

전송시간의 변화가 큰 네트워크에서 이레이저 코딩을 적용한 긴급 데이터 전송 방법 및 성능 분석

이구연*, 이 용**

요 약

본 논문에서는 전송시간의 변화가 큰 네트워크 환경에서 이레이저 코딩을 이용한 종단간, M 개의 패킷으로 구성된 긴급 메시지의 전달 지연 단축 기법을 제안한다. 제안된 기법에서는 전송할 M 개의 긴급 패킷들을 g 개의 패킷으로 구성된 b 개의 그룹으로 분할하고, 각 그룹에 대하여 r 개의 리던던시 패킷이 추가된 이레이저 코딩을 수행한 후 전송한다. 각 그룹은 $g+r$ 개의 패킷 중에서 g 개의 패킷이 도착하면 복구가 되며, 모든 그룹이 목적지에 도착하면, 전체의 긴급 메시지가 전달된다. 이레이저 코딩을 적용하게 되면 전달 지연은 단축이 되나, 추가적인 패킷 전송 및 코딩과 디코딩과정으로 인한 비용이 발생하게 되므로, 이러한 추가적인 전송비용을 고려하여 제안 기법의 최적 그룹 수 및 리던던시 패킷의 수에 대한 분석을 수행한다. 분석 결과로부터 제안된 기법은 전송시간의 변화가 큰 네트워크에서 큰 효과를 내며, 특히 긴급한 메시지의 전송이 필요할 때 유용함을 알 수 있다.

키워드 : 종단간 지연 단축, 이레이저 코딩, 전송 그룹 사이즈, 전송비용

Expediting Data through Erasure Coding in Networks with High Coefficient of Variation of Transfer Time

Goo Yeon Lee*, Yong Lee**

Abstract

In this paper, we focus on end-to-end transfer delay improvement by using erasure coding when delivering expediting message consisting of M packets in networks with high coefficient of variation of transfer time. In the scheme, M packets are divided into b groups with each having g packets. Each group is erasure coded with additional r packets and transmitted. Since the first arrived g packets among $g+r$ packets completes the delivery of the group, the delivery time of the expediting message is reduced. For the scheme, we investigate the optimum group size and number of redundancy packets considering delivery delay reduction and additional transmission cost caused by using erasure coding. From the results of the investigation, we see that the proposed scheme is effective in networks having high variability of transfer time and would be very useful and practical especially for the case that expedited deliveries of messages are needed.

Keywords : end-to-end delay reduction, erasure coding, group size, delivery cost

1. 서 론

※ 교신저자(Corresponding Author): Goo Yeon Lee
접수일:2013년 11월 07일, 수정일:2013년 12월 07일
완료일:2014년 03월 08일
* 강원대학교 컴퓨터정보통신공학전공 교수
Tel: +82-33-250-6394, Fax: +82-33-252-6390
email: leegyeon@kangwon.ac.kr

** 강원대학교 연구원

▣ 이 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국
연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.

네트워크의 전송 효율 향상에 관한 방법들 중
이레이저 코딩 및 네트워크 코딩 기법은 네트워
크 계층 영역에서 많이 연구되어지고 응용되어

NRF-2011-0013951). 또한 2013년도 강원대학교 학
술연구조성비로 연구하였음(과제번호-120131306)

저 온 분야이다. 그러나 두 기법은 기본적으로 적용 영역 및 성격에서 차이를 보인다. 네트워크 코딩에 대한 연구는 주로 네트워크 운영의 효율성과 용량 증가 등의 측면을 다루어 왔으며, 네트워크 내부의 노드들 간의 관계에서 다루어지고 있다. 그러나 네트워크의 내부 노드를 수정하지 않으면서, 종단간 전달 지연 시간 향상과 관련된 목적에 대하여서는 소스 노드와 목적지 노드사이에서 이루어지는 이레이저 코딩이 보다 효과적이다.

유선망이나 셀룰러 망처럼, 안정된 전송시간을 갖거나 전송시간의 변화가 작은 네트워크에서는 이레이저 코딩의 적용으로 인한 메시지 전달 시간 향상이 크게 기대되지 않는다. 반면에 애드혹 네트워크나 센서 네트워크처럼 전송시간의 변화의 폭이 큰 네트워크에서는 이레이저 코딩을 사용할 경우 메시지 전달 시간의 향상이 클 것으로 기대된다. 따라서 이레이저 코딩을 적용할 경우의 메시지 전달시간의 향상에 대한 연구가 필요하며, 특히 이런 연구 결과는 노드들이 항상 이동하고 이에 따라 전송 시간의 변화가 큰 애드혹 네트워크 및 sparse 무선 네트워크의 설계에 유용할 것이다.

