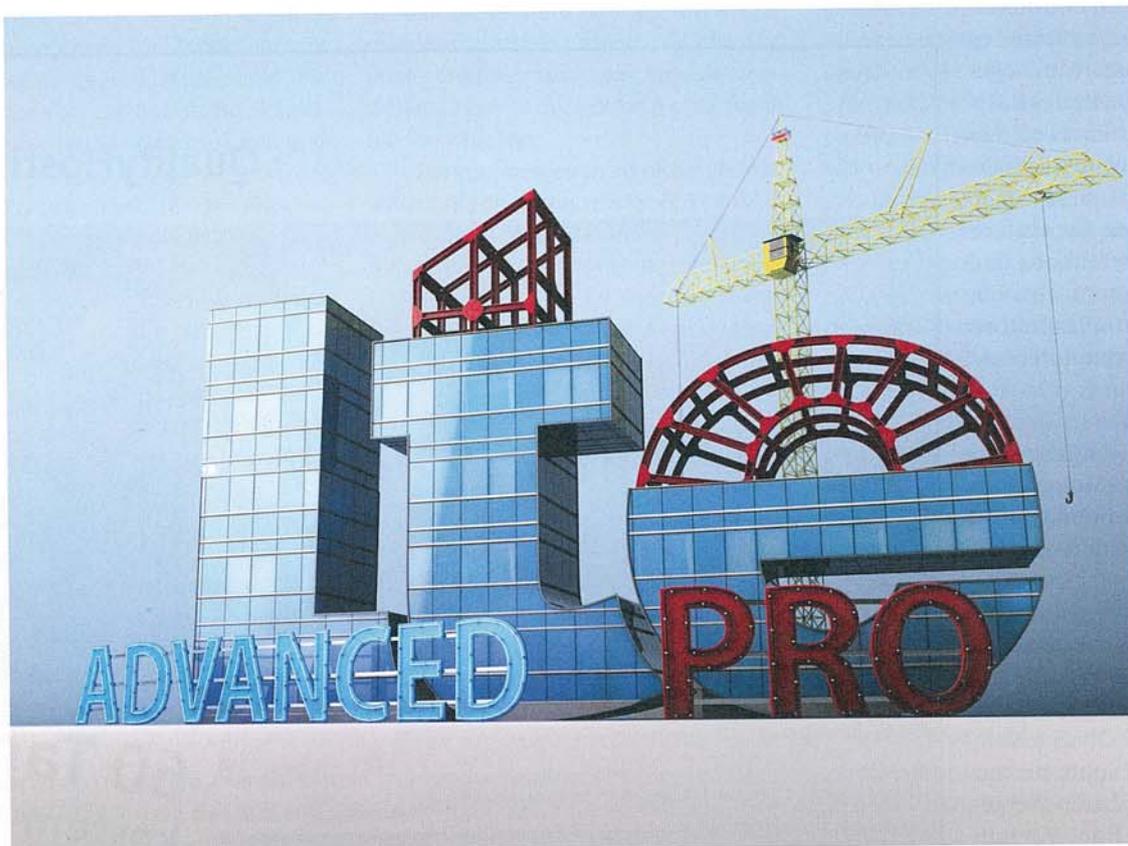


Mobile Großbaustelle

LTE-Advanced Pro: Der Weg zu 25 GBit/s und zum Internet of Things



5G-Mobilfunknetze sind noch fern, aber deren Konzepte beeinflussen die Entwicklung der kommenden LTE-Ausbaustufen. So werden künftige LTE-Netze als Brücke zu 5G nicht bloß zusätzliche Bandbreite zum mobilen Surfen liefern, sondern auch so unterschiedliche Dinge wie autonome Autos und batteriegestützte Geräte mit langen Laufzeiten wie Zähler, Sensoren oder Wearables ins Internet bringen.

**Von Dr. Christian Hoymann
und Dr. Michael Meyer**

Die Mobilfunktechnik LTE ist eine Erfolgsgeschichte: Die Entwicklung startete im Jahr 2004, das erste LTE-Netz ging 2008 in Schweden in Betrieb und nun, nur acht Jahre später, surfen mehr als eine Milliarde Nutzer über weltweit schon mehr als 450 LTE-Mobilfunknetze im Internet [1].

Den Grundstein dafür legte das Third Generation Partnership Project, 3GPP, mit der 3GPP-Spezifikation LTE Release 8 [2]. Danach folgte eine rasante Entwicklung, die viele Fortschritte und jede Menge neue Features brachte, um gängige Anwendungen besser zu unterstützen oder ganz neue Anwendungsfelder zu erschließen.

Dieser Artikel fasst die wichtigen Features zusammen, die bis zum aktuellen Release 13 hinzugekommen sind und zeigt, was das 3GPP für die kommenden Releases 14 und 15 plant – und das ist nicht wenig.

