

## FDDI 음성 / 데이터 집적 전송에서의 성능 분석에 관한 연구

正會員 洪 聖 植\* 正會員 朴 昊 均\*\* 正會員 李 載 廣\*\*\* 正會員 柳 煌 彬\*

### A Study on the Performance Evaluation for the Integrated Voice /Data Transmission with FDDI

Seong Sik HONG\*, Ho Kyun PARK\*\*, Jae Gwang LEE\*\*\* Howang Bin RYOU\* *Regular Members*

#### 要 約

본 논문에서는 음성 트래픽을 동기 모드로, 데이터 트래픽을 비동기 모드로 집적시켜 전송하는 FDDI 통신망에 대하여 수학적 분석과 시뮬레이션을 수행하여 성능을 분석 한다.

음성과 데이터의 평균 패킷 대기 시간을 구하기 위하여, 음성은 Marcov 모델에서 발음 부분과 묵음 부분이 교대로 나타나는 모델로 하며, 데이터는 TRT와 TTRT의 차이 시간동안 전송하는 모델로 하는 경우, 음성과 데이터의 패킷 대기 시간을 구하여 동기 모드와 비동기 모드 사이의 전송 관계에 대하여 연구 하였다.

연구 결과 동기 / 비동기 집적 방식으로 음성과 데이터를 집적하여 전송하여도 음성 채널 용량의 제약없이 데이터를 집적 시킬 수 있었으며, 데이터 전송도 작은 대기 시간내에 신속하게 전송할 수가 있었다.

#### ABSTRACT

In this paper, we study the performance evaluations of the FDDI Network, by mathematical analysis and simulation, in which the Integrated Voice /Data transmission system with voice traffic in synchronous mode and data traffic in asynchronous mode.

For the mean waiting times of Voice /Data packet, we use two-state of Marcov models for voice traffic with talkspurt and silence state, and the data traffic would transmit at the silence state of voice traffic. By the mean waiting times, we analyze the relations between synchronous and asynchronous mode.

As a result, using Sync / Async mode with voice and data, voice was not under influence of data traffic. And in the same time, data can be transmitted in a short waiting time, too.

#### I. 서 론

정보를 상호 교환하기 위한 통신망은 반도체 기술의 발전과 사무 자동화 기술의 발전으로 인하여 발생하는 다양한 형태의 통신 요구를 동시에 만족하기 위

\* 光云大學校 電子計算學科  
Dept. of Computer Science, KwangWoon University.  
\*\* 信興專門大學 電子計算科  
\*\*\* 群山實業專門大學 電子計算科  
論文番號 : 92-30(接受1991. 12. 23)

하여 성능면이나 속도면에서도 많은 발전을 거듭하고 있다.

일반적으로 100Mbps의 FDDI(Fiber Distributed Data Interface) 통신망은 실시간 음성, 화상 회의 정보, 대화형 데이터 등 다양한 형태의 트래픽을 집적하여 전송하기에 충분한 전송 용량을 갖고있으며, 일정 시간의 전송 지연 시간 및 응답 지연 시간을 보장하는 동기 모드와 약간의 지연 시간을 허용하는 비동기 모드를 동시에 지원하는 TTR(Timed Token Rotation) 프로토콜을 사용한다.

Sevick과 Johnson<sup>[11]</sup>은 FDDI의 토큰링 프로토콜을 사이클 시간으로 분석하였으나, 링을 신뢰하는 토큰을 일정 시간 간격으로 배치함으로써, 다양한 전송 지연 시간을 요구하는 각각의 트래픽에 대하여 능동적인 채널 분배를 수행하지 못하였다. 또한 Johnson<sup>[12]</sup>은 동기 모드에 대한 음성 및 화상의 지연 시간 특성만을 연구하였다.

동기 모드와 비동기 모드가 동시에 사용될 때의 성능 분석을 수행하여 동기 모드와 비동기 모드 사이에서 생기는 "trade-off" 관계를 연구하여야 한다. 그러나, 현재까지의 대다수 연구들은 동기 모드에서의 집적에만 편중되고 있다.

본 논문에서는 동기 모드의 음성 트래픽과 비동기 모드의 데이터 트래픽을 집적 전송하는 시스템에 대한 성능 분석을 수행하고자 한다.

동기 모드의 음성 트래픽에 대해서는 발음(talk-spurt) 상태에서 묵음(silence) 상태로 변할 확률값과 묵음 상태에서 발음 상태로 변할 확률값을 이용하여, 스테이션의 상태가 발음 상태와 묵음 상태를 반복하는 모델을 적용한다. 비동기 모드의 데이터 트래픽은 패킷 생성이 포아송 분포를 갖고, 음성 트래픽 모델에서 산출되는 "early" 토큰의 도착 시간, 즉 TTRT와 TRT의 차이 시간 동안 서비스를 받는 모델을 설정하였다. 동기 모드로 전송되는 음성 트래픽은 비동기 모드인 데이터 전송으로 인한 영향을 받지 않으므로 음성 트래픽에 대한 분석을 먼저 수행하고, 그 다음 데이터 트래픽을 분석한다.

## II. FDDI망 프로토콜

FDDI(Fiber Distributed Data Interface)는 ANSI(American National Standard Institute)에서 표준안을 정한 토큰 링 방식의 통신망이다.

FDDI는 광 섬유를 전송 매체로 하여 100Mbps의 토큰 링 형태의 고속 통신으로 설계되었다. FDDI의 최대 확장 거리는 약 200Km이며, 최대 500개의 스테이션을 지원한다<sup>[13,14]</sup>.

IEEE P802 표준안이 FDDI 개발 초기에 권고되었다. IEEE P802 FDDI는 4 Mbps의 전송 속도로 데이터를 전송하며, 저속의 IEEE 802 LAN들의 기간 통신망 역할로 발전하였다. IEEE에서 채택한 링 구조는 통신망에 일부 물리적인 손상이 있는 경우에도 이를 쉽게 복구할 수 있는 방법을 제공하며, 광 섬유를 이용한 인터페이스 구성은 버스 형보다 링형 구성이 용이하다<sup>[15,16]</sup>.

