
Lehrstuhl für Kommunikationsnetze
Prof. Dr.-Ing. C. Wietfeld

Gruppenkommunikationssystem für mobile Multimediaanwendungen mit Echtzeitanforderungen

- Entwurf, Implementierung und Leistungsbewertung -

Genehmigte Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)
der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik
der Technischen Universität Dortmund

von
Dipl.-Ing. Jörn Seger

Hauptreferent: Prof. Dr.-Ing. C. Wietfeld
Korreferent: Prof. Dr.-Ing. R. Kays
Dissertation eingereicht am: 11. Dezember 2007
Tag der mündlichen Prüfung: 2. Mai 2008

Dortmunder Beiträge zu Kommunikationsnetzen und -systemen

Band 1

Jörn Seger

**Gruppenkommunikationssystem für mobile
Multimediaanwendungen mit Echtzeitanforderungen**

Entwurf, Implementierung und Leistungsbewertung

D 290 (Diss. Technische Universität Dortmund)

Shaker Verlag
Aachen 2008

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zagl.: Dortmund, Technische Univ., Diss., 2008

Copyright Shaker Verlag 2008

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-7642-3

ISSN 1867-4879

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| Glossar | VI |
| Kurzfassung | IX |
| 1 Einleitung | 1 |
| 2 Analyse bekannter Gruppenkommunikationslösungen | 3 |
| 2.1 Anforderungen an ein Gruppenkommunikationssystem | 3 |
| 2.2 Infrastrukturlose funkbasierte Lösungen | 5 |
| 2.3 Bündelfunksysteme | 6 |
| 2.4 Internetbasierte Gruppenkommunikationssysteme | 7 |
| 2.5 Das Push-to-Talk over Cellular System (PoC) | 7 |
| 2.6 Vergleich der Gruppenkommunikationssysteme | 8 |
| 3 Untersuchung von verfügbaren Protokollen, Codecs und Übertragungstechnologien | 10 |
| 3.1 Untersuchung von SIP als Protokoll zum Sitzungsauf- und abbau | 10 |
| 3.1.1 Vor- und Nachteile des <i>Session Initiation Protocols</i> | 12 |
| 3.2 Untersuchung von RTP als Protokoll zum Datentransport | 12 |
| 3.2.1 Vor- und Nachteile des <i>Realtime Transport Protocols</i> | 14 |
| 3.3 Verfahren zur Sprachkomprimierung | 14 |
| 3.3.1 Wandlung von analogen Audiosignalen in digitale Informationen | 14 |
| 3.3.2 Vergleich verschiedener Kodierverfahren | 16 |
| 3.4 Verfahren zur Videokodierung | 18 |
| 3.5 Drahtlose Übertragungstechnologien | 19 |
| 3.5.1 Bestimmung des Overheads und der effektiven Datenrate | 20 |
| 3.5.2 IEEE 802.11 Wireless LAN | 20 |
| 3.5.3 General Packet Radio Service (GPRS) | 22 |
| 3.5.4 Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) | 25 |
| 3.5.5 Zusammenfassung zu den Übertragungstechnologien | 27 |
| 3.6 Zusammenfassung | 27 |
| 4 Analyse und Modellbildung von Verkehrsquellen | 29 |
| 4.1 Modelle zur Beschreibung von paketbasierten Verkehrsquellen | 30 |
| 4.1.1 Analyse der Sitzungsebene | 31 |
| 4.1.2 Analyse der Teilnehmerebene | 32 |
| 4.1.3 Analyse von Paketdaten bei der Sprachübertragung | 33 |
| 4.1.4 Analyse von niederbitratigen Videodatenströmen | 34 |
| 4.2 Analyse von Push-basierter Gruppenkommunikation | 36 |
| 4.2.1 Paketbasierte Gruppenkommunikation | 38 |
| 4.3 Zusammenfassung | 41 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 5 | Qualitätsbewertung von Multimediaströmen | 42 |
| 5.1 | Definition der Dienstgüte bei Multimediatelefonie | 43 |
| 5.1.1 | Dienstgüte in der ITU | 43 |
| 5.1.2 | Dienstgüte in der IETF | 44 |
| 5.2 | Einflussfaktoren auf die Dienstgüte von Multimediaübertragungen | 45 |
| 5.2.1 | Verzögerung | 46 |
| 5.2.2 | Jitter | 47 |
| 5.2.3 | Paketverlust | 50 |
| 5.2.4 | Standardabweichung der Verzögerung unter den Empfängern | 51 |
| 5.3 | Dienstgüten bei Übertragungsprotokollen | 51 |
| 5.4 | Zusammenfassung | 52 |
| 6 | Die Entwicklungsumgebung Protosim | 53 |
| 6.1 | Aufbau von ProtoSim | 54 |
| 6.2 | Simulation von Netzeigenschaften | 57 |
| 6.2.1 | Aufprägen von Netzeigenschaften über das <i>IPNetChannelModell</i> | 58 |
| 6.2.2 | Aufprägen von Netzeigenschaften über das <i>sharedChannelModell</i> | 60 |
| 6.3 | Betriebsarten der Umgebung | 61 |
| 6.4 | Zusätzliche Werkzeuge für die Simulation | 62 |
| 7 | Entwurf der Push-to-X Gruppenkommunikationsplattform | 64 |
| 7.1 | Verschiedene Ausprägungen von Gruppenkommunikationssystemen | 65 |
| 7.2 | Begriffsdefinitionen zur Gruppenkommunikation | 66 |
| 7.3 | Beschreibung der entwickelten Einheiten und ihrer Module | 67 |
| 7.3.1 | Der Aufbau des Clients | 68 |
| 7.3.2 | Aufbau des Servers | 70 |
| 7.4 | Entwicklung eines Protokolls zur Gruppenkommunikation (PTX) | 70 |
| 7.4.1 | Grundlage des PTX Protokolls | 72 |
| 7.4.2 | Robustheit des Protokolls | 74 |
| 7.5 | Die Administration von Benutzern und Gruppen | 75 |
| 7.6 | Die Sitzungskontrolle | 76 |
| 7.6.1 | Peer-to-Peer Sitzungskontrolle | 77 |
| 7.6.2 | Serverbasierte Sitzungskontrolle | 80 |
| 7.6.3 | Keine Sitzungskontrolle | 81 |
| 7.7 | Varianten zur Multimedia-Datenverteilung | 82 |
| 7.7.1 | Allgemeines zur Datenverteilung | 82 |
| 7.7.2 | Peer-to-Peer Datenverteilung | 83 |
| 7.7.3 | Serverbasierte Datenverteilung | 84 |
| 7.7.4 | Hierarchische Datenverteilung | 85 |
| 7.7.5 | Ordnung und Bewertung der Teilnehmereinträge | 86 |
| 7.7.6 | Datenverteilung über Multicast | 87 |
| 8 | Dimensionierung und verkehrstheoretische Leistungsbewertung von Teilkomponenten | 90 |
| 8.1 | Untersuchung der Sitzungskontrolle bei Zugangsnetzverzögerung | 91 |
| 8.1.1 | Bewertungsverfahren | 91 |
| 8.1.2 | Erarbeitung des Test szenarios | 93 |

