

Das Core-Netzwerk von LTE

Teil 3 der Artikelserie über den neuen Mobilfunkstandard

Die Weiterentwicklung der Mobilfunksysteme bedingt das optimale Zusammenwirken der verschiedenen Systemkomponenten. Dementsprechend sind das Radio-Access-Netzwerk und das Core-Netzwerk in der neuen Systemarchitektur aufeinander abgestimmt. Der 3. und letzte Teil der Artikelserie beschreibt die Netzwerkelemente des Core-Netzwerks und einige ihrer wichtigsten Funktionen.

Das existierende Core-Netzwerk (CN) wurde in den 80er-Jahren für GSM entworfen und in den 90er-Jahren für GPRS und UMTS erweitert. Um sicherzustellen, dass das CN auch in der Übergangsphase zu LTE weiter verwendet werden kann, ist von der 3GPP-Organisation eine Studie zur

Rolf Hofstetter, Rudolf Tanner

System Architecture Evolution (SAE) initiiert worden. Mittlerweile wurde die SAE in Evolved Packet System (EPS) Architecture umbenannt. Im Zusammenhang mit LTE haben die Begriffe SAE und EPS aber die gleiche Bedeutung. Mit der neuen Architektur soll die bisher vorhandene Leitungsvermittlung vollständig durch die Paketvermittlung ersetzt werden. Die Übergänge zu andern Festnetzwerken wie dem leitungsvermittelten Telefonnetzwerk werden durch das IP Multimedia Subsystem (IMS) abgewickelt. Letztere sind heute bei vielen Mobilfunknetzbetreibern schon vorhanden oder werden aufgebaut. Das zukünftige Core-Netzwerk unterstützt sowohl LTE und die HSPA Evolution von WCDMA bzw. UMTS als auch die Einbindung von anderen IP-Access-Systemen wie WLAN und WiMAX. Damit kann LTE dort punktuell eingeführt werden, wo Bedarf nach zusätzlicher Übertragungskapazität besteht.

Die Evolved-Packet-System-Architektur

Die neue EPS-Architektur muss den gleichzeitigen Betrieb unterschiedlicher Funknetzwerke (RAN) unterstützen. Dies bedeutet, dass das EPS die Mobilität, das Roaming und das Handover zwischen ihnen ermöglicht. Dies sowohl zwischen

den verschiedenen RAN wie auch zu anderen EPS- bzw. Mobilfunknetzwerken.

Auch an die Dienstqualität (Quality of Services, QoS) werden hohe Anforderungen gestellt. So dürfen die Handover bei Sprechverbindungen keine wahrnehmbaren Störungen verursachen. Dies unabhängig davon, ob das Handover zwischen zwei paketvermittelten Access-Netzwerken oder zwischen einem paket- und einem leitungsvermittelten Access-Netzwerk erfolgt. Selbstverständlich dürfen auch bei Datenverbindungen keine Daten verloren gehen. Die End-zu-End-Übertragungszeit soll kleiner als 20 ms werden, wobei das Core-Netzwerk max. 5 ms beanspruchen darf.

Die EPS-Architektur muss zudem die Zusammenarbeit mit den bisherigen paket- und leitungsvermittelten Diensten ermöglichen. Dieses Interworking bedeutet jedoch nicht, dass spezifische Dienste der Leitungsvermittlung unterstützt werden. Das EPS wird IPv4- und IPv6-Verbindungen sowie IP-basierte Dienste unterstützen. Dazu gehören Verbindungen zwischen Netzen und/oder zwischen Endgeräten mit unterschiedlichen IP-Versionen.

Für eine möglichst gute Mobilität zwischen LTE, UMTS (d.h. WCDMA) und GSM sollte das neue QoS-Konzept von EPS rückwärtskompatibel zu den bisherigen QoS-Konzepten von 3GPP sein. Bezüglich

Sicherheit muss das EPS mindestens gleich gut sein wie bisher und die Privatsphäre der Benutzer möglichst gut schützen [1, 2].

Das Core-Netzwerk

Für das zukünftige LTE-Mobilfunksystem wurde eine flache Hierarchie mit wenigen Systemkomponenten gewählt, was für kurze Übertragungszeiten unabdingbar ist (Bild). Dies ermöglicht zudem eine gute Skalierbarkeit, die wenig vom Datenvolumen abhängt. Die Netzwerkkapazität muss hauptsächlich wegen der Zunahme der Anzahl Teilnehmer vergrößert werden.