이에 본 논문에서는 이레이저 코딩을 이용한 메시지 전달 시간 단축 기법을 제안하고 그 성능을 분석한다. 제안된 기법이 적용할 경우의 예를 들면 다음과 같다. 한 소스 노드가 전송시간의 변화가 큰 네트워크를 통해 목적지 노드로 긴급 메시지를 보내고자 한다. 그 메시지는 M 개의 패킷으로 구성되어 있고, 이 메시지의 기대 전달시간은 네트워크의 일반적인 평균 전달 시간보다 훨씬 빨라야 한다고 가정하자. 소스 노드는 이 M 개의 패킷을 g 개의 패킷으로 구성된 b 개의 그룹으로 나누고 이레이저 코딩을 통하여 각 그룹에 r 개의 리던던시 패킷을 부가하여 함께 목적지 노드에게 전송한다. 목적지 노드에서는 그룹내의 $g+r$ 개의 패킷 중에 g 개의 패킷이 도착하면 그 그룹을 복구할 수 있게 된다. 이때 먼저 도착한 g 개 패킷의 전송 시간은 일반적인 해당 그룹의 전송시간보다 짧을 것이다. 이와 같은 과정으로 모든 그룹이 목적지에 도착하게 되면, 전체 메시지의 전달시간도 제안하는 기법을 사용하지 않을 경우보다 단축될 것이다.

이와 같은 전달시간의 단축은 리던던시 패킷

의 추가로 인한 네트워크 자원의 추가 사용으로 인하여 얻어진다. 이러한 네트워크 자원의 추가 사용은 소스 노드가 네트워크에 지불하는 전송비용의 증가로 이루어진다. 따라서 이레이저 코딩으로 인한 네트워크 전달 시간의 감소와 전송비용의 증가는 트레이드오프 관계에 있게 된다. 이에 본 논문에서는 이러한 환경에서 위의 트레이드오프에 대한 최적의 그룹 사이즈 및 리던던시 패킷의 수를 분석하고자 한다.

2. 관련 연구

이레이저 코딩 및 네트워크 코딩으로 인한 지연시간 개선에 대한 연구는 주로 코딩으로 인한 지연을 최소화하는 방향으로 진행되어 왔으며 [1][2][3][4], 소스 노드 또는 네트워크 내부의 노드에서의 코딩과 디코딩 수행시간을 줄여서 네트워크 처리율을 향상시키기 위한 연구들이 대부분이다 [1][4][5][6][7]. [5]에서는 소스 노드에서 긴 메시지에 코딩을 적용시킬 때의 최적의 패킷 사이즈 및 리던던시를 연구하였으며, Cleju 등은 오버레이 네트워크에서 이레이저 및 네트워크 코딩을 수행하는 노드들을 가정하여, 패킷의 전송 속도를 높이고 패킷 전송 지연이 작게 유지되도록 하는 방법을 제시하였다.

[1][2][8] 등의 논문에서는 처리율과 코딩 지연 사이의 관계에 대하여 연구하였다. 이 논문들은 주로 코딩 알고리즘을 개선하여 코딩 지연을 감소시키거나, 코딩 스케줄링을 제어하여 코딩 지연을 줄이는 방법에 대하여 연구하였다.

[1]에서는 전통적인 스케줄링 방법과 비교하여 코딩을 이용할 경우의 지연 성능에 대하여 관찰하고 이를 개선하기 위한 정책들을 제안하였으며 지연 분석을 위해 필요한 지연 표현 방법을 제안하였다. 그리고 적절한 점근적인 값의 시스템 변수들로 코딩과 스케줄링을 이용하여 지연 성능이 좋아짐을 보여주었다. 저자들이 보여준 결과는 신뢰성 없는 네트워크에서 코딩을 이용할 경우 유효한 지연 개선 효과를 가질 수 있음을 나타낸다.

Swapna 등은 랜덤 선형 네트워크 코딩(random linear network coding)에서 디코딩 지연 성능과 처리율을 수신자의 수와 관련하여 분

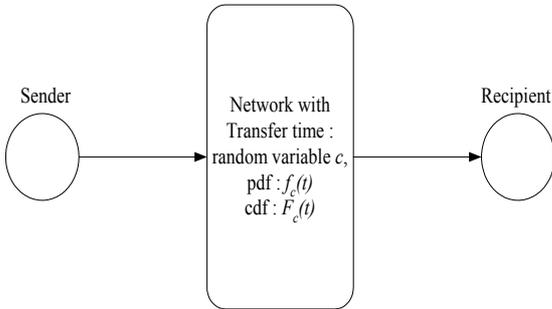
석하였다[2]. [8]에서는 다양한 노드 이동성을 갖는 네트워크에서 네트워크 코딩의 처리율과 지연사이의 트레이드오프에 대하여 연구하였다.

