

연속 패킷 손실 환경에서 실시간 패킷 전송을 위한 systematic erasure code의 부가 전송량 추정 방법

정희원 육성원*, 강민규**, 김두현**, 신병철***, 조동호*

On Estimation of Redundancy Information Transmission based on Systematic Erasure code for Realtime Packet Transmission in Bursty Packet Loss Environments.

Seong-Won Yuk*, Min-Gu Kang**, Doo-Hyun Kim**, Byung-Cheol Shin*** and
Dong-Ho Cho* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 연속 패킷 손실 환경에서 systematic erasure code를 적용하였을 경우의 손실 복구율에 관하여 분석하고 손실 특성에 따른 부가 전송량의 추정방법에 대하여 제시한다. 연속 패킷 손실환경은 Gilbert 모델로 설정하였고, 기존의 연속 손실 환경에서의 erasure code의 손실 복구율 분석방안을 이용하여 systematic erasure code를 사용하였을 경우의 성능을 분석하고, 평균 패킷 손실율, 손실의 평균 길이 등의 주어진 패킷 손실 특성으로부터 주어진 손실 특성을 만족시키는 부가 전송량의 추정 방법을 제시한다.

ABSTRACT

In this paper, the data recovery performance of systematic erasure codes in burst loss environments is analyzed and the estimation method of redundant data according to loss characteristics is suggested. The burstiness of packet loss is modeled by Gilbert model, and the performance of proposed packet loss recovery method in the case of using systematic erasure code is analyzed based on previous study on the loss recovery in the case of using erasure code. The required redundancy data fitting method for systematic erasure code in the condition of given loss property is suggested in the consideration of packet loss characteristics such as average packet loss rate and average loss length.

* 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 통신정보 시스템 연구실 (swyuk@conis.kaist.ac.kr, dhcho@ee.kaist.ac.kr)

** 한국전자통신연구원 (mgkang@hama.etri.re.kr)

*** 충북대학교 전기전자공학부 (bcshin@cbucc.chungbuk.ac.kr)

논문번호: 99146-0413 접수일자: 1999년 4월 13일

I. 서론

90년대 들어 인터넷의 상용화와 Web의 등장에 따라 인터넷의 사용자가 급속히 증가하고 이용분야가 telnet, ftp 등을 이용한 파일 전송이나 터미널 접속 등 단순한 형태에서 인터넷 폰, 인터넷 방송, 화상회의 등으로 확대되게 되었다. 그에 따라 인터넷에서의 화상회의 같은 대화형 멀티미디어 서비스 시스템에서 패킷의 전송지연 및 손실 등 QoS (Quality of Service)를 만족시키는 전송방법에 대한 필요성이 증가하게 되었다. 인터넷에서의 실시간 멀티미디어 서비스 제공시 오디오 패킷을 전송할 때 TCP에서 사용하는 손실된 부분의 재전송 방법은 전송지연이 큰 단말간의 연결에 적용되면 많은 지연을 발생시킨다. 그러므로 이러한 환경에서 전송시 발생하는 손실을 복원하기 위한 패리티 패킷이나 패킷의 반복 등을 이용하는 FEC(Forward Error Correction)방법이 연구되고 있다^[1]. 외국의 경우 영국의 University College London과 프랑스의 INRIA에서는 음성 패킷의 손실에 대비하여 PCM 데이터와 더불어 ADPCM, LPC 등 low bit rate로 coding한 데이터를 같이 전송하는 방법을 제안 하였으며^[2] Erasure code를 이용하여 패킷 손실을 복원하는 방법 등이 연구되고 있으나 부가 전송량의 제어 방법에 대한 연구는 미비한 실정이다.

본 논문에서는 연속 손실 환경에서의 부가 전송량의 제어 방법을 제안하는데, 서론에 이어 2장에서는 전송 지연, 손실 등 실시간 오디오 전송을 위한 QoS 요구사항과 인터넷에서의 패킷손실 특성 및 기존의 패킷손실 복원방법등에 관하여 기술하고, 3장에서는 연속 손실 특성을 on-off Markov chain으로 모델링 한 Gilbert 모델에 대한 설명과 이러한 환경에 systematic erasure code를 사용하였을 경우에 패킷의 손실 복원율과 계산된 복원율을 이용한 부가 데이터의 계산 방법에 대하여 기술하며, 마지막으로 4장에서는 결론을 기술한다.

