

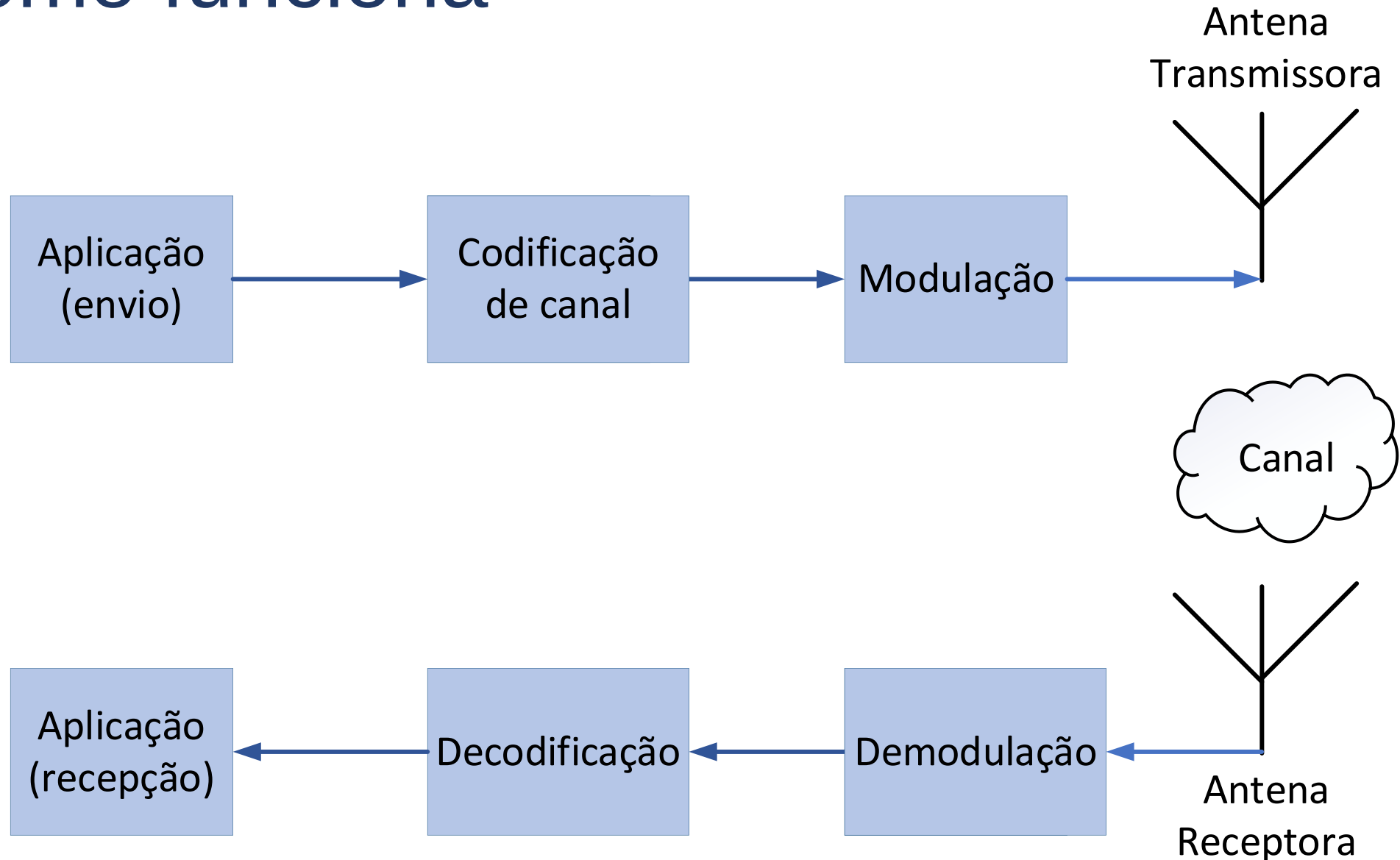


Comunicações das Redes 6G

Daniely Gomes
Michelle Facina



Como funciona



Sumário

- Tecnologias MIMO
- Múltiplo Acesso
- Formas de Onda
- Codificação de Canal
- Comentários Finais

Tecnologias MIMO

Utilizadas em comunicações sem fio que empregam várias antenas de transmissão e recepção a fim de aumentar a vazão de dados.

- Vantagens

 - Maior vazão de dados

 - Diversidade

- Aplicações

 - LTE (4G)

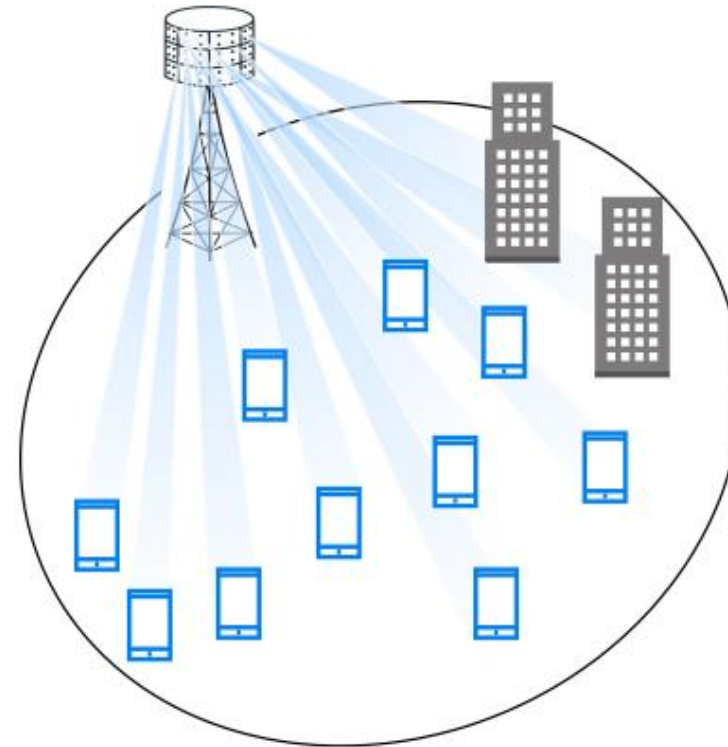
 - WiFi

MIMO Massivo (mMIMO)

