

PROPOSTA DE ARQUITETURA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE SOLUÇÕES DE NAVEGAÇÃO VIA GPS EM TEMPO REAL

Allan Tavares Anholetto¹ (FEG/UNESP)
Dr. Rodolpho Vilhena de Moraes² (DMA/FEG/UNESP)
Dr. Hélio Koiti Kuga³ (DMC/INPE)

RESUMO

O sistema de Posicionamento Global (GPS) é uma constelação de satélites utilizada para localização e posicionamento com variados graus de precisão. A constelação com cerca de 27 satélites está orbitando a aproximadamente 26000km de altitude, de modo que para um usuário na superfície da Terra, os sinais de pelo menos quatro desses satélites são facilmente recebidos simultaneamente. Essa ampla cobertura global proporciona geometria excepcional para cálculos de navegação precisos. Dentre os procedimentos de navegação a serem analisados, existem diversas variantes para se obter soluções de navegação através do GPS. Destacam-se os Métodos Geométricos, Métodos Algébricos, e Métodos Estatísticos. O Método Geométrico utiliza geometria espacial entre a constelação GPS e o usuário para obter a solução. O Método Algébrico usa relações algébricas entre as medidas GPS para iterativamente obter a solução. O Método Estatístico utiliza redundância de medidas para estatisticamente obter a melhor solução que obedece algum critério de otimização do tipo índices de desempenho. Para validar e analisar os 3 métodos propostos, dados reais dos satélites GPS foram retirados de referências. Esses algoritmos de navegação foram implementados em linguagem FORTRAN 90, e após compilados e executados, produziram comparações entre os algoritmos, em termos de eficácia dos programas. Numa segunda etapa de trabalho, desejou-se planificar um conceito para a arquitetura de software necessária para obtenção de dados em tempo real. A proposta foi baseada no receptor nacional GPS ORBISAT (Orbisat, RLP 2002) que fornece dados brutos de pseudo-range em tempo real. Foi proposto um diagrama de fluxo para a recepção em tempo real dos dados GPS, em linguagem C. Foram obtidos alguns resultados preliminares utilizando dados reais de satélites recebidos através deste receptor GPS. Estes resultados foram comparados com soluções apresentadas pelo software proprietário do receptor GPS (ambiente Windows). A precisão em posição obtida está de acordo com estimativas iniciais de precisão, já que as correções para refinamento não foram ainda implementadas, sendo objeto do próximo período de Iniciação Científica. Espera-se que a partir dessas análises, em uma próxima etapa de trabalho, seja possível gerar soluções de navegação em tempo real a partir das mensagens fornecidas pelo receptor, incluindo agora todas as correções do sinal (relativísticos, tempo de trânsito, erros do relógio do satélite GPS, erro do relógio do receptor, e possivelmente correções atmosféricas tais como as da troposfera e ionosfera.

¹ Aluno do Curso de Engenharia Mecânica, FEG / UNESP, E-mail: mec01023@feg.unesp.br

² Pesquisador da Divisão de Matemática FEG/UNESP, E-mail: rodolpho@feg.unesp.br

³ Pesquisador da Divisão de Mecânica Espacial e Controle INPE, E-mail: hkk@dem.inpe.br



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

PROPOSTA DE ARQUITETURA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE SOLUÇÕES DE NAVEGAÇÃO VIA GPS EM TEMPO REAL

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Allan Tavares Anholetto (FEG/UNESP, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: mec01023@feg.unesp.br

Dr. Hélio Koiti Kuga (DME/INPE, Orientador)
E-mail: hkk@dmc.inpe.br

Dr. Rodolpho Vilhena de Moraes (DMA/UNESP, Orientador)
E-mail: rodolpho@feg.unesp.br

Maio de 2004

SUMÁRIO

Capítulo 1 Introdução.....	1
Capítulo 2 Sistema GPS.....	3
2.1 Descrição do Sistema GPS.....	3
2.2 Estrutura do Sistema GPS.....	4
2.2.1 Segmento Espacial.....	4
2.2.2 Segmento de Controle.....	5
2.2.3 Segmento Usuário.....	6
2.3 Sinais dos Satélites GPS.....	6
2.4 Principais Fontes de Erro.....	9
2.5 Método para Soluções de Navegação através de GPS.....	9
2.5.1 Método Geométrico.....	9
2.5.2 Método Algébrico.....	10
2.5.3 Método Estatístico.....	13
Capítulo 3 Receptor Orbsat 2002 RPL.....	18
3.1 Resultados da primeira fase do projeto.....	18
3.2 - Especificações do cartão receptor GPS ORB 2002 RLP.....	19
3.3 - Componentes funcionais de um receptor GPS.....	21
3.4 – Descrição geral.....	22
3.5 – Descrição funcional.....	23
Capítulo 4 Interface Serial.....	30
4.1 – Princípios da Comunicação Serial	30
4.2 – Como Funciona – Visão Geral	31
4.2.1 Transmissão.....	31
4.2.2 Recepção.....	33
4.2.3 Pinos e Fios.....	33
4.2.4 Cablagem entre portas seriais.....	34
4.2.5 Endereço de E/S e IRQ.....	35
4.2.6 Interrupções.....	35
4.2.7 Fluxos de Dados (velocidades).....	36
4.2.8 Caminho do Fluxos de Dados (buffers).....	38
4.3 – UARTs.....	39

4.4 – Formas de Onda de Tensão	41
4.4.1 Tensão para um bit.....	41
4.4.2 Sequência de Tensões para um byte.....	41
4.4.3 Paridade.....	42
4.4.4 Formando um byte (framing).....	42
4.4.5 Assíncrono e Sincronizado.....	43
Capítulo 5 Proposta de arquitetura do software de tempo real.....	44
5.1 – Arquitetura Física.....	44
5.2 – Ambiente de Software.....	48
5.3 – Arquitetura de Software.....	49
5.4 – Status Atual e Resultados Preliminares	51
Capítulo 6 Conclusões e Passos Futuros.....	54
Referências Bibliográficas.....	56

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O sistema NAVSTAR-GPS (NAVigation Satellite Timing and Ranging – Global Position System) é um sistema de posicionamento e navegação que utiliza satélites em órbitas circulares. Seu desenvolvimento é controlado pelo Departamento de Defesa dos EUA e destina-se a satisfazer as exigências tanto civis quanto militares na determinação precisa de posição, velocidade e tempo em um sistema de referência comum e em qualquer lugar sobre ou acima da superfície terrestre.

Determinar a órbita de um satélite artificial significa determinar a posição e a velocidade do satélite, em relação a um referencial inercial, utilizando um conjunto de medidas de observação do satélite. Estas observações podem ser obtidas através de sistemas de rastreamento em solo ou de sensores a bordo do veículo espacial. Técnicas modernas de observação são atualmente capazes de medir a distância entre o instrumento e o satélite com a precisão de centímetros ou até melhor.

Ao longo dos anos, os requisitos das missões ficaram mais rigorosos. Com isto, os métodos de determinação de órbita tiveram que ser tornar mais precisos, sem aumentar gastos computacionais e financeiros. Vários métodos foram desenvolvidos e aperfeiçoados com relação ao modelo do sistema dinâmico, às medidas e às técnicas de estimação.

Determinação de órbita usando sistema de navegação por satélites, como o sistema GPS, é uma atividade que surgiu no começo dos anos 80. Desenvolvimentos recentes têm mostrado precisão de poucos centímetros para missões de satélites com altímetro. Um ambiente de operação de pós-processamento é necessário para atingir esta precisão, com um atraso do tempo que pode atingir uma semana ou mais (Bertiger et al., 1994).

A disponibilidade a bordo de conhecimento contínuo e preciso da órbita de um satélite artificial torna prática a idéia de aumentar o grau de autonomia do sistema de controle, reduzindo a necessidade de intervenções em solo. No INPE, já existem alguns trabalhos sendo realizados para realizar controle autônomo de satélites artificiais usando GPS e outros sistemas, como os trabalhos de Orlando *et. al.* (1997) e Orlando e Kuga (1999, 2000a, 2000b).

O INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) vem determinando órbita de seus satélites com muito sucesso utilizando estações de rastreamento terrestres localizadas em pontos estratégicos pelo Brasil. Mas, a necessidade de desenvolver algoritmos com maior precisão e baixo custo computacional é sempre um desafio constante. A cada dia, novas técnicas vêm sendo desenvolvidas, como a utilização do sistema GPS. Porém, este tipo de tecnologia ainda não foi utilizada pelo INPE ou por qualquer instituto brasileiro.

Assim, este trabalho tem por objetivo investigar, desenvolver, implementar e comparar soluções de navegação possíveis através do uso de medidas obtidas por receptores GPS, em ambiente espacial, com geração de soluções em tempo real.

CAPÍTULO – 2

SISTEMA GPS

2.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA GPS

O sistema GPS (*Global Positioning System*) é um sistema de navegação por satélites desenvolvido pela Força Aérea dos Estados Unidos durante as décadas de 70 e 80 e colocado em operação na década de 90.

O princípio básico de funcionamento do GPS é determinar a posição e a velocidade tridimensionais e o tempo com alta precisão. O sistema GPS permite ao receptor determinar sua posição e tempo em qualquer lugar da superfície terrestre e a qualquer hora utilizando dados de apenas quatro satélites. O sistema pode ter um número ilimitado de usuários simultaneamente em qualquer parte do mundo.

O princípio de navegação por satélites se baseia no princípio da triangulação, a qual consiste na transmissão de sinais e dados das posições dos satélites GPS em relação a um sistema de coordenadas. O receptor mede o tempo de transmissão do sinal, o que permite calcular a distância entre o usuário e os satélites GPS, e decifra os dados. Se o relógio do receptor estiver sincronizado com os relógios dos satélites GPS, a medida das distâncias de três diferentes satélites GPS, em posição conhecida, permitirão ao usuário calcular a sua posição. Se o relógio do receptor não estiver sincronizado com os relógios dos satélites, serão necessários quatro satélites GPS, sendo o quarto para determinar o desvio do relógio, uma quantidade desconhecida. As medidas da distância com relógio impreciso são chamadas de *pseudo-distância*.

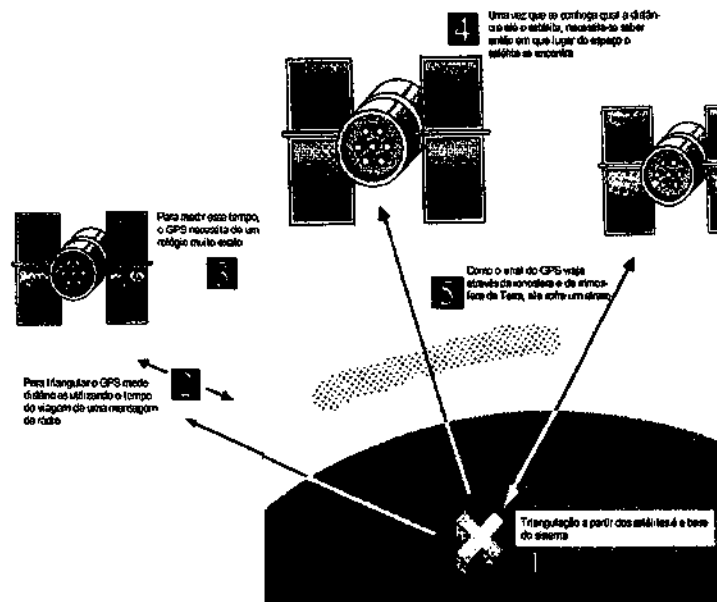


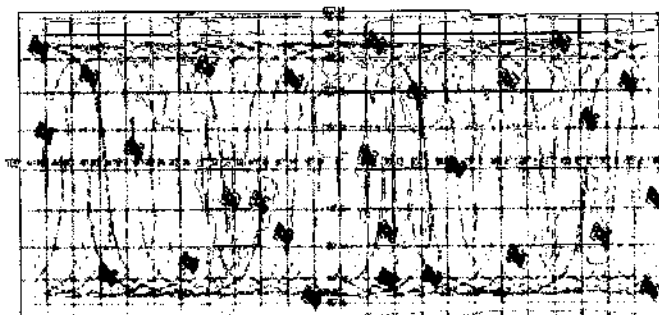
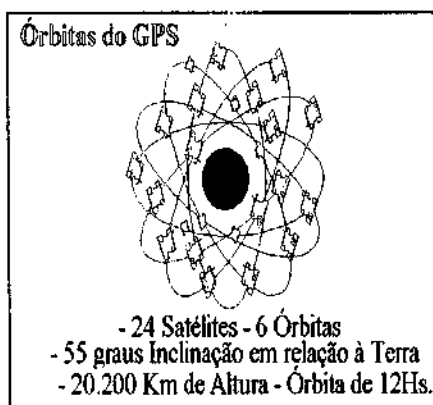
Figura 1 : Princípio da triangulação (Fonte: Silva, 2001)

2.2 ESTRUTURA DO SISTEMA GPS

O Sistema GPS é compreendido de três segmentos: Espacial, Controle e Usuário que são descritos a seguir.

2.2.1 SEGMENTO ESPACIAL

O sistema espacial tem a função de gerar e transmitir códigos, a fase da portadora e a mensagem de navegação e consiste de uma constelação de 24 satélites GPS (21 navegando e três de reserva) em seis planos orbitais com período de 11h e 58 min. O raio da órbita é 26.560 km com excentricidade de 0,0131. Cada plano da órbita contém quatro satélites igualmente espaçados, como mostra a Figura 3, distribuídos de tal forma que forneça uma visibilidade simultânea de pelo menos quatro satélites para um usuário localizado em qualquer parte do mundo e em qualquer instante. Entretanto, o mesmo satélite se torna visível quatro minutos mais cedo a cada dia devido a diferença de quatro minutos por dia, entre a órbita do satélite e a rotação da Terra. A meta de tempo de vida dos satélites é de 7,5 anos (Leick, 1994).



Figuras 2 e 3 : Constelação do Sistema GPS (Fonte: Dana)

2.2.2 SEGMENTO DE CONTROLE

A função do segmento de controle é produzir o Tempo GPS e as efemérides dos satélites e gerenciar os veículos espaciais; isto é, atualizar periodicamente as informações que são transmitidas por todos os satélites, isto inclui as efemérides dos satélites, o *status*, os dados do relógio e o Almanaque.

O segmento de controle consiste de uma Estação Mestre de Controle (MCS), localizada na base de *Falcon Air Force* próxima a Colorado Springs no Colorado, Estados Unidos, e mais quatro estações de monitoramento no Hawaii, Kwajalein, Diego Garcia e Ascension Island. (Amato-1999)

A localização de cada estação de monitoramento oferece um monitoramento constante de cada satélite. Todas as estações de monitoramento trilham os satélites, determinam a sua performance operacional, checam os parâmetros, e passam estas informações para a Estação de Controle Master. A estação Master pode então determinar os parâmetros de órbita de um satélite corrente, e transferir dados de correção para o mesmo satélite.



Global Positioning System (GPS) Master Control and Monitor Station Network

Figura 4 : Localização das estações de monitoramento (Fonte: Dana)

3.2.3 SEGMENTO USUÁRIO

O segmento usuário consiste de receptores militares e civis especialmente designados para receber, decodificar e processar os sinais dos satélites. O usuário observa e grava as transmissões de vários satélites e aplica algoritmos de solução para obter a sua posição, velocidade e tempo.

