

VoIP und WLAN

Christian Hoene, Adam Wolisz

Technische Universität Berlin

Einsteinufer 25

10587 Berlin

Email: hoene|awo@ieee.org

Zusammenfassung

In diesem Bericht präsentieren wir Verfahren zur Optimierung der Sprachübertragung über drahtlose, Internet-basierte Zugangsnetze. Schichtenübergreifend werden dabei die jeweilige Übertragungsanforderungen mit dem Ziel analysiert, Protokollparameter während der Übertragung zu optimieren.

Zum Beispiel zeigt sich, dass nur ein Bruchteil der Sprachpakete relevant sind: Um eine gute Sprachverständlichkeit zu gewährleisten, muss nur die wichtigere Hälfte der aktiven Sprachpakete übertragen werden. (Darüberhinaus kann natürlich auch während Stille auf die Paketübertragung verzichtet werden.)

Die erzielten Forschungsergebnisse erlauben signifikante Einsparungen der Übertragungsressourcen. Zum Beispiel kann die mittlere Sendeleistung verringert werden, um eine längere Laufzeit mobiler Geräte zu ermöglichen.

1 Einleitung

Die Verbesserung der Übertragungsleistung des Internet ist ein viel beachtetes Forschungsgebiet. Die Übertragungsleistung ist vor allem in drahtlosen Kommunikationsnetzen wichtig, da diese oft eine geringe Kapazität und zeitlich variierende Kanalqualitäten aufweisen. Drahtlose Kommunikationsnetze werden immer häufiger benutzt, stellen aber den Engpaß in zukünftigen Kommunikationssystemen dar.

Das Internet ermöglicht den Transport vielfältiger Multimediadienste, für die die Übertragungsmechanismen einzeln betrachtet und optimiert werden sollten. Wir haben untersucht, wie die Qualität interaktiver Sprache über drahtlose lokale Netze (IEEE 802.11) durch Adaption der Parameter der Sicherungsschichtprotokolle an die zeitlich variablen Eigenschaften des Übertragungskanal (Auslastung und Fehlerraten) als auch der Sprachcharakteristiken verbessert werden kann.

Eine zentrale Rolle spielt ein *Qualitätsprediktor*, der die momentanen

Spracheigenschaften und die kurzfristige Übertragungshistorie benutzt, um Übertragungsmechanismen für jedes Paket so zu adaptieren, daß die Dienstqualität optimiert wird (siehe Abbildung 1).

Die Dienstqualität bestimmt sich bei interaktiver Sprache aus der wahrgenommenen, objektiven Sprachqualität, den Mund-zu-Ohr-Verzögerungen und den Übertragungskosten.

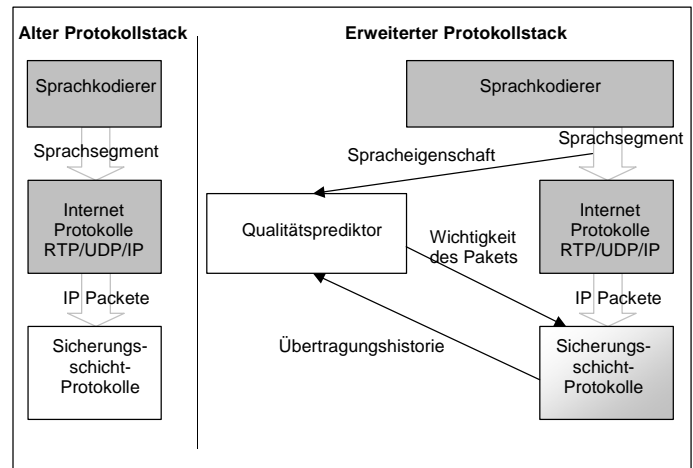


Abbildung 1: Darstellung des ursprünglichen und des erweiterten Protokollstacks.

Die Qualität der Sprachübertragung wird unter der Rahmenbedingungen verbessert, die durch existierende und zukünftige, standardisierte Standards (WLAN und IP) vorgegeben sind, die nicht modifiziert werden sollen. Vielmehr wurden die Möglichkeiten untersucht werden, die eine dynamische Adaption von Parametern innerhalb dieser Systeme bietet, um Sprachkommunikation über WLAN-Systeme in guter Qualität zu unterstützen. Dieser Ansatz hat den Vorteil der Standardkonformität und unmittelbaren praktischen Einsetzbarkeit. Die Herausforderung lag dabei in der Entwicklung geeigneter Algorithmen, die sowohl Sprach- als auch Kanalcharakteristiken berücksichtigen, die beide zeitlich variabel sind, und auf dieser Grundlage Parameter der Sicherungsschicht so beeinflussen, daß die

Qualität der Sprachübertragung verbessert wird. Diese Algorithmen lassen sich auch in anderen als den hier als Fallbeispiel zugrunde gelegten IEEE 802.11-basierten WLAN-Systemen zur Steigerung der Sprachqualität einsetzen lassen.

