

## SISTEMA DE APONTAMENTO DE ANTENA PARA COLETA DE DADOS DE TELEMETRIA RETROALIMENTADO POR GPS

**Paulo Sérgio Ferreira<sup>1</sup>, João Nilo Rodrigues<sup>2</sup>,  
Landulfo Silveira Junior<sup>3</sup>, Luis Filipe Wiltgen Barbosa<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>UNIVAP/FEAU, Av. Shishima Hifumi, 2911 - São José dos Campos – SP, psferreira@scibyte.com

<sup>2</sup>Avibras/GENS, Antiga estrada do Varadouro, Zona rural – Jacareí – SP, electronica@avibras.com

<sup>3</sup>UNIVAP/IP&D, Av. Shishima Hifumi, 2911 - São José dos Campos – SP, landulfo@univap.br

<sup>4</sup>UNIVAP/FEAU/LRA, Av. Shishima Hifumi, 2911 - São José dos Campos – SP, wiltgen@univap.br

**Resumo** - Este artigo apresenta um estudo de viabilidade para desenvolvimento de um sistema de apontamento de antenas para rastreamento de sondas e/ou veículos aéreos não tripulados - VANT. Para estudo do caso, foi projetado e construído um protótipo de engenharia simplificado, tipo Pan-Tilt, utilizando transceptores wireless 802.15-4 ZigBee, na faixa de 2,4MHz e um GPS, simulando assim, em tempo real, o link de dados entre o alvo e a estação de solo. A utilização de sistemas de apontamento busca reduzir o consumo de potência necessária para transmissão dos dados, reduzindo-se assim os tamanhos e pesos dos transceptores embarcados.

**Palavras-chave:** VANT, GPS, ZigBee, telemetria, apontamento, microcontrolador

**Área do Conhecimento:** III Engenharias

### Introdução

A otimização de sistemas embarcados de telemetria, com relação aos quesitos peso e volume, remonta da necessidade de que os dispositivos de coleta e transmissão de sinais não concorram, no payload disponível nas aeronaves, com sensores ou outras cargas úteis ao experimento. Como a tecnologia para a fabricação de baterias ainda possui uma relação energia/massa desfavorável, em aplicações embarcadas o consumo reduzido do sistema de transmissão de dados é um fator crítico para o desempenho do conjunto.

A utilização de antenas com alta diretividade, associadas a um sistema de apontamento ou rastreamento apresentam um desempenho superior quando comparadas a soluções onde se empregam antenas isotrópicas, reduzindo-se assim a demanda de potência necessária na fonte transmissora com conseqüente redução no consumo de energia. A diretividade de uma antena é definida como a relação de  $U_m$  para  $U_0$ , no qual o parâmetro  $U_m$  representa a intensidade de radiação máxima (watt) por radiano quadrado da fonte que está sendo considerada, e o parâmetro  $U_0$  representa a intensidade de radiação de uma antena isotrópica irradiando a mesma potência (KRAUSS,1983). Desta forma, pode-se escrever:

$$D = \frac{U_m}{U_0} \quad (01)$$

onde  $D$  é a diretividade.

O sistema de apontamento proposto utiliza dados das coordenadas geodésicas geradas por um GPS presente no Alvo e incluídas no pacote de dados transmitido a Estação de Solo, conforme ilustrado no diagrama em blocos da Figura 1. Uma vez recebidos e decodificados, os dados de coordenadas são processados e referenciados à posição atual da antena e através de algoritmos específicos, comandos são gerados para correção do apontamento do sistema, antecipando a provável posição do Alvo. Uma calibração inicial do apontamento se faz necessário e informa ao sistema a orientação inicial. O desvio com relação ao norte magnético da Terra ou uma referência visual com coordenadas conhecidas atenderiam esta necessidade.

