

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE INFORMÁTICA  
ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO

FELIPE ILHA

**Redes Ad-hoc para Comunicação entre  
Dispositivos GPS em Veículos**

Trabalho de Conclusão apresentado como  
requisito para a obtenção de grau no  
curso de Engenharia da Computação

Prof. Dr. Sérgio Luis Cechin  
Orientador

Porto Alegre, dezembro de 2012

## CIP – CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

Ilha, Felipe

Redes Ad-hoc para Comunicação entre Dispositivos GPS em Veículos / Felipe Ilha. – Porto Alegre: Instituto de Informática, UFRGS, 2012.

58 f.: il.

Trabalho de Conclusão (Graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Engenharia da Computação, Porto Alegre, BR-RS, 2012. Orientador: Sérgio Luis Cechin.

1. VANET. 2. WAVE. 3. GCDC. 4. IEEE 802.11p. 5. GPS. I. Cechin, Sérgio Luis.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Prof. Carlos Alexandre Netto

Pró-Reitora de Graduação: Prof<sup>a</sup>. Valquiria Linck Bassani

Diretor do Instituto de Informática: Prof. Luís C. Lamb

Coordenador do curso: Prof. Sérgio Luis Cechin

Bibliotecária-chefe do Instituto de Informática: Beatriz Regina Bastos Haro

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelo conhecimento adquirido por mim nestes anos e pela seriedade na condução de trabalhos científicos, e à minha família pelo apoio e carinho em todos os momentos da minha vida. Agradeço, também, ao povo brasileiro por manter viva a esperança de um país melhor, através do apoio à educação e ao trabalho.

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b> . . . . .	6
<b>LISTA DE FIGURAS</b> . . . . .	8
<b>LISTA DE TABELAS</b> . . . . .	9
<b>RESUMO</b> . . . . .	10
<b>ABSTRACT</b> . . . . .	11
<b>1 INTRODUÇÃO</b> . . . . .	12
<b>1.1 Navegação e Trânsito</b> . . . . .	12
1.1.1 Navegação . . . . .	12
1.1.2 Trânsito . . . . .	13
<b>1.2 GPS</b> . . . . .	14
1.2.1 Visão Geral . . . . .	14
1.2.2 Navegação GPS e o Trânsito . . . . .	14
<b>1.3 VANET</b> . . . . .	15
1.3.1 Especificação da Rede . . . . .	15
1.3.2 Vehicular Ad Hoc Network . . . . .	16
1.3.3 Cenários Típicos . . . . .	16
1.3.4 Trânsito Inteligente . . . . .	18
<b>1.4 ITS</b> . . . . .	18
1.4.1 Introdução . . . . .	18
1.4.2 Alocação de Espectro de Frequência . . . . .	18
1.4.3 IEEE 802.11p . . . . .	19
1.4.4 WAVE . . . . .	20
1.4.5 ISO CALM . . . . .	20
1.4.6 Outros Protocolos . . . . .	20
1.4.7 Difusão da Tecnologia . . . . .	20
1.4.8 Panorama Nacional . . . . .	21
<b>2 TRABALHO PROPOSTO</b> . . . . .	22
<b>2.1 Objetivo</b> . . . . .	22
<b>2.2 Sistema de troca de informações entre veículos</b> . . . . .	22
<b>2.3 Arquitetura Interna</b> . . . . .	22
2.3.1 Visão Geral . . . . .	22
2.3.2 Hardware . . . . .	23
2.3.3 Kernel . . . . .	24

2.3.4	Aplicação . . . . .	25
2.3.5	Configuração do Sistema . . . . .	25
2.3.6	vanetd . . . . .	26
2.3.7	Formatação do Pacote . . . . .	27
<b>3</b>	<b>MEDIDAS DO SISTEMA . . . . .</b>	<b>28</b>
<b>3.1</b>	<b>Métricas . . . . .</b>	<b>28</b>
3.1.1	Alcance Estático . . . . .	28
3.1.2	Tempo de Comunicação . . . . .	29
3.1.3	Taxa de Dados . . . . .	30
<b>3.2</b>	<b>Operacionalização dos Testes . . . . .</b>	<b>30</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS . . . . .</b>	<b>31</b>
<b>4.1</b>	<b>Geral . . . . .</b>	<b>31</b>
4.1.1	Desenvolvimento . . . . .	31
4.1.2	Operação . . . . .	31
<b>4.2</b>	<b>Desempenho . . . . .</b>	<b>31</b>
4.2.1	Alcance Estático . . . . .	31
4.2.2	Taxa de Dados . . . . .	32
4.2.3	Tempo de Comunicação . . . . .	32
4.2.4	Sistema . . . . .	33
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO . . . . .</b>	<b>34</b>
<b>5.1</b>	<b>Trabalhos Futuros . . . . .</b>	<b>34</b>
5.1.1	Efeitos de Sombra . . . . .	35
5.1.2	Perdas / Taxa de Erros . . . . .	35
5.1.3	Influência do Ambiente . . . . .	35
5.1.4	Congestionamento . . . . .	35
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>36</b>
	<b>APÊNDICE A</b>	
	Trabalho de Graduação I38	

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
EDCA	Enhanced Distributed Channel Access
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
EUA	Estados Unidos da América
FCC	Federal Communications Commission
GCDC	Grand Cooperative Driving Challenge
GPS	Global Positioning System
IP	Internet Protocol
IPv6	Internet Protocol version 6
ITS	Intelligent Transportation Systems
JSON	JavaScript Object Notation
KML	Keyhole Markup Language
MAC	Media Access Control
ns2	The Network Simulator
OBU	On Board Unit
OSI	Open Systems Interconnection
PDA	Personal Digital Assistant
PHY	Physical Layer
QoS	Quality of Service
RSU	Road Site Unit
SO	Sistema Operacional
UDP	User Datagram Protocol
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
VANET	Veicular Ad hoc Network
V2V	Vehicle to Vehicle

V2I	Vehicle to Infrastructure
XML	Extensible Markup Language
WAVE	Wireless Access for Vehicular Environment
WSMP	WAVE Short Message Protocol

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1:	Coordenadas Horárias utilizadas na Navegação Astronômica ( <i>FONTE: (MIGUENS, 1999)</i> ). Nota-se a forte dependência da relação entre ângulos para determinar a posição, o que aumenta muito a chance de erros. . . . .	12
Figura 1.2:	Congestionamento em São Paulo ( <i>Fonte: Site Revista Veja</i> ) . . . . .	13
Figura 1.3:	Orbitas dos satélites do sistema GPS ( <i>Fonte: Site Oficial GPS</i> ) . . . . .	14
Figura 1.4:	Casos de prevenção de colisão. <i>Fonte: (JIANG, 2008)</i> . . . . .	17
Figura 1.5:	Acionamento automático de freio. <i>Fonte: (GABARRON, 2010)</i> . . . . .	17
Figura 1.6:	Alocação da banda 5.9 GHz nos EUA ( <i>Fonte: Site Oficial FCC</i> ) . . . . .	18
Figura 1.7:	Alocação da banda 5.9 GHz na Europa ( <i>Fonte: Site Oficial ETSI</i> ) . . . . .	19
Figura 2.1:	Arquitetura interna do sistema implementado. . . . .	23
Figura 2.2:	Adaptador Cisco utilizado. . . . .	24
Figura 2.3:	Adaptador Garmin utilizado. . . . .	25
Figura 3.1:	Círculo de Alcance Estático. . . . .	28
Figura 3.2:	Intersecção dos Círculos de Alcance Estático . . . . .	29



## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1:	Formato dos dados trocados entre os carros. . . . .	27
Tabela 4.1:	Velocidade <i>versus</i> Tempo de Comunicação em Rumos Opostos . . .	32
Tabela 4.2:	Velocidade <i>versus</i> Tempo de Comunicação em Rumos Perpendiculares	32

## RESUMO

Navegação segura e precisa é o desejo de qualquer motorista, ao trafegar em uma rodovia com o seu automóvel. Diversos padrões e tecnologias estão sendo desenvolvidos para suprir essa necessidade, entretanto, ainda não estão disponíveis na maioria dos veículos comerciais brasileiros. Enquanto a integração e o desenvolvimento de tecnologias para automóveis são processos lentos e graduais, é possível fazer uso de dispositivos convencionais para criar redes cooperativas, a fim de usufruir da troca de informação entre os veículos. O presente trabalho irá abordar as tendências atuais do tema e descrever uma proposta simples de sistema, utilizando dispositivos comerciais, para a troca de informações de posicionamento GPS entre veículos, de forma a possibilitar a melhora da navegação e segurança no trânsito.

**Palavras-chave:** VANET, WAVE, GCDC, IEEE 802.11p, GPS.

## **Ad Hoc networks for GPS device communication on cars**

### **ABSTRACT**

Precise and safe navigation: the desire of all drivers when riding through a highway. Although many standards and technologies are being developed to supply these needs, they are far from being delivered on the Brazilian commercial cars. As long as the vehicle's technology development and integration are more slow and gradual, users could make use of ordinary devices to create cooperative vehicle networks, making way to information exchange between cars. This document will discuss the worldwide tendencies of this subject and describe a simple proposal of a system, using commercial parts, to enable the exchange of GPS device information among vehicles, in order to improve navigation safety and accuracy.

**Keywords:** VANET, WAVE, GCDC, IEEE 802.11p, GPS.

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Navegação e Trânsito

### 1.1.1 Navegação

A navegação está, cada vez mais, deixando de ser uma arte, cercada de interpretações, aproximações e inferências, para tornar-se um processo metódico de captura e interpretação de dados confiáveis. Os primeiros navegadores usavam a bússola e o sextante para localizar-se sobre a superfície da terra, usando tabelas e métodos imprecisos (como na Figura 1.1, onde está ilustrado o sistema de coordenadas horárias, um dos sistemas presentes na navegação astronômica), para calcular os ângulos e pontos que levavam a uma aproximação de sua posição em um dado momento. Posteriormente, com o advento da navegação eletrônica, os cálculos deixaram de ser manuais e as tabelas foram substituídas por circuitos elétricos, aumentando a segurança e a efetividade do processo.

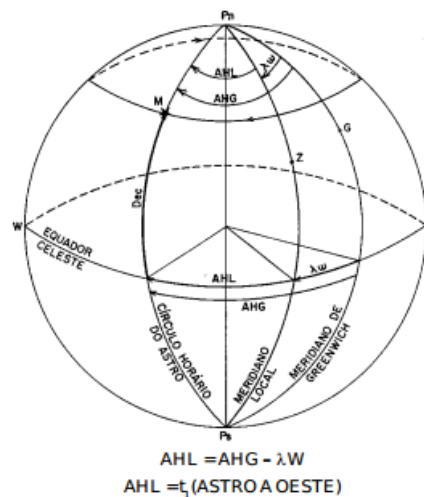


Figura 1.1: Coordenadas Horárias utilizadas na Navegação Astronômica (*FONTE: (MIGUENS, 1999)*). Nota-se a forte dependência da relação entre ângulos para determinar a posição, o que aumenta muito a chance de erros.

Nas cidades, o navegador está dentro dos carros, dos metrô ou andando nas ruas. Entretanto, todos navegam sozinhos ou em pequenos grupos, apesar de toda a informação disponível: densidade de tráfego, estado da sinalização eletrônica, acidentes, entre outros. Essa informação, se compartilhada de forma eficaz, poderia contribuir para uma navegação mais segura e eficiente em termos de tempo e distância, colaborando para diminuir a taxa de acidentes, desperdícios energéticos, além de aumentar o conforto dos usuários.

### 1.1.2 Trânsito

Mobilidade é um dos desafios para esta e as próximas gerações. O problema é ainda mais sério em países em desenvolvimento, como o Brasil, onde não se investe adequadamente em infraestrutura, e o mercado distribui os carros de forma não sustentada nas cidades. O resultado é uma frota crescente de veículos trafegando em vias sem a segurança e sem o espaço físico necessários, o que causa desde congestionamentos, que podem chegar a muitos quilômetros em algumas cidades brasileiras (Figura 1.2), até problemas de saúde, motivados pelo *stress* e poluição.

Alguns casos de falta de mobilidade são fruto do uso ineficiente das vias e da falta de informação, onde, por exemplo, motoristas trafegam em direção a uma via congestionada, sem necessidade, na existência de trajetos alternativos disponíveis. Outro problema diretamente relacionado à mobilidade são os acidentes, muitos deles causados por falta de atenção do condutor, onde se tem um pequeno intervalo de tempo disponível para uma reação efetiva do motorista. Pode-se citar, também, o exemplo de um veículo, em serviço emergencial, que não chega ao seu destino a tempo, devido à desorganização do tráfego naquele momento.



Figura 1.2: Congestionamento em São Paulo (Fonte: Site Revista Veja)

Os problemas discutidos acima podem ser diminuídos, quando o motorista dispõe de mais informação a respeito do ambiente onde navega, podendo prever, com mais certeza, o comportamento da malha de veículos, num determinado momento. Tomando os exemplos citados no parágrafo anterior, os motoristas poderiam ser avisados do acidente que causou o congestionamento e tomar o caminho alternativo. Nesta mesma linha, o acidente poderia ser previsto e causar uma ação automática do automóvel. Além disso, os carros poderiam organizar-se, sabendo, previamente, da passagem de um veículo em serviço emergencial.

