

Statistische Beschreibung und Modellierung von Impulsstörungen auf Ortskabeln (mit Vorführung)

Thomas Keßler und Werner Henkel
Deutsche Bundespost Telekom, FTZ, Darmstadt

1 Einführung

Instationäre Impulsstörungen können die Übertragungsgüte hochratiger digitaler Übertragungssysteme stark beeinträchtigen. Diese Störimpulse entstehen im wesentlichen durch elektromechanische Schaltvorgänge klassischer Wählsysteme.

In sieben Ortsnetzen der Deutschen Bundespost Telekom wurden Störimpulse an ungeschalteten Ortsanschluß- und Ortsverbindungsleitungen mit einem Transientenrecorder aufgezeichnet (Abtastrate 10,24 MHz). An jedem Meßort wurden 50.000 Impulse, mehr als 10^9 Abtastwerte der Störspannungen und ca. $8 \cdot 10^6$ Impulsabstände aufgenommen.

Aus diesen Daten lassen sich die Häufigkeitsverteilungen der Spannungen, Abstände und Längen der Impulse bestimmen. Diese Verteilungen sollen durch möglichst einfache Funktionen nachgebildet werden, um ein Modell der Impulsstörung zu erhalten, das für beliebige Anschlußleitungen gilt. Ein Modell ist notwendig, um z.B. ein codiertes Übertragungsverfahren, das die Beeinträchtigung der Impulsstörung reduzieren oder sogar ganz ausschließen soll, auf einem Computer zu simulieren.

2 Beschreibung der Impulsstörung

Die aufgenommenen Impulse kamen in sehr unterschiedlichen Formen vor (Bild 1). Es traten sowohl lange, fast unipolare als auch sehr kurze, oszillierende Impulse auf. An einigen Leitungen ist eine diskrete Störung bei 1,024 MHz überlagert, die durch eine digitale Basisbandübertragung in Nachbaradern verursacht wird. Sie ist im relativen mittleren Leistungsdichtespektrum als isolierte Spektrallinie erkennbar. Auch benachbarte Sendestationen resultieren in zusätzlichen diskreten Linien.

Zur Bildung von Histogrammen über die **Spannungen der Impulsstörung** wurde jeder 100. Abtastwert ($9,8 \mu\text{s}$) der Spannung über einen Zeitraum von 3 bis 5 Tagen registriert. Damit werden sowohl die Impulse, als natürlich auch impulsfreie Zeiten miterfaßt. Eine

typische Häufigkeitsverteilung dieser Spannungen ist in Bild 2 logarithmisch aufgetragen. Da sich die Spannungswerte zu den Impulszeiten aus Anteilen von Gaußschem Rauschen und von Impulsgeräusch additiv überlagern, ist die zugehörige Häufigkeitsverteilung eine Faltung der entsprechenden Einzelverteilungen. Die gemessene Verteilung $f_m(u)$ läßt sich mit

$$f_m(u) = N \cdot f_g(u) + (1 - N) \cdot f_i(u) \star f_g(u),$$

berechnen, wobei $N \in [0, 1]$ das Verhältnis der beiden Komponenten für impulsfreie Zeiten und Impulszeiten angibt. Für die Verteilungsdichtefunktion des Gaußschen Rauschens gilt

$$f_g(u) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{u^2}{2\sigma^2}}.$$

Mit Verfahren der nichtlinearen Approximation läßt sich die Verteilungsdichtefunktion des Impulsgeräusches näherungsweise bestimmen. Sie verläuft doppelt exponentiell mit einer Potenzfunktion im Exponenten:

$$f_i(u) = \frac{1}{240U_0} e^{-|u/U_0|^{1/5}}, U_0 > 0.$$

Im Vergleich zum Gaußschen Rauschen treten größere Spannungen häufiger auf.

