

클러스터 가중치를 이용한 Ad Hoc 네트워크 QoS 경로 설정 기법

정현덕*, 연훈제*, 이재용*
*연세대학교 전기전자공학과
e-mail : psychblue@nasla.yonsei.ac.kr

Weighted Cluster based QoS Routing in Ad Hoc Networks

Hyunduk Jung*, Hun-je Yeon*, Jaiyong Lee*
*Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University

요 약

Ad Hoc 네트워크의 QoS 관리를 위해서는 자원의 요청과 예약뿐만 아니라 최선형 패킷의 제어 또한 함께 이루어져야 한다. 기존에 제안된 Ad Hoc 네트워크 QoS 경로 설정 방법들은 이를 고려하지 않거나 고려할 경우에도 복잡한 정보 처리 및 전송률 제어를 통해서 문제를 해결한 경우가 대부분이다. 이 논문에서는 클러스터 가중치를 이용하여 최선형 패킷을 네트워크에 고루 분산시킴으로써 기존 QoS 트래픽을 유지할 수 있는 새로운 경로 설정 기법을 제안한다.

1. 서론

무선 환경에서 Ad Hoc 네트워크의 중요성이 늘어나고 멀티미디어 서비스의 지원에 초점이 맞춰지면서 Ad Hoc 네트워크의 QoS 관리를 위한 연구들이 진행되고 있다.

네트워크 상태의 변화가 심한 Ad Hoc 네트워크에서 QoS 를 보장하기 위해서는 기존의 유선망에서 사용되던 QoS 관리와는 다른 기법이 적용되어야 한다. Ad Hoc 네트워크에서는 채널의 상태와 주변 노드의 영향으로 사용 가능한 대역폭의 변화가 심하다. 또한 노드의 이동이 잦기 때문에 각 노드간의 연결 역시 수시로 변한다. 따라서 이러한 특성을 가지는 Ad Hoc 네트워크의 QoS 관리를 위해서는 무선 자원에 대한 정확한 측정과 측정된 데이터를 통한 QoS 경로의 설정 및 유지가 중요하다[1] [2].

이 중 QoS 경로 설정 기법은 그 동안 Ad Hoc 네트워크 분야의 중심 연구 주제였던 경로 설정 기법들에

기초하여 여러 연구가 진행되고 있다[2] [5] [6]. Ad Hoc 네트워크의 QoS 경로 설정은 보통 자원의 요청, 자원의 예약 및 경로 설정, 경로 유지의 3 가지 과정을 통해서 이루어진다. 자원의 예약은 기존의 유선망에서 제안되었던 DiffServ 나 IntServ 와 유사한 방법을 사용하여 이루어지는 경우가 많으며, 경로의 설정은 네트워크 부하를 줄이기 위해 요구 기반(On-demand) 방식을 주로 사용한다.

Ad Hoc 네트워크의 QoS 관리에서 또 중요한 요소는 최선형 패킷의 관리이다. 무선 노드들은 하나의 채널을 공유하기 때문에 자신이 전송하는 패킷뿐만 아니라 자신의 전송 범위 내에 있는 다른 노드가 전송하는 패킷에 의해서도 전송에 영향을 받는다. 즉, 노드에서 전송하고 있는 QoS 트래픽이 주변 노드에서 전송하는 최선형 패킷에 의해 방해 받을 수 있다. 따라서 주변 노드에서 과도한 최선형 패킷이 발생하게 되면 올바른 QoS 관리를 할 수 없게 된다. 현재까지 제안된 Ad Hoc 네트워크 QoS 경로 설정 기법들은 이러한 점을 고려하지 않거나 혹은 트래픽의 복잡한 제어를 통해서 문제를 해결하려 하고 있다[2].

본 논문에서는 네트워크를 클러스터로 나누고 각

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2002-000-00531-0) 지원으로 수행되었음.

클러스터의 QoS 트래픽 상황에 따라 가중치를 두어 최선형 패킷의 경로를 설정함으로써 보다 효율적인 방법으로 최선형 패킷을 관리하는 기법을 제안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 Ad Hoc 네트워크의 클러스터링 방법과 그 동안 제안된 QoS 경로 설정 기법에 대해 설명하고 3 장에서는 본 논문에서 제안하는 WCR(Weighted Cluster Routing)에 대하여 설명하며 4 장에서 정성적인 성능 비교 결과를 보인 후 5 장에서 결론 및 향후 연구 계획을 제시한다.

