

## 通 信 시 스템 工 學

— 디지털 回路網을 中心으로 —

猪 瀬 博\*

(Hiroshi Inose)

## 1. 序 論

통신回路網은 傳送과 交換의 두가지의 主要한 機能의 役割을 해왔다. 傳送의 機能은 信號發起點으로부터 信號終着點까지 情報質을 低下시키없이 要求하는 情報를 傳達하는 것이다. 交換의 機能은 必要한 信號發起點과 信號終着點을 連結하는 回路網을 通하여 通話路를 이루는 役割을 한다. 傳送技術은 商用電信이 始作된 1835년에 始作되었으나 交換技術은 A. G. Bell 이 商用電話를 發明한 1876年보다 좀 늦게 비로소 始作되었다. 그 以後 全世界에 散在하고 있는 約 2億5千萬發에 達하는 電話器를 마이크로웨이브와 同軸케이블의 連結手段으로 거의 即刻의으로 連結할 수 있는 오늘에 이르기까지, 海底케이블 人工衛星通信 및 數 많은 交換局에 依한 通信에 있어서, 傳送技術과 交換技術은 이 通信서비스를 維持하는데 同等하게 重要한 役割을 해왔다.

그러나 通信에서 交換技術은 그前부터 아카데미한分野의 사람들의 注目을 거의 끌지 못했다. 이것은 다음과 같은 事實에서 明白하다. 即「通信시스템」이라는 表題를 한 書籍은 거의 例外없이 信號條件, 信號處理, 情報短縮, 變調와 復調, 波形, 信號豫測과檢波, 情報復元等과 같은 토픽스로 되어있는 것으로 보아 알 수 있다. 이러한 書籍

은 모두 通信시스템의 傳送面만을 取扱한 것이다.

이와 같이 交換技術에 完全히 無關心했었던 데에는 몇가지 理由가 있다. 例를 들면 過去數年間 通信交換시스템의 解析과 合成에 있어서, 1920年以來 電話트래픽 理論이라고 稱하여온 確率理論의 應用과 1940年 以後 發達된 그라프理論 및 블리안 代數의 應用을 除外하고는 體系的이거나 理論的인 어프로우치가 없었음을 指摘할 수 있다. 또한 電子技術은 通信回路網의 傳送面에서 顯著히 發展하여 充分히 利用되고 科學者와 技術者의 注目을 크게 끌고 있던 오랜 期間동안, 交換시스템은 다만 電磁機械的인 체로 남아있었음을 指摘할 수 있다.

共通制御의 特徵을 가진 크로스바 交換方式의 出現은 비록 裝置가 아직 電磁機械的이지만 이것이 特別한 目的의 情報處理機械라는 見地에서 技術의 新紀元을 이루었다. 컴퓨터技術의 發展은 또한 이技術에 큰 刺戟을 주었다. 現行 交換操作은 勿論 한걸음 더나가서 傳統的인 交換시스템의 能力을 向上시키는 大規模의 리얼·타임·컴퓨터 시스템의 構成이 可能케 되었다. 그結果로서 Bell 研究所가 擔當했던 프로젝트中에서 가장 큰 電子電話 交換시스템·프로젝트(No. 1 ESS 로 表示되었음)가 實際로 생기게 되었다. 컴퓨터技術은 또한 情報를 傳送하고 交換할뿐 아니라 處理하는 데 이타시스템과 데이터通信 시스템을 創始함으로써 남은 電信技術을 完全히 現代化 하였다.

따라서 通信交換技術은 아카데미한分野에 從事하는 사람들도 至大한 關心을 가지게 될 程度에 이르렀다. 또한 通信交換技術은 傳送시스템에서 必要로 하는 것과 同一한 程度의 高度의 電子手段

\* 東京大學 工學部 電子工學科

Dept. of Electronic Engineering, The Faculty of Engineering, University of Tokyo.