Concentrar energia para os usuários desejados, reduzir a potência de transmissão, minimizar a interferência entre usuários e aumentar a eficiência espectral [2].



Sistema Tradicional



Sistema MIMO Massivo

MIMO Massivo (mMIMO)

- Desafios para a rede 6G

Propagação e modelagem estatística de canal [4].

Aquisição de informações sobre o estado do canal usando o protocolo TDD [5].

Detecção iterativa [7]

- MIMO em THz (de 0.1 a 10 THz)

Altamente seletivo em frequência

Sistema híbrido óptico-radiofrequência onde um enlace THz/óptico é considerado alternativa adequada para futuras comunicações sem fio [8]

Cell-Free MIMO Massivo

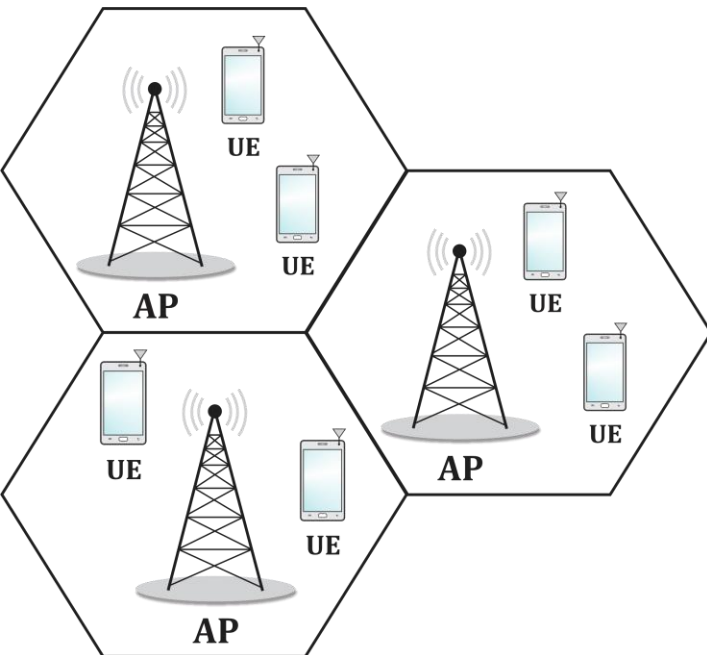
A rede não é dividida em células.

Não há limites na células durante a transmissão de *uplink* e *downlink*.

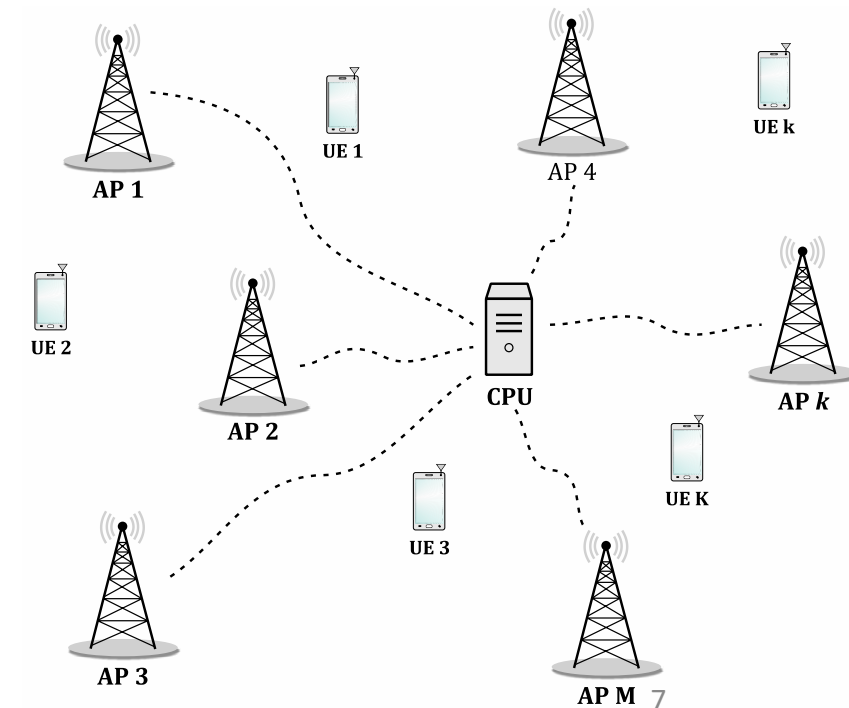
Todos os pontos de acesso (AP) participarão da comunicação.

Coordenação dos APs realizada por uma CPU.

Usuário capaz de conectar a todos os tipos de arquiteturas.



VS.



