

Localização de Dispositivos Usando Correlação de Assinaturas de Radiofrequência em Redes ISDB-T de Frequência Única

Tayssa Dominguez, Lisandro Lovisoló, Michel Pompeu Tcheou, Rafael Saraiva Campos

Resumo— Neste trabalho, desenvolve-se a localização de dispositivos empregando-se o registro circular da intensidade do sinal recebido de SFNs (*Single Frequency Networks*) ISDB-T (*Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial*). A assinatura de RF é composta pelas intensidades de sinal em diferentes radiais. Constrói-se um banco de dados geo-referenciado que contém as assinaturas na área de interesse do serviço de localização. Testamos diferentes medidas de similaridades entre os registros existentes no banco de dados e o coletado pelo dispositivo para estimar a posição do dispositivo. Consideramos aspectos relevantes de configuração dos sistemas de transmissão e recepção, e os resultados indicam que a proposta é viável; obteve-se um erro médio de 85,3 m para uma SFN composta por 6 transmissores numa área de 635 Km².

Palavras-Chave— Radiolocalização, Assinaturas de Radiofrequência, Redes de Frequência Única, Sinais de Oportunidade

Abstract— This work investigates the use of received signal strength (RSS) from ISDB-T single frequency networks (SFNs) to localize devices. We employ radio-frequency (RF) fingerprints composed by a RSS circular pattern, i.e. one assumes an antenna that measures the RSS in angular sectors. The RF fingerprint contains the RSS from different radials. A geo-referenced database is built that contains the RF fingerprints in the localization service area. We evaluated different similarity functions between the database fingerprints and the one collected by the device to compute position estimate. We consider relevant configuration aspect of the transmission and reception systems, and the results show the viability of our proposal; a mean error of 85,3 m was observed considering a 6 transmitters SFN in a 635 Km².

Keywords— RF positioning, RF fingerprinting, Single Frequency Networks, Signals of Opportunity

I. INTRODUÇÃO

O uso de serviços baseados em localização têm crescido cada vez mais; serviços de transporte e informação de tráfego, alimentação e redes sociais, entre outros, têm se tornado essenciais nas atividades diárias de seus usuários, impactando a economia [1]. Contudo, os sistemas de localização amplamente difundidos são dependentes de sistemas satelitais, isto é, de GNSS (*Global Navigation Satellite System*). Os sinais de sistemas GNSS encontram-se disponíveis somente enquanto seus proprietários permitirem que os mesmos sejam transmitidos de forma acessível a qualquer dispositivo receptor no mundo. Neste trabalho apresentamos uma técnica de localização sem o uso de sistemas GNSS.

Tayssa Dominguez, Lisandro Lovisoló e Michel Pompeu Tcheou, PEL-UERJ, e-mail: tayssadominguez@gmail.com, lisandro@uerj.br, mtcheou@uerj.br; Rafael Saraiva Campos, CEFET-RJ, rafael.campos@cefet-rj.br

Há diversos sistemas que emitem sinais especialmente projetados para localizar dispositivos eletrônicos [2]. Por outro lado, diversos trabalhos investigam o uso dos chamados "sinais de oportunidade" para aplicações de localização; isto é, investigam como empregar sinais não originariamente projetados para localização (e que não comportam nenhuma informação de posicionamento) para essa finalidade [3], [4]. Além do uso para localização autônoma, outros trabalhos apontam a possibilidade de utilizar esses sinais para complementar a cobertura de sistemas GNSS [5].

O ISDB-T [6] é empregado para radiodifusão de DTV (*Digital Television*) no Brasil. Ele utiliza OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), assim como o sistema DVB-T [7], a fim de proporcionar elevada eficiência espectral e imunidade a percursos múltiplos. O uso de OFDM possibilita operar no modo SFNs (*Single Frequency Networks*), com vários transmissores operando simultaneamente na mesma frequência e sincronizadamente.

Consideramos o emprego de sinais provenientes de redes de radiodifusão de TV Digital para a localização. Tal estratégia vem sendo considerada para os diferentes sistemas de DTV [8], [4], [9], inclusive para localização *indoor* [10]. Utilizamos a técnica conhecida como RF *fingerprinting*, ela pode ser empregada para localizar dispositivos a partir de sinais capturados em diferentes redes sem fio [2]. Um conjunto de parâmetros específicos extraídos do sinal RF (dependentes da posição) é empregado como uma assinatura (ou impressão digital – *fingerprint*) da localidade. Se esse conjunto varia com o sítio em que o dispositivo está localizado, podemos a partir do mesmo estimar a posição do dispositivo.