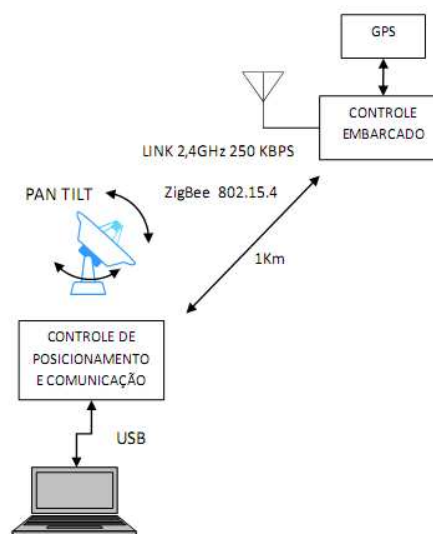


Figura 1 – Diagrama em blocos do sistema

A precisão de apontamento necessária para a antena da estação de solo não é um parâmetro crítico nesta aplicação. A distância mínima do alvo à estação em relação à abertura do lóbulo principal do diagrama de irradiação da antena reduz a sensibilidade do sistema para este erro não impactando significativamente na potência do sinal recebido, conforme pode ser percebido na Figura 2 (VOLAKIS, 2007).

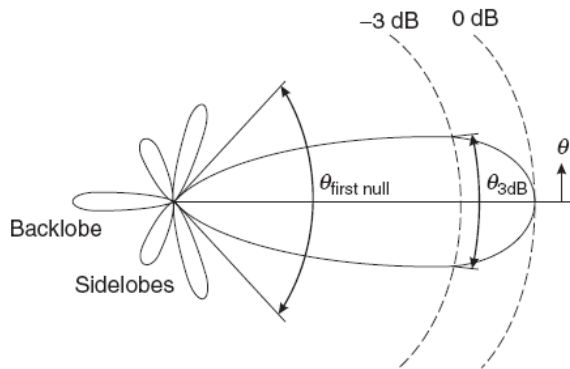


Figura 2 – Diagrama de irradiação da estação

O sistema de coordenadas cartesianas utilizado no GPS (USNO, 2008) é chamado *Earth-Center, Earth-Fixed* ou *ECEF*. O *ECEF* utiliza coordenadas tridimensionais *XYZ*, dadas em metros, para descrever a localização do usuário ou dos satélites da constelação.

O termo *Earth-Center* vem do fato da origem dos eixos (0,0,0) estar localizada no centro gravitacional do planeta, este determinado após anos rastreando as trajetórias dos satélites em órbita. O termo *Earth-Fixed* implica que os eixos estão fixados no planeta, ou seja, rotacionam com o mesmo, sendo que o eixo *Z* aponta para o pólo norte e os eixos *X* e *Y* definem o plano equatorial, conforme ilustrado na Figura 3.

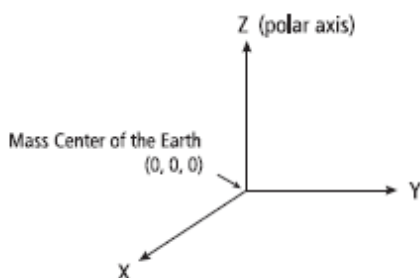
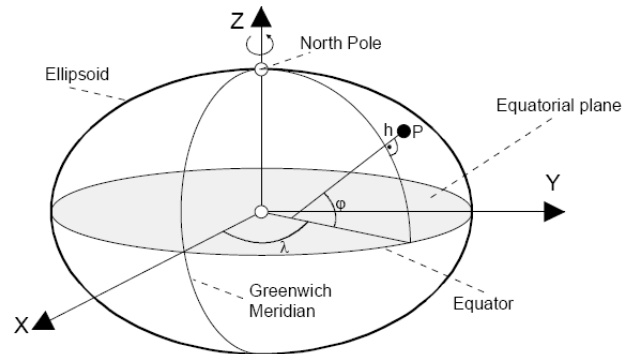


Figura 3 – Sistema de coordenadas *ECEF*

Por causa de a Terra possuir um formato complexo, torna-se necessário determinar um modelo que represente sua superfície e que nos garanta certa precisão.