Innerhalb dieser Aufgabenstellen ergaben sich eine Reihe von wissenschaftlichen Fragestellungen, deren Lösungen wir in diesem Bericht präsentieren. Hierbei beschränken wir uns allerdings auf einige exemplarische ausgewählten Ergebnisse:

Um die Übertragungsqualität eines VoIP über WLAN Systems zu bewerten, wurden Verfahren entwickelt, die einerseits das menschliche Bewertungsverhalten simulieren, andererseits aber VoIP Paketübertragungsverläufe evaluieren. Somit ist es möglich, experimentelle oder simulierte VoIP Übertragungen mit einem einzigen Qualitätsmaß zu bewerten. Die vorgestellten Ergebnisse wurden prämiert und finden Eingang in die internationalen Standardisierungsbemühungen der ITU.

Ein weiterer Aspekt ist die Betrachtung der Wichtigkeit einzelner Sprachpakete. Die Idee dahinter ist die folgende: Die drahtlose Sicherungsschicht wird so modifiziert, dass für jedes Sprachpaket die Übertragungsressourcen zur Verfügung stehen, die dem Paket aufgrund seiner Wichtigkeit auch zustehen: Wichtige Pakete sollen besser geschützt werden als Sprachsegmente, deren Verlust vom Hörer weniger deutlich wahrgenommen werden kann. Im Rahmen dieses Projekts wurde ein Verfahren entwickelt, das die Wichtigkeit eines Pakets ermitteln kann. Es wurde mit formellen Hörtests verifiziert.

Mit Hilfe dieses Verfahrens zeigte sich, dass nur ein Bruchteil der Sprachpakete relevant sind: Um eine gute Sprachverständlichkeit zu gewährleisten, muss nur die wichtigere Hälfte der aktiven Sprachpakete übertragen werden. (Darüberhinaus kann natürlich auch während Stille auf die Paketübertragung verzichtet werden.) Dies erlaubt eine signifikante Einsparung der Übertragungsressourcen. Zum Beispiel kann die mittlere Sendeleistung verringert werden, um eine längere Laufzeit mobiler Geräte zu ermöglichen.

2 Wichtigkeit eines Sprachpakets

Von primärem Interesse ist die Unterscheidung der Wichtigkeit von Sprachrahmen. Die Wichtigkeit eines Rahmens definieren wir als

Verschlechterung der Sprachgüte, die der Verlust dieses Rahmens verursacht. Der Verlust eines Rahmens wird beim Empfänger verschleiert, so dass er von Menschen als weniger störend empfunden wird. Trotzdem besteht immer noch ein Unterschied zwischen dem Fall, dass das Paket korrekt und vollständig empfangen wird und dem Fall, dass der Paketverlust verschleiert wird. Es stellt sich die Frage, inwiefern die Wichtigkeit während der Laufzeit bestimmt werden kann.

Im Rahmen dieses Projekts wurde ein Verfahren entwickelt, das die Wichtigkeit eines Pakets mit instrumentellen, psychoakustischen Messmethoden ermitteln kann [5]. Das Verfahren zur Bestimmung der Wichtigkeit eines Sprachrahmens passende Messverfahren basiert auf dem objektiven Sprachgüte-Vorhersage-Algorithmus PESQ (ITU P.862). Mittels PESQ wurden der Sprachkodierungen (G.711, G.729, AMR) und Paketverlustverschleierungsalgorithmen untersucht. Der Einfluß von mehr als 2 Millionen einzelnen Paketverlusten wurde berechnet und in Datenbanken abgelegt. Es zeigte sich, dass ein Drittel aller Pakete während Sprachaktivität nicht wichtig sind, da ihr Verlust kaum auffällt (Abbildung 2).

