Posicionamento, Mapeamento, Sensoriamento e Imagem para as Redes 6G

Juliano Silveira Ferreira – silveira@inatel.br

2022

Tendências gerais para a futura rede de comunicação móvel - 6G

- **Demanda por maior vazão de dados: Tbps**
- **Demanda por redução da latência de comunicação: ~1ms**
- **Demanda por suporte a um número massivo de terminais/usuários**: $\sim 10^4$ conexões/km^2
- **Demanda por cobertura 3D**

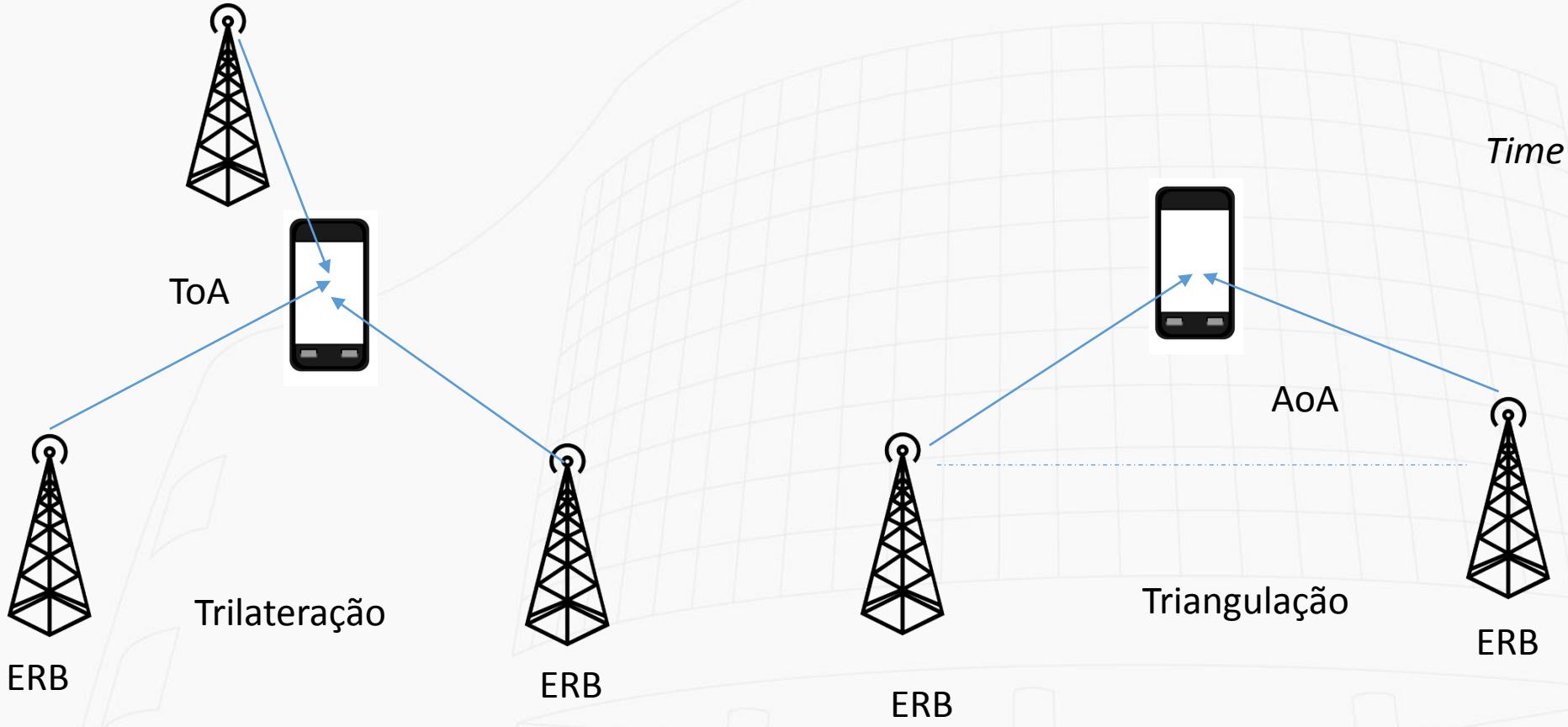
Tendências para a rede 6G relacionadas ao “Posicionamento, Mapeamento, Sensoriamento e Imagem”

- **Demanda por maior precisão e resolução de informações de posicionamento e localização: ~1 cm (ambiente interno) e ~ 100 cm (externo);**

- **Explore informações de contexto em benefício da rede e de suas aplicações**;
  As informações de contexto contemplam **sensoriamento e mapeamento** do ambiente do terminal do usuário;

- Suporte adequado à aplicações emergentes relacionadas a dispositivos **autônomos** como **carros, robôs e veículos aéreos não tripulados (VANTs);**

Técnicas tradicionais de localização empregam como base medidas de tempo e angulação do sinal



Time of Arrival (ToA)

Time Difference of Arrival (TDoA)

Angle of Arrival (AoA)

