

NOMA: Um Estudo Bibliométrico

Jessika Cristina da Silva, Yuri Pedro Dos Santos
Vicente A. de Sousa Jr.¹, Luiz F. Silveira^{2*}

¹Departamento de Engenharia de Comunicações/ UFRN

²Departamento de Engenharia de Computação e Automação/ UFRN
– Natal – RN – Brazil

{yuripedro, lfelipe}@dca.ufrn.br, {jessie,vicente.sousa}@ufrn.edu.br

Abstract. *We present a bibliometric study to survey trends related to NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access). This survey is important to researchers that are thinking to invest efforts in the NOMA technology and need to map their stage of development. We use the Web of Science and Scopus, with the purpose of identifying the related techniques and inferring the technological maturity of the NOMA. We show an exponential evolution in recent years, primarily related to 5G systems.*

Resumo. *Neste trabalho é realizado um estudo bibliométrico para levantamento de tendências tecnológicas do NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access). Esse levantamento é importante para pesquisadores que estejam cogitando investir esforços na tecnologia NOMA e precisem mapear seu estágio de desenvolvimento. As bases de publicações científicas Web of Science e Scopus foram utilizadas com a finalidade de identificar as áreas de aplicação e técnicas relacionadas ao NOMA bem como inferir a maturidade tecnológica de cada uma delas. Os dados coletados mostram uma evolução exponencial no número de publicações envolvendo NOMA, com um grande destaque para aquelas vinculadas aos sistemas 5G.*

1. Introdução

Geralmente, a mudança de geração dos sistemas de comunicações móveis está vinculada a adoção de uma nova estratégia de múltiplo acesso. Com a quinta geração (5G) não seria diferente, e o NOMA (*Non-Orthogonal Multiple Access*) desponta como uma alternativa bem concreta neste sentido [Dai et al. 2018]. A União Internacional de Telecomunicações (ITU) lançou uma série de documentos [ITU-R 2015] com sua definição dos requisitos para os sistemas 5G, o qual está sendo chamado de IMT (*International Mobile Telecommunications for 2020 and beyond*). Entre outros requisitos, os sistemas devem ser capazes de:

- **Prestar serviços de Internet das Coisas (IoT):** Três grandes desafios são a duração da bateria dos dispositivos (15 anos), cobertura extensa (15 km) e a sinalização envolvida para permitir um enorme número de dispositivos conectados (bilhões de conexões). Isso é um grande desafio perante a necessidade de manutenção da segurança e da operação automática da rede [Dahlman et al. 2016];
- **Prestar serviços de acesso a internet em alta velocidade:** Vídeo 3D, Realidade aumentada, IPTV, VoD, entre outros, são exemplos de serviços que devem ser disponibilizados no 5G. Os patamares de desempenho exigidos para a taxa de transmissão de pico são de 20 Gbps, com uma taxa de transmissão por usuário de 100 Mbps [ITU-R 2015];

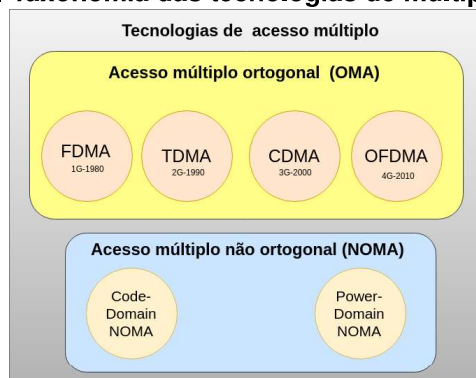
*O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

- **Prestar serviços sensíveis ao atraso e a taxa de erro:** A ideia é promover baixa latência e alta confiabilidade, possibilitando serviços tais como carros autônomos, veículos aéreos não tripulados, cirurgia remota e indústria 4.0. Um requisito bastante forte é a necessidade de latência de 0 ms para procedimentos de *handover*.

