

무선 Ad-hoc 네트워크를 위한 QoS DAG 기반의 QoS 라우팅 기법

정회원 강용혁*, 김현호**, 김정희***, 엄영익***

A QoS DAG-based QoS Routing Scheme for Mobile Ad-hoc Networks

Yong-hyeog Kang*, Hyun-ho Kim**, Jung-hee Kim***, Young Ik Eom*** *Regular Members*

요 약

무선 기기들의 발전과 사용의 증가는 무선 환경에서도 실시간 멀티미디어 응용에 대한 지원을 필요로 하게 되었으며, 무선 ad-hoc 네트워크와 같이 중앙 집중화된 관리 시스템이 없고 동적으로 변하는 네트워크에서는 다양한 멀티미디어 응용을 위한 QoS 라우팅 연구가 더욱 필요하게 되었다. 하지만, 네트워크의 동적 특성으로 인해 완전한(hard real-time) QoS를 지원하는 것은 어려운 실정이다. 본 논문에서는 이러한 무선 ad-hoc 네트워크 환경에서 각각의 이동 호스트들이 주위의 노드들의 QoS 상태 정보를 QoS DAG에 유지하고 이를 통해 QoS 라우팅 경로를 찾는 기법을 제안한다. 제안기법에서 이동 호스트들은 자신의 유지하는 QoS 상태 정보를 지역적인 메시지 전송을 통해 이웃노드들에게만 전송하며, 이웃 노드들은 전송받은 메시지를 통해 QoS DAG을 갱신한다. 이를 통해 제안기법은 QoS 정보를 전역적으로 검색하는 것을 줄이며 효율적으로 QoS 라우팅 경로를 찾을 수 있다.

Key Words : QoS DAG, QoS Routing, Mobile Ad-hoc Networks

ABSTRACT

The growth of mobile devices and the increase of using them have required the support of realtime multimedia application in wireless environments. Especially, wireless ad-hoc networks without central management system and with dynamically changing network topology need much researches of QoS routing for multimedia applications. However it is impossible to support the hard realtime QoS for these dynamic networks. In this paper, we propose a QoS routing scheme by using QoS DAG that is maintained by each mobile node and contains the QoS information for neighbor nodes. In order to maintain the QoS DAG, each node transmits its QoS information to neighbor nodes by local broadcasting, and the neighbor nodes update their QoS DAGs by the received message. In our proposed scheme, it is possible to search the QoS path efficiently by the QoS DAG without searching it in the whole network.

1. 서 론

사용자의 통신 서비스에 대한 요구가 다양해지고 무선기기들이 발전함에 따라 무선 ad-hoc 네트워크

환경에서 실시간 멀티미디어 응용에 대한 요구를 증가시키고 있으며, 이러한 요구를 충족시키기 위한 QoS(Quality of Service) 라우팅 연구는 무선 ad-hoc 네트워크 연구의 중요한 관심 분야가 되었

* 극동대학교 경영학부 정보경영전공(yhkang@kdu.ac.kr), ** 명지전문대학 컴퓨터정보과(kimhh@mail.mjc.ac.kr)

*** 성균관대학교 정보통신공학부 분산컴퓨팅연구실({kimjh, yieom}@ece.skku.ac.kr)

논문번호 : KICS2009-06-239, 접수일자 : 2009년 6월 3일, 최종논문접수일자 : 2009년 10월 15일

다^{[1][3]}. 무선 ad-hoc 네트워크는 이동 호스트(MH)들로 동적으로 구성된 임시 네트워크로 중앙 집중 제어나 서비스가 없이 분산 방식으로 운용되는 네트워크이다. 이러한 네트워크는 백본 호스트나 게이트웨이 없이 구성될 수 있으며, MH들이 통신하기 위해서는 각 MH가 라우터로 동작하여 전달받은 패킷을 라우팅해주는 역할을 수행한다^[4]. 하지만, 무선 ad-hoc 네트워크에 QoS 서비스를 제공하기 위해서는 다음과 같은 문제점들이 있다. 비선형적인 무선 채널로 인해 패킷 전송을 보장하는 것이 어렵게 되며, 노드의 이동성으로 인해 목적지까지의 경로가 변경될 수 있는 가능성이 커지며, 중앙 집중 제어의 부재로 인해 분산 방식으로 운용되어야 하기 때문에 운용 오버헤드와 복잡도가 증가하며, 채널의 경쟁으로 인해 채널의 처리량과 패킷 지연시간의 측정이 복잡해지며, 무선 디바이스 자원의 제한성으로 인해 컴퓨터의 에너지 및 계산 작업과 메모리의 사용이 제한된다^[1].

무선 ad-hoc 네트워크에서 QoS에 대한 연구는 주로 QoS 라우팅을 연구하는 것이지만, 이러한 QoS 라우팅을 체계적으로 하거나 효율적으로 하기 위해 QoS 프레임워크를 설계하고 구축하는 것을 연구하는 것과 클로스레이어(cross-layer) 방식으로 QoS를 제공하기 위한 기법들을 연구하는 것도 있다. 본 논문에서는 QoS 라우팅만을 고려하여 멀티미디어 응용에서 요구하는 QoS 요구사항을 만족시키는 QoS 경로를 찾는 방식을 연구한다. 이를 위해 각 MH들은 자신이 알고 있는 QoS 정보를 QoS DAG(Direct Acycle Graph)을 통해 유지하며, 이 정보를 지역적인 브로드캐스팅(local broadcasting)을 통해 이웃노드들과 교환하게 된다. 이 교환으로 인해 각 MH들은 자신의 QoS DAG을 보다 최신의 정보로 갱신하게 되어, 인접한 이웃 노드들의 QoS 정보뿐만 아니라, 경로가 2이상인 이웃 노드들의 QoS 정보도 알게 된다. 본 논문에서는 이렇게 유지되는 QoS DAG을 통해 QoS 경로를 효율적으로 찾는 QoS 라우팅 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 무선 ad-hoc 네트워크 환경에서 MH의 QoS 서비스를 보장하기 위한 기존 QoS 라우팅 기법들을 설명하고, 3장에서 제안기법에 대한 설명과 MH가 유지하는 QoS DAG 자료구조에 대한 설명을 하며, QoS DAG을 유지하고 갱신하는 분산 알고리즘을 제시한다. 4장에서는 제안기법에 대한 성능 분석 및 결과를 제시하며, 5장에서는 결론과 향후 연구 과제를

제시한다.

