

B-ISDN에서 Forward Error Correction을 이용한 오류제어 기법의 성능분석

정회원 임 효 태*

Performance Analysis of Error Control Techniques Using Forward Error Correction in B-ISDN

Hyo-Taek Lim* *Regular Member*

요 약

B-ISDN과 같은 초고속 네트워크에서 전송오류의 주요원인은 과잉밀집 상태에 있어서의 버퍼 오버플로우이며 이로 인해 셀손실을 야기한다. 기존의 통신 프로토콜은 손실된 패킷이나 전송에러들을 다루기 위해 ARQ와 같이 오류탐지와 재전송 기법을 사용하고 있으나 이러한 ARQ 방법들은 재전송으로 인한 전송 지연시간이 매우 크기 때문에 초고속 네트워크에서는 적합하지 않다. 따라서 본 논문은 이러한 문제를 줄이기 위하여 B-ISDN에서 Forward Error Correction(FEC)를 이용한 셀손실 회복방법의 셀손실율을 수치적으로 분석하였다. FEC 기법은 Two-state Markov 모델인 셀손실 프로세스 모델을 기초한 성능평가에서 상당한 낮은 셀손실율을 나타내었으며 ATM 네트워크에 인터리빙의 적용은 버스티한 트래픽을 랜덤(random)하게 배열하게 함으로서 셀손실율을 개선할 수 있음을 보이고 있다. 이러한 요소들은 향후 오류제어 기법 설계시 고려해야 할 주요요소로 사용될 수 있다. 또한 IP-over-ATM 네트워크에서 신뢰성 있는 IP 패킷의 전달을 위하여 FEC 기법의 효과에 관한 성능을 분석하고 평가하였다. 본 성능평가의 결과로 FEC 기법은 IP-over-ATM 환경에서 신뢰성 있는 IP 전달을 위한 해결책을 제시한다.

ABSTRACT

The major source of errors in high-speed networks such as Broadband ISDN(B-ISDN) is buffer overflow during congested conditions. These congestion errors are the dominant sources of errors in high-speed networks and result in cell losses. Conventional communication protocols use error detection and retransmission to deal with lost packets and transmission errors. However, these conventional ARQ (Automatic Repeat Request) methods are not suitable for the high-speed networks since the transmission delay due to retransmissions becomes significantly large. As an alternative, we have presented a method to recover consecutive cell losses using forward error correction(FEC) in ATM(Asynchronous Transfer Mode) networks to reduce the problem. The performance estimation based on the cell discard process model has showed our method can reduce the cell loss rate substantially. Also, the performance estimations in ATM networks by interleaving and IP multicast service are discussed.

* 동서대학교 정보시스템공학부 컴퓨터공학전공 (htlim@kowon.dongseo.ac.kr)
 논문번호 : 98388-0901, 접수일자 : 1998년 9월 1일

I. 서론

급속도로 발전하는 통신 기술과 사용자의 다양한 서비스 욕구는 고도화된 새로운 통신망 구조를 요구하고 있다. 이 새로운 통신망 구조는 사용자의 요구에 따라 다양한 서비스를 제공할 수 있어야 하며 새로운 통신기술에 유연하게 대처할 수 있는 경제성을 갖추어야 한다. 이러한 차세대 통신망 구조는 공중 전화망(PSTN)에서 현대적 종합 통신망(ISDN)을 거쳐 광대역 종합 정보통신망(B-ISDN)으로 이르게 되었다. 이러한 광대역 서비스에 대한 관심과 수요가 증대되면서 최근에 많은 연구들이 다양한 서비스를 제공하는 B-ISDN의 개발 및 표준화에 집중되고 있다^[1,2]. 멀티미디어 서비스가 이러한 B-ISDN 서비스의 개발에 있어서 가장 중요한 이슈 중의 하나가 되고 있다. B-ISDN의 비동기 전송모드인 ATM은 기존의 현대적 ISDN이 채택한 STM에 비해서 다음과 같은 장점을 가지고 있다^[3].

- 간단한 전송 형식 : 네트워크를 통한 데이터 전송시 하나의 전송 셀 형식으로 전송된다. 이러한 방식은 전송기기들이나 동작절차들을 매우 간소화시킨다.
- 다양한 전송률 : 여러가지 비트율을 가진 소스 트래픽들을 동시에 전송하는 것이 가능하다.

그러나 이러한 장점에도 불구하고 ATM 네트워크에서 본질적인 문제인 셀손실(cell discard) 문제가 발생하게 되는데 이러한 셀손실 문제는 전송의 품질을 상당히 떨어뜨리게 된다. 따라서 B-ISDN 시스템에서의 높은 품질과 신뢰성을 보장하기 위해서는 매우 낮은 셀손실률을 유지하여야 한다. ATM 네트워크에서 셀손실이 발생하는 원인으로 다음과 같이 크게 두 가지로 나눌 수 있으며 하나는 전송선에서의 비트 오류이고 다른 하나는 네트워크에 연결되어 있는 스위칭 노드에서의 버퍼 오버플로우이다. 종전의 패킷 스위칭 네트워크에서는 버퍼 오버플로우로 인한 셀 손실률을 낮게 유지하기 위한 한 방법으로 ARQ와 같은 패킷 재전송 방법이 사용되었으나 이 방법은 실시간 응용이나 음성과 영상 등과 같이 시간에 제약 받는 응용에서는 적절하지 못하다. 최근에는 이러한 멀

티미디어 서비스를 다루는 초고속 ATM 환경에서 버퍼 오버플로우로 인한 연속적인 셀손실을 회복하기 위한 방법으로 FEC 방법을 선호하고 있다. FEC는 패킷 손실로 QOS가 저하되는 것을 줄일 수 있으며 중단간 시스템의 성능을 향상시킬 수 있는 방법이다. 즉, 패킷을 재전송할 필요없이 송신측에서 데이터 정보 이외의 부수적인 정보를 함께 보냄으로서 수신측이 이러한 정보를 이용하여 손실된 셀들을 회복하는 방법이다^[4,5,6].

본 논문은 모두 4장으로 구성되어 있다. 1장은 본 논문에 대한 연구배경과 최근의 연구 동향에 대하여 설명한다. 2장은 ATM 네트워크에서 FEC를 이용한 연속적인 셀손실 회복기법이 간단히 제시된다. 제시된 셀손실 회복기법에서 사용되는 Additive/Multiplicative SN* 알고리즘과 SN*를 사용한 코딩예제는 본 논문에 소개되지 않았다^[13]. 3장은 제안된 방법의 성능평가를 위해 셀손실 프로세스 모델에 근거한 셀손실 특성을 분석한다. 셀손실 프로세스로서^[3,7]에서 다룬 2-state Markov 모델이 사용되었으며 4장에서는 인터리빙(interleaving)으로 인한 셀손실률에 대한 변화를 분석하였다. 5장에서는 IP-over-ATM 환경에서의 IP 패킷 손실률을 분석한다. 끝으로 6장에서 본 논문에 대한 결론과 앞으로의 연구방향이 언급된다.

