

FACHHOCHSCHULE WEDEL

Ausarbeitung

des 6. Seminarvortrags
zum Thema Verkehr und Logistik im WS 2009/2010
mit dem Schwerpunkt

Car-2-X Kommunikation



Eingereicht von: Christian Lehmann (WInf8495)

Erarbeitet im: 7. Semester

Abgegeben am: 8. Dezember 2009

Betreuender Dozent: Prof. Dr. Sebastian Iwanowski
Fachhochschule Wedel
Feldstraße 143
22880 Wedel

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----|
| 1. Abbildungsverzeichnis | 3 |
| 2. Abkürzungen..... | 3 |
| 3. Motivation | 4 |
| 4. Begriffsklärung..... | 5 |
| 5. Herausforderungen | 7 |
| 5.1 Technische Herausforderungen | 7 |
| 5.2 Organisatorische Herausforderungen..... | 8 |
| 6. Aktueller Stand | 9 |
| 6.1 Aktueller Stand in den USA | 9 |
| 6.2 Aktueller Stand in Japan..... | 9 |
| 6.3 Aktueller Stand in Europa..... | 10 |
| 6.4 Aktueller Stand der Technik..... | 10 |
| 6.4.1 Mobile Ad-Hoc Netze | 11 |
| 6.4.2 Multi-Hopping..... | 11 |
| 6.4.3 Kommunikationsformen in mobilen Ad-Hoc Netzen | 12 |
| 6.4.4 Positionsbasiertes Routingverfahren | 12 |
| 6.4.4.1 Der Positionsdienst..... | 12 |
| 6.4.4.2 Positionsbasierte Routingwahl | 13 |
| 6.4.5 Datenschutz und IT-Sicherheit in mobilen Ad-Hoc Netzen..... | 16 |
| 7. Zusammenfassung & Ausblick..... | 17 |
| 8. Literaturverzeichnis | 18 |

1. Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Car-2-X Kommunikation in der Übersicht [Quelle: www.volkswagenag.com]..... | 5 |
| Abbildung 2: Erweiterung des Fahrerhorizonts..... | 5 |
| Abbildung 3: Weiterleiten von Nachrichten in bestimmter Richtung..... | 7 |
| Abbildung 4: Kommunikation mit Fahrzeugen ohne Car-2-X..... | 8 |
| Abbildung 5: Multi-Hopping | 10 |
| Abbildung 6: MANET mit Zugang zum Internet..... | 11 |
| Abbildung 7: Strategien für die positionsbasierte Routingwahl | 13 |
| Abbildung 8: Lokales Optimum bei positionsbasierter Routingwahl | 14 |
| Abbildung 9: Beispiel Rechte-Hand-Regel | 15 |

Anmerkung: Alle weiteren Abbildungen entstanden aus eigener Hand.

2. Abkürzungen

| | |
|--------|---|
| C2C CC | CAR 2 CAR Communication Consortium |
| C2C | Car-2-Car |
| C2I | Car-2-Infrastructure |
| C2X | Car-2-X |
| DSRC | Dedicated Short Range Communications |
| GPS | Global Positioning System |
| GSM | Global System for Mobile Communications |
| IEEE | Institute of Electrical and Electronics Engineers |
| MANET | Mobile Ad-Hoc Network |
| UMTS | Universal Mobile Telecommunications System |
| VANET | Vehicular Ad-Hoc Network |
| WAVE | Wireless Access in Vehicular Environment |

3. Motivation

Aufgrund noch immer hoher Unfallzahlen - mit vielen Verletzten und Toten - wird im Fahrzeugsektor nach Lösungen für dieses Problem geforscht.

So wurden für das Jahr 2008 folgende Zahlen festgehalten ^[13]:

- Es gab insgesamt ca. 2,3 Millionen polizeilich erfasste Unfälle,
- mit insgesamt 413.524 verunglückten Personen,
- wovon 4.477 getötet wurden und 70.644 Menschen schwerverletzt wurden.

Der volkswirtschaftliche Schaden aller 2008 ereigneten Unfälle beläuft sich auf ca. 30 Milliarden Euro.

Statistisch gesehen sind die Hauptunfallursachen:

- Fehlverhalten gegenüber Fußgängern
- Alkoholeinfluss beim Fahrer
- Falsche Straßenbenutzung / Überholen
- Missachtung der Vorfahrt
- Überhöhte Geschwindigkeit und
- Zu geringer Abstand.

Gerade bei den letzten vier Punkten kann die Car-2-X Kommunikation helfen, die Verkehrssicherheit zu erhöhen, indem Unfälle vermieden werden, bzw. Unfallfolgen gemindert werden.

Diese Seminararbeit gibt einen breiten Überblick über das Thema Car-2-X Kommunikation. Zudem wird in dieser Arbeit auf die technischen sowie auf die organisatorischen Herausforderungen eingegangen.

Im zweiten Teil der Ausarbeitung wird dargestellt, welchen Fortschritt die einzelnen Länder erzielt haben und welche Technik für die Kommunikation eingesetzt werden soll.

4. Begriffsklärung

Der Begriff *Car-2-X Kommunikation* kann als Sammelbegriff für die *Car-2-Car Kommunikation* bzw. *Car-2-Infrastructure Kommunikation* verstanden werden.