II. 관련 연구

무선 ad-hoc 네트워크 환경에서도 유선 네트워크와 마찬가지로 다양한 멀티미디어 응용이 동작할 수 있다. 이러한 멀티미디어 응용은 서로 다른 QoS 보장을 요구하며, 이러한 QoS 요구사항은 지연시간(delay) 보장, 대역폭(bandwidth) 보장, 높은 처리량 등이 있다^[5]. QoS 라우팅은 멀티미디어 응용이 제시하는 QoS 요구사항에 맞는 소스에서 목적지까지의 경로를 찾는 것이다. 필요한 경우 자원 예약 프로토콜을 통해 필요한 자원을 예약하여 사용할 수 있다^[6]. QoS 메트릭(metric)에는 additive 메트릭과 concave 메트릭과 multiplicative 메트릭으로 분류된다. Additive 메트릭은 라우팅 경로에 있는 QoS 값들의 합으로 표현되며, 대표적인 예로는 통신비용(cost)와 지연시간(delay time)이 있다. Concave 메트릭은 라우팅 경로에 있는 QoS 값들 중에서 가장 작은 값으로 표현되며, 대표적인 예로는 대역폭이 있다. Multiplicative 메트릭은 라우팅 경로에 있는 QoS 값들의 곱으로 표현되며 대표적인 예로는 링크의 신뢰성(reliability)이나 가용성(availability)이 있다.

무선 ad-hoc 네트워크 환경에서 QoS 라우팅에 대한 연구에 대한 관련 연구에 대한 조사가 많이 이루어졌다^{[1][12]}. 무선 ad-hoc 네트워크에서 QoS 라우팅을 위한 접근방식에 따른 분류와 프로토콜 레이어 방식으로 QoS 해결 방안을 분류하는 방식이 제시되었다^[7]. QoS 라우팅을 위한 접근 방식에 따른 분류는 라우팅 프로토콜과 QoS를 제공하는 기법과의 상호작용을 기준으로 하는 방식과 네트워크 레이어와 MAC 레이어와의 상호작용으로 하는 방식과 라우팅 정보 갱신 기법을 적용하는 방식으로 구분되었으며, 레이어 방식에 따른 분류는 MAC 레이어의 해결방안과 네트워크 레이어 해결방안과 QoS 프레임워크(클로스-레이어) 해결방안으로 분류하였다. 본 논문에서 제안하는 기법은 라우팅 프로토콜과 QoS를 제공하는 기법이 상호작용하는 방식이며 MAC 레이어와는 독립적이며 네트워크 레이어 해결방안으로 분류할 수 있다.

MAC 레이어에서 QoS 라우팅을 제공하는 방식은 링크 레벨에서만 고려하기 때문에 단대단(end-to-end) 자원 협상 및 예약과 재구성이 필요한 경우에는 반드시 네트워크 레이어의 지원이 필요하게 된

다^[8]. MAC 레이어의 초기 연구에서는 주로 TDMA/CDMA 채널 접근 기법을 이용한 방식을 사용했지만, 이러한 방식은 전역적인 클락 동기화 기법이 필요하게 되어 이동 환경에서는 사용하기가 어려운 방식이다^[1].

무선 ad-hoc 네트워크에서 멀티미디어 응용을 위해 사용되는 자원은 지역적인 개념의 자원이 아니라 이웃 노드들에게 영향을 줄 수 있다^[9]. 따라서, 무선 ad-hoc 네트워크에 멀티미디어 응용을 지원하기 위해서는 네트워크가 혼잡되는 것을 방지해야 하며 위를 위해서는 수락 제어(admission control) 기법도 필요하다^[10]. QoS 프레임워크를 해결 방안을 쓰는 기법들은 수락 제어 모듈을 포함하고 있다^{[8],[11],[12]}.

본 논문에서 제안하는 기법과 같이 이웃 노드들과 QoS 정보를 협력하여 이용하는 방식도 많이 제안되었다^{[2],[13],[15]}. [2]에서는 AODV의 Hello 메시지를 piggyback하는 메커니즘을 이용하여 잔여 채널 용량을 평가한다. 이 기법은 추가적인 제어 메시지 없이 채널의 사용량을 모든 이웃 노드들에게 알려줄 수 있다. [13]에서는 Hello 메시지를 통해서 이웃노드들의 현재 대역폭을 평가하여 알려준다. [14]에서도 주기적인 Hello 메시지의 브로드캐스팅을 통해 1홉과 2홉의 이웃들에 대한 QoS 관련 정보를 라우팅 테이블에서 관리한다. [15]에서는 Hello 메시지를 통해 이웃 노드들의 목록과 트래픽 정보를 알려준다.

무선 ad-hoc 네트워크에서 QoS 라우팅을 지원하기 위해서는 각각의 노드들이 QoS 라우팅 경로를 찾고 유지해야 한다. QoS 라우팅을 지원하기 위한 방식으로는 요구기반(on-demand) 방식과 테이블기반(table-driven) 방식이 있다^[1]. 요구기반 방식은 QoS 라우팅 경로를 찾기 위해 전역적인 경로 탐색이 필요하며, QoS 요청에 빠르게 응답할 수 없는 단점이 있다. 이러한 것을 해결하기 위해서는 테이블 기반방식을 사용해야 하지만, 이 방식은 무선 ad-hoc 네트워크의 동적인 위상 변화로 인해 테이블을 유지하는 데 많은 오버헤드가 발생한다^[1]. 본 논문에서는 이러한 테이블을 유지하는 오버헤드를 줄이기 위해 지역적인 브로드캐스팅을 사용하여 QoS 상태 정보를 유지하는 테이블 기반(table-driven) 방식을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 기법은 QoS 라우팅 경로를 찾기 위해 필요한 전역적인 경로 탐색을 줄일 수 있으며, QoS 요청에 빠르게 응답할 수 있는 장점이 있다.

