

Femtozellen – Base Stations For The Masses

Sören Ruttkowski

Seminar Innovative Internet-Technologien und Mobilkommunikation, WS 2008/2009

Institut für Informatik, Lehrstuhl Netzarchitekturen und Netzdienste
Technische Universität München

ruttkows@in.tum.de

Kurzfassung

Um den steigenden Bandbreitenbedarf auf mobilen Endgeräten auch weiterhin zu decken und die allgemeine Leistung nicht zu verschlechtern, ist eine Verkleinerung der Zellgrößen im Mobilfunkbereich unabdingbar. Femtozellen sind heimische Basisstationen, die mit sehr geringer Leistung senden und verbreitete Mobilfunktechnologien verwenden. Auch wenn in den letzten Jahren die Voraussetzungen für einen breiten Einsatz von Femtozellen in der Bevölkerung geschaffen wurden, z.B. durch eine hohe Anzahl an Breitbandverbindungen, so sind noch einige technische Probleme zu lösen, die in diesem Paper diskutiert und zu denen erste Lösungsansätze aufgezeigt werden.

Schlüsselworte

Femtozelle, NodeB, UMTS, 3GPP, Mobilfunk, Bandbreite

1. Einleitung

Femtozellen sind seit kurzem mehr und mehr in den Fokus der Aufmerksamkeit der gesamten Mobilfunkbranche geraten. Femtozellen sind dabei insbesondere für Mobilfunknetzbetreiber interessant, um ihren Kunden höhere Datenraten in den eigenen vier Wänden und in Gebieten mit unzureichender Abdeckung durch Makrozellen zur Verfügung zu stellen und ermöglichen somit neue Geschäftsmodelle. Da der Durchbruch der Femtozellen in den breiten Markt laut Marktprognosen [7] kurz bevorsteht, sollen im Folgenden die Technologie, sowie noch zu lösende Probleme der Femtozellen beschrieben und Lösungsansätze für diese Probleme vorgestellt werden.

2. Definition einer Femtozelle

Eine Femtozelle ist laut Femto Forum [6] ein heimischer Zugangspunkt mit geringer Sendestärke von unter 100 mW EIRP, was von der Sendeleistung her in der Größenordnung eines üblichen WLAN Routers liegt. Femtozellen nutzen aber im Gegensatz zu WLAN Routern Technologien, wie das Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) und arbeiten somit im lizenzierten Spektrum, unterliegen also gesetzlichen Regulierungen und müssen vom Netzbetreiber kontrolliert und verwaltet werden können. Die Verwaltung dient hierbei dem Schutz des Mobilfunkbetriebsnetzes und ermächtigt die Netzbetreiber zudem allen gesetzlichen Vorgaben bezüglich der Mobilfunklizenzen gerecht werden zu können (siehe 4.4). Femtozellen transportieren die Anrufe und Daten der Nutzer dabei anders als andere Netzbestandteile, wie etwa Mikro- oder Picozellen nicht über die hierarchische Netzstruktur des Netzoperators, sondern direkt über die Breitbandverbindung des Kunden. Das Ziel solcher Femtozellen besteht darin, für den Netzbetreiber kostengünstig Abdeckung und Kapazität bereitzustellen, so dass dieser auf weitere Makro- oder Mikrozellen verzichten können. [6]

Femtozellen und Picozellen unterscheiden sich von Makro- und Mikrozellen durch die Größe der abgedeckten Fläche, da diese bei beiden nur einige zehn Meter im Radius, bei Makrozellen aber

zwischen 350m und 20km und bei Mikrozellen zwischen 50m und 300m beträgt.

3. Gründe für Femtozellen

Femtozellen sind insbesondere in der letzten Zeit immer wichtiger geworden und Ihre Umsetzung hat im Teststadium in den Vereinigten Staaten bereits begonnen, um Kunden bessere Abdeckung und günstige Tarife in den eigenen vier Wänden bieten zu können. Insbesondere die Netzbetreiber erhoffen sich große Vorteile bezüglich der Netzkosten, sowohl in den zukünftigen Anschaffungs- als auch in den Betriebskosten (CapEx und OpEx) [2].

3.1 Motivation zum Einsatz von Femtozellen

Neben diesen Kostenvorteilen für die Netzbetreiber ist eine Verkleinerung der Zellen auch der einzig wirklich praktikable Ansatz um mehr Bandbreite in die Geschäftsräume und Wohnungen der Kunden zu bringen. Nach dem Shannon-Hartley-Gesetz besitzt jeder Kanal eine maximale Kapazität, die nicht überschritten werden kann. Somit ist es einfacher die Zellgröße zu verkleinern, was durch die geringere Entfernung von Sender und Empfänger auch die Kanalqualität bezüglich Signal-Rausch-Abstand steigert, als die Qualität des Kanals in den Makrozellen zu verbessern. Des Weiteren stellt die Abschirmung durch Wände für Femtozellen kein Problem dar, da die Femtozellen direkt im Haus arbeiten und sie somit nicht wie die Makrozellen abgeschirmt werden. Hierdurch kann insbesondere die Abdeckung in entlegenen Regionen deutlich verbessert werden. [12]

Die Vorteile der Netzbetreiber dienen auch den Mobilfunknutzern, da diese mehr Bandbreite und eine bessere Abdeckung erfahren. Des Weiteren sollen die Kostenvorteile der Netzbetreiber an die Endkunden weitergegeben werden, so dass die ersteren gegenüber Voice over Internet Protocol (VoIP) und Triple Play Angeboten konkurrenzfähig bleiben. Durch die Nutzung einer einheitlichen Funktechnologie (z. B. UMTS) ist es dem Benutzer zudem möglich nur ein einzelnes Endgerät zu besitzen. Anstelle einen Festnetzanschluss und ein Mobilfunkgerät zu verwenden und diese für gleiche Zwecke zu nutzen. Somit werden alle Kontaktdaten eines Nutzers auf einem Endgerät gebündelt. Diese Bündelung von Diensten wird allgemein als Fixed Mobile Convergence (FMC) bezeichnet, also dem Zusammenschluss von Festnetz- und Mobilfunkgeräten.

3.2 Enabler - Voraussetzungen für Femtozellen

Auch wenn eine Verkleinerung der Zellgröße, bereits seit sehr langem genutzt wird, um die Übertragungskapazität zu erhöhen, so ist dennoch die Idee und Technologie der Femtozellen sehr neu. Dies ist zu einem großen Teil darauf zurückzuführen, dass die Bereitstellung und Umsetzung der Femtozellen erst seit kurzem machbar ist und aufgrund gestiegener Nachfrage auch sinnvoll erscheint.