Wu 등과 Prasad 등은 지연 측면에서 네트워크 내에서의 네트워크 코딩의 이점을 살펴보았다 [9][4]. 또한 [10][11]에서는 코딩 지연의 모델링 방법을 보여주고 있다. Dikaliotis 등은 패킷 이레이저 네트워크에서 코딩을 사용할 경우의 지연 향상 효과에 대하여 분석하였다[12].

3. 분석 모델

송신 노드(sender)가 수신 노드(recipient)에게 메시지를 보내는 경우를 가정하자. 송신노드와 수신 노드의 시각에서는 두 노드사이에 (그림 1)과 같은 전달 네트워크가 있는 것으로 모델링할 수 있다.

(그림 1) 이레이저 코딩을 적용한 전송 시간 향상 분석을 위한 모델

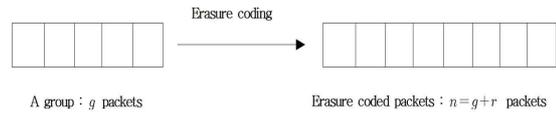


(Figure 1) An analytical model for delay improvement using erasure coding

(그림 1)의 모델에서 전달 네트워크의 패킷 전송 시간을 랜덤 변수 c 로 나타내고, pdf 및 cdf를 각각 $f_c(t)$ 및 $F_c(t)$ 로 주어진다고 가정한다.

위와 같은 환경에서, 송신 노드가 보낼 M 개의 패킷으로 구성된 긴급 메시지가 있을 경우 본 논문에서 제안한 다음과 같은 기법에 따른다. 먼저 해당 메시지를 g 개의 패킷들로 구성된 그룹으로 분할한다. 이어 각 그룹안의 g 개의 패킷을 이레이저 코딩을 수행하여 $n=g+r$ 개의 패킷들을 생성한다(그림 2 참조).

(그림 2) 패킷 그룹의 이레이저 코딩 과정



(Figure 2) Erasure coding of a packet group

즉 이레이저 코딩과정에서 그룹당 r 개의 리던던시 패킷이 추가되며 생성된 n 개의 패킷을 전송한다. 수신노드는 먼저 도착하는 g 개의 패킷들로부터 원래의 그룹 패킷들을 복구할 수 있다. n 개의 패킷중 먼저 도착하는 g 개의 패킷에 대한 지연은 정상적인 패킷 지연보다 적어지게 되므로, 송신 노드는 전체의 긴급 메시지를 빨리 목적지에 전송할 수 있게 된다.

위의 제안된 기법에서, 송신 노드는 메시지의 지연시간 감축에 대한 대가로서 네트워크에 추가적인 비용을 지불하게 되는데, 본 논문에서는 지연시간 감축과 추가 비용 사이에서의 최적의 그룹 패킷의 수 및 리던던시 패킷 수에 대한 분석을 수행한다. 다음은 분석을 위해 본 논문에서 이용된 가정이다.

- 네트워크의 전송시간이 길고, 패킷 전송시간의 변화의 폭이 크다고 가정한다.
- 송신 노드에서의 transmission 시간과 큐잉 시간은 패킷의 전달시간에 비하여 매우 작아 무시할 수 있다고 가정한다.
- 이레이저 코딩을 이용하여 보내는 긴급 메시지의 양은 제한되고 매우 적어서 네트워크의 전송 지연 시간의 분포에 영향을 주지 않는 것으로 가정한다.
- 각 패킷들은 송신 노드로부터 동시에 전송되더라도 각각 독립적인 경로로 전송될 수 있다고 가정한다. 이런 특징을 가질 가능성이 있는 네트워크의 예들은 다음과 같다.
 - ① 네트워크의 경로가 매우 길어서 패킷들이 중간 노드에서 각기 다른 방향으로 전송될 수가 있는 경우
 - ② 네트워크 토폴로지가 매우 다양하고 동적으로 변하여 임의의 중간 노드에서의 패킷 전송의 다음 홉 노드가 그때그때 달라지는 경우

- ③ 노드들이 계속 움직이면서 만나는 다른 노드들에게 패킷들을 전달하는 sparse 애드혹 네트워크 등
- 본 논문에서는 (그림 1)의 전달 네트워크의 패킷 전송 시간을 평균전달시간이 $1/\lambda_c$ 인 지수분포를 갖는 경우를 고려한다. 즉 $f_c(t)$ 및 $F_c(t)$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$f_c(t) = \lambda_c e^{-\lambda_c t}; F_c(t) = 1 - e^{-\lambda_c t} \quad (t > 0) \quad (1)$$

