

Fortsetzung statistisches Multiplexing

- Für mehrere Quellen N gilt (x_0 bei $N = 1$):

$$E(x) = N \cdot E(x_0)$$

$$\sigma_x = \sqrt{N} \cdot \sigma_{x_0}$$

- Bsp. Primäranschluss = ISDN 30 \rightarrow 30 Sprachkanäle + 2 Signalisierungskanäle
- Bei 30 Leitungen würde man im Mittelwert nur $30 \cdot 0,4 = 12$ Gespräche vorliegen haben
- Dass alle 30 Teilnehmer gleichzeitig sprechen (oder ansatzweise gleichzeitig sprechen), ist ziemlich unwahrscheinlich:
 $p(x = 29) \approx 10^{-9}$; $p(x = 30) \approx 10^{-12}$
- Bei $100 \cdot 30 = 3000$ Gesprächen $\rightarrow E(x)$ wächst um den Faktor 100, σ_x um den Faktor 10
 \rightarrow im Prinzip schreibt man hinter alle Werte eine Null und macht die Kurve um den Faktor 10 steiler
- Die Unschärfe (ausgedrückt durch σ_x) sieht im Gesamtbild geringer aus, obwohl ihr Wert gestiegen ist \rightarrow die Ausgangslage wird wesentlich klarer und damit besser beherrschbar
- Bei großen Anzahlen N wird die Unschärfe grundsätzlich beherrschbarer (\rightarrow Skaleneffekt) \rightarrow Bereich um den Mittelwert gewinnt an Wichtigkeit \rightarrow Unschärfe verliert an Wichtigkeit
- Bsp. Funknetz \rightarrow eigentlicher Datenaustausch bei z.B. Internet auf Handy macht nur einen Bruchteil der Datenrate einer Verbindung aus \rightarrow statistisch wird dieser Fall daher auch als einer mit kleiner Datenrate angesehen

System-Erweiterung

Man kann annehmen, dass der gesamte Verkehr normalverteilt ist. Es besteht ein Zusammenhang zwischen der benötigten Kapazität und der Wahrscheinlichkeit, dass diese Kapazität überschritten wird.

Wahrscheinlichkeitsverteilung / Quantile:

Die Wahrscheinlichkeitsverteilung ist die Stammfunktion der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (Glockenkurve), ihr höchster Wert ist somit 1 (bei $n \rightarrow \infty$). Die Quantile ist die an der y -Achse gespiegelte Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion. Sie läuft folglich von 1 bis 0.

Beide Funktionen geben eine Auskunft darüber, wie wahrscheinlich es ist, dass ein bestimmter Wertebereich der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion bei einer Stichprobe getroffen wird. Auf das NT-Beispiel bezogen bedeutet dies, dass man herausfinden kann, wie wahrscheinlich es ist, dass z.B. zwischen 10 und 20 Leute gleichzeitig sprechen.

Um diese Wahrscheinlichkeiten direkt einer bekannten Größe der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion zuordnen zu können, ohne die Wahrscheinlichkeitsverteilung vorliegen zu haben, hat man die $\gamma \cdot \sigma$ -Intervalle eingeführt, welche eine direkte Zuordnung ermöglichen.

1σ -Intervall \rightarrow definiert einen Wertebereich $[\mu - \sigma; \mu + \sigma]$ der

Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion, der genau 67 % der Gesamtwerte beinhaltet. Die Wahrscheinlichkeit, dass bei einer Stichprobe das Ergebnis in diesem Bereich liegt, ist daher 67 %. Es verbleibt eine Wahrscheinlichkeit von 33%, dass man außerhalb des Intervalls landet.

Normalerweise wird mit einem 3σ -Intervall (99,7 %) oder höher angesetzt, um eine wesentlich höhere Wahrscheinlichkeit dafür zu haben, dass die Stichprobe im Intervall liegt.

| k | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Quantile 10^k | 10^{-2} | 10^{-3} | 10^{-4} | 10^{-5} | 10^{-6} | 10^{-7} |
| zugehöriges γ_k | 2,326 | 3,09 | 3,719 | 4,219 | 4,754 | 5,612 |

Kanalkapazität bei statistischem Multiplexing

$$C = E(s) + \gamma_k \cdot \sigma_s$$

Aufgabe:

$$N = 1000/100/10000, R = 64 \text{ kbit/s}, p = 0,4, P = 1\% \Rightarrow \gamma = 3,09$$

Berechnen Sie $E(x)$, σ_x und C . Vergleichen Sie die Kanalkapazität mit jener Kanalkapazität C_{Ltg} , die bei Leitungsvermittlung nötig wäre.

$$E(x) = R \cdot \alpha \cdot N = 64 \text{ kbit/s} \cdot 0,4 \cdot 1000 = 25,6 \text{ Mbit/s}$$

$$\sigma_x = R \cdot \sqrt{N \cdot \alpha \cdot (1 - \alpha)} = 64 \text{ kbit/s} \cdot \sqrt{1000 \cdot 0,4 \cdot 0,6} = 988,21 \text{ kbit/s}$$

$$C = E(x) + \gamma \cdot \sigma_x = 25,6 \text{ Mbit/s} + 3,09 \cdot 988,21 \text{ kbit/s} = 28,65 \text{ Mbit/s}$$

$$C_{Ltg} = 1000 \cdot 64 \text{ kbit/s} = 64 \text{ Mbit/s}$$

$$\frac{C}{C_{Ltg}} = 0,447$$

$$E(x) = R \cdot \alpha \cdot N = 64 \text{ kbit/s} \cdot 0,4 \cdot 100 = 2,56 \text{ Mbit/s}$$