Alguns países já possuem diversos projetos na área de *ITS - Intelligent Transportation Systems* -, discutido na seção 1.4, onde são desenvolvidas tecnologias, em diversas áreas, que buscam soluções para amenizar os problemas citados acima.

## 1.2 GPS

### 1.2.1 Visão Geral

O sistema GPS, resultado de um projeto militar americano da década de 70, é um dos sistemas mais populares de geolocalização em tempo real. Um receptor pode, a qualquer momento, determinar com grau elevado de precisão, a sua distância relativa aos satélites do sistema, a posição dos mesmos, conseqüentemente a sua posição sobre a Terra, com um erro na casa de unidades de metro, para dispositivos comerciais comuns. O desempenho do sistema é independente do número de receptores: a comunicação dos satélites com os usuários é unidirecional, sendo usadas mensagens *broadcast*, em determinadas frequências. A disponibilidade do sistema é tal que existe 95% de probabilidade do número de satélites necessários para a determinação da posição estar sob o céu visível, a qualquer momento, em qualquer lugar sobre a superfície da Terra. Isso se dá devido ao fato de suas órbitas serem extremamente precisas, determinadas e projetadas para tal, como ilustrado na Figura 1.3.

O sistema possui um alto grau de integração com outros dispositivos, podendo vir embarcado em telefones celulares, PDAs, automóveis, embarcações e quase todo o tipo de veículo. Atualmente, já dispõe de mapas e cartas de navegação integrados, podendo o usuário escolher visualmente o seu destino, deixando as rotas e os cálculos para o dispositivo.

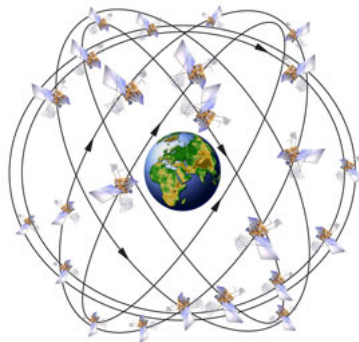


Figura 1.3: Orbitas dos satélites do sistema GPS (*Fonte: Site Oficial GPS*)

### 1.2.2 Navegação GPS e o Trânsito

A navegação GPS, componente importante da navegação eletrônica, é realizada principalmente com os dados coletados dos satélites. É um dos tipos de navegação mais utilizados nas cidades: o acesso aos mapas permite ao usuário selecionar pontos de interesse, além de percorrer e acompanhar os caminhos visualmente, através das vias.

O cálculo de rotas é normalmente realizado utilizando informações quase estáticas, centralizadas e de alta granularidade temporal, como o sentido das vias, grandes congestionamentos e barreiras. Essas informações podem ser supridas por empresas ou entidades que mantêm os dados, e podem ser suficientes para navegação comum. No entanto, não são poucos os casos de inconvenientes envolvendo os dispositivos, que carecem de outras fontes de informação para melhor detalhar as reais condições de tráfego ou selecionar caminhos mais eficazes, como nos exemplos citados na seção 1.1.2.

Desta forma, se faz necessária uma constante atualização dos dados relativos ao estado do trânsito, que pode ser enxergado como uma rede onde os nodos estão constantemente se movimentando, entrando e saindo da rede livremente.

Existem abordagens onde se procura cruzar os dados GPS com outras fontes de informação, complementando os cálculos. Porém, a maioria das soluções propostas têm grandes limitações de escalabilidade e mobilidade, quando se pensa em uma imensa malha de veículos. Mesmo assim, para as aplicações às quais foram propostas, mostraram-se efetivas. Abaixo, seguem alguns exemplos de sistemas de auxílio à navegação GPS:

- *DGPS (Differential GPS):*

Mecanismo usado para melhorar a acurácia do sistema GPS no meio marítimo, através da transmissão de informações de correção pelos rádio faróis costeiros. Possui características extremamente específicas para o meio marítimo, tornando mais difícil a sua utilização no meio urbano.

- *AGPS (Assisted GPS):*

Sistema altamente utilizado pelos *smartphones* comerciais para auxílio na localização. Utiliza recursos da *web* e da rede celular, podendo dar uma resposta não mais precisa, mas mais rápida do que o GPS comum. Este sistema depende de acesso à Internet, o que não é possível em todos os momentos. Possui a clássica arquitetura de cliente-servidor, o que piora a escalabilidade.

Os sistemas citados acima não são os únicos que possuem o objetivo de auxiliar a navegação GPS, seja ela em cidades, a bordo de um navio ou ainda em um avião. Alguns destes sistemas poderiam ser utilizados para disseminar informações de tráfego. Contudo, quando deseja-se alta mobilidade, topologia distribuída, alta escalabilidade e informação em tempo real, como seria o caso de uma rede formada por automóveis trafegando, deve-se pensar em outras alternativas.

## 1.3 VANET

### 1.3.1 Especificação da Rede

Para atingir os objetivos citados nas seções anteriores, uma rede que permita a comunicação entre os veículos, a fim de, através da troca de informações, melhorar aspectos de segurança e eficiência, deverá atender aos requisitos abaixo:

- *Escalabilidade*

A rede deve suportar um número muito elevado de nodos, representando um cenário real de milhares de veículos em uma única rede.

- *Mobilidade*

Automóveis são, por definição, entidades móveis. A rede deve suportar que seus nodos estejam constantemente movimentando-se, com mudanças bruscas de topologia e com velocidades relativamente altas, na ordem de centena de quilômetro por hora. Este tipo de cenário pode levar a uma forte influência de efeito *Doppler*, resultando em variações de até 1 KHz em algumas situações (PAIER, 2008).

- *Desempenho*

Deve ser garantido que informações relativas à segurança da vida humana sejam entregues com sucesso em um tempo pequeno. Além disso, o tempo disponível para a troca de informação entre dois veículos pode ser muito pequeno: considerando um

alcance de algumas centenas de metros, dois veículos trafegando em sentidos opostos, em uma autoestrada, teriam somente alguns segundos para trocar informações. Pensando-se na latência para estabelecer uma comunicação utilizando protocolos conhecidos, este valor é insuficiente.

- *Facilidade de uso*

A rede deve necessitar o mínimo possível de interação com o usuário, sem - ou pouquíssimos - passos de configuração e manutenção.

- *Robustez*

A rede não deve, por falha interna, induzir a decisões falsas que possam colocar em risco a vida humana.

- *Segurança*

A rede deve ser extremamente segura, devendo ser imune aos ataques de rastreamento de veículo, injeção de pacotes falsos (podendo criar o efeito de *carros fantasmas* e falsa posição), entre outros.

Protocolos típicos, e já consolidados, como *Bluetooth* e *Zigbee*, não são suficientes para redes tão dinâmicas e com características tão ímpares.

Pensando nestes aspectos, o conceito de VANET surgiu na última década. Do inglês *Vehicular Ad-Hoc Network*, este tipo de rede é foco de muita pesquisa atualmente. A idéia principal consiste em distribuir a topologia da rede, eliminando a necessidade de uma estação fixa para permitir a comunicação. Ao mesmo tempo, diminui o tempo e a complexidade necessários para estabelecer a troca de dados, e, além disso, ainda garante qualidade e permite serviços dos mais variados tipos.

### 1.3.2 Vehicular Ad Hoc Network

As VANETS são compostas de veículos possuidores de receptores e transmissores de rádio frequência que comunicam-se entre si, sem a necessidade de um líder ou uma infraestrutura dedicada para a organização da rede. Quando os veículos trocam informações entre si, o tipo de comunicação é comumente chamada de V2V - *Vehicle to Vehicle*. Eventualmente, estações fixas poderiam unir-se à rede para prover algum serviço aos veículos; como, por exemplo, uma sinaleira poderia enviar informações a respeito da temporização de seus estados, ou ainda, um ponto de acesso poderia unir-se à rede para oferecer acesso à Internet. Este último tipo de comunicação é denominada de V2I - *Vehicle to Infrastructure*.

Um dispositivo que realize a interface com a rede, estando embarcado em um nó móvel, é chamado de OBU - *On Board Unit*. Os casos fixos são chamados de *Road Site Units*, ou RSUs.

### 1.3.3 Cenários Típicos

Nesta seção serão ilustrados os exemplos típicos de aplicações utilizando este conceito. As aplicações geralmente são divididas em aplicações relativas à segurança e aplicações não relativas à segurança.



### 1.3.3.1 Prevenção de Colisão

As aplicações que alavancaram a pesquisa na área são as relativas à segurança. Na Figura 1.4, extraída de (JIANG, 2008), são apresentados dois cenários caracterizando a prevenção de colisão traseira. No primeiro caso, o veículo *A* está em velocidade mais baixa em relação ao *B*, que percebe a presença de *A* pela recepção desta informação pela rede. *B* pode manobrar com antecedência para efetuar a ultrapassagem. Enquanto isso, o automóvel *C*, fora do campo de visão de *A*, já tem o conhecimento da presença de um carro mais lento à frente, podendo antecipar a manobra. No segundo caso, *A* está freando e informando este evento para a rede. *B* recebe esta informação mesmo na presença de uma obstrução entre *B* e *A*.

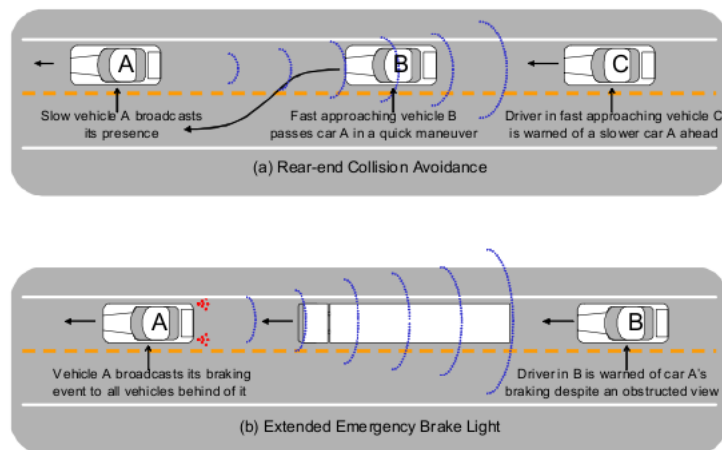


Figura 1.4: Casos de prevenção de colisão. *Fonte:* (JIANG, 2008)

Na Figura 1.5, extraída de (GABARRON, 2010), é demonstrada a propagação automática de uma mensagem de alerta enviada pelo veículo 5, que colide com um obstáculo em uma estrada, em alta velocidade. A mensagem chegaria até os carros 4, 3, 2 e 1, ativando um sistema automático de freio, evitando a colisão dos veículos, sem demandar um tempo grande para reação.

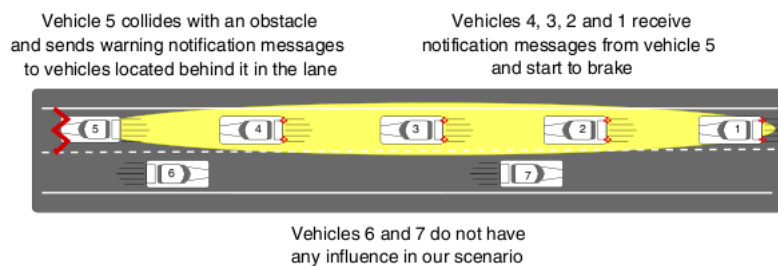


Figura 1.5: Acionamento automático de freio. *Fonte:* (GABARRON, 2010)

### 1.3.3.2 Condições de Tráfego / Condições Ambientais

Ainda em aplicações voltadas à segurança, as condições ambientais e da pista, como gelo, chuva forte, alagamentos, obras, entre tantas outras, poderiam ser encapsuladas em mensagens. Em redes com roteamento de pacotes, esta informação poderia ser disseminada por toda a rede, inclusive ativando a ação de autoridades. Rotas alternativas poderiam, também, ser derivadas destas informações.

### 1.3.3.3 Streaming de Áudio/Vídeo

Por outro lado, estão previstas e foram estudadas, também, aplicações voltadas ao conforto dos usuários, como o acesso a vídeos, a realização de chamadas *VoIP* (MARTELLI, 2012), envio de *e-mails*, entre muitas outras possibilidades.

### 1.3.4 Trânsito Inteligente

Todas as aplicações citadas acima têm como objetivo melhorar a qualidade dos transportes, e, por isso, podem enquadrar-se no conceito de *ITS*. Este tipo de aplicação demanda níveis altos de segurança e desempenho, e, portanto, procurando viabilizar essas inúmeras idéias, muitos padrões e protocolos estão sendo estudados e definidos por órgãos internacionais. Na próxima seção, serão discutidos os aspectos relacionados a essa infraestrutura e como está o estado das definições que a afetam diretamente.