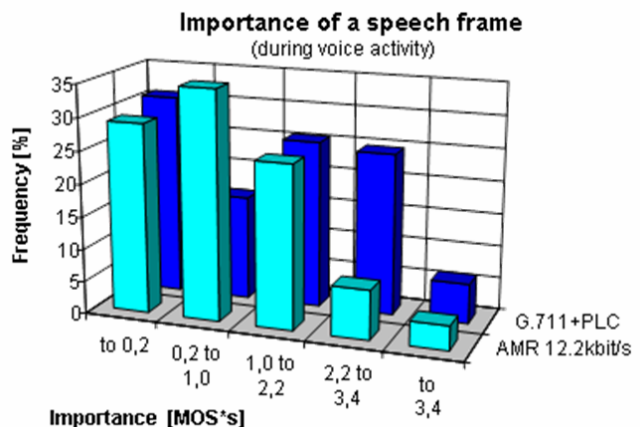


Abbildung 2: Das Histogramm der Paket-Wichtigkeiten. Ein Drittel der Sprachrahmen haben eine „Importance“ kleiner als 0,2, da ihr Verlust kaum auffallen würde.

Darüber hinaus wurde PESQ mit formellen Hörtests verifiziert [4], um sicherzustellen, dass es für diesen Einsatzzweck verwendbar ist. Es zeigte sich hierbei ein Korrelationskoeffizient von $R=0.94$ beim Vergleich der menschlichen Bewertungen mit den instrumentellen Vorhersagen (siehe Abbildung 3).

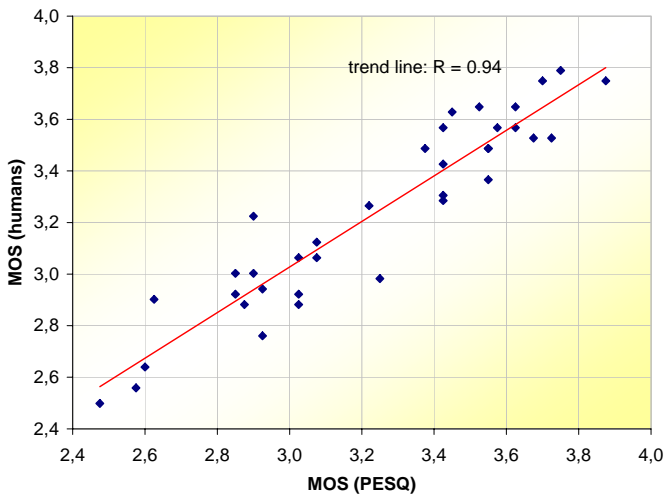


Abbildung 3: Ein Vergleich der menschlichen, subjektiven Sprachbewertung mit dem des instrumentellen, objektiven PESQ-Verfahren im Fall von Rahmenverlusten. Es besteht eine hohe Übereinstimmung, da die Kreuzkorrelationen einen Wert von $R=0,94$ besitzt.

3 Qualitätsprediktor

Das oben dargestellte Verfahren zur Bestimmung der Wichtigkeit eines Paketes arbeitet mit hoher algorithmischer Verzögerung und Komplexität. Deshalb ist es wichtig, geeignete Algorithmen zu untersuchen und zu entwickeln, die in Echtzeit benutzt werden können (siehe Abbildung 4).

Die bekannten, publizierten Verfahren zur Vorhersage der Wichtigkeit eines Paketes wurden nachimplementiert und evaluiert [5]. Die Stärken und Schwächen der Verfahren konnten identifiziert werden. Es zeigte sich, dass keines der bekannten Verfahren genau vorhersagen kann, wie wichtig ein Paket ist. Einen ersten, verbesserten Algorithmus stellen wir in [13] vor. Wir erwarten, dass diese Fragestellung weiterhin hohes Forschungspotential hat.