Cell-Free MIMO Massivo

- Vantagens e Desvantagens

Todas as características dos sistemas mMIMO

Ganho de macrodiversidade e, portanto, enlace de comunicação mais confiável

Redução na perda de percurso e sombreamento

Qualidade de serviço uniforme entre usuários

Sincronização e coordenação precisas entre os APs

Modelado como uma célula mMIMO única e infinitamente ampla

Maior esforço computacional e sobrecarga de sinalização

Escalabilidade

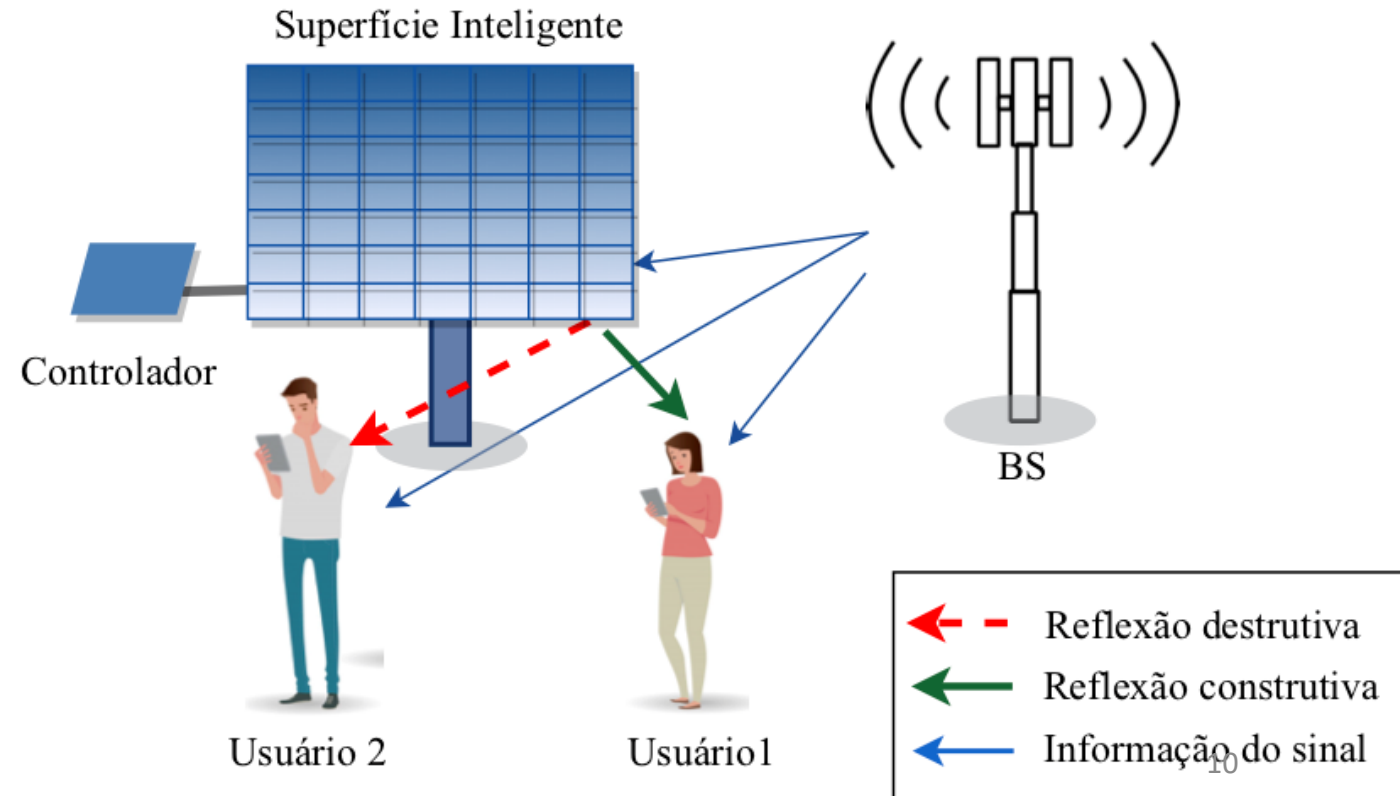
Cell-free MIMO Massivo

- Aumento de até 5 vezes na eficiência espectral por usuário quando comparado a uma rede celular com o mesmo conjunto de APs [9].
- Aumento de 95% no desempenho empregando múltiplas antenas tanto no AP quanto no usuário [10].
- Aumento em 95% na eficiência espectral em relação a sistemas MIMO Massivo [11].

Superfícies Inteligentes

Matriz plana que compreende elementos reflexivos quase passivos e de baixo custo capaz de ajustar à resposta eletromagnética do sinal incidente.

- Adaptação dinâmica do sinal.
- Não exige decodificação ou
- operações em RF.
- Controle por software.
- Aumento da cobertura.



Superfícies Inteligentes



Superfícies Inteligentes

- Implementação das características de superfícies inteligentes em simuladores para aumentar diretividade e reduzir perda por penetração em altas frequências [14].
- Substituição dos retransmissores por LIS em redes móveis com múltiplos saltos [15, 16].
- Aumento em 300% na eficiência energética quando comparado a sistemas assistidos por retransmissores *amplify-and-forward* [12,13].

Múltiplo Acesso

Técnicas para gerenciar as diversas conexões simultâneas para um mesmo canal de comunicação, garantindo baixa latência e alta vazão de dados.

- Tipos:

Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA)

Rate-Splitting Multiple Access (RSMA)

NOMA

Esquema em que os recursos de tempo e frequência são compartilhados de forma não ortogonal. A técnica foi padronizada para a rede 4G/LTE-A sob a denominação **MUST**.