- Os receptores GPS convertem os sinais recebidos em estimativas da posição, velocidade e tempo. Quatro satélites são exigidos para calcular as quatro dimensões de X, Y, Z (posição) e tempo. Existem diversos tipos de receptores para várias aplicações, dentre eles estão receivers para uso aeronáutico e marinho, placas para uso no computador, de uso portátil, para mapeamento, módulos, placas, entre outros.

2.3 SINAIS DOS SATÉLITES GPS

O sinal GPS é transmitido em duas frequências: um sinal primário de 1575.42 MHz (chamado de L1) e uma transmissão secundária de 1227.6 MHz (chamado de L2). Estes sinais são gerados sincronamente de modo que o usuário que recebe os dois sinais pode diretamente calibrar o atraso ionosférico e aplicar correções apropriadas. Entretanto, muitos usuários civis somente usam a frequência L1.

A frequência L1 carrega a mensagem de navegação e os sinais do código SPS. A frequência L2 é usada para medir o atraso ionosférico através de receptores equipados PPS.

Os sinais são modulados com dois tipos de códigos. Existem duas modulações na frequência mais alta (L1), mas somente uma única modulação (protegida) em L2.

O código C/A (*Coarse/Acquisition*) é transmitido em 1.023 MHz e é modulado na frequência L1. É de uso civil e é sempre transmitido, mas está sujeito a degradações. O uso deste sinal é chamado de Serviço Padrão de Posicionamento (SPS). O código P (*Precise*) é, algumas vezes, chamado de código protegido e é transmitido em 10.23 MHz (10 vezes mais rápido que C/A), modulado em L1 e L2. Devido a sua modulação mais alta, o sinal é mais preciso. O sinal fornece o Serviço de Posicionamento Preciso (PPS). É de uso militar e para usuários autorizados. Esta característica é conhecida como *Antispoofing* (A-S). Quando criptografado, o código P torna-se código Y (ou P/Y).

Os operadores militares do sistema têm a capacidade de degradar intencionalmente a precisão do sinal C/A dessincronizando o relógio do satélite ou incorporando pequenos erros nas efemérides transmitidas que é chamada Disponibilidade Seletiva (SA).

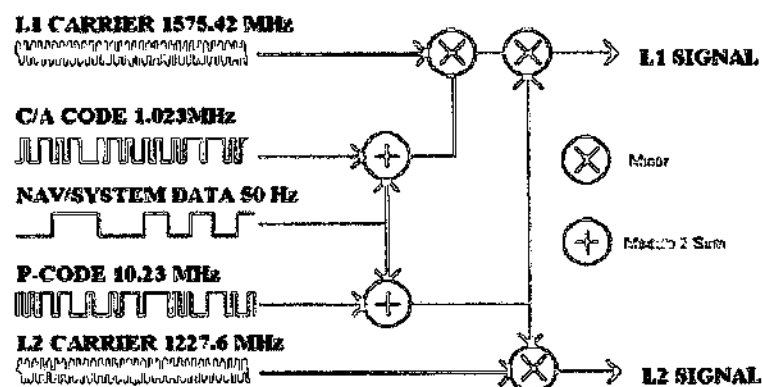


Figura 5 : Sinais do satélite GPS (Fonte: Dana)

Os receptores GPS recebem continuamente uma série de dados dos satélites GPS na forma de bits modulados em sinais. Estes dados são chamados de mensagem de navegação e são transmitidos nas frequências L1 (1575.42 MHz) e L2 (1227.6 MHz). Estas informações são computadas e controladas pelo segmento de controle e frequências são usadas para regular o atraso ionosférico. Os sinais L1 e L2 transmitem ao usuário as efemérides do satélite, as correções do relógio do satélite, parâmetros atmosféricos, parâmetros orbitais de todos os satélites e outros dados relevantes sobre o sistema em geral.

Os observáveis GPS são as distâncias deduzidas das diferenças medidas de tempo ou fase baseadas na comparação entre os sinais recebidos e os sinais gerados pelo receptor. Pode-se

dizer que esta diferença de tempo é simplesmente o tempo que o sinal leva para propagar do satélite à antena do receptor. Portanto, um dado observável é a diferença de tempo multiplicada pela velocidade da luz. O observável assim obtido é chamado de pseudo-distância, porque utilizam dois relógios assincronizados com o tempo, um no satélite (aquele que governa a geração do sinal do GPS) e outro no receptor (aquele que governa a geração da réplica do código), além de incluir todos os erros atmosféricos e de propagação do sinal. O receptor pode determinar este erro de sincronização junto com as suas coordenadas de posição e velocidade.

Os observáveis básicos do GPS são a pseudo-distância do código, que chamamos somente por pseudo-distância, e a pseudo-distância da fase da portadora, que chamamos somente por fase da portadora.

A equação fundamental da pseudo-distância, medida em metros, é dada por:

$$\rho_c = \rho + c[\Delta t_{GPS}(t) - \Delta t_u(t)] + \Delta_{ION} + \Delta_{TRO} + \varepsilon = c\tau, \quad (1)$$

onde $\rho = \sqrt{(x_{GPS} - x)^2 + (y_{GPS} - y)^2 + (z_{GPS} - z)^2}$ é a distância geométrica entre a antena do satélite GPS e a do receptor; x , y , e z (incógnitas) são as coordenadas da posição da antena do receptor GPS; x_{GPS} , y_{GPS} , e z_{GPS} (enviadas) são as coordenadas da posição do satélite GPS; c é a velocidade da luz (conhecida); Δt_{GPS} é o erro do relógio do satélite GPS com respeito ao tempo do GPS (calculado); Δt_u é o erro de sincronização entre o relógio do satélite GPS e o receptor GPS, chamado de desvio do relógio do receptor (incógnita); t aqui é utilizado para explicitar a dependência temporal de Δt_{GPS} e Δt_u ; Δ_{ION} e Δ_{TRO} são os erros devidos aos atrasos ionosféricos e troposféricos, respectivamente (estimados); ε são os ruídos de observação (estimados ou negligenciados); e τ é o tempo de propagação do sinal observado entre o satélite GPS e a antena do receptor (medido).

A medida da fase da portadora é definida como a diferença entre a fase da portadora do satélite GPS recebida pela antena do receptor e a fase do oscilador interno do receptor na época da medida. A equação fundamental da fase da portadora, medida em ciclos, é dada por:

$$\phi_c = \rho + c[\Delta t_{GPS}(t) - \Delta t_u(t)] - \Delta_{ION} + \Delta_{TRO} + \lambda N + \varepsilon, \quad (2)$$

onde λ é o comprimento de onda da portadora (conhecido) e N é o número inteiro de ciclos

completos da portadora (incógnita).

2.4 PRINCIPAIS FONTES DE ERRO

As principais fontes de erro do sistema GPS são as seguintes:

- a) erro devido à geometria dos satélites com relação ao observador;
- b) desvio dos relógios dos satélites;
- c) atraso de propagação e processamento dos sinais pelos circuitos dos satélites;
- d) erros devidos a trajetórias múltiplas (reflexões) dos sinais;
- e) efeitos da atmosfera sobre a velocidade e a trajetória de propagação dos sinais transmitidos;
- f) erros devidos à resolução, não sincronismo, e ruído, do receptor do usuário;
- g) erro na determinação da posição dos satélites (erro de efemérides).

2.5 - MÉTODOS PARA SOLUÇÕES DE NAVEGAÇÃO ATRAVÉS DE GPS

Existem diferentes métodos para se obter soluções de navegação através do GPS. Eles podem ser classificados em:

- Métodos geométricos
- Métodos algébricos
- Métodos estatísticos.

2.5.1 MÉTODO GEOMÉTRICO

Os métodos geométricos são basicamente métodos simples que fornecem uma estimativa inicial grosseira para a solução de navegação, que pode ser refinada posteriormente através dos outros métodos, ou através de filtros estatísticos. O método descrito em Lopes e Kuga (1997) será implementado. Outro método geométrico alternativo seria aquele descrito em Kleusberg (1994).

Para produzir um método simples e sistemático para resolver o problema de inicialização do algoritmo, o *bias* será negligenciado. Assim, uma solução linear aproximada pode ser encontrada da seguinte maneira:

$$y_{pi}^2 \approx |r - R_i|^2 = r^T r + R_i^T R_i - 2R_i^T r, \quad (3)$$

onde r é o vetor posição do satélite usuário, R_i é o vetor posição do i -ésimo satélite GPS. Subtraindo a Eq. (3) de sua média aritmética em i , temos:

$$y_{pi}^2 - \langle y_{pi}^2 \rangle \approx R_i^T R_i - \langle R_i^T R_i \rangle - 2[R_i - \langle R_i \rangle]^T r, \quad (4)$$

onde $\langle \rangle$ representa o operador de média aritmética.

Definindo:

$$\tilde{R} \equiv [\dots: R_i - \langle R_i \rangle: \dots]^T \quad (5)$$

e

$$z \equiv \frac{1}{2} [\dots: R_i^T R_i - \langle R_i^T R_i \rangle - (y_{pi}^2 - \langle y_{pi}^2 \rangle): \dots]^T \quad (6)$$

resulta em:

$$\tilde{R}r \approx z. \quad (7)$$

Uma solução aproximada deste sistema linear determinado pode ser dada por:

$$r^0 = (\tilde{R}^T \tilde{R})^{-1} \tilde{R}z. \quad (8)$$

A condição de existência para a pseudo inversa de \tilde{R} pode ser especificada da seguinte maneira: um número $n \geq 4$ de satélites GPS não coplanar deve ser observado pelo usuário.

2.5.2 MÉTODO ALGÉBRICO

O nível de precisão da solução de navegação baseada em medidas GPS depende do tipo de medida coletada (depende do tipo e qualidade do receptor), da duração que as medidas foram

coletadas e como elas foram modeladas e processadas. Se as medidas GPS são processadas em tempo real, o problema de posicionamento mais simples consiste em resolver simultaneamente um conjunto de equações de navegação baseado em única frequência.

No mínimo quatro medidas simultâneas são necessárias para formar a solução. A entrada para esse algoritmo são os vetores posição (3 x 1) dos satélites GPS e as medidas pseudoranges dos satélites GPS para o receptor. O método algébrico de solução de navegação estudado e proposto é computacionalmente eficiente e numericamente estável, conforme Bancroft (1985).

As equações do sistema de navegação GPS são geralmente resolvidas com uma aplicação do método de Newton:

$$x_{n+1} = x_n + H^{-1}(t - f(x_n)), \quad (9)$$

onde x é um vetor compreendendo a coordenada de posição do usuário junto com a correção do relógio, t é um vetor de medidas de quatro pseudo-distância e H é uma matriz de derivada parcial $H = f_x$.

Façamos x e $\{s_i : 1 \leq i \leq n\}$ indicar as coordenadas de posição do satélite e usuário no sistema de coordenadas cartesianas; e $\{t_i : 1 \leq i \leq n\}$ as medidas da pseudo-distância coletadas pelo usuário de cada um dos n satélites:

$$t_i = d(x, s_i) + b, \quad (10)$$

onde $d(x, y)$ é a distância de x a y e b a correção do relógio. Definimos os vetores de dados de colunas 1 x 4:

$$a_i = (s_i^T t_i)^T, \quad 1 \leq i \leq n. \quad (11)$$

Definimos:

$$A = (a_1 \quad a_2 \quad a_3 \quad \dots \quad a_n)^T, \quad (12)$$

$$i_0 = (1 \ 1 \ 1 \ \dots \ 1)^T, \quad (13)$$

$$r = (r_1 \ r_2 \ r_3 \ \dots \ r_n)^T, \quad (14)$$

onde $r_i, 1 \leq i \leq n$ é calculado por:

$$r_i = \langle a_i, a_i \rangle / 2. \quad (15)$$

Calculamos a inversa generalizada:

$$B = (A^T W A)^{-1} A^T W, \quad (16)$$

onde W é a matriz positiva simétrica. Calculamos os vetores coluna 1×4 u e v de:

$$u = B i_0 \quad (17)$$

e

$$v = B r \quad (18)$$

juntamente com os coeficientes E, F, G , definidos por:

$$E = \langle u, u \rangle, \quad (19)$$

$$F = \langle u, v \rangle - 1, \quad (20)$$

$$G = \langle v, v \rangle. \quad (21)$$

Resolvendo a equação quadrada:

$$E\lambda^2 + 2F\lambda + G = 0 \quad (22)$$

para o par de raízes $\lambda_{1,2}$.

$$y_{1,2} = \lambda_{1,2}u + v. \quad (23)$$

Então com a identificação

$$y^T = (x^T - b)^T \quad (24)$$

também o par x_1, b_1 ou o par x_2, b_2 resolverá o problema GPS para a posição do usuário e correção do relógio. Para diferenciar a solução real, substituímos de volta as equações definindo as pseudo-distância originais.

2.5.3 METODO ESTATÍSTICO

O método estatístico utiliza redundância de medidas para estatisticamente obter a melhor solução. Os sinais GPS podem ser recebidos e decodificados adequadamente pelos receptores GPS. Se os sinais forem recebidos adequadamente, um conjunto de três satélites seria suficiente para suprir as dificuldades geométricas (Lopes e Kuga, 1988, 1997).

Porém, principalmente devido a derivas no relógio, um bias é introduzido na distância computada geometricamente (pseudorange) tornando essencial o uso de quatro satélites.

Em trabalhos anteriores, Lopes e Kuga propuseram um método estatístico de mínimos quadrados para resolver o problema de determinação de órbita através de medidas GPS. O método era especialmente adequado para medidas processadas por um número redundante de satélites GPS, tornando-o distinto de métodos convencionais que invariavelmente devem analisar a matriz DOP (Dilution Of Precision).

A vantagem do método consiste no processamento de todas as medidas válidas de pseudorange assumindo precisões no mínimo igual ou melhor que as convencionais. Outro benefício do método é a falta de necessidade de analisar várias matrizes DOP 4 x 4 para selecionar a melhor configuração entre os satélites visíveis.