Die systemspezifischen Funktionen sind parallel dazu so aufgeteilt, dass zum einen das Core-Netzwerk bezüglich der Technologie der Access-Netzwerke unabhängig ist und zum anderen die Übertragungszeiten der IP-Pakete und deren Schwankungen (d.h. der Jitter) minimal gehalten werden können [3].

Das Core-Netzwerk enthält folgende Funktionen:

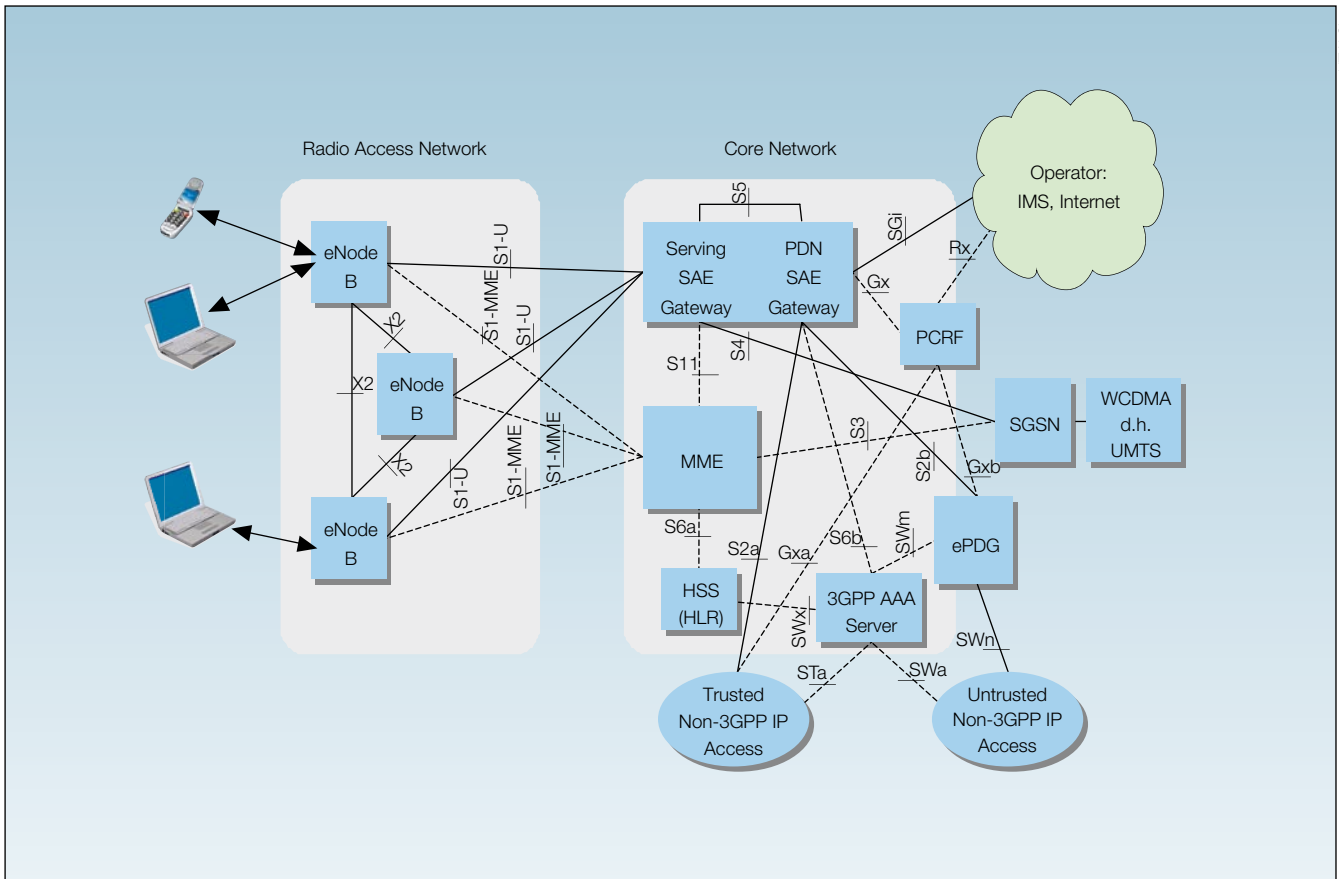
- Charging
- Subscriber management
- Mobility management
- Bearer management and QoS-handling
- Policy control of user data flows
- Interconnection to external networks