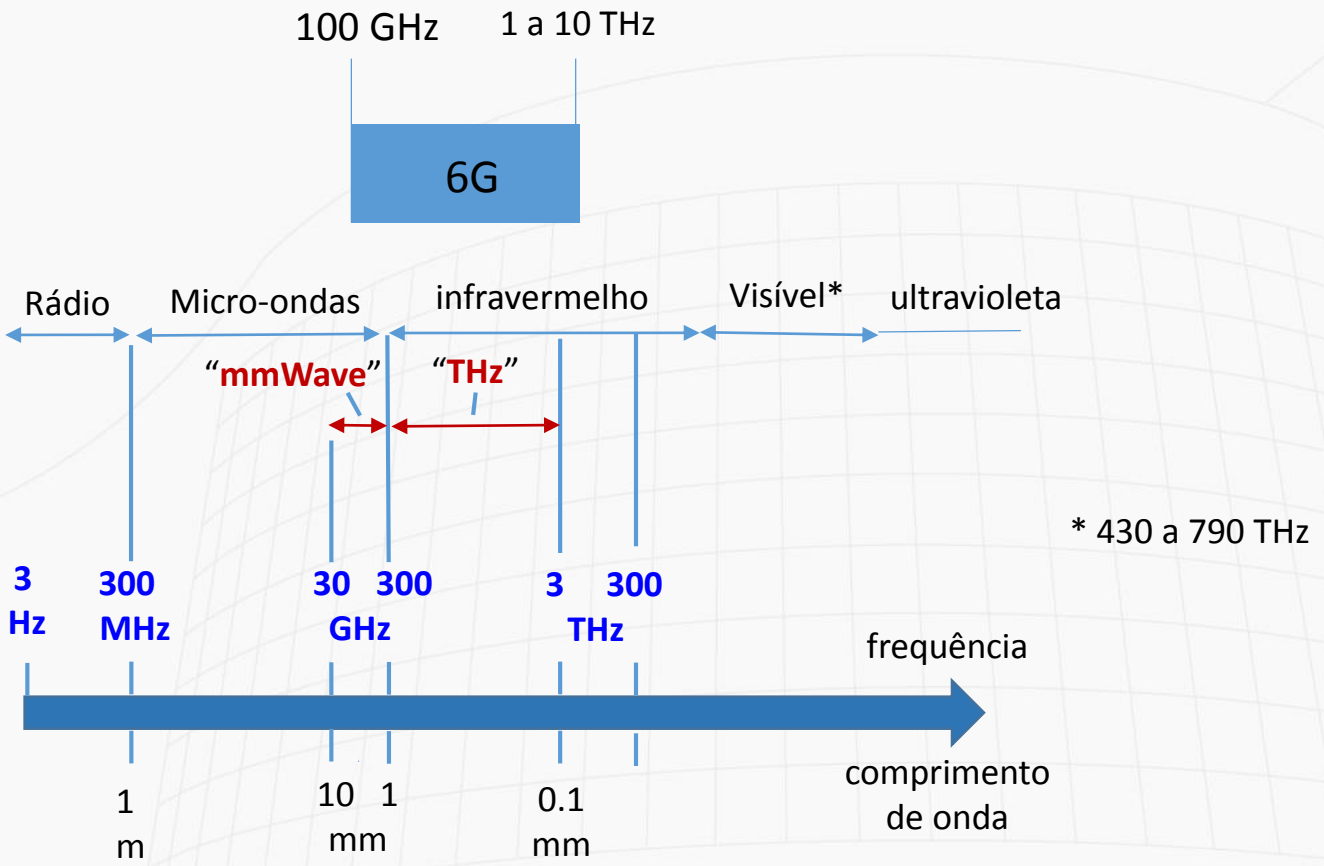
Tecnologias candidatas que podem proporcionar melhorias em questões de "Posicionamento, Mapeamento, Sensoriamento e Imagem" para a rede 6G

Tecnologias Habilitadoras para "POSMAP"

POSMAP - "Posicionamento, Mapeamento, Sensoriamento e Imagem"