II. 인터넷에서의 패킷손실 복구 방법

인터넷을 기반으로 한 실시간 데이터 전송에서 고려하여야 할 사항은 지연 및 손실 특성인데 대화형 오디오 데이터 전송시 요구되는 조건은 음질과 지연 시간이다^[3]. 우선 지연시간에 관한 요구 조건을 먼저 살펴보면, 지연시간이 0에서 150 msec인

경우에는 거의 모든 서비스에 적합하게 사용될 수 있고, 150에서 400 msec인 경우에는 전송지연이 발생된 것을 서비스 사용자가 인지하고 있을 때에 한해서 사용가능하며 400 msec 이상인 경우에는 대화형 서비스로서 적합하지 않은 것으로 알려져 있다^[4]. 그리고 손실에 관한 요구조건을 살펴보면 PCM으로 샘플링한 오디오 데이터의 경우에는 손실이 1 % 미만이어야 시외통화 정도의 음질을 가진다. 인용의 예를 살펴본다^[1]. 다음의 보기를 참조한다. 통신공학은 매우 중요한 학문 분야이다^[2].

이러한 조건을 만족시키기 위해 손실된 데이터의 재전송, Hybrid ARQ, 부가 오디오 정보 전송, Erasure code를 이용하는 방법 등이 사용되고있다. 재전송 방법은 손실된 패킷을 재전송하여 패킷손실을 가장 확실하게 복구해 줄 수 있는 방법인데 이 방법은 재전송까지 걸리는 시간때문에 비교적 지연에 민감하지 않은 비 대화형 서비스에 사용될 수 있지만 대화형서비스에 적용하기가 힘들다. 그리고 패킷손실이 많은 상황에서 재전송 방법을 적용하면 데이터를 여러번 보내야 할 뿐 아니라 재전송 요청을 위한 부가적인 제어정보의 전송이 필요하므로 많은 대역폭이 사용된다. 그리고 Hybrid ARQ는 패킷손실이 한꺼번에 많이 발생할 경우에 유리하며 ARQ 방법과 FEC 방법을 함께 사용하는 방법으로서 실시간 데이터 전송시 RTT(Round Trip Time)이 작은 경우에 사용할 수 있다. Hybrid ARQ type II에서는 재전송시 패리티 패킷을 전송하며 type I에서는 초기 전송시에 FEC를 첨가하여 전송하고 손실된 패킷에 대해서는 ARQ 방법을 사용한다. 특히 Hybrid ARQ type II 방법은 대역폭을 절약할 수 있으므로 multicast에서 유용하게 쓰일 수 있다. 부가 오디오 정보를 전송하는 방법은 오디오의 압축방법을 이용하여 좀더 효과적으로 패킷 손실을 복원하는 방법인데 손실 복원을 위해서 부가 오디오 정보를 오디오 패킷에 첨가하는 방법이다^[5]. 이때 사용되는 정보는 패킷의 손실이 없는 경우에는 불필요한 정보지만 패킷이 손실되었을 경우 손실을 복구하는데 사용된다. 이 방법은 대역폭을 많이 절약할 수 있지만 복잡도가 증가하는 단점이 있다. 또한 이 방법을 RTP에서 적용하는 방법이 제시되어 있다^[7]. Erasure code를 이용하는 방법은 오디오, 비디오 등 미디어의 종류에 독립적으로 사용되는 FEC 방법인데^[8] 이 방법은 데이터 패킷 몇개를 하나의 TG(Transmission Group)으로 묶어서 linear block code^[9]를 적용하여 부가 패킷을 첨가하는 방

법이다. Coding block의 단위인 TG은 데이터 패킷과 부가 FEC 패킷으로 구성된다. 기존의 linear block code는 오류여부와 손실의 복구를 위해 사용되어 왔으나 패킷 데이터 전송에서는 RTP의 sequence number를 이용하여 손실의 위치를 알 수 있으므로 손실의 복구를 위해 사용된다. 부가 패킷은 수학적 방법을 이용하여 생성되는데 가장 간단한 경우는 XOR 방법을 이용하여 패리티 패킷을 만드는 경우이다.

Erasure code의 기본원리를 설명하면, 전체 TG의 크기를 n 이라 하고 하나의 TG에는 k 개의 데이터 패킷이 포함된다고 하면 $n-k$ 개의 부가 패킷이 TG에 포함되며 이렇게 coding하는 방식을 (n,k) code라 부른다. 그리고 수신측에서는 n 개의 encoding된 패킷 중 임의의 k 개 패킷만 가지고도 k 개의 원래 데이터 패킷을 복원할 수 있다. 그림 1은 encoding과 decoding의 과정을 나타낸 것이다.