| | | |
|------------------|--|------------|
| 8.1.3 | Analyse der unterschiedlichen Verzögerungszeiten | 95 |
| 8.1.4 | Zusammenfassung | 106 |
| 8.2 | Untersuchung des Einflusses der Übertragungsdatenrate auf die Dienstqualität | 107 |
| 8.2.1 | Erarbeitung der betrachteten Szenarien | 108 |
| 8.3 | Dimensionierung der Warteschlangen bei Sprachedaten | 112 |
| 8.3.1 | Vorüberlegungen zur Auslegung des Warteschlangensystems | 112 |
| 8.3.2 | Untersuchung der Dienstgüte bei der Peer-to-Peer Datenverteilung | 113 |
| 8.3.3 | Untersuchung der Dienstgüte bei der hierarchischen Datenverteilung | 118 |
| 8.3.4 | Untersuchung der Dienstgüte bei der serverbasierten Datenverteilung | 122 |
| 8.4 | Dimensionierung der Warteschlangen bei Videodaten | 125 |
| 8.4.1 | Vorüberlegung zur Auslegung des Warteschlangensystems | 125 |
| 8.4.2 | Bestimmung der Datenrate eines Videodatenstromes | 125 |
| 8.4.3 | Bewertung der zur Verfügung stehenden Video-Modelle | 126 |
| 8.4.4 | Untersuchung der Dienstgüte bei der Peer-to-Peer Datenverteilung | 126 |
| 8.4.5 | Untersuchung der Dienstgüte bei der hierarchischen Datenverteilung | 129 |
| 8.4.6 | Untersuchung der Dienstgüte bei der serverbasierten Datenverteilung | 133 |
| 8.5 | Gesamtzusammenfassung der Warteschlangenuntersuchungen | 134 |
| 8.6 | Entwicklung eines Jitterbuffers für Push-basierte Gruppenkommunikation | 136 |
| 8.6.1 | Dimensionierung des Jitterbuffers | 136 |
| 8.6.2 | Adaptives Pufferverhalten | 139 |
| 8.6.3 | Zusammenfassung | 140 |
| 9 | Bewertung des entwickelten Systems anhand eines ausgewählten Szenarios | 141 |
| 9.1 | Grundlegende Erläuterung zum Großbrand-Szenario | 141 |
| 9.1.1 | Zeitlicher Ablauf der Löscharbeiten und die Gruppenbildung | 142 |
| 9.1.2 | Modellbildung zum Löscheinsatz | 144 |
| 9.2 | Bewertung der untersuchten Szenarien | 144 |
| 9.2.1 | Bewertung der Szenarien bei reinem Sprachdatenverkehr | 147 |
| 9.2.2 | Bewertung der Szenarien bei Sprach und Videokommunikation | 149 |
| 9.3 | Zusammenfassung | 150 |
| 10 | Zusammenfassung und Ausblick | 152 |
| A | Tabellen zu den Zustandsänderungen bei Sitzungskontrolle | 154 |
| A.1 | Peer-to-Peer Sitzungskontrolle | 154 |
| A.2 | Serverbasierte Sitzungskontrolle | 157 |
| A.3 | Ohne Sitzungskontrolle | 159 |
| B | Tabellen zum Großbrand-Szenario | 160 |
| B.1 | Simulationsergebnisse mit reiner Sprachübertragung | 160 |
| B.2 | Simulationsergebnisse mit Videoübertragung | 162 |
| Literatur | | 164 |
| Nachwort | | 171 |