II. 셀손실 회복절차

2.1 코딩구조

현재까지 ATM 네트워크에서 알려진 블록코딩 방법은 최대 16개의 연속적인 셀을 회복할 수 있다. 이는 Sequence Number(SN) 필드가 4 비트로 구성되어 있으므로 셀손실 탐지를 위해 $2^4 (=16)$ 셀만을 유일하게 식별할 수 있기 때문이다. 만일 블록의 최대 행 길이가 16을 초과하게 되면 SN 값을 반복하여 사용하기 때문에 정확한 셀손실의 위치를 식별할 수 없다^[3,8]. 블록의 최대 행 길이가 16으로 제한된다는 것은 연속적인 셀손실 회복능력이 최대 16개의 셀이라는 것을 의미한다. ATM 네트워크에서의 셀손실은 버스티(bursty)한 특성을 가지므로 연속적으로 회복할 수 있는 최대 셀수는 중요한 문제이다.

예를 들어 [그림 1]의 (a)와 같이 열 1,2 각각에서 2개의 셀이 손실된 경우는 이들 셀을 회복할 수 없다. 그 이유는 각 열에서 오직 한개의 손실된 셀이 발생된 경우에만 패리티 셀을 통해 손실된 셀을

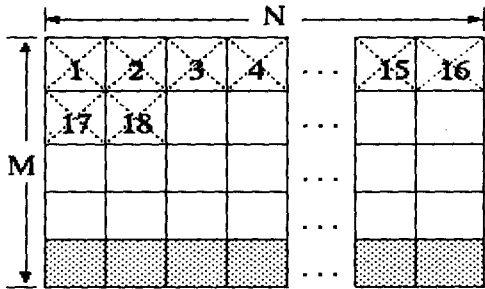


그림 1. (a) 코딩 행렬(행길이 : 16)

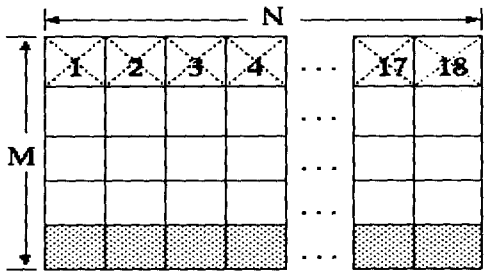


그림 1. (b) 코딩 행렬(행길이 : 18)

회복할 수 있기 때문이다. 그러나 [그림 1]의 (b)와 같이 코딩행렬의 행길이를 좀더 증가 시킬수 있다면 (a)와 같이 행길이가 16인 경우 발생할 수 있는 셀손실을 방지할 수 있다. 이를 위해서는 코딩행렬의 행길이가 확장될 수 있도록 ATM 표준에서의 SN 보다 개선된 새로운 SN가 필요하다. 또한 [그림 1]의 (b)는 제안된 셀 코딩행렬($M * N$)을 보여주고 있다. 즉 행렬에 데이터 셀과 패리티 셀들을 배열하여 연속적인 셀손실을 회복하게 된다. 패리티 셀의 k 번째 비트는 데이터 셀들의 k 번째 비트들의 exclusive-OR이다. 즉, 코딩 행렬의 배열에서 (i,j) 에 위치하는 셀의 k 번째 비트를 $c_{i,j,k}$ 라 하고 m 비트 셀크기를 고려할때 패리티 셀은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$c_{M,j,k} = \left(\sum_{i=1}^{k-1} c_{i,j,k} \right) \bmod 2, \quad 1 \leq k \leq m, 1 \leq j \leq N. \quad (1)$$

패리티 셀들은 데이터 셀과 구분이 될 수 있도록 OAM(Operation Administration and Maintenance)

ce) 속성을 갖고 있으며 우선순위(priority)가 데이터 셀보다 높다. 또한 인코딩 동작의 additive, multiplicative 특성은 데이터 셀이 전송하는 도중에도 패리티 셀을 만들 수 있으므로 인코딩 지연시간은 거의 무시할 정도로 작다.

2.2 셀손실 회복 절차

[그림 2]는 제안된 프로토콜 구조를 보여주고 있다.

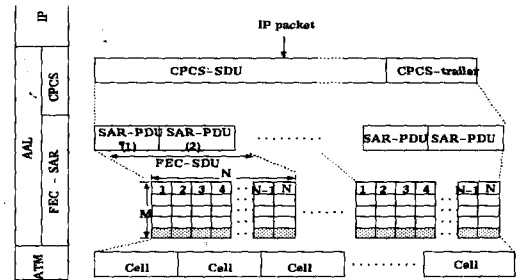


그림 2. 제안된 프로토콜 구조

AAL은 타입 2와 3/4를 사용한다. AAL의 상위계층, 예를 들면 IP 계층에서 보내지는 IP 패킷은 AAL의 CPCS-SDU에 대응되며 그 기본 크기는 ATM 네트워크에서 9,180 바이트이다^[9,10]. CPCS-SDU는 여러개의 FEC-SDU로 나뉘어지며 각각의 FEC-SDU는 각 FEC 프레임에 포함되며 FEC 코드가 추가된다. FEC 프레임은 작은 크기의 CPCS-SDU에서도 효율적인 전송을 위해 그 크기는 가변적이다. FEC 프레임은 사용자 정보를 포함하는 사용자 데이터부와 패리티 코드 또는 RSE(Reed-Solomon burst Erasure) 코드를 포함하는 FEC 코드로 나뉜다. 수신측은 손실된 셀을 식별하기 위하여 제안된 SN*를 적용한다. SN* 알고리즘과 FEC 인코딩, 디코딩 과정은 [13]에서 상세히 설명된다. 데이터가 전송되는 과정에서 셀의 손실여부는 각 셀에 포함되어 있는 SN*의 차이로 탐지되며 손실된 셀의 위치에 모든 비트가 0인 빈(dummy) 셀을 삽입한다. 다음으로 [그림 3]과 같이 FEC 코드를 이용하여 손실된 셀을 회복한다.