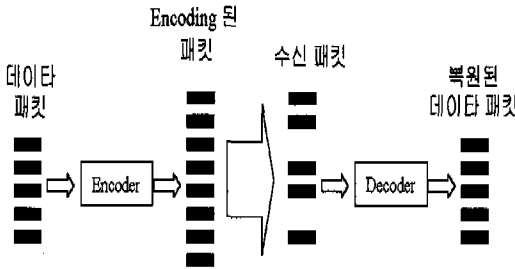


그림 1. Erasure code 에서의 encoding/ decodig 과정

Erasure code를 이용한 FEC 방법은 미디어에 독립적인 방법이기 때문에 정확히 모든 데이터를 복구 해낼 수 있어서 효과적이다. 그러나 부가 오디오 전송 방법에 비하여 처리 방법이 상대적으로 간단한 대신 대역폭을 더 많이 필요로 하는 단점을 가지고 있으며 block coding에 따른 지연이 부가 오디오 전송 방법의 경우보다 크다.

III. 연속 패킷 손실환경에서의 systematic erasure code를 이용한 손실의 복구

1. Uniform 모델 및 Gilbert 모델

패킷손실의 연속적인 특성을 나타내기 위한 Gilbert 모델을 설명하기 전에 uniform분포를 가지는 패킷손실 모델을 먼저 설명한다. 각각의 패킷이 p 의 확률로 손실 되고 $1-p$ 의 확률로 손실 되지 않

는다고 가정하는 것이 uniform 모델인데 이 경우 각각의 패킷손실이 어떠한 correlation 도 가지고 있지 않기 때문에 실제 모델과는 차이가 나지만 패킷 손실이 심하지 않고 전송되는 패킷 사이의 시간 간격이 큰 경우 uniform 패킷손실로 가정할 수 있다. (n,k) erasure code를 사용하여 패킷을 전송하고 각각의 패킷손실 확률이 p 로 uniform한 경우 수신측에서 n 개의 패킷 중 k 개 이하를 수신하여 TG (Transmission Group)이 손실될 확률 $L(k,n,p)$ 는 식 1과 같이 주어진다⁶⁾.

$$L(k,n,p) = p \left(1 - \sum_{j=0}^{n-k} \binom{n-1}{j} p^j (1-p)^{n-j-1} \right) \quad (1)$$

또한 uniform 모델에서 연속되는 패킷손실의 길이가 n 일 확률은 $p^n(1-p)$ 이고 패킷손실의 평균 길이는 $(1-p)^{-1}$ 이다.

평균 패킷손실 확률은 uniform분포와 같으나 연속되는 패킷손실의 길이가 uniform 분포와 다른 경우 즉, 평균 패킷손실 확률은 p 이지만 손실의 평균 길이가 $(1-p)^{-1}$ 이 아닌 경우 Gilbert 모델을 적용할 수 있다¹¹⁾. Gilbert 모델은 그림 2와 같이 손실과정을 일종의 on-off Markov process로 모델링한 경우이다.

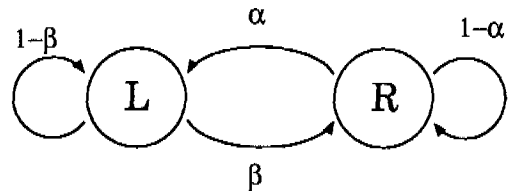


그림 2. Gilbert 모델의 state transition diagram

그림 2에서 L 상태는 패킷이 손실되고 있는 상태이고 R 상태는 패킷이 손실 되지 않는 상태이다. 그리고 $1-\beta$ 는 패킷이 손실 되었을 때 그 다음 패킷도 손실될 조건부 확률이며 $1-\alpha$ 는 손실 없이 패킷을 수신하였을 때 그 다음 패킷도 손실 없이 받을 확률이다. 임의의 패킷이 손실될 확률은 L에 머무르는 평균 시간을 L에 머무르는 평균시간과 R에 머무르는 평균시간의 합으로 나누어 식 2와 같이 구할 수 있다.

$$P(\text{Loss}) = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} \quad (2)$$

그리고 패킷손실의 평균길이는 L 상태에 머무르는 평균 시간인데 식 3과 같이 주어진다.

$$E(\text{Loss Burst}) = \frac{1}{\beta} \quad (3)$$

평균 패킷손실 확률과 패킷손실의 평균길이를 알 수 있다면 Gilbert 모델에서의 상태 전이 확률은 위의 식들을 이용하여 쉽게 구할 수 있다.

