디지탈 通信의 現況과 展望

殷 鍾 官
韓國科學院 電氣 및 電子工學科 敎授(工博)

要 約

지난 20년 동안 디지탈(digital) 通信은 刮目할 만한 發展을 해 왔다. 이는 컴퓨터, 집적회로, 디지탈 信號處理 기술의 급격한 發展으로부터 직접적으로 크게 영향을 받았기 때문이다. 디지탈 통신은 雜音, 他信號와의 干涉, 非線型 증폭기 사용에 의한 性能 低下 等의 어네로그(analog) 通信에서의 문제점들을 해결하고, 또한 大型集積回路 또는 마이크로프로세서를 사용함으로써의 利點, 즉 time sharing, 器機 維持管理의 容易性, 경제적인 點 等 여러가지 長點이 있기 때문에 앞으로 그 發展은 가속화되어 結局 어네로그 通信과 代替될 展望이다.

여기에서는 現在 디지탈 通信의 主種이 되고 있는 PCM을 중심으로한 通信시스템(PCM 符號化, 交換, 多重化, 回路構成)을 설명하고 比較的 새로운 分野인 컴퓨터통신, 인공위성통신, 광통신, 디지탈 통신에서의 대역폭 축소와 channel capacity를 증가시키는 방법들을 討議함으로써 디지탈 통신기술의 現況과 앞으로의 展望에 관하여 檢討하였다.

I. 序 論

지난 20년 동안 디지탈 computer 技術의 급격한 발달과 大型集積回路(LSI)의 開發 및 가격면에서의 기하급수적인 下落은 電子分野, 특히 通信에 至大한 영향을 주고 있다. 1960年 以前만 하더라도 通信의 主方法은 AM(Amplitude Modulation) 또는 FM(Frequency Modulation) 等의 어네로그 方式을 거의 全的으로 使用해왔지만, 1962年 PCM(Pulse Code Modulation)을 위한 T_1 carrier 시스템을 미국 Bell System에서 처음 설치한 후부터는 디지탈 通信이 급격히 발달하기 시작하였다.

通信이라하면 音聲, 影像, 데이타通信 等 여러가지 형태를 생각할 수 있겠으나 여기에서는 主로 音聲, 특히 電話線을 통한 음성의 傳送이 어떻게 디지탈화 되어가고 있나를 說明하고, 그의 展望 및 부수되는 問題點들을 考察하여 보고자 한다.

通信에 있어서 디지탈 方式과 어네로그 方式을 比較하여 볼 때 前者가 여러가지 長點이 있다는 것은 잘 알려진 사실인데 具體的으로 例를 들면 다음과 같다.

- 어네로그 신호는 傳送되는 途中 雜音이 증가되지만 디지탈 信號는 傳送距離에 관계없이 거의 性能이 端末장치에 의해서 決定된다.
- 디지탈 통신은 어네로그 통신과는 달리 他 채널의 신호로부터 干涉을 거의 받지 않는다.
- 디지탈 端末장치는 디지탈 回路의 time sharing이 可能하고 signalling을 時間重疊(time multiplexing)으로 할 수 있기 때문에 어네로그 端來장치보다 단가가 싸다.
- 디지탈 信號는 原來의 信號性格에 관계없이 모두 펄스로 나타내어지기 때문에 信號의 重疊이 아주 容易하다.

- 디지탈 通信은 computer 및 LSI 技術의 發展과 함께 技術面에서나 價格面에서 매년 급격한 向上을 보이고 있다. 또한 現在 많이 연구되는 디지탈 信號處理의 技術은 通信에 직접 利用될 수 있다.
- 디지탈 信號는 어네로그 信號보다 秘化(Encryption)를 容易하게 그리고 보다 더 완벽하게 할 수 있다.
- 디지탈 通信器機는 어네로그 器機보다 維持·保守가 간단하고 費用이 저렴하다.
- 時分割形 디지탈 電子交換器機가 앞으로 交換機의 主種이 될 것이다. 따라서 디지탈 信號의 使用은 必要不可結하게 되었다.

以上의 여러가지 理由로 디지탈 通信이 급격히 發展되고 있다. 그렇다고 해서 現在 디지탈 通信이 어네로그 通信과 比較하여 볼 때 短點이나 問題點들이 없는 것은 아니다. 그 例를 들어 보면 디지탈 方式으로 信號를 送信하게 되면 帶域幅의 使用이 現在의 어네로그 方式(例: SSBAM Microwave Radio)보다 非効率的이다. 따라서 長距離通信에는 아직도 어네로그 方式을 주로 使用하고 있고 그러한 이유로 디지탈 통신에서 帶域幅 축소에 관한 問題가 심각하게 되었고 이에 관한 研究가 활발한 것도 바로 이 때문이다.

本 技術解說에서는 現在 디지탈 通信의 主種을 이루고 있는 PCM을 中心으로 그의 原理, 多重化 過程, 디지탈 switching 및 network 구성에 관해서 먼저 고찰한 다음 디지탈 通信의 發展에 至大한 영향을 주고 있는 세 가지의 比較的 새로운 通信分野, 즉 光通信, 人工衛星通信, 그리고 컴퓨터 通信의 現況에 관해서 檢討하고 앞으로의 展望을 살펴 본다. 마지막으로 디지탈 通信에서 帶域幅 축소에 効率的인 ADPCM (Adaptive Differential PCM), ADM(Adaptive Delta Modulation), LPC(Linear Predictive Coding) 等의 豫測符號化 방법에 관해서 고찰하고 기타 channel capacity를 증가시키기 위한 Digital Speech Interpolation과 Duobinary Repeater 等에 관해서 論한다.

Ⅱ. 어네로그 信號의 디지탈化 過程 —PCM

어네로그 신호를 디지탈化 해서 送信하는 方式 中 지금 가장 많이 使用하는 方式은 앞에서 이야기한 바와 같이 PCM 方式이다.[1,2,3,19] PCM의 역사는 30年 以上이 되지만 많이 使用하게 된 것은 트란지스터의 使用이 널리 보급되고, 1962년에 디지탈 펄스를 傳送할 수 있는 T_1 line을 使用하기 시작한 후부터라고 할 수 있다.

