

# 모바일 애드 혹 네트워크에서 패킷 버스팅을 이용한 혼잡 해결 및 성능향상 기법

## (A Solution for Congestion and Performance Enhancement using Dynamic Packet Bursting in Mobile Ad Hoc Networks)

김 영 덕 <sup>\*</sup>      양 연 모 <sup>\*\*</sup>      이 동 하 <sup>\*\*\*</sup>  
 (Young-Duk Kim)    (Yeon-Mo Yang)    (Dong-Ha Lee)

**요 약** 모바일 애드 혹 네트워크상에서 DSR, AODV 등 대부분의 on demand 라우팅 프로토콜들은 경로 탐색 과정에서 트래픽 로드를 고려하고 있지 않다. 최근 혼잡을 해결하고 트래픽 로드 밸런싱을 이루기 위해서 여러 알고리즘들이 제시되었으나 대부분 경로 탐색과정에서 단순히 대체 경로를 찾거나 혼잡이 발생한 노드를 회피하여 라우팅하는 기법들이었다. 본 논문에서는 이러한 이슈들에 대한 성능을 향상시키기 위해 혼잡이 발생한 노드에서 패킷 버스팅 기법을 사용하여 혼잡을 해결하고자 한다. 패킷 버스팅 기법은 IEEE 802.11e QoS 동작에서 소개되었으며, 한번의 채널획득으로 여러 패킷을 보낼 수 있도록 한다. 이로써 혼잡이 발생한 노드는 버퍼링된 패킷을 신속하게 전송할 수 있으며, 병목현상을 막을 수 있다. 또한 정확하고 동적으로 혼잡상태를 결정하기 위하여 두 가지의 임계값을 정의한다. 하나는 인터페이스 큐 길이며, 다른 하나는 버퍼링 시간이다. 마지막으로 실험을 통하여 네트워크 트래픽이 많을 때 제안된 알고리즘이 기존의 일반적인 on demand 프로토콜보다 더 효율적이고 우수한 성능을 가짐을 보인다.

**키워드** : 애드 혹 네트워크, 매체 접근 제어, 패킷 버스팅, 로드 밸런싱

**Abstract** In mobile ad hoc networks, most of on demand routing protocols such as DSR and AODV do not deal with traffic load during the route discovery procedure. To solve the congestion and achieve load balancing, many protocols have been proposed. However, the existing load balancing schemes has only considered avoiding the congested route in the route discovery procedure or finding an alternative route path during a communication session. To mitigate this problem, we have proposed a new scheme which considers the packet bursting mechanism in congested nodes. The proposed packet bursting scheme, which is originally introduced in IEEE 802.11e QoS specification, is to transmit multiple packets right after channel acquisition. Thus, congested nodes can forward buffered packets promptly and minimize bottleneck situation. Each node begins to transmit packets in normal mode whenever its congested status is dissolved. We also propose two threshold values to define exact overloaded status adaptively; one is interface queue length and the other is buffer occupancy time. Through an experimental simulation study, we have compared and contrasted our protocol with normal on demand routing protocols and showed that the proposed scheme is more efficient and effective especially when network traffic is heavily loaded.

**Key words** : Ad hoc networks, Medium Access Control (MAC), Packet bursting, Load balancing

\* 본 연구는 DGIST Active-USN기관교유사업 연구비 지원으로 수행하였습니다. Copyright © 2008 한국정보과학회 : 개인 목적이거나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다.

<sup>\*</sup> 정 회 원 : 대구경북과학기술연구원 소프트웨어연구팀 연구원  
 ydkim@dgist.org

<sup>\*\*</sup> 정 회 원 : 금오공과대학교 전자공학부 교수  
 yangym@kumoh.ac.kr

<sup>\*\*\*</sup> 정 회 원 : 대구경북과학기술연구원 소프트웨어연구팀 책임연구원  
 dhlee@dgist.org

논문접수 : 2007년 9월 27일

심사완료 : 2008년 7월 14일

이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가된 일고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 정보통신 제35권 제5호(2008.10)

### 1. 서론

모바일 애드 혹 네트워크는 무선링크 위에서 고정된 베이스 스테이션이 없이 자가 구성이 가능한 모바일 노드들로 구성되는 네트워크이다. 이러한 환경에서는 노드들이 자유롭게 이동할 수 있으며 네트워크 토폴로지도 다양하게 변경될 수 있다. 이러한 동적인 네트워크를 지원하기 위하여 많은 라우팅 프로토콜들이 제시되었으며, 대표적인 예로 DSDV(Destination Sequence Distance Vector)[1], DSR(Dynamic Source Routing)[2], AODV(Ad-hoc On-demand Distance Vector)[3] 등이 있다. 또한 애드 혹 네트워크의 MAC 계층 프로토콜로는 IEEE 802.11[4]가 있다. IEEE 802.11은 비동기적인 데이터 전송을 지원하기 위한 기본 채널 접근 방법으로써 DCF(distributed coordinated function)를 정의하고 있다.