만일 전송되는 과정에서 FEC를 이용하여 회복할 수 없을 정도로 손실된 셀이 많은 경우에는 go-back-N 또는 selective ARQ와 같은 적절한 재전송 방법이 실행되어야 한다. 이러한 방식은 FEC와 재전송 방식의 혼합된 형태로 생각할 수 있다.

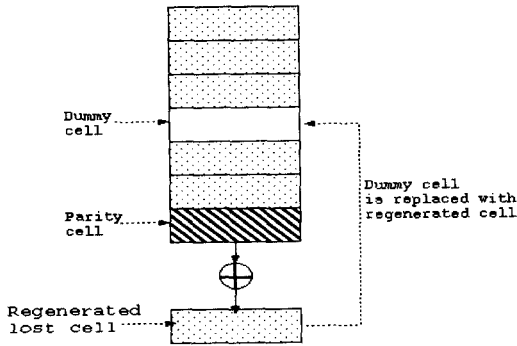


그림 3. 손실된 셀의 재생성 과정

FEC 프레임의 크기는 IP 패킷의 크기와 중단간 IP 패킷 전달 지연시간의 요구사항을 기초로 적절히 결정되어야 한다. FEC 프레임이 클수록 더 큰 지연시간이 발생하는데 이는 수신된 FEC 프레임에서 손실된 셀들의 회복을 위한 계산절차 때문이다. 하지만 수신된 FEC 프레임에서 어떠한 손실도 발생하지 않았으면 이러한 계산절차는 필요하지 않다 [11].

III. 셀손실 프로세스 모델 및 분석

성능 평가는 [3,7]에서 보여진 셀손실 프로세스 모델을 토대로 하였으며 이 모델은 [그림 4]과 같이 데이터 전송채널에서 생기는 오류 시퀀스를 나타내기 위해 Gilbert 모델이라고 하는 2-state Markov 모델을 사용하였다.

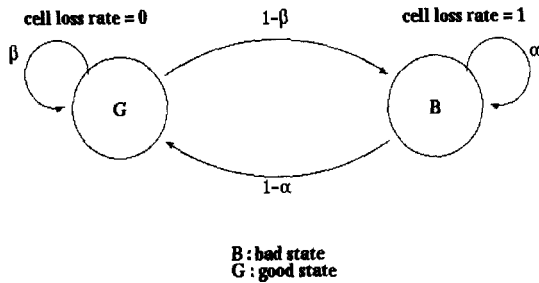


그림 4. 셀손실 프로세스 모델

이 모델의 상태 전이는 아래와 같이 전이 확률행렬(transition probability matrix)로 표현할 수 있다 [3,12,7].

$$P = \begin{bmatrix} \beta & 1-\beta \\ 1-\alpha & \alpha \end{bmatrix} \quad (2)$$

위 모델의 G 상태에서는 셀손실이 확률 $P_G=0$ 으로 발생되며 반면에 B 상태에서 셀손실은 확률 $P_B=1$ 로 발생된다. 상태 G, B에서 있게 될 정상 상태 확률(steady state probability)은 각각 $\pi_G = \frac{1-\alpha}{1-\alpha+1-\beta}$, $\pi_B = \frac{1-\beta}{1-\alpha+1-\beta}$ 이며 이 모델의 평균 셀손실률, p 는

$$p = P_G \pi_G + P_B \pi_B = \frac{P_G(1-\alpha) + P_B(1-\beta)}{1-\alpha+1-\beta} \text{이다.}$$

위식은 간단히 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$p = \frac{1-\beta}{1-\alpha+1-\beta} \quad (3)$$

제안된 셀손실 회복기법은 코딩행렬($M \times N$)의 각 열(column)에서 하나의 셀손실이 발생한 경우에만 회복할 수 있다. 즉 각 열에서 2개 이상의 셀이 손실된 경우 그 셀은 회복할 수 없다. 따라서, 먼저 각 열마다 단지 하나의 셀이 손실되는 확률을 계산하여 보자. 한 열에서 i^{th} 셀이 손실되는 확률을 D_i 라고 한다면 $(i+1)^{\text{th}}$ 셀이 손실되는 확률, D_{i+1} 은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} 1-D_{i+1} \\ D_{i+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \beta & 1-\alpha \\ 1-\beta & \alpha \end{bmatrix}^N \begin{bmatrix} 1-D_i \\ D_i \end{bmatrix} \quad (4)$$

위식에서 α, β 는 상태전이 확률이며 N 은 셀 행렬의 행길이이다. 편의를 위해 상태전이 행렬의 N^{th} 곱을 아래와 같이 표현하자.

$$\begin{bmatrix} \beta & 1-\alpha \\ 1-\beta & \alpha \end{bmatrix}^N = \begin{bmatrix} \beta_N & \alpha_N \\ \beta_N & \alpha_N \end{bmatrix} \quad (5)$$

셀손실 프로세스 모델을 적용한 경우 셀행렬의 한 열중 첫번째 셀이 손실되는 확률은 $p \overline{\alpha_N \beta_N}^{M-2}$, 마지막 셀이 손실되는 확률은 $(1-p) \overline{\beta_N \alpha_N}^{M-2}$ 이다. 그리고 처음과 마지막 셀을 제외한 중간 셀에서의 셀손실률은 $(1-p) \overline{\beta_N \alpha_N \beta}^{M-3} * (M-2)$ 이다. 이 식에서 $M-2$ 를 곱한 것은 셀 행렬중 임의의 한 열에서 처음과 마지막 셀을 제외한 셀의수가 $M-2$ 이기 때문이다. 즉 임의의 한 열에서 처음과 마지막 셀을 제외한 셀에서의 셀손실률은 다음 $M-2$ 개의 식을 합하여 구할 수 있으며 그 결과값은 위에서 언급한 바와 같이 $(1-p) \overline{\beta_N \alpha_N \beta}^{M-3} * (M-2)$ 가 된다.

$$(1-p) \overline{\beta_N \alpha_N \beta}^{M-3}$$

$$(1-p) \overline{\beta_N \alpha_N \beta}^{M-4}$$

$$\begin{aligned}
 &(1-p)\beta^{M-5}\overline{\beta_N\alpha_N\beta^2} \\
 &\vdots \\
 &(1-p)\beta^2\overline{\beta_N\alpha_N\beta^{M-5}} \\
 &(1-p)\beta^1\overline{\beta_N\alpha_N\beta^{M-4}} \\
 &(1-p)\overline{\beta_N\alpha_N\beta^{M-3}}
 \end{aligned}$$

따라서 셀 행렬중 임의의 한 열(column)에서 하나의 셀이 손실되는 확률, L_1 은 아래와 같다^[3].

$$\begin{aligned}
 L_1 &= p\overline{\alpha_N\beta_N^{M-2}} + (1-p)\overline{\beta_N\alpha_N\beta^{M-3}} \\
 &\quad * (M-2) + (1-p)\overline{\beta_N\beta_N^{M-2}}. \tag{6}
 \end{aligned}$$

위식에서 p 는 평균 셀손실률이고, M 은 셀 행렬에서의 행의 수이다. 이는 한 열에서 회복되는 셀의 평균수도 또한 L_1 임을 의미한다.

