

라우터의 혼잡을 고려한 신뢰성을 갖는 멀티캐스트의 제어트리 구성

변상선⁰ 진현욱 유 혁
고려대학교 컴퓨터학과
{ssbyun⁰, hwjin, hxy}@os.korea.ac.kr

Analysis of Router Congestion Sensitivity in Construction of Control Tree for Reliable Multicast

Sang-Seon Byun⁰ Hyun-Wook Jin Hyuck Yoo
Dept. of Computer Science & Engineering, Korea University

요 약

신뢰성을 갖는 멀티캐스트 전송 프로토콜에 확장성을 부여하기 위해 많은 연구들이 계층구조의 제어트리를 사용한다. 제어트리는 하부계층의 멀티캐스트 트리와 가급적 일치할수록 좋은 성능을 보이게 된다. 하지만, 네트워크 계층의 멀티캐스트 트리와 완벽히 일치하는 제어트리의 구성은 매우 많은 계산량을 소비하게 되어 동적으로 멤버쉽이 변하는 형태의 멀티캐스트에는 적용하기 쉽지 않다. 따라서 성능에 가장 중요한 영향을 미치는 요소를 우선 고려하여 제어트리를 구성하는 것이 바람직하다. 기존 연구를 통해 우선적으로 고려되어야 할 사항이 하부 멀티캐스트 트리와 제어트리간, 부모-자식 위상 일치성임을 알 수 있다. 본 연구는 성능에 영향을 미치는 또 다른 요소로 라우터의 혼잡을 제시한다. 결론적으로, ns-2를 이용한 시뮬레이션을 통해서 제어트리상의 부모와 자식이 서로 다른 라우터에 위치하였을 경우에 더 좋은 성능을 나타냄을 보인다.

1. 서론 및 관련연구

신뢰성을 갖는 멀티캐스트 전송 프로토콜 연구에 있어서 많은 연구들이 데이터 복구에 계층구조를 도입하여 확장성을 부여하고 있다[1-8]. 계층구조를 통해 멀티캐스트 전송 프로토콜에 신뢰성을 부여하는 기법은 멤버들간 가상의 제어트리를 형성한다. 계층구조를 사용하게 되면, 송신자에게 ACK이나 NACK이 풀리게 되는 임플로전(implosion)을 방지하고 지역적 복구(local recovery)를 통해 복구 지연시간의 단축을 가져올 수 있다. 각각의 멤버들은 형성된 트리에 따라 부모-자식 관계를 형성하고, 부모는 자식들로부터 ACK 또는 NACK을 수신 받아 수신 확인과 재전송 절차를 송신자 대신 처리하게 된다.

이러한 제어트리를 형성하는 방법에는 라우터의 도움을 받는 방법과 응용 또는 전송 계층에서 제어트리를 형성하는 방법이 있다. 라우터의 도움을 받아 제어트리를 구성할 경우 하부 멀티캐스트 트리와 일치하는 최적의 제어트리 형성이 가능해지나, 라우터의 프로토콜을 갱신해야하는 단점이 있어 도입이 용이하지 않다. 응용계층에 제어트리를 형성하여 신뢰성을 부여

하는 프로토콜은 기존의 라우팅 프로토콜의 수정 없이 적용이 가능하다는 큰 장점을 가지나, 최적의 제어트리 구성을 위해 많은 계산량이 요구되며 동적으로 멤버쉽이 변하는 멀티캐스트에는 적용이 어렵다.

하지만, 제어트리 성능에 중대한 영향을 미치는 요소들만을 고려하여 제어트리를 형성할 경우, 응용계층에서도 최적의 성능을 위한 제어트리를 구성할 수 있고, 제어트리 구성에 소요되는 계산량을 줄일 수 있다. 관련연구 [9]에서는 하부 멀티캐스트 트리의 다운스트림에 위치하고 있는 멤버가 제어트리 상에서도 다운스트림에 위치하는 부모-자식 위상의 일치성을 그 요소로 들고 있다.