Para determinação de posição estática de baixa precisão, a solução de navegação pode ser obtida, por exemplo, através do algoritmo proposto por Lopes e Kuga (1988):

$$\text{Minimizar } L(\mathbf{r}, \rho_i) = \frac{1}{2} \sum_i a_i |\mathbf{r} - (R_i + \rho_i)|^2 \quad (25)$$

$$\text{Sujeito a } \rho_i' \rho_i = y_i^2, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (26)$$

$$\text{Dados } \{(R_i, y_i, a_i), i = 1, 2, \dots, n; \quad n \geq 3\} \quad (27)$$

onde \mathbf{r} é o vetor posição do satélite usuário (ou alvo); R_i é o vetor posição do i -ésimo satélite GPS; ρ_i é o vetor posição relativo do satélite usuário em relação ao i -ésimo satélite GPS; y_i é o pseudo-range (pseudo-distância) medido a partir do i -ésimo satélite GPS; e a_i é um peso positivo. Assume-se que tanto y_i quanto R_i estão corrompidos por erros aleatórios não-viesados (“unbiased”), δy_i e δR_i com covariâncias dadas por:

$$\begin{aligned} E[(\delta y_i)^2] &= \sigma_{y_i}^2, \\ E[\delta R_i \delta R_i'] &= \sigma_{R_i}^2 I \end{aligned} \quad (28)$$

onde $E[\cdot]$ é o operador esperança; I é a matrix identidade; e os desvios-padrão σ_{y_i} e σ_{R_i} são quantidades conhecidas. Pode-se então modificar levemente o método para levar em conta os erros sistemáticos. O método estendido é então formulado como:

$$\text{Minimizar } L^*(\mathbf{r}, \rho_i, \Delta y) = L(\mathbf{r}, \rho_i) + \frac{1}{2} a^* \Delta^2 y, \quad (29)$$

$$\text{Sujeito a } \rho_i' \rho_i = (y_{pi} + \Delta y)^2, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (30)$$

$$\text{Dados } \{a^*, (R_i, y_i, a_i), i = 1, 2, \dots, n; \quad n \geq 4\} \quad (31)$$

onde y_{pi} é a medida de pseudo-range, Δy é uma constante a ser adicionada a y_{pi} para correção do bias, e a^* é um peso positivo. Dessa forma assume-se que o pseudo-range pode ser modelado por:

$$y_{pi} = \bar{y}_i + b + \delta y_i \quad (32)$$

onde \bar{y}_i é o verdadeiro range e b é o bias, com $E[b] = 0$, $E[b^2] = \sigma_b^2$, e σ_b está diretamente relacionado à precisão σ_i do relógio do receptor GPS, ou seja $\sigma_b = c\sigma_i$, onde c é a velocidade da luz. Embora b tenha sido modelado como erro aleatório de média nula, deve-se lembrar que de fato ele representa um bias porque o que é adicionado a todas as medidas de range \bar{y}_i é o mesmo valor constante: uma simples realização b . Os pesos positivos a_i e a^* são supostos obedecerem ao vínculo de normalidade:

$$a^* + \sum_i a_i = 1. \quad (33)$$

A derivação da solução pode ser obtida através do método dos multiplicadores de Lagrange. Definindo-se uma função de custo modificada:

$$l^* = L^* + \frac{1}{2} \sum_i \lambda_i a_i [\rho_i^2 - (y_{pi} + \Delta y)^2], \quad (34)$$

e impondo as condições de otimalidade:

$$\frac{\partial l^*}{\partial \mathbf{r}} = \sum_i a_i [\mathbf{r} - (R_i + \rho_i)]' = 0, \quad (35)$$

$$\frac{\partial l^*}{\partial \rho_i} = a_i \{\lambda_i \rho_i - [\mathbf{r} - (R_i + \rho_i)]\}' = 0, \quad (36)$$

$$\frac{\partial l^*}{\partial \Delta y} = a^* \Delta y - \sum_i \lambda_i a_i (y_{pi} + \Delta y) = 0, \quad (37)$$

e levando em conta o vínculo (30) segue-se que:

$$\sum_i a_i u_i [|\mathbf{r} - R_i| - (y_{pi} + \Delta y)] = 0 \quad (38)$$

$$\rho_i = \frac{\mathbf{r} - R_i}{1 + \lambda_i} = (y_{pi} + \Delta y) u_i, \quad (39)$$

$$a^* \Delta y = \sum_i \lambda_i a_i (y_{pi} + \Delta y), \quad (40)$$

onde u_i é o versor dado por:

$$u_i = \frac{|r - R_i|}{y_{pi} + \Delta y} - 1. \quad (41)$$

Resolvendo as equações (41) e (39) para λ_i tem-se:

$$\lambda_i = \frac{|r - R_i|}{y_{pi} + \Delta y} - 1. \quad (42)$$

Usando o vínculo de normalidade (33) junto com a equação (42) acima, pode-se escrever:

$$\Delta y = \sum_i a_i [|r - R_i| - y_{pi}] \quad (43)$$

e finalmente definindo-se a quantidade U como $U = \sum_i a_i u_i$ resulta:

$$f(r - R_i, y_{pi}) \equiv \sum_i a_i (u_i - U) [|r - R_i| - y_{pi}] = 0. \quad (44)$$

Este conjunto de equações (41), (43) e (44) fornece a solução fechada para a determinação de posição do satélite, utilizando medidas GPS viesadas, via método de mínimos quadrados. Estas equações podem ser resolvidas numericamente via o método de Newton-Raphson quando um chute inicial r^0 está disponível:

$$r^{k+1} = r^k - F^{-1} \cdot f(r^k - R_i, y_{pi}), \quad (45)$$

$$F = \left. \frac{\partial f}{\partial r} \right|_{r=R_i, \bar{y}_i} \quad (46)$$

Desde que os valores obedeçam a relação:

$$|r - R_i| - \bar{y}_i = 0, \quad (47)$$

Isto implica que:

$$F = \Lambda - UU^T, \quad (48)$$

Onde a matriz Λ é definida por:

$$\Lambda = \sum_i a_i u_i u_i^T, \quad (49)$$

Para F não singular, u_i 's não pode estar no mesmo cone; por exemplo, a linha de visada dos satélites de GPS não pode cruzar a Esfera Celeste em pontos coplanares.

Para precisões realísticas no chute inicial, este método converge em poucos passos a um alto nível de precisão.

CAPÍTULO 3

RECEPTOR ORBSAT 2002 RPL

3.1 - RESULTADOS DA PRIMEIRA FASE DO PROJETO

Os algoritmos dos métodos propostos foram modelados e implementados em linguagem FORTRAN 90 (Compilador da Microsoft). Em tais algoritmos aparecem operações com matrizes cujas subrotinas estão disponíveis nas bibliotecas MSIMSL e MSFLIB, acessíveis somente por codificação em Fortran 90. Essas subrotinas não são compatíveis com outras versões do FORTRAN. Os resultados mostraram comparações entre os três métodos matemáticos descritos nesse trabalho, onde simulações foram realizadas com a introdução dos dados de efeméride para que a solução pudesse ser efetuada.

Com o sucesso dessa fase, desejou-se que os dados não fossem mais simulados, e sim que eles fossem recebidos por um receptor GPS. Para isso foi adquirido, um receptor nacional da marca Orbisat, modelo ORB 2002 RLP.



Figura 6 – Receptor ORBISAT ORB 2002 RPL

3.2 - ESPECIFICAÇÕES DO CARTÃO RECEPTOR GPS ORB 2002 RLP

- Características físicas

Dimensões da placa 70 mm x 40 mm x 12 mm

Conectores receptáculo 90° MCX (entrada do sinal de RF)

Peso 30 gramas (aproximadamente)

- Características elétricas

Tensão de alimentação +3 Volts (30 milivolts)

Consumo 500 mW (contínuo), 30 mW (modo *power down*), 150 mW (1 fixação por 10 segundos)

- Características de desempenho

Receptor 12 canais L1-C/A código SPS

- Tempo para a primeira fixação

Início “quente” (com efeméride, almanaque, posição e tempo estimados) 13 segundos (típico)

Início “morno” (com almanaque, posição e tempo estimados) 40 segundos (típico)

Início “frio” (sem efeméride, almanaque, tempo e posição estimados) 70 segundos (típico)

- Precisão

Posição (horizontal) 10 metros (90% sem S/A)

Posição com DGPS (horizontal) 5 metros

Velocidade 0,1 metros/s (90% sem S/A)

- Dinâmica

Velocidade 600 m/s (modo normal) 200 m/s (modo *power down*)

Aceleração 4g (modo normal) 2g (modo *power down*)

Empuxo 7m/s³ (modo normal)

- Re-aquisição

Sinal menos que 500 ms

Posição menos que 1 segundo

Tempo de bloqueio 3 minutos

-Solução de posição posição 2D/3D, velocidade e tempo

Taxa de atualização de posição 1Hz/ 4Hz configurável pelo usuário

- Características Ambientais

Faixa de temperatura operacional (ambiente) 0°C a +70°C

Faixa de temperatura para armazenagem -65°C a +150°C

Umidade 95% sem condensação +30°C a +60°C

Altitude 18.000 metros

- Comunicação com o PC / host

Interface compatível RS232

Taxas de comunicação 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600 bauds

Formatos de mensagem NMEA0183 Ver 2.00 ASCII e ASCII proprietário

Start bits 1

Data bits 8

Stop bits 2

Verificação de paridade nenhuma

Controle de fluxo nenhum

- Mensagens de saída

NMEA \$GPGGA, \$GPGSA, \$GPRMC, \$GPGLL, \$GPGSV, \$GPVTG, \$GPZDA

Binário “customizada” medidas cruas efeméride

ASCII “customizada” mensagem de distância, configuração do receptor, número da versão, leitura *flash*, validação de escrita *flash*

- Mensagens de entrada

ASCII “customizada” configuração de mensagem NMEA, ajuste da taxa de comunicação entre portas do *host* e do DGPS, comando *reset*, comando de início “frio”, seleção de ângulo de máscara, modo *power down* modo DGPS, ID do dado, solicitação de efeméride, posição de referência para cálculo de distância configuração do receptor, altitude do usuário, posição do usuário, configuração PTTI, configuração DOP, solicitação de configuração do receptor, escrita *flash*, leitura *flash*, apagamento

- Interface DGPS

Interface compatível RS232

Taxas de comunicação 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200 bauds

Formatos de mensagem RTCM SC-104 Tipo 1, Tipo 2 e Tipo 9

Start bits 1

Data bits 6 de 8 / 8 de 8

Stop bits 1

Verificação de paridade nenhuma

Controle de fluxo nenhum

- Saída de tempo preciso

Largura de pulso 5 ms (configurável até 99 ms)

Nível 3,3 V TTL

Tempo de subida 30 ns

Sincronismo borda de subida sincronizada com o tempo GPS

- Antena ativa

Requisito de ganho 16 dB após perda no cabo

Figura de ruído menor que 2 dB

3.3 - COMPONENTES FUNCIONAIS DE UM RECEPTOR GPS

Um receptor GPS típico utilizado para aplicações civis possui os componentes funcionais apresentados na Figura 7.

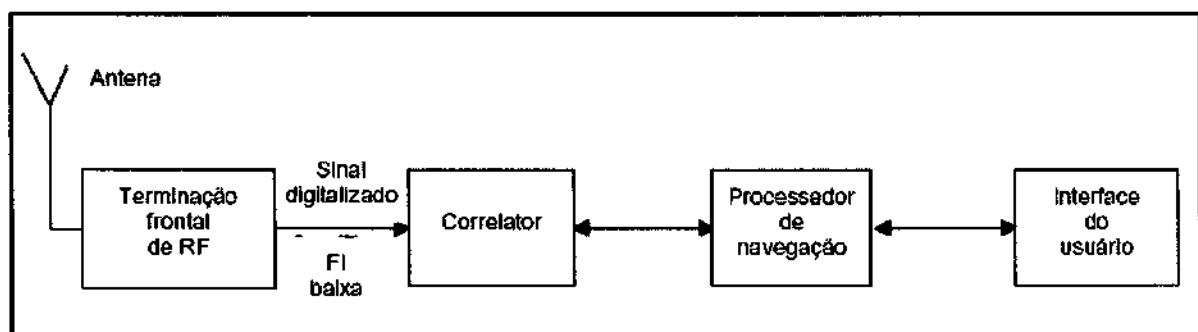


Figura 7 : Componentes funcionais de um receptor GPS.

Antena: A antena opera em 1575,42 MHz para receber os sinais GPS L1 de todos os satélites visíveis.

Conversor de RF para baixa frequência: O conversor de RF para baixa frequência amplifica, filtra e converte para baixa frequência o sinal L1, gerando um sinal digital de FI disponível para processamento no correlator.

Correlator: O correlator adquire os sinais de satélite, extrai os bits de dados e realiza as medidas de distância e *Doppler*.

Processador de navegação: O processador de navegação extrai das medidas geradas pelo correlator as mensagens de navegação e calcula a posição, a velocidade e o tempo do usuário.

Interface do usuário: Esta pode incluir tipicamente um teclado e um *display* para possibilitar ao usuário programar e monitorar as saídas do receptor GPS.

3.4 - DESCRIÇÃO GERAL

O ORB 2002 RLP é uma solução para o receptor de Sistema de Posicionamento Global, cujo diagrama em blocos é mostrado na Figura 8.

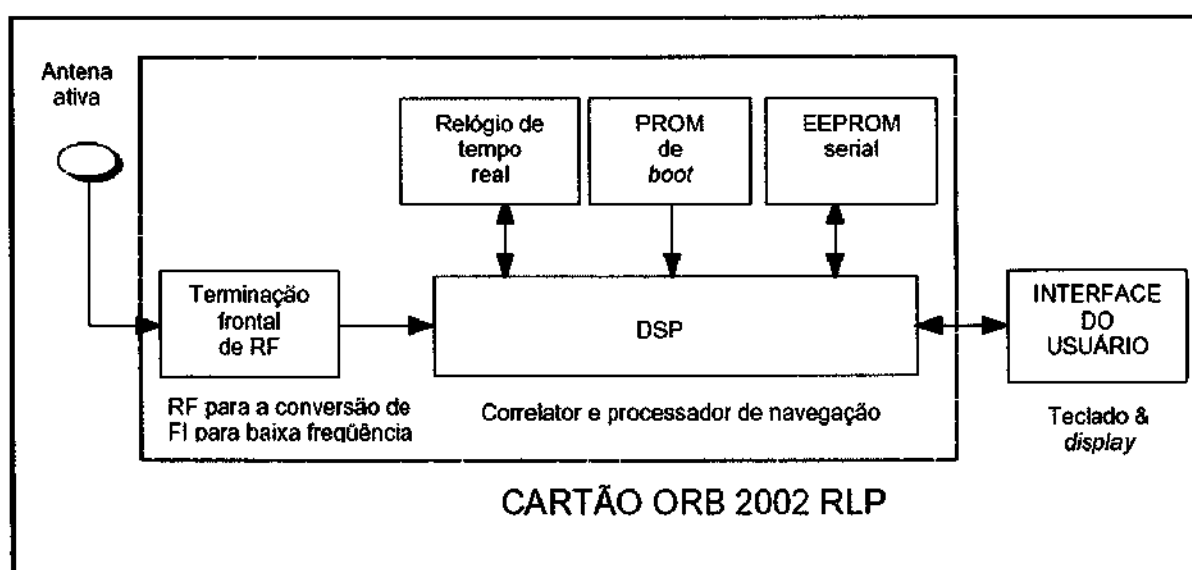


Figura 8 - Diagrama em blocos do receptor ORB 2002 RLP

O ORB 2002 RLP foi projetado para adquirir e rastrear simultaneamente sinais de 12 satélites GPS e calcular a posição, a velocidade e o tempo precisos do usuário. A Orbisat oferece um programa de interface gráfica que roda em um IBM-PC, o qual pode ser conectado ao receptor de GPS através de uma ligação RS 232.

