

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Forschungsergebnisse Projekt IntelliSpektrum

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Projektüberblick

Projekttitel:	IntelliSpektrum - Intelligentes Spektrum-Management für energieeffizienten und dienstoptimierten Zugang in flexiblen hierarchischen Mobilfunknetzen
BMWi FKZ:	01ME11023A
Laufzeit:	01.04.2011 bis 30.09.2014
Konsortium:	Alcatel-Lucent Deutschland AG Intel Mobile Communications GmbH (IMC) Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut
Projektleiter:	Dr. Andreas Wich, Alcatel-Lucent Deutschland AG
Webseite:	www.intellispektrum.de

Forschungsthemen

Das Projekt Intellispektrum entwickelt energieeffiziente, hoch kapazitive, serviceorientierte und spektral effiziente Mobilkommunikation mit Hilfe von:

- Szenarien für ein flexibles, dynamisches und heterogenes Mobilfunknetz
- Auslastungsoptimierung durch Zu- und Abschaltung der kleinen Funkzellen mit Hilfe einer intelligenten Steuerung (Netzmanagement)
- Flexible, dynamische, selbstorganisierende und hocheffiziente Sender für Basisstationen (Intelligente Algorithmen für HF Transceiver)
- Neuer Sender mit Galliumnitrid-Schaltungen für hohe Bandbreite und geringen Energieverbrauch
- Breitbandige Sendeverstärker & rauscharmes Verstärkermodul für den Empfang (energieeffizienter Sender)
- Energie Profiler im Endgerät zur Analyse der Wechselwirkung zwischen Netz und Endgerät (energy profiling for mobile user terminals)
- Energieautarke Netzelemente (Energy Harvesting)

Nutzung kleiner unidirektionaler Funkzellen in Kombination mit Makro-Basisstationen

- Unidirektionale (nur Uplink) kleine Funkzellen mit Interference Rejection Combining (IRC) verbessern den Empfang an der Basisstation um mehr als 50%
- Verbesserung des Downlink-Durchsatzes um ca. 10% im Mittel bzw. 97% am Rand der Funkzelle
- Kleine Funkzellen haben im Vollbetrieb eine ca. 2 bis 11 mal höhere Ressourcenausnutzung.
- Hierdurch auch verringerte Sendeleistung des Endgerätes (Terminal).

Ergebnis der Maßnahme:

- Stromeinsparung bei Netzelementen
- Stromeinsparung bei Endgeräten

Energiemanagement in HetNet-Szenarien

Die besten Ergebnisse werden mit Makros mit großem Abdeckgebiet (IISDMacro = 1732 und 4330 m, ISDPico 130 m) und moderater Zahl an Picozellen erzielt

- Energieeinsparungen von bis zu 58,5 %
- Idealisiertes Ein-/Ausschalten von Picos kann im Vergleich zu Micro DTX vernachlässigt werden
- Bei einer Reduktion des Backhaul-Energieverbrauchs um Faktor 2 sind Energieeinsparungen von bis zu 70% erreichbar (es wurde mit 5W gerechnet).

Das Netz ist bezüglich seiner Leistungsfähigkeit in Szenarien mit großen Makros und sehr vielen kleinen Picos überdimensioniert

- Geringe Energieeffizienz
- Hoher Energieverbrauch aufgrund der großen Summe der per-Link Backhaul Energieverbräuche

Kombination unterschiedlich sektorierter Makrozellen mit zusätzlichen Pico-Zellen (HetNet)

Makros und Picos (30 dBm max.) vs. 6-fach sektor. Makros:

- bis 80% Energieeinsparung (1-fach sektor. Makro und zusätzlichen Picos)
- 15% bis 50% Energieeinsparung (3-fach sektor. Makro und zusätzl. Picos)
- Picozellen müssen erst aktiviert werden, wenn die Kapazitätsgrenze des Szenarios erreicht ist

Macros und Picos (24 dBm max.) vs. 6-fach sektor. Makros:

- 40% bis 50% Energieeinsparung (3-fach sektor. Makro und zusätzl. Picos)
- Picozellen können aus Energiespargründen schon aktiviert werden bevor die Kapazitätsgrenze der 3-fach sektorisierten Markozelle erreicht ist

Fazit: 3-fach Sektorisierung und kleine Pico-Zellen sind deutlich energiesparender als 6-fach sektorisierte Makro-Basisstation!

Kooperative Datenübertragung zum Nutzer (Downlink) durch mehrere Makro-Basisstationen

- Bei kooperativer Datenübertragung durch drei Makro-Basisstationen steigt der Durchsatz im Sektor um etwa Faktor zwei (gegenüber Einzelübertragung)
- Niedriger Signalisierungsaufwand
- Zellrandbenutzer profitieren von der Umwandlung von Störsignalen zu Nutzsignalen

Ergebnis der Maßnahme:

- Reduktion des Sendeleistungsbudget im Median um etwa 45%
- Deutliche Energieeinsparung

Bedarfsgerechte Aktivierung und Deaktivierung von kleinen Funkzellen

Mit Hilfe von Nutzerlokalisierung mittels selbstorganisierender Karten können kleine Zellen effizient (Aktivierung & Deaktivierung) eingesetzt werden:

- Selbstorganisierende Karten geben Auskunft über:
 - Konzentrationen von Nutzern
 - Ortsabhängige Konnektivität
- Konzentrationsdetektion und Prädiktion der Nutzerbewegung basiert auf:
 - Leistung der Signalisierungskanäle der detektierten Basisstationen bzw. Nutzerpositionen

Kognitive Interferenzkoordination

Untersuchung zur Kompression / Reduktion der Signalisierungsdaten:

- Mittels Prädiktion des Funkkanals (Effektivität ist abhängig von der Mobilität des Benutzers sowie der Qualität der Kenntnis des Kanals)
 - Prädiktion kann mit einfachen linearen Funktionen durchgeführt werden, d.h. mit niedriger Komplexität
 - Somit können die Signalisierungsintervalle verlängert werden
- Quantisierung der Signalisierungsdaten

Intelligente Gruppierung von Benutzern bzw. versorgender Basisstation:

- Somit wird der Summendurchsatz in den Zellen erhöht

Sendeleistungsverringering durch Begrenzung der Sendeleistung der an der gemeinsamen Übertragung beteiligten Antennen

Energy Harvester für den Betrieb von kleinen Netzelementen (Repeater)

Ziel war der Betrieb eines kleinen Netzelementes (Basisstation-Repeater) über eine batteriegepufferte Photovoltaikanlage:

- Optimierung nutzt Wetterstatistiken zur Prädiktion von generierter Energie durch Wind und Sonne.
- Ladezeiten und Betriebszeiten der Batterien werden gesteuert.
- Berlin-Szenario mit 63 Basisstationen & 5 energieautarken Elementen
- Relays können zu 97% der Gesamtzeit aktiv sein.
- Durchsatz pro Nutzer sinkt um nur 12%.
- Mögliche Energieeinsparungen pro Jahr: > 7 MWh

Neuartige GaN-basierte Verstärker

Ziel der Forschung war die Entwicklung eines rauscharmen Verstärkers (Low Noise Amplifier, LNA) sowie eines Leistungsverstärkers (High Power Amplifier, HPA) zur Anwendung in intelligenten Sende-Empfangssystemen (Transceiver, TRX) für neuronale Steuerung in Basisstationen

Der neuartige Dualband-HPA wurde:

- mittels Gallium-Nitrid-Prozesse (GaN) realisiert
- mit einer Schaltkreistopologie Klasse AB₁ implementiert (max. Ausgangsleistung >25 W und bis zu 60 % max. Effizienz)
- für den Betrieb in beiden Frequenzbändern des modernen Mobilfunks UMTS (2,11 – 2,17 GHz) und LTE (2,62 - 2,69 GHz) entwickelt

Der neuartige LNA wurde:

- als linear und sehr breitbandig aufgebauter Gallium-Nitrid MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit) LNA mit einer sehr hohen Verstärkung von $G > 30$ dB und niedriger Rauschzahl von $NF < 1$ dB im breiten Frequenzbereich von 0,4 – 3 GHz realisiert

Neuronale Netze

Optimierung der Energieeffizienz von Mobilfunksystemen durch
Implementierung Neuronaler Netze:

- Neuronale Netze lösen stochastische und deterministische Probleme ohne die Notwendigkeit diese mathematisch zu beschreiben.
- Neuronale Netze ermöglichen sehr schnelle parallele Datenverarbeitung (e.g. FPGA).
- Anwendbar auf verschiedene Transceiver-Konzepte und Topologien
- Neuronale Netze besitzen die Fähigkeit selbstlernend und adaptiv auf unterschiedliche Signale, Szenarios und Anforderungen zu reagieren.

Energie Profiler für Endgeräte

Ziel der Forschung ist das Verfolgen und Protokollieren des Energieverbrauchs von Systemkomponenten in Smartphones im Zusammenhang mit Kontextinformationen wie Netzwerkzugehörigkeit, Gerätezustand und Art der laufenden Anwendungen

- Anforderungen an den Energie Profiler:
 - Geringes Gewicht und gute Skalierbarkeit der Monitoring Infrastruktur
 - Ausreichende Genauigkeit und Granularität um Netzübergänge (network transitions) in heterogenen Netzen zu erfassen
- Entwicklung integrierter Strommonitore, welche die Lastströme an jedem Spannungsregler messen
 - Für die Prototypenimplementierung in IntelliSpektrum wurde das SenseFET Konzept empfohlen. Der SenseFET ist ein dedizierter MOSFET, der als Current Mirror parallel zum Power MOSFET des Spannungsreglers implementiert wird.

Patente und Veröffentlichungen

- Patentschriften ALUD
 - E-Meldungs-Titel: “Hybrid Massive MIMO / Multi-Antenna System”
 - E-Meldungs-Titel: “Small Cell Network Optimization For Rate Restricted P2MP Backhaul”
 - E-Meldungs-Titel: “RAN Friendly Internet Notification Techniques”
- 22 nationale und internationale wissenschaftliche Veröffentlichungen
- Best Paper Award: Vincenzo Carrubba (FhG IAF) wurde für das Paper „Dual-Band Class-ABJ AlGaN/GaN High Power Amplifier“ der "EUMC Microwave Prize" (EuMC 2012) verliehen

Präsentationen:

- Electronics Goes Green 2012, Berlin, September 2012
- Bell Labs Open Day, Stuttgart, November 2012
- CeBIT, Hannover, März 2014
- Bell Labs Future X Days, November 2014