

Die Erweiterung des Internets zum mobilen Teilnehmer
Ansätze zur verkehrstheoretischen Dimensionierung
paketvermittelnder Funknetze

ITG Workshop
IP Netzplanung, IP Netzmanagement und Optimierung
Würzburg, 20./21. Juli 2000

Ulrich Vornefeld
Lehrstuhl für Kommunikationsnetze
RWTH Aachen
Ulrich.Vornefeld@comnets.rwth-aachen.de

Überblick

- ❑ **Evolution des Internets zum mobilen Teilnehmer**
 - Einführung neuer Dienste
 - Standardisierung zukünftiger Mobilfunksysteme

- ❑ **Dimensionierung paketvermittelnder Funknetze**
- ❑ **Der Markovsche Ankunftsprozess**
 - Modellierung
 - Parametrierung

- ❑ **Modellierung von Verkehrsquellen**
- ❑ **Einfluss und Modellierung der Funkverbindung**

- ❑ **Ergebnisse am Beispiel der Warteschlangenlängen**
- ❑ **Ausblick**

Evolution des Internets zum Mobilteilnehmer



- ❑ Wachsende Nachfrage nach Internetdiensten durch Mobilteilnehmer
- ❑ Einführung von Datendiensten in bestehende Mobilfunknetze
- ❑ Standardisierung zukünftiger Mobilfunknetze
- ❑ WAP, HSCSD, GPRS, UMTS, HIPERLAN/2, IEEE802.11

Dimensionierung paketvermittelnder Funknetze

Zwei Perspektiven:

- ❑ Dimensionierung des Netzes
- ❑ Verbindungsannahmesteuerung

Optimierungskriterium:

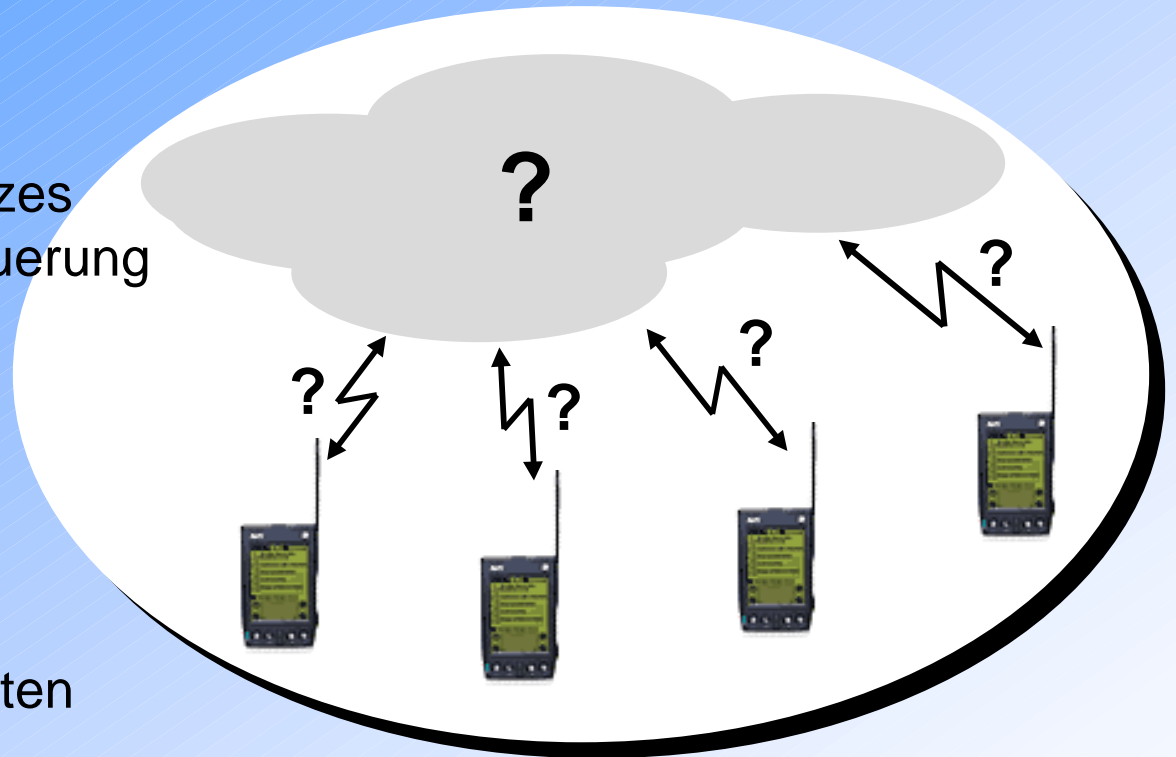
- ❑ Dienstgüte (QoS)

