

データ伝送におけるひずみ補償の一方式

A Method of Equalization of Intersymbol Interference in Data Transmission

高木 幹雄

Mikio TAKAGI

1. はしき

最近の電子計算機の情報処理能力の増加に伴って、中央の情報処理装置とデータ伝送による遠隔地からの情報の収集、遠隔地への情報の分配とを一体化した集中情報処理系統(IDP)を構成するというすう勢にある。このような系統により情報処理を実時間、もしくは on-line で行なうことに対し各方面から切実な要求がある。データ伝送と情報処理とを一体化するには、情報処理装置とデータ伝送との interface の問題などいろいろな問題があるが、データ伝送の面に限って見ると高品質であり、かつ、高い情報伝送速度のものが望ましい。

データ伝送回線としては、無線回線、有線回線のいずれも用いられているが、一般には電話回線が用いられることが多い。従来の電話回線(帯域 300 Hz~3400 Hz)を用いたデータ伝送の伝送速度は主として 50 baud で、ほかに 100, 200, 600, 1200 baud が推奨されているが、1200 baud が目下のところ実用の限界である。

これ以上の伝送速度では回線の振幅ひずみ、あるいは位相ひずみに基因する波形ひずみにより符号間の干渉が生じ、符号の誤り率が増し、信頼度の高い伝送を行なうことができない。したがって、データ伝送速度を上げるためには、符号間の干渉を補償することによりビット間の間隔を詰めて伝送するとともに、現在 2 値で行なわれている伝送レベルを多値として情報伝送速度を増さねばならない。たとえば、2 値で 2400 baud 送れるとすれば、4, 8, 16 値では 4800, 7200, 9600 baud の伝送が可能となるが、多値で伝送を行なうには符号間の干渉をレベル数が増すとともに厳しく抑える必要がある。

ここでは、データ伝送速度の向上を計るために、符号間の干渉を除去して多レベルの伝送を行なうことを目的とした補償方式の一方式についてご報告する。

2. 原理

時点 nT (T は 1 符号の時間) に M 個の離散的な振幅の中から選ばれた信号 a_n が送られ、系の単一パルスに対する応答を $h(t)$ とすれば、受信信号 $y(t)$ は

$$y(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n h(t-nT) \quad (1)$$

で与えられ、ある標本化時点 t_0 での出力 y_0 は

$$y_0 = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n h_{-n} \quad (2)$$

ただし、 $h_n = h(t_0 + nT)$

(2)式は所期の項 a_0 と符号間干渉による項の和として(3)式のように表わされる。

$$y_0 = h_0 \left[a_0 + \frac{1}{h_0} \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n h_{-n} \right] \quad (3)$$

なお(3)式の \sum' は $n=0$ の項を除くことを意味するものとする。したがって、最大の干渉は

$$\frac{a_{\max}}{h_0} \sum' |h_n|$$

となり、ひずみ D を次式のように定義する。

$$D = \frac{1}{h_0} \sum' |h_n| \quad (4)$$

これを用いて、 M レベルの場合の eye opening I は

$$I = 1 - (M-1)D \quad (5)$$

となる。ひずみ補償の目的は I を 1 に近づけること、すなわち $D=0$ とすることであるが、これには(4)式から明らかなように、 $n=0$ 以外の標本点での出力を最小にすればよい。

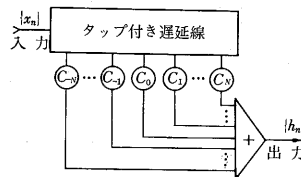


図 1 transversal filter

図 1 に示されたタップ付き遅延線、重みづけ回路および加算回路より成るタップ数 $(2N+1)$ 個の transversal filter において、タップ付き遅延線の入力インパルス応答 $x(t)$ を nT で標本化した時系列を $\{x_n\}$ とする。この時の出力の時系列 $\{h_n\}$ は次式で与えられる。

$$\begin{pmatrix} x_0 & \cdots & x_{-(N-1)} & x_N & x_{N+1} & \cdots & x_{2N} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{-(N-1)} & \cdots & x_0 & x_1 & x_2 & \cdots & x_{N+1} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{-N} & \cdots & x_{-1} & x_0 & x_1 & \cdots & x_N \\ \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{-(N+1)} & \cdots & x_{-2} & x_{-1} & x_0 & \cdots & x_{N-1} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{-2N} & \cdots & x_{-(N+1)} & x_{-N} & x_{-(N-1)} & \cdots & x_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_{-N} \\ \vdots \\ C_{-1} \\ C_0 \\ C_1 \\ \vdots \\ C_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{-N} \\ \vdots \\ h_1 \\ h_0 \\ h_{-1} \\ \vdots \\ h_{-N} \end{pmatrix} \quad (6)$$

または(7)式の如く

$$h_n = \sum C_i x_{n-i} \quad (7)$$

と表わしたときにひずみを除去するには

$$\left. \begin{aligned} h_i &= 1 & (i=0) \\ &= 0 & (i \neq 0) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