전송 형태별로 보면 FDDI는 동기 트래픽과 비동기 트래픽의 두가지 전송 형태를 지원한다. 동기 트래픽은 엄격한 지연 시간 제한을 갖는 트래픽에 적합하며, 비동기 트래픽은 지연 시간 제한이 그리 심하지 않은 트래픽에 적합하다. 대화형 데이터나 화일 전송 같은 경우가 비동기 통신의 예이다. 이러한 두가지 상이한 트래픽을 지원하기 위하여 FDDI에서는 TTR(Timed Token Rotation) 프로토콜을 사용한다. TTR 프로토콜은 동기 트래픽에 대하여 실시간 전송을 보장하며, 비동기 트래픽에 대하여 각 동기 트래픽이 사용하고 남은 시간에 비동기 트래픽을 첨가하여 전송할 수 있다<sup>[17,18]</sup>.

동기 트래픽으로 부터 생성되는 동기화 패킷은 토큰을 획득할 때마다 전송할 수 있다. 그러나 비동기 패킷은 한 스테이션에 대하여 최종적으로 토큰이 통과했던 시간부터 다시 토큰이 스테이션을 통과할 때까지의 시간경과값이 TTRT값 보다 작은 경우에만 전송한다. 즉, 도착 토큰이 "early" 토큰인 경우에만 비동기 패킷을 전송할 수 있다. 이러한 구조에 의하여 TTR 프로토콜은 동기 트래픽에 대하여, 평균값이 TTRT값 이하이고 최대값이 최대한 TTRT의 두배 이하인 평균 TRT(Token Rotation Time) 값을 보장한다<sup>[19]</sup>. FDDI는 이러한 형태의 TTR 프로토콜을 사용함으로써 실시간 전송을 요구하는 동기 트래픽에 대하여 특히 우월한 형태를 지원한다. 그러나 비동기 트래픽으로 부터 생성되는 비동기 패킷은 동기 패킷에 의하여 전송 제한을 받게된다.

한 스테이션이 전송할 비동기 패킷을 가지고 있는 경우에 토큰이 오면 스테이션은 "early" 토큰인가 "late" 토큰인가를 확인하고, "early" 토큰인 경우 TRT값과 TTRT값의 차를 THT(token holding

timer)에 저장한 다음, TRT를 0으로 저장한다. 그리고 스테이션은 THT가 0이 될 때까지 비동기 전송을 한다<sup>(1)</sup>. 만일 이 스테이션이 전송할 동기 패킷을 가지고 있다면 수신한 토큰은 동기 패킷을 위하여 사용된다.

### III. FDDI 음성 / 데이터 트래픽

#### 3-1. 음성 / 데이터 트래픽

일반적으로 음성 트래픽은 회선 교환 방식으로 전송하는 것이 용이하며, 데이터 전송의 경우에는 달리 정보 전송에 있어서 약 1%미만의 전송에러가 허용되며, 상호간에 자연스런 대화를 위하여는 전송 지연 시간이 약 250msec 이하가 되어야만 한다. 이러한 음성 전송은 정상적인 대화의 경우, 약 50% 정도의 기간 동안 말을 한다고 보며 묵음 시간까지 고려하면 약 40% 정도 밖에 안된다고 본다<sup>(12)</sup>.

데이터 트래픽은 전송 특성에 의하여 대화형(interactive) 데이터와 집단 / 일괄(bulk / batch) 데이터로 분류할 수 있다. 대화형 데이터는 보통 음성과 비슷한 실시간 전송을 요구하며 트래픽의 활성화 기간이 보통 채널접속 시간의 1~5% 정도를 갖는다. 집단 / 일괄 데이터는 상당히 많은 전송량을 갖고 비교적 큰 대역폭을 요구한다.

일반적으로 데이터 트래픽은 어느 정도의 지연을 허용하는 반면, 100% 완벽한 데이터의 전송을 보장하는 에러 회복 기능이 있어야 하며, 패킷교환 방식으로 전송하는 것이 효율적이다.

#### 3-2. 동기 / 비동기 집적 방식

각 스테이션은 음성 및 데이터 두가지 형태의 트래픽을 생성하며 생성된 음성 트래픽은 동기 모드로 전송되고, 데이터 트래픽은 비동기 모드로 전송된다. 이때 동기 모드에 대하여 우선권이 주어지므로 비동기 모드인 데이터 트래픽은 음성 트래픽의 전송에 대하여 영향을 미칠 수 없다.

그림 1,2에서 보는 것과 같이 동기 패킷은 비동기 패킷에 대하여 우선하므로 "early" 토큰 혹은 "late" 토큰 모두에 대하여 전송을 실시하지만 비동기 패킷은 동기 패킷이 없는 경우에만 전송을 실시한다. 그러므로 본 연구에서는 음성 트래픽에 대하여 먼저 분석한 후 데이터 트래픽에 대하여 분석한다.

그림 1,2에서 대기 시간은  $r+j$ 가 된다. 이때

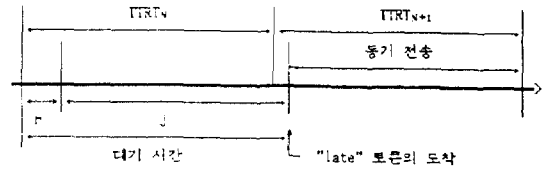
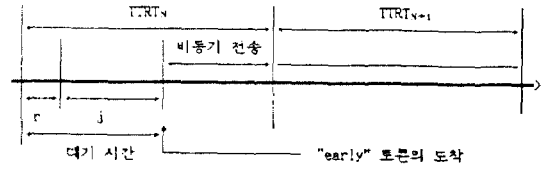
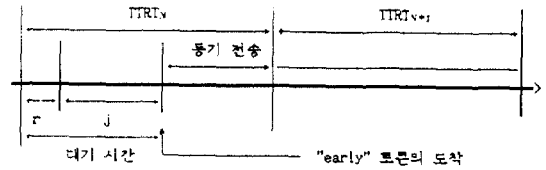


그림 1. "late" 토큰이 도착한 경우  
Fig. 1. arrival of "late" token.



a) 데이터 패킷만 있는 경우



b) 음성패킷이 있는 경우

그림 2. "early" 토큰 도착의 경우  
Fig. 2. arrival of "early" token.

