

PGM을 이용한 능동 멀티캐스트 라우터 에러 복구방식의 효율성 향상

김대용*, 장주욱
서강대학교 전자공학과

kins@eecl.sogang.ac.kr, jjang@sogang.ac.kr

Enhanced Efficiency in Error Recovering for ARM Using PGM

Dae-yong Kim* Ju-wook Jang
Department of Electronic Engineering, Sogang University

요약

UDP를 이용하는 멀티캐스트에 있어서 에러 복구는 서비스의 신뢰성을 위해 반드시 필요한 알고리즘이다. 본 논문에서는 기존 라우터 기반의 에러 복구(Router-Assisted Schemes) 알고리즘을 이용해서 라우터에 의한 에러 복구의 효율성이 증가하도록 하였다. 본 논문에서는 USC/ISI에서 개발한 네트워크 시뮬레이터인 NS-2를 이용하여 에러 복구 기능을 구현하였다. 또한 시뮬레이션을 통해 라우터에 멀티캐스트 에러 복구 방식이 적용되었을 경우, 기존의 에러 복구 방식의 효율성 향상이 가능함을 보이려 한다.

1. 서론

본 논문은 멀티캐스트 기술에서 중요 연구되는 분야인 에러 복구에 관한 것으로 멀티캐스트의 신뢰성과 관련하여서 비교적 초창기에 연구된 분야이다[1],[2],[3],[4],[5]. 최근 기존의 에러 복구 방식과는 다른 라우터 기반(Router-Assisted Scheme) 방식에 의해 기존의 문제점을 해결할 수 있는 방법이 소개되었다. 기존의 멀티캐스트 기술들이 송신자와 수신자간만으로 문제를 해결하려는 노력을 기울였던 것에 반해, 라우터 기반의 에러 복구 방식은 근본적인 문제 해결을 위해서는 중간간의 라우터에서 어떤 역할을 수행하는 기법을 제안한다[5],[6],[7]. 실제로 기존의 방식들은 나름대로 문제점을 해결할 수 있는 다양한 방식을 제안해 왔음에도 불구하고, 제시된 문제의 일편면적인 해법 제시에 그쳐왔다[5]. 비교적 최근에 대두된 라우터 기반의 에러 복구 방식은 단순한 알고리즘으로 대역폭의 소모 및 에러 복구 지연 시간 면에서 효율적이라고 할 수 있다.

본 논문에서는 우선 ARM(Active Reliable Multicast) 방식과 PGM(Pragmatic General Multicast) 방식의 에러 복구 방식을 적용하여 라우터의 응용 레벨에서 에러 복구가 가능하도록 하였다. ARM은 라우터로부터 에러 복구가 가능하도록 하여 멀티캐스트 트리 구조의 변화 등에 영향이 적은 방식이다. 그리고, PGM은 라우터에서 NAKs 억제가 가능하도록 한 방식으로 논문에서는 각 각의 장점을 이용한 에러 복구 방식을 제시하였다. 본 논문에서는 PGM의 NAKs 패킷 억제 기능을 라우터들에 일반적으로 적용하고, ARM 방식의 에러 복구 기능을 가진 라우터를 구현하여 NS-2 상에서 그 효율성을 확인하고자 한다.

2. 기존 멀티캐스트 에러 복구

2.1 PGM 에러 복구 방식

PGM 멀티캐스트 에러 복구 방식의 장점은 멀티캐스트 트리 내부의 정보의 전달이나 로컬 내부의 정보, 이웃 로컬의 수신자들의 정보 등을 전달하거나 전달받을 필요가 없다는 것이다[6]. 일단 패킷 에러가 발생하면, 수신자는 NAKs(에러 복구 메시지)만을 전송함으로써 에러 복구 메시지를 데이터를 전송 받고 있는 링크로 요청하면 되고, 멀티캐스트 트리 상의 라우터들은 NAKs를 보낸 링크로 NCF(NAKs 확인 메시지) 메시지를 보냄으로써, NCF 메시지를 받은 수신자가 일정 시간동안 NAKs 메시지가 중복되게 발생하지 않게만 하면 되며, 데이터를 전송 받는 링크 쪽으로 NAKs를 전송함으로써, 전송자가 에러의 발생을 인식하게 하면 된다[6].