Das Wichtigste zuerst: Die Forschung an der fünften Generation der Mobilfunktechnik (5G), die später ebenfalls in 3GPP-Spezifikationen münden soll, inspiriert die Entwicklungen im LTE-Bereich (4G). So reagiert das 3GPP auf aktuelle Anforderungen und schlägt eine Brücke zwischen beiden Mobilfunktechniken.

Die Anstöße kommen aus 5G-Forschungsprojekten wie METIS oder der Initiative der Next Generation Mobile Net-

works Alliance. Diese unterteilen künftige Anwendungen in drei große Bereiche. An erster Stelle steht der mobile Breitbandzugang (Mobile Broadband, MBB). LTE hat für den Breitbandzugang mit hohen Datenraten, hoher Systemkapazität und geringen Latenzen passende Rahmenbedingungen geschaffen und alle Nutzer haben sich sehr schnell an die mobile Internetnutzung gewöhnt.

Hinzu kommt nun die Vernetzung von Endgeräten, die nicht der menschlichen Kommunikation dienen, also das Internet der Dinge (Internet of Things, IoT). In 3GPP-Terminologie heißt das Machine-type Communication (MTC) und man unterscheidet die zwei Bereiche C-MTC und M-MTC (critical MTC und massive MTC).

Sporadisch senden

Mit M-MTC sind Anwendungen gemeint, die geringe Datenmengen sporadisch senden. Entsprechende Geräte sind sehr kostengünstig herzustellen und zu betreiben, denn sie kommen mit einfachen Sendeeinrichtungen (Transceiver) und nur geringer Stromaufnahme aus. Beispiele sind vernetzte Sensoren in der Landwirtschaft oder fernauslesbare Gas-, Wasser- und Stromzähler, die mit einer Knopfzelle monate- oder jahrelang laufen.

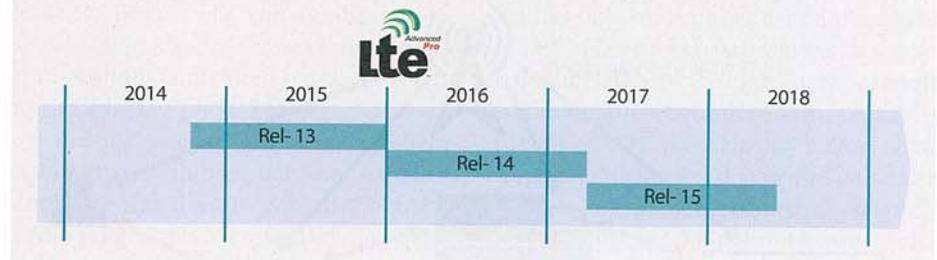
Unter C-MTC fasst man Anwendungen zusammen, für die die Verfügbarkeit des Mobilfunkdienstes und die Zuverlässigkeit der Übertragung kritisch sind; viele setzen sehr geringe Signallaufzeiten vom Absender bis zum Empfänger voraus (Latenz). Typischerweise ist das Datenvolumen von C-MTC-Geräten um ein Vielfaches höher als das von M-MTC-Geräten. Beispiele sind die funkbasierte Steuerung von Anlagen, die Signalübertragung autonomer Fahrzeuge oder die Fernsteuerung von Maschinen in gefährlichen Umgebungen.

Offensichtlich sind die Anforderungen von M-MTC und C-MTC gegenläufig. Zum Beispiel ist eine sehr lange Batterielaufzeit bei großen Datenmengen und hohen Datenraten nicht möglich. Daher hat die 3GPP Rahmenbedingungen für flexibel konfigurierbare Systemkonzepte gesetzt. Hersteller können so Netzelemente und spezifische Endgeräte für M-MTC und C-MTC entwickeln und Netzbetreiber konfigurieren sie für ihre Netze entsprechend ihren Anforderungen.

Solche Anwendungen wurden zunächst im Kontext der 5G-Mobilfunkentwicklung diskutiert. Man stellte aber

Kommende LTE-Releases

Das Normungsgremium 3GPP plant, LTE-Spezifikationen im Abstand von 15 Monaten zu liefern. Bis die Netze mit den neuen Techniken ausgerüstet werden und neue Endgeräte am Markt erscheinen, vergehen dann je nach Land noch ein bis zwei Jahre.



schnell fest, dass LTE mit einigen Erweiterungen diese neuen Nutzungsfelder ebenfalls erschließen kann. So können Betreiber die Investitionen in LTE für neue Anwendungen nutzen, und der Pfad zum 5G-Mobilfunk wird kürzer. Die Grundlagen dafür bilden die Releases 13 und 14.