"early" 토큰이 도착한 경우에 있어서 비동기 전송을 위해 할당되는 시간은 TTRT에서 대기 시간을 뺀 값이 된다. 그러므로 "late" 토큰이 도착한 경우 동기 전송을 위해 할당되는 시간은  $2 \times TTRT - (r+j)$ 가 되므로 토큰의 도착 분포가 음성 / 데이터 집적의 중요한 파라미터가 된다.

본 논문에서는 음성 호출의 시작 및 종료 절차에 관하여는 고려하지 않는다. 음성 호출 및 종료는 보통 수십초에 수백초의 시간이 경과되지만 실제 전송 단계에서 다루어지는 시간은 수십 msec 이하의 값이다. 그러므로 본 논문에서는 음성 스테이션이 활성화되어 있는 상태에서 그림 3과 같이 발음 상태와 묵음 상태 부분이 교대로 나타나는 모델에 대하여 다루도록 한다.

발음 상태일때 음성 패킷은  $W_0$  sec 단위로 길이만큼 생성된다.

$W_0$ 를 음성 패킷의 생성 구간이라고 하며, 이 시간은 음성 샘플링 데이터로 패킷을 만들기 위하여 걸리

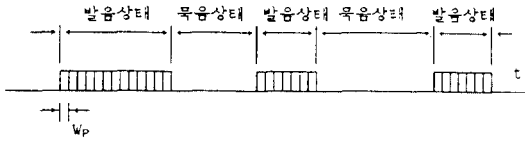


그림 3. 음성 패킷의 도착 형태  
Fig. 3. arrival form of voice packet.

는 시간이다. 또한 묵음 상태 구간인 경우에는 패킷이 생성되지 않는다.

음성 패킷의 단위 생성 구간  $W_p$ 는 다음과 같다.

$$W_p = P_v / V \quad (1)$$

$P_v$  : 헤더를 제외한 음성 패킷의 길이

$V$  : 음성의 코드율(code rate)

한 음성 패킷의 전송 시간  $T_v$ 는 다음과 같다.

$$T_v = (P_v + H) / C$$

$H$  : 음성 패킷의 헤더 길이

$C$  : 채널 속도 (bit/sec)

음성 패킷의 생성은 그림 4의 상태 변이도로 나타낼 수 있다<sup>15)</sup>.

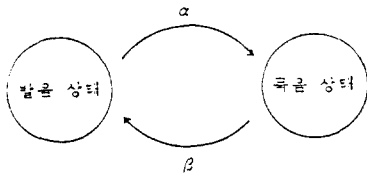


그림 4. 음성 패킷의 상태 변이  
Fig. 4. state transition of voice packet.

그림 4는 발음 상태에서 묵음 상태로의 상태변이 확률이  $\alpha$ , 묵음 상태에서 발음 상태로의 상태변이 확률이  $\beta$ 이다. 그러므로 발음 구간과 묵음 상태 구간은 반복적인 분포를 갖으며 발음 상태 간격의 평균 길이는  $E[t] = \beta^{-1}$  (sec)이고, 묵음 상태 간격의 평균 길이는  $E[s] = \alpha^{-1}$  (sec)이다<sup>15)</sup>.

데이터 스테이션의 버퍼에 도착한 데이터 트래픽은  $P_d$  비트마다  $H$  비트의 헤더를 추가하여 데이터 패킷을 생성한다. 각 스테이션의 데이터 패킷 도착

분포는 포아송 분포이며, 생성된 패킷은 전송 버퍼에 생성된 순서로 저장되어 전송을 기다린다.

이때 데이터 트래픽은 음성 트래픽에 대하여 종속적으로 전송이 되므로 음성 트래픽 파라미터를 이용하여 데이터 트래픽의 특성을 규정할 수가 있다. 그러나 음성 패킷과는 달리 데이터 트래픽은 비 실시간 전송 특성을 가지므로 흐름제어 기능에 의하여 패킷 손실이 일어나지 않는다.

음성/데이터 패킷의 집적 형태는 그림 3의 묵음 상태에 데이터 트래픽을 첨가하는 그림 5와 같은 형태를 갖는다.

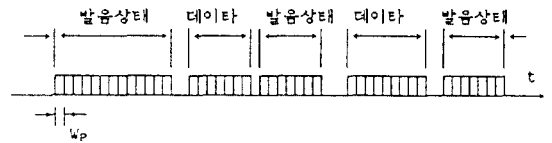


그림 5. 음성/데이터 패킷의 집적 형태  
Fig. 5 form of the voice /data integration.

#### IV. FDDI 음성/ 데이터 집적 전송시의 성능 분석

##### 4-1. FDDI 통신망의 모델링

음성과 데이터를 집적 전송하는 FDDI 통신망에 대한 성능 분석을 위하여 그림 6과 같은 모델에서 다음과 같이 가정한다<sup>16)</sup>.

(1) 통신망에는 최대 500개의 스테이션이 연결될 수 있으며, 각 스테이션은 링 상에 동일한 형태로 접속된다.

(2) 모델링에서 각 스테이션은 동일한 방법으로 음성 및 데이터 트래픽을 생성하며 동일한 특성을 갖는다.

(3) 각 스테이션은 음성/데이터 큐를 가지고 있다.

(4) 토큰을 획득할 때 마다 한개의 패킷을 전송하는 제한식 서비스를 가정하므로, 패킷을 전송한 후에는 토큰을 방출하고, 다시 패킷을 전송하기 위해서는 다음 토큰이 도착하기를 기다린다.

(5) 서머가  $S_1 \sim S_N$ 의 스테이션을 처리하는 시간은 TRT이다.

(6) TRT값의 평균이 TTRT값 보다 작고, 최대값이 TTRT의 두배값 보다 작다.

(7) 음성 큐의 패킷 도착은 발음 패킷과 묵음 패킷이 고대로 도착한다.

⑧목음 패킷은 전송되지 않고 받음 패킷만이 송신 큐에 저장된다.