2. 관련 연구

2.1 Ad Hoc 네트워크 클러스터링 기법

최근 Ad Hoc 네트워크의 효율적인 관리를 위한 여러 가지 클러스터링 기법이 제안되고 있다. 네트워크를 클러스터로 나눌 경우 그 계층적인 구조를 이용하여 자원의 효율적인 분산관리를 수행할 수 있다는 장점을 가진다. Ad Hoc 네트워크의 다양한 클러스터링 기법 중 가장 대표적인 두 가지 기법은 Lowest-ID 기법과 Highest-Connectivity 기법이다[3].

Lowest-ID 기법[8]은 노드의 고유한 식별자를 사용하여 네트워크를 클러스터링한다. 각 노드는 자신의 식별자를 주기적으로 브로드캐스팅하며 자신보다 높은 식별자의 노드만을 이웃 노드로 가지는 노드가 클러스터헤드가 된다. 다른 노드들은 가장 가까운 클러스터헤드의 멤버가 되며 두 개 이상의 클러스터헤드를 이웃 노드로 가지는 노드는 게이트웨이가 된다.

Highest-Connectivity 기법[9]은 노드의 연결 상태를 고려하여 네트워크를 클러스터링한다. 각 노드는 자신의 이웃 노드 정보를 브로드캐스팅하며 가장 많은 이웃 노드를 가지는 노드가 클러스터헤드가 된다. 다른 노드들은 Lowest-ID 기법과 마찬가지로 가장 가까운 클러스터헤드의 멤버가 되고 둘 이상의 클러스터헤드를 이웃 노드로 가지는 노드는 게이트웨이가 된다.

위 두 가지 방법으로 구성된 네트워크는 하나의 클러스터가 클러스터헤드로부터 단일 홉의 범위 안에 있으며 클러스터헤드와 다른 클러스터헤드는 직접 연결되지 않는 특성을 지닌다.

또 다른 클러스터링 방법으로는 AMCS(Adaptive Multihop Clustering Scheme)[4]와 같이 다중 홉의 범위를 가지는 클러스터를 구성하는 기법이 있다. 클러스터의 멤버는 클러스터헤드로부터 단일 홉 이상의 거리를 가지고 클러스터를 구성한다. 이와 같은 다중 홉 클러스터링 기법은 네트워크의 규모가 커 관리해야 할 노드의 수가 많고 노드의 이동성이 클 경우 적합하다.

본 논문에서 제안하는 WCR 기법은 위와 같은 방법을 사용하여 네트워크를 구성한다. 이 때 사용되는 클러스터링 기법은 위에서 제시한 여러 방법 중 어떠한 것을 사용하여도 무방하나 구성되는 클러스터의 크기에 따라 어느 정도 성능의 차이를 보일 것으로 예상된다.

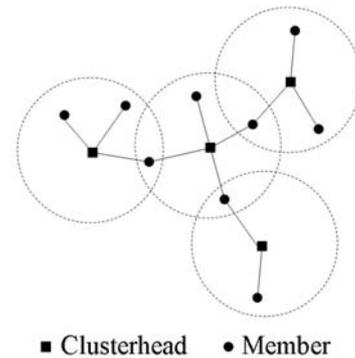
2.2 Ad Hoc 네트워크 QoS 경로 설정 기법

Ad Hoc 네트워크를 위한 QoS 경로 설정 기법 연구는 기존의 경로 설정 기법들을 보완하고 발전시키는 방법으로 이루어져 왔다. AODV 를 발전시킨 E-AODV[5]는 기존의 RREQ 와 RREP 에 대역폭과 지연 시간을 요구할 수 있는 필드를 추가시켜 QoS 경로 설정을 수행한다. 또한 QOS_LOST 메시지를 통해서 QoS 경로를 복구할 수 있다. E-AODV 는 가장 단순한 방법으로 Ad Hoc 네트워크에서 QoS 를 보장하려는 시도이지만 노드의 이동성이나 최선형 패킷에 대한 고려가 없어 그 성능이 떨어진다.

TDR[2]은 IntServ 와 유사한 방식으로 자원을 예약하고 QoS 트래픽을 전송한다. 또한 GPS 기반의 경로 설정 기법을 사용하여 경로 재설정시에 발생하는 제어 패킷의 양을 줄이며 노드의 이동을 예측함으로써 경로의 파괴를 미리 복구할 수 있다. 하지만 TDR 역시 E_AODV 와 마찬가지로 최선형 패킷에 대한 고려가 없으며 GPS 를 사용할 수 없는 네트워크에서는 효과가 없다는 단점이 있다.