Die Standardisierung des Release 13 begann im September 2014 und die Spezifikation wurde im Dezember 2015 fertig. Ebenfalls 15 Monate soll nun die Standardisierung des Release 14 dauern: Sie läuft seit Dezember 2015 und soll im März 2017 abgeschlossen sein. Danach beginnen die ebenfalls auf 15 Monate veranschlagten Arbeiten an Release 15. Um wichtige Zwischenstufen der Entwicklung deutlich zu kennzeichnen, heißen 3GPP-Standards ab Release 10 (Juni 2011) LTE-Advanced und ab Version 13 LTE-Advanced Pro.

LTE ohne Funklizenzen

Die Releases 13 und 14 bringen viele Verbesserungen für den mobilen Internetzugang. Mittels der Erweiterung Licensed-Assisted Access (LAA) bündelt LTE erstmals Kanäle des lizenzierten Spektrums mit solchen aus unlizenziertem Spektrum im 5-GHz-Band [3]. Das erhöht temporär die Datenrate für Nutzer und die Netzkapazität für den mobilen Internetzugang. Dabei nutzt LTE mit „Listen Before Talk“ dasselbe Verfahren wie WLAN, um nur dann zu senden, wenn ein Kanal im 5-GHz-Band gerade frei ist. Das Release 13 spezifiziert LAA für den Downlink. Release 14 fügt LAA im Uplink hinzu.

Parallel zur 3GPP arbeitet die MultiFire Alliance an einer Technik, um LTE ausschließlich in unlizenziertem Spektrum zu betreiben [4]. So lässt sich LTE

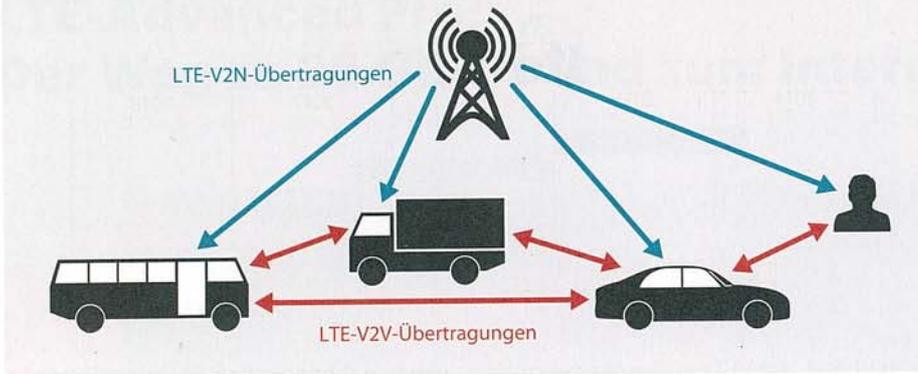
ganz unabhängig von Spektrumlizenzen nutzen, beispielsweise für den lokalen Betriebsfunk oder die Vernetzung von Fabrik- und Bürogebäuden.

Daneben bringen Release 13 und 14 Verfahren für die Integration von WLAN und Mobilfunknetzen. Zwar nutzen Mobilfunkbetreiber dabei auch unlizenziertes Spektrum, jedoch auf Basis der IEEE-Spezifikationen 802.11. Weil die WLAN-Schnittstelle nach anderen Vorgaben definiert ist als die 3GPP-Funkschnittstellen, ist der Integrationsgrad geringer, speziell hinsichtlich der Funkressourcenzuweisung und Dienstgüte. Beispielsweise kann LAA Funkressourcen dynamisch im Millisekunden-Takt im lizenzierten oder unlizenzierten Spektrum zuweisen. So reagiert das Netz schnell auf Änderungen der Funkqualität oder auf Interferenz, und Dienstgüterichtlinien lassen sich besser einhalten. Demgegenüber reagiert WLAN konzeptbedingt träge, weshalb die Integration mit LTE nicht so leistungsfähig ist.

Gemäß Release 10 lassen sich maximal fünf Träger von je 20 MHz Breite bündeln (Carrier Aggregation). Die maximale Systembandbreite beträgt daher 100 MHz. Ab Release 13 lassen sich bis zu 32 Träger bündeln. Die maximale Trägerbreite ist bei 20 MHz geblieben, sodass die maximale Systembandbreite auf 640 MHz steigt. Gemäß Release 13 kann ein LTE-System in der Maximalstufe rund 25 Gbit/s pro Zelle übertragen. Damit will das 3GPP den mobilen Internetzugang weiter beschleunigen. Zwar hat zurzeit kein Netzbetreiber so viel Spektrum lizenziert, aber einige haben Reserven im 700-, 1500- oder auch 3500-MHz-Bereich, und zusätzlich sind im 5-GHz-Band mehrere Hundert MHz unlizenziertes Spektrum verfügbar, die sich mittels LAA bündeln lassen.

Verkehrstelematik per LTE

Damit viele Fahrzeuge sicherheitsrelevante Informationen umgehend austauschen können, bringt eine der zahlreichen LTE-Erweiterungen neben kürzeren Latenzen auch die direkte Kommunikation unter den Fahrzeugen.