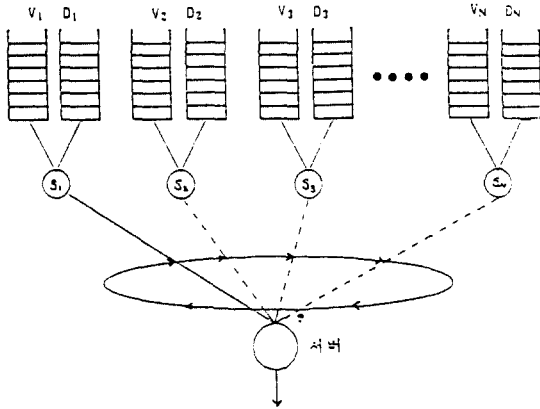


그림 6. FDDI 통신망 모델  
Fig. 6. FDDI network model

4-2. 토큰의 도착 분포

수학적 해석을 위하여 단위 시간은 패킷 전송 시간인  $T_v$ 와 크기가 같은 시간을 사용한다. 또한 모든 스테이션은 독립적이므로, 임의의 한 스테이션에 대하여 적용할 수가 있다<sup>(5)</sup>.

$P[q_i(0), t]$ 는 한 스테이션에 토큰이 도착했을 때  $i$  번 스테이션에서 음성 큐의 크기가 0일 확률이다. 그런데 각 스테이션이 동일하다는 가정을 하였으므로  $i$  라는 스테이션 번호는 생략될 수 있으므로 이 확률값은  $P[q(0), t]$ 로 다시 쓸 수 있다.

이러한 동일한 가정에 의하여 총  $N$ 개의 스테이션을 갖는 한 통신망에서 TTR이  $j+r$ 이 되는 확률  $b(j)$ 를 구할 수 있으며, 이때  $r$ 은 링의 전송 시간 지연 (ring latency)이다.  $b(j)$ 는  $P[q(0), t]$ 함수에 의하여 다음과 같이 구할 수 있다<sup>(5)</sup>.

$$b(j) = \binom{N}{j} (1-P[q(0), t])^j P[q(0), t]^{N-j} \quad (2)$$

단,  $N$ =스테이션 수

(2)식에서  $P[q(0), t]$ 는 다음과 같이 계산한다.

평균 받음 상태의 길이는  $\beta^1$ 이고 평균 목음 상태의 길이는  $\alpha^1$ 이다. 즉  $\beta^1 + \alpha^1$ 의 기간 중에는 평균  $\beta^1$  음성 패킷이 도착한다.

그러므로 음성 패킷의 도착률  $\lambda_v$ 는 다음과 같다.

$$\lambda_v = \frac{\beta^1}{\beta^1 + \alpha^1} = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} = \frac{1}{1 + \frac{\beta}{\alpha}} \quad (3)$$

이 모델에서는 스테이션이 토큰을 획득할 때마다 한 개의 패킷을 보내는 제한식 서비스를 가정하므로, 다음 패킷을 보내기 위해 대기하는 시간은 다음 토큰이 도착할 때까지 대기하는 TRT(Token Rotation Time)값과 일치하게 된다. 이때 TRT의 평균값  $E[TRT]$ 는 다음과 같이 주어진다<sup>(5)</sup>.

$$E[TRT] = \sum_{j=0}^N (j+r) b(j) \quad (4)$$

식 (2)의  $b(j)$ 를 식 (4)에 대입하면 다음과 같다.

$$E[TRT] = N(1-P[q(0), t]) + r \quad (5)$$

한 음성 스테이션에서 큐잉 시스템의 트래픽 밀도를  $\rho_v$ 라 하면

$$\rho_v \approx \lambda_v E[TRT], \quad \rho_v < 1 \text{ 이다.}$$

$\rho_v$ 는 음성 큐의 크기가 0이 아닐 때의 시간 비율이며  $\rho_v < 1$  일때

$$\rho_v = 1 - P[q(0), t] \quad (6)$$

이다. 그러므로 (4)(5)(6)의 수식에 의하여  $P[q(0), t]$ 의 값을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P[q(0), t] = 1 - \frac{r \lambda \rho_v}{1 - N \lambda \rho_v} \quad (7)$$

또한  $P[q(0), t]$ 의 값에서 TRT의 확률 밀도를 구할 수 있다.

유한 버퍼를 가정할 때 버퍼 풀인 경우 새로운 패킷이 도착하면 그 패킷은 소거되게 된다.

그러므로  $\rho_v \approx \lambda_v E[TRT] \geq 1$  인 경우에도 통신망 시스템은 안정이 된다.

그러나  $\rho_v \geq 1$ 인 경우에는, 스테이션이 받음 상태이고,  $N$ 개의 스테이션 중에 평균  $\rho_v^1 N$ 개의 스테이션이 패킷을 전송한다고 하면, 이때  $\rho_v^1$ 는 어떤 스테이션이 받음 상태일 확률이고, 다음과 같다.

$$\rho_v^1 \approx \frac{\beta^1}{\beta^1 + \alpha^1} = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} \quad (8)$$

그러므로  $\rho v \geq 1$ 인 경우

$$\rho v^t = 1 - P[q(0), t] \quad (9)$$

이다.

### 4-3. 음성 패킷의 대기 시간

식 (2)에서 주어진 공식에 의하여 음성 스테이션 큐의 길이 분포를 구할 수 있다. 임의의 한 스테이션을 선택한다면 이 스테이션은 발음 상태이거나 묵음 상태일 것이다. 먼저 스테이션이 발음 상태일 경우, 큐의 길이 분포를 다음과 같은 순서에 의하여 계산한다.