Es unterscheidet sich wesentlich vom GSM/GPRS-Netzwerk. Aus diesem Grund wird es auch Evolved Packet Core (EPC) genannt. Die EPS-Architektur basiert vollständig auf der Paketvermittlung und verfolgte von Beginn an das Ziel, die Anzahl Netzwerkknoten zu minimieren. Die Basisstationen des RAN (eNode B) sind über die Schnittstelle S1-U mit dem SAE-Gateway (für Benutzer-Pakete) bzw. über die Schnittstelle S1-MME mit der Mobility Management Entity (MME, für Kontroll-Pakete) verbunden. Die ausgezogenen Linien im Bild zeigen die Wege der Benutzer-Pakete im Netz.

Die Signalisierung für Kontrollzwecke, beispielsweise für die Mobilität, wird durch die Mobility Management Entity (MME) behandelt. Die MME ist auch für die Verteilung der Pager-Meldungen an die eNode B zuständig (Pagermeldungen werden beispielsweise gebraucht, um Anrufe zu einer Mobilstation aufzubauen). Die Wege der Kontrollinformationen sind im Bild gestri-

Abkürzungen

Die in diesem Artikel verwendeten Abkürzungen und ihre Erklärungen sind auf Seite 17 aufgelistet.



Das Evolved-Packet-Core-Netzwerk.

chelt eingetragen (Kontroll-Ebene, Control Plane).

Die Gateways und die Mobility Management Entity sind über die offene Schnittstelle S11 miteinander verbunden. Es besteht die Möglichkeit, das Gateway mit der optionalen Schnittstelle S5 in zwei separate Knoten aufzuteilen. Das ermöglicht dem Netzbetreiber, die Knoten entsprechend den Bedürfnissen optimal zu platzieren.

Bestehende Systeme wie GSM und UMTS/HSPA (d.h. WCDMA/HSPA) können über standardisierte Schnittstellen mit dem SAE-Gateway (S4) bzw. mit der Mobility Management Entity (S3) verbunden werden, um so die Mobilität zwischen den verschiedenen RAN sicherzustellen.

Das Core-Netzwerk wirkt in der EPS-Architektur als Anker für die Mobilität. Damit ist sichergestellt, dass das Core-Netzwerk-Handling der User Plane vom Terminal während einer Verbindung nicht verändert wird. Aufgrund der flachen Architektur muss das Core-Netzwerk im Zusammenhang mit der User Plane in der Lage sein, Verbindungen zu jedem eNode B des RAN herzustellen. Dazu ist es auch notwendig, dass das Core-Netzwerk immer weiss, wohin es die Benutzerpakete routen muss. Die eNode B ihrerseits sind untereinander über

die Schnittstelle X2 vernetzt. Diese ermöglicht einerseits schnelle Inter-eNode-B-Handover und andererseits die rasche Übernahme der Aufgaben von einem ausgefallenen Knoten [4].

Die Mobility Management Entity

Die Mobility Management Entity (MME) ist für die Signalisierung in der Control Plane zuständig. Dies beinhaltet speziell das Mobility Management und die Behandlung des Idle Mode¹. Das heisst, sie ist für die Kontrollmeldungen bzw. die Signalisierung im Zusammenhang mit der Anmeldung, der Authentifizierung, der Lokalisierung und dem Roaming zuständig. Dazu holt sie vom HSS die Benutzerprofile und speichert sie bei sich ab. Sie enthält Funktionen für die Erreichbarkeit der Endgeräte und weist beispielsweise den Endgeräten die Identifikationen für die Tracking Areas zu, die von ihr bedient werden. Sie wählt das Serving Gateway und das PDN Gateway sowie die neue MME bei einem Handover mit einem MME-Wechsel. Die MME koordiniert die logischen Kanäle (Bearer) und baut die zugeordneten Kanäle auf (Dedicated Channels). Sie ermöglicht auch gesetzeskonforme Eingriffe auf den Signalisierungsver-

kehr. Die MME und das Serving Gateway können im gleichen oder in separaten Netzwerkknoten untergebracht sein [5].