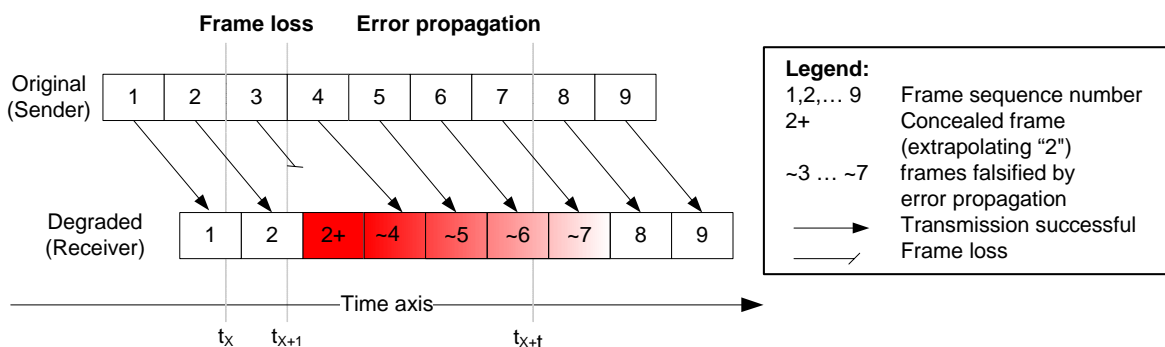


Abbildung 4: Die Schwierigkeit der Bestimmung der Paketwichtigkeit zur Echtzeit besteht darin, dass ein Teil der Störung erst nach Verlust auftritt, da der Zustand des Dekodieren desynchronisiert ist und eine Fehlerfortpflanzung auftritt.

4 Bewertung der wahrgenommene Übertragungsqualität einer Telefonverbindung

Im Laufe des Projektes zeigte sich, dass die bisher bekannten Verfahren, die die Qualität einer Telefonverbindung bewerten, für den Einsatz in diesem Forschungsvorhaben nicht ausreichend sind.

Um die Übertragungsqualität eines VoIP über WLAN Systems zu bewerten, wurden Verfahren entwickelt, die einerseits das menschliche Bewertungsverhalten simulieren andererseits aber VoIP Paketübertragungsverläufe evaluieren. Somit ist es möglich, experimentelle oder simulierte VoIP Übertragungen mit einem einzigen Qualitätsmaß zu bewerten [1,2,3,4,6,9,10,13]. Die vorgestellten Ergebnisse wurden präsentiert [3] und fanden Eingang in die internationalen Standardisierungsbemühungen der ITU [6]. Zur Zeit werden weitere Standardisierungsbeiträge vorbereitet [7].

5 Ein VoIP-über-WLAN Telefon

Eine Anwendungs-unterscheidende, adaptive Sicherungsschicht wurde implementiert, die mit ITU G.729 kodierte Sprachpakete erkennt, und in Abhängigkeit von den aktuellen Spracheigenschaften die Fehlerkorrektur ändert. Wir erweiterten dazu den Device Driver einer kommerziellen IEEE 802.11b WLAN-Karte um den Funktionalität einer adaptiven Sicherungsschicht (siehe Abbildung 5).

In aufwendigen Messkampagnen wurde dieses Sicherungsschichtprotokoll evaluiert. Es hat sich gezeigt, dass schon mit einer einfachen Heuristik zur Vorhersage der Paketwichtigkeit und einem einfachen Sicherungsschichtprotokoll in Situationen mit schlechter Verbindungsqualität die Spracheigenschaften verbessert werden können [15].

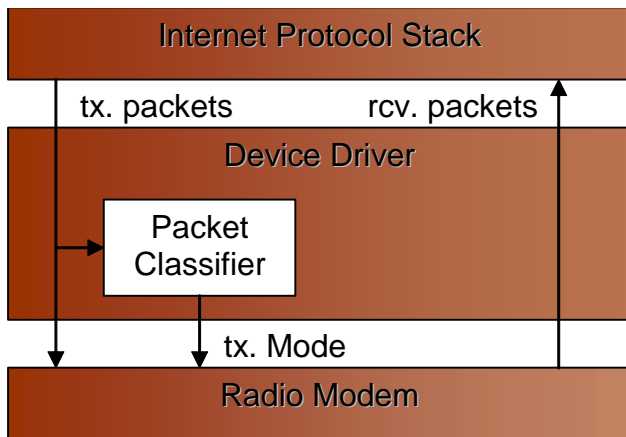


Abbildung 5: Eine adaptive Sicherungsschicht, implementiert in den Treiber einer WLAN Karte. Für jedes Paket wird die Fehlerkontrolle angepaßt, je nachdem ob das Paket stimmlos (unwichtiger) oder stimmhaft (wichtiger) ist.

6 Simulierte Telefonübertragungen

Eine Simulationsumgebung wurde implementiert, um die experimentellen Ergebnisse simulativ zu validieren. Dazu wurde die Simulationsumgebung „network simulator“ (ns-2) um QoS Funktionen des IEEE-Vorschlages 802.11e erweitert. Unsere ns-2 Erweiterung ist inklusive Dokumentation und Quelltext veröffentlicht [12] und wird auch von anderen nationalen und internationalen Forschergruppen eingesetzt. Simulationsergebnisse, die die Kapazität von VoIP über WLAN untersuchen, beinhaltet [8]. Weitere Simulationsergebnisse werden im Rahmen der Promotion des Bearbeiters veröffentlicht werden [14].