- Diferenciação por:

Power Domain NOMA (PD-NOMA)

Code Domain NOMA (CD-NOMA)

- Vantagens e Desvantagens

Maior eficiência espectral

Menos complexo

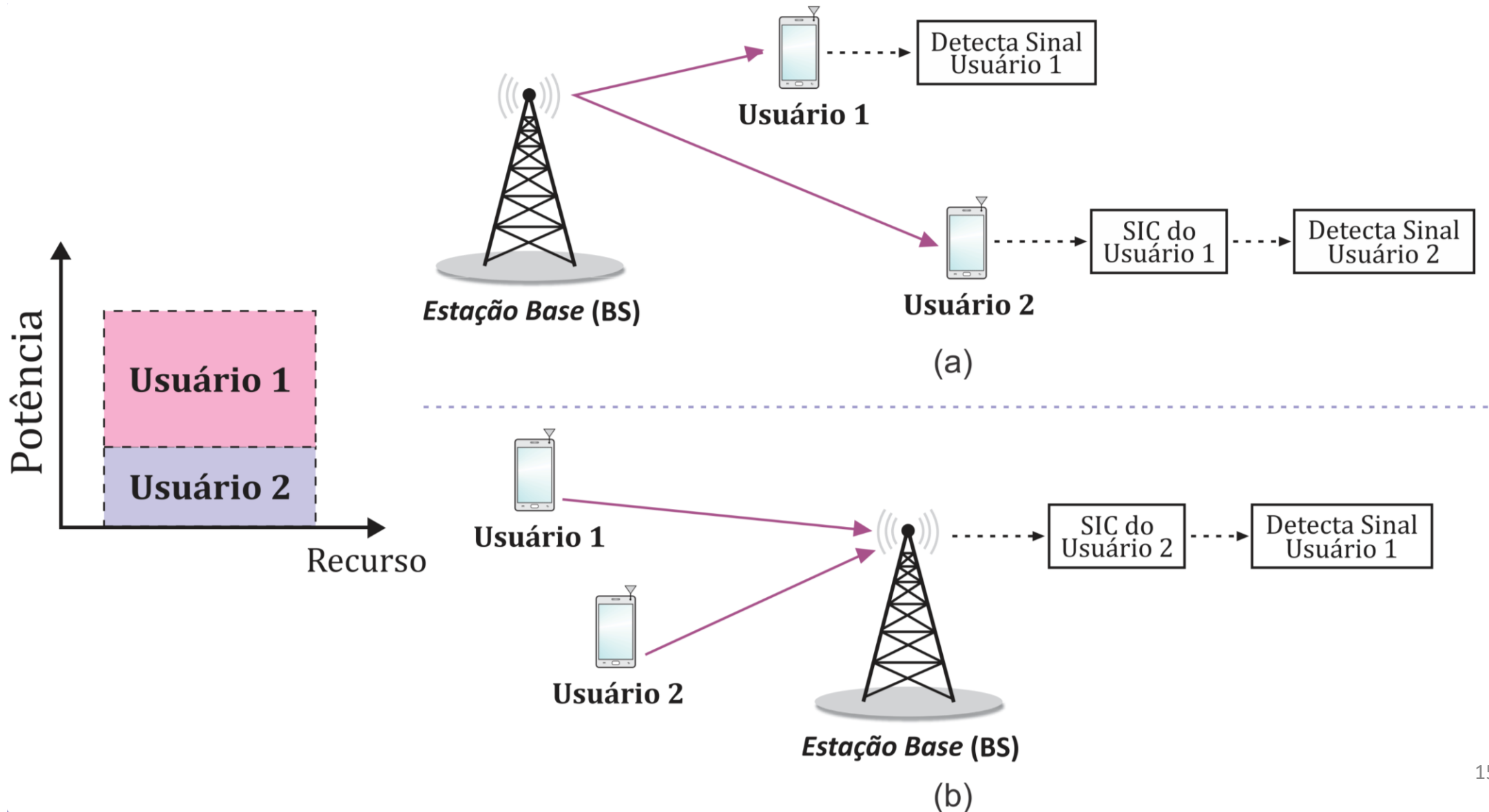
Compatível com os sistemas de comunicação atuais e futuros

Sobrecarga de sinalização e processamento

Propagação de erros e interferência residual na recepção

Estimação de canal

PD-NOMA



Sparse Code Multiple Access (SCMA)

Esquema de **acesso massivo do CD-NOMA** que se baseia na **codificação dos dados** do usuário usando palavras código complexas, multidimensionais, esparsas e de baixa correlação.

- **Codebook SCMA**

Baseado na combinação de formatos geométricos e probabilísticos, proporcionando ganho de *block error rate* na ordem de 2,1 dB [20].

- **Decodificação SCMA**

Recepção emprega redes neurais para a detecção e decodificação de *codewords*, proporcionando 98% de precisão na predição de sinais SCMA com uma SNR de -11 dB [21].

- **NOMA Híbrido (HNOMA)**

Esquema que explora o domínio da potência e do código, baseia-se em **SCMA** e é alternativa para *uplink* de cenários de múltiplo acesso massivo [22].

Multi-User Shared Access (MUSA)

Esquema de múltiplo acesso que se baseia no **espalhamento dos dados** do usuário, usando sequências complexas não ortogonais de tamanho reduzido.

- Dispositivos IoT.
- Comunicações *Device-to-Device* (D2D).
 - Melhoria de 12% em relação à eficiência energética e 98% de precisão de descoberta em relação a métodos convencionais [23].
- Integração com MIMO.