III. QoS DAG을 이용한 QoS 라우팅 기법

3.1 개요

무선 ad-hoc 네트워크에 QoS를 지원하기 위해서는 QoS 요구조건을 맞추는 충분한 가용 자원을 갖는 경로를 찾는 것이 필요하다. 이러한 요구조건을 만족시키는 경로를 찾기 위해 QoS를 위해 다음과 같은 사항을 고려해야 한다. QoS 자원을 측정해야 하며, QoS 경로를 발견해야 하며, QoS 자원을 예약해야 하며, QoS 경로를 유지해야 하며, QoS 경로를 선택해야 한다^[2]. 이러한 고려사항을 참조하여 본 논문에서는 제안하는 기법은 다음과 같은 원리를 통해 설계하였다.

- 1) 제안기법은 QoS DAG을 유지하는 기법과 QoS 경로 설정 기법으로 구성된다.
- 2) 각 MH는 최신의 QoS 정보를 유지하기 위하여 자신 주변의 QoS 정보를 모니터링하며 모니터링한 결과를 QoS DAG에 갱신한다.
- 3) 각 MH는 QoS DAG 그래프가 갱신되었을 때 이웃 MH들에게 QoS DAG을 바탕으로 만들어진 QoS 정보 패킷을 지역적인 브로드캐스팅으로 전달한다.
- 4) 각 MH는 QoS DAG 정보 패킷을 이웃 노드로부터 받았을 때는 그 패킷 정보를 통해 QoS DAG를 갱신한다.
- 5) 너무 자주 지역적인 브로드캐스팅이 발생하지 않도록 한다.
- 6) 각 MH가 QoS 라우팅 경로를 설정할 때 QoS DAG에서 해당 QoS 요구사항을 만족시키는 경로를 찾아서 사용한다.
- 7) QoS 라우팅 경로에 대한 검증이 필요한 경우 찾은 경로에 대한 검증 과정을 수행한다.

본 논문에서 제안하는 기법에 대한 개요는 다음과 같다. 본 논문에서 제안한 기법에서는 이동 호스트들이 지역적인 브로드캐스팅을 통해 DAG 그래프 형식으로 QoS 상태 정보를 유지하며, QoS DAG을 이용하여 QoS 경로를 찾는다. QoS 경로를 찾는 방식은 QoS 요구사항의 갖는 메트릭의 성질에 따라서 다른 그래프 탐색 알고리즘이 사용된다. 각각의 MH는 최신의 QoS 정보를 유지하기 위해서는 이웃노드들과의 협력이 필요하며 다른 QoS 라우팅 기법들^{[2],[13],[15]}이 사용하는 Hello 메시지를 이용한다. 제안기법에서는 이러한 메시지를 확장하여 QoS DAG 정보를 전송하는 방식으로 요구기반 방식의 전역적인 메시지 전송보다는 오버헤드가 크게 늘어

나지 않는 방식이다. 하지만, 이러한 메시지가 너무 자주 발생하면 오버헤드가 증가하기 때문에 이를 줄이는 기법을 고려해야 한다. 줄이는 방식으로는 메시지 전송 주기를 길게 하여 메시지 전송을 줄이는 방식이 있으며, QoS DAG 정보가 변경된 경우에만 메시지를 전송하는 방식이 있으며, 이 두가지 방식을 혼합하는 방식이 있을 수 있다.

본 논문에서 제안한 기법을 이용하여 QoS 라우팅을 수행할 경우 다음과 같은 경우에 효과적으로 수행할 수 있다.

- 1) QoS 라우팅 경로에 에러가 발생하였을 경우 빠르게 QoS DAG을 통해 재설정한다.
- 2) QoS 경로 설정에 수락 제어가 필요할 경우 QoS DAG을 이용하여 수행할 수 있다.

본 논문에서 제안하는 기법은 QoS 경로의 중간에 오류가 발생할 경우 QoS DAG을 이용하여 빠르게 재설정할 수 있다. 즉, 중간 노드에서 오류가 발생한 것을 알았을 경우 그 곳에서 목적지 노드까지의 QoS 경로를 빠르게 재설정하여 오류를 해결할 수 있다. 또한, 제안 기법에서는 수락 제어 기법과 연동하여 새로운 QoS 요청에 대하여 제어할 수 있다. QoS 경로가 설정될 때, 해당 경로에 있는 노드들의 QoS DAG에 있는 QoS 자원 정보를 감소시켜서 자원 예약과 같은 효과를 가져올 수 있다.

본 논문에서는 QoS DAG으로 사용되는 Local QoS Graph 이외에도 Local QoS Path 및 Validated QoS Path라는 용어를 사용한다. 이들에 대한 정의는 다음과 같다.

정의 1. LQG(Local QoS Graph)는 QoS DAG에 대한 다른 이름으로 각각의 노드가 유지하는 QoS 상태 정보 그래프이다. 이 그래프는 이웃 노드들에게서 받은 QoS DAG 정보를 토대로 갱신되기 때문에 오래된 정보를 포함하게 된다. 이 그래프는 전체 네트워크의 QoS 상태를 유지하는 것은 아니며, QoS 정보를 최신의 상태로 유지하는 것은 아니다. 하지만, 소스 노드는 QoS 경로를 찾을 때 자신의 유지하고 있는 LQG에서 QoS 경로를 찾을 수 있다.

정의 2. LQP(Local QoS Path)는 소스 노드에서 유지하는 LQG에서 QoS 요구조건에 맞는 경로를 찾은 결과이다. 이 경로는 오래된 정보가 포함된 QoS DAG을 이용하여 검색된 경로이므로 실제 네트워크 상에서 존재하지 않는 경로일 수 있다.

정의 3. VQP(Validated QoS Path)는 소스 노드에서 찾은 LQP를 검증한 경로이다. 이를 위해 경로를 검증하는 과정이 필요하며, 이 과정은 해당 경로

에 있는 노드들만이 메시지 교환을 수행하기 때문에 전역적인 메시지 전송이 필요하지 않는다.

