

Modem-Kommunikationsprotokolle

Franz FIALA

Die nach dem Erzeuger Microcom benannten Microcom-Netzwerk-Protokolle (MNP) haben sich zu einem de-facto Industriestandard entwickelt. Derzeit sind 10 MNP-Klassen definiert. Die ersten vier sind praktisch 'public-domain' und in einer Vielzahl von Produkten implementiert. Die Klassen 5 bis 10 wurden vorerst nur in Microcom-Produkten, später auch unter Lizenz in Produkten anderer Hersteller eingesetzt. 1988 wurden die MNP-Klassen 2, 3 und 4, sowie das LAPM-Protokoll (Link-Access-Procedure) als wesentliche Bestandteile der CCITT-Empfehlung V.42 verabschiedet. Diese 10 Klassen bewirken Fehlerkorrektur und Qualitätssteigerung bei interaktiven Anwendungen und bei übertragungsorientierten Anwendungen der Schichten des OSI-Schichtenmodells.

MNP-Klasse 1 ist ein asynchrones byte-orientiertes halb-duplex Protokoll zum Datenaustausch. Es ermöglicht einen fehlerfreien Datenaustausch auch in Geräten mit geringen Hardware-Ressourcen. Klasse-1-Produkte sind weitgehend vom Markt verschwunden. Geräte, die Klasse 1 benutzen, sind asynchrone 300 bps oder 1200 bps Modems.

MNP-Klasse 2 beschreibt ein asynchrones, byte-orientiertes, voll-duplex Protokoll. Die meisten Mikroprozessor-orientierten Modems unterstützen Klasse 2 und erreichen fehlerfreie Datenübertragung mit einer Effizienz von etwa 85% (oder ca. 2100 bps bei 2400 bps Datenübertragungsgeschwindigkeit).

MNP-Klasse 3 benutzt ein synchrones, bit-orientiertes voll-duplex Protokoll und vermeidet so den Overhead der Start- und Stopbits, die in asynchronen Übertragungsstrecken unvermeidlich anfallen. Der Benutzer sendet seine Daten nach wie vor asynchron, während die Kommunikation zwischen den Modems synchron abläuft.

MNP-Klasse 4 führt zwei neue Konzepte ein: APA (Adaptive packet assembly) und DPO (Data phase optimization), die zur Leistungssteigerung des Protokolls beitragen. APA erlaubt die Veränderung der Paketgröße in Abhängigkeit von der Leitungsqualität. Je besser die Leitungsqualität, desto länger können auch die Pakete gemacht werden. DPO bedeutet, daß gleichbleibende Steuerinformation aus aufeinanderfolgenden Blöcken eliminiert wird. Beide Methoden bewirken gemeinsam eine Steigerung der Protokoll-Effizienz auf 120%.

MNP-Klasse 5 führt eine Datenkompression ein und erreicht so eine Protokoll-Effizienz von 200%. Es können sowohl interaktive Terminals als auch Dateien komprimiert werden, da das Verfahren kontinuierlich die Benutzerdaten analysiert und die Kompressionsparameter entsprechend einstellt.

MNP-Klasse 6 ermöglicht es, verschieden schnellen Modems auf beiden Enden einer Verbindung im Geschwindigkeitsbereich 300-9600 bps auf der höchsten gemeinsamen Geschwindigkeit zusammenzuarbeiten. Die Modems beginnen bei einer gemeinsamen langsamen Geschwindigkeit und vereinbaren danach eine Modulationsart mit höherer Geschwindigkeit. Darüberhinaus wird ein Vollduplexbetrieb an der Schnittstelle bei Halb-duplex-V.29-Verbindungen simuliert.

MNP-Klasse 7 ersetzt das Datenkompressionsverfahren nach Klasse 5 durch ein effizienteres, welches bis zu 300 Prozent Effizienzsteigerung bewirkt. Es wird ein Huffman-Kode mit einem Prädiktor verwendet, mit dem 2 Bytes im kürzest möglichen Huffman-Kode abgebildet werden.

MNP-Klasse 8 wurde ursprünglich entwickelt, um den halb-duplex-V.29-Modems die MNP-7-Datenkompression zu erschließen. Die neuen V.32-Modems und die MNP-Klasse 9 machten Klasse 8 hinfällig, bevor sie sich noch am Markt etablieren konnte.

