A 2595

# NET

1-2/2018

Zeitschrift für Kommunikationsmanagement

Zugangsnetze
## Viele Wege führen zum Glasfaseranschluss

Leitstellen
## Auch im Worst Case verfügbar

MPLC-Technik
## Verjüngungskur fürs LAN

BREKO
Bundesverband
Breitbandkommunikation e.V.

NET Verlag und Zeitschrift GbR, Löwenberger Weg 14, D-16766 Kremmen
Postvertriebsstück, Entgelt bezahlt

# Virtuelle Testfahrten

## Realitätsnahe Abbildung von Verkehrsszenarien im Labor

Pia Christin Schäble

**Um Unfälle und gefährliche Verkehrssituationen zu vermeiden, sollen Fahrzeuge bald Daten untereinander austauschen können. Die Automobilbranche bedient sich hier bei der Mobilfunktechnik: Die Vernetzung erfolgt über ein Funknetz auf Basis der IEEE-802.11p-Norm, womit es dem häuslichen WLAN sehr ähnlich ist. Ein wesentlicher Unterschied liegt darin, dass sich dieser Standard speziell gegen die Überlastung des Funkkanals wappnet, um selbst bei hohem Verkehrsaufkommen noch zu funktionieren. Jedoch stoßen auch diese Schutzmechanismen an ihre Grenzen. Um feststellen zu können, wo diese in konkreten Situationen liegen, lässt sich mit einem Lastgenerator die Funkkanallast in verschiedenen Verkehrsszenarien und Umgebungen am Prüfstand simulieren – mit jederzeit wiederholbaren Ergebnissen und niedrigem zeitlichen und finanziellen Aufwand.**

*Pia Christin Schäble ist freie Redakteurin in München*

Die IEEE-802.11p-Norm bildet die Grundlage für die Vernetzung von Fahrzeugen. Damit werden verkehrsrelevante Informationen von Fahrzeug zu Fahrzeug weitergegeben. Auch Verkehrsinfrastrukturelemente wie Ampeln, Schilder oder Notrufsäulen lassen sich in die Kommunikation mit aufnehmen. Dafür wurde bereits das Frequenzband von 5,850 bis 5,925 GHz reserviert. Gesendet wird mit einer maximalen Frequenz von 10 Hz.

Ein solches Broadcasting-Prinzip, bei dem alle Sender denselben Kanal nutzen, bringt jedoch Probleme mit sich: „Sendet ein Fahrzeug Daten, können die anderen Fahrzeuge das nicht gleichzeitig tun, da die Datenpakete miteinander kollidieren und damit verloren gehen würden", erklärt Mark Hakim, Geschäftsführer der Qosmotec Software Solutions GmbH.

Um dies zu verhindern, wird der sogenannte Carrier Sensing-Mechanismus ausgenutzt: Danach hört ein Sender zunächst den Kanal ab und überträgt erst dann, wenn er erkannt hat, dass dieser frei ist. Doch was, wenn ein potenzieller Empfänger außer Reichweite ist, Gebäude in Stadtgebieten die Übertragung stören und sich so zwei Sender gegenseitig nicht sehen können, sich ihre Reichweiten jedoch überlappen? „Hier kommt es zur sogenannten Hidden-Node-Problematik", erläutert Dr. Dieter Kreuer, Gesellschafter und Produktmanager bei Qosmotec. „Wenn sich zwei Teilnehmer gegenseitig nicht wahrnehmen, glauben beide, der Kanal sei frei, und übermitteln die Daten unter Umständen zur selben Zeit. Dadurch kommt es zur Kollision von Datenpaketen, die folglich nicht beim Empfänger ankommen. Selbst wenn sich der Sendezeitraum nur unwesentlich über-

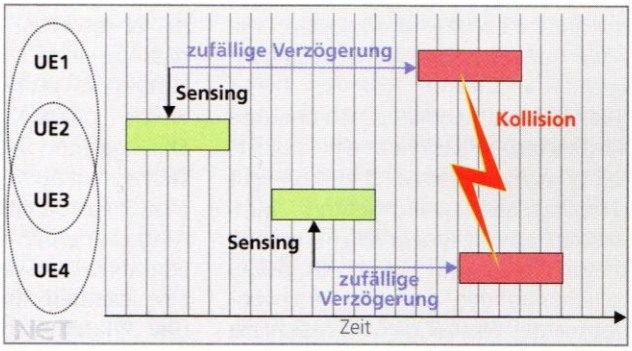


*Bild 1: Ein Funkmodul (User Equipment – UE) überprüft beim Carrier-Sensing-Mechanismus zunächst, ob der Kanal frei ist, und sendet, sobald dies der Fall ist. Können sich weiter entfernte Funkmodule allerdings gegenseitig nicht empfangen (hier UE1 und UE4), kann es bei möglichen Empfängern trotzdem zu Kollisionen und somit zum Verlust beider Datenpakete kommen. Dieses Phänomen wird auch als Hidden-Node-Problematik bezeichnet*