Das SAE Gateway

Das SAE Gateway besteht aus zwei logischen Gateways: das Serving Gateway und das Packet Data Network (PDN) Gateway [5]. Das Serving Gateway (GW) terminiert die Schnittstellen zum RAN. Jedes Benutzergerät (UE, User Equipment) ist gleichzeitig nur mit einem einzigen Serving GW verbunden. Das Serving GW ist der lokale Bezugspunkt bzw. Anker für die Inter-eNode-B- und Inter-3GPP-Mobilität (d.h. innerhalb des RAN und zu anderen 3GPP-Netzen). Es kann Pakete routen und weiterleiten und behandelt den QoS Class Identifier im Zusammenhang mit dem QoS-Konzept (Setzen des DiffServ Code Point im IP-Paket). Es verrechnet den Teilnehmern die Benutzung des Up- und des Downlinks entsprechend den Diensten (UL- und DL-Gebührenerfassung). Das Serving GW unterstützt zudem gesetzeskonforme Eingriffe zugunsten von Strafverfolgungsbehörden.

Das Packet Data Network Gateway terminiert die Schnittstelle (SGi) zum Paket-

Daten-Netzwerk. Falls ein Benutzergerät Verbindungen zu mehreren Paketdaten-netzwerken hat, können mehrere PDN Gateways involviert sein. Es ordnet dem Benutzergerät die IP-Adresse zu und kann Pakete auf Benutzerbasis filtern. Das PDN Gateway unterstützt gesetzeskonforme Eingriffe. Zudem enthält es folgende Funktionen [5]:

- Up- und Downlink service level charging
- Transport level packet marking
- UL and DL service level control
- UL and DL service level rate enforcement
- UL and DL rate enforcement based on APN-AMBR
- DL rate enforcement based on aggregate MBRs of aggregate of SDF
- DHCPv4- und DHCPv6-Funktionen
- UL und DL bearer binding
- RFC-4861-Funktionen (wie Neighbor Discovery für IPv6)

Die Policy and Charging Rules Function

Die Policy and Charging Rules Function (PCRF) umfasst zwei Hauptfunktionen: die datenflussbasierende Verrechnung inklusive Kontrolle der Verrechnung und Online-Kreditkontrolle sowie die Policy Control – die Erlaubniserteilung für die Nutzung einer Ressource, QoS-Kontrolle, QoS-Signalisierung etc.

Die PCRF liefert die Netzwerkkontrollinformationen im Zusammenhang mit den Datenflüssen der Dienste, der Torwächterfunktion für die Kontrolle der Benutzung der Ressourcen sowie der QoS- und Datenfluss-abhängigen Verrechnung an die Policy and Charging Enforcement Function, die sich im Packet Data Network Gateway befindet [5].

Es gibt viele unterschiedliche Dienste, die innerhalb des Netzes genutzt werden können, wie Benutzer-Benutzer- oder Benutzer-Netzwerk-Dienste. Die Datenflüsse von diesen Diensten lassen sich auf viele unterschiedliche Arten identifizieren und verrechnen. Die Policy-and-Charging-Richtlinien können durch den Betreiber dementsprechend für jeden einzelnen Dienst konfiguriert werden. So ist es möglich, einen netzinternen Dienst gratis anzubieten. Das Core-Netzwerk soll dazu die kosteneffiziente Kontrolle und Belastung von IP-Datenflüssen gewährleisten. Online-Belastungen sollen möglich sein. Es muss auch eine differenzierte Belastung (z.B. bezüglich Mehrwertsteuer) und eine ereignisabhängige Belastung unterstützt werden können. Selbstverständlich ist dabei die Identität des Benutzers, die Tageszeit, der Roving-Status, die QoS, der benutzte Dienst etc. aufzuzeichnen.

Die Charging-Funktion unterstützt unter anderem folgende Abrechnungsmodelle: der Anrufer bezahlt, die Bezahlung basiert auf der zugesicherten QoS, die Bezahlung hängt vom Transport ab, die Bezahlung basiert auf einem Ereignis, die Bezahlung hängt vom Inhalt ab oder andere bezahlen [2].