MNP-Klasse 9 verringert den Zeitaufwand, den das Modem benötigt, um zwei gleichzeitige administrative Tätigkeiten zu koordinieren. Diese sind zum ersten die Bestätigung, daß eine Nachricht empfangen wurde, und zum zweiten die Wiederholung der Aussendung nach einem Fehler. Die Nachrichtenbestätigung wird abgearbeitet, indem sie gleichzeitig mit einem regulären Datenpaket mitgesendet wird, anstatt sie mit einem eigenen Bestätigungspaket zu senden.

MNP-Klasse 10 unterscheidet sich insofern von den anderen Klassen, als ihre Fähigkeiten sich nicht auf bloße Datenkompression oder Fehlerkorrektur beschränken - diese sind durch die kleineren Klassen bereit ausreichend gegeben -, sondern durch die Eigenschaft, eine bestehende Verbindung öfter als bisher zustande zu bringen und, wenn die Verbindung einmal besteht, diese auch unter schlechten Bedingungen aufrechtzuerhalten. Das Hauptmotiv zur Entwicklung von MNP-10 ist die starke Verbreitung der 9600-bps-Modems durch die günstige Preisentwicklung. Allerdings sind die V.32-Modems in einem viel größerem Ausmaß störungsempfindlich, als es V.22-bis 2400 bps-Modems waren.

Die Verbesserungen durch Klasse 10 lassen sich in vier Kategorien unterteilen: Störungssicherheit, selbständige Geschwindigkeitsanpassung, adaptive Paketierung und dynamische Geschwindigkeitsanpassung. In Summe erlauben diese Verbesserungen dem Modem mehrfache Versuche zu unternehmen eine Verbindung zustandezubringen, die Paketgröße exponentiell den jeweiligen Störungsverhältnissen anzupassen und die optimale Modulationsart unter allen Betriebsbedingungen zu wählen.

Störungssicherheit

Mit zunehmender Verwendung vom Modems, auch im privaten Bereich, wurden immer mehr - und auch schlechtere - Fernspreitleitungen für den Datentransport verwendet. Das MNP-10-Protokoll hält die Verbindung auch dann aufrecht, wenn gewöhnliche V.32-Verbindungen bereits die Verbindung abbrechen würden. Das vermeidet die langen, kostenintensiven und wiederholten Anwahlsuche.

Selbständige Geschwindigkeitsanpassung

Diese Eigenschaft wird bei Aufnehmen der Verbindung wirksam. Die Kommunikation beginnt mit 1200 bps/V.22 und steigert sich bis 9600 bps/V.32. Da Verbindungen gerade am Beginn störanfällig zu sein pflegen, erlaubt MNP-10 eine erhöhte Anzahl von Kommunikationsversuchen. Das heißt, daß fehlerfreie Verbindungen auch unter stark gestörten Bedingungen zustande kommen. Der Benutzer bemerkt nichts von der Störung.

Adaptive Paketierung

Die adaptive Paketierung ändert auch im laufenden Betrieb die Paketgröße. Das Prinzip ist, daß bei geringeren Fehlerzahlen größere Paketlängen gewählt werden können, sodaß der Protokoll-Overhead reduziert wird. Wenn die Fehlerrate steigt, wird durch kleinere Paketgrößen die Wahrscheinlichkeit erhöht, daß ein Paket die Übertragung fehlerfrei überlebt und daher eine Wiederholung entbehrlich wird. Ein einzelnes, wiederholtes Paket triggert den Übertragungsalgorithmus so, daß die Paketgröße reduziert wird. Dieser Prozeß wird wiederholt, bis fehlerfreie Pakete empfangen werden.

Die Paketgröße kann bis zu dem sehr kleinen Wert von 8 Bytes für sehr gestörte Verbindungen abgesenkt werden. Wenn sich die Leitungsqualität verbessert, wird die Paketgröße auf die optimale Größe erhöht. Wenn sich die Verbindungsqualität nicht verbessert, wird die nächste Protokolleigenschaft aktiviert:

Dynamische Geschwindigkeitsanpassung

Die dynamische Geschwindigkeitsanpassung erlaubt mehrere Geschwindigkeitsreduktionen, ohne die Verbindung als gestört aufzugeben. Wenn die Paketgröße auf ein Minimum bei einer gegebenen Geschwindigkeit reduziert wurde und die Pakete noch immer fehlerhaft ankommen, veranlaßt das Modem ein erneutes Training der Verbindung, (Abgleich adaptiver Filter im Modem, sodaß bestehende Leitungsverzerrungen entzerrt werden). Ist das erfolglos, vereinbart das Protokoll die nächst kleinere Geschwindigkeit. Wenn sich die Leitungsbedingungen verbessern, wird der Prozeß umgekehrt, die Geschwindigkeit angehoben und die optimale Paketlänge gesucht.