#### 4.3.1 발음 상태에서 음성 큐의 길이 분포

$q_{n,t}$ 는 스테이션이 발음 상태일때  $n$ 번째 음성 슬롯에서 큐의 크기이다. 또한  $\delta_{n,t}$ 는 스테이션이 발음 상태일때 음성 슬롯 시간당 도착하는 음성 패킷의 갯수이며,  $C_n$ 은 한 음성 패킷 생성 시간,  $W_p$ 마다 도착하는 토큰의 갯수이다. 이때  $\delta_{n,t}$ 는 언제나 1이다. 그러므로 이 값으로부터  $N$ 번째 슬롯과  $N+1$  번째 음성 슬롯 사이의 관계를 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$q_{n+1,t} = q_{n,t} + \delta_{n,t} - C_n \quad (10)$$

제한식 서비스에서는 토큰을 획득했을 때 오직 한 개의 패킷만을 전송할 수가 있다.  $P_c(i)$ 는 스테이션  $i$ 가  $W_p$ 기간 중에 토큰을 획득할 수 있는 확률이고,  $P_{q,n}(k|t)$ 를  $n$ 번째 시간 슬롯에서  $k$ 개의 패킷이 버퍼에 있을 확률이라고 하면, 상태 변화식은  $P_c(i)$ 를 사용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다<sup>[11]</sup>.  $M$ 은 스테이션의 버퍼 크기 이다.

$$P_{q,n+1}(0|t) = \sum_{m=0}^{M-1} \{P_{q,n}(m|t) \sum_{i=m}^t P_c(i+1)\} + P_{q,n}(M|t) \sum_{i=M}^t P_c(i) \quad (11)$$

$$P_{q,n+1}(k|t) = \sum_{m=k-1}^{M-1} \{P_{q,n}(m|t) P_c(m-k+1)\} + P_{q,n}(M|t) P_c(M-k) \quad (12)$$

단,  $1 \leq k \leq M-1$

$$P_{q,n+1}(M|t) = P_{q,n}(M-1|t) P_c(0) \quad (13)$$

$$+ P_{q,n}(M|t) P_c(0)$$

$P_c(i)$ 는 다음과 같이 산출된다.  
안정 상태(steady state)인 경우

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P_{q,n}(k|t) = P_q(k|t) \quad (14)$$

(11), (12), (13)에서  $n$ 이 무한대로 증가할때 발음 상태인 스테이션에서의 선형 방정식을 풀면, 안정 상태 확률  $P_q(k|t)$  ( $k=0,1,\dots,M$ )를 얻을 수 있다.

그러므로 발음 상태 일때의 패킷 손실 확률은

$$P_{l,t} = P_q(M|t) \text{이다.}$$

#### 4.3.2 묵음 상태에서 음성 큐의 길이 분포

$P_{q,n}(k|s)$ 는  $n$ 번째 슬롯에서 묵음 상태인 스테이션의 음성 큐의 길이가  $k$ 이다.

$q_{n,s}$ 를  $n$ 번째 음성 슬롯에서 한 스테이션 큐의 길이 라고 하면,  $\delta_{n,s}$ 는 스테이션이 묵음 상태일때 음성 슬롯당 음성 패킷의 도착률이다.

$C_n$ 을 패킷화 구간  $W_p$ 당 도착하는 토큰의 갯수라 하면 스테이션이 묵음 상태일 때의  $\delta_{n,s}$ 의 값은 언제나 0이다. 그러므로  $n$ 번째 슬롯과  $n+1$ 번째 슬롯 사이에는 다음과 같은 관계가 성립된다.

$$q_{n+1,s} = q_{n,s} + \delta_{n,s} - C_n \quad (15)$$

이때  $\delta_{n,s} = 0$

(11), (12), (13)을 얻은 것과 같은 방법으로 다음과 같은 상태 변이 방정식을 얻을 수가 있다. 이때  $P_{q,n}(k|s)$ 는 묵음 상태일때  $n$ 번째 음성 슬롯에서 스테이션 버퍼에  $k$ 개의 패킷이 있을 확률이다.

$$P_{q,n+1}(0|s) = \sum_{m=0}^{M-1} \{P_{q,n}(m|s) \sum_{i=m}^s P_c(i)\} \quad (16)$$

$$P_{q,n+1}(k|s) = \sum_{m=k}^{M-1} \{P_{q,n}(m|s) P_c(m-k)\} \quad (17)$$

단,  $1 \leq k \leq M-1$

$$P_{q,n+1}(M|s) = P_{q,n}(M|s) P_c(0) \quad (18)$$

이때, 안정 상태 확률은  $P_q(k|s)$  ( $k=0,1,\dots,M$ )이다.

그리고, 목음 상태 구간에는 패킷 생성이 없으므로 스테이션이 목음 상태일때의 패킷 손실 확률  $P_{l,s}$ 는 언제나 0이다. 스테이션이 발음 상태일때 큐 길이의 안정 상태 확률이  $P_q(k|t)$ 이고, 목음 상태일때 큐 길이의 안정 상태 확률은  $P_q(k|s)$ 이다. 이 확률값으로 큐 길이 분포  $P_q(k)$ 를 구할 수 있다.

$$P_q(k) = \rho v^t P_q(k|t) + \rho v^s P_q(k|s) \quad (19)$$

$\rho v^t$ 는 식 (7)에서 주어지며,  $\rho v^s = 1.0 - \rho v^t = \beta / (\alpha + \beta)$ 이다.

안정 상태에서 패킷 손실 확률  $P_{loss}$ 는 다음과 같다.

$$P_{loss} = \rho v^t P_{i,t} + \rho v^s \times 0 = \rho v^t P_{l,t} \quad (20)$$

확률  $P_c(i)$ 는 음성 패킷화 시간  $W_p$  동안에 스테이션 i에 토큰이 도착할 확률이다.

다음의 두가지 경우를 생각할 수 있다.

- 경우 1 :  $TRT \leq W_p$
- 경우 2 :  $TRT > W_p$

경우 1은 패킷의 길이가 길고 최대 TRT값이  $W_p$ 보다 작아지는 경우이다.  $TRT \leq W_p$ 인 경우는  $W_p$  구간 중에 최소한 한번은 토큰이 도착하게 된다.  $P_c(i) = 0$ 이므로 큐의 길이 분포는 쉽게 구해진다.  $TRT > W_p$ 인 경우에는  $W_p$ 값보다 TRT의 값이 커지는 경우이다. 이 경우 TRT 구간내에는 토큰이 많아야 한번 도착한다. 이때  $P_c(i|j+r)$ 을  $W_p$ 구간내에 토큰이 도착할 횟수가 i일 확률이라고 정의하면  $j+r$ 은 시스템에서 주어지는 토큰 회전 시간이다. 그러므로

$$P_c(1|j+r) = W_p / (j+r) \quad (21)$$

$$P_c(0|j+r) = 1.0 - P_c(1|j+r) \quad (22)$$

$$P_c(k|j+r) = 0 \quad (23)$$

단,  $k \geq 2$

이다. 그리고 스테이션이 토큰을 기다리는 시간이 길어질수록 그 확률은 더 커진다.