PCM을 使用하여 어네로그 信號를 '0'과 '1'의 二進 디지탈 신호로 變換하는 과정은 다음과 같다.(그림 1 참조)

人間의 말이나 映像信號 같은 어네로그 信號를 디지탈化 하기 위해서는 먼저 필터를 使用해서 帶域幅을 制限한 후 대역 제한된 信號를 sampling을 하게 된다. 이 sampling하는 過程은 어네로그 信號를 계속해서 나오는 幅이 좁은 펄스 train과 곱한 것으로 생각할 수 있다. Sampling과 入力信號의 帶域幅 制限은 밀접한 관계가 있는 데 sampling의 속도가 적

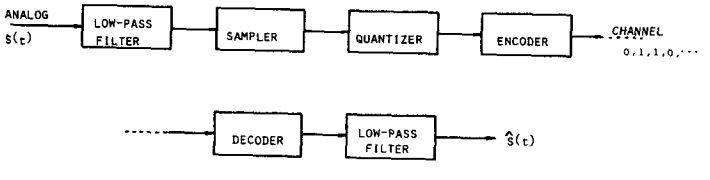


그림 1. PCM 시스템

어도 sample되는 入力信號의 帶域幅의 두 배보다 클 때 歪曲(Distortion) 現象이 나타나지 않고, 만일 그렇지 않은 경우에는 高周波의 信號性分이 低周波 信號에 영향을 끼쳐 디지탈 信號를 어네로그 信號로 다시 變換했을 때 原來 信號와는 차이가 많은 信號를 얻게 된다. 現在 PCM 音聲通信에서는 入力音聲을 0.3KHz에서 3.4KHz 內의 帶域으로 制限하고 8KHz로 sampling을 하고 있다. 그 다음 過程으로 sample된 入力信號는 그 振幅이 量子化되고 이어서 二進의 펄스 信號로 符號化된다. 量子化는 sample된 信號의 振幅을 特定한 값들에만 限定시키는 것으로서 量子器 스텝의 數가 많으면 많을수록 特定한 값들의 간격이 좁아져서 量子化로 인한 雜音이 줄어 들게 된다. 量子器는 스텝의 간격을 均一하게 만든 線型量子器와 간격이 均一하지 않은 非線型量子器로 區分할 수 있다.

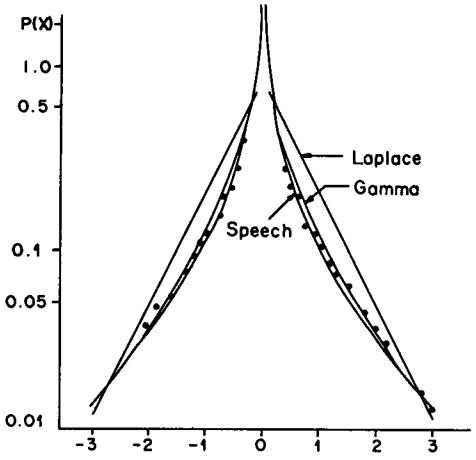


그림 2. 실제 음성 진폭과 Gamma, Laplace 확률 분포의 비교

音聲振幅의 確率密度는 그림 2에서 보는 바와 같이 log 確率密度와 類似하므로, 실제로 음성통신에서는 log 함수를 使用한 非線型 量子器를 主로 사용하고 있다. 이 log 量子器는 μ-law 量子器와 A-law 量子器로 細分할 수 있는데 前者는 韓國, 日本, 美國 等地에서 많이 쓰이고 後者는 유럽 等地에서 主로 쓰여지고 있다.

量子化된 信號는 二進數('0'와 '1')로 符號化하게 되는데 하나의 量子化된 sample 當 보통 8bit으로 符號化할 때 채널當 傳送速度는 64K bits/s가 된다. 이境遇에 量子器 스텝의 數는 2^8個가 된다. 이 程度의 스텝의 數效를 가지고 音聲을 符號化하면 量子化에 의한 雜音은 거의 무시할 程度이다. 수신기에서의 音質은 또한 傳送되는 二進信號의 오차에도 영향을 받는데 100萬個에 하나의 誤差가 날 境遇 音質은 거의 變化가 없다.

'1'과 '0'으로 符號化된 디지탈 信號는 傳送中 每 一定한 距離(T_1 line의 境遇는 約 1 mile)마다 있는 再生器(Repeater)에 의해서 信號를 再生하게 된다. 이 再生器는 어네로그 傳送에서의 再生器와 根本的으로 다른 데 어네로그 再生器는 增幅器에 不過하여 信號를 增幅하는 途中 雜音까지 增幅이 되어 距離가 멀어질수록 雜音의 영향이 더 커지나 디지탈 信號의 再生器는 雜音과 干涉에 영향을 받은 信號를 原來의 信號와 같이 다시 再生하는 機能을 가지고 있다.

수신기에서 받은 디지탈 信號는 송신기에서의 逆過程을 밟아 어네로그 信號로 變換되어 3.4 KHz의 low-pass filter를 거치게 되면 傳送速度가 64K bits/s인 경우에 原來의 信號와 거의 같은 信號를 얻게 된다.

Ⅲ. Multiplexing, Digital Switching 및 Network 構成

어네로그 信號를 디지탈 신호로 바꾸면 各 채널의 신호를 그대로 送信하는 것이 아니라 여러 채널을 多重化하여 送信하게 된다. 어네로그 信號의 境遇는 周波數分割 多重化(FDM: Frequency Division Multiplexing)를 使用하나 디지탈 신호의 경우는 時分割 多重化(TDM:

Time Division Multiplexing)를 使用한다.

TDM으로 多重化할 境遇 디지탈 신호는 原來 어네로그 신호의 種類, 즉 音聲, 映像, 데이타 等에 관계없이 같은 모양의 二進 펄스이기 때문에 어떠한 신호이든지 重疊을 간단히 할 수 있다. 음성과 TV와 데이타 신호가 디지탈化되어 多重化되는 過程이 그림 3에 그려져 있다.

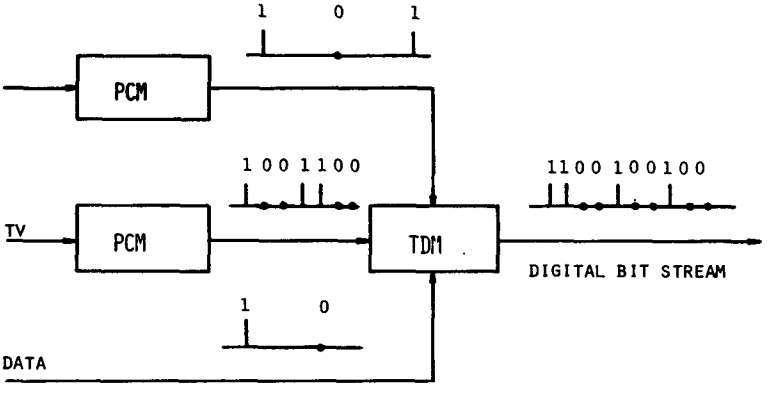


그림 3. 디지탈 신호의 TDM 다중화 과정

어네로그 通信에서 FDM을 하는 境遇 各 채널 사이의 干涉이 없도록 서로 完全히 分離시키기 위해서는 넓은 guard band를 만들던지 그렇지 않으면 채널 filter의 特性이 급격히 떨어지도록 만들어야 한다. 前者의 境遇는 대역폭을 有用하게 使用하는데 있어서 낭비가 되고 後者의 境遇는 filter가 복잡해지고 따라서 價格이 비싸게 되는 缺點이 있다. 따라서 대역폭도 줄이고 filter의 價格도 줄이기 위해서는 두 要求조건을 折衷해야만 된다. 折衷을 한다 하더라도 FDM에서는 各 채널 間의 干涉을 完全히 없애기는 어렵기 때문에 에네로그 통신에서는 cross-talk가 생기게 되는 것이다. FDM된 信號를 送信하는 데 있어서 또 한가지의 어려운 點은 各 再生器에서 非線形의 증폭기를 사용하므로써 생기는 intermodulation(IM) 효과이다. 이 IM效果는 증폭기를 非線形 영역에서 動作시킬 때 他 채널에 harmonics들이 送信되는 채널에 넘어와 干涉을 일으키는 現像이다. 이러한 증폭기를 線形 영역에서 動作시켜야만 되는데 이 조건은 再生器를 설계하는 데 어려운 點의 하나이다. 反面에 디지탈 信號를 時分割 多重化를 하면 인접 채널과의 干涉이 없을 뿐만 아니라 再生器 等으로부터의 非線形 증폭에 의한 IM 效果도 있을 수 없다. 그렇지만 이 代價로서 대역폭이 어네로그 신호보다 훨씬 넓어야 됨은 앞에서 이야기한 바와 같다.