Vor allem die hohe Anzahl an Breitbandverbindungen in privaten Haushalten ist eine wichtige Voraussetzung um Femtozellen bei den Kunden zuhause zu betreiben, da nur so der Rücktransport der Anrufe und Daten ins Betreibernetz mit ausreichender Geschwindigkeit sichergestellt werden kann. Auch die nötige IP Technologie hat sich erst in den letzten Jahren aufgrund der zunehmenden Vernetzung entwickelt und bietet somit die Möglichkeit einer sicheren und skalierbaren Anbindung der Femtozellen an das Kernnetz der Mobilfunknetzbetreiber.

Ein weiterer wichtiger Faktor ist das in den letzten Jahren stark gewachsene Interesse der Bevölkerung an Datendiensten auf ihrem mobilen Endgerät. Als wichtigste Applikationen sind hier die Social-Network-Plattformen und Videoportale der Web 2.0 Bewegung zu nennen, die hohe Anziehungskraft auf Nutzer haben und somit bei diesen das Interesse an schnellen Datendiensten auf dem mobilen Endgerät wecken. Da Nutzer sich größtenteils in Häusern aufhalten, bieten sich lokale Zugänge an um das hohe Datenaufkommen zu decken. Von Betreiberseite hat zudem die Konkurrenz durch VoIP Dienste zu einem großen Interesse an Femtozellen beigetragen.

Ein Faktor der bisher noch nicht befriedigend gelöst wurde, jedoch große Fortschritte gemacht hat, ist die kostengünstige Implementierung der Femtozellen. Hierbei müssen Preise deutlich unterhalb der 150€ Marke erreicht werden, um wirtschaftlich sinnvoll eingesetzt und eine hohe Durchdringung der Bevölkerung erreichen zu können. Dank des starken Preisverfalls von Prozessoren, insbesondere der Field Programmable Gate Arrays (FPGA) und der Digital Signaling Processors (DSP), ist der Preis für die Implementierung einer Femtozelle bereits stark gesunken. Ein großer Kostenfaktor bleibt jedoch eine hochgenaue Uhr, die momentan oft ein OCXO Kristall darstellt, welcher jedoch alleine bereits mehrere hundert Euro kostet. Alternativ gibt es seit kurzem sogenannte TCXO Kristalle (ca. 70€ bei 500 ppb Genauigkeit), die über 6-18 Monate hoch genau die Zeit messen und somit eine Nutzung der Mobilfunkfrequenzen überhaupt erst erlauben. [1]

4. Offene Probleme mit Lösungsansätzen

Auch wenn dank Breitband und günstigerer Zeitgebung die Voraussetzungen für Femtozellen gelegt sind, so bleiben noch einige Probleme bestehen, die zu lösen sind. Einige dieser Probleme werden in diesem Kapitel besprochen und erste Lösungen und Lösungsansätze werden vorgestellt.

Um die folgenden Abschnitte dieses Kapitels leichter verständlich zu machen, soll an dieser Stelle kurz die UMTS Netzstruktur erläutert werden.

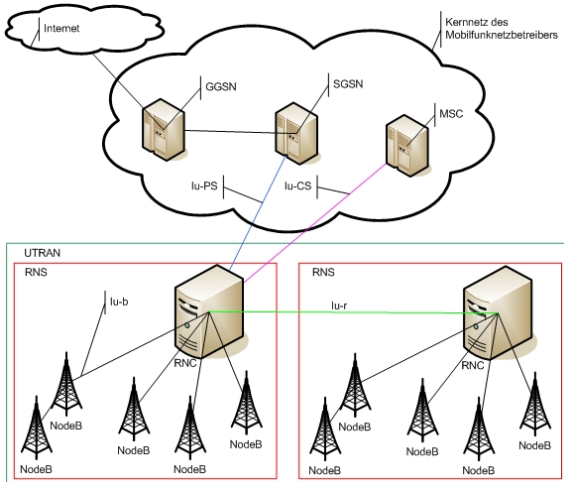


Abbildung 1: UMTS Netzstruktur

UMTS ist ein hierarchisch aufgebautes Mobilfunknetz, das grob in zwei Teile gegliedert werden kann. Das Kernnetz des Mobilfunknetzbetreibers und das sogenannte UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN). Im UTRAN finden sich die Basisstationen, welche bei UMTS „NodeB“ genannt werden und sie von ihrem 2G Gegenstück abzugrenzen. Die NodeB sind wiederum mit einem Radio Network Controller (RNC) über das mobilfunkspezifische Iu-b Protokoll verbunden, der die NodeB verwaltet, bündelt und deren Nachrichtenaufkommen ins Kernnetz weiterleitet. Das Iu-b Protokoll unterscheidet sich dabei von Hersteller zu Hersteller und bündelt Daten und Kontrollinformationen für die Übertragung zwischen NodeB und RNC.

Im Kernnetz sind insbesondere der Serving GPRS Support Node (SGSN), welcher für den packetbasierten Nachrichtenverkehr und das Mobile Switching Center (MSC), welches sich um die Leitungsvermittlung kümmert, wichtige Komponenten für den Netzbetrieb. Die einzelnen Bestandteile kommunizieren hierbei über eigene mobilfunkspezifische Protokolle mit dem Präfix Iu, und Endungen wie z.B. CS für Channel Switched und PS für Packet Switched. Um den Nachrichtenverkehr wieder ins öffentlich zugängliche Internet zu leiten gibt es im Kernnetz einen Gateway GPRS Support Node (GGSN), der diesen Dienst bereitstellt.

4.1 Integration der Femtozellen ins Mobilfunknetz

Um mit dem Mobilfunkendgerät einen Anruf tätigen, oder Datendienste nutzen zu können, müssen sich die Femtozellen mit dem Kernnetz des Betreibers verbinden. Hierbei ist insbesondere die schiere Anzahl an erwarteten Femtozellinstallationen eine große Herausforderung, da die Netze der Netzbetreiber nicht auf eine so große Menge an Kleinstbasisstationen ausgelegt ist. Die Netzstruktur muss deswegen stark abgeändert werden.

