



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA

Autorizada pelo Decreto Federal nº 77.496 de 27/04/76
Recredenciamento pelo Decreto nº 17.228 de 25/11/2016



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
COORDENAÇÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

XXIX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UEFS **SEMANA NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA - 2025**

Modelagem e desenvolvimento de cobertura de visão total de barreira em redes de sensores visuais sem fio

Pedro M. Oliveira¹; Thiago C. Jesus²

1. Bolsista – Modalidade Bolsa/PVIC, Graduando em Engenharia de Computação, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: pmo2002@gmail.com
2. Orientador, Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: tcjesus@uefs.br

PALAVRAS-CHAVE: Redes de Sensores Visuais Sem Fio; Cobertura de Barreira; Qualidade de Monitoramento.

INTRODUÇÃO

A evolução dos sistemas de monitoramento tem sido impulsionada pelos avanços nas tecnologias de redes de sensores visuais, que unem a flexibilidade das redes sem fio ao potencial dos sensores baseados em imagem. A incorporação de câmeras em nós sensores expande significativamente as aplicações dessas redes, ao mesmo tempo em que exige abordagens específicas para assegurar monitoramento visual confiável e eficaz [1-8]. Um dos grandes desafios é garantir que regiões críticas, trajetórias ou limites sejam monitorados de forma eficiente, evitando falhas e pontos cegos ao longo de toda a extensão da barreira de interesse [3, 9-13].

No contexto do monitoramento visual, barreiras são faixas virtuais que separam regiões distintas e devem ser vigiadas continuamente para prevenir ou detectar passagens não autorizadas. O conceito de barreira direciona o posicionamento e a configuração dos sensores, exigindo critérios próprios de cobertura e redundância, distintos daqueles empregados no monitoramento de áreas amplas ou de alvos pontuais [3,9]. A qualidade dessa cobertura depende de parâmetros como posicionamento, ângulo de visão, alcance e sobreposição dos sensores visuais, sendo que escolhas inadequadas podem comprometer a confiabilidade do sistema e permitir a ocorrência de eventos não detectados [3, 11, 14-15].

Diante desses desafios, torna-se essencial criar métodos de avaliação específicos para medir a robustez, continuidade e qualidade da cobertura das barreiras em redes de sensores visuais sem fio (RSVSF). Este trabalho propõe uma abordagem estruturada para modelar e analisar a cobertura de barreira em RSVSF, com foco no desenvolvimento de métricas quantitativas de qualidade. O objetivo central é contribuir para o aprimoramento de sistemas de monitoramento visual em aplicações críticas, promovendo maior segurança, eficiência e confiabilidade em sistemas de vigilância automatizada.

METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho foi organizada em etapas interligadas para assegurar uma análise sistemática e rigorosa da qualidade de cobertura de barreira em redes de sensores

visuais sem fio. O processo iniciou-se com uma revisão bibliográfica detalhada sobre técnicas de cobertura de barreira, métricas de qualidade de monitoramento e modelagem de redes de sensores, utilizando a infraestrutura do Laboratório de Pesquisa em Aplicações e Redes Avançadas (LARA). Esse levantamento fundamentou o desenvolvimento de modelos matemáticos e métricas específicas, considerando características como campo de visão dos sensores, sobreposição entre áreas monitoradas e diferentes níveis de qualidade visual.

Com base na fundamentação teórica, foram desenvolvidos modelos geométricos e matemáticos para representar o cenário monitorado e os sensores, incluindo a delimitação de polígonos de cobertura e o cálculo de pontos de interseção. A validação desses modelos e métricas foi realizada por meio de simulações no MATLAB 2024b, permitindo testar diversas configurações e analisar a acurácia, robustez e desempenho das soluções propostas para diferentes cenários de monitoramento de barreira.

RESULTADOS

Os resultados deste trabalho partem do cenário de uma região de interesse retangular, onde o objetivo é construir uma barreira de monitoramento que impeça a travessia da área do topo à base sem que se cruze pelo menos uma zona monitorada. Os sensores visuais são distribuídos ao longo da área, e seus campos de visão (CdV) modelados como triângulos isósceles. Observou-se que, dependendo do posicionamento dos sensores, podem ocorrer regiões suscetíveis a travessias não monitoradas, evidenciando a importância da análise criteriosa da disposição dos sensores.

Em situações em que o arranjo dos sensores permite a formação de uma barreira eficiente, qualquer trajetória vertical cruzará o CdV de ao menos uma câmera, caracterizando uma barreira efetiva. Para delimitar a área efetivamente monitorada, calculou-se a interseção dos CdV das câmeras com a área de interesse, desprezando regiões externas. Em seguida, o mesmo processo de interseção foi aplicado entre os próprios sensores para identificar quais CdV se interceptam, assim como quais alcançam as bordas laterais da área monitorada.