3.2 QoS DAG 유지 기법

본 논문에서 제안하는 기법에서는 각 노드는 노드 주위의 QoS 상태 정보를 QoS DAG에 유지하며, QoS 정보를 이웃 노드들에게 알리기 위해 지역 브로드캐스팅을 통해 이웃 노드들에게 전송한다. 이러한 QoS DAG은 무선 ad-hoc 네트워크에 있는 노드들에 대한 QoS 정보를 유지하는 노드 엔트리와 이웃하는 노드들간의 링크에 대한 QoS 정보를 유지하는 링크 엔트리로 구성된다.

QoS DAG에 있는 노드 엔트리는 표 1과 같은 필드들을 가지며, 무선 ad-hoc 네트워크 내의 노드들의 QoS 상태 정보를 유지한다.

표 1. 노드 엔트리 필드명 및 설명

필드명	설명
id	노드 식별자
visited	visited 필드로 DAG 그래프를 유지하는데 사용
timestamp	노드 엔트리의 타임스탬프
list_of_QoS	노드의 QoS 정보들

노드 엔트리 내의 id 필드는 노드식별자로 이동 노드의 IP 주소와 같은 것으로 사용할 수 있다. visited 필드는 QoS DAG 그래프의 갱신 알고리즘에서 너비우선탐색(BFS: Breadth First Search)에서 사용된다. timestamp 필드는 이 엔트리가 얼마나 오래된 것인지에 대한 정보를 유지하며 그래프의 갱신시에 갱신의 기준으로 사용된다. list_of_QoS 필드는 노드의 QoS 상태 정보들의 리스트로 구성되며 QoS 라우팅 경로를 찾을 경우 사용된다.

QoS DAG에 있는 링크 엔트리는 표 2와 같은 필드들을 가지며 네트워크 내의 링크에 대한 QoS 상태 정보를 유지한다.

표 2. 링크 엔트리 필드명 및 설명

필드명	설명
src_node	링크의 소스 노드 ID
dest_node	링크의 목적지 노드 ID
timestamp	링크 엔트리의 타임스탬프
list_of_QoS	링크의 QoS 정보들

링크 엔트리 내의 src_node 필드와 dest_node 필드는 링크의 식별자로 사용되며, timestamp 필드는

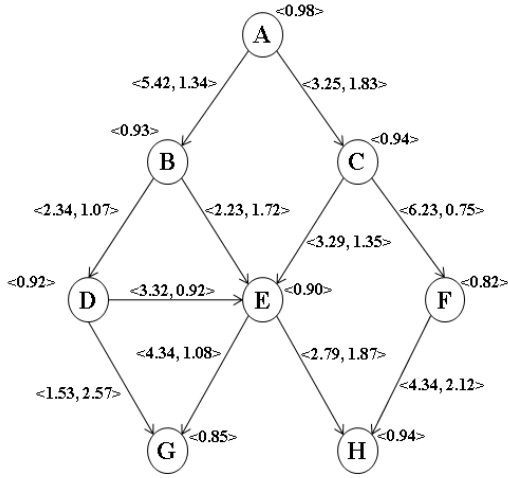


그림 1. 노드 A가 유지하는 QoS DAG 자료구조의 예

노드 엔트리의 timestamp 필드에서와 같이 이 엔트리가 얼마나 오래된 것인지와 그래프의 갱신시에 갱신의 기준으로 사용된다. list_of_QoS 필드는 노드들간의 링크에 대한 QoS 정보들에 대한 리스트이며 QoS 라우팅 경로를 찾는 데 사용된다.

본 논문에서 제안하는 기법을 이해하기 쉽게 설명하기 위해 그림 1과 같이 노드 A가 유지하는 QoS DAG 자료구조의 예를 사용한다. 노드의 QoS 정보들 중에서는 가용성만을 나타내었으며, 링크의 QoS 정보는 대역폭(Mbps)과 응답시간(ms)만을 순서대로 나타내었다.

이러한 그래프를 구성하는 원리는 다음과 같다. 무선 ad-hoc 네트워크에 있는 MH들은 초기에 노드 자신에 대한 QoS 정보만을 유지한 상태로 시작한다. 이러한 정보를 바로 이웃노드 사이에 교환하고 갱신함으로써 이웃노드의 QoS 정보와 이웃노드와의 링크에 대한 QoS 정보를 유지하게 된다. 이러한 정보를 계속적으로 이웃 노드들과 지역 브로드캐스팅을 통해 교환하고 갱신하게 되면, 이 그래프는 MH 자신의 QoS 정보뿐만 아니라 다른 MH 주위의 QoS 정보도 유지하게 된다. 그래프가 너무 커지는 것을 방지하고 오래된 정보를 제거하기 위해 노드와 링크의 유지 시간을 노드 엔트리와 링크 엔트리에 있는 각각의 timestamp에 의해 결정되도록 한다. 즉, timestamp 필드는 그래프의 갱신 시에 최신 정보의 기준으로 사용되며, 어느 정도 오래된 정보를 삭제하는 기준으로도 사용된다. 제안 기법에서는 MH들이 이러한 정보를 유지하고 갱신하기 위해서 그림 2와 같은 알고리즘을 수행한다.

When an MH M receives QoS DAGP from the neighbor MH R

```

make the MDAG using the QoS DAGP;
for (each node entry N in MDAG)
    N.visited = FALSE;
R = the root entry of MDAG;
R.visited = TRUE;
enqueue(R, BFSQ); // enqueue R entry into the BFSQ queue

while (the BFSQ is not empty) {
    // node entry type is (V.id, V.visited, V.ts, V.lqs)
    V = dequeue(BFSQ);

    for (each child node C in V) {
        if (C.visited == FALSE) {
            C.visited = TRUE;
            enqueue(C, BFSQ);
        }
    }
    // Insert the entries of all links of V into the LINKQ;
    for (each out-degree link e of V)
        enqueue(e, LINKQ);

    // Node information is updated
    if (∃W that has the same ID with V in LocalDAG) {
        insertVertex(V, LocalDAG);
    } else {
        if (W.timestamp < V.timestamp)
            W = V; // update W with V
    }

    // link information is updated
    while (LINKQ is not empty) {
        p = dequeue(LINKQ); // p is a link entry
        if (∃q that has the same ID with p in LocalDAG)
            InsertEdge(p, LocalDAG);
        else {
            if (q.timestamp < p.timestamp)
                q = p; // update q with p
        }
    }
}
    
```