Der **Abstand der Impulse** ist als Differenz zwischen zwei aufeinanderfolgenden Triggerzeitpunkten definiert. Die Triggerschwelle ist geeignet einzustellen. Bild 3 zeigt eine Häufigkeitsverteilung, die für solche Messungen typisch ist. Die Anteile kleiner Abstände können unberücksichtigt bleiben, da sie als Abstände innerhalb von Impulsen anzusehen sind. Die Abstände zwischen den Impulsen wären exakt Poisson-verteilt,

$$f_p(t) = \lambda e^{-\lambda t},$$

wenn die Impulse statistisch unabhängig voneinander aufträten. Die Konstante λ ist dabei vom Telefonverkehr abhängig. Zur Vereinfachung des Modells wurde die Häufigkeitsverteilung für starken Telefonverkehr (tagsüber) nachgebildet. Damit sind die Abstände im Mittel kürzer als in Wirklichkeit (Worst-case-Abschätzung). Trotz dieser Einschränkung mußte die Poissonverteilung modifiziert werden, um die gemessenen Kurven gut anzunähern, so daß sich für die Nachbildung der Abstandsverteilung

$$f_d(x) = a_1 x^{a_4-1} 10^{-\frac{a_4}{\ln(a_2)} a_2^{(\log_{10}(x)-a_3)}},$$

mit $x = t/100\text{ns}$, ergab.

Die **Länge eines aufgenommenen Impulsereignisses** ist die Differenz zwischen dem Triggerzeitpunkt und dem nächsten Zeitpunkt, ab dem eine bestimmte Schwelle, die etwas größer als die Standardabweichung σ des Gaußschen Rauschens gewählt wurde, für längere Zeit (ca. 100 μs) unterschritten wird. Diese Mindestzeitspanne wird der Abstandsverteilung entnommen. Die Häufigkeitsverteilung der Impulslängen kann durch die Summe zweier Log-Normal-Verteilungen nachgebildet werden:

$$f_l(x) = A \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1 x} e^{-\frac{1}{2\sigma_1^2}(\ln(x)-\mu_1)^2} + (1 - A) \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_2 x} e^{-\frac{1}{2\sigma_2^2}(\ln(x)-\mu_2)^2} \quad \text{für } x > 0,$$

mit $x = t/98\text{ns}$, wobei die Parameter σ_i, μ_i für alle Messungen ähnlich sind und nur der Koeffizient A sich wesentlich unterscheidet.

3 Modellbildung

Auf Grund der statistischen Analyse der Impulsstörung wurde ein Modell gewählt, das möglichst wirklichkeitsnah und für die Anwendung zur Rechnersimulation am geeignetsten erscheint, weil es relativ wenig Speicherplatz sowie Rechenzeit benötigt.

Die Impulsstörung wird durch drei speziell entwickelte Zufallszahlengeneratoren erzeugt, die jeweils auf den modellierten Verteilungen der Spannungen, Abstände und Längen als Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen basieren. Damit das Leistungsdichtespektrum der nachgebildeten Impulsstörung dem gemessenen entspricht, werden die Impulse nach der Generierung gefiltert. Hierzu muß der Zufallsprozeß vor dem Filter modifiziert werden, um sicherzustellen, daß die Form der Häufigkeitsverteilung der Spannungen nach der Filterung erhalten bleibt. Zusätzlich kann bei Bedarf die Phase der gemessenen typischen Impulsphase angeglichen werden.

4 Vorführung

Die Ergebnisse der Impulsstörmessungen sollen auf zwei Grafik-Bildschirmen vorgeführt werden. Dafür sind zwei Workstations mitzubringen und im Vortragsraum oder in dem Raum der Postersession aufzustellen. Auf einem Bildschirm wird mit einer Art von "Videoshow" die Vielfalt der aufgetretenen Impulsformen demonstriert. Auf dem anderen soll die Approximation gemessener Häufigkeitsverteilungen mit Hilfe eines interaktiven Grafikprogramms vorgeführt werden. Zusätzlich wird ein Modell vorgeschlagen, das für Rechnersimulationen geeignet ist und mit dem beliebige digitale Übertragungsverfahren für Kupferanschlußkabel im Netz der Telekom auf Störfestigkeit gegenüber Impulsgeräusch untersucht werden können.