4. 이레이저 코딩에 의한 중단간 전달 지연 비용 향상 분석

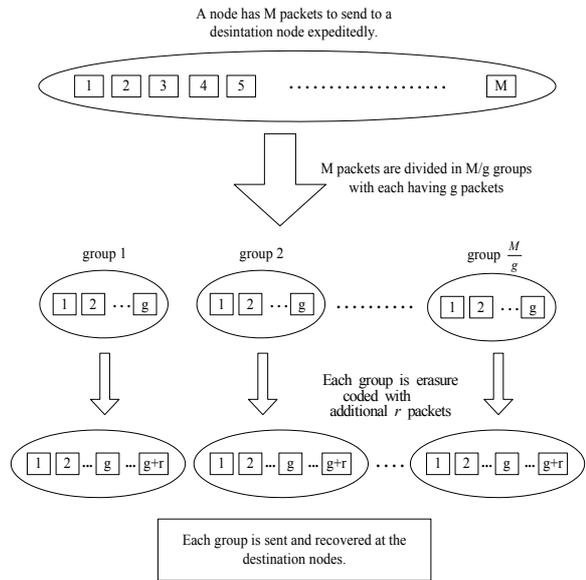
4.1 이레이저 코딩 및 분석 과정

본 논문에서는 소스 노드가 M개의 패킷으로 구성된 긴급메시지를 목적지 노드로 보내는 경우를 고려한다. 즉 M개의 메시지는 모두 목적지에 신속하게 도착해야 하므로 이를 위해 (그림 3)과 같이 패킷의 수가 g 인 $b=M/g$ 개의 그룹으로 나누며, g개의 패킷을 가지는 각 그룹은 redundancy r과 함께 이레이저 코딩이 적용되어진다. 즉 각 그룹은 $n=g+r$ 개의 패킷으로 만들어져 목적지로 전송되어지며, $g+r$ 개의 패킷중에서 g개의 패킷이 도착하게 되면 그 그룹의 패킷들은 전송이 완료되어진다. 이레이저 코딩을 수행하지 않을 때($r=0$)에는 분할 과정만을 수행하게 되며, 이 경우 각 그룹은 g개의 패킷으로 구성되어 전송한다.

이레이저 코딩을 적용하는 경우 송신 노드는 각 그룹에 대하여 $n=g+r$ 개의 패킷을 보내나, 이 중 목적지 노드에 먼저 도착한 g 개의 패킷으로부터 그룹의 전송이 완료되므로 n개의 송신 패킷 중에서 g번째로 도착한 패킷의 지연이 그 그룹의 전달지연이 된다. 그 지연의 pdf를 $f_g(t)$ 라고 한다면, [13]로부터 $f_g(t)$ 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$f_g(t) = \frac{n!}{(g-1)!(n-g)!} f_c(t) [F_c(t)]^{g-1} [1 - F_c(t)]^{n-g} \quad (2)$$

(그림 3) M개의 패킷으로 구성된 메시지에 이레이저 코딩 적용 과정



(Figure 3) Erasure coding for a message consisting of M packets

네트워크는 평균 $1/\lambda_c$ 의 exponential 분포의 패킷 전송 시간을 가진다고 가정하였으므로 (1) 식을 (2)식에 대입하면 다음의 식을 얻는다.

$$\begin{aligned} f_g(t) &= \frac{n!}{(g-1)!(n-g)!} \lambda_c e^{-\lambda_c t} [1 - e^{-\lambda_c t}]^{g-1} [e^{-\lambda_c t}]^{n-g} \\ &= \frac{(g+r)!}{(g-1)!r!} \lambda_c e^{-\lambda_c t} [1 - e^{-\lambda_c t}]^{g-1} [e^{-\lambda_c t}]^r \\ &= \frac{(g+r)!}{(g-1)!r!} \lambda_c e^{-\lambda_c(r+1)t} [1 - e^{-\lambda_c t}]^{g-1} \end{aligned} \quad (3)$$

$b=M/g$ 이므로 목적지에 도착하는 전체 메시지 (b개의 그룹)의 지연시간 d에 대한 pdf, $f_b(t)$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$f_b(t) = b f_g(t) (F_g(t))^{b-1} \quad (4)$$

여기서 $F_g(t)$ 는 그룹 전달지연에 대한 cdf를 나타낸다.

