



Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Faculdade de Engenharia
Departamento de Eletrônica e Telecomunicações
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Eletrônica
Disciplina: Arquitetura de Sistemas Distribuídos
Professor: Alexandre Sztajnberg

Sistema de Acompanhamento de Unidades Móveis

Aluna: Elaine de M. Silva

2º Semestre - 2010, 24 de Novembro de 2010

Rio de Janeiro - RJ - Brasil

Resumo

Propõe-se neste trabalho um sistema de *software* que permita a localização e plotagem de unidades móveis, como navios ou veículos terrestres, através de sistema de posicionamento global, utilizando apenas o *hardware* para fins rádio amador/militar, comumente utilizado em embarcações marítimas, descrito em Huguenin (2006).

Os principais problemas do sistema são causados pela: (i) perda de pacotes por absorção, reflexão ou outra interferência devido ao meio físico (ondas eletromagnéticas - HF); (ii) perda de pacotes por falta de controle de fluxo; (iii) colisões devido à falta de controle de acesso ao meio; (iv) inconsistência causada pela entrada e saída de unidades móveis do sistema sem que a central tome conhecimento.

A solução proposta utiliza pacotes IP encapsulados em frames tipo HDLC AX.25 da camada de enlace (ISO), através do pacote de *software* KA9Q, desenvolvido por Karn (1989) que são transmitidos na banda HF com modulação AM-SSB. O protocolo AX.25 cuida da perda de pacotes e retransmissões; o acesso ao meio é controlado por uma implementação do protocolo CSMA/CA na camada de aplicação e o endereçamento das unidades foi resolvido assinalando endereços IP dinâmicos via DHCP. O produto final é um *software* que informa a localização de cada uma das unidades do sistema na tela do computador da unidade central.

Dada a natureza distribuída do sistema, foram discutidos aspectos relevantes relacionados à disciplina Arquitetura de Sistemas Distribuídos, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Eletrônica da Faculdade de Engenharia de Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Os aspectos explorados foram a escalabilidade, o grau de transparência da distribuição, sincronização e tolerância à falhas.

Este trabalho foi motivado pela dissertação de Huguenin (2006).

Conteúdo

1	Introdução	4
2	Descrição do Sistema	4
3	Proposta	6
3.1	O modem-rádio KAM '98	6
3.2	O protocolo AX.25	7
3.2.1	TCP/IP sobre AX.25	9
3.3	O Protocolo CSMA/CA	9
3.4	Solução proposta	11
4	Conclusões	12
	Referências	15

1 Introdução

Utilizado em aplicações civis desde 1983, o único sistema totalmente funcional de navegação global por satélite, o sistema de posicionamento global - GPS, foi inicialmente criado pelo departamento de defesa dos Estados Unidos (DOD) com fins militares (Wikipedia (2010b)).

O sistema conta com uma constelação de 29 satélites (24 operacionais e 5 reservas) que orbitam a Terra e transmitem microondas com informações sobre a hora em que a mensagem foi enviada, informações sobre a órbita (efemérides) e sobre as condições gerais dos satélites que compõem o sistema. Utilizando estes dados e o método de trilateração, é possível determinar a localização de objetos próximos à Terra ou em sua superfície com precisão, desde que haja visibilidade de pelo menos 3 satélites (Wikipedia (2010a)).

Estas características do GPS tornaram atrativo seu uso comercial e acadêmico, como em sistemas de monitoramento de frotas em tempo real, topografia, agrimensura e outros.

Este trabalho propõe um sistema de monitoramento da localização de unidades móveis marítimas ou terrestres. As unidades móveis dispõem de receptores GPS que calculam e transmitem as informações de localização, velocidade, hora e direção a um computador, que por sua vez, transmite estas informações a uma estação central através de uma configuração modem-rádio e rádio-transmissor. A estação central plota as informações em um mapa na tela.

Um sistema como este pode auxiliar na prestação de socorro às vítimas de acidentes com navios e embarcações, na prevenção de acidentes, no uso mais eficiente da frota (sistema de apoio à logística), entre outros (Huguenin (2006)).

A seção 2 descreve o *hardware*, as limitações do sistema de comunicação e os principais requisitos. A proposta para a solução do problema é abordada na seção 3. A avaliação crítica, sob a ótica de sistemas distribuídos e as conclusões gerais são apresentadas na seção 4.