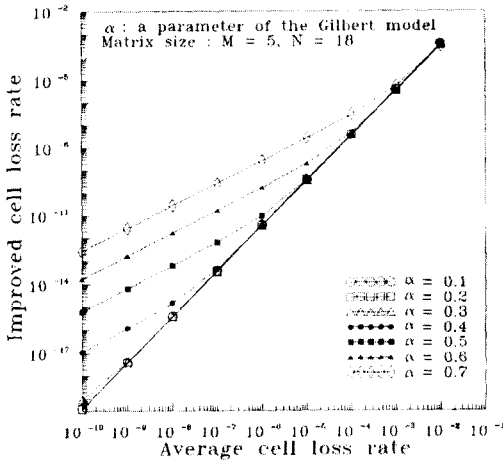


그림 5. 개선된 셀손실률(M=5, N=18)

따라서 제안된 셀손실 회복방법을 사용함으로써 얻게되는 개선된 셀손실률, P^* 는 $P^* = p - \frac{L_1}{M}$ 이다.

제안된 방법은 코딩행렬의 행길이, N 를 최대 81까지 확장할 수 있다. 이는 손실된 셀의 회복율을 상당히 개선할 수 있다는 것을 의미한다. [그림 5]는 각각 소 행렬($M=5, N=18$)일 때의 개선된 셀손실률을 보여주고 있다. 위의 결과에서 셀손실 프로세스 모델의 α 가 0.7일때에도 제안된 기법의 개선된 셀손실률은 10^{-11} 로 평균 셀손실률 보다 상당히 감소된 결과를 보여주고 있다. 이러한 결과는 멀티

미디어 서비스를 위해 필요한 셀손실률의 요구사항을 충분히 만족하고 있다.

IV. 인터리빙의 효과

인터리빙은 수신측에 도착하는 셀 스트림의 연속적인 셀손실들을 무작위로 배열하는데 그 목적이 있다. 결과적으로 인터리빙은 FEC로 손실된 셀들은 회복하는데 더 많은 유연성을 제공하게 된다. [그림 6]은 이러한 블록 인터리빙을 보여주고 있다.

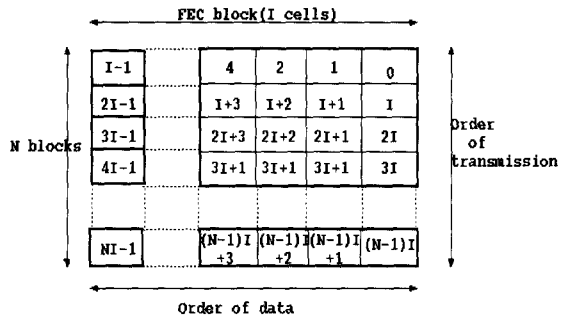


그림 6. 블록 인터리빙

송신측은 도착하는 셀 스트림을 I 번째 셀마다 하나의 인터리빙된 스트림을 할당함으로써 I 개의 인터리빙된 스트림을 배열할 수 있다.

이렇게 인터리빙된 스트림이 송신되는 과정에서 I 개의 셀손실이 발생하였다 하더라도 FEC 코딩블록 내에 한개의 셀손실이 발생한 효과를 볼 수 있다. 이러한 과정은 수신측의 인터리빙된 스트림을 감지하는데 있어서 종전의 단일 스트림보다 더 많은 부담을 갖게되는 단점도 갖고 있다. 인터리빙이 적용된 경우의 성능평가는 앞서 언급한 Gilbert 모델을 사용하였다.

이 모델에서 손실된 셀에 대한 랜덤변수, X 의 variance는 $\sigma^2 = E(X-p)^2 = p(1-p)$ 이며 여기서 p 는 Gilbert 모델의 평균 셀손실률이다.

두개의 연속적인 손실된 셀에 대한 랜덤변수, X_1 과 X_2 의 correlation, ρ 는 $\rho = \frac{E((X_1-p)(X_2-p))}{\sigma^2} = \alpha + \beta - 1$ 이 된다.

위의 식과 평균 셀손실률 $p = \frac{1-\beta}{1-\alpha+1-\beta}$ 를 이용하여 Gilbert 모델의 두 파라미터 α, β 는 p 와 ρ 로 표현될 수 있다^[12]. 즉,

$$\begin{aligned} \alpha &= p + \rho(1-p), \\ \beta &= (1-p) + \rho p \end{aligned} \quad (7)$$

이다.

따라서, 상태전이 행렬, P 는

$$\begin{bmatrix} 1-p(1-\rho) & p(1-\rho) \\ (1-p)(1-\rho) & 1-(1-p)(1-\rho) \end{bmatrix} \quad (8)$$

이 된다.

인터리빙이 적용되지 않았을때($I=1$) 두개의 연속적인 셀과 관련된 전이 행렬은 P 와 같다. 셀들이 degree $I (> 1)$ 로 인터리빙 되었을때 각 셀 스트림의 연속적인 두개의 셀들은 I 셀만큼씩 분리되어진다. 이러한 두개의 셀에 대한 전이 확률은 P' 가 된다.

