



Doctoral Thesis

Simulation von Büschelgeräuschen

Author(s):

Müller, Kurt

Publication Date:

1967

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000103267> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Simulation von Büschelgeräuschen

Abhandlung
zur Erlangung der Würde eines
Doktors der technischen Wissenschaften
der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von
KURT MÜLLER

dipl. El. Ing. ETH
geboren am 6. April 1937
von Zürich

Angenommen auf Antrag von
Prof. H. Weber, Referent
Prof. Dr. E. Baumann, Korreferent

1967
Offset + Buchdruck AG, Zürich

Simulation von Büschelgeräuschen

Zusammenfassung

Störungen, wie sie auf Telephonleitungen vorkommen, treten hauptsächlich in büschelförmigen Impulsgruppen konzentriert auf. Die Prüfung und der Vergleich von Datenmodems im Labor mit Gaußschem Rauschen als Störsignal ist aber auch deshalb unbefriedigend, weil die Amplitudenverteilung in Wirklichkeit eher einer Potenzfunktion entspricht. Ebenso ist die Annahme einer Poisson-Statistik für die zeitliche Verteilung der Übermittlungsfehler – bzw. der auf der Leitung vorhandenen Störimpulse – unrealistisch. Die vorliegende Arbeit enthält einen Vorschlag zur Simulation reproduzierbarer Störbedingungen, deren Statistik sich auf bisher durchgeführte Messungen stützt.

Zur Erzeugung zeitlicher Büschel wird die Nullstellenverteilung eines «Random-Walk» verwendet. Für die Steuerung dieses Prozesses wird eine Zufallsschaltung mit $w = 1/2$ benötigt. Es wird untersucht, wie genau dieser Wert durch Polaritätsdiskrimination von Gaußschem Rauschen im besten Fall angenähert werden kann. Als Bandbegrenzung für das Rauschsignal wird ein maximal flacher Tiefpass angenommen. Es zeigt sich, dass ausser der Rauschbandbreite die Steilheit der begrenzenden Filterflanke von entscheidendem Einfluss ist.

Um die gewünschte Amplitudenverteilung der Störimpulse zu realisieren wird – ausgehend von Gaußschem Rauschen – eine Kombination von Schwellerschaltungen verwendet. Im letzten Abschnitt wird die Gesamtschaltung eines an diese Ideen anlehrenden Simulators kurz beschrieben.

1. Allgemeines

Während die auf Telephonleitungen vorkommenden Störimpulse bei Sprechverbindungen meist wenig ins Gewicht fallen, können sie bei der schnellen Datenübertragung empfindlich stören. Induktive und kapazitive Einkopplung von Wahl- und Gebührenmeldeimpulsen der Nachbarleitungen sowie Erschütterung der mechanischen Kontakte in Zentralen durch Bewegungen anderer Wähler bilden die Hauptursachen solcher Störungen. Häufigkeit und Verteilung dieser Störimpulse ist abhängig von der gewählten Leitung, der Zentrale, der Tageszeit und anderen Faktoren. So fallen zum Beispiel bei Zentralen mit Koordinatenschaltern die Kontakterschütterungen praktisch weg; andererseits sind bei Zentralen mit 50-Hz-Gebührenmeldeimpulsen die Störungen wesentlich häufiger.

Für eine optimale Codierung des zu übermittelnden Datensignals ist die Kenntnis der Statistik der auftretenden Kanalstörungen notwendig. Es wurden deshalb schon früh in Europa und den USA Messungen an Telephonleitungen vorgenommen. Als Datenquelle dient jeweils ein Quasi-Randomgenerator, wobei ein relativ langer Block, der dem Empfänger bekannt ist, ständig wiederholt wird. Für die Registrierung der Fehler wird – unter Berücksichtigung der Laufzeit – eine Koinzidenzschaltung

verwendet. In vielen Fällen wurde dabei einfach die mittlere Fehlerrate bei verschiedenen Sendepiegeln und Bitgeschwindigkeiten bestimmt, um so einzelne Modulationssysteme zu vergleichen und die Brauchbarkeit der Telephonkanäle zur Datenübertragung abzuklären. In andern Fällen wurde auch die zeitliche Verteilung der Fehler ausgewertet; dagegen sind Messberichte über die Amplituden- und Zeitstatistik der auftretenden Störimpulse in der Literatur nur spärlich zu finden [1 bis 6]. Immerhin darf angenommen werden, dass zwischen der zeitlichen Statistik der Übertragungsfehler und derjenigen der Störimpulse weitgehende Ähnlichkeit besteht, da bei binären Systemen das Auftreten von Fehlimpulsen mit der Störspannungshöhe verknüpft ist und die Störimpulse selbst selten länger als 1 ms dauern.

Die mathematische Erfassung der auftretenden Störungen ist infolge der ständig wechselnden Kanaleigenschaften (nicht stationärer Prozess) recht schwierig. Trotzdem sind einige Modelle formuliert worden. Ein einfaches solches Modell bekommt man unter der Annahme eines symmetrischen Binärkanals ohne Gedächtnis, der folgende Eigenschaften besitzt:

- Jedes Bit ist mit der gleichen Wahrscheinlichkeit p_0 falsch.
- Die Übertragung jedes Bits ist unabhängig von den vorhergehenden Ereignissen.

Die Wahrscheinlichkeit für einen fehlerfreien Block von mindestens k Bit ist geometrisch verteilt gemäss $(1 - p_0)^k$. Die Wahrscheinlichkeit, dass in einem Intervall von k Bit genau c Fehler auftreten, ist eine Binomialverteilung:

$$w(k, c) = \binom{k}{c} (1 - p_0)^{k-c} p_0^c. \quad (1)$$

Wird noch die in der Zeit $k \cdot \Delta t$ ($\Delta t = \text{Bitlänge}$) durchschnittlich zu erwartende Fehlerzahl $a = p_0 k$ eingeführt, so können für grosse Bitzahlen die Ausdrücke $k!$ und $(k - c)!$ durch die Stirlingsche Näherung ersetzt werden, und man erhält:

$$w(a, c) = \frac{a^c}{c!} e^{-a}. \quad (2)$$

Die Wahrscheinlichkeit für genau c Fehler (oder Störimpulse) in einem Zeitabschnitt mit Langzeitmittel a gehorcht bei diesem einfachen Modell also einer Poissonverteilung.

Messergebnisse auf realen Leitungen zeigen allerdings starke Abweichungen von dieser einfachen Statistik. Bei der geometrischen Verteilung sind kurze fehlerfreie Intervalle häufiger als lange. In Wirklichkeit dagegen kommen die Fehler eher konzentriert in kleinern und grössern Gruppen vor; d. h. sie treten vorzugsweise in Büscheln («Bursts») auf. Dazwischen kann während langer Zeit der Kanal wieder vollständig ungestört sein. Die Wahrscheinlichkeit, dass nach einem falschen Bit das folgende ebenfalls falsch ist, ist viel grösser als nach einer vorhergehenden fehlerfreien Übertragung.

Bei einem «verbesserten» Modell können zwei (oder mehr) Stufen der Fehlerdichte angesetzt werden mit einer Übergangswahrscheinlichkeit zwischen «gutem» und «schlechtem» Zustand, wobei die Fehlerverteilung selbst in jedem Fall Poissonstatistik besitzt. Dadurch ergeben sich praktisch ungestörte Übermittlungszeiten, welche von Fehleranhäufungen unterbrochen werden entsprechend der gewählten Übergangstatistik. Die auftretenden Parameter werden so gewählt, dass eine möglichst gute Über-