2 Descrição do Sistema

O trabalho desenvolvido por Huguenin (2006) apresenta um sistema de acompanhamento de unidades móveis (SAUM) como sendo composto, inicialmente, de 20 unidades móveis e uma base. Cada unidade móvel (navio) possui um receptor de GPS, GP-80 da Furuno. Os dados referentes a localização e velocidade da unidade, além da hora enviada no sinal do satélite são enviados pelo receptor para um computador local, através da porta serial. Estes dados são tratados e enviados à base através de comunicação via rádio-transmissor HF IC-1000, da ICOM. A interface entre computador e rádio é realizada pelo modem-rádio Kampus 98 da Kantronics. O modem também usa comunicação via interface serial, portanto, o computador local necessita de duas interfaces seriais.

Como não é necessário saber a localização da base, a mesma não possui um receptor GPS.

A comunicação entre as unidades e a base foi realizada através de rádio-transmissores comuns operando na banda HF por diversos motivos, entre eles (Huguenin (2006)):

- aparelhos de UHF, VHF e HF são mais baratos e simples, além de ser obrigatórios para navios;
- a comunicação via rádio é livre, ao contrário da comunicação via celular que inclui gastos com a operadora local. Além disto, a comunicação via celular necessita que se contrate um operadora em cada localidade, o que aumenta o custo do sistema. A comunicação via satélite é mais eficiente, pois possui maior largura de banda, porém, os custos com instalação, manutenção e utilização também são grandes;
- equipamentos VHF e HF são obrigatórios em navios;
- as ondas HF e VHF que alcançam a ionosfera são refratadas de volta à Terra, essas bandas são utilizadas pelos operadores de rádio amador para transmissões de longa distância (Tanenbaum (2003)).

Entretanto, mesmo com as vantagens citadas acima, existem problemas relacionados à comunicação via rádio. Perda de energia devido à reflexão, absorção e atenuação, mudança na direção de propagação devido as alterações nas condições climáticas e meios de propagação diferentes (refração), zonas de sombra, etc. são problemas críticos quando o que se quer transmitir são dados, ao invés de voz. Pacotes inteiros podem ser perdidos ou sofrer interferências, tornando a mensagem irrecuperável.

Além deste problema ainda existe o fato de a transmissão ser realizada em apenas uma frequência, ou seja, o meio físico é compartilhado. Pacotes enviados ao mesmo tempo sofreriam colisão. Este problema poderia ser superado com alguma técnica de multiplexação, seja ela em frequência - FDM ou em tempo - TDM. Porém não existe em (Huguenin (2006)) nenhuma referência sobre técnicas de multiplexação empregadas pelo rádio-transmissor IC-1000, e, não foi encontrado nenhum manual do produto *online*.

Os problemas com perda de pacotes e colisão, impostos pelo meio de transmissão, tornam a comunicação entre unidades móveis e base não-confiável. A base pode nunca receber o pedido de uma unidade para entrar ou sair do sistema, assim como uma unidade móvel pode nunca receber mensagens da base, mesmo estando no sistema.

Uma solução para o problema de colisão seria utilizar protocolos de acesso ao meio e o problema de perda de pacotes poderia ser solucionado com um sistema de notificação de recebimento de pacotes. As soluções com suas respectivas estruturas são apresentadas na próxima seção.

A Fig. 1 mostra a visão geral do sistema, conforme ilustrado em Huguenin (2006).

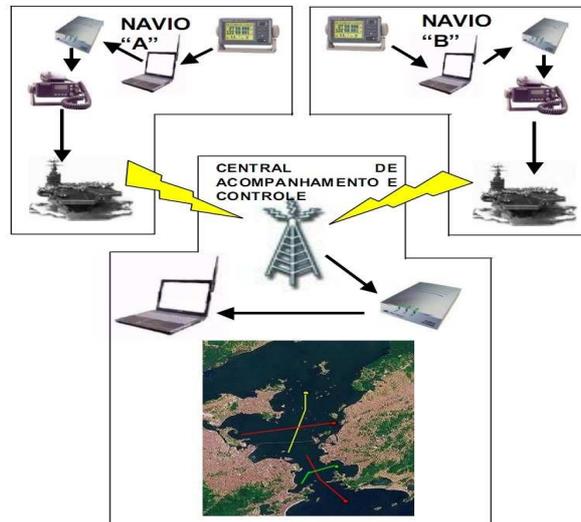


Figura 1: Arquitetura do sistema.