본 논문에서는 부모-자식 위상의 일치성외에 고려되어야 할 사항으로 라우터의 혼잡을 고려한 부모-자식의 배치를 제안한다. ERS(Expanding Ring Search)[7]는 부모와 자식의 근접성만을 고려하였고, [10]에서는 근접성과 부모-자식 위상의 일치성을 고려하고 있다. 근접성과 부모-자식 위상의 일치만을 고려하여 제어트리를 구성하게 될 경우, 같은 라우터에 연결되어 있는 노드간에 부모-자식 관계가 형성되게 된다. 이렇게 되면, 해당 라우터의 혼잡에 의해 패킷

손실이 발생하면 부모와 자식 모두 패킷을 받지 못하여 복구 지연시간이 길어지게 된다. 부모가 복구 데이터를 수신 받고 나서 자식에게 송신을 해주어야 하기 때문이다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위해서, 본 논문에서는 제어트리의 구성에 있어서 또 다른 고려 요소로 라우터 혼잡에 의한 패킷 손실을 제시하고, 라우터의 혼잡을 고려한 경우와 그렇지 않은 경우의 성능을 비교한다. 성능측정은 ns-2 시뮬레이션을 통해 데이터 손실로 인해 발생하는 재전송 트래픽과 제어 트래픽(NACK)의 링크 사용율, 복구 지연 오버헤드를 측정하였다. 측정 결과, 제어트리의 부모와 자식이 각각 다른 라우터에 연결되어있는 경우가 그렇지 않은 경우에 비해 복구 지연 오버헤드가 단축됨을 알 수 있었다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 라우터의 혼잡을 고려한 제어트리를 제시한다. 3장은 제어트리의 성능 평가 기준을 정의하고, 시뮬레이션 결과를 보여준다. 4장에서는 결론과 향후 연구 방향을 제시하고 본 논문의 끝을 맺는다.

2. 라우터의 혼잡을 고려한 제어트리

본 논문에서는 응용 계층 제어트리의 성능을 향상하기 위한 고려사항으로 부모-자식 위상의 일치성 외에 라우터의 혼잡을 제시한다. 멀티캐스트 데이터 복구를 위한 제어트리상의 부모와 자식이 같은 라우터에 연결이 되면, 해당 라우터의 혼잡으로 인해 데이터가 손실 될 경우, 부모와 자식 모두 데이터를 받지 못해 복구가 지연되게 된다. 따라서, 이러한 지연을 줄이기 위해서는 제어트리상의 부모와 자식은 서로 다른 라우터에 연결이 되어있어야 한다.

그림 1과 같은 하부 멀티캐스트 트리가 있을 때, 그림 2(a)는 [10]에서 제시하는 ERS 알고리즘을 따라 제어트리를 구성한 것이다. 그림 2(b)는 ERS를 사용해서 본 논문이 제시하는 라우터의 혼잡을 고려하여 구성한 것이다. 그림 2(b)는 라우터의 혼잡을 고려했기 때문에 연결된 노드들은 부모-자식 관계를 형성하지 않고 있다. 두 경우 모두 제어트리에서 부모가 가질 수 있는 자식의 수를 2로 제한하였다.

손실된 패킷의 복구는 RMTP[6]를 사용한다. RMTP에서 수신자는 NACK을 통해 패킷 손실을 제어트리상의 부모에게 전달하고, 이를 전달받은 부모는 해당 패킷을 재전송 한다. NACK과 재전송은 모두 유니캐스트를 사용한다.

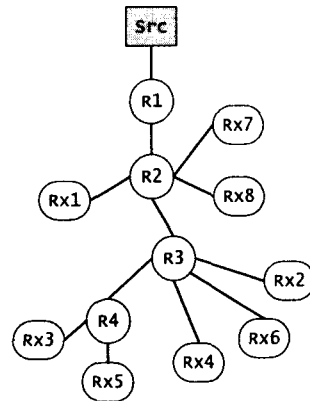
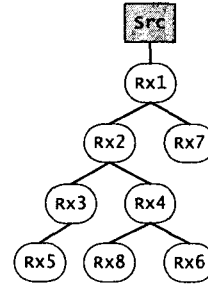
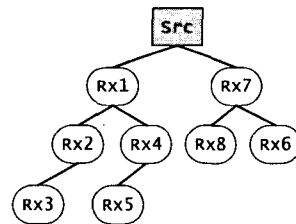


그림 1. 하부 멀티캐스트 트리



(a) ERS



(b) 라우터의 혼잡을 고려한 ERS

그림 2. 제어트리

3. 성능 분석

본 장은 2장에서 구성된 두 제어트리의 데이터 복구 성능을 비교 분석한다.

3.1. 성능 분석 기준

데이터 복구시 성능 분석 기준에 다음의 값을 사용한다.

- a: 실제 재전송에 사용된 링크의 수
- b: 혼잡이 발생한 라우터의 서브트리 크기(링크의 수)

- c: 제어 메시지(NACK)가 경유한 링크의 수
- d: 송신자로부터 패킷이 송신되는 시점부터 수신자에게 도착되는데 까지 소요되는 지연시간
- e: 수신자가 패킷 손실을 감지한 시점부터 복구가 이루어지기까지의 지연시간

시뮬레이션을 통해 위의 값을 측정한 후, 다음의 성능 평가 기준에 따라 성능을 측정하였다.