Bis 25 GBit/s pro Zelle

Bis Release 12 lassen sich an der Basisstation acht Antennenelemente effektiv für die Mehrantennen-Übertragung nutzen (Multiple Input Multiple Output, MIMO), jedoch nur mit horizontaler Steuerung der Ausbreitung. Ab Release 13 lassen sich bis zu 16 Antennenelemente individuell ansteuern. Damit wird die gerichtete Übertragung verbessert (Beamforming) und auch die vertikale Ausbreitung lässt sich steuern. So nehmen unterm Strich die Reichweite und die Signalqualität zu und in städtischen Umgebungen können einzelne Stockwerke gezielt abgedeckt werden. Sind mehrere Geräte

gleichzeitig zu versorgen, kann eine Zelle mittels Multi-user MIMO jedem einen eigenen Beam spendieren. So nimmt auch die Netzkapazität zu.

Release 14 erhöht die Zahl der steuerbaren Antennenelemente von 16 auf 32. So können noch mehr einzelne Geräte mit separaten Beams gleichzeitig versorgt werden.

Antennengröße dennoch unverändert

Die zunehmende Zahl der Antennenelemente könnte manchen Netzbetreibern Sorgen machen, weil dadurch die Antennenkörper größer werden können.

Netzbetreiber ziehen jedoch kleine Antennen vor. Damit fallen Transport und Montage leichter, die Gefahr durch Windlast und der Platzbedarf sind kleiner und die Akzeptanz der Bevölkerung und des Antennenstandortvermieters sind besser.

Aber die Sorgen sind unbegründet. Schon heutige Antennenkörper enthalten typischerweise 16 Antennenelemente. Release 13 bringt die individuelle Ansteuerung hinzu – und wenn einzelne Elemente gezielt ansteuerbar sind, sind sie effizienter. Deshalb müssen Volume und Format heutiger Antennen nicht vergrößert werden und heutige Antennenstandorte stehen nicht infrage. Hilfreich kommt hinzu, dass die Größe der Antennenelemente umgekehrt proportional zur Trägerfrequenz ist – je höher die Frequenz, desto kleiner die Antennen. Daher kann man MIMO besonders auf höheren Frequenzen leichter nutzen, beispielsweise bei 2,6 GHz.

Maschinenfunk

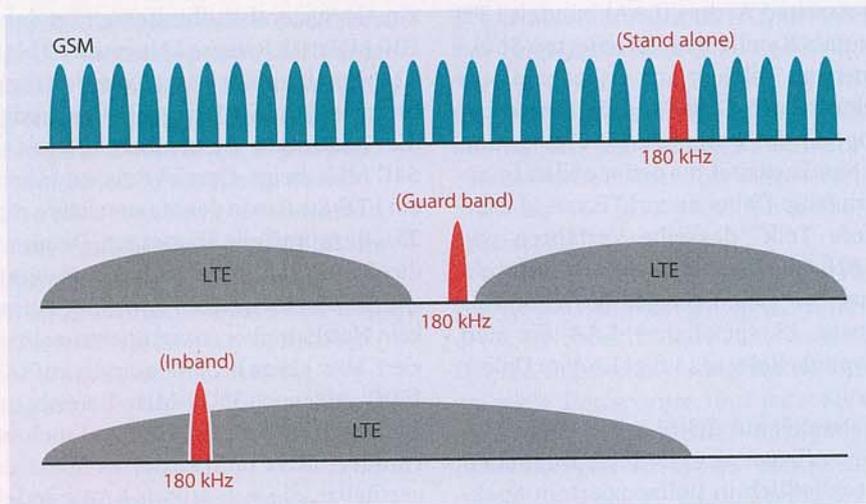
Unter M-MTC, massive Machine-type Communication, fasst man schmalbandige Funkssysteme zusammen, die sehr viele, meist kostengünstige, oft auch batteriebetriebene Dinge vernetzen. Solche Anwendungen sind zwar noch neu, aber von Netzbetreibern bereits sehr gefragt. Mit herkömmlichem LTE lassen sich die Anforderungen jedoch kaum erfüllen. Zwar genügt die Übertragungskapazität einer einzelnen LTE-Zelle, um Tausende von Endgeräten zu vernetzen – aber die für den Internetzugang ausgelegten Funkmodule sind zu teuer und zu energiehungrig. Außerdem reicht an vielen Standorten der Signalpegel üblicher LTE-Zellen nicht für eine Vernetzung aus, etwa bei Stromzählern im Keller.

Das 3GPP greift den M-MTC-Trend in Release 13 daher mit zwei Spezifikationen auf, die beide die Reichweite und den Signalpegel stark verbessern: Narrowband-IoT (NB-IoT) und enhanced Machine-type Communication (eMTC). Beide erzielen diese Verbesserungen im Wesentlichen durch robustere Modulationen (z. B. QPSK) und erhöhte Redundanz der übertragenen Daten. Zum Beispiel lässt sich der Empfang einer Nachricht durch Akkumulation von bis zu 2000 einzelnen Übertragungen sicherstellen. Rechnerisch entspricht das einem 100-fach besseren Signalpegel als bei üblichem LTE.