3 Proposta

Conforme mencionado na seção 2, os dois principais problemas do sistema de acompanhamento de unidades móveis são a perda de pacotes e colisão. Estes problemas são agravados pela restrição no uso de *hardware*, de forma que novas tecnologias, como uma rede de computadores utilizando uma comunicação mais confiável, como a rede de telefonia móvel, não pode ser implantada. A solução foi então, desenvolvida baseada no equipamento disponível, utilizando protocolos implementados em software quando necessário.

3.1 O modem-rádio KAM '98

O modem-rádio KAM '98 da Kantronics é um TNC, terminal-node controller, uma combinação de modem e um microcomputador de propósito especial. A configuração mais utilizada deste equipamento é ilustrada na Fig. 2. O transceiver envia e recebe sinais de áudio (rádio) entre a antena e o TNC. O TNC opera como um modem, codificando a informação digital proveniente do computador em sinais de áudio que serão transmitidos pela antena.

O primeiro modo digital a ser transmitido via rádio foi o código Morse, seguido pelo Telex (teletipo). Porém, o primeiro modo a utilizar detecção de erros surgiu na década de 50, o Teletipo sobre Rádio (TOR - Teletype Over Radio), modo utilizado até os dias de hoje. Os rádio amadores adaptaram este modo, nomeando-o AMTOR. Outros modos atuais são o ASCII e o RTTY (Kantronics (1998)).



Figura 2: Esquema de utilização de TNC

3.2 O protocolo AX.25

O *packet radio* é uma forma transmissão de dados via rádio ou *links wireless* usando pacotes, ao invés de um fluxo de dados sobre um circuito totalmente conectado, comum nas redes de telefonia. O uso mais comum do *packet radio* é em rádio amador. Quando teve início a transmissão de pacotes de dados através das ondas de rádio HF e VHF, o protocolo das redes de telefonia da camada de enlace, X.25, foi modificado pelos rádio amadores e denominado AX.25 (Kantronics (1998)).

O protocolo AX.25 está em conformidade com a ISO IS 3309, 4335 e com o HDLC (*High-Level Data Link Control* 7809). O HDLC é um protocolo orientado a bits da camada de enlace. Este protocolo foi a base para o IEEE 802.2 LLC e para o mecanismo de quadros do PPP utilizado por servidores para conectar a uma WAN. Roteadores Cisco também utilizam uma modificação do HDLC (Cisco HDLC) para encapsular dados para comunicação serial (Tanenbaum (2003)).

Existem três tipos de quadros (*frames*) AX.25 (Beech (1993)):

- quadro I - informação;
- quadro S - supervisorio;
- quadro U - não-numerado (*unnumbered*).

A Fig. 3 mostra a estrutura dos quadros U e S e a Fig. 4 quadro I.

Flag	Address	Control	Info	FCS	Flag
01111110	112/224 Bits	8/16 Bits	N*8 Bits	16 Bits	01111110

Figura 3: Estrutura dos quadros U e S

Os campos de cada quadro são descritos brevemente:

- Flag - delimita o conjunto de bits que forma o frame. O valor 7E deve ser único no quadro inteiro;
- Address - identifica o endereço do remetente e do destinatário;

Flag	Address	Control	PID	Info	FCS	Flag
01111110	112/224 Bits	8/16 Bits	8 Bits	N*8 Bits	16 Bits	01111110

Figura 4: Estrutura do quadro I

- Control - identifica o tipo de quadro e controla alguns atributos da camada de enlace, discutidos a diante;
- PID - identifica que protocolo da camada de rede está sendo utilizado (Appletalk, TCP/IP, AX.25 camada 3, NET/ROM, etc.);
- Information - campo com capacidade para 256 octetos que contém os dados do usuário. O quadro deve sempre possuir um número integral de octetos. A cada sequência de cinco bits 1, um bit 0 é adicionado (*bit stuffing*, para que a informação não seja confundida com os Flags inicial e final (7E));
- FCS - Frame Check Sequence - número de 16 bits que é calculado pelo transmissor e pelo receptor. Serve como mecanismo de *checksum*;

O protocolo AX.25 define regras para a comunicação entre dois terminais, no nível da camada de enlace (ISO), independente da existência de camadas superiores. O protocolo foi bem definido para ambientes half-duplex e full-duplex e possui suporte a diversos tipos de erro de conexão (Beech (1993)):