(本講演은 1972. 4. 25. 教育會館에서 電氣通信方式세 미너行事로 行한 것으로 本文은 서울工大 李忠推會員이 翻譯한 것임.) (편집자註)

을 利用하게 되었다. 그러나 傳送과 交換技術은 거의 完全히 隔離되어 發達해온 歷史的인 背景으로 말미암아 이들 사이에는 아직 相當한 隔差가 있다. 이 隔差가 急速히 그리고 合理的으로 메꾸어져서 通信回路網이 보다 効率的이고 高度의 手段에 對한 날로 增加되는 社會的인 要望을 處理할 수 있도록 되어질 것을 切感한다.

이번 話題는 未來의 通信回路網이 要求하는 여러가지 點과 側面을 討論하고 傳送과 交換의 여러가지 機能을 統合하는 디지털回路網을 未來의 通信回路網의 可能的인 이미지의 하나로서 構成할 수 있는 可能性을 言及하고자 한다.

## 2. 通信回路網의 傾向

通信回路網의 目的은 必要한 情報을 形態, 內容, 使用者, 때와 場所에 구애됨이 없이 提供하는 것이다.

이러한 目的을 爲해서 對話, 符號, 書類, 畫像 등과 같은 여러가지의 形態의 情報을 다루어야 하고 또한 情報은 傳送과 交換뿐만 아니라 分類, 訂正, 變換, 決定計算 등을 使用者의 活動에 아무런 支障을 주지 않도록 充分히 빠른 速度로 處理되어야 한다. 이 서비스는 對象이 人間이건 機械이건, 場所가 어디이건, 對象이 固定되어 있건 可動이건 구애없이 遂行되어야 한다. 바꾸어 말하면 未來에 있어서의 通信回路網은 取扱하는 情報의 多樣化, 情報處理作業의 高度化 및 迅速化에 依해서 特徵지어질 것이다.

### (a) 多樣化된 情報의 形態

極히 最近까지 通信시스템은 無條件 電信시스템과 電話시스템으로 分類되었다. 換言하면 우리가 다루어온 情報의 主要한 形態는 人間通信을 爲한 文字化된 메세지와 對話信號이다. 비록 이 두 形態의 情報은 使用者 사이에서 傳送되고 交換돼 왔지만 對話信號만은 實時間에 雙方向으로 傳送해왔다고 볼 수 있다. 팩시밀, 텔레비죤과 데이터 傳送技術의 發展으로, 取扱해야 할 情報의 種類는 書類, 패턴, 畫像 및 符號 등으로 擴大되게 되었다. 이 諸信號는 一般的으로 交換없이 大部分의 境遇에 單一方向으로 傳送된다.

데이터通信의 出現으로 對話信號以外的 信號가

人間과 여러種類的의 機械를 包含하는 多數의 對象 사이에서 實時間에 雙方向으로 傳送되고 交換되는 新紀元이 이루어졌다. 데이터通信의 社會的인 고 經濟的인 活動에 對한 刺戟은 至大하며 따라서 알파벳트·아라비아數字의 符號뿐만 아니라 書類, 畫像, 패턴 및 其他 어나로구량과 같은 情報을 傳送하고 交換하려는 要望도 머지않아 곧 생길 것이다.

### (b) 情報處理의 高度化

技術의 여러가지面에서의 놀라운 發展과 活用 範圍의 急速한 膨脹에도 不拘하고 通信回路網에 依해서 提供되는 서비스는 오래된 傳統, 即 要求에 따라 情報을 傳送하고 交換하는 일에서 벗어 나지 못했다. 그러나 20世紀의 初期 以來에 값싸고 均一한 製品이나 서비스를 提供하는 大量生産 體制의 結果를 人類는 滿足하는 것 같지 않다. 通信回路網에 對한 社會的인 고 經濟的인 要望은 훨씬 더 高度化되고 個別화된 서비스이다. 反面에 通信技術은 傳統的인 傳送과 交換뿐 아니라 處理하는 第3機能을 提供할 수 있는 段階에 이르렀다. 이리하여 TSS와 그라프·시스템을 包含하는 諸 情報서비스는 보다 良質의 加入者線의 設置를 經濟的으로 合理化하는 비저니스界의 顧客에 主로 提供되어야 할 것이다.