첫번째 토큰의 회전 시간 확률 밀도  $g(j)$ 는 다음과

같이 주어진다.

$$g(j) = b(j) \frac{(j+r)}{E[TRT]} \quad (24)$$

이 값들에 의하여

$$P_c(0) = \sum_{j=0}^N P_c(0|j+r) g(j) = 1.0 \frac{W_p}{E[TRT]} \quad (25)$$

$$P_c(1) = 1.0 - P_c(0) = \frac{W_p}{E[TRT]} \quad (26)$$

$$P_c(k) = 0 \quad (27)$$

단,  $k \geq 2$

를 구할 수가 있다. ( $E[TRT]$ 는 평균 TRT)

### 4.3.3 큐의 대기 시간

큐 길이의 안정 상태에서부터 대기 시간 분포를 계산할 수가 있다.

대기 시간 분포는 임의의 패킷이 버퍼에 대기하고 있는 시간을 의미한다.

$\omega_v$ 를 음성 대기 시간이라고 하고 평균을  $E[\omega_v]$ 라고 한다.

새로운 음성 패킷이 도착하여 전송되기 위해서는 다음 시간값이 소요된다.

① 버퍼에 도착하여 토큰이 도착할 때까지 대기하는 시간

② 패킷 도착시 이미 버퍼에 대기 하고있던 패킷을 전부 전송하는데 소요되는 시간

①번 시간값은 TRT 값과 같으며, ②번 시간값은  $k \times TRT$  값이다. 이때  $k$ 는 버퍼에 있는 패킷의 갯수이다. ①번의 시간값을  $TRT_0$ 라고 하면 버퍼에  $k$ 개의 패킷이 발견된 경우 대기 시간을  $k \times TRT + TRT_0$ 라 할 수가 있다. 그러므로 음성 패킷이 버퍼에서  $k$ 개의 대기 패킷을 발견할 경우 확률  $P_q(k|t)$ 에 대하여 다시 쓰면

$$\omega_v = \sum_{k=0}^M k \times TRT \times P_q(k|t) + TRT_0 \quad (28)$$

이다.

토큰 회전 시간의 확률 밀도  $b(j)$ 는 식 (2)에서 보

여진다.  $b(j)$ 로부터 TRT의 분포 함수  $B(j)$ 를 구할 수 있다. 또한  $B(j)$ 로부터 TRT의 잔여 시간확률을 계산할 수가 있다. 만일  $f(j)$ 를 TRT의 잔여 시간 확률이라고 하면

$f(j) = (1 - B(j)) / E[TRT]$ 이다. ( $E[TRT]$ 는 TRT의 평균)

그러므로 식 (26)으로부터 평균 대기 시간  $E[\omega]$ 을 구할 수가 있다.

$$E[\omega] = \sum_{k=1}^M k P_q(k, t) E[TRT] + E[TRTo] \quad (29)$$

$$E[TRTo] = \frac{E[TRT]}{2} + \frac{\text{Var}[TRT]}{2E[TRT]} \quad (30)$$

$\text{Var}[TRT]$ 는 TRT의 분산이다.

#### 4-4. 데이터 패킷의 대기 시간

데이터 패킷의 도착률은  $\lambda$ 이다. 이 데이터 트래픽은 "early" 토큰을 획득한 경우에 한개의 패킷을 전송하는 제한식 서비스를 가정한다. 즉 한 데이터 패킷의 전송 후에는 다음 "early" 토큰이 들어올 때까지 대기 하여야 한다. 다음 토큰이 들어올 때까지 대기 하는 평균 시간은 식 (5)와 같이  $E[TRT]$  값이다. 그러나 이 토큰이 비동기 모드에서 사용할 수 있는 "early" 토큰일 확률은  $i$ 번째 음성 스테이션에 큐 버퍼 크기가 0일때 토큰이 들어올 확률에 의하여  $P[q_i(0), t]$ 와 같다. 그러나 음성에서의 가정과 할 수 있다. 그러므로 데이터 패킷의 트래픽 밀도  $\rho_d$ 는 다음과 같다.

$$\rho_d = E[TRT] P[q(0), t] \quad (31)$$

트래픽 밀도와 도착 분포, 패킷 크기에 의하여 데이터 패킷의 평균 대기 시간을 구할 수 있다. 새로운 데이터 패킷이 도착하여 전송되기까지는 다음의 시간이 소요된다.

①버퍼에 도착하여 "early" 토큰이 도착하기를 기다린다.

②데이터 패킷 도착시 이미 버퍼에 대기하고 있던 패킷을 전부 전송하는 데 소요되는 시간

①번 시간값은  $TRT \times P[q(0), t]$  값과 같으며, ②번 시간값은  $k \times TRT \times P[q(0), t]$ 이다. 이때  $k$ 는 대기하는 데이터 패킷 수이다.

①번의 시간값은  $TRT \times P[q(0), t]$  값과 같으며, ②번 시간값은  $k \times TRT \times P[q(0), t]$ 이다. 이때  $k$ 는 대기하는 데이터 패킷 수이다.

①번의 시간값을  $TRTo$ 라 하면 버퍼에  $k$ 개의 패킷이 있을 경우 대기 시간은 음성과 마찬가지로  $k \times TRT \times P[q(0), t] + (TRTo \times P[q(0), t])$ 이다.

그러므로, 데이터 패킷에  $k$ 개의 패킷이 있을 경우 대기 시간은

$$\omega = k \times TRT \times P[q(0), t] + TRTo \times P[q(0), t] \quad (32)$$

이다.