최근 실시간 데이터 및 멀티미디어 데이터에 대한 수요 증가로 인하여 트래픽량이 더욱 많아졌으며, 애드 혹 네트워크의 특성상 제한된 대역폭 및 용량으로 인하여 혼잡 발생이 심화되었다. 특히 기존의 라우팅 프로토콜들은 경로 캐쉬 정보를 이용하여 특정 노드로 데이터를 계속 전송함으로써 해당 노드에 트래픽 집중 현상이 더욱 심각해지는 문제점이 있다. 이 때, 혼잡이 발생한 노드에서는 버퍼 오버플로우, 긴 패킷 전송시간, 낮은 패킷 전송률, 그리고 오버플로우 후 새롭게 경로탐색을 위한 컨트롤 패킷의 큰 오버헤드 문제가 발생하게 된다. 게다가 혼잡이 발생한 노드는 많은 데이터를 전송하기 위하여 더 많은 에너지를 소비하게 되므로 네트워크 분할 문제도 초래할 수 있다.

상기 문제점을 해결하기 위해, 본 논문에서는 혼잡이 발생한 노드에 대한 트래픽을 효과적으로 줄이고 기존 AODV 혹은 DSR 프로토콜에 쉽게 적용할 수 있는 알고리즘으로 Dynamic Packet Bursting Algorithm(DPBA)을 제안한다. 제안된 기법은 IEEE 802.11e[6] QoS의 패킷 버스팅 스펙을 참고하였으며, 노드가 혼잡이 발생되었다고 판단될 경우에 혼잡 상황이 해결될 때까지 패킷을 한꺼번에 여러 개를 보냄으로써 오버로드가 발생한 상황을 해결한다. 또한 혼잡이 실제로 발생했는지 여부를 확인하기 위하여 각각의 노드들은 자신의 인터페이스 큐에 버퍼링된 패킷의 개수를 모니터링한다. 이러한 버스팅 기법을 응용함으로써 네트워크 병목현상을 완화할 수 있으며, 패킷 전송률 및 전달 시간 등에서 성능향상을 이룰 수 있다.

이러지는 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 관련 연구로써 IEEE 802.11 MAC 프로토콜을 살펴보고, 향상된 버전인 IEEE 802.11e 프로토콜을 설명한다. 3장에서는 제안된 프로토콜의 자세한 동작 과정을 설명한다.

4장에서 제안된 알고리즘의 성능을 실험을 통하여 분석한 뒤, 마지막 5장에서 결론을 맺는다.

### 2. 관련 연구

#### 2.1 IEEE 802.11 DCF

IEEE 802.11 DCF의 전체적인 동작은 그림 1에 나타내었다. 기본 동작은 랜덤 back-off 시간을 이용한 CSMA/CA(Carrier-Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 메커니즘을 사용한다. 즉, 한 노드가 전송을 시작하기 전에 공유하는 채널을 획득하기 위하여 경쟁을 해야 한다. 또한 전송중에 패킷 충돌을 피하기 위하여 DCF는 옵션으로 RTS(Request-To-Send)와 CTS(Clear-To-Send) 컨트롤 프레임은 정의한다. 무선 링크가 DIFS 시간만큼 사용되지 않고 있다면 송신 노드는 RTS와 CTS를 사용하여 데이터 프레임을 전송하기 위한 채널의 사용을 예약한다. 이 때, RTS 혹은 CTS프레임을 들은 이웃 노드들은 NAV(Network Allocation Vector) 타이머를 설정하여 해당 데이터가 완전히 전송되기까지 기다리게 된다. 마지막으로 IEEE 802.11에서는 Ack(Acknowledgment) 프레임을 두어 데이터의 성공적인 도착을 확인한다.