Frei übersetzt nach dem Beitrag 'New Modem Communications Protocols' in TELECOMMUNICATIONS, Jan 1991, S.78.

Tabelle siehe nächste Seite unten: ➤

Adaptive Entzerrung bei schnellen Modems

Dieter Reiermann

Sprachübertragung über herkömmliche Telefonleitungen ist auf ein Frequenzband beschränkt, das für Sprachverständlichkeit vollkommen ausreicht. Datenübertragungen über Telefonleitungen sind daher nur bis zu einer bestimmten Bitrate einigermaßen fehlerfrei möglich. Wenn die Bitrate über 2400 Baud (Bit/Sekunde) erhöht wird, ist das über die Telefonleitung zum Modem gelangte Signal sozusagen nicht mehr wiederzuerkennen. Die Leitung wirkt auf die eingespeisten und mit beinahe Lichtgeschwindigkeit durch sie eilenden Impulse wie ein Filter. Außerdem werden durch Übertrager und in die Leitung eingebaute Filter weitere Verzerrungen erzeugt, die ebenso wie die der Leitung selbst sowohl die Amplituden als auch die Laufzeit der Spektralkomponenten des Datensignals beeinflussen. Störspannungen, also Rauschen, kommen auf der ganzen Signalstrecke dazu. Dadurch ist eine einigermaßen fehlerfreie Demodulation mit einem konventionellem Modem nicht mehr möglich. Um Abhilfe zu schaffen, ist es sinnvoll, die auf der Leitung verteilten verzerrenden Filter und Rauschquellen in einem Blockschaltbild konzentriert darzustellen (Abb.1). Ein Tiefpaßfilter mit nicht bekannter Charakteristik (*Leitung*) ersetzt alle Filterwirkungen auf der Signalstrecke, ein Rauschgenerator (*Rauschen*) liefert das Leitungsrauschen, die Empfängerschaltung selber muß auch in die Strecke (strichlierter Bereich) eingehen (*Empfänger*). Das Datensignal $s(n)$ (n entspricht der laufenden Nummer der zeitäquidistant ausgegebenen Bits) wird durch die Verzerrungen der Leitung und durch Rauschen verändert und als $l(t)$ (t kennzeichnet die Zeitabhängigkeit) empfangen. Nach erster Filterung durch den Empfänger entsteht daraus $e(t)$, nach Umwandlung in eine Folge von quantifizierten Spannungswerten $e(n)$.

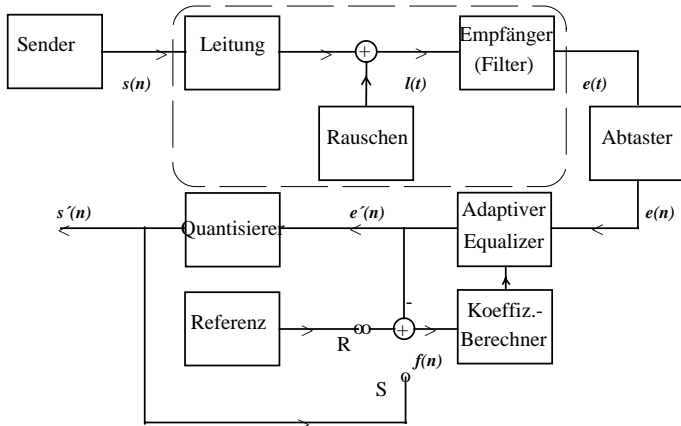


Abb.1

Nun wird ein adaptives Filter wirksam (*Adaptiver Equalizer*). Die Charakteristik dieses Filters ist veränderbar, das heißt seine Koeffizienten werden immer wieder so adaptiert, daß der Fehler zwischen Sendesignal $s(n)$ und rekonstruiertem Signal $\hat{s}(n)$ möglichst klein wird. Wie aber weiß das Empfängermodem, wie das Sendesignal ausschauen soll? Es wird davon ausgegangen, daß sich die Verzerrungen auf einer Leitung nicht sehr schnell ändern und daß das Rauschen einen statistisch immer gleichbleibenden Anteil des Empfängersignals ausmacht. Daher können die Koeffizienten in einem Trainingslauf mit einer im Sender und Empfänger bekannten Zeichenfolge ermittelt werden (*Schalterstellung R im Blockschaltbild*). Nach dieser Lernphase wird angenommen, daß nur geringfügige Änderungen der Koeffizienten des adaptiven

Equalizers notwendig sind, die sich direkt aus dem Fehlersignal $f(n) = s(n) - \hat{s}(n)$ berechnen lassen (*Koeffizienten-Berechner*). Dieses Verfahren arbeitet aber nur dann gut, wenn zwischen zwei Trainingsläufen maximal 1 Zeichenfehler auf 100 Zeichen ohne weitere Koeffizientenkorrektur entsteht.