となるよう $\{C_i\}$ を調整すればよい。これは $(2N+1)$ 次

研究速報

の連立方程式を解くことに帰着するが、実際に金物で行なう場合には $\{C_i\}$ を繰り返して調整し最適化を行なう。

3. ひずみ補償回路の構成上の問題点

時間領域におけるひずみ補償方式を実現する場合には i) transversal filter の実現方法, ii) transversal filter の重み付けの最適化の手法の 2 点 が最も重要な問題点となるが、後者は別の機会に譲り、前者について述べる。

タップつき遅延線は集中定数の遅延回路を連続に接続して用いることが考えられるが、2400 baud の場合には 1 区間の遅延 417 μ s で 13 タップでは 5 ms となり経済的ではない。そこでデジタルな遅延線を用いると、アナログ遅延線と同様なタップつき遅延線、あるいは連続接続が考えられるが、送受信器を数多く要する点、あるいは遅延線を単に遅延のみに用い記憶容量の大部分が用いられない点に欠点がある。

そこで、振幅情報および重みづけ情報をいずれも符号化し、1本の短い遅延線に詰めて蓄積し、タップつきの遅延線と等価な操作を行なわせる。すなわち、1ビットの時間内に各タップの振幅と重みの積を作りその総和をとればよい。このようにすると他方式では各タップごとに空間的に配置する必要がある重みづけ回路も省略でき経済的となる。ここでは、デジタル遅延線 1本に各タップの振幅と重みづけの情報を記憶し、時分割演算により transversal filter を構成する方法を採用した。

4. ひずみ補償方式の構成

図 2 にひずみ補償方式のブロック図を示す。送られてくるデータは復調器 (DEM) で復調され base band の信号となる。この際、回線に送られてくるパイロット信号より搬送波再生回路 (CR) により搬送波を抽出して復調に用いる。またビット同期回路 (BT) は送られてくるデータに同期したビット信号を発生する。

復調されたデータは減衰器 (AT) により規準のレベルに合わされた後、AD 変換器 (ADC) で符号化される。BT よりの標本化時点を示すパルスによって振幅が符号化されると、遅延線 (DL) に書き込むために緩衝蓄積装

置 (BUF) へ送られる。ここでは遅延線への書き込み時点がくるまで情報は一時蓄積される。

遅延線に書き込んでいる振幅情報およびタップの重みづけの情報はシフトレジスタ (SR) に読み出され、振幅情報は振幅レジスタ (AR) に、重みづけ情報は重みづけレジスタ (GR) に読み出され、掛算回路 (ML) で振幅と重みづけの積が作られ、累算器 (ACC) に送られる。このようにして N タップ分の振幅と重みづけの積が作られて累積されるので、遅延線に書き込まれている情報が全部処理された後に、累算器の内容は読出しレジスタ (CRR) に送られ、 M レベルの信号に復号された後に BT よりのパルスで読み出される。なお、遅延線の長さは送られてくるデータの 1 ビットの時間より短くなっており、遅延線内の情報処理時間の方が短く BUF には新しい振幅情報が入っていない場合も生ずるが、この場合には何らの判定も行わず遅延線の情報は空廻りさせる。

以上は、各タップの重みづけが決定された後の動作であったが、テストパルスを受信してタップの重みづけを最適化する操作は次のようにして行なう。テストパルスが送られてくると AD 変換器出力を監視し、AD 変換器出力が規準の値となるよう減衰器を減衰器制御回路 (ATC) により調整する。中央のタップ以外の各タップの重みづけはすべて 0 にし、タップの重みづけの調整を開始する。遅延線制御回路 (DLC) ではテストパルスが現在のどのタップの位置にいるかを記憶しており、その時の振幅と重みづけの積の和が累算器に得られると対応するタップの重みづけを累算器出力に応じて調整する。したがってテストパルスが全タップを通過する間に各タップの重みづけは 1 回調整される。テストパルスを受信する度にこのような調整を行ない、重みづけの最適化を計る。

5. むすび

以上、データ伝送の伝送速度向上を目指したひずみ補償方式についてその概略を述べた。現在タップ数 19 (可変)、振幅および重みづけのビット数各 10 ビット (可変) の装置を磁歪遅延線を用いて試作している。また、タップの重みづけの最適化の手法についても種々の方式についてシミュレーションを行なったので別の機会に報告したい。

終わりに絶えずご指導いただく尾上教授に厚く感謝する次第である。

(1967 年 8 月 11 日受理)

文献

- 1) W. R. Bennett, J. R. Davey: "Data transmission", p. 268, McGraw Hill, New York, (1965).
- 2) R. W. Lucky: "Automatic equalization for digital communication", B. S. T. J., 44, 4, pp. 547-588 April (1965).

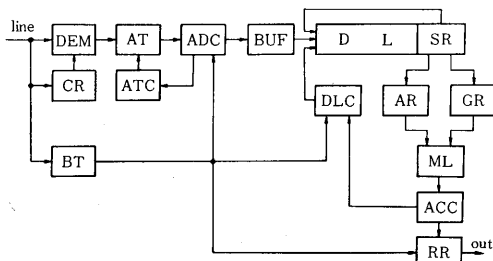


図 2 ひずみ補償方式のブロック図