Bei der *Car-2-Car Kommunikation* versteht man die Fähigkeit von Fahrzeugen, sich gegenseitig Informationen und Daten, z.B. über den Zustand der Straße, zuzusenden.

Zusätzlich zu der Vernetzung der Fahrzeuge untereinander wird bei der *Car-2-Infrastructure Kommunikation* zudem davon ausgegangen, dass sich die Fahrzeuge mit der Infrastruktur verständigen können.

Die Infrastruktur kann, wie in *Abbildung 1* zu sehen ist, vielfältiger Art sein. Denkbar sind hier Lösungen zur Kommunikation mit der Verkehrsinfrastruktur (*Car-2-Infrastructure*), mit Tankstellen oder Werkstätten (*Car-2-Enterprise*) sowie der Zugriff auf das Fahrzeug von zu Hause aus (*Car-2-Home*).



Abbildung 1: Car-2-X Kommunikation in der Übersicht

Durch die ständige Kommunikation der Fahrzeuge untereinander können sich die Fahrzeuge vor Ereignissen warnen.

Durch die Kommunikation der Fahrzeuge und das Eintreffen einer Gefahrenwarnung kann die Sichtweite des Fahrers, wie in *Abbildung 2* zu sehen, deutlich erhöht werden.

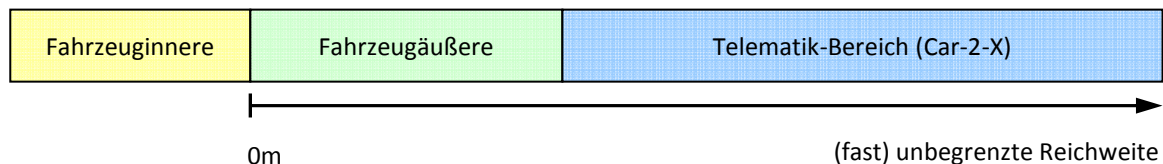


Abbildung 2: Erweiterung des Fahrerhorizonts

Bisher ist die Sichtweite des Fahrers bis auf wenige hunderte Meter vor dem Fahrzeug begrenzt. Entweder kann der Fahrer den Bereich direkt einsehen, oder fahrzeuginterne Sensoren, wie intelligente Abstandsregelautomaten, überwachen diesen.

Der in *Abbildung 2* dargestellte Telematik-Bereich ist aber nicht nur als Erweiterung des Fahrerhorizonts zu sehen, sondern kann auch bei Störungen im direkten Sichtfeld des Fahrers behilflich sein. So ist zum Beispiel denkbar, dass Sichtbehinderungen durch andere Fahrzeuge oder durch Nebel bestehen. Zum anderen könnte ein solches System den Fahrer auch vor einem Stau in einer Kurve warnen.

Um die vielfältigen Möglichkeiten der Car-2-X Kommunikation zu strukturieren, erfolgt eine Einteilung in die drei Gruppen „Active Safety“, „Traffic Efficiency“ und „Comfort and Entertainment“.

Die Gruppe „Active Safety“ stellt solche Anwendungen bereit, die der Erhöhung der Verkehrssicherheit dienen sowie der Verringerung von Unfällen und Unfallfolgen (s.o.). Die Gruppe „Traffic Efficiency“ versucht mit Hilfe der Car-2-Infrastructure Kommunikation den Verkehrsfluss zu verbessern und die Reduzierung von Umweltbelastungen zu erreichen. Die Gruppe „Comfort and Entertainment“ bietet Beifahrern in Zukunft die Möglichkeit sich mit Insassen anderer Fahrzeuge zu unterhalten, oder Spiele zu spielen. Zudem sind weitere positionsabhängige Infotainment-Anwendungen denkbar, wie Informationen zu Städten oder die Buchung von Tickets zum Besuch von Museen.

Derzeit ist jedoch noch kein Car-2-X Kommunikationssystem in Serienfahrzeugen eingeführt, da einige Forschungs- und Entwicklungsfragen noch nicht gelöst sind. Für eine zügige Einführung eines solchen Systems fehlen bisher eine passende Marktstrategie sowie ein Geschäftsmodell. Weiterhin befindet sich die Standardisierung noch auf dem Weg der Vereinheitlichung.

Diese Probleme und Herausforderungen werden in den folgenden Abschnitten erläutert.

5. Herausforderungen

5.1 Technische Herausforderungen

Car-2-X Fahrzeugnetze sind hochdynamische Netze, da sich die einzelnen Fahrzeuge (Knoten) mit bis zu 250 km/h bewegen. Hieraus resultieren zudem hohe Relativgeschwindigkeiten von bis zu 500 km/h, durch entgegenkommende Fahrzeuge. Erschwerend kommt hinzu, dass es an bestimmten Punkten zu einer Häufung der Knoten kommen kann (z.B. durch Stau, oder Stadtverkehr), wohingegen bei nächtlichen Fahrten auf der Landstrasse nur sehr wenige Knoten vorhanden sind.

Zum einen bedeutet die damit verbundene, häufige Änderung der Netzwerktopologie, dass nur wenige Sekunden verbleiben, um eine Nachricht zwischen den einzelnen Knoten zu verteilen. Zum anderen muss verhindert werden, dass die Funkkanäle nicht überlastet werden, bzw. es zu keiner Kollision der Daten kommt, wenn zwei Knoten zum selben Zeitpunkt die Daten verschicken wollen.