SWAN[6]은 최선형 패킷의 전송률을 제어함으로써 QoS 트래픽의 전송을 보장하는 방법이다. SWAN 에서 최선형 패킷은 TCP 의 전송률 제어와 같은 AIMD(Additive Increase Multiplicative Decrease) 방식에 따라 전송률이 제한되고 QoS 트래픽은 원하는 대역폭을 유지할 수 있다. 하지만 모든 노드가 항상 MAC 지연 시간을 관찰하고 복잡한 AIMD 과정을 수행한다는 것은 Ad Hoc 네트워크 노드의 특성상 큰 부담이 될 수 있다. 따라서 Ad Hoc 네트워크에서 효율적으로 QoS 를 보장하기 위해서는 보다 간단한 방법을 사용하여 최선형 패킷을 제어할 필요성이 있다.

3. 클러스터 가중치를 사용한 경로 설정



<그림 1 클러스터링된 Ad Hoc 네트워크>

본 논문에서 제안하는 WCR(Weighted Cluster Routing) 기법은 Ad Hoc 네트워크를 여러 개의 클러스터로 나누어 관리한다. 클러스터링을 위해서는 2 장에서 설명한 다양한 기법들이 사용될 수 있다. 한 예로 그림 1 은 Highest-Connectivity 기법을 사용하여 구성된 네트워크의 모습을 보여준다. 각 노드들은 클러스터 구조를 유지하기 위해서 이웃 노드들과 Hello 패킷을 주고 받는다. WCR 에서는 각 클러스터에 해당 클

러스터의 QoS 트래픽 상황에 따라 적절한 QoS 가중치를 부여하며 이 가중치는 최선형 패킷의 경로 설정을 위해서 사용된다.

3.1 QoS 트래픽의 경로 설정

RDP	Src_ID	Dst_ID	Flow_ID	B_req	D_req	QoS_weight	T_send
RAP	Src_ID	Dst_ID	Flow_ID	QoS_flag			
QUP	Src_ID	Dst_ID	Flow_ID	Cluster_ID	Inc_flag		
RTP	Src_ID	Dst_ID	Flow_ID				

<그림 2 제어 Packet 의 구조>

[표 1 QoS Routing Table 의 구조]

QoS Routing Table

Src_ID	source node ID
Dst_ID	destination node ID
Flow_ID	flow ID
B_req	bandwidth requirement
D_req	delay requirement
Pre_ID	previous node
Nxt_ID	next node

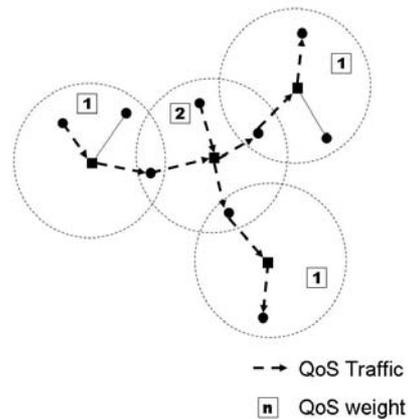
QoS 트래픽을 전송할 송신 노드는 자신이 사용 가능한 대역폭이 해당 트래픽의 요구 대역폭보다 클 경우 RDP(Route Discovery Packet)을 브로드캐스팅한다. RDP 는 전송 노드(Src_ID)와 수신 목적지 노드의 ID(Dst_ID), 해당 트래픽의 ID(Flow_ID), 요구 대역폭(B_req), 요구 지연 시간(D_req), QoS_weight, RDP 를 전송한 시간(T_send)으로 구성된다. QoS 경로 설정을 위한 RDP 는 QoS_weight 값을 '0'으로 설정한다.

RDP 는 AODV[7]의 RREQ 와 마찬가지로 방법으로 목적지 노드까지 전송된다. 각 중간 노드들은 자신이 사용 가능한 대역폭이 RDP 의 B_req 를 만족할 경우에만 RDP 를 전송한다. 이 때 중간 노드에는 해당 트래픽에 대한 QoS 라우팅 테이블이 생성된다. QoS 라우팅 테이블은 표 1 과 같은 구조로 구성된다.

