

이동 애드혹 네트워크를 위한 예약 기반의 QoS 라우팅 프로토콜

정회원 조인휘*

A Reservation-based QoS Routing Protocol for Mobile Ad-Hoc Networks

Inwhee Joe* *Regular Member*

요 약

이동 애드혹 네트워크에서 연속적이고 실시간적인 멀티미디어 정보에 대한 사용자의 요구에 따라 서비스 품질(QoS: Quality of Service) 보장이 중요한 이슈로 대두 되었다. 본 논문에서는 이동 애드혹 망의 대표적인 라우팅 프로토콜 중 하나인 AODV 프로토콜을 TDMA 기반으로 수정하고, 대역폭 예약을 통해 QoS를 보장하는 라우팅 프로토콜을 제안한다. 후보 경로에 대해 최대 사용가능한 대역폭을 계산하는 기존의 복잡한 방식 대신에 제안하는 방식은 단대단 요구사항을 만족하는지 여부만 확인한다. 이 때, 무선 대역폭의 사용효율을 극대화하기 위하여 무선 환경에서 충돌이 발생하지 않도록 Time slot을 할당하고 대역폭을 예약한다. 성능 평가를 위해 애드혹 환경에서 시뮬레이션을 통해, 제안하는 예약 기반의 QoS 라우팅 프로토콜을 평가한다. 시뮬레이션 결과 제안하는 프로토콜이 Load에 무관하게 충분히 낮고 안정적인 Delay 성능을 제공함을 알 수 있다.

Key Words : QoS Routing, Slot Selection, Reservation, Mobile Ad-Hoc Networks

ABSTRACT

According to the user requirements for continuous and real-time multimedia information, the concept of Quality of Service (QoS) has emerged as a main issue in mobile ad-hoc networks. QoS routing is to find the route that meets the QoS requirements of the users. In this paper, we propose a routing protocol that is based on AODV over TDMA, one of the typical routing protocols for mobile ad-hoc networks, by making a bandwidth reservation for QoS guarantee. While the existing schemes calculate the maximum available bandwidth for each candidate path, our scheme is to check only if the bandwidth of a given path satisfies the end-to-end QoS requirement and then to make a reservation by allocating time slots efficiently in the wireless environment. In order to evaluate the performance of the proposed QoS routing protocol, some simulations are carried out in the ad-hoc environment.

I. 서 론

무선망(Wireless Network)은 이동 사용자에게 위치에 종속되지 않은 통신 능력을 제공하기 때문에

1970년대에 등장한 이후로 널리 이용되어 왔다. 기존에 사용되어 온 대부분의 무선망은 ATM (Asynchronous Transfer Mode) 이나 인터넷 등의 서비스를 이동 사용자에게 확장하고 사용자 간 통신이 가

※본 연구는 2002년 한양대학교 교내연구비 지원으로 수행되었습니다.

* 한양대학교 정보통신학부 이동네트워크 연구실 (iwjoe@hanyang.ac.kr)

논문번호 : KICS2005-07-291, 접수일자 : 2005년 7월 17일

능하도록 무선 기지국(Base Station) 등의 고정된 통신 기반구조(Infrastructure)를 통하여 유선망에 접속되는 형태를 가지고 있으며, 통신망의 구축을 위해서는 많은 시간과 비용이 요구 된다. 따라서 전장이나 천재지변으로 인하여 통신 기반구조가 파괴된 경우, 인구가 드문 지역, 탐색구조 활동 등에 관련하여 이동 애드혹(Mobile Ad-Hoc) 망은 통신 기반구조의 도움 없이 이동 노드들만으로 구성되어 상호 통신을 가능케 하는 임시적인 망으로써 위와 같은 상황에서 이용할 수 있는 유일한 대안이라 할 수 있다.