Die Informationen sollen aber nicht nur im direkten Umfeld, sondern auch in einer bestimmten Richtung verteilt werden. So sind z.B. Warnmeldungen über einen Stau auch für Fahrzeuge interessant, die sich dem Gefahrenort nähern, siehe *Abbildung 3*. Daher ist es notwendig, dass die Informationen nicht nur zeitnah, sondern auch zuverlässig übermittelt werden, d.h. es dürfen keine Informationen verloren gehen.

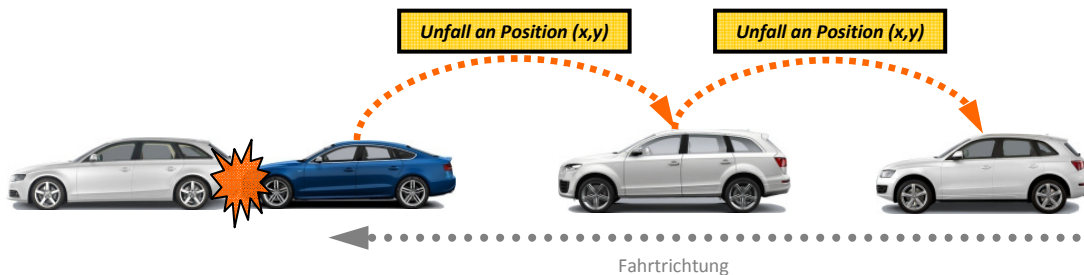


Abbildung 3: Weiterleiten von Nachrichten in bestimmter Richtung

Ein weiteres, wichtiges Thema ist die Sicherheit in Fahrzeugnetzen.

Einerseits muss die Anonymität der Fahrer sichergestellt werden, so dass diese nicht zu „tracken“ sind und sich mit Hilfe der Informationen ihres Fahrzeugs Bewegungsprotokolle erstellen lassen. Andererseits darf es nicht möglich sein, dass Hacker falsche Meldungen in das Car-2-X Kommunikationssystem einspeisen und somit Gefahrenpotentiale für die Kommunikationsteilnehmer darstellen.

5.2 Organisatorische Herausforderungen

Zusätzlich zu den vorab genannten technischen Aspekten, müssen weitere organisatorische Aspekte geklärt werden, bevor ein Car-2-X System eingeführt werden kann.

Zunächst muss ein Konsens darüber gefunden werden, wie in Zukunft miteinander kommuniziert werden soll. Hierbei ist entsprechender Weitblick von Nöten, da die durchschnittliche Nutzungsdauer von Fahrzeugen mit 10 - 15 Jahren sehr hoch ist. Ein ständiges Update der Fahrzeuge auf die neuen Standards ist daher unrealistisch und wirtschaftlich unsinnig.

Der Konsens muss zudem Hersteller- und Länderübergreifend erfolgen, in denen wiederum zum Teil sehr unterschiedliche Ansichten bezüglich der Car-2-X Kommunikation vorherrschen.

Wichtiger ist jedoch, wie in Zukunft mit Verkehrsteilnehmern interagiert werden soll, die nicht mit Car-2-X Kommunikationssystemen ausgestattet sind.

Es ist anzunehmen, dass zur Markteinführung der Car-2-X Systeme nur wenige Fahrzeuge mit solchen Systemen ausgestattet sind, siehe *Abbildung 4*. Laut einer Studie^[10] ist ein sinnvoller Betrieb erst bei einem (gleichmäßig verteiltem) Bestand von 10% aller Fahrzeuge möglich. Zudem zeigt die Studie^[10], dass ein solches System erst innerhalb von 2 ½ Jahren eingeführt werden könnte, wenn min. 50% aller Neufahrzeuge mit Car-2-X Kommunikationstechnik ausgerüstet werden würden.



Abbildung 4: Kommunikation mit Fahrzeugen ohne Car-2-X

Wie wir in den nachfolgenden Kapiteln sehen werden, gibt es bezüglich dieser Probleme sehr unterschiedliche Herangehensweisen der Nationen an dieses Thema.

6. Aktueller Stand

Die aktuellen Entwicklungen bezüglich Forschung und Entwicklung finden hauptsächlich in den USA, in Japan und in Europa statt. Bevor die Standardisierung in den entsprechenden Institutionen erfolgt, werden die einzelnen Entwicklungen und Forschungsergebnisse der länderspezifischen Projekte in Konsortien wie z.B. dem *CAR 2 CAR Communication Consortium* (C2C CC) diskutiert und angepasst.

Der aktuelle Stand wird in den folgenden Abschnitten dargestellt.

6.1 Aktueller Stand in den USA

Förderer der Car-2-X Technik sind in den USA Automobilhersteller und das Verkehrsministerium (Department of Transportation, DOT).

Die Standardisierung ist in den USA sehr weit fortgeschritten: bereits 1999 hat die Zulassungsbehörde für Kommunikationsgeräte (FCC) 75MHz im 5,9 GHz Frequenzband für *DSRC* (Dedicated Short Range Communications), bzw. *WAVE* (Wireless Access in Vehicular Environment) reserviert.