### (c) 一層 多樣化된 서비스

交換技術에서 處理技術에로의 遷移와 보다 넓은 밴드幅의 加入者線의 使用은 一層 多樣化된 個別的인 서비스를 提供할 것이다. 이와같은 環境에서 마스컴유니케이션은 크게 變할 것이다. TV 라디오, 新聞과 같은 傳統的인 마스컴유니케이션은 顧客 個個人의 趣向을 考慮치 않고 顧客에게 同一한 情報을 一方的으로 提供해 왔다. 다시 말해서 顧客은 自己의 選擇權을 거의 發揮할 機會가 없고 新聞의 種類나 TV 또는 라디오의 放送을 選擇하는 被動的인 影響力을 行할 程度였다. 傳送, 蓄積, 編集과 處理의 充分한 能力을 갖인 通信回路網은 顧客에게 願하는 時間에 願하는 形態의 情報을 얻는 데보다 積極的인 影響力을 發揮할 機會를 줄 수 있다. 예를 들면 케이블 TV의 急速한 成長은 무슨 理由로 TV는 반드시 電波의 手段만으로 放映되어야 하나 하는 根本的인 疑問

點을 자아낸다. 傳統的인 TV放送의 展望은 벨딩의 高層化, 周波數밴드幅의 制限等의 原因으로 傳送의 質이 低下되기 때문에 悲觀的이다. 따라서 現在 TV放送에 配當되어 있는 모든 周波數를 要求가 激增되는 移動通信에 充當하는 것이 좋을 것이다. 反面에 케이블 TV는 보다 더 用途가 多樣하고 보다 더 放送質이 좋음이 證明되었다. 케이블 TV放送에는 보다 많은 채널을 收容할 수 있으며, 또 보다 良質의 加入者線을 多目的의 多樣的 用途를 爲하여 設置한다면, 顧客이 TV放送局을 TV서비스·센터로하여 自己가 바로 願하는 프로그램을 골라 볼 수 있게 될 것이다. 移動通信에 關해서 生覺해 보건대, 人間은 어떤形式이건 움직이면서 보내는 時間이 더 많다는 事實을 考慮하면 移動通信에 對한 潛在的 要望이 大端히 클 것이다. 現時點에서 賦課된 主要한 制限은 이 移動通信目的을 爲한 周波數밴드의 不足인 것이다. 그러나 移動通信이야 말로 電波를 使用하지 않으면 안되는 唯一한 通信方式인 것을 指摘하지 않을 수 없다. 萬一에 이 明白한 事實을 首肯한다면, 移動通信에 못지 않게 普及될 것이다. 未來의 通信網은 多樣的 移動通信手段을 많이 包含할 것이다. 移動通信이 普及된다면 移動通信은 또한 交通量을 制御하는데 利用될 수 있을 것이다. 高速道路의 通行容量은 通行車輛의 間隔을 줄임으로써 倍程度增加될 수 있을 것이며 따라서 交通事故가 훨씬 減少되고 車의 運轉이 더욱더 便해질 것이다.

### 3. 經濟的인 實現可能策으로서의 디지털通信回路網

上述한 能力을 가진 通信回路網은 여러가지 방식에 依해서 技術的으로 實現可能하다. 그러나 重要한 것은 오히려 經濟的인 可能性이다. 傳送, 交換 및 處理를 모두 디지털로 行하게 하는 通信回路網을 直觀的으로 생각할 수 있다. 이것을 뒷받침하는 理由는 다음과 같다.