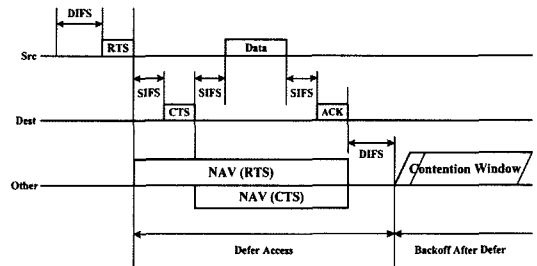


그림 1 IEEE 802.11 DCF

#### 2.2 IEEE 802.11e QoS

무선랜 환경에서 QoS를 제공하기 위하여 IEEE 802.11e[5]가 제안되었으며 이를 통해 실시간 멀티미디어 데이터의 전송을 지원할 수 있다. 그리고 HCF(Hybrid Coordination Function) 모드를 두어 TXOP(Transmission Opportunity)를 정의하였다. TXOP는 추가의 채널 경쟁없이 전송을 시작할 수 있는 할당된 슬롯으로써, QoS poll을 받으면 정해진 기간동안 전송을 수행하게 된다. 그림 2에서 하나의 TXOP구간 동안 2개의 QoS 데이터 프레임이 전송되는 모습을 보이고 있다. 이때 TXOP는 NAV를 설정함으로써 보호되어지며, 데이터와 ack 프레임은 AP(Access Point)로부터 통보된 TXOP 기간보다 작다. 각각의 TXOP 기간내에

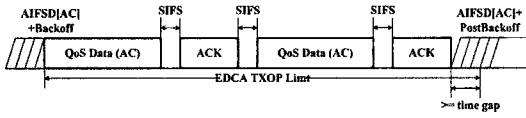


그림 2 IEEE 802.11e TXOP Bursting

서 모든 프레임들은 SIFS를 통하여 구분된다.

### 2.3 로드 밸런싱을 위한 프로토콜

OAR(Opportunistic Auto-rate)[7]이라는 프로토콜은 채널 상태가 우수한 경우에 여러 패킷을 버스트하게 전송한다. 그러나 OAR은 다중 전송률을 갖는 환경을 기반으로 하였으며, 단일 Flow에 대한 패킷 버스팅을 사용함으로써 이웃 노드에 혼잡상태를 전가시키는 문제점이 있으므로 혼잡 해결을 위한 메커니즘과는 거리가 멀다. 라우팅 기법으로 로드 밸런싱을 고려하는 논문으로는 DLAR(Dynamic Load Aware Routing Protocol)[8]이 있는데 트래픽 로드를 버퍼링된 패킷의 개수로 정의한 뒤, 경로 탐색과정에서 최소의 로드값을 갖는 경로를 선택하도록 하였다. LBAR(Load-Balanced Ad hoc Routing)[9]에서는 네트워크의 트래픽 로드를 노드와 이웃 노드들을 지나는 데이터 경로의 개수로 정의하였으며, 경로 설정과정에서 이러한 정보가 목적 노드까지 전송되어 진다. TSA(Traffic-Size Aware Routing)[10]에서는 네트워크의 혼잡정도가 각 경로의 바이트 크기의 총 합으로 정의하여 패킷 크기의 다양성을 반영하였다. MCL(Routing Protocol with Minimum Contention Time and Load Balancing)[11]에서는 채널 획득을 위해 경쟁하는 주위의 노드들의 개수를 트래픽 로드로써 정의하였으며 CRP(Congestion-adaptive Routing Protocol)[12]에서는 혼잡의 상태를 3가지로 분류하여 각 상태에 따라 라우팅을 하였다. 그러나 상기의 프로토콜들은 혼잡이 발생한 경로를 회피하거나 대체경로를 만들어 라우팅을 하는 기법들로써 실제적인 트래픽의 감소 동작은 제시하지 않는다.

## 3. 제안된 알고리즘

### 3.1 기본 알고리즘

먼저 노드 S가 노드 D에게 데이터 프레임 전송을 원하면, S는 D와 RTS/CTS 프레임 주고받는다. 이때, 이를 들은 다른 노드들은 자신에게 향하는 패킷이 아님을 확인하고 전송을 연기시킨다. 따라서 노드 S는 자신의 전송 범위에 있는 다른 노드들과 채널 획득을 위한 경쟁을 하게 된다. 게다가 노드 D의 이웃 노드들은 노드 S에 hidden terminal이 되므로 패킷 충돌의 가능성은 더욱 커진다. 그러므로 네트워크내 많은 경쟁 노드들이 있고, 그들이 동시에 프레임 전송하고자 할 때

에는 특정 노드의 혼잡을 일으킬 수 있다. 아래 그림 3은 혼잡의 예를 나타내고 있다.