Der Bereich ist in 7 Kanäle zu je 10 MHz aufgeteilt, wobei ein Steuerkanal zum Senden von Notfallwarnungen (Safety Informationen) vorgesehen ist sowie sechs Datenkanäle, die auch parallel zur Datenübertragung (Non-Safety Informationen) genutzt werden können.

Die USA sehen die Car-2-Infrastructure als Ausgangspunkt für die C2X Kommunikation. Eine Car-2-Car Kommunikation soll erst später, sobald ausreichend Fahrzeuge mit C2X Technik vorhanden sind, realisiert werden.

6.2 Aktueller Stand in Japan

Treibende Kraft in Japan sind japanische Ministerien. So beteiligen sich u.a. das Ministerium für Land, Infrastruktur und Transport (MLIT), das Ministerium für Inneres und Kommunikation (MIC), das Ministerium für Wirtschaft, Handel und Industrie (METI) und die Staatliche Polizei (NPA) an der Erforschung der Car-2-X Technik.

Auch in Japan ist die Standardisierung ähnlich weit fortgeschritten, wie in den USA. Zudem befindet sich die Car-2-Infrastructure Technik in Japan bereits im praktischen Einsatz mit dem Aufbau und Betrieb eines elektronischen Mautsystems (ETC) basierend auf *DSRC*. Zur Erforschung der Car-2-Car Kommunikation werden derzeit ein modifizierter *WAVE*-Standard im 5,8 GHz Frequenzband sowie ein völlig neuer Standard im 700 MHz Frequenzband entwickelt.

Die breite Unterstützung für die C2I Kommunikation, durch Nutzung des elektronischen Mautsystems, stellt einen Vorteil für Japan im C2X Bereich dar.

6.3 Aktueller Stand in Europa

Europa versucht im Gegensatz zu Japan und den USA, aufgrund des hohen Aufwands zum Aufbau der Infrastruktur, weitgehend auf eine Infrastrukturaufrüstung zu verzichten und konzentriert sich daher auf die Car-2-Car Kommunikation.

Für den Fortschritt in Europa sind zum einen national geförderte Projekte und zum anderen das *CAR 2 CAR Communication Consortium (C2C CC)* verantwortlich.

Das C2C CC ist ein Zusammenschluss vieler europäischer Automobilhersteller, Zulieferer und Forschungsinstitute, mit dem Ziel, einen EU-weiten C2X Kommunikationsstandard vorzubereiten. Weiterhin werden im C2C CC Absprachen mit anderen Nationen und deren Projekte bzgl. der C2X Kommunikation getroffen sowie Geschäftsmodelle zur Markteinführung der C2X Kommunikation entwickelt.

Obwohl die Reservierung noch nicht weit fortgeschritten ist, hat das C2C CC bei der Frequenzvergabe eine Reservierung von 30 MHz erreicht, die für die Verbesserung der Verkehrssicherheit genutzt werden sollen. Weitere 20 MHz sollen zukünftig verfügbar sein, um z.B. den Verkehrsfluss zu verbessern.

6.4 Aktueller Stand der Technik

Die Forschungsgremien haben sich dazu entschlossen, dass die C2X Kommunikation den IEEE Standard 802.11p verwenden soll.

Dieser neue, rein für die Automobilindustrie entwickelte Standard ist eine Abwandlung des bereits bekannten WLAN Standards IEEE 802.11a, welcher auch in Heimnetzwerken eingesetzt wird. Bei der Auslegung des neuen Standards wurde Wert auf Robustheit gelegt, so dass die Kanalbandbreite auf 10 MHz reduziert wurde. Die Datenrate ist auf Werte zwischen 3 und 27 MBit/s beschränkt worden, welche zum einen große Reichweiten bis hin zu 1.000 Meter Distanz ermöglicht, zum anderen werden somit mögliche Störungen während der Sendephasen der Knoten umgangen ^[9].

Mit einem Senderadius von bis zu 1.000 Meter, ließe sich der Fahrerhorizont bereits deutlich erweitern. Durch Weiterleiten der Nachrichten mittels *Multi-Hopping*, kann dieser jedoch fast unbegrenzt erweitert werden, siehe *Abbildung 5* bzw. Abschnitt 6.4.2.

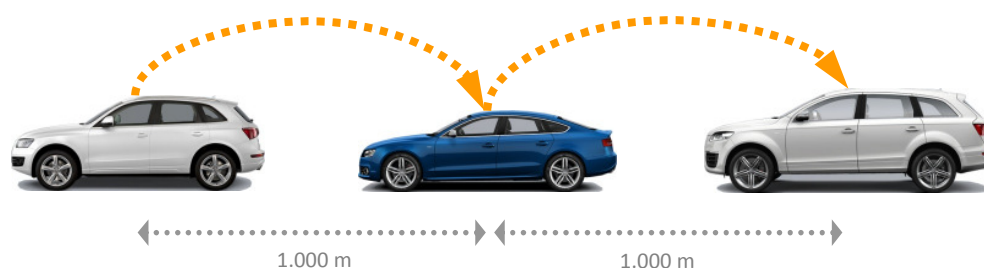


Abbildung 5: Multi-Hopping

6.4.1 Mobile Ad-Hoc Netze

Die Entscheidung für einen WLAN Standard und gegen einen zellulären Dienst, wie UMTS oder GSM, fiel aus dem Grund, da das wachsende Verlangen der Teilnehmer (hier: Fahrzeuge) nach Datenraten und Funkanbindung bedeuten würde, dass die Netze der zellulären Dienste immer kleiner werden müssten – u.U. auch abseits von Städten und anderen Kommunikationsschwerpunkten. Der Aufwand zur Bereitstellung und Verwaltung einer solchen Infrastruktur wäre immens und zu impraktikabel ^[12].