이동 애드혹 망에서 인접한 두 노드는 직접 통신이 가능하지만, 서로 인접하지 않은 노드들은 상호 통신을 위해서 중간에 위치한 다른 노드들이 패킷을 전달하여야 한다. 즉, 이동 애드혹 망의 이동 노드들은 다른 노드들을 위하여 라우터의 역할을 수행하여야 한다. 하지만 망 토폴로지가 동적으로 변하기 때문에 패킷 전송 경로를 설정하는데 있어서 기존의 유선망의 기법을 사용하면 많은 문제가 발생하고, 경로의 변화에 의한 재설정 메커니즘이 필요하며 이에 따라 여러 라우팅 방식들이 연구되어 왔다[1].

연속적이고 실시간적인 멀티미디어 정보에 대한 사용자의 요구가 증대되고 인터넷의 사용이 활성화됨에 따라 Quality of Service(QoS) 개념이 중요한 이슈로 대두 되었다. QoS 개념은 단대단 지연(End-to-End Delay)이나 지연 지터 (Delay Jitter), 통신 대역폭, 패킷 손실 확률 등에 의해서 사용자가 미리 정한 서비스 품질 요구사항을 망이 보장해 주는 것을 말한다. 이러한 개념을 적용한 것이 QoS 라우팅이며, 망 토폴로지가 동적으로 변하는 애드혹 망에서는 유선망의 방식을 그대로 적용할 수 없기 때문에, 이동 애드혹 망에서 QoS를 제공할 수 있는 라우팅 프로토콜에 대한 많은 연구가 수행되었다[3]. 콜럼비아 대학의 COMET 그룹에 의해 제안된 인밴드 (in-band) 시그널링 프로토콜인 INSIGNIA [6], 노드의 개수가 50개미만의 이동 애드혹 망에 적용하기 위한 DiffServ기반의 QoS 지원 프레임워크인 FQMM(Flexible QoS Model for Mobile Ad-Hoc Networks)[7], 기존의 자원예약 프로토콜인 RSVP를 동적인 네트워크 환경에 맞도록 확장한 방법인 dRSVP[8], 기존의 라우팅 알고리즘에서 특정 범위 내에서 QoS를 보장 받을 수 있도록 수정한 AODVQoS[9], 수직에서 백 개 정도의 노드를 가진 중형크기의 이동 애드혹 망에서 QoS를 지원하

기 위한 라우팅 알고리즘으로 제안된 CEDAR(Core-Extraction Distributed Ad Hoc Routing)[10] 등이 대표적이다.

본 연구에서는 이동 애드혹 망의 대표적인 라우팅 프로토콜 중 하나인 AODV(Ad-Hoc On-Demand Distance Vector) 프로토콜을[2] TDMA(Time Division Multiple Access) 기반으로 수정하고, Time slot 관리를 통해 QoS를 보장한다. Hello 메시지를 이용하여 각 이동 노드들의 Time slot 사용 정보를 이웃 노드들과 공유하고, AODV 프로토콜의 각 메시지를 이용해, QoS 요구사항에 따라 필요한 만큼 slot을 할당함으로써 낭비되는 자원을 최소화 하면서 QoS를 보장할 수 있다.

2장에서는 링크 대역폭과 경로대역폭의 2가지 대역폭의 개념과 계산법에 대해 설명하고 이를 이용하여 Time slot을 할당하는 방법에 대해 설명한다. 3장에서는 제안하는 라우팅 프로토콜에서 사용하는 각각의 메시지들의 형식과 이런 메시지들을 이용한 라우팅 과정에 대해 설명한다. 4장에서는 제안하는 라우팅 프로토콜을 평가한 실험 결과를 보여준다.

II. 대역폭 계산 및 Time slot 할당

2.1 링크 대역폭과 경로 대역폭

Time slot을 관리하는 방법을 언급하기 전에 먼저 링크 대역폭과 경로 대역폭 두 가지 개념에 대해 설명하겠다. 링크 대역폭은 한 노드와 그 이웃 노드간의 링크에서 사용가능한 Time slot, 즉 사용되고 있지 않은 Time slot을 의미한다. 또한 경로 대역폭은 송신자부터 수신자까지의 경로 상에 있는 링크에서 사용가능한 전체 Time slot을 의미한다. 결국 경로 대역폭은 송신자로부터 수신자까지의 경로 상에 존재하는 링크 대역폭의 집합이라 할 수 있다. 그러므로 QoS를 보장하는 경로를 결정하기 위해서는 검색한 경로상의 모든 링크 대역폭 정보를 수집하고 이를 통해 경로 대역폭을 구하여 경로 상에 QoS를 보장할 수 있도록 적절한 경로 대역폭을 선택할 수 있어야 한다. 링크 대역폭은 그림 1과 같이 구할 수 있다.