[정리 1] degree I 로 인터리빙된 Gilbert 모델에서의 전이 확률 행렬, P' 는 인터리빙 되지 않은 원래의 P 의 ρ 대신에 ρ' 로 대치된 것과 같다. 즉,

$$P' = \begin{bmatrix} 1-p(1-\rho') & p(1-\rho') \\ (1-p)(1-\rho') & 1-(1-p)(1-\rho') \end{bmatrix}. \quad (9)$$

[증명] 참고 문헌 [12] 참조

degree I 로의 인터리빙은 채널의 correlation coefficient(계수)를 I 승 만큼 증가시키는 효과를 가지게 됨을 의미한다. 하나의 셀손실은 각 열에서 회복될 수 있기 때문에 먼저 하나의 셀손실 각 열마다 생기는 확률을 계산할 필요가 있다. 한 열에서 i 번째 셀손실 확률이 D_i 라면 $(i+1)$ 번째 셀의 손실확률, D_{i+1} 은

$$\begin{bmatrix} 1-D_{i+1} \\ D_{i+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1-p(1-\rho') & (1-p)(1-\rho') \\ p(1-\rho') & 1-(1-p)(1-\rho') \end{bmatrix}^N * \begin{bmatrix} 1-D_i \\ D_i \end{bmatrix} \quad (10)$$

와 같이 된다. 편의를 위해 상태전이 행렬의 N th 곱을 아래와 같이 표현하자.

$$\begin{bmatrix} 1-p(1-\rho') & (1-p)(1-\rho') \\ p(1-\rho') & 1-(1-p)(1-\rho') \end{bmatrix}^N = \begin{bmatrix} \delta_N \overline{\gamma_N} \\ \overline{\delta_N} \gamma_N \end{bmatrix}.$$

5.1절에서 정의된 바와 같이 하나의 셀이 각 열

에서 손실되는 확률, L'_1 은

$$\begin{aligned} L'_1 &= p \overline{\gamma_N} \delta_N^{M-2} + (1-p) \overline{\delta_N} \gamma_N \beta^{M-3} \\ &\quad * (M-2) + (1-p) \overline{\delta_N} \delta_N^{M-2} \end{aligned} \quad (11)$$

와 같으며 여기서 M 은 셀행렬의 행의 수를 나타낸다. 이는 하나의 열에서 회복될 수 있는 셀의 평균수가 L'_1 이라는 것을 의미하게 되며 결국 인터리빙을 이용한 셀손실 회복방법의 개선된 셀손실률, P'_1 은

$$P'_1 = p - \frac{L'_1}{M} \quad (12)$$

이 된다. [그림 7]은 코딩 행렬이 $M=5, N=18$ 인 경우 인터리빙이 적용된 경우의 셀손실률을 보여주고 있다. 이 그림은 ρ 가 크다고 할지라도 degree $I(>1)$ 로 인터리빙이 적용된 경우의 셀손실률이 상당히 개선하고 있음을 보여준다.

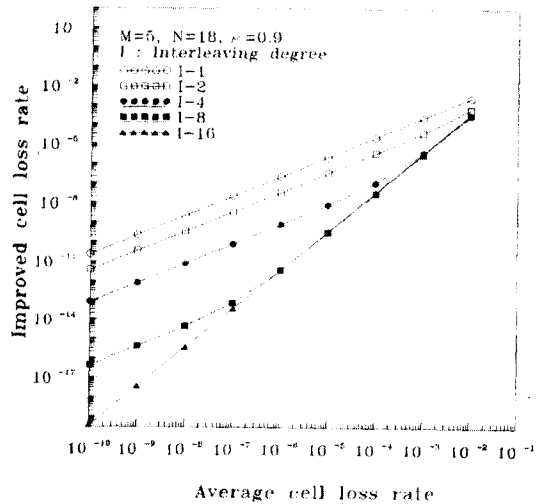


그림 7. 인터리빙이 적용된 제한된 방법의 셀손실률

V. IP-over-ATM환경에서의 성능평가

5.1. 모델

FEC 기법의 성능평가를 위한 평가모델은 [그림 8]과 같은 IP-over-ATM 환경을 가정한다. IP 계층의 사용자 계층인 계층 4(예: TCP)는 데이터를 수신자에게 전달할때 하위 계층인 IP를 이용한다. IP는 현재 널리 이용되는 인터넷에서 필수적으로 사용되는 프로토콜이다. 멀티캐스트 통신환경은 송신

측에서 다수의 목적지로 패킷을 전달하기 때문에 임의의 수만큼 수신자가 있을 수 있는 것으로 가정한다.

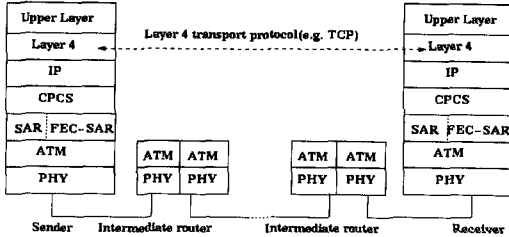


그림 8. IP-over-ATM 평가모델

프로토콜 구조중 FEC-SAR 계층에서 IP 패킷은 여러개의 FEC-SDU로 세그먼트되며 이 FEC-SDU와 FEC 코드가 합쳐진 FEC 프레임이 만들어진다. FEC 프레임은 f 개의 셀로 구성된다고 가정하며 하나의 IP 패킷은 M 개의 셀로 구성된다고 가정한다. 또한 ATM 셀은 확률 β 만큼 각각의 데이터 링크 세그먼트에서 손실되며 실제 시스템에서는 버스티하게 셀들이 손실된다 하더라도 본 모델에서는 무작위로 손실된다고 가정한다. AAL 표준대로 SAR을 사용할 경우 IP 패킷에 속해 있는 임의의 셀이 손실된다면 그 IP 패킷은 손실된 것으로 간주한다. 그러나 제안된 방법의 FEC-SAR이 사용된 경우에는 IP 패킷에 속해 있는 임의의 FEC 프레임이 손실되었을때 그 IP 패킷은 손실된 것으로 간주하는데 이때 FEC 프레임이 손실되었다는 것은 그 프레임에 속해있는 손실된 셀의 수가 FEC 처리능력을 초과하였다는 것을 의미한다. 아울러, FEC 프레임내에 하나의 셀보다 많은 셀이 손실될때 정확한 FEC-SDU가 수신측으로 전달될 수 없으며 따라서 해당 IP 패킷은 손실된 것으로 간주한다.

5.2 IP 패킷의 손실확률

5.2.1 점-대-점 통신에서의 IP 패킷 손실확률

본절에서는 점-대-점 통신 환경에서 FEC가 적용된 경우와 적용하지 않은 경우의 IP 패킷 손실률을 평가한다. 패킷 손실률을 평가하기 위해 사용되는 성능 파라미터는 다음과 같다.