3.5 DESCRIÇÃO FUNCIONAL

O receptor ORB 2002 RLP consiste de (vide Figura 9):

- - Terminação frontal de RF com antena
- - Correlator
- - Módulo de navegação

- - Interface do usuário

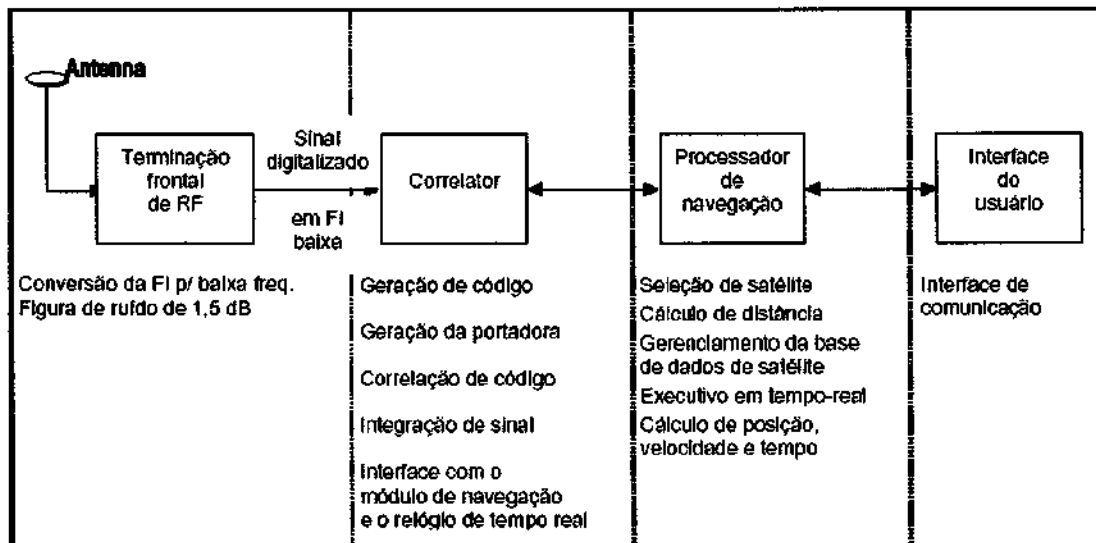


Figura 9 - As quatro seções do receptor ORB 2002 RLP.

O sinal GPS L1, recebido através de uma antena ativa, sofre uma conversão para uma FI de baixa frequência na terminação frontal de RF – projetada em torno de um conversor para baixa frequência VLSI. Este sinal de FI é amostrado a uma taxa pré-definida e então quantificado em um conversor A/D no interior da terminação frontal de RF. As amostras quantificadas do sinal de FI são recebidas serialmente pelo processador de sinais digitais (DSP) e armazenados em um *buffer* interno. A conversão para baixa frequência deste sinal de FI armazenado para banda base, a correlação do sinal com o código local, as malhas de rastreamento de portadora e código, o cálculo da posição, da velocidade e do tempo do usuário, bem como a interface de comunicação com um PC hospedeiro (*PC/host*), são todos implementados no *software* operando no DSP.

Antena: A seção da antena consiste de:

- - uma antena operando em 1575,42 MHz (sinal L1)
- - um amplificador de baixo ruído (LNA) interno

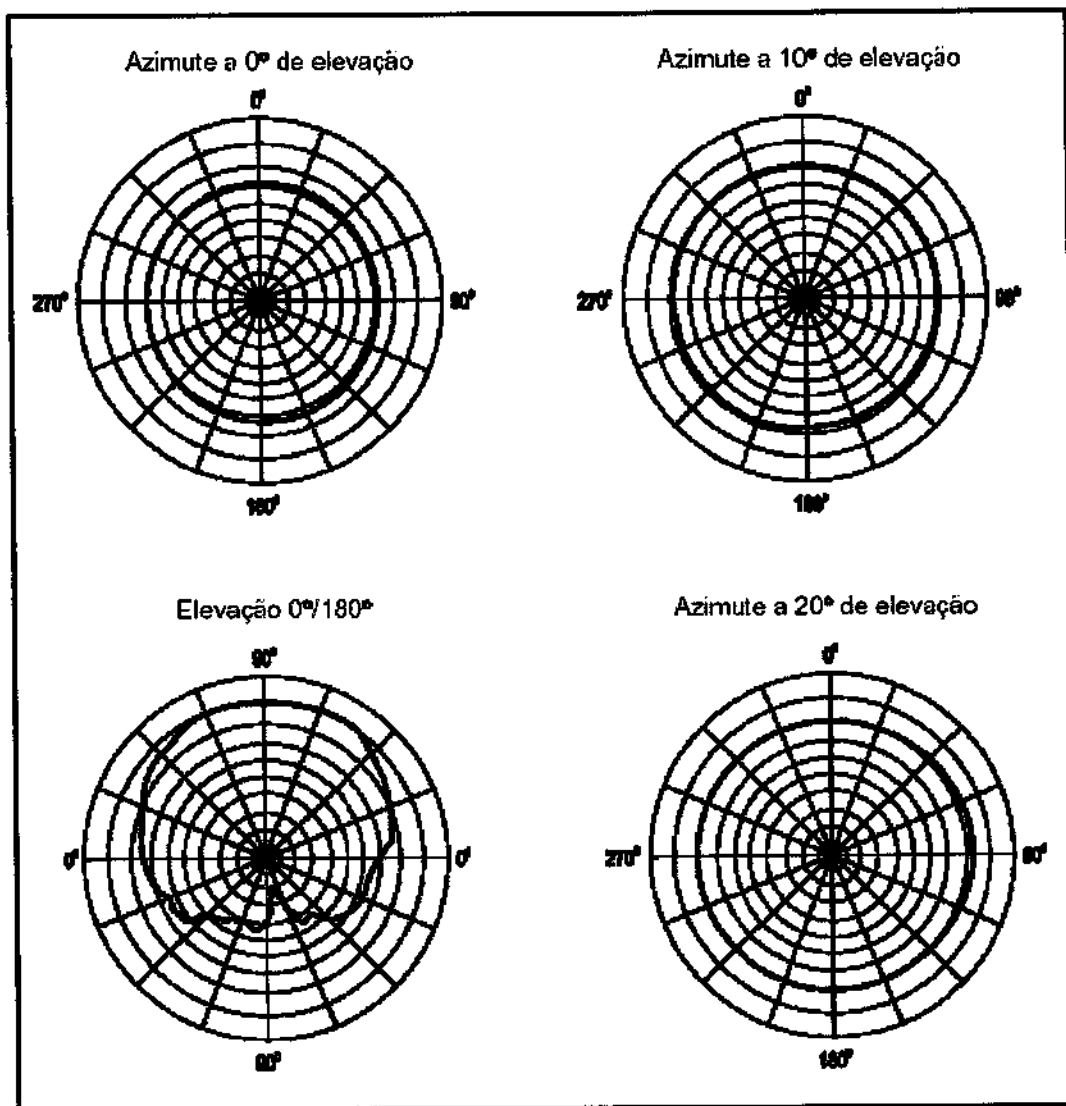


Figura 10 - Diagramas de irradiação da antena GPS.

A antena recebe o sinal L1 de todos os satélites visíveis com quase o mesmo ganho através de diagramas de irradiação hemisféricos (vide Figura 10).

O sinal de satélite na antena é bastante fraco (-130 dBm) com uma relação sinal/ruído (SNR) menor que -16 dB. O amplificador de baixo ruído interno compensa a perda de sinal no cabo de RF. As principais funções da seção da antena GPS são:

- - Recepção do sinal GPS L1 a 1575,42 MHz
- - Amplificação dos sinais de satélite recebidos

Terminação frontal de RF: A terminação frontal de RF foi projetada em torno de um conversor para baixa frequência de RF VLSI disponível comercialmente e de um conjunto de componentes passivos de RF. Ele recebe o sinal de entrada da antena e fornece ao correlator

um sinal de FI digitalizado convertido para baixa frequência. A terminação frontal de RF consiste dos seguintes componentes principais:

- - Amplificador de baixo ruído
- - Filtro passa-faixa
- - Conversor para baixa frequência VLSI
- - Filtro LC
- - Filtro SAW
- - Relógio de referência

O sinal L1 de satélite GPS passa inicialmente por um amplificador de baixo ruído e, em seguida, por um filtro passa-faixa. Na sequência, é convertido para uma FI de baixa frequência pelo conversor VLSI.

A conversão para baixa frequência do sinal L1 é realizada em três estágios misturadores para gerar as frequências de FI. As frequências do oscilador local necessárias para as operações de mistura são geradas em um sintetizador de frequências que tem como uma de suas entradas o *clock* de referência. Cada estágio do misturador possui, na sequência, um filtro passa-faixa e um amplificador.

A saída final da terminação frontal de RF consiste de um sinal de FI digitalizado de baixa frequência a ser processado no próximo estágio, ou seja, no correlator. A terminação frontal de RF também fornece interfaces de sinal para o BITE (autoteste), sinal de *clock* para o correlator e nível de AGC.

As funções principais da terminação frontal de RF são:

- - Recepção do sinal GPS na banda L da antena
- - Amplificação e filtragem do sinal de RF
- - Conversão para baixa frequência do sinal de RF para o sinal de FI
- - Digitalização do sinal de saída de FI em baixa frequência

Correlator: O correlator recebe da terminação frontal de RF a saída de FI digitalizada em baixa frequência e realiza medidas do sinal de satélite. As saídas das medidas são enviadas ao módulo de navegação que computa a posição, a velocidade e o tempo do usuário. O correlator consiste de:

- - *Buffers* para armazenar a FI de baixa frequência amostrada

- - Gerador da portadora
- - Gerador de código

As principais funções do correlator são:

- - Recepção e armazenamento em *buffers* do sinal de FI de baixa frequência digitalizado
- - Conversão para baixa frequência do sinal de FI para banda base
- - Processamento paralelo de 12 canais
- - Geração da portadora local
- - Geração dos códigos C/A locais para 32 satélites
- - Correlação do sinal recebido com o código local
- - Interface com o módulo de navegação

A solução de *software* para o correlator fornece algoritmos mais eficientes e flexíveis.

Módulo de navegação: O módulo de navegação recebe medidas realizadas pelo correlator a partir do sinal de satélite. As medidas de pseudodistância e distância delta rastreadas pelo correlator são utilizadas pelo módulo de navegação para estimar a posição do usuário e outros parâmetros.

O módulo de navegação consiste dos seguintes módulos:

- - Gerenciamento da base de dados do satélite
- - Seleção de satélite
- - Gerenciamento de canal
- - Solução de posição, velocidade e tempo
- - Interface com o correlator e a interface do usuário
- - Execução de multitarefas em tempo real
- - Processador de dados medidos
- - Interface com o relógio de tempo real e a memória não volátil
- - Aplicação de correções de DGPS
- - Gerador de tempo preciso
- - Suporte de dados
- - Interface RS 232

O algoritmo de cálculo de posição é tal que quando a posição é determinada com 3 satélites, a VDOP é 1,0.

Interface do usuário: O *software* de interface do usuário fornecido com o receptor opera num IBM-PC conectado ao receptor através de uma ligação RS 232. Utilizando o *software*, você pode:

- Monitorar satélites que estão sendo procurados e rastreados
- Mostrar a posição, a velocidade e o tempo do usuário
- Alterar os parâmetros da porta DGPS
- Realizar o *login* de várias mensagens NMEA
- Alterar os ajustes de máscara de elevação
- Ajustar o receptor para os parâmetros de fábrica
- Iniciar o receptor a “frio”
- Configurar o receptor para o modo *power down*
- Alterar os ajustes de várias portas

Armazenagem na EEPROM: A EEPROM é usada para armazenar periodicamente parâmetros diversos e de navegação enquanto o receptor encontrar-se operacional. Na próxima vez em que o receptor for ligado, os dados armazenados na EEPROM serão carregados no receptor.

A armazenagem desses parâmetros pode levar um certo tempo, dependendo da quantidade de dados. Se a alimentação principal for desligada durante a transferência desses dados, a armazenagem pode não se concretizar na EEPROM.

Por exemplo, os dados de almanaque são armazenados na EEPROM quando o receptor obtiver dados que estão com um mês de diferença daqueles armazenados na EEPROM. O tempo de armazenagem para isso pode levar cerca de 20 segundos. Os dados de efeméride são armazenados sempre que o receptor obtiver nova efeméride. Isso pode levar cerca de 1,5 segundo por satélite. Os parâmetros armazenados são:

- - Efemérides para 12 satélites, almanaque
- - Posição do usuário, dados de ID (identificação)
- - Periodicidade de todas as mensagens NMEA
- - Ajustes de comunicação para as portas do *host* e do DGPS
- - Modo DGPS

- - Ângulo de máscara, limite HDOP
- - Taxa de atualização de fixação
- - Configuração PTTI
- - Manter altitude, manter posição
- - Filtro de posição, filtro de velocidade, solicitação de extrapolação

O receptor não recupera os seguintes parâmetros:

- - Modo de medida crua
- - Modo *power down*

Memória *flash*: A memória *flash* mantém o código GPS e proporciona espaço para armazenagem de dados. O receptor dispõe de uma memória *flash* de 512 kbytes, na qual o usuário pode armazenar seus dados em 192 kbytes. A memória *flash* é diferente da EEPROM no modo pelo qual armazena dados. Na memória *flash*, os dados não podem ser sobrescritos antes de se apagar um determinado espaço de memória.

A organização da memória *flash* é apresentada abaixo.

0x0	código GPS (256 kbytes)
0x40000	segmento de dados do usuário (192 kbytes)
0x70000	reservado (64 kbytes)

A versão atual do ORB 2002 RLP suporta somente a memória *flash* SST 39F040.

Nas mensagens *flash* (refira-se ao Anexo A), quando o usuário especifica um endereço 00000, este corresponde ao endereço 0x40000 na memória *flash*. Portanto, o endereço especificado as mensagens *flash* é um endereço relativo. Para sobrescrever dados em um determinado local, o segmento de dados do usuário deve ser apagado totalmente utilizando a mensagem *flash* de pagar. Quando o apagamento *flash* é realizado, o segmento de dados do usuário é apagado e o receptor sofre um *reset* de *software*.

Exemplo: Para a mensagem de escrita *flash* ACFLW,000000,03,12,AB,34*`<CS><CR><LF>`, os dados 12,AB,34 são armazenados no local de memória 0x40000 e quando os dados são lidos pela mensagem de leitura *flash* \$ACFLR,000000,03*`<CS><CR><LF>`, os dados serão lidos do local de memória 0x40000 e apresentados ao usuário numa mensagem \$ACFLD.

CAPÍTULO 4

INTERFACE SERIAL

4.1 – PRINCÍPIOS DA COMUNICAÇÃO SERIAL

A porta serial convencional (não a nova porta USB) é uma porta E/S muito antiga. Quase todos os PC's as possuem. A especificação comum é RS-232 (ou EIA-232). O conector para a porta serial é visto muitas vezes como um ou dois conectores de 9 pinos (em alguns casos 25 pinos) na parte posterior do PC.

O computador precisa saber em qual PORTA SERIAL está conectado o modem para poder se comunicar com ele. As portas seriais em micros PC são chamadas de COM1, COM2, COM3 e COM4.

