



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO E AUTOMAÇÃO  
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

# **ANÁLISE DA VIABILIDADE DO USO DE XBEE PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE UMA REDE MULTI VANTS**

**Filipe Viana Monteiro**

Orientador: Prof. Dr. Pablo Javier Alsina

Natal/RN  
Dezembro de 2016

# **Análise da Viabilidade do Uso de Xbee para a Implementação de um Rede Multi VANTs**

**Filipe Viana Monteiro**

Orientador: Prof. Dr. Pablo Javier Alsina

**Monografia** apresentada à Banca Examinadora do Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia de Computação, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro de Computação.

Natal/RN  
Dezembro de 2016

*Aos meus pais, Américo Monteiro  
Filho e Rosalba Viana Monteiro, que  
com todos os esforços, puderam me  
proporcionar a melhor educação  
possível.*

---

# Agradecimientos

---

A

ser

escrito

---

# Resumo

---

Esse trabalho é complementar ao desenvolvimento de uma arquitetura de rede e estratégia de busca a ser implementada no projeto SPACEVANT realizado pelo Centro de Lançamento da Barreira do Inferno (CLBI) em parceria com a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Aqui serão discutidos os requisitos que uma rede multi VANTs deve prover, em especial no contexto do projeto, e a viabilidade de implementar essa rede utilizando tecnologia XBee.

**Palavras-chave:** Rede de Comunicação; VANT; Rede Multi VANTs; Estratégia de Busca; Xbee.

---

# Abstract

---

This work is complementary to the development of a network architecture and a search strategy to be implemented on the project SPACEVANT realized by the Barreira do Inferno Launch Center (CLBI) in partnership with Rio Grande do Norte Federal University (UFRN). Here will be discussed the requirements of a Multi UAVs network, specially on the context of the project, and the viability to implement such network using Xbee technology.

**Keywords:** Communication Network; UAV; Multi UAVs Network; Search Strategy; Xbee.

---

# Sumário

---

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Objetivos . . . . .	2
1.2	Estrutura do Trabalho . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Projeto SpaceVANT</b>	<b>3</b>
2.1	Solução Atual . . . . .	3
2.2	Objetivo do Projeto . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Características de um Rede Multi VANTs</b>	<b>5</b>
3.1	Escalabilidade . . . . .	5
3.2	Capacidade de Sobrevivência . . . . .	6
3.3	Velocidade da Missão . . . . .	6
3.4	Complexidade do Controle . . . . .	7
3.5	Economia de Energia . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Estratégia de Varredura</b>	<b>8</b>
4.1	Varredura sem Divisão em Subáreas . . . . .	9
4.2	Varredura com Divisão em Subáreas . . . . .	10
<b>5</b>	<b>Xbee e o protocolo ZigBee</b>	<b>11</b>
<b>6</b>	<b>Procedimento Experimental</b>	<b>12</b>
<b>7</b>	<b>Resultados Experimentais</b>	<b>13</b>
<b>8</b>	<b>Conclusão</b>	<b>14</b>
	<b>Referências bibliográficas</b>	<b>15</b>

---

# Capítulo 1

## Introdução

---

A utilização de veículos não tripulados já é bastante evidente em aplicações tanto civis quanto militares. Podem-se encontrar veículos dessa categoria substituindo a presença humana em situações onde há risco a integridade física ou quando o acesso é simplesmente impossível [Whitehead e Hugenholtz 2014]. Dentre os veículos não tripulados, temos a categoria de veículos aéreos não tripulados (VANTs) que são usados largamente para realização de filmagens aérea a baixo custo. Com o investimento de algumas centenas de dólares, qualquer pessoa pode começar a produzir imagens aéreas utilizando VANTs comerciais. O mercado está repleto de modelos comerciais disponíveis para o público em geral, como por exemplo os quadricópteros fabricados pela DJI®, o recém anunciado Karma fabricado pela GoPro®, entre outros.

As aplicações para veículos aéreos não tripulados não se restringe ao uso civil ou para gravação de imagens aéreas, esta plataforma já vem sendo utilizada também em aplicações militares. Ao aliar o poder da plataforma em questão com outras tecnologias, como por exemplo o processamento digital de imagens, problemas mais complexos podem ser resolvidos.