- β 각 데이터 링크 세그먼트에서의 셀손실 확률(ATM 네트워크에서의 Cell Loss Rate)

- a : 데이터 링크 세그먼트의 수
- M : 하나의 IP 패킷에 속하는 ATM 셀의 수
- f : FEC 프레임에 속하는 ATM 셀의 수
- P_{wofec} : FEC를 적용하지 않은 경우의 IP 패킷 손실확률
- P_{wec} : FEC를 적용한 경우의 IP 패킷 손실확률

점-대-점 통신환경에서 FEC가 적용되지 않은 경우의 IP 패킷손실 확률, P_{wofec} 는 다음과 같이 간단히 구할 수 있다.

$$P_{wofec} = 1 - (1 - q)^d \tag{13}$$

여기서 q 는 각 데이터링크에서의 IP 패킷손실 확률, 즉 $q = 1 - (1 - \beta)^M$ 이다. 또한, FEC가 적용된 경우의 IP 패킷손실 확률, P_{wec} 는 다음과 같다.

$$P_{fec} = 1 - (1 - q)^d \tag{14}$$

여기서,

$$\begin{aligned} q &= 1 - (1 - s)^m \\ s &= 1 - [(1 - \beta)^f + f * \beta (1 - \beta)^{(f-1)}] \\ &= 1 - (1 - \beta)^{(f-1)} * (1 - \beta + f\beta) \\ &= 1 - (1 - \beta)^{(f-1)} * [1 + (f-1)\beta] \\ m &= \lceil \frac{M}{f} \rceil \end{aligned}$$

이다. s 는 FEC 프레임의 셀손실 확률을 나타내며 m 은 하나의 IP 패킷에 속하는 FEC 프레임의 수를 의미한다. [그림 9]은 데이터 링크에서의 셀손실 확률(β)에 따른 IP 패킷 손실확률을 보여주고 있다.

송신측과 수신측사이의 데이터링크 수(d)는 5, FEC 프레임 크기(f)는 10, M 값은 15, 25 로 설정되었다. 대략 $M=15$ 는 750 바이트 IP 패킷에 대응되며 $M=25$ 는 1.2K 바이트 IP 패킷에 대응된다.

5.2.2 멀티캐스트 통신에서의 IP 패킷 손실확률

멀티미디어 통신망을 위한 주요 주제중에 하나로 최근 들어 멀티캐스트 관련연구가 활발히 진행되고 있다. 멀티캐스트란 송신측에서 네트워크상의 특정 그룹에 속하는 다수의 목적지로 패킷을 전달하도록 하는 것이다. 멀티캐스트 기능은 멀티미디어 회의에서 참가자들에게 비디오, 오디오, 데이터 패킷을 전

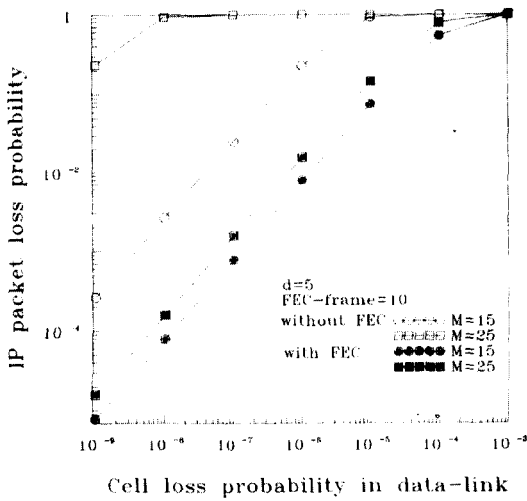


그림 9. IP 패킷 손실확률(point-to-point)

송하는 응용에 사용될 수 있으며 분산 처리등 여러 가지 분야에서 유용하게 이용할 수 있다^[7,8]. 어떤 경우에는 송신측에서 보낸 메시지가 모든 수신자에게로 오류 없이 전송되어야 하는 오류에 민감한 응용이 있다. 앞에서 살펴본 바와 같이 오류를 제어하기 위한 기법으로 크게 재전송을 이용한 방법과 FEC를 이용한 기법으로 구분하였다. 멀티캐스팅 통신에서 수신자의 수가 증가할수록 재전송에 의한 오류제어 방식은 다음과 같은 문제점을 갖고 있다.

• 프로토콜 상태정보(State Information)의 증가

송신측은 패킷을 전송한 후 모든 수신자가 패킷을 수신할때까지 수신자 각각에 대한 프로토콜 상태정보를 유지해야 한다. 만일 긍정적인 확인(positive ACK)을 송신자가 받지 못했을 경우 해당 수신측으로 패킷을 재전송하게 된다. 송신측에서 관리되는 프로토콜 제어정보는 수신자의 수에 비례한다.

• 다수의 수신자에서 송신측으로의 제어패킷 증가

제어패킷(ACK/NACK)이 다수의 수신자에서 송신자로 전송된다. 이들 제어패킷은 수신자 각각이 송신자로 전송되기 때문에 송신자 프로세스가 많은 양의 제어패킷을 받아야 하는 부담을 안게 된다. 이러한 패킷에 대한 처리능력

의 한계와 네트워크상의 트래픽 증가는 수신자의 수가 증가할수록 더욱 심각한 문제를 야기한다.

• 패킷 손실률의 증가

송신 프로세스가 보내는 패킷 수신자의 수가 많아질수록 패킷 손실률은 높아진다. 메시지의 손실에 민감한 응용에서는 치명적인 문제이다. 이와 같은 이유로 재전송에 의한 오류제어 기법은 멀티캐스트 환경에서 적합하지 않으며 FEC 기법을 이용하는 것이 보다 효율적이다^[9].

따라서 본 절에서는 IP-over-ATM 환경의 멀티캐스트 통신에서 제안된 FEC 기법을 적용한 경우와 그렇지 않은 경우의 IP 패킷 손실률을 수치적으로 분석함으로써 멀티캐스트 환경에서의 오류제어 기법은 FEC 기법이 보다 효율적임을 입증한다. 성능평가를 위한 모델은 [그림 8]과 같으며 여기서 다수의 수신자가 존재한다. 다음은 성능 평가를 위한 파라미터로 β, d, M, N 는 점-대-점 통신에서의 파라미터와 동일하며 추가, 수정되는 파라미터는 다음과 같다.