Embora se tenha quatro portas de comunicação à disposição, existem algumas considerações a se fazer quanto à correta configuração:

Cada porta COM possui uma chamada de interrupção que ela usará para informar ao micro que está precisando de atenção. Essas interrupções são chamados de IRQ, e são numerados de 0 a 15. Para as portas seriais, existem dois IRQs:

PORTA	IRQ
COM1	IRQ4
COM2	IRQ3
COM3	IRQ4
COM4	IRQ3

Assim sendo, não é recomendado ter dois periféricos em duas portas com IRQs iguais, ou seja, ao mesmo tempo na COM1 e COM3 ou na COM2 e COM4.

Se o modem for INTERNO e se puder configurar à gosto a porta serial a usar, devem ser seguidos algumas recomendações:

- COM1: Use essa porta se seu micro não tiver uma conexão serial já como COM1 (o que não é provável). É comum de se ter um mouse instalado na COM1.

- **COM2:** Se seu micro estiver equipado com somente uma porta serial na COM1, e se você não já está usando a COM2 para outro equipamento, use essa porta (é a configuração mais comum e os modems normalmente vêm com a COM2 por default).
- **COM3 ou COM4:** Somente em casos especiais, normalmente não é o caso.

Além de poder configurar a porta serial, os modems internos também permitem configurar o IRQ a ser usado, sendo que assim você pode contornar o problema dos IRQs exposto acima.

Mas a porta serial é mais do que apenas isso. Inclui a eletrônica associada, que deve produzir sinais de acordo com a especificação EIA-232. Um pino é usado para enviar bytes de dados e outro para receber bytes de dados. Um outro pino é um terra para sinais comum. Os outros pinos "úteis" são usados principalmente para fins de sinalização com uma tensão negativa constante significando "desligado", e uma tensão positiva constante significando "ligado".

4.2 - COMO FUNCIONA -- VISÃO GERAL

4.2.1 TRANSMISSÃO

Transmissão é o envio de bytes pela porta serial para fora do computador. O que segue é uma explicação de como funcionam portas seriais mais antigas e obsoletas (com buffers de apenas 1 byte). Quando o computador quiser enviar um byte para fora, a UCP envia o byte pelo bus dentro do computador ao endereço de E/S da porta serial. A porta serial toma o byte, e o envia, um bit de cada vez (uma corrente serial de bits) pelo pino de transmissão do conector serial.

A maior parte do trabalho na porta serial é executado pelo chip UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) ou similar. O programa acionador de dispositivo, rodando na UCP, envia um byte ao endereço de E/S serial. Esse byte vai para um buffer de transmissão de 1 byte na porta serial. Quando uma porta está pronta para transmiti-lo, ela move esse byte para o registrador de deslocamentos para transmissão e envia-o pelo pino de transmissão bit a bit. Agora o buffer de transmissão está vazio e um outro byte pode ser nele colocado enquanto o byte original estiver sendo transmitido do registrador de deslocamentos para transmissão. Uma vez que um byte foi completamente transmitido, a porta toma um outro byte de seu buffer e envia-o também bit a bit. A porta continua a fazer isto enquanto houver um novo byte no buffer de transmissão.

Para que não haja quaisquer falhas na transmissão, a UCP deve manter o buffer de transmissão de 1 byte preenchido. Ela o faz usando interrupções. Assim que um byte foi movido para fora do buffer de transmissão de 1 byte, e está a ser transmitido do registrador de deslocamentos para transmissão, o buffer de transmissão está vazio e requer outro byte. A porta serial então emite uma interrupção para dizer que está pronta para o próximo byte.

A interrupção é na verdade uma tensão aplicada num fio dedicado àquela porta serial (embora em alguns casos, o mesmo fio possa ser compartilhado por mais de uma porta). O acionador de dispositivos é notificado sobre a interrupção e verifica os registradores em endereços para saber o que aconteceu. Ele descobre que o buffer de transmissão da porta serial está vazio e esperando por mais um byte. Então, se houver mais bytes para enviar, o acionador envia o próximo byte para o endereço de E/S serial. Este próximo byte deve chegar quando o byte anterior está ainda no registrador de deslocamentos de transmissão e ainda sendo transmitido bit a bit. Este novo byte vai para o buffer de transmissão mas não pode ser movido para o registrador de deslocamentos enquanto o byte anterior não tiver sido completamente transmitido. Quando o último bit tiver sido enviado, as seguintes três ações ocorrem simultaneamente:

1. Um novo byte é movido do buffer de transmissão para o registrador de deslocamentos para transmissão
2. A transmissão deste novo byte bit a bit começa
3. Uma outra interrupção é emitida para dizer ao acionador de dispositivos enviar um outro byte para o buffer de transmissão.

Dizemos, portanto, que a porta serial é acionada por interrupções. A cada vez a porta serial emite uma interrupção, a UCP envia-lhe um outro byte. Uma vez que um byte tiver sido enviado ao buffer de transmissão pela UCP, então a CPU fica livre para executar alguma outra atividade, até receber a próxima interrupção.

A porta serial transmite bits a uma velocidade fixa, que é escolhida pelo usuário, e às vezes chamada de taxa em bauds. A porta serial adiciona bits extras a cada byte, de modo que há muitas vezes 10 bits por byte. A uma taxa (também chamada de velocidade) de 19,200 bits por segundo (bps), ou seja 1920 bytes/s (e também 1920 interrupções/s).

4.2.2 RECEPÇÃO

Receber bytes por uma porta serial é semelhante a enviá-los, só que na direção oposta. É também acionado por interrupções. Para o tipo obsoleto de porta serial com buffers de um byte, quando um byte é recebido completamente, vai para um buffer de recepção de 1 byte.

Então a porta dá à CPU uma interrupção para dizer-lhe que apanhe um byte, de modo que a porta serial tenha espaço para armazenar o byte que está sendo recebido.

4.2.3 PINOS E FIOS

Antigos PCs usavam conectores de 25 pinos, mas somente 9 pinos eram realmente usados, por isso hoje a maioria dos conectores têm 9 pinos. Cada um dos 9 pinos são ligados a um fio. Além dos fios isolados usados para transmitir e receber dados, um outro pino (e fio) é o terra para sinais. A tensão em qualquer fio é medida em relação a esse terra. Há mais fios ainda que são para controle (sinalização) somente. Todos esses sinais poderiam ser enviados através de um único fio, porém, existe um fio separado dedicado a todo tipo de sinal.

9 Pinos	25Pinos	Sigla	Nome	Significado
3	2	TxD	Transmitir Dados	Transmitir byte para fora do PC
2	3	RxD	Receber Dados	Receber bytes para dentro do PC
7	4	RTS	Request To Send	Controle de fluxo RTS/CTS
8	5	CTS	Clear To Send	Controle de fluxo RTS/CTS
6	6	DSR	Data Set Ready	Pronto para comunicar
4	20	DTR	Data Terminal Ready	Pronto para comunicar
1	8	DCD	Data Carrier Detect	Modem conectado a outro
9	22	RI	Ring Indicator	Linha telefonica tocando
5	7		Terra para sinal	

LISTA DOS PINOS da PORTA SERIAL (--> direção para fora do PC)

Alguns (ou todos) esses fios de controle são chamados "linhas de controle de modem". Fios de controle de modem estão em estado ligado de +12 volts ou em estado desligado de -12 volts. Um desses fios serve para sinalizar ao computador a parar de enviar bytes para fora da

porta serial. Por outro lado, um outro fio sinaliza ao dispositivo acoplado à porta serial a parar de enviar bytes para o computador. Se o dispositivo acoplado é um modem, outros fios podem dizer ao modem para desligar a linha telefônica ou dizer ao computador que uma conexão foi feita ou que a linha telefônica está chamando (alguém está tentando chamar para dentro).

Somente 3 dos 9 pinos possuem uma atribuição fixa: transmitir, receber e terra para sinal. Estes são fixados pelo hardware e não podem ser alterados. Mas as outras linhas de sinal são controladas por software e podem fazer (e significar) quase qualquer coisa. Entretanto elas podem estar em um de dois estados: positivo (+12 volts) ou negativo (-12 volts). Positivo é "ligado" e negativo é "desligado".

4.2.4 CABLAGEM ENTRE PORTAS SERIAIS

Um cabo de uma porta serial sempre se conecta a uma outra porta serial. Um modem ou outro dispositivo que se conecta a outra porta serial tem uma porta serial nele embutida. Para modems, o cabo sempre vai direto: pino 2 vai para pino 2, etc. Diz-se que o modem é um DCE (Data Communications Equipment) e que o computador é um DTE (Data Terminal Equipment). Assim, para conectar um DTE a um DCE usa-se um cabo direto.

Para conectar um DTE a outro DTE usa-se um cabo de modem nulo, e existem muitas maneiras de ligar os fios num tal cabo. Existem boas razões pelas quais funciona assim. Uma é que os sinais são unidirecionais. Se o pino 1 envia um sinal para fora, mas é incapaz de receber qualquer sinal, então obviamente não pode conectá-lo ao pino 1 de um mesmo tipo de dispositivo. Se isso for feito, ambos enviariam sinais um ao outro mas nenhum deles seriam capazes de receber qualquer sinal. Existem dois modos de lidar com esta situação. Um é ter dois diferentes tipos de equipamento onde o pino 1 do primeiro tipo envia o sinal ao pino 1 do segundo tipo (o que recebe o sinal). Isto é o que ocorre quando um PC (DTE) é conectado a um modem (DCE). Existe um segundo modo de fazê-lo sem ter dois diferentes tipos de equipamento: conectar o pino 1 (um pino que envia) a um pino que recebe no mesmo equipamento. É assim que são conectados 2 PCs um ao outro ou um PC a um terminal (DTE a DTE). O cabo usado para isto é chamado cabo de modem nulo. As designações dos pinos seriais foram originalmente definidas para conectar um terminal burro a um modem. O terminal era um DTE (Data Terminal Equipment - equipamento terminal de dados) e o modem um DCE (Data Communication Equipment - equipamento de comunicação de dados).

Hoje o PC é usualmente um DTE ao invés de um terminal (mas terminais reais podem ainda ser usados desta forma). Os nomes dos pinos são os mesmos em ambos, DTE e DCE. As palavras "receber" e "transmitir" são usadas do ponto de vista do PC (DTE). O pino de transmissão do PC transmite ao pino de "transmissão" do modem (mas realmente o modem está recebendo os dados deste pino, de modo que do ponto de vista do modem este seria um pino de recepção). A porta serial foi originalmente concebida para ser usada para conectar um DTE a um DCE, o que torna o cabo simples: todos os fios diretos, sem cruzamentos. Assim, quando se conecta um modem raramente se necessita preocupar-se qual pino é qual. Mas as pessoas queriam conectar um DTE a outro DTE (por exemplo, um computador a um terminal) e várias formas foram encontradas para fazer isto, fabricando-se vários tipos de cabos especiais. Neste caso, qual pino se conecta a qual outro pino se torna muito importante.

4.2.5 ENDEREÇO DE E/S E IRQ

Como o computador necessita comunicar-se com cada porta serial, o sistema operacional deve saber que cada porta serial existe e onde se encontra (seu endereço de E/S). O Sistema Operacional também precisa saber qual fio (número IRQ) a porta serial vai usar para solicitar serviço da UCP do computador. A porta serial pede serviço enviando uma interrupção neste fio. Assim, toda porta serial deve armazenar em sua memória não volátil ambos, seu endereço de E/S e seu número IRQ (pedido de interrupção). Para o PCI bus não funciona exatamente deste jeito, desde que o PCI bus tem seu próprio sistema de interrupções. Mas como o BIOS ciente do PCI faz com que os chips mapeiem essas interrupções PCI para IRQs, parece que se comporta exatamente como descrito acima. As portas seriais são rotuladas 0x3F8, 0x3E8, etc. correspondendo a COM1, COM2 etc. Cada qual desses nomes se refere a uma certa porta serial física é determinado pelo endereço de E/S armazenado no chip de hardware da porta física. Quando um endereço de E/S é posto no bus de endereços do computador, um outro fio é energizado. Isto diz tanto à memória principal ignorar o endereço quanto a todos os dispositivos que possuem Endereços de E/S (tal como a porta serial) a escutarem no endereço para ver se ele corresponde. Se o endereço corresponder, então o dispositivo de E/S lê os dados no bus de dados.

4.2.6 INTERRUPÇÕES

Quando a porta serial pega um byte, ela sinaliza a UCP para buscar o byte enviando um sinal elétrico conhecido como interrupção a um condutor dedicado. Ela enviará também essa

interrupção se houver uma demora inesperada enquanto espera o próximo byte chegar (conhecido como tempo terminal (timeout)). Cada condutor de interrupção (dentro do computador) tem um número (IRQ) e a porta serial deve saber qual condutor usar para sinalizar. Por exemplo, 0x3F8 normalmente usa o IRQ número 4, conhecido como IRQ4.

Interrupções são emitidas sempre que a porta serial precisa chamar a atenção da UCP. É importante fazer isso em uma forma oportuna, pois o buffer dentro da porta serial contém 1 bytes entrante. Se a UCP não remover tal byte prontamente, então não haverá espaço sobrando para qualquer byte entrante e ocorrerá transbordamento, e bytes se perderão. Não há Controle de Fluxo para evitar isto.

Interrupções são também emitidas quando a porta serial acabou de enviar todo o byte de seu pequeno buffer de transmissão para fora do cabo externo. Então ela tem espaço para mais 1 byte saindo. A interrupção é para notificar a UCP daquele fato de modo que ela possa por mais bytes no pequeno buffer de transmissão a ser transmitido. Também, quando uma linha de controle de modem muda de estado, uma interrupção é emitida.

4.2.7 FLUXOS DE DADOS (VELOCIDADES)

Dados (bytes representando letras, figuras, etc.) fluem para dentro e para fora da porta serial. Taxas de fluxo (tais como 56k bits/segundo) são incorretamente chamadas de "velocidades".

É importante entender que a velocidade média é freqüentemente menor que a velocidade especificada. Tempos de espera resultam em menor velocidade média. Estas esperas podem incluir longas esperas de talvez um segundo devido ao Controle de Fluxo. No outro extremo pode haver esperas muito curtas de vários micro-segundos entre bytes. Se o dispositivo na porta serial (tal como um modem) não pode aceitar toda a velocidade da porta serial, então a velocidade média deve ser reduzida.

Controle de fluxo é o poder de parar o fluxo de bytes num fio. Inclui também meios de reiniciar o fluxo sem perda de bytes. O controle de fluxo é necessário em situações que necessitam permitir mudanças bruscas na taxa de fluxo.

O sintoma da falta de controle de fluxo é a falta de pedaços de dados em arquivos enviados sem o benefício do controle de fluxo. Isto ocorre porque quando o transbordo acontece, usualmente mais do que uns poucos bytes transbordam e são perdidos.

Freqüentemente centenas ou mesmo milhares de bytes se perdem, e todos em pedaços contínuos. Pode-se utilizar controles de fluxos via software ou mesmo por hardware. Para modems, é melhor usar controle de fluxo de "hardware" que usa dois fios dedicados a "controle de modem" para enviar os sinais de tensão para "parar" e "iniciar". O controle de fluxo de software usa os fios de receber e transmitir para enviar os sinais de iniciar e parar. Para isso usa os caracteres de controle ASCII DC1 (iniciar) e DC3 (parar). São apenas inseridos na corrente regular de dados. O controle de fluxo de software não é apenas reage mais lentamente, como também não permite o envio de dados binários pelo modem pois os dados binários podem conter os caracteres de controle DC1 ou DC3 usados no controle de fluxo.