O uso de uma elipsóide como modelo de superfície nos permite a conversão das coordenadas *ECEF* para um sistema de

coordenadas geodésico mais utilizado, o *LLA* - Latitude, Longitude e Altitude (ZOGG, 2001). A referência elipsoidal pode ser descrita por uma série de parâmetros que definem o seu formato, como o semi-eixo maior (*a*), o semi-eixo menor (*b*), a primeira excentricidade (*e*) e a segunda excentricidade (*e'*), conforme mostrado na Figura 4.



Parâmetros WGS84

$$a = 6378137$$

$$b = a(1 - f)$$

$$= 6356752,31424518$$

$$f = \frac{1}{298,257223563}$$

$$e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}}$$

$$e' = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{b^2}}$$

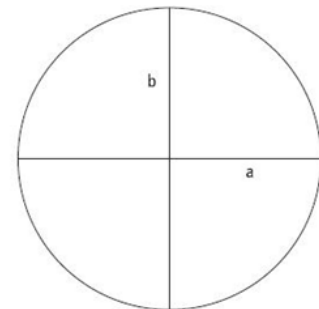


Figura 4 – Parâmetros do elipsóide

Para aplicações globais, a referência geodésica, ou datum, usada para aplicações *GPS* é o *WGS84* - *World Geodetic System 1984*. Este elipsóide tem sua origem coincidente com a origem das coordenadas *ECEF*, sendo que seu eixo *X* atravessa o meridiano de *Greenwich*, onde a longitude é igual a zero e o plano *XY* equivale ao plano equatorial, onde a latitude é igual a zero.

Sendo que a altitude é descrita como a distância perpendicular à superfície do elipsóide.

### Desenvolvimento do Sistema de Apontamento

Para demonstrar os algoritmos de correção de apontamento, um modelo de engenharia foi projetado para uma velocidade máxima do alvo e com uma distância mínima de operação entre este e a Estação Base conforme descrito a seguir e apresentado na Figura 5.

$$\text{Velocidade máxima do Alvo } (V_T) = 139 \text{ m/s}$$

$$\text{Distância mínima de operação } (L_{min}) = 100 \text{ m}$$

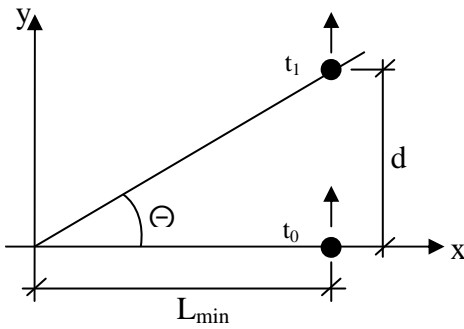


Figura 5 – Diagrama de deslocamento do Alvo

$$\Delta t = t_1 - t_0 = 1 \text{ s}$$

$$V_T = 139 \text{ m/s}$$

$$d = (t_1 - t_0) \times V_T = 139 \text{ m}$$

$$\tan \theta = d/L_{\min} = \frac{139}{100} = 1,39$$

$$\theta = 54,3^\circ \text{ ou } 0,947 \text{ rad}$$

no qual  $d$  é a distância percorrida pelo alvo em 1 s  
 $\theta$  é o ângulo de apontamento da antena em  $t = 1$  s

Velocidade angular Máxima ( $V_\theta$ )

$$V_\theta = \Delta\theta/\Delta t = 0,947/1$$

$$V_\theta = 0,947 \text{ rad/s} \quad (02)$$

O sistema tem que ser capaz de rotacionar o mecanismo de apontamento com uma velocidade angular de 0,947 rad/s.

