

Sistema de comunicação LoRa para imageamento rádio tomográfico

Palavras-Chave: Comunicação sem fio, LoRa, Imageamento rádio tomográfico

Autores:

Felipe Pires Oliveira Silva, FEEC - UNICAMP

Dr. Omar Carvalho Branquinho, FEEC - UNICAMP

Prof. Dr. Paulo Cardieri (Orientador), FEEC - UNICAMP

Introdução

A utilização de variações no sinal de rádio-frequência para detectar alterações no ambiente de propagação pode ser útil em técnicas como a de imageamento rádio-tomográfico [1]. Essa técnica pode ser usada em inúmeras aplicações, como, por exemplo, detecção de intrusos em um ambiente. Estudos anteriores exploraram o imageamento rádio-tomográfico em situações em que transmissores e receptores são posicionados dentro do mesmo ambiente monitorado. No entanto, quando os transmissor e o receptor estão em ambientes diferentes e, portanto, separados por paredes e outros obstáculos, surgem desafios adicionais que podem comprometer a sensibilidade e a precisão da detecção. Esses desafios podem ser ainda maiores quando se usa a tecnologia de comunicação sem fio LoRa [2], que trabalha com baixos níveis de potência de transmissão. Esse projeto de pesquisa de iniciação científica teve como objetivo estudar o uso da tecnologia LoRa para a detecção de eventos em um ambiente fechado através da análise da potência do sinal recebido.

Metodologia

Para alcançar o objetivo proposto, foram feitas medidas de sinal de RF recebido em um local com pessoas circulando e, portanto, alterando o ambiente de propagação. Para a coleta da intensidade de sinais de RF, foi implementado um sistema composto por um enlace rádio usando a tecnologia LoRa e uma estrutura para o armazenamento das intensidades de sinal. O desenvolvimento desse sistema rádio foi embasado na metodologia de TpM (*Three Phase Methodology*) para projetos de IoT [3]. O modelo sistêmico de toda a estrutura é mostrado na Figura 1.

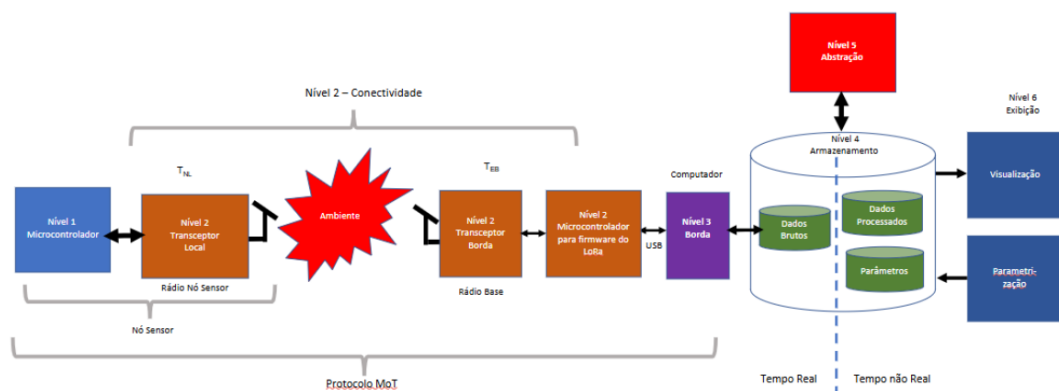


Figura 1: Arquitetura sistêmica de implementação do enlace rádio LoRa e de coleta da intensidade do sinal. Fonte: Autor, adaptado de [3])

Para o registro da movimentação de pessoas no ambiente, foi utilizado um sensor sonar, que detectava passagem de pessoas no ambiente considerada.

