

< 解 說 >

델타 변조 방식 Delta Modulation System

趙 成 俊*
Cho, Sung Joon

1. 序 言

오래전부터 人間の 音聲을 디지털펄스(Digital pulse)로 符號化해서 傳送함으로써 많은 回線을 포함하고 있는 通信方式의 傳送路上에서 漏話 등의 간섭영향을 減少시키고 아울러 보다 나은 通話가 可能하지 않을까 하는 着想에서 研究가 계속되어 오다 이의 한방법인 PCM(Pulse Code Modulation; 펄스符號變調)方式이 1938年 英國人 A. H. Reeves에 의해 提案되었고 2次 大戰中에 이의 實現을 본후 1948年 TR의 發明과 더불어 本格的인 發展을 거듭, 1955年 Bell Telephone에 의해 商用의 T₁方式이 開發되어 1962年부터 生産이 始作된 후 작금인 美國, 프랑스, 日本을 先頭로 多數의 國家들이 이 방식에 많이 依存하고 있는 實情이며 우리나라도 電話局間回線과 短距離 市外回線에 이 방식을 적용하고 있다. PCM方式은 音聲信號와 같이 連續的으로 變化하는 아나로그(Analog)信號를 一定한 週期로서 標本化하여 信號의 振幅을 N-디지털의 2進值로 디지털(Digital)符號化하는 방식이며 이의 좀다른 방식으로서 DPCM(Differential Pulse Code Modulation)이 開發되어 있다. 이는 每인점한 標本化 信號를 比較시켜 그 差만을 符號化해서 傳送하는 방식으로서 이의 特殊한 形態의 하나가 여기서 考察코자 하는 델타變調(ΔM) 방식이다. 즉, 델타變調方式은 本質的으로 1-디지털(One Digit)의 DPCM이며 標本化된 自己體보다는 繼續되는 標本值의 量子化된 差의 傳送에 根本을 두고 있으며 量子化레벨이 2레벨인 경우로서 約해서 ΔM 또는 DM이라 부른다. 델타變調方式의 開發은 最近의 일로서 1946年 유럽에서의 基礎理論의 發表以後 50年代 初半과 中半에 걸쳐 더욱 詳細한 理論이 De Jagar, Libois, Van de Weg, Zetterbeg 등에 의해 發表되었으나 PCM에 비해 Dynamic Range의 狹소, 넓은 周波數 帶域幅의 要求 때문에 理論的 研究의

對象이 되어온 감이 없지 않았다. 그러나 回路構成에 있어 아나로그-디지털(A/D), 디지털-아나로그(D/A) 交換을 簡單히 시킬수 있고 價格面에서도 低廉한 長點이 있어 이의 꾸준한 研究는 1963年의 M.R. Winkler의 改善方案¹⁾을 爲始로 1967~1968年에 걸쳐 더욱 開發된 提案(High Information ΔM, Continuous ΔM, Companded ΔM, Adaptive ΔM) 등이 發表되었고 近者에는 턴널다이오드(TD)에 의해 높은 펄스 反復率을 必要로 하는 影像信號(TV信號)의 ΔM方法等 標本化率의 장소 및 Dynamic Range의 改善를 爲한 一連의 發表들은 ΔM方式의 르베상스를 말려주고 있음을 알 수 있다.

2. 豫測符號化의 概念

델타變調方式 또는 ΔPCM方式은 豫測值로서 直前의 信號標本值를 使用한 單順한 豫測符號化方式의 1種이다.

豫測符號化는 그림 1에 表示한 바와 마찬가지로 過去信號의 標本值로부터 다음의 標本值를 豫測하여 豫測值와 現在의 標本值와의 差(豫測誤差)만큼을 量子化符號化하여 傳送하는 방식으로서 受信側에서는 送信測에서의 豫測과 同一한 操作을 통해 量子化된 原來의 信號를 얻는다.

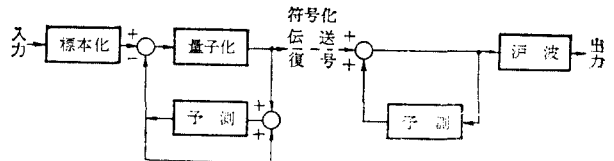


그림 1. 豫測符號化方式의 構成圖

이 경우 適切한 豫測이 行해진다면 豫測誤差의 振幅 變化範圍는 信號自己體振幅의 變化範圍보다도 작게 될 것이 期待되며 復調後의 量子化雜音을 同一하게 한다면 信號의 瞬時振幅을 傳送하는 通常의 PCM方式보다

*韓國航空大學 通信工學科; 正會員

도 豫測誤差만을 傳送하는 이 方式에서 傳送에 要하는 量子化 bits 數가 작게된다. 또는 PCM 方式과 同一한 bits 數를 使用하면 보다 高品質의 傳送를 行할수 있다.

