

Selbstorganisation für heterogene Netzwerke

Christian Burger-Ringer

Betreuer: Tsvetko Tsvetkov

Hauptseminar Innovative Internettechnologien und Mobilkommunikation WS13/14

Lehrstuhl Netzarchitekturen und Netzdienste

Fakultät für Informatik, Technische Universität München

Email: christian.burger.ringer@gmail.com

KURZFASSUNG

Die stetig wachsende Nachfrage nach mobiler Kommunikation hat um das Jahr 2007 zu einem exponentiellen Anstieg des mobilen Datenverkehrs geführt. Die Telekommunikations-Infrastruktur muss durch sogenannte Low-Power Nodes (LPN) erweitert werden, um höchste Netzwerk-Abdeckung und -Performanz zu gewährleisten, wodurch auch die Anzahl der Netzwerkelemente (NE) um eine Größenordnung steigt. Damit es in einem solchen heterogenen Netzwerk (hetNet) nicht zu einer parallelen Explosion der Kosten kommt, sind Mobilfunkbetreiber auf die Selbst-Organisation des Netzwerks angewiesen. Der vorliegende Artikel bespricht wichtige Konzepte der Selbst-Organisation (Selbst-Konfiguration, -Optimierung, -Heilung) und geht auf Herausforderungen des Forschungsfeldes ein.

Schlüsselworte

Heterogene Netzwerke, Selbstorganisation, Mobilfunk

1. EINFÜHRUNG

Wie Abbildung 1 zeigt, kommt es heute zu einem nahezu exponentiellen Anstieg des Datenverkehrs. Dies ist vor allem auf die Verbreitung von mobilen Endgeräten mit entsprechendem Datenservice (z.B. Smartphones, Tablets) und mobile Modems zurückzuführen. Der Ericsson Mobility Report prognostiziert zwischen 2013 und 2019 eine Verzehnfachung des Datenaufkommens [5].

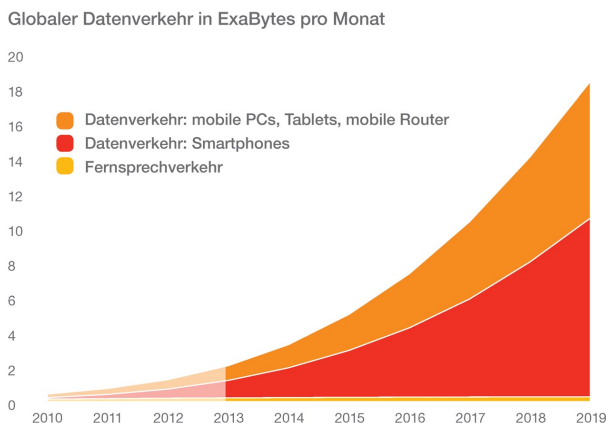


Abbildung 1: Entwicklung des globalen Datenverkehrs seit 2010 mit Prognose bis 2019 [5]

Nutzer erwarten sich nach Möglichkeit unbegrenzte Kapazität, höchste Performanz und beste Netzabdeckung. Bereits heute wäre es in Ballungsräumen nicht mehr denkbar, diese Anforderungen ausschließlich durch herkömmliche Makro-Basisstationen (MBS) zu gewährleisten. Somit wird die Telekommunikations-Infrastruktur durch LPN unterstützt, welche Nutzern in Innen- wie Außenräumen gute Servicequalität bieten [4]. Da LPN jedoch nur geringe Reichweite von bis zu 100 Metern bieten, wird davon ausgegangen, dass zehn mal mehr LPN als Makro Basisstationen erforderlich sind.

Traditionell war die Installation, der Betrieb und die Wartung von Basisstationen mit hohen Kosten verbunden. Durch die Vervielfachung der Basisstationen sind Mobilfunkbetreiber darauf angewiesen, den manuellen Aufwand auf ein Minimum zu reduzieren. Auch das Aufkommen von Femto-Zellen, einer Unterkategorie der LPN, welche von Nutzern oder Firmen installiert werden, machen einer plug & play Installation notwendig. Aus diesen Gründen ist die Selbst-Organisation besonders in heterogenen Netzwerken unentbehrlich.

2005 schrieben Prehofer und Bettstetter: Telekommunikations-Netzwerke haben das Potential der Selbst-Organisation noch nicht voll ausgeschöpft; viele Funktionen erfordern noch immer erheblichen manuellen Konfigurationsaufwand (vgl. [10]). Durch das 3rd Generation Partnership Project (3GPP) wurde 2008 innerhalb des Releases 8 die Selbstorganisation von Netzwerken erstmals explizit in den Standardisierungsprozess aufgenommen [2].

Die vorliegende Arbeit ist wie folgt gegliedert: Im zweiten Abschnitt wird eine knapper Überblick zu hetNet und deren Elementen gegeben. In Abschnitt 3 wird in das Thema der Selbst-Organisierenden Netzwerke (SON) eingeführt. Abschnitt 4 zeigt wie die Managementarchitektur in hetNet aufgebaut ist. In den Abschnitten 5-7 werden die detaillierten Aspekte Selbst-Konfiguration, -Optimierung, -Heilung von SON in Hinblick auf hetNet eingegangen. Der Abschnitt 8 gibt einen Ausblick für zukünftige Entwicklungen und Forschungstrends. Zuletzt wird noch ein Resümee gezogen.