Tecnologias habilitadoras para sensoriamento, localização e mapeamento

Frequências elevadas – mmWave e THz



* 430 a 790 THz

Frequências Elevadas
=
maior banda disponível

Maior frequência
Menor comprimento de onda

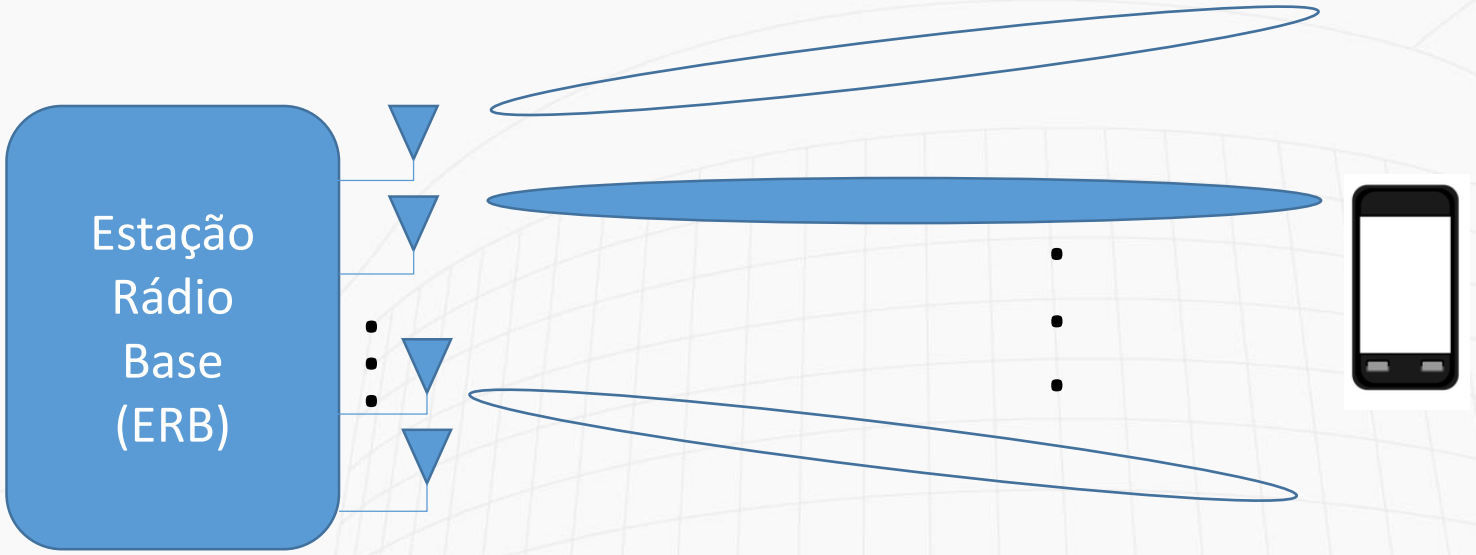
Maior frequência
implica em sinal com feixes (*beams*)
mais estreitos e diretivos

FR2 – 5G
24,250 a 52,6 GHz

Referência: T. S. Rappaport, Y. Xing, O. Kanhere, S. Ju, A. Madanayake, S. Mandal, A. Alkhateeb,and G. C. Trichopoulos, "Wireless Communications and Applications Above 100 GHz:Opportunities and Challenges for 6G and Beyond," IEEE Access, vol. 7, pp. 78 729–78 757,2019.

Tecnologias habilitadoras para sensoriamento, localização e mapeamento

- ***Beamforming***: controle do padrão de irradiação (direcionamento e intensidade do sinal);



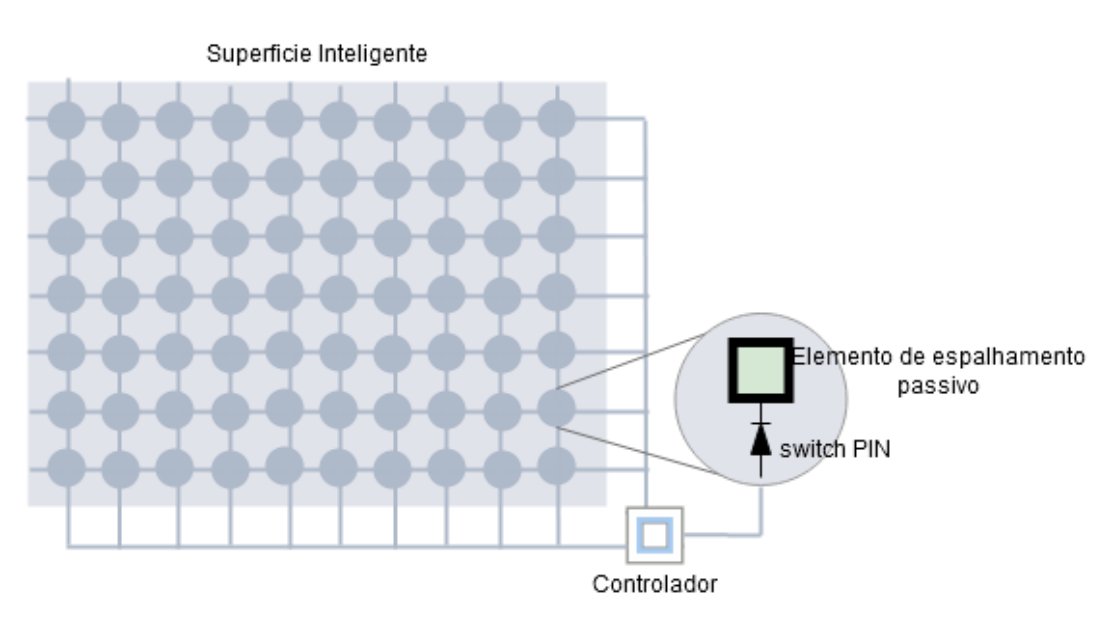
THz favorece maiores arranjo (arrays) de antenas