音聲을 디지탈化해서 送信하는 데에 있어서 現在는 音聲을 어네로그 方法으로 多重化 한다음 이 신호를 PCM신호로 바꾸고 있다. 그러나 LSI 技術의 발달로 PCM codec이 比較的 값이 싼 LSI chip으로 나오게 됨에 따라 앞으로는 PCM codec이 每 가입자마다 부착될 展望이 크다.

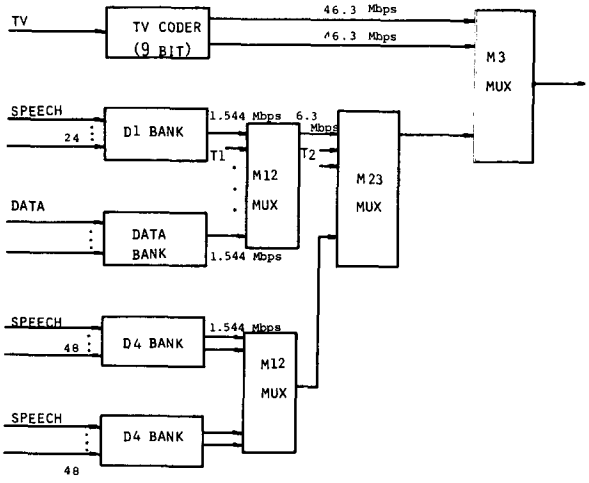
앞에서 이야기한 바와 같이 PCM으로 符號化된 신호는 TDM에 의해서 多重化되는데 FDM에서 super group, master group 等 多重化의 等位(Hierarchy)가 있는 것처럼 PCM-TDM에서도 等位가 있다. PCM 신호가 短距離 送信 carrier 시스템인 T_1에 실리기 위해서

---

* 現在 channel bank는 48 PCM channel을 수용할 수 있는 D-4 bank가[4] 개발되었는데 이것은 D-3 bank를 LSI로 축소 改良한 것으로 가까운 장래에 모든 舊型의 D-type channel bank 대신에 D-4bank가 使用되게 될 것이다.

는 D-type의 channel bank*에 의해서 24 channel이 多重化되어 1,544 M bits/s의 T_1의 신호가 나가게 된다. 이 1,544 M bits/s 의 T_1 펄스신호는 3個의 다른 T_1 신호와 M_{12} 의 多重化器에 의해서 多重化되어 6.3 M bits/s의 펄스신호가 되어 T_2 line에 의해서 송신이 된다. 더 나아가 M_{23} 多重化器는 6.3M bits/s의 T_2 신호를 한개의 46.3 M bits/s로 묶어 송신하게 된다.

發은 디지탈 통신의 發展에 박차를 가하게 되었다.[5,6] 從前의 交換方式은 主로 電氣機械型의 "crossbar" 空間分割(space division) 교환방식이었으나 1965年부터는 미국에서 時分割의 전자교환기(No. 1 ESS: Electronic Switching System)를 使用하기 시작하였고 디지탈 컴퓨터와 IC의 급격한 발달로 高速度의 centrall processor와 값싼 반도체 LSI 기억장치가 나오게 됨에 따라 55萬 加入者를 一時에



PCM HIERARCHY

그림 4. PCM Hierarchy

PCM신호의 계단적 多重化 過程이 그림4에 그려져 있다. 그림에서 보는 바와 같이 PCM으로 符號化되어 傳送되는 신호는 여러가지로서 音聲은 물론 데이타, TV 신호 等을 送信할 수 있다. 물론 데이타나 TV 신호는 音聲과 달리 대역폭이나 要求되는 信號對雜音比(SNR), 그리고 傳送速度가 다르기 때문에 音聲과 같이 24채널로 묶을 수 없다. 가령 TV신호는 音聲보다 훨씬 대역폭이 넓고 SNR이 좋아야 하기 때문에 sample當 9bits로 符號化되어 92.6M bits/s의 傳送速度로 送信되는데 이것은 두개의 46.3 M bits/s의 신호를 보내는 것과 같다.

에네로그 신호를 디지탈 신호로 바꾸기 위한 PCM의 實用化와 時分割形의 電子交換機의 開

취급할 수 있는 No. 4 ESS가 開發되었다.[7] 電子交換機는 機械形의 交換機와 比較하여 거의 무시될 정도의 空間을 차지하며, 交換機 그 自體가 特殊用途 컴퓨터이기 때문에 시스템의 진단 및 maintenance기능, stored program control, network management control, 自動 record keeping, man-machine interface等 여러가지 새로운 技能들을 가지고 있다. 따라서 지금까지는 local switching(短距離)이나 toll switching(長距離)에서 모든 전기기계형의 교환기를 주로 使用하여 왔지만 앞으로는 電子交換機가 local이나 toll switching에 主種을 이룰 것은 틀림없는 事實이다.

PCM 신호를 多重化 하는데 있어서 等位가

있는 것처럼 교환기도 이 신호들을 處理할 수 있도록 技能이 等級으로 區分되어야 될 것이다. 이들의 단계는 團體 안에서 쓸 수 있는 私設交換機로부터 시작해서 加入者와 近距離에 있는 local central office (CO)의 교환기와 연결이 되어 loop가 形成되고 local office의 교환기들이 서로 連結이 될 수 있는 toll switch가 있고 더 나아가 toll 교환기를 連結하는 intertoll trunk의 교환기가 必要하게 된다. 이렇게 等級이 區分될 때 北美州에서는 現在 5등급의 교환기를 사용하고 있다.

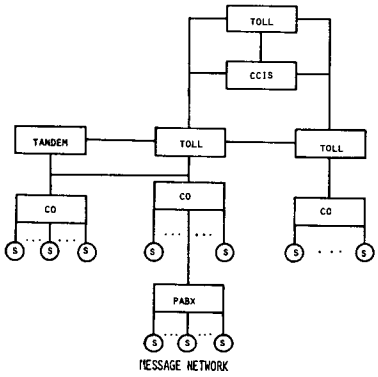


그림 5. Message Network

電話交換에서의 local과 toll office만을 포함하는 message network의 基本的인 構造가 그림 5에 그려져 있다. 이 그림에서 CCIS는 Common Channel Inter-office Signalling을 뜻하는 것으로 toll network의 signalling을 위해서 여러 채널의 signalling information을 TDM으로 多重化하여 音聲 채널과는 별도의 signal만을 위한 채널로 送信하게 된다.[8] CCIS 方式은 물론 PCM-TDM 에서만 可能하며 in-band signalling방법을 使用하는 FDM에서의 方法보다 가격이 훨씬 저렴하고 性能도 改良되었다.