Leitungsvermittlung

- ❑ Blockierwahrscheinlichkeiten
- ❑ Erlang-B Formel

Paketvermittlung

- ❑ Paketverzögerungen und -verluste
- ❑ *Neue Modelle und Verfahren*



Modellierung

- ❑ Verkehrsquellen und Funkkanal
- ❑ durch MAPs bzw. BMAPs

Der Markovsche Ankunftsprozess (MAP)

- ❑ Verallgemeinerung des Konzepts der Phasenverteilung (Neuts, Lucantoni)
- ❑ Auch Modellierung allgemein korrelierter Ankunftsprozesse möglich
- ❑ Berücksichtigung von Gruppenankünften (Batch Markovian Arrival Process)
- ❑ Umfangreiche matrixanalytische Methoden zur Bestimmung der charakteristischen Größen

- ❑ Beschreibung durch Ankunftsmatrizen D_0 und D_k
- ❑ D_0 beschreibt transiente Übergänge ohne Ankunftsereignis
- ❑ D_k beschreibt Übergänge mit k Ankunftsereignissen
- ❑ Überlagerung von j BMAPs (auch verschieden parametrisiert) durch Kroneckersummen

$$D_k = D_k(1) \oplus \dots \oplus D_k(j) \quad k \geq 0$$

Modellierung der Verkehrsquellen und des Funkkanals durch BMAPs

BMAPs zur Modellierung von Quellverkehr und Funkkanal

Quellverkehr

- ❑ Parametrierung von BMAPs zur Nachbildung des Quellverkehrs unterschiedlicher Dienste (WWW, E-Mail, etc.)
- ❑ Parametrierung entsprechend der betrachteten Schichten im Protokollstapel

Funkkanal

- ❑ Betrachtung von Übertragungswiederholungen und Signalisierverkehr als Ankunftsprozesse
- ❑ Modellierung dieser Ankunftsprozesse durch BMAPs

-
- ❑ Bestimmung der Parameter durch Messung und Simulation
 - ❑ Verteilungen sind durch exponentielle Phasen zu approximieren
 - ❑ Überlagerung der Prozesse für Quellverkehr und Funkkanal
 - ❑ Neuer Prozess ist ebenfalls BMAP
 - ❑ Analyse eines Warteraummodell z.B. BMAP/D/1
 - ❑ Bestimmung charakteristischer Größen für Dienstgüte



Matrixanalytische Methoden

- ❑ Matrixanalytische Methoden zur Bestimmung charakteristischer Größen
- ❑ Numerische Stabilität ist zu beachten
- ❑ Große Zustandsräume
- ❑ Überlagerung von BMAPs
- ❑ Approximation von Verteilung (z.B. deterministisch durch Erlang-k)

- ❑ Algorithmen nach Neuts, Lucantoni, Ramaswami
- ❑ Weitgehende Vermeidung numerischer Integration
- ❑ Wesentliche Größen ohne inverse Transformation bestimmbar
- ❑ Numerisch stabile Implementierung in C++ basierend auf LAPACK

$$G = \sum_{n=0}^{\infty} g_n (I + \Theta^{-1} D[G])^n \quad g_n = \int_0^{\infty} e^{-\Theta x} \frac{(\Theta x)^n}{n!} dH(x) \quad D[G] = \sum_{j=0}^{\infty} D_j G^j$$