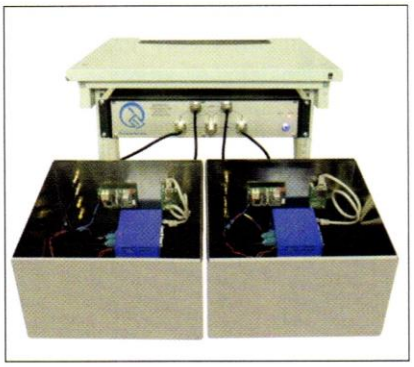

*Bild 2: Der Feldstärkeemulator Qosmotec Propagation Effects Replicator (QPER) ist ein System aus Dämpfungsgliedern zur Beeinflussung der Signalstärken bei der Funkübertragung. Die mittels Koaxialkabel angeschlossenen Funkmodule werden einzeln in Schirmdosen platziert, um einen unerwünschten direkten Nachrichtenaustausch zwischen den Geräten zu verhindern*

schneidet, scheitert der Übertragungsversuch letzten Endes komplett", *Bild 1*.

## Feldtests sind kaum reproduzierbar

Die Automobilbranche ist sich dieser und anderer Probleme der Funkübertragung durchaus bewusst. Um die Zuverlässigkeit in der Praxis sicherzustellen, realisierte man zahlreiche Projekte, bei denen umfangreiche Feldversuche auf Teststrecken und im Straßenverkehr durchgeführt wurden. Doch dies bedingt mitunter eine wochen-, wenn nicht sogar monatelange Vorbereitung des Versuchs, was einen hohen finanziellen Aufwand mit sich bringt. Eine weitere Schwierigkeit stellen äußere Einflüsse dar, die sich vorher kaum einkalkulieren lassen, wie etwa ungünstige Wetterbedingungen.

„Bei Feldtests handelt es sich um reale Testfahrten. Selbst wenn ein und derselbe Test mehrmals in derselben Fahrerkonstellation durchgeführt wird, werden sich die Ergebnisse immer unterscheiden", führt Hakim aus. Äußere Bedingungen und die Geschwindigkeit der Fahrzeuge lassen sich nie zu 100 % wieder genauso nachstellen. Die Autohersteller müssen ihre nachfolgenden Forschungen jedoch auf verlässliche Daten stützen können, um die Realität möglichst gut abzubilden.

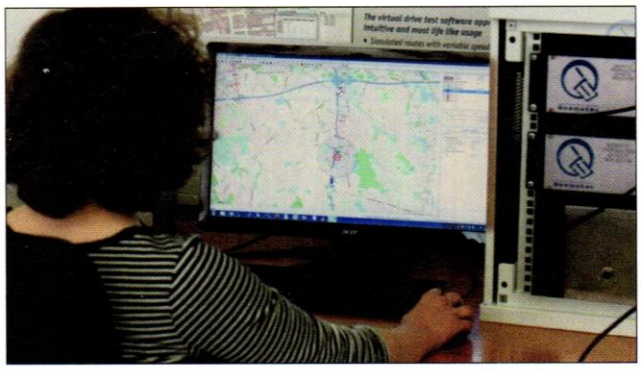

*Bild 3: Normalerweise erfolgt die Signalübertragung über die Luft. Beim Prüfstandsaufbau von Qosmotec werden die Signale gezielt über Koaxialkabel zugeführt. Die Übertragungseffekte, die dabei in der Realität auftreten, werden durch eine Steuersoftware generiert und hierüber im Gerät emuliert*

## Feldstärkesimulator bildet Verkehrssituationen nach

Qosmotec arbeitete deshalb zunächst an einer Lösung, die ohne aufwendige Feldtests auskommt: Im Jahr 2014 wurde der Feldstärkeemulator Qosmotec Propagation Effects Replicator (QPER) für Versuche am Prüfstand auf den Markt gebracht (*Bild 2*). „Mobilfunkbetreiber verwenden einen ähnlichen Ansatz, um im Testlabor die Bewegung von Handy- und Smartphone-Nutzern zu simulieren und so einen reibungslosen Übergang zwischen Funkzellen sicherzustellen", erklärt Kreuer. Diese Simulations- und Testplattform wurde in Kooperation mit Forschern der RWTH Aachen auf die Bedürfnisse der Automobilindustrie angepasst und erweitert. Funksignale werden hierbei vollständig kabelgebunden übertragen und somit eine kontrollierbare Umgebung erzeugt, in der Funkeffekte exakt reproduziert werden können.

