

Simulação do Procedimento de Acesso Aleatório em Redes 5G/6G Integradas com Satélites de Órbita Terrestre Baixa para Acesso Massivo de Dispositivos IoT

Palavras-Chave: Redes Móveis, Satélites LEO, Simulação

Autores(as):

Lucas Lembo de Lara, IC – UNICAMP

Tiago Pedroso da Cruz de Andrade, IC – UNICAMP

M. Sc. Pedro Antonio Gonzales Sánchez (coorientador), IC - UNICAMP

Prof. Dr. Carlos Alberto Astudillo Trujillo (orientador), IC - UNICAMP

INTRODUÇÃO:

O crescimento exponencial dos dispositivos IoT, juntamente com a procura de conectividade massiva, coloca desafios significativos em termos de eficiência, latência e alcance global. É neste contexto que as redes de quinta geração (5G) e, em perspectiva, as redes de sexta geração (6G), surgem como facilitadores cruciais para este cenário. Para isso, é necessário entrar num território de inovação e convergência, onde os mecanismos concebidos para melhorar o desempenho massivo da IoT estejam interligados com a infraestrutura de satélites em órbita terrestre baixa (LEO) e as promissoras redes 5G/6G. Onde a conectividade se estende desde as metrópoles até os cantos mais remotos do planeta, estas tecnologias emergentes apresentam-se como aceleradores para a criação de um ecossistema verdadeiramente global.

Um dos mecanismos citados é o procedimento de acesso aleatório (RA), sendo uma parte fundamental dos protocolos de comunicação utilizados em redes sem fio para permitir que dispositivos se conectem à rede e transmitam dados de forma eficiente. Este procedimento é essencial em ambientes onde múltiplos dispositivos competem pelo acesso ao meio de transmissão, como em redes móveis celulares, redes WLAN (Wi-Fi), redes de sensores sem fio, entre outras. A implementação do procedimento de RA no contexto dos satélites é um desafio que surge nas comunicações em redes 5G/6G, e pode ser classificado como crítico, porque se deve garantir a sincronização precisa das transmissões, minimizar a latência, melhorar a eficiência do espectro e evitar colisões de preâmbulos, todos eles considerados desafios na implementação do procedimento de acesso aleatório integrado com satélites LEO. Outro ponto a lidar neste contexto é a alta velocidade dos satélites tipo LEO,

aproximadamente 8 km/s, mudando rapidamente a sua posição em relação aos dispositivos IoT na Terra.

Visando contribuir com o enfrentamento destes desafios, o objetivo foi desenvolver um simulador capaz de avaliar o desempenho do procedimento de acesso aleatório em cenários com grandes constelações de satélites LEO, levando em conta as características das redes 5G/6G e suas aplicações em IoT.

METODOLOGIA:

A metodologia de trabalho adotada durante a pesquisa foi de cunho experimental e adaptativo, de modo que, conforme novos desafios e novas demandas foram surgindo durante as fases de desenvolvimento, foi necessário mudar as estratégias para que o objetivo proposto fosse alcançado com êxito.

O projeto foi estruturado em diferentes etapas que partem desde o estudo e aprofundamento técnico das tecnologias relacionadas ao projeto até a análise dos resultados. Inicialmente, foi realizado um aprofundamento de conceitos que compõem uma base teórica que fundamenta o funcionamento do simulador, entre eles o procedimento de acesso aleatório, os padrões de redes de acesso e os satélites LEO.

Posteriormente, foi necessário encontrar qual seria a melhor linguagem de programação para que o simulador fosse desenvolvido, visando aquela que proporcionasse melhor desempenho para a execução das simulações de cenários reais de conexões entre satélites LEO e dispositivos IoT terrestres. Durante esta etapa, também foi estudada a possibilidade de utilizar simuladores já consolidados no cenário de simulações de redes, como o NS-3 e o PySim.

Optando pelo simulador NS-3 como base para o nosso simulador de redes 5G/6G integradas com satélites LEO para dispositivos IoT, a próxima fase foi pesquisar módulos que fossem capazes de reproduzir o comportamento dos satélites LEO – como sua mobilidade – e, ao mesmo tempo, a conectividade associada às redes móveis de nova geração. Além disso, foi necessário realizar algumas adaptações nos módulos selecionados, LEO e LENA-NB, para garantir a compatibilidade quanto ao versionamento e a integração dos módulos entre si para que trabalhassem juntos e corretamente durante as simulações. A questão de viabilizar a compatibilidade no quesito versionamento foi onde as maiores dificuldades apareceram, pois, inicialmente, o plano era utilizar a versão mais recente do NS-3, mas não foi possível, já que os módulos foram desenvolvidos para serem utilizados em versões bem mais antigas.

