

Estação terrestre semi-automatizada com SatNOGS e TinyGS para recepção de dados de CubeSats em baixa órbita terrestre

RESUMO EXPANDIDO - Disciplina de TCC029009

Matheus Pires Salazar

Estudante do Curso de Engenharia de Telecomunicações

Ramon Mayor Martins

Professor orientador

Diego da Silva de Medeiros

Professor coorientador

Semestre 2025.1

Resumo- *Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma estação terrestre de baixo custo e semi-automatizada para capturar e processar dados que são transmitidos por satélites em Órbita Terrestre Baixa (LEO), com foco nos de pequeno porte CubeSats. A proposta se baseia nas redes de monitoramento SatNOGS e TinyGS utilizando como infraestrutura hardware de prototipagem Raspberry, Rádio Definido por Software (SDR) e antenas turnstiles Frequência Muito Alta (VHF) e Frequência Ultra Alta (UHF). A infraestrutura será acomodada no Instituto Federal de Santa Catarina campus São José (IFSC-SJ), buscando um fluxo entre estação e softwares dedicados para processamento dos sinais. A proposta prevê um sistema capaz de capturar dados enviados por satélites previamente selecionados, processando estes dados. Onde as informações serão tratadas e analisadas, permitindo assim a visualização e interpretação dos dados recebidos.*

Palavras-chave: Ground station; Software-defined radio; CubeSat; SatNOGS; TinyGS.

1 Introdução

Os satélites em LEO, como os CubeSats tem sido uma alternativa mais econômica de acesso ao espaço, pois utilizam componentes comerciais de baixo custo de desenvolvimento quando comparados com satélites convencionais (KHOUANE, BELBEKRI e BENMANSOUR (2023)). Ao mesmo tempo, a tecnologia SDR oferece uma solução para a diminuição de custos, substituindo funções de hardware presentes na infraestrutura. Projetos como SatNOGS e TinyGS aproveitam a reconfigurabilidade do SDR para oferecer clientes com decodificação embutida e fluxos de recepção prontos para uso, eliminando a necessidade inicial de desenvolver cadeias de processamento.

A recepção e tratamento de dados em estações terrestres que recebem sinais de satélites que atuam em LEO envolve uma cadeia de etapas. Onde primeiro captura o sinal de Rádio Frequência (RF) via SDR que passa por demodulação, encaminha para sincronização de quadros e posteriormente passa para decodificação dos protocolos (Boettcher, Butt e Klinkner (2016); Løfaldli (2016)). A integridade dos dados é feita pela correção de erros e pela compensação de Doppler, seguido da des-randomização que restabelece a ordem original dos pacotes (Boettcher, Butt e Klinkner (2016)). Há o fato de se ter desafio em automatizar o rastreamento orbital, devido às curtas janelas de comunicação em LEO para captura de sinal (PERALTA et al. (2018)).

Os principais desafios são, curta janela de visibilidade, variações na Relação Sinal Ruído (SNR) e Doppler, e sincronização de ferramentas. Satélites em LEO exigem agendamento automático, alinhando sua passagem com a estação de recepção (PERALTA et al. (2018)). As flutuações de SNR e o deslocamento Doppler requerem blocos de sincronização e correção para conseguirem manter a demodulação correta (Boettcher, Butt e Klinkner (2016)). Integrar ferramentas para rastreamento orbital como Gpredict aos clientes SatNOGS e TinyGS exige uma orquestração ordenada para sincronizar a antena e início da captura do sinal no momento da passagem do satélite (Aleshko, Roman et al. (2024)).

As estações terrestres com SDR para LEO vem evoluindo, mas ainda tem carência de informações para uma integração completa. Plataformas como a USRP e BladeRF viabilizam a utilização de protocolos abertos como AX.25 e os padrões espaciais definidos pelo Comitê Consultivo para Sistemas de Dados Espaciais (CCSDS) (KHOUANE, BELBEKRI e BENMANSOUR (2023); Summers et al. (2018)). Soluções como o SatNOGS executam internamente o processo de demodulação e decodificação, enquanto o TinyGS tem o foco na recepção de pacotes LoRa. Ambos os clientes aplicam correção de Doppler antes da decodificação em cenários de baixo SNR (Boettcher, Butt e Klinkner (2016)). A

ferramenta de rastreamento orbital como Gpredict automatiza o agendamento da passagem dos satélites (Aleshko, Roman et al. (2024)), mas ainda requer intervenção manual, limitando assim a escalabilidade (PERALTA et al. (2018)).

O crescimento acelerado dos CubeSats em LEO, aumentou a demanda por estações terrestres semi-automatizadas e de baixo custo. No entanto, as soluções atuais exigem processos manuais entre etapas como o rastreamento orbital e acionamento da recepção, o que pode causar perda de dados e principalmente demora no processo (Aleshko, Roman et al. (2024); PERALTA et al. (2018)). Este projeto propõe resolver esta limitação por meio de uma infraestrutura que integra os clientes SatNOGS e TinyGS a previsão da passagem dos satélites em LEO, permitindo agendamento e o início da recepção do sinal de forma semi-automatizada.

