



Doctoral Thesis

## Routing in large vehicular ad hoc networks

**Author(s):**

Naumov, Valery

**Publication Date:**

2006

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005406397> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Doctoral Thesis ETH No. 16954

# Routing in Large Vehicular Ad Hoc Networks

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH  
(ETH ZÜRICH)

for the degree of  
Doctor of Technical Sciences

presented by  
Valery Naumov  
MS in Physics/Phys.-Techn. Informatics, NSU  
born March 16, 1976  
citizen of Russian Federation

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. Thomas Gross, examiner  
Prof. Dr. Gustavo Alonso, co-examiner  
Prof. Dr. Kai Nagel, co-examiner

2006

# Abstract

Effective routing schemes that exhibit good scalability and are able to adapt to a high level of host mobility is a high priority in protocol design for large ad hoc inter-vehicle networks. In our work we identify the main problems that existing routing protocols face as the size of networks grows. The dissertation offers an investigation of the main factors that affect protocol scalability and shows how to analyze the reasons that prevent protocols from functioning effectively. We are not only pointing the problems, but also explaining why and how they occur. Based on the results of this analysis, we develop effective and scalable routing scheme, called Connectivity-Aware Routing (CAR), designed specifically for inter-vehicle communication both in the city and on the highway.

While there have been many studies that investigate the performance of different routing protocols for wireless ad hoc networks, the analysis of the factors that influence scalability of routing algorithms often receives little attention. Among a big variety of the proposed ad hoc routing protocols, position-based routing is known to be scalable with respect to the size of the network which makes it a good candidate for inter-vehicle communication. However, many geographic routing protocols are designed assuming random and uniform distribution of nodes that move freely in an area that is larger or much larger than the nodes' average coverage range.

Generic geographic routing protocols try to send data packets gradually closer to the destination when possible and apply different heuristics to route around a void otherwise. Although these algorithms are able to deliver data to destinations in an all-time connected network, for every sent data packet they may require the traversal of almost the whole network graph to find a path. This approach, based on the trial and error method, can be very expensive and inefficient in Vehicular Ad Hoc Networks (VANETs).

Several geographic routing protocols are proposed or adopted specifically for VANETs (e.g., A-STAR, SAR, GSR). However, the vast majority of these protocols use an idealized destination location mechanism when the true position of the destination is known (from the simulator's global knowledge) for every originated data packet. This kind of protocol evaluation may easily hide the effect of inconsistent destination position on protocol performance. The influence of the location service overhead also remains unknown.

Another problem is that, to the best of our knowledge, all of the suggested geographic routing protocols that assume having knowledge about the road layout search only a database of roads to find existing paths, without taking advantage of information about which paths are currently populated. This can result in packets being stranded on small, unused side roads. To avoid that some algorithms suggest to add weights to the roads, in the hope that bigger roads have higher chances to provide sufficient connectivity. Although the probability of such a route to be connected increases, there still can be periods of disconnection. Also, all data flows will be attracted to these main roads, increasing there the congestion and contention level, and

decreasing the throughput. At the same time side-roads, even with currently good connectivity, may be left without attention.

CAR is able to locate destinations without using an idealized location service. Rather than relying solely on knowledge of the road layout, CAR adapts to current conditions to find a route with sufficient connectivity so as to maximize the chance of successful delivery. Found paths are able to auto-adjust on the fly, without the need for a new discovery process: “Guards” help to track down the current position of a destination, even if it traveled a substantial distance from its initially known location. An adaptive algorithm is used to minimize the nodes’ beaconing load, while still providing sufficient information for effective packet forwarding.

The comparative evaluation of CAR with other routing schemes shows that the CAR protocol has a large improvement in the data delivery rate and the average data packet delays, despite an overhead created by the path discovery phase. CAR’s main components, Preferred Group Broadcasting and Advanced Greedy Forwarding, are also evaluated independently, showing that both algorithms meet their goals and can be used with different routing protocols that depend either on flooding or greedy forwarding.

The evaluation is based on realistic vehicular traces obtained from a microscopic vehicle traffic simulation on the real road maps of Switzerland. These traces are documented in this dissertation together with the description of the methodology for obtaining movement and connection patterns for communication network simulator from the vehicular traffic traces.

While CAR is presented here as a unified protocol, it contains a number of independent ideas that could be adapted for use individually in other routing protocols; for example, incorporating CAR’s adaptive beaconing mechanism into GPSR improves GPSR’s performance by up to 30%.

# Zusammenfassung

Ein wesentlicher Faktor im Protokolldesign für grosse Ad-Hoc Netzwerke zwischen Fahrzeugen sind leistungsfähige Routingsysteme, die gute Skalierungseigenschaften besitzen und die sich einem hohen Grad von Mobilität anpassen können.

In dieser Arbeit identifizieren wir die Hauptprobleme, die existierende Routing-Protokolle bei wachsender Grösse des Netzwerkes aufweisen. Die Dissertation untersucht die Hauptfaktoren, welche die Skalierbarkeit der Protokolle beeinflussen und zeigt wie die Ursachen analysiert werden können, welche die Effektivität der Protokolle negativ beeinflussen. Wir zeigen dabei nicht nur die Probleme auf, sondern erklären auch deren Entstehung. Aufbauend auf dieser Analyse entwickeln wir das effektive und skalierbare Routingsystem CAR (Connectivity-Aware Routing). Dieses ist für die Kommunikation zwischen Fahrzeugen ausgelegt und eignet sich sowohl innerhalb von Städten als auch für Fernstrassen.