Deshalb sind damit sogar Geräte hinter einer zusätzlichen Stahlbeton-Keller-

Schmalbandiges LTE

NB-IoT eignet sich prima für heutige Spektrumaufteilungen – es lässt sich beispielsweise in Lücken betreiben, die GSM nach und nach frei lässt.



decke von heute üblichen LTE-Standorten erreichbar. Mit der Technik kann man aber auch den Zellradius erhöhen. Das geht bis zum Faktor 3,5; die Versorgungsfläche nimmt also etwa um den Faktor 12 zu. Unterm Strich kann man so bei gleichem Signalpegel die Anzahl der Standorte deutlich verringern. So können eMTC- und NB-IoT-Zellen mehrere Tausend schmalbandige Geräte versorgen.

Sparsender

Die Komplexität des Funkmoduls lässt sich reduzieren, weil die maximale Datenrate sowie die sende- und empfangsseitige Funkbandbreite sinken. eMTC liefert über einen 1,08 MHz breiten Träger maximal 1 MBit/s. NB-IoT nutzt einen 180 kHz breiten Träger und erreicht 200 kBit/s. Außerdem sinkt der Aufwand, weil die Endgeräte nur eine Empfangsantenne verwenden, während aktuelle Smartphones mindestens zwei enthalten müssen. Alle Maßnahmen zusammen drücken die Preise solcher Funkmodule auf wenige Euro pro Stück.

Bei IoT-Geräten sind die Aktivitätsphasen, in denen Nutzdaten gesendet werden müssen, selten und meist recht kurz. Deshalb lässt man sie zwischen durch schlafen und verbessert so die Energieeffizienz und damit die Batterielebenszeit. Bei nahezu vollständigem und sehr langem Abschalten des Funkmoduls sind deshalb Laufzeiten bis zu zehn Jahren möglich.

NB-IoT passt prima in heute übliche Spektrumaufteilungen der Netzbetreiber, denn die Kanalbreite entspricht einem GSM-Träger. Da der Bedarf an GSM-Trägern nachlässt, können Netzbetreiber leicht NB-IoT für einzelne unbenötigte GSM-Träger in ihr Spektrum einfügen. Außerdem passt NB-IoT sogar in manche Schutzabstandslücken zwischen LTE-Bändern (LTE-Guard-Bands; minimieren gegenseitige Funkstörungen). Oft braucht man die Guard-Bands nicht in der vollen Breite von rund 10 Prozent der Kanalbreite (etwa 1 MHz zwischen 10 MHz breiten LTE-Kanälen) und knappst dann ein wenig davon für NB-IoT ab.

Sogar der Inband-Betrieb inmitten eines LTE-Trägers ist möglich, weil NB-IoT und LTE das gleiche, zueinander orthogonale OFDM-Übertragungsverfahren nutzen und sich so aus dem Wege gehen. Dabei ist hilfreich, dass sich das Spektrum für das übliche Breitband-LTE ebenfalls in 180-kHz-Stücken portionieren lässt. So können Netzbetreiber ihr Funkspektrum lastabhängig entweder dem üblichen Breitband-LTE oder NB-IoT zuschlagen. Auch eMTC nutzt OFDM und ist daher für den Inband-Betriebsmodus geeignet, jedoch mit der Kanalbreite von sechs 180-kHz-Stückchen.

Mehr Reichweite, mehr Energieeffizienz und weniger Komplexität haben natürlich ihren Preis: Gegenüber LTE schrumpft bei M-MTC die maximale Datenrate, und die Signallaufzeiten nehmen zu. Zum Glück sind diese Merkmale für M-MTC-Anwendungen nebensächlich.

Neue Firmware für alle

Release 14 soll die Positionsbestimmung von NB-IoT- und eMTC-Endgeräten ver-



iX-Workshop

Rechtssicherheit bei der Protokollierung von Nutzerdaten

Was bei der Protokollierung von Daten technisch und rechtlich zu beachten ist

Dieser iX-Workshop hat das Ziel, größtmögliche Rechtssicherheit bei der Protokollierung der Daten von eigenen Mitarbeitern und Website-Besuchern zu erreichen, ohne dass dadurch die IT-Sicherheit und Handlungsfähigkeit des Unternehmens beeinträchtigt wird.

Dafür werden zunächst praxisnah die Probleme dargestellt, die aktuelle rechtliche Vorgaben im Rahmen der Nutzung moderner IT-Systeme mit sich bringen. Auf dieser Basis werden gemeinsam technische und organisatorische Ansätze entwickelt, die den juristischen Vorgaben insbesondere des Datenschutzes ebenso entsprechen wie den Notwendigkeiten des täglichen Umgangs mit Logdaten – ohne die wesentlichen Informationen zur Fehler-, Sicherheits- und ggf. auch Angriffsanalyse zu verlieren.