Este estudo propõe o desenvolvimento de uma estação terrestre semi-automatizada de baixo custo, utilizando cliente SatNOGS com Raspberry e SDR, cliente TinyGS, antenas turnstile VHF/UHF já instaladas para satélites em LEO. Primeiramente as antenas turnstile serão calibradas. Em seguida será feito a configuração e registro do cliente SatNOGS na sua rede colaborativa, assim como cliente TinyGS. A seleção de satélites será limitada com prioridade aos que possuem transmissões compatíveis com a infraestrutura do IFSC-SJ, onde testaremos a recepção de 3 a 5 satélites, coletando e documentando logs de sinal para cada passagem. O projeto não foca no controle ativo de antena ou transmissão para os satélites, mas sim na recepção, decodificação e análise de dados de telemetria.

Ao automatizar o agendamento e início da recepção, elimina-se assim a intervenção manual. Há um cenário de crescimento acelerado de satélites de pequeno porte, onde a solução oferece uma alternativa acessível com software gratuitos, com o intuito de ser reproduzível e com objetivo de facilitar o acesso e tratamento dos dados de satélites em LEO em instituições de ensino como o próprio IFSC-SJ ou a infraestruturas limitadas, com foco econômico no desenvolvimento.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver uma infraestrutura de baixo custo para satélites em LEO, integrando clientes SatNOGS e TinyGS, no IFSC-SJ.

1.1.2 Objetivos específicos

- Revisar e calibrar as antenas turnstile VHF/UHF já instaladas no IFSC-SJ;
- Configurar e registrar o SatNOGS Client com a Raspberry com SDR, cadastrando na rede SatNOGS;
- Configurar e registrar o TinyGS Client com LoRa, cadastrando na rede TinyGS;
- Fazer a análise e interpretação dos dados recebidos, através de métricas de telemetria.

2 Metodologia

Este projeto adotará uma abordagem qualitativa e quantitativa (Gil, 2002), sendo aplicada e experimental (Yin, 2018), focando no desenvolvimento e validação de um protótipo funcional de estação terrestre. O projeto seguirá as seguintes etapas.

- Inspeção e calibração das antenas turnstile VHF/UHF instaladas no IFSC-SJ;
- Revisão bibliográfica sobre SDR, TinyGS, SatNOGS e Gpredict;
- Configuração dos clientes SatNOGS client com Raspberry e SDR, e o TinyGS client, registrando cada estação em sua rede colaborativa;
- Seleção de 3 a 5 satélites LEO compatíveis com nossa infraestrutura, agendando suas passagem para coleta de dados;
- Análise dos dados recebidos para validação da integridade e utilização das informações que foram coletadas.

A validação será realizada através de métricas, onde inicialmente será selecionado de 3 a 5 CubeSats para fazer as análises de testes.

3 Resultados e Discussão

Ao final se espera obter duas estações terrestres semi-automatizada operacionais em suas redes colaborativas, sendo SatNOGS e TinyGS, capazes de receber sinais em VHF/UHF via SDR e pacotes Lora dos satélites em LEO. A validação ocorrerá através da recepção bem sucedida de transmissão de 3 a 5 satélites diferentes, demonstrando assim a viabilidade de uma solução de baixo custo para instituições de ensino como o próprio IFSC-SJ.

Referências

- Aleshko, Roman et al. Development of automated system for receiving and analysing telemetry data from small spacecrafts. *E3S Web Conf.*, v. 583, p. 04010, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202458304010>>.
- BOETTCHER, M. A.; BUTT, B. M.; KLINKNER, S. Low-cost approach for a software-defined radio based ground station receiver for ccstds standard compliant s-band satellite communications. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing, v. 152, n. 1, p. 012033, oct 2016. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/152/1/012033>>.
- KHOUANE, B.; BELBEKRI, N.; BENMANSOUR, J. E. An overview of software-defined radio technology in cubesat communications. *Algerian Journal of Signals and Systems*, v. 8, n. 2, p. 55–58, Dec. 2023. Disponível em: <<https://ajss.dz/index.php/ajss/article/view/189>>.
- LØFALDLI, A. *Design of ground station receiver for Kongsberg Satellite Services based on Software Defined Radio*. Dissertação (Master's thesis) — Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway, jun 2016. Advisors: Torbjørn Ekman, Kristian Jenssen, Roger Birkeland. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11250/2433735>>.
- PERALTA, D. J. M. et al. Satellite telemetry and image reception with software defined radio applied to space outreach projects in brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Academia Brasileira de Ciências, v. 90, n. 3, p. 3175–3184, Jul 2018. ISSN 0001-3765. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0001-3765201820170955>>.
- SUMMERS, T. et al. Cost effective, flexible ground architecture using software defined radio and gnu radio. In: *Proceedings of the Small Satellite Conference*. Utah State University, Logan, UT: [s.n.], 2018. (Vol. ALL2018–314). Disponível em: <<https://digitalcommons.usu.edu/smallsat/2018/all2018/314/>>.