Viele mobile Datendienste haben zudem aufgrund der benötigten Infrastruktur einen starken Lokalitätsbezug. Dieser Nachteil wird in Zukunft durch mobile Ad-Hoc Netze (MANET) gelöst, da MANETs sich dort bilden, wo mobile Teilnehmer zusammenkommen.

6.4.2 Multi-Hopping

Die Kommunikation in MANETs erfolgt auf Basis von *Multi-Hopping*. Hierbei sind die einzelnen Teilnehmer (Knoten) nicht länger nur Endgerät, sondern leiten die Nachrichten auch an benachbarte Knoten weiter. Somit ist es möglich Entfernungen zu überbrücken, die größer als der Senderadius der einzelnen Knoten ist und somit z.B. Zugänge zum Internet weniger dicht aufgebaut werden müssen. Dies bedeutet, dass sich nur wenige Fahrzeuge in der Sendereichweite eines Internet Access Points befinden müssen, um das gesamte Netz mit den benötigten Informationen zu versorgen, siehe *Abbildung 6*.



Abbildung 6: MANET mit Zugang zum Internet

Einer der wesentlichen Vorteile von MANETs ist zudem, dass die Nutzung der Kommunikation kostenlos ist, abgesehen von der Anschaffung der entsprechenden Hardware.

Doch es gibt leider einige Probleme: so stellt sich die Frage, welcher Knoten die zentrale Steuerungsfunktion übernehmen soll und entscheiden muss, welche Informationen über welche Knoten zu versenden sind. Ein weiteres Problem ist die Frage, wie der Internet-Zugang zu finanzieren ist. Denkbar ist es, dass sich die Zugänge durch Werbung und Kundenbindung, wie bei bestehenden WLAN Hot-Spots, finanzieren.

6.4.3 Kommunikationsformen in mobilen Ad-Hoc Netzen

Um C2X Anwendungen wie Warnmeldungen über Staus, oder die Nutzung des Internets während der Fahrt zu ermöglichen, werden neben dem *Radio Broadcast*, der alle Nachbarn in Funkreichweite eines Senders erreicht, zudem zwei weitere Kommunikationsformen benötigt:

- das Senden einer Nachricht von einem Sender an einen Empfänger (*Unicast*) sowie
- das Senden einer Nachricht von einem Sender an einen, oder mehrere Empfänger in einer bestimmten geographischen Region (*Geocast*).

Bei beiden Kommunikationsformen können sich die Empfänger der Nachricht außerhalb der Funkreichweite des Senders befinden. Wie wir im vorherigen Abschnitt gesehen haben würden solche Nachrichten dann durch *Multi-Hopping* an den Empfänger weitergeleitet werden.

Um dem Problem des häufigen Topologie-Wechsels des MANETs und der entsprechenden Auswahl eines Fahrzeugs zur Weiterleitung zu begegnen, entschied man sich für das *Positionsbasierte Routingverfahren* als bestes Routingverfahren.

6.4.4 Positionsbasiertes Routingverfahren

Das *positionsbasierte Routingverfahren* setzt zunächst voraus, dass jeder Knoten seine eigene geografische Position ermitteln kann. Man geht davon aus, dass in Zukunft nahezu alle Fahrzeuge mit GPS zur Positionsbestimmung ausgerüstet sein werden.

Zur Weiterleitung einer Nachricht werden nun noch die Position des Empfängers und die Position der Nachbarn benötigt. Durch das regelmäßige Senden periodischer Signale, sogenannten *Beacons*, teilt jeder Knoten seinen Nachbarn die eigene Position mit. Diese Informationen werden dann in einer Nachbarschaftstabelle gespeichert.

Die Position des Empfängers wird mit Hilfe des *Positionsdienstes* ermittelt, sofern die Information nicht an alle Knoten in einer bestimmten Region gesendet werden soll.

6.4.4.1 Der Positionsdienst

Der Positionsdienst ist ein wesentlicher Bestandteil von positionsbasierten Routingverfahren. Mittels dieses Diensts können die einzelnen Knoten die geografische Position anderer Knoten erfragen.

In zellbasierten Verfahren, wie GSM-Netzen, wird diese Aufgabe von zentralen Positionsservern übernommen. Für MANETs ist dieses Verfahren aufgrund der hohen Geschwindigkeit der Topologie-Änderungen jedoch unsinnig und sogar widersprüchlich, in Hinsicht auf die Unabhängigkeit von der Infrastruktur.

Für den Einsatz von positionsbasierten Routingverfahren in Fahrzeugnetzen, auch VANET (Vehicle Ad-Hoc Network; Sonderform von MANET) genannt, wurde zunächst ein einfacher und robuster Positionsdienst gewählt: die Positionsinformationen werden nicht automatisch an die benachbarten Knoten verteilt, sondern lokal im Knoten selbst vorgehalten.