$$\Theta = \max_i \{(-D_0)_{ii}\} \quad H(x) : \text{Bediendauerverteilung}$$

Parametrierung der BMAPs

Ankunftsprozesse in paketvermittelnden Netzen

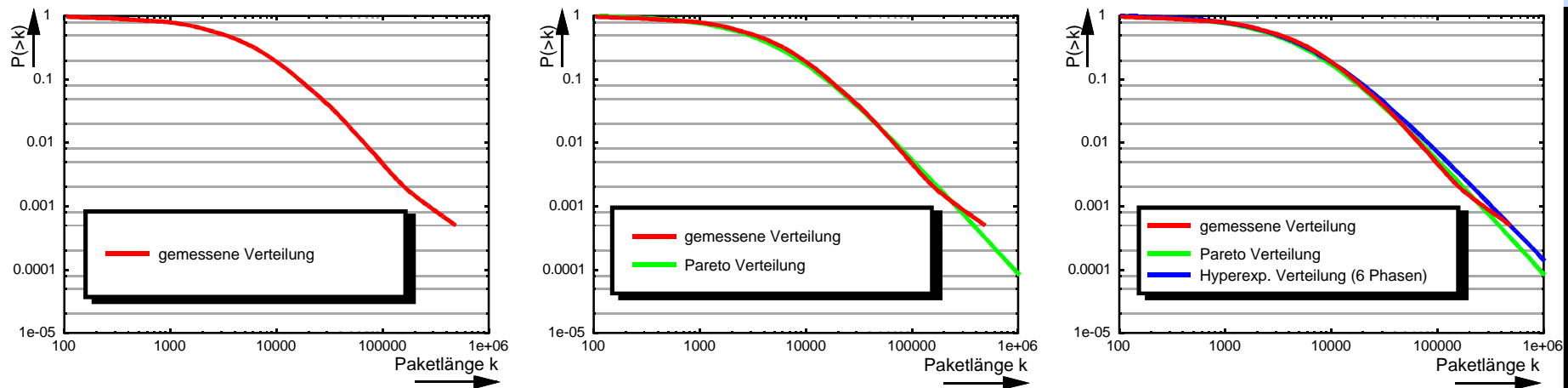
- ❑ Langzeitabhängigkeiten
- ❑ Selbstähnlichkeit
- ❑ Verteilungen zeigen *heavy-tailed* Verhalten
- ❑ Approximation durch exponentielle Phasen möglich wenn Dichtefunktion vollständig monoton (Bernstein)
- ❑ Gruppenankünfte durch Segmentierung

Einfluss der Funkverbindung

- ❑ Geringere Übertragungsbandbreiten
- ❑ In der Regel höhere Entgelte
- ❑ Höhere Übertragungsfehlerwahrscheinlichkeiten
- ❑ Zusätzliche Last durch Übertragungswiederholungen
- ❑ Höhere Signalisierlast zur Fehlersicherung

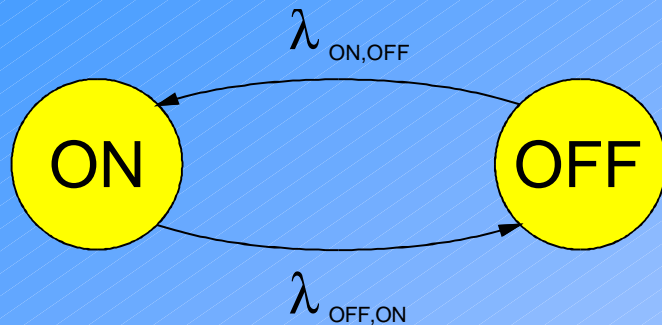
Deutlich anderes Nutzerverhalten als im breitbandigen Festnetz

