

RADAR Sensing em Redes 6G

Pedro Manoel Ribeiro Rosa¹, Kleber Vieira Cardoso¹,
Antonio Oliveira-Jr^{1,2}

¹Instituto de Informática – Universidade Federal de Goiás (UFG), GO, Brasil

²Fraunhofer Portugal AICOS, Porto, Portugal

pedromanoel@discente.ufg.br, {kleber, antonio}@inf.ufg.br

Abstract. *This article presents the simultaneous use of the classic data communication system in radiodetermination (RADAR Sensing) through the OFDM modulation of 5G and 6G, exploring the structure of this modulation through the characteristics of its subcarriers in order to use them in the detection of geological sliding of slopes/hills to protect human life in danger, using, for example, ISAC, C&S concepts, among others.*

Resumo. *Esse artigo apresenta o uso simultâneo do sistema de comunicação clássica de dados na radiodeterminação (RADAR Sensing) por meio da modulação OFDM da 5G e 6G, explorando a estrutura dessa modulação por meio das características de suas subportadoras a fim de utilizá-las na detecção de deslizamento geológico de encostas/morros para proteção da vida humana em perigo, empregando, por exemplo, os conceitos ISAC, C&S, dentre outros.*

1. Introdução

Conforme [Alsharif et al. 2020], os desafios presentes na tecnologia da 5G (Quinta Geração) apontaram, dentre outras, a necessidade de utilizar ondas milimétricas (mmWave) a fim de otimizar o uso espectral como também alcançar maiores taxas de transferência de dados. Nesse sentido, tanto a indústria como as universidades começaram a conceituar a próxima geração de Sistemas de Comunicação 6G (Sexta Geração) para fornecer serviços dispostos a suprir tais demandas e, concomitantemente, manter a sustentabilidade e competitividade da comunicação sem fio. Assim, espera-se que o 6G possa proporcionar grande cobertura aos usuários com alta velocidade de taxa de dados por meio da largura de banda na faixa dos THz (Tera Hertz).

Nesse escopo, [De Lima et al. 2021] traz em seu artigo várias tendências de aplicação, destacando-se: a) uso do espectro de Rádio Frequência (RF), b) tecnologia dos *chips* a serem utilizados/produzidos, c) modelos de canais, d) superfícies inteligentes para melhoria de localização e mapeamento de ambiente, e) uso de *Beamforming* e ML (*Machine Learning*) para melhoria da acurácia de localização, f) RADAR (*Radio Detection and Range*) Sensing para a captação de sinais vitais do indivíduo, entre outros. Ainda, [Alsabah et al. 2021] mostra estudos de superfícies inteligentes para minimizar os efeitos de desvanecimento da propagação das ondas milimétricas, como também estudos sobre Holografia MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*) que consiste em uma forma especial de trabalhar as superfícies inteligentes, incluindo também o OWC (*Optical Wireless Communication*) que se resume no uso de faixa espectral além dos THz, utilizando a faixa do IR (Infra-Red) e do ultra-violeta.

Diante o exposto, este artigo se delimita à tendência de utilizar, concomitantemente, o sistema de comunicação de dados clássico e o sistema de radiodeterminação, tanto na 5G quanto 6G. Nessa concepção, serão apresentados os conceitos das redes/métodos PMN (*Perceptive Mobile Network*), JCAS (*Joint Communication and Radar Sensing*), C&S (*Wireless Communications and RADAR/Radio Sensing*) e ISAC (*Integrated Sensing and Communications*) que permitem ao sistema de telefonia/comunicação celular possuir a capacidade de detecção (*radio-sensing*).

2. Tendências para RADAR Sensing

Preliminarmente, importa mencionar os diferentes nomes atribuídos ao estudo sobre o uso de sistemas de radiodeterminação em sistemas de comunicação que, embora somente nos últimos anos o ISAC tenha ganhado atenção de pesquisadores, ele tem sido investigado por várias comunidades de pesquisa sob diferentes nomes por décadas, por exemplo, RAD-Comm (*RADAR-Communications*), JCR (*Joint Communication and Radar*), JRC (*Joint Radar e Comunicação*) e DFRC (*Dual-funcional Radar-Comunicações*), conforme registra [Pin Tan et al. 2021].

[Zhang et al. 2021] explica que o conceito preliminar do JCAS, também chamado de *Dual-Function RADAR Communication*, remonta à década de 1970 que, embora não tenha se desenvolvido ao longo do tempo, pesquisadores no início de 2010 se interessaram pelo tema devido a necessidade de otimizar o uso do espectro a fim de agregar as novas tecnologias emergentes para o sensoriamento via rádio frequência. Vale mencionar que a detecção RADAR constitui do processamento dos sinais de RF recebidos, bem como os ecos de retorno de objetos presentes no ambiente, sendo que, nesse processamento, podem ser extraídas informações de localização e velocidade do alvo como também as características dos objetos.