Supondo que a antena da Figura 6 tenha uma distância do centro de massa - CG com relação ao eixo de rotação da mesma de no máximo  $15 \times 10^{-3}$  m e seu peso de até 0,5 kg, conforme ilustrado na Figura 6 tem-se:

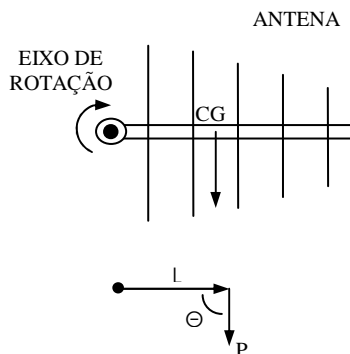


Figura 6 – Momento Estático

$M = L \times P$  Momento estático no eixo de rotação

$$M = 15 \times 10^{-3} \times 0,5$$

$$M = 7,5 \times 10^{-3} \text{ kg.m} \quad (03)$$

Para atender a solicitação de velocidade angular e momento, foram adquiridos os servomotores *HS-755HB* da Hitech.

Para o projeto mecânico do sistema de apontamento, utilizou-se a tecnologia CAD (Alibre). Na fabricação das peças utilizou-se alumínio, dando ao conjunto a leveza necessária, minimizando sua inércia. Na Figura 7 podem ser vistos os parâmetros construtivos do dispositivo de apontamento de telemetria.

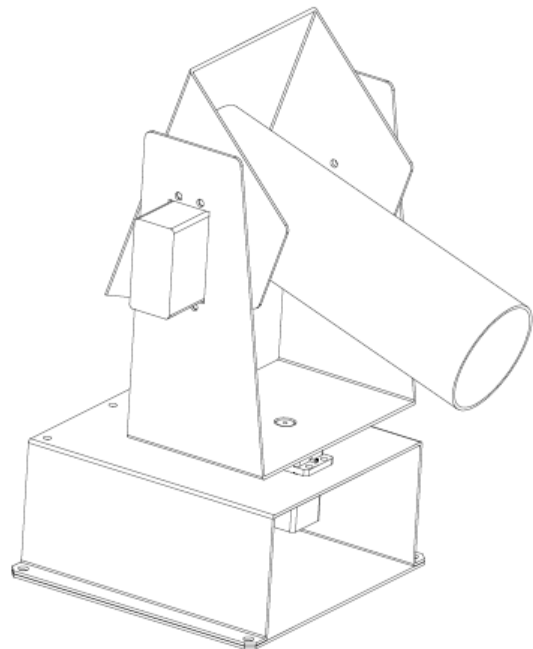


Figura 7 – Sistema de posicionamento PAN&TILT

O sistema permite uma movimentação de  $\pm 90^\circ$  na horizontal e  $-45^\circ$  à  $+90^\circ$  na vertical, atendendo plenamente a solicitação da aplicação.

O sistema de controle dos servo-motores é baseado no microcontrolador *PIC18F4550* (Microchip), o qual se comunica com o notebook através de uma conexão *USB*. Para o enlace de comunicação entre o Alvo e a Estação Base, foram adquiridas as placas *COM-USBEE* e *RCOM-HOMEBEE* (ROGERCOM) e transceivers ZigBee (ERGEN, S.C.,2004), modelo *XBee Pro series 2 (DIGI)*.

A antena utilizada no sistema de posicionamento possui alta diretividade, com ganho estimado na ordem de 12 dBi. Na Figura 8 observa-se o dimensionamento básico deste tipo de antena, também conhecida como *Canntena*.