Uma opção tecnológica para atender os requisitos de taxa de transmissão é a transmissão através de ondas milimétricas (mmWave), i.e., em portadoras com frequência entre 30 GHz e 300 GHz [Ghosh et al. 2014, Rappaport et al. 2013]. Já para garantir um grande número de conexões, a sinalização envolvida desde o *attach* até o uso intensivo da interface de rádio deverá ser reduzida, objetivando não sobrecarregar a rede somente com sinalização. Isso é um grande desafio perante a necessidade de manutenção da segurança e da operação automática da rede [Boccardi et al. 2014]. Para proporcionar serviços sensíveis ao atraso e a taxa de erro, serão necessárias mudanças significativas na arquitetura da rede, pois além da necessidade de redução drástica na sinalização, o número de nós de rede envolvidos em uma conexão deve diminuir. Isso envolverá grandes mudanças nas técnicas existentes atualmente [Boccardi et al. 2014]. Com o NOMA, é possível garantir uma melhora significativa na eficiência espectral de sistemas de comunicações móveis [Ding et al. 2015a], atuando positivamente para a prestação de serviços de acesso a internet em alta velocidade bem como em serviços sensíveis ao atraso e a taxa de erro.

Como ilustrado na Figura 1, várias técnicas de múltiplo acesso foram desenvolvidas desde a primeira geração (1G) de sistemas de comunicação sem fio.

Figura 1. Taxonomia das tecnologias de múltiplo acesso.



Até o 4G, o paradigma foi desenvolver esquemas de múltiplo acesso ortogonais, pelos quais cada usuário acessava o sistema com um recurso de rádio exclusivo. No 1G, o recurso é a frequência, e a técnica é chamada de *Frequency Division Multiple Access* (FDMA). O *Time Division Multiple Access* (TDMA), o *Code Division Multiple Access* (CDMA) e o *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) são as técnicas do 2G, 3G e 4G, respectivamente. Todas essas técnicas são baseadas na alocação ortogonal de algum recurso de comunicação, seja no domínio do tempo, frequência ou código. Entretanto, esquemas baseados em múltiplo acesso ortogonal são limitados, pois o recurso é limitado e só podem atender uma quantidade de usuários que não exceda a quantidade de recursos ortogonais.

O NOMA foi desenvolvido como uma alternativa ao paradigma de ortogonalização, permitindo servir um número de usuários maior que o número de recursos ortogonais, seja no domínio do tempo, frequência ou código [Dai et al. 2018]. Entretanto, para conseguir servir um número maior de usuários é necessário ter um receptor que possa separar os sinais de cada usuário, resultando em maior complexidade [Dai et al. 2018]. Muitas soluções para o NOMA foram concebidas [Saito et al. 2013, Choi 2014, Ding et al. 2014, Ding et al. 2015b],

e podem ser classificadas em duas categorias [Dai et al. 2018]: (i) *Power-domain NOMA*; e (ii) *Code-domain NOMA*. Apesar de sua aplicação em redes de comunicação ser relativamente nova, alguns conceitos chave do NOMA já foram estudados há anos, como por exemplo, codificação de superposição, o cancelamento de interferência sucessiva e o algoritmo de passagem de mensagem [Ding et al. 2017].

O fato do NOMA garantir melhor eficiência espectral e maior capacidade em número de usuários, o torna uma técnica promissora para o 5G. Esse fato é uma das justificativas deste trabalho. O estudo bibliográfico aqui apresentado pode ajudar pesquisadores a entender o cenário atual, a evolução e as tendências em relação aos investimentos em pesquisa científica relacionadas ao NOMA. Adicionalmente, não foi encontrado na literatura trabalhos com escopo similar ao aqui apresentado.

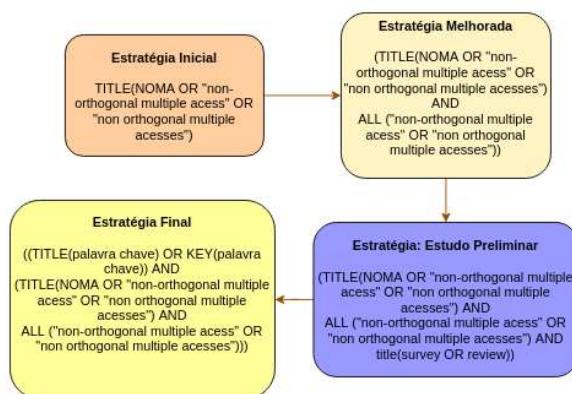
Este artigo está estruturado como a seguir. A Seção 2 apresenta a metodologia de elaboração do estudo realizado sobre o NOMA. Já a Seção 3 apresenta os resultados organizados em gráficos e tabelas bem como os discute. Finalmente, a Seção 4 apresenta as considerações finais deste trabalho.