그림 3에서 (S3-N1-I-N5-D3), (S2-I-N4-D2), (S1-N2-I-N3-D1) 3개의 경로가 있고, 3개의 소스 노드가 프레임을 동시에 전송하고자 하면 노드 I에서 혼잡이 일어날 가능성을 나타낸다. 또한 노드 I는 이들 프레임을 전송하기 위해 3번의 채널획득을 필요로 하게 된다. 이는 MAC 계층에서 큰 오버헤드가 되며 패킷의 end-to-end 전송 지연을 일으키게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 중간 노드에서 혼잡을 탐지하면 패킷버스팅 기법을 사용하여 한 번에 여러 개의 패킷을 전송한다.

그림 4는 제안된 기법의 기본 동작을 보여준다. 각 중간 노드의 MAC계층에서 여러 데이터 흐름에 대하여 독립적인 큐를 유지한다. 만약 상위 계층으로부터 패킷이 내려오면, MAC헤더의 목적지에 따라 패킷을 흐름별로 분류하고 적당한 큐에 저장한다. 이후, 노드가 전송 채널을 획득하면 각 큐의 버퍼링된 패킷을 한 번에 보내게 된다. 자세한 채널획득 동작은 그림 5에 나타내었다.

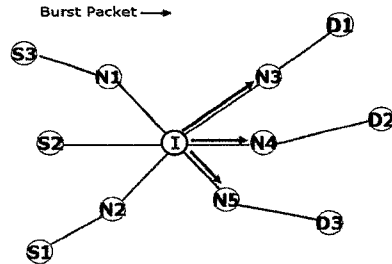


그림 3 네트워크 토폴로지 예

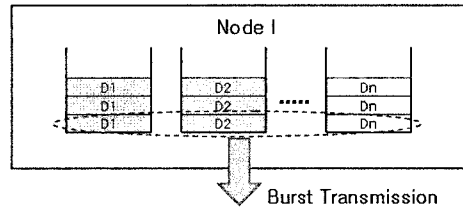


그림 4 DBPA의 기본 동작

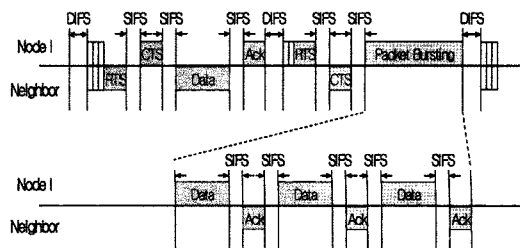


그림 5 DBP의 채널 획득 동작

DPBA는 기본적으로 모든 노드들이 채널에 접근하기 위해서는 IEEE 802.11 MAC 프로토콜 및 RTS/CTS 옵션을 사용을 가정한다. 만약 특정 노드 I가 채널 경쟁을 통하여 접근 기회를 얻었을 경우, 3개의 데이터 프레임이 하나의 버스트 패킷을 통하여 전송되어진다. 이러한 버스팅 기간 동안에는 RTS/CTS 교환 및 DIFS와 같은 추가적인 채널 경쟁 지연은 없다. 즉 노드 I는 오직 데이터 프레임과 Ack 프레임만을 교환하게 된다.

그림 5와 같이 모든 노드들이 공유된 무선 채널을 획득하기 위하여 서로 경쟁한다고 가정하면, 우리는 경쟁이 발생하는 범위에서 각 노드가 채널에 접근할 수 있는 확률로써 P(s<sub>i</sub>)를 식 (1)과 같이 정의할 수 있다.

$$P(s_i) = \frac{1}{n}, s_i \in S \quad (1)$$

이때, n은 네트워크 범위내에서 경쟁에 참여하는 노드들의 개수이며, S는 S = {s<sub>1</sub>, s<sub>2</sub>, ..., s<sub>n</sub>}로써 노드들의 집합을 나타낸다. 그리고 우리는 다음과 같이 단위 시간에 전송되어지는 프레임의 개수를 F(n)으로 정의할 수 있다.

$$F(n) = \frac{1}{n}(f_1 + f_2 + \dots + f_n), f_i \in F \quad (2)$$

식 (2)에서 F는 F={f<sub>1</sub>, f<sub>2</sub>, ..., f<sub>n</sub>}로써 전송되어지는 프레임의 집합이다. 즉, DPBA는 한번의 채널 획득으로 여러 프레임을 동시에 보낼 수 있으며, 불필요한 채널 경쟁 오버헤드를 감소시킬 수 있다.