$$\sigma_x = R \cdot \sqrt{N \cdot \alpha \cdot (1 - \alpha)} = 64 \text{ kbit/s} \cdot \sqrt{100 \cdot 0,4 \cdot 0,6} = 312,25 \text{ kbit/s}$$

$$C = E(x) + \gamma \cdot \sigma_x = 2,56 \text{ Mbit/s} + 3,09 \cdot 312,25 \text{ kbit/s} = 3,53 \text{ Mbit/s}$$

$$C_{Ltg} = 100 \cdot 64 \text{ kbit/s} = 6,4 \text{ Mbit/s}$$

$$\frac{C}{C_{Ltg}} = 0,551$$

$$E(x) = R \cdot \alpha \cdot N = 64 \text{ kbit/s} \cdot 0,4 \cdot 10000 = 256 \text{ Mbit/s}$$

$$\sigma_x = R \cdot \sqrt{N \cdot \alpha \cdot (1 - \alpha)} = 64 \text{ kbit/s} \cdot \sqrt{10000 \cdot 0,4 \cdot 0,6} = 3,13 \text{ Mbit/s}$$

$$C = E(x) + \gamma \cdot \sigma_x = 25,6 \text{ Mbit/s} + 3,09 \cdot 3,13 \text{ Mbit/s} = 265,66 \text{ Mbit/s}$$

$$C_{Ltg} = 10000 \cdot 64 \text{ kbit/s} = 640 \text{ Mbit/s}$$

$$\frac{C}{C_{Ltg}} = 0,415$$

ATM (= asynchronous transfer mode)

- Zellen konstanter Größe vermitteln → Unschärfe besser beherrschbar, weil weniger Unschärfe im System
- Gedanke des statistischen Multiplexings aus 80er Jahren → in ATM umgesetzt (seit 1996)
- Asynchron im weitesten Sinne → Dienste verschiedener Kapazitäten sind integriert
- Synchrone Taktung & Entkopplung der Zellen → Zelle fügt sich nahtlos in Verkehr ein
- Keine festen Zeitlagen (wie bei TDM) → kein starren Multiplexing
- TDM (z.B. SDH, PDH, ISDN)
Jedes Gespräch hat einen vorgegebenen Zeitschlitz, der immer zur gleichen Zeit ankommt, oder um eine Zeit t_{Delay} verschoben, welche auf der gesamten Strecke gleich bleibt → Keine Unschärfe am Ankunftsort
- ATM:
 - o Daten & Voice-Pakete in einem Kanal → Prioritäten müssen betrachtet werden
 - o Reihenfolge wird nach Möglichkeit eingehalten → weniger Arbeit für die Transportschicht
 - o Gleiche Zellgrößen, aber temporäre Konflikte → Unschärfe bei der Ankunftszeit

Netzstruktur

- Vermaschtes Netz mit angeschlossenen Teilnetzen (über Switches)
- Wege werden statistisch ermittelt, in dem diese immer betrachtet werden und daraus Statistiken entstehen
- Vgl. IP → es muss zu lange gesucht werden → IP-Paket muss erst entpackt werden, um Adresse lesen zu können → Problem der Paketgröße von 64 KB

ATM-Zellenaufbau:

- 53 Byte Länge → 5 Byte Header, 48 Byte Payload
- Header:
 - o GFC, PT, CLP → Datentyp wird definiert → Eingriff auf Warteschlangen / Prioritätensetzung

| Datentyp | Voice | Data |
|-----------|---------------|----------------------|
| Zeitbezug | sehr wichtig | völlig unkritisch |
| Verluste | sehr tolerant | möglichst 0 Verluste |

- o VPI/VCI → Pfadkennungen für 2 Hierarchiestufen → größere Stufen im Weitverkehrsnetz mit größeren Kolonnen → anderes Label für diese Zusammenfassung der Zellen (→ Kostenfrage!!)
 - o CLP → Paket kann im Notfall verworfen werden (z.B. bei Voice, weil der Datentyp entsprechend tolerant ist)
- Zum CLP und dessen Nutzung gehört eine CLR → kann im Vertrag mit dem Provider festgelegt werden → Service Level Agreement (SLA) → Dienstmerkmale werden mit dem Betreiber vereinbart und die entsprechenden Kosten festgesetzt
- Betreiber kann bei vereinbarter CLR auch anhand dieser die CLPs setzen → bessere CLR kostet mehr

Verkehrsklassifizierung

- CBR (constant bit rate) für Voice → gleich bleibende Datenrate über den gesamten Zeitraum
- VBR (variable), real-time → Videokonferenzen
- VBR (variable), non-real-time → Video on Demand (Wartezeit ist möglich)
- ABR (available) → Internetsurfen → ARQ ist möglich
- UBR (unspecified) → z.B. bei Backup, Dateitransfer → keine Verluste, sehr sicher, kein Zeitbezug

Qualitätsmerkmale

- PCR (peak cell rate), MCR (minimum), SCR (sustainable) → Mittelwert
- CDVT (cell delay variation time) → Wartezeiten an Verbindungspunkten, Wie lange wird gewartet?, Werte für bestimmte Anwendungen können festgelegt werden
- Mechanik: Vertrag legt Parameter fest → Über den Header werden diese transportiert und umgesetzt → man kann entsprechend der Vorgaben die Qualität geschehen lassen
- CLR kann fast bis zu 0 werden (→ s. auch BER-Verlauf), wird diesen Wert aber nie erreichen