마지막으로 어네로그 송신과 디지탈 송신을 위한 回路의 설치비용을 比較하여 보면 그림 6과 같다.[3] wire pair를 가지고 한 加入者

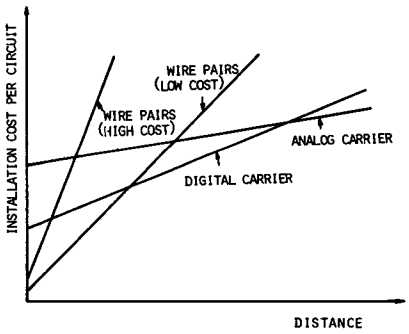


그림 6. 어네로그와 디지탈 carrier 송신을 위한 회로설치 비용 비교

回路를 설치할 때 단거리에서는 설치비용이 적지만 距離가 길어짐에 따라 급격히 증가하는 反面에 多重化된 carrier 신호의 回路當 單價를 보면 terminal의 설치비용은 크지만 거리의 증가에 따른 비용 상승은 單一回路 wire pair의 설치보다 서서히 증가함을 볼 수 있다. 또한 어네로그 carrier와 디지탈 carrier를 比較하여 보면 단거리에서는 디지탈 方法이 경제적이나 장거리 통신에서는 어네로그 방법이 경제적임을 보여주고 있다. 이 理由는 어네로그 方法이 디지탈 方法보다 대역폭 使用面에 있어서 훨씬 効率的이기 때문이다. 가령 例를 들면 어네로그인 境遇 두개의 同軸 케이블로 13,200個의 voice band 回路를 취급할 수 있으나 디지탈의 境遇는 274 M bits/s의 傳送速度로 전송하는 경우 回路의 數는 4,032개(回路當 64 K bits/s일 때) 밖에 되지 않는다.

Ⅳ. 광섬유, 인공위성, 컴퓨터에 의한 디지탈 통신

지난 15餘年 동안의 通信技術 硏究結果中 가장 刮目할 만한 것은 광섬유통신, 인공위성통신 그리고 컴퓨터를 利用한 통신이라 하겠다. 여기에서는 이 세가지의 통신방법에 관하여 論하겠다.

A . 光纖維 通信 [9,10]

光纖維에 의한 정보의 傳送은 根本的으로 디지탈 통신으로서 二進 펄스가 diode laser 나 Light-Emitting Diode(LED)에 의해서 光信號로 바뀌어 광섬유를 通하여 전송이 되고 수신기에서는 이 光信號가 다시 二進 펄스로 바뀌어 보통 디지탈 通信에서와 같이 demodulation 또는 decode 가 되는 것이다.(그림 7 참조)

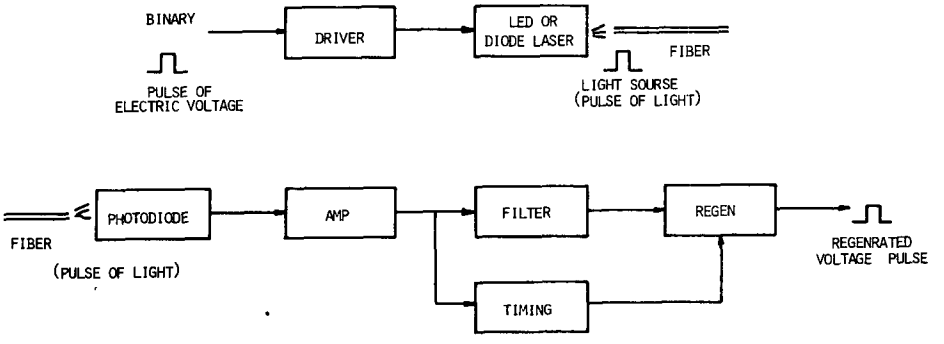


그림 7. 광통신 시스템

따라서 光通信은 sampling, coding, decoding 等 基本的인 방법은 보통의 디지탈 方法과 다를 게 없으나 다만 electrical pulse 를 light pulse로 變換하고 보통 銅으로 만든 pair wire 또는 coaxial cable, 또는 wave guide 로 신호를 전송하는 代身 광섬유를 使用하는 點이 다를 뿐이다. 光通信의 利點은 무엇보다도 價格面에서 저렴하고 * 작은 空間안에 많은 回線을 설치할 수 있는 點이다. 資原의 枯渴로 銅線의 使用은 制限되어 있으나 유리섬유의 主原料인 실리콘은 거의 무한정으로 있기 때문에 大量으로 값싸게 만들 수 있어 대도시의 地下 conduit에 들어 찬 銅線을 머리카락 같이 가는 小形, 輕量, 廉價의 유리섬유로 대치를 한다면 이에 따른 경비의 절약은 대단히 클 것이다. 또 한가지 光通信의 長點은 정보의 매개물인 光波가 높은 周波數를 갖기 때문에 주파수 대역폭이 넓어지고 따라서 信號를 多重化할 境遇에 大容量의 送信이 可能하다. 물론 light pulse를 傳送하는데 있어서는 electrical pulse 와 같이 再生器가 필요하나 광섬유는 구리선보다 km當 attenuation이 훨씬 적어 1dB/km 정도 밖에 안되므로 再生器는 每 4 ~ 5 mile 간격으로 설치할 수 있다. 따라서 每 1 mile 마다 再生器를 설치하여야 하는 銅線 pair wire 와 比較하여 볼 때 훨씬 경제적이고 또한 어느 정도의 단거리(5 mile 以內)는 再生器를 必要로 하지 않기 때문에 이 點도 또한 광통신의 長點이라 하겠다.

광섬유의 전송매개체로서의 사용 可能性은 미국의 Atlanta 와 Chicago 等地에서 실제로 電話局間 連結에 使用함으로써 입증이 되었고 現在 國內에서도 실험 中이다. 따라서 光通信은 비록 지금은 초기상태이지만 앞으로는 디지탈 단거리통신에 많이 使用되고 궁극적으로 대부분의 銅線은 유리섬유로 代置될 可能性이 크다.

B . 人工衛星 通信 [11,12]

人工衛星 通信은 1965年 4月 International Telecommunications Satellite Organization(INTELSAT) "Early Bird" (INTELSAT1)통신위성이 geostationary

* 현재는 광섬유가 銅線보다 비싸지만 지금까지의 가격하락 추세로 보아 멀지않아 광섬유가 보다 저렴하게 될 것이 예측됨.

orbit에 올려짐으로써 그의 歷史가 시작되었다. 衛星通信 시스템은 人工衛星, 地上中繼所, 地上端末裝置의 세부분으로 크게 나눌 수 있다. 지상단말장치는 他 通信시스템의 단말장치와 다를 바 없고 지상중계소는 지상단말장치(음성, 데이타, TV 등)와 衛星을 연결하는 役割을 하는데 그의 技能은 Radio Frequencey (RF) antenna에 의한 信號 送受信, 多重化(multiplexing), 多重接近(multiple access), error control coding 等을 한다. 人工衛星은 地上通信의 repeater의 役割을 하는데 主技能은 global coverage 또는 spot beam antenna에 의한 信號의 送受信, 信號의 limiting 및 bandpass filtering , 증폭 또는 再生, 주파수 변환(보통 6 GHz band에서 4 GHz band로 변환함) 等을 한다. 간소화한 위성통신 시스템이 그림 8에 그려져 있다.