Termin: 2. November 2016, Hannover

Frühbuchergebühr (inkl. MwSt.): 738,00 Euro

Standardgebühr (inkl. MwSt.): 820,00 Euro

Melden
Sie sich
JETZT
an!

Ihr Referenten:



Dr. Christoph Wegener,
freiberuflicher Berater mit
der wecon.it-consulting



Joerg Heidrich, Heise Medien
GmbH & Co. KG, Justiziar

Eine Veranstaltung von:



Organisiert von:



Conferences, Seminars, Workshops



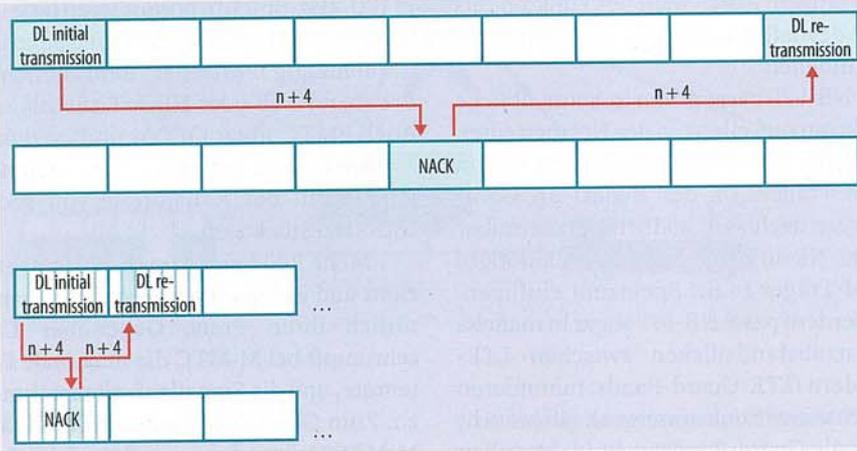
Workshop



Weitere Infos unter:
www.heise-events.de/risikologfiles
www.ix-konferenz.de

Kürzere Sendeintervalle

Es gibt diverse Möglichkeiten, die Latenz so weit zu kürzen, dass man LTE-Geräte auch unter zeitkritischen Bedingungen einsetzen kann. Ein Weg besteht darin, das Übertragungsintervall zu verringern (obere zwei Zeilen: TTI-Abfolge zwischen Sender und Empfänger, untere zwei Zeilen: sTTI)



bessern sowie Multicast- und Broadcast-Übertragungen einbauen. Damit soll man beispielsweise die Firmware von vielen IoT-Geräten auf einmal aktualisieren können. Endgeräte sollen zudem unmittelbar miteinander kommunizieren können (Device-to-Device-Kommunikation, D2D). Erste Ansätze für LTE-D2D stecken schon in Release 12, jedoch deckt erst Release 13 das Anwendungsfeld komplett ab. Das fasst man unter „Public Safety“ zusammen – Funk für Polizei und Rettungsdienste.

Die D2D-Technik soll einspringen, wenn im Einsatzfall die übliche LTE-Infrastruktur fehlt. In solchen Situationen können D2D-Geräte unmittelbar, also ohne Basisstationen und Kernnetze miteinander kommunizieren. LTE mit D2D des Release 13 kann man daher als Alternative für den digitalen Bündelfunk TETRA sehen.

Mit Release 14 wird D2D für die Verkehrstelematik erweitert (Intelligent Transportation Systems, ITS). Da dabei alle Arten von Fahrzeugen Daten austauschen, auch Pkws und Lkws, spricht man von Vehicle-to-Vehicle-Kommunikation (V2V). Dafür braucht man kürzere Latenzen und höhere Zellenkapazitäten, weil sehr viele Fahrzeuge sicherheitsrelevante Informationen sehr oft und sehr schnell austauschen müssen.

LTE-V2V konkurriert mit der etwas älteren IEEE-Spezifikation 802.11p. Erste Untersuchungen deuten auf eine höhere Leistungsfähigkeit der LTE-Spezifikation;

speziell die Reichweite und damit die Verfügbarkeit sind besser [5]. Damit man alle ITS-Anwendungen abdecken kann, braucht man noch eine Vehicle-to-Network-Komponente (V2N). Die LTE-Netzinfrastruktur eignet sich bereits für ITS-Dienste auf Basis von V2N-Funknetzen. Release 14 soll Optimierung für die V2V-Anwendung bringen.