Modellierung von Verkehrsquellen

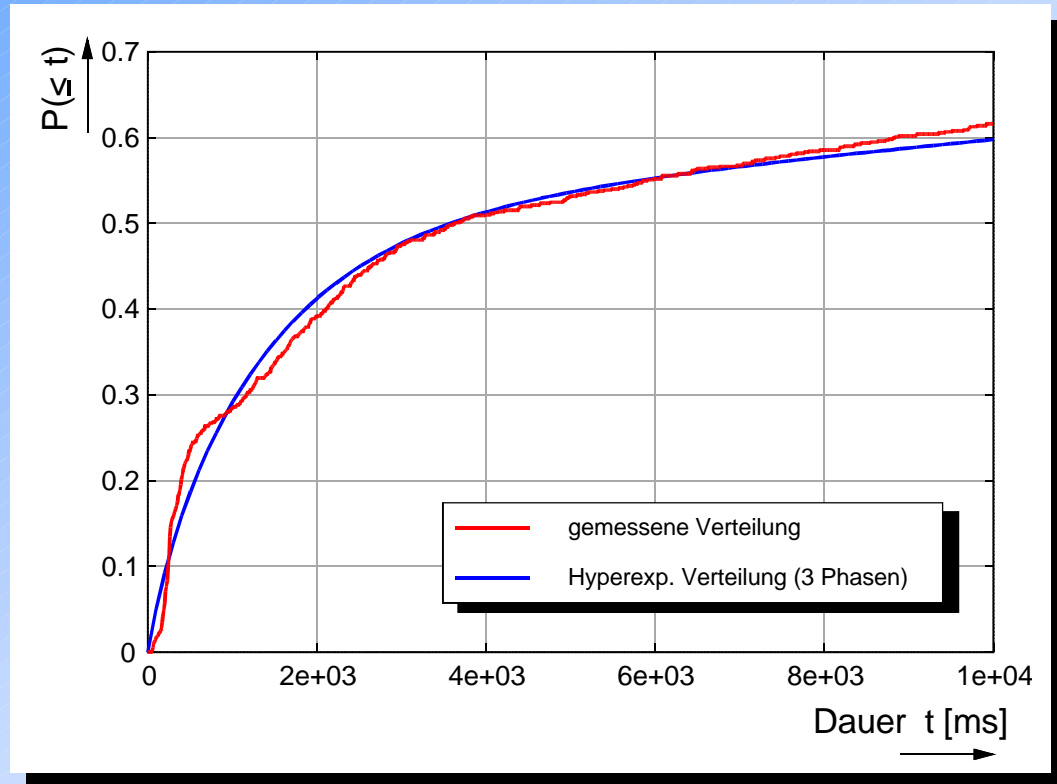


- ❑ Verkehrsmessungen an Modembank von Berkely (ITA)
- ❑ Beispiel: Länge von HTTP Paketen
- ❑ Verteilung zeigt *heavy-tailed* Verhalten
- ❑ Approximation durch Pareto-Verteilung (Hill Estimator)
- ❑ Approximation der Pareto-Verteilung durch hyperexponentielle Verteilung mit Hilfe genetischer Curvefitting-Algorithmen
- ❑ Exponentielle Phasen erlauben Modellierung der Bediendauer durch MAP

Zweizustandsmodell für WWW-Verkehr



- ❑ Keine Ankünfte in OFF-Periode
- ❑ Segmentierung (z.B. HTTP-Pakete in IP-Pakete) führt zu Gruppenankünften in ON-Periode
- ❑ Periodendauern approximiert mit hyperexp. Verteilungen
- ❑ Zusätzliche Zustände zur Abbildung unterschiedlichen Benutzerverhaltens



Verteilung für die Dauer der ON-Periode

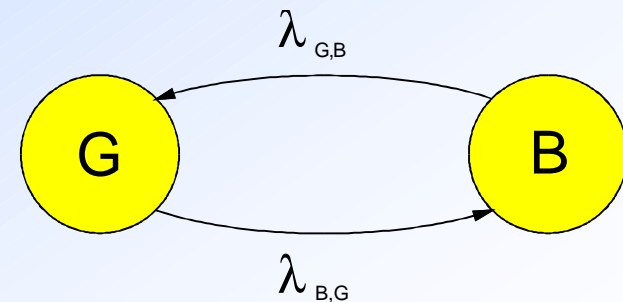
Modelle für den Funkkanal

- ❑ Gesicherte Übertragung
- ❑ Gestörte Pakete werden durch Sicherungsprotokolle wiederholt
- ❑ Zusätzliche Last und Verzögerung
- ❑ Empfang von Quittungen bestimmen Anzahl zu wiederholender Pakete