2. ÜBERBLICK HETNET

2. ÜBERBLICK HETNET

Wie Abbildung 2 zeigt, sind hetNet mehrschichtig und bestehen aus verschiedenartigen Netzwerkelementen (NE). Bei den NE wird grob zwischen MBS und LPN unterschieden. LPN untergliedern sich wiederum in [11][3]:

1. **Remote-Radio-Heads** stellen ein verteiltes Antennensystem dar und sind mit der MBS über ein Glasfaserkabel verbunden.
2. **Micro-Basisstationen** haben den selben Aufbau wie MBS, ihr Reichweite liegt bei ca. 100 Metern.
3. **Picto-Basisstationen** haben den selben Aufbau wie MBS, ihr Reichweite liegt zwischen 20 und 50 Metern.
4. **Femto-Zellen** werden nicht vom Mobilfunkbetreiber installiert, sondern vom Kunden an den eigenen Breitbandzugang angeschlossen. Ihre Reichweite liegt zwischen 10 und 20 Metern. Entspricht eine Femto-Zelle dem LTE-Standard, so wird sie auch Home evolved NodeB (HeNB) genannt.
5. **Relais-Knoten** sind zwar vollwertige Basisstationen, haben jedoch keine verkabelte Anbindung zum Netzwerk. Daher ist der Relais-Knoten immer mit einer herkömmlichen Basisstation kabellos verbunden.

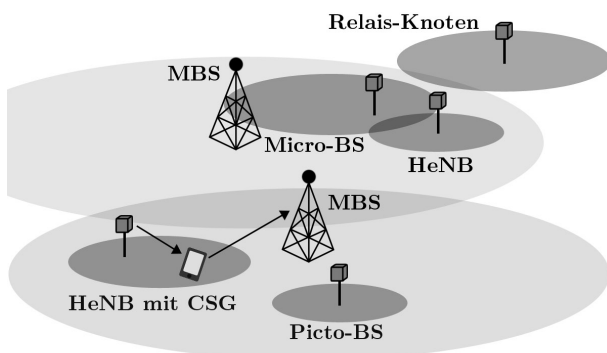


Abbildung 2: hetNet Szenario mit MBS in Kombination mit mehreren LPN [4]

3. ÜBERBLICK SON

Für den Mobilfunkbetreiber liegt das Potential der SON einerseits in der Reduzierung der Kosten für die Aufstellung & Installation der NE (CAPEX) und den Betrieb der NE (OPEX). Andererseits wäre es nicht mehr möglich, angesichts der steigenden Zahl an NE in hetNet, den Prozess des Betriebs, der Verwaltung und der Wartung des Netzwerks (operation, administration, maintenance; OAM) manuell durchzuführen [7]. Um eine brauchbare Roadmap für die Entwicklung der SON zu konzipieren, definierte die NGMN (Next Generation Mobile Networks) Vereinigung die wichtigsten Anwendungsfälle bzw. Probleme im Rahmen des Aufbaus und Betriebs eines Mobilfunknetzes [8] [9]. Die Anwendungsfälle lassen sich grob in die vier Kategorien Planung, Installation, Optimierung und Instandhaltung einteilen. Zur Illustration werden im Folgenden beispielhaft die Anwendungsfälle der Installation genannt: [I01] Hardware-Installation, [I02] Netzwerk-Authentifikation, [I03] Software-Installation, [I04] Transportparameter-Einstellung, [I05] Funkparameter-Einstellung, [I06] Verbindungs-Test.

Die Anwendungsfälle legen die Anforderungen an SON fest und sind somit der Ausgangspunkt für SON-Funktionen, die im Standardisierungsprozess des 3GPP (teilweise) definiert wurden. Zu den SON-Funktionen zählen unter anderem:

- Automatische Nachbarschafts Beziehungen (Automatic Neighbour Relationship Setup; ANR)
- Optimierung der Mobilitäts-Robustheit (Mobility Robustness Optimization; MRO)
- Lastverteilung (Mobility Load Balancing; MLB)
- Abdeckungs- & Kapazitätsoptimierung (Coverage and Capacity Optimization; CCO)
- Minimierung der Drive Tests (Minimization of Drive Tests; MDT)
- Zellenausfall-Kompensation (Cell Outage Compensation; COC)

In Anlehnung an den Lebenszyklus (Planung, Installation, Optimierung und Instandhaltung) setzt sich, wie Abbildung 3 zeigt, die OAM Architektur von SON aus vier Teilbereichen zusammen: Planung, Selbst-Konfiguration, -Optimierung & -Heilung. Innerhalb der Teilbereiche kommen die entsprechenden SON-Funktionen zum Einsatz. So wird in der Planungs- & Konfigurations-Phase die Aufstellung, Installation & Konfiguration neuer NE vorgenommen. Hingegen befasst sich die Selbst-Optimierung mit der Verbesserung der Performanz und die Selbst-Heilung mit der Ermittlung & Lösung von Netzwerkfehlern.