RDP 를 받은 목적지 노드는 가장 먼저 도착한 RDP 를 수신한 시간과 RDP 의 T_send 값을 통해서 송신 노드로부터의 지연 시간을 구하고 이 시간이 D_req 를 만족하면서 송신 노드로 RAP(Route Acknowledge Packet)을 전송한다. RAP 의 QoS_flag 는 QoS 트래픽에 대한 경로일 경우 '1'로 설정된다. RAP 를 받은 중간 노드들은 자신이 속한 클러스터의 QoS 가중치를 수정하기 위해서 QUP(QoS Update Packet) 을 클러스터 내에 브로드캐스팅한다. 이 때 QUP 의 Inc_flag 는 '1'로 설정한다. 클러스터 내에서 동일한 QoS 트래픽을 전송하는 노드는 동일한 QUP 를 중복해서 브로드캐스팅

하지만 같은 클러스터의 멤버들은 동일한 QUP 에 대해서는 브로드캐스팅을 수행하지 않는다. QUP 를 받은 노드는 자신의 QoS 가중치를 '1'만큼 증가시킨다.

일정 시간 동안 RAP 를 받지 못한 중간 노드들은 QoS 라우팅 테이블에서 해당 항목을 삭제한다. 또한 해당 트래픽이 종료될 경우 송신 노드는 RTP(Route Terminate Packet)를 전송하여 중간 노드들의 QoS 라우팅 테이블에서 해당 항목을 삭제한다. 또한 RTP 를 받은 노드는 QUP 의 Inc_flag 를 '0'으로 설정하여 자신의 클러스터 내에 브로드캐스팅하며 해당 QUP 를 받은 노드는 자신의 QoS 가중치를 '1'만큼 감소시킨다. 모든 노드는 주변 노드와 주고받는 Hello 패킷을 통해서 자신의 QoS 가중치를 자신의 클러스터의 QoS 가중치와 동일하게 설정한다. RDP, RAP, QUP, RTP 의 구조는 그림 2 와 같으며 그림 3 은 이와 같은 과정을 거쳐 형성된 QoS 경로와 각 클러스터의 QoS 가중치를 나타낸 그림이다.



<그림 3 QoS 경로 설정의 예>

3.2 최선형 트래픽의 경로 설정

[표 2 최선형 Routing Table 의 구조]

Best-effort Routing Table

Src_ID	source node ID
Dst_ID	destination node ID
Pre_ID	previous node
Nxt_ID	next node

최선형 패킷을 전송할 노드는 B_req 와 D_req 필드를 '0'으로 설정하여 RDP 를 브로드캐스팅한다. RDP 를 수신한 중간 노드는 최선형 라우팅 테이블을 생성하고 RDP 의 QoS_weight 값에 자신의 QoS 가중치를 더한다. 최선형 라우팅 테이블의 구조는 표 2 와 같다.

목적지 노드는 우선 가장 먼저 수신한 RDP 에 대해서 RAP 를 전송한다. 이 때 QoS_flag 값은 '0'으로

설정한다. 이 후 수신되는 RDP 에 대해서는 QoS_weight 값이 이전에 RAP 를 보낸 RDP 보다 작은 경우에 대해서만 RAP 를 전송한다. 송신 노드는 RAP 를 받은 경로로 최선형 패킷을 전송하게 되며, 새로운 RAP 가 전송될 때마다 경로를 갱신한다.

이와 같은 과정을 통해서 복잡한 전송률 제어 없이도 최선형 패킷이 QoS 트래픽이 많이 존재하는 클러스터로 집중되는 것을 방지할 수 있다.

3.3 경로의 재설정

WCR 에서 경로의 재설정이 필요한 경우는 두 가지로 나누어 볼 수 있다. QoS 트래픽의 종단간 지연 시간이 요구 지연 시간보다 길어져 새로운 경로를 찾아야 하는 경우와 노드의 이동으로 물리적인 링크가 손실되어 경로를 재설정하여야 하는 경우이다. 전자의 경우를 QoS 경로 재설정이라 하고 후자를 일반 경로 재설정이라 하겠다.

QoS 경로 재설정은 목적지 노드에서 수행된다. 목적지 노드는 자신이 수신하고 있는 QoS 트래픽의 종단간 지연 시간을 주기적으로 측정하여 측정값이 요구 지연 시간의 90%를 넘어설 경우 경로를 재설정한다. 이를 위해서 목적지 노드는 RAP 의 QoS_flag 값을 '2'로 설정하여 송신 노드로 전송한다. RAP 를 받은 송신 노드는 QoS 트래픽 경로 설정 과정을 수행하고 새로운 경로를 찾으면 이전의 경로로 RTP 를 보낸 후 새로운 경로를 통해서 트래픽을 전송한다.

