

Relatório de Pesquisa

CubeSat Infrared: Comunicação Espacial por Luz Infravermelha

Autores: Vinício Luna Maciel; João Gabriel Gonçalves Oliveira Barros

Professor orientador: Herbert Bezerra Arrais

Instituição: E.E.M José Bezerra Menezes

Estado: Ceará

Contextualização:

Atualmente a comunicação espacial vem enfrentando obstáculos com a baixa taxa de transferência e alto custo de lançamento do sistema de transmissão por ondas de rádio, que para além de possuírem uma baixa frequência, possuem equipamentos pesados e volumosos que dificultam seu lançamento. Tal problema ocasiona quedas constantes nas transmissões da ISS, além de um alto tempo de espera para transmissão de simples arquivos.

Ademais, temos uma grande barreira entre os cientistas entusiastas e os satélites, onde arduamente, estes têm acesso aos dados majoritários ou à participação na construção do projeto. Este impasse desacelera o desenvolvimento científico geral da sociedade de entusiastas e autodidatas. Logo, criamos o projeto *CubeSat Infrared*, que visa a transmissão de dados por meio de luz infravermelha.

Objetivo Geral:

O projeto possui como objetivo realizar a experimentação da transferência de dados por luz infravermelha por razão de sua maior frequência em relação às ondas de rádio, podendo assim triplicar a taxa de transferência de dados, de maneira a agilizar missões espaciais ou interplanetárias. Além de incentivar o entusiasmo científico a partir da divulgação pública de todo o material e processo de construção do satélite, acelerando assim pesquisas científicas.

Objetivos específicos:

1. Realizar testes de transmissão de dados por luz infravermelha;
2. Analisar a taxa de transferência em comparação às ondas de rádio;
3. Incentivar o entusiasmo científico por meio da divulgação de material de construção do satélite.

Metodologia:

Para execução de nosso projeto utilizaremos de uma carcaça feita de termo plástico, tendo em vista seu alto nível de dureza, especificadamente o poliácido láctico. Juntamente, será utilizado um computador de bordo (*Raspberry Pi*) para processamento dos dados e interpretação geral dos sensores do satélite, atuando em conjunto com a grade de led's infravermelhos controlados por um módulo PWM. Tal computador de bordo possuirá um sistema operacional *Linux* de 32bits.

Como amostra de dados, fotos serão tiradas de uma câmera interna do satélite e enviadas para o receptor, conectado à um computador com sistema operacional *Windows*, que interpretará as imagens e verificará sua integridade, tal processo será repetido periodicamente.

Relevância do projeto:

Nosso projeto possui como relevância a maior taxa de transferência de dados quando comparado à sistemas de transmissão por meio de ondas de rádio. Ademais, o projeto sugerido também possui menor peso de lançamento e menor aparato requerido, logo tendo um valor baixo de lançamento e uma boa proporção custo-benefício, sendo fator chave para sucesso de uma missão interplanetária.

Impacto da pesquisa:

Como impactos sociais o entusiasmo científico e o incentivo à ciência são fatores principais quando considerados em um sistema de compartilhamento de dados de construção de um projeto. Ademais, pesquisas científicas que possam depender de dados os quais organizações privadas não divulgam podem ter suas pesquisas rapidamente evoluídas ao conseguir os dados de forma pública.

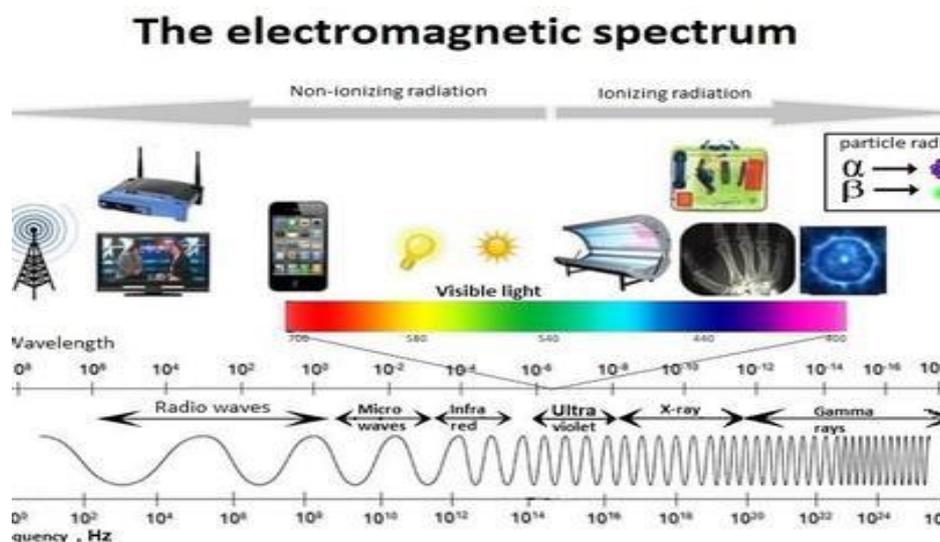
Bem como tal projeto também pode auxiliar comunidades carentes a terem acesso à internet, tendo em vista que tais satélites são de baixo custo e poderiam fornecer internet facilmente a qualquer comunidade que dispusesse de um dispositivo receptor, também não muito caro.