Gilbert 모델을 이용하여 (n,k) erasure code에서 n개의 TG 패킷 중 k개 이하의 패킷만 전송 받아 패킷을 완전히 복구하지 못할 확률을 구하기 위하여 우선 D(m,n)을 m 개의 패킷을 전송하여 n 개를 받을 확률이라 하고, D(m,n,L)을 m 개의 패킷을 전송하여 n 개를 받았는데 현재 상태가 L일 확률이라 하며, D(m,n,R)을 m 개의 패킷을 전송하여 n 개를 받았는데 현재 상태가 R일 확률로 정의하면 식 4, 5, 6과 같은 관계식이 성립한다^[11].

$$D(m,n,L) = D(m-1,n,L)(1-\beta) + D(m-1,n,R) \alpha \quad (4)$$

$$D(m,n,R) = D(m-1,n-1,L) \beta + D(m-1,n-1,R)(1-\alpha) \quad (5)$$

$$D(m,n) = D(m,n,L) + D(m,n,R) \quad (6)$$

위의 관계식을 이용하면 재귀적으로 손실 확률을 구할 수 있는데 손실 확률에 대한 관계만 기술되어 있으므로 boundary condition이 필요하다. Boundary condition은 식7, 8, 9, 10과 같다.

$$D(n,n,L) = 0 \quad (7)$$

$$D(n,n,R) = p_R(1-\alpha)^n + p_L \beta(1-\alpha)^{n-1} \quad (8)$$

$$D(n,0,L) = p_R \alpha(1-\beta)^{n-1} + p_L(1-\beta)^n \quad (9)$$

$$D(n,0,R) = 0 \quad (10)$$

위의 식에서 $p_L = \alpha / (\alpha + \beta)$ 은 L상태에 있을 확률이며 $p_R = 1 - p_L$ 은 R 상태에 있을 확률이다.

(n,k) erasure code를 사용하는 경우 n 개의 패킷중 k 개 이하를 수신할 확률은 식 11과 같다.

$$P(\text{Loss}) = \sum_{i=0}^{k-1} D(n,i) \quad (11)$$

연속되는 패킷손실을 표현하기 위해 사용되는 Gilbert 모델은 uniform하게 패킷손실을 모델링하는 방법에 비하여 burstiness특성을 잘 표현할 수 있으며 비교적 간단한 모델이기 때문에 연속적으로 발생하는 손실환경에 대한 FEC 알고리즘의 검증에 유용하게 사용될 수 있다.

2. 연속손실 환경에서의 부가 전송량 계산

Erasure code를 이용한 패킷전송 방법에서 가장 중요한 부분은 손실특성을 이용하여 code의 rate를 결정하는 부분인데 code rate를 결정하기 위해서는 손실특성에 따른 erasure code의 복구율을 알아야 한다. 본 논문에서 제시하고자 하는 방법은 systematic erasure code를 이용하여 패킷손실을 복구하는 것이다. 그리고 systematic code가 아닌 일반적인 erasure code를 패킷손실이 연속적으로 발생하는 환경에 적용했을 때의 손실 확률은 기존의 연구결과에 도출되어 있으므로 기존의 연구결과로부터 systematic erasure code를 연속 손실 환경에 적용했을 때의 패킷 손실 확률을 구할 수 있다^[11].

그림 3과 같이 TG의 크기가 n이고 그 중 데이터 패킷의 개수가 k 인 경우 데이터 패킷이 손실되고 decoding 과정에서 복구되지 않으려면 전송 과정 중 데이터 패킷이 손실되고 손실된 데이터 패킷을 복구하지 못할 정도로 같은 TG내의 다른 패킷이 손실되어야 한다.