2.2 기존 에러 복구 방식의 문제점

A) 불필요한 링크 대역폭 낭비

ARM은 에러 복구 패킷의 TTL에 일정한 제한을 뒤서 멀티캐스트로 하위 영역에 전송한다[5]. 이 때 그림 1에서는 수신자1과 수신자2는 패킷 에러를 경험하게 되고, 에러 복구 요청 메시지를 송신한다. 이에 따라 에러 복구 요청 메시지를

수신 받은 ARM 라우터는 에러 복구 패킷을 송신한다. 그림 1과 같이 수신자 1,2,3,4는 모두 TTL 영역 내에 존재하므로 수신자1, 수신자2 뿐만 아니라 수신자 3 및 수신자4에게도 에러 복구 패킷이 전송된다. 따라서, 불필요한 패킷의 전송을 통한 링크의 대역폭 낭비를 막을 수 없는 문제점을 갖고 있다. 이 점은 SRM을 포함한 대부분의 에러 복구 방식이 갖고 있는 문제점이기도 하다.

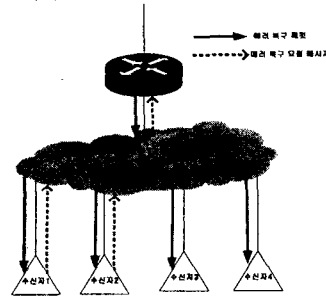


그림 1 ARM 등의 스코핑(Scoped) 에러 복구 방식으로 인한 불필요한 링크의 대역폭 낭비에

3. 본론

3.1 PGM의 NAKs 억제 방식을 적용한 ARM 에러 복구

PGM의 송신자에 의한 에러 복구 방식은 수신자와 송신자간의 거리에 따라 에러 복구 지연 시간이 증가된다는 점과 대규모의 수신자의 참여시에는 송신자에게 지나치게 부하가 집중된다는 문제점이 있다. 따라서, 위에서 언급한 ARM의 문제점을 해결하기 위해 PGM 및 ARM을 이용한 라우터 멀티캐스트 에러 복구 알고리즘을 제안하였다. 제안된 멀티캐스트 에러 복구 알고리즘의 핵심은 멀티캐스트 에러 복구 기능을 라우터 내부에 둬서 로컬 내부에서 에러 복구를 하는 것과 같은 효과를 얻기 위한 것이다. 이에 따라 본 논문에서는 ARM에서 적용된 라우터 에러 복구 방식과 PGM에서의 알고리즘을 함께 적용하였다. 그림 2는 멀티캐스트 라우터의 에러 복구 개념도를 보여주고 있다. 그림에서와 같이 라우터는 기존에 송신자가 수행하던 에러 복구의 역할을 대신한다. 우선 패킷 에러를 감지한 수신자는 NAKs를 전송하고, 이를 받은 라우터는 수신자에게 NCF를 전송하여 수신자의 중복된 NAKs 메시지가 발생하지 않도록 한 후에 자신의 메모리에 저장된 데이터에서 해당 패킷이 있는지 조사한다. 해당 패킷이 존재할 경우, NAKs를 전송한 수신자에게만 패킷을 전송함으로써 에러 복구를 끝마치게 된다.

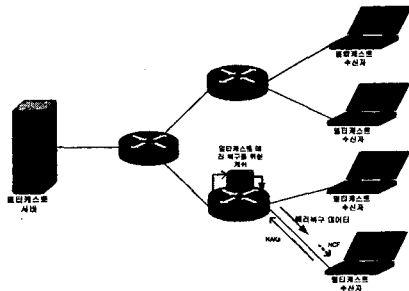


그림 2 제안된 방식에 의한 멀티캐스트 에러 복구 개념도

3.2 ARM과 제안된 방식의 에러 복구 방식 비교

본 논문에서의 라우터의 재전송 패킷을 캐쉬하는(caching) 방법은 ARM과 같은 방식을 따르고 있다[5]. 반면 ARM에서는 중복된 NACK(에러 복구 요청 메시지)가 전달될 경우, 라우터는 NACK를 상위 링크(up link)로 전송하지 않고 버리게 된다[5]. 이 때 PGM은 ARM과는 달리 다운 링크쪽에서 NAKs를 재전송하지 않도록 NCF 메시지를 전달하게 된다[6]. 따라서, PGM은 ARM에 비해 NAKs의 범람을 효율적으로 방지할 수 있다. 또한 ARM은 에러 복구 패킷을 전달할 경우, 하위 링크(down link)로 패킷을 멀티캐스트 하게 된다. 이 때 멀티캐스트 트리 전체에 패킷이 전달되는 것을 막기 위해 패킷 헤더의 TTL에 제한을 두어서 스코프(scoped)된 멀티캐스트 재전송을 하게 된다. 따라서, PGM에서와는 달리 불필요한 링크로의 전송을 확실히 막을 수는 없다는 단점을 갖고 있다. 반면에 제안된 방식은 PGM이 갖추고 있는 효과적인 NAKs 억제 및 복구 패킷의 불필요한 전달 억제 기능을 갖고 있다. 또한, ARM은 재송화된 멀티캐스트 에러 복구 방식이 갖고 있는 트리 구조의 한계성을 극복할 수 있는 방식이다[5]. 본 논문은 ARM과 같이 라우터에서 지원하는 에러 복구 방식을 적용함으로써 두 방식의 장점을 이용한 에러 복구가 가능하게 하였다.