Neste artigo, propõe-se utilizar a captura da intensidade de sinais de DTV em diferentes radiais e o emprego das intensidades recebidas nos diferentes radiais num mesmo ponto para estimar a localização do dispositivo. Num giro de 360° em torno do ponto de coleta têm-se N medidas de intensidade para compor o padrão circular. Tal estratégia prescinde de sincronização do dispositivo a ser localizado com os transmissores, pois requer somente a medida da intensidade de campo elétrico recebido de uma SFN. Nos testes apresentados, assume-se que as intensidades são medidas em linha de visada (*LOS – line-of-sight*) com os transmissores. Os padrões circulares são armazenados em um banco de dados de correlação. As entradas do banco são comparadas com o padrão capturado pelo dispositivo alvo para estimar a sua localização.

A Seção II apresenta nossa proposta de RF *fingerprinting* para a localização de dispositivos a partir de sinais de SFNs

ISDB-T e as medidas de correlação empregadas. Na Seção III são apresentados os cenários de teste e na Seção IV os resultados obtidos. Na Seção V são apresentadas as conclusões.

II. ABORDAGEM PROPOSTA

SFNs operam na mesma frequência de forma a prover cobertura em condições de recepção satisfatórias numa região geográfica. O sinal transmitido é especialmente projetado para mitigar os efeitos de multi-percursos e equivalentemente de sobreposição temporal (dentro de um intervalo pré-especificado) de sinais provenientes de diferentes transmissores em um mesmo sítio. Para isso, emprega-se a técnica OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). Nas aplicações de DTV, não há diferença entre os sinais irradiados por diferentes antenas que compõem a SFN, isto é, o sinal não comporta informações específicas sobre sua origem geográfica. Isso impossibilita o emprego de técnicas baseadas na inversão da perda no percurso a partir do RSS, ou em temporização como TOA (*time of arrival*), TDOA (*time difference of arrival*) e variantes. Consequentemente, empregamos a correlação de assinaturas de RF como técnica de localização.

De forma a estimar a posição do dispositivo, compara-se a assinatura capturada (**Tfing**) a padrões previamente armazenados num banco de dados de correlação (padrões de referência) (**Rfing_i**). Esses padrões estão associados a posições ($lat_i, long_i$), $i = 1 \dots \mathcal{I}$, sendo \mathcal{I} a quantidade total de posições. A posição correspondente ao padrão do banco de dados (CDB – *correlation data base*) que é mais similar a **Tfing** é retornada como a posição estimada do receptor; alternativamente, pode-se retornar mais de um elemento do CDB e utilizar médias das posições correspondentes como estimativa da posição do dispositivo.

A. Fingerprinting

O parâmetro escolhido para compor a assinatura de RF a partir do qual estima-se a posição do receptor é a intensidade de campo elétrico recebido ($\mu\text{V/m}$) da SFN [11]. Obtêm-se os valores de intensidade de campo elétricos em fatias angulares (radiais) em torno do sítio onde está localizada a antena receptora/dispositivo a ser localizado.

1) *Antena*: Assumimos uma antena capaz de rodar em torno de um eixo central fixo e medir a intensidade do sinal recebido em diferentes posições angulares. Consideramos que ϕ é o passo angular do giro da antena e ao completar-se 360° obtêm-se um vetor de RSS com

$$N = \frac{360^\circ}{\phi}, \quad (1)$$

valores de intensidade do sinal de RF da SFN em torno da posição em que está a antena. Esse vetor é empregado neste trabalho como a impressão digital dependente da localização para a estimativa da posição do dispositivo.

B. Medidas de Correlação

Para comparar o *fingerprint* medido com os armazenados no CDB testamos algumas medidas de similaridade. Inicialmente, considerou-se a orientação de norte verdadeiro (NV), isto é, os registros de RSS têm associada a informação dessa orientação.

1) *Energia*: A energia do i -ésimo vetor de referência é

$$E_i = \sum_{n=1}^N |\text{Rfing}_i(n)|^2, \quad (2)$$

onde $\text{Rfing}_i(n)$ é a assinatura de RF da posição i na n -ésima direção avaliada no processo de medição.