(4)식으로부터 전체 메시지에 대한 평균 전송 지연시간을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\bar{d} = \int_0^{\infty} t \cdot f_b(t) dt . \quad (5)$$

4.2 비용 요소 및 결과 분석

송신노드가 긴급 전송으로 메시지를 보낼 경우에는 메시지 전달시간이 빠르고 늦음에 따른 이익 또는 비용을 계산하게 된다. 즉 빨리 도착하게 되면 이익이 커지고, 반대로 늦게 도착하면 이익이 작아지는 것으로 해석할 수도 있고, 또는 마찬가지로 관계로서 이익은 비용의 개념으로 대치되어, 빨리 도착하게 되면 비용이 줄어들고, 늦게 도착하면 비용이 많이 드는 구조로서 해석할 수도 있다. 본 결과 분석에서는 패킷을 전달하는데 송신 노드가 네트워크에 지불하는 전달 비용을 같이 고려하게 되므로, 위의 두 가지 해석 중에서 후자의 “비용” 해석을 취한다. 메시지 전달 지연에 따른 비용함수는 메시지 전달 지연의 함수로서 나타낼 수 있다. 즉 메시지 전달 지연에 따른 비용함수를 $K(\bar{d})$ 라고 하자. 본 논문에서는 메시지 전달 지연에 따른 비용함수 $K(\bar{d})$ 에 대하여 $K(\bar{d}) = 1 \times \bar{d}$ 과 $K(\bar{d}) = \exp(0.1 \times \bar{d})$ 의 두 가지 경우를 고려한다. 물론 송신 노드입장에서 다른 임의의 비용함수를 가정하여 적용할 수 있으며, 어느 경우에도 본 논문에서 분석한 과정을 그대로 따라 갈 수 있다.

네트워크를 통하여 패킷을 전달할 때 송신 노드가 네트워크에 지불해야 하는 비용은 여러 가지 요소로 구성될 수 있으나, 본 논문에서는 메시지에 대하여 총 전송된 패킷의 수 관련 비용과 수신 노드에서 역 이레이저 코딩을 통해 메시지를 복구하는 비용을 고려한다. 총 전송된 패킷의 수 관련 비용은 네트워크내의 노드들에서 패킷의 처리를 위한 프로세싱을 수행하면서 발생한 비용이다. 또한 역 이레이저 코딩을 통한 그룹 복구비용은 수신된 목적지 노드에서의 프로세싱 비용이다.

본 결과 분석에서 패킷 당 전송에 필요한 소요비용을 H라고 하자. 그러면 전송 패킷의 수가 $(g+r) \cdot M/g$ 이므로 전체 패킷 수에 대한 전달 비용은 $H \cdot (g+r) \cdot M/g$ 이 된다. 일반적으로 역 이레이저 코딩은 역행렬의 계산을 거치며, $m \times m$ 의 역행렬 계산의 가장 빠른 알고리즘의

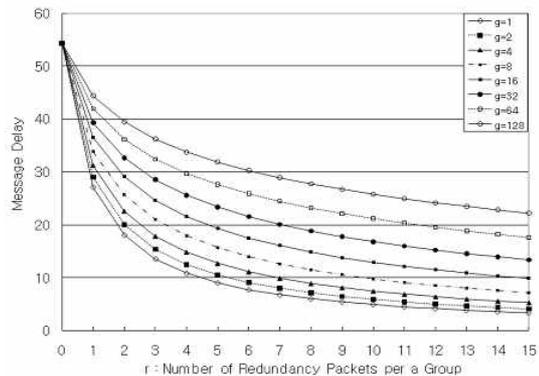
complexity는 $O(m^3)$ 으로 주어진다. 본 기법에서는 수신 노드에서 g개의 패킷을 수신하면 원본 그룹의 복구를 할 수 있으므로 $g \times g$ 의 역행렬 계산이 필요하다. 그러므로 이에 대한 계산 비용을 $Q \times g^3$ 라 가정한다. 여기서 Q는 비례상수가 된다. 위의 비용 요소에 대한 여러 가정으로부터, 우리는 메시지 전달에 대한 총 비용, C_M , 을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$C_M = K(\bar{d}) + H \cdot (g+r) \cdot \frac{M}{g} + Q \cdot g^3 \cdot \frac{M}{g} \quad (6)$$

위에서 구한 식(식 (5) 및 (6))을 적용하여 노드가 M개의 패킷으로 구성된 메시지에 이레이저 코딩을 적용하여 전송할 때의 총 전송 비용(식 (6))과 평균 전달지연시간(식 (5))을 구한 계산 결과를 살펴보면 다음과 같다.

(그림 4)와 (그림 5)는 M=128을 적용하여 얻은 그래프들이다. 이 그래프들은 $\lambda_c = 0.1$, 즉 네트워크에서의 패킷의 평균 전송시간을 10으로 가정하고, H=1, $Q = 10^{-5}$ 로 정하였다. (그림 4)는 메시지가 목적지에 도착하는 데 소요된 평균 전달 지연시간을 보여준다. 이 그림에서는, g가 크고 리던던시의 수가 작을수록 메시지의 전송에 소요된 평균 전달 지연시간이 길어진다. 또한 g=1일 때 최소 지연시간을 보여줌을 알 수 있다.