- TNC ocupado - quando o buffer do TNC receptor está cheio ele envia uma mensagem RNR (Receive Not Ready) no campo de controle do quadro tipo S para o TNC transmissor. Esta é uma implementação de controle de fluxo;
- Erro na seqüência do quadro - este erro é sinalizado pela mensagem *SREJ* no campo de controle do quadro tipo S, quando o número de seqüência enviado não é igual ao esperado. Isto garante a correta seqüência dos pacotes;
- Erro por *time out* - T1 - ao enviar um pacote, o transmissor inicia o *timer* T1 e fica no aguardo da confirmação do recebimento (um pacote de *ACK*). Se o *ACK* não é recebido durante o tempo estipulado por T1, e nenhum pacote supervisor com mensagem *SREJ* foi recebido neste intervalo, o transmissor inicia a rotina de retransmissão, de acordo com o próprio *timer* e uma variável de contagem de retransmissão;
- Erro por *time out* - T3 - o *timer* T3 garante a funcionalidade do *link*, enviando quadros de *poll* quando há pouca atividade no meio;
- Frame inválido - se um *frame* inválido¹ é recebido o *frame* é descartado, sem nenhuma ação adicional.

¹Um quadro inválido: (i) possui menos de 136 bits; (ii) não possui flags de início e fim; (iii) não é alinhado por octetos

Conclui-se que o protocolo AX.25, utilizado pelo modem KAM '98, implementa controle de fluxo, mecanismo de sinalização de perda de pacotes e retransmissões, monitoramento do meio, correto sequenciamento de pacotes. O uso deste protocolo de nível 2 auxiliaria na solução de alguns dos problemas do SAUM, adicionando alguma confiabilidade na comunicação entre unidades móveis e base.

3.2.1 TCP/IP sobre AX.25

Escolhido o protocolo de enlace, para facilitar o desenvolvimento da aplicação, seria útil trabalhar com protocolos de nível de rede e transporte bem conhecidos e difundidos, como o IP e o TCP. Porém, tanto o IP como o TCP requerem funcionalidades que não são encontradas no AX.25 nativo. Para resolver este problema, Phil Karn definiu o pacote KA9Q que prevê funcionalidades TCP/IP para rádio amador, suportando toda a pilha de protocolos usados na Internet (Karn (1989)). Porém, o pacote ficou obsoleto quando os sistemas operacionais modernos começaram a implementar utilitários que encapsulam quadros TCP/IP em AX.25 (*TCP/IP over Amateur Radio*) (Wikipedia (2008)).

Utilizando o comando *kissattach*, parte do pacote *ax25-util* do Linux, é possível configurar uma porta AX.25 para carregar dados TCP/IP e assinalar um endereço IP. Desta forma o problema de endereçamento das unidades móveis é resolvido (Lages (2007)). A rede AMPRNET (*Amateur Packet Radio Network*) foi assinalada com endereços IP classe A e nome de domínio ampr.org (Karn (1989)).

Com o TCP e o IP sobre o AX.25 é possível tratar a aplicação como uma aplicação de rede comum, além de relegar a preocupação com retransmissões e endereçamento aos protocolos. Desta forma, cada unidade móvel do sistema possui um endereço IP associado a seu *callsign* e o controle de fluxo é tratado pelo TCP. Ainda assim, colisões e retransmissões desnecessárias poderiam ser evitadas se houvesse algum controle de acesso ao meio. O protocolo da subcamada de acesso ao meio, CSMA/CA, foi escolhido para esta solução. Ele é abordado na Seção 3.3.

3.3 O Protocolo CSMA/CA

O CSMA/CA - *Carrier-Sense Multiple Access with Collision Avoidance* - é um protocolo da subcamada de acesso ao meio utilizado em comunicação *wireless*. Não se pode usar CSMA/CD neste tipo de comunicação pois não é possível escutar o meio não confinado enquanto se transmite, a força do sinal transmitido mascara os sinais recebidos.

Para simular o *carrier sense* utiliza-se um esquema conhecido como *Virtual Carrier Sense - VCS*, que é simplesmente uma sinalização com mensagens de RTS e CTS. Quando uma estação deseja transmitir, ela escuta o meio. Se não há sinais no momento, ela envia um quadro pequeno denominado RTS - *Request to Send*. Um servidor (base) recebe esta requisição e envia um pacote de CTS - *Clear to Send* para todos. Ao fim do *broadcast* as estações que receberam o pacote

CTS ficam cientes que haverá uma transmissão e que não devem transmitir até um determinado tempo. A estação que desejava transmitir, ao receber o CTS, envia seu pacote e aguarda a confirmação do recebimento, o ACK. Caso ela não receba o ACK, ela pode retransmitir, dentro de um intervalo de tempo especificado.