Pode-se comparar a energia de **Tfing**

$$E_{\text{Tfing}} = \sum_{n=1}^N |\text{Tfing}_i(n)|^2, \quad (3)$$

com as energias dos diferentes **Rfings** existentes no CDB. E, estimar a posição onde **Tfing** foi coletado como

$$(\hat{lat}, \hat{long}) = (lat_i, long_i) \quad (4)$$

$$i = \arg \min_{i=1 \dots \mathcal{I}} |E_i - E_{\text{Tfing}}|. \quad (5)$$

Isto é, estima-se que o dispositivo mediu **Tfing** na posição i para a qual a energia do **Rfing_i** associado é a mais similar à de **Tfing**.

Esta estratégia prescinde da variação da energia recebida pelo receptor em função do ângulo da antena, i.e., equivale à empregar uma antena omnidirecional no receptor para obter as assinaturas de RF da SFN.

Para usar a informação do padrão circular, quantiza-se os vetores usando um limiar, e testa-se a quantidade de pontos em que ambos são iguais

$$\sum_{n=1}^N |\text{limiar}(\text{Rfing}_i(n)) - \text{limiar}(\text{Tfing}(n))| = 0, \quad (6)$$

na qual $\text{limiar}(x)$ é 1 se $x > \text{limiar}$ e 0 em caso contrário. Caso a equação (6) seja verdadeira, testa-se a similaridade entre o padrão alvo e o de referência usando a equação (5), caso contrário, não.

2) *MSE*: O erro médio quadrático (MSE – *mean squared error*) entre **Rfing_i** e **Tfing** é

$$\text{MSE}_i = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (\text{Rfing}_i(n) - \text{Tfing}(n))^2. \quad (7)$$

A posição estimada do dispositivo é a de índice (no CDB)

$$i = \arg \min_{i=1 \dots \mathcal{I}} \text{MSE}_i. \quad (8)$$

Observa-se que a equação (7) equivale à distância Euclidiana entre os vetores **Tfing** e **Rfing_i** dividida pela quantidade de coordenadas N que os vetores contêm.

Diferentemente do que ocorre quando se usa a energia, na qual a informação direcional é ignorada, para que o MSE possa ser empregado, necessita-se um alinhamento entre as assinaturas de RF. Isso pode ser obtido inserindo uma informação de bússola (o NV) e alinhando as coordenadas dos vetores. Uma alternativa, quando não dispomos dessa informação direcional, é alterar a medida de similaridade para

$$\text{MSE}_i = \max_{m=1 \dots N} \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (\text{Rfing}_i(n) - \text{Tfing}(n+m)_N)^2, \quad (9)$$

e assim, buscar o máximo dentre todos os possíveis alinhamentos angulares entre as assinaturas de RF alvo e de referência; $x(n-m)_N$ representa $x((n-m) \bmod N)$.

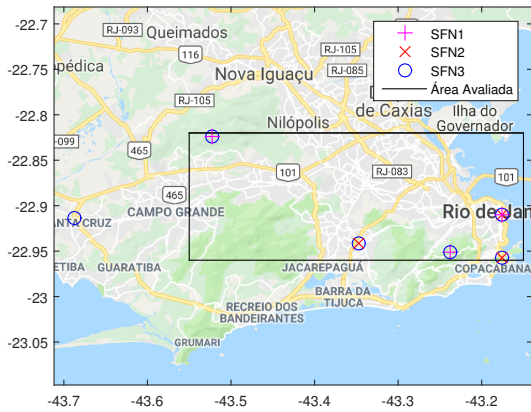


Fig. 1. Disposição dos transmissores das Redes SFNs.

3) *Correlação Circular*: A correlação entre $Tfing(n)$ e $Rfing_i(n)$ (considera-se sinais dependentes de n) é

$$CC_i(n) = Tfing(n) \otimes Rfing_i(-n) \quad (10)$$

$$= \sum_{m=1}^N Tfing(m-n) Rfing_i(m).$$

onde \otimes é a operação de correlação circular. Podemos encontrar a assinatura de RF contida no CDB que é mais similar a $Tfing$, isto é, a de índice

$$i = \arg \max_{i=1 \dots \mathcal{I}} CC_i(n), \quad (11)$$

e assim estimar a posição onde a assinatura alvo foi coletada. Tal qual se pode fazer ao testar todos os alinhamentos possíveis no cômputo do MSE (equação (9)), ao empregar a correlação circular, temos uma medida de similaridade que não requer alinhamento angular na coleta dos diversos $Rfing$ e do $Tfing$, porém com menor complexidade, já que há métodos rápidos para seu cômputo (via FFT – *Fast Fourier Transform*).