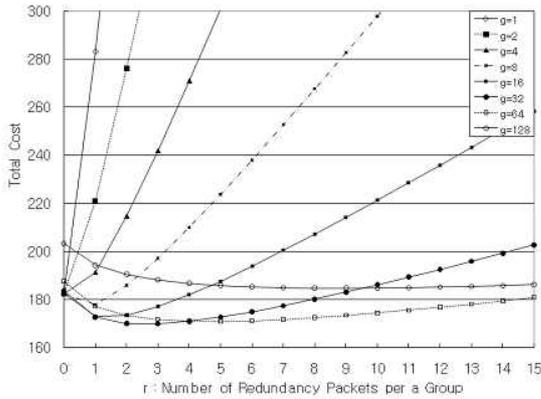
(그림 4) M=128일 때 메시지가 목적지에 도착하는데 소요된 평균 전달지연시간



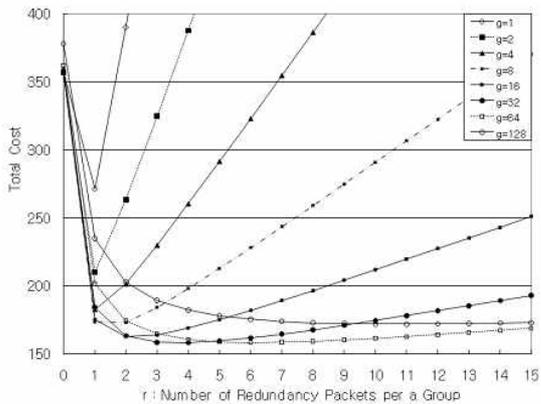
(Figure 4) Average message delivery delay when M=128

(그림 5)(a) 와 (그림 5)(b)는 각각 지연시간 비용함수가 $K(\bar{d}) = 1 \times \bar{d}$ 와 $K(\bar{d}) = \exp(0.1 \times \bar{d})$ 일 때 메시지 전달의 총 비용을 보여준다.

(그림 5) M=128일때 (a) $K(\bar{d}) = 1 \times \bar{d}$ 와 (b) $K(\bar{d}) = \exp(0.1 \times \bar{d})$ 에 대한 메시지 전달의 총비용



(a)



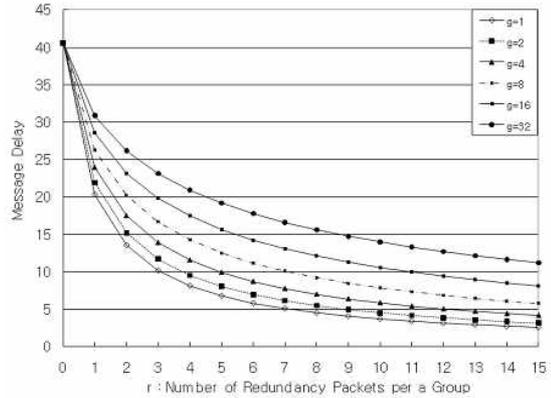
(b)

(Figure 5) Total cost of a message delivery when M=128 (a) $K(\bar{d}) = 1 \times \bar{d}$ (b) $K(\bar{d}) = \exp(0.1 \times \bar{d})$

(그림 6)과 (그림 7)은 M=32일 때의 총비용과 지연시간을 각각 보여준다. 여기서도 $\lambda_c = 0.1$ 이고 $H=1$, $Q=10^{-5}$ 로 정하였다. (그림 6)은 M=32일 때, 메시지가 목적지에 도착하는데 소요되는

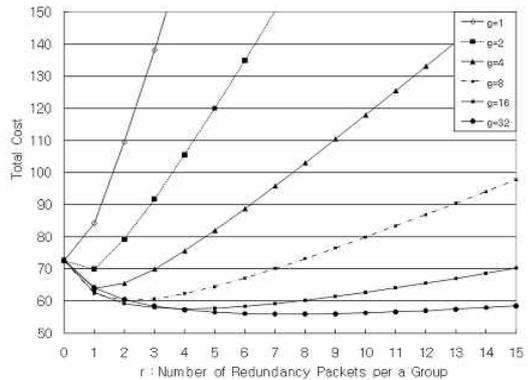
평균 지연시간을 그래프로 나타낸 것이고 (그림 7)(a)와 (그림 7)(b)는 각각 $K(\bar{d}) = 1 \times \bar{d}$ 와 $K(\bar{d}) = \exp(0.1 \times \bar{d})$ 일 때의 총비용을 계산한 결과를 그래프로 보여준다.