**3.2 혼잡 상태 탐지 알고리즘**

한 노드가 제안된 기법을 사용하기 위해서는 먼저 현재 상태가 혼잡인지 아닌지를 확인해야 한다. 따라서 DPBA는 혼잡 탐지를 위한 동적인 메커니즘을 필요로 한다. 즉, DPBA가 여러 패킷을 전송한다는 측면에서 효율적이지만, 불필요한 패킷 버스팅은 오히려 다른 노드들의 채널 획득 기회를 막고 이웃노드들에게 혼잡을 초래할 수도 있다. 이러한 이유로 DPBA는 추가적으로 각 노드의 실제적인 혼잡상태를 정의하는 2가지의 임계값을 정의한다. 첫 번째 임계값은 인터페이스 큐에 저장된 패킷의 개수를 나타내는 Queue-Threshold(Q<sub>max</sub>)이다. 예로 Q<sub>max</sub>가 30이고 노드의 버퍼링된 패킷 수가 30이 초과한다면 혼잡이 발생한 상태라고 간주한다. 두 번째 임계값은 Time-Threshold(T<sub>max</sub>)이다. 이 값은 Q<sub>max</sub>가 만족된 상태에서 패킷이 큐에 저장되었던 시간을 나타낸다. T<sub>max</sub>의 정의 이유는 큐의 길이정보만으로는 정확한 혼잡여부를 나타낼 수 없으며, 트래픽 특성에 따라 순간적으로 큐에 많은 패킷이 쌓일 수 있기 때문이다. 게다가 각 노드의 다양한 데이터 처리율로 인하여 큐 길이는 더욱 유동적일 수 있다. 즉 패킷의 버퍼링 시간이 T<sub>max</sub> 보다 클 경우 진정한 혼잡상태라고 간주하게

되며, 해당 노드는 DPBA알고리즘을 사용하여 트래픽을 완화시키게 된다.

**4. 실험**

**4.1 실험 환경**

제안된 프로토콜의 성능을 측정하기 위하여 NS-2 시뮬레이터[13]를 사용하였다. 적용된 라우팅 알고리즘은 AODV이며, 1500m\*300m 크기의 영역안에 50개의 모바일 노드를 랜덤하게 위치시켰다. 모든 노드들은 최고 10m/s의 속도로 자유롭게 이동하고 pause time은 50으로 설정하였으며 총 300초 동안 실험하였다. 각 노드의 전송 범위는 250m로 설정했으며, 소스와 목적지 노드 사이의 데이터 연결 수는 20개로 하였고, 트래픽 종류는 CBR(constant bit rate)을 사용하였다. 또한 네트워크 트래픽 로드를 달리 표현하기 위하여 초당 패킷 전송률을 5, 10, 15, 20, 25의 5 가지로 구분했으며, 패킷 크기는 512byte와 128byte 크기로 구분하였다. 각 노드의 인터페이스 버퍼의 최대 크기는 50으로 설정하였고 Queue-Threshold는 45, 20, 10으로 나누어 실험했으며, Time-Threshold는 2, 1, 0.5의 경우로 나누어 실험 하였다.

**4.2 실험 결과**

그림 6은 노드에서 버퍼 오버플로우로 인해 drop된 패킷의 평균 개수를 보여준다. DPBA는 데이터 통신 과정에서 여러 패킷을 전송함으로써 혼잡을 해결하기 때문에 적은 패킷 손실을 보인다. 반면 일반 DCF를 이용한 프로토콜은 빈번한 오버플로우의 영향으로 결국 더 많은 전송 실패를 보인다.

그림 7은 트래픽 부하에 따른 패킷 delivery ratio을 보여준다. DPBA가 DCF보다 더 적은 오버플로우 횟수 때문에 더 우수한 전송률을 가짐을 알 수 있다. 그러나 초당 패킷 전송이 25를 초과할 경우 네트워크내 전체적인 혼잡으로 인해 모든 프로토콜의 delivery ratio 가 수렴하여 떨어지게 된다.