III. CENÁRIOS DE TESTE

Foram empregadas 3 redes SFNs com diferentes configurações de transmissores. Duas dessas redes operam com a mesma quantidade de transmissores mas em canais distintos e com estações transmissoras em sítios geográficos diferentes. As disposições das SFNs são apresentadas na Figura 1, onde também é delimitada a área onde a proposta de sistema de localização é avaliada, que é de 635 Km².

A. SFNs

As SFNs empregam diferentes quantidades de transmissores (Tx) e disposições geográficas. A SFN 1 e a SFN 2 são compostas por 3 transmissores cada, e a SFN 3, por 6 transmissores; os sítios dos transmissores da SFN 3 estão apresentados na Tabela I e foram escolhidos em função de posições reais de estações localizadas no Rio de Janeiro [12]. As estações das SFN 1 e SFN 2 estão co-localizadas com as estações transmissoras 1–3 e 4–6 da SFN 3, respectivamente.

TABELA I

COORDENADAS DAS ESTAÇÕES DE TRANSMISSÃO DA SFN 3.

Tx	Latitude	Longitude	Tx	Latitude	Longitude
1	-22.951	-43.237	4	-22.941	-43.347
2	-22.957	-43.176	5	-22.913	-43.686
3	-22.824	-43.523	6	-22.91	-43.175

Para obter o RSS em um ponto, considera-se a contribuição de todos os transmissores da SFN somando suas potências [13]. Isto é, a intensidade do campo [dBμV/m] é

$$F_{\Sigma} = 10 \log_{10} P_{\Sigma} = 10 \log_{10} \sum_{k=1}^{\mathcal{K}} P(k), \quad (12)$$

$$e P(k) = 10^{\frac{F(k)}{10}}, \quad (13)$$

na qual, $F(k)$ representa a intensidade do campo elétrico recebido da k -ésima antena e \mathcal{K} é a quantidade total de antenas.

B. Modelagem de Propagação

Empregamos o modelo de predição de cobertura ponto-área ITU-R P.1546-5 [14]. Este modelo é empregado para modelar serviços terrestres na faixa de 30 MHz até 3 GHz, que no Brasil serve a diversos serviços de telecomunicações, incluindo TV. O modelo estima o valor da intensidade de campo excedido durante 50%, 10% ou 1% do tempo para as frequências nominais de 100 MHz, 600 MHz e 2 GHz.

C. Área e Resolução

Considera-se a área do município do Rio de Janeiro. Os pontos de coleta estão espaçados de aproximadamente 110 metros e as altitudes dos pontos são extraídas da base topográfica *Digital Terrain Elevation Data* (DTED) [15], que tem resolução de um segundo de arco ou, aproximadamente, 30 metros. Consideramos coordenadas no sistema UTM (Universal Transverse Mercator); no qual a Terra é dividida em 60 regiões de 6 graus de longitude [16].

D. Processo de Coleta e Resolução Angular

O processo de coleta do padrão circular de RSS é ilustrado na Figura 2, no qual a antena gira com passo angular de 30°. Durante o giro, a posição do registro alinhada a 0°NV é também registrada.

A resolução ou passo angular é o intervalo entre as medições de RSS. Quanto menor o passo angular, maior a quantidade de medidas num ponto e vice-versa. Neste trabalho, apresentamos resultados usando um passo angular de 10° por ter apresentado desempenho razoável que permite explorar a capacidade da proposta em obter estimativas de posição a partir do padrão circular de RSS.