4. 실험결과

4.1 제안된 에러 복구에 의한 대역폭 소모

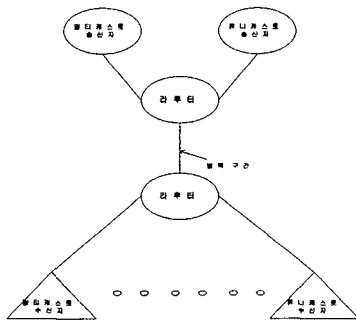


그림 3 PGM과 제안된 방식의 대역폭 소모 시뮬레이션 토폴로지

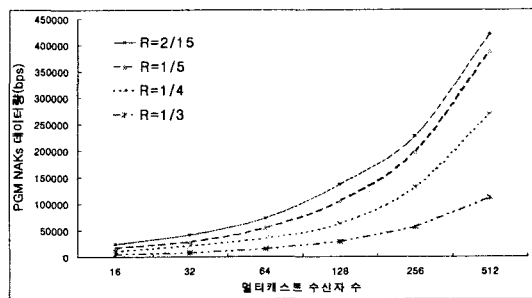
A. 전송된 NAKs 데이터량

$$NAKs\text{데이터량} = \sum_{i=1}^n NAKs(i) \quad (1)$$

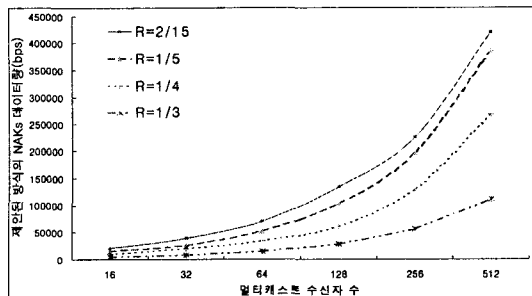
$NAKs(i)$: 링크 i 에서의 NAKs 패킷

실험에서는 그림 3을 이용하여 모든 링크의 대역폭을 1.5Mbps로 통일하였으며, 멀티캐스트 수신자의 수를 증가시키며 실험하였다. 그래프 1은 기존 PGM에서 멀티캐스트 트

리 전체에 흐르는 NAKs 데이터의 총합(1)을 나타낸 그래프이며, 그래프 2는 제안된 방식을 적용했을 경우에 멀티캐스트 트리 전체에 흐르는 NAKs 데이터의 총합(1)을 나타낸 그래프이다. 그래프1과 그래프2가 유사한 관계로 표1을 통해 실제 데이터 값을 알 수 있도록 하였다. 실제로 에러 복구가 가능한 라우터가 실험 토폴로지보다 수신자에게 더 가까이 존재한다면, 훨씬 적은 NAKs만으로도 에러 복구가 가능하다. 실험에서는 에러 복구 라우터의 위치에 구애받지 않지 않은 상태에서 PGM과의 비교 결과를 알기 위하여 그림 3과 같은 상태에서 실험하였다. 아래의 실험에서, 기존 PGM 방식과 제안된 방식을 비교해 보면, 토폴로지에서 한 개의 링크정도에서 발생하는 NAKs 데이터 합 정도의 차이를 보이고 있다. 한 단계 더 나아간다면, 에러 복구 지연 시간은 전송되는 링크가 줄어들게 됨으로써, 최소한 해당 링크에서의 NAKs 패킷 전송 시간만큼 이득을 볼 수 있다는 것을 의미한다.