그림 3. TG의 구성

데이터 패킷이 손상될 평균 확률은 TG중 1 ~ k 번째까지의 데이터 패킷이 손상되고 TG의 나머지 패킷이 n-k개 이상 손상되어 복구하지 못할 평균 확률인데 이것을 수식으로 나타내면 식 12와 같다.

$$P_{DL} = \frac{1}{k} \sum_{l=1}^k P_{Ll} \quad (12)$$

식 12에서 P_{Li} 는 i 번째 패킷이 손실되고 복구되지 못할 확률인데, 이 확률은 i 번째 패킷이 손상되고 전체 TG에서 수신한 패킷의 개수가 $k-1$ 개 이하일 확률과 같다. 그러므로 이값을 식 7 ~ 10에서 유도한 i 개의 패킷 중 j 개를 수신하고 마지막 패킷이 손실될 확률인 $D(i,j,L)$ 을 이용하여 정리하면 식 13과 같다.

$$P_{Li} = \sum_{j=0}^{i-1} D(i,j,L) D^*(i,j,k,n) \quad (13)$$

식 13에서 $D^*(i,j,k,n)$ 은 (n,k) code를 사용하는 환경에서 i 번째 패킷이 손상되고 i 개 이전에 j 개의 패킷이 손상될 확률인데 이 확률은 두가지 경우로 나누어 진다. 우선 i 개 이전에 손실된 패킷의 개수가 많아서 i 개 이후의 모든 패킷을 손실없이 수신한다고 하더라도 복구를 하지 못하는 경우, 즉 $j+n-1$ 가 k 보다 작은 경우에는 이후에 손상되는 패킷의 숫자에 관계없이 패킷을 복원하지 못하므로 $D^*(i,j,k,n)$ 은 1이 된다. 그리고 $j+n-1$ 가 k 와 같거나 큰 경우 Gilbert 모델의 손실 과정이 time-reversible 이므로 $D(i,j,L)$ 과 임의의 패킷이 손상될 확률인 p_L 을 이용하여 식 14와 같이 $D^*(i,j,k,n)$ 을 나타낼 수 있다.

$$D^*(i,j,k,n) = \sum_{l=0}^{k-i-1} \frac{D(n-i,l,L)}{p_L} \quad (14)$$

두 가지 경우를 고려하여 $D^*(i,j,k,n)$ 을 나타내면 식 15와 같다.

$$D^*(i,j,k,n) \begin{cases} 1 & , \text{if } j+n-i < k \\ \sum_{l=0}^{k-i-1} \frac{D(n-i,l,L)}{p_L} & , \text{otherwise} \end{cases} \quad (15)$$

복원후의 패킷 손실 확률을 식 15를 이용하여 나타내면 식 16 과 같다.

$$P_{DL} = \frac{1}{k} \sum_{i=0}^{k-1} \sum_{j=0}^{i-1} D(i,j,L) D^*(i,j,k,n) \quad (16)$$

식 16은 TG의 크기가 n 이고 TG내에서 데이터 패킷의 개수가 k 개일 때 패킷의 평균 손실과 평균 손실 burst가 주어진 환경에서의 수신단에서 decoding 후의 손실 확률이다. 그러므로 식 16을

이용하면 손실 특성 및TG내에서 데이터 패킷의 개수 k 가 주어진 환경에서 허용 최대 손실율을 만족시키는 n 값을 구할 수 있다.

식16을 검증하기 위하여 이론적으로 계산된 패킷 손실율과 simulation을 이용하여 구해진 패킷 손실율을 비교한 결과가 그림 4에 나타나 있다.