1) 데이터通信은 앞으로 10年 동안에 電話通信과 比較될 만한 規模로 發展될 것이 豫想된다. 이는 그때까지는 우리가 取扱하는 全情報量의 相當한 퍼센테이지가 디지털化 될 것을 意味한다. 現

存하는 傳送幹線은 主로 對話信號를 效果的으로 傳送하기 爲하여 設計된 周波數分割方式(FDM)에 基盤을 두고 있다. FDM 시스템의 通信 채널은 고작해야 秒當 9.6Kbits의 情報를 傳送할 뿐이지만 PCM 時分割方式(TDM)을 使用하는 T-1 搬送方式의 通話채널은 秒當 64 Kbits의 情報를 傳送할 수 있다. 이것은 디지털 傳送方式이 데이터 傳送에 보다 더 適合함을 나타내고 있다. 現存하는 回路網에는 相當한 衝擊波雜音이 있으나 이것은 通話信號에는 그리 大端한 妨害가 되지 않고 데이터通信에는 큰 誤差를 가지울 수 있다. 그뿐만 아니라 FDM 방식이 차지하는 밴드幅은 多樣的 速度의 데이터를 效果的으로 傳送할 만큼 融通性이 없으나, TDM 방식은 슈퍼·코뮤니케이션과 서브·코뮤니케이션 방식에 依해서 多樣的 傳送速度의 傳送能力을 가지고 있다. 다시 말해서 現在의 回路網은 데이터를 傳送하는 데 알맞게 設計되어 있지 않다.

2) 앞으로 10年後에는 電話交換局의 大多數가 本質的으로 蓄積·프로그램化된 特殊目的 컴퓨터로 裝備되어 電子化될 것이다. 데이터交換局과 데이터處理局도 特殊目的 또는 一般目的의 컴퓨터로 裝備될 것이다. 이것은 大部分의 交換 및 處理機能이 디지털化됨을 意味한다.

3) 앞으로 10年 동안에 매디엄·스케일 IC와 大저·스케일 IC 技術의 發達로 디지털·하드웨어의 生産單價가 大端히 切下될 것이다. 反面에 아나로그回路에서는 生産單價가 크게 싸질 것 같지 않다. 특히 高度의 特性을 가진 필 터를 必要로 하는 周波數分割多重通信技術에서 그러하다.

4) 디지털 傳送시스템의 特性和 整合되는 mm 波導波管 또는 레이저 시스템은 꽤 雜音이 있는 傳送媒質이지만 極히 廣帶域의 밴드幅의 特性을 갖는다.

5) T-1型和 같은 PCM 搬送시스템은 急速히 普及되고 있으며 거의 다 디지털回路網化 되었다

6) 現在의 電話交換方式에 있어서 電子交換方式을 使用하고 있는 No.1 Ess에 있어서까지도 空間分割方式이라 稱하는 個別的인 接續을 爲하여 個個의 通話路를 使用하고 있다. 通話路의 效率는 傳送技術에서 使用하고 있는 多重化技術을

利用하여 顯著하게 改善될 수 있다. 그러나 傳送技術에서 널리 使用되고 있는 周波數分割方式(FDM)은 部品の 價格, 特히 필터의 價格이 비싸므로 이 目的에는 너무 費用이 든다. 아나로구 變調技術을 使用하는 時分割方式(TDM)도 數많은 交換役을 通過함으로써 蓄積되는 雜音, 歪曲과 漏話로 말미암아 큰 事務室에서 使用하기는 不適當하다고 思慮된다. 그러므로 符號法을 利用한 TDM 方式만이 多重化를 經濟的으로 實現하는 唯一한 妥當한 方法이라고 生覺된다.

7) 符號器, 復號器와 再生中繼器를 가진 디지털 通信技術은 電話加入者線을 보다 더 效率的으로 利用하는 可能한 解決策이 될 것이다. 이 디지털 通信은 周波數 時間住所方式에서처럼 移動通信技術에서도 有望하다.