## 1.4 ITS

### 1.4.1 Introdução

Ao longo da década de 2000, muitos projetos foram conduzidos por órgãos internacionais para o desenvolvimento de sistemas para a melhoria da qualidade dos transportes. Surgiu, ao longo destes anos, a idéia de *ITS*, *Intelligent Transportation Systems*, um conjunto de tecnologias que têm por objetivo melhorar aspectos dos transportes: segurança, produtividade, etc. Levantou-se a necessidade de uma comunicação eficiente entre os veículos, e, então, muitos protocolos e padrões foram sugeridos por diversos grupos de pesquisa e organizações internacionais. Entre eles, pode-se citar o *ISO CALM*, de origem européia, o *IEEE WAVE*, de origem norte-americana, abordados nas seções 1.4.5 e 1.4.4, respectivamente, entre outros. Seguindo esta linha, no final de 2010, a IEEE aprovou a IEEE-802.11p-2010, uma emenda em torno do IEEE 802.11, detalhado em 1.4.3, regulamentando as camadas inferiores (PHY) para comunicação em ambientes veiculares.

### 1.4.2 Alocação de Espectro de Frequência

Em alguns países, a banda de 5.9 GHz foi alocada exclusivamente para aplicações *ITS*. A Figura 1.6, extraída da tabela de alocação de espectro de frequência dos EUA, ilustra a reserva para aplicações *ITS* na faixa de 5850MHz a 5925MHz - sigla NG160 - realizada pelo órgão responsável em questão. Na Europa, alocou-se a faixa de 5875MHz a 5925MHz para o mesmo fim, como mostrado na Figura 1.7. No Brasil, segundo documento da ANATEL (ATO N° 2.099, 2012), esta faixa de frequência ainda não está alocada para este fim.

Nos EUA, o uso desta banda é sem custo, porém regulamentado, limitando o uso a canais e padrões de comunicação específicos. Assim, mesmo com uma potência baixa de sinal, não é permitido desenvolver, nesta banda, aplicações diferentes dos padrões impostos.

5850-5925
FIXED-SATELLITE (Earth-to-space)
US245
MOBILE NG160
Amateur
5.150

Figura 1.6: Alocação da banda 5.9 GHz nos EUA (Fonte: Site Oficial FCC)

Figura 1.7: Alocação da banda 5.9 GHz na Europa (*Fonte: Site Oficial ETSI*)

Neste país, esta faixa é conhecida como DSRC, ou *Dedicated Short Range Communications*, onde operam protocolos de curto a médio alcance.

### 1.4.3 IEEE 802.11p

#### 1.4.3.1 Visão Geral

O IEEE 802.11p é uma emenda do IEEE 802.11, aprovada em junho de 2010, que estabelece os padrões para o acesso ao meio físico em ambientes veiculares, na faixa de 5.9 GHz. Pode servir de camada física para a grande maioria dos protocolos de camadas superiores propostos (1.4.4, 1.4.5 e 1.4.6.1). Possui a vantagem de herdar muito do 802.11a e 802.11e (Seções 1.4.3.2 e 1.4.3.3), já extensamente testados. Além do mais, existem simuladores de código aberto disponíveis que o suportam, como o *ns2* (MOHAMMAD, 2011).

#### 1.4.3.2 PHY

A camada física do 802.11p é baseada no OFDM do 802.11a - que já opera na faixa de 5GHz - com espaçamento de 10MHz entre os 7 canais. Destes, seis são de uso geral (SCH - *Service Channels*) e um é de controle (CCH - *Control Channel*). No canal de controle trafegam dados considerados prioritários, de emergência. Os veículos são divididos em quatro classes, de A a D, onde a potência máxima e a máscara espectral dependem da classe do veículo. As taxas obrigatórias de transmissão são de 3, 6 e 12Mbps, metade da taxa do 802.11a. Os dispositivos devem ter a capacidade de operar em uma faixa de temperatura de  $-40^{\circ}C$  a  $85^{\circ}C$  (JIANG, 2008).

#### 1.4.3.3 MAC

O IEEE 802.11p opera o EDCA, similarmente ao IEEE802.11e, onde são oferecidas quatro categorias de acesso por canal, cada uma com a sua fila independente, onde os quadros são colocados, dependendo da sua prioridade. O protocolo define níveis diferentes de contenção para cada categoria de acesso. O padrão opera, também, o CSMA/CA, para fornecer um acesso justo, diminuindo colisões.

#### 1.4.3.4 Implementação

Atualmente, não há uma implementação genérica oficial, em código aberto, disponível. Para Linux, existem *patches* não oficiais para drivers específicos, como o *ath5k*, sob a versão de kernel 2.6. Alguns produtos comerciais já incluem suporte ao padrão, porém com código fechado.

#### 1.4.3.5 Desempenho

Segundo estudos de simulação e campo, como (JAFARI, 2012), (ACATUASSU, 2011) e (LIN, 2011), além de muitos outros, a taxa de dados, *delay* e perda de pacotes não depende da velocidade dos nós, mas é afetada por mudanças topológicas bruscas e pela distância entre os nós. Ao aumentar o tamanho do pacote, as três métricas também aumentam.

## 1.4.4 WAVE

### 1.4.4.1 Visão Geral

WAVE, *Wireless Access for Vehicular Environments*, é um conjunto de padrões publicados pela IEEE<sup>1</sup>, difundido nos EUA, que especificam como devem ser as camadas superiores para o acesso à rede wireless em ambientes veiculares na banda de 5.9 GHz. Os documentos detalham todas as camadas do modelo OSI e usam o IEEE802.11p para a camada física. Neste padrão, já estão previstas algumas soluções visando a segurança. Pode-se citar como característica importante a existência de um protocolo próprio, situado na terceira camada do modelo OSI, para mensagens prioritárias, o WSMP - *Wave Short Message Protocol*. Para aplicações sem prioridade, o padrão prevê suporte a protocolos de transporte comuns sob IPv6. Possui forte relação com a tecnologia Wireless, não fazendo sentido a sua aplicação utilizando outros meios físicos, como o ISO CALM (1.4.5). Possui suporte em simuladores de código aberto. Mais detalhes a respeito podem ser encontrados no Apêndice A.

## 1.4.5 ISO CALM

### 1.4.5.1 Visão Geral

O protocolo CALM, *Communications Access for Land Mobiles*, foi adotado em seu continente de origem, a Europa, como um protocolo oficial para aplicações ITS. Possui, como principal característica, o uso de múltiplas interfaces para a comunicação intraveicular, como por exemplo, infravermelho, 3G, satélite, e até mesmo o próprio IEEE802.11p.

### 1.4.5.2 GCDC

A GCDC - *Grand Cooperative Driving Challenge* -, realizada na Holanda no ano de 2010, foi uma competição com o principal objetivo de alavancar o desenvolvimento de plataformas para aplicações ITS. Como fruto desse evento - e que é de interesse para o presente trabalho - pode-se citar a disponibilização, em código aberto (embora não completa), do protocolo CALM<sup>2</sup> e do IEEE802.11p, em linguagem C, em cima de drivers do Linux para o chipset da Atheros. A implementação de 802.11p, disponibilizada pela GCDC, utiliza apenas um canal fixo.

## 1.4.6 Outros Protocolos

### 1.4.6.1 C2C

Padrão apoiado pela indústria automotiva, construído de forma a acomodar o IEEE 802.11p. Já possui estratégias para resolver problemas avançados como prevenção de colisão. Não possui plataforma de simulação em código aberto. É o único padrão que prevê *multi-hop*. Possui uma estratégia de roteamento de pacotes pela posição GPS.

## 1.4.7 Difusão da Tecnologia

Um dos problemas enfrentados atualmente é a dificuldade de difusão destes avanços tecnológicos no mercado. Por isso, muitos autores destacam a necessidade de um número significativo de dispositivos e infraestrutura já estarem instalados, antes da utilização do

<sup>1</sup>IEEE 1609.0, 1, 2, 3, 4 e 5, IEEE 1609.11

<sup>2</sup>Ao contrário do que está escrito na primeira parte do presente trabalho - disponível em anexo -, o protocolo usado durante a GCDC é o ISO CALM e não o WAVE.

sistema para aplicações críticas. Desta forma, fala-se em estimular as plataformas de desenvolvimento aberto, principalmente voltando-se às aplicações não críticas, de forma a disseminar a tecnologia entre os usuários.

Além disso, é necessário unir investimentos da indústria e governos, afim de estimular, política e financeiramente, projetos na área e criar padrões comuns a diversas regiões e nacionalidades.

#### **1.4.8 Panorama Nacional**

O Brasil possui alguns grupos de pesquisa na área de transportes com ênfase em ITS, como o Fórum ITS do COPPE da UFRJ. Alguns sistemas visando a melhoria nos transportes estão operando no Brasil, como o *Via Fácil* e o *Sem Parar*, ambos instrumentos de pedágio eletrônico por RFID.

Todavia, o país ainda carece de interesse maior do poder público e das empresas em implantar sistemas distribuídos nos moldes detalhados neste trabalho.

## 2 TRABALHO PROPOSTO

### 2.1 Objetivo

O trabalho realizado tem por objetivo criar um sistema que, através da criação de uma VANET, permita a transmissão e recepção das posições GPS, de dois veículos, na faixa de 5.9 GHz.

### 2.2 Sistema de troca de informações entre veículos

O sistema consiste em um aplicativo - o *vanetd* -, rodando em dois *Notebooks*, que captura os dados vindos do dispositivo GPS e os disponibiliza na rede, utilizando um protocolo simples desenvolvido no trabalho. O aplicativo roda em plataforma GNU/Linux para x86. Foi utilizada a implementação parcial, e não oficial, do IEEE802.11p para o chipset da Atheros, sobre Kernel 2.6, disponibilizada pela GCDC (ver seção 1.4.5.2). Além de enviar os dados, o aplicativo é responsável por tratar e mostrar ao usuário informações vindas de outros veículos pela rede. Foram utilizados dispositivos comerciais tanto para o receptor GPS quanto para o adaptador Wireless. Para testes, foram realizados casos reais em cidades, onde se testou o desempenho e o alcance com dois automóveis, referenciados como *CARRO A* e *CARRO B* neste trabalho.

### 2.3 Arquitetura Interna

A arquitetura do sistema será detalhada nas seções a seguir tomando a Figura 2.1 como referência para os nomes e numeração.

#### 2.3.1 Visão Geral

Conforme pode ser visto na Figura 2.1, os dados vindos dos satélites são colhidos e interpretados pela UGPS<sub>(6)</sub> - *Unidade de Posicionamento GPS*, que se comunica com a UP, *Unidade de Processamento*, através de um barramento USB. A UP, um computador de propósito geral, com sistema operacional Linux, utiliza o módulo *garmin\_gps*<sub>(5)</sub> para disponibilizar os dados vindos do barramento USB em um arquivo *tty*, um terminal serial. O processo *gpsd*<sub>(4)</sub>, ainda na UP, captura os dados binários através do arquivo *tty*, os converte para JSON textual - um formato para troca de dados em formato texto legível -, e os disponibiliza para o processo *vanetd*, através de um socket TCP.

O processo *vanetd*, por sua vez, possui um *socket raw*<sup>1</sup> aberto, onde escreve os da-

---

<sup>1</sup>Esta é uma das formas de permitir a comunicação diretamente com o driver, sem passar pela pilha de protocolos de rede do SO.

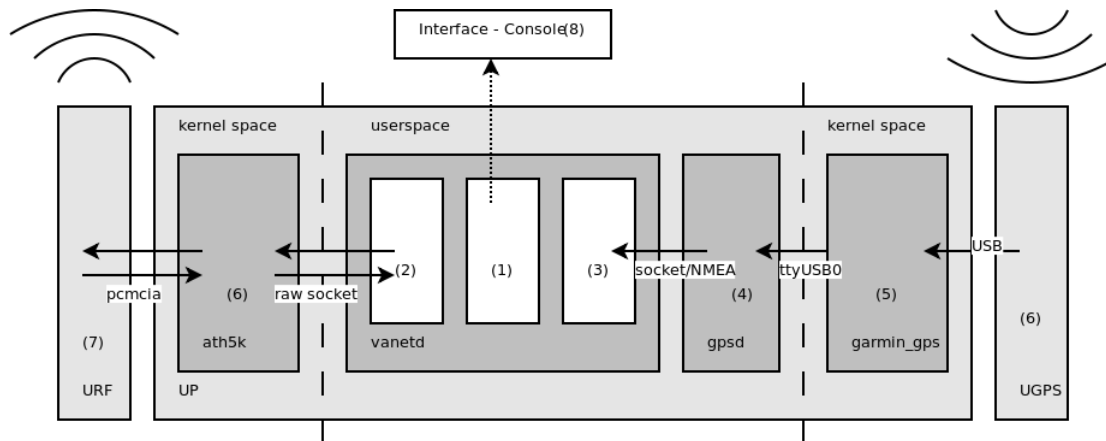


Figura 2.1: Arquitetura interna do sistema implementado.

dos de posição, já formatados (conforme a Seção 2.3.7), e recolhe informação da rede a respeito dos veículos presentes. O processo mantém esta informação internamente<sup>(1)</sup>, podendo ser visualizada pelo usuário através do console<sup>(8)</sup>, ou por arquivo *kml*<sup>2</sup>.