(1) 재전송 트래픽 링크 사용률 = a / b

1이 최적이며, 1보다 클수록 부모가 자식에게 전달하는 재전송 데이터가 더 많은 링크를 거쳤음을 의미한다.

(2) 제어 트래픽 링크 사용률 = c / b

1이 최적이며, 1보다 클수록 자식이 부모에게 전송되어지는 컨트롤 데이터(NACK)가 더 많은 링크를 지났음을 의미한다. 즉, 부모와 자식이 많은 링크를 사이에 두고 있을 경우, 이 오버헤드가 커지게 된다.

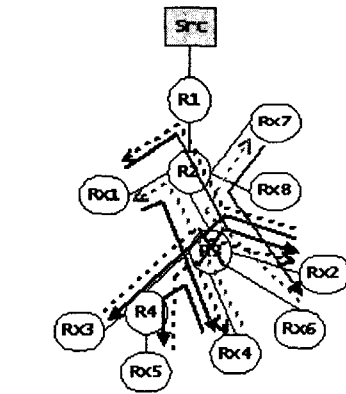
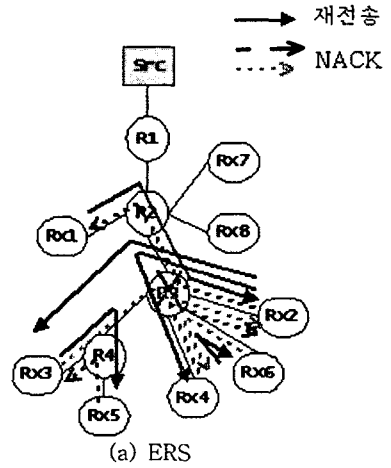
(3) 데이터 복구 지연 오버헤드 = e / d

1보다 작을수록 계층 구조의 잠점인 지역적 복구가 효율적으로 이루어지는 것이다.

3.2. 시뮬레이션 결과

성능 분석을 위해 그림 1의 멀티캐스트 트리를 고려한다. 그리고 응용 계층 제어트리를 그림 2와 같이 순수한 ERS(그림 2(a))와 라우터의 혼잡을 고려한 ERS(그림 2(b))에 따라 각각 구성하고 3.1절에서 제시한 성능기준에 따라 ns-2 시뮬레이션을 통해 성능을 비교하였다.

그림 3(a)와 (b)는 라우터3(R3)에서 혼잡이 발생하여 패킷이 손실 되었을 때, 그림 2의 제어트리에 따라 복구가 일어나는 과정을 각각 보이고 있다. 혼잡을 고려하기 위해서 그림 1의 R3에서 패킷이 손실되는 비율은 1%로 설정하였다. 그림을 통해서도 순수한 ERS가 라우터의 혼잡을 고려한 ERS에 비해 재전송 패킷이 더 많은 링크를 거치게 됨을 알 수 있다(Rx4, Rx6, Rx5).



(b) 라우터의 혼잡을 고려한 ERS
그림 3. 복구 과정

3.2.1 링크 사용률

재전송 트래픽과 제어 트래픽의 링크 사용률은 라우터의 혼잡을 고려한 ERS를 사용한 제어트리는 $15/6=2.5$, 순수한 ERS를 사용한 제어트리는 $12/6=2.0$ 이다. 라우터의 혼잡을 고려한 ERS에 의한 제어트리의 경우는, 부모가 연결된 라우터와 자식들이 연결된 라우터 사이로 재전송 데이터와 제어 데이터가 자식의 수만큼 지나가게 되므로 순수한 ERS에 비해 링크 사용률이 크다.