- N : 수신자의 수
- q : 데이터 링크에서의 IP 패킷 손실확률
- p : 각 수신자에 대한 IP 패킷 손실확률
- P_{wofec} : FEC를 적용하지 않은 경우의 IP 패킷 손실확률
- P_{wofec} : FEC를 적용한 경우의 IP 패킷 손실확률

(1) FEC를 적용하지 않은 경우의 IP 패킷 손실확률

데이터링크 세그먼트에서 셀손실이 확률 β 로 무작위로 발생한다고 가정할때 데이터링크에서의 패킷손실확률(q)은 다음과 같다.

$$q = 1 - (1 - \beta)^M \tag{15}$$

따라서 각 수신자에서의 패킷 손실확률(p)은

$$p = 1 - (1 - q)^d \tag{16}$$

이며 결국 멀티캐스트 통신에서 FEC를 적용하지 않은 경우의 패킷 손실확률(P_{wofec})은 $P_{wofec} = 1 -$

$(1-p)^N$ 이다. β 가 아주 작을때(예를 들면, $\beta \ll 1.0$) 위의 수식은 아래와 같은 값이 된다.

$$q \cong M * \beta$$

$$p \cong d * M * \beta$$

$$P_{wofec} \cong N * d * M * \beta$$

(2) FEC를 적용한 경우의 IP 패킷 손실확률

FEC기법의 셀손실 회복능력은 f 값에 큰 영향을 받는다. 즉 FEC 프레임속에 손실된 데이터 셀이 두 개보다 작으면 IP 패킷은 정확하게 전송된다. FEC 프레임의 손실확률은 점-대-점 통신에서의 s 와 같이 $s = 1 - (1 - \beta)^{(f-1)} * [1 + (f-1)\beta]$ 이며 하나의 IP 패킷에 속하는 FEC 프레임의 수(m)는 $\lceil \frac{M}{f} \rceil$ 이다. 결국 q, p, P_{wofec} 는 다음과 같다.

$$q = 1 - (1 - s)^m$$

$$p = 1 - (1 - q)^d \tag{17}$$

$$P_{wofec} = 1 - (1 - p)^N$$

이다.

β 가 아주 작을때(예를들면, $\beta \ll 1.0$) 위의 수식은 아래와 같은 값이 된다.

$$s \cong (f-1)^2 * \beta^2$$

$$q \cong m * (f-1)^2 * \beta^2$$

$$p \cong d * m * (f-1)^2 * \beta^2$$

$$P_{wofec} \cong N * d * m * (f-1)^2 * \beta^2$$

(3) 결과

[그림 10]은 데이터 링크에서의 셀손실 확률(β)에 따른 IP 패킷손실 확률을 보여주고 있다. 대략, $M=10$ 셀은 500 바이트 IP 패킷에, $M=40$ 셀은 2K 바이트 IP 패킷 그리고 $M=150$ 셀은 7.5K 바이트 IP 패킷에 대응된다. 송수신자간 데이터링크 세그먼트의 수(d)는 5, FEC 프레임 크기(f)는 10, 수신자의 수(N)는 10으로 설정되었다. 그림에서 보듯이 FEC를 적용한 경우에 IP 패킷손실 확률이 상당히 줄어듦을 볼 수 있다.

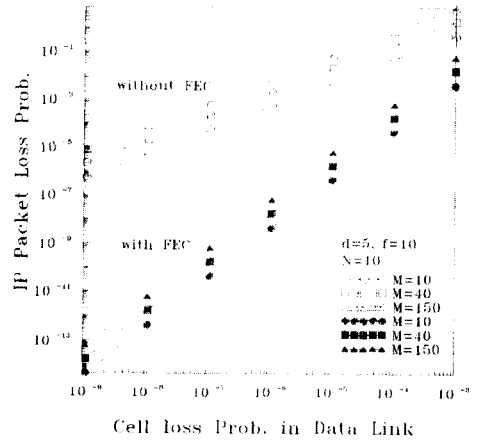


그림 10. IP 패킷 손실확률 vs. $\beta(N=10)$

[그림 11]는 수신자의 수(N)에 따른 IP 패킷손실 확률을 보여주고 있다. 데이터링크 세그먼트의 수(d)는 5, FEC 프레임 크기(f)는 10, 데이터링크 세그먼트에서의 셀손실 확률(β)이 10^{-6} 으로 가정하였다. [그림 4]($\beta = 10^{-6}$)에서 보여주듯이 $N=10$ 일 때 FEC가 적용되지 않은 경우의 IP 패킷손실 확률은 10^{-4} 보다 크다. 이와는 반대로 FEC가 적용된 경우 $N=100$ 인 경우조차도 10^{-5} 보다도 작다.

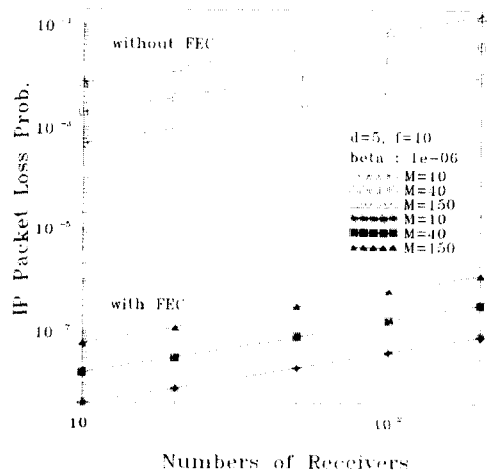


그림 11. IP 패킷 손실확률 vs. $N(\beta = 10^{-6})$

[그림 12]는 FEC 프레임 크기(f)에 따른 IP 패킷 손실 확률을 보여주고 있다. 수신자의수, N 이 클수록 IP 패킷 손실율이 커짐을 보여주고 있다. FEC 프레임의 전송 오버헤드(overhead) 측면에서 본다면

FEC 프레임 크기가 클수록 오버헤드가 작으므로 적당하다. 반면에 수신측에서 손실희복을 위해 FEC 코드의 계산으로 인한 지연시간 관점에서 본다면 FEC 프레임 크기가 클수록 지연시간이 크다. 따라서 사용되는 패킷크기에 따라 FEC 프레임 크기도 적절히 조절될 필요가 있다.

5.3 코딩 오버헤드와 지연

FEC 오류제어 기법이 수행되기 위해 송신측은 FEC 코드를 부수적으로 전송하여야 한다. FEC 기법에 의한 코딩 오버헤드는 $\frac{1}{FEC\ frame\ size}$ 이 된다.