Um nun die Position eines bestimmten Knotens zu erfragen wird inkrementell geflutet (*Flooding*). Dies bedeutet, dass zuerst alle Knoten im Abstand von zwei Hops Entfernung ermittelt werden, da diese bereits durch *Beacons* bekannt sind. Ist der entsprechende Zielknoten noch nicht gefunden worden, so wird das Fluten bis auf die maximale Distanz des Netzwerkes angehoben, bis die Anfrage erfolgreich ist.

6.4.4.2 Positions-basierte Routingwahl

Für das Weiterleiten einer Nachricht bei *positionsbasierter Routingwahl* werden drei Arten von Informationen benötigt: die eigene Position, die Position des Empfängers und die Position der unmittelbaren Nachbarn.

Mit Hilfe dieser Informationen sucht sich der weiterleitende Knoten einen Nachbarn aus, welcher geografisch in Richtung des Empfängers liegt, sofern die eigene Sendereichweite nicht ausreicht. Zur Weiterleitung einer Nachricht vom Sender S mit dem Senderadius r zum Empfänger E sind mehrere Strategien möglich, siehe *Abbildung 7*.

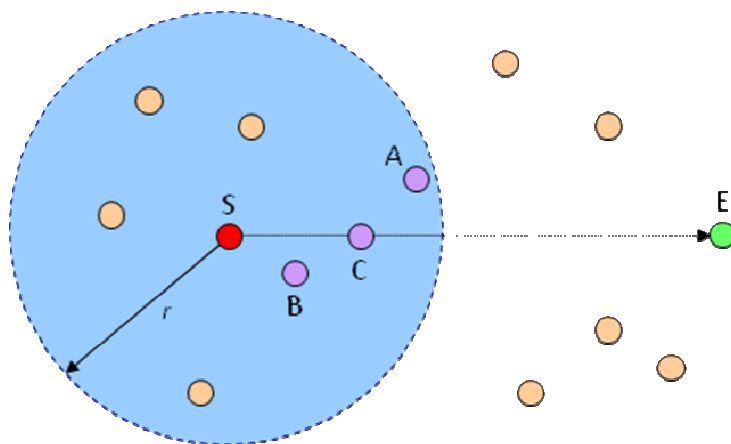


Abbildung 7: Strategien für die positionsbasierte Routingwahl

Die am naheliegende Strategie wäre die Weiterleitung an den Nachbarn, welcher den größten geografischen Fortschritt in Richtung Empfänger E bedeutet. Diese Strategie wird als *Most Forward Within Radius* (MFR) bezeichnet und in *Abb. 7* wäre dieses der Knoten A . Die MFR-Strategie würde die Anzahl der Hops zum Empfänger E minimieren.

Wäre der Sender S jedoch in der Lage, seine Sendeleistung anzupassen, so wäre es am sinnvollsten, den am nächstgelegenen Knoten zu wählen, der auch einen Fortschritt in Richtung des Empfängers E bedeuten würde. In *Abb. 7* wäre dieses der Knoten B .

Diese Strategie ist als *Nearest With Forward Progress* (NFP) bekannt und würde das Risiko vermindern, dass sich mehrere, gleichzeitig sendende Knoten gegenseitig stören würden.

Zuletzt wäre es auch möglich einen goldenen Mittelweg zu gehen: Ziel ist die Minimierung der geografischen Strecke vom Sender *S* zum Empfänger *E*.

In *Abb. 7* wäre dieses der Knoten *C* und ist unter der Strategie *Compass Routing* bekannt.

Da alle vorgestellten Strategien nur lokale Informationen zum Weiterleiten einer Nachricht verwenden, ist es möglich ein lokales Optimum zu erreichen, welches das Verfahren selbstständig nicht verlassen kann. Ein Beispiel hierfür ist in *Abbildung 8* gegeben.

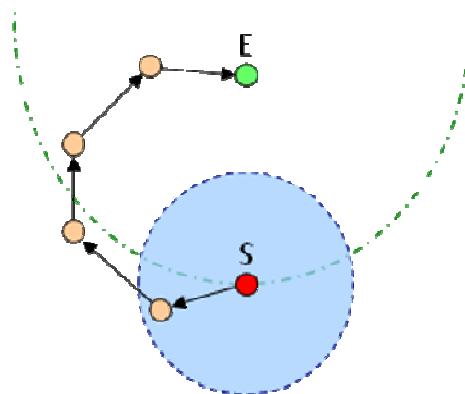


Abbildung 8: Lokales Optimum bei positionsbasierter Routingwahl

In *Abb. 8* liegt Sender *S* im Empfangsbereich von Empfänger *E*, sodass es eine gültige Route von *S* nach *E* gibt. Aufgrund lokaler Informationen besitzt Sender *S* diese Information jedoch nicht und die vorgestellten Strategien können keinen Nachbarn zum Weiterleiten der Nachricht finden.

Eine mögliche Lösung wäre es, dass die Nachricht einfach verworfen und darauf vertraut wird, dass diese von der Transportschicht erneut übertragen wird. Aufgrund der häufigen Topologie-Änderungen in VANETs ist diese Lösung nicht so unsinnig, wie es in dem ersten Moment klingen mag. So besteht eine gute Chance, dass sich die Situation in wenigen Augenblicken derart geändert hat, dass kein lokales Optimum mehr vorliegt.