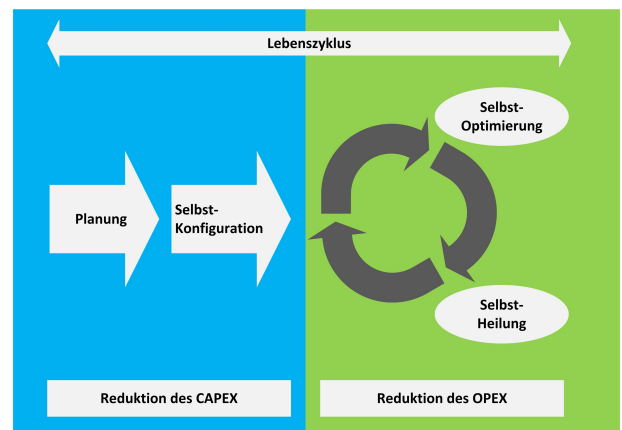


Abbildung 3: SON in OAM [13][14]

4. MANAGEMENTARCHITEKTUR

Das Netzwerk wird durch die Managementarchitektur betrieben und gesteuert, die in Abbildung 4 schematisch dargestellt wird. Der Betreiber steuert das gesamte Netzwerk über das Netzwerkmanagementsystem (NM), welches über die Nord-Schnittstelle (Itf-N) mit dem Domänenmanager (DM) interagieren kann. Jedem DM sind wiederum eine Reihe von NE zugewiesen. Grundsätzlich werden die Netzwerkregeln (wie z.B. Konfigurationsparameter, Referenzwerte) vom NM an den DM und vom DM über die Süd-Schnittstelle (Itf-S) an die einzelnen NE übertragen. Hingegen werden Informationen zur Performanz, zu Fehlern und zu abgeschlossenen Konfigurationen in umgekehrter Richtung vom NE aufwärts übertragen. Einzelnen Performanz-Informationen eines Netzwerkelements (wie z.B. Anzahl der Verbindungsversuche, Anzahl der erfolgreichen Verbindungsversuche) werden auf höherer Ebene zu Leistungskennzahlen (KPI) aggregiert [6].

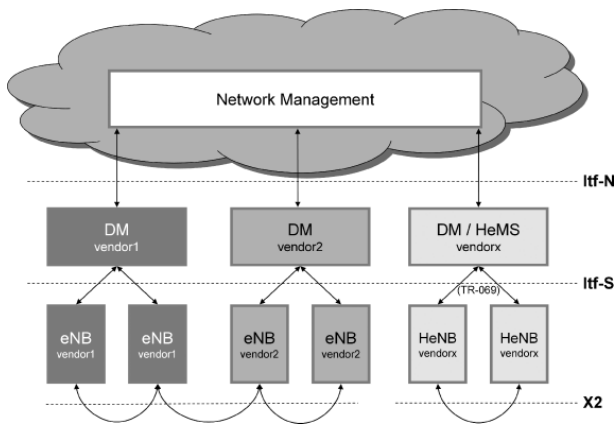


Abbildung 4: LTE Managementarchitektur [11]

5. SELBST-KONFIGURATION

Ein neues NE muss sich möglichst selbstständig in Betrieb nehmen und mit dem Netzwerk verbinden können. Natürlich erfordert die Installation von MBS höhere manuelle Intervention, als LPN die weitestgehend auf einer plug & play Installation basieren. Der Selbst-Konfigurationsprozess kann hierbei in folgende fünf Phasen untergliedert werden [11][6]:

1. **Aufbau einer grundlegenden Netzwerkverbindung:** Dem NE wird eine vorläufige IP-Adresse zugewiesen.
2. **Aufbau einer sicheren Netzwerkverbindung mit dem Auto-Connection Server:** Das Sicherheitszertifikat wird vom Netzbetreiber heruntergeladen. Dadurch wird es dem NE unter anderem ermöglicht, mit Nachbarknoten Informationen auszutauschen.
3. **Standortbestimmung:** Der genaue Standort des NE wird benötigt, sodass das OAM-System die Konfigurationsparameter (wie z.B. Sendeleistung und Antennenausrichtung) entsprechend berechnen kann.
4. **Verbindung mit dem OAM-System:** Die erforderliche Software wird heruntergeladen und installiert. Die Transport- und Konfigurationsparameter werden übergeben.
5. **Aufbau einer sicheren Verbindung:** Die provisorische Verbindung mit dem Auto-Connection Server wird getrennt. Im Falle von HeNB wird eine verschlüsselte Verbindung mit dem DM bzw. dem HeNB-Management-System über eine standardisiertes Itf-S (nach Standard TR-069) hergestellt. eNB werden über ein herstellerspezifisches Itf-S mit dem DM des Herstellers verbunden. Über die X2-Schnittstelle kann zudem eine Verbindung zwischen Nachbarknoten hergestellt werden.

Mit Ausnahme von Relais-Knoten ist der beschriebene Konfigurationsprozess weitestgehend herstellerspezifisch. Da Relais-Knoten keine verkabelte Anbindung zum Netzwerk haben, weicht der Selbst-Konfigurationsprozess vom dargestellten Ablauf ab und wurde teilweise standardisiert.

6. SELBST-OPTIMIERUNG

Die Anforderungen an die Selbst-Optimierung wurden durch das 3GPP definiert. Wie Abbildung 3 zeigt, dient die Selbst-Optimierung vor allem der Reduktion des OPEX. Durch entsprechende SON-Maßnahmen gelingt es den manuellen Wartungsaufwand auf ein Minimum zu reduzieren. Das vorliegende Kapitel zeigt die Aspekte auf, die die Selbst-Organisation umfasst.