Um Femtozellen in die beschriebenen Netze der Mobilfunkbetreiber einzubinden sind sehr viele unterschiedliche Möglichkeiten denkbar. In letzter Zeit haben sich drei Architekturen als die Sinnvollsten herauskristallisiert und wurden akkreditiert. Eine Festlegung auf eine der drei Architekturen wird Ende 2008 erwartet, so dass die Femtozellenhersteller die nötigen Protokolle und Technologien implementieren können und Kunden nicht für jeden Mobilfunknetzbetreiber eine andere Femtozelle benötigen.

4.1.1 Integrationslösung Iu-b over IP

Eine Herangehensweise, die große Investitionen vermeidet, ist es Femtozellen als normale Basisstationen, also im wahrsten Sinne des Wortes als „Home NodeB“ zu implementieren, so dass diese auch über das übliche Iu-b Protokoll kommunizieren. Den einzelnen RNCs wird dann ein Gateway bereitgestellt, der einen über das öffentliche Internet aufgebauten IPsec Tunnel einer Femtozelle entgegennimmt. Dabei sendet die Femtozelle die Iu-b Informationen über den IPsec Tunnel an den Gateway, welcher diese aus dem IPsec Tunnel entnimmt. Die Iu-b Informationen werden dann direkt von den bereits vorhandenen RNCs verarbeitet und in das Kernnetz über die bestehende hierarchische Netzstruktur weitergeleitet. [6]

Dieses Verfahren kann, wie weiter oben beschrieben, sehr kostengünstig mit der vorhandenen Infrastruktur umgesetzt werden, hat jedoch den großen Nachteil, dass die RNCs eine so große Anzahl von tausenden oder zehntausenden NodeBs nicht unterstützen, das Netz also nicht mit der erwarteten hohen Anzahl an Femtozellen skaliert. [7]

Des Weiteren ist das Iu-b Protokoll für diesen Zweck nicht vorgesehen und stellt Anforderungen an die Übertragung bezüglich Packet Loss, Delay und Jitter, die über eine normale Breitbandverbindung nicht immer eingehalten werden können. Das Protokoll müsste also robuster und toleranter implementiert werden, als dies bisher der Fall ist. Da sich die Implementierungen des Iu-b Protokolls von Hersteller zu Hersteller unterscheiden, ist es zudem problematisch diese Variationen in den Femtozellen umzusetzen und die Femtozellen würden sich von Netz zu Netz in Ihrer Funktionsweise unterscheiden.

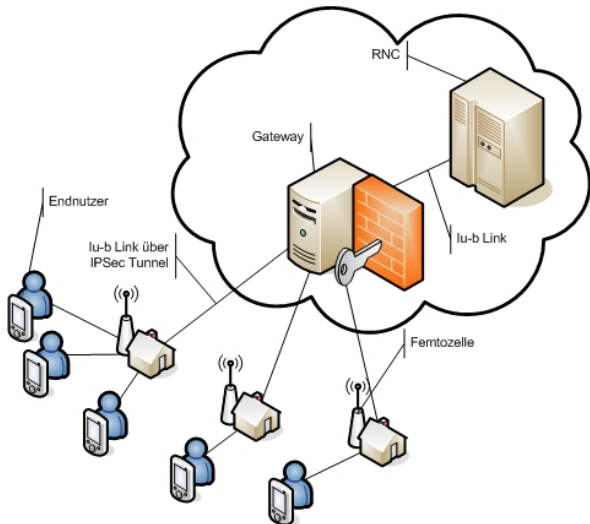


Abbildung 2: Integration durch Nutzung der bestehenden hierarchischen Netzinfrastruktur

4.1.2 Integrationslösung RAN Gateway

In diesem Ansatz, wird ein zentraler Radio Access Network (RAN) Gateway im Kernnetz eingerichtet, das als UMA Network Controller (UNC) bezeichnet wird und über den sich die Femtozellen mit dem Kernnetz verbinden [10]. Die Femtozellen bauen hierbei wieder einen sicheren IPsec Tunnel zum Gateway auf, kommunizieren allerdings nicht mit dem Iu-b Protokoll, sondern über das UMA Protokoll. Der Gateway ist nun wieder dafür verantwortlich die Verbindungen der einzelnen Femtozellen anzunehmen, wobei der Gateway hier sehr viele parallele Verbindungen unterstützen muss, den Verkehr bereits zu bündeln und ins Kernnetz einzuspeisen. Für die Einspeisung ins Kernnetz werden wieder die üblichen Protokolle des Mobilfunknetzes genutzt, also Iu-CS oder Iu-PS. [13]

Diese Technologie wird momentan bereits bei sogenannten Unlicensed Mobile Access (UMA) Lösungen eingesetzt, wie z.B. T-Mobiles HotSpot@Home. Auf diese Weise ist es möglich die bei einigen Netzbetreibern bereits vorhandene UMA Lösung auch für das Femtozellendeployment zu nutzen oder ermöglicht es UMA Dienste anzubieten. Das UMA Protokoll ist standardisiert und für den Zweck der Integration von vielen Dual-Mode Endgeräten (Mobilfunk und WLAN) ins Kernnetz entwickelt worden. Es liegt nahe, dass bestehende und erprobte Protokolle an die Femtozellenlösung anzupassen und es für diese neue Lösung zu nutzen. Durch die Integration von gewissen Netzbestandteilen in die Femtozellen (Collapsed Stack) skaliert der Ansatz sehr gut und kann kostengünstig umgesetzt werden. [10]

Problematisch bleibt die Anbindung des RAN Gateways an die Kernnetzkomponenten der Netzbetreiber, da die hier eingesetzten Iu-PS und Iu-CS Protokolle nicht standardisiert sind und die Gateways sich somit in Ihrer Bauweise unterscheiden müssen. [14]

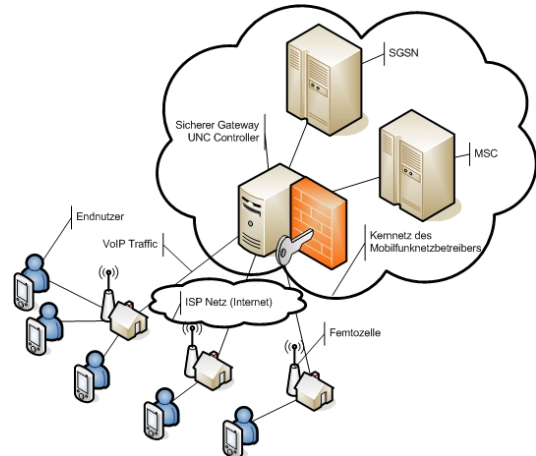


Abbildung 3: Integration durch Einsatz eines RAN Gateways

4.1.3 Integrationslösung IMS/SIP

In der Integrationslösung mithilfe vom Internet Media Sub-System (IMS) und dem Session Initiated Protocol (SIP) wird ein zweites Kernnetz für die Verbindung der Femtozellen geschaffen, das parallel zum bestehenden Kernnetz für die Makro- und Mikrozellen betrieben wird und auf IMS basiert. Der Einsatz eines zweiten Kernnetzes, welches rein auf IP Technologien basiert, ist eine zukunftsweisende Entscheidung um künftig komplett auf ein All-IP Netz umzustellen und das bisherige hierarchische Netz abzuschaffen. [9]