그림 2. 임의의 MH의 QoS DAGP 처리 알고리즘

이 알고리즘은 임의의 MH가 이웃 노드로부터 받은 QoS DAG 정보를 받았을 때 처리하는 알고리즘이다. 이웃 노드의 QoS DAG인 MDAG을 너비우선탐색(BFS)하면서 MDAG에 있는 노드 또는 링크를 현재 MH가 유지하고 있는 LocalDAG에서 찾고, 있을 경우 timestamp를 기준으로 하여 최신 정보로 LocalDAG에 있는 자료구조를 갱신하며, 찾지 못할 경우 MDAG에 있는 노드 또는 링크를 LocalDAG에 추가한다. 이 알고리즘은 노드와 링크를 독립적으로 처리되며, 노드 정보부터 처리한 후에 링크정보를 처리한다. 노드와 링크 정보를 처리할 때 갱신하는 기준은 timestamp이며 최신의 정보가 오래된 정보를 대체한다.

알고리즘에서 사용되는 DAGP와 MDAG은 QoS DAG의 다른 표현으로 패킷을 전송하기 위해서 변형된 형태를 나타내기 위해서 사용된 용어이다. 즉,

이웃 노드의 QoS DAG은 패킷을 전송하기 전에 DAGP로 변형되며, 메시지를 받은 노드는 DAGP를 다시 QoS DAG 형태인 MDAG으로 변형된다¹⁶⁾. MDAG은 메시지를 받은 노드가 유지하는 QoS DAG인 LocalDAG과 구별하기 위해 사용된다. R과 V는 노드 엔트리에 대한 변수들이며, BFSQ와 LINKQ는 각각 BFS에 사용되는 큐와 링크 엔트리를 저장하는 큐이다. enqueue()와 dequeue() 함수는 각각 큐에 엔트리를 삽입 삭제하는 함수이며, insertVertex()와 insertEdge() 함수는 각각 그래프에 노드와 링크를 삽입하는 함수로 그림 1과 같은 형식으로 자료구조를 유지하도록 한다.

3.3 QoS 경로 설정 기법

본 논문에서 제안하는 기법은 QoS DAG을 이용하여 경로를 찾는다. 제안기법에서 경로를 설정하는 과정은 우선 LQP에서 QoS 요구조건에 맞는 LQP를 찾은 후에 이 경로에 대한 검증을 실시한다. 검증이 완료된 경로는 VQP로 이 경로를 통해 QoS 메시지 전송이 수행된다. 검증이 되지 않은 경로가 발생할 경우 다른 방식을 통해 QoS 경로를 검색하고 QoS DAG에 그 내용을 갱신한다.

요구 조건에 맞는 LQP를 찾는 방식은 QoS의 특색에 따라 달라진다. Additive 메트릭을 갖는 QoS인 경우에는 QoS DAG의 있는 QoS 상태 정보를 비용으로 하여 루트 노드에서부터 목적지노드까지 최단 경로를 찾는 알고리즘으로 탐욕 알고리즘(greedy algorithm) 방식인 Dijkstra의 최단 경로(shortest path)를 찾는 알고리즘을 사용하여 경로를 찾을 수 있다. 예를 들어 QoS 요구 조건이 최소 응답시간(response time)인 경우 소스 노드에서 목적지 노드까지 최소의 응답 시간을 갖는 경로를 찾으려면 된다. 그림 1에서 A노드가 G노드까지의 최소 응답시간을 갖는 경로를 찾을 경우 최단경로 알고리즘을 통해서 최단 경로를 구할 수 있다. 최단 경로는 ABEG로 최단 경로의 값은 4.14(1.34+1.72+1.08)로 ACEG 경로의 값인 4.26(1.83+1.35+1.08)이나 ABDG의 경로의 값인 4.98(1.34+1.07+2.57)보다 작다.

Concave QoS 메트릭인 경우에는 max-min 알고리즘으로 최대용량경로(maximum capacity path)를 찾는 알고리즘을 사용하여 구할 수 있다. 즉, 소스 노드에서 목적지 노드까지의 여러 경로 중에서 경로에 있는 QoS 상태값들의 최소값이 가장 큰 경로를 찾는 알고리즘을 사용하면 된다. 그림 1에서 A노드가 G 노드까지의 가장 큰 대역폭을 갖는 경로

를 찾을 경우 경로에 있는 대역폭의 최소값이 제일 큰 경로를 찾으려면 된다. A 노드에서 G 노드까지 가장 큰 대역폭을 갖는 경로는 ACEG로 대역폭은 3.25(Min(3.25, 3.29, 4.34))의 값을 가지며, ABEG나 ABDG는 각각 1.08과 1.07의 대역폭을 갖는 경로가 된다.

Multiplicative QoS 메트릭인 경우에도 소스에서 목적지까지의 여러 경로 중에서 경로에 있는 QoS 상태값들의 곱을 기준으로 QoS 요구조건을 맞추면 된다. 가용성이 높은 경로를 찾을 경우 소스에서 목적지까지의 여러 경로 중에서 경로에 있는 QoS 상태값들의 곱이 가장 큰 경로를 찾으려면 된다. 이 경로를 찾는 방식도 탐욕 알고리즘 방식으로 구할 수 있다. 즉, 가장 가용성이 높은 노드들을 경로로 포함시키면서 목적지 노드를 발견할 때까지 탐색을 수행하면 된다. 그림 1에서 A노드가 G 노드까지의 가용성이 가장 큰 경로를 찾을 경우 ABDG가 가장 큰 가용성을 갖는 경로가 된다. 소스 노드와 목적지 노드는 동일하므로 중간에 있는 노드들의 곱만을 가지고 계산할 경우, ABDG의 경로가 0.8556(0.93*0.92)으로 ACEG(0.846=0.94*0.90)나 ABEG(0.837=0.93*0.90)의 경로보다 가용성이 더 크다.