(그림 6) M=32일 때 메시지가 목적지에 도착하는데 소요된 평균 전달지연시간

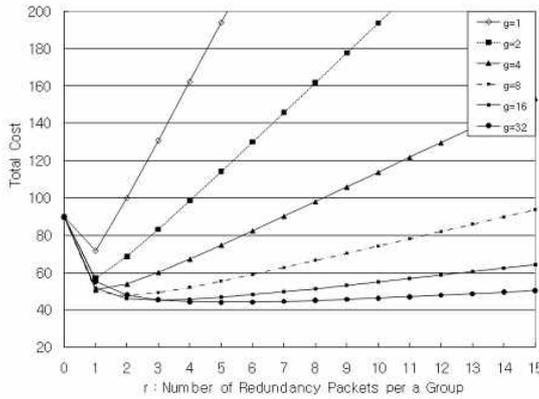


(Figure 6) Average message delivery delay when M=32

(그림 7) M=32일때 (a) $K(\bar{d}) = 1 \times \bar{d}$ 와 (b) $K(\bar{d}) = \exp(0.1 \times \bar{d})$ 에 대한 메시지 전달의 총비용



(a)



(b)

(Figure 7) Total cost of a message delivery

when $M=32$ (a) $K(\bar{d}) = 1 \times \bar{d}$ (b)

$$K(\bar{d}) = \exp(0.1 \times \bar{d})$$

(그림 4)와 (그림 6)을 보면, 그룹의 크기 g 가 증가함에 따라 전달지연시간이 증가함을 알 수 있다. 즉, $a < b$ 일 때, $g=a$ 인 경우의 그래프가 $g=b$ 인 경우의 그래프 보다 아래에 위치하게 된다. 두 가지 그래프 모두에서 $g=1$ 일 때 가장 적은 전달 지연시간을 나타낸다.

또한 리턴던시 패킷의 수가 증가할수록 메시지의 전달 지연 시간은 크게 작아지는 것을 알 수 있다. 이는 리턴던시 패킷의 증가로 소스 노드가 그룹당 보내는 총 패킷의 수 n 이 증가하지만, n 개의 패킷 중에서 g 개의 패킷만이 목적지에 도착하게 되면 메시지를 복구할 수 있으므로 목적지에 먼저 도착하는 g 개의 패킷의 지연시간이 크게 낮아지게 되기 때문이다.

반면 식(6)에 의하면 g 가 증가함에 따라 계산 비용이 증가하게 된다. 우리는 이 논문에서 계산 비용을 $Q \times g^3$ 로 가정하였고 계산 비용은 전송 비용에 비해 무시할 정도로 작으므로 $Q=0.00001$ 로 정하였다.

(그림 5)(a)를 보면, $g=32$ 이고 $r=2$ 일 때, 최소 비용 169.85을 얻을 수 있다. (그림 5)(b)에서는 $g=32$ 이고 $r=4$ 일 때, 최소비용 158.2694가 얻어진다. (그림 7)(a)와 (그림 7)(b)에서는 두 가지 경우 모두 $g=32$ 일 때, 최소비용을 구할 수 있으며, 이것은 $g=32$ 일 때의 계산 비용이 패킷전송비용에 비하여 크지 않기 때문이다.

5. 결론

본 논문에서는 여러 개의 패킷으로 구성되어진 메시지 전송시에 이레이저 코딩을 이용하면 메시지 전달 지연시간이 크게 줄어들 수 있다는 점에 착안하여, 전송시간의 변화가 큰 네트워크 환경에서 이레이저 코딩을 이용한 중단간 메시지 지연 단축 기법을 제안하였다. 그리고 제안된 기법에 대하여 메시지 지연의 단축 효과를 조사하였으며, 또한 이레이저 코딩을 수행함에 따른 추가 비용을 고려한 총 비용에 대한 최적의 그룹 패킷 수 및 리턴던시 수를 분석하였다. 분석 과정에서 메시지 지연에 대한 비용으로 지연에 대한 선형적인 값 및 지수 값을 갖는 두 가지 함수를 고려하였으며, 네트워크 전달 비용으로는 전송된 총 패킷 수, 그리고 수신 노드에서 메시지를 복구하는 프로세싱 비용을 고려하였다. 분석 결과로부터 제안된 기법은 전송시간의 변화가 큰 네트워크에서 큰 효과를 내며, 특히 긴급한 메시지의 전송이 필요할 때 유용함을 알 수 있었다.