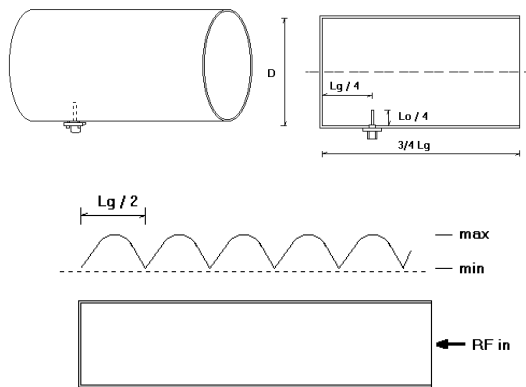


Figura 8 – Antena tipo guia-de-onda.

$$L_g = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{L_o}\right)^2 + \left(\frac{1}{L_c}\right)^2}} \quad (03)$$

onde:

$L_o$  é o comprimento de onda da portadora no ar.

$L_c$  é o comprimento de onda da frequência de corte inferior, a qual depende do diâmetro do tubo.

$L_g$  é o comprimento da onda estacionária dentro do tubo e é função de  $L_o$  e  $L_c$ .

## Resultados

A codificação dos algoritmos, em C++ para o programa da aplicação no PC e C para o firmware do microcontrolador, encontra-se em teste.

O sistema mecânico de apontamento já está integrado e em fase de testes. A expectativa de desempenho é obter precisões de apontamento na ordem de 5 graus.

O alcance pretendido com a utilização da antena diretiva do tipo guia de onda é de 1.200 m.

Na Figura 9 pode ser visto uma fotografia do dispositivo montado e sendo preparado para os testes funcionais.

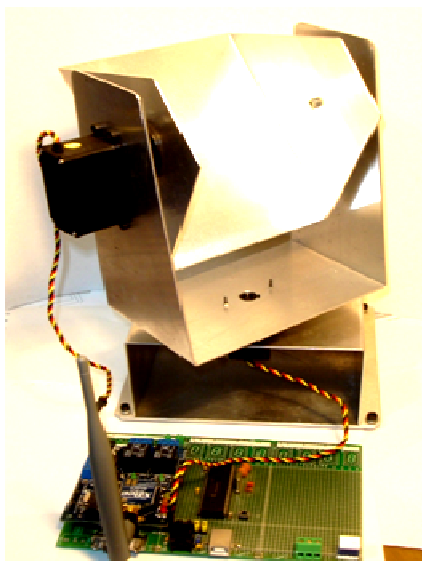


Figura 9 – Integração do sistema PAN&TILT

## Conclusão

A redução do peso embarcado em veículos aéreos não tripulados, com sua conseqüente redução de tamanho e complexidade, permitindo assim aplicações civis de baixo custo, vem de encontro às necessidades de aumento da produtividade do setor de agronegócios.

Com o aumento mundial do consumo de alimentos e a migração de parte da matriz energética para o etanol, a busca de novas tecnologias para otimização de custos de produção vem se tornando um nicho de mercado para aplicações de soluções de engenharia de alta tecnologia.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a empresa *Novelis do Brasil Ltda* pelo apoio ao Laboratório de Robótica e Automação da FEAU/UNIVAP com o fornecimento de alumínio para a construção deste protótipo experimental.

## Referências

- ERGEN, S. C. ZigBee 802.15.4 summary. 10/09/2004. Disponível em: <http://www.eecs.berkeley.edu/~csinem/academic/publications/zigbee.pdf>
- KRAUS, J. D. Antennas 2 ed. McGraw-Hill, 1988
- NIMA. Definition and relationship with Local geodetic systems. 3 ed. Department of Defense WGS84: NIMA TR8350.2, 1997.
- USNO. Gps system description, 17/03/2008. Disponível em: <ftp://tycho.usno.navy.mil/pub/gps/gpsyy.txt>
- VOLAKIS, J. Antenna engineering handbook 4 ed. McGraw-Hill, 2007
- ZOGG, J. The gps dictionary μ-blox ag 8/3/2001. Disponível em: [http://www.u-blox.com/customer-support/docs/GPS\\_Compndium\(GPS-X-02007\).pdf](http://www.u-blox.com/customer-support/docs/GPS_Compndium(GPS-X-02007).pdf)