Glossar

| | |
|----------------|---|
| 3GPP | Third Generation Partnership Project |
| ACK | Acknowledgement |
| AP | Access Point |
| ARQ | Automatic Repeat Request |
| BOS | Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben |
| BPSK | Binary Phase Shift Keying |
| BS | Base Station |
| BSS | Base Station Subsystem |
| BTS | Base Transceiver Station |
| CDMA | Code Division Multiple Access |
| CS | Coding Scheme |
| CSMA/CA | Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance |
| CSMA/CD | Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection |
| CTS | Clear To Send |
| CW | Contention Window |
| DHCP | Dynamic Host Configuration Protocol |
| DIFS | Distributed Inter Frame Space |
| DNS | Domain Name System |
| DSL | Digital Subscriber Line |
| ETSI | European Telecommunications Standards Institute |
| FEC | Forward Error Correction |
| FIFO | First In First Out |
| FTP | File Transfer Protocol |
| GPRS | General Packet Radio Service |
| GSM | Global System for Mobile Communications / Groupe Special Mobile |
| HSDPA | High Speed Downlink Packet Access |
| HSDPCH | High Speed Dedicated Physical Control Channel |
| HSPA | High Speed Packet Access |
| HSUPA | High Speed Uplink Packet Access |
| IAT | Inter Arrival Time |
| IMS | IP Multimedia Subsystem |
| IP | Internet Protocol |
| IPv4 | Internet Protocol Version 4 |
| IPv6 | Internet Protocol Version 6 |
| ITU | International Telecommunication Union |
| LLC | Logical Link Control |
| MAC | Message Authentication Code |
| MAC PDU | Message Authentication Code Payload Data Unit |
| MS | Mobile Station |