RSMA

Técnica de múltiplo acesso baseada em ***Rate-Splitting*** [24].

- **Separa** as mensagens em **parte comum** e **privada**.
- Codifica a **parte comum** em um **único fluxo de dados** e a **parte privada** em **fluxos separados**.
- Receptor decodifica parcialmente a interferência, tratando parcialmente como ruído.

Junção de estratégias opostas (**SDMA** e **NOMA**) de **tratamento de interferência**.

Esquema universal de acesso ao meio.

RSMA

- Vantagens [25]

- Flexível (união duas estratégias distintas)

- Robusto às imprecisões do canal

- Maior eficiência energética e espectral

- Menor complexidade no transmissor e receptor

- Pesquisas em redes 6G

- Aplicações em UAVs [26], IoT [27], IRS [28] e VLC [29]

Formas de Onda

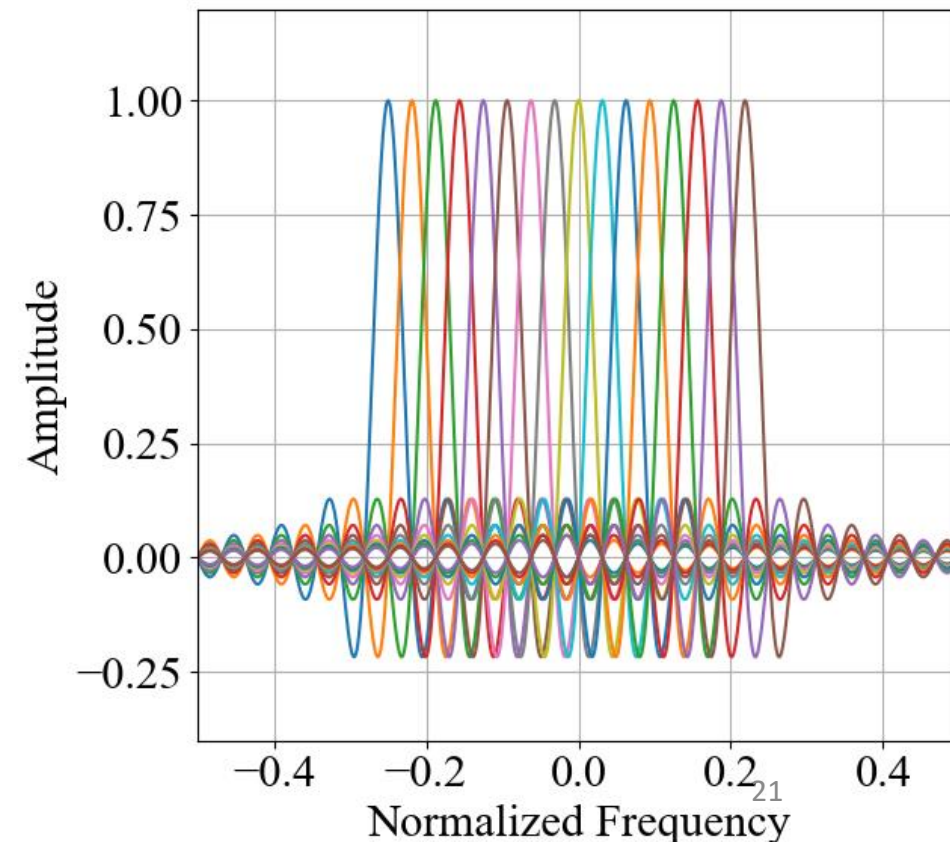
- É um dos elementos essenciais para a transmissão simultânea de dados em redes móveis. Cada modelo oferece vantagens e desvantagens com relação à eficiência na transmissão, cobertura, latência, confiabilidade e disponibilidade de serviços [30].
- Cenário 6G [31]:
 - Alta eficiência espectral e energética.
 - Alocação flexível de recursos nos domínios do tempo e frequência.
 - Baixa latência.
 - Alta mobilidade.
 - Complexidade de implementação acessível no transceptor.

OFDM

Utilizada em diversas aplicações, como WiFi, 4G e 5G. Consiste em dividir um fluxo de dados em diversos subcanais paralelos operando em frequências ortogonais.

Vantagens e Desvantagens:

- Baixa complexidade
- Elevada largura de banda
- Retrocompatibilidade com demais sistemas
- Sensível a erros de sincronização
- Alta emissão fora da faixa espectral de interesse
- Alta PAPR (*Peak-to-Average Power Ratio*)