2. Metodologia

O estudo bibliométrico foi realizado em três fases: (i) **Fase pré-prospectiva**, cujo objetivo é realizar um estudo preliminar sob o tema; (ii) **Fase prospectiva**, consistindo na definição das palavras chaves, nas estratégias de busca e na organização das saídas das buscas em tabelas e gráficos; e (iii) **Fase de análise de resultados**, em que resultados quantitativos e qualitativos são analisados e discutidos.

Na Fase pré-prospectiva, a estratégia de busca definida foi a pesquisa de artigos do tipo *survey* nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science*. A Figura 2 mostra as estratégias de busca utilizadas. Inicialmente, para não incluir artigos cujo tema principal não fosse o NOMA, foi feita a busca pela palavra NOMA e suas variações nos títulos dos trabalhos. Entretanto, devido a existência de outros significados para a palavra NOMA, a busca incluiu artigos que não tratavam do tema. Então, a estratégia de busca foi melhorada adicionando a limitação de ter o significado da sigla NOMA por extenso em qualquer um dos campos dos artigo. O resultado foi 1090 artigos na *Web of Science* e 1392 na *Scopus*. Visto a grande quantidade de artigos da primeira pesquisa, escolheu-se limitar a pesquisa aos artigos que possuem a palavra "survey" ou "review" no título. O resultado foi 8 artigos na base *Scopus* e 6 artigos na *Web os Science*, os quais foram baixados e lidos na íntegra.

Figura 2. Evolução das estratégias de busca (Fases pré-prospectiva e prospectiva).



Esta etapa de leitura inicial forneceu uma visão geral sob o tema e a identificação do

estado da arte (algoritmos, contextos de aplicação, limitações e problemas em aberto). Com a leitura dos artigos, foram selecionadas as palavras chave relacionadas ao tema, que definiram a estratégia de busca do estudo bibliométrico (Fase prospectiva).

A Fase prospectiva consistiu na definição das palavras chaves, das estratégias de busca, e na organização das informações obtidas na pesquisa. A estratégia descrita em **Etapa final** na Figura 2 foi pesquisada na base de dados *Scopus* (devido ao maior número de artigos encontrados) com cada uma das palavras chaves selecionadas (coluna Área/Técnica da Tabela 2).

Finalmente, a Fase de análise de resultados consistiu na análise das tabelas e dos gráficos, mostrando o desenvolvimento do NOMA em diversas áreas e técnicas.

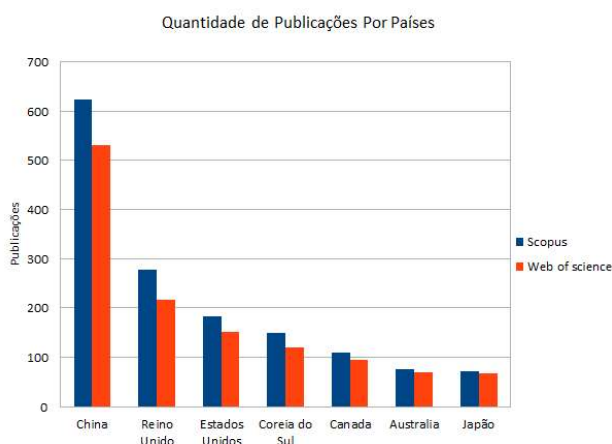
3. Resultados e Análises

O propósito da Fase análise de resultados é entender o cenário de investimentos científicos no NOMA e discutir a importância de se continuar investindo na tecnologia. Para isso foram realizadas análises temporais e regionais, possibilitando o entendimento da evolução do tema ao longo dos anos e sua abrangência mundial. Como forma de mapeamento da técnica, são feitas análises sobre o NOMA com cada palavra chave selecionada na etapa prospectiva.

3.1. Regiões de Investimento

Com o propósito de identificar as regiões que mais investem em pesquisa em NOMA, foi traçado o gráfico da Figura 3. O gráfico mostra as sete regiões com mais publicações, segundo os dados obtidos na *Scopus* e *Web of Science*. Um total de 54 países (segundo *Scopus*) também tem publicações em NOMA. Este valor alto indica o quanto este tema tem relevância mundial. Nas sete regiões com mais publicações estão incluídos países de alto desenvolvimento econômico, como Estados Unidos, Reino Unido e Japão. O destaque maior é da China, com quase o dobro de publicações que o Reino Unido.