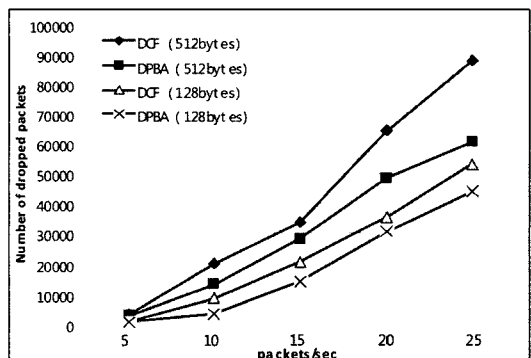


그림 6 Drop된 패킷의 개수

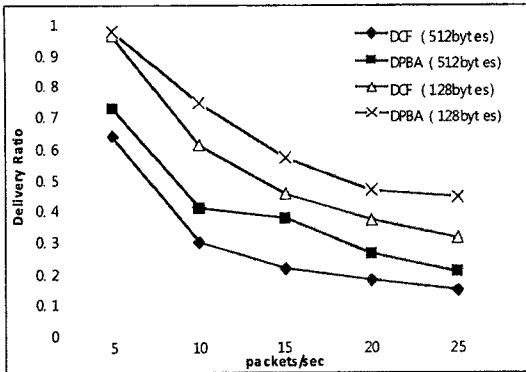


그림 7 패킷 Delivery Ratio

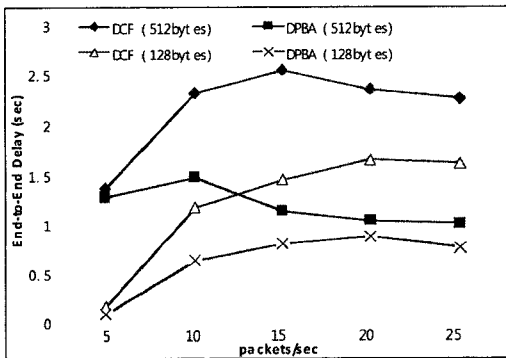


그림 8 패킷의 End-To-End 지연

표 1 5packets/sec일 때 다양한 임계값의 비교

임계값		5 packets/sec		
$Q_{max}$	$T_{max}$	Delivery Ratio	End-to End Delay	Overflow Dropped
45	2	0.69	1.45	2736
20	1	0.71	1.32	2250
10	0.5	0.71	1.34	2312

그림 8은 트래픽 부하에 따른 패킷의 end-to-end 지연을 나타낸다. 네트워크내 트래픽이 증가할수록 지연도 증가하지만, DPBA는 지연이 급격하게 증가하지는 않고 어느 정도 지연이 줄어들음을 보인다. 이는 혼잡이 발생한 노드와 경로의 트래픽을 감소시켰고 불필요한 채널경쟁 시간을 배제시켰기 때문이다. DCF모드에서 패킷 전송률이 15를 초과할 때 end-to-end 지연이 감소하는 이유는 노드가 혼잡이 발생하면 버퍼 오버플로우로 인하여 RREQ패킷도 자동으로 drop이 되어 다른 경로로 라우팅을 하기 때문이다.

표 1과 표 2는 실제 혼잡 상태 여부를 결정하기 위하여 각각 다른 버퍼 임계값을 두어 성능을 비교한 결과이다. 이때 패킷의 크기는 512 바이트로 하였다. 비록

표 2 20packets/sec일 때 다양한 임계값의 비교

임계값		20 packets/sec		
$Q_{max}$	$T_{max}$	Delivery Ratio	End-to-End Delay	Overflow Dropped
45	2	0.22	1.38	52137
20	1	0.24	1.02	48180
10	0.5	0.24	1.16	49375

최적의 임계값을 찾기는 쉽지 않지만 그 값을 다르게 설정함으로써 프로토콜의 성능에 영향을 미치는 사실을 알 수 있다. 2가지의 패킷 전송률의 실험 결과에서 DPBA는  $Q_{max}$ 는 25,  $T_{max}$ 는 1.0sec일 때 가장 우수한 성능을 가짐을 보인다.