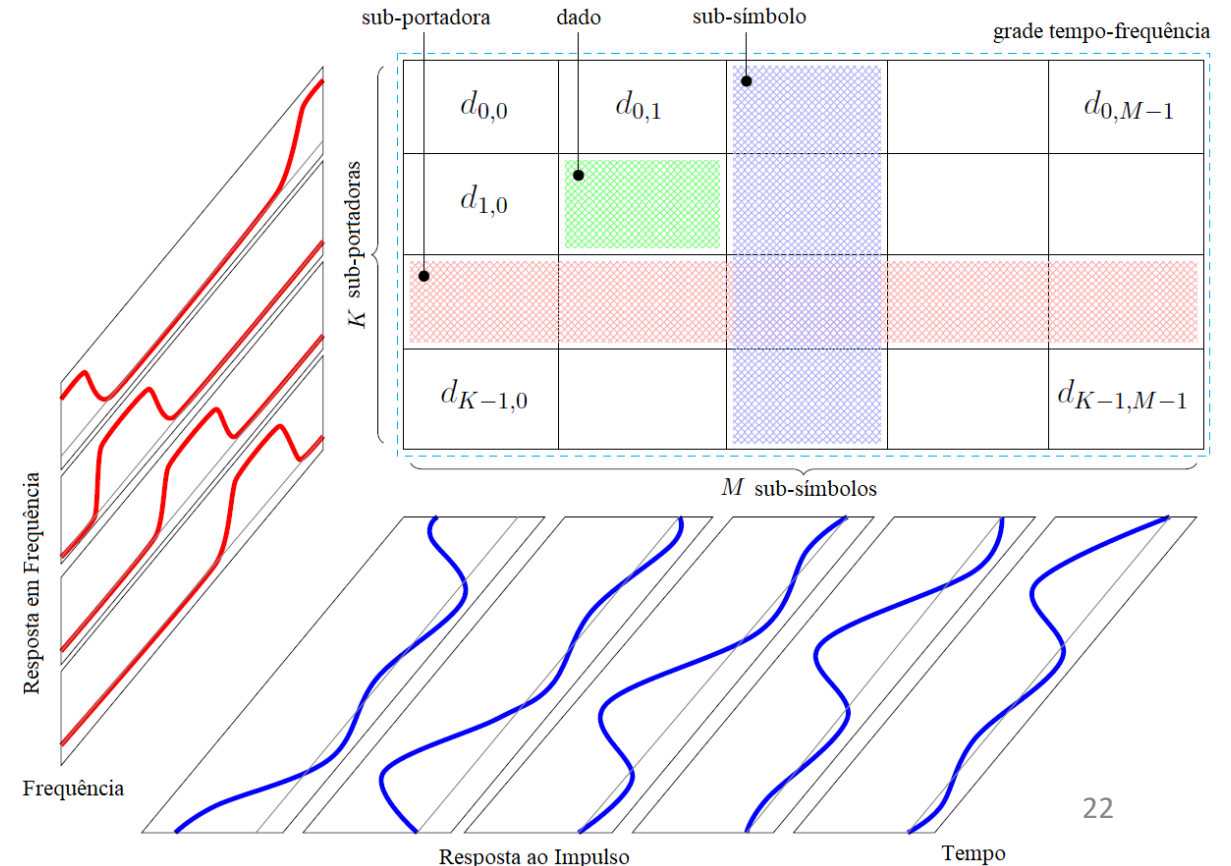


GFDM

Mais generalizada e consiste em dividir o fluxo de dados em K subportadoras, cada uma transmitindo M subsímbolos [32].

Vantagens e Desvantagens:

- Flexibilidade
- Maior eficiência espectral
- Reduzida emissão fora de banda
- Maior complexidade



Outras Formas de Onda

- *Filtered-OFDM (F-OFDM)*

Baseado em OFDM, adota um processo adicional de filtragem que permite reduzir a emissão fora de banda [33].

Filtro com janelamento ou truncamento suave como o *sinc* janelado.

- *Cyclic Prefix Direct Sequence Spread Spectrum (CP-DSSS)*

Versátil e pode ser usada como alternativa para aliviar o congestionamento espectral [34].

Pode ser utilizada pelas redes *femtocell* para suportar as aplicações futuras de MTC e URLLC.

Proporciona baixa interferência intersimbólica.

- *Baseada em Chirp*

Adequada a aplicações de sensoriamento e detecção, onde as condições monitoradas mudam muito rápido [35].

Pode fazer uso de espalhamento espectral (maior robustez à presença de *jamming*).

Outras Formas de Onda

- *Orbital Angular Momentum (OAM)*

Permite criar vários estados ortogonais entre si no nível eletromagnético, aumentando não só a capacidade de usuários, mas também a eficiência espectral da transmissão [36].

Alta confiabilidade na ocorrência de *jamming*.

Suporte a um número maior de usuários.

- *Modulação com portadora única*

Vantajosa em faixas de frequência elevada, uma vez que a linearidade e a eficiência dos amplificadores de potência diminuem.

À medida que aumenta a frequência, o ruído de fase dos osciladores também se torna mais expressivo [37].

Codificação de Canal

Etapa comum em qualquer sistema de comunicação que consiste em identificar e corrigir os erros gerados no processo de transmissão e recepção.

Vantagens e Desvantagens:

- Aumento da eficiência e capacidade do enlace de comunicação.
- Aumento da cobertura da rede.
- Aumento da complexidade do sistema.
- Redução da taxa de dados.

Codificação de Canal

- Código LDPC

Decodificação pode proporcionar melhorias significativas às técnicas de múltiplo acesso [38].

- Código Turbo

Nova arquitetura de decodificação (UXMAP) capaz de atingir taxas na ordem de **409 Gbps** [39].

Nova arquitetura de decodificação de **baixa complexidade** que reduz em até **46%** a **área de consumo** do *chip*, a partir da implementação de algoritmos *Local Soft-Output Viterbi Algorithm* (SOVA) [40].

Codificação de Canal

- Código Polar

Nova arquitetura de decodificação de **baixa latência** implementada em **45 nm** para garantir **vazão** de até **427 Gbps** [41].

Framework otimizado para **decodificador Polar** alcançando **taxas** de até **517 Gbps** [42].

Novo algoritmo capaz de **reduzir** em até **27%** a **latência** em relação a algoritmos já conhecidos (como o *fast-simplified successive cancellation*) [43].