Das IMS Interface wandelt dabei den aufkommenden Nachrichtenverkehr an der Femtozelle in IP Pakete um und sendet diese mithilfe des SIP Protokolls als VoIP. Diese Architektur hat den Vorteil, dass sie auf bekannten Protokollen aufbaut und somit eine schnelle Umsetzung ermöglicht. Des Weiteren skaliert der Ansatz sehr gut mit der steigenden Anzahl an Femtozellen, da bereits einige der Komponenten, wie SGSN und GGSN in der Femtozelle als sogenannter Collapsed Stack gebündelt werden. Der größte Nachteil sind die hohen Anschaffungs- und Betriebskosten, bei zwei parallelen Netzen. [17]

Ein weiteres Problem ist die fehlende Servicetransparenz, so dass die Services einmal im Kernnetz und einmal für die Femtozellen angeboten werden müssen. Um die getätigten Anrufe wieder ins Telefonnetz zu leiten, muss ein SIP-enabled MSC geschaffen werden, der die Anrufe auf SIP-Basis entgegennimmt und alle Dienste bereitstellt, die von eigentlichen MSC bereits angeboten werden. Diese Lösung hat somit mehr mit der gewöhnlichen UMTS Lösung gemeinsam, als dass es eine wirkliche IMS Implementierung darstellt.

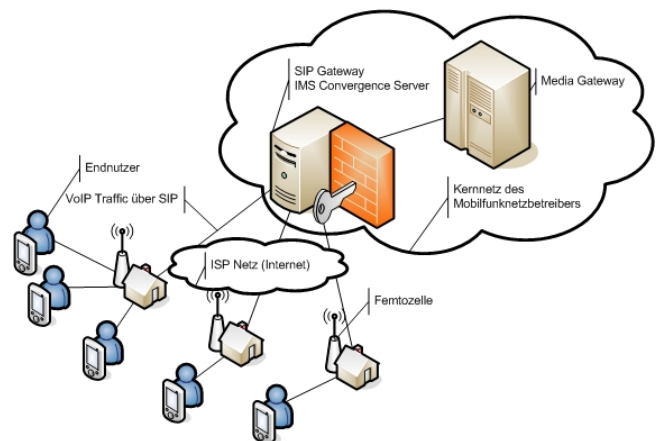


Abbildung 4: Integration durch Nutzung von IP Technologien

4.2 Interferenzen

Interferenzen treten dann auf, wenn zwei Sender auf ein und derselben Frequenz arbeiten. Da die Anzahl an zur Verfügung stehenden Frequenzen sehr begrenzt ist und jeder Betreiber nur ein bis zwei Frequenzbereiche für UMTS besitzt, kann es bei allen Betreibern zu Interferenzen kommen.

Femtozellen am Rande einer Makrozelle bieten für den Kunden und die auf der Femtozelle registrierten Endgeräte guten Empfang und hohe Datenraten. Allerdings überlagert die Femtozelle die Signale der Makrozelle für alle Nutzer. Mobilfunknutzer, die nicht auf der Femtozelle registriert sind und diese somit nicht nutzen können, können die Signale der Makrozelle aufgrund des „Lärms“ der Femtozelle also nicht mehr empfangen. Dies führt zu Verbindungsabbrüchen oder deutlich schlechterer Servicequalität für letztere.

Bei Femtozellen, welche sich sehr nah an einer Makrozelle, bzw. deren NodeB befinden, wird die Femtozelle mit seiner sehr geringen Sendeleistung durch die Makrozelle überlagert. Somit ist der von der Femtozelle abgedeckte Bereich sehr klein und der Kunde kann die Dienste und Konditionen der Femtozelle nur in einem sehr kleinen Umkreis um die Femtozelle nutzen. Um dies zu vermeiden werden Smart Antennas eingesetzt, die eine bessere Filterung der Signale des Endgerätes ermöglichen.

Um Interferenzen zu vermeiden, kann zudem die Sendeleistung der Sender angepasst werden, so dass sich ihre Wellen räumlich weniger überlagern. Hierfür werden adaptive Algorithmen eingesetzt, die die Sendeleistung der Femtozellen so steuern, dass es zu möglichst wenig Interferenzen kommt. Dabei werden die Zellwechsel der Nutzer als Anhaltspunkt genommen, so dass die Sendeleistung angepasst wird, damit ein Benutzer aufgrund der veränderten Reichweite der Femtozelle die zugeordnete Zelle möglichst selten wechseln muss. Eine weitere Größe zum Steuern der Sendeleistung ist die Anzahl an Verbindungsabbrüchen im Bereich der Femtozelle, da dies ein Zeichen von Interferenzen ist, wie oben beschrieben.[5]

Hauswände, die die Signale der Makrozellen abschirmen und es den Netzbetreibern somit erschweren dem Kunden eine ausreichende Abdeckung innerhalb seiner Wohnung zu ermöglichen, wirken sich bei Femtozellen positiv aus, da sie die Umwelt von den Funkwellen der Femtozelle abschirmen, wie auf Abbildung 5 zu sehen ist. [11]

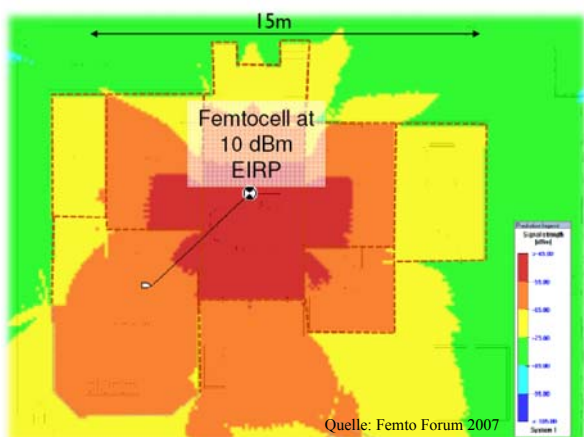


Abbildung 5: Sendestärken im Umkreis der Femtozelle (rot=hoch) [6] F. 7

Eine weitere Methode um Interferenzen zu vermeiden ist der Einsatz von Wideband Code Division Multiple Access (W-CDMA). Hierbei werden orthogonale Scrambling Codes

verwendet. Der Empfänger, kann nun aus einem Signal mehrere Kanäle herausdividieren, indem er einen gewissen, zwischen Sender und Empfänger bekannten Code an das Signal anlegt. Somit ist es mehreren Sendern möglich auf einer Frequenz zu operieren, was auch den gleichzeitigen Betrieb von Femtozellen und Makrozellen in ein und demselben Bereich ermöglicht, solange diese unterschiedliche Codebereiche verwenden.