As interseções relevantes são aquelas que permitem, por meio de uma sequência conectada, ligar a extremidade esquerda (L) à direita (R) da região de interesse. O processo de verificação de interseções é feito geometricamente, analisando cada lado dos triângulos e das bordas do retângulo, armazenando todos os pontos de cruzamento. A partir desses dados, construiu-se um grafo de conexões entre sensores, no qual cada aresta representa uma interseção. Assim, é possível representar todas as cadeias de sensores que potencialmente formam uma barreira completa.

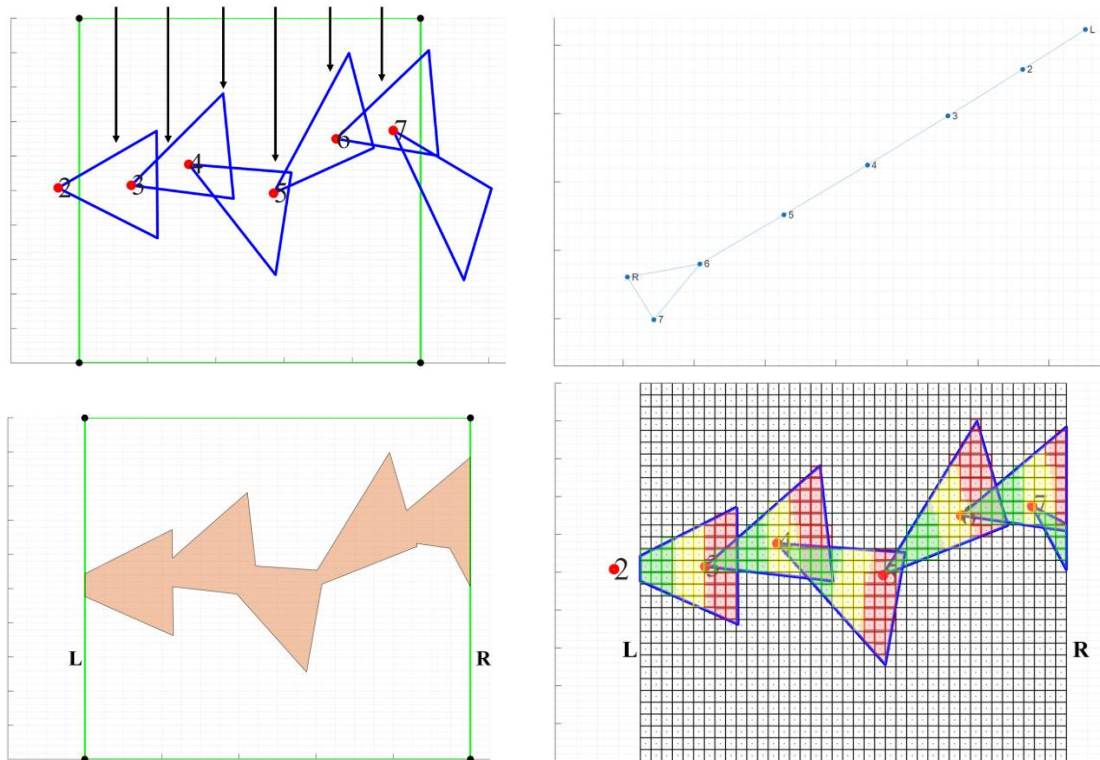
Para explorar todas as combinações possíveis de barreiras, foi utilizada a busca em profundidade (DFS) no grafo gerado, identificando todos os caminhos de L até R. Cada caminho representa uma configuração distinta de barreira, que pode variar desde soluções mais econômicas (com menos sensores) até arranjos mais robustos, com redundância suficiente para garantir a continuidade do monitoramento mesmo diante de falhas em sensores individuais.

Uma vez definido o caminho da barreira, a área total coberta é calculada por meio de uniões geométricas sucessivas dos polígonos correspondentes ao CdV dos sensores ao longo do caminho selecionado. O algoritmo de Greiner–Hormann foi adotado para

realizar a união dos polígonos, garantindo que todas as áreas sobrepostas e buracos fossem corretamente tratados, resultando em um polígono final que representa de forma precisa a barreira formada dentro da área de interesse.

Por fim, foi proposta uma abordagem quantitativa detalhada para avaliar a qualidade de monitoramento da barreira. A região monitorada é subdividida em blocos de monitoramento (MB), e para cada MB coberto é atribuído um peso proporcional ao nível de qualidade associado ao CdV do sensor que cobre o bloco. Três métricas principais foram definidas: AQM_abs (qualidade absoluta), AQM_rel (qualidade relativa à área coberta) e AQM global (qualidade em relação à área total de interesse). Essas métricas permitem diferenciar barreiras que cobrem grandes áreas com baixa qualidade daquelas que priorizam a cobertura com maior nível de detalhe, auxiliando na análise e otimização do posicionamento dos sensores e da robustez do sistema de monitoramento visual.