[Pin Tan et al. 2021] revela que tanto o Sistema de Radiodetecção (RADAR) quanto Sistema de Comunicação estão evoluindo para um consumo de maior banda de frequência, vários arranjos de antenas como também sua miniaturização ao ponto de, cada vez mais, tornarem-se semelhantes em termos de arquiteturas de hardware, canal utilizado e do processamento de sinal. Portanto, em um cenário com limitação de bandas de frequência essa similaridade proporciona uma excelente oportunidade de implementar a detecção RADAR utilizando as infraestruturas de rede sem fio (WiFi) existentes, de modo que sejam capazes de oferecer, além da comunicação clássica, serviços de sensoriamento remoto a fim de identificar objetos, pessoas e mapear ambientes.

Ainda, [Pin Tan et al. 2021] mostra que entre o processamento de informações do C&S há uma notável distinção, pois, enquanto o *sensing* coleta e extrai informações de sinais com forte presença de ruído, a comunicação clássica se concentra na transferência de informações por meio de sinais especificamente adaptados com grande eficiência, mesmo sob um ambiente ruidoso. Logo, a função do ISAC é unificar essas duas operações e buscar trocas diretas entre si, a fim de garantir um desempenho mútuo e com eficiência. Nesse propósito, espera-se agregar o uso otimizado do espectro bem como a eficiência energética, reduzindo os custos de hardware e processamento, uma vez que tenta mesclar *sensing* e comunicação em um único sistema.

Isto posto, com relação à PMN, [Pin Tan et al. 2021] traz em seu estudo que a detecção pode ser realizada de maneira semelhante aos links de comunicação, podendo

ser implementado tanto nos sinais de *downlink*, sentido BS (*Base Station*) para UE (*User Equipment*), quanto nos sinais de *uplink*, sentido UE para BS. Ainda, por meio da posição do(s) transmissor(es) e receptor(es) é possível selecionar pelo menos um dos três tipos de operações de *sensing*, tanto em *downlink* quanto em *uplink*, a saber: a) mono-estática, b) biestática e c) distribuída/em rede.

[Pin Tan et al. 2021] trata os detalhes da tecnologia do RADAR SAR (*Synthetic Aperture RADAR*) como ferramenta de mapeamento/sensoriamento remoto do solo, que também emprega a modulação OFDM, obtendo imagens 4D (quatro dimensões) além da comunicação clássica. Vale mencionar que esses radares estão embarcados tanto em satélites como nas aeronaves/drones conseguindo fornecer alta resolução.

Por fim, o ISAC objetiva uma integração C&S mais profunda, onde as duas funcionalidades não são mais vistas de forma separada, mas sim co-projetados para benefícios mútuos, ou seja, via *sensing* assistida por comunicação e *sensing* assistida por comunicação.

3. Performance do RADAR Sensing

Porquanto os requerimentos da 5G e B5G (*Beyond* Quinta Geração) não alteraram o tipo de modulação, permanecendo a OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), a 6G também aponta para esse mesmo caminho, por isso, os estudos de *sensing* se basearam na modulação OFDM conforme mostra [Bahache et al. 2020], muito embora há reconhecidos trabalhos sobre os desempenhos de outras modulações candidatas a 5G e 6G.

Na concepção do ISAC, é primordial ter um sinal de referência para a filtragem do eco de resposta, a fim de extrair as informações sobre o objeto/alvo incidente, isso irá contribuir na mitigação de problemas inerentes em sistemas de radiodeterminação, como desvanecimento, sinal mínimo, multi-caminho etc. No geral, o processamento consiste em retirar o sinal refletido (eco), via divisão de cada elemento componente da subportadora, para tanto, o padrão do sinal transmitido deve ser conhecido pelo receptor.

[Soto et al. 2022] realiza um trabalho similar quando propõe extrair sinais vitais (respiração e ritmo cardíaco) por meio da incidência do sinal WiFi padrão 802.11n/ac, empregando a modulação OFDM. Nesse processo, cada subportadora é examinada a fim de identificar e separar comunicação de dados dos ecos refletidos do indivíduo/alvo, utilizando o recurso de CSI (*Channel State Information*).

[Bahache et al. 2020] apresenta a estrutura do *frame* padrão para a 5G NR (*New Radio*), conforme a Especificação Técnica 38.211, *Release 15*, do 3GPP¹, tendo a duração de 10ms com 10 *subframes*, cada um com duração de 1ms. Cada *subframe* contém dois *slots* de 0,5ms sendo que, em cada *slot*, pode agregar 12 ou 14 símbolos OFDM dependendo do tipo de CP (*Cycle Prefix*), normal ou estendido, configurado para operação.