Figura 3. Desempenho de países que mais publicam em NOMA.



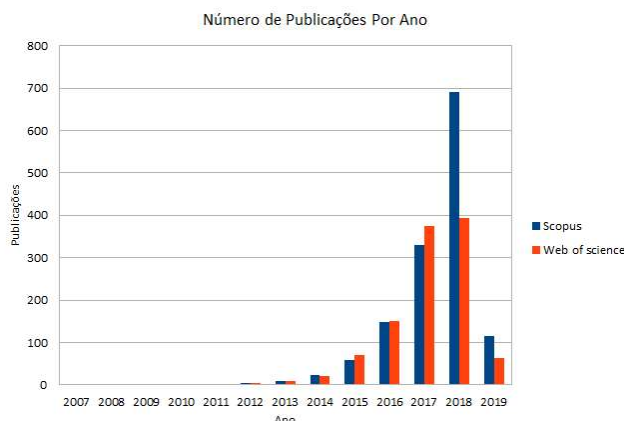
A Tabela 1 mostra países com menor quantidade de publicações, incluindo o Brasil. O objetivo desta tabela foi identificar como o Brasil se encaixa no contexto mundial do NOMA. Percebe-se que o Brasil possui um número de publicações razoável comparado com países como Espanha e Portugal, mas tem pior desempenho comparado com Paquistão, Egito e Arábia Saudita.

Tabela 1. Desempenho de outros países que publicam em NOMA.

Regiões	Quantidade de publicações
Alemanha	37
França	25
Paquistão,Singapura,Turquia	22
Vietnã	42
Iran	31
Índia	24
Egito	18
Arábia Saudita	16
Itália	15
Brasil	9
Espanha	8
Portugal	6

3.2. Análise Temporal

A figura 4 mostra o número de publicações por ano desde a data do primeiro artigo relacionado ao tema NOMA. Em 2007 surgem as primeiras publicações, porém em baixa quantidade e com uma evolução não expressiva até 2014. A partir de 2015, o crescimento no número de publicações é exponencial, evidenciando mais uma vez a importância do NOMA no cenário mundial atual. Essa tendência tende a se manter, pois já existe um número significativo de publicações em 2019.

Figura 4. Análise temporal da produção científica em NOMA.

3.3. Veículos de Publicação

Foi realizada uma busca na base *web of science* com intuito de verificar quais revistas científicas vêm publicando mais pesquisas desenvolvidas sobre o NOMA. O resultado é mostrado graficamente na Figura 5.

A segunda revista publica artigos resumidos em um ciclo rápido de publicação sobre os avanços no estado da arte em técnicas relacionadas a telecomunicações. O fato de uma revista como a *IEEE communication letters* ser uma das principais fontes de trabalho sobre NOMA, indica o quão rápido está evoluindo as pesquisas nessa área.

Em destaque estão as revistas *IEEE Access* e *IEEE communication letters*. Elas têm fator de impacto igual a 3,557 e 2,723, respectivamente, e estão entre as mais citadas no mundo [IEEE 2018].

É importante ressaltar que a *IEEE Access* possui uma seção especial dedicada ao NOMA, cujos principais tópicos de interesse são: *Novel signal detection and transceiver*

design for NOMA; Emerging applications of NOMA in 5G, IoT, V2X, and UAV; Cooperative signal processing for NOMA; Resource allocation and schedule in NOMA networks; Adaptive signal processing algorithms for NOMA; Energy efficiency optimization for NOMA systems; Grant-free NOMA system design; Advanced channel coding and modulation schemes for NOMA; Security provisioning in NOMA; Multiple antenna signal processing techniques for NOMA; Pilot design and channel estimation for NOMA; NOMA assisted wireless caching and mobile edge computing; Machine learning for NOMA e NOMA in wireless powered communications. A edição especial foi publicada em 26 de Dezembro de 2018 no volume 6 da revista com o título *IEEE Access Special Section Editorial: Non-Orthogonal Multiple Access for 5G Systems*.

Figura 5. Quantidade de artigos sobre NOMA por veículo de publicação.