| | |
|--------------|---|
| NAT | Network Address Translation |
| NAV | Network Allocation Vector |
| OFDM | Orthogonal Frequency Division Multiplex |
| OMA | Open Mobile Alliance |
| PHY | Physical Layer |
| PoC | Push-to-Talk over Cellular |
| PTT | Push-to-Talk |
| PTX | Push-to-X |
| QAM | Quadrature Amplitude Modulation |
| QoS | Quality of Service |
| QPSK | Quadrature Phase Shift Keying |
| RLC | Radio Link Control |
| RTP | Real Time Transportation Protocol |
| RTS | Request to Send |
| SIFS | Short Inter Frame Space |
| SIM | Subscriber Identity Module |
| SIP | Session Initiation Protocol |
| SNDCP | Subnetwork Dependent Convergence Protocol |
| TCP | Transmission Control Protocol |
| TD | Talkspurt Duration |
| TDD | Time Division Duplex |
| TDM | Time Division Multiplex |
| TDMA | Time Division Multiple Access |
| TETRA | Terrestrial Trunked Radio |
| TTI | Transmission Time Interval |
| UDP | User Datagram Protocol |
| UE | User Equipment |
| UMTS | Universal Mobile Telecommunications System |
| VoIP | Voice over IP |
| WCDMA | Wideband Code Division Multiple Access |
| WiMAX | Worldwide Interoperability for Microwave Access |
| WLAN | Wireless Local Area Network (IEEE 802.11) |

Spezialbegriffe der Feuerwehr

| | |
|-----------------|------------------------------------|
| ABCErkKW | ABC-Erkundungskraftwagen |
| DLK | Drehleiter mit Korb |
| ELW | Einsatzleitwagen |
| LF | Löschfahrzeug |
| LF-TS | Löschfahrzeug mit Tragkraftspritze |
| NEF | Notarzteinsatzfahrzeug |
| RTW | Rettungswagen |
| TLF | Tanklöschfahrzeug |

Kurzfassung

Der Austausch von Multimediadaten in Gruppen und in einem mobilen Umfeld wird in vielen Anwendungsfeldern gefordert. Eine wichtige Anwendergruppe für diese neue Form der Kommunikation sind zum Einen Behörden und Organisationen mit Schutz- und Rettungsaufgaben, die den schnellen Austausch von Sprach-, Bild- und Videodaten zur Unterstützung ihrer Einsätze fordern. Zum Anderen zeigen Erfahrungen mit sprachbasierten Gruppenkommunikationssystemen in den USA das Potential dieser neuen Kommunikationsform auch im geschäftlichen Bereich und für private Nutzergruppen.

Die hier vorliegende Arbeit beschreibt den systematischen Entwurf und die optimierte Implementierung eines neuartigen Gruppenkommunikationssystems unter den Rahmenbedingungen ressourcenbeschränkter Ausführungsumgebungen und der Nutzung drahtloser Funkssysteme. Den Kern der Arbeit bildet die Entwicklung des schlanken Push-to-X¹ Protokolls, das der Teilnehmer- und Gruppenverwaltung und dem Sitzungsaufbau dient, sowie den Transport der Multimediadaten übernimmt. Das eigens entwickelte Protokoll nutzt das Internetprotokoll als Basis, um die Anbindung der Gruppenteilnehmer über unterschiedlichste Transportnetze (WLAN, UMTS, WiMAX, etc.) zu ermöglichen. Zur Realisierung der Gruppenkommunikationsfunktionen löst es sich aber bewußt von existierenden Protokollen, um den hohen Anforderungen an eine echtzeitfähige Ausführung auf eingebetteten Systemen und Bandbreite begrenzten, drahtlosen Zugangnetzen gerecht werden zu können.

Im Rahmen der hier vorgestellten Arbeit wurden unterschiedliche Realisierungsansätze für die geeignete Organisation der Gruppen und den Austausch der Daten untersucht: von der klassischen Form einer Realisierung über einen zentralen Server über hybride Ansätze bis hin zur sog. reinen Peer-to-Peer Architektur. Weiterhin standen Überlegungen für eine anforderungsgerechte Dimensionierung von Systemparametern wie die optimale Anzahl von Hierarchiestufen einer Datenverteilung oder die Größe der Jitterbuffer für die Videokommunikation im Vordergrund.

Den Abschluß der Arbeit bildet die Leistungsbewertung des Systems in realitätsnah modellierten Rettungseinsätzen im Katastrophenschutz. Daraus abgeleitet werden konkrete Dimensionierungsempfehlungen, die Eingang finden in laufende Forschungsprojekte, in denen das im Rahmen der Arbeit entwickelte Gruppenkommunikationssystem zukünftig gemeinsam mit Anwendern im praktischen Einsatz erprobt wird.

¹Das X steht in dieser Bezeichnung für beliebige Multimediadaten