즉 노드 S와 노드 R간의 링크간의 전체 대역폭으로 표현되는 Time slot들 중에서 (i)노드 S와 노드 R이 송신 또는 수신 목적으로 사용 중이거나 사용을 위해 예약한 slot을 제외한다. 또한 (ii)노드 S의 이웃노드들이 수신 목적으로 사용 중이거나 사용하기 위해 예약된 slot을 제외하고 (iii)노드 R의

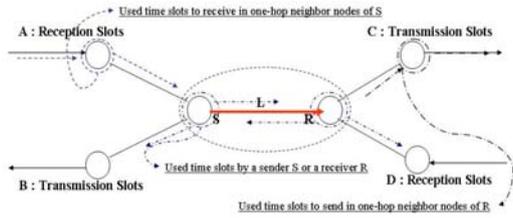


그림 1. 링크 대역폭의 계산

이웃노드들이 송신 목적으로 사용 중이거나 사용하기 위해 예약된 slot을 제외한 나머지 Time slot들이 링크 대역폭이다. (ii)과 (iii)는 송신 노드가 송신을 하거나 수신노드가 수신을 하기 위해 정한 Time slot을 이웃 노드가 이미 사용하거나 사용하려 한다면 전송에 충돌이 발생하기 때문에 제외되어야 한다. 다만 노드 S의 이웃노드가 송신 목적으로 사용 중이거나 사용하기 위해 예약한 slot과 노드 R의 이웃 노드들이 수신 목적으로 사용 중이거나 사용하기 위해 예약한 slot의 경우에는 서로간의 전송에 어떠한 방해가 되지 않기 때문에 링크 대역폭에 포함시킬 수 있다. 이렇게 해서 최대한의 가용자원을 확인, 데이터 전송 시에 사용함으로써 최대한의 효율을 얻을 수 있다. 이러한 송신 노드와 수신 노드간의 링크 대역폭은 송신 노드에서 계산되어야 하며 이를 위해 송신 노드는 적어도 수신 노드의 이웃노드들 즉 송신 노드로부터 2 Hop까지의 모든 노드들의 Time slot 이용 상황을 알고 있어야 한다. 이를 위해 우리는 Hello 메시지를 이용하였다.

2.2 Time Slot 할당

노드 S에서 노드 D로 데이터를 전송해야 할 경우 노드 S는 노드 D까지의 데이터를 전송할 경로를 찾기 위해 RREQ(Route Request) 메시지를 생성, 브로드캐스팅한다. 이 RREQ 메시지는 노드 D의 이웃노드, 그리고 그 다음 노드 등 노드 D까지 브로드캐스팅방식에 의해 전송이 되며 전송간에 요구되는 QoS를 보장할 수 있는 경로를 찾기 위해 중간 노드의 링크 대역폭을 RREQ 메시지에 기록하며 노드 D로 브로드캐스팅된다. 노드 D에 RREQ 메시지가 도착했을때 RREQ 메시지에 전체 경로에 대한 링크 대역폭이 기록되어 있으며 이 정보가 바로 경로 대역폭이라 할 수 있다. 노드 D는 이 경로 대역폭 정보를 이용, 노드 S에서 노드 D까지의 경로에 대해 데이터 전송시 요구되는 QoS를 보장할 수 있도록 각 링크 대역폭을 할당할 수 있으며 그 방법은 다음 그림 2와 같다.