As informações chegam da rede Wireless pela URF, *Unidade de Transmissão/Recepção de RF*, para a UP através de um barramento PCMCIA. São recolhidas pelo driver modificado *ath5k*<sup>(6)</sup>, que repassa os dados diretamente ao processo *vanetd*, através do *socket raw*.

### 2.3.2 Hardware

O hardware do sistema pode ser subdividido principalmente em Unidade de Processamento (UP), Unidade de Transmissão/Recepção de RF (URF) e na Unidade de Posicionamento GPS (UGPS). Todos os dispositivos foram escolhidos de forma que sejam comerciais e encontrados facilmente no mercado.

#### 2.3.2.1 Unidade de Processamento

A UP tem como objetivo: processar e controlar o fluxo das informações no sistema; manter e controlar as unidades de interface - URF e UGPS; fornecer uma interface básica com o usuário.

No presente trabalho, para UP, foram usados computadores de propósito geral (*Notebooks*) com sistema operacional Linux:

#### CARRO A :

Notebook HP Pavilion  
 AMD Turion(tm) 64 800MHz 512KB Cache  
 2GB RAM  
 Linux 2.6.32-38-generic  
 Ubuntu 10.04 LTS

#### CARRO B :

<sup>2</sup>KML - *Keyhole Markup Language*: formato largamente utilizado para descrever pontos em Softwares de navegação e localização. Possui sintaxe semelhante ao XML.

Notebook Compaq Evo N150  
Intel Celeron 700MHz 128KB Cache  
128MB RAM  
Linux 2.6.32-21-generic  
Ubuntu Minimal CD

### 2.3.2.2 Unidade de Transmissão/Recepção de RF

A URF deve poder operar na faixa de 5GHz definida pelo IEEE802.11p. Felizmente, os dispositivos comerciais projetados para suportar o 802.11a já operam em 5GHz. O tipo de interface para comunicação da URF com a UP não é mandatória, todavia, devido ao driver usado (*ath5k*) suportar uma família de chipsets muito específicos (família Atheros 5xxx), a escolha torna-se muito limitada. Caso se desejasse utilizar outro chipset, seria necessário fazer as alterações no driver do chipset em questão, de forma equivalente às alterações no *ath5k*.

Ambos os carros utilizaram um adaptador CardBus CISCO AIR-CB21AG-A-K9 com chipset Atheros AR5001X+.



Figura 2.2: Adaptador Cisco utilizado.

### 2.3.2.3 Unidade de Posicionamento GPS

A UP deve comunicar-se com a UGPS periodicamente para a obtenção da posição. Assim como a URF, o tipo de interface de comunicação com a UP não é mandatória. Ambos os carros utilizaram o adaptador *GARMIN GPS20x USB*.

## 2.3.3 Kernel

Para a comunicação com a URF, foi utilizada a infraestrutura disponibilizada no site oficial da GCDC (1.4.5.2). Este pacote inclui, além do necessário para a realização do presente trabalho, uma implementação do protocolo ISO CALM, que não foi utilizada para manter a simplicidade do trabalho, pois um suporte, até mesmo parcial, ao protocolo demandaria mais tempo de desenvolvimento. Todavia, para trabalhos futuros, seria interessante a análise dessa possibilidade.

Foram usados os módulos modificados *ath5k*, *ath*, *mac80211* e *config80211*, para o suporte ao 802.11p. As alterações foram para permitir canais com largura de banda





Figura 2.3: Adaptador Garmin utilizado.

reduzida (10MHz), metade da taxa de dados, e a criação de uma *ibss*<sup>3</sup> sem a transmissão de *beacon* - pacote de sincronização e identificação - periódico. Foi necessário realizar *backporting* das alterações para as respectivas versões de kernel das UP.

Foi realizado, também, uma alteração no binário de regulação das faixas de frequência, para permitir a operação na faixa de 5.9 GHz. Esta alteração foi possível, também, através de fontes disponibilizados pela GCDC, mas que estão disponíveis junto ao repositório git oficial do Linux.

Para comunicação com a UGPS, foi usado o módulo *garmin\_gps*, distribuído pelo Ubuntu. Este módulo cria uma interface amigável com o dispositivo UGPS, através de um arquivo *tty*, sendo fácil ler e escrever com as operações padrão de arquivo do Unix.

### 2.3.4 Aplicação

A aplicação pode ser dividida em dois módulos: *vanetd* e *gpsd*. O módulo *gpsd* é um servidor de posicionamento GPS, de código aberto, distribuído pelo Ubuntu. Possui suporte para comunicar-se com diversos dispositivos GPS do mercado através de arquivos, disponibilizando os dados, em diferentes formatos, através de conexões TCP. No presente trabalho, o *gpsd* comunica-se com a UGPS através do arquivo mantido pelo módulo *garmin\_gps* e espera uma conexão via *loopback*, em uma porta específica, com o *vanetd* para transferir os dados do dispositivo, via *socket*, em formato JSON.

O *vanetd* busca as informações de posição GPS através da conexão com o *gpsd*, transforma os dados em um pacote específico (ver 2.3.7) e os envia diretamente ao driver da URF, o *ath5k*, através de um *socket raw*. O processo também monitora a rede em busca de outros automóveis e mantém uma lista dos conhecidos no momento.

### 2.3.5 Configuração do Sistema

Para que os aplicativos possam comunicar-se adequadamente, uma série de módulos devem ser carregados e diversas configurações devem ser realizadas. Algumas destas configurações somente são possíveis com o uso de utilitários modificados, disponibilizados pela GCDC. Assim, um script de configuração foi criado, a fim de realizar as operações

<sup>3</sup>*ibss* ou *Independent Basic Service Set*, é uma unidade básica de comunicação no 802.11, sem a necessidade de um *Access Point*, permitindo a comunicação Ad Hoc.

necessárias e iniciar os aplicativos. As tarefas do script são, em ordem:

1. Carregar os módulos do kernel para ativar o modo 802.11p;  
 Geralmente é necessário, primeiro, descarregar os módulos não alterados, que normalmente são carregados automaticamente.
2. Carregar os módulos do kernel para comunicação com o dispositivo GPS;  
 O módulo *garmin\_gps* não é carregado por padrão.
3. Configurar a interface *wireless*;  
 Colocá-la em modo *ad hoc* e unir-se à *ibss* em 5.9 GHz sem emissão de *beacon*, com endereço MAC zerado. Foi utilizada a *ibss* com nome "ITS". Para tal configuração, foram necessários os aplicativos modificados da GCDC.
4. Ativar o servidor *gpsd*
5. Ativar o aplicativo *vanetd*

A partir deste momento, o sistema estará operando e enviando a posição periodicamente, conforme será detalhado nas seções abaixo.

### 2.3.6 vanetd

O processo *vanetd* foi desenvolvido em linguagem C para plataforma GNU/Linux. É subdividido em três *threads* (*pthread* POSIX): *network\_manager*<sup>(2)</sup>, *data\_manager*<sup>(1)</sup> e *position\_manager*<sup>(3)</sup>. Durante a execução, são mantidos dois *sockets*: um com o processo *gpsd*, e outro do tipo *raw*, para enviar e receber os dados diretamente do driver do adaptador *wireless*, sem passar pela pilha de protocolos do kernel.

Cada carro possui um *id* único de veículo, uma palavra qualquer de 16 *bytes*, passada pelo usuário ao processo, na inicialização. É a identificação do veículo na rede.

#### 2.3.6.1 network\_manager

É a *thread* responsável por monitorar o *socket raw* e atualizar uma estrutura de dados interna, no caso de um pacote válido vindo da rede. É responsável, também, por enviar periodicamente a posição atual, estrutura compartilhada entre as *threads*. O intervalo de tempo entre cada envio de posição é configurável pelo usuário, mas possui valor típico de 100 a 500ms. A cada pacote recebido, é realizada uma rotina de processamento, onde poderia ser incluído o cálculo de possibilidade de colisão. Nesta versão de trabalho, não está sendo realizada tal checagem.

#### 2.3.6.2 data\_manager

A *thread data\_manager* possui a função de monitorar uma lista interna dos veículos conhecidos, apagando as entradas expiradas (tempo estipulado em 2s) e atualizando a interface com o usuário. Ao usuário, é mostrada a lista de veículos detectados, incluindo o próprio veículo, a sua posição, velocidade, rumo e identificador. Além disso, os dados são exportados via *kml*, arquivo suportado por aplicativos de localização e mapas, como o *Google Earth* e *Google Maps*, permitindo uma rápida interface com aplicativos amigáveis ao usuário.

### 2.3.6.3 *position\_manager*

Possui a incumbência de estabelecer a comunicação com o servidor *gpsd*, interpretar os dados e atualizar a posição atual. Os dados são atualizados a cada 1s. Existe uma extensa biblioteca de funções que poderiam ser usadas para configurar a comunicação entre o *vanetd* e o *gpsd*, melhorando o formato e a entrega das mensagens de dados. Todavia, o seu uso demandaria mais trabalho. Atualmente os dados são passados em formato texto.

### 2.3.7 Formatação do Pacote

O formato do pacote utilizado para envio da posição é dado pela Tabela 2.1. Não foram considerados problemas relacionados ao *endianismo* de diferentes arquiteturas. Foram reservados 36 *bytes* no final do pacote para dados de versões futuras.

<i>Offset</i>	Nome	Significado
Cabeçalho (36 <i>bytes</i> )		
0	MAC SRC	00:00:00:00:00:00
6	MAC DST	FF:FF:FF:FF:FF:FF
12	ethertype	0x1111
14	CRC	CRC16 do pacote (*)
16	timestamp	<i>timestamp</i> da geração do pacote
20	Id	Identificador do veículo
Dados (60 <i>bytes</i> )		
0	lat	Latitude em graus (ponto flutuante)
4	hem	Hemisfério Sul = 1, Norte = 0
5	long	Longitude em graus (ponto flutuante)
9	greenw	Hemisfério Oeste = 1, Leste = 0
10	vel	Velocidade em <i>mph</i> (ponto flutuante)
14	rumo	Rumo em graus (ponto flutuante)
18	tipo	Tipo de veículo (1 <i>byte</i> )
19	reservado	Reservado para versões futuras
Total (92 <i>bytes</i> )		

Tabela 2.1: Formato dos dados trocados entre os carros.

No cabeçalho, estão informações relativas à identificação e checagem do pacote. A comunicação é sempre anônima, para todos e sem redirecionamento de pacotes - *single-hop* -, portanto, o endereço MAC de destino é sempre o de *broadcast* e o de origem é enviado zerado. O identificador do veículo é uma sequência de 16 *bytes* usada para fins de depuração, para identificar a origem dos pacotes. Em uma implementação real, este campo deveria ser repensado, pois permite a localização e *tracking* de um veículo. Nesta versão do trabalho, o CRC16 não é nem computado, nem checado, somente previsto. O campo *timestamp* é usado para ordenar os pacotes e dar uma *idéia* de temporização. Este valor não é usado para cálculos, devido à falta de sincronia de relógio. Em versões futuras, os dispositivos poderiam utilizar o GPS para tal sincronização.

Na parte de dados do pacote, estão informações obtidas diretamente do dispositivo GPS, sem processamento. O campo *tipo* é fixo e está presente para futuramente diferenciar veículos de unidades fixas ou de outros tipos de veículos.

## 3 MEDIDAS DO SISTEMA

### 3.1 Métricas

Para testar o sistema criado, foram propostas métricas, que, através de casos de teste, procuram validar e definir o desempenho da solução. As métricas definidas a seguir possuem o objetivo de mensurar o quanto o sistema está próximo do que foi proposto e o quão bem cumpre as suas funções.

Os testes foram realizados com os sistemas rodando em dois veículos, já anteriormente mencionados, *CARRO A* e *CARRO B*.

Foram realizadas medidas de *Alcance Estático* - a maior distância entre os carros que ainda permita a comunicação; *Tempo de Comunicação* - o tempo em que os dois carros, trafegando em um determinado rumo, permanecem um sobre o raio de Alcance Estático um do outro, possibilitando a comunicação; e a *Taxa de dados* - a taxa máxima de transmissão do sistema.

#### 3.1.1 Alcance Estático

##### 3.1.1.1 Definição

Como alcance estático,  $R$ , define-se o quão longe podem estar, os dois automóveis parados, e, ainda sim, conseguirem trocar com sucesso as mensagens de posição. O valor, em metros, define o círculo de Alcance Estático centrado no veículo (Figura 3.1). Esta medida deve ser realizada em um ambiente sem obstáculos, e deve ter um valor próximo do alcance teórico da rede (na casa de 100m para a operação com 802.11a nas menores taxas (CHEN, 2001)), ou, até mesmo, levemente superior, pois o 802.11p opera na metade da taxa de dados do 802.11a.