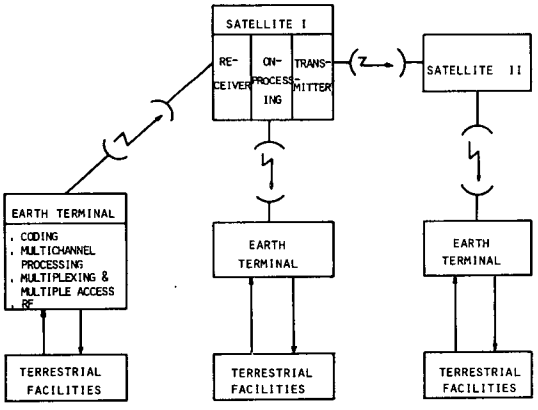


그림 8. 간소화한 인공위성 통신 시스템

初期의 人工衛星(INTELSAT 1)은 重量이 38 *kg*, 電力이 10 W(EIRP), 대역폭이 50 MHz (6 GHz band에서)로 240個의 電話回線밖에 취급할 수 없었으며 두개의 지상중계소만 連結이 되어 多重接近이 不可能하였다. 그러나 現在 使用하는 INTELSAT 4A는 重量이 800 *kg*, 대역폭이 750 MHz , Traveling Wave Tube(TWT) 를 사용한 증폭기(transponder)가 20개나 되며, 電話回線은 6.000回線을 同時에 취급할 수 있다. 또한 여러개의 transponder와 spot beam antenna의 使用은 radiated power를 集中시킴으로써 channel capacity를 증가시키고 多數의 지상중계소와 同時에 連結될 수 있게 되었다. 이와같이 新形의 통신위성이 궤도에 올려질 때마다 radiated power나 대역폭이 넓어지고 또한 transponder의 數도 증가하며 따라서 回路의 數도 증가해서 現在 INTELSAT 5의 回路當 單價는 初期 衛星通信의 回路單價의 40分의 1 以下로 줄게 되었다.[19]

多重接近은 地域的으로 떨어진 使用者의 신호들을 多重化하는 것으로서 Frequency Division Multiple Access (FDMA)과 Time Division Multiple Access(TDMA)의 두 方式으로 크게 나눌 수 있다. FDMA는 위성통신 대역폭 안에서 各 使用者가 특유의 주파수대역을 배정받아 여러 地域의 使用者들이 同時에 通信할 수 있는 方法이다. 또한 TDMA는 時間을 分割하여 一定한 時間동안 오직 한 使用者만이 送信하고(使用하는 대역폭은 위성통신 전체 대역폭이 됨) 다음 시간간격에는 또 다른 使用者가 送信하게 되는 말하자면 TDM의 개념과 같은 方式이다. 現在는 FDMA 가 主種을 이루나 디지탈 통신이 발달함에 따라 TDMA로 대체될 展望이며 이 境遇의 傳送速度는 보통 100 M bits/s 以上 될 것이다. 앞으로 15년동안 인공위성을 사용한 전화회로의 증가에 관한 예측이 표1에 나타나 있다.

衛星通信이 발달함에 따라 여러가지 새로운 개념의 研究結果들이 나오고 또한 실제 使用하게 되었다. 例로서 FDMA나 TDMA 以外의 多重接近의 새로운 방식으로서 주파수대역의 再使用이 可能한 Code Division Multiple Access (CDMA), 통신이 必要한 境遇에만 채널을 배정받는 Demand-assigned TDMA 그리고 使用率이 낮고 bursty한 性質의 使用者에게 적합한 Packet-type Multiple Aco-

표 1. Projected INTELSAT voice-circuit traffic

年	대서양지역	태평양지역	인도양지역	합 계
1975	5,593	1,462	1,860	8,690
1979	11,153	2,605	4,013	17,272
1983	21,624	2,883	7,780	34,287
1989	57,685	12,525	18,952	84,162
1993	95,393	23,469	34,323	153,185

〔Source : R. B. Marsten, "Service Needs and Systems Architecturrein Satelite Comamunnications," IEEE Comm. Soc. Magazine (May, 1977)〕

cess들을 들 수 있다.

또한 낮은 誤差率로의 데이타 傳送을 위하여 convolutional coding과 Viterbi decoding 方式이 開發되어 現在 많이 使用되고 있다.

C. Computer 통신 [13]

디지탈 컴퓨터의 技術이 발달하고 그 利用이 多樣해짐에 따라 컴퓨터와 디지탈 통신기술이 結合되게 됨은 當然한 일이라 하겠다. 컴퓨터 통신에서는 전송되는 데이타나 디지탈화된 音聲이 一定한 길이의 data block으로 쪼개져서 非動期的(asynchronous)으로 送受信하게 된다. 이 쪼개진 data block을 packet 이라고 하는데 한 packet은 전송되는 data 뿐만아니라 frame sync, 송수신자의 주소, error control 을 위한 checksum bit 等으로 構成된다. 따라서 컴퓨터 통신에서는 他 通信에서의 circuit switching과는 달리 packet switching을 使用하는 點이 큰 특징이라 하겠다. 또한 컴퓨터 통신은 그의 特性으로 보아 사용빈도가 적고 bursty 한 통신에 적합하나 dedicated link를 필요로 하는 使用者에게는 사용자가 많을수록 시스템의 性能이 非効率的으로 되기 때문에 부적합하다.

지난 10여년동안 컴퓨터 통신망도 여러개 생겼다. 그 例로서 미국 Hawaii 대학의 ALOHA net나 미국방성의 ARPAnet 또는 商用의 TYMnet 等을 들 수 있다. Pack 化된 데이타는 radio channel이나 leased telephone line을 통하여 송신할 수 있는데 前者의 例는 ALOHAnet를 들 수 있고 後者의 例는 ARPAnet를 들 수 있다.

지금까지의 컴퓨터 통신은 主로 데이타의 傳送을 위하여 많이 使用해 왔으나 지난 3, 4년 前부터는 디지탈화된 音聲信號의 傳送에도 使用되고 있다. Packet 통신을 위한 音聲의 디지탈化 方法은 低傳送速度의 ADM(Adaptive Delta Modulation)이나 LPC (Linear Predictive Coding) 等의 方法들이 主로 使用되고 있다. 또한 人工衛星을 使用한 packet 通信도 새로운 通信方法으로 등장하고 있다.

現在 컴퓨터 통신에서의 代表的인 問題點들을 열거하여 보면 다음과 같다.