3.4 제어 메시지 감소 기법

제어 메시지의 전송이 많아지는 것을 해결하는 방법은 전송 패킷의 수를 줄이는 방법과 전송 패킷의 크기를 줄이는 방식으로 나눌 수 있다. 전송 패킷의 수를 줄이는 방식은 주기적인 QoS DAG 메시지를 전송하는 것을 줄이는 방식으로 메시지 전송 주기를 늘리며 중요 데이터의 갱신 시에는 즉시 메시지를 전송하는 방식으로 혼합방식을 사용하면 된다. 전송 패킷의 크기를 줄이는 방식은 이전 메시지 전송과 다른 내용만을 전송하는 방식을 사용하면 된다.

자원 제약적인 MH들은 제어 메시지의 감소로 인해 노드의 통신비용뿐만 아니라 노드의 자원도 절약할 수 있다. 제안기법으로 인해 발생하는 메시지 전송과 알고리즘의 수행은 컴퓨팅 오버헤드와 에너지 소비량을 증가시킨다. 이를 줄이는 방법도 메시지의 전송을 줄이거나 전송 패킷의 크기를 줄이는 방식으로 컴퓨팅 오버헤드 및 에너지 소비를 줄일 수 있다.

IV. 성능 분석 및 평가

무선 ad-hoc 네트워크 환경에서 QoS 프로토콜의 성능에 영향을 줄수 있는 요소들은 여러 가지가 있다^[1]. 우선 노드의 이동성이 있으며, 네트워크의 크기도 프로토콜의 성능에 영향을 준다. 트래픽의 소스의 수와 전송 속도도 영향을 주며, 노드의 전송능력도 영향을 주며, 무선 채널의 특성도 영향을 준다. 본 논문에서는 노드의 이동성과 트래픽만을 고려하여 제안기법의 성능을 평가하였다.

QoS DAG을 유지하는 알고리즘의 성능은 QoS DAG을 이웃노드들에게 전송하는 오버헤드를 평가하는 것이다. 이러한 오버헤드는 주기적으로 메시지를 전송할 경우에 많이 발생하지만, 무선 ad-hoc 네트워크에서 이웃노드들의 상태를 알기 위해 주기적으로 전송하는 메시지와 연동할 경우 오버헤드는 크게 증가하지 않는다. 하지만, 네트워크 상태에 빠르게 대응하기 위해 QoS DAG 정보를 이웃노드들에게 전송할 경우 추가적인 오버헤드가 발생하게 된다.

QoS 라우팅의 성능은 QoS DAG을 이용하여 QoS 경로를 찾을 수 있는 척도로 평가된다. QoS DAG은 네트워크의 상태를 최신의 정보를 가지고 유지한다면 바로 QoS 경로를 찾을 수 있지만, 이러한 정보를 정확하게 최신의 정보로 유지하는 것은 거의 불가능하며 어느 정도 오래된 정보를 가지고 유지한다. QoS DAG에서 링크의 오래된 정보의 척도는 다음과 같이 계산된다. 제어 메시지가 전송 주기를 p라고 하고 QoS 경로의 길이가 n인 경우 다음과 같다.

$$I_{old}(p, n) = \sum_{k=1}^n (k-1/2)p \quad (1)$$

경로가 1일 경우에는 노드가 자체적으로 이웃노드와의 QoS 정보를 최신의 정보로 유지하기 때문에 0이 되며, 경로가 2일 경우 0+p/2, 경로가 3일 경우 0+p/2+p가 되어 3p/2가 되며 4일 경우 0+p/2+t+3p/2가 되어 3p, 경로가 5일 경우 0+p/2+p+3p/2+2p가 되어 5p가 된다. 즉, 경로의 길이가 커질수록 오래된 정보의 척도는 증가한다.

오래된 정보가 반드시 잘못된 정보를 가지는 것은 아니며, 오래된 정보라도 그 시간동안 네트워크의 상태가 크게 변경되지 않는다면 QoS 경로를 찾는 데 사용될 수 있다. 네트워크의 상태가 변경되는

경우는 크게 네트워크의 위상이 변경될 경우와 노드들간의 트래픽으로 인해 노드 및 링크의 QoS 정보가 변경될 경우로 볼 수 있다. 트래픽으로 인해 변경되는 것은 트래픽이 많이 발생하는 경우 네트워크의 상태가 크게 영향을 받게 되며, 트래픽이 적을 경우 네트워크의 상태가 적게 영향을 받는다. 네트워크의 위상이 크게 변경되는 경우는 임의의 노드의 주위노드가 n인 경우, 움직이는 노드의 개수가 m개이며, 평균 속도가 v인 경우, 다음과 같은 척도로 계산된다.

$$T_{change}(n, m, v, r) = n*d/r*m \quad (2)$$

여기서 d는 v*sec이며 r은 전송영역이다. 움직이는 노드가 10개이며 통신 영역이 250m인 경우 이웃노드의 수가 5개인 경우 v*5*10/250=v/5가 된다.

본 논문에서는 제안기법을 평가하기 위해 QoS DAG을 통해 QoS 경로를 찾을 수 있는지를 시뮬레이션을 통해 평가하였다. 성능평가 도구는 SIMLIB^[11]을 사용하였으며, 성능평가 모델과 파라미터에 대한 내용은 표 3과 같다.

성능평가는 QoS DAG을 통해 어느정도까지의 QoS 라우팅 경로를 찾을 수 있는지 평가하는 것이다. QoS 경로찾기 요청에 대해 LQG에서 LQP를 찾을 수 있을지를 평가하고, 이 경로가 실제로 QoS 경로로 사용될 수 있을 지 평가하기 위해 VQP가 되는 비율을 평가하였다. 성능평가 파라미터로는 네트워크의 위상 변화에 따른 제안기법의 성능을 평가하기 위해 노드들의 이동속도로 하였으며, QoS DAG 메시지를 지역적인 브로드캐스팅하는 전송 주기로 하였다.