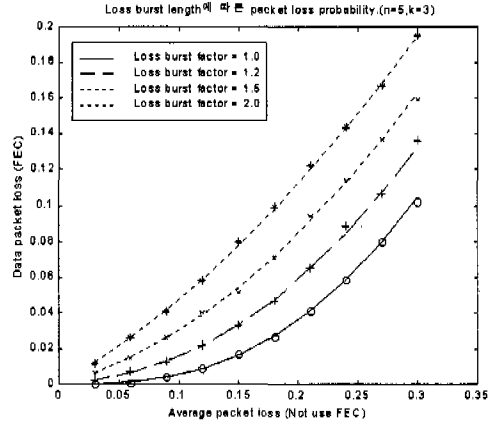


그림 4. Loss burstiness에 따른 데이터 패킷의 손실율

그림 4는 네트워크에서의 패킷 손실을 Gilbert 모델로 가정 하였을 때 네트워크에서의 평균 패킷 손실율과 손실의 길이에 따른 데이터 패킷의 손실율 나타낸 그래프이다. 이때 사용된 erasure code는 데이터 패킷 3개당 패리티 패킷 2개를 첨가 하는 (5,3) code라고 가정한다. 패킷 손실의 연속성은 loss burst factor로 나타냈는데 loss burst factor는 uniform loss일때의 평균 loss burst의 길이를 1로 하였을 때의 상대적인 평균 loss burst의 길이를 나타낸 것이다. 그림 4에서 선으로 표기된 것은 수치적인 분석 결과이고 기호로 표기된 것은 simulation 결과이다. 그림 4에서 알 수 있듯이 네트워크에서의 패킷 손실율이 동일한 경우에도 평균 손실의 길이가 큰 경우 손실이 상당히 증가함을 알 수 있다. 예를 들어 (5,3) erasure code를 네트워크에서의 패킷 손실율이 12%인 경우에 적용하더라도 손실의 특성이 uniform loss인 경우, 즉 loss burst factor가 1인 경우, 수신단에서의 데이터 패킷의 손실율이 0.9% 였으나, 손실의 평균길이가 uniform loss의 두배인 경우, 즉 loss burst factor가 2인 경우, erasure code를 이용하여 복구하더라도 5.9%의 손실이 발생하였다. 그러므로 평균 손실율과 더불어 손실의 평균 길이를 고려하여 erasure code를 사용하는 것이

중요함을 알 수 있다. 그리고 평균 손실 burst가 상당히 긴 경우에는 erasure code를 사용하여도 손실을 거의 복원할 수 없는데 그 경우가 그림 5에 나타나 있다.

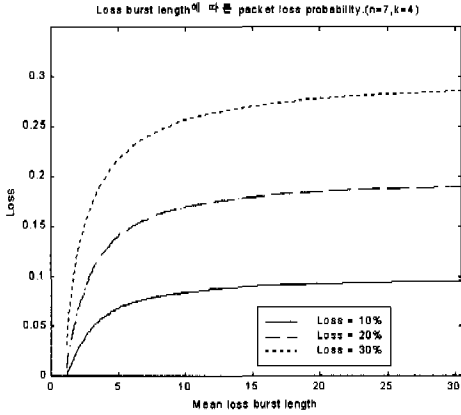


그림 5. 평균손실 burst의 길이에 따른 패킷 손실율

그림 5는 평균손실 burst의 길이가 긴 경우에 수신단에서 decoding한 후의 패킷 손실율인데 erasure code를 사용하더라도 손실의 평균길이가 길어짐에 따라서 네트워크에서의 패킷 손실율에 근접함을 알 수 있다. 그림 5의 경우를 살펴보면 네트워크에서의 패킷의 손실율이 10%인 경우 (7,4) erasure code를 사용하더라도 평균 손실의 길이가 30이면 9.6%의 손실이 발생함을 알 수 있다. 또한 같은 양의 redundancy를 첨가하더라도 TG의 크기가 증가함에 따라 손실율이 저하되는데 그 예가 그림 6에 나타나 있다.

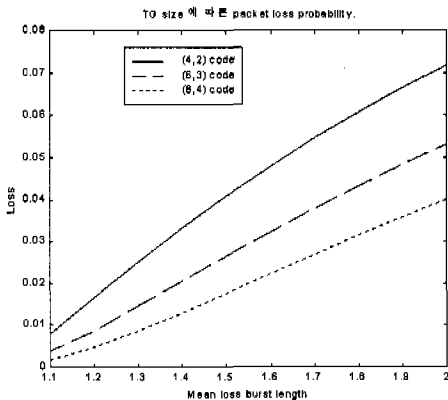


그림 6. TG의 크기에 따른 데이터 패킷의 손실율 (Loss=20%)

그림 6에서 볼 수 있듯이 TG의 크기가 증가함에 따라 수신단에서의 패킷 손실율이 감소한다. 네트워크의 손실율이 20%인 경우에 (4,2), (6,3), (8,4) erasure code를 적용한 경우인데, 세가지 경우 모두 음성 패킷의 100%에 해당하는 부가 데이터를 전송하지만 TG의 크기가 4,6,8로 증가함에 따라 손실이 감소함을 알 수 있다. 그러나 TG의 크기가 증가하고 TG내에서 데이터 패킷이 증가함에 따라 decoding 지연이 증가하므로 적절히 조절하는 것이 필요하다.