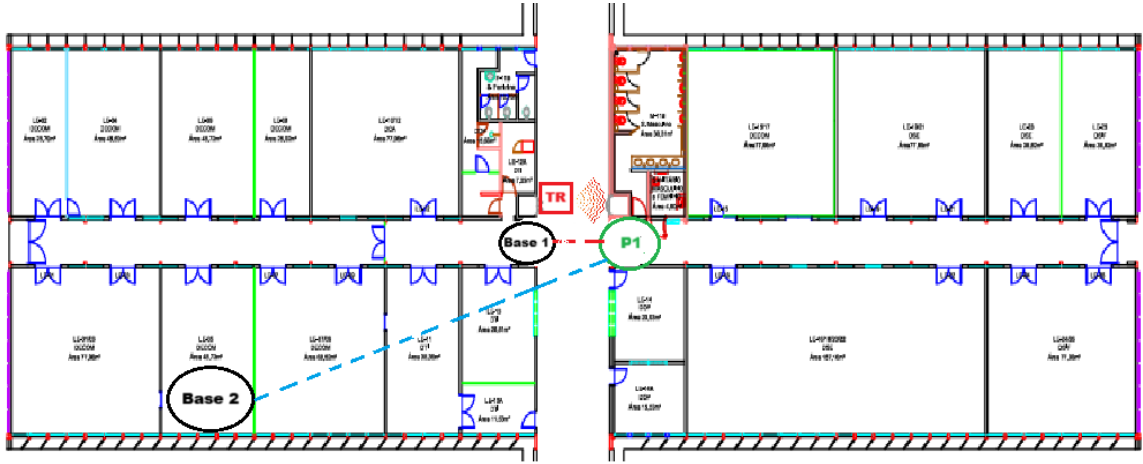


Figura 2: Planta baixa do bloco B da FEEC, com a localização dos pontos de medição. Fonte: Autor

Configurações das campanhas de medidas

As campanhas de medidas foram feitas no corredor do piso térreo do bloco B da Engenharia Elétrica e de Computação da Unicamp (ver Figura 2). O sonar foi instalado em uma esquina do corredor (ver caixa vermelha identificada como “TR” na Figura 2). As ondas ultrassônicas emitidas pelo sonar são refletidas ao encontrarem obstáculos ou pessoas em movimento, possibilitando a detecção da passagem de pessoas pelo corredor.

Quanto às posições do transmissor e receptor do enlace rádio, foram adotadas duas configurações:

- **Configuração 1:** Transmissor e receptor localizados em duas esquinas opostas do corredor (ver na Figura 2 os pontos Base 1 (RX) e P1 (TX)), com o receptor instalado próximo ao sonar. Dessa forma, o enlace rádio coincide com o enlace sonar. Além disso, o enlace rádio tem visada direta. O objetivo do uso dessa configuração foi de verificar o funcionamento do sistema em condições favoráveis de propagação.
- **Configuração 2:** O receptor foi posicionado em uma sala, mantendo-se o transmissor na esquina do corredor, como na Configuração 1 (ver na Figura 2 os pontos Base 2 (TX) e P1 (RX)). Dessa forma, o enlace não terá visada direta. Com essa configuração, será possível avaliar o funcionamento do sistema quando o sinal de RF é perturbado por obstáculos, como paredes.

Para avaliarmos o efeitos da movimentação de pessoas pelo corredor, foram considerados dois cenários: (i) ambiente sem qualquer movimentação de pessoas e (ii) ambiente com movimentação de pessoas.

Processamento das amostras de potência do sinal de RF

A potência do sinal recebido foi coletada através do valor do parâmetro RSSI (*Received Signal Strength Indicator*), presente nos pacotes recebidos no sistema LoRa. Para essa coleta, o sistema de transmissão foi programado para transmitir pacotes teste a cada 1 segundo.

Para caracterizar a variação da intensidade do sinal recebido, foi calculado o desvio padrão dos valores de RSSI coletados em intervalos (grupos) de 10 segundos. Simultaneamente, registrou-se o número de pessoas que passaram pelo corredor em cada intervalo. Assim, cada grupo possui, portanto, um valor de desvio padrão das amostras de RSSI coletadas nesse intervalo e o número correspondente de pessoas que transitaram pelo corredor durante o mesmo período. A Figura 3 ilustra o cálculo do desvio padrão da RSSI e a sua associação ao número de pessoas passando pelo corredor.

Deve-se notar que os valores de RSSI fornecidos são expressos em dBm. No entanto, para o cálculo do desvio padrão, esses valores foram considerados apenas como uma grandeza adimensional cujo nível de variação está associado ao nível de variação da amplitude do sinal recebido. Assim, o desvio padrão dos valores de RSSI do grupo g , denotado por σ_g , foi calculado usando

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{1}{(N_g - 1)} \sum_{n=1}^{N_g} (\beta_{n,g} - \bar{\beta}_g)^2}$$

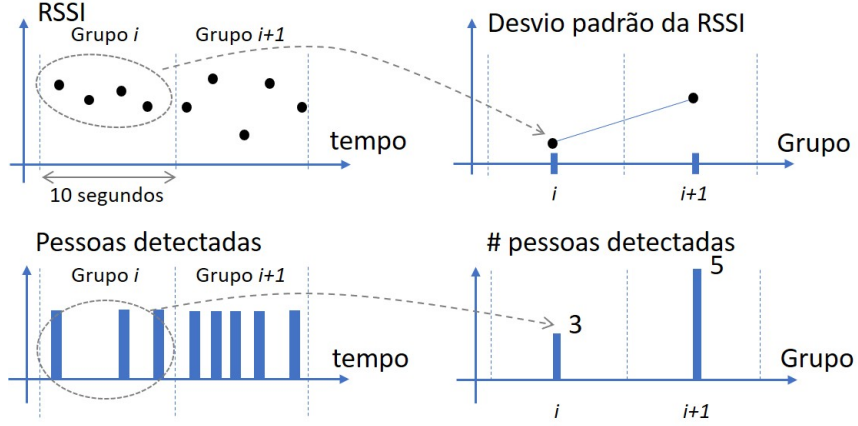


Figura 3: Esquemático de abstração de dados de RSSI. Fonte: Autor.