6.1 Automatische Nachbarschaftsbeziehungen

Eine zentrale Anforderung an Mobilfunknetzwerke ist es, die Verbindung zwischen Endgerät und Netzwerk aufrecht zu erhalten, wenn sich das Endgerät aus dem Abdeckungsbereich des bedienenden Knotens bewegt. Hierbei wird das Endgerät von einem Knoten an einen anderen übergeben. Dieser Prozess wird auch Handover (HO) genannt. Um einen reibungslosen HO zu gewährleisten, ist es erforderlich, dass die Nachbarschaftsbeziehungen zwischen den Knoten bekannt sind [15].

Die Herstellung von Nachbarschaftsbeziehungen ist in Nicht-SON mit größtem Aufwand verbunden, da die Beziehungen einzeln vorkonfiguriert werden müssen. Daher ist die automatisierte Konfiguration der Nachbarschaftsbeziehungen (automatic neighbor relation; ANR) - vor allem in hetNet - eine Schlüsselanforderung an SON. In GSM und UMTS wird die ANR zentral Basisstations- bzw. Funknetzwerkssteuerung vorgenommen. Da in LTE keine zentrale Kontrollinstanz die ANR steuert, wird der HO zwischen den Knoten direkt über X2-Schnittstelle abgewickelt. Alternativ kann in LTE der HO auch über Itf-S koordiniert werden [16] (siehe Abbildung 4).

6.2 Identitäts-Management

In der Phase der Selbst-Konfiguration werden den Knoten PCI (Physical Layer Cell Identity) zugewiesen, wobei beispielsweise in LTE nur 504 verschiedene PCI Kombinationen existieren. Haben zwei Knoten in der selben Nachbarschaft die selbe PCI, so kann es zu den Fehlern PCI-Verwechslung oder PCI-Kollision kommen. Die PCI-Verwechslung tritt ein, sobald zwei benachbarte Zellen die selbe PCI haben, ihr Abdeckungsbereiche sich jedoch nicht überlappen (siehe Abbildung 5). Zur PCI-Kollision kommt es hingegen, sobald zwei benachbarte Knoten nicht nur die selbe PCI haben, sondern ihre Abdeckungsbereiche sich auch überlappen (siehe Abbildung 5 & 6). Die Mehrfachzuweisung von PCI in der selben Nachbarschaft, kann nur durch die Überprüfung der ECGI (Evolved Cell Global Identifier) - einer eindeutigen Knoten-Identifikationsnummer - erkannt werden [6].

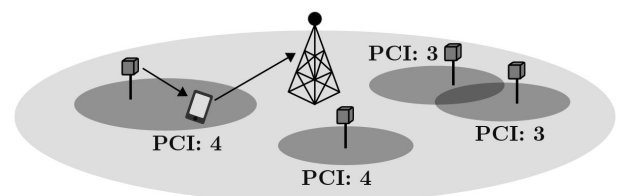


Abbildung 5: PCI-Verwechslung und PCI-Kollision

Grundsätzlich bestehen zwei Möglichkeiten, um eine PCI-Verwechslung aufzufinden:

1. Ein Endgerät wird von einem LPN bedient. Das Endgerät entdeckt eine MBS. Der LPN fordert das Endgerät auf, ihr die ECGI der MBS zu übermitteln. Durch diese Information kann eine X2-Verbindung zwischen der MBS und dem LPN aufgebaut werden. Ist die X2-Verbindung aufgebaut, so erkennt die MBS, dass sich in ihrem Abdeckungsbereich zwei LPN mit derselben PCI befinden [18].
2. Alternativ können vermehrte HO-Fehler ein Indikator für eine PCI-Kollision sein. In diesem Fall werden die verfügbare Endgeräte von der MBS aufgefordert, die ECGI des LPN mit der entsprechenden PCI zu übermitteln. Wenn zu der entsprechenden PCI mindestens zwei verschiedene ECGI zurückgeliefert werden, konnte die PCI-Verwechslung erfolgreich erkannt werden [18].

Eine PCI-Kollision kann von den betroffenen LPN nicht als solche erkannt werden. Allerdings identifiziert die MBS diese als eine PCI-Verwechslung. Nachdem eine PCI-Verwechslung erkannt wurde, wird das OAM benachrichtigt. Daraufhin wird eine zentralisierte Neukonfiguration der PCI vorgenommen, indem einem der betroffenen Knoten eine neue noch verfügbare PCI zugewiesen wird [18].