Eine andere Lösung wäre, das Paket an denjenigen Nachbarn weiterzuleiten, der weiter vom Empfänger *E* entfernt ist, als Sender *S*, um das lokale Optimum zu verlassen, siehe *Abb. 8*. Hierbei muss jedoch darauf geachtet werden, dass es nicht zu Routing-Schleifen kommt. Die Idee ist hierbei, das VANET als planaren Graphen zu betrachten und das Optimum mittels der *Rechte-Hand-Regel* zu verlassen. Sobald die Nachricht einen Knoten erreicht, der näher am Empfänger liegt als das Optimum, wird die Nachricht wieder mit Hilfe des Positionsdienstes weitergeleitet.

Der Algorithmus der *Rechte-Hand-Regel* ist in *Abbildung 9* dargestellt. Angemerkt sei, dass es sich bei der Abbildung übersichtshalber nicht um ein lokales Optimum handelt.

Im ersten Schritt wird mit der Rechte-Hand-Regel die Verbindung im lokalen Optimum zwischen dem Sender *S* und dem Empfänger *E* bestimmt (hier: gestrichelte Linie). Daraufhin wird die Nachricht auf der Kante gegen den Uhrzeigersinn zum nächsten Nachbarn von Sender *S* weitergeleitet.

Der empfangene Nachbarknoten leitet die Nachricht dann wiederum gegen den Uhrzeigersinn auf einer Kante weiter.

Sollte diese Kante jedoch von der Verbindung schneiden, die im ersten Schritt ermittelt wurde, so wird die Nachricht auf der entgegengesetzten Kante weitergeleitet.

Mit dieser Regel konnte gezeigt werden, dass die Nachricht immer den entsprechenden Zielknoten findet.

Zu bemerken ist, dass alle Informationen für dieses Vorgehen entweder lokal vorhanden sind, oder im Paketkopf mit wenig Aufwand mitgeführt werden können. So ist keine globale Sicht auf den gesamten Graphen notwendig.

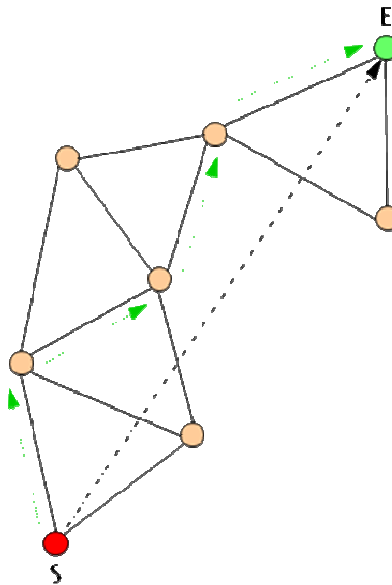


Abbildung 9: Beispiel Rechte-Hand-Regel

6.4.5 Datenschutz und IT-Sicherheit in mobilen Ad-Hoc Netzen

Die C2X Kommunikation kann nur dann zu einem Erfolg führen, wenn verhindert wird, dass Hacker sich nicht in das System einloggen können, um Bewegungsmuster von Fahrzeugen zu erstellen, Nachrichten abzuhören oder schlimmer noch: falsche Warnmeldungen einspeisen können.

Um zu verhindern, dass der Fahrer geortet werden kann bzw. Bewegungsmuster bestimmter Personen erstellt werden können, hat man sich darauf geeinigt, dem Fahrzeug nur eine temporäre Identifikation zu geben. Dies bedeutet, dass sich das Fahrzeug in bestimmten Abständen eine neue Identifikation generiert, womit es nicht möglich ist, ein Fahrzeug zu verfolgen.

Sichere Meldungen sollen durch eine elektronische Signatur bzw. Authentifizierung ermöglicht werden. Da dieses Thema derzeit untersucht wird, kann noch keine genaue Spezifikation der Schlüsselformen gegeben werden. Derzeit werden die Verschlüsselungsalgorithmen RSA und ECC (Elliptic Curve Cryptography) untersucht, ob diese in VANETs eingesetzt werden können.

Bezüglich Datensicherheit in VANETs forscht die Projektgruppe SeVeCom^[20] nach passenden Methoden und Mechanismen, um optimalen Datenschutz in C2X Systemen zu gewährleisten.

7. Zusammenfassung & Ausblick

Durch den Austausch von *Beacons* kennen Fahrzeuge mit C2X Technik ihre Nachbarn und können damit Bewegungsmuster der Nachbarn errechnen. Somit werden können Gefahren frühzeitig erkannt werden. Durch die rechtzeitige Warnung des Fahrers ist es somit möglich Unfälle zu verhindern, oder Unfallschäden zu vermindern.

Mit Hilfe der Positionsinformationen sind zudem ereignisbasierte Warnmeldungen möglich. Dazu analysiert das Fahrzeug ständig seine Umgebung mit Sensoren (ESP, ABS, etc.) und sendet Warnungen an benachbarte Fahrzeuge, sofern die Sensoren aktiv werden.

Dennoch ist bis dato noch kein serienmäßiger Einsatz der C2X Systeme in Serienfahrzeugen vorgesehen. Zum einen sind nicht alle Standardisierungen abgeschlossen, zum anderen fehlen noch die passenden Marktmodelle, um C2X Kommunikation zügig auf den Markt zu bringen.