- Mapeamento de ambientes e localização (ângulo e nível de sinal);
- Localização em ambientes internos (s/GPS);
  Precisão dependente da distância da BS e LoS. (exemplo da literatura: 2,6 cm para d ~3m);
- A localização pode ser empregada para suporte ao *beamforming;*

Tecnologias Habilitadoras para sensoriamento, localização e mapeamento

❑ **Superfícies inteligentes - *Intelligent Reflective Surfaces* (IRSs)**

Tornam controlável certas **características eletromagnéticas** (ex. fase, amplitude)

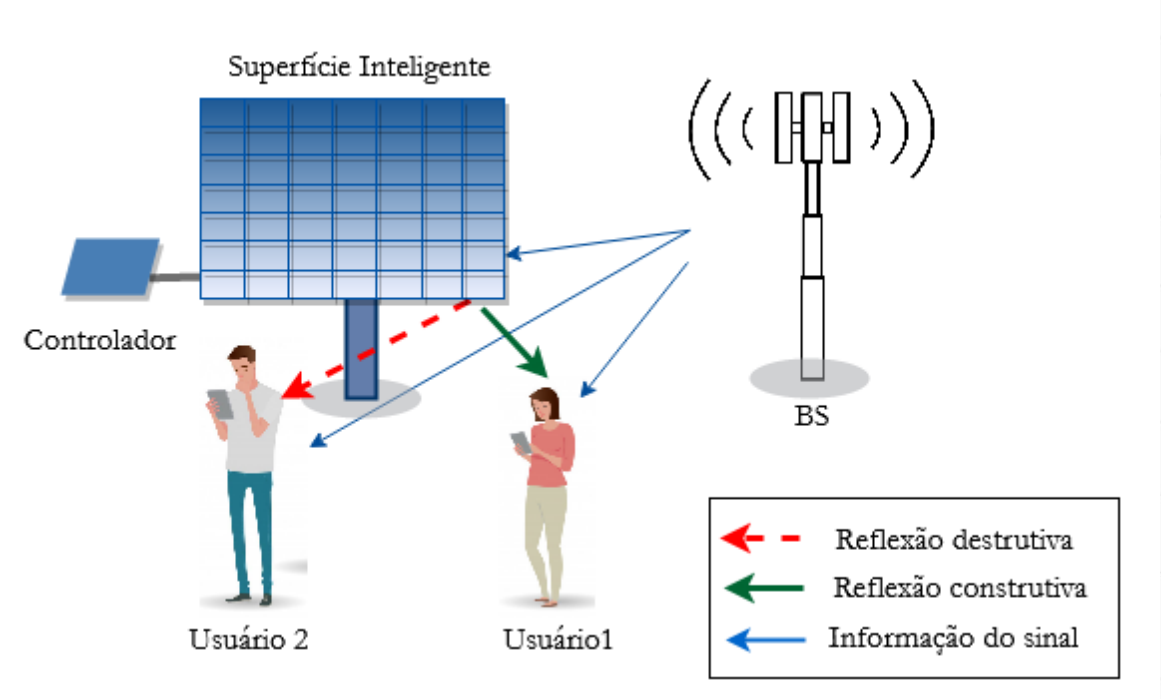


Viabilizarem a reflexão de sinais em direções precisas;

Poderem ser implantadas em objetos e locais como nas fachadas de edifícios, espaços internos, roupas, etc;

Tecnologias Habilitadoras para sensoriamento, localização e mapeamento

- **Superfícies inteligentes:**
  - Melhoria de processos de localização baseados em angulação e nível de sinal;
  - Melhora da qualidade de comunicação e serviços (sombreamento e de multipercurso);



Tecnologias Habilitadoras para sensoriamento, localização e mapeamento

❑ Informações de contexto - *Context-Aware* (CA)

Localização, identidade, preferências, velocidade, nível de bateria, dentre outras.

Exemplos de uso:

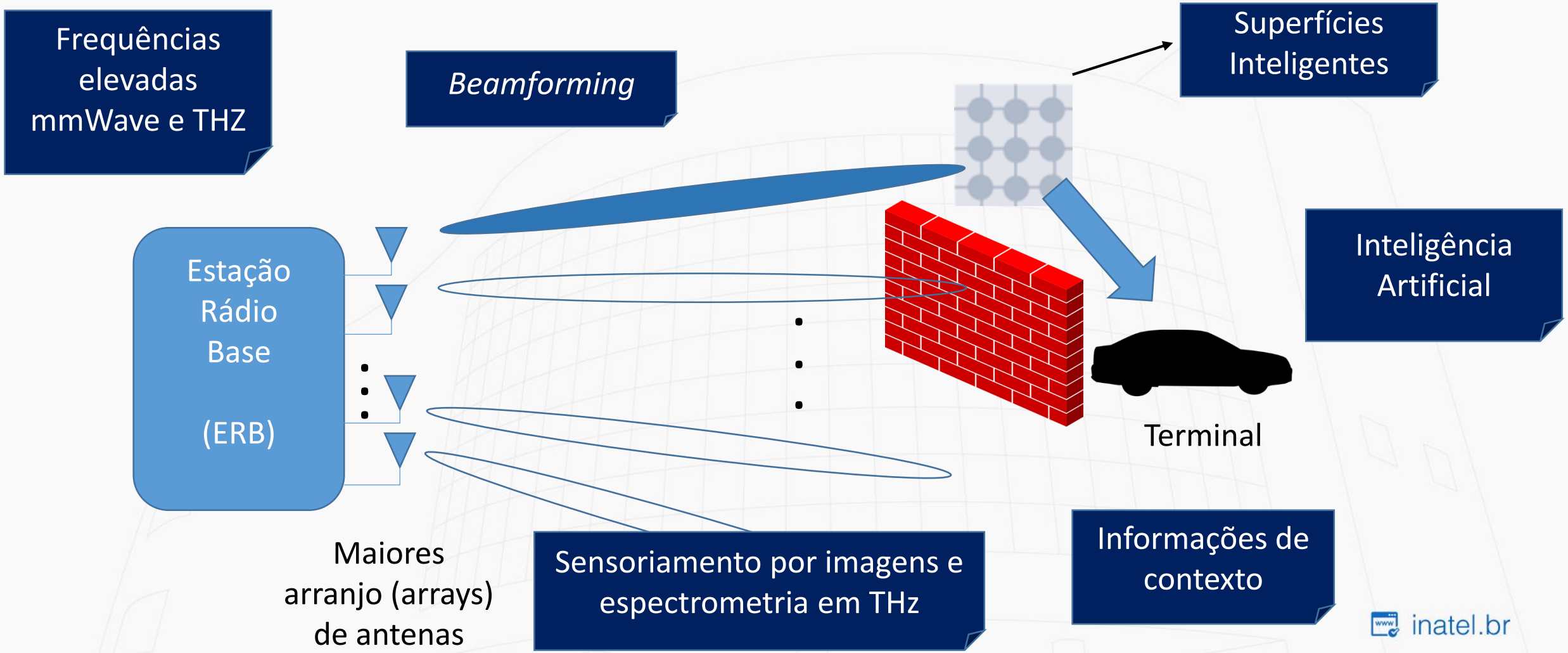
- Seleção de dispositivos/servidores de apoio próximos ao dispositivo;
- Realizar a seleção de feixes adequados em uma rede de comunicação veicular (V2X);
- Calcular a trajetória de um terminal e prever a próxima BS na qual o terminal móvel irá se conectar (ex. algoritmo com I.A. com 65% de acerto);

❑ Inteligência artificial

- ➢ Prevista para ser adotada em diversas áreas da rede 6G
- ➢ Deve proporcionar melhorias em diferentes aspectos relacionados a:

Localização, mapeamento e sensoriamento;

Tecnologias Habilitadoras para Posicionamento, Mapeamento, Sensoriamento e Imagem



Tecnologias habilitadoras - Desafios

- **THz**
  - Atenuação/bloqueio de sinal. A atenução atmosférica (oxigênio e vapor d'agua > 6GHz) Ex. 15 dB/Km em 60 GHz; mmWave: chuva 2,5dB/Km (2mm); vidro (3 a 18 dB); materiais de construção (40 a 80 dB);
  - Modelamento de canal;
  - Implementação de circuitos de RF;
  - Maior Freq. X Maior precisão X LoS;

- ***Beamforming***
  - Custo;
  - Localização em ambientes dinâmicos pode ser comprometida (bloqueio);
  - Latência para identificar melhor configuração de feixes/*beam* (treinamento);

Tecnologias habilitadoras - Desafios

- **Superfícies inteligentes:**
  - Avanços tecnológicos tanto em *hardware* quanto em *software*;
  - Desenvolvimento de novos modelos de propagação e métodos de estimação de canal;
  - Distribuição das superfícies no ambiente;

- **Informações de contexto:**
  - Padronização: parâmetros e procedimentos;

- **Inteligência Artificial:**
  - Quantidade de dados (ruidoso, mal estruturado);
  - Períodos de treinamento;
  - Carga Computacional x energia;

Outras tecnologias que podem ser exploradas em benefício da rede

❑ ***Simultaneous Localization and Mapping* – SLAM**

Algoritmos empregados por robôs e veículos autônomos para auxiliar no processo de localização e mapeamento;

Tipos x sensores:

- Visual: câmeras;
- Não visual: sensores, sensores inerciais (acelerômetro e giroscópio), radar, laser, LiDAR, GPS, etc.

Especialmente útil em cenários com acesso limitado a satélite ou sem fonte externa de informações sobre a localização.