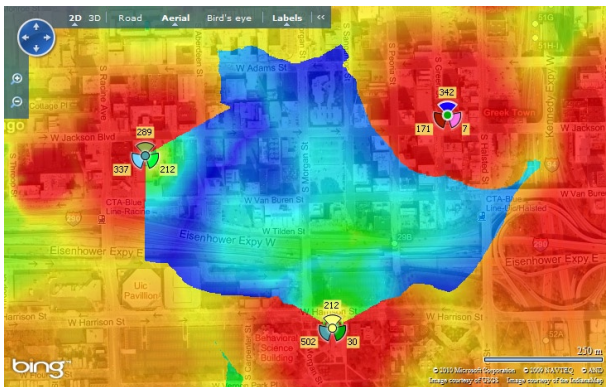


Abbildung 6: Signalqualität-Karte bei einer PCI-Kollision. Die roten Bereiche zeigen hohe Signalqualität; die blauen Bereiche zeigen niedrige Signalqualität [17]

6.3 Interferenz Management

In hetNet ist die Interferenz ein zentrales Thema, da in mehrschichtigen Netzwerken die Wahrscheinlichkeit der Wellen-Überlagerung höher ist, als in reinen Makro-Netzwerken. Dies ist vor allem auf die Wiederverwendung der Frequenzbereiche durch die NE zurückzuführen. Die schwierigsten Interferenzkonstellationen ergeben sich, sobald ein HeNB als Closed Subscriber Group (CSG) konfiguriert wird. In einer CSG werden nur angemeldete Nutzer vom HeNB bedient. Nutzer die nicht zur CSG gehören sich jedoch in der Nähe des Knotens befinden, werden im Downlink starke Interferenz erfahren, vor allem wenn das nächste freie NE in einiger Entfernung und die Signalstärke nur mehr schwach ist. Auch im Uplink wird die geschlossenen HeNB starke Interferenz erfahren, da ein nicht angemeldetes Endgerät mit hoher Signalstärke senden muss, sodass das bedienende NE das Signal noch empfangen kann [11].

Grundsätzlich gibt es zwei Möglichkeiten um mit Interferenzproblemen in CSG umzugehen: Verringerung der Signalstärke und Aufteilung der Trägerfrequenz. Die Verringerung der Signalstärke des geschlossenen HeNB führt dazu, dass die Endgeräte geringere Interferenz erfahren. Mithilfe von verfügbaren Endgeräten findet der HeNB die Signalstärke des nächsten offenen NE heraus. Je nachdem, wie er seine eigene Signalstärke einstellt, wird die Signalstärke des offenen NE besser oder schlechter. Reduziert der geschlossene HeNB allerdings seine Signalstärke, so verringert sich auch sein Abdeckungsbereich. Bei der Aufteilung der Trägerfrequenz sendet der geschlossene HeNB nur in einem bestimmten Frequenzbereich. Dadurch gibt es für nicht angemeldete NE die Möglichkeit auf interferenzfreien Frequenzbereichen zu senden [11].

6.4 Optimierung der Mobilitäts-Robustheit

Nomen est omen: Die Mobilität ist ein zentrales Merkmal der Mobiltelefonie. Folglich ist die Mobilitäts-Robustheits-Optimierung (MRO) zwangsläufig eine wesentliche Anforderung an SON. Die Ziele der MRO sind folgende [12]:

- **Minimierung der Anruferunterbrechungen:** Eine bestehende Telefonverbindung wird unterbrochen da das Endgerät die Verbindung zum RAN (Radio Access Network) verliert
- **Minimierung der Verbindungsfehler:** Bei Verbindungsfehlern (Radio Link Failures; RLF) verliert das Endgerät ebenfalls die Verbindung zum RAN. Allerdings kann die Verbindung wieder aufgebaut werden, bevor es zu einer Anruferunterbrechung kommt.
- **Minimierung überflüssiger HO:** Hierbei handelt es sich unter Anderem so genannte Ping-Pongs, wobei es innerhalb kurzer Zeit zu wiederholten HO zwischen zwei Zellen kommt. Hierdurch kommt es zu einer Verschwendung von Netzwerkressourcen.
- **Minimierung von Problemen im Ruhemodus:** Durch Kontrollmechanismen muss garantiert werden, dass das UE jederzeit eine Verbindung aufbauen kann.

Die genannten Fälle lassen sich auf folgende Probleme zurückführen:

1. **Verfrühter HO:** Zelle A übergibt das UE an Zelle B. Die Verbindung des UE zu Zelle B ist allerdings zu schwach, sodass es möglicherweise zu einem RLF kommt.
2. **Verspäteter HO:** Zelle A übergibt das UE nicht an Zelle B, obwohl ein HO möglich wäre. Die Verbindung zu Zelle A wird zu schwach, sodass es möglicherweise zu einem RLF kommt.
3. **HO zur falschen Zelle:** Zelle A sollte das UE an Zelle B übergeben, stattdessen wird das UE jedoch an Zelle C übergeben, sodass es möglicherweise zu einem RLF kommt.
4. **Ping-Pong:** Zelle A übergibt das UE an Zelle B. Nach kurzer Zeit findet wieder ein HO von Zelle B zu Zelle A statt.

5. **Kurze Verweildauer:** Zelle A übergibt das UE an Zelle B und Zelle B übergibt das UE an Zelle C, obwohl Zelle A das UE auch direkt an Zelle C übergeben hätte können.
6. **Überflüssiger HO von vorrangigen zu nachrangigen Standards:** Das UE wird bspw. von einem LTE an ein 3G Netzwerk übergeben, obwohl sich das UE nach wie vor im Abdeckungsbereich des LTE-Netzwerks befindet.
7. **HO direkt nach der Verbindung:** Im Ruhemodus ("idle mode") wird die Verbindung durch das UE aufgebaut. Im Verbindungsmodus ("connected mode") bestimmt die Zelle über den HO. Findet direkt nach der Verbindung des UE mit Zelle A ein HO zu Zelle B statt, so ist dieser HO überflüssig und die Parameter des Ruhe- & Verbindungsmodus müssen neu konfiguriert werden.