O RTS e o CTS diminuem as colisões e retransmissões desnecessárias na rede.

O capítulo 4 de Cawood (2006) descreve em fluxograma o protocolo conforme seria implementado na base terrestre e nas unidades localizadas em satélites. A descrição do protocolo nas unidades em satélites poderia ser utilizada para implementar o protocolo na base e nas unidades móveis. A Fig. 5 ilustra o fluxograma do protocolo.

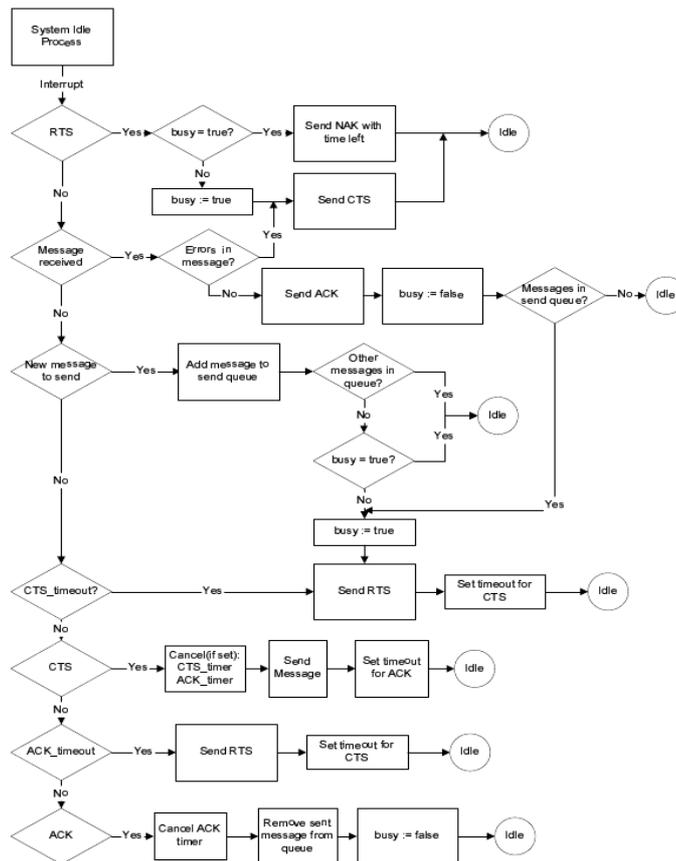


Figura 5: Fluxograma CSMA/CA - possibilita que a estação receba e envie mensagens

3.4 Solução proposta

A arquitetura da solução proposta é composta de todo o *hardware* descrito em Huguenin (2006). O sistema operacional sugerido é o Linux com o pacote ax25-utils devidamente instalado. O *software* é todo desenvolvido na linguagem de programação C com interface gráfica escrita em Tk.

As camadas do modelo TCP/IP e os protocolos utilizados são ilustrados na Fig 6.

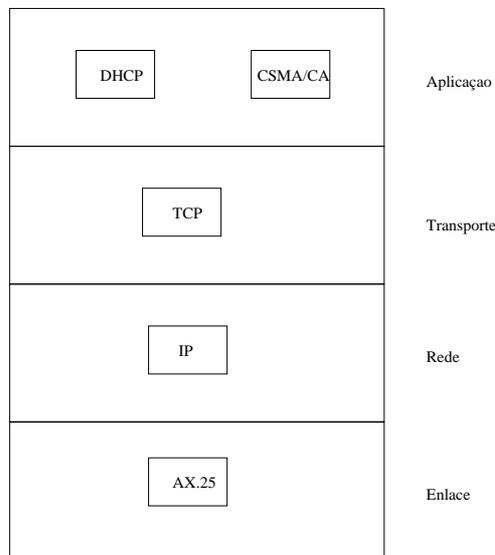


Figura 6: Pilha de protocolos

O protocolo DHCP pode ser usado na máquina da base para assinalar endereços IP dinâmicos às unidades móveis, desta forma seria sempre possível endereçar unidades novas e detectar por *time out* unidades que por algum motivo tenham saído do sistema.