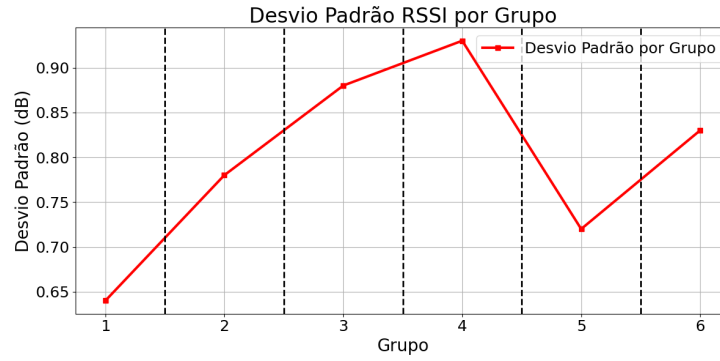


Figura 4: Desvio padrão da RSSI na configuração 1, sem movimentação de pessoas.

em que N_g é o número de medições de RSSI do grupo g , $\beta_{n,g}$ é a n -ésima amostra de RSSI, e $\bar{\beta}_g$ é o valor médio de RSSI do grupo, calculada como

$$\bar{\beta}_g = \frac{1}{N_g} \sum_{n=1}^{N_g} \beta_{n,g}.$$

Resultados e Discussões

Resultados para a Configuração 1

As Figuras 4 e 5 mostram o desvio padrão ao longo de um intervalo de medições, nos ambientes sem movimentação e com movimentação, respectivamente, para a Configuração 1 (transmissor e receptor em linha de visada). Na Figura 5 são apresentados também os valores de pessoas que passaram pelo corredor em cada intervalo (grupo). A comparação dos cenários sem e com movimentação revela diferenças esperadas. No cenário sem movimentação (Figura 4), o desvio padrão do RSSI permaneceu abaixo de 1, indicando uma amplitude de sinal estável e pouco variada. Já no cenário com movimentação (Figura 5), o desvio padrão ultrapassou 1 em diversos momentos, refletindo de forma direta a quantidade de pessoas que passaram pelo corredor em cada intervalo. Destaca-se que, nos grupos sem movimentação (1, 2 e 6), o desvio padrão manteve-se baixo, reforçando a influência da movimentação na variação do sinal. Portanto, observa-se uma forte correlação entre a variação do sinal de RF e o número de pessoas passando no corredor. O baixo valor do desvio padrão na ausência de movimentação de pessoas, bem como a forte correlação entre o desvio padrão e o número de pessoas circulando quando há movimentação, são resultados esperados e serviram para atestar o funcionamento do sistema.

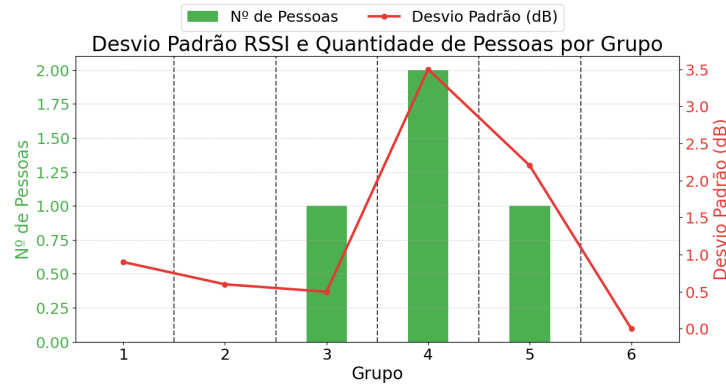


Figura 5: Desvio padrão e número de pessoas no ambiente para a Configuração 1, com movimentação de pessoas.

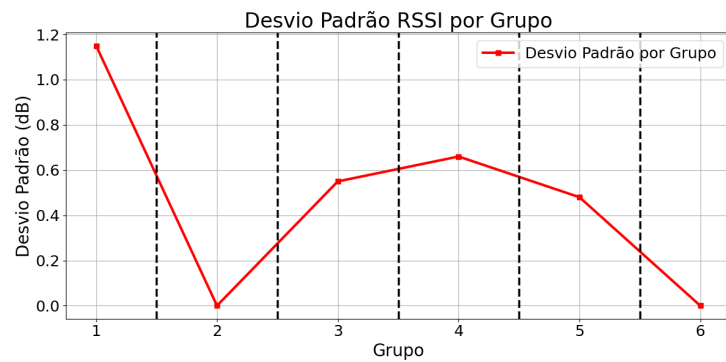


Figura 6: Desvio padrão da RSSI na configuração 2, sem movimentação de pessoas.