Controle de Fluxo RTS/CTS e DTR/DSR

RTS/CTS e DTR/DSR são controles de fluxo em hardware e funcionam da mesma forma. Para obter fluxo de controle RTS/CTS, necessita-se selecionar hardware de fluxo de controle. Isto ativa o hardware de fluxo de controle RTS/CTS no acionador de dispositivos. Então quando um DTE (tal como um PC) quiser parar seu fluxo de entrada, nega o RTS. Negar o "Request To Send" (-12 volts) significa "Solicito NÃO enviar para mim" (para o envio). Quando o PC estiver pronto para mais bytes, ele positiva o RTS (+12 volts) e que o fluxo de bytes a ele se reinicia. Sinais de fluxo de controle são sempre enviados numa direção oposta ao fluxo de bytes sendo controlado. Equipamentos DCE (modems) funcionam do mesmo modo porém envia o sinal de parada para fora do pino CTS. Assim o fluxo de controle RTS/CTS usa 2 linhas.

Para conexões DCE-DTE as linhas são diretas então o sinal é recebido num pino com mesma posição relativa que o emissor. É RTS→RTS (PC para modem) e CTS←CTS (modem para PC). Para DTE-DTE a conexão é também fácil de entender. O pino RTS envia e o pino CTS recebe. Supõe que conectamos dois PCs (PC1 e PC2) através de suas portas seriais. Teremos RTS(PC1)→CTS(PC2) e CTS(PC1)←RTS(PC2). Em outras palavras, RTS e CTS cruzam-se. Tal cabo (com outros sinais cruzados também) é chamado cabo de "modem nulo". O que é algumas vezes confuso é que existe o uso original de RTS, onde significa quase o oposto da explicação anterior acima. O significado original é: solicito te enviar. Esta solicitação deveria ser enviada de um terminal (ou computador) a um modem que, se decidisse atender ao pedido,

retornaria um CTS positivo de seu pino CTS para o pino CTS do computador: estará livre para me enviar. Nota que em contraste com o moderno fluxo bidirecional RTS/CTS, isto apenas protege o fluxo em uma direção: do computador (ou terminal) ao modem. O uso original parece ser pouco usado hoje em equipamentos modernos (incluindo modems).

Os Pinos DTR e DSR

Exatamente como o RTS e CTS, estes pinos são pareados. Para conexões DTE-DTE provavelmente se cruzam. Existem duas maneiras de usar esses pinos. Uma é usá-los como substitutos para controle fluxo RTS/CTS. O pino DTR é exatamente como o pino RTS, enquanto que o pino DSR se comporta como o pino CTS. O fluxo de controle DTR é o mesmo que o fluxo de controle DTR/DSR porém é somente unidirecional e o pino DSR não é utilizado. Muitos terminais de texto e algumas impressoras usam este tipo de fluxo de controle.

O uso normal de DTR e DSR é o seguinte: Um dispositivo positivando o DTR diz que está ativo e pronto para operar. Para um modem, o significado de um sinal DTR do PC depende de como o modem está configurado. Para enviar um sinal DTR manualmente de um PC usando o comando que ajusta a velocidade de baud a zero. Negar o DTR é algumas vezes chamado de "desligar" (hanging up) mas isto nem sempre acontece.

4.2.8 CAMINHO DO FLUXO DE DADOS, BUFFERS

Além do buffers de porta serial de 1 byte (no hardware) há ainda um outro buffer. Estes são um grande par de buffers (talvez 8k) na memória principal também conhecidos como buffers de porta serial. Quando um programa aplicativo envia bytes à porta serial, estes são primeiro guardados no buffer de porta serial de transmissão na memória principal. O par consiste num buffer de transmissão e um buffer de recepção para a direção oposta ao fluxo de bytes. O acionador de dispositivos seriais retira digamos 16 bytes deste buffer de transmissão, um byte de cada vez, e coloca-os no buffer de transmissão. Uma vez no buffer de transmissão, não há meio de evitar que sejam transmitidos. Eles são então transmitidos pela porta serial. Quando o acionador de dispositivos (sob ordens do controle de fluxo) pára o fluxo de bytes para fora do computador, o que ele realmente pára é o fluxo de bytes para fora do grande buffer de transmissão na memória principal. Mesmo depois que isto aconteceu e o fluxo serial para fora

parou, um programa aplicativo pode continuar enviando bytes para o buffer de transmissão de 8k até que seja preenchido. Quando estiver preenchido, o programa aplicativo não pode enviar mais bytes (uma instrução "write" num bloco de programa em C) e o programa aplicativo temporariamente pára de rodar e espera até que algum espaço de buffer se torne disponível.

Mesmo que este programa pare, o computador não necessariamente para de computar. Ele pode passar a rodar outros processos enquanto espera por uma parada do controle de fluxo.

4.3 UARTs

UARTs (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) são pastilhas seriais na placa-mãe. Em computadores mais antigos como muitos 486s, as pastilhas estavam na placa de controle de E/S de disco. A função dos UARTs é converter bytes da barra omnibus dos PCs para uma corrente de bits serial. O cabo que sai da porta serial tem apenas um fio para cada direção de fluxo. A porta serial envia uma corrente de bits, um de cada vez. Por outro lado, a corrente de bits que entra na porta serial pelo cabo externo é convertida para bytes (em paralelo) que o computador pode entender.

Os UARTs tratam dos dados em pedaços com o tamanho de bytes, que é convenientemente também o tamanho dos caracteres ASCII. Digamos que tens um terminal ligado a teu PC. Quando um caractere é digitado, o terminal passa esse caractere para seu transmissor (também um UART). O transmissor envia aquele byte para a linha serial, um bit de cada vez, a uma velocidade específica. No lado do PC, o UART receptor toma todos os bits e reconstrói o byte (em paralelo) e coloca-o num buffer. Existem dois tipos básicos de UART: UARTs burros e UARTs FIFO. UARTs burros são o 8250, 16450, e os antigos 16550 e 16650.

Para entender as diferenças entre um UART burro e FIFO (Firs In First Out --entra primeiro sai primeiro), vamos antes examinar o que ocorre quando um UART enviou ou recebeu um byte. O próprio UART não pode fazer nada com os dados que passam através do mesmo, pois ele apenas os recebe e os envia. Para os UARTs burros originais, a UCP recebe uma interrupção do dispositivo serial sempre que um byte é enviado ou recebido. A UCP então move o byte recebido do buffer do UART para algum lugar da memória, ou dá ao UART um outro byte para enviar. Os UARTs 8250 e 16450 possuem apenas um buffer de 1 byte. Isso significa que a cada vez que 1 byte é enviado ou recebido, a UCP é interrompida. A baixas

velocidades de transferência, isto funciona. Mas, a altas velocidades, a UCP fica tão ocupada em atender ao UART, que não sobra tempo para atender a outras tarefas. Em alguns casos, a UCP não consegue atender às interrupções em tempo, e o byte no buffer é sobrescrito, porque os dados chegam muito rápido. Isto é chamado de "atropelamento" (overrun) ou "transbordamento" (overflow).

Eis onde os UARTs FIFO são úteis. A pastilha FIFO 16550A (ou 16550) vem com buffers FIFO de 16 bytes. Isto significa que ele pode receber até 14 bytes (ou enviar 16 bytes) antes que tenha de interromper a UCP. Não apenas pode a UCP esperar por mais bytes, como também pode transferir todos os 14 (ou mais) bytes a uma só vez. Embora o limiar (nível de disparo) possa ser fixado em 8 ao invés de 14, isto ainda é uma grande vantagem sobre os outros UARTs, que possuem buffers de 1 byte. A UCP recebe menos interrupções, e fica livre para fazer outras coisas e os dados não são perdidos.

Enquanto a maioria dos PCs possui apenas um 16550 com buffers de 16 bytes, UARTs melhores possuem buffers ainda maiores. Nota que a interrupção é emitida um pouco antes do buffer ficar cheio (a um "nível de disparo" de, digamos, 14 bytes para um buffer de 16). Isto dá lugar para alguns bytes mais a serem recebidos durante o tempo em que a interrupção está a ser atendida. O nível de disparo pode ser definido para vários valores permitidos pelo software do núcleo. Um nível de disparo de 1 funciona quase como um UART burro (exceto que tem 15 mais bytes após emissão da interrupção. Eis uma lista de UARTs. *ND* é o *Nível de Disparo*

- 8250, 16450, antigo 16550: Obsoletos com buffer de 1 byte
- 16550, 16550A, 16c552: buffer de 16 bytes, ND=1,4,8,14
- 16650: buffer de 32 bytes. Velocidade até 460.8 Kbps
- 16750: buffer de 64 bytes para enviar, 56 bytes para receber. Velocidade até 921.6 Kbps
- Hayes ESP: buffer de 1K-byte

Os obsoletos somente servem para os modems mais lentos que 14,4 kbps (velocidades DTE até 38400 bps). Para modems modernos é necessário pelo menos um 16550 (que não seja antigo). Para modems de 56k V.90, pode ser bastante mais rápido com um 16650. A principal vantagem do 16650 é o seu buffer maior, pois a velocidade extra não é necessária, a menos que a razão de compressão seja alta.

4.4 FORMAS DE ONDA DE TENSÃO

4.4.1 TENSÃO PARA UM BIT

Na porta serial EIA-232, as tensões são bipolares (positivo ou negativo em relação à terra) e devem ser em torno de 12 volts em magnitude (alguns são de 5 a 10 volts). Para os pinos de transmissão e recepção, +12 volts é um bit zero (algumas vezes chamado de "espaço") e -12 volts é um bit um (algumas vezes chamado de "marca"). Isto é conhecido como lógica invertida, pois normalmente um bit zero é ao mesmo tempo falso e negativo, enquanto que um bit um é verdadeiro e positivo. Embora os pinos de transmissão e recepção sejam em lógica invertida, outros pinos (linhas de controle de modem) são em lógica normal (tensão positiva sendo verdadeira, ou "ligado" e negativa sendo falsa, ou "desligada"). Tensão zero não tem significado lógico (usualmente significa que a unidade está desenergizada). Um intervalo de tensões é permitido. As especificações dizem que a magnitude de um sinal transmitido deve ser entre 5 e 15 volts mas não deve nunca exceder 25 volts. Qualquer tensão recebida abaixo de 3 volts é indefinido como sinal (mas alguns terminais aceitam uma tensão menor como válida). Vêm-se algumas vezes declarações errôneas de que a tensão é normalmente 5 volts (ou mesmo 3 volts), mas é usualmente 11 a 12 volts.

4.4.2 SEQUÊNCIA DE TENSÕES PARA UM BYTE

O pino de transmissão (TxD) é mantido a -12 V (marca) em repouso, quando nada está a ser enviado. Para iniciar um byte a tensão salta para +12 V (espaço) para o "start bit" e permanece em +12 V pela duração (período) de um bit. Em seguida vem o bit de baixa ordem do byte de dados. Se for um bit zero, nada muda e alinha mantém-se em +12 V por outro período de um bit. Se for um bit um, a tensão salta de +12 para -12 V. Depois disso vem o bit seguinte, e assim por diante. Finalmente, um bit de paridade pode ser enviado e então um "stop bit" de -12 V (marca). A linha permanece a -12 V (inerte) até o próximo "start bit". Nota que não há retorno para zero volts e portanto não existe um modo simples (exceto por um sinal de sincronização) de saber onde um bit termina e o próximo se inicia no caso em que 2 bits consecutivos são da mesma polaridade (ambos zero ou ambos um). Um segundo bit de parada seria também de -12 V, a mesma tensão que o primeiro bit de parada. Como não existe um sinal para marcar os limites entre os bits, o único efeito do segundo bit de parada é que a linha deve permanecer em -12 V durante duas vezes o tempo. O receptor não tem meios de

detectar a diferença entre um segundo bit de parada e um tempo mais longo entre bytes. Assim, a comunicação funciona bem se um lado usa um bit de parada e o outro usa dois bits de parada, mas usando apenas um é obviamente mais rápido. Em raros casos 1 1/2 bits de parada são usados. Isto significa que a linha é mantida a -12 V por 1 1/2 períodos de tempo.

4.4.3 PARIDADE

Os caracteres são normalmente transmitidos com 7 ou 8 bits de dados. Um bit de paridade adicional pode ser (ou não) apenso a esses, resultando num comprimento de byte de 7, 8 ou 9 bits. Alguns emuladores de terminais e terminais antigos não permitem 9 bits. Alguns proibem 9 bits se 2 bits de parada forem usados, pois isto aumentaria o número de bits demais: 12 bits total. A paridade pode ser definida como ímpar, par ou inexistente (paridade de marca e espaço e alguns terminais). Com paridade ímpar, o bit de paridade é escolhido de modo que o número de bits num byte, incluindo o de paridade, seja ímpar. Se um desses bytes for corrompido por um bit ter sido alterado, o resultado será um byte ilegal de paridade par. Esse erro será detectado e se for um byte chegando ao terminal, um símbolo de caractere errado aparece no ecrã. Paridade par funciona de modo similar com todos os bytes legais (incluindo o bit de paridade) tendo um número par de bits. Durante a inicialização, o número de bits por caractere em geral significa que o número de bits de dados por byte (7 para o ASCII original e 8 para vários conjuntos de caracteres ISO). Uma "marca" é um bit 1 e um "espaço" é um bit 0. Para paridade de marca, o bit de paridade é sempre um bit um. Para paridade de espaço, é sempre um bit zero. Paridade de marca ou espaço desperdiça largura de banda e deve ser evitada quando viável. "Sem paridade" significa que paridade não é adicionada. Para terminais que não permitem bytes de 9 bits, deve-se seleccionar "sem paridade" quando usar o conjunto de caracteres de 8 bits pois não existem vaga para o bit de paridade.

4.4.4 FORMANDO UM BYTE (FRAMING)

Na transmissão serial de bytes via portas EIA-232, o bit de baixa ordem é sempre enviado primeiro. As portas seriais de PCs usam comunicação assíncrona onde existe um bit de partida e um bit de parada para marcar o início e fim de um byte. Isto é chamado "framing" (emolduração ou enquadramento) e o byte enquadrado é às vezes chamado de "frame"

(quadro). Como resultado, um total de 9, 10, ou 11 bits por byte são enviados, sendo 10 o mais comum. O termo "8-N-1" significa 8 bits de dados, sem paridade, 1 bit de parada. Isto dá 10 bits total quando se conta o bit de partida. Um bit de parada é quase universalmente usado. A 110 bits/s (e algumas vezes a 300 bits/s) dois bits de parada eram antes usados, porém hoje o segundo bit é usado somente em situações muito incomuns.