8) 通信回路網은 여러가지面에 있어서의 統合, 그중에서도 相異한 情報傳送率을 가진 아나로구 디지털情報과 같은 여러形態의 情報의 統合을 必要로 한다. 더구나 回路網自體로 行하는 統合機能은 經濟的인 實現性에 對해 主要한 要素가 될 것이다. 符號화된 모든情報를 다루는 디지털 通信回路網은 데이터通信과 컴퓨터·오리엔티드情報 시스템이 急速히 成長하는 것을 考慮한다면 明白히 有利하다. 그러나 디지털 通信回路網을 採用하는 데는 몇가지 問題가 있다. 그중 主要한 問題의 하나는 現存하는 諸回路網 사이에서의 兩立性이다. 예를 들면 現在의 電話交換方式은 機械的인 部品에 알맞게 設計되어 있다. 從來의 電話器에는 벨을 울리기 爲한 큰 電流가 必要하다. 따라서 소리트·스테이트·디바이스를 使用한 디지털 交換方式에는 리레이를 더 追加하지 않으면 안된다. 이러한 問題가 經濟性을 威脅하고 있다. 그러나 每年 10~20%씩 要求率이 增加하고 또 디지털方式으로 代置되고 있음을 勘案한다면, 이 새로운方式은 5年內에 現存하는 方式과 同一한 規模로 될 것이며 10年後에는 3~4倍로 規模가 더 커질 것이다. 未來에 採用할 方式이 過去 數10年 동안에 아무런 根本的인 變化를 갖지 못한 낡고 非效果的인 裝置에 代替해야 한다는 妥當한 理由는 없다. 또하나의 問題는 T型搬送方式을 除外하고는 現在의 方式은 全的으로 周波數 分割方式原理에 依

存하고 있다는 事實이다. 事實上 3600 또는 그以上的 通話채널을 收容하는 同軸케이블은 多레벨·디지털·傳送技術이 解決할지 모르지만 現在의 二進方式의 디지털搬送方式에 따라 갈수 없는 低雜音레벨을 가지고 있다. 그러나 훨씬 雜音레벨이 높은 二線式의 低級한 搬送方式에서는 事情이 다르다. 이러한 點에서 디지털搬送方式이 한케이블로 24通話채널을 보낼 수 있는 T-1 搬送方式에서 알 수 있는 바와 같이, 質을 크게 低下시키지 않고 넓은밴드의 信號나 또는 多重화된 信號를 傳送하는 데 가장 經濟的이고 實際的인 解決方案이라고 生覺된다. 全通信回路網에 걸쳐서 가장 效率이 나쁜 部分인 加入者線도 類似한 方法으로 보다 效果的으로 使用될 수 있다. 디지털 回路網의 또하나의 問題는 同期問題이다. 디지털 回路網에서 同期가 必要한 것은 다음과 같은 理由에서이다.

1. 基本빗트周波數은 回路網의 어떤地點에서도 同一해야 한다.

2. 나이퀴스트間隔이나 또는 基本데이터傳送速度에 依해서 決定되는 基本프레임 位相은 交換, 削除, 插入을 하는 모든節에서 同一해야 한다.

3. 여러가지 傳送速度를 가진 여러가지 情報의 빗트 傳送速度는 相互間에 一定한 關係가 있어서 諸情報의 信號가 統一된 흐름으로 傳送되어야 한다.

4. 傳送線이나 또는 交換局에서의 一時的인 事故의 境遇에도 上述한 同期는 回路網의 나머지部分에서 維持되어야 한다.

相互同期와 獨立同期를 包含하는 새로운 技術이 目的으로 提案되어 왔으며 이原理의 實現可能性이 證明되었다. 여러가지 速度의 情報를 間間이 끼어보내는 方式이 探究되어 왔으며 또 빗트傳送速度의 差를 補償하기 爲한 펄스插入技術은 이미 알려져 있다. 따라서 回路網同期의 實現에 있어서 根本的인 難點은 하나도 없다고 生覺된다. 디지털 通信回路網에 있어서, 通話信號나 畫像信號와 같은 아나로구情報는 送信端末局에서 아주 가까운 쪽에서 符號化되어 全回路網을 디지털信號로서 傳送 交換되거나 또는 處理되어 受信端末局에 아주가까운 쪽에서 아나로구 形態로 復元된다. 變換과 復元은 端末局에 가까운 事務室에서 行하나