Dependendo dos sensores viabiliza o uso em aplicações de alta velocidade (carros, UAVs)
Podem envolver altas taxas de dados;

Outras tecnologias que podem ser exploradas em benefício da rede

- ***Simultaneous Localization and Mapping* – SLAM**

Pesquisas:

- SLAM construir mapa 3D em alta resolução e mapear as informações de angulação e tempo de sinal (AoA e ToA) na faixa de 300 GHz, com precisão milimétrica [Aladsani];

- SLAM para situar UAV no espaço 3D em ambiente interno, por meio de um sistema de localização baseada em radar em THz; precisão milimétrica [Batra];

Outras tecnologias que podem ser exploradas em benefício da rede

❑ VANTs / UAVs

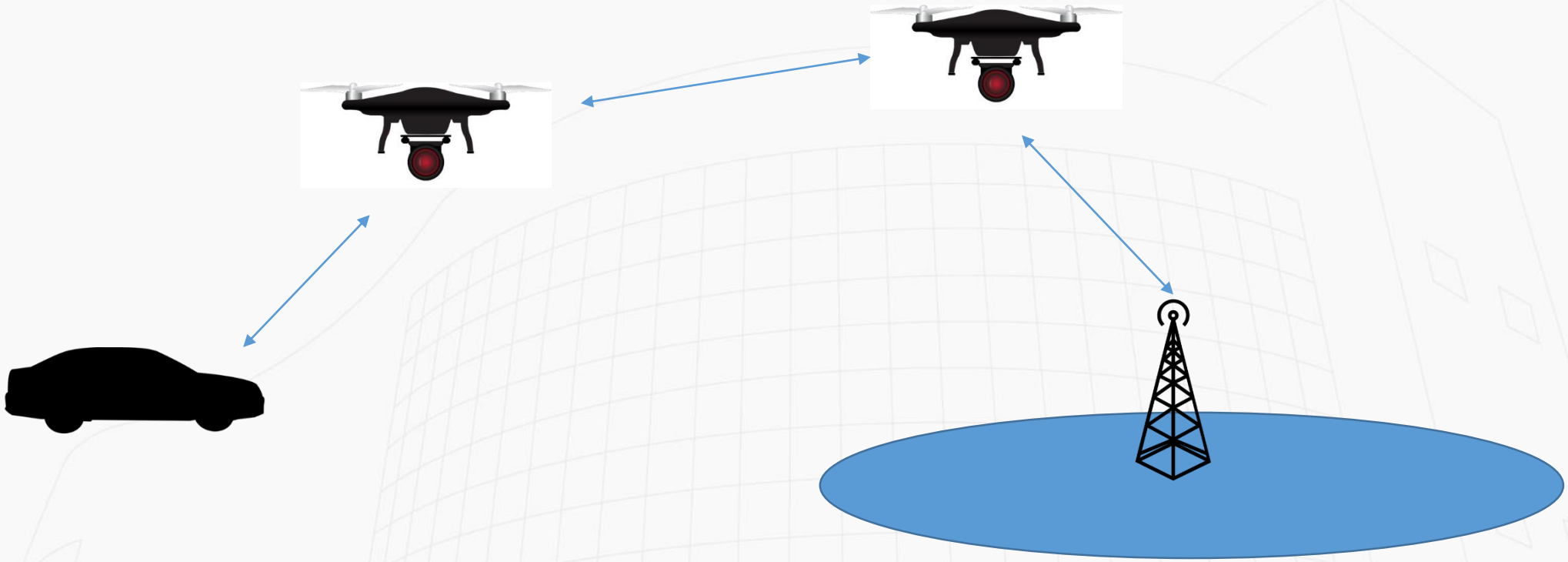
Normalmente empregam localização baseada em: satélites (GNSS/GPS) (~m), visão, sinais de rádio (celular);

Podem ser utilizados de diferentes formas:

- Cooperativa - sub-rede aérea *Flying Ad Hoc Networks* (FANET);
- Localização auxiliada por UAVs: aumentar a cobertura do serviço de posicionamento terrestre (GPS);
- Ampliação da cobertura da rede
  Ex. *Low-Altitude Platform* (LAP), *High-Altitude Platform* (HAP);
- Sensoriamento e mapeamento (SLAM);

Outras tecnologias que podem ser exploradas em benefício da rede

- **VANTs/UAVs**



- Pesquisas: definir a melhor localização do UAV para aumentar capacidade da rede, minimizar consumo energético, dentre outras;

Aplicações com potencial impacto por melhorias em "Posicionamento, Mapeamento, Sensoriamento e Imagem"

Melhorias em posicionamento, localização e sensoriamento devem impactar /potencializar / viabilizar diferentes aplicações:

- ✓ Aplicações de imagem e espectrometria;
- ✓ Sensoriamento por radar (passivo e ativo);
- ✓ Saúde, sensoriamento digital e biológico e e-Health;
- ✓ Aplicações na área de carros e robôs autônomos;
- ✓ Cidades inteligentes;
- ✓ Automação industrial;
- ✓ Agronegócio;
- ✓ Transferência de energia via RF;
- ✓ Aplicações avançadas de iteração remota: holografia e internet tátil;