A Figura 1 mostra a divisão do *frame* da modulação OFDM utilizado no padrão da 4G (Quarta Geração), bem como suas subdivisões em *subframe* e *slots*, mostrando onde os símbolos estão organizados. É importante destacar que, embora o Wi-Fi emprega a mesma modulação, o *frame* possui estrutura diferente.

¹The Mobile Broadband Standard Partnership Project

Portanto, na 5G/B5G/6G, para a carga útil referente aos dados de comunicação clássica existem 4 SSB (*Signal Synchronization Blocks*), cada um usando 4 símbolos OFDM que transportam o PSS (*Primary Synchronization Signal*), o SSS (*Secondary Synchronization Signal*), o PBCH (*Physical Broadcast Channel*) e o PBCH-DMRS (*Demodulation Reference Signal*). Vale mencionar que o SSB é transmitido periodicamente para estimativa de canal e sincronização, porém, em alguns situações de *burst* ('rajada') vários SSB podem ser enviados para suportar possíveis operações de varredura do sinal.

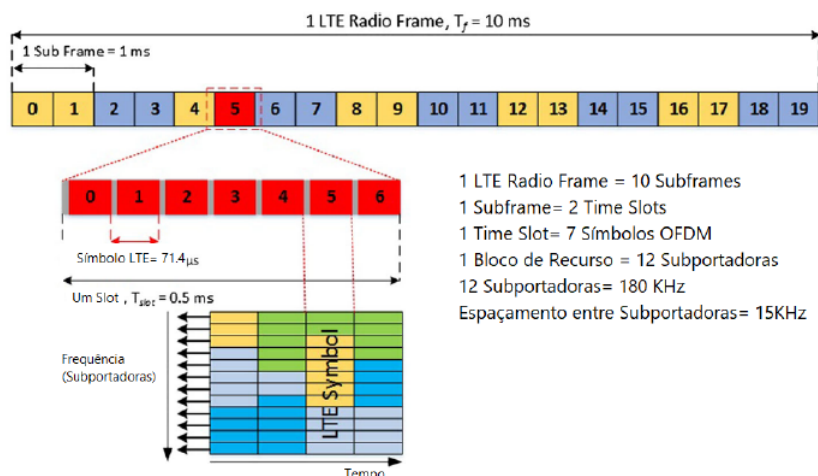


Figura 1. Estrutura do *Frame* da OFDM 4G/5G/B5G/6G, do autor.

Os sinais transportados no SSB são conhecidos tanto pela BS quanto pelo UE, possibilitando a utilização para RADAR *Sensing*. Embora os sinais de sincronização PSS e SSS têm estruturas fixas, os sinais PBCH e DMRS permitem ser otimizados para S&C, por meio de esquemas personalizados de pré-codificação e agendamento. Dessa forma, dois objetivos são alcançados: a) compartilhar/empregar recursos da comunicação clássica para RADAR *Sensing* utilizando parte da estrutura do *frame* (*subportadoras*) OFDM sem prejuízo da carga útil de comunicação (dados/voz) e b) otimizar o uso do espectro de frequências e diminuir interferências com sistemas de radiodeterminação e/ou sensoriamento remoto que operam independentemente.

4. Concepção e Aplicação

Considerando os *Releases* 16 e 17 do 3GPP no tocante à infraestrutura de antenas previstas para 5G/B5G/6G e aplicando os conceitos de ISAC e C&S descritos, é possível selecionar uma região para detecção *sensing* utilizando um conjunto de antenas de determinadas BS localizadas na região de interesse. Dessa forma, pode-se presumir seu emprego no sensoriamento remoto de regiões passíveis de desastres naturais, como deslizamentos de encostas/morros durante o período chuvoso, conforme ilustra a Figura 2 adaptada com BS instaladas nos telhados dos prédios adjacentes à área do deslizamento.

Nessa aplicação, o *software* MATLAB® disponibiliza a *toolbox* RADAR and *Wireless Coexistence*, ferramenta que viabiliza a simulação do processamento RADAR *Sensing* coexistindo/compartilhando com sinais WiFi. Desse modo, pode-se criar um cenário para *Sensing* bem como configurar/alterar a estrutura do *frame* da modulação OFDM a fim de alocar algumas subportadoras para o emprego ISAC, haja vista a significativa quantidade de subportadoras alocadas em uma transmissão clássica entre a BS e UE.



Figura 2. Deslizamento de terra, adaptado de [do Conhecimento 2019].