그러므로, 식 (32)에서 평균 대기 시간  $E[\omega]$ 를 구할 수 있다.

$$E[\omega] = k \times E[TRT] \times (1 - P[q(0), t]) + E[TRTo] \times (1 - P[q(0), t]) \quad (33)$$

이때  $E[TRTo]$  값은 식 (30)과 같다.

$$E[TRTo] = \frac{E[TRT]}{2} + \frac{\text{Var}[TRT]}{2E[TRT]}$$

$\text{Var}[TRT]$ 는 TRT의 분산이다.

#### 4-5. 분석 결과

분석에 사용된 음성 파라미터는 평균 묵음 상태의 간격 ( $\alpha$ )을 650 msec, 평균 발음 상태의 간격 ( $\beta$ )을 352 msec로 설정한다<sup>(15)</sup>. 그리고 전송 거리 100 Km일때 스테이션 수를 50개, 200 Km일때 스테이션 수를 100개, 500개로 나누어 수행한다. 이때 전송 속도는 두 경우 모두 100 Mbps로 수행한다.

음성 스테이션에서의 음성 트래픽 발생률은 64 Kbit/s이며, 음성 헤더의 길이  $H$ 는 320 바이트이다. 음성 스테이션에서의 버퍼 크기  $M$ 은 10개를 가정한다. 통신망에서의 토큰 지연은 거리 1 Km당 5  $\mu$ sec이며, 한 스테이션당 1  $\mu$ sec 지연된다<sup>(14)</sup>.

그림 7, 8에서 선으로 표시된 것은 수학적 분석에 의한 값이고, 도형으로 표시된 값을 시뮬레이션값이다.

일점 채선은 스테이션이 500개 접속되어있는 경우이며, 파선과 실선은 접속된 스테이션이 각각 100개, 50개인 경우이다.



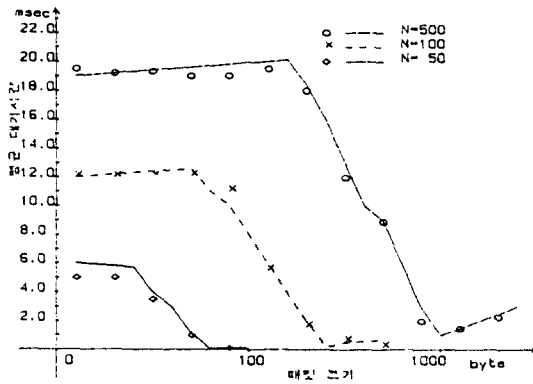


그림 7. 음성 패킷의 대기 시간  
Fig. 7. waiting times of voice packet.

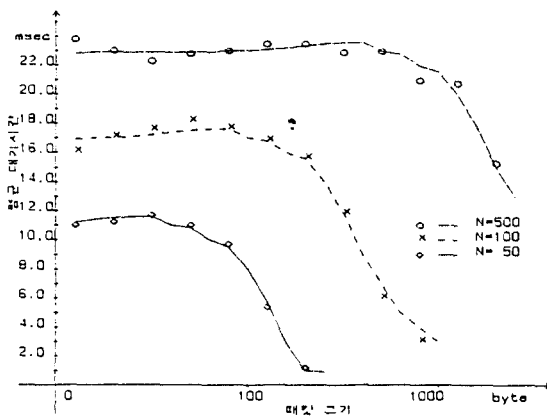


그림 8. 데이터 패킷의 대기 시간  
Fig. 8. waiting times of data packet.

“○”은 스테이션이 500개, “×”표는 스테이션이 100개, “◇”는 스테이션이 50개인 경우를 각각 나타낸다.

그림 7은 패킷 크기에 대한 음성 패킷의 평균 대기 시간 분석 결과이며, 그림 8은 패킷 크기에 대한 데이터 패킷의 평균 대기 분석 결과이다.

음성 패킷에서는 패킷의 크기가 작을 때 상대적으로 생성되는 음성 패킷의 수가 많아지기 때문에 많은 대기 시간을 갖게 되며, 통신망의 길이가 큰 경우 많은 지연 시간을 갖는다.

통신망의 길이가 200Km이고 스테이션 수가 50인 경우를 예로 들면 패킷 크기가 500 바이트일 때부터 지연 시간이 감소하여 2000 바이트일 때 최소 지연 시

간을 갖으나, 패킷 크기가 그 이상으로 커지면 패킷 크기에 의한 과 부하가 발생하여 지연 시간이 증가함을 볼 수 있다. 그러나 값이 증가해도 대기 시간의 값이 평균 20 msec를 초과하지 않으므로 동기 모드 전송에 아무런 제한을 주지 않음을 알 수 있다.

데이터 패킷의 크기와 평균 대기 시간의 관계는 그림 8과 같다.

데이터 패킷의 평균 대기 시간은 그림 7의 음성의 대기 시간과 비슷한 형태를 갖으며, 그림 7과 관련지어 보면 데이터 패킷은 더 높은 송신권을 갖고 있는 음성 패킷이 대기하고 있는 동안에 토큰을 획득하여 전송할 기회가 없으므로 같이 대기하고 있다. 그러므로 음성 패킷의 대기 시간이 감소되기 시작할 때부터 데이터 패킷의 대기 시간도 감소하기 시작한다. 그러나 데이터 패킷은 음성 패킷에 대하여 종속적이며 낮은 우선권을 갖고 있으므로, 대기 시간 분포가 계속 음성 패킷보다 큰 값을 유지한다.

데이터 트래픽은 200 Km거리 내에 500개의 스테이션이 접속될 지라도 24 msec를 넘지 않으므로 데이터 트래픽에 대하여 충분한 전송 용량을 제공한다.

음성과 데이터를 집적하여 전송할 때에도 음성의 평균 대기 시간은 음성을 우선으로 전송하므로 음성 전송율이 감소하지 않으며, 데이터 트래픽 역시 집적시 대기 시간값이 충분히 작으므로 데이터 전송할 때에도 충분한 전송 용량을 보여주었다.