Comentários Finais

- Tecnologias MIMO

- Aumentar a eficiência espectral e energética

- Aumentar a taxa de dados e área de cobertura

- Frequências elevadas

- Formas de Onda

- Alta eficiência espectral e energética

- Alocação flexível de recursos nos domínios do tempo e frequência

- Baixa latência

- Alta mobilidade

- Complexidade alcançável

Comentários Finais

- Múltiplo Acesso

 - Eficiência espectral e energética

 - Redução da complexidade dos dispositivos

 - Conexões massivas

- Codificação de Canal

 - Alta confiabilidade e vazão

 - Baixa latência

Bibliografia

- [1] L. Mendes et al, “Estado da Arte da Camada Física para Redes de Acesso 6G,” Projeto Brasil 6G, Relatório, 2021.
- [2] F. A. P. De Figueiredo, F. A. C. M. Cardoso, I. Moerman, e G. Fraidenraich, “On the application of massive MIMO systems to machine type communications,” IEEE Access ,v. 7, p. 2589–2611, 2019.
- [3] Z. Mokhtari, M. Sabbaghian, e R. Dinis, “A survey on massive MIMO systems in presence of channel and hardware impairments,” Sensors , v. 19, n. 1, p. 164, 2019.
- [4] M. Z. Aslam, Y. Corre, E. Björnson, e E. G. Larsson, “Performance of a dense urban massive MIMO network from a simulated ray-based channel,” EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking , v. 2019, n. 1, p. 1–13, 2019.
- [5] M. Azizipour e K. Mohamed-Pour, “Compressed downlink channel acquisition based on burst support information in large-scale MIMO systems,” Electronics Letters , v. 55, n. 8,p. 489–491, 2019.
- [6] T. L. Marzetta, “Noncooperative cellular wireless with unlimited numbers of base station antennas,” IEEE Transactions on Wireless Communications , v. 9, n. 11, p. 3590–3600, 2010.
- [7] I. A. Khoso, X. Dai, M. N. Irshad, A. Khan, e X. Wang, “A low-complexity data detection algorithm for massive MIMO systems,” IEEE Access , v. 7, p. 39 341–39 351, 2019.
- [8] M. A. Khalighi e M. Uysal, “Survey on free space optical communication: A communication theory perspective,” IEEE communications surveys & tutorials , v. 16, n. 4, p.2231–2258, 2014.
- [9] H. Q. Ngo, A. Ashikhmin, H. Yang, E. G. Larsson, e T. L. Marzetta, “Cell-free massive MIMO versus small cells,” IEEE Transactions on Wireless Communications, v. 16, n. 3, p. 1834–1850, 2017.
- [10] T. C. Mai, H. Quoc Ngo, e T. Q. Duong, “Cell-free massive MIMO systems with multi- antenna users,” in IEEE Global Conference on Signal and Information Processing, 2018, p. 828–832.

Bibliografia

- [11] E. Björnson e L. Sanguinetti, “Making cell-free massive MIMO competitive with MMSE processing and centralized implementation,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, v. 19, n. 1, p. 77–90, 2020.
- [12] C. Huang, G. C. Alexandropoulos, A. Zappone, M. Debbah, e C. Yuen, “Energy efficient multi-user miso communication using low resolution large intelligent surfaces,” in *2018 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*, 2018, p. 1–6.
- [13] C. Huang, A. Zappone, G. C. Alexandropoulos, M. Debbah, e C. Yuen, “Reconfigurable intelligent surfaces for energy efficiency in wireless communication,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, v. 18, n. 8, p. 4157–4170, 2019.
- [14] S. Pollin e et al., “MINTS–millimeter-wave networking and sensing for beyond 5G,” 2021. [Online]. Disponível em: <https://b5g-mints.eu/>, 2021.
- [15] S. Kisseleff, W. A. Martins, H. Al-Hraishawi, S. Chatzinotas, e B. Ottersten, “Reconfigurable intelligent surfaces for smart cities: Research challenges and opportunities,” *IEEE Open Journal of the Communications Society*, v. 1, p. 1781–1797, 2020.
- [16] B. Ottersten e et al., “RISOTTI-reconfigurable intelligent surfaces for smart cities,” 2021. [Online]. Disponível em: https://www.fr.uni.lu/snt/research/sigcom/projects/risotti_reconfigurable_intelligent_surfaces_for_smart_cities, 2021.
- [17] H. Han, J. Zhao, D. Niyato, M. D. Renzo, e Q.-V. Pham, “Intelligent reflecting surface aided network: Power control for physical-layer broadcasting,” in *IEEE International Conference on Communications*, 2020, p. 1–7.
- [18] J. C. B. Garcia, A. Sibille, e M. Kamoun, “Reconfigurable intelligent surfaces: Bridging the gap between scattering and reflection,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, v. 38, n. 11, p. 2538–2547, 2020.
- [19] E. Björnson e L. Sanguinetti, “Power scaling laws and near-field behaviors of massive MIMO and intelligent reflecting surfaces,” *IEEE Open Journal of the Communications Society*, v. 1, p. 1306–1324, 2020.