ΔM 方式에서 보다 有效한 豫測을 行하기 爲해서는 信號의 統計的 性質에 근거한 豫測器의 設計가 必要하다. 또 信號의 統計的 性質이 變化하는 경우 이 變化를 檢出하여 豫測器를 이에 適合하게 變化시킴으로서 더욱 改善시킬수 있다. ΔM 方式은 豫測符號化가 매우 簡單한 方式으로서 量子化를 正, 負 各 1 level에 局限시키기 때문에 1 標本을 1 bit로 傳送한다. 또 이 경우의 豫測器로서는 通常의 單純한 積分器를 使用하므로 變, 復調 조작이 PCM에 比하여 極히 簡單하다.

3. 原 理

ΔM 方式은 주로 語聲의 傳送에 利用되어 왔으나 최근에는 高速 ΔM 符號器에 의해 TV 信號傳送에 適用되고 있다.

原理上 ΔM 方式은 連續的인 信號를 量子化 饋還法에 의해 2進符號로 變換시키는 方式으로서 送信側에선 入力信號의 振幅의 差에 해당하는 펄스를 傳送線에 送出하고 受信側에선 이들 펄스를 積分시켜 原來의 信號波形을 再現시킨다. 이의 一般的인 原理圖는 그림 2와 같다.

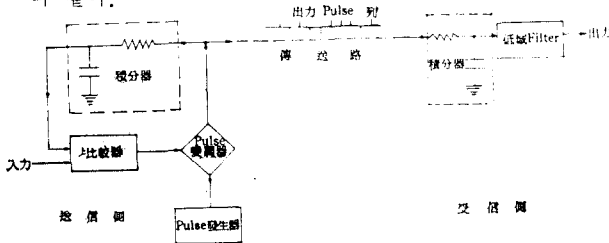


그림 2. ΔM 方式의 構成圖

그림 2에서 送信側의 ΔM 符號器는 比較器(差回路), 펄스發生器, 펄스變調器와 積分器(局部復號器)에 의해 構成되며 PCM 符號器에 비해 매우 簡單하게 된다.

比較器는 ΔM 符號器의 2進出力펄스를 積分시킨 量子化出力과 入力信號를 比較해서 그 差를 發生시켜 이 差로 펄스發生器를 調整하여 一定한 週期, 一定한 振幅으로 反復되는 正, 負의 펄스 또는 1, 0의 펄스를 發生시킨다. 즉, 入力 信號가 積分器出力보다 클 境遇엔 펄스變調器에 의해 正의 펄스, 작을 境遇엔 負의 펄스를 發生시킨다. 이렇듯 펄스의 極性은 比較器의 信號極性에 의해 決定되며 發生된 펄스列(pulse train)은 入力信號와 積分器出力과의 差를 줄이도록 比較器에 饋還되어 入力信號와 比較되며 積分器 出力信號는 恒常入

力信號에 가장 近似值로 矯正된다.

또 變調器의 積分器에 加해지는 2進出力은 受信側으로 傳送시킬 때 그러고 送出시킬 수도 있고 높은 周波數의 搬送波로 變調시켜 送出할 수 있다.

受信側의 信號器는 變調器에서와 同一한 周波數特性을 갖는 積分器와 原信號의 帶域幅特性을 갖는 低域여카기(LPF)로 構成되어 있다. 送되어온 펄스信號는 再生增幅된후 復號器에 加해지는데 復號器에 加해진 2進펄스力은 原信號와 가장 近似한 아나로그(Analog) 信號로 復調되며 여카기에서는 積分器에서 及과하지 못한 必要周波數帶域보다 높은 모든 周波數成分을 抑壓 및 除去한다.

