

Estimativa do Ângulo de Direção de Chegada para Auxílio a um Sistema de Navegação Inercial - Resultados Preliminares

Francisco G.de M. Pinheiro, *Prof. Adjunto Univ. Estadual do Ceará*, João F. N. Pinheiro, *Graduando Univ. Federal do Ceará - Depto de Eng. de Telecomunicações*, André L. F. de Almeida, *Prof. Adjunto Univ. Federal do Ceará - Depto de Eng. Teleinformática*, Felix Antreich *Pesq. Associado - Deutsches Zentrum für Luft - und Raumfahrt*, João C. M. Mota, *Prof. Titular da Univ. Federal do Ceará- Depto de Eng. de Teleinformática*

Resumo—Acelerômetros e giroscópios são sensores fundamentais de um sistema de navegação inercial. Estes fornecem sinais que possibilitam a estimativa de posição, orientação e de velocidade para controle de veículos autônomos. Como todo sensor produzem uma saída contaminada por ruídos e por tensões contínuas produzindo um erro sistemático. Assim sendo, qualquer sistema de navegação inercial precisar ser corrigido constantemente a partir de um referencial absoluto. Uma das técnicas para correção faz uso dos sistemas de navegação por satélites. Entretanto, tais sistemas estão sujeitos também a erros e entre estes está o erro por eco de multicaminho. Uma técnica para mitigar este erro é a estimativa do ângulo de chegada. O que se propõe neste trabalho é incluir a estimativa do ângulo de chegada dos sinais do sistema de navegação por satélites não apenas para corrigir erros de multicaminho mas como um sistema de referência absoluta para uma melhor estimativa da orientação. Resultados de um algoritmo de estimativa de ângulo de chegada baseado em medida de correlação são apresentados. Os dados obtidos indicam um erro angular máximo de $3,7^\circ$ com um tempo de execução de $40(\pm 2)$ mseg.

Index Terms—Sistema de Navegação Inercial, Sistema de Navegação Global por Satélites, Estimativa de Ângulo de Chegada.

I. INTRODUÇÃO

OS sistemas de navegação inercial (Inertial Navigation Systems – INS) são fundamentais para os veículos autônomos. Tais veículos, necessitam das informações, em tempo real, de posição, orientação e de velocidade, para manterem sob controle de forma automática suas trajetórias sem depender de ajuda externa. Estas três informações são obtidas a partir de três sensores de aceleração montados de forma ortogonal e de três sensores de rotação (giroscópios) também montados do mesmo modo. Estes sensores compõem basicamente um INS [1], [2]. A posição, a velocidade e a orientação também podem ser obtidas a partir de um sistema de navegação global por satélites (Global Navigation Satellite System - GNSS) entretanto, ao contrário de um INS, os três parâmetros são obtidos a partir de sistemas externos aos veículos, o que o torna vulnerável. Satélites nem sempre estão disponíveis por obstruções no caminho ou podem ser alvos de interferências artificiais. Os INS são classificados em duas categorias dependendo da estrutura de referência em

que estão instalados os sensores: Sistema de Navegação de plataforma estável e Sistema de plataforma solidária [3]. No primeiro, os sensores são mecanicamente isolados da rotação que possa sofrer o veículo, mantendo o alinhamento dos seus eixos de orientações constantes. No segundo, os sensores são montados diretamente na estrutura do veículo, permitindo que o alinhamento dos acelerômetros e dos giroscópios variem. Em ambos os casos, mas com pequenas diferenças, a velocidade é obtida a partir da integral, em relação ao tempo, dos dados de aceleração e a posição a partir da integral dos dados da velocidade [3]. Nestes dois tipos de INS o procedimento matemático para obtenção dos parâmetros é simples, mas na prática, carrega consigo, em função da solução da integral, um problema potencialmente desastroso: um erro sistemático e crescente que é oriundo dos erros dos próprios sensores. Isto torna necessário uma correção periódica a partir de referenciais externos (GNSS, estrelas, quasar, imagens da geografia local, campo magnético, etc.). Assim sendo, são necessários sensores de referência absoluta e uma técnica que permita fundir todos os sensores de modo a obter os três parâmetros dentro de uma acurácia aceitável. Outras fontes de problemas também comprometem ainda mais a exatidão de um INS como por exemplo o fator de escala, a deriva térmica, os erros de quantização e o desalinhamento dos sensores [2]. Em muitos casos, o referencial absoluto bastante utilizado é obtido com a ajuda do GNSS. Entretanto, mesmo o GNSS também está sujeito a diversos tipos de erros (relógio, troposférico, ionosférico, orbital, intensional e principalmente ecos de multicaminho). Deste modo, é necessário um tratamento dos dados deste GNSS em tempo real. Isto pode ser feito através de uma técnica que utiliza dois receptores GNSS em modo diferencial. Entretanto, dependendo da distância entre os receptores a técnica diferencial não é aplicável (acima de 10 Km). No que diz respeito aos erros de ecos de multicaminho do sistema GNSS Anja Grosch [4] e colaboradores propõem um arranjo circular de seis antenas mais uma central para estimativa da direção de chegada do sinal de recepção (Direction of Arrival, DOA), associada ao conhecimento a priori da posição dos satélites para eliminação dos ecos de multicaminho. O que se propõe neste trabalho é incluir a estimativa DOA do sistema GNSS não apenas para corrigir erros de multicaminho mas como um sistema de referencial absoluto auxiliar ao

tradicional conjunto INS e GNSS para uma melhor estimativa da orientação (atitude) do veículo em deslocamento.