## V. 결 론

본 논문에서는 FDDI 통신망에서 동기/비동기식 전송 방법을 사용하여 음성 트래픽과 데이터 트래픽을 집적 전송하는 시스템을 설정하고, 성능 분석의 기준이 되는 음성/데이터 패킷 평균 대기 시간을 분석하였다.

동기 모드인 음성 트래픽과 비동기 모드인 데이터 트래픽을 집적 전송할 때, 데이터 패킷의 평균 대기 시간은 음성 패킷의 평균 대기 시간의 영향을 받는다. 데이터 패킷의 대기 시간은 음성 패킷의 대기 시간이 증가할 때 비례하여 증가하게 되고, 음성 패킷의 대기 시간이 감소하면 감소하게 된다. 이러한 현상은 TTR 프로토콜에서의 동기/비동기 모드 지원 방법에 의한 것이다. FDDI 통신망이 100개의 스테이션을 갖고 100Km거리내에 있다면 패킷 크기가 10-80 바이트일 때 음성은 최대 12msec의 패킷 대기 시간

을 보장하며, 패킷 크기가 500 바이트일 때 최소 0.1msec의 패킷 대기 시간을 나타낸다. 그러나 같은 조건의 FDDI 통신망에서 데이터 패킷의 평균 대기 시간은 패킷 길이가 500 바이트일 때 최대 16 msec의 평균 패킷 대기 시간을 나타내며, 1000바이트일 때 최소 4 msec의 평균 패킷 대기 시간을 갖는다.

TTR 프로토콜은 동기 트래픽을 우선적으로 전송하고, 비동기 트래픽에 대하여는 채널의 여유 시간에 대하여 "끼워넣기" 식의 전송을 한다. 동기 전송을 수행한 후에 생기는 여유 시간에 전송을 할지라도 데이터 트래픽에 대하여 충분한 전송 용량을 지원함을 알 수 있었다. 데이터 패킷은 200Km 거리에 500개의 스테이션이 접속되어 있을때, 비동기 모드로 전송하여도 패킷의 최대 대기 시간은 24msec를 넘지 않는다.

앞으로의 연구 진행 과제는 동기 모드에서 음성과 화상을 집적하고, 비동기 모드에서 대화형 데이터와 화일 데이터를 집적 전송하는 시스템에 관하여 연구하고, 다중 트래픽을 집적 전송하는 통신망에 관하여 연구하고, 분석하고자 한다.

### 참 고 문 헌

1. ANSI, "FDDI Token Ring Media Access Control(MAC)," ANSI X3.139-1987.
2. ANSI, "FDDI Token Ring Physical Layer Protocol (PHY)," ANSI X3.148 1988.
3. IEEE Standard for Local Area Network 802.5 : Token Ring Access Method and Physical Layer Specification, 1985.
4. W. E. Burr, "The FDDI optical link," IEEE Commun., Mag., Vol.24, pp.18-22, May 1986.
5. H. Heffes and D.M. Lucantoni, "Markov modulated characterization of packetized voice and

- data traffic and related statistical multiplexer Performance," IEEE J. select. Area Comm, Vol. SAC-4, pp.856-868, Sep. 1986.
6. Anura P. Jayasumana, Priya Werahera and B. Albert, "Performance of FDDI Networks under Normal and Faulty Conditions," ICC'91, pp. 748-752, 1991.
7. M.J. Johnson, "Analysis of FDDI synchronous traffic delays," in Proc. IEEE System Design and Networks Conf., pp.65-72, Apr 1988.
8. M.J. Johnson, "Performance analysis of FDDI," in proc. EFOC/LAN 1988, pp.295-300, June 1988.
9. Floyd E. Ross, "FDDI a tutorial," IEEE Commun. Mag., Vol.24, pp.10-17, May 1989.
10. Floyd E. Ross, "Rings are round for good!," IEEE network Mag., Vol.1, pp.31-38, Jan. 1987.
11. K. C. Sevick and M.J. Johnson, "Cycle time properties of the FDDI token ring protocol," IEEE Trans. on software eng., Vol SE-13, 376-385, Mar. 1987.
12. Tatsuya Suda, Tracy. T. Bradely, "Packetized Voice/Data Integrated Transmission on the Token Ring Local Area Network," IEEE Trans. Commun. Vol. COM-37, no.3, Mar. 1987.
13. J.W. Wong and P.M. Gopal, "Analysis of Token Ring protocol for voice transmission," Computer Networks, vol.8, pp.339-346, 1984.
14. P.C. Wong and T.S. Yum, "Analysis of integrated services token control ring network," proc. IEEE GLOBECOM'89, pp.163-169, Dec. 1989.

洪聖植 (Seong Sik HONG) 正會員

1965年 5月31日生

1989年 2月 : 光云大學校 電子計算學科

1992年 2月 : 光云大學校 大學院 電子計算學科

1992年 3月 ~ 現在 : 光云大學校 大學院 電子計算學科博  
士課程



朴昊均 (Ho Kyun PARK) 正會員

1964年 1月 2日生

1987年 2月 : 光云大學校 電子計算  
學科

1989年 8月 : 光云大學校 大學院  
電子計算學科

1990年 9月 ~ 現在 : 光云大學校 大  
學院 電子計算學科  
博士課程

1992年 3月 ~ 現在 : 信興專門大學 電子計算科 專任講師



李載廣 (Jae Gwang LEE) 正會員

1956年 3月12日生

1984年 2月 : 光云大學校 電子計算  
學科

1986年 2月 : 光云大學校 大學院  
電子計算學科

1990年 2月 : 光云大學校 大學院  
電子計算學科 博士  
課程 修了

1986年 ~ 現在 : 全北 群山實業專門大學 電子計算科 副  
教授



柳煌彬 (Howang Bin RYOU)

正會員

1949年 8月15日生

1975年 2月 : 仁荷大學校 電子工學  
科

1977年 7月 : 延世大學校 產業大  
學院 電氣電子工學科

1989年 2月 : 慶熙大學校 大學院  
電子工學科 (工學博  
士)

1975年 ~ 1980年 : 金星半導體 (株)

1981年 ~ 現在 : 光云大學校 電子計算學科 副教授