In LTE-Netzwerken wird der HO von dem betroffenen Endgerät aktiv unterstützt. Hierbei sendet das Endgerät einen Messreport (MR) an sein bedienendes NE, sobald ein bestimmtes Kriterium eintritt. Eine Sammlung dieser Kriterien findet sich in [19]. Beispielfhaft wird hier das Event A3 angeführt, wobei ein MR gesandt wird, sobald folgende Aussage wahr ist:

$$\gamma_i^{(dB)} + \lambda_i^{(dB)} > \gamma_s^{(dB)} + \lambda_s^{(dB)} + \Delta^{(dB)} \quad (1)$$

Hierbei bezeichnet s das bedienende und i das potentielle NE; Δ bezeichnet die HO-Schwelle um überflüssige HO zu verhindern; γ steht entweder für die Signalstärke oder die Signalqualität; λ bezeichnet die vorhandene Frequenzabweichung (zur Reduktion der Interferenz). Wenn beispielsweise $\lambda_i^{(dB)} = \lambda_s^{(dB)}$ wird dem bedienenden NE ein MR gesandt, sobald die Signalstärke eines potentiellen NE besser ist und auch die HO-Schwelle überschritten wird ($\gamma_i^{(dB)} > \gamma_s^{(dB)} + \Delta^{(dB)}$).

Sobald das Endgerät einen MR an sein bedienendes Quell-NE sendet, wird dieses einen HO einleiten. Wenn das potentielle Ziel-NE den HO akzeptiert, so übermittelt das Quell-NE die Direktzugriffsinformationen an das Endgerät, welches sich daraufhin direkt mit dem Ziel-NE verbinden kann (siehe Abbildung 7).

Das Hauptziel der MRO ist die Realisierung an die eingangs genannten Ziele Minimierung von Anrufunterbrechungen, Verbindungsfehlern, überflüssigen HO und Problemen im Ruhemodus. Hierzu werden relevante Daten gesammelt und analysiert. Verliert das UE beispielsweise die Verbindung zum RAN (Radio Access Network) so werden nach erneutem Verbindungsaufbau unter anderem folgende Informationen übertragen: zuletzt bedienendes NE, Signalstärke, Messwerte der potentiellen Nachbarzellen, GPS-Daten, Dauer bis zum erneuten Verbindungsaufbau, etc. [6]. Wird vom OAM-System ein Verbesserungspotential ausgelotet, so werden die Konfigurationsparameter entsprechend angepasst. Wird beispielsweise ein Ping-Pong zwischen zwei Zellen erkannt, so kann das OAM-System beispielsweise die HO-Schwelle Δ erhöhen [6].

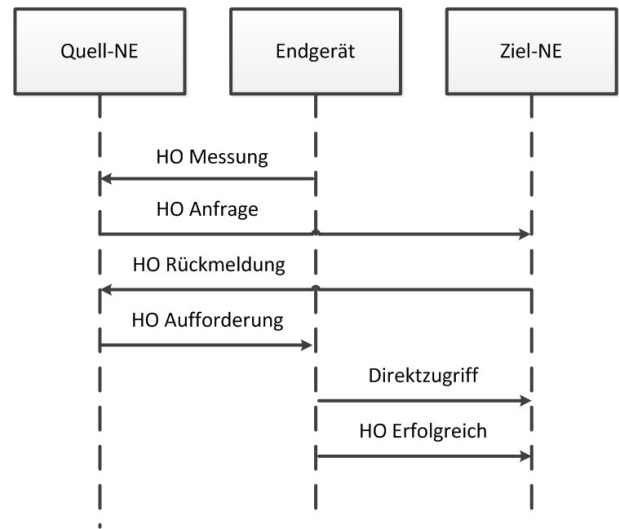


Abbildung 7: Ein HO in einem LTE Netzwerk über die X2-Schnittstelle

6.5 Lastverteilung

Die Mechanismen zur Lastverteilung (Mobility Load Balancing; MLB) wurden vom 3GPP eingeführt, um die Überlastung einzelner NE zu verhindern und das Datenaufkommen gleichmäßig auf die verfügbaren NE zu verteilen. Als Indikatoren für die Überlastung einzelner NE gilt die Häufung von HO-Fehlern bei dem betroffenen Knoten. Die Algorithmen zur Lastverteilung brauchen natürlich immer die Lastinformationen der benachbarten Zellen. Diese können sich auf die Auslastung der Hardware und die Auslastung des Netzwerks beziehen [11].

In hetNet ist es zudem häufig der Fall, dass LPN weniger Datenvolumen zugeteilt wird als MBS, was Mechanismen zur Lastverteilung erforderlich macht. Wie in Abbildung 8 gezeigt wird, ist die Erhöhung der Übertragungsstärke des NE und somit ihres Abdeckungsbereichs eine Möglichkeit, um das Problem zu adressieren. Natürlich ist die Möglichkeit dieses Vorgehen von der Leistungsfähigkeit des einzelnen NE abhängig [11].