Um problema que pode ser solucionado com a utilização de VANTs dotados de ferramentas para processamento digital de imagem seria a identificação de embarcações não autorizadas em área de impacto de foguetes, problema esse relevante ao Centro de Lançamento Barreira do Inferno (CLBI) localizada em Natal no Rio Grande do Norte.

Em parceria com a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), através do projeto de pesquisa SPACEVANT coordenado pelo professor Dr. Pablo Javier Alsina, o CLBI vem desenvolvendo uma solução, incluindo software e hardware, para a realização da verificação da aérea de impacto de foguetes de forma autónoma utilizando VANTs.



## 1.1 Objetivos

Como parte do desenvolvimento dessa solução, esse trabalho tem por objetivo validar as especificações técnicas do transmissor XBEE PRO S3 900HP adquirido para a implementação da rede de comunicação e a viabilidade da utilização desse tipo de equipamento no contexto de uma rede multi VANT.

A fim de realizar essa validação, foram realizados teste de força de sinal e taxa de transferência de pacotes em uma rede *mesh/ad hoc*, implementada por módulos XBee PRO S3 900HP, usando quadrrrotores Phantom 3 do modelo Standard fabricados pela DJI® para variar a distância entre os pontos da rede e, posteriormente, verificar os efeitos do distanciamento nos parâmetros estudados.

## 1.2 Estrutura do Trabalho

Após este capítulo introdutório, é apresentada uma breve descrição do projeto SpaceVANT a fim de familiarizar o leitor com o contexto desse trabalho. Em seguida, no capítulo 3, são discutidas as características das redes multi VANTs.

A estratégia de varredura de área desenvolvida pelo mestrando Maurício Rabello para o projeto é apresentada no capítulo 4.

No capítulo 5, são apresentados o módulo Xbee adquirido pelo projeto para a implementação da rede, bem como o protocolo ZigBee.

Em seguida, o procedimento experimental desenvolvido, bem como os equipamentos utilizados para a sua realização, são apresentados no capítulo 6.

Por fim temos a discussão dos resultados experimentais e a conclusão do trabalho nos capítulos 7 e 8, respectivamente.

---

## Capítulo 2

# Projeto SpaceVANT

---

O projeto SpaceVANT é um projeto pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), alocado no Departamento de Engenharia da Computação e Automação, em parceria com o Centro de Lançamento Barreira do Inferno (CLBI). O projeto tem por objetivo tornar o processo de verificação da área de impacto de foguetes lançados pelo CLBI mais eficiente tanto em relação ao tempo gasto quanto ao custo financeiro [Everaerts e others 2008].

### 2.1 Solução Atual

Atualmente, a área de impacto de um foguete a ser lançado é vistoriada com o auxílio de um avião tripulado que sobrevoa a área em busca de embarcações não autorizadas. Somente quando o avião sobrevoa toda a região e certifica que nenhuma embarcação se encontra no local, só então o lançamento poderá ser autorizado.

A solução empregada no momento possui alguns pontos negativos, primeiramente, o custo com os aviões que realizarão a operação de varredura, bem como o custo de manutenção dos mesmos, é bastante elevado quando comparado com o custo de aquisição e manutenção de VANTs. Além disso, a depender do tamanho da área a ser vistoriada, o emprego de mais de um avião pode ser necessário para garantir que não haverá nenhuma embarcação não autorizada no período de tempo determinado pela missão, dessa forma, aumentando ainda mais o custo da operação.

### 2.2 Objetivo do Projeto

Visando, então, solucionar o problema apresentado de forma mais eficaz, o projeto SpaceVANT visa desenvolver sistema de VANTs autônomos que irão realizar a varredura da área de impacto que será entrada do sistema supervisorio da solução.



Figura 2.1: Aeronave modelo Penguin.

O produto final do projeto incluirá: um sistema supervisorio ou estação base, aeronaves autônomas do modelo *Penguin* (Fig 2.1) dotadas de computador e câmera fotográfica embarcados, sistema de processamento de imagens e, por fim, uma rede de comunicação que conectará todas as aeronaves e a estação base.

Para a realização da missão de varredura serão necessários algumas entradas a estação base, sendo elas, a quantidade de aeronaves a serem empregadas na missão, tempo de duração da missão, área a ser varrida e estratégia de varredura a ser utilizada, estratégias essas que serão apresentadas no Cap. 4.