Die Erlaubnis für einen Dienst wird abhängig von den dienstspezifischen Datenflüssen erteilt. Damit die PCRF dies machen kann, muss ihr die Application Function (AF) Ereignisse der Sitzungen rapportieren (z.B. Sitzungsende, Veränderungen). So kann beispielsweise die Beendigung einer Sitzung in der Torwächterfunktion die Blockierung der Pakete auslösen. Die Application Function befindet sich im Packet Data Network und ermöglicht die dynamische Kontrolle von Policy und Charging.

Der Home Subscriber Server

Die Funktionen des Home Location Register (HLR) und des Authentication Centers (AuC) von GSM/WCDMA sind in der EPS-Architektur im Home Subscriber Server (HSS) vereinigt. Der HSS ist über die Schnittstelle S6a mit der MME verbunden. Diese Schnittstelle basiert auf Diameter²⁾ und ist wie alle anderen Schnittstellen im EPS auch eine IP-Schnittstelle.

Der Home Subscriber Server ist die Datenbank mit den Benutzer- und Abonnementinformationen, die vom Netzwerk für die Behandlung der Anrufe und Sitzungen benötigt werden. Es unterstützt u.a. die Identifikation, die Zugangsautorisierung, die Authentifizierung, das Mobility Management, den Aufbau von Sessions, die Benutzersicherheit, das Anbieten von Diensten und die damit zusammenhängende Autorisierung [5, 6].

Einbindung von anderen Mobilfunksystemen

Das SAE-Core-Netzwerk erlaubt die Integration von unterschiedlichen Radio-Access-Netzwerken. Dabei ist zwischen 3GPP- und Non-3GPP-Systemen zu unterscheiden. Bei 3GPP-Systemen haben die Mobile Management Entity und das SAE-Serving-Gateway Verbindungen zum Serving GPRS Support Node (S3 bzw. S4).

Non-3GPP-Systeme, wie WLAN und WiMAX, können über das Packet Data Network Gateway mit eingebunden werden. Dazu werden zusätzlich ein 3GPP AAA Server³⁾ sowie ein Evolved Packet Data Gateway (ePDG) benötigt. Der Netzbetreiber entscheidet, ob es sich dabei um ein vertrauenswürdiges (trusted) oder ein nicht vertrauenswürdiges (untrusted) IP-Access-Netzwerk handelt. Letztere werden dabei

für die Nutzdaten indirekt über das ePDG mit dem Paket-Daten-Netzwerk-Gateway verbunden [3].

Die benötigten Übertragungskapazitäten

Die eNode B müssen mit leistungsfähigen Übertragungssystemen sowohl mit dem Evolved Packet Core wie auch mit benachbarten eNode Bs verbunden werden. Die notwendige Übertragungskapazität für die Verbindung zwischen dem Serving Gateway und einer eNode B hängt von der Spitzen-Datenrate des gesamten Datenflusses eines eNode B in Abwärtsrichtung⁴⁾ ab, die je nach Bedarf 100 Mbit/s oder ein Vielfaches davon sein wird (z.B. 300 Mbit/s). Dementsprechend müssen die Verbindungen zwischen den eNode Bs und dem Serving Gateway für 100 Mbit/s oder ein Vielfaches davon (z.B. 300 Mbit/s) ausgelegt sein. Die Verbindungen zur Mobile Management Entity benötigen nur ein Bruchteil davon und können möglicherweise physikalisch mit den andern zusammengelegt werden.

Die benötigte Übertragungskapazität der Verbindungen zwischen den eNode Bs wird durch die von ihnen gerouteten Datenflüsse bestimmt. Bei einer Spitzendatenrate von 100 Mbit/s dürften ein paar 10 Mbit/s genügen, da nur ein Teil des Datenflusses während eines Handover zu benachbarten eNode Bs umgeleitet wird. Bestehende GSM/UMTS-Basisstationen sind typischerweise mit Übertragungskapazitäten zwischen 2 und 20 Mbit/s an den zugehörigen Controller angeschlossen. Dafür werden oft Richtfunkverbindungen verwendet. Für 100 Mbit/s und mehr kommen auch leitungsgebundene optische Übertragungssysteme zum Einsatz, die sich später gegebenenfalls für 1 Gbit/s oder mehr aufrüsten lassen. Zudem könnten Synergien im Zusammenhang mit dem Aufbau von FTTH-Netzwerken genutzt werden.