4. 量子化雜音

ΔM 에 있어서도 PCM에서와 마찬가지로 入力의 連續信號가 完全하게 2進符號의 信號로 表現될 수 없으므로 恒常 入力과 再成된 信號(復調信號)와의 사이에는 差가 생겨 量子化 雜音(Quantizing noise)이 發生한다. 이 雜音의 量은 積分器回路의 特性和 펄스發生器의 標本化周波數에 의해 決定된다. 量子化 雜音을 줄이기 위해 보다 入力에 가까운 近似值를 얻기 위해서는 單一 積分器보다 2重 積分器를 使用한다. 2重積分器는 두개의 從續接續(Cascaded)된 RC 回路로서 둘째 것은 첫째積分器의 負荷로 作用하며 하나는 信號의 全周波數範圍에 걸쳐 積分하고 다른 하나는 信號周波數以上の 範圍에 걸쳐서만 積分하므로 積分出力을 入力信號에 近接한 曲線值로 얻을 수 있어 이 差가 變調器에서 더욱 正確히 펄스發生器의 펄스列(pulse train) 極性을 制御할 수 있으나 饋還回路上的 지연問題가 생기게 된다.

ΔM 方式에서의 量子化 雜音은 레벨의 量子化에 基인한 雜音(Granular noise)과 入力信號의 기울기가 급격한 境遇에 變調器가 이에 追종하지 못함으로 생기는 雜音(slope overload noise)의 2種類가 있다.

Granular 雜音은 PCM의 量子化 雜音과 비슷하며 이는 復調器의 出力信號가 어느 特定한 레벨의 값만 取할 수 있기 때문에 發生한다. 즉, 出力值가 離散的인 量子化 段階(step)值의 整數倍值만을 取하기 때문이며 slope overload 雜音은 入力信號의 기울기가 델타變調器가 再生해 낼 수 있는 值보다 클 境遇에 發生한다. 즉, ΔM 의 最大기울기가 kf 로 밖에 再生되지 못하기 때문에 생긴다. (k 는 스텝의 크기이며 f 는 標本化周波數)

이와같은 2가지 雜音中 Granular 雜音은 여결수 없

는 量子化 雜音이며 slope overload 雜音은 標本化周波數(f_s)를 PCM 方式에서 보다도 매우 높게 선정하므로서 이를 防止할 수 있다.

ΔM 方式에서의 量子化 雜音 N_Q 와 slope overload 雜音 N_S 는 S. O. Rice 와 Van de Weg 에 依해 求해진 바와같이 近似的으로 다음의 式으로 나타내어지며 通常 兩雜音은 加合된다¹⁾

$$N_T = N_Q + N_S$$

$$N_Q = \frac{8K^2 f_0^2}{\pi^2 f_s^2} \left[\frac{\pi^2}{12} + \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{l=1}^{\infty} (-1)^{n+l} \frac{\sin 2\pi n f_0 / f_s}{2\pi n f_0 / f_s} \cdot \frac{1}{l^2} \cdot \exp\left[-\frac{\pi^2 l^2}{K^2} \{1 - \varphi(n/f_s)\}\right] \right]$$

$$N_S = \frac{3^5}{4\sqrt{2}\pi} \left(\frac{b_0^2}{b_2^2}\right) \left(\frac{f_s k}{\sqrt{b_0}}\right)^{-6} \exp\left(-\frac{f_s^2 k^2}{2b_0}\right)$$

단, f_s : 標本化周波數

f_0 : 信號의 帶域幅

$\varphi(\tau)$: 信號 $x(t)$ 의 自己相關函數

k : 量子化 段階值(step value)

b_0 : $\overline{x'(t)^2}$

b_2 : $\overline{x''(t)^2}$

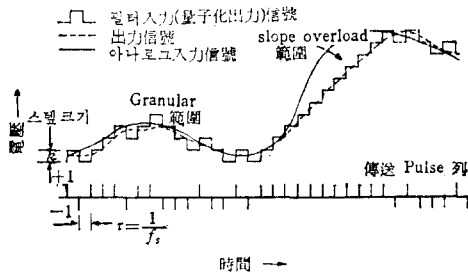


그림 3. ΔM 方式에 있어서의 量子化와 기울기의 過負荷

한데로서 實効值가 1 이고 周波數스펙트럼이 $0 \sim \frac{f_0}{4}$ 에서 平坦하고 $\frac{f_0}{4} \sim f_0$ 의 範圍에서 -6dB/oct 의 傾斜를 갖는 Gauss 性 信號에 對한 S/N 의 計算結果를 나타내면 그림 4 와 같다.