Release 15 erweitert D2D für Smart Wearables wie Smart Watches, Augmented-Reality-Brillen oder Fitnessarmbänder. In der Vision der 3GPP-Entwickler haben künftige Smart Wearables zwei Funksysteme an Bord: Ein schmalbandiges IoT-Funksystem kommuniziert mit dem Netz und eine D2D-Einheit koppelt an das Smartphone an. Wie bei IoT, so streben Entwickler auch hier einen energieeffizienten Betrieb und die Reduktion der Komplexität für die Miniaturisierung und Kostensenkung an.

Noch kürzere Latenzen

Die Latenzreduktion gegenüber GSM/EDGE und UMTS war beim ursprünglichen LTE-Design in Release 8 ein großes Thema und dann erst wieder in Release 13 – weil manche C-MTC-Anwendungen kürzere Latenzen brauchen, als in LTE-Netzen üblich sind.

Ein wichtiger Schlüssel zur Reduktion liegt in der Verkürzung der Frist, bis angeforderte Funkressourcen einem Endgerät zur Verfügung stehen. Das erreicht man nun durch einen Trick: Anstatt eine Bedarfsmeldung abzuwarten, merkt sich das

Netz die Zellen, in denen C-MTC-Geräte eingebucht sind und reserviert für diese die Funkressourcen. Sie stehen dann für zeitkritische Anwendungen unmittelbar zur Verfügung. So sinken die Zugriffszeiten für Endgeräte von rund 10 ms auf etwa 1 bis 2 ms. Die netzseitigen Zugriffszeiten sind bei LTE bereits sehr kurz und liegen schon bei 1 bis 2 ms.

Außerdem verkürzt man in Release 14 und 15 das Übertragungsintervall (Transmission Time Interval, TTI). Bisher dauert ein Intervall 1 Millisekunde (1 LTE-Subframe, also 14 OFDM-Symbole). Release 14 spezifiziert ein kürzeres Intervall namens sTTI, das lediglich 2 OFDM-Symbole lang ist. Das verkürzt die Round-Trip Time (RTT) auf dem MAC-Layer und somit bei Übertragungsfehlern die Frist bis zur Sendewiederholung.

Heute ist im LTE die RTT durch eine „n+4-Regel“ definiert: 4 TTIs nach der initialen Übertragung muss das Feedback eintreffen (siehe Grafik). Wird ein Übertragungsfehler festgestellt, erfolgt 4 TTIs später die Sendewiederholung. Wenn man diese Regel auch auf das siebenmal kürzere sTTI anwendet, schrumpft nicht nur die Übertragungszeit, sondern auch die RTT um den Faktor 7.

C-MTC braucht neben kürzeren Latenzen auch eine höhere Zuverlässigkeit. Release 15 könnte diesen Anspruch beispielsweise mit einer robusteren Kanalcodierung oder mit schnellen Wiederholungen der Paketübertragung erfüllen.

Je höherwertig ein Modulationsverfahren, desto mehr Nutzdaten lassen sich pro Sendeschritt übertragen. Damit nehmen die spektrale Effizienz und die maximale Datenrate des Systems zu. Beides braucht man für schnelles mobiles Internet. Höherwertige Modulationsverfahren lohnen sich aber nur bei sehr guten Funkkanälen, denn je schlechter ein Kanal ist, desto höher die Fehlerrate und desto geringer der Durchsatz. Gute Funkkanäle sind aber um so seltener, je größer die Distanz zwischen Sender und Empfänger ist.

Das kann man durch kürzere Distanzen und bessere Empfänger kompensieren. Weil Netzbetreiber zunehmend mehr Zellen mit kleinen Radien einsetzen und Hersteller die Empfangsgüte in den Endgeräten und Basisstationen mit zusätzlichen Antennen verbessern, erhöht Release 13 die maximale Modulationsstufe des Uplinks von 16QAM auf 64QAM (4 Bit/s/Hz auf 6 Bit/s/Hz). Die des Downlinks steigt von 64QAM auf 256QAM

(8 Bit/s/Hz). Release 14 spezifiziert die 256QAM-Stufe für den Uplink. Ob man später auch 1024QAM für den Downlink einsetzt (10 Bit/s/Hz), wird noch diskutiert.

Gleiche Daten für alle

Mit Multimedia Broadcast und Multicast Service (MBMS) lassen sich gleiche Inhalte an viele Nutzer gleichzeitig übertragen – damit steigert man die Effizienz. Im Betriebsmodus MBMS Single-Frequency Network (MBSFN) senden mehrere Funkzellen das gleiche Signal und verbessern damit den Empfangspegel. Zugleich nimmt so die Interferenz zwischen Nachbarzellen ab, speziell an den Zellenrändern. So wird an den neuralgischen Stellen des Netzes die Versorgung verbessert.

Release 13 ergänzt MBSFN um das Verfahren Single-Cell Point-to-Multipoint (SC-PtM). Dabei sendet eine einzige Zelle die Signale an alle Teilnehmer, die sie versorgt. Dies verbessert zwar nicht die Empfangsgüte über Zellgrenzen hinweg, aber es entlastet das Netz vom mehrfachen Aussenden, wenn sich alle Empfänger in derselben Zelle befinden. So berücksichtigt SC-PtM die Gruppenkommunikation beim Public Safety, bei dem eine Gruppe von Einsatzkräften lokal miteinander kommuniziert, beispielsweise bei der Feuerbekämpfung.