Pesquisa científica e escolha de materiais:

A transmissão de dados é o processo de codificar dados em um formato específico e enviar por meio de um formato binário através de pulsos eletromagnéticos, com a intenção de expressar dados por meio de “zeros” e “uns”. Tal sistema de transmissão necessita de uma modulação, isto é, um dispositivo atuador para modular o sinal na frequência e formato corretos.

O atual sistema de comunicação utilizados pelos satélites são as ondas de rádio ou as micro-ondas, a Nasa e outras organizações espaciais estabelecem como frequência máxima de transmissão de satélites no espaço 30GHz. Tal sistema utiliza de antenas de alta frequência para a transmissão. A atual velocidade média de satélites que orbitam a Terra segundo universidades e organizações de exploração espacial é de no máximo 120mb/s.

Tendo em vista que as ondas de rádio e as micro-ondas são utilizadas atualmente pelos satélites, devemos agora estabelecer uma relação entre a frequência dessas ondas e as demais frequências do grupo eletromagnético, a fim de descobrir possíveis candidatas a substituir o atual sistema. Segue gráfico abaixo:



Com base no gráfico acima podemos observar cada tipo de onda magnética e sua respectiva frequência. Podemos observar que ondas compostas por luz são na verdade apenas ondas eletromagnéticas em uma alta frequência, logo, sendo possível sua modulação e a transmissão de dados com as mesmas. Porém, o maior desafio é a modulação da onda no formato e frequência correta, o que gera uma maior demora no avanço científico na transmissão de dados.

Tendo em vista a difícil modulação de ondas de alta frequência, decidimos por utilizar a luz infra-vermelha como onda eletromagnética para transmissão de dados. Fatores como o uso histórico para transmissão de controles e sinais simples, além da maior disponibilidade de equipamentos de modulação, transmissão e recepção foram um ponto crucial para a escolha da luz infra-vermelha.

A luz infravermelha possui como frequência máxima 400THz, enquanto as micro-ondas utilizadas nos satélites possuem frequência máxima de 300GHz, uma diferença de mais de 1.000%. Embora a tecnologia para modulação na frequência de 400THz ainda seja desconhecida, a modulação da luz infravermelha torna-se mais fácil do que a de micro-ondas, tendo em vista que a transmissão de micro-ondas necessita de um grande sistema inversor, modulador e de antenas de alta frequência, enquanto o sistema de luz infravermelha utiliza apenas de um conjunto de led's e seu devido sistema modulador.

Para provar a maior velocidade de transferência de dados, podemos utilizar uma equação física de transferência de dados como a equação de Shannon representada ao lado: $R = B \times \log(1 + S/N)$. Onde: R = taxa de transferência de dados; B= Frequência; S= Potência do sinal e N = Ruído no campo. A proporção S/N diz respeito à relação da potência do sinal com o ruído, tal ruído trata-se da interferência de sinal por outros tipos de onda, gerando uma perda no sinal, fazendo com que ele tenha de se tornar mais potente para ser compreendido por um receptor. Para uma fórmula exata precisamos levar em consideração a sensibilidade do receptor, porém para fins teóricos a equação de Shannon é válida e pode ser utilizada.

Levando em consideração uma frequência máxima de 30Ghz para ondas eletromagnéticas e 300Ghz para ondas infravermelhas (estão abaixo de seu limite físico máximo por limitações de modulação) e uma proporção S/N de 10db, podemos chegar aos valores de 130,77mb/s e 1024mb/s. Gráfico montado abaixo:



Como protótipo para experimentação elaboraremos um CubeSat, que trata de um pequeno satélite em formato de cubo, comumente utilizado para captação e transmissão de dados no espaço a baixo custo. Para isso, iremos precisar de: um computador de bordo, dois kits transmissor/receptor, uma bateria interna, sistema de carga, painéis solares e um conjunto de led's infravermelhos. Como amostra de dado para transmissão, iremos utilizar uma câmera usb para captura de fotos e vídeos.