Quando fornecidas todas as entradas corretamente, as rotas de voo serão definidas e carregadas nos VANTs e a missão terá início. O progresso da missão poderá ser acompanhada através da estação base e caso alguma embarcação seja identificada um alerta será lançado pela rede até chegar a estação base visível ao operador da missão. Esse alerta será composto pela imagem da possível embarcação identificada pelo sistema, a localização geográfica do objeto e a hora na qual ele foi identificado.

Dado o contexto em que esse trabalho se encontra e objetivo do projeto SpaceVANT, as características de uma rede multi VANTs para a aplicação serão discutidas a seguir.

---

## Capítulo 3

# Características de um Rede Multi VANTs

---

As redes multi VANTs são uma evolução das redes formadas por apenas um VANT e a base de controle, onde toda a troca de informações é realizada através de um *link* entre as duas partes do sistema e caso esse *link* fosse quebrado por algum motivo toda a rede era desfeita. A rede multi VANTs, então, com intuito de aumentar o alcance e a confiabilidade da rede através da adição de novos nós.

[Gupta et al. 2015] apresenta algumas das características de uma rede multi VANTs comparando-as a solução de um único VANT, sendo elas:

- Escalabilidade
- Capacidade de Sobrevivência
- Velocidade da Missão
- Complexidade do Controle
- Economia de Energia

### 3.1 Escalabilidade

Por definição uma rede multi VANTs é uma versão escalada da solução composta por VANT mais base de controle. Dessa forma, a adição de nós se torna uma operação comum a uma rede multi VANTs tornando-o uma solução escalável que pode variar o tamanho e, consequentemente, o alcance da rede dada as necessidades específicas da missão.

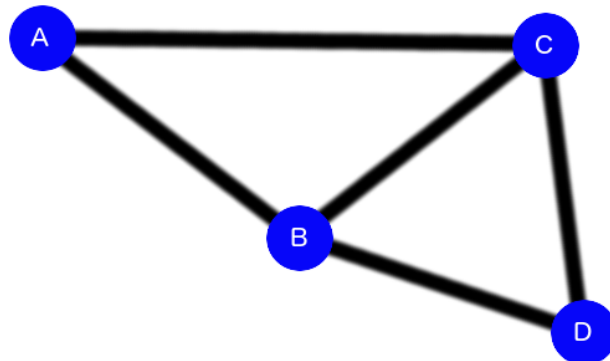


Figura 3.1: Esquema rede multi VANTS com 4 nós.

## 3.2 Capacidade de Sobrevivência

Como mencionado anteriormente, na solução formada por VANT mais base de controle, a rede é composta por apenas um *link* e caso esse seja quebrado a comunicação entre os nós dessa rede será perdida. No entanto, dado que uma rede multi VANTS será formada múltiplos nós e *links*, em caso da perda de um nó a rede pode se reorganizar e garantir a sobrevivência da rede como um todo.

Por exemplo, em uma rede composta por quatro nós em topologia *mesh* como mostra a fig. 3.1, no caso de falha do nó B, a comunicação entre os nós entre os nós A e D poderá ser feita através do nó C, garantindo assim a sobrevivência da rede.

## 3.3 Velocidade da Missão

A velocidade de realização de uma determinada missão será proporcional ao tamanho da rede multi VANT, quanto maior a quantidade de VANTS em uma determinada rede a ser utilizada para executar uma missão de varredura de área, menor será o tempo da missão. Por outro lado, a adição de um nó a uma rede resultará no aumento do custo da missão. Dessa forma, é importante analisar os benefícios do aumento de uma rede multi VANTS do ponto de vista financeiro.

### 3.4 Complexidade do Controle

A complexidade do controle de uma rede composta por apenas um VANT e uma base de controle é baixa quando comparado ao cenário de uma rede multi VANTS. Quanto maior a quantidade de nós em uma rede maior será o custo computacional para controlar os nós e determinar os caminhos para realização da comunicação entre eles.

Outro ponto que aumente ainda mais essa complexidade é a frequente mudança de topologia da rede, seja causada pela movimentação rápida dos nós, que se dá nas três dimensões, ou pela perda de nós devido a problemas de funcionamento ou fim da carga da bateria de alimenta o VANT.