Zur Berechnung der Koeffizienten kann der sogenannte LMS (least mean square)-Algorithmus verwendet werden. Die Koeffizienten des Equalizers werden nach dem kleinsten Fehlerquadrat zwischen gesendetem und empfangenen Signal optimiert. Es muß also die Funktion des quadratischen Fehlers nach den einzelnen Koeffizienten abgeleitet und die Ableitung zur Berechnung des Minimums Null gesetzt werden. Bei einem daraus abgeleiteten weniger rechenaufwendigeren, rekursiven Verfahren wird von einem Satz frei gewählter Koeffizienten $h_0(k)$ ausgegangen, wobei k die laufende Nummer innerhalb der insgesamt N Koeffizienten darstellt. Mit diesen Koeffizienten wird nun das erste Mal der Fehler $f(0)$ ausgerechnet. Die Koeffizienten werden nun neu berechnet:

$$h_1(k) = h_0(k) + C f_0 e(0-k)$$

bzw. weiter nach jedem neuen empfangenen Signalwert $e(n)$:

$$h_n(k) = h_{n-1}(k) + C f_{n-1} e(n-k)$$

$$k = 0 \dots N-1, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

C ist eine Konstante, die die Steilheit der Konvergenz bis zum Optimum bestimmt. Kleines C führt nur flach, also langsam zum Optimum, großes C schnell. Zu großes C kann aber zu instabilem Verhalten führen. Auf jeden Fall muß C kleiner als $1/(10NP)$ sein, wobei P die Leistung des Empfängersignals $e(n)$ ist.

Ein 4PSK-moduliertes Datensignal mit den Symbolen $1+j, 1-j, -1+j, -1-j$ wird über eine Leitung simuliert durch ein FIR-Filter-gesendet und von einem Rauschsignal additiv gestört. Ein adaptiver Equalizer regeneriert das ursprüngliche Signal iterativ.

$$z_A := 1+j \quad z_B := 1-j \quad z_C := -1+j \quad z_D := -1-j \quad n := 0 \dots 15$$

Das Signal sei periodisch aus folgenden Symbolen aufgebaut:

$$s_0 := z_A \quad s_1 := z_B \quad s_2 := z_D \quad s_3 := z_C \quad s_n := s_{\text{mod}(n, 4)}$$

Die Leitung wird durch ein 4-stufiges FIR Filter dargestellt:

$$h_0 := 0 \quad h_1 := 0.5 \quad h_2 := 0.5 \quad h_3 := 0$$

Dieser Leitungstyp erzeugt starke Intersymbol Interferenzen (ISI). Schwache ISI liefert $h_0=0, h_1=0.2, h_2=-0.2, h_3=0$.

$$l_n := s_n \cdot h_0 + s_{n-1} \cdot h_1 + s_{n-2} \cdot h_2 + s_{n-3} \cdot h_3$$

Nun kommt Rauschen dazu:

$$k := 1 \dots 12$$

$$r_n := \frac{1}{12} \sum_k 1 - \text{rnd}(2) + j \cdot (1 - \text{rnd}(2))$$

Durch die Summation und Skalierung wird ein elektronisches Rauschen simuliert

$$e_n := l_n + r_n$$

Der adaptive Equalizer startet zB. mit den Koeffizienten $a_0=a_1=a_2=a_3=0$

Aus "Digital Processing Laboratory" Vinay K. Ingle, John G. Proakis, Verlag Prentice Hall

Zusammenfassung

MNP-Klasse	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Duplex	HDX	FDX	FDX	FDX	FDX	FDX	FDX	FDX	FDX	FDX
Modem	V.23	V.22				V.29				V.32
Geschwindigkeit	1200	2400				9600				
byte	byte	bit								
Paketgrößensteuerung				x						adaptiv
Steuerungsoptimierung				x					x	
Kompression					x		x			
Geschwindigkeitsanpassung						x				x+dynamisch