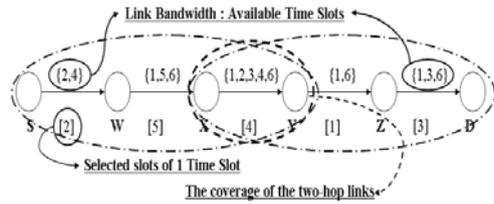


그림 2. QoS를 위한 Time Slot 할당

우선 QoS 보장을 위해 요구하는 대역폭이 1 Time slot으로 가정한다. RREQ 메시지가 노드 S로부터 노드 D까지 브로드캐스팅으로 전달되어 노드 D는 전체 경로 노드 S로부터 노드 D까지의 각각의 링크 대역폭, 즉 경로 대역폭을 알고 있다. 노드 S와 노드 W간의 링크(S~W)에서 적절한 Time slot을 할당할 때 노드 D는 2 Hop내의 링크 대역폭을 이미 알고 있기 때문에 링크(W~X)와 링크(X~Y)에서의 링크 대역폭을 미리 감안하여 최대한 겹치지 않도록 Time slot을 할당할 수 있다. 앞 절의 링크 대역폭 계산 방식에 의하면, 링크(S~W) 대역폭은 slot 2와 slot 4이다. 이는 링크(X~Y)에 존재하는 slot들이기 때문에 둘 중 어느 것이 할당되어도 상관 없다. 그러므로 둘 중 하나가 랜덤하게 할당되며 그림 2에서는 slot 2가 할당되었다. 그 다음 링크(W~X)도 같은 방식을 통해 할당이 되며 slot 5가 2 Hop내의 링크 대역폭에 있지 않으므로 slot 5가 할당된다. 이러한 방식으로 노드 D까지의 링크 대역폭들이 전송을 위해 할당된다.

III. QoS 라우팅 프로토콜

3.1 Hello Message

Hello 메시지는 노드의 이웃노드 즉 1-Hop 범위 내의 모든 노드들에게 브로드캐스팅 된다. 브로드캐스팅 되는 Hello 메시지에는 그 노드의 Time slot 사용 상황의 정보와 그 전까지의 수신한 Hello 메시지를 통해 수집한 1-Hop 범위의 이웃 노드의 Time slot 사용 상황 정보가 포함 되며 이러한 정보들은 각 정보에 대한 Sequence Number를 통해 가장 최신의 정보로 가려진다. 이렇게 Hello 메시지를 브로드캐스팅하고 또한 이웃 노드가 브로드캐스팅한 Hello 메시지를 수신함으로써 각 노드는 이웃 노드의 Time slot 상태 정보뿐만이 아니라 그 이웃 노드의 이웃 노드 즉 2-Hop 거리내 노드들의 Time slot 상태 정보를 수집할 수 있다. 이렇게 수집된 정보는 각 노드의 Time slot table에 저장되고 노드

표 1. Hello Message

Type	Time Frame Length	Reserved	Node Count (n)
Source IP Address			
Source Sequence Number			
Variable Time Slot Information			
Neighbor node IP Address (1)			
Sequence Number			
Variable Time Slot Information (1)			
...			
Neighbor node IP Address (n)			
Sequence Number			
Variable Time Slot Information (n)			

는 이러한 정보를 이용하여 앞에서 설명한 링크 대역폭 계산을 통해 주위 이웃 노드들 간의 링크 대역폭을 계산할 수 있다. Hello 메시지의 형식은 표 1과 같다.

기존에 'Reserved'로 차후에 사용하기로 했던 필드에 'Time Frame Length'라는 필드를 정의한다. 이 필드는 데이터 전송시 사용할 수 있는 전체 Time slot의 길이, 즉 Time Frame의 길이를 나타낸다. 이 필드의 역할은 Hello 메시지 뒷부분에 추가하는 'Variable Time Slot Information'의 길이를 식별하는 기능을 한다. 이 외에 Hello 메시지에는 Hello 메시지를 브로드캐스팅하는 해당 노드의 주소와 Time slot 사용상태 정보, 그리고 그 정보의 Sequence Number가 들어가며 그 뒤로 해당 노드가 가지고 있는 이웃노드들에 대한 같은 형태의 정보, 즉 주소, Sequence Number, Time slot 사용상태 정보가 들어간다. 이러한 Hello 메시지를 통해 각 노드는 이웃노드의 가장 최신의 Time slot 정보를 수집할 수가 있으며 이를 RREQ 메시지 전송시에 추가할 수 있다.