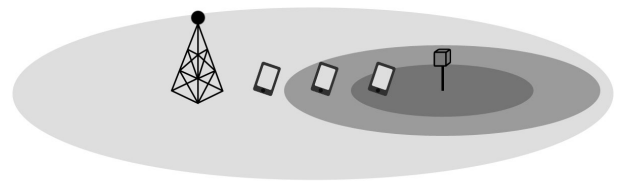


Abbildung 8: Erhöhung der Übertragungsstärke eines LPN, um eine effiziente Lastverteilung zu erreichen.

7. SELBST-HEILUNG

Da LPN natürlich weniger fortgeschritten sind wie MBS, drohen in hetNet die Kosten für das Fehler-Management mit der Anzahl an LPN zu steigen. Eine Anforderung an SON ist somit, die Kosten für das Fehler-Management möglichst gering zu halten. Daher werden Mechanismen zur Selbst-

Heilung in den NE und/oder im OAM-System implementiert. Folgende Anwendungsfälle für die Selbst-Heilung sind denkbar:

- **Ausfall-Erkennung:** Erkennung von NE die keine Daten übertragen oder auf Anfragen nicht reagieren.
- **Ausfall-Behebung:** Module des NE werden neu gestartet.
- **Ausfall-Kompensation:** Wenn eine Ausfall-Behebung nicht erfolgreich durchgeführt werden konnte, wird das NE ausgeschaltet und Nachbarzellen kompensieren nach Möglichkeit den Ausfall.
- **Rückkehr zum Ausgangszustand nach einer Ausfall-Kompensation:** Nachdem das fehlerhafte NE wieder funktionsfähig ist, kehrt das Mobilnetzwerk wieder in seinen Ausgangszustand zurück.

Innerhalb des 3GPP wurden bestimmte Auslöse-Zustände für die Selbst-Heilung (Triggering Conditions of Self-Healing; TCoSH) definiert, welche ständig überwacht werden. Sobald eine TCoSH eintritt, wird ein entsprechender Selbst-Heilungsprozess ausgelöst. Hierbei kann durch Tests herausgefunden werden, welche Maßnahmen zur Behebung des Ausfalls nötig sind. Bevor die entsprechenden Schritte jedoch durchgeführt werden, wird die aktuelle Konfiguration gesichert und das OAM-System wird zu den geplanten Selbst-Heilungs-Maßnahmen benachrichtigt. Eine mögliche Maßnahme zur Kompensation eines NE-Ausfalls ist beispielsweise die Erhöhung der Downlink-Übertragungsstärke mit einer einhergehenden Erweiterung des Abdeckungsbereichs. Im Uplink kann die Übertragungsstärke der Endgeräte reduziert werden, sodass Interferenz nach Möglichkeit vermieden wird [6].

Im Vergleich zu anderen Fehlern ist die Erkennung von schlafenden Zellen (bleeping cells) besonders schwer. Schlafende Zellen senden und empfangen keine Daten, sind aus Sicht des OAM-Systems jedoch voll einsatzfähig, die weder Daten senden noch empfangen - um einiges komplizierter. In [20] wird empfohlen durch eine Datenanalyse ein Muster in so genannten Diffusions-Landkarten zu finden um schlafende Zellen zu erkennen.

8. ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNGEN

Die hohe Anzahl an LPN in hetNet führt zu wesentlichen Interferenzproblemen, für welche bisher noch nicht ausreichend Lösungen entwickelt wurden. Die Bewältigung dieses Problems liegt sicherlich in der Zuweisung von Frequenzbereichen an NE und die Regulation der Übertragungsstärke. Erst durch ausgefeiltere Selbstorganisations-Maßnahmen, können sich NE erfolgreich in ihre Nachbarschaft eingliedern und zugleich durch Parameteranpassungen intelligent auf Änderungen in ihrer unmittelbaren Nachbarschaft einstellen[7].

Weiters können LPN zusätzlich verbessert werden, indem Techniken wie Reinforcement Learning (RL) implementiert werden. Hierbei können die Konfigurations-Parameter unabhängig von Nachbarknoten angepasst werden. Dadurch müssen weniger Daten zwischen den NE ausgetauscht werden,

wodurch sich NE u.U. besser in das Gesamtsystem einfügen. Eine weitere Möglichkeit die Interferenzprobleme zu adressieren, ist die Coordinated Multi Points Methode, welche eine wichtige Technologie innerhalb der LTE-Advanced darstellt [7].

9. ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit gab einen Einblick in das Thema der selbstorganisierenden heterogenen Netzwerke. Wie gezeigt wurde, ist die Heterogenität innerhalb des LTE und UMTS Mobilfunkstandards zu einer unumgänglichen Realität geworden, da optimale Kapazität, Performanz und Netzabdeckung nicht anders gewährleistet werden können. Parallel dazu muss das Netzwerk durch die steigende Komplexität die Fähigkeit zur Selbstorganisation erwerben. Aus diesem Grund waren die SON-Funktionalitäten innerhalb des 3GPP LTE Standardisierungsprozesses von Anfang an dabei. Nur durch intensive Forschung in der Wissenschaft und der Wirtschaft, ist es möglich den Anforderungen der Nutzer gerecht zu werden.