일반 경로 재설정은 노드의 이동과 같은 이유로 경로가 파괴되는 경우에 수행된다. 파괴된 링크의 상위 노드는 송신 노드로 RAP 를 보낸다. 이 때 해당 경로가 QoS 트래픽의 경로일 경우에는 QoS_flag 를 '2'로 설정하고 최선형 트래픽인 경우에는 '3'으로 설정한다. RAP 를 받은 송신 노드는 새로운 경로 탐색을 수행한다.

4. 성능 비교

[표 3 QoS Routing 기법의 비교]

	E-AODV	SWAN	WCR
QoS Routing	Simple	Complex	Proper
Best-effort Packet Control	N/A	AIMD Rate Control	Simple Weighted-Cluster Concept
Cluster Scheme	N/A	N/A	Support

표 3 은 E-AODV 와 SWAN, WCR 의 정성적인 분석을 보여준다. E-AODV 는 기존의 AODV 를 확장하였기 때문에 가장 단순한 정도의 QoS 밖에 보장해 주지 못한다. 또한 최선형 패킷에 대한 고려가 없어 실제로 QoS 트래픽의 성능이 떨어진다. 반면에 SWAN 은 기존 유선망에서 사용하던 QoS 기법들과 최선형 패킷의 전송률 제어를 수행함으로써 보다 높은 성능을 나타

내지만 기법상의 복잡도가 커서 노드에 큰 부담을 줄 수 있다. 제안하는 WCR 은 QoS 가중치를 이용하여 보다 간단한 방법으로 최선형 패킷을 제어할 수 있으며 클러스터 구조를 이용하기 때문에 노드들을 분산 관리 할 수 있어 다른 관리 구조와의 결합이 용이하다는 장점을 가진다. 따라서 노드에 주어지는 부담을 줄일 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구 계획

본 논문에서는 Ad Hoc 네트워크에서 클러스터의 QoS 가중치를 이용하여 최선형 패킷의 경로를 분산시킴으로써 QoS 트래픽의 전송을 보장하는 WCR 기법을 제안하였다. 이는 복잡한 전송률 제어를 수행하지 않으면서도 최선형 패킷이 QoS 트래픽의 전송에 간섭하는 것을 줄일 수 있다. 따라서 WCR 은 노드의 성능이 제한적인 Ad Hoc 네트워크에 적합하다.

현재 WCR 의 성능 평가를 위해서 여러 환경에서의 모의 실험을 준비 중이다. 네트워크 상의 QoS 트래픽과 최선형 트래픽의 비율, 노드의 이동성 등을 고려한 분석이 필요하며, 모의 실험을 통한 다른 기법과의 성능 비교 역시 계획되어 있다. 나아가서는 WCR 을 기본으로 Ad Hoc 네트워크에서 QoS 보장을 위한 시스템 구조에 관한 연구를 수행할 예정이다.

참고문헌

- [1] Michael Barry and Sean McGrath, "QoS Techniques in Ad Hoc Networks," *Proc. Of 1st International ANWIRE Workshop*, 2003
- [2] Swades De, Sajal K. Das, Hongyi Wu and Chunming Qiao, "Trigger-Based Distributed QoS Routing in Mobile Ad Hoc Networks," *ACM MobiHoc*, 2002
- [3] Mario Gerla and Jack Tzu-Chieh Tsai, "Multicluster, mobile, multimedia radio network," *Wireless Network 1*, 1995
- [4] Tomoyuki Ohta, "An adaptive multihop clustering scheme for highly mobile ad hoc networks," *IEEE Autonomous Decentralized Systems*, 2003
- [5] C. E. Perkins, E. M. Royer and S. R. Das, "Quality of Service for Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing," *draft-ietf-manet-aodvqos-00.txt*, 2000
- [6] Gahng-Seop Ahn, Andrew T. Campbell, Andras Veres and Li-Hsiang Sun, "SWAN: Service Differentiation in Stateless Wireless Ad Hoc Networks," *IEEE INFOCOM*, 2002
- [7] C. E. Perkins and E. M. Royer, "Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing," in *Proc. Of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, 1999
- [8] Anthony Ephremides, Jeffrey E. Wieselthier and Dennis J. Baker, "A design concept for reliable mobile radio networks with frequency hopping signaling," in *Proc. Of IEEE*, 1987
- [9] Abhey K. Parekh, "Selecting routers in ad-hoc networks," *ITS*, 1994