Exemplos de aplicações que podem ser potencializadas/viabilizadas/integradas

❑ Sensoriamento por imagens e espectrometria em THz

- Radares e sistemas avançados de assistência ao motorista ou *Advanced Driver Assistence Systems* (ADAS) (~80 GHz);
- Sensoriamentos por radar: mapeamento 3D, obstáculos e sua composição química, etc.
- Inspeção física (transparente para papel, plástico e roupas) e química;
- Detecção de materiais estranhos em alimentos;
- Saúde – diagnóstico de doenças (ex. melanoma);
- Stress hídrico, patógenos em plantas;

Exemplos de aplicações a serem impactadas / potencializadas / viabilizadas

❑ **Carros, robôs e UAVs autônomos - *Connected robotics and autonomous systems* (CRAS)**

As aplicações emergentes dependentes de um enlace de comunicação robusto, de baixa latência acesso a informações precisas de localização e mapeamento do ambiente.
Pilares: sensoriamento e mapeamento de ambientes

Aplicações podem ser beneficiadas por *beamforming*, IRS, localização e mapeamento;

Transportes inteligentes – distância entre veículos e obstáculos, mapas 3D;
x Aplicações interativas (*display* 3D, entretenimento imersivo);

Veículos podem ser utilizados para ampliar cobertura da rede, mapeamento e localização;

Robôs autônomos: Aplicações em diferentes áreas como: ambiente inteligentes , saúde, educação, segurança, ***smart cities***, **agricultura**, **automação industrial**;

Exemplos de aplicações a serem impactadas / potencializadas / viabilizadas

- Saúde / e-Health
  - Biossensores são cada vez mais precisos, compactos e também vestíveis (*wearables*);
  - Sensores de medidas fisiológicas não invasivas e sem contato;
  - Biossensores capazes de detectar doenças virais;
  - BCI – Brain Computer Interface
  - Robôs e IA na área da saúde:
    robô de cuidados *Care Robot*

Robô de desinfecção no centro de tratamento do COVID-19 do University Hospital Campus Bio-Medico (UCBM) em Roma, Itália.

inatel.br

https://www.unicampus.it/news-blog/100361-tiago-il-robot-ucbm-al-lavoro-nel-covid-center

Exemplos de aplicações a serem impactadas / potencializadas / viabilizadas

❑ Aplicações do agronegócio

Agronegócio no Brasil: 26,6% do PIB nacional de 2020 ou aproximadamente R$ 2 trilhões. Projeção de aumento para 2021.

Agricultura de precisão e agricultura inteligente (*smart farming)* devem ser especialmente impactadas por melhorias em localização e sensoriamento;

Robôs tem sido considerados para mapeamento em ambientes rurais;
Ex. Sistema capaz de gerar mapas omnidirecionais 3D em plantações baseados em SLAM, com o auxílio de sensores e câmeras. Robôs autônomos que detectam estágios da cultura (crescimento inicial ou tardio);

Maquinário autônomo de coleta e transporte de madeira, que utiliza técnicas de SLAM para sensoriamento e levantamento de mapas florestais que alcança precisão de 12 cm [Li].

Exemplos de aplicações a serem impactadas / potencializadas / viabilizadas

❑ Aplicações do agronegócio

UAVs – monitoramento de plantações através do uso de câmeras multiespectrais (evolução da lavoura, hídrico); monitoramento geral do campo, das culturas, dos sistemas de irrigação, do posicionamento dos animais, da polinização artificial, e a agricultura de precisão, podendo integrar diferentes tipos de sensores, incluindo dispositivos IoT instalados no solo.

Sensoriamento por imagens em THZ:
Estresse hídrico, caracterização de plantas, identificação de patógenos, identificação de resíduos químicos em produtos agrícolas, como fungicidas e pesticidas.

Conclusões principais

- Diversos desafios tecnológicos ainda devem ser superados para viabilizar a implantação eficaz das tecnologias habilitadoras identificadas.

- Diversos avanços tem sido alcançados a partir de pesquisas e novos desenvolvimentos e estes devem viabilizar melhorias em aspectos de posicionamento, mapeamento, sensoriamento e Imagem.

  Estes, por sua vez, podem contribuir para: melhoria e evolução da futura rede de comunicação móvel, o 6G, assim como beneficiar diversas aplicações já implantadas e também aplicações emergentes.

Agradeço sua atenção!

Relatórios detalhados do projeto: www.Inatel.br

silveira@inatel.br

Juliano Silveira Ferreira – Inatel

[Rappaport] T. S. Rappaport, Y. Xing, O. Kanhere, S. Ju, A. Madanayake, S. Mandal, A. Alkhateeb,and G. C. Trichopoulos, “Wireless Communications and Applications Above 100 GHz:Opportunities and Challenges for 6G and Beyond,” IEEE Access, vol. 7, pp. 78 729–78 757,2019.