In der Arbeit wurde gezeigt, welche Aspekte die Selbstorganisation umfasst. Schrittweise wurden die Konzepte der Selbst-Konfiguration, -Optimierung & -Heilung besprochen. All diese Aspekte der Selbstorganisation wurden spezifisch in Hinblick auf heterogene Netzwerke diskutiert. Ziel der Arbeit war es, dem Leser einen fundierten Einblick in das Thema zu verschaffen und die Kernthemen des Forschungsfeldes zu beleuchten.

10. LITERATUR

- [1] G. Mulligan: *The 6LoWPAN Architecture*, In Proceedings of the 4th Workshop on Embedded Networked Sensors (EmNets), pages 78-82, ACM New York, NY, USA, 2007
- [2] *3GPP work items on Self-Organizing Networks (v0.0.9)*, Sep, 2013.
- [3] X. Chu, D. Lopez-Perez, F. Gunnarsson, and Y. Yang, "Introduction," in *Heterogeneous cellular networks. Theory, simulation, and deployment*. X. Chu, D. Lopez-Perez, Y. Yang, F. Gunnarsson, Eds. Cambridge: Cambridge University Press, 2013, pp. 1-14.
- [4] A. Damnjanovic, J. Montojo, Y. Wei, T. Ji, T. Luo, and M. Vajapeyam, et al., "A survey on 3GPP heterogeneous networks," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 18, pp. 10-21, 2011.
- [5] *Ericsson Mobility Report. On the Pulse of the Networked Society*. Stockholm, Schweden, Nov, 2013.
- [6] F. Gunnarsson, "Self-Organization," in *Heterogeneous cellular networks. Theory, simulation, and deployment*. X. Chu, D. Lopez-Perez, Y. Yang, F. Gunnarsson, Eds. Cambridge: Cambridge University Press, 2013, pp. 145-178.
- [7] M. M. S. Marwangi, N. Fisal, S. K. S. Yusof, R. A. Rashid, A. S. A. Ghafar, and F. A. Sapparudin, et al., "Challenges and practical implementation of self-organizing networks in LTE/LTE-Advanced systems," in *ICIMU 2011 : Proceedings of the 5th international Conference on Information Technology & Multimedia: IEEE*, 2011, pp. 1-5.
- [8] F. Lehser, NGMN Informative List of SON Use Cases,

Next Generation Mobile Networks, 2007.

- [9] F. Lehser, NGNM Use Cases related to Self Organising Network, *Next Generation Mobile Networks*, 2008.
- [10] C. Prehofer and C. Bettstetter, "Self-organization in communication networks: principles and design paradigms," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 43, pp. 78–85, 2005.
- [11] C. Sartori, H. Sanneck, K. Pedersen, J. Pekonen, I. Viering, and D. Laselva, "SON for Heterogeneous Networks (hetNet)," in *LTE self-organising networks (SON). Network management automation for operational efficiency*. S. Hämäläinen, H. Sanneck, C. Sartori, Eds. Hoboken, N.J: Wiley, 2012, pp. 357–378.
- [12] D. Laselva, I. Viering, D. Rose, J. Wigard, S. Hämäläinen, and K. Kordybach, et al., "Self-Optimisation," in *LTE self-organising networks (SON). Network management automation for operational efficiency*. S. Hämäläinen, H. Sanneck, C. Sartori, Eds. Hoboken, N.J: Wiley, 2012.
- [13] N. Shah, Self Organizing Networks, LTE and OPEX, <http://shahneil.com/2010/04/son-lte-opex/>, 2013.
- [14] R. Waldhauser, M. Staufer, S. Hämäläinen, H. Sanneck, H. Tang, and C. Schmelz, et al., "Self-Organizing Networks (SON)," in *LTE self-organising networks (SON). Network management automation for operational efficiency*. S. Hämäläinen, H. Sanneck, C. Sartori, Eds. Hoboken, N.J: Wiley, 2012, pp. 39–80.
- [15] J. Zec, O. Stan, R. A. Garcia, N. Faour, C. Neophytou, and K. Hameied, et al., "Multi-Technology Self-Planning," in *Self-Organizing Networks (SON): Self-Planning, Self-Optimization and Self-Healing for GSM, UMTS and LTE*. J. Ramiro, K. Hamied, Eds.: Wiley, 2011.
- [16] M. Sauter, "Long Term Evolution (LTE)," in *Grundkurs mobile Kommunikationssysteme. UMTS, HSDPA und LTE, GSM, GPRS und Wireless LAN*. 4th ed. M. Sauter, Ed. Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 2011, pp. 279–336.
- [17] Keima Limited, *Planning an LTE network. Use Overture to plan and analyze an LTE network*, <http://overtureonline.com/Support/Tutorials/Planning/Technology/LTE.aspx>, 2010.
- [18] M. Amirijoo, P. Frenger, F. Gunnarsson, H. Kallin, J. Moe, and K. Zetterberg, "Neighbor Cell Relation List and Physical Cell Identity Self-Organization in LTE", in *ICC Workshops - 2008 IEEE International Conference on Communications Workshops: IEEE*, 2008, pp. 37–41.
- [19] 3GPP, *Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC). Protocol specification Release 11 (TS 36.331) V11.5.0*, Sep, 2013.
- [20] F. Chernogorov, J. Turkka, T. Ristaniemi, and A. Averbuch, "Detection of Sleeping Cells in LTE Networks Using Diffusion Maps," in *2011 IEEE 73rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring): IEEE*, 2011, pp. 1–5.