References

- [1] Atilla Eryilmaz, Asuman Ozdaglar, Muriel Medard, and Ebad Ahmed, "On the Delay and Throughput Gains of Coding in Unreliable Networks", IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 54, No. 12, pp. 5511-5524. Dec. 2008.
- [2] B. T. Swapna, Atilla Eryilmaz, and Ness B. Shroff, "Throughput-Delay Analysis of Random Linear Network Coding for Wireless Broadcasting", in 2010 IEEE International Symposium on Network Coding (Net Cod), pp. 1-6, Toronto, ON, June 2010.
- [3] Maricica Nistory, Joao Barrosy, Fausto Veiray, Tiago T. V. Vinhozay and Joerg Widmerz, "Network Coding Delay: A Brute-Force Analysis", in Information Theory and Applications Workshop (ITA) 2010, pp.1-5, SanDiego, CA, Jan. 2010.
- [4] K. Prasad and B. S. Rajan, "Single-Generation Network Coding for Networks with Delay", in IEEE ICC

- 2010, pp.1-6. CapeTown, SouthAfrica, May 2010.
- [5] Goo Yeon Lee and Yong Lee, "Delay Improvement from Network Coding in Networks with High Coefficient of Variation of Transfer Time", Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea, Vol. 49, No. 11, pp. 9-16, Nov. 2012
- [6] Nicolae Cleju, Nikolaos Thomos, and Pascal Frossard, "Network coding node placement for delay minimization in streaming overlays", in IEEE ICC 2010, pp. 1 - 5, Cape Town, South Africa, May 2010.
- [7] Rui A. Costa, Daniele Munaretto, Joerg Widmer and Joao Barros, "Informed Network Coding for Minimum Decoding Delay", in 5th IEEE MASS 2008, pp.80-91, Atlanta, GA., Sept. 2008.
- [8] Chi Zhang, and Yuguang Fang, "Throughput-Delay Tradeoffs in Large-Scale MANETs with Network Coding," in IEEE INFOCOM 2009, pp. 199-207, Rio de Janeiro, April 2009.
- [9] Xiaofu Wu, Chunming Zhao, and Xiaohu You, "Generation-Based Network Coding over Networks with Delay", in 2008 IFIP International Conference on Network and Parallel Computing, pp.365 - 368, Shanghai, China, Oct. 2008.
- [10] Yang Xiaoj, "Delay Modeling for Wireless Network Coding Multicast", in IEEE CMC 2010, pp.86-89, Shenzhen China, April 2010.
- [11] Ali Mahmino, Jerome Lacan and Christian Fraboul, "Guaranteed Packet Delays with Network Coding", in 5th IEEE Annual Communications Society Conference on SECON Workshops '08, pp. 1 - 6, San Francisco, CA. June 2008.
- [12] Theodoros K. Dikaliotis, Alexandros Dimakis, Tracey Ho and Michelle Effros, "On the Delay Advantage of Coding in Packet Erasure Networks", in 2010 IEEE Information Theory Workshop, pp.1-5, Dublin, Aug. 2010.
- [13] Saeed Ghahramani, "Fundamentals of Probability", 2nd Ed, Prentice-Hall, pp. 346, Eq.(8.16), 2000
- [14] Jie Zhang, Goo Yeon Lee, and Hwa Jong Kim, "Throughput of Wi-Fi network based on Range-aware Transmission Coverage", Journal of Digital Contents Society, Vol. 14, No. 3, PP. 349-356, Sep. 2013
- [15] Wai-Leong Yeow, Anh Tuan Hoang and Chen-Khong Tham, "On Average Packet Delay Bounds and Loss Rates of Network-Coded Multicasts over Wireless Downlinks", in IEEE ICC 2009, pp. 1 - 6, Dresden, June 2009.
- [16] Ju-Ho Lee, Goo-Yeon Lee and Choong-Kyo Jeong, "IEEE 802.16j MMR System for Cost-Efficient Coverage Extension", Journal of Digital Contents Society, Vol. 14, No. 2, PP. 191-197, Jun. 2013
- [17] Kun-Cheng Chung, Yi-Chin Li and Wanjiun Liao, "Exploiting Network Coding for Data Forwarding in Delay Tolerant Networks", in IEEE 71st VTC 2010 Spring, pp. 1 - 5, Taipei, May 2010.



이 구 연

1986년 : 서울대학교 전자공학과 (학사)

1988년 : KAIST 전기및전자공학과 (석사)

1993년 : KAIST 전기및전자공학과 (박사)

1993년~1996년: 디지콤정보통신 연구소

1996년: 삼성전자

1997년~현재: 강원대학교 컴퓨터학부 교수

관심분야: 이동통신, 네트워크보안, 인터넷, 초고속 통신망, ad-hoc 네트워크



이 용

1997: 연세대학교 컴퓨터과학과
(석사)

2001: 연세대학교 컴퓨터과학과
(박사)

1993~1994 : 디지콤정보통신
연구소

2001~2003 : 한국정보보호진흥원 선임연구원

2004~2005 : 코벨대학교 방문연구원

2005~2007 : 삼성전자 통신연구소 책임연구원

2008~2010 : 충주대학교 전자통신공학전공 교수

2009~2012 : 코벨대학교 방문연구원

관심분야: Mobile and Wireless Security, Ubiquitous
Sensor Network, Wireless Mesh Network,
Mobile Ad hoc network