3.2 대역폭 예약 방식

앞에서 설명한 것처럼 데이터 전송을 위해서 데이터를 전송하려는 노드는 RREQ 메시지를 브로드캐스팅하고, 전송된 RREQ 메시지는 목적지 노드로 전송 되어 지면서 중간 노드에서 각 노드마다 Hello 메시지를 통해 구해진 링크 대역폭 정보를 RREQ 메시지에 추가해 가면서 전송 되어 진다.

RREQ 메시지가 목적지 노드에 도착하면 목적지 노드는 RREQ 메시지에 포함된 경로에 대한 모든 노드들의 링크 대역폭 정보, 즉 경로 대역폭 정보를 이용하여 QoS를 보장할 수 있도록 Time slot을 할당하게 된다. 할당이 완료되면 RREP(Route Reply) 메시지를 생성, 할당된 정보를 메시지에 포함시킨다. 이 RREP 메시지를 데이터를 전송하는데 이용될 경로의 역경로를 통해 소스 노드로 전송한다. 각 중간

표 2. 수정된 Route Request (RREQ) Message

Type	J	R	G	D	U	R	LBW Length	Reserved	Hopcount
RREQ ID									
Destination IP Address									
Destination Sequence Number									
Source IP Address									
Source Sequence Number									
IP Address									
Link Bandwidth Information									
Next IP Address...									
Next Link Bandwidth Information...									

표 3. 수정된 Route Reply (RREP) Message

Type	R	A	R	Selected Slot Num.	Reserved	Pfx Length	Hop count
Destination IP Address							
Destination Sequence Number							
Source IP Address							
Lifetime							
Selected Bitmap (Slot)							
...							
...							

노드에선 데이터 전송시 사용될 Time slot들을 예약하게 되고 RREP 메시지가 소스 노드에 도착하면 소스 노드는 그 경로에 따라 데이터를 전송하게 된다. 만일 수신된 RREQ 메시지로 QoS를 보장할 수 있는 경로를 설정하지 못했다면 그 RREQ 메시지는 삭제되며 그 다음에 수신된 RREQ 메시지를 이용 다시 경로를 구하게 된다. 이를 위해 RREQ 메시지와 RREP 메시지를 다음의 표 2, 표 3과 같이 수정하였다.

RREQ 메시지의 경우 QoS 보장을 요구하는지 요구하지 않는지 식별할 수 있도록 R 필드를 추가하였고 전체 Time Slot의 개수, 즉 Time Frame의 길이를 나타내는 필드인 LBW Length 필드를 추가하였다. RREQ 메시지 뒤에는 경로에 해당하는 중간 노드 주소들과 링크 대역폭 정보가 포함이 된다. 또한 RREP 메시지의 경우에도 RREQ 메시지와 같은 QoS 보장을 요구하는지를 식별할 수 있도록 R 필드를 추가하였다. 그리고 Selected Slot Number 필드를 추가하였는데 이 필드는 데이터 전송에 사용하기 위해 각 노드에서 선택한 Time Slot의 개수를 나타낸다. RREP 메시지 뒤에는 선택된 Time Slot들의 정보가 포함이 되며 따로 어느 노드의 정보인지를 알리는 식별자는 없다. 하지만 Selected Slot Number 필드에 있는 정보를 이용해서 식별할 수 있다. 이와 같이 RREQ 메시지와 RREP 메시지를 수정함으로써 송신 노드로부터 수신 노드까지의 경

로를 검색하고 QoS를 보장할 수 있는지를 확인할 수 있으며 QoS를 보장할 수 있는 경로를 선택, 데이터 전송을 위해 예약할 수 있다.