Bei den Versuchen werden die Funkmodule hochfrequenzdicht voneinander abgeschirmt. So wird verhindert, dass sie eine Verbindung über die Luftstrecke aufnehmen. Die Signale werden durch Koaxialkabel und den QPER geleitet. Die Hardware des Feldstärkesimulators besteht aus einer Matrix aus Dämpfungs- und Verzögerungselementen und dient dazu, den Funkverkehr zwischen angeschlossenen Geräten durch Abschwächung und Phasenverschiebung bedarfsgerecht auf jeder einzelnen Verbindung zu manipulieren. Mit dieser Vorrichtung sowie einer Software auf dem aktuellsten Stand der Forschung zur Modellierung und Ansteuerung des Feldstärkesimulators lässt sich reproduzieren, was bei der Signalübertragung in unterschiedlichen Umgebungen passiert (*Bilder 3 und 4*).

Besonders gravierende Auswirkungen auf den Funkverkehr können Reflexionen in Städten haben. „Dabei kann es zu Überlagerungen verschiedener Kopien desselben Ausgangssignals und dadurch zu einer Mehrwegausbreitung und dem sogenannten Fast-Fading-Effekt kommen, wodurch die Übertragung immer wieder unterbrochen wird oder Störungen auftreten", erläutert Kreuer eine der Problematiken. Mit dem QPER lassen sich solche Szenarien besser beleuchten und als Grundlage für weiterführende Forschungen nutzen. Zudem kann die Funkreichweite in unterschiedlichen Verkehrssituationen berechnet werden. So wenden Fahrzeughersteller das System etwa an, um die optimale Position der Antenne an der Karosserie zu bestimmen.

## Lastgenerator unterdrückt Carrier-Sensing-Mechanismus

Die Zahl der tatsächlich anschließbaren Funkmodule an den QPER ist jedoch auf einige wenige beschränkt. Um ein hohes Verkehrsaufkommen mit wenigen Sendern zu simulieren, ist es notwendig, den Carrier-Sensing-Mechanismus zu unterdrücken. „Das ist uns mit der Entwicklung des Lastgenerators gelungen", erklärt Kreuer. „Grundlage dafür ist ein besonderes System: Eine Vorrichtung aus Zirkulatoren erlaubt es, den Carrier-Sensing-Mechanismus eines Funkmoduls zu unterdrücken. So kann zu beliebigen Zeiten gesendet werden, da andere Sendeversuche nicht registriert werden. Dabei wird eine Signalunter-

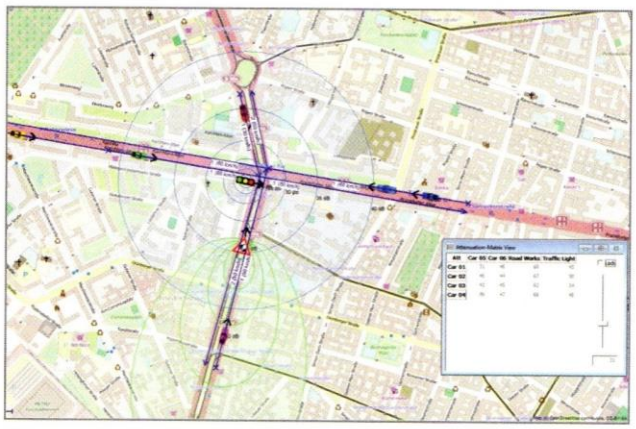

*Bild 4: Die Software des Feldstärkeemulators bildet Verkehrssituationen ab und berechnet hieraus unter Berücksichtigung von Wellenausbreitungsmodellen und Antennencharakteristika die Signalstärke zwischen den Verkehrsteilnehmern. Basierend auf den Berechnungen werden die Dämpfungsglieder in der QPER-Hardware gesteuert*

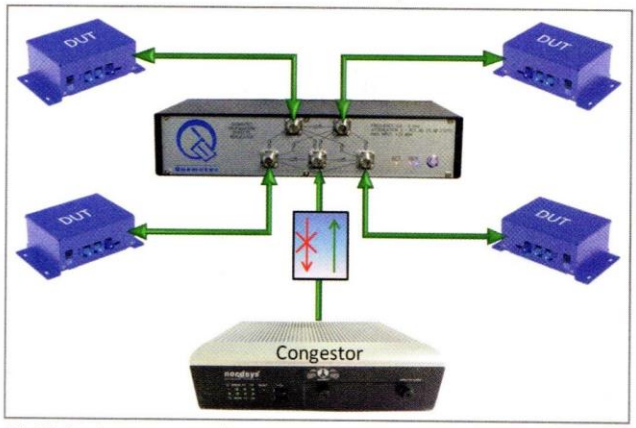


*Bild 5: Der Lastgenerator (Congestion Simulator) wird mittels einer speziellen Vorrichtung, die den Carrier-Sensing-Mechanismus unterdrückt, an den QPER angeschlossen. Während die zu testenden Funkmodule (DUTs) vor jedem Senden den Kanal abhören, sendet der Congestor ungehindert und kann so eine hohe Kanallast erzeugen und damit Paketfehler in der Übertragung zwischen den DUTs bewirken (Bilderquelle: Qosmotec)*