### 3.5 Economia de Energia

Como VANTS possuem fonte de alimentação limitada, é importante garantir que rede funcione da forma mais eficiente possível quanto ao consumo de energia, de tal forma que os nós possam permanecer ativos na rede pelo máximo de tempo possível. Caso a rede de comunicação consuma muita energia dos VANTS, será necessário a substituição de nós durante a execução de uma missão o que, conseqüentemente, aumentará o tempo necessário para a realização da mesma.

As características discutidas nessa sessão servirão de base para produção do protocolo de testes e, por fim, desenvolvimento da arquitetura de rede a ser implementada futuramente.

---

## Capítulo 4

### Estratégia de Varredura

---

Quando se utiliza apenas uma aeronave para realizar a varredura de uma área de impacto em busca de possíveis embarcações não autorizadas, pode-se utilizar de diferentes estratégias de voo, por exemplo, o método de varredura em espiral ou o método de varredura vai e volta [Öst 2012].

Nesse primeiro método, a trajetória de voo é iniciada na extremidade da região e a aeronave percorrerá a área em espiral até o centro como mostra a figura 4.1.

O segundo método realiza a varredura em linhas realizando curvas de 180 graus ao atingir a extremidade da área como mostra a figura 4.2.

Em um cenário onde mais de um VANT será utilizado para a varredura de um área, há duas maneiras de acelerar a realização da missão, sendo elas realizar a inspeção com ou sem divisão em subárea.

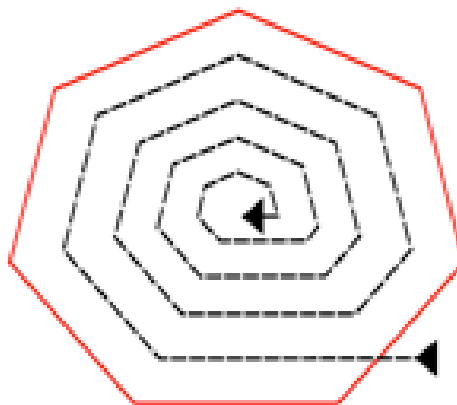


Figura 4.1: Método de Busca em Espiral.

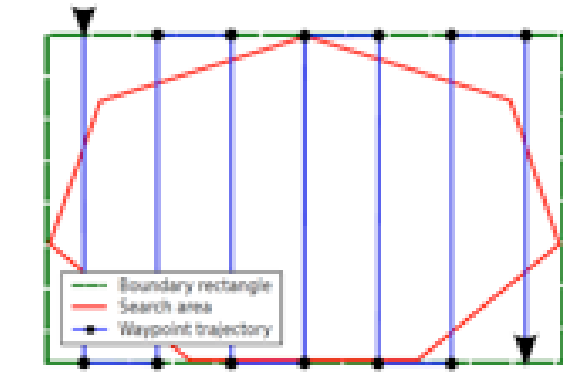


Figura 4.2: Método de Busca Vai e Volta.

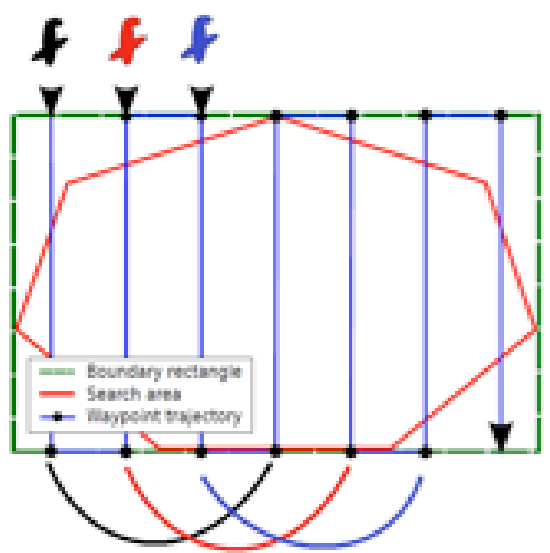


Figura 4.3: Varredura Vai e Volta sem Subdivisão de Área.