[Batra] A. Batra, M. El-Absi, M. Wiemeler, D. Göhringer, and T. Kaiser, “Indoor THz SAR Trajectory Deviations Effects and Compensation With Passive Sub-mm Localization System,” IEEE Access, vol. 8, pp. 177 519–177 533, 2020.

[Aladsani] M. Aladsani, A. Alkhateeb, and G. C. Trichopoulos, “Leveraging mmWave imaging and communications for simultaneous localization and mapping,” in ICASSP 2019-2019 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). IEEE, 2019, pp. 4539–4543.

[Li] Q. Li, P. Nevalainen, J. Peña Queralta, J. Heikkonen, and T. Westerlund, “Localization in unstructured environments: Towards autonomous robots in forests with delaunay triangulation,” Remote Sensing, vol. 12, no. 11, 2020. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2072-4292/12/11/1870

[Alghamdi]R. Alghamdi, R. Alhadrami, D. Alhothali, H. Almorad, A. Faisal, S. Helal, R. Shalabi,R. Asfour, N. Hammad, A. Shams, N. Saeed, H. Dahrouj, T. Y. Al-Naffouri, and M.-S. Alouini, “Intelligent Surfaces for 6G Wireless Networks: A Survey of Optimization andPerformance Analysis Techniques,” 2020.
[Jia] C. Jia, H. Gao, N. Chen, and Y. He, “Machine Learning Empowered Beam Management for Intelligent Reflecting Surface Assisted MmWave Networks,” 2020.
[Jiang] T. Jiang, H. V. Cheng, and W. Yu, “Learning to Reflect and to Beamform for Intelligent Reflecting Surface with Implicit Channel Estimation,” IEEE Journal on Selected Areas in Communications, pp. 1–1, 2021.
[Hu] S. Hu and F. Rusek, “Spherical Large Intelligent Surfaces,” in ICASSP 2020 - 2020 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2020, pp. 8673–8677.

[Wei]T. Wei and X. Zhang, “mtrack: High-precision passive tracking using millimeter waveradios,” in Proceedings of the 21st Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, 2015, pp. 117–129.
[Hong] P.-Y. Hong, C.-Y. Li, H.-R. Chang, Y. Hsueh, and K. Wang, “WBF-PS: WiGig Beam Fingerprinting for UAV Positioning System in GPS-denied Environments,” in IEEE INFOCOM 2020-IEEE Conference on Computer Communications. IEEE, 2020, pp. 1778– 1787.
[Aladsani] M. Aladsani, A. Alkhateeb, and G. C. Trichopoulos, “Leveraging mmWave imaging and communications for simultaneous localization and mapping,” in ICASSP 2019-2019 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). IEEE, 2019, pp. 4539–4543
[Batra] A. Batra, M. El-Absi, M. Wiemeler, D. Göhringer, and T. Kaiser, “Indoor THz SAR Trajectory Deviations Effects and Compensation With Passive Sub-mm Localization System,” IEEE Access, vol. 8, pp. 177 519–177 533, 2020.
[Mizmizi] M. Mizmizi, F. Linsalata, M. Brambilla, F. Morandi, K. Dong, M. Magarini, M. Nicoli, M. N. Khormuji, P. Wang, R. A. Pitaval et al., “Fastening the Initial Access in 5G NR Sidelink for 6G V2X Networks,” arXiv preprint arXiv:2106.05716, 2021

[Xiao] Z. Xiao and Y. Zeng, “An overview on integrated localization and communication towards 6G,” Signal Processing, 2020.
[Liu] Y. Liu, Y. Wang, X. Shen, J. Wang, and Y. Shen, “UAV-aided Relative Localization of Terminals,” IEEE Internet of Things Journal, pp. 1–1, 2021
[Ebrahimi]D. Ebrahimi, S. Sharafeddine, P.-H. Ho, and C. Assi, “Autonomous UAV Trajectory for Localizing Ground Objects: A Reinforcement Learning Approach,” IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 20, no. 4, pp. 1312–1324, 2021.
[Kouroshnezhad] S. Kouroshnezhad, A. Peiravi, M. S. Haghighi, and A. Jolfaei, “Energy-Efficient Drone Trajectory Planning for the Localization of 6G-Enabled IoT Devices,” IEEE Internet of Things Journal, vol. 8, no. 7, pp. 5202–5210, 2021.

[Studer] C. Studer, S. Medjkouh, E. Gonultas, T. Goldstein, and O. Tirkkonen, “Channel Charting: Locating Users Within the Radio Environment Using Channel State Information,” IEEE Access, vol. 6, pp. 47 682–47 698, 2018.
[Kazemi] P. Kazemi, H. Al-Tous, C. Studer, and O. Tirkkonen, “SNR Prediction in Cellular Systems based on Channel Charting,” in 2020 IEEE Eighth International Conference on Communications and Networking (ComNet), 2020, pp. 1–8.