- 한 통신망 안에 여러 가지 다른 種類, 다른 速度의 단말장치를 어떻게 最小의 비용으로 設置할 수 있나의 local distribution 問題.
- 어떻게 効率的인 通信儀禮(protocol)를 만들고 이것들이 作動하는지를 증명하는 問題.
- 여러 使用者가 同時에 송신할 때 packet의 충돌, packet 을 잃어버릴 境遇, 컴퓨터의 queueing system의 overflow 等의 問題들을 最小化하는 點.
- 지연(delay)을 最小化하고 同時에 line 의 使用을 最大化하는 두가지 問題는 서로 相反된 조건으로서 이 두가지 問題를 同時에 성취시킬 수 있는 方法.

以上의 問題點들에 관하여 現在 많은 研究가 이루어지고 있다. 따라서 컴퓨터 통신은 디지탈 통신의 한 부분으로 앞으로 많은 發展이 기대되고 또한 low duty user에 의해 널리 사용되리라 믿는다.

V. 대역폭 축소를 위한 부호화 및 기타 방법의 연구경향 [14]

앞에서 이야기한 바와 같이 디지탈 통신은 에

네로그 통신과 比較할 때 帶域幅 使用이 非効率的인 결점이 있다. 또한 통신 使用者가 近來 급격히 늘어남에 따라 대역폭을 効率的으로 使用하여 한 線路안에 channel capacity를 가능한 한 最大로 늘리는 問題는 現在 디지탈 통신의 여러 硏究分野에서 重要한 과제가 되고 있다. 이러한 理由로서 디지탈 통신에서 音聲 또는 影象信號의 대역폭 축소에 관한 硏究가 많이 進行되고 있다. 여기에서는 主로 音聲信號의 대역폭 축소에 관한 硏究開發의 結果와 앞으로의 경향을 소개하고자 한다.

音聲을 情報理論的으로 생각할 때 本質的으로 correlation이 크고 redundant 하다는 것은 잘 알려진 事實이다. 이 redundancy를 줄이기 위해서 Differential PCM (DPCM) 이나 Delta Modulation (DM) 같은 豫測符號化 (predictive coding) 方法을 쓸 수 있다.[14] 豫測符號化 方法을 使用하면 PCM과 같이 入力信號를 直接 量子化하지 않고 入力信號보다 variance (또는 dynamic range)가 훨씬 적은 豫測誤差信號 (prediction error signal)를 量子化하기 때문에 전송속도를 PCM 전송속도(64 K bits/s) 보다 적어도 3분의 2 以下로 줄일 수 있는 長點이 있다.

DPCM과 DM의 기본 블록도가 그림 9에 그려져 있다. DPCM과 DM은 둘다 豫測符號器라는 點에서 共通點이 있으나 실제 hardware 構成에 있어서는 크게 달라서 DPCM은 入力信號가 PCM과 같이 Nyquist rate로 sample되고 量子器는 多數의 level이 必要하다. DM은 入力信號를 Nyquist rate의 4, 5倍 以上으로 sample하는 代身 2개(binary)의 level을 갖는 量子器를 使用한다. 따라서 DPCM은 PCM과 같이 word로 구성된 二進信號가 出力되나 DM은 그 出力이 word로 구성되지 않고 각 二進信號 自體가 情報가 된다.

現在 使用되고 있는 DPCM이나 DM은 그림 9에 그려진 基本시스템을 改良한 것으로 量子器나 豫測器를 入力信號에 따라 적응(adaptive)하도록 되어 있다. Adaptive DPCM (ADPCM)은 보통 量子器만 適應시키고 豫測器는 固定시키나 때로는 둘다 適應시키기도 한다. 지난 10여년 동안 여러 종류의 ADPCM이 硏究開發 되었는데 그 中 잘 알려진 시스템이 그림 10에 그려져 있다. ADPCM과 DPCM을 比較하면 ADPCM의 SNR이 DPCM보다 約 5dB 크며, ADPCM과 PCM을 比較할 때 ADPCM은 約 12dB의 SNR 증가를 보게 된

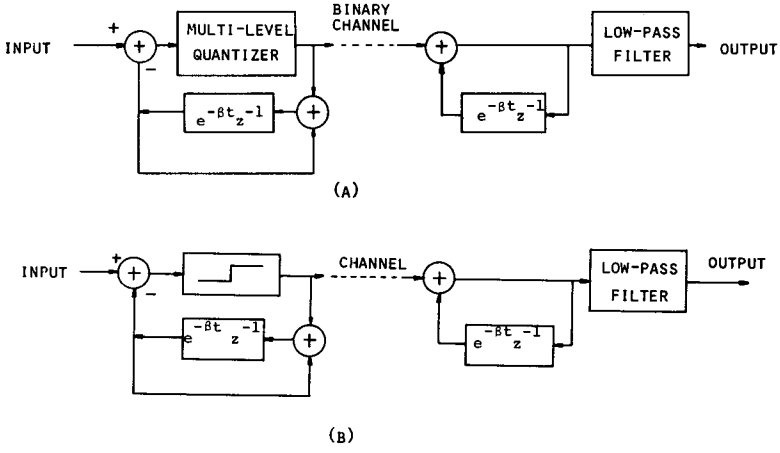


그림 9. DPCM과 DM의 기본 Block 圖 (a) DPCM (b) DM

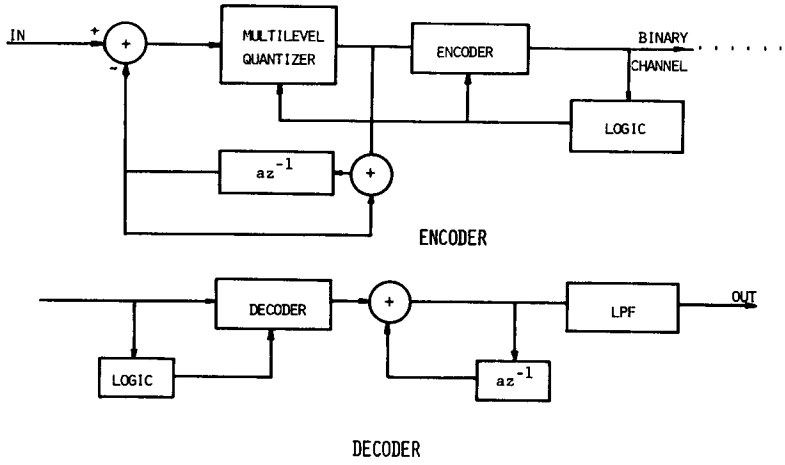


그림 10. ADPCM Block 圖

다. (그림 12 성능 비교 참조) 따라서 같은 SNR을 가질 경우 ADPCM의 전송속도를 PCM보다 훨씬 낮출 수 있음을 明白한 일이다. 음성통신에서 64K bits/s의 PCM 音質은 48K bits/s의 ADPCM과 거의 같다. 現在 ADPCM은 음성 뿐만아니라 影像信號, 특히 TV영상신호의 디지탈 符號化에도 使用할 수 있음이 立證되어 앞으로 TV신호의 디지탈 傳送에 큰 役割을 할 것이 期待된다.