Bibliografia

- [20] Jiang e Y. Wang, “An uplink SCMA codebook design combining probabilistic shaping and geometric shaping,” *IEEE Access*, v. 8, p. 76 726–76 736, 2020.
- [21] S. Vidal-Beltrán, J. L. L. Bonilla, F. M. Piñón, e J. Yalja-Montiel, “Full access gradient descent optimization algorithms for decoding SCMA signals,” *International Journal of Computational Intelligence and Applications*, v. 20, n. 01, 2021.
- [22] K. Deka e S. Sharma, “Hybrid NOMA for future radio access: Design, potentials and limitations,” 2020, Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2012.08106>
- [23] O. Hayat, R. Ngah, e S. Z. M. Hashim, “Multi-user shared access (MUSA) procedure for device discovery in D2D communication,” *Telecommunication Systems*, v. 76, p. 291–297, 2021.
- [24] Y. Mao, B. Clerckx, e V. O. K. Li, “Rate-splitting multiple access for downlink communication systems: bridging, generalizing, and outperforming SDMA and NOMA,” *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, v. 2018, n. 1, p. 133, 2018.
- [25] B. Clerckx, A. Sezgin, W. Shin, P. Zhu, and Y. Mao, “ComSoc WTC SIG RSMA - Q&A,” *ComSoc WTC SIG RSMA - Q&A*, 2020. [Online]. Disponível em: <https://sites.google.com/view/ieee-comsoc-wtc-sig-rsma/qa?authuser=0>. [Acessado em: 12-Ago-2021].
- [26] A. Rahmati, Y. Yapici, N. Rupasinghe, I. Guvenc, H. Dai, e A. Bhuyan, “Energy efficiency of RSMA and NOMA in cellular-connected mmwave UAV networks,” in *IEEE International Conference on Communications Workshops*, 2019, p. 1–6.
- [27] Y. Mao, E. Piovano, e B. Clerckx, “Rate-splitting multiple access for overloaded cellular Internet of Things,” *IEEE Transactions on Communications*, p. 1–1, 2021.
- [28] A. Bansal, K. Singh, e C.-P. Li, “Analysis of hierarchical rate splitting for intelligent reflecting surfaces-aided downlink multiuser MISO communications,” *IEEE Open Journal of the Communications Society*, v. 2, p. 785–798, 2021.

Referências

- [29] S. Naser, P. C. Sofotasios, L. Bariah, W. Jaafar, S. Muhaidat, M. Al-Qutayri, e O. A. Dobre, "Rate-splitting multiple access: Unifying NOMA and SDMA in MISO VLC channels," IEEE Open Journal of Vehicular Technology, v. 1, p. 393–413, 2020.
- [30] J. Pérez Santacruz, S. Rommel, U. Johannsen, A. Jurado-Navas, e I. Tafur Monroy, "Candidate waveforms for arof in beyond 5g," Applied Sciences, v. 10, n. 11, p. 3891, 2020.
- [31] A. F. Demir, M. Elkourdi, M. Ibrahim, e H. Arslan, "Waveform design for 5g and beyond," arXiv preprint arXiv:1902.05999, 2019.
- [32] N. Michailow, M. Matthé, I. S. Gaspar, A. N. Caldevilla, L. L. Mendes, A. Festag, e G. Fettweis, "Generalized frequency division multiplexing for 5th generation cellular networks," IEEE Transactions on Communications, v. 62, n. 9, p. 3045–3061, Set. 2014.
- [33] J. Abdoli, M. Jia, e J. Ma, "Filtered OFDM: A new waveform for future wireless systems," in IEEE International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications, Jun. 2015, p. 66–70.
- [34] S. N. Jenkins, B. A. Kenney, A. J. Majid, H. Moradi, e B. Farhang-Boroujeny, "CP-DSSS: A novel waveform for multiple access in IoT," in 6G Wireless Summit (6G SUMMIT), 2020, p. 1–5.
- [35] S. Dwivedi, M. Zoli, A. N. Barreto, P. Sen, e G. Fettweis, "Secure joint communications and sensing using chirp modulation," in 6G Wireless Summit (6G SUMMIT), 2020, p. 1–5.
- [36] Y. Yuan, Y. Zhao, B. Zong, e S. Parolari, "Potential key technologies for 6G mobile communications," Science China Information Sciences, v. 63, 2020.
- [37] A. Ghosh, A. Mäder, M. Baker, e D. Chandramouli, "5G evolution: A view on 5G cellular technology beyond 3GPP release 15," IEEE Access, v. PP, p. 1–1, Set. 2019.
- [38] Y. Zhang, K. Peng, Z. Chen, e J. Song, "Construction of rate-compatible raptor-likequasi-cyclic LDPC code with edge classification for IDMA based random access," IEEE Access, v. 7, p. 30 818–30 830, 2019.
- [39] S. Weithoffer, R. Klaimi, C. Nour, N. Wehn, e C. Douillard, "Fully pipelined iteration unrolled decoders - The road to Tb/s Turbo decoding," International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Ago. 2020.
- [40] S. Weithoffer, R. Klaimi, C. A. Nour, N. Wehn, e C. Douillard, "Low-complexity computational units for the local-sova decoding algorithm," in IEEE Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2020, p. 1–6.
- [41] A. Süral, E. G. Sezer, Y. Ertuğrul, O. Arikan, e E. Arikan, "Terabits-per-second throughput for polar codes," in IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2019, p. 1–7.
- [42] C. Kestel, U. Johannsen, O. Griebel, J. Jimenez, T. Vogt, T. Lehnigk-Emden, e N. Wehn, "A 506 Gbit/s polar successive cancellation list decoder with CRC," Set. 2020, Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4032422>
- [43] H. Gamage, V. Ranasinghe, N. Rajatheva, e M. Latva-aho, "Low latency decoder for short block length polar codes," in European Conference on Networks and Communications, 2020, p. 305–310.



Obrigada! 🥰