As imagens a seguir mostram a disposição de sensores visuais em uma área de interesse, o grafo indicando possíveis barreiras, uma cobertura de barreira selecionada e a qualidade de monitoramento dessa barreira.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste relatório, foi apresentada uma abordagem estruturada para modelar, analisar e avaliar a qualidade de barreira em redes de sensores visuais sem fio. O método desenvolvido permite identificar automaticamente as configurações de barreiras que garantem a cobertura da região de interesse e quantificar, de modo detalhado, a qualidade do monitoramento visual. Entre as principais contribuições, destacam-se a integração entre a modelagem geométrica dos campos de visão, a análise das conexões entre sensores, a união geométrica de polígonos por meio do algoritmo de Greiner–Hormann e o uso de métricas quantitativas de qualidade baseadas na divisão da área em blocos de monitoramento.

Os resultados mostram que a eficácia de barreiras depende não só da cobertura geométrica, mas também do nível de qualidade visual oferecido em cada sub-região, sendo fundamental equilibrar área monitorada e nível de detalhe conforme a aplicação. Como trabalhos futuros, propõe-se considerar cenários dinâmicos, variações ambientais e validar os métodos em experimentos reais, ampliando a utilidade das ferramentas desenvolvidas para aplicações em segurança e automação, especialmente em contextos de cidades inteligentes.

REFERÊNCIAS

- [1] Jesus, T.C.; Portugal, P.; Costa, D.G.; Vasques, F. A Comprehensive Dependability Model for QoM-Aware Industrial WSN When Performing Visual Area Coverage in Occluded Scenarios. *Sensors* 2020, 20, 6542.
- [2] Jesus, T.C.; Portugal, P.; Vasques, F.; Costa, D.G. Automated Methodology for Dependability Evaluation of Wireless Visual Sensor Networks. *Sensors* 2018, 18, 2629.
- [3] Jesus, T.C.; Costa, D.G.; Portugal, P.; Vasques, F. A Survey on Monitoring Quality Assessment for Wireless Visual Sensor Networks. *Future Internet* 2022, 14, 213.
- [4] Akyildiz, I.F.; Melodia, T.; Chowdhury, K.R. A Survey on Wireless Multimedia Sensor Networks. *Comput. Netw.* 2007, 51, 921–960.
- [5] Wang, Y.; Cao, G. On full-view coverage in camera sensor networks. In *Proceedings of the IEEE INFOCOM, Shanghai, China, 10–15 April 2011*; pp. 1781–1789.
- [6] Abdelkader, A.; Mokhtar, M.; El-Alfy, H. Angular Heuristics for Coverage Maximization in Multi-camera Surveillance. In *Proc. of the 2012 IEEE Ninth Intl. Conf. on Advanced Video and Signal-Based Surveillance, Beijing, China, September 2012*.
- [7] Xu, J.; Zhong, F.; Wang, Y. Learning Multi-Agent Coordination for Enhancing Target Coverage in Directional Sensor Networks. In *Proceedings of the 34th Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2020), December 2020*; pp. 1–12.
- [8] Zarei, Z.; Bag-Mohammadi, M. Priority-based target coverage in directional sensor networks. *IET Netw.* 2018, 7, 414–421.
- [9] Chen, A.; Lai, T.H.; Xuan, D. Measuring and Guaranteeing Quality of Barrier-Coverage in Wireless Sensor Networks. *ACM Int'l Symp. on Mobile Ad Hoc Networking and Computing, Hong Kong, China, 26–30 May 2008*.
- [10] Guo, L.; Kim, D.; Li, D.; Chen, W.; Tokuta, A.O. Constructing belt-barrier providing β -quality of monitoring with minimum camera sensors. *International Conference on Computer Communication and Networks (ICCCN), Shanghai, China, August 2014*.
- [11] Jesus, T.C.; Costa, D.G.; Portugal, P.; Vasques, F. FoV-Based Quality Assessment and Optimization for Area Coverage in Wireless Visual Sensor Networks. *IEEE Access* 2020, 8, 109568–109580.
- [12] Mohapatra, S.K.; Sahoo, P.K.; Wu, S.L. Big data analytic architecture for intruder detection in heterogeneous wireless sensor networks. *J. Netw. Comput. Appl.* 2016, 66.
- [13] Fan, X.G.; Che, Z.C.; Hu, F.D.; Liu, T.; Xu, J.S.; Zhou, X.L. Deploy Efficiency Driven k-Barrier Construction Scheme Based on Target Circle in Directional Sensor Network. *J. Comput. Sci. Technol.* 2020, 35, 647–664.
- [14] Wang, Z.; Wang, F. Wireless Visual Sensor Networks: Applications, Challenges, and Recent Advances. In *Proc. of SoutheastCon, Huntsville, USA, April 2019*; pp. 1–8.
- [15] Zhang, H.; Tao, P.; Meng, X.; Liu, M.; Liu, X. An Optimum Deployment Algorithm of Camera Networks for Open-Pit Mine Slope Monitoring. *Sensors* 2021, 21, 1148.