Computador de bordo:

Para computador de bordo necessitamos de conexões USB além de portas PWM, TXD e RXD para transmissão e recepção de sinais, a fim de modular o sinal e receber, além de decodificar e decodificar os dados. Logo, escolhemos por trabalhar com um Raspberry Pi 3 Model B, por sua versatilidade, baixo consumo e tensão, fácil acesso remoto e bom custo benefício. Por já termos um Raspberry Pi 3 de projetos anteriores, a compra de um novo não foi necessária.

Armazenamento:

Como armazenamento necessitamos de um Cartão SD, tendo em vista que é a única forma de armazenamento em que o Raspberry Pi consegue iniciar um sistema. O sistema mais pesado do Raspberry Pi possui 0,9gb, além de outros pacotes adicionais que provavelmente serão instalados para gerenciamento da transmissão. Além disso, vale ressaltar a velocidade mínima de 30mb/s para execução do sistema, do contrário é provável a presença de bug's ou falhas. Portanto, decidimos utilizar um cartão de memória de 16gb Classe "A" como armazenamento. Detalhes da compra abaixo:

Câmera:

Para a câmera, necessitamos de uma captura de imagem mínima de 640x480 pixels para transmissão com conexão USB. Por suas especificações simples e de fácil acesso, a equipe já possuía um modelo compatível e utilizou no projeto.

Transmissor e receptor:

Necessitamos de um conjunto de transmissor/receptor juntamente com um módulo de controle PWM para chaveamento dos led's e transmissão dos dados. Do contrário, um sistema de modulação própria pode levar muito tempo e esforço para aprimoramento. Por essas razões, escolhemos o modelo abaixo para cumprir esse papel. Tal modelo possui um conjunto de transmissor/receptor juntamente com um módulo de chaveamento, já com entradas para sinais TXD e RXD de um computador de bordo. Obs: o conjunto possui uma taxa de transferência de 9600bp/s. Detalhes da compra abaixo:



Decodificador remoto infravermelho 5v tzt, transmissor e receptor sem fio para arduino