Y 軸은 信號의 實効值와 量子化 스텝의 비이고 信號 레벨의 增大와 더불어 S/N 가 어느 值까지 增大하여 最大가 되고 그 以上の 레벨에서는 slope overload 雜音 때문에 S/N 이 급격히 低下함을 볼수 있다.

그림 4 의 特性의 入力音量에 의한 S/N 이 크게 變化하기 때문에 音聲과 같은 1 레벨의 範圍가 넓은 信號에 對해서는 따라 갈수가 없다. 이 點을 改良하기 위해서는 PCM 方式의 경우와 같이 壓伸(Companding) 이 導入된다.

단, ΔM 方式의 경우에는 信號의 순시치뿐만 아니라 短時間 平均레벨에 반응하여 量子化 스텝의 크기를

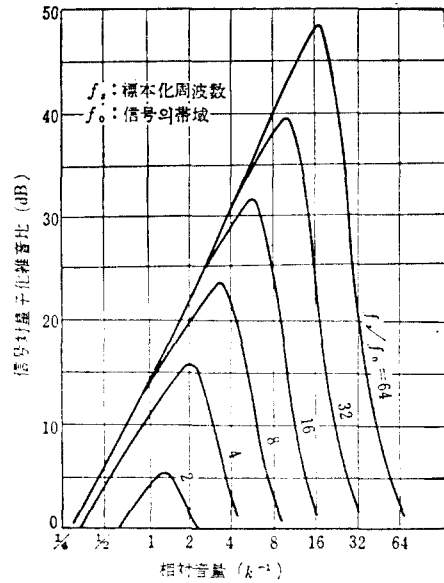


그림 4. ΔM 方式에 있어서 信號의 音量和 信號對量子化雜音比

變化시킨다.

壓伸 델타變調方式의 提案은 1963 年 RCA 의 M. R. Winkler 에 依해 提示²⁾되었으며 그의 方式은 符號器出力에 두개의 同一한 連續 2 進出力值가 나타날때 量子化스텝의 크기를 2 배로 하겠음 하고 있다 이 方式에 依하면 一般 ΔM 方式에 비해 더욱 많은 情報의 傳送을 할수 있고 量子化 誤差와 過負荷誤差가 적은 出力을 얻을수 있을뿐 아니라 이 方式에 依하면 dynamic range 도 상당히 改善시킬수 있다.

그림 5 는 壓伸 ΔM 方式의 特性의 一例를 나타낸 것이다. 단, 여기서 入力信號는 正弦波이며 bit 周波數로서 56 KHz 를 選定하여 0.3~3.4 KHz 의 帶域幅內에서의 雜音電力로부터 S/N 을 구한 것이다. 이로부터 壓伸 ΔM (Companded ΔM) 方式은 거의 同等한

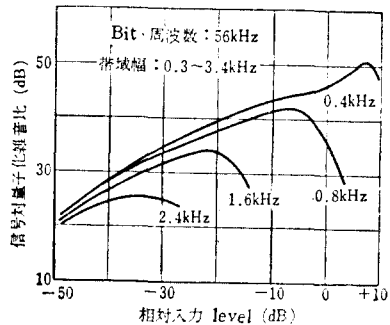


그림 5. 壓伸 ΔM 方式의 S/N 특성例 (正弦波入力) (Parameter 는 人力信號周波數)

bit 周波數(7 bits)의 對數壓伸 PCM에 필적할만한 特性을 얻을수 있음을 알 수 있다.

그림 5에서 알수있듯이 ΔM 또는 壓伸 ΔM 방식의 S/N 는 信號周波數가 높으면 높을수록 저하되는데 이는 特히 周波數가 높을수록 slope overload 가 일어나기 쉽기 때문이다.

따라서 變調에 앞서 우선 信號의 高周波成分을 抑壓하는 操作을 行하고 復調後에 이의 逆操作을 行하므로서 特性을 개선 시킬수 있는데 이는 一種의 emphasis-De-emphasis 방식이다.

5. 其他의 ΔM 方式

(1) $\Delta-\Sigma M$ 方式

ΔM 은 信號에 포함된 直流成分을 忠實히 符號化시킬수 없어 이를 改善하기 爲한 方式이 $\Delta-\Sigma M$ 方式으로서 그림 6과 같다.

이 方式은 우선 入力信號를 積分시킨다음 比較器에 加한다.