Allerdings wird die C2X Kommunikation bereits in vielen Prototypen bei praktischen Feldversuchen getestet.

So wird derzeit im deutschen Projekt *sim^{TD}* ^[17], das für Sichere Intelligente Mobilität Testfeld Deutschland steht, mit einer Testflotte von 400 Fahrzeugen die C2X Kommunikation erforscht. Dazu werden innerhalb von vier Jahren realitätsnahe Verkehrsszenarien in einer großflächigen Testfeld-Infrastruktur in und um die hessische Metropole Frankfurt dargestellt.

Doch es gibt auch viele Kritiker an der neuen Technik. Diese sehen die Gefahr, dass die neue Technik die Fahrer unaufmerksam machen wird, da das Fahrzeug, sofern es keine Warnungen meldet, dem Fahrer Sicherheit suggeriert.

Dennoch wird die C2X Kommunikation, aufgrund der Kommunikation der Fahrzeuge untereinander, eines Tages den Verkehr sicherer machen. Zudem wird es in Zukunft möglich sein ökonomischer zu fahren, da die Fahrzeuge mit der Infrastruktur (z.B. Ampeln) kommunizieren können und somit die Geschwindigkeit an die Verkehrssituation anpassen können.

8. Literaturverzeichnis

Literaturverzeichnis:

- [1] W. Franz, H. Hartenstein, M. Mauve: *Inter-Vehicle Communications Based on Ad Hoc Networking Principles*; Universitätsverlag Karlsruhe, 2005
- [2] M. Torrent Moreno: *Inter-Vehicle Communications: Achieving Safety in a Distributed Wireless Environment*; Universitätsverlag Karlsruhe, 2007

Quellen im Internet:

- [3] R. Baldessari, M. Deegener, W. Franz u.a.: *CAR 2 CAR Communication Consortium Manifesto*
http://www.car-to-car.org/fileadmin/downloads/C2C-CC_manifesto_v1.1.pdf
- [4] C. Cseh, R. Eberhardt W. Franz: *Mobile Ad-Hoc Funknetze für die Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation*
http://www.et2.tu-harburg.de/fleetnet/pdf/WMAN2002_FleetNet.pdf
- [5] M. Mauve, H. Hartenstein u.a.: *Positionsbasiertes Routing für die Kommunikation zwischen Fahrzeugen*
<http://www.et2.tu-harburg.de/fleetnet/pdf/Mauve2002a.pdf>
- [6] A. Lübcke: *Car-to-Car Communication – Technische Herausforderungen*
http://www.network-on-wheels.de/downloads/VDE2004_Luebke_Paper.pdf
- [7] Dr. A. Festag: *WiFi für Autos*
http://www7.informatik.uni-erlangen.de/~dulz/fkom/06/Material/6/IEEE%20802.11p/fs_0513_s45.pdf
- [8] Prof. Dr. Ing. P. Knoll: *Das sensitive Auto*
<http://www.neue-verpackung.de/ai/resources/82adee5450a.pdf>
- [9] M. Torrent Moreno, H. Hartenstein: *Current View on VANETs*
<http://dsn.tm.uni-karlsruhe.de/medien/publication-talks/torrent-ft05-current-vision.pdf>
- [10] K. Matheus, R. Morich und A. Lübcke: *Economic Background of Car-to-Car Communications*
http://www.network-on-wheels.de/downloads/IMA2004_Matheus_Paper.pdf
- [11] F. Kargl; *Vehicular Communications and VANET's*
<http://events.ccc.de/congress/2006/Fahrplan/attachments/1216-vanet.pdf>
- [12] M. Meincke, M. Winkler, K. Jobmann: *Jedem sein Funknetz*
http://www.et2.tu-harburg.de/fleetnet/pdf/NET_S36.jpg
http://www.et2.tu-harburg.de/fleetnet/pdf/NET_S37.jpg
http://www.et2.tu-harburg.de/fleetnet/pdf/NET_S38.jpg
http://www.et2.tu-harburg.de/fleetnet/pdf/NET_S39.jpg

Quellen im Internet:

- [13] Statistisches Bundesamt Deutschland: *Statistisches Jahrbuch für die Bundesrepublik Deutschland 2008*
<https://www-ec.destatis.de/csp/shop/sfg/bpm.html.cms.cBroker.cls?cmspath=struktur,vollanzeige.csp&ID=1022845>
- [14] W. Enkelmann, W. Thienhaus: *Nutzen dezentraler Ad-hoc-Kommunikation für vernetzte Fahrzeuge*
<http://www.et2.tu-harburg.de/fleetnet/pdf/Enkelmann-Thienhaus-03.pdf>
- [15] M. Raya, P. Papadimitratos, J.-P. Hubaux: *Securing Vehicular Communications*
<http://infoscience.epfl.ch/record/87501/files/>

Weblinks:

- [16] CAR 2 CAR Communication Consortium Webseite
<http://www.car-to-car.org/>
- [17] sim^{TD} (Sichere Intelligente Mobilität Testfeld Deutschland) Webseite
<http://www.simtd.de/>
- [18] Fleet Net Projekt Webseite
<http://www.et2.tu-harburg.de/fleetnet/>
- [19] NOW: Network On Wheels Webseite
<http://www.network-on-wheels.de/>
- [20] SeVeCom Webseite
<http://www.sevecom.org/>