표 3. 성능평가 모델 및 파라미터

네트워크 모델	
노드의 수	50 개
네트워크 영역	1200 x 900 m ²
통신 영역	250 m
트래픽 모델	
QoS 연결개수	10 개
트래픽 타입	CBR
QoS 정보 메시지 전송주기	{0.5, 1, 2, 4, 8}초
이동 모델	
이동노드 개수	10 개
노드 이동속도	Uniform (0, max_speed)m/s, max_speed={2, 4, 6, 8, 10}
휴지 시간	100 초

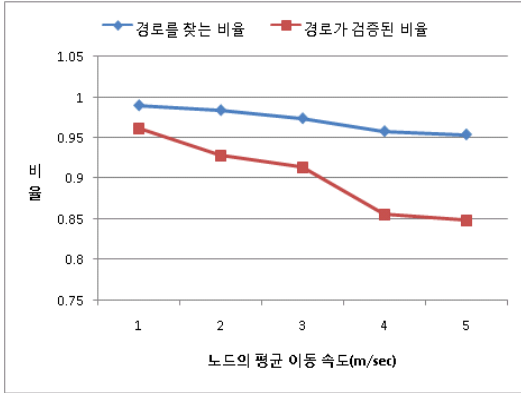


그림 3. 노드의 이동 속도에 따른 QoS 경로를 찾는 비율과 검증된 비율

그림 3은 노드의 이동 속도에 따른 QoS 경로를 찾는 확률과 그 경로가 실제로 네트워크에 있을 확률을 나타낸다. 노드의 이동속도가 증가할수록 LQG에 그 경로가 있을 확률이 줄어들지만 그 정도는 5%이하에 해당한다. 이 결과는 노드의 이동 속도가 빠를수록 네트워크 위상의 변화는 증가하지만, 제안 기법에서 노드들이 주기적으로 QoS 정보를 이웃노드들과 교환함으로써 위상의 변화에 대응할 수 있음을 나타낸다. LQG에 있는 경로를 검증된 비율을 보면 노드의 이동 속도가 낮을 때는 확실히 검증될 확률이 높지만, 이동 속도가 증가할 수록 경로가 검증될 비율이 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 이 결과 역시 네트워크 위상의 변화로 인하여 노드들에서 유지되고 있는 QoS 정보가 잘못된 확률이 증가함을 나타낸다. 하지만, 노드의 이동속도가 3m/s 이하인 경우는 검증이 잘못된 경우는 10%이하이므로 다른 기법을 써서 QoS 라우팅 경로를 설정해야 하는 오버헤드가 크게 발생하지는 않는다. 하지만 4m/s 이상인 경우에는 즉, 1초에 평균 4m로 노드가 이동하는 경우에는 10번 중에서 최대 1.5번의 재설정 오버헤드가 발생할 수 있다.

그림 4는 QoS DAG 메시지의 전송 주기와 관련하여 QoS 경로를 찾는 확률과 그 경로가 실제로 네트워크에 있을 확률을 나타낸다. 이 결과는 제어 메시지를 줄였을 때 발생할 수 있는 결과를 보여준다. 즉, 메시지 전송주기가 늘어날수록 제어메시지가 줄어들게 된다. 제어 메시지의 양을 줄이기 위해 메시지 전송주기가 늘렸을 경우 경로를 찾지 못할 비율은 크게 증가함을 알 수 있다. 하지만 일반적인 Hello 메시지의 주기인 1초의 경우에는 95% 이상의 결과를 보여준다. 또한, 이 결과는 노드의 이동

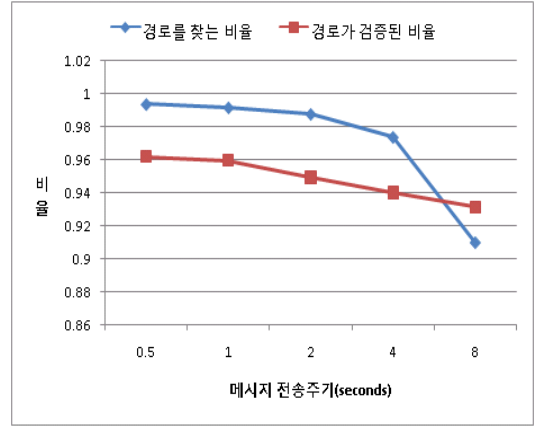


그림 4. 메시지 전송 주기에 따른 QoS 경로를 찾는 비율과 검증된 비율

속도가 1m/s인 경우이므로 네트워크의 상황이 크게 변화하지 않는 경우에도 메시지 전송주기가 커질수록 경로를 찾지 못할 확률이 커짐을 알 수 있다. 마찬가지로 전송주기가 커질수록 경로가 검증될 확률은 역시 작아진다. 메시지 전송 주기가 8초인 경우에는 경로를 찾는 비율보다 검증된 비율이 더 큰 결과를 보인다. 이 결과는 경로를 찾는 경로에 대해서 경로가 검증된 비율을 나타낸 것이므로 찾은 경로에 대해서는 검증될 확률이 크게 나빠지지 않는다는 것을 의미한다.

이 두 개의 성능 평가의 결과로 알 수 있듯이 제안기법은 무선 ad-hoc 네트워크의 QoS 라우팅에서 QoS 경로를 효율적으로 찾는 데 기여할 수 있다. 즉, 노드의 평균 이동 속도가 작을 경우 90% 이상의 검증된 경로를 효율적으로 찾을 수 있다. 또한, 노드의 평균 이동 속도가 작을 경우 메시지 전송주기를 크게 하더라도 QoS 경로를 찾는 비율과 검증된 비율은 90% 이상의 결과를 보여준다. 즉, 제안 기법의 메시지 오버헤드를 줄이는 기법을 사용하더라도 QoS 경로를 찾는 성능은 크게 감소하지 않음을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 무선 ad-hoc 네트워크 내에서 QoS 라우팅을 위한 기법을 제안하였다. 제안기법에서는 각 MH들이 네트워크의 QoS 상태 정보를 QoS DAG에 유지하고 주기적으로 지역적인 브로드캐스팅을 통해 교환함으로써 QoS DAG 정보를 갱신한다. 이 QoS DAG을 이용하여 QoS 라우팅에

필요한 QoS 경로를 효율적으로 찾는다. 성능 분석 및 평가를 통해 제안 기법이 네트워크 상태가 크게 변화하지 않을 경우 90% 이상의 QoS 경로 찾기와 경로 검증이 가능함을 보였다.