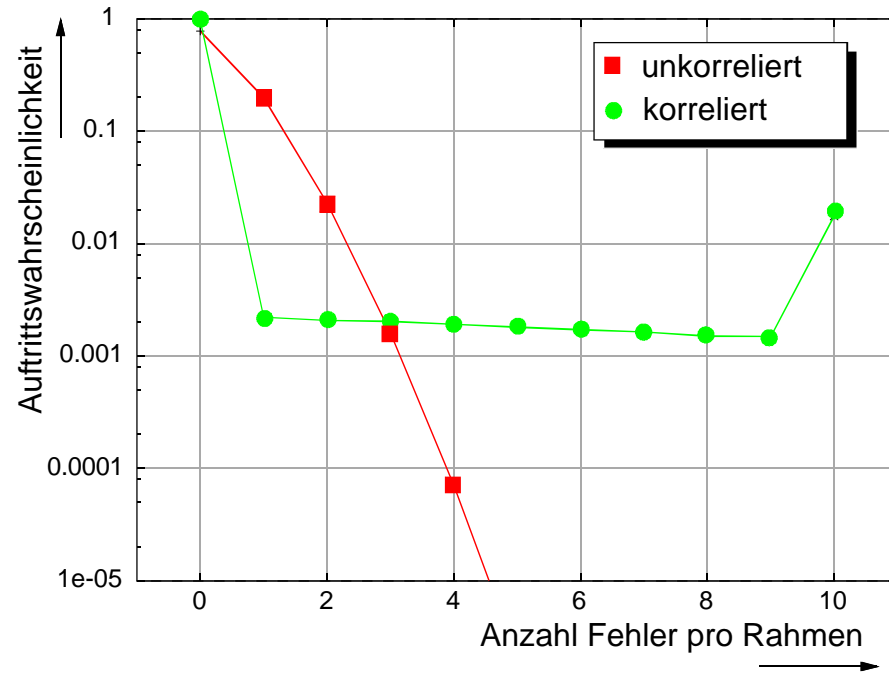
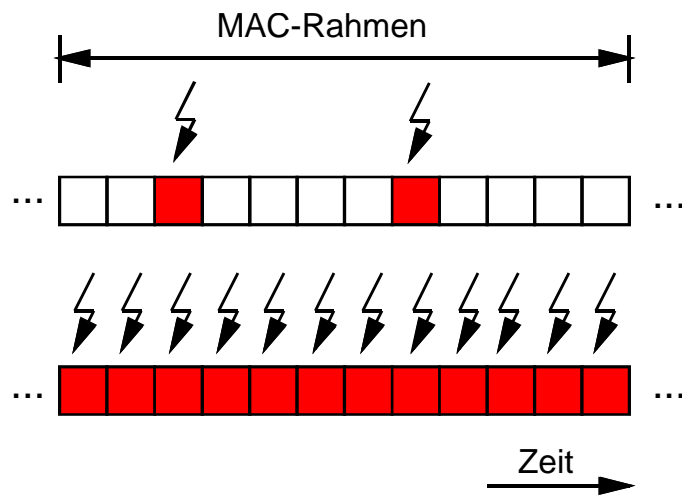
- ❑ Gruppenankünfte, abhängig von Duplexverfahren und Rahmenlänge
- ❑ Ankunftszeitpunkte entsprechen Zeitpunkten der Quittungsankünften
- ❑ Auch Quittungsübertragung wird gestört

- ❑ Unabhängig identisch verteilte Fehler (Binomialverteilung)
- ❑ Korrelierte Büschelfehler nach dem Gilbert-Elliott Modell

- ❑ Zwei Zustände (Good/Bad)
- ❑ Negativ exp. verteilte Aufenthaltsdauer
- ❑ Keine Fehler im Zustand Good