Por fim, com os módulos integrados ao simulador, a etapa final do desenvolvimento consistiu na elaboração de cenários de simulação, em que instâncias de dispositivos IoT e de satélites LEO foram

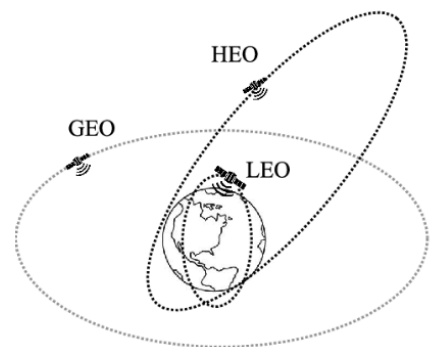


Figura 1 - Órbita de um satélite LEO comparada com a de outros tipos de satélites

- fonte: https://www.researchgate.net/figure/Satellites-de-comunicacoes-em-diferentes-orbitas-GEO-LEO-HEO_fig1_336000857

criadas e configuradas para se comportarem da mesma maneira que ocorre no mundo real. Os dois módulos selecionados foram utilizados de forma a representar tanto o comportamento dinâmico dos satélites quanto os aspectos da conectividade das redes móveis. A partir da execução dos cenários no simulador, foram coletados dados que serviram de base para a análise dos resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

As simulações executadas em cima de um cenário simples desenvolvido foram capazes de gerar dados preliminares que mostram que a integração entre os módulos e o simulador foi realizada com sucesso. Este cenário básico é composto por um dispositivo IoT que fica em repouso no polo norte da Terra e um satélite LEO, que foi configurado para orbitar a Terra, partindo do próprio polo norte.

Uma parte da captura dos logs inclui o tempo, as coordenadas espaciais e a velocidade escalar dos satélites em órbita, o que permite visualizar que o modelo de movimentação dos satélites LEO foi integrado corretamente. Foi utilizado um código auxiliar que plota os pontos gerados pela simulação para melhor visualização do caminho percorrido pelo satélite durante a simulação:

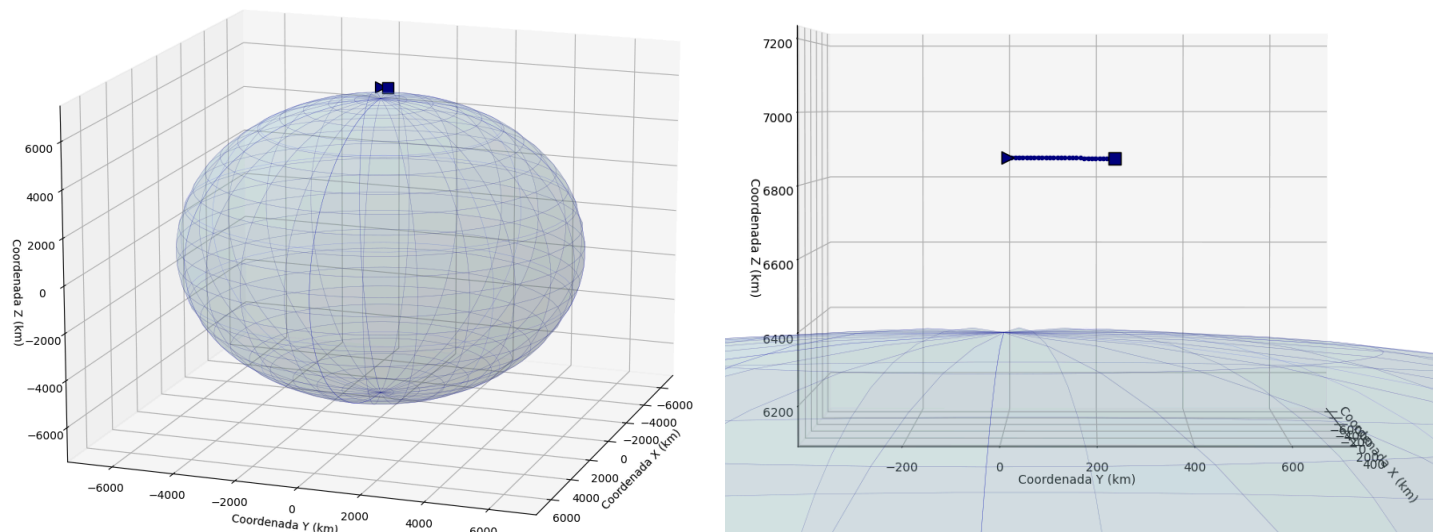


Figura 3 - Trajetória percorrida pelo satélite durante a execução da simulação. À esquerda sem zoom e à direita com zoom.