본 논문의 향후 연구과제로는 다양한 네트워크 상황에서 제안 기법에 대한 성능 평가를 실시하는 것이다. 또한, 라우팅 경로에 오류가 발생할 경우 빠른 재설정 기법에 대한 연구와 QoS 경로 설정에 수락 제어 기법을 도입할 경우에 대한 연구 및 성능 평가가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] Lajos Hanzo II and Rahim Tafazolli, "A Survey of QoS Routing Solutions for Mobile Ad Hoc Networks," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, vol. 9, no. 2, pp. 55-70, 2nd Quarter 2007.
- [2] Lei Chen and Wendi B. Heinzelman, "A Survey of Routing Protocols that Support QoS in Mobile Ad Hoc Networks," *IEEE Network*, pp. 30-38, Nov-Dec. 2007.
- [3] P. Jacquet, P. Muhlethaler, T. Clausen, A. Laouiti, A. Qayyum, and L. Viennot, "Optimized link state routing protocol for ad hoc networking," *Proceedings IEEE International Multi Topic Conference*, pp. 62-68, Dec. 2001.
- [4] C.E. Perkins, *Ad Hoc Networking*, Addison Wesley, 2001.
- [5] Geroge N. Aggélou, "An Integrated Planform for Quality-of-Service Support in Mobile Multimedia Clustered Ad Hoc Networks," in *The Handbook of Ad hoc Wireless Networks*, Edited by Mohammad Ilyas, CRC Press, 2003.
- [6] Chris Metz, "IP QoS: Traveling in First Class on the internet," *IEEE Internet Computing*, pp. 84-88, March-April 1999.
- [7] Nityananda Sarma and Sukumar Nandi, "QoS support in mobile ad hoc networks," *IFIP International Conference on Wireless and Optical Communications Networks*, 2006.
- [8] C. Siva Ram Murthy and B.S. Manoj, *Ad hoc wireless networks: architectures and protocols*, Prentice Hall, 2004.
- [9] Yaling Yang and Robin Kravets, "Contention-Aware Admission Control for Ad Hoc Networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 4, no. 4, pp. 363-377, July-Aug. 2005.
- [10] Anders Lindgren and E.M. Belding-Royer, "Multi-path admission control for mobile ad hoc networks," *International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services*, pp. 407-417, July 2005.
- [11] R. De Renesse, V. friderikos and H. Aghvami, "Cross-layer cooperation for accurate admission control decisions in mobile ad hoc networks," *IET Communications*, vol. 1, no. 4, pp. 577-586, Aug. 2007.
- [12] Yasser L. Morgan and Thomas Kunz, "A design framework for wireless MANET QoS gateway," *SNPD/SAWN'05*, 2005.
- [13] Lei Chen and Wendi B. Heinzelman, "QoS-Aware Routing Based on Bandwidth Estimation for Mobile Ad Hoc Networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 23, no. 3, pp. 561-572, March 2005.
- [14] R. Gupta, Z. Jia, T. Tung, and J. Walrand, "Interference-Aware QoS routing (IQRouting) for ad-hoc networks," *IEEE Global Telecommunications Conference*, pp. 2599-2604, Nov. 2005.
- [15] Qi Xue and Aura Ganz, "Ad hoc QoS on-demand routing(AQOR) in mobile ad hoc networks," *Journal of Parallel Distributed Computing*, vol. 63, no. 2, pp. 154-165. Feb. 2003.
- [16] Hyun-ho Kim, Jung-hee Kim, Young-hyeog Kang and Young Ik Eom, "An Energy-Tree based Routing Algorithm in Wireless Ad-hoc Network Environments," *PATMOS'05*, LNCS 3728, pp. 156-165, 2005.
- [17] A.M. Law and W.D. Kelton, *Simulation Modeling and Analysis*, 3rd Ed., McGraw-Hill, 2000.
- [18] Khaled Alzoubi and Moussa Ayyash, "Maintaining a quality of service routing tree for mobile ad hoc networks," *Proceedings of the 2006 international conference on Wireless communications and mobile computing*, pp.127-133, July 2006.
- [19] Chih-Shun Hsu, Jang-Ping Sheu, and Shen-Chien Tung, "An on-demand bandwidth reservation QoS routing protocol for mobile ad hoc networks," *Proceedings of the IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous and Trustworthy*

Computing, pp. 198-207, June 2006.

- [20] L. Hanzo (II.) and R. Tafazolli, "Quality of service routing and admission control for mobile ad-hoc networks with a contention-based MAC layer," *IEEE International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems*, pp. 501-504, Oct. 2006.

강 용 혁 (Yong-hyeog Kang) 정회원



1996년 성균관대학교 정보공학과 졸업
 1998년 성균관대학교 정보공학과 석사
 2003년 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 박사
 2003년~현재 극동대학교 경영학부 조교수

<관심분야> 분산 컴퓨팅, 전자상거래, 웹서비스, 무선 ad-hoc 네트워크, 센서 네트워크

김 현 호 (Hyun-ho Kim) 정회원



1987년 성균관대학교 전자공학과 졸업
 1997년 연세대학교 전자계산전공 석사
 2006년 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 박사
 1988년~2000년 LG 전자 컴퓨터사업부 과장

2003년~현재 명지전문대학 컴퓨터정보과 부교수
 <관심분야> 이동컴퓨팅, 무선 ad-hoc 네트워크, 센서네트워크

김 정 희 (Jung-hee Kim) 정회원



1998년 영동대학교 정보통신공학과 졸업
 2001년 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 석사
 2002년~현재 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야> 임베디드시스템, 무선 ad-hoc 네트워크, 센서 네트워크

엄 영 익 (Young Ik Eom) 정회원



1983년 서울대학교 계산통계학과 졸업
 1985년 서울대학교 전산과학과 석사
 1991년 서울대학교 전산과학과 박사
 1993년~현재 성균관대학교 정보통신공학부 교수

2000년~2001년 미국 UCI-ICS 방문교수
 2007년~현재 성균관대학교 정보통신처 처장
 <관심분야> 분산 컴퓨팅, 시스템 소프트웨어, 운영체제, 미들웨어, 시스템 보안 등