

# ANALISE DE SUAUIZACÃO DAS MEDIDAS DE PSEUDODISTÂNCIA DO GPS - Alex dos Santos - Rodolpho Vilhena de Moraes – Engenharia Aeroespacial – Engenharia Elétrica – Departamento de Matemática - Faculdade de Engenharia – Campus de Guaratinguetá

O funcionamento do GPS baseia-se no princípio da triangulação, no qual o observador conhece a posição de um conjunto de satélites em relação a um referencial inercial e a sua posição em relação a este conjunto, e obtém sua própria posição no sistema de referência. Visto que o satélite GPS fornece como medidas brutas as pseudodistâncias entre o satélite e a antena do receptor do usuário é necessário aplicar técnicas de suavização para a boa utilização das medidas. Algumas observáveis GPS que permitem determinar posição, velocidade e tempo de um usuário são apresentadas bem como os erros envolvidos e alguns procedimentos para suavizá-los. O objetivo deste trabalho é apresentar uma das técnicas de suavização das medidas de pseudodistância do GPS. Um algoritmo é apresentado para uma técnica de suavização e aplicado para a condição de dinâmica estática, isto é receptores parados em relação à Terra, com dados fornecidos por uma campanha de coleta de dados realizada no INPE. A técnica apresentada pode ser explorada para diferentes condições além da dinâmica estática: baixa dinâmica (carros, navios), ou alta dinâmica (aviões, satélites).

Em 29 de novembro de 2002, o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) realizou uma campanha de coleta de dados para o caso de dinâmica estática, isto é, o receptor está fixo no solo. Utilizando-se os dados fornecidos pela fase da portadora e da pseudodistância, reduz-se significativamente o erro de estimação para baixas frequências (erros atmosféricos, ambigüidades). As medidas de fase permitem cálculos mais precisos e sem ambigüidades da variação da pseudodistância entre duas épocas. Com isso, explora-se esta característica para suavizar as medidas de pseudodistância.

Solicitou-se ao INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) tabelas no formato Rinex contendo as medidas de fase da portadora (L1) e de pseudodistâncias (C1) coletadas na campanha de 2002. Estes dados foram utilizados de acordo com os cálculos mostrados a seguir.

O processo de suavização consistiu nas etapas descritas a seguir.

A pseudodistância livre de erros atmosféricos ( $\rho^*$ ) é calculada por (Leandro Baroni (2004)):

$$\rho^* = D + c.(b - B) + T \quad (1)$$

em que:  $D$  é a distância geométrica,  $c$  é a velocidade da luz,  $b$  é o desvio do relógio do receptor,  $B$  é o desvio do relógio do satélite e  $T$  é o erro troposférico.

A partir da equação (1), as medidas de código (C1) e fase (L1) são obtidas por:

$$\rho(t) = \rho^*(t) + I(t) + \varepsilon_\rho(t) \quad (2)$$

$$\phi(t) = \rho^*(t) - I(t) + \lambda.N + \varepsilon_\phi(t) \quad (3)$$

Nas equações (1) e (2)  $I$  representa o efeito da ionosfera,  $\varepsilon_\rho$  os termos de erros,  $\phi$  a fase da portadora,  $\lambda$  o comprimento da onda enviada pelo satélite e  $N$  o número de ciclos da onda.

Fazendo a diferença das medidas de pseudodistância via código ( $\Delta\rho$ ) e fase ( $\Delta\phi$ ) entre duas épocas  $t_i$  e  $t_{i-1}$  tem-se:

$$\Delta\rho(t_i) = \rho(t_i) - \rho(t_{i-1}) = \Delta\rho^*(t_i) + \Delta I(t_i) + \Delta\varepsilon_\rho(t_i) \quad (4)$$

$$\Delta\phi(t_i) = \phi(t_i) - \phi(t_{i-1}) = \Delta\rho^*(t_i) - \Delta I(t_i) + \Delta\varepsilon_\phi(t_i) \quad (5)$$

em que:  $\Delta\rho^*$  é a mudança na pseudodistância livre de erros ionosféricos,  $\Delta I$  é a mudança no erro ionosféricos e  $\Delta\varepsilon$  é a mudança dos termos de erros.

# ANALISE DE SUAUIZACÃO DAS MEDIDAS DE PSEUDODISTÂNCIA DO GPS - Alex dos Santos - Rodolpho Vilhena de Moraes – Engenharia Aeroespacial – Engenharia Elétrica – Departamento de Matemática - Faculdade de Engenharia – Campus de Guaratinguetá

Para épocas próximas,  $\Delta I(t_i)$  é pequeno e pode ser desprezado. Usando  $\Delta\phi(t_i)$  como uma estimativa de  $\Delta\rho^*(t_i)$ , pode-se obter uma estimativa de  $\rho(t_0)$  em cada época:

$$\rho(t_0)_i = \rho(t_i) - [\phi(t_i) - \phi(t_0)] \quad (6)$$

Fazendo-se uma média de  $\rho(t_0)_i$  sobre n épocas, tem-se:

$$\bar{\rho}(t_0) = \frac{1}{n} \sum_i \rho(t_0)_i \quad (7)$$

Assim, pode-se reconstruir o conjunto de pseudodistâncias suavizadas como sendo:

$$\bar{\rho}(t_i) = \bar{\rho}(t_0) + [\phi(t_i) - \phi(t_0)] \quad (8)$$

Utilizando a equação 3.3.3.8, podemos calcular a pseudodistância suavizada  $\bar{\rho}(t_i)$  com os dados das duas primeiras épocas que estão dispostos na figura 3.3.3.1.

Para a primeira época ( $t_0$ ) tem-se:

$$L1(t_0) = \phi(t_0) = 115.468,99812 \text{ ciclos}$$

$$C1(t_0) = \bar{\rho}(t_0) = 2157516667,08 \text{ m}$$

Para a segunda época ( $t_1$ ) tem-se:

$$L1(t_1) = \phi(t_1) = 13.847,17219 \text{ ciclos}$$

Para que  $\bar{\rho}(t_i)$  seja dada em metros, deve-se multiplicar  $L1(t_0)$  e  $L1(t_1)$  pelo comprimento de onda da portadora L1(aproximadamente 0,19m):

$$L1(t_0) = \phi(t_0) = 115.468,99812 \times 0,19 = 21.939,11 \text{ m}$$

$$L1(t_1) = \phi(t_1) = 13.847,17219 \times 0,19 = 2.630,96 \text{ m}$$

Substituindo os valores na equação 3.3.3.8, todos em metros, tem-se:

$$\bar{\rho}(t_1) = 21575167,08 + (2.630,96 - 21939,11) = 21555858,93 \text{ m}$$

A pseudo-distância bruta (fornecida pelo INPE) foi 21575167,08 m e a suavizada 21555858,93 m. Comparativamente, pode-se afirmar que este último valor é mais preciso em relação ao valor real da pseudo-distância entre o satélite e a antena do receptor do usuário.

## Referência Bibliográfica

1. Baroni, Leandro, **Análise de Algoritmos de Navegação para um Sistema GPS Diferencial em Tempo Real**. São José dos Campos, 2004. 120p. Dissertação de Mestrado. INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.