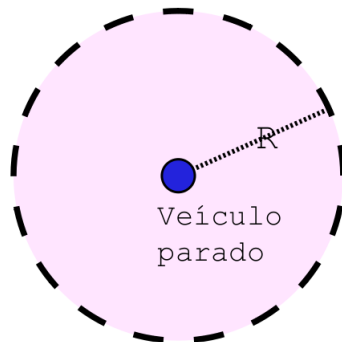


Figura 3.1: Círculo de Alcance Estático.

### 3.1.1.2 Casos de Teste

Foi escolhida uma rua de comprimento suficientemente grande, e posicionou-se o *CARRO A* e o *CARRO B* em pontos próximos da rua (menos de 3m). Após o estabelecimento da conexão, um dos carros foi afastado gradativamente, até uma posição limite, capaz de manter a conexão. A distância, em metros, entre os carros, foi medida como a distância entre as duas posições informadas pelo GPS, e tomada como Alcance Estático, ou  $R$ .

## 3.1.2 Tempo de Comunicação

### 3.1.2.1 Definição

Tempo de comunicação define-se como o tempo disponível para a troca de informações durante uma situação de cruzamento, com rumos opostos ou perpendiculares. Pode ser interpretado como o tempo em que os dois carros permanecem na intersecção de seus círculos de Alcance Estático (Figura 3.2a e 3.2b). Esta métrica é importante para determinar a latência máxima da rede, para uma determinada quantidade de dados que se deseja transferir, a uma dada velocidade de encontro. Esta métrica, obviamente, é dependente da velocidade de encontro dos veículos, e, portanto, testes com diferentes velocidades devem ser realizados. A relação entre as variáveis pode ser considerada da forma:

$$T_c = \frac{2R}{V_e}$$

Uma vez determinado o Alcance Estático,  $R$ , é possível encontrar o Tempo de Comunicação,  $T_c$ , para qualquer velocidade de encontro,  $V_e$  - supondo que o alcance estático não sofra alterações com a velocidade.

No caso de rumos opostos,  $V_e = 2V_{carros}$ , enquanto que, para rumos perpendiculares,  $V_e = \sqrt{2}V_{carros}$ .

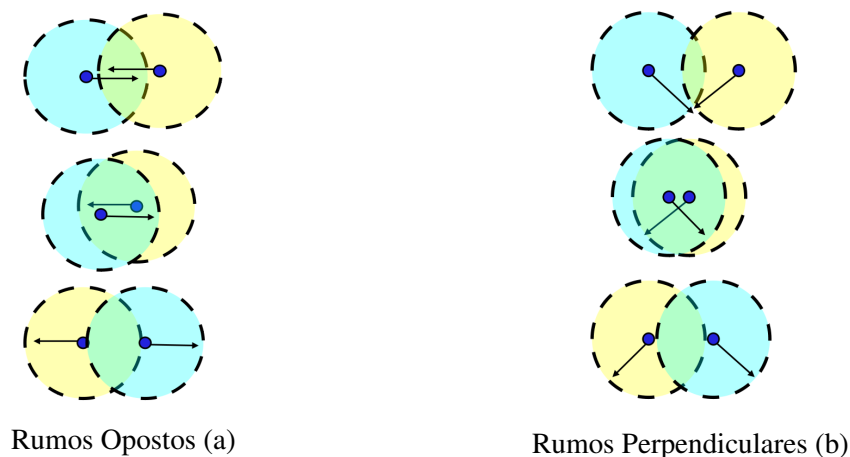


Figura 3.2: Intersecção dos Círculos de Alcance Estático

### 3.1.2.2 Casos de Teste

Foram utilizadas as velocidades de 50Km/h e 80Km/h, para a situação de rumos opostos. Também foram realizadas medidas para o caso de rumos perpendiculares, todavia foi testada apenas a velocidade de 30Km/h, por falta de um lugar com a segurança necessária

para o teste. O tempo foi medido utilizando-se um cronômetro e a saída do sistema, utilizando a indicação de detecção do outro veículo, e o estouro de tempo máximo de espera - definido como 2 s - para marcação da condição de início e fim da intersecção, respectivamente.

### 3.1.3 Taxa de Dados

#### 3.1.3.1 Definição

A taxa máxima de dados do sistema pode ser obtida através da geração de um *storm* de pacotes por parte de um dos carros, com a contagem de *bytes* recebidos no outro. Este parâmetro é importante para dimensionar a quantidade de informação que se pode trocar em, por exemplo, uma situação de encontro.

De acordo com a literatura, a Taxa de Dados não varia significativamente com a velocidade entre os nodos (JAFARI, 2012).

#### 3.1.3.2 Casos de Teste

Para esta métrica, um dos carros inicia uma tempestade de pacotes (envia o maior número de pacotes, o mais rápido possível), e o outro carro mede a quantidade de *bytes* recebidos em um intervalo de tempo de 5 minutos, a uma distância fixa menor que R. A geração desta tempestade de pacotes e a contagem de *bytes* foi implementada em código C, junto ao Software desenvolvido neste trabalho, sendo ativada ou não, a critério do usuário, na inicialização do sistema.

## 3.2 Operacionalização dos Testes

Para a realização dos testes propostos, o sistema deve poder operar em dois veículos simultaneamente. Deve-se pensar, primeiramente, na alimentação dos dois computadores, podendo-se utilizar a alimentação da bateria do próprio veículo, cuidando apenas para adequar a tensão e garantir a potência necessária para a operação do sistema. No caso do presente trabalho, foi feito o uso de inversores comerciais para converter de  $12V_{DC}$  para  $127V_{AC}$ , com uma potência máxima de 150W, suficiente para os computadores utilizados. Deve-se observar a potência máxima permitida referenciada no manual do veículo para não danificar a fiação com excesso de corrente.

A potência de transmissão não pode ser maior do que a permitida pela ANATEL, que define, para esta faixa de frequência, a potência de transmissão máxima de 1 W, ou 30 dBm (RESOLUÇÃO 365, 2004). No presente trabalho foi utilizada uma potência de transmissão 27 dBm, que corresponde a, aproximadamente, 0.5 W.

Deve-se escolher um local adequado para a realização dos testes, visto que alguns envolvem velocidades acima das permitidas no meio urbano, enquanto outros dependem da ausência de obstáculos e um raio de visão relativamente estendido. Pensando nisso, os testes foram realizados parte em área residencial - testes envolvendo os carros parados, e a outra parte em rodovia da área rural de Porto Alegre.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Geral

#### 4.1.1 Desenvolvimento

Durante o desenvolvimento, a primeira dificuldade enfrentada foi para portar as modificações propostas pela GCDC para outras versões de Kernel. Boa parte da interface do Kernel com os módulos estava modificada entre as diferentes versões.

Em um segundo momento, teve-se a necessidade de se realizar uma comunicação eficiente com o UGPS. O driver para o dispositivo em questão, *garmin\_gps*, possui um mal comportamento conhecido e não comunica-se bem com outros módulos de código aberto cogitados, como o *gpsbabel*, também distribuído pelo Ubuntu. Esta etapa exigiu um pouco de depuração para estabelecer a comunicação e configurar o servidor *gpsd*.

Após resolvidas estas etapas, a codificação do *vanetd* mostrou-se uma tarefa relativamente simples. O sistema atualmente está funcionando de acordo com o proposto, recebendo de outros veículos e enviando, com sucesso, as posições GPS, sendo estas visíveis através do aplicativo *Google Earth* e terminal console.

#### 4.1.2 Operação

O URF escolhido apresentava uma limitação de software para operar apenas até a frequência de 5.825 GHz. Esta limitação é imposta por valores escritos na EEPROM do dispositivo, projetado para operar até esta faixa. Uma alteração na EEPROM poderia ser feita, todavia iria aumentar a complexidade do trabalho, e, portanto, o sistema foi designado a operar na banda de 5.825 GHz.

### 4.2 Desempenho

Os testes definidos na Seção 3.1 foram realizados três vezes, sem se utilizar de rigor estatístico, e portanto, não servem como resultados conclusivos e confiáveis, mas sim para uma ilustração do comportamento do sistema.

#### 4.2.1 Alcance Estático

O Alcance Estático variou de 120 m, em um ambiente com obstruções (casas, árvores e carros), até 300m, em um ambiente limpo, com poucas obstruções. O primeiro valor já era esperado, próximo ao alcance do 802.11a. O segundo valor mostrou-se superior ao esperado. Poderia ser justificado, primeriamente pela falta de obstruções, que, somadas ao fato das taxas de dados do protocolo 802.11p serem inferiores - metade do 802.11a, e pelo fato de a potência de transmissão usada, 27 dBm, ser superior à utilizada em estudos

da literatura de referência, 14 dBm em (CHEN, 2001), poderiam acarretar em um alcance maior.

Em uma rede *single-hop*, esta medida conceitualmente corresponde ao raio em que a troca de informações está disponível, ou seja, um veículo não seria capaz de visualizar outro que está a mais de 120 m de distância em ambientes obstruídos, ou até 300m em ambientes limpos.

#### 4.2.2 Taxa de Dados

As medições foram realizadas utilizando o *CARRO B* como gerador da tempestade de pacotes e o *CARRO A* como receptor.

A Taxa de Dados média apresentou valores próximos a 2.9 Mbps, valor levemente inferior ao valor mínimo estipulado pelo padrão, de 3Mbps. O fato dos pacotes serem pequenos aumenta a parcela do tempo gasto no processamento de cada um, individualmente. Além disso, neste cenário de altas taxas de *broadcast*, sistemas com pouca capacidade de processamento - como é o caso do *CARRO B*, que possui frequência de *clock* inferior, um quinto do tamanho de *cache* e uma memória RAM vinte vezes menor - poderiam ser prejudicados e, até mesmo, perder pacotes, sem dar conta da taxa elevada de pacotes.

Neste caso, é possível que o fator limitador do resultado não tenha sido a rede, e sim, a capacidade de processamento das UPs. Ao inverter-se o carro gerador pelo receptor, isto é, o *CARRO A* gerando a tempestade e o *CARRO B* recebendo, o último não deu conta da quantidade elevada de pacotes. Entretanto, para efetivamente obter-se a influência, nesta métrica, da capacidade de processamento da UP, deveriam ser realizados testes específicos, com diferentes UPs. Além do mais, esta taxa possivelmente cresceria, se a quantidade de dados em cada pacote fosse aumentada, reduzindo o *overhead* de processamento.

Para o objetivo do trabalho, este resultado é considerado satisfatório, permitindo a transmissão, em casos ideais, de até 3950 pacotes por segundo (ou um pacote a cada 250  $\mu s$ ). Isso permitiria, em um cenário de melhor caso, sem colisões e perfeita sincronia entre os sistemas, a operação 100 carros, em um raio de 100m, enviando seus pacotes, periodicamente, a cada 100ms, consumindo menos de 30% da taxa disponível.

#### 4.2.3 Tempo de Comunicação

O Tempo de Comunicação foi medido em um ambiente cujo Alcance Estático foi medido em 300m. Seguem relacionados abaixo, para as diferentes velocidades em rumos opostos e para rumos perpendiculares:

Velocidade (Km/h)	Tempo Medido (s)
50	21
80	14

Tabela 4.1: Velocidade *versus* Tempo de Comunicação em Rumos Opostos

Velocidade (Km/h)	Tempo Medido (s)
30	8

Tabela 4.2: Velocidade *versus* Tempo de Comunicação em Rumos Perpendiculares

Para o caso de rumos opostos, o Tempo de Comunicação mostrou-se adequado mesmo para o pior caso (ex. 80Km/h), apresentando comportamento semelhante ao equaciona-



mento proposto na Seção 3.1.2. No pior caso, ou o caso de maior velocidade - e, portanto, de menor tempo -, os veículos ainda dispõem de 7s para trocar informações, antes do cruzamento. Este tempo permite, para uma Taxa de Transmissão igual à metade da taxa máxima medida, a transmissão de 1.3MB de dados, ou, ainda, 70 pacotes considerando um intervalo de 100ms entre cada pacote.

Para rumos perpendiculares, foi utilizado um local com muitas casas e obstáculos, com o Alcance Estático reduzido. O valor medido também mostrou-se semelhante ao equacionamento proposto anteriormente. Neste caso, os carros poderiam trocar 40 pacotes antes do cruzamento, ou 742KB, considerando a taxa de transmissão e tempo entre os pacotes iguais aos do parágrafo anterior.

#### **4.2.4 Sistema**

O objetivo principal do trabalho, de propor e descrever, em detalhes, um sistema que realize a transmissão e recepção descentralizada de posicionamento GPS, foi atingido. O seu desempenho foi considerado satisfatório para a aplicação a qual foi proposto, levando em consideração o que foi discutido neste capítulo.