R\$ 8,40 x2



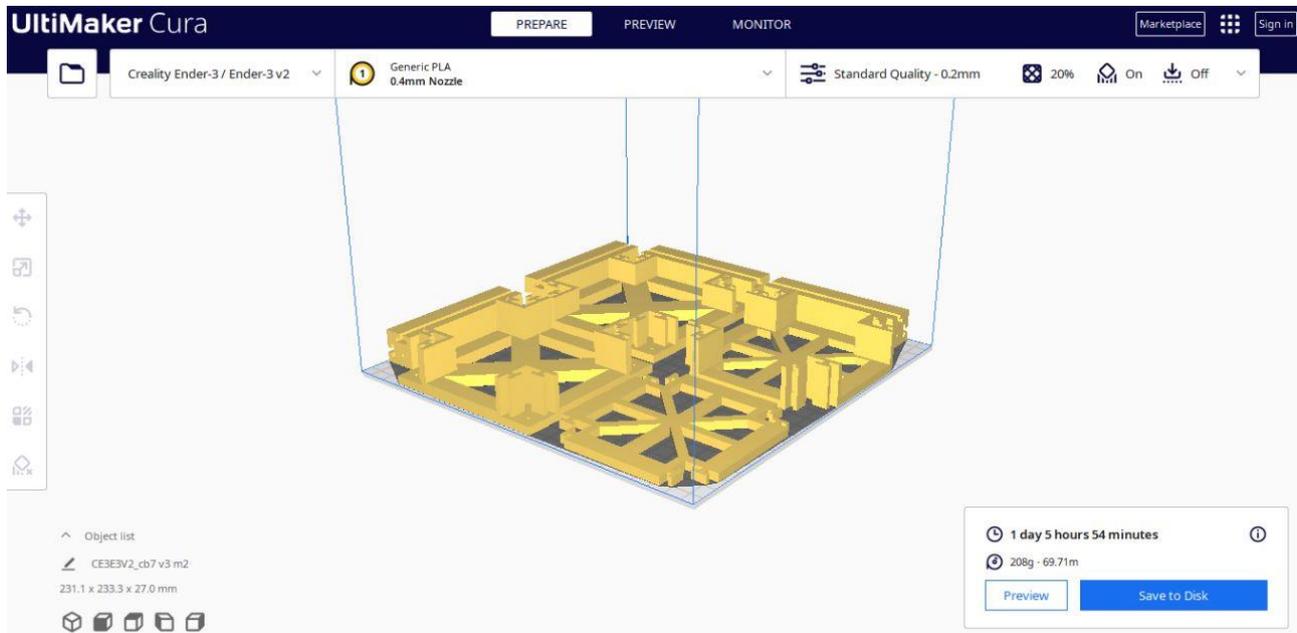
Adicionar ao Carrinho

Adicionar revisão adicional

Devolução/reembolso

Geração arquivo 3D chassis:

Para estrutura, desenvolvemos um chassis 3D com bandejas modulares e com estrutura em pilares travados por guias nas bandejas. Tal formato dá ao CubeSat flexibilidade e resistência ao mesmo tempo. O material escolhido para fabricação foi o PLA tendo em vista seu nível de dureza e resistência a impactos. O processo de fabricação foi realizado em impressão 3D no laboratório CoDe da UFCA. Foto do projeto abaixo:



Desenvolvimento código:

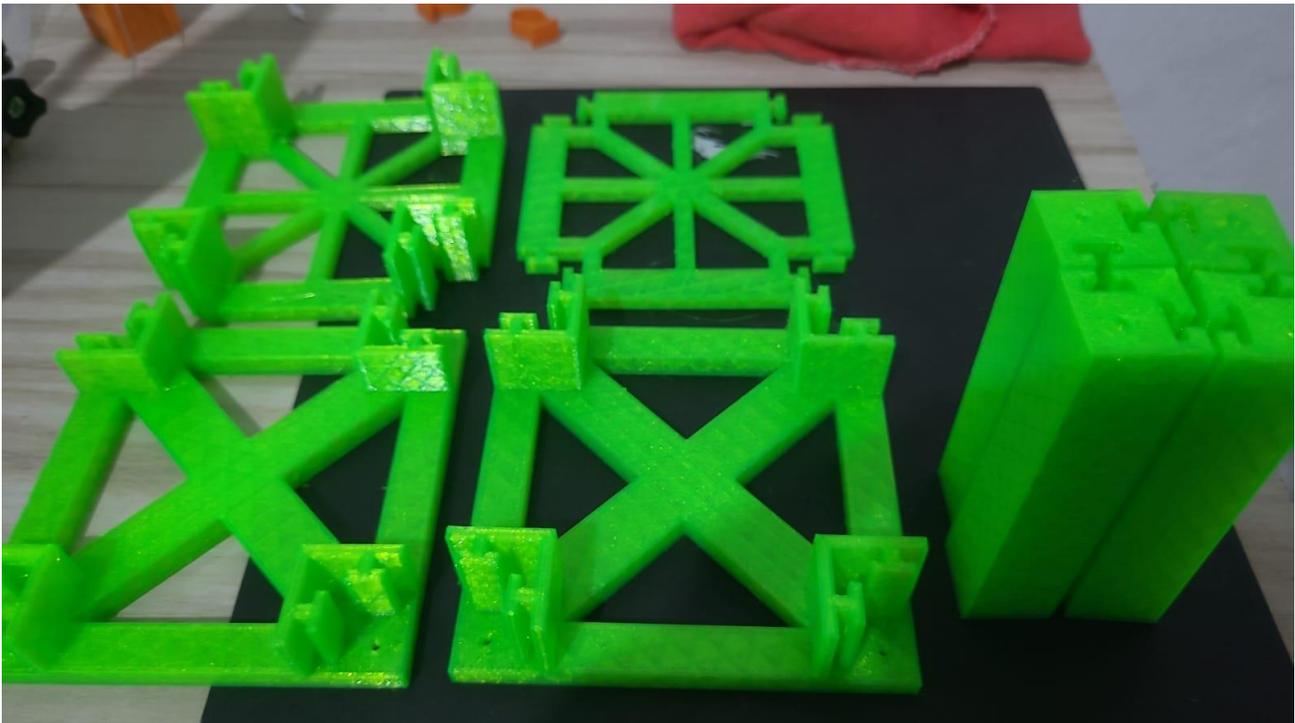
Para o desenvolvimento do código utilizamos a plataforma Chat GPT para auxiliar na correção de erros de sintaxe ou adição de livrerias específicas ao código. Como linguagem para a programação utilizamos o C# por sua alta versatilidade e facilidade de trabalhar com variáveis para transmissão de dados ou computação eletrônica em geral. Temos 2 códigos, um para o satélite e outro para a base; primeiramente temos de desenvolver um para que o outro possa se adequar às definições do outro.