Como exemplo, se alocarmos 20MHz de largura de banda podemos dispor de 100 RB (*Resource Blocks*), gerando um total de 1.200 subportadoras (100 RB x 12 SC), logo, há possibilidade de destinar algumas dessas subportadoras para *sensing* sem degradar a capacidade da comunicação clássica (dado/voz).

Para ilustrar a quantidade de símbolos disponíveis para C&S, com 240 SC (*sub-carrier*), proporcionados por 2 *slots*, estariam disponíveis 96 subportadoras com PBCH e PBCH-DMRS para aproveitamento do C&S. Evidente que quanto mais blocos de recursos disponíveis, maior a possibilidade desses símbolos serem reservados para *sensing*.

5. Conclusão

Realizar detecção passiva de alvos móveis ou estáticos utilizando o ISAC torna-se um desafio devido a complexidade de empregar sistemas de comunicação e radiodeterminação em um único *hardware*. Nesse sentido, aproveitar a modulação OFDM empregada pela 5G/B5G/6G irá permitir extrair informações sobre *sensing* por meio de suas subportadoras. Contudo, vale lembrar que há alguns pontos que precisam ser superados, como a SNR, o multi-caminho, sinais de referência, tratar o efeito *Doppler* para que haja maior definição/acurácia possível.

O MATLAB® irá permitir a avaliação dessa aplicação e, por meio dele, teremos a capacidade de avaliar o desempenho bem próximo do funcionamento real, tanto para a detecção *Sensing* quanto da comunicação clássica (dados/voz), auxiliando na identificação e quantificação dos de alguns óbices como o desvanecimento espectral oriundo da ação climática versus o comprimento de onda empregado, a relação SNR do eco/retorno do(s) alvo(s), qualidade da comunicação, taxa de vazão, latência e velocidade etc.

Finalmente, embora os estudos iniciais estejam focados, preliminarmente, em identificar objetos e/ou indivíduos de forma geo-referenciada no espaço, como também na captação de sinais vitais do indivíduo, os estudos de RADAR *Sensing* quanto ao monitoramento geográfico/geológico também está sendo objeto de estudo de mesmo foco, ou seja, salvaguardar a vida humana.

Referências

- Alsabah, M., Naser, M. A., Mahmmmod, B. M., Abdulhussain, S. H., Eissa, M. R., Al-Baidhani, A., Noordin, N. K., Sait, S. M., Al-Utaibi, K. A., and Hashim, F. (2021). 6g wireless communications networks: A comprehensive survey. *IEEE Access*, 9:148191–148243.
- Alsharif, M. H., Kelechi, A. H., Albreem, M. A., Chaudhry, S. A., Zia, M. S., and Kim, S. (2020). Sixth generation (6g) wireless networks: Vision, research activities, challenges and potential solutions. *Symmetry*, 12(4).
- Bahache, M., Lemayian, J., Wang, W., and Hamamreh, J. M. (2020). An inclusive survey of contactless wireless sensing: A technology used for remotely monitoring vital signs has the potential to combating covid-19. *RS Open Journal on Innovative Communication Technologies*.
- De Lima, C., Belot, D., Berkvens, R., Bourdoux, A., Dardari, D., Guillaud, M., Isomursu, M., Lohan, E.-S., Miao, Y., Barreto, A. N., Aziz, M. R. K., Saloranta, J., Sanguanpuak, T., Sargeddeen, H., Seco-Granados, G., Suutala, J., Svensson, T., Valkama, M., Van Liempd, B., and Wymeersch, H. (2021). Convergent communication, sensing and localization in 6g systems: An overview of technologies, opportunities and challenges. *IEEE Access*, 9:26902–26925.
- do Conhecimento, N. (2019). Deslizamentos de terra e rocha: Impactos ambientais e sociais, como prevenir. [urlhttps://www.nucleodoconhecimento.com.br/meio-ambiente/deslizamentos-de-terra](https://www.nucleodoconhecimento.com.br/meio-ambiente/deslizamentos-de-terra). acessado em 23/03/2023.
- Pin Tan, D. K., He, J., Li, Y., Bayesteh, A., Chen, Y., Zhu, P., and Tong, W. (2021). Integrated sensing and communication in 6g: Motivations, use cases, requirements, challenges and future directions. In *2021 1st IEEE International Online Symposium on Joint Communications & Sensing (JC&S)*, pages 1–6.
- Soto, J. C., Galdino, I., Caballero, E., Ferreira, V., Muchaluat-Saade, D., and Albuquerque, C. (2022). A survey on vital signs monitoring based on wi-fi csi data. *Computer Communications*, 195:99–110.
- Zhang, A., Rahman, M. L., Huang, X., Guo, Y. J., Chen, S., and Heath, R. W. (2021). Perceptive mobile networks: Cellular networks with radio vision via joint communication and radar sensing. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 16(2):20–30.