3.4. Áreas de Aplicação e Técnicas

Para realizar uma análise sobre a evolução das áreas e das técnicas que utilizam o NOMA, foi feito uma busca na base de dados *scopus*. O resultado da busca é apresentado na Tabela 2. A tabela foi organizada seguindo os tópicos mais mencionados nos dois trabalhos mais citados da área [Ding et al. 2017] e [Dai et al. 2018]. Esses dois trabalhos trazem um levantamento dos avanços do NOMA referentes aos últimos 10 anos (2009 - 2019) e aos últimos 3 anos (2017-2019), respectivamente. De acordo a tabela, a aplicação de NOMA nessas áreas ainda é recente. Em todas as áreas apresentadas, mais de 50% dos trabalhos foram desenvolvidos nos últimos 3 anos. É possível identificar também o esforço mundial em estudar o NOMA como uma opção viável para o 5G, pois essa área tem o maior número de publicações relacionadas ao NOMA.

Tabela 2. Quantidade de artigos entre os tópicos mais relevantes sobre NOMA.

Área / Técnica	Número de publicações (2009 - 2019)	Número de publicações (2017 - 2019)
Signal detection	18	12
Resource Allocation	195	170
Coding channel	14	7
Modulation Schemes	6	4
Energy Efficiency	173	154
Cooperative NOMA	77	74
MIMO	198	143
Beamforming	102	80
Security	73	65
Cognitive radio	71	60
5G	332	273
IoT	52	50
Vehicle networks	31	31
UAV	14	14
VLC	49	41

Em seguida, foi feita outra busca para investigar a evolução dessas áreas nos últimos 10 anos (2009 - 2019) e nos últimos 3 anos (2017-2019), independente do trabalho estar

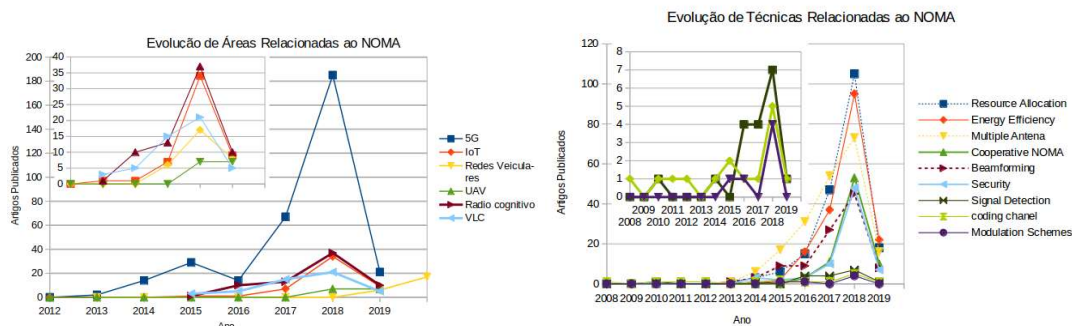
relacionado ao NOMA. A Tabela 3 traz o resultado. É possível perceber que existem tópicos com um grande número de estudos não relacionados ao NOMA, como por exemplo 5G, Eficiência energética, Veículo aéreo não tripulado (UAV, *Unmanned Aerial Vehicle*), *Visible Light Communication* (VLC) e internet das coisas (IoT, *Internet of Things*). É possível que os assuntos tratados nessa quantidade imensa de artigos possam ser avaliados em conjunto com o NOMA, evidenciando uma grande possibilidade de novos trabalhos em tais áreas.

Tabela 3. Número de artigos por área (relacionados ou não com NOMA).

Área / Técnica	Número de publicações (2009 - 2019)	Número de publicações (2017 - 2019)
Signal detection	50.074	7.430
Resource Allocation	43.739	10.915
coding channel	15	2
Modulation Schemes	3.481	710
Energy Efficiency	118.917	39.149
Cooperative NOMA	79	76
MIMO	44.821	11.865
Beamforming	18.878	5.112
physical layer security	3.561	1.525
Cognitive radio	23.290	4.554
5G	6.994	4.888
IoT	29.225	19.112
Vehicle networks	828	281
UAV	27.640	11.140
VLC	3.100	1.490

Finalmente, para ter uma visão mais detalhada da evolução das áreas em pesquisas com NOMA, foi feita a análise temporal apresentada na figura 6.

Figura 6. Análise temporal das áreas.