Da die Anzahl an orthogonalen Codes jedoch begrenzt ist, müssen diese sinnvoll verteilt werden. Diese Verteilung wird bisher statisch durch die Techniker der Mobilfunknetzbetreiber festgelegt, die die Zellgrößen und dazugehörigen Scrambling Codes optimal aufeinander abstimmen. Da die Konfiguration der Femtozellen jedoch nicht zentral geplant werden und die Anzahl an Femtozellen in einem Bereich sehr hoch sein kann, kommt es zu Überlagerungen, auf einer Frequenz und einem Scrambling Code. [16]

Eine endgültige Lösung für das Problem der Interferenzen ist noch nicht gefunden. Allerdings wird auch weiterhin in diesem Bereich geforscht um den Einfluss von Interferenzen bestmöglich zu minimieren.

4.3 Einfache Installation der Femtozellen

Ein operativer Aspekt, der jedoch auch hohe technische Ansprüche hat, ist eine einfache Installation der Femtozellen durch die Endnutzer, da nur auf diese Weise die Femtozellen wirtschaftlich sinnvoll in die Heime der Nutzer gebracht werden können. Bisher wird die Errichtung und Einrichtung einer Mobilfunkzelle von Mitarbeitern des Mobilfunknetzbetreibers vorgenommen. Die Radioparameter der einzelnen Zelle wurden dabei so eingestellt, dass sie Ihre Dienste an dieser Position optimal erfüllt. Für die bisherige Installation gibt es dabei die Begriffe des „Man-in-a-Van“ oder bei größeren Zellen des „Truck-Roll“, welche schon den Aufwand und die hiermit verbundenen Kosten erahnen lässt.

Femtozellen hingegen sollen sich möglichst ohne Konfigurationsaufwand des Nutzers installieren lassen, so dass dieser die Femtozelle kauft, zu hause an die Breitbandverbindung anschließt und innerhalb kürzester Zeit die Dienste der Femtozelle nutzen kann (Zero-Touch Installation).

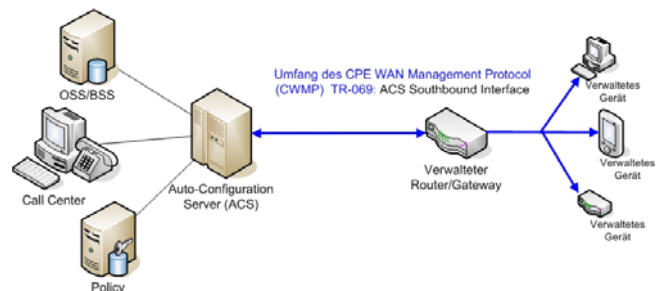


Abbildung 6: Überblick über TR069 Fernwartungsprotokoll

Da die Femtozelle möglichst automatisch konfiguriert werden soll, ist das Fernwartungsprotokoll TR-069 [3], welches bisher jedoch nur für Router definiert ist, für die Netzbetreiber von hohem Interesse, da diese Technologie als Orientierung verwendet werden kann.

Ein mögliches Szenario unter Einsatz des TR-069 wäre hierbei:

1. Femtozelle wird mit Standardsoftware und SIM Karte ausgeliefert
2. Beim ersten Start baut die Femtozelle eine Verbindung zum Netzbetreiber auf und authentifiziert sich mit der SIM Karte
3. Vom Autoconfiguration-Server des Netzbetreibers werden die Firmware, Updates und weitere betreiberspezifische Konfigurationsdaten (Frequenz, ID, Sendeleistung, ...) heruntergeladen
4. Hierbei wird auch eine Liste aller berechtigten Endgeräte geladen
5. Die Femtozelle ist somit im Betreibernetz registriert und mit dem Kernnetz über Internet verbunden
6. Das Endgerät meldet sich an der Femtozelle an
7. Der Nutzer kann die Dienste über die Femtozelle verwenden

Der Netzbetreiber hat somit jederzeit die Möglichkeit die Femtozelle zu verwalten und kann diese bei schadhaftem oder illegalem Verhalten auch komplett abschalten.

Neben der Installation und dem Laden der Firmware, muss sich die Femtozelle selbst kalibrieren und in ihre Umgebung einbinden, ohne große Interferenzen zu verursachen, wie in 4.2 dargestellt. Dies betrifft die Konfiguration aller Radioparameter und der Wahl von Scrambling Codes und Sendestärke, die hier jedoch nicht vorgegeben, sondern von der Femtozelle selbst gewählt werden.

Obwohl sich dieses Protokoll bei DSL Gateways bereits bewährt hat, gibt es viele kleine Probleme, wie z. B. die Erreichbarkeit der Server, weswegen die Lösung am besten funktioniert, wenn alle Dienste von einem Anbieter genutzt werden. Dazu müssten die Mobilfunknetzbetreiber mit den Anbietern von Breitbandkabelösungen kooperieren.

4.4 Lokalisierung und Notrufe

Zum illegalen Verhalten der Femtozellen würde gehören, dass sie in einem Bereich außerhalb der Sendeberechtigung des Netzbetreibers auf dessen Frequenz sendet, da UMTS Frequenzen im lizenzierten Spektrum liegen. Die Position der Femtozelle muss also bekannt sein, um ihr Verhalten den gesetzlichen Bestimmungen anzupassen. So darf die Femtozelle auch erst dann anfangen zu senden, wenn sichergestellt ist, dass sie an ihrer momentanen Position überhaupt senden darf.