In Release 14 arbeitet man an einer Erhöhung der MBFSN-Kapazität; bisher lassen sich nämlich nur sechs der zehn LTE-Subframes MBSFN zuweisen. Das Ziel ist es, alle zehn LTE-Subframes für MBSFN zu nutzen. So könnte man einen LTE-Träger besser temporär oder sogar dauerhaft etwa zur Rundfunkübertragung einsetzen und LTE letztlich zur Verbreitung von Fernsehinhalten erschließen.

Kommende Gerätekategorien

Die Gerätekategorien gruppieren LTE-Modems in verschiedene Leistungsklassen. Zunächst fällt auf, dass die schmalbandigen IoT-Funksysteme eigene Kategorien am unteren Ende der Leistungsskala bekommen haben: Dabei steht Cat-NB1 für NB-IoT und Cat-M1 für eMTC. Erste Geräte dieser Kategorien kann man bereits Anfang 2017 erwarten.

Am oberen Ende der Skala kommen Geräte mit höherwertigen Modulationen und 32-facher Trägerbündelung hinzu. Von Cat-17-Geräten mit 256QAM und 32 Trägern kann man daher Spitzendatenraten von 25 GBit/s erwarten. Cat-14-Geräte liefern im Uplink bis zu 9,5 GBit/s. Zwar liegt die Markteinführung solcher Geräte noch in sehr weiter Ferne, aber mit ersten Schritten wie etwa 256QAM und der Bündelung von mehr als drei Trägern ist schon mittelfristig zu rechnen. (dz@ct.de) **ct**

Dr. Christian Hoymann und Dr. Michael Meyer arbeiten bei Ericsson Eurolab in Herzogenrath als Principal Researcher und als Research Manager.

Literatur

- [1] Ref: Ericsson Mobility Report June 2016; <https://www.ericsson.com/res/docs/2016/ericsson-mobility-report-2016.pdf>
- [2] Dr. Michael Meyer, Siebenmeilenfunk, LTE setzt neue Maßstäbe im Mobilfunk, c't 25/10, S. 196
- [3] Dr. Guido R. Hiertz, Dr. Christian Hoymann, Dazwischenfunken, Wie LTE-Mobilfunk am 5-GHz-Band teilhaben will, c't 3/15, S. 168
- [4] www.multifire.org
- [5] Blasco et al., 3GPP LTE Enhancements for V2V and Comparison to IEEE 802.11p, EU ITS Congress 2016

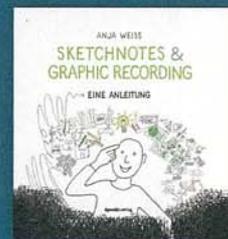
Neu bei dpunkt

A. Weiss

Sketchnotes & Graphic Recording

Eine Anleitung

2016, 206 Seiten
 € 26,90 (D)
 ISBN 978-3-86490-359-5

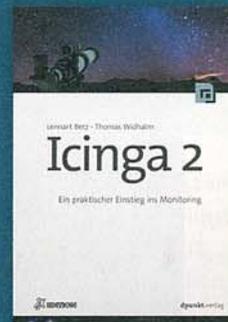


L. Betz · T. Widhalm

Icinga 2

Ein praktischer Einstieg ins Monitoring

2016, 350 Seiten
 € 36,90 (D)
 ISBN 978-3-86490-333-5



A. Sweigart

Routineaufgaben mit Python automatisieren

Praktische Programmierlösungen für Einsteiger

2016, 576 Seiten
 € 29,90 (D)
 ISBN 978-3-86490-353-3

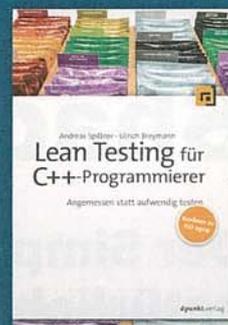


A. Spillner · U. Breyman

Lean Testing für C++-Programmierer

Angemessen statt aufwendig testen

2016, 246 Seiten
 € 29,90 (D)
 ISBN 978-3-86490-308-3



N. Dhanjani

IoT-Hacking

Sicherheitslücken im Internet der Dinge erkennen und schließen

2016, 302 Seiten
 € 34,90 (D)
 ISBN 978-3-86490-343-4



Wieblinger Weg 17 · D-69123 Heidelberg
 fon: 0 62 21 / 14 83 40 · fax: 0 62 21 / 14 83 99
 e-mail: bestellung@dpunkt.de
www.dpunkt.de

plus+
 Buch + E-Book:
www.dpunkt.de/plus