Para o CubeSat, configuramos um aguardo de comando gatilho para execução de uma linha de comando, tal comando é nomeado como “avante”, em homenagem à expressão “Avante Guarda” utilizada durante o modernismo. A linha de comando ativada pelo gatilho tira uma foto utilizando a câmera USB na resolução de 640x480 pixels, logo após comprimindo o arquivo em formato .jpeg para transmitir em formato binário.

Para o receptor, utilizaremos de um dispositivo windows com um adaptador USB para Serial, com a intenção de conectar um conjunto transmissor/receptor ao adaptador. O código irá enviar um sinal de gatilho quando devidamente pedido, e logo após irá começar o processo de recepção dos dados enviados pelo CubeSat. Ao final da transmissão irá abrir o arquivo com o app padrão de fotos utilizado pelo dispositivo e a transmissão encerrará. O processo pode ser repetido quantas vezes quiser.

Montagem mecânica:

Para montagem mecânica utilizamos das peças impressas e dos devidos parafusos. Ao iniciar a montagem, percebemos a diferença de tamanho entre o guia da bandeja e o guia do pilar, os dois tinham tamanhos diferentes a ponto de não encaixar, pois projetamos a peça como encaixe perfeito entre as peças, isto é, a mesma medida, porém nos esquecemos da margem de erro da impressão. Embora não 100% seguro, é o suficiente para uma demonstração científica uma vez que este modelo não irá ser lançado. Foto do projeto impresso abaixo



Montagem eletrônica:

Iniciando a montagem eletrônica conectamos o transmissor/receptor aos pinos gnd; 5v; txd e rxd do raspberry pi, a modo de realizar a comunicação para transmissão de dados. Além disso, montamos um pack de baterias com 2 células de 3,7v de 2200mah de Li-Ion para alimentação do raspberry. Juntamente do pack conectamos um controlador BMS para carga e descarga e um step-down para controle da tensão enviada ao raspberry (5v).

Experimentação:

Ao iniciar o código no raspberry pi e ativar o gatilho no dispositivo windows, o processo de transmissão inicia e leva cerca de 30 segundos para transmitir uma imagem de 28kb tirada na câmera do CubeSat. Tendo isso em vista, podemos afirmar uma velocidade média de 9300bp/s.

A foto chegou ao computador em perfeito estado e sem corrupção de dados. A distância máxima em que a transmissão não foi interrompida ou corrompida foi de 10m. Esses valores podem ser alterados facilmente quando alterados de escala, necessita-se entender da intenção da demonstração da transferência. Valores maiores podem ser facilmente

alcançados utilizando uma melhor modulagem e um maior número de led's com menor tempo de respostas.

Análise de resultados:

A equação de Shannon aponta uma grande diferença de taxa de transferência de dados, com a luz infravermelha possuindo 10 vezes mais velocidade de transferência do que as ondas de rádio e micro-ondas. Ademais, o protótipo para transmissão de dados saiu-se extremamente bem e conseguiu transmitir os dados sem corrupção ou erros durante a transmissão, o que prova a possibilidade de transmissão de dados por infravermelho.

Conclusão:

O projeto sugerido provou sua teoria por meio de seu protótipo e pela equação de Shannon, o que lhe dá inúmeras vantagens em relação a outros sistemas de comunicação, como a maior taxa de transferência, menor peso e aparato necessário, menor custo de lançamento e de produção.

Tais fatores podem realizar sérios impactos na indústria aeroespacial e tal comunicação pode ser um fator crucial para a colonização de outros planetas, além do maior incentivo ao entusiasmo e a aceleração de pesquisas científicas do âmbito.

Bibliografia:

MANNING, C. Electromagnetic Spectrum. Disponível em: <https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/spectrum/txt_electromagnetic_spectrum.html>. Acesso em: 4 ago. 2023.

KUKSOV, I. Internet in space: Is there Net on Mars? Disponível em: <<https://www.kaspersky.com/blog/internet-in-space/28267/>>. Acesso em: 4 ago. 2023.

ARISE, L. Satellite Frequency Bands: L, S, C, X, Ku, Ka-band – UPSC. Disponível em: <<https://lotusarise.com/satellite-frequency-bands-upsc/>>. Acesso em: 4 ago. 2023.