Eine weitere gesetzliche Vorgabe, die die Lokalisierung der Femtozelle nötig macht findet sich in §108 des Telekommunikationsgesetzes (TKG) [4]. Dieser Artikel macht es nötig bei einem Notruf innerhalb der Femtozelle der nächstgelegenen Notrufstelle auch „Daten, die zur Ermittlung des Standortes erforderlich sind, von dem die Notrufverbindung ausgeht“ zu übermitteln. Um die Position einer Femtozelle zu bestimmen gibt es mehrere Ansätze.

Bei einer momentan in den USA eingesetzten Femtozellenlösung, wird zur Positionsbestimmung das Global Positioning System (GPS) eingesetzt. Dies hat jedoch den Nachteil, dass der GPS Empfänger eine Sichtverbindung zu seinen Satelliten benötigt. Des Weiteren kosten GPS Lösungen zwischen 600 und 700 €, was wiederum den Preis der Femtozellen erhöht und damit einer breiten Durchdringung der Gesellschaft mit Femtozellen entgegenwirkt. [12]

Ein anderer Ansatz ist die Hyperbelortung, die die Zeitabstände der Signale umliegender Makrozellen ausnutzt um Ihre eigene Position zu berechnen. Dieser Ansatz benötigt jedoch den Empfang von drei oder mehr Makrozellen, um die Position sicher

zu bestimmen, was insbesondere in abgelegenen Bereichen, in denen die Femtozellen für eine Verbesserung der Abdeckung wohl mit als erstes eingesetzt werden, eher selten der Fall ist.

Eine weitere Lösung stellt eine eindeutige Identifizierung der Femtozellen dar, mit einer Subscriber Identity Module (SIM) Karte, wie sie von Endgeräten bekannt ist. Jede der Femtozellen wird dann in einem sogenannten Master Street Access Guide (MSAG) eine Adresse zugeordnet. Bei einem Notruf wird diese Adresse dann abgefragt und als Position der Femtozelle herangezogen. Eine Straßenadresse ist dabei auch den Notdiensten hilfreicher als bloße Koordinaten, da somit eine Anlaufstelle bekannt ist und den Menschen schneller geholfen werden kann. Allerdings muss die Adresse im MSAG verifizierbar sein, da sich in der Vergangenheit bei UMA Installationen gezeigt hat, dass Nutzer den Netzbetreibern Adressänderungen nicht immer mitteilen [12]. Die Netzbetreiber müssen aber den gesetzlichen Bestimmungen genüge tun.

Eine letzte Möglichkeit, bei der allerdings alle Dienste, also Breitbandanbindung und Mobilfunk von einem Anbieter bezogen werden müssen ist die Nutzung einer dem Festnetzanschluss zugewiesenen „LineID“. Bei dieser Lösung ist die Femtozelle an eine gewisse LineID gebunden und kann nur von diesem Anschluss aus Ihre Dienste anbieten. Da der LineID immer ein Anschluss und damit auch eine Adresse zugewiesen werden kann, ist eine ständige Kontrolle möglich. Um diese Zuordnung zu tätigen, müssen aber alle Daten bezüglich LineID und Adresse, sowie der zugeordneten Femtozelle bei einem Anbieter liegen.

Dies alles spricht für einen hybriden Ansatz aus MSAG und Lokalisierung, da nur so die Position der Femtozelle garantiert werden kann und die passenden Informationen für die Notrufdienste zu Verfügung gestellt werden können.

4.5 Zeitliche Synchronisierung

Eine Synchronisierung der Uhren einer Femtozelle ist besonders wichtig, damit diese überhaupt auf den Frequenzen der Netzbetreiber operieren und die Mobilfunkstandards anbieten können, da die Signale im Mobilfunkbereich sehr präzise sein müssen. Laut Standard dürfen Makrozellen dabei nur um 50 pter-billion, also 50 Nanosekunden abweichen. Für Femtozellen wurde dies in Release 5 der 3G Standards bereits auf 100 Nanosekunden ausgeweitet, jedoch ist auch diese Genauigkeit noch eine hohe Anforderung an Femtozellen. [7]

In Makrozellen werden momentan Oven Controlled Crystal Oscillator (OCXO) Quarzkristalle eingesetzt, die eine hohe Genauigkeit über 12-24 Monate beibehalten. Nach dieser Zeit werden die Quarzkristalle durch Techniker kalibriert oder es wird ein GPS Signal verwendet, welches mit sehr genauen Zeitgebern arbeitet. Da diese beiden Technologien allerdings sehr kostspielig sind und somit für Femtozellen wirtschaftlich nicht sinnvoll eingesetzt werden können, müssen andere Lösungen gefunden werden.

Als eine gute Möglichkeit der Synchronisierung haben sich die erst vor kurzem entwickelten Temperature Compensated Crystal Oscillator (TCXO) Quarzkristalle gezeigt, die deutlich kostengünstiger sind (bei 500 ppb Genauigkeit ca. 70 €), auch wenn sie immer noch für den Großteil der Kosten einer Femtozelle verantwortlich sind. Diese TCXO Kristalle bleiben über 6-18 Monate hochgenau und werden mithilfe des IEEE 1588 Synchronisierungsprotokolls kalibriert, welches eine Genauigkeit von 100 Nanosekunden erlaubt. Somit werden die Signalvorgaben der Netze eingehalten und die genaue Uhr kann auch für die Positionsbestimmung durch die beschriebene Hyperbelortung herangezogen werden. [16]

4.6 Sicherheit der Femtozellen und Daten

Um die Sicherheit ihrer Kernnetze zu gewährleisten, müssen Maßnahmen getroffen werden um Hackern und jeglichem schadhaftem Code den Zugang zum Kernnetz zu verweigern.

Die Sicherheit fängt dabei in der Femtozelle an, welche gegen Manipulationen abgesichert werden muss, so dass sie nicht dazu gebracht werden kann Ihre Dienste an anderen als den gesetzlich erlaubten Orten zu erbringen. Da an die Femtozellen oftmals auch günstigere Tarife gebunden sind, wären durch eine ungenügende Sicherung der Femtozellen auch wirtschaftliche Nachteile für die Mobilfunknetzbetreiber zu erwarten. Kunden könnten die Femtozellen ständig mit sich herumtragen, um ihre günstigeren Tarife auch außerhalb der eigenen Wohnung zu nutzen. Um die Hardware einer Femtozelle zu sichern gibt es bereits bewährte Verfahren, wie den Einsatz von verschlüsselten Flashimages und ARM11 Trustzone Prozessoren. Durch SIM Karten in den Femtozellen ist zudem eine Authentifizierung durch den Mobilfunkbetreiber möglich und die erste Verbindung von Femtozelle und Kernnetz des Netzbetreibers kann durch bewährte Sicherheitsmaßnahmen z.B. IPSec garantiert werden.