A implementação do protocolo CSMA/CD pode ser feita de acordo com o fluxograma da Fig 5 e o encapsulamento do quadro IP em AX.25 é realizado pelo kernel do Linux a partir do momento em que a interface do modem é associada á um IP com o comando *kissattach*.

Toda aplicação pode ser escrita usando RPC, simplificando a comunicação e escondendo a distribuição da aplicação. As mensagens trocadas entre base e unidades móveis possuem o seguinte formato:

- ID - campo de identificação da mensagem. Pode ser ADD para adicionar uma unidade móvel, DEL para remover uma unidade, INF apenas para informações do GPS e ACK para confirmação de mensagens recebidas pela base;
- TS - campo para o *time stamp*, sincronizado por GPS;

- ADDR_TX - endereço IP do remetente;
- ADDR_RX - endereço IP do destinatário;
- DATA - dados do GPS.

A base pode receber mensagens de ADD, INF ou DEL através do módulo de CSMA/CD. Se a mensagem é ADD ou INF, os dados do GPS enviados pela unidade móvel são mostrados no mapa e um ponto verde é plotado indicando a localização da unidade. Um timer (T1) que conta o tempo entre mensagens INF de um mesmo remetente é zerado e uma mensagem de ACK é enviada à unidade. A unidade móvel deve enviar sua localização para a base a cada 10 minutos depois de sua inclusão no sistema. Caso a base não receba uma nova mensagem de INF da unidade móvel em até 20 minutos o ponto correspondente àquela unidade no mapa é plotado em amarelo. Caso a unidade não se comunique com a base em até 40 minutos, o ponto é plotado em cinza e a unidade é desconectada do sistema.

Se a base recebe uma mensagem de DEL, a unidade transmissora deseja sair do sistema e é plotada em cinza. A Fig 7 mostra o funcionamento das unidades móveis através de um diagrama de estado.

4 Conclusões

Este trabalho discutiu a criação de um sistema de acompanhamento de unidades móveis (SAUM) utilizando recursos normalmente disponíveis em rádio amador.

A transmissão de dados via *packet radio* utiliza um modem-rádio e um *transceiver* para propagar pacotes AX.25 através de ondas de rádio. Porém, a propagação de dados através de ondas eletromagnéticas é propensa a muitos erros causados por reflexão, refração, ruído, etc.

Para garantir que a transmissão de dados do SAUM foi proposto um sistema no qual pacotes IP fossem encapsulados em pacotes AX.25, de forma que fosse possível utilizar não só as características de controle de fluxo, sequenciamento de pacotes e confirmação de recebimento (ACK) inerentes ao protocolo AX.25, mas também o endereçamento previsto pelo protocolo IP e o controle de fluxo fornecido pelo protocolo IP. Além disto, usando pacotes TCP/IP foi possível tratar de forma simples a implementação de um módulo de *software* que age como controle de acesso ao meio, emulando o CSMA/CA.

Dada a grande quantidade de troca de mensagens entre base e unidades móveis, foi sugerido que todo o SAUM seja implementado usando RPC, desta forma esconde-se sua natureza distribuída sendo possível enxergá-lo como um sistema local. O sistema se mostra escalável pois novas unidades que desejem entrar no SAUM receberão um endereço IP, a base passará a receber mensagens desta nova unidade e o timer T1 pode ser implementado como uma *thread* que é reiniciada a cada vez que a unidade envia mensagens do tipo INF e destruída quando a unidade é desconectada do SAUM.