이 $\Delta-\Sigma M$ 方式을 TV 信號에 適用한 結果 Test-pattern 에 對한 펄스반복 周波數 30 MHz 에서 良好한 畫像이 얻어지고 또 10 MHz 의 반복주파수에서는 10 MHz 標本의 1 bit PCM 보다 良好한 畫像이 再生됨이 報告되어 있다.

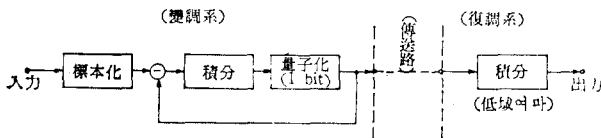


그림 6. $\Delta-\Sigma M$ 方式의 構成圖

(2) $\Delta-PCM$ 方式

이의 구성도는 그림 7과 같으며 이는 ΔM 符號器의

簡單함과 傳送上의 妨害耐력이 큰 PCM의 特徵을 구비시켜 PCM 多重化를 시키는 利點이 있다. 이 方式은 同一 bit 周波數의 PCM 方式과 비교하면 約 15 dB 의 S/N 의 改善이 얻어진다.

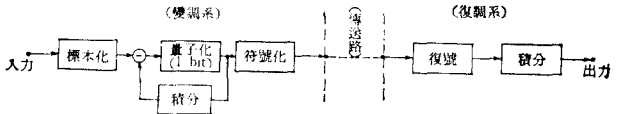


그림 7. $\Delta-PCM$ 方式의 構成圖

6. 結 言

一般의 디지털 傳送方式은 아날로그方式에 비해 Distortion 없이 極히 적은 誤差만으로 長距離에 情報을 傳送할 수 있으며 時分割多重化傳送路를 效率의 으로 使用할 수 있어 周波數多重化方式의 複雜한 Filter를 必要로 하지 않으며 디지털 컴퓨터(Digital Computer)에 依해 처리될 수 있는 長點을 가지고 있다. 비 밀보장면에서도 디지털情報은 쉽사리 變形될 수 있어 조정방지에도 주요한 역할을 담당하여 軍事用에 많이 使用되고 레이저빔(Laser beam)이라든가 장거리 도파관에 의한 傳送等에도 좋은 역할이 기대된다.

現在 PCM 方式이 가장 效率的인 TDM 方式으로 간주되고 있지만 變-復調回路가 복잡하고 高價인 반면에 ΔM 方式은 信號振幅의 差만을 2進의 디지털信號로 傳送하고 이를 積分하므로서 信號波形을 再現시키기 때문에 變-復調조작이 PCM 方式에 비해 매우 簡單하여 가격이 저렴한 長點을 갖고 있을뿐아니라 PCM에 簡單한 符號化 技術도 제공하고 있다.

參 考 文 獻

1. 趙成俊 “單安定 펄스變調方式에 依한 A/D變換”에 관한 研究 韓國航空大學論文集 第8輯 pp. 191-204, 1975.5
2. F. de Jager Philips Res. Rept. “Deltamodulation, A. Method of P.C.M. Transmission Using The 1-Unit code.” Vol. 7, No. 6, pp. 442-466, Dec. 1952.
3. H. van de Weg Philips Res. Rep. “Quantizing Noise of a single integration Delta Modulation system with an N-Digit code”. Vol. 8, No. 5, pp. 367-385. Oct. 1953.
4. A. Lender M. Kozuch. “Single-Bit Delta Modulating Systems.” Electronics Nov. 17, pp. 125-129 9, 1961.
5. H. Inose and Y. Yasuda and J. Murakami. “A Telemetry System by code Modulation $-\Delta-\Sigma$

- Modulation.” IRE Transactions on Space Electronics and Telemetry. Sep. 8, pp. 204-209. 1962.
6. Marion R. Winkler. “High Information Delta Modulation.” IEEE International Convention Record. 11, part 8, pp. 260-265. 1963.
 7. O’Neal, J. B., “Delta Modulation Quantizing Noise Analytical and Computer Simulation Result for Gaussian and Television Input Signal.” B.S.T.J., 45. No. 1, pp. 117-141. Jan. 1966.
 8. H. R. Schindler. “Delta modulation,” IEEE Spectrum, vol. 7, pp. 69-78. Oct. 1970.
 9. 猪瀬 博編 PCM 通信の基礎と新技術 日本 京東, 産報刊 1975. 8