## 5 CONCLUSÃO

A navegação e a mobilidade nas cidades trazem consigo inúmeros problemas que afetam a vida das pessoas diariamente. Desenvolver sistemas que minimizem estes problemas já é o objetivo de muitos grupos de pesquisas e outras entidades. Neste trabalho foi possível conhecer e discutir as tendências mundiais na área de *ITS*, que, apesar das tentativas de diversos órgãos, não dispõem um padrão definitivo, sendo forte tema de pesquisa atualmente. As VANETs podem ser vistas como uma forma de proporcionar a comunicação eficiente entre os veículos, servindo de base para aplicações que garantam mais conforto e segurança ao usuário, podendo reduzir os problemas relacionados à mobilidade, discutidos no texto.

As tendências mundiais na área de *ITS* já influenciam o desenvolvimento de tecnologias para a melhoria da qualidade dos transportes no Brasil. Os padrões desenvolvidos, as decisões políticas tomadas e as experiências realizadas por outros grupos de pesquisa, em diversas entidades internacionais, podem, e deveriam, servir como molde para o desenvolvimento de projetos na área, quando busca-se uma rápida integração com estes novos padrões.

O sistema proposto atingiu o objetivo de ser simples e de fácil reprodução, sendo medidos o Alcance Estático, Tempo de Comunicação e Taxa de dados, que apresentaram valores adequados aos métodos desenvolvidos e dispositivos utilizados.

Este trabalho pode ser visto, no Brasil, como mais um passo para incentivar a concepção de aplicações *ITS*, tendo, seu desenvolvimento, sido feito totalmente em código aberto e dispositivos comerciais facilmente encontrados.

As principais contribuições do presente trabalho são: levantar a importância deste assunto e dos benefícios que o domínio destas tecnologias poderia trazer para a população em geral, e, além disso, propor um sistema que pode ser usado como ponto de partida para o desenvolvimento de diversas aplicações, nesta área.

O autor sente-se honrado em ter a oportunidade de abordar este assunto, tão em voga, e com incontáveis aplicações potencialmente benéficas.

### 5.1 Trabalhos Futuros

Para outros trabalhos, há ainda muito a melhorar, principalmente com relação a adequar a frequência de operação à faixa de 5.9 GHz, utilizando uma URF adequada. Além disso, poderia-se utilizar de protocolos melhor definidos e padronizados, para facilitar uma futura integração com outros sistemas.

São propostos, ainda, para ocasiões futuras, os seguintes testes, para aumentar a quantidade de informação a respeito do sistema:

### **5.1.1 Efeitos de Sombra**

Efeitos de sombra ocorrem quando um nó da rede fica parcialmente ou totalmente escondido atrás de um obstáculo, produzindo efeitos que variam desde altas taxas de erros, até uma falha completa de comunicação entre este e o restante da rede. Portanto, se faz necessário testar a sensibilidade do sistema à influência da sombra, pois, para um sistema muito sensível, soluções, como as citadas em (1.3.3.1), não poderiam ser implementadas.

### **5.1.2 Perdas / Taxa de Erros**

Esta teste procura verificar como parâmetros livres (velocidade, taxa de transmissão, distância, ...) influenciam na taxa de erros. A importância deste teste é poder achar valores ideais para os parâmetros livres em determinadas situações.

A literatura demonstra, através de testes, que a Taxa de Erros aumenta com a distância, mas não sofre influência da velocidade (JAFARI, 2012).

### **5.1.3 Influência do Ambiente**

Todos os testes anteriores são pensados para terem a sua realização em ambientes com condições meteorológicas e visibilidade ideais. Porém, é importante também, realizar os mesmos testes em diferentes condições ambientais, para capturar a influência de chuva, granizo, neblina e outros aspectos, no desempenho do sistema.

### **5.1.4 Congestionamento**

Este teste serviria para detectar a influência de uma elevada densidade de nodos nas outras métricas. A princípio, o ideal seria dispor de diversos sistemas idênticos operando todos ao mesmo tempo, com alta taxa de transmissão e fisicamente perto um do outro, de modo a forçar colisões e forçar uma taxa elevada de erros.

## REFERÊNCIAS

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, **IEEE Std 802.11p-2010** (Amendment to IEEE Std 802.11-2007), 2010.

JAFARI, A.; AL-KHAYATT; DOGMAN, A. **Performance Evaluation of IEEE 802.11p for Vehicular Communication Networks**, Faculty of Art, Computing, Engineering and Sciences, Sheffield Hallam University, Sheffield, UK, 2012.

JIANG, D.; DELGROSSI, L. **IEEE 802.11p: Towards an International Standard for Wireless Access in Vehicular Environments**, Mercedes-Benz Research & Development North America, Inc., USA, 2008.

PAIER, A.; KAREDAL, J.; CZINK, N.; HOFSTETTER, H.; DUMARD, C.; ZEMEN, T.; TUFVESSON F.; MOLISCH A.; MECKELENBRAUKER, C. **Car-to-Car Radio Channel Measurements at 5 GHz: Pathloss, Power-Delay Profile and Delay-Doppler Spectrum**, Mitsubishi Electric Research Laboratories, Cambridge, USA, 2008.

LIN, W.; LI, M.; LAN, K.; HSU, C. **A comparison of 802.11a and 802.11p for V-to-I communication: a measurement study**, Computer Science and Information Engineering, Taiwan, 2011.

MOHAMMAD, S. A.; RASHEED, A.; QAYYUM A.; **VANET Architectures and Protocol Stacks: A Survey**, Center of Research in Networks and Telecom, Mohammad Ali Jinnah University, Pakistan, 2011.

ACATUASSU, D.; COUTO I.; DIAS P. **Performance Evaluation of Inter-Vehicle Communications Based on the Proposed IEEE 802.11p Physical and MAC Layers Specifications**, Signal Processing Laboratory, Federal University of Pará and Center of Informatics, Federal University of Pernambuco, Brasil, 2011

GABARRON, J. B. T.; LOPEZ, E. E.; HARO, J. G.; HERNANDEZ, R. M.; **Performance evaluation of a CCA application for VANETs using IEEE 802.11p**, Department of Information Technologies and Communications, Technical University of Cartagena, Cartagena, Spain, 2010

MARTELLI, F.; RENDA, E.; SANTI, P.; VOLPETTI, M. **Measuring VoIP Performance in IEEE 802.11p Vehicular Networks**, Dipartamenti di Informatica, Università degli Studi di Pisa, Pisa, Italy, 2012.

ANATEL, **Plano de Atribuição, Destinação e Distribuição de Faixas de Frequências no Brasil**, Brasil, 2012

ANATEL, **Regulamento sobre Equipamentos de Radiocomunicação de Radiação Restrita**, Brasil, 2004.

MIGUENS, A., P. **Navegação: a Ciência e a Arte**, Volume III, Navegação Eletrônica e em Condições Especiais, Marinha do Brasil, 2000

MIGUENS, A., P. **Navegação: a Ciência e a Arte**, Volume II, Navegação Astronômica e Derrotas, Marinha do Brasil, 1999

CHEN, J., C.; GILBERT, J., M. **Measured Performance of 5-GHz 802.11a Wireless LAN Systems**, Atheros Communications, Inc., Sunnyvale, CA 94085, USA

## **APÊNDICE A TRABALHO DE GRADUAÇÃO I**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE INFORMÁTICA  
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO**

FELIPE ILHA

**Redes Ad-hoc para Comunicação entre Dispositivos GPS**

Trabalho de Graduação I

Prof. Dr. Sérgio Luis Cechin  
Orientador

Porto Alegre, junho de 2012.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....</b>	<b>4</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>6</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>7</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>8</b>
1.1 Navegação.....	8
1.2 GPS.....	8
1.3 Trânsito.....	9
1.4 VANET / WAVE.....	9
1.5 Objetivo .....	9
1.6 Organização do Trabalho.....	9
<b>2 NAVEGAÇÃO .....</b>	<b>10</b>
2.1 Definição .....	10
2.2 Navegação nas Cidades.....	10
2.3 Dispositivos .....	10
<b>3 GPS.....</b>	<b>11</b>
3.1 Breve História .....	11
3.2 Tecnologia.....	11
3.3 Dispositivos e Funções .....	12
<b>4 TRÂNSITO.....</b>	<b>13</b>
4.1 A Problemática do Trânsito.....	13



<b>5</b>	<b>VANET .....</b>	<b>14</b>
5.1	Conceito .....	14
5.2	Prototipação .....	14
5.3	WAVE.....	15
5.3.1	IEEE 802.11p.....	15
5.3.2	IEEE 1609.....	16
5.4	Implementação.....	17
<b>6</b>	<b>PROPOSTA DE TRABALHO .....</b>	<b>18</b>
6.1	Objetivo principal.....	18
6.2	Hardware.....	18
6.3	Software.....	18
6.4	Cronograma .....	18
6.5	Documento Final.....	18
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>19</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>20</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

VANET	Veicular Ad hoc Network
GPS	Global Positioning System
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
EUA	Estados Unidos da América
GCDC	Grand Cooperative Driving Challenge
WAVE	Wireless Access for Vehicular Environment
LORAN	Long Range Navigation
PDA	Personal Digital Assistant
V2V	Vehicle to Vehicle
V2I	Vehicle to Infrastructure
PC	Personal Computer
EDCA	Enhanced Distributed Channel Access
UDP	User Datagram Protocol
OSI	Open Systems Interconnection
IP	Internet Protocol
UDP	User Datagram Protocol
QoS	Quality of Service
MAC	Media Access Control
RSSI	Received Signal Strength Indication
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
IPv6	Internet Protocol version 6
RDS	Radio Data System



## RESUMO

Os dispositivos GPS são, para muitos, um guia indispensável para a localização nas grandes metrópoles. Muito já foi feito para estender o poder de processamento de dados destes dispositivos, mas a maioria ainda trabalha de forma isolada, não aproveitando a imensa malha de aparelhos rodando e a informação que pode ser retirada do sistema. A ideia principal do trabalho é pesquisar a viabilidade da implementação de um mecanismo de comunicação não centralizada entre dispositivos GPS, sejam eles dispositivos dedicados ou aplicativos para celulares, para que possam trocar informações a respeito de posição, velocidade, tráfego, entre outros.

Valer-se-á de tendências comerciais e tecnológicas atuais para minimizar o impacto de implementação, tendo o estudo e compreensão da viabilidade do sistema como objetivo principal da primeira etapa do trabalho.

## **Ad-hoc networks to GPS device intercommunication**

### **ABSTRACT**

GPS devices are, for many people, an indispensable localization guide on big cities. Much has been done to extend the data processing capabilities of these devices, however the majority still works as an isolated node, not making use of the huge network that is available on the streets and of the information that could be taken from the system. The main idea of this work is to study the viability of the implementation of a mechanism of non-centralized communication between GPS devices, this includes non-dedicated apparatus, such as cell-phones, tablets, among others, so they could exchange any kind of information, as position, velocity, traffic, etc.

This study shall use commercial and technological tendencies to minimize the implementation impact, using the study and the comprehension of the viability of the system as the main objective of this first part of the work.

**Keywords:** VANET, GPS, IEEE 802.11p, WAVE, IEEE 1609

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Navegação

A localização em tempo real já foi um grande desafio tecnológico. Saber onde se está em um dado momento é requisito para uma navegação segura e eficiente. Os antigos navegadores, por exemplo, utilizavam os astros para determinar a posição geográfica, mas, ainda sim, o processo era lento, envolvia muitos cálculos e aproximações, muitos deles feitos de forma manual e imprecisa. Estes limites tornam inviável o uso destas técnicas para a navegação em distâncias relativamente pequenas e velocidades relativamente grandes, que é o caso de um trajeto dentro de uma cidade. Um erro de uma milha em alto-mar pode não significar muito quando se está a duzentas milhas da costa, contudo, em uma cidade, um erro como este colocaria o viajante em locais incoerentes, situações perigosas e induzir decisões erradas. [1].

## 1.2 GPS

O GPS – Global Positioning System – nasceu na década de 70, no auge da Guerra Fria, com o intuito de auxiliar os militares americanos e seus aliados a determinar a posição de seus veículos em qualquer meio – água, terra e ar, a qualquer momento, com precisão. Um dispositivo GPS utiliza o sinal de quatro satélites para determinar a sua posição geográfica – latitude, longitude, hora e altitude. O sistema mostrou-se altamente escalável e disponível, visto que cada receptor é responsável pelos cálculos de sua posição a partir de sinais *broadcast* enviados pelos satélites. Além disso, as suas órbitas estão dispostas de maneira que existe 95% de probabilidade de existir pelo menos quatro satélites sob o céu visível a qualquer momento, em qualquer lugar do planeta. [2]

Um receptor GPS pode ser adquirido facilmente. Alguns contêm funções extremamente específicas para a aplicação em questão, dispondo de ferramentas que auxiliam nas mais diversas tarefas – existem dispositivos voltados ao meio náutico, ao meio automotivo, aéreo, entre outros. As funções mais comuns são: tempo estimado de chegada, velocidade, rotas, mapas, comandos de voz, localização de pontos de interesse e etc [3]. O acesso ao sistema está disponível também em aplicativos para aparelhos portáteis, como celulares, *tablets* ou computadores pessoais - desde que disponham de um receptor, e muitos de fato o possuem. Complementarmente, existem modelos que utilizam outras tecnologias para aumentar a performance, confiabilidade e disponibilidade do sistema – ex. a triangulação das distâncias das torres de transmissão, no caso de um celular.