II. METODOLOGIA

A primeira questão que se apresenta quando se fala em estimativa DOA é o arranjo dos sensores. Neste trabalho o arranjo escolhido foi o circular com um elemento central (6 + 1 elementos). Este arranjo, embora mais complexo, permite uma detecção sem ambiguidades para ângulos acima de 90° e inferiores a -90° [5]. Existem diversas técnicas para estimar a direção de chegada de um sinal seja este mecânico (sons) ou eletromagnético [6]–[8]. Devido a simplicidade de implementação optou-se pela estimativa do ângulo de chegada por medida de correlação entre o conjunto de sinais fornecidos pelo conjunto das sete antenas (sensores) e um conjunto de dados gerados que representam todas as possibilidades de ângulos de chegada. O algoritmo é baseado na desigualdade de Cauchy-Schwartz.

$$t^H u \leq \sqrt{(t^H t)(u^H u)} \quad (1)$$

em que: t e u são vetores complexos e representam um conjunto de ângulos possíveis e o vetor do sinal de chegada. O valor máximo da desigualdade é obtido quando $t = \gamma u$, sendo γ uma constante arbitrária. Desta forma, definindo-se:

$$P_{corr} = S^H(\theta)X \quad (2)$$

o valor máximo de P_{corr} é obtido para um θ_o unico quando $X = \gamma S^H(\theta_o)$, em que: P_{corr} é o vetor de correlação, S é a resposta das antenas a um conjunto de possíveis frentes de ondas e X é o vetor resposta das antenas a onda incidente.

O hardware escolhido para implementação do código foi a plataforma de desenvolvimento FRDM-K64F Freedom associado ao módulo FRDM-STBC-AGM01, ambos da Freescale. Este conjunto estruturado no microcontrolador ARM-CORTEX-M2, possui 3 acelerômetros, 3 giroscópios e 3 magnetômetros, portanto um sistema completo para implementação de um INS básico. O código foi implementado em linguagem de programação C e o ambiente de desenvolvimento é o MBED.

III. RESULTADOS

O tempo de processamento do algoritmo DOA foi $40(\pm 2)mseg$, embarcado na plataforma FRDM-K64F Freedom, considerando um conjunto de sinais gerados de 410 ângulos possíveis. Para este caso, o erro máximo do ângulo de chegada estimado foi de $3,7^\circ$. A Figura 1 apresenta a comparação entre o ângulo de chegada da onda e a sua estimativa pelo algoritmo DOA considerando-se as sete antenas dispostas no plano horizontal.

IV. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Foi implementado um algoritmo de estimativa do ângulo de chegada baseado em medida de correlação. Os resultados iniciais deste trabalho indicam a viabilidade de utilização deste algoritmo embarcado na plataforma FRDM-K64F Freedom. É importante ressaltar aqui que o tempo de processamento obtido impõe limite de deriva de orientação do INS em função do

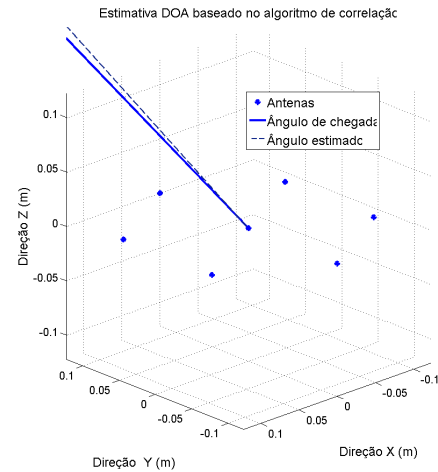


Figura 1. Comparação entre o ângulo de chegada da onda e a sua estimativa pelo algoritmo DOA

grau de exatidão que se deseja. Quanto ao erro máximo de estimativa do ângulo, um valor menor é perfeitamente possível, entretanto isto implicará um tempo maior de processamento. Como trabalhos futuros pretende-se incluir a correção de orientação do INS a partir da estimativa DOA, bem como avaliar o seu desempenho além estudar os efeitos dos ecos de multicaminho nesta estimativa.

REFERÊNCIAS

- [1] D. D. S. Santana, V. A. F. Campus, C. M. Furukawa, and N. Muruyama, “Estimação de trajetórias utilizando sistema de navegação inercial strap-down,” in *Congresso Brasileiro de Automática*, 2004.
- [2] A. M. Mori, “O uso de sistema inercial para apoiar a navegação autônoma,” Master’s thesis, Universidade de São Paulo, 2013.
- [3] O. J. Woodman, “An introduction to inertial navigation,” University of Cambridge, Tech. Rep., 2007.
- [4] A. K. Anja Grosch, Matteo Sgammini and F. Antreich, “Robust inertial aided beamforming for gnss,” *Proceedings of the International Technical Meeting of the Institute of Navigation*, pp. 551–561, January 2014.
- [5] A. T. Gontijo, “Estimador de direção de chegada em tempo real com arranjo de microfones,” Master’s thesis, Universidade de Brasília, 2010.
- [6] A. Kuchar, M. Tangemann, and E. Bonek, “A real-time doa-based smart antenna processor,” *IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY*, vol. 51, no. 6, pp. 1279–1293, November 2002.
- [7] N. Tayem, “Real time implementation for doa estimation methods on npxi platform,” *Progress In Electromagnetics Research*, vol. 59, pp. 103–121, 2014.
- [8] N. A. Dheringe and B. N. Bansode, “Performance evaluation and analysis of direction of arrival estimation using music, tls esprit and pro esprit algorithms,” *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, vol. 4, no. 6, pp. 4948–4958, June 2015.