## 4.1 Varredura sem Divisão em Subáreas

Uma maneira de tomar proveito de uma rede multi VANTs para a varredura da área de impacto de foguetes seria realizar a missão na área por completo mantendo os VANTs voando a uma mesma velocidade e espaçados igualmente realizando o mesmo percurso, como mostra a figura 4.3. Ambos velocidade e distância entre VANTs será relacionada ao ângulo de abertura da lente da câmera utilizada, a velocidade do processamento de imagem, altura e velocidade de voo.

A utilização da estratégia sem divisão em subárea de varredura não há um considerável aumento de alcance da rede, pois os nós estarão sempre próximos. Por outro lado, em caso de perda de um nós o processo de reorganização é simples, bastando apenas aproximar os



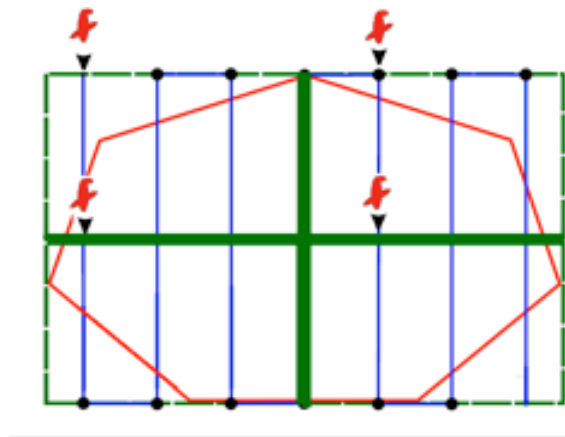


Figura 4.4: Varredura Vai e Volta com Subdivisão de Área.

nós restantes.

Uma decisão que pode ser tomada para aumentar o alcance da rede seria utilizar um nó de longo alcance e múltiplos nós de pequeno alcance, deixando a comunicação com a estação base a cargo do nó de maior alcance que funcionaria como *hub* para os demais nós. Um ponto negativo dessa solução seria que caso o nó *hub* perca conexão, os demais nós da rede também perderiam a conexão com a estação base.

## 4.2 Varredura com Divisão em Subáreas

Uma outra estratégia que poderia ser tomada seria dividir a área de varredura em subáreas de mesmo tamanho e utilizar os VANTs disponíveis para realizar a varredura de uma dessas subáreas como mostra a figura 4.4. Nessa solução teríamos um aumento significativo de alcance da rede, de modo que os pacotes serão transportados de nó em nó até chegar a estação base ou nó de destino.

Em caso de perda de um dos nós da rede, a decisão a ser tomada para continuar a missão e garantir a varredura da área por completa não é tão trivial quando na estratégia de varredura sem divisão em subáreas, sendo necessário dividir novamente a área levando em consideração a área já varrida, como sugere [Marro e Gonçalves 2013].

Ambas as estratégias de varredura apresentadas nessa sessão possuem seus pontos negativos e positivos e decisão de qual deles deve ser utilizada será decisão do operador do sistema de varredura. Na sessão a seguir serão discutidas as especificações técnicas do módulo Xbee adquirido pelo projeto.

---

## **Capítulo 5**

### **Xbee e o protocolo ZigBee**

---

---

## **Capítulo 6**

### **Procedimento Experimental**

---

---

## **Capítulo 7**

# **Resultados Experimentais**

---

---

## Capítulo 8

## Conclusão

---

---

## Referências Bibliográficas

---

- Everaerts, Jurgen et al. [2008], ‘The use of unmanned aerial vehicles (uavs) for remote sensing and mapping’, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* **37**, 1187–1192.
- Gupta, Lav, Raj Jain e Gabor Vaszkun [2015], ‘Survey of important issues in uav communication networks’, *IEEE Communications Surveys & Tutorials* **18**(2), 1123–1152.
- Marro, Alessandro Assi e Luiz Marcos Garcia Gonçalves [2013], A path planning method for multi-uav system, *em* ‘Robotics Symposium and Competition (LARS/LARC), 2013 Latin American’, IEEE, pp. 129–135.
- Öst, Gustav [2012], ‘Search path generation with uav applications using approximate convex decomposition’.
- Whitehead, Ken e Chris H Hugenholtz [2014], ‘Remote sensing of the environment with small unmanned aircraft systems (uass), part 1: A review of progress and challenges 1’, *Journal of Unmanned Vehicle Systems* **2**(3), 69–85.