1) *Pontos de Coleta e Erro Mínimo*: Os pontos de coleta dos registros armazenados no CDB são distintos dos pontos de avaliação das técnicas. As grades estão desalinhadas, intercaladas entre si. Conseqüentemente, espera-se que a estimativa de posição usando as métricas de similaridade incorra sempre em

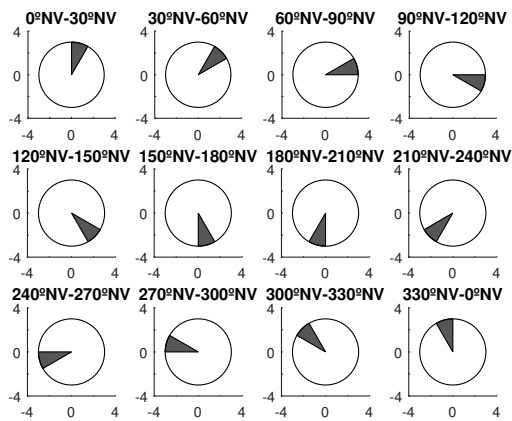


Fig. 2. Exemplo do giro par coleta da intensidade de sinal recebido com passo angular de 30° – 12 posições em 360° .

um erro de localização. Ele deriva do desalinhamento entre os pontos do CDB e os pontos de teste; cada ponto de teste está no centro do quadrilátero com vértices em 4 pontos vizinhos do CDB. Desta forma, o erro mínimo é igual à metade do comprimento da diagonal do quadrilátero, $l/2 \times \sqrt{2} = 75,46$ m.

IV. RESULTADOS

A Figura 3 apresenta os resultados obtidos, o CDB contém 56.541 pontos e para teste empregamos 1.200, obtidos aleatoriamente dentre os outros 56 mil pontos intercalados aos do CDB, na região de 635 Km^2 . Usamos a CDF (*Cumulative Distribution Function*) do erro de localização para avaliar a acurácia da localização [2]. Na figura vêem-se as CDFs do erro de localização usando as diferentes funções de similaridade.

A Figura 3.(a) apresenta o desempenho considerando a SFN 1; o erro mínimo é alcançado para 84% das estimativas de localização retornadas usando o MSE, para 38%, usando o CC, e para 43%, usando a energia total.

A. Ausência de Norte Verdadeiro

O desempenho obtido usando a rede SFN 1 como referência quando não se dispõem da informação de Norte Verdadeiro é apresentado na Figura 3.(b). Enquanto o desempenho de erro mínimo usando a CC como medida de similaridade se mantém em 38%, ele sofre grande deterioração usando o MSE e E, caindo para 10% e 6%, respectivamente.

B. Dispositivos Cruzados

Técnicas de localização baseadas em *fingerprinting* geralmente tem o desempenho deteriorado pelo efeito *cross-device*. Se o CDB é coletado com um dispositivo e a estimativa de localização deve ser produzida para outro dispositivo, pode haver diferenças nas medidas que prejudicam a estimativa de localização. Para simular isso, adicionamos ganhos (constantes) distintos na coleta das medidas alvo (a localizar) e de referências (CDB). A Figura 3.(c) apresenta os resultados obtidos considerando um ganho 3 dB superior para a coleta

das medidas alvo em relação ao da construção do CDB. Observa-se que as CDFs estão abaixo das correspondentes na Figura 3.(a). Além disso, o patamar de erro mínimo inicial diminui, mostrando uma deterioração de desempenho.

C. Alterações das Configurações de Redes

Se a SFN é composta por mais transmissores, observa-se uma melhora de desempenho, o que pode ser observado ao comparar os gráficos da Figura 3.(d), obtidos com a SFN 3 (composta por 6 transmissores) com os da Figura 3.(a), obtidos com a SFN 1 (3 transmissores). Para a SFN 3, o erro mínimo de 75,46 m é conseguido para 92% das posições estimadas usando o MSE como função de similaridade, em 90% quando se emprega a CC e em 55% para a energia total.

Quando se empregam duas SFNs simultaneamente, a SFN 1 e a 2, obtêm-se as CDFs apresentadas na Figura 3.(e), para as quais o erro mínimo é mantido acima de 90% usando como função de similaridade o MSE, em 55% com a CC e em 43% com a comparação de energia.

D. Comparação de Desempenho

Com base nos resultados apresentados na Figura 3, criou-se a Tabela II, na qual são apresentados os erros médios e percentuais obtidos com as diferentes medidas de similaridade avaliadas, em metros. Primeiramente, vê-se que com mais transmissores, o desempenho melhora. Nota-se que quando o efeito *cross-device* ocorre, os erros aumentam para todas as medidas de similaridade e quando se prescinde da orientação NV o desempenho também cai, exceto para a medida CC.