그라프 1 기존 PGM에서 멀티캐스트 트리 전체에 전송되는 NAKs 데이터의 총합



그라프 2 제안된 방식에서 멀티캐스트 트리 전체에 전송되는 NAKs 데이터의 총합

수신자수	PGM				제안된 방식			
	R=2/15	R=1/5	R=1/4	R=1/3	R=2/15	R=1/5	R=1/4	R=1/3
16	22880	17120	10400	4320	20592	15408	9360	3888
32	12960	28224	20448	7776	39304	26856	19312	7344
64	19040	54400	34816	14888	70224	52800	33792	14256
128	28512	105600	62304	28512	134160	104000	61360	28080
256	43680	197600	131040	56160	224976	196080	130032	55728
512	78432	388032	268320	111456	419424	386528	267280	111024

표1 PGM과 제안된 방식의 NAKs 데이터 총합 비교표(bps)

4.2 제안된 방식을 이용한 멀티캐스트 에러 복구를 통한 에러 복구 지연 시간 성능 개선

A. 에러 복구 지연 시간 측정 방법

$$\text{에러복구지연시간} = T_c - T_r \quad (2)$$

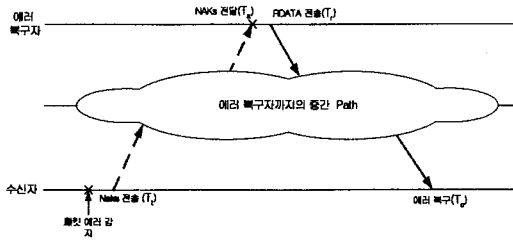


그림 4 에러 복구 지연 시간 개념도

그림 3은 PGM 에러 복구를 할 경우와 본 논문에서 제안된 에러 복구를 할 경우의 복구 지연 시간을 비교해 보았다. 아래 결과는 매우 이상적인 네트워크 상태에서의 결과로 위의 실험 결과에서는 PGM 에러 복구의 경우, 송신자와 수신자간의 거리에 따라 에러 복구 지연 시간(2)이 선형적으로 증가됨을 알 수 있다. 반면에 제안된 에러 복구가 이뤄졌을 때, 네트워크 토폴로지의 크기에 상관없이 빠른 복구가 이뤄지는 것을 알 수 있다. 즉, 실제 인터넷망의 트래픽을 감안했을 때, 송신자에 전적으로 의존한 에러 복구의 경우, 에러 복구 지연 시간에 의한 문제는 더 커질 수 있다. 따라서, 대규모 멀티캐스트 서비스를 위해서는 적절한 로컬 에러 복구가 필요하게 된다.

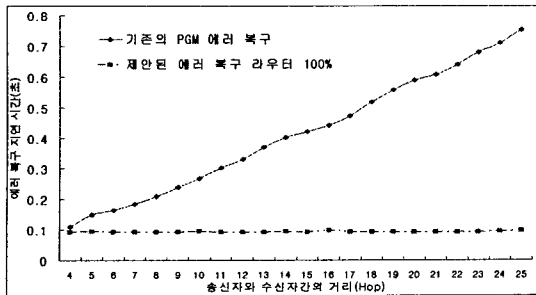


그림 3 기존 PGM과 제안된 에러 복구 방식(에러 복구 라우터의 수/라우터의 수=1)의 에러 복구 지연 시간 비교

그림 4, 5는 네트워크 토폴로지 내에 일정한 TCP 패킷을 지속적으로 전송함으로써 멀티캐스트 패킷과 경쟁을 시켰을 경우, 에러 복구 지연 시간 그래프이다. x축은 수신자의 수를 나타낸다. 실험에서의 토폴로지는 이진(Binary) 트리 구조로 하였으며, 각 링크의 대역폭은 1.5Mbps로 동일하였다. 또한, 실험에서는 에러 복구자와 수신자간의 거리를 일정하게 하고 R(멀티캐스트 트래픽/멀티캐스트 트래픽+배경 트래픽)을 변화시켰다. 그림에 송신자와 수신자 사이의 모든 링크에서의 대역폭 경쟁으로 인한 에러가 발생하도록 하였기 때문에 에러 복구는 전적으로 PGM은 송신자가 책임을 지도록 하였다