Mit Hilfe des Verfahrens zur Bestimmung der Wichtigkeit eines Paketes zeigte sich, dass nur ein Bruchteil der Sprachpakete relevant sind: Um eine gute Sprachverständlichkeit zu gewährleisten, muss nur die wichtigere Hälfte der aktiven Sprachpakete übertragen werden (Abbildung 6 und [13]). Darüberhinaus kann natürlich auch während Stille auf die Paketübertragung verzichtet werden. Der geneigte Leser kann dieses Ergebnis auf einer Internet-Seite [11] überprüfen und sich mit Hörtests ein eigenes Urteil bilden (siehe Abbildung 7).

7 Zusammenfassung

Dieser Bericht präsentiert eine Reihe von wissenschaftlichen Neuerungen. Die Tragweite dieser Forschungserfolge und der Einfluß auf Forschung und Industrie werden sich in den nächsten Jahren erst voll zeigen.

8 Literatur

1. C. Hoene, H. Karl, A. Wolisz, "A Perceptual Quality Model Intended for Adaptive VoIP Applications", In Computer Communications, Special Issue on Performance Evaluation of Wireless Networks and Communications, under submission.
2. C. Hoene, S. Wiethölter, and A. Wolisz, "Predicting the Perceptual Service Quality Using a Trace of VoIP Packets", In Proceedings of Fifth International Workshop on Quality of future Internet Services (QofIS'04), Barcelona, Spain, September 2004.
3. C. Hoene, H. Karl, and A. Wolisz, "A Perceptual Quality Model for Adaptive VoIP Applications", In Proceedings of International Symposium on Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems (SPECTS'04), San Jose, California, USA, July 2004, Paper won the Best Paper Award of the conference.
4. C. Hoene and E. Dulamsuren-Lalla, "Predicting Performance of PESQ in Case of Single Frame Losses", In Proc. MESAQIN 2004, Prague, CZ, June 2004 MESAQIN 2004 - Measurement of Speech and Audio Quality in Networks.
5. C. Hoene, B. Rathke, and A. Wolisz, "On the Importance of a VoIP Packet", In Proc. of ISCA Tutorial and Research Workshop on the Auditory Quality of Systems, Herne, Germany, April 2003.
6. S. Möller and C. Hoene, "Information About a New Method For Deriving the Transmission Rating Factor R From MOS in Closed Form", ITU - Telecommunication Standardization Sector, May 2002, Temporary Document for the Study Group 12.
7. C. Hoene, Einladung zur ITU Telecommunication Standardization Sector Study Group 12 (*Performance and Quality of Service*) als Mitglied der deutschen Vertretung (RegTP), Genf, January 17th-27th, 2005.
8. S. Wiethölter, C. Hoene, and A. Wolisz, "Perceptual Quality of Internet Telephony over IEEE 802.11e Supporting", Technical Report TKN-04-011, Telecommunication Networks Group, Technische Universität Berlin, May 2004.
9. C. Hoene, A Perceptual Quality Model for Adaptive VoIP Applications: Software Distribution, URL: <http://www.tkn.tu-berlin.de/research/simquamol/>, August 2004.
10. C. Hoene, Simulating Playout Schedulers for VoIP - Software Package, URL: <http://www.tkn.tu-berlin.de/research/qofis/>, June 2004.
11. C. Hoene, Software Tool Mongolia, URL: <http://www.tkn.tu-berlin.de/research/mongolia/>, April 2004.
12. S. Wiethölter and C. Hoene, An IEEE 802.11e EDCF and CFB Simulation Model for ns-2, URL: http://www.tkn.tu-berlin.de/research/802.11e_ns2/, November 2003.
13. C. Hoene, G. Schäfer, A. Wolisz, „Predicting the Importance of a Speech Frame“, under submission, August 28th, 2004.
14. Christian Hoene, „VoIP over Wireless Networks“, Die Fertigstellung ist geplant für das erste Quartal 2005.
15. Daniel Hertrich, "Experimental Performance Evaluation of an 802.11b WLAN supporting mixed Multimedia Traffic", September 18th, 2003, Betreuer: Berthold Rathke.