### 5. 결론

모바일 애드혹 네트워크에서 혼잡은 오버플로우로 인한 많은 패킷의 손실과 긴 패킷 전송 지연을 일으켜 성능을 크게 감소시킨다. 그러나 기존의 로드 밸런싱 프로토콜들은 단지 대체경로를 찾는 기법이 대부분이었다. 즉 특정 노드의 실제적인 혼잡상황과 해결은 미흡하였다. 본 논문에서는 실제로 혼잡이 발생한 노드들 모니터링하여 파악하고 통신중에 추가적인 지연 없이 여러 패킷을 버스팅하게 전송하는 DPBA(Dynamic Packet Bursting Algorithm) 알고리즘을 제안하였다. 또한 두 가지의 버퍼 임계값을 정의하여 실제 혼잡 상황을 정확히 판단하는 방법을 제시하였다. 마지막으로 실험을 통하여 네트워크 부하가 큰 환경에서 DPBA가 패킷 전송률, 패킷의 end-to-end 지연 등에서 기존 알고리즘보다 우수한 성능을 가짐을 보였다.

### 참고 문헌

- [1] C. E. Perkins and P. Bhagwat, "Highly Dynamic Destination Sequenced Distance-vector Routing (DSDV) for Mobile Computers," *Comp. Commun. Rev.*, pages: 234-44, October, 1994.
- [2] David B. Johnson, David A. Maltz, Yih-Chun Hu, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR)," *Internet Draft, IETF Mobile Ad hoc Networks (MANET) Working Group.*
- [3] C. E. Perkins and E. Royer, "Ad-hoc on-demand Distance Vector Routing," *Proc.2nd IEEE Wksp. Mobile Comp. Sys. App.*, February 1999.
- [4] IEEE 802.11, Part 11:Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, Standard, IEEE, Jun. 1997.
- [5] IEEE 802.11e/D3.0, Draft Supplement to Part 11: Wireless Medium Access Control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: Medium Access

- Control (MAC) Enhancements for Quality of Service (QoS), May 2002.
- [6] IEEE 802.11e/D3.0, Draft Supplement to Part 11: Wireless Medium Access Control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: Medium Access Control (MAC) Enhancements for Quality of Service (QoS), May 2002.
- [7] B. Sadeghi, V. Kanodia, A. Sabharwal, E. Knightly, "OAR: An Opportunistic Auto-Rate Media Access Protocol For Ad Hoc Networks," ACM Mobicom 2002.
- [8] Sung-Ju Lee and Mario Gerla, "Dynamic Load-Aware Routing in Ad hoc networks," Proceedings of IEEE ICC 2001.
- [9] Bong Chan Kim, Jae Young Lee, Hwang Soo Lee and Joong Soo Ma, "An Ad-hoc Routing Protocol with Minimum Contention Time and Load Balancing," IEEE Global Telecommunications Conference, 2003.
- [10] Abdulranhman H. Altalhi and Golden G. Richard, III, "Load-Balanced Routing through Virtual Paths," IPCCC 2004.
- [11] Bong Chan Kim, Jae Young Lee, Hwang Soo Lee and Joong Soo Ma, "An Ad-hoc Routing Protocol with Minimum Contention Time and Load Balancing," IEEE Global Telecommunications Conference, 2003.
- [12] Tran, D.A. and Raghavendra, H., "Routing with congestion awareness and adaptivity in mobile ad hoc networks," Wireless Communications and Networking Conference, 2005.
- [13] S.McCanne and S. Floyd, "NS network simulator," URL: <http://www.isi.edu/nsnam/ns>

이 동 하

정보과학회논문지 : 정보통신  
제 35 권 제 3 호 참조

김 영 덕

2004년 성균관대학교 컴퓨터교육과 졸업(학사). 2006년 POSTECH 정보통신학과 졸업(석사). 2006년~현재 DGIST 미래산업융합기술연구부 연구원. 관심분야는 Wireless Networks, 임베디드시스템 등



양 연 모

1990년 KAIST 전기및전자공학과(학사)  
1999년 GIST 메카트로닉스(석사). 2006년 GIST 메카트로닉스(박사) 2005년~2006년 미국 NC주립대학 Post Doc. 1995년~2000년 LG산전 선임연구원 2006년~2008년 DGIST 선임연구원 현재 금오공과대학 전자공학부 교수. 관심분야는 네트워크(PONs, WSNs), Optical MEMs, 로봇제어, IT/MT융합기술 등