萬一에 個別的인 符號器와 復號器가 있다면 端末局에서 行할 수도 있다. 아무리 回路網이 老多大해 다 해도 符號器나 復號器를 追加하지 않는다. 이것은 費用을 節約할 뿐만 아니라 量子化雜音레벨의 增加를 防止하거나 또는 信號變換時에 일어나는 誤差를 防止한다. 디지털回路網의 傳送線은 二線式케이블을 使用한 共通幹線과 同軸케이블 마이크로웨이브·링크, 또는 mm 波導波管을 使用한 超共通幹線으로 構成할 수 있다. 二線式케이블의 비트傳送速度는 1,544 bits/sec~8,192 Mega bits/sec 이다. 다시 말해서 二線式케이블은 24~128의 8비트 通話채널 또는 192~1,024의 8Kilo bits/sec 의 데이터·채널 或은 이 여러 비트傳送速度의 和나 商으로 된 信號의 復合體를 傳送할 수 있다. 同軸케이블이나 마이크로웨이브·링크의 비트傳送速度는 256 Mega bits/sec 또는 그 이상이고 mm 波導波管의 비트傳送速度는 208,000 Mega bits/sec 에 達한다. 交換 方式은 慣例의 線交換蓄積과 前進交換으로 分類된다. 線交換은 手動交換台에서 交換手가 該當자크에 프러그를 꽂아서 發信者와 受信者를 連結하였던 19世紀로 溯及된다. 다음에는 自動交換方式과 S×S 같은 順行的인 制御方式에 最初로 導入되었고 그 다음에는 크로스바 交換方式과 같은 共通制御方式에 導入되었다. 그러나 回路網을 通하여 數많은 電磁리레이를 作動시켜 接續하게 하는 基本機能은 No. 1 ESS型에 있어서도 그대로이다. 이와 같이 形成되는 通話路는 金屬의인 接續으로 된 것에 不過하므로 傳送遲延은 일어나지 않는다. 個別的인 呼出率은 낮기 때문에, 交換回路網은 可能限한 效率의으로 利用하기 爲하여 普通 入力端에 集中段을, 出力端에는 伸張段을 두고 入力端

과 出力端 사이에는 數個의 分布段을 둔다. 따라서 모든 方式中에서 가장 새로운 方式인 No. 1 ESS型은 作動하여 接續을 斷續하는 데 數千컴퓨터·싸이클을 要하는 交換回路網이 8段으로 되어 있다. 蓄積前進交換回路網은 入力信號가 到着하는 대로 蓄積하고 出力信號가 나갈 空線이 생기면 再傳送하도록 된 것이다. 이와같은 方式은 初期의 電信시스템에서 종이테이프를 蓄積媒介物로 使用했던 메세지 交換시스템에서 數年間 使用되었고 最近에는 蓄積媒介物로 드럼, 圓盤, 또는 마그네트·코아 메모리가 많이 使用된다. 情報를 變換시키는데서 생기는 多少의 遲延은 蓄積前進시스템에서 不可避하다. 交換回路網의 效率을 本質的으로 높인다. 大部分의 데이터通信方式이나 또는 흔히 말하는 實時間컴퓨터시스템에서 數秒乃至 數분에 達하는 應答時間이 許容되므로 蓄積前進시스템이 壓到의으로 使用된다. 反面에 電話交換方式에서는 數分之一秒의 傳送遲延도 同時對話의 通話에 큰 支障을 준다. 그러나 이 時間的인 遲延이 나이퀴스트間隔(4KHz의 밴드隔의 通話信號의 境遇 125 $\mu$ s)內에 들면 큰 問題는 없다. 이와 같이 極히 짧은 時間의 遲延을 許容한다면 交換回路網의 效率은 크게 改善된다. 通話信號를 時分割多重方式에 依據하여 符號化하여 傳送하는 PCM 統合通信方式의 利點의 하나로 이改善點을 들 수 있다. 다시 말해서 線交換方式과 蓄積前進交換方式을 디지털回路網으로 組合하여 符號化한 通話信號와 여러가지 速度의 데이터를 包含하는 多樣한 情報를 그種類에 따라 決定된 許容蓄積時間에 適當한 메모리에 暫時 蓄積할 수 있는 利點이 있다.