3.2.2 데이터 복구 지연 오버헤드

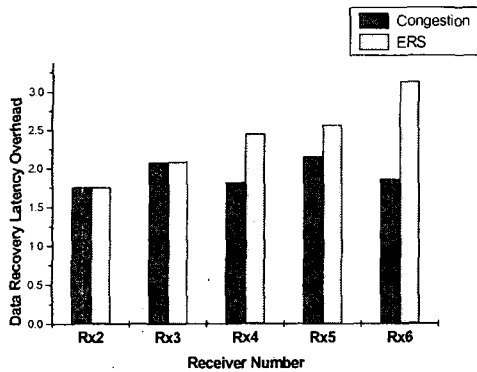


그림 4. 데이터 복구 지연 오버헤드

그림 4의 도표는 데이터 손실이 발생한 수신자 별로 데이터 복구지연 오버헤드를 ns-2로 시뮬레이션한 결과이다. 라우터의 혼잡을 고려하지 않은 ERS를 통해 제어트리를 구성할 경우 Rx4, Rx5, Rx6이 부모와 같은 라우터에 위치하게 된다. 예를 들어, 라우터의 혼잡을 고려하지 않은 ERS에서 Rx6은 같은 라우터의 Rx4가 제어트리상의 부모가 되는데, Rx4 역시 같은 라우터의 Rx2를 제어트리상의 부모로 한다. 이와 같이 같은 라우터에 연결된 노드간에 연쇄적으로 부모-자식 관계가 형성되면 혼잡이 발생할 경우, 성능이 크게 나빠지는 것을 알 수 있다. 결과적으로, 그림 4와 같이 Rx4, Rx5, Rx6에서 라우터의 혼잡을 고려한 제어트리에 비해 데이터 복구지연 오버헤드가 커지는 것을 볼 수 있다.

3.2.1절의 링크 사용을 측정을 통해, 라우터의 혼잡을 고려할 경우 링크 사용율이 커지게 된다. 하지만, 이런 대역폭의 낭비에도 불구하고 라우터의 혼잡을 고려하여 제어트리를 구성할 경우, 복구 지연 오버헤드가 작아짐을 볼 수 있다. 즉, 데이터 복구시 링크 사용율을 고려한 성능 비교에서는 순수한 ERS가 더 우수하게 보이나, 데이터 복구를 위한 전체 오버헤드를 고려했을 경우에는 혼잡을 고려한 ERS가 성능 우위에 있음을 알 수 있다.

5. 결론 및 향후과제

본 연구를 통해, 응용 계층 제어트리를 구성할 경우, 하부 멀티캐스트 트리와의 부모-자식 위상 일치성 외에 라우터의 혼잡을 고려하게 되면 복구 지연시

간의 이득을 보는 것을 알 수 있다. 향후, 멤버쉽이 동적으로 변하는 멀티캐스트 환경에서 효과적인 제어트리 구성/유지 방법 및 이질적인 수신자 그룹을 위해 공평성이 고려되는 제어트리 구성 방법을 연구할 계획이다.

참고문헌

- [1] D. Chiu, S. Hurst, M. Kadansky, and J. Wesley, "TRAM: A Tree-based Reliable Multicast Protocol," Technical Report Sun Technical Report SML TR-98-66, Sun Microsystems, 1998.
- [2] Sally Floyd, Van Jacobson, Ching-Gung Liu, Steven McCanne, and Lixia Zhang, "A Reliable Multicast Framework for Light-weight Sessions and Application-Level Framing," *IEEE/ACM Transaction on Networking*, 1997.
- [3] M. Hoffman, Home page of the Local Group Concept (LGC). <http://www.telematik.informatik.uni-karlsruhe.de/~hofmann/lgc>.
- [4] H. Holbrook, S. Singhal, and D. Cheriton, "Log-Based Receiver-Reliable Multicast for Distributed Interactive Simulation," In *Proceedings of the ACM SIGCOMM '95*, pages 328-341, 1995.
- [5] D. Li, and D. R. Cheriton, "OTERS (On-Tree Efficient Recovery using Subcasting): A Reliable Multicast Protocol," In *Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP '98)*, pages 237-245, 1998.
- [6] J. Lin, and S. Paul, "RMTP: A Reliable Multicast Transport Protocol," In *Proceedings of the IEEE Infocomm '96*, pages 1414-1424, 1996.
- [7] R. Yavatkar, J. Griffioen, and Madhu Sudan, "A Reliable Dissemination Protocol for Interactive Collaborative Applications," In *Proceedings of the Third International Conference on Multimedia '95*, 1995.
- [8] B. Whetten, and G. Taskale, "An Overview of Reliable Multicast Transport Protocol II," *Journal of IEEE Network*, Volume: 14, Issue: 1, pages 37-47, 2000.
- [9] P. Radoslavov, C. Papadopoulos, R. Govindan, and D. Estrin, "A Comparison of Application-Level and Router-Assisted Hierarchical Schemes for Reliable Multicast," In *Proceedings of the IEEE Infocomm '2001*, Volume: 1, pages 229-238, 2001.
- [10] M. Kadansky, D. M. Chiu, B. Whetten, B. N. Levine, G. Taskale, B. Cain, D. Thaler, and S. Koh, "Reliable Multicast Transport Building Block: Tree-Auto-Configuration," Internet Draft, draft-ietf-rmt-bb-tree-config-02.txt, 2001.