Resultados para Configuração 2

As Figuras 6 e 7 mostram o desvio padrão ao longo das medições, nos ambientes sem movimentação e com movimentação, respectivamente, para a Configuração 2 (transmissor e receptor sem linha de visada). Na Figura 7 são apresentados também os valores de pessoas que passaram pelo corredor em cada intervalo.

Nesta configuração, a maior distância entre o transmissor e receptor e a presença de obstáculos, como paredes e outros objetos, tornam-se desafios para a propagação do RF. Essa situação faz com que o desvio padrão apesar de pequeno seja maior do que na Configuração 1. Isso nos mostra que, apesar de o cenário estar aparentemente estável por não haver trânsito de pessoas, ainda pode haver instabilidades devido ao ambiente.

O cenário com movimentação (Figura 7) apresenta instabilidades mais acentuadas nos valores de RSSI, com desvios padrão superiores a 0,5. No entanto, diferentemente do observado na Configuração 1, a Configuração 2 não resulta em uma forte correlação positiva entre o desvio padrão do RSSI e o número de pessoas circulando no ambiente. Essa ausência de correlação acentuada pode ser explicada pela presença de outros obstáculos (fixos ou móveis) entre o transmissor e o receptor, além da ausência de uma linha de visada clara entre o transmissor e o receptor, o que caracteriza a propagação por múltiplos percursos. Esses efeitos acabam mascarando a influência da movimentação de pessoas sobre a propagação do sinal.

Conclusão

Os resultados da análise da variação da intensidade do sinal de RF em diferentes cenários e configurações mostraram que: (i) na presença de uma componente em visada direta entre o transmissor e o receptor, há uma forte correlação entre a variação do sinal de RF e o grau de mobilidade do ambiente de propagação (no nosso caso, o número de pessoas circulando); (ii) quando a componente de visada direta não existe, essa correlação entre a variação do sinal e o grau de mobilidade praticamente desaparece, o que torna desafiador o uso de imageamento rádio tomográfico nas situações em que o transmissor e o receptor de RF não estão no mesmo ambiente. Vale destacar que a estratégia de análise dos dados ado-

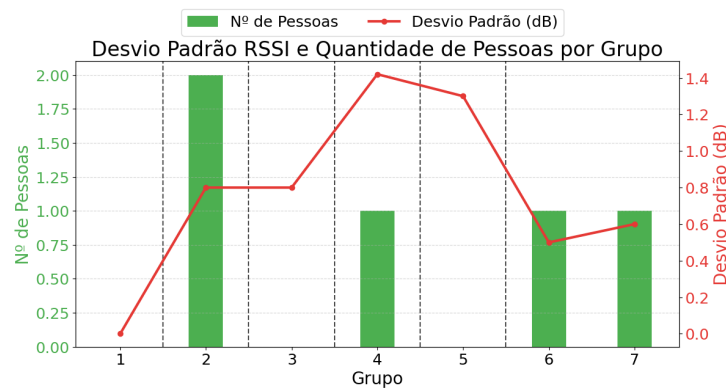


Figura 7: Desvio padrão e número de pessoas no ambiente para a Configuração 2.

tada nesse projeto foi baseada na comparação entre o desvio padrão da intensidade do sinal e o número de pessoas circulando no ambiente. Outras abordagens de processamento dos dados podem ser usadas, com o objetivo de encontrar relações menos evidentes entre o desvio padrão e o grau de mobilidade do ambiente, de forma a tornar viável o uso de imageamento rádio tomográfico em ambiente sem visada.

Referências

- [1] J. Wilson and N. Patwari, “Radio tomographic imaging with wireless networks,” *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 9, no. 5, pp. 621–632, 2010.
- [2] J. P. Shanmuga Sundaram, W. Du, and Z. Zhao, “A survey on lora networking: Research problems, current solutions, and open issues,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 22, no. 1, pp. 371–388, 2020.
- [3] L. C. B. Ferreira, P. R. Chaves, R. M. Assumpcao, O. C. Branquinho, F. Fruett, and P. Cardieri, “The three-phase methodology for iot project development,” *Internet of Things*, vol. 20, p. 100624, 2022.
- [4] Curso FE230 - Introdução a Redes Sem Fio para IoT, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Disponível em: <https://www.extecamp.unicamp.br/dados.asp?sigla>.