LTE-Netz ist auf Geschwindigkeit getrimmt

Der Evolved Packet Core besteht aus wenigen aufeinander abgestimmten Netzwerkelementen. So durchlaufen Nutzdatenpakete in der User Plane zwischen Endgerät und dem Paket-Daten-Netzwerk (PDN) nur den eNode B und das SAE Gateway. Mit dem EPC können deshalb die Anforderungen von zeitkritischen interaktiven Anwendungen erfüllt und schnelle Reaktionszeiten realisiert werden. Der Evolved Packet Core ermöglicht nebst LTE- und WCDMA- bzw. UMTS-Systemen auch die Anbindung von Nicht-3GPP-Systemen wie WiFi oder WiMAX.

Das Core-Netzwerk ist so ausgelegt, dass es grosse Datenflüsse bewältigen kann. Um dies zu nutzen, müssen bei LTE die Antennenstandorte im Gegensatz zu heute jedoch mit hochbitratigen Übertragungssystemen erschlossen werden. Denkbar ist hierfür eine sternförmige Anbindung mit Richtstrahlverbindungen (z.B. 155 Mbit/s) und einem optischen Übertragungssystem (z.B. 1 Gbit/s) als Zubringer zum Sternpunkt.

Referenzen

- [1] 3GPP: Radio Access Network; Feasibility study for evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) and Universal Terrestrial Radio Access Network (UTRAN). TR 25.912, V7.2.0, Juni 2007.
- [2] 3GPP: Services and System Aspects; Service requirements for the Evolved Packet System (EPS). TS 22.278, V8.6.1, September 2008.
- [3] 3GPP: Services and System Aspects; Architecture enhancements for non-3GPP accesses. TS 23.402, V8.3.0, September 2008.
- [4] 3GPP: Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2. TS 36.300, V8.3.0, Dezember 2007.
- [5] 3GPP: Services and System Aspects; General Packet Radio Service (GPRS) enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) access. TS 23.401, V8.3.0, September 2008.
- [6] 3GPP: Services and System Aspects; 3GPP System Architecture Evolution (SAE): Security architecture. TS 33.401, V8.1.0, September 2008.

Angaben zu den Autoren

Prof. Dr. **Rolf Hofstetter** ist seit 1995 Dozent an der Hochschule für Technik und Wirtschaft HTW Chur, wo er von Mai 2000 bis Ende 2005 den Studiengang Telekommunikation und Informatik leitete. Vorher war er Entwicklungsingenieur im Forschungszentrum von Alcatel SEL in Stuttgart. HTW Chur, 7000 Chur, rolf.hofstetter@fh-htwchur.ch

Dr. **Rudolf Tanner** ist Engineering Manager bei Abilis Systems von der Kudelski-Gruppe. Er war bis vor Kurzem Dozent an der HTW Chur. Von 1998 bis 2001 arbeitete er bei Nortel Networks (UK)

an Space-Time-Coding- und MIMO-Technologien. Von 2001 bis 2006 arbeitete er bei UbiNetics Ltd. in der WCDMA-Testgeräte-Division und leitete zuletzt die F&E-Abteilung. Abilis Systems SA, 1228 Plan-Les-Quates, rudolf.tanner@ieee.org

¹ Im Idle Mode befindet sich ein Endgerät, das eingeschaltet und erreichbar ist, aber typischerweise noch keine aktive Kommunikationsverbindung hat.

² Diameter ist ein IP-Protokoll für Authentifizierung, Autorisierung und Accounting (RFC 3588).

³ AAA bedeutet hier Access, Authentication and Authorization.

⁴ In Aufwärtsrichtung ist aufgrund der Asymmetrie die halbe Kapazität nötig. Die Verbindungen werden aber wahrscheinlich symmetrisch ausgelegt sein.

Résumé

Le réseau de base de la LTE

3^e partie de la série d'articles sur la nouvelle norme de téléphonie mobile. Le développement des systèmes de téléphonie mobile (LTE, Long Term Evolution) nécessite une interaction optimale des différents composants de système. Aussi le réseau d'accès radio et le réseau de base sont-ils adaptés l'un à l'autre dans la nouvelle architecture de système. Ce troisième et dernier article décrit les éléments du réseau de base et quelques-unes des principales fonctions.