4.4.5 ASSÍNCRONO E SINCRONIZADO

A porta serial EIA-232 conforme implementada nos PCs é assíncrona, que efetivamente significa que não existe um sinal de relógio com tiques para marcar quando cada bit é enviado. Existem somente dois estados do fio de transmissão (ou recepção): marca (-12 V) ou espaço (+12 V). Não existe um estado para 0 V. Assim, uma seqüência de bits 1 é transmitida por apenas -12 V constante sem marcadores entre os bits. Para o receptor detectar os bits individuais deve sempre ter um sinal de relógio que esteja em sincronismo com o relógio do transmissor. Tal relógio geraria um tique em sincronismo com cada bit transmitido (ou recebido). Para transmissão assíncrona, o sincronismo é realizado cercado cada byte com um bit de partida e parada (feito por hardware). O receptor escuta na linha por um bit de partida e quando detecta um dispara os tiques de seu relógio. Ele usa este tique do relógio para medir o tempo dos próximos 7, 8 ou 9 bits. Na realidade é um pouco mais complexo do que isto, pois várias amostras de um bit são freqüentemente tomadas e isto requer tiques adicionais. Então o bit de parada é lido, o relógio pára e o receptor espera pelo próximo bit de partida. Assim, existe sincronismo durante a recepção de um byte único, mas não existe sincronismo entre um byte e o próximo.

CAPÍTULO 5

PROPOSTA DE ARQUITETURA DO SOFTWARE DE TEMPO REAL

5.1 – ARQUITETURA FÍSICA

Conforme o esquema abaixo, a recepção de dados é realizada através de equipamentos montados e conectados a um computador. A antena acoplada junto ao receptor Orbisat é conectada pela porta serial COM1 através de um cabo RS232.

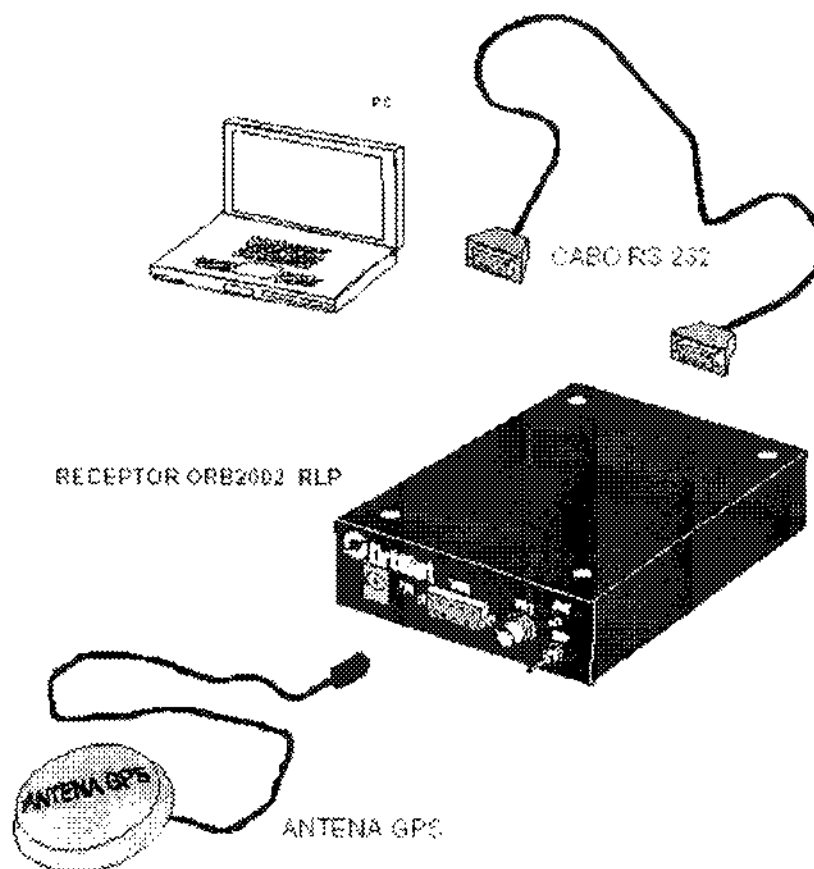


Figura 11 – Arquitetura Física

Existem diversas mensagens em diferentes formatos que o receptor ORBISAT pode enviar a partir de uma mensagem de comando enviada a este receptor pela porta serial. A diferença deste receptor em relação aos outros tipos existentes no mercado é que ele é capaz de fornecer dados brutos dos satélites, isto é, aqueles dados que não foram equacionados e que, portanto, possam ser utilizados pelo usuário para diferentes finalidades (no nosso caso, o equacionamento sob diferentes algoritmos).

Para a análise estamos interessados em duas das mensagens do receptor, as quais ele envia no formato binário (customizado) através da porta serial, são elas: dados de mensagem sem tratamento (dados crus) e dados crus de efeméride.

DADOS DE MENSAGEM SEM TRATAMENTO OU CRUS

Esta mensagem é utilizada para enviar as medidas cruas e a efeméride ao *host*. O modo de dados crus pode ser ativado utilizando-se a mensagem \$ACMCC com B como parâmetro. Se o modo de dados crus for habilitado, dados crus de medida serão transmitidos por *default*. Esta mensagem possui o período fixo de 1 segundo.

```
3F3F AF07 UUUU WWWW SSSSSSSS NNNNNNNN R1 R2 R3 R4 R5 R6 R7 R8 R9 R10  
R11 R12 CS LF
```

Descrição fornecida pelo fabricante:

3F3F ? Cabeçalho da mensagem

AF07 ? Identificação da mensagem

UUUU ? Reservado

WWWW ? 2 bytes do número da semana do GPS com MSB transmitido primeiro.

SSSSSSSS ? 4 bytes de contagem de segundos a partir do início da atual semana do GPS, com MSB transmitido primeiro. A faixa deste campo é de 0 a 604799.

NNNNNNNN ? 4 bytes do número de nanosegundos dentro de um segundo, com MSB transmitido primeiro. O tempo total é obtido adicionando-se o tempo em segundos obtido no campo anterior com o campo nanosegundos. A faixa deste campo é de 0 a 999999999.

R1...R12 ? Medidas cruas para todos os canais. Ri (i = 1 a 12) possui o seguinte formato:

```
VV SS PPPPPPPPPP DDDDDDDD AA UU
```

VV ? 1 byte de validade da palavra transmitida com MSB primeiro. (0x80 indica "medida válida", 0x00 indica "medida inválida")

SS ? 1 byte de PRN transmitido com MSB primeiro.

PPPPPPPPPP ? 6 bytes de pseudodistância em metros.

O número é representado utilizando-se o seguinte formato:

$$\text{ sinal } * (1.\text{mantissa}) * 2^{\text{expoente}}$$

O bit MS do primeiro byte é o bit de sinal (“0” significa um número positivo, “1” significa um número negativo). Os próximos 7 bits do primeiro byte não são utilizados. O segundo byte contém o expoente para o número. O expoente é no formato “excede 127” (expoente é acrescido de 127).

Os 4 bytes restantes contêm a mantissa de 32 bits. Assume-se um “1” implícito na frente da mantissa.

DDDDDDDD ? 4 bytes de distância delta em m/s. Os primeiros 2 bytes contêm o componente inteiro. Os próximos 2 bytes contêm a componente fracionária. Um número positivo é representado por uma parte inteira positiva e uma parte fracionária sem sinal. Um número negativo é representado como o complemento de 2 (o complemento de 2 é realizado no número de 32 bits incluindo ambos os componentes inteiro e fracionário).

AA ? representa a relação sinal/ruído da portadora do sinal do satélite

UU ? 1 byte reservado

CS ?

XORing todos os bytes começando pelo cabeçalho da mensagem (3F3F) até o byte que precede o *check sum*. Calcula *check sum*.

LF ? “mudar de linha” (0x0A)

DADOS CRUS DE EFEMÉRIDE

Esta mensagem pode ser ativada utilizando-se a mensagem \$ACEPH Esta mensagem será gerada sempre que o receptor coletar nova efeméride para um satélite. O comando é efetivo somente se o modo de dados crus estiver ativado.

Ao receber esta mensagem, os dados de efeméride serão enviados aos satélites para os quais o receptor tem efeméride. Em um segundo, os dados de efeméride serão enviados para qualquer satélite. Os dados para os outros satélites serão enviados nos segundos subseqüentes, um após o outro.

Por exemplo, se há 10 satélites com efemérides, os dados de efemérides serão enviados durante 10 segundos. A solicitação de PRNs dos SV depende da disponibilidade de efeméride.

3F3F AF08 UPPP ZYXX WWWW E1 E2 E3 E4 E5 E6 E7 E8 E9 E10 E11 E12
E13 E14 E15 E16 E17 E18 E19 E20 E21 CS LF

Descrição fornecida pelo fabricante:

3F3F Cabeçalho da mensagem

AF08 ID da mensagem

UU Não utilizado (reservado)

PP PRN do SVZ Os dois bits mais significativos são reservados O próximo bit é o bit de validade. A totalidade dos dados de efeméride são válidos somente se este bit for 1. O bit menos significativo é a *flag* do intervalo de ajuste, que indica o intervalo de ajuste da curva utilizada pelo segmento de controle para determinar os parâmetros da efeméride conforme a seguir:

0 = 4 horas

1 = maior que 4 horas

Y Precisão da distância do usuário (URA)

XX Conteúdo dos dados de efeméride (IODE)

WWWW Semana de referência da efeméride

Parâmetros da efeméride (E1 a E21)

Cada parâmetro da efeméride possui 6 bytes.

O número é representado utilizando-se o seguinte formato:

Sinal * (1.mantissa) * 2expoente

O bit MS do primeiro byte é o bit de sinal (“0” significa um número positivo, “1” significa um número negativo). Os próximos 7 bits do primeiro byte não são utilizados.

O segundo byte contém o expoente para o número. O expoente é no formato “excede 127” (expoente é acrescido de 127). Os 4 bytes restantes contêm a mantissa de 32 bits. Assume-se um “1.” implícito na frente da mantissa.

E1 Tempo dos dados de *clock* (segundos)

E2 Instante de referência da efeméride (segundos)

E3 Correção do atraso de grupo (Tgd, em segundos)

E4 *Offset* do *clock* (segundos)

E5 Deriva do *clock* (segundo/segundo)

E6 Taxa de deriva do *clock* (segundo/segundo²)

E7 Crs (rad)

E8 Crc (rad)
E9 Cus (rad)
E10 Cuc (rad)
E11 Cis (rad)
E12 Cic (rad)
E13 Diferença média de deslocamento (rad/s)
E14 Anomalia média no instante de referência (rad)
E15 Excentricidade
E16 Raiz quadrada do semi-eixo maior ($m^{1/2}$)
E17 Longitude do nodo ascendente (*right ascension*) no instante de referência (rad)
E18 Ângulo de inclinação no instante de referência (rad)
E19 Argumento do perigeu (rad)
E20 Taxa de longitude do nodo ascendente (rad/s)
E21 Taxa do ângulo de inclinação (rad/s)
CS (*check sum (byte wise)*)
LF "Mudar de linha"

A adoção do modo de dados crus é possível quando o receptor está no modo normal com taxa de atualização de fixação de 1 segundo. Quando os dados de efeméride estiverem sendo enviados, a mensagem \$GPGSV não será enviada, ou seja, haverá descontinuidade na mensagem GSV (se ela estiver ativada).

5.2 – AMBIENTE DE SOFTWARE

O programa de comunicação serial está sendo desenvolvido em ambiente de linguagem C++ e compilado no Microsoft Visual Studio 6. Esse compilador foi escolhido a fim de que todo o trabalho de programação de alto nível realizado na etapa anterior pudesse ser aproveitado. Na realidade, a vantagem de se utilizar esse compilador é o fato de que durante a compilação, todas as extensões de arquivo (tanto F90 como C++) são reconhecidas e compiladas ao mesmo tempo.

Um outro cuidado que teve de ser levado em conta é a escolha do Sistema Operacional, no nosso caso o Windows 98, o qual é um dos sistemas que ainda permite que o usuário tenha controle da porta serial. Os sistemas operacionais superiores ao Windows 98 (2000, NT, XP)

requerem uma configuração diferenciada e detalhada para que se possa realizar a comunicação serial.

Antes de qualquer operação, o software tem comandos que estabelecem a comunicação com a porta serial, como a velocidade (9600 bauds), o número de paridade (None), o número de stop bits (2 stop bits), número de dados (8 dados) e em qual porta será utilizada para a comunicação (COM 1 ou COM 2).

5.3 – ARQUITETURA DE SOFTWARE

O driver de comunicação desenvolvido tem como idéia base a recepção de dados crus dos satélites de GPS a partir do receptor ORBISAT. Isso pode ser feito a partir de uma mensagem enviada ao receptor pelo software de comunicação com o intuito de comandá-lo. Essa mensagem tem um formato padrão, fornecido pelo fabricante do receptor, padrão que varia de fabricante para fabricante. Dai por diante somente as mensagens de interesse serão enviadas pela porta serial.

Uma vez enviadas as mensagens pelo receptor, temos que recebê-las e interpretá-las conforme a estrutura descrita pelo fabricante. Pelo estudo da estrutura das mensagens verifica-se que as mesmas podem ter um tamanho máximo; também que cada mensagem possui um cabeçalho específico e que no final da mesma existe um argumento chamado CHECK SUN (CS) que nada mais é do que um argumento onde é possível verificar se todos os dados da mensagem foram corretamente recebidos.

MENSAGEM	TAMANHO MÁXIMO EM BYTES
Dados crus AF07	186
Efeméride AF08	138

Tamanho máximo de cada mensagem recebida

Em verdade, o que o software faz é uma espécie de filtragem que consiste em receber tudo o que chega pela porta serial e comparar com o cabeçalho da mensagem. Uma vez que o cabeçalho corresponde ao esperado, o software dá seqüência ao programa, que recebe armazenando os argumentos da mensagem. Observe que este filtro está sujeito a erros, uma vez que o cabeçalho pode, por uma coincidência bem remota, estar localizado no meio de uma mensagem não desejada pelo usuário.

Os argumentos do string são armazenados pelo software de maneira que já estejam separados em 'blocos', onde cada um desses blocos armazena uma informação de interesse do usuário. Nota-se pela análise da estrutura das mensagens recebidas que as dimensões desses blocos são diferentes e, além disso, as maneiras de conversão para números decimais de cada um desses blocos binários é feita seguindo regras diferentes fornecidas pelo fabricante.

Os dados são enviados de byte em byte pelo receptor e um problema que surge é que eles somente podem ser lidos na forma decimal, um byte por vez. Quando o dado possui uma maior faixa (mais de um byte), não conseguimos ter o seu equivalente decimal de maneira direta. Como solução, propus a conversão desses argumentos do tipo char (1byte) para oito valores do tipo int (2 bytes), simplesmente convertendo decimal em binário, com o propósito de formar um string equivalente de números binários. A partir destes números inteiros (que na realidade são binários), faz-se a conversão desejada conforme manda a especificação do fabricante.

A solução dada foi desenvolver um algoritmo para cada tipo deste aglomerado de dados. Assim, foi possível comparar quatro tipos de dados a serem interpretados, portanto desenvolveu-se quatro algoritmos diferentes.

Os dados foram classificados da seguinte maneira: dados de 2 bytes, 4 bytes, tipo mantissa e tipo fracionário. Os dados de dois e de quatro bytes têm uma conversão idêntica, porém, por simplificação e opção do programador foram separados nas suas dimensões, obtendo-se uma maior agilidade do programa. Os dados de um único byte são automaticamente convertidos em decimal, por esse fato nenhuma conversão posterior fora adotada.