Muitos dos automóveis que circulam nas cidades são guiados por GPS. O serviço de táxi utiliza amplamente o serviço em suas rotas. Para o cidadão comum, em seu dia a dia, é vantajoso dispor de um mapa completo das ruas e avenidas cruzado com os dados do receptor GPS, dispondo, ainda, da localização de estabelecimentos comerciais e outros pontos, oferecendo mais segurança e conforto na hora de navegar nos complexos caminhos das metrópoles.

### 1.3 Trânsito

Ao mesmo tempo em que as commodities tecnológicas e a infraestrutura de comunicação estão em constante evolução, o número de veículos em trânsito aumenta. Em muitos casos, não basta apenas saber-se a rota mais curta e/ou a mais rápida levando em conta apenas aspectos estáticos da cidade como as ruas, seus sentidos e limites de velocidade; os congestionamentos são problemas frequentes, dinâmicos, causados por vários fatores, muitos deles aleatórios do ponto de vista do usuário comum.

A integração nos sistemas computacionais em geral tornou fácil a obtenção e processamento de informações dos mais diversos meios. Um receptor GPS poderia utilizar dados de outras fontes para o cálculo de rotas - poderia evitar um congestionamento causado por um motociclista acidentado, se “soubesse disso” na hora do cálculo da rota. Mais ainda, poderia usar os dados de outros dispositivos GPS para seus cálculos. Visivelmente, disponibilizar informação a respeito do fluxo dos veículos, suas posições, velocidades, etc, poderia auxiliar o usuário a tomar decisões melhores e navegar com mais segurança.

### 1.4 VANET / WAVE

Para ocorrer troca de informação, se faz necessário que os dispositivos se conectem de alguma forma. Um dos requisitos para esta comunicação é usar tecnologia sem fio, para preservar a mobilidade dos nodos. Outro requisito é não aumentar a complexidade já existente na navegação para o usuário: a rede de dispositivos não deve necessitar de configuração manual constante e deve aceitar mudanças topológicas a todo o momento, configurando-se automaticamente. Além disso, os dispositivos dispõem de pouco tempo de comunicação, pois podem estar movendo-se em alta velocidade - como no caso de uma autoestrada -, então ela deve ser rápida e objetiva. Estes tipos de requisitos definem uma VANET (do inglês *Vehicular Adhoc Networks*) [5].

Pensando nisso, em 2004, a IEEE começou a desenvolver o padrão IEEE 802.11p, que define a camada física e enlace da comunicação sem fio entre veículos para a construção de VANETs. O padrão, publicado em 2010, foi concebido pensando resolver os desafios que a comunicação entre veículos trouxe [5]. Em 2003, o governo dos EUA, através de um órgão regulador, alocou a faixa de frequência de 5.9GHz para este padrão [4]. Houve ainda, de 2008 até 2010, a GCDC, que trouxe, como resultados principais, a pilha de comunicação implementada em código C aberto para Linux, sendo acessível para uso acadêmico [6]. A união da IEEE 802.11p com a IEEE 1609, que define as camadas superiores, é chamada de WAVE (*Wireless Access for Vehicular Environment*) [5].

### 1.5 Objetivo

O objetivo deste trabalho é estudar o sistema GPS, os sistemas de comunicação sem fio, sobretudo o padrão WAVE (IEEE 802.11p + IEEE 1609), e propor uma forma de comunicação no nível de aplicação entre dispositivos dispondo de receptores de GPS para que o fluxo de informação entre eles traga vantagens para o usuário, tal como evitar congestionamentos e colisões, especialmente no meio terrestre, nas cidades.

### 1.6 Organização do Trabalho

O presente trabalho está organizado da seguinte forma: primeiramente, serão discutidos os princípios da navegação, o sistema GPS e o seu uso nas cidades. Após, será revisada a problemática do trânsito. Serão estudados, também, os protocolos de comunicação que poderiam ser adotados, com enfoque ao WAVE. Finalmente, será proposta uma forma de realizar este fluxo de dados, tendo como base os aspectos discutidos anteriormente.

## **2 NAVEGAÇÃO**

### **2.1 Definição**

Navegação é o processo de deslocar-se de um ponto ao outro no espaço, usando a informação a respeito da posição e do tempo para alimentar o cálculo dos parâmetros físicos – velocidade, direção, sentido, aceleração... - que definem o melhor caminho até o destino. A última nem sempre é a mais rápida, mas a que oferece o melhor custo-benefício levando-se em conta os riscos aceitos e o tempo desejado [1].

### **2.2 Navegação nas Cidades**

A navegação dentro de cidades possui características muito diferentes da navegação usada no meio marítimo ou aéreo, onde se pode eventualmente trabalhar com grandes erros absolutos, chegando à casa de dezenas de milhas. Nas cidades, por outro lado, trabalha-se com curtas distâncias, como algumas dezenas de quilômetros, tempos curtos e caminhos muito complexos; dificilmente um caminho de um ponto ao outro é apenas uma linha reta. Portanto, o mesmo erro absoluto cometido no oceano levaria a consequências de magnitude maior na cidade. O trajeto, além do mais, é constantemente interrompido, a velocidade varia a todo o momento e o caminho pode ter de ser recalculado a qualquer instante - basta que o usuário entre em uma rua inesperada, a seu bel prazer.

Navegar em regiões urbanas exige cuidado. A atualização constante e precisa da posição e velocidade são imprescindíveis. Diferentes parâmetros para cálculo de rotas, além da tradicional distância, podem e devem ser utilizados. Como exemplo, cita-se a velocidade média e sentido das vias, bloqueios, horários de pico, locais de congestionamento, rotas preferenciais, e toda informação em tempo real a respeito do trânsito possível. Esta última, se usada, implica em ter o cálculo constantemente refeito, visto que muitos parâmetros variam com o tempo.

### **2.3 Dispositivos**

A navegação já é feita naturalmente por qualquer um que transita em uma via. Todavia, ela é naturalmente feita por posicionamento relativo. Este é pouco preciso e dependente de conhecimento prévio do ambiente, que, na maioria das vezes, é suficiente para a maioria das aplicações. Ex. Ir até um ponto comercial conhecido a poucos metros da origem.

Quando se está em um ambiente desconhecido e complexo, entretanto, a navegação natural torna-se pouco eficiente e se faz necessário o auxílio de algum dispositivo, aparato ou tecnologia, como mapas, cartas, placas, descrições, receptores GPS, receptores LORAN, bússolas, radares, sextantes, enfim, qualquer coisa que, desde que usada adequadamente, disponibilize alguma informação a respeito do caminho da origem até o destino e/ou da posição atual.



## 3 GPS

### 3.1 Breve História

No início dos anos 70, no contexto da Guerra Fria, tornou-se uma das prioridades das forças armadas dos EUA um sistema de posição preciso com cobertura mundial. A primeira aproximação deste ideal foi o sistema TRANSIT, todavia este usava uma constelação de satélites pouco numerosa e era baseado em efeito *doppler* de frequências relativamente baixas, como explica [2].

O sistema GPS, *Global Positioning System*, iniciou seu desenvolvimento em 1973 pelo Departamento de Defesa dos EUA, que foi gradativamente pondo em órbita os satélites, que não eram exclusivamente para este fim, mas sim estações multi-propósito.

### 3.2 Tecnologia

O serviço é composto de três componentes: o espacial – os satélites, o terrestre – as estações de monitoramento, e o de usuário.

O segmento espacial é composto por 24 satélites (três dos quais são reservas) igualmente distribuídos em seis planos orbitais a uma distância de aproximadamente 20000Km da Terra. Todos os satélites transmitem nas mesmas frequências L1 e L2 (1575,42MHz e 1227,6MHz), mas com modulações diferentes, o que permite a correta identificação por parte do receptor.

Cabe ao receptor medir a distância que se encontra de diversos satélites, através do intervalo de tempo do sinal ser gerado no espaço e ser recebido no receptor levando em conta posição do satélite naquele instante, enviada na mensagem. Para isso, é preciso que os satélites estejam sempre sincronizados com os receptores: esta é a função do segmento terrestre, enviar periodicamente mensagens de configuração aos satélites GPS e manter uma base com a sua posição atualizada.

GPS hoje em dia é sinônimo de um sistema confiável e disponível, ótimo para a maioria das aplicações. Oferece a solução ideal para navegação com precisão de metros, ideal para, por exemplo, cidades.

Existem também, extensões para a tecnologia, que fazem uso de outras técnicas para obter ou repassar informações. Pode-se citar o AGPS, que utiliza 3G em aparelhos móveis para comunicar-se com uma central e obter outras informações relativas ao posicionamento. Outros dispositivos recebem mensagens de centrais por RDS, podendo usar estas informações no cálculo de rotas.

Outros exemplos poderiam ser citados, estes e os acima citados, todavia, usam a arquitetura cliente-servidor, não escalando em termos de número de clientes e mobilidade, pois a infraestrutura é limitada e os servidores dependem de torres de transmissão, que são fixas.

### **3.3 Dispositivos e Funções**

Existem diversos tipos receptores GPS. O mercado está normalmente dividido da seguinte forma, em termos de dispositivos: náuticos, aéreos, terrestres, multi uso e portáteis. Apesar dos diversos formatos e funcionalidades, todos possuem as funções básicas de navegação: posição, velocidade, altura, mapas, rotas, tempo de saída, tempo estimado de chegada e pontos de interesse. Estes aspectos se mostram muito eficientes para a navegação em cidades, quando o trânsito não é problema.

O trânsito é um problema em termos de cálculo de rotas, pois seu comportamento depende de fatores que passam muito longe do que qualquer receptor GPS possa calcular. É preciso injetar informações do ambiente para que um dispositivo tenha o desempenho perto do desejado.

## 4 TRÂNSITO

### 4.1 A Problemática do Trânsito

A vida dinâmica nas cidades exige a locomoção rápida e eficiente dos cidadãos. À medida que uma cidade, sua população e o número de carros cresce, a locomoção pode tornar-se um problema, pois a infraestrutura das vias pode não evoluir na mesma taxa. Por isso, investimentos e novas tecnologias se fazem necessários para contornar os problemas que o trânsito pode trazer.

Um grande problema do trânsito é a falta de espaço físico para todos os que quiserem utilizar a via. Como consequência, irão concorrer pelo espaço, às vezes dividindo-o, como em uma sinaleira, e às vezes competindo por ele, como em uma convergência de duas faixas. Se deixado à própria sorte, como em muitas cidades, o sistema de trânsito pode tornar-se caótico, com longos trechos de congestionamento e acidentes constantes.

Para proteger os usuários e tornar o sistema mais eficiente – e possivelmente mais barato, sistemas de tráfego inteligente são o foco de muita pesquisa atualmente. Um exemplo é o ITS – *Intelligent Transportation Systems* –, programa do governo americano que visa incentivar, financiar e coordenar a pesquisa na área.

Uma das abordagens de pesquisa em sistemas de trânsito inteligentes é utilizar, disseminando e cruzando, a informação disponível nos veículos para trazer algum benefício conjunto – ex. VANETs, detalhada no capítulo 5.

A problemática do trânsito é a motivação principal usada no presente trabalho.

## 5 VANET

### 5.1 Conceito

VANET, *Vehicular Ad hoc Network* é uma rede Ad hoc aberta formada pela comunicação de veículos com outros veículos (V2V) e veículos com alguma infraestrutura fixa (V2I). Os veículos assumem o papel de nodos móveis e a infraestrutura são pontos de acesso fixos, formando uma estrutura auto-organizada e escalável. O principal objetivo de uma VANET é disponibilizar serviços de segurança e conforto para os usuários (sejam eles passageiros, motoristas ou pedestres) com o tráfego de mensagens de alerta, previsão de colisão, troca de informações de navegação, acesso à internet, ou, até mesmo, *streaming* de vídeo, por exemplo.

Além disso, há o requisito da passagem de mensagens críticas de caráter de segurança aos usuários, como mensagens sinalizando acidentes e/ou colisões, de forma rápida e eficiente, podendo inclusive ativar mecanismos e serviços do próprio veículo, como a redução de velocidade ao se detectar chance de colisão. [8]

Um exemplo clássico é um usuário que recebe uma notificação de acidente na rota em que está se dirigindo, evitando entrar em um congestionamento. Outro exemplo, menos crítico, todavia, é de um turista que recebe a oferta de serviço de GPS grátis com a programação turística da semana ao chegar de carro em uma cidade nova.

Para alcançar tais objetivos, cada nó deve possuir um transmissor/receptor de rádio especial para se comunicar com os outros nós, sejam eles móveis, sejam eles fixos, enviando e recebendo mensagens através da rede. Estes dispositivos podem ser de qualquer natureza, desde que tenham a capacidade de transmitir e receber dados nas frequências certas e sejam capazes de interpretar e criar as mensagens – isso inclui não somente dispositivos embarcados em veículos, mas também PDAs, *tablets*, celulares, entre outros [4] [5] [7].