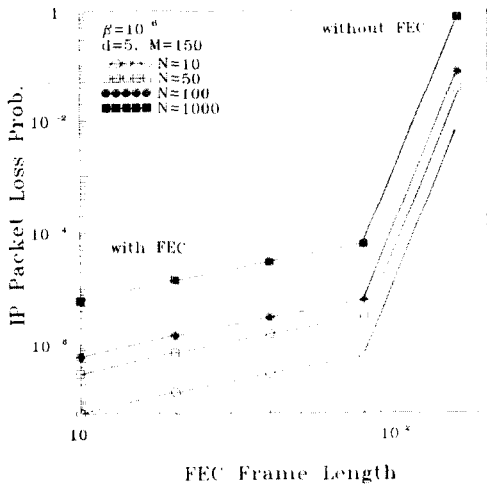


그림 12. IP 패킷 손실확률 vs. FEC 프레임 크기 ($\beta = 10^{-6}$)

예를 들어 FEC 프레임 크기가 10개의 셀로 구성될때의 코딩 오버헤드는 10%이다. 제안된 셀손실 회복방법의 코딩행렬($M*N$)에서 M 값이 코딩 오버헤드에 영향을 주는 요소이다. M 값이 작을수록 그만큼 셀손실 회복능력이 증가되는 장점을 갖고 있지만 부수적인 패리티 정보로 인한 트래픽의 부하를 증가시키는 단점도 갖고 있다. 따라서 코딩행렬의 크기를 적절히 선택하여야 한다. FEC 인코더에서의 코딩 지연시간은 셀들이 저장될 필요가 없기 때문에 거의 없다. 하지만 수신측에서는 셀손실 회복절차를 위해 모든 셀들이 저장되어야 한다. 디코딩으로 인한 지연시간을 고려할때 코딩행렬의 크기는 링크의 이용률 요소(utilization factor)에 따라 결정

되어야 한다. 즉, VC 또는 VP의 이용률 요소가 작을때 디코딩 지연시간을 줄이기 위해 코딩행렬의 크기는 작아야 한다. 반면에 링크의 이용률 요소가 클때 크기가 큰 코딩행렬이 가능하며 디코딩 효율을 증가시킬 수 있다.

VI. 결론

B-ISDN과 같은 초고속 네트워크에서 전송오류의 주요원인은 과잉밀집 상태에 있어서의 버퍼 오버플로우이며 이로 인해 셀손실을 야기한다. 따라서 본 논문은 이러한 문제를 줄이기 위하여 B-ISDN에서 FEC를 이용한 셀손실 회복방법의 셀손실율을 수치적으로 분석하였다. 2-state Markov 모델인 셀손실 프로세스 모델을 기초한 성능평가에서 제시된 FEC 기법이 기존의 방법보다 상당한 낮은 셀손실율을 나타내었으며 ATM 네트워크에 인터리빙의 적용은 버스티한 트래픽을 무작위로 배열하게 함으로서 셀손실율을 개선할 수 있음을 보이고 있다. 이러한 연구결과는 B-ISDN과 같은 초고속 네트워크에서의 오류제어는 종전의 ARQ와 같이 재전송으로 인한 전송지연시간이 큰 오류제어 기법보다 FEC에 의한 오류제어 기법이 효과적으로 이용될 수 있음을 입증한다. 이러한 연구결과는 향후 ATM 네트워크에서의 우선순위 제어, 과잉 밀집제어등의 연구에 효율적으로 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 논문은 IP-over-ATM 네트워크에서 신뢰성 있는 IP 패킷의 전달을 위하여 FEC 기법의 효과에 관한 성능을 분석하고 평가한다. IP-over-ATM의 점-대-점 통신과 멀티캐스트 통신환경에서 FEC를 적용한 경우의 IP 패킷 손실율을 분석하기 위해 멀티캐스트 수신자의 수, FEC 프레임 길이, ATM 데이터링크 세그먼트의 셀손실 확률등 여러가지 성능 파라미터를 변화시켜서 분석하였다. IP 멀티캐스트 서비스에서 FEC를 적용하지 않은 경우 멀티캐스트 수신자가 클수록 평균 IP 패킷 손실확률이 크게 나타났다. FEC 기법은 IP-over-ATM 환경에서 신뢰성 있는 IP 전달을 위한 해결책을 제시한다.

참고 문헌

[1] Jean Yves Le Boudec, "The Asynchronous Transfer Mode: a tutorial," Computer Networks and ISDN Systems 24, 1992, pp279-309.

[2] Rainer Handel, Manfred N. Huber, Stefan Schroder, "ATM Networks: Concepts, Protocols, Applications," 2nd Edition, Addison Wesley, 1994.

[3] Hiroshi Ohta, Tokuhiro Kitami, "A Cell Loss Recovery Method Using FEC in ATM Networks," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 9, No.9, Dec. 1991, pp1471-1483.

[4] N. Shacham, "Packet Recovery in High-Speed Networks Using Coding and Buffer Management," Proc. INFOCOM '90, June 1990, pp124- 131

[5] Ernst W. Biersack, "Performance Evaluation of Forward Error Correction in ATM Networks," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 11, No. 4, May. 1993, pp631-640.

[6] E. W. Biersack, "A Simulation Study of Forward Error Correction in ATM Networks," ACM SIGCOMM '92, Vol. 22, Jan. 1992, pp. 36-47.

[7] Hiroshi Ohta, Toduhiro Kitami, "Simulation Study of the Cell Discard Process and the Effect of Cell Loss Compensation in ATM Networks," IEICE Transaction on Communication, Vol. E, No. 10, Oct. 1990, pp.1704-1711.

[8] A.J. McAuley, "Reliable Broadband Communication Using a Burst Erasure Correcting Code," ACM SIGCOMM '90, Vol. 20, Sep. 1990, pp 297-306.

[9] R. Atkinson, "Default IP MTU for use over ATM AAL5," IETF RFC, RFC 1626, May. 1994.

[10] Douglas E. Comer, "Internetworking with TCP/IP," Vol. I, Third Edition, Prentice Hall, 1995.

[11] Hiroshi Esaki, Takeo Fukuda, "Reliable IP Multicast Communication over ATM Networks Using Forward Error Correction Policy," IEICE Transactions on Communications, Vol. E78-B, No. 12, Dec. 1995, pp1622-1637.

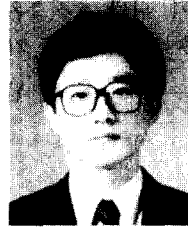
[12] James R. Yee, E. J. Weldon, Jr. , "Evaluation of the Performance of Error-Correcting Codes on a Gilbert Channel," Proc. IEEE ICC '94,

May 1994, pp655-659

[13] Hyotaek Lim, Daehun Nyang, Jooseok Song, "New Sequence Number for AAL 3/4 in ATM Networks," IEICE Transactions on Communications, Vol. E80-B, No. 2, Feb. 1997, pp. 379-380.

임 효 택(Hyo-Taek Lim)

정회원



1962년 11월 22일생

1988년 2월 : 홍익대학교

전자계산학과(학사)

1992년 2월 : 포항공과대학교

전자계산학과(석사)

1997년 8월 : 연세대학교

컴퓨터과학과(박사)

1988년 2월~1994년 3월 : 한국전자통신연구원 통신
시스템연구단 연구원

1994년 3월~현재 : 동서대학교 정보시스템공학부
조교수

<주관심 분야> 통신 프로토콜, 네트워크 관리