drückung von 80 dB erreicht." Die Kombination aus Lastgenerator und QPER (*Bild 5*) ermöglicht es nun, verschiedene Auswirkungen von Last auf einzelne angeschlossene Teilnehmer abzubilden: Einige Devices under Test (DUTs) nehmen eine hohe Funklast wahr, für andere ist der Lastgenerator nicht sichtbar und sorgt für eine hohe Anzahl an Hidden Nodes und somit unerwünschten Paketkollisionen.

Der Algorithmus des Congestion Simulators umfasst eine Vielzahl von Parametern und bezieht u.a. eine unterschiedliche Anzahl an Fahrzeugen und verschiedene Positionen der Verkehrsteilnehmer in die Berechnungen mit ein. Die Fahrzeuge erzeugen zudem eine Kanallast, indem sie unterschiedlich große Nachrichten mit einer mittleren Frequenz zwischen 1 bis 10 Datenpaketen/s versenden. Auch wird u.a. die Bewegungsgeschwindigkeit mit einbezogen. „Da wir unsere Berechnungen zudem auf stochastische Modelle stützen, sind die Ergebnisse zur Funkkanallast auch sehr realitätsnah", erläutert Kreuer.

## Hohe Paketfehlerrate bei Hidden Node

Ausgiebige Tests mit dem Lastgenerator förderten einige aufschlussreiche Ergebnisse zu Tage: „In den Simulationen versuchten wir herauszufinden, wie sich die Funkkanallast in Abhängigkeit von der Anzahl der Fahrzeuge entwickelt. Dabei konnten wir feststellen, dass unter Umständen bereits Situationen mit durchschnittlich 25 Fahrzeugen auf engem Raum dazu führen, den Kanal fast zur Hälfte auszulasten, wenn die Nachrichtengröße und Sendeintensität entsprechend hoch sind", erklärt Kreuer die Details. Im Mittel wird der Funkkanal bei 25 Fahrzeugen zwar nur zu etwa 8 bis 10 % belastet; bei hundert Fahrzeugen ergibt sich im Schnitt ein Wert von ca. 35 %. Doch auch hier können bei hoher Sendeintensität bereits bis zu 85 % des Kanals ausgelastet werden.

Die Tests lieferten außerdem erstmals Zahlen zum Einfluss von Hidden Nodes auf die Paketfehlerrate: Eine relativ geringe Anzahl an Teilnehmern, die eine Kanallast von unter 10 % erzeugen, kann bereits eine signifikante Anzahl an Paketkollisionen verursachen. Die durchschnittliche Rate an verlorenen Paketen lag in den Simulationen bei 10 bis 15 %. Schon Paketfehlerraten von 1 % und mehr gelten bei einem sicherheitsrelevanten System, wie es die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation ist, als kritisch. Sind hingegen alle lasterzeugenden Teilnehmer für den Sender sichtbar, können – bis zu einer Kanallast von 60 % – Paketfehlerraten fast vollständig vermieden werden, da der Carrier-Sensing-Mechanismus ungestört arbeitet. Erst bei höherer Beanspruchung des Kanals gehen ca. 3 bis 5 % der gesendeten Pakete verloren.

## Simulation aller Validierungsszenarien möglich

Der Lastgenerator allein ist bereits in der Lage, einen Großteil der im Verkehr möglichen statischen Szenarien wie Staus oder Situationen auf Parkplätzen realitätsnah abzubilden. Sollen zusätzlich dynamische Situationen nachgebildet werden, ist dies in Kombination mit dem QPER und der dafür entwickelten Software möglich, da sich so die Fahrzeugbewegungen simulieren lassen.

Damit können alle vier Validierungsszenarien, die vom European Telecommunications Standards Institute (ETSI) entwickelt wurden, realitätsnah und ohne großen Aufwand nachgestellt werden. Hierbei wird zwischen statischen Systemen – Parkplatz und innerstädtischer Stau – sowie dynamischen Systemen – Landstraßen, Autobahnen und urbaner Verkehr – unterschieden, wobei die städtischen Szenarien zusätzlich mit der Hidden-Node-Problematik konfrontiert werden.

„Mit diesem Prüfstandsaufbau können innerhalb von sechs bis acht Wochen so viele Verkehrsszenarien durchgespielt werden wie bei real durchgeführten Feldtests in einem Zeitraum von zwei bis drei Jahren", resümiert Mark Hakim. *(bk)*