- 표 1. 네트워크에서의 손실 특성에 따른 필요 TG의 크기
- (a) 허용 데이터 패킷손실이 1% 이내일때의 TG의 크기 (k = 3)
 - (b) 허용 데이터 패킷손실이 3% 이내일때의 TG의 크기 (k = 3)
 - (c) 허용 데이터 패킷손실이 5% 이내일때의 TG의 크기 (k = 3)

(a)

길이 손실율	1.1	2.1	3.1	4.1	5.1	6.1
0.1	5	8	11	13	15	18
0.2	6	10	13	16	19	-
0.3	7	11	15	19	-	-
0.4	7	13	17	-	-	-

(b)

길이 손실율	1.1	2.1	3.1	4.1	5.1	6.1
0.1	4	6	8	9	10	11
0.2	5	8	10	12	14	16
0.3	6	9	12	14	17	19
0.4	7	10	13	16	19	-

(c)

길이 손실율	1.1	2.1	3.1	4.1	5.1	6.1
0.1	4	5	6	7	8	8
0.2	5	7	8	10	11	13
0.3	6	8	10	12	14	16
0.4	6	9	12	14	16	18

식 16을 이용하여 평균 패킷손실 확률과 패킷손실의 평균 길이를 이용하여 주어진 target loss rate를 만족하는 TG의 크기를 구할 수 있다. 우선 패킷손실에 대한 피드백 정보를 이용하여 a , b 를 구한 후 TG의 크기인 n 값을 증가시켜 가면서 주어진 n 값에 대하여 식 16을 이용하여 복구후의 손실율을 구한다. 이때, 손실율이 target loss rate 이하가 되는 n 값이 주어진 target loss rate를 만족시키는

TG의 크기이다. 이때 부가전송량은 $n-k$ 이다. 식 16을 이용하여 네트워크의 손실 특성에 따라 허용 패킷 손실을 수용할 수 있는 TG의 크기가 표 1에 나타나 있다. 표 1을 살펴보면 $k=3$ 이고 허용 데이터 패킷의 손실이 1% 이내 일때 10%의 채널 패킷 손실이 발생하면 TG의 크기를 5로 하여야 됨을 알 수 있다. 또한 허용 패킷 손실이 증가 할수록 TG의 크기를 증가시켜야 함을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 인터넷과 같이 패킷 손실이 연속적으로 발생하는 환경에서 비디오, 오디오등의 실시간 패킷을 전송하는 상황에서 systematic erasure code를 이용한 손실 복원시 부가 전송량을 제어하는 방법을 제시하였다. 패킷의 손실은 on-off Markov process인 Gilbert 모델을 이용하여 모델링 하였을 때 systematic erasure code를 사용하는 경우의 패킷 손실 확률을 계산하였으며, 이 방법을 이용하여 연속손실 환경에 주어진 손실율을 만족시키는 부가전송량을 구했다. 수치적인 결과에서 알 수 있듯이 평균 패킷 손실율이 같은 경우라 할지라도 연속 손실율이 높은경우의 손실율이 높아짐을 알 수 있었고 연속 되는 패킷의 손실이 많은 경우 TG의 크기를 증가시켜 주는 것이 효과적임을 알 수 있었다. 동일한 형식으로 결론을 작성한다.

본 논문에서 제시된 systematic erasure code의 부가 전송량 추정방법은 인터넷을 이용한 화상회의나 인터넷 폰 등 다양한 분야에서 패킷 손실 복원을 위해 사용하고 있는 erasure code의 부가 전송량의 계산에 효율적으로 활용될 수 있다.

참고 문헌

[1] George Carle, Ernst W. Biersack, "Survey of Error Recovery Techniques for IP-Based Audio-Visual Multicast Applications", IEEE Network, pp.24-36, Nov./Dec. 1997.

[2] Perkins, C., Kouvelas, I., Hodson, O., Hardman, V., Handley, M., Bolot, J-C., Vega-Garcia, A., and S. Fosse-Parisis, "RTP Payload for Redundant Audio Data", IETF RFC 2198, Sep. 1997.

[3] C. Perkins, O. Hodson, "Options for Repair of

Streaming Media", IETF RFC2354, Jun. 1998.

[4] ITU-T Recommendation G.114, Transmission system and media general characteristics of international telephone connections and international telephony circuits, Feb. 1996.

[5] J.-C. Bolot and A. Vega-Garcia. The case for FEC based error control for packet audio in the Internet., To appear in ACM Multimedia Systems.

[6] J. Nonnenmacher, E. Biersack, D. Towsley, Parity-based loss recovery for reliable multicast transmission., ACM SIGCOMM'97, Cannes, France, pp.289-300, Sep. 1997.