Como já mencionado, o 5G é a área com maior número de artigos, com crescimento significativo nos últimos 10 anos. Analisando as áreas com menor número de artigos, pode-se destacar aquelas com real demanda por novos estudos. Especialmente, existem aquelas áreas que apresentam um claro aumento de publicações nos últimos anos, por exemplo: esquemas de modulação, codificação de canal e detecção de sinais em sistemas que utilizam NOMA. Tais áreas podem representar um nicho não explorado em todo seu potencial, sendo áreas relevantes para investimentos e esforços acadêmicos.

4. Conclusões

A técnica de múltiplo acesso NOMA tem o potencial de atingir alta capacidade sem depender da quantidade de recursos ortogonais disponíveis. Isso resulta em aumento de eficiência espectral, tornando-a muito atrativa para a evolução dos sistemas de comunicações móveis. Este estudo bibliométrico comprovou a rápida evolução do NOMA, materializada

na quantidade de artigos e na qualidade dos veículos de publicação, com maior produção científica encontrada em revistas como a *IEEE communication letters* e a *IEEE Access*.

Com um olhar mais detalhado nos resultados deste estudo, pode-se concluir que as pesquisas em NOMA são recentes e evoluíram mais de 50% em apenas 3 anos. Entretanto, ainda existem áreas com poucas contribuições científicas e que têm potencial para serem exploradas, entre elas: *Resource Allocation*, *Energy Efficiency* e MIMO. Outra conclusão relevante é que apesar do forte vínculo do NOMA ao 5G, percebe-se que outras aplicações se destacaram nos últimos 3 anos, como redes veiculares e UAV.

Referências

- Boccardi, F., Heath, R. W., Lozano, A., Marzetta, T. L., and Popovski, P. (2014). Five disruptive technology directions for 5g. *IEEE Communications Magazine*, 52(2):74–80.
- Choi, J. (2014). Non-orthogonal multiple access in downlink coordinated two-point systems. *IEEE Communications Letters*, 18(2):313–316.
- Dahlman, E., Parkvall, S., and Sköld, J. (2016). *4G LTE-Advanced Pro and The Road to 5G (Third Edition)*. Academic Press.
- Dai, L., Wang, B., Ding, Z., Wang, Z., Chen, S., and Hanzo, L. (2018). A survey of non-orthogonal multiple access for 5g. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*.
- Ding, Z., Lei, X., Karagiannidis, G. K., Schober, R., Yuan, J., and Bhargava, V. K. (2017). A survey on non-orthogonal multiple access for 5g networks: Research challenges and future trends. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 35(10):2181–2195.
- Ding, Z., Liu, Y., Choi, J., Sun, Q., Elkashlan, M., Poor, H. V., et al. (2015a). Application of non-orthogonal multiple access in lte and 5g networks. *arXiv preprint arXiv:1511.08610*.
- Ding, Z., Peng, M., and Poor, H. V. (2015b). Cooperative non-orthogonal multiple access in 5g systems. *IEEE Communications Letters*, 19(8):1462–1465.
- Ding, Z., Yang, Z., Fan, P., and Poor, H. V. (2014). On the performance of non-orthogonal multiple access in 5g systems with randomly deployed users. *IEEE signal processing letters*, 21(12):1501–1505.
- Ghosh, A., Thomas, T. A., Cudak, M. C., Ratasuk, R., Moorut, P., Vook, F. W., Rappaport, T. S., MacCartney, G. R., Sun, S., and Nie, S. (2014). Millimeter-wave enhanced local area systems: A high-data-rate approach for future wireless networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 32(6):1152–1163.
- IEEE (2018). IEEE journals continue to excel in citation rankings.
- ITU-R (2015). Recommendation ITU-R M.2083-0: IMT vision - framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond. Technical report, ITU.
- Rappaport, T. S., Sun, S., Mayzus, R., Zhao, H., Azar, Y., Wang, K., Wong, G. N., Schulz, J. K., Samimi, M., and Gutierrez, F. (2013). Millimeter wave mobile communications for 5g cellular: It will work! *IEEE Access*, 1:335–349.
- Saito, Y., Kishiyama, Y., Benjebbour, A., Nakamura, T., Li, A., and Higuchi, K. (2013). Non-orthogonal multiple access (noma) for cellular future radio access. In *2013 IEEE 77th vehicular technology conference (VTC Spring)*, pages 1–5. IEEE.