IV. 성능 평가

다음 그림 3과 그림 4는 제안한 프로토콜을 이용, 시뮬레이션한 결과를 보여준다. 실험은 자체 제작한 시뮬레이션 툴을 사용하였다. 시뮬레이션 툴은 랜덤한 방식으로 이동 노드들을 생성하고 각 노드들에게 랜덤하게 Load들을 부여함으로써 하나의 이동 애드혹 망을 구성하게 된다. 또한 랜덤하게 소스 노드와 목적지 노드를 선택하여 QoS 라우팅이 성공하는지 여부를 평가하게 된다. 기준 파라미터로 노드는 20개, X축 최대범위 100m, Y축 최대범위 100m, 각 노드의 radio range는 30m, 그리고 1 Time frame의 slot 총 수는 20개로 정하였다. 그림 3은 네트워크에 주어진 Load에 따라 QoS 요구를 보장할 수 있는 QoS 보장 성공률을 Voice(8kbps) 데이터와 Video(32kbps) 데이터를 기준으로 측정된 결과다. 측정시 Voice 데이터는 하나의 Time slot을 QoS 요구사항으로 하였고 Video 데이터는 4개의 Time slot을 QoS 요구사항으로 하였다. 또한 그림 4는 네트워크에 주어진 Load에 따라 데이터 전송시 발생하는 지연시간을 측정된 결과이다.

그림 3의 결과 그래프는 네트워크 내의 Load가 많아짐에 따라 QoS를 보장할 수 있는 성공률이 떨어지고 있음을 보여준다. Voice 데이터의 경우 Load가 많아지더라도 상당한 QoS 보장률을 보여주고 있다. 그러나 Video 데이터의 경우 QoS 요구수치가 크기 때문에 Load가 증가할수록 QoS 보장률이 급격하게 떨어지는 것을 볼 수 있다. 이는 Video 데이터의 경우 Time slot을 4개를 요구하는데 이를 할당하게 될 경우 각 노드마다 수신용과 송신용으로 각각 4개의 Time slot을 할당하게 되어 결국 한 노드에 8개의 Time slot이 할당되며, 각 노드에서의 Time frame의 길이가 20개의 Time slot으로 구성되어 있기 때문에 QoS 보장률이 빠르게 감소하게 된다.

그림 4의 결과 그래프는 네트워크 내의 Load가 많아지더라도 데이터 전송시 발생하는 지연시간에는 별 다른 영향을 주지 않음을 보여준다. 이는 우리가 제안하는 프로토콜이 Time slot 관리를 통해 데이터 전송시 Time slot을 최적으로 할당하기 때문이다. 즉 노드의 radio range내에서 데이터 전송시, 충

