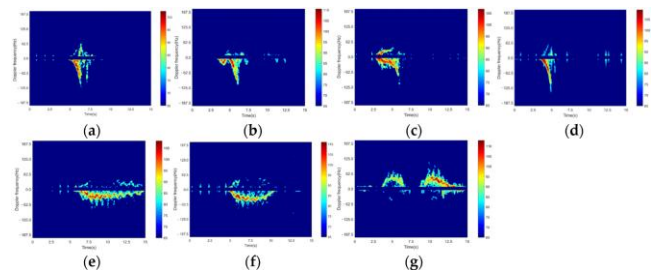


Figura 2. Exemplos de espectrogramas obtidos a partir dos sinais radar para diferentes atividades investigadas: (a) queda direta; (b) ajoelhar e cair; (c) andar e cair; (d) sentar e cair; (e) andar; (f) andar e agachar; (g) andar, agachar e levantar.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos analisados demonstram que os sistemas baseados em radar aliados à inteligência artificial alcançam altos índices de precisão nos testes, superando 95% em alguns modelos, com baixa taxa de falsos alarmes. A combinação de radar Doppler, redes neurais profundas e integração com IoT garante detecção confiável, não intrusiva e em tempo real, viabilizando o uso deste tipo de

solução para o monitoramento remoto em ambientes residenciais e clínicos, por exemplo, para detectar eventos de quedas em idosos. Também pode oferecer um suporte valioso a cuidadores e profissionais de saúde. Espera-se que esta abordagem seja escalável, viabilizando sua aplicação em residências, clínicas e instituições de saúde.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade do Vale do Itajaí e ao Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), Emenda Individual 22100007.

REFERÊNCIAS

- [1] Hikvision. 2023. A tecnologia de detecção de queda por radar inteligente protege idosos em lares de idosos e instalações médicas. Hikvision Newsroom. Available at: <https://www.hikvision.com/pt/newsroom/blog/a-tecnologia-de-deteccao-de-queda-por-radar-inteligente-protége-idosos-em-lares-de-idosos-e-instalacoes-medicas>
- [2] Scisimple. 2025. Sistemas de Detecção de Quedas que Salvam Vidas para Idosos. Scisimple Articles. Available at: <https://scisimple.com/pt/articles/2025-03-10-sistemas-de-deteccao-de-que-das-que-salvam-vidas-para-idosos--a9p0qmw>
- [3] Zhikun Li, Yifan Zhang, and Wei Liu. 2024. Doppler Radar Sensor-Based Fall Detection Using a Convolutional Bidirectional Long Short-Term Memory Model. *Sensors*, 24(16), 5365. DOI: <https://doi.org/10.3390/s24165365>
- [4] Linpowave. 2024. Radar de onda milimétrica e IIoT para a indústria inteligente. Linpowave Blog. Available at: [https://www.linpowave.com/es/blog/millimeter-wave-radar-iiot-integration\[5\]](https://www.linpowave.com/es/blog/millimeter-wave-radar-iiot-integration[5]) LI, Zhikun; DU, Jiajun; ZHU, Baofeng; GREENWALD, Stephen E.; XU, Lisheng; YAO, Yudong; BAO, Nan. *Doppler Radar Sensor-Based Fall Detection Using a Convolutional Bidirectional Long Short-Term Memory Model*. *Sensors*, v. 23, n. 5, p. 1-18, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/s23052834>
- [5] WU, Hong; et al. The Methods of Fall Detection: A Literature Review. *Frontiers in Public Health / PMC*, 2023. DOI: 10.3389/fpubh.2023.1122334 <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10255727/>
- [6] JOY, Jeslet; JOHN, Amalda Theresa; ALEX, Angel Anna; NAIR, Adityakrishna S.; SREESH, P. R.; MANUEL, Anto. Elderly Fall Detection System Using mm-Wave Radar Sensor. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN ELECTRICAL, COMPUTING AND COMMUNICATION.