V. CONCLUSÕES

Este trabalho contribui apresentando uma abordagem para estimar a localização de dispositivos a partir de sinais de SFNs. Propõe-se empregar uma antena receptora diretiva para coletar o padrão circular de intensidades do sinal recebido da SFN. Esse padrão é empregado como assinatura de radio-frequência para estimar a posição do dispositivo. Diferentes funções de similaridade foram avaliadas. Simulou-se a proposta na cidade do Rio de Janeiro, os resultados indicam que assim se pode obter uma estimativa razoável da localização. O desempenho da proposta melhora quando a quantidade de transmissores da SFN aumenta, bem como quando empregam-se mais SFNs. Para quase 80% das estimativas de localização, obtém-se o erro mínimo, inerente às limitações da simulação e do método apresentado.

Dentre as funções de similaridade avaliadas, viu-se que ao empregar a correlação circular obtém-se imunidade à perda de referência de NV. Tornando-se uma alternativa ao MSE, se o padrão circular contém muitas componentes, devido a seu menor custo computacional em função da quantidade de componentes do padrão circular. Vimos ainda que o efeito *cross-device* pode deteriorar o desempenho, assim, estratégias têm que ser investigadas para mitigá-lo. Em trabalhos futuros, pretende-se avaliar o desempenho de cenários NLOS, o impacto do ruído e obter resultados de campo com uma antena de coleta real.

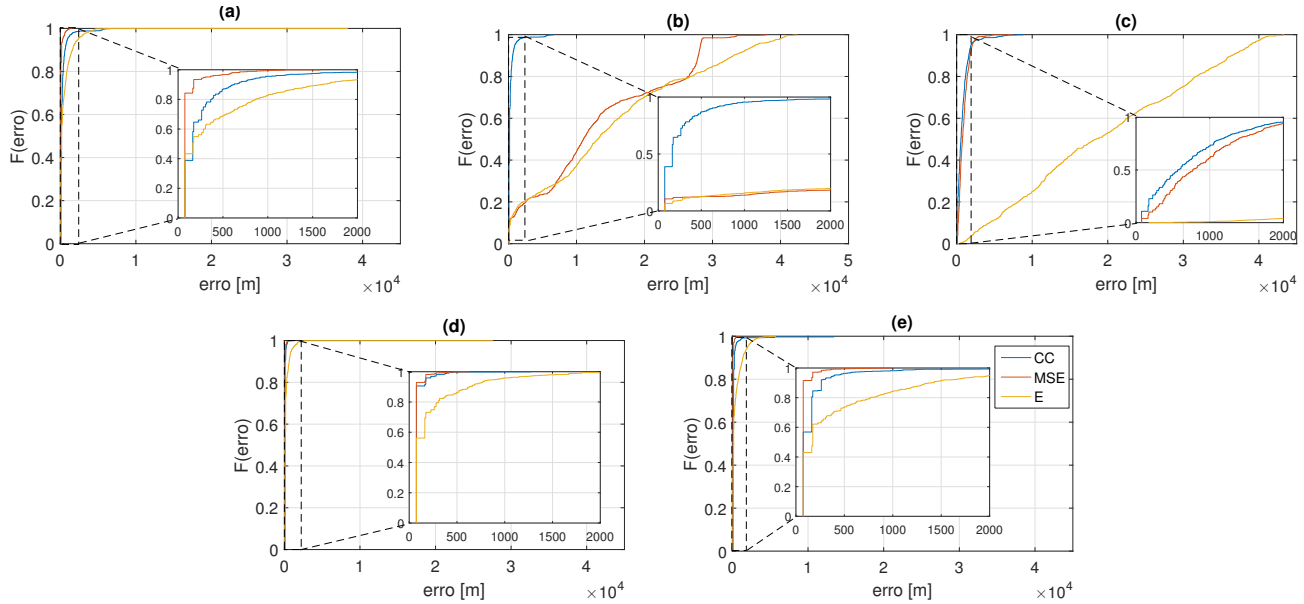


Fig. 3. CDFs dos erros de localização em diferentes cenários de teste: (a) SFN 1 - com 3 transmissores, (b) SFN 1 sem orientação NV, (c) SFN1 com *cross-device* de 3dB das antenas, (d) SFN 3 - com 6 transmissores, (e) 2 Redes operando simultaneamente - SFN 1 e SFN 2.