Trotz vielen Untersuchungen der Leistungsfähigkeit verschiedener Routingprotokolle für drahtlose Ad-Hoc Netzwerke wurde der Analyse der Faktoren, welche die Skalierbarkeit der Routingalgorithmen beeinflussen, bisher meist wenig Beachtung geschenkt. Unter der grossen Zahl an Routingprotokollen weist vor allem positionsbasiertes Routing gute Skalierbarkeit unter wachsender Netzwerkgrösse auf; eine Eigenschaft, die es zu einem guten Kandidaten für die Kommunikation zwischen Fahrzeugen macht. Viele dieser geografischen Routingprotokolle basieren jedoch auf der Annahme einer zufälligen Gleichverteilung der Knoten, die sich frei in einem Bereich bewegen, der grösser oder sogar wesentlich grösser ist als die durchschnittliche Kommunikationsreichweite eines Knotens.

Generische geografische Routingprotokolle versuchen, Datenpakete graduell in Richtung Zielknoten weiter zu senden, und wenden unterschiedliche Heuristiken an, um Gebiete ohne Zwischenknoten zu umgehen. Diese Algorithmen sind zwar im allgemeinen in einem vollständig verbundenen Netzwerk in der Lage, Datenpakete zu den Zielknoten zu liefern. Sie können jedoch für jedes Datenpaket das Durchlaufen des gesamten Netzwerkgraphs erfordern, um einen Pfad zu identifizieren. Dieser Trial-and-Error basierte Ansatz kann in Ad-Hoc Netzwerken für Fahrzeuge (Vehicular Ad Hoc Networks, kurz VANETs) sehr kostspielig und ineffizient sein.

Verschiedene geografische Routingprotokolle wurden speziell für VANETs vorgeschlagen oder angepasst (z.B. A-STAR, SAR, GSR). Die meisten dieser Protokolle basieren jedoch auf einem idealisierten Ortungsmechanismus, in welchem die exakte Position des Zielknotens jedes Datenpakets bekannt ist (aus der globalen Sicht des Netzwerksimulators). Diese Art der Protokollevaluation ignoriert jedoch den Einfluss von inkonsistenten Zielpositionen auf die Leistungsfähigkeit des Protokolls. Der Einfluss des Overheads des Ortungsservice bleibt ebenfalls unbekannt.

Ausserdem nehmen nach unserem besten Wissen die vorgeschlagenen geografischen Rou-

tingprotokolle, welche auf Kenntnissen des Strassenlayouts basieren, keine Rücksicht auf die tatsächliche Belegung dieser Strassen zum Berechnen des Pfades zum Zielknoten. Das kann dazu führen, dass Pakete in unbefahrenen Seitenstrassen stranden. Um dieses Problem zu verhindern schlagen einige Algorithmen vor, die Strassen gemäss ihrer Benutzung zu gewichten, in der Hoffnung, dass grössere Strassen eher genügend Konnektivität bieten. Obwohl die Wahrscheinlichkeit einer durchgehenden Verbindung für eine solche Strasse grösser ist, kann es immer noch Zeiten ohne Verbindung geben. Des weiteren werden alle Datenströme tendenziell in Richtung dieser Hauptstrassen geroutet, was die Netzwerklast erhöht und den Durchsatz verringert. Gleichzeitig werden Seitenstrassen ausser Acht gelassen, sogar wenn diese eine gute Konnektivität bieten würden.

CAR ermöglicht die Ortung von Zielknoten ohne die Verwendung eines idealisierten Ortungsservice. CAR verlässt sich nicht ausschliesslich auf Kenntnisse des Strassenlayouts, sondern passt sich momentanen Bedingungen an, um eine Route mit genügender Konnektivität zu finden und um dadurch die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Paketzustellung zu maximieren. Identifizierte Pfade können sich automatisch und fortlaufend neuen Gegebenheiten anpassen, ohne dass ein erneuter Entdeckungsprozess nötig ist: "Guards" helfen, die Position des Zielknotens zu bestimmen, selbst wenn dieser um eine beträchtliche Strecke vom ursprünglich bekannten Standort entfernt hat. Um die Last von Ortungspaketen auf den Knoten zu minimieren wird ein adaptiver Algorithmus verwendet, welcher jedoch genügend Information zur effektiven Weiterleitung von Paketen bietet.

Die Evaluation und der Vergleich von CAR mit anderen Routingsystemen zeigt, dass CAR trotz des Overheads der Pfadermittlung-Phase eine wesentliche Verbesserung der Daten-Zustellungsrates (data delivery rate) und der durchschnittlichen Paket-Verzögerungszeit bietet. Ausserdem werden die Hauptkomponenten von CAR, Preferred Group Broadcasting und Advanced Greedy Forwarding, unabhängig voneinander untersucht. Dabei zeigt sich, dass beide Komponenten ihre Ziele erreichen und dass sie mit unterschiedlichen Routingprotokollen zusammen verwendet werden können, die entweder auf "Flooding" oder "Greedy Forwarding" aufbauen. Die Evaluation basiert auf realistischen Fahrzeugtraces, welche von einer mikroskopischen Simulation des Schweizerischen Strassennetzwerkes stammen. Diese Traces sind in der Dissertation dokumentiert, wie auch die Methodologie, die angewandt wurde, um Bewegungs- und Verbindungsinformation aus den Fahrzeugtraces zu bestimmen.

Wir stellen CAR als ein Gesamtprotokoll vor. Es baut jedoch auf einer Reihe von Ideen auf, die auch unabhängig voneinander in anderen Routingprotokollen angewandt werden können; ein Beispiel dafür ist die Verwendung des Beaconsing-Mechanismus von CAR in GPSR, was die Leistungsfähigkeit von GPSR um bis zu 30% erhöht.