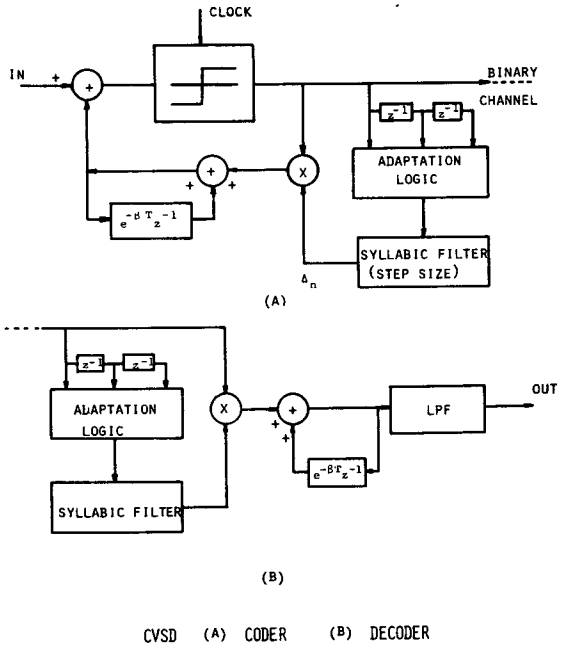
Delta Modulation은 낮은 전송속도에서 DPCM보다 性能이 좋을 뿐만 아니라 시스템 構成이 아주 간단하기 때문에 16~32K bits/s의 낮은 전송속도의 음성 디지탈화 方法으로 近來 크게 각광을 받고 있다. ADPCM과 같이 DM도 ADM(Adaptive DM)으로 만듬으로써 符號器의 dynamic range를 현저히 늘릴 수 있고 또한 SNR도 개선할 수 있다. ADM은 量子器를 어떻게 壓伸(companding)하는 가에 따라 syllabic, instantaneous, hybrid companding으로 크게 세가지로 分類할 수 있는데 性能을 比較하여 보면 最近에 開發된 Hybrid companding ADM이 SNR이나 dynamic range 等으로 보아 性能이 가장 좋다. Instantaneous companding ADM은 雜音이 없는 現想的인 채널에서는 hybrid companding 方法과 性能이 거의 같으나 雜音이 있는 채널에서는 SNR이 급격히 떨어지기 때문에 실제로 使用하기가 어렵다. Syllabic companding ADM은 回路構成이 세 方法 中 가장 간단하나 dynamic range가 비교적 좁은 단점이 있다. Syllabic companding을 사용한 ADM의 한 例로 現在 IC化되어 가장 많이 사용되고 있는 Continuously Variable Slope Delta modulation(CVSD)을 들 수 있다.

이 CVSD(그림 11 참조)는 회로구성이 ADM 中 가장 간단하고 雜音이 있는 채널에서도 性能이 比較的 좋다.

ADM은 낮은 전송속도에서도 音質이 비교적 좋고 PCM과 比較할 때 channel capacity를 2倍내지 4倍로 늘릴 수 있기 때문에 音聲通信에 많이 使用될 것이 期待된다. 現在 軍用通信에서 많이 쓰여지기 시작하고, packet 音聲 衛星通信, 또한 電話의 加入者 loop(subscriber loop) 單位에서 使用되기 시작하였다. Bell System의 SLC-40, 또한 ITT의 DM 32S subscriber carrier system은 모두 CVSD 方式을 채택하고 各各 40, 32 音聲 채널의 受容이 可能하며 多重化된 신호의 전송속도

는 두 시스템이 똑같이 1.544M bits/s 로서 T1 carrier 시스템으로 전송이 可能토록 설계되어 있다. 따라서 ADM은 subscriber loop 單位의 制限된 범위에서는 많이 使用될 것이기 때문이나 ADM의 높은 전송속도에서의 性能問題와 그동안 PCM에 투자한 거대한 비용으로 보아 全體的으로 PCM과 대체하기는 어렵겠다. 이렇게 PCM과 ADM을 共用함으로써 생기는 한 문제는 tandem으로 連結할 境遇 符號化된 한 신호를 다른 신호로 어떻게 效果的으로 變換시킬 수 있는가 하는 點이다. 이 PCM/ADM, ADM/PCM 符號變換 問題는 디지탈 신호처리와 마이크로프로세서의 應用으로 디지탈 영역에서 쉽게 해결할 수 있게 되었다.

그 밖의 대역폭 축소의 方法으로 1970年初부터 활발히 硏究되고 現在 實用化 되고있는 Linear Predictive Coding (LPC)을 使用한 여러 형태의 vocoder들을 빠뜨릴 수



CVSD (A) CODER (B) DECODER

그림 11. CVSD Block圖

없겠다.[15] LPC의 原理를 利用한 vocoder의 例로서 傳送速度가 2.4-4.8K bits/s 의 pitch excited LPC vocoder, 4.8-9.6K bits/s의 Adaptive Predictive Coder (APC)와 Residual Excited Linear Predic-tion (RELP) vocoder 等을 들 수 있겠다. 이들 시스템의 특징은 PCM, ADPCM 또는 ADM과 같이 waveform coding을 하는것이 아니라 音聲信號를 해석하여 그 특징만 抽出하여 送信함으로써 낮은 전송속도로 음성을 전송할 수 있다는 點이다. 따라서 이들 vocoder 시스템은 전송속도가 PCM의 25분의 1에서 6분의 1 정도인 反面 hardware구성은 wave-form coder보다 훨씬 복잡한 短點을 갖고 있다. 이러한 理由로 위에 열거한 LPC vocoder들은 特殊用途, 즉 軍通信, leased line을 使用한 私設 電話通信, packet 音聲通信 等에 使用되기 시작하고 있다.

기타 channel capacity를 늘리는 方法으로 speech interpolation과 partial response (또는 duobinary) 시스템의 사용을 들 수 있다. 이 方法들은 위에서 언급한 豫測符號化나 vocoding 方法과 槪念이 다르다. Speech interpolation은 두 사람이 電話通話를 할 때 한 사람이 말을 하면 상대방은 듣기 때문에 실제로 전화선로의 使用時間은 通話時間의 40% 밖에 안된다는 사실을 利用해 channel capacity를 倍 以上으로 늘리는 方法이다.[16] 물론 이 方法은 回線을 새로 설치할 때 문제가 되는 境遇 즉 長距離 通信에 效果的이다. 이 시스템은 미국의 Bell System에서 1960年初 TASI (Time Assignment Speech Interpolation)[17]를 開發하므로써 實用化되었고 現在는 改良된 Digital Speech Interpolator (DSI)가 開發되어 大陸間 長距離 通信, 人工衛星 通信等에 使用되고 있다.