Já os logs capturados relacionados à parte de conectividade entre o nó terrestre e o satélite abrangem pacotes enviados e recebidos, bytes enviados e recebidos, a taxa de dados transmitidos por unidade de tempo (TX OFFERED) e o throughput, que é a taxa de recebimento efetivo de dados. Durante a simulação tivemos alguns fluxos de transmissão de dados, com os seguintes dados obtidos:

FLUXO	1	2	3	4	5	6
-------	---	---	---	---	---	---

IP:PORTA ORIGEM	7.0.0.2: 49153	1.0.0.2: 2001	7.0.0.3: 49153	1.0.0.2: 2002	7.0.0.4: 49153	1.0.0.2: 2003
IP:PORTA DESTINO	1.0.0.2: 2001	7.0.0.2: 49153	1.0.0.2: 2002	7.0.0.3: 49153	1.0.0.2: 2003	7.0.0.4: 49153
PACOTES TRANSMITIDOS	507780	153	1000000	61	829600	44
PACOTES RECEBIDOS	64	101	61	40	44	29
BYTES TRANSMITIDOS	115773840	34884	228000000	13908	189148800	10032
BYTES RECEBIDOS	14592	23028	13908	9120	10032	6612
TX OFFERED	36.480072 Mbps	0.011204 Mbps	182.40018 2 Mbps	0.010896 Mbps	182.40022 0 Mbps	0.010658 Mbps
THROUGHPUT	0.004598 Mbps	0.007396 Mbps	0.011126 Mbps	0.007145 Mbps	0.009674 Mbps	0.007025 Mbps

Figura 3 - Tabela de resultados preliminares de transferência de dados entre nós obtidos em uma simulação.

Como em todos os fluxos de dados preliminares extraídos do cenário de simulação há pacotes sendo transmitidos e recebidos, é possível confirmar que houve conexão entre o dispositivo IoT terrestre e o satélite LEO que estava orbitando a terra enquanto eles estavam próximos e, também, que o módulo de conexão foi integrado corretamente.

Apesar dos resultados preliminares mostrarem que os satélites estão se movendo da maneira que deveriam, eles também nos mostram que a conectividade entre o dispositivo terrestre e o satélite LEO é ruim, uma vez que, nos fluxos, temos um grande número de pacotes sendo transmitidos e poucos estão sendo recebidos. Outra métrica que nos permite identificar uma grande perda de pacotes é o THROUGHPUT muito baixo, quando comparado ao TX OFFERED, mostrando que, apesar dos módulos e o simulador estarem integrados e funcionando juntos, ainda não foi alcançada as configurações ideais do cenário de simulações.

CONCLUSÕES:

A execução do planejamento para desenvolver este projeto permitiu o aprofundamento do conhecimento sobre tecnologias como o procedimento de acesso aleatório, redes móveis 5G/6G e redes satelitais LEO, além de explorar e conhecer linguagens de programação e simuladores de redes.

Com seus resultados ainda preliminares, o projeto alcançou parcialmente o objetivo proposto, que era a implementação de um simulador capaz de avaliar o desempenho do procedimento de acesso aleatório em cenários com grandes constelações de satélites LEO, uma vez que já é possível

avaliar algumas métricas, porém para que o simulador reproduza cenários reais e seus funcionamentos, falta encontrar parâmetros ideais para algumas configurações.

O desenvolvimento deste trabalho proporcionou ao aluno uma vasta gama de aprendizados essenciais para um bom repertório acadêmico e profissional, entre eles a capacidade de traçar e avaliar estratégias, adaptação diante de cenários adversos, técnicas de pesquisa, trabalho em equipe, sem contar a evolução de habilidades técnicas no quesito de programação e, também, teóricas, se tratando de redes e de satélites.

Entre as dificuldades enfrentadas, destaca-se a ausência de documentações que explicassem e aprofundassem questões de instalação, integração e compatibilidade de versões dos módulos escolhidos para implementar os cenários reais. Isso porque durante um longo período de tempo, foi tentado realizar a integração dos módulos na versão mais atual do simulador NS-3, mas que não deu certo e foi decidido fazer a integração em uma versão mais antiga.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Z. Zhou, N. Accettura, R. Prévost, and P. Berthou, **“Lightweight synchronization to nb-iot enabled leo satellites through doppler prediction,”** in 2023 19th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), pp. 218–223, IEEE, 2023.
- [2] V. Mannoni, V. Berg, S. Cazalens, and P. Raveneau, **“Nb-iot for satellite communications: physical layer analysis and performance,”** in 2021 IEEE 32nd Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), pp. 1595–1600, IEEE, 2021.
- [3] Z. Qu, G. Zhang, H. Cao, and J. Xie, **“Leo satellite constellation for internet of things,”** IEEE access, vol. 5, pp. 18391–18401, 2017.
- [4] H. Chougrani, S. Kisseleff, W. A. Martins, and S. Chatzinotas, **“Nb-iot random access for nonterrestrial networks: Preamble detection and uplink synchronization,”** IEEE Internet of Things Journal, vol. 9, no. 16, pp. 14913–14927, 2021.
- [5] M.-G. Kim and H.-S. Jo, **“Problem and solution for nb-iot uplink in low earth orbit satellite communication,”** in 2022 International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC), pp. 1–3, IEEE, 2022.
- [6] M. J. M. Kiki, I. Iddi, and M. A. B. Olivero, **“Analysis of multiple access approaches on iot via leo satellite,”** in 2020 IEEE 11th International Conference on Software Engineering and Service Science (ICSESS), pp. 175–179, IEEE, 2020.