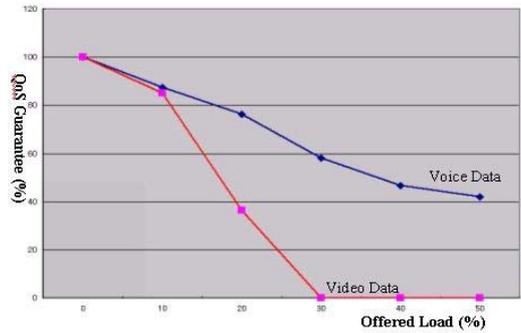


그림 3. Load에 따른 QoS 보장 성공률

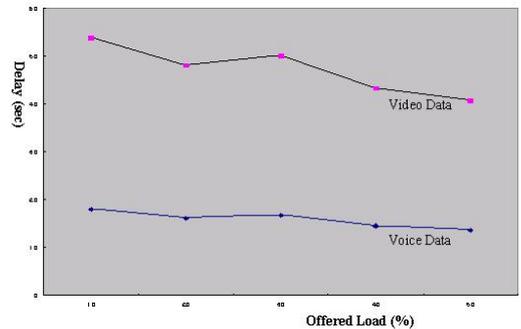


그림 4. Load에 따른 데이터 전송 Delay

돌이 발생하지 않는 한도내에서 사용 가능한 대역폭을 계산할 수 있기 때문에 대역폭 할당에 있어서 효율성을 높일 수 있으며 그렇기 때문에 QoS를 보장할 수 있는 가능성이 증가한다. 다만 그림 4의 경우 Load가 증가 할수록 지연시간이 감소하는 것을 볼 수 있으며 이는 일반적으로 Load가 증가하면 지연시간이 증가한다는 일반적인 상식과는 다른 결과가 나타남을 볼 수 있다. 즉 시뮬레이터가 각 노드의 위치를 랜덤하게 설정하게 되며 소스 노드와 목적지 노드도 랜덤하게 설정하게 되는데, 기본적으로 QoS가 보장되는 경우에만 측정하기 때문에 경로의 길이가 짧은 경우 QoS를 보장할 가능성이 높아진다는 점을 감안한다면 Load가 증가할수록 오히려 지연시간이 감소하는 이유를 이해할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 이동 애드혹 네트워크 환경하에서 데이터 전송간에 요구되는 QoS를 보장할 수 있는 라우팅 프로토콜을 제안하였다. 기존의 AODV 라우팅 프로토콜 방식에 Hello 메시지와 RREQ, RREP 메시지를 수정하고 몇 가지 처리과정을 추가

함으로서 QoS를 보장할 수 있는 라우팅 프로토콜을 제안하였다. 링크간의 대역폭을 의미하는 Time slot에 관한 정보를 수집하고 적절히 관리, 처리함으로써 요구하는 QoS를 최소한의 자원으로 가능한 효율적으로 보장하도록 하는 점이 제안한 QoS 라우팅 프로토콜의 특징이자 장점이다. 다만 각 노드 간 정보를 주고 받기 위한 Hello 메시지가 과도하면 전체 네트워크에 많은 부담을 줄 수 있다는 단점이 있으며 향후 연구에서는 이를 수정 향상시켜 네트워크내에 주어지는 오버헤드를 최소화 하도록 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] E. Royer and C.K. Toh, "A Review of Current Routing Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks," IEEE Personal Communications, Vol. 6, No. 2, pp. 46-55, April 1999

[2] C. Perkins, E. Belding-Royer, S. Das, "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing", IETF RFC 3561, July 2003

[3] C.R. Lin and J. Liu, "QoS Routing in Ad Hoc Wireless Networks," IEEE JSAC, Vol. 17, No. 8, pp. 1426-1438, August 1999

[4] W. Liao, Y. Tseng, K. Shih, "A TDMA-based Bandwidth Reservation Protocol for QoS Routing in a Wireless Mobile Ad Hoc Network," IEEE ICC, pp. 3186-3190, April 2002

[5] Q. Xue and A. Ganz, "Ad Hoc QoS On-Demand Routing in Mobile Ad Hoc Network," Journal of Parallel and Distributed Computing, Vol. 63, pp. 154-165, February 2003

[6] S. Lee and A. Campbell, "INSIGNIA: In-Band Signaling Support for QoS in Mobile

Ad Hoc Networks," Proceedings of International Workshop on Mobile Multimedia Communications (MoMuC), October 1998

[7] H. Xiao, W. Seah, A. Lo, K. Chua, "A Flexible Quality of Service Model for Mobile Ad-Hoc Networks," IEEE VTC, May 2000

[8] M. Mirhakkak, N. Schult, D. Thomson, "Dynamic Quality-of-Service for Mobile Ad Hoc Networks," ACM MobiHoc, pp. 137-138, 2000

[9] C. Perkins, E. Royer, S. Das, "Quality of Service for Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing," IETF Internet Draft, July 2000

[10] R. Sivakumar, P. Sinha, V. Bharghavan, "CEDAR: A Core-Extraction Distributed Ad Hoc Routing Algorithm," IEEE JSAC, Vol. 17, No. 8, pp. 1454-1466, August 1999

조 인 휘 (Inwhee Joe)

정회원



1983년 2월 한양대학교 전자공학
학과 졸업

1994년 12월 미국 University of
Arizona, Electrical and Com-
puter Engineering, M.S.

1998년 9월 미국 Georgia Tech,
Electrical and Computer En-

gineering, Ph.D.

1992년 12월 (주) 데이콤 종합연구소 선임연구원
2000년 6월 미국 Oak Ridge 국립연구소 연구원
2002년 8월 미국 Bellcore Lab (Telcordia) 연구원
2002년 9월~현재 한양대학교 정보통신학부 조교수
<관심분야> Mobile Internet, Cellular System and
PCS, Mobile Ad-Hoc Networks, Sensor Net-
works, RFID, Multimedia Networking