Duobinary 方法은[18] PCM이나 PAM (Pulse Amplitude Modulation)等의 pulse를 송신하는 시스템에서 생기는 intersymbol interference를 교묘히 逆利用해서 channel

capacity를 보통 PCM의 倍로 늘리는 것이다. Binary 신호를 倍以上 보낼 수 있는 代身

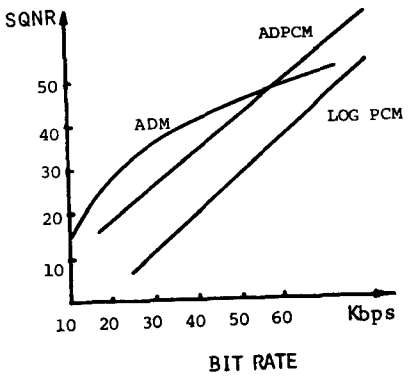


그림 12. PCM, ADPCM, ADM의 성능 비교

SNR이 約 2dB 감소되는 短點이 있으나 이 감소는 全體 시스템 性能에 별 영향을 끼치지 못한다. Duobinary 시스템은 repeater 로 PCM T1 carrier system에 旣存 system을 변경하지 않고 使用할 수 있도록 2年前에 開發이 되어 data는 물론 PCM 디지탈 音聲通信에 使用되기 시작하고 있다.

끝으로 디지탈 통신의 發展에 크게 이바지하고 있는 디지탈 信號處理(Digital Signal Processing)技術에 관하여 언급한다. 디지탈 신호처리는 디지탈filter설계, FFT (Fast Fourier Transform)를 利用한 신호의 spectrum 해석 및 그의 應用 等 디지탈 시스템 설계 및 해석에 必須的인 것이다. 지난 10여년 동안의 많은 研究結果로 어떠한 어네로그 filter도 shifter, adder, multiplier 等으로 구성되는 digital filter로 대체할 수 있게 되었다. Computer나 마이크로프로세서를 利用한 디지탈 통신시스템의 대역폭 제한을 위해서는 digital filter의 使用이 必要不可缺하게 되었으며 각종 신호의 spectrum 해석에도 디지탈 신호처리 기술은 必須的이 되었다. 앞에서 이야기한 code converter나 또는 FDM 신호와 TDM 신호를 tandem 으로 연결시키는 transmultiplexer도 디지탈 신호처리 기술이 없이는 可能하지 못할 것이다. 이러한 點으로 볼 때 지금까지의 디지탈 통신의 發展은 computer나, 마이크로프로세서를 포함한 LSI 技術, Laser 技術 또는 디지탈 신호처리기술 等 어느 한 分野의 기술발전에만 依存한 것이 아니라 복합적인 技術發展의 結果라 하겠다.

VI. 結 論

지금까지 지난 20年동안 디지탈 通信의 主種을 이루어온 PCM을 中心으로 그의 發展過程 및 現況을 說明하였다. 디지탈 통신의 새로운 研究結果로 광통신, 인공위성, 컴퓨터 통신 等을 들 수 있겠다. 이들 새로운 方法들이 어떻게 利用되고 있나를 檢討하였고 앞으로의 추세를 豫測하여 보았다. 또한 디지탈 통신에서 問題가 되는 非效率的인 대역폭 使用을 어떻게 改善할 수 있는가, 즉 대역폭 축소 또는 channel capacity 증가 問題에 관해서 檢討하였다.

디지탈 통신은 컴퓨터, 마이크로프로세서, 초대형집적회로, 디지탈 신호처리 기술 等의 급격한 發展의 복합적인 産物이라고 할 수 있겠다. 어네로그 방법과 比較할 때 디지탈 방법은 여러가지 利點이 있고 초대형집적회로(VLSI)의 등장은 통신시스템을 보다 작고 값싸게 만들 수 있게 되었으며 또한 전송매개체로서 광섬유의 使用은, 銅線pair wire, 同軸 cable 使用時의 價格, 空間의 占有, 回線數의 증가 등의 問題點들을 해결할 수 있게 되었다. 이러한 모든 點으로 볼 때 디지탈 통신이 지난 20年동안 급격히 發展해온 것은 當然한 귀추라 하겠고 이런 발전추세는 앞으로 더 拍車를 가해서 결국 멀지않아 종전의 어네로그 통신은 디지탈 통신으로 대체될 展望이다.

디지탈 통신은 광범위한 分野로서 여기에서는 制限된 紙面 관계로 모두 취급할 수 없었다. 여기에서 취급된 topic들은 主로 筆者와 관련되어 있거나 관심이 있는 分野만 취급했기

때문에 앞으로를 展望하는데 있어서 客觀性이 缺如된 境遇도 있을 可能性이 있는데 이 點 讀者는 理解하여 주기 바란다.

謝 辭

本橋를 정리하고 교정을 보아준 韓國科學院 電氣 및 電子工學科 博士과정의 李 在 天 氏에게 감사를 드린다.

참 고 문 헌

1. B. M. Oliver, J. R. Pierce, and C. E. Shannon., "Philosophy of PCM," Proc of IRE, vol. 36 (Nov. 1948).
2. Transmission Systems for Communications, Bell Telephone Laboratories.
3. M. R. Aaron, " Digital Communications – The Silent (R)evolution ?" IEEE Communications Magazine (January, 1979).
4. W. G. Albert et al., " D4 : up-to-date channel bank for digital transmission plant," Bell Laboratories Record (March, 1977).
5. J. C. McDonald, "Techniques for Digital Switching," IEEE Communications Soc. Mag. (July, 1978).
6. A. E. Joel, "What is telecommunications circuit switching," Proc. IEEE vol. 65 (Sept., 1977).
7. A. E. Ritchie and L. S. Tuomenoksa, "No. 4 ESS, system objectives and organization," BSTJ, vol. 56 (Sept., 1977).
8. A. E. Ritchie and J. Z. Menard, "Common Channel Inter-office Signalling, an Overview," Bell Sys. Tech. Jour. vol. 57 (Feb., 1978).
9. S. D. Personick, "Optical Fibers, A New Transmission Medium," IEEE Comm. Soc. Mag. (January, 1975).
10. 대한 전자공학회 잡지 "통신용 광학섬유 특집" 호 (Dec., 1977).
11. H. L. Van Trees et al., " Communications Satellites : Looking to the 1980 s," IEEE Spectrum (Dec., 1977).
12. R. B. Marsten, "Service Needs and Systems Architecture in Satellite Communications," IEEE Comm. Soc. Mag. (May, 1977).
13. A. G. Fraser, "The Present Status and Future Trends in Computer / Communication Technology," IEEE Comm. Soc. Mag. (Sept., 1976).
14. 은종관, " 음성신호의 디지탈화와 대역폭 축소의 방법에 관하여 (I) – ADM과 ADPCM " 전자공학회지, 15권 3호 및 4호 (July, September, 1978).
15. 은종관, " 음성신호의 디지탈화와 대역폭 축소의 방법에 관하여 (II) – Vocoding" 전자공학회지, 15권 5호 및 6호 (October, December, 1978).
16. A. M. Molinari and F. C. Vagliani, " Bit rate per channel halving in PCM multiplexers by speech interpolation and adaptive quantization, " IEEE Trans. Comm. vol. COM - 26, No. 5 (May, 1968).
17. H. Miedema and M. G. Schuchtman, " TASI quality - effect of speech detectors and interpolation," Bell Sys. Tech. J., vol. 51 (July, 1962).
18. A. Lender, " Correlative level coding for binary data transmission," IEEE Spectrum (March, 1966).
19. IEEE Spectrum, Special issue on " Communications : onward to the 80s " (Oct., 1979).