### 5.2 Prototipação

Uma VANET pode ser rapidamente prototipada com tecnologias já existentes e bem difundidas. Como descrito em [7], pode-se usar dispositivos computacionais comuns, como um PC e dois PDAs, representando a infraestrutura fixa e dois nodos móveis, respectivamente, que possuam um transmissor/receptor RF com suporte a IEEE 802.11b em modo Ad hoc. Desta forma, é fácil criar uma abstração para o desenvolvimento de aplicativos que usem o conceito de VANET.

Todavia, esta implementação necessita de configuração manual de endereço de IP e as mensagens são passadas através de *broadcast* UDP, o que rapidamente consome a banda disponível [7].

Portanto, a tecnologia provinda dos padrões, existentes e conhecidos, do IEEE 802.11b não são suficientes para garantir um serviço de qualidade quando se pensa em VANET.

## 5.3 WAVE

O WAVE, *Wireless Access for Vehicular Environment*, é o resultado de anos de pesquisa na área das VANETs. Nesta abordagem, as entidades da rede são classificadas em duas categorias, as OBUs (*On Board Units*, veículos) e as RBUs (*Roadside Board Units*, infraestrutura fixa). As entidades podem existir sozinhas ou formar pequenas WBSS (*WAVE Basic Service Set*), que consistem em pequenas redes onde os nodos trocam informações, mensagens e dados de aplicativos.

O padrão é composto por cinco documentos, divididos em dois grupos, o primeiro descreve a camada física e enlace, e o segundo especifica o restante das camadas OSI:

- IEEE 802.11p
- IEEE 1609 (IEEE 1609.1, 2, 3 e 4).

### 5.3.1 IEEE 802.11p

O padrão IEEE 802.11p foi publicado em 2010, fruto de um longo período de planejamento iniciado em 1991, através do programa americano *Intelligent Vehicle Highway Systems* criado no *Intermodal Surface Transportation Efficiency Act* decretado pelo congresso dos EUA. A ideia do projeto é criar tecnologias para aumentar a segurança, diminuir o congestionamento, a poluição e o consumo de combustíveis fósseis dos automóveis.

Para este projeto, o padrão escolhido para a comunicação sem fio entre os veículos foi o IEEE 802.11, por já estar largamente difundido na indústria, facilitando a padronização. Contudo, o suporte a redes ad hoc já existente na época não fora suficiente para garantir o desempenho desejado. Com isso, o anexo *p* do padrão foi planejado para atingir as características a seguir, entre outras não citadas:

- Longo alcance (1000m);
- Alta velocidade dos veículos;
- Múltiplas redes ad hoc sobrepostas;
- Alto QoS;
- Mobilidade extrema dos nós.

O objetivo era melhorar o suporte na camada física e de enlace do padrão IEEE 802.11, especialmente para as VANETs. Desta forma, segue algumas peculiaridades deste padrão, segundo [8]:

- Canais de 10MHz;
- Metade da taxa de dados do 802.11;
- Um canal de controle e seis de serviços;
- Modo ad hoc único;
- Endereço MAC aleatório;
- Alta acurácia no RSSI;
- 16 QAM;
- Controle de prioridade;
- Controle de energia...

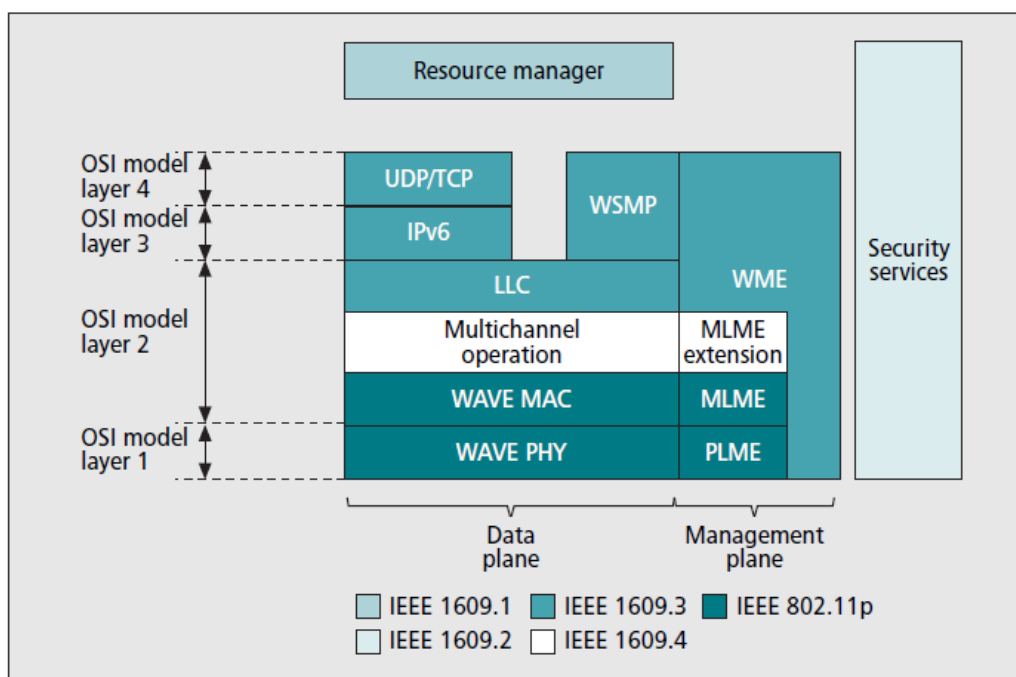
Um dos pontos importantes é o esquema de prioridades e uso de QoS na camada de enlace, similarmente ao EDCA implementado pelo IEEE 802.11e [5][8].

### 5.3.2 IEEE 1609

O padrão IEEE 1609 é composto de quatro documentos publicados entre 2006 e 2007. Descreve as camadas superiores a serem usadas pelas VANETs, estruturado como segue:

- **IEEE 1609.1 -2006** - “[...] especifica os serviços e interfaces do Controlador de Recursos [*Resource Manager*]. Descreve os serviços de dados e controle oferecidos na arquitetura WAVE. Define formatos das mensagens de comando e as respostas apropriadas [...]”;
- **IEEE 1609.2 -2006**- “[...] define serviços de segurança para a aplicação [*Security Services*] [...]”;
- **IEEE 1609.3 -2007** - “[...] define as camadas de rede e transporte, incluindo endereçamento e roteamento [*WME – Wave Management Entity; WSMP – Wave Short Message Protocol*][...]”;
- **IEEE 1609.4 -2006**- “[...] provê melhoramentos ao IEEE 802.11 MAC para suportar as operações do WAVE.”.

As entidades podem ser relacionadas com as camadas do modelo OSI, como mostra a figura abaixo, extraída de [8]:



**Figura 1: Relação de cada entidade com a camada do modelo OSI**

O padrão opera em múltiplos canais, um canal de controle – CCH - e seis de serviços - os SCH. Para suportar tal operação, MLME foi estendido, principalmente para dar ao WSMP acesso direto e mais prioritário ao meio, já que contém tipicamente mensagens críticas. Além disso, esse tipo de mensagem possui sua própria pilha L3 e L4, separando-as dos dados de aplicativos, menos prioritários, que usam UDP e TCP sobre IPv6.

Para que um aplicativo use as funcionalidades de rede oferecidas pelo padrão WAVE, deve registrar-se junto ao WME usando seu PSID (*provider service identifier*). O WME mantém três tabelas:

- `ProviderServiceInfo` (informação dos aplicativos que mantém algum serviço)
- `UserServiceInfo` (informação a respeito dos serviços que interessam às aplicações que estão na entidade local)
- `ApplicationStatus` (IP/Porta dos serviços remotos)

O *Resource Manager* provê um mecanismo para que aplicativos remotos possam fazer uso dos dispositivos e recursos embarcados no OBU, isso faz com que se reduza a complexidade dos OBUs retirando a necessidade de executar aplicativos dentro do veículo, diminuindo o custo de fabricação e aumentando a interoperabilidade entre sistemas de diferentes fabricantes.

Os serviços de segurança provêm mecanismos de criptografia e autenticação para os aplicativos.

## 5.4 Implementação

O GCDC, de 2009 a 2011, promoveu uma grande competição em que o grande objetivo era alavancar o desenvolvimento de sistemas de segurança para automóveis. A competição aconteceu na Holanda, envolvendo diversos *workshops* e desafios, sendo seu principal fruto uma implementação em código aberto C para Linux da pilha WAVE, baseada em trabalhos de Eric Koenders, o CALM FAST Router, melhor explicada em [6].

O código encontra-se disponível para *download* gratuito na página oficial do GCDC [www.gcdc.net](http://www.gcdc.net), sendo livre para usar sem nenhuma garantia, inclusive contendo os *patches* de modificação para os aplicativos de configuração tradicionais do Linux, como o *iwconfig*.

## 6 PROPOSTA DE TRABALHO

### 6.1 Objetivo principal

A ideia principal do trabalho é desenvolver um aplicativo que, utilizando a pilha WAVE disponibilizada pela GCDC, troque dados de GPS com outro dispositivo similar, rodando o mesmo aplicativo, recebendo ou simulando e enviando dados GPS, caso não se disponha de receptor GPS para todos os nós.

### 6.2 Hardware

Como primeira abordagem, representando um RBU, será utilizado um PC com processador AMD Turion 64 para validar a solução.

Para representar um OBU, será utilizado um *tablet* ASUS TF101, com processador Tegra da NVIDIA, transmissor/receptor WI-FI e receptor GPS.

### 6.3 Software

Como sistema operacional, será mandatório o uso de Linux 2.6.32, visto que a pilha WAVE encontra-se implementada neste kernel. A aplicação será escrita em C/C++ ou Java.

### 6.4 Cronograma

Meses relativos ao ano de 2012:

**Jan/Jun:** Pesquisa bibliográfica e elaboração do presente trabalho

**Jul/Ago:** Compilação / Depuração da pilha WAVE para PC

**Ago:** Formação de uma rede TESTE\_1 de PCs

**Ago/Set:** Compilação / Depuração da pilha WAVE para *tablet*

**Set:** Formação da rede TESTE\_2 de PCs e *tablets*

**Out/Nov:** Concepção e codificação de aplicativo em C ou Java para a troca de dados relativos às posições dos nodos.

**Nov:** Testes e conclusões

### 6.5 Documento Final

O trabalho realizado será utilizado como base para a geração do Trabalho de Graduação do curso de Engenharia de Computação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.



## 7 CONCLUSÃO

Nesta etapa do trabalho, foi possível estudar os aspectos das redes veiculares, as VANETs. Verificou-se o intenso interesse da indústria e governos no tema de segurança e comunicação automotiva, que, ao longo dos anos, geraram frutos através de muita pesquisa. Os padrões existentes foram complementados para abraçar os novos desafios que a área trouxe, sempre pensando no impacto de adoção destas tecnologias no setor industrial.

Verificou-se, também, a possibilidade da criação de novos aplicativos para esta nova plataforma de comunicação, que faz uso de características não vistas anteriormente.

O legado da GCDC irá acelerar o processo de desenvolvimento destes novos aplicativos, pois, ao deixar a implementação em código livre, abre as portas para que diversos setores se aventurem na área, como a academia.

Enfim, espera-se concluir o trabalho da forma esperada e deixar também em código aberto mais um pequeno passo realizado em direção da melhoria da qualidade dos transportes.

## REFERÊNCIAS

- 1 - Altineu Pires Miguens - **Navegação a Ciência e a Arte, Volume I, Navegação Costeira, Estimada e em Águas Restritas**, 1996 – Cap 1
- 2 - Altineu Pires Miguens, **Navegação a Ciência e a Arte, Volume III, Navegação Eletrônica e em Condições Especiais**, 2000 – Cap 37
- 3 – Garmin, **nüvi 3400 Series Owner's Manual**, 2012 < Disponível em [http://static.garmincdn.com/pumac/nuvi\\_34xx\\_Series\\_OM\\_EN.pdf](http://static.garmincdn.com/pumac/nuvi_34xx_Series_OM_EN.pdf), p20, acessado em junho de 2012 >
- 4 – CHEN L., TAN W., SHI, L. - **Information Fusion of Vehicular Ad Hoc Networks Based on Bayesian Networks**, IEEE, 2011
- 5 – JAFARI A., AL-KHAYATT S., DOGMAN A. - **Performance Evaluation of IEEE 802.11p for Vehicular Communication Networks**, IEEE
- 6 – JHONG J., **GCDC Communications Stack**, SPITS, 2010
- 7 – HELLBRÜCK H., CAO J., ZUO T. - **Fast Prototyping for VANET Applications with PDAs**, IEEE, 2009
- 8 – UZCÁTEGUI R., ACOSTA-MARUM G. - **WAVE: A tutorial** – IEEE, 2009
- 9 - IEEE 1609 - **Family of Standards for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)** - ITS Standarts Fact Sheet, 2009