TABELA II

COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO DAS MEDIDAS DE SIMILARIDADE, CENÁRIOS DE TESTES E OUTROS EFEITOS (*cross-device* E AUSÊNCIA DE NV), 95% E 99% SE REFEREM A PERCENTIS, TODOS OS VALORES DE ERRO ESTÃO EM METROS.

Cenário	MSE			CC			E		
	erro médio	95%	99%	erro médio	95%	99%	erro médio	95%	99%
SFN 1	115,77	305,61	873,68	322,97	928,96	5.261,00	584,63	2.381,00	4.258,00
SFN 1 sem NV	13.114,00	28.239,00	33.189,00	322,97	928,96	5.261,00	14.961,00	36.275,00	40.637,00
SFN 1 com DC	919,34	2.054,00	2.860,00	786,93	1.909,00	5.523,00	19.635,00	38.795,00	40.951,00
SFN 3	85,30	173,83	281,53	91,92	173,83	390,93	264,30	928,78	1.772,00
SFN 1 e 2	89,64	173,84	363,32	213,28	395,66	1.241,00	477,43	2.008,00	3.174,00

REFERÊNCIAS

- [1] M. Thomas, J. Norton, A. Jones, A. Hopper, N. Ward, P. Cannon, N. Ackroyd, P. Cruddace, and M. Unwin, "Global navigation space systems: reliance and vulnerabilities," *The Royal Academy of Engineering, London*, 2011.
- [2] R. S. Campos and L. Lovisolo, *RF positioning: fundamentals, applications, and tools*. Artech House, 2015.
- [3] C. Yang, T. Nguyen, and E. Blasch, "Mobile positioning via fusion of mixed signals of opportunity," *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, vol. 29, no. 4, pp. 34–46, 2014.
- [4] H. Nikookar and P. Oonincx, "An introduction to radio locationing with signals of opportunity," *Journal of Communication, Navigation, Sensing and Services (CONASENSE)*, vol. 2016, no. 1, pp. 1–10, 2016.
- [5] J.-Y. Do, M. Rabinowitz, and P. Enge, "Performance of hybrid positioning system combining GPS and television signals," in *2006 IEEE/ION Position, Location, and Navigation Symposium*, pp. 556–564, Citeseer, 2006.
- [6] B. Furht and S. A. Ahson, *Handbook of mobile broadcasting: DVB-H, DMB, ISDB-T, and mediaflo*. CRC Press, 2008.
- [7] DVB, "Frame structure channel coding and modulation for the second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)," *ETSI, Sophia Antipolis*, pp. 343–346, 2008.
- [8] M. Rabinowitz and J. J. Spilker, "A new positioning system using television synchronization signals," *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 51, no. 1, pp. 51–61, 2005.
- [9] D. Serant, O. Julien, P. Thevenon, L. Ries, and M. Dervin, "Testing OFDM-based positioning using the digital TV signals," in *2012 Proceedings of the 20th European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*, pp. 539–543, IEEE, 2012.
- [10] A. Popleteev, "Please stand by: TV-based indoor localization," in *2017 IEEE 28th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, pp. 1–6, IEEE, 2017.
- [11] C. F. Rodrigues, L. Lovisolo, and L. Muratori, "On the parameters of ITU-R P. 1546 propagation model for dual-polarization links," *IEEE Transactions on Broadcasting*, 2019.
- [12] ANATEL, "Agência nacional de telecomunicações - SRD." <http://sistemas.anatel.gov.br/se/public/view/b/srd.php>. Acesso em: Janeiro de 2017.
- [13] EBU, "BPN 066 - guide on SFN frequency planning and network implementation with regard to T-DAB and DVB-T," 2005.
- [14] ITU-R, "ITU-R 1546-4 method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30–300 MHz," *International Telecommunication Union, Geneva*, 2009.
- [15] USGS, "Earth explorer." Acesso em: Set de 2018.
- [16] M. F. Buchroithner and R. Pfahlbusch, "Geodetic grids in authoritative maps—new findings about the origin of the UTM grid," *Cartography and Geographic Information Science*, vol. 44, no. 3, pp. 186–200, 2017.