Um die Kommunikation zwischen Femtozelle und Kernnetz zu ermöglichen wurden in 4.1 einige Verfahren und Lösungen vorgestellt. Die Übertragung der Gespräche und Daten wurden hierfür, um Abhörsicherheit im Internet zu gewährleisten, mithilfe von IPSec Tunneln übertragen. Auf diese Weise sind alle Daten verschlüsselt und Gespräche sowie Daten können geschützt zum Kernnetz übertragen werden. Da aber sehr viele IPSec Tunnel der Femtozellen am Gateway der Netzbetreiber ankommen, müssen diese sehr leistungsfähig sein und hohen Schutz für das Kernnetz bieten. [15]

4.7 Probleme durch die große Zahl an Femtozellen

Wie bereits weiter oben beschrieben, kommt es durch die hohe Anzahl und Dichte der Femtozellen zu einigen Problemen, wie Interferenzen und eine große Anzahl an einzelnen Verbindungen zwischen Femtozellen und Kernnetz der Netzbetreiber.

Dabei muss insbesondere daraufgeachtet werden, dass durch die adaptiven Algorithmen in der Interferenzvermeidung keine Femtozelle eine zu geringe Sendeleistung verwendet und somit seine Dienste nur in einem sehr kleinen Bereich (1 m) um die Femtozelle anbietet. Dies würde zu verärgerten Nutzern und schlechter Publicity führen, welche eine weitere Verbreitung der Femtozellen behindert.

Ein großer Nachteil ist die schiere Zahl an Femtozellen auch deswegen, weil ein Nutzer während eines Anrufes nicht aus einer Makrozelle an die heimische Femtozelle übergeben werden kann (Handover), da die Makrozellen nicht für den Fall einer derart großen Anzahl an möglichen Übergabepartnern entworfen wurden. Die Übergabe eines Gespräches an eine Makrozelle, welches in der Femtozelle begonnen wurde, ist bei Verlassen des Hauses möglich. Die Übergabe des Gespräches an die Femtozelle beim Betreten des Hauses und die Nutzung der Konditionen innerhalb der Femtozelle dagegen ist nicht möglich. Dies liegt daran, dass das Mobilfunknetz hierfür nicht genügend unterschiedliche Cell-IDs anbietet und eine Makrozelle, bei zwei von der ID her gleichen Zellen in seinem Gebiet nicht weiß, an welche der Anruf übergeben werden soll. Zudem ist auch die Verzögerung durch die Internetverbindung ein Problem bei der Übergabe, da die Daten nicht schnell genug an eine Femtozelle übergeben werden können.

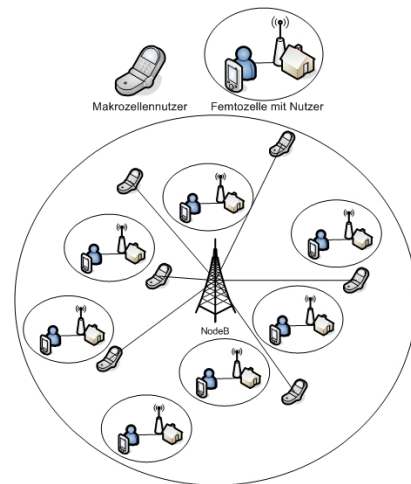


Abbildung 7: Makrozelle mit einer Vielzahl an Femtozellen in ihrem Sendebereich

5. Technologien

Aufgrund des hohen Interesses der Mobilfunknetzbetreiber gibt es eine Vielzahl von Architekturen und Chiplayouts für Femtozellen.

Hier soll beispielhaft das Referenzdesign für eine Femtozelle der Firma picoChip vorgestellt werden. picoChip ist als einer der Gründer des Femto Forums maßgeblich an der Standardisierung der Technologien beteiligt und stellt somit das beste Beispiel für eine Referenz dar. [7]

Eine Femtozelle kann dabei zum einen als Stand-Alone Lösung entwickelt werden, so dass sie an eine Breitbandverbindung über einen Router oder ein Kabelmodem angeschlossen wird. Zum anderen kann die Femtozelle jedoch auch direkt mit einem Router kombiniert werden, was zu Kosteneinsparungen aufgrund gemeinsam genutzter Komponenten auf den Platinen führt. Das auf Abbildung 8 gezeigte Design wird dabei über eine Ethernetverbindung an die Breitbandverbindung angeschlossen und stellt über die Radio Frequency Integrated Circuits (RFIC) die Mobilfunkdienste bereit. Die empfangenen Signale werden vom Digital Signal Processor (DSP), hier das picoArray, verarbeitet und schließlich über die Ethernetschnittstelle und die Breitbandanbindung ins Kernnetz des zugehörigen Netzbetreibers übermittelt. Der ARM926 Mikroprozessor ermöglicht dabei die Ausführung von in Software implementierten Protokollen und Funktionen, und reduziert somit die Anzahl an benötigten Chips. Die Basisbandverarbeitung wird dabei vom picoArray übernommen, alle Kontrollfunktionen und höheren Verarbeitungen laufen aber wie beschrieben auf dem Mikroprozessor ab. Die gesamte Femtozelle wird durch einen Flash-Speicher gestartet und ermöglicht somit Software Upgrades über das Internet (Femto-on-a-chip).