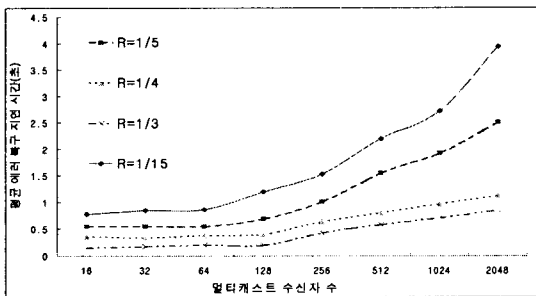


그림 4 기존 PGM의 수신자의 증가에 따른 평균 에러 복구 지연 시간

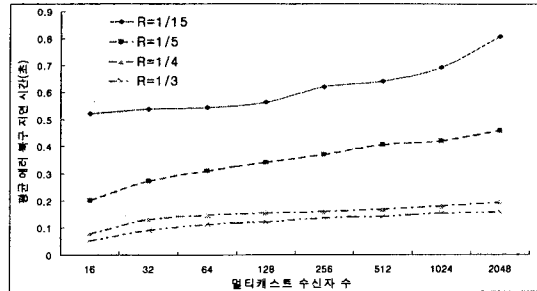


그림 5 제안된 방식의 수신자의 증가에 따른 평균 에러 복구 지연 시간(에러 복구 라우터의 수/라우터의 수=1인 경우)

그림 5는 제안된 방식에 의해 에러 복구가 이루어졌을 경우의 에러 복구 지연 시간 그래프이다. 앞서의 그림 6과 달리 충분한 대역폭이 보장될 경우인 R=1/2인 경우의 결과는 제외하였다. 시뮬레이션도 앞서와 마찬가지로 송신자와 수신자간의 대역폭 경쟁이 발생하도록 하였다. 대체로 그림 4의 경우와는 달리 에러 복구 지연 시간이 뚜렷이 지수 함수적으로 증가하지는 않는 것을 알 수 있다.

5. 결론 및 후회 과제

본 논문은 멀티캐스트 에러 복구를 위해서 PGM을 ARM의 라우터로부터의 멀티캐스트 에러 복구 방식에 함께 적용하였다. 본 논문에서는 관련된 실험을 ARM과의 비교가 여의치 않아 PGM방식과 간접 비교하였다. 시뮬레이션 결과로 제안된 방식의 에러 복구 지연 시간이 기존의 PGM 방식보다 작다. 예로 R=1/5, 1/15과 같은 경우에는 기존 PGM이 지수 함수적으로 복구 지연 시간이 증가하는 것에 비해 제안된 방식은 선형적인 특성이 보임을 알 수 있다. 또한, PGM의 장점인 링크 내부의 NAKs 및 복구 데이터의 효과적인 억제 특성을 지니고 있음을 확인하였다. 따라서, 논문에서는 각 각의 방식의 장점을 적절히 이용함으로써 효율성이 증가하였음을 알 수 있다.

추후과제로서는 본 연구 기법을 다른 에러 복구 방식과 비교 분석하는 작업이 필요하며, 실제 PGM 라우터를 구현하여 실제적인 결과를 얻음과 동시에 시뮬레이션 결과와의 비교 분석이 필요하다. 또한 제안된 방식에 의한 라우터의 효율적인 위치 선택을 위한 알고리즘 연구를 진행할 예정이다.

6. 참고문헌

- [1] Sally Floyd, Van Jacobson, Ching-Gung Liu, Steven McCanne, and Lixia Zhang, "A Reliable Multicast Framework for Light-weight Sessions and Application Level Framing". Proc. ACM SIGCOMM 95, August pp.342-356. 1995,
- [2] Sanjoy Paul Krishan K. Sabani, John C. Lin and Supratik Bhattacharyya, "Reliable Multicast Transport Protocol". Proc. IEEE Journal of Selected Areas in Communications 15(3) pp.407-421. 1997.
- [3] Sheha K. Kasera, Jim Kurose and Don Towsley, "A Comparison of Server-Based and Receiver-Based Local Recovery Approaches for Scalable Reliable Multicast". Proc. Infocom (3) pp. 988-995. 1998.
- [4] Jorg Nonnenmacher, Martin Lacher, Matthias Jung, Ernst W. Biersack and Georg Carle. "How bad is Reliable Multicast without Local Recovery?". Proc. Infocom (3) pp. 972-979 1998.
- [5] Li-wei H. Lehman, Stephen J. Garland and David Tennenhouse, "Active Reliable Multicast". Proc. infocom. pp. 581-589. 1998.
- [6] T. Speakman, D. Farinacci, Gemmell, S. Lin, D. Leshchiner, M. Luby, T. Montgomery, L. Rizzo, N. Bhaskar, L. Vicisano, R. Sumanasekera R. Edmonstone and A. Tweedly, "PGM Reliable Transport Protocol Specification" proc. rfc 3208.
- [7] Xinming He, Christos Papadopoulos, Pavlin Radoslavov and Ramesh Govindan, "A Comparison of Incremental Deployment Strategies for Router-Assisted Reliable Multicast". Proc. infocom 2002.