

# **Systemkonzepte für die LTE Protokollverarbeitung in hochleistungsfähigen mobilen Endgeräten**

David Szczesny, Lehrstuhl für Integrierte Systeme, Ruhr-Universität Bochum

Zukünftige Mobilfunksysteme wie 3GPP's Long Term Evolution (LTE) bieten signifikant gesteigerte Datenraten kombiniert mit deutlich geringeren Latenzzeiten. Gleichzeitig führt die immer weiter steigende Protokollkomplexität zu großen Herausforderungen für die Architekturen zukünftiger mobiler Endgeräte, in denen die Rechenleistung wegen der begrenzten Akkulaufzeit stark limitiert ist. Im Fokus der bisherigen Forschung und Entwicklung stehen die zeitkritischen Algorithmen in der physikalischen Schicht. Zur Bereitstellung hoher Verarbeitungsgeschwindigkeiten kombiniert mit einer hohen Energieeffizienz werden dabei dedizierte Hardwarekomponenten eingesetzt. Allerdings steigt proportional zu den Datenraten auch der Verarbeitungsaufwand in den höheren Protokollschichten und erfordert intelligente Systemkonzepte und Architekturen.

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung energieeffizienter Beschleunigungskonzepte für die Verarbeitung der höheren Protokollschichten im zukünftigen Mobilfunkstandard LTE, die eine Realisierung hochleistungsfähiger Mobilfunkendgeräte ermöglichen.

Zur schnellen und realitätsnahen Simulation und Evaluierung verschiedener Architekturen auf Systemebene wurde die Virtual Prototyping Technologie verwendet. Durch die Konzeption einer Methode zur Energieabschätzung und Integration in die Entwicklungsumgebung konnte auf hoher Abstraktionsebene zusätzlich zu den Verarbeitungsgeschwindigkeiten ebenfalls die Energieeffizienz verschiedener Systemkonzepte untersucht werden. Darüber hinaus ermöglichte eine Automatisierung der vollständigen Messdurchführung und Auswertung eine schnelle Exploration verschiedener Systemkonzepte bei Variation der Architekturparameter und Übertragungsbedingungen.

Als Grundlage für die Untersuchungen verwendet diese Arbeit einen virtuellen Prototypen eines Mobilfunkendgerätes, der in Anlehnung an aktuelle Mobilfunkplattformen aufgebaut wurde. Dieser besteht aus einer ARM-basierten Hardwarearchitektur, auf der ein Echtzeitbetriebssystem und ein Modell des LTE Protokollstapels mit der zeitkritischsten Funktionalität in der Nutzerebene ausgeführt werden. Zur Simulation verschiedener Kommunikationsszenarien bei der drahtlosen Datenübertragung in der abgeschlossenen und vollständig kontrollierten Entwicklungsumgebung des Virtual Prototyping wurde das eNodeB/L1 Modul entworfen. Es emuliert die physikalische Schicht und eine Basisstation und ermöglicht die parametrisierte Konfiguration der Übertragungseigenschaften auf der Transportblockebene.

Ein detailliertes Profiling der konventionellen Mobilfunkplattform identifizierte die De-/Komprimierung der IP Header mit den Robust Header Compression (ROHC) Algorithmen als die komplexeste und zeitaufwendigste Softwarefunktionalität im LTE Protokollstapel. Darüber hinaus wurde aufgezeigt, dass ein konventionelles Hardwarebeschleunigungskonzept für die Ver-/Entschlüsselung nicht die erforderliche Rechenleistung zur Unterstützung der maximalen Datenraten in LTE bereitstellt.

Ausgehend von den Erkenntnissen aus dem Profiling, wurde in dieser Arbeit ein neues deutlich effizienteres Hardwarebeschleunigungskonzept für die Ver-/Entschlüsselung im LTE Protokollstapel entwickelt: der Smart DMA (sDMA) Controller. Durch die Kombination eines konventionellen DMA Controllers mit Protokollbeschleunigern und Deskriptorverarbeitungslogik ermöglicht der sDMA Controller eine Ver-/Entschlüsselung der Nutzerdaten während des Transfers (on-the-fly) zwischen der physikalischen Schicht und der Datensicherungsschicht im LTE Protokollstapel und erzielt dadurch eine signifikante Steigerung der Verarbeitungsgeschwindigkeiten und eine deutliche Reduktion des Energieverbrauchs.

Zur Optimierung der Ausführungszeiten bei der ROHC Verarbeitung im LTE Protokollstapel wurden in dieser Arbeit zwei energieeffiziente Ansätze untersucht. Dazu wurde das Optimierungspotential bei der Auslagerung von Instruktionen und Daten in eng am Prozessor lokalisierte Speicher (so genannte Tightly-Coupled Memories) und in dedizierte Hardwarebeschleuniger analysiert. Den leistungsstärksten und energieeffizientesten Beschleunigungsansatz erreicht ein in dieser Arbeit entwickelter ROHC Hardwarebeschleuniger, der im so genannten Listenmodus mehrere Paketheader während eines Verarbeitungsvorgangs de-/komprimiert.

Die Effizienz der in dieser Arbeit entwickelten Beschleunigungskonzepte wurde mit der von konventionellen Mobilfunkplattformen verglichen. Durch den Einsatz des sDMA Controllers und einer on-the-fly Ver-/Entschlüsselung der Nutzerdaten kombiniert mit dem ROHC Hardwarebeschleuniger im Listenmodus, konnten die Verarbeitungszeiten um bis zu 67 % und der Energieverbrauch um bis zu 70 % bei der Ausführung des LTE Protokollstapels und konfigurierten Datenraten von 100 Mbit/s reduziert werden. Darüber hinaus führen die Optimierungsansätze zu signifikant gesteigerten Uplink (46 %) und Downlink (115 %) Datenraten. Mit einer Downlink Datentransferrate von näherungsweise 400 Mbit/s wurden die Anforderungen an LTE Mobilfunkendgeräte der höchsten Kategorie deutlich übertroffen.