Cada um dos algoritmos converte um byte em oito números inteiros (bits) além de fazer a conversão desejada em decimal seguindo a regra de 2 bytes, 4 bytes, mantissa ou fracionário, conforme detalhado na mensagem padrão do fabricante.

Com os dados dos satélites já convertidos em decimal podemos pensar em partir para a solução do problema. A partir dos dados até então obtidos uma nova rotina é rodada a qual converterá esses dados crus e dados de efeméride em coordenadas X, Y, Z e pseudodistâncias dos satélites, dados esses necessários para efetuar as soluções de navegação conforme os cálculos preparados em ambiente FORTRAN na fase anterior do projeto.

Um detalhe a ser comentado é que as rotinas em Fortran sofreram algumas alterações para serem compatíveis ao compilador da Compac, já que na versão anterior das rotinas existiam comandos ligados a algumas bibliotecas pertencentes à versão F90 do Fortran, comandos esses incompatíveis com o Visual Studio 6.0.

Uma vez com os dados estruturados, esses podem ser injetados nos algoritmos da solução de navegação, obtendo-se as coordenadas X, Y, Z e o tempo do usuário.

Uma visão mais geral do algoritmo do software pode ser visualizada no seguinte fluxograma:

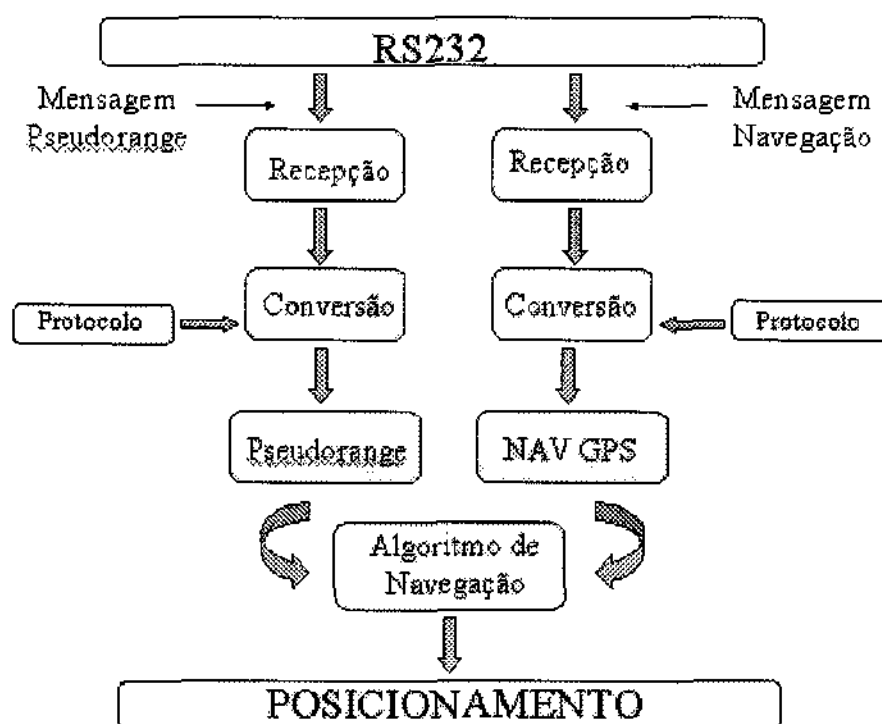


Figura 12- Fluxograma do Algoritmo

5.4 - STATUS ATUAL E RESULTADOS PRELIMINARES

Para a análise dos dados dos satélites escolheu-se um local adequado para a recepção dos mesmos, um local consideravelmente aberto, em um dia que não estivesse nublado e que ao menos 4 satélites estivessem disponíveis, possibilitando assim uma boa análise dos resultados.

As mensagens foram coletadas e armazenadas em um arquivo a fim de serem analisadas "offline". As mensagens nos arquivos contêm caracteres que não podem ser lidos diretamente num editor de textos, o que não impede de serem lidas através de software. Em primeiro

lugar, as mensagens coletadas foram comparadas com a estrutura da mensagem do fabricante, em parâmetros como dimensões, cabeçalho, check sum, entre outros.

Ocorreram alguns problemas na interpretação dos dados com a estrutura fornecida pelo fabricante no manual do receptor, essas diferenças a princípio foram atribuídas a bugs, a erros de protocolos e a inexatidão do manual. Consultamos o fabricante e fomos esclarecidos de que existiam dados nulos (0x00) que eram ignorados pelo software, portanto não apresentados na impressão dos dados.

Após a conferência da estrutura dos dados partiu-se para a fase de conversão dos dados binários para dados em decimal. Somente os dados da mensagem de dados crus foram convertidos e armazenados na memória do software. Os dados de efeméride, em razão de serem dados enviados toda vez que há alguma alteração em algum satélite não foram recolhidos pelo receptor e sim coletados via Internet.

Esses dados foram lançados num software, o qual gerou as pseudodistâncias e coordenadas dos satélites. Enfim essas coordenadas puderam ser inseridas nos algoritmos matemáticos, gerando assim as soluções de navegação.

Na tabela seguinte estão relacionados os resultados obtidos na fase anterior do projeto onde a solução de navegação é obtida a partir de dados que convencionamos estáticos, isso pelo fato dos dados injetados no software serem de referência, ou seja, terem sido encontrados a partir de bibliografias e até mesmo na Internet.

ERRO(m)	GEOMÉTRICO	ALGÉBRICO	ESTATÍSTICO
X	-1579,869	-2,1554E-02	4,9152E-03
Y	9063,9479	-4,3333E-02	4,0050E-02
Z	-4070,309	1,3508E-03	-1,3675E-03
Δr	1137,9233	-0,02117873	0,014532567

Tabela: Resultados de Teste da fase anterior do projeto

Em seguida, mostra-se os dados gerados por um receptor GPS e lançados diretamente no software. A coleta foi realizada em Guaratinguetá com coordenadas aproximadas de 22.81198° Sul, 45.20050° Oeste, 629.4m de altitude.

Os dados gerados pelo software foram comparados com a solução dada também pelo software fornecido pelo fabricante, rodado em ambiente Windows. Esses dados estão dispostos na tabela abaixo:

PRN	X (m)	Y (m)	Z (m)	Pseudorange (m)
06	4321548.098	-16113266.768	-20447051.439	21591553,27
09	14391355.351	-14333548.847	16472675.570	23802395,23
21	5152057.244	-25738225.859	2053865.566	22054198,31
25	-10523829.014	-16836957.880	-17272537.434	24393079,87

Tabela: Dados para teste obtidos dia 23/05/2004 às 20:35:40 (GMT)

Na coluna PRN fornece-se a identificação dos satélites GPS rastreados, X,Y,Z são as coordenadas dos satélites GPS naquele instante, e o pseudo-range é a medida bruta obtida pelo receptor em tempo real.

Os resultados do processamento de posição do usuário, usando-se os métodos propostos, em conjunto com o obtido pelo receptor ORBISAT, são mostrados conforme a tabela abaixo:

	X (m)	Y (m)	Z (m)
Geométrico	4145553,29	-4173852,58	-2457716,10
Algébrico	4145558,81	-4173857,91	-2457719,23
Estatístico	4145558,81	-4173857,91	-2457719,23
Receptor	4145180,00	-4174294,00	-2457783,00

Tabela: Resultados de Teste da fase atual do projeto

Verifica-se a existência de diferenças entre os resultados computados pelo software e os resultados do receptor. Deve-se frisar que foi utilizado um dos resultados do receptor para comparação, que não está no mesmo instante dos dados.

Assume-se que as maiores fontes de discrepâncias se referem a fatores como a existência de diferenças entre os relógios do receptor e dos satélites e a erros de propagação. Esses erros deverão ser analisados em uma etapa seguinte do trabalho.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E PLANOS FUTUROS

O objetivo desse trabalho foi investigar, equacionar, desenvolver, implementar e comparar soluções de navegação possíveis através do uso de medidas obtidas por receptores GPS (“Global Positioning System”), em ambiente espacial. Como resultado obteve-se um pacote de programas que comparam os três métodos (Geométrico, Algébrico e Estatístico) de computação da solução de navegação em diversos aspectos e a estrutura de um software que em tempo real retorna as soluções de navegação correlacionando os três algoritmos propostos.

As comparações já realizadas anteriormente mostraram que o método estatístico é o mais preciso dentre os três, porém o mais complexo. O método algébrico ocupa e exige mais memória. Para obtenção de uma aproximação grosseira, uma alternativa é o método geométrico que é bem menos complexo e rapidamente retorna um valor bem próximo ao da solução.

Uma alternativa para melhorar a precisão dos softwares é a introdução do cálculo do parâmetro GDOP (Geometric Dilution Of Precision), que produz uma comparação entre diferentes combinações de satélites disponíveis no instante em que se quer determinar a posição e descreve a combinação que está melhor distribuída, possibilitando uma maior precisão nos resultados.

Para este trabalho, foi estudado um conceito para a arquitetura de software necessária para obtenção de dados em tempo real. A proposta foi baseada no receptor GPS ORBISAT (Orbisat, 2002) que fornece dados brutos de pseudo-range em tempo real. As efemérides dos satélites GPS não tem uma amostragem fixa, e estão disponíveis quando novos satélites entram na visada do receptor. Algumas amostras foram colhidas a título de qualificação preliminar do software de obtenção de dados GPS a partir da interface serial RS 232 (descrita no Capítulo 4). Esta interface foi escrita em código ANSI C.

Foram obtidos alguns resultados preliminares utilizando dados reais de satélites recebidos através do receptor GPS da marca ORBISAT. Estes resultados foram comparados com

soluções apresentadas pelo software proprietário do receptor GPS (Windows). A precisão em posição obtida está de acordo com estimativas iniciais de precisão, já que as correções para refinamento não foram ainda implementadas, sendo objeto do próximo período de Iniciação Científica.

Pôde-se verificar que o tempo de processamento de todo o software é irrisório, o que torna o software possível de ser implementado plenamente em tempo real gerando soluções de navegação e permitindo até mesmo o desenvolvimento de outras pesquisas, já que trata-se de software aberto para qualquer usuário.

Espera-se que a partir dessas análises, em uma próxima etapa de trabalho, seja possível gerar soluções de navegação em tempo real a partir das mensagens fornecidas pelo receptor, incluindo agora todas as correções do sinal (relativísticos, tempo de trânsito, erros do relógio do satélite GPS, erro do relógio do receptor, e mesmo correções atmosféricas tais como dos da troposfera e ionosfera.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amato, A.L. Cálculo de DOP'S para Satélites GPS. Trabalho de Graduação. FEG/UNESP Guaratinguetá 1999.

Bancroft, S. **An algebraic solution of the GPS equations.** Ieee Transactions on Aerospace and Eletronics Systems, v.AES-21, n.7, 1985.

Bertiger, W.I; Bar-Server, Y.E.; Christensen, E.J.; Davis, E.S.; Guinn, J.R.; Haines, B.J.; Ibanez-Meier, R.W.; Jee, J.R.; Lichten, S.M.; Melbourne, W.G.; Muellerschoen, R.J.; Munson, T.N.; Vigue, Y.; Wu, S.C.; Yunck, T.P.; Schutz, B.E.; Abusali, P.A.M.; Rim, H.J.; Watkins, M.M.; Willis, P. GPS precise tracking of TOPEX/Poseidon: results and implications. **Journal of Geophysical Research.** v. 99, n. C12, p. 24449-24463, 1994.

Dana, P. H. **Global Positioning System Overview.** Department of Geography, University of Texas, Austin. [online] <http://www.utexas.edu/depts/gcraf/notes/gps/gps.html>, Julho, 1998.

Fang, Bertrand T. Geometric Dilution of Precision in Global Positioning System Navigation. **Advances in the Astronautical Sciences**, AAS81-4005, v.4, nº1 p. 93-94, 1981.

Gomes, V. M. **Soluções de Navegação via GPS.** São José dos Campos. Relatório de Final de Projeto de Iniciação Científica Pibic - CNPq. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Janeiro 2002.

Kuga, H.K., Lopes, R.V.F., Prado, A.F.B.A., Nascimento, J. M., Chiaradia, A.P. "**Orbit determination and navigation using GPS.**" Organizado por Balthazar, J.M., Gonçalves, P.B., Brasil, R.M.F.L.R.F. Non-linear dynamics, chaos, control and their applications to engineering sciences. Vol 3: New trends in Dynamics and Control. 2000, v.3, p.93-108.

Leick, A. **GPS Satellite Surveying.** Department of Surveying Engineering - University of Maine, Second Edition, Wiley-interscience Publication, 1994.

Logic, B **Interfacing The Serial - RS-232 Port** 2004 [online] <http://www.beyondlogic.org>

Lopes, R. V. F.; Kuga, H. K. ORBEST - A GPS navigation solution algorithm without DOP analysis. **Advances in the Astronautical Sciences**, AAS97-108, v. 95, p. 153-166, 1997.

Lopes, R. V. F.; Kuga, H. K. "Optimal estimation of local orbit from GPS measurements". **Journal of Guidance, Control and Dynamics**, v.11, n.2, p. 186-188, 1988.

Lundberg, J. B.; Minter, C.F.; Yoon, S. "**Analysis of algebraic solutions to the GPS navigational equations.**" AAS/AIAA Space Flight Mechanics Meeting, Huntsville, AL, Feb. 10-12, 1997. AAS 97-110.

Nicoletti, G.W.; Vilhena de Moraes, R. Analytical Approach for Evaluation of Orbital Perturbations due Atmospheric Drag. **Anais do COBAIN2001** (CD-ROM, 2001), pg 191-196.

Orbisat, **Manual de Operação – ORB 2002 RLP – GPS FARO 1.0 - 2002**

Orlando, V.; Kuga, H. K.; Lopes, R. V. F. Reducing the geopotential tesseral harmonic effects on autonomous longitude drift control of Sun-synchronous satellites. **Advances In The Astronautical Sciences**, v.95, p.361-374, 1997.

Orlando, V.; Kuga, H. K. Analysis of an autonomous orbit control concept using GPS. **Revista Brasileira de Ciências Mecânicas**, v.21, p. 52-59, 1999.

Orlando, V.; Kuga, H. K. Effect analysis of maximal allowable maneuver application rate for an autonomous orbit control procedure application. In: International Symposium Space Dynamics. **Proceedings of International Symposium Space dynamics**. Biarritz: CNES, 2000a.

Orlando, V.; Kuga, H. K. Investigation on autonomous orbit control using DIODE and GPS navigation systems. Editado por Prado, A. F. B. A. **Advances in Space Dynamics**, v.1, p.338-348, 2000b.

Papyrus, C. T. **Computer Technologies Ltda** 2003[online]
http://www.papyrus.co.il/FAQ/gps_applications_market_segments.htm

Senne, E. L. F. **Introdução à Programação de Computadores Com a Linguagem C**. FEG/ Unesp – 2000.

Silva, A. A. Determinação de Órbitas com GPS através de Mínimos Quadrados Recursivo com Rotações de Givens. Tese de Mestrado. **FEG/UNESP** Guaratinguetá 2001.

Strang, G., Borre, K. “Linear algebra, geodesy, and GPS.” **Cambridge Press**, Wellesley, 1997.