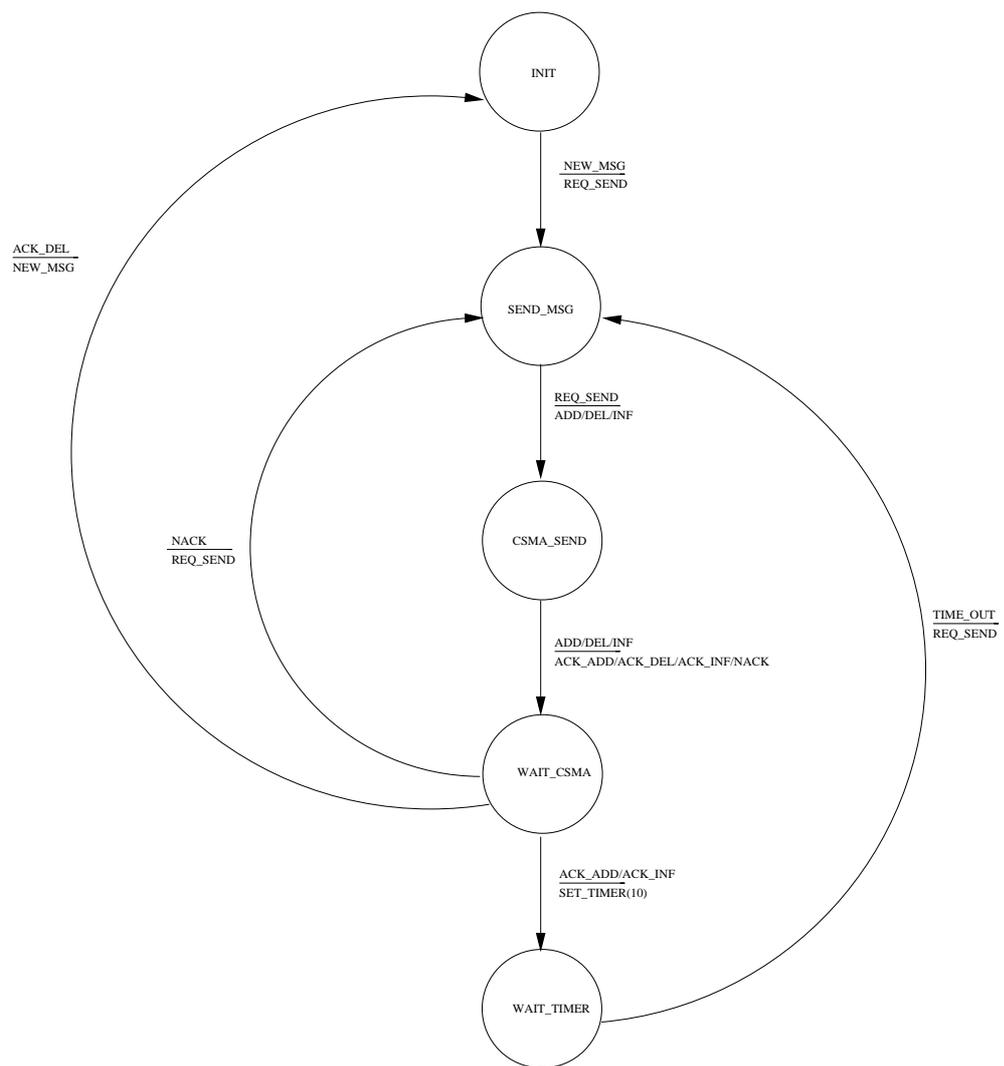


Figura 7: Diagrama de estados da unidade móvel

A sincronização das unidades e da base pode ser feita por GPS, desta forma, todas as unidades do SAUM terão a mesma hora e contarão o tempo da mesma forma.

Quanto à tolerância à falhas, existem pontos críticos que precisam ser melhorados. Por exemplo, se for detectado que a base não responde, poderia haver uma eleição e uma das unidades poderia tornar-se a base. Para isso seria necessário que o *software* executado pela base esteja presente em todas as unidades, ou em um repositório comum a todos.

Referências

- Beech, W. (1993). Ax.25 link access protocol for amateur packet radio.
- Cawood, A. (2006). Adaptation, optimisation and simulation of the csma/ca protocol for a low earth orbit satellite uhf link. Disponível em <https://scholar.sun.ac.za/handle/10019.1/2612>.
- Huguenin, E. (2006). Sistema de acompanhamento de unidades móveis.
- Kantronics (1998). Kam '98 - users guide.
- Karn, P. (1989). Amateur packet radio and tcp/ip. Disponível em <http://www.ham.gr/sv1rd/packet/connex.txt>.
- Lages, W. F. (2007). Comunicação de dados através da rede elétrica. Disponível em www.ece.ufrgs.br.
- Tanenbaum, A. (2003). *Redes de Computadores*, Elsevier Editora.
- Wikipedia (2008). Ka9q. Disponível em <http://en.wikipedia.org/wiki/KA9Q>.
- Wikipedia (2010a). Global positioning system. Disponível em <http://en.wikipedia.org/wiki>.
- Wikipedia (2010b). Introduction to the global positioning system. Disponível em <http://en.wikipedia.org/wiki>.