Die auf Abbildung 8 gezeigte Lösung bietet 3GPP Release 5 entsprechende Dienste wie High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) Dienste an und kann per Software Upgrade mit High Speed Uplink Packet Access (HSUPA) nachgerüstet werden. Die Möglichkeit solche Änderungen per Upgrade nachzurüsten schafft Flexibilität, vereinfacht die Entwicklung und verkürzt die „Time-to-Market“. [7]

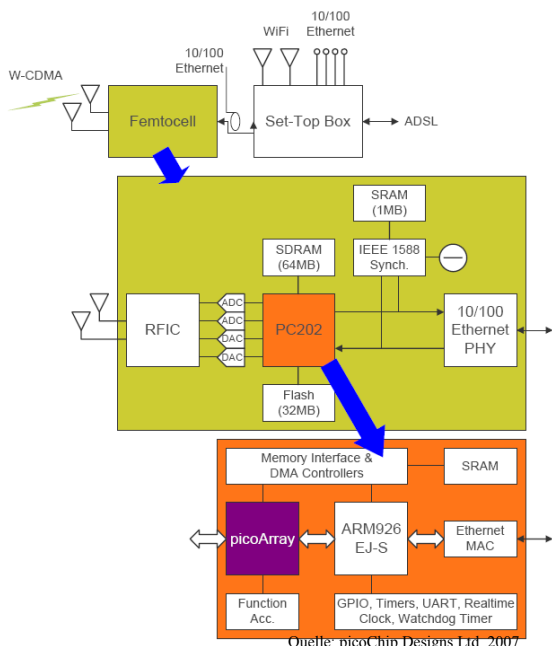


Abbildung 8: Mögliche Architektur einer Femtozelle [7] S. 13

6. Aktuelle Anwendungen

Momentan gibt es noch sehr wenige Femtozellinstallationen. Als größte ist der Femtozellentarif Airave der Firma Sprint in den USA zu nennen, die ihre Samsung Femtozellen bereits landesweit anbieten. Sprint setzt hierbei auf GPS für die Synchronisierung und die Positionsbestimmung der Femtozellen. Dabei bietet die Femtozelle in diesem Tarif drei Nutzern gleichzeitig die Möglichkeit kostenlos über die Breitbandverbindung der Femtozelle zu telefonieren. Der Handover beim Verlassen der Femtozelle funktioniert Berichten zufolge reibungslos, allerdings ist ein Handover an die Femtozelle nicht möglich, so dass der Nutzer den Anruf beenden und dann innerhalb der Femtozelle neu beginnen muss. Sollte eine vierte Verbindung im Bereich der Femtozelle getätigt werden, nutzt diese die umgebende Makrozelle. Sprint liefert die Femtozellen bereits konfiguriert aus, allerdings dauert es nach Anschluss an die Breitbandverbindung aufgrund der automatischen Konfiguration noch etwa eine Stunde, bis die Dienste genutzt werden können.

Die Kosten für die Femtozelle belaufen sich hierbei auf 75€ Anschaffungskosten, sowie weitere 3,8€ pro Monat über das erste Jahr. Insgesamt entstehen somit bei einem typischen Zweijahresvertrag Kosten von 530€, allerdings können alle Sprint-Kunden die Dienste der Femtozelle nutzen und sie ist nicht auf registrierte Nummern begrenzt.

7. Zusammenfassung

Auch wenn Femtozellen momentan noch einige technische und wirtschaftliche Hürden nehmen müssen, so ist doch aufgrund des hohen Interesses der Mobilfunknetzbetreiber und des Marktes anzunehmen, dass Femtozellen auch in Deutschland bald zu den Standardtarifen gehören werden. Denn nur durch eine zunehmende Zellverkleinerung können die gewünschten und nachgefragten hohen Datenraten den Kunden zu Hause und aufgrund der Entlastung der Makrozellen auch unterwegs zur Verfügung gestellt werden, sodass neue internetbasierte Dienste auf mobilen Endgeräten möglich werden.

Die Standardisierung wird stark vorangetrieben, wobei hier insbesondere das Femto Forum als Zusammenschluss aus

mittlerweile fast der gesamten Mobilfunkindustrie zu nennen ist. Die Funktion des Femto Forum beschränkt sich jedoch darauf koordinierte Verhandlungen in der Mobilfunkindustrie zu ermöglichen und Vorschläge zu tätigen. Diese haben aufgrund der Anzahl und Wichtigkeit der Mitglieder hohes Gewicht. Die Entscheidungsgewalt bezüglich neuer Standards liegt weiterhin bei der 3GPP, dessen Partner das Femto Forum ist. [6]

Die hier vorgestellten technischen Probleme sind nicht unbedingt trivial zu lösen, doch zeigen bereits durchgeführte Studien der Netzbetreiber, dass es durchaus möglich ist Femtozellen sinnvoll einzusetzen. Da diese Studien noch nicht die große Anzahl der Femtozellen und die damit entstehenden technischen Probleme berücksichtigen können, ist abzuwarten, ob Marktprognosen, welche 32 Millionen Femtozellen mit 102 Millionen Nutzern weltweit bis 2011 vorhersagen, eintreffen werden. [7]

8. Literatur

- [1] Airvana (2007), 'Femtocells: Transforming The Indoor Experience', White Paper.
- [2] Aricent (2008), 'Challenges in Deployment of UMTS/HSPA Femtocell', White Paper.
- [3] Broadband Forum (2007), TR-069 CPE WAN Management Protocol v1.1', Technical Report
- [4] Bundesrepublik Deutschland (2007), 'Telekommunikationsgesetz - §108 Notruf'
- [5] Claussen, H. (2007), Performance of Macro- and Co-Channel Femtocells in a Hierarchical Cell Structure, in 'IEEE 18th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2007. PIMRC 2007.'
- [6] Femto Forum (2007), 'Femto Forum Intro', <http://www.femtoforum.org/femto/Files/File/Femto%20Forum%20Intro.pdf>, zugegriffen: 27.09.2008.
- [7] picoChip Designs Ltd. (2007), 'The Case for Home Base Stations', White Paper.
- [8] picoChip Designs Ltd. (2007), '3GPP Long-Term Evolution: fit or flawed?', White Paper.
- [9] Glenn LeBrun, Andrew Bender, (G. (2008), 'The Future Role of Media Gateways in All-IP Networks', White Paper.
- [10] Kineto Wireless, Inc. (2007), 'UMA: The 3GPP Standard for Femtocell-to-Core Network Connectivity', White Paper.
- [11] Lester T. W. Ho, H. C. (2007), Effects of user-deployed, co-channel femtocells on the call drop probability in a residential scenario, in 'PIMRC 2007. IEEE 18th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2007.'
- [12] Nextpoint Networks, 'Connecting when it counts: The role of femtocells in emergency calls', White Paper.
- [13] Nextpoint Networks, 'Fixed-Mobile Convergence Border Architecture', White Paper.
- [14] Nextpoint Networks, 'Integrated Border Gateway', White Paper.
- [15] Sanjay Bhatia (Genband), (2008), 'Femtocells Challenges and Opportunities', White Paper.
- [16] Vikram Chandrasekhar, Jeffrey G. Andrews, Alan Gatherer (2008), 'Femtocell Networks: A Survey', IEEE Communications Magazine, vol. 46, no.9, Sept. 2008.