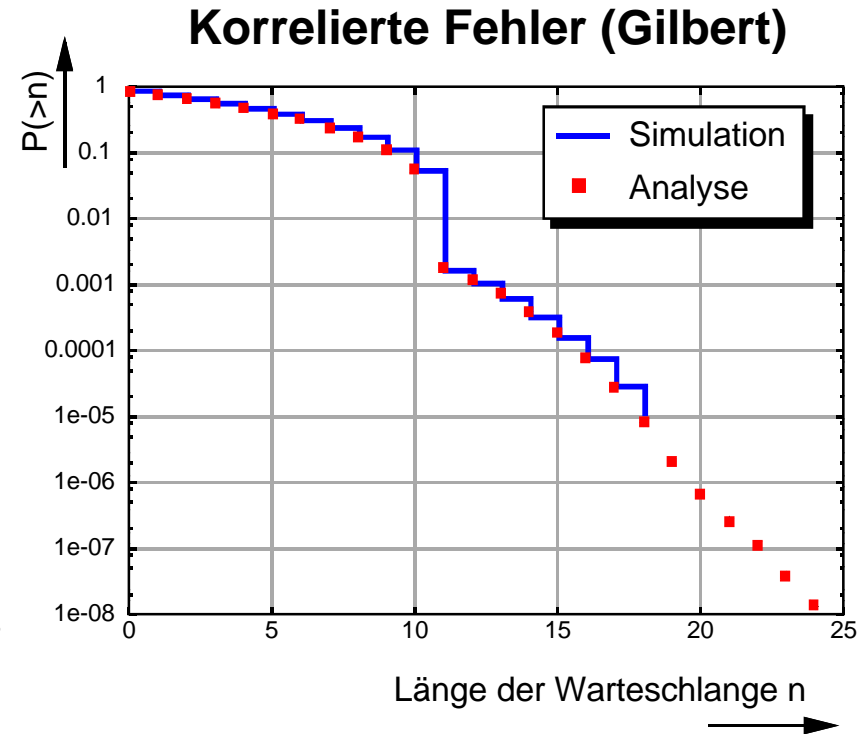
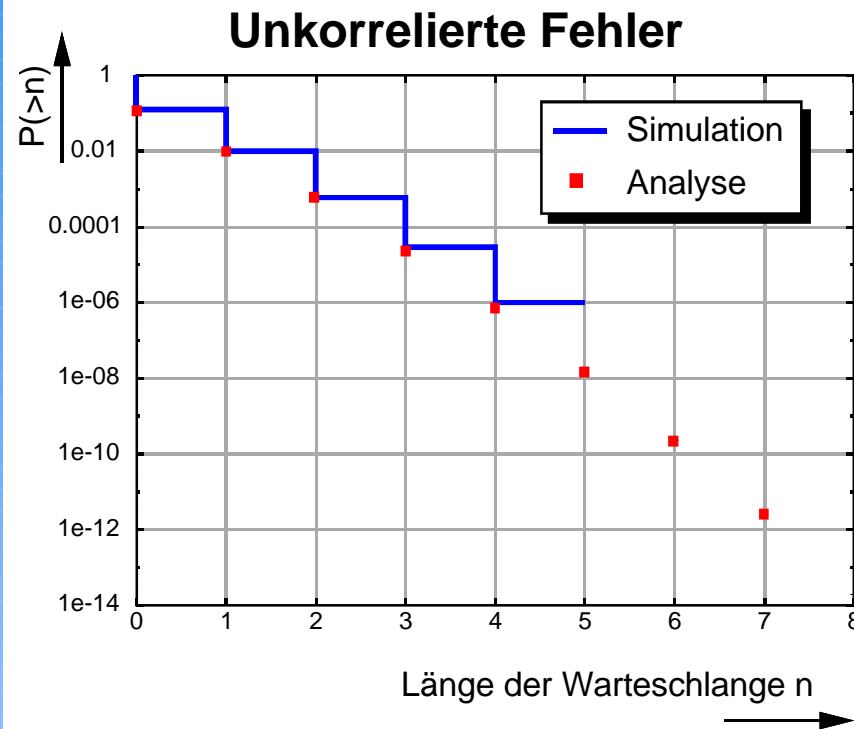


Fehlerwahrscheinlichkeiten



- ❑ Time Division Duplex System, 10 Zeitslitze Rahmenlänge
- ❑ Mittlere Fehlerwahrscheinlichkeit 2,5%

Länge der Warteschlange für den Fehlerprozess



- ❑ Rahmenlänge 12 Zeitschlitze, Zwischenkunftszeiten Erlang-k verteilt
- ❑ BMAP/D/1, Last in beiden Fällen 0,025
- ❑ Korrelierte Fehler führen zu längeren Wartezeiten

Ausblick

Bestimmung der Modellparameter

- Systeme
- Dienste
- Fehlermodelle

Erweiterung des Modells

- Integration anderer Bedienstrategien in das Modell
- Prioritäten (statisch und dynamisch)
- Verwerfen verspäteter Pakete von Echtzeitsdiensten
- Modellierung verschiedener Verfahren zur Fehlersicherung
- Einfluss von TCP

Untersuchung des Konzepts der effektiven Bandbreite

- Bestimmung der effektiven Bandbreite von BMAPs
- Bestimmung der Qualität dieser Approximation