[7] H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, V. Jacobson, "RTP: A transport protocol for real-time applications", IETF RFC 1889, Jan. 1996.

[8] luigi Rizzo, "Effective Erasure Codes for Reliable Computer Communication Protocols", ACM Communication Review, Vol.27, No.2, pp.24-36, Apr. 1997.

[9] Shu Lin, Danel J. Costello Jr., Error Control Coding : Fundamentals and Applications, Prentice Hall, 1983

[10] J. Rosenberg, H. Schulzrinne. An RTP Payload Format for Generic Forward Error Correction., Internet draft draft-ietf-avt-fec, Sep. 1997.

[11] Dan Rubenstein, Jim Kurose, Don Towsley, "Real-Time Reliable Multicast Using Proactive Forward Error Correction", UMASS CMPSCI Technical Report : 98-19, 1998.

육성원(Seong-Won Yuk)

준회원



1990년 2월 : 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1992년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)

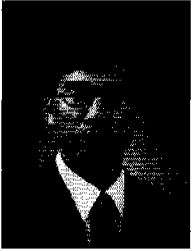
1992년 10월 ~ 현재 : 한국전기통신공사 연구개발본부 연구원

1997년 3월 ~ 현재 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사과정

<주관심 분야> 데이터 네트워크, 이동통신, 인터넷

강 민 규 (Min-Gyu Kang)

정회원

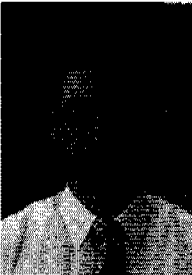


1984년 2월: 경기대학교 전자
계산학과(이학사)
1986년 2월: 중앙대학교 대학원
컴퓨터 공학과(이학석사)
1999년 8월: 아주대학교 대학원
컴퓨터공학과(공학박사)
1994년~1995년: Stanford
Research Institute
객원 연구원

1988년~현재: 한국전자통신연구원 선임연구원
<주관심 분야> 인터넷 실시간 전송, 컴퓨터 네트워크, 멀티미디어 그룹웨어

김 두 현 (Doo-Hyun Kim)

정회원

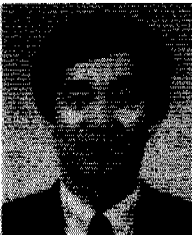


1985년 2월: 서울대학교
컴퓨터공학과(공학사)
1987년 2월: 한국과학기술원
전산학과(이학석사)
1993년 12월: 정보처리기술사
1987~현재: 한국전자통신연구원
책임연구원 멀티미디어
그룹웨어연구팀장

<주관심 분야> 인터넷 실시간 전송, 컴퓨터 네트워크, 멀티미디어 그룹웨어

신 병 철(Byung-Cheol Shin)

정회원



1975년 2월: 서울대학교
전기 공학과(공학사)
1977년 2월: 한국과학기술원
전기 및 전자공학과
(공학석사)
1984년 8월: 한국과학기술원
전기 및 전자공학과
(공학박사)

1977년 2월~1980년 2월: 한국전자통신연구원 연구원.

1987년 3월~1988년 2월: SRI International, CA., U.S.A.에서 Post Doc. 연수.

1995년 9월~1996년 8월: Rutgers Univ., NJ., U.S.A.에서 연가.

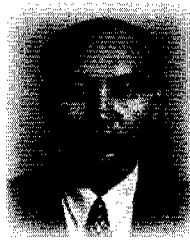
1984년 9월~1998년 8월: 한국과학기술원 부교수.

1998년 8월~현재: 충북대학교 전기전자공학부

<주관심 분야> 무선/이동 통신, Multimedia 통신, 고속/ ATM 네트워크.

조 동 호(Dong-Ho Cho)

정회원



1979년 2월: 서울대학교
전자 공학과(공학사)
1981년 2월: 한국과학기술원
전기 및 전자공학과
(공학석사)
1985년 2월: 한국과학기술원
전기 및 전자공학과
(공학박사)

1985년 3월~1987년 2월: 한국과학기술원 통신공학
연구실 선임연구원

1987년 3월~1989년 12월: 한국과학기술원 통신공
학연구실 위촉연구원

1987년 3월~1998년 1월: 경희대학교 전자계산공학
과 조교수, 부교수, 교수

1989년 9월~1995년 7월: 경희대학교 전자계산소
소장

1998년 2월~현재: 한국과학기술원 전기 및 전자공
학과 부교수

<주관심 분야> 전자공학, 통신공학, 네트워크