

이동 애드 혹 네트워크상에서 멀티미디어 서비스를 위한 크로스레이어 기반의 전송 기법

정회원 안 기 진*, 주 현 철**, 송 황 준**

Cross-layer based Transmission Scheme for Multimedia Service over Mobile Ad Hoc Network

Ki Jin An*, Hyunchul Joo**, Hwangjun Song** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 이동 애드 혹 네트워크상에서 지연에 민감한 멀티미디어 데이터를 효과적으로 전송하기 위한 크로스레이어 기반 패킷 스케줄링 및 라우팅 기법을 제안한다. 우선 패킷 긴급도, 노드 긴급도, 경로 긴급도를 각 패킷의 종단 간 지연 요구사항과 경로 상의 전체 홉 수를 고려하여 정의한다. 제안하는 기법은 긴급도 척도를 기반으로 MAC 계층에서의 패킷 스케줄링 기법과 네트워크 계층에서의 라우팅 기법이 긴밀하게 결합되어 이동 애드 혹 네트워크상에서 지연에 민감한 멀티미디어의 전송 성능을 향상시킨다. 마지막으로, 실험 결과를 통해 제안하는 전송 기법의 성능을 검증한다.

Key Words : Mobile Ad Hoc Network, Cross-Layer, Packet Scheduling, Routing Algorithm, Multimedia, Packet Priority

ABSTRACT

This paper presents cross-layer based packet scheduling and routing algorithm to effectively transmit delay-sensitive multimedia data over mobile ad hoc network. At first, packet urgency, node urgency, and route urgency are defined based on the end-to-end delay requirement of each packet and the number of hops over a route. Based on the urgency metric, the proposed transmission scheme is that packet scheduling algorithm at the MAC layer and routing algorithm at the network layer are tightly-coupled to improve the transmission performance for delay-sensitive multimedia. Finally, simulation results are provided to show the performance of proposed transmission scheme.

I. 서 론

이동 애드 혹 네트워크 (Mobile Ad Hoc Network)는 기존 인프라 구조의 도움 없이 무선 단말들 사이에 동적인 연결을 통하여 간편하게 새로운 네트

워크를 형성할 수 있는 장점으로 인해 유비쿼터스 시대를 맞아 점점 더 다양한 분야에서 광범위하게 활용되고 있다. 반면 노드의 간섭 및 이동성으로 인한 잦은 토폴로지의 변화와 배터리 용량의 한계와 같은 여러 문제점으로 인해 지속적인 연결을 지원

* 본 논문은 지식경제부 및 방송통신위원회의 정보통신 산업원천기술개발 사업중 하나인 “미래인터넷 인프라를 위한 가상화 지원 프로그래머블 플랫폼 및 핵심원천 기술개발” 과제 (2009-F-050-01)에 대한 결과물중 일부부분으로 연구개발 업무에 도움을 주신 분께 감사드립니다.

* SK 텔레시스(kijin@postech.ac.kr),

** 포항공과대학교 컴퓨터공학과 멀티미디어 통신/네트워킹 연구실(chul1978@postech.ac.kr, hwangjun@postech.ac.kr)

논문번호 : KICS2009-08-335, 접수일자 : 2009년 8월 4일, 최종논문접수일자 : 2009년 11월 3일

하기에 많은 어려움이 있으며, 이동 애드 혹 네트워크상에서 높은 대역폭, 엄격한 중단 간 지연을 요구하는 멀티미디어 서비스를 원활하게 제공하는 것은 더욱 어려운 문제이다.

지금까지 이동 애드 혹 네트워크상에서 전송 성능을 향상시키기 위한 라우팅 및 패킷 스케줄링 기법에 대한 많은 연구가 있었다. 라우팅 기법은 다른 노드들의 참여를 통한 소스 노드와 목적지 노드 사이의 경로를 설정 및 유지하는 것을 의미하며, 애드 혹 라우팅 기법은 테이블 관리 방식 (Table-driven 또는 Proactive)과 요구 기반 방식 (On-demand 또는 Reactive), 그리고 이를 혼합한 하이브리드 (Hybrid) 방식으로 크게 나눌 수 있다. 테이블 관리 방식은 주기적으로 또는 네트워크 토폴로지가 변화할 때 라우팅 정보를 브로드캐스팅 함으로써 모든 노드가 항상 최신의 라우팅 정보를 유지한다. 이러한 테이블 관리 방식은 항상 최신의 경로 정보를 유지하므로, 트래픽 발생 시 경로 탐색의 지연 없이 통신이 가능한 반면 경로 정보의 관리를 위한 제어 메시지 전송에 많은 네트워크 자원이 소모된다. 테이블 관리 방식의 대표적인 라우팅 프로토콜로는 DSDV (Destination Sequenced Distance Vector)^[1], WRP (Wireless Routing Protocol)^[2], CGSR (Clusterhead Gateway Switching Routing)^[3] 등이 있다. 요구 기반 방식은 트래픽 발생 시점에서 경로를 설정하는 방식이므로 제어 메시지 오버헤드는 줄어드는 반면 경로 설정을 위한 지연이 존재한다. DSR (Dynamic Source Protocol)^[4], AODV (Ad hoc On-demand Distance Vector)^[5], TORA (Temporally Ordered Routing Algorithm)^[6] 등이 요구 기반 방식의 대표적인 라우팅 프로토콜이다. 패킷 스케줄링 기법은 노드 상의 큐 내에 패킷들의 전송 순서를 결정하고 패킷 폐기 정책 (Packet Drop Policy)을 정의하며, 서비스별 QoS 제공 측면에서 중요한 기능을 수행한다. CMS (Coordinate Multi-hop Scheduling)^[7]은 패킷의 전송 우선순위를 결정함에 있어 이전 홉 노드에서의 전송 우선순위를 재귀적으로 반영한다. 제안하는 기법은 발생한 지연 정도에 따라 패킷의 우선순위를 동적으로 조절한다. 최근에는 시변하는 무선 네트워크 자원을 효과적으로 이용하기 위한 크로스레이어 기반의 전송 기법에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. QAR (QoS-Aware Routing)^[8]에서는 QoS를 제공하기 위한 방법으로 접속 수락 제어 기법과 피드백 기법을 결합한 라우팅 기법을 제안한다. [9]의 논문은 다중

홉 이동 애드 혹 네트워크에서 효과적인 멀티미디어 전송 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘은 멀티레이트를 지원하는 IEEE 802.11 MAC을 기반으로 하며, 수신 노드에서 패킷 손실률이 제약 조건 이내를 유지하고 중단 간 지연이 최소가 되도록 하기 위해 경로상의 각 노드들은 MAC 계층에서 응용 계층의 데이터 특성과 물리 계층의 채널 정보를 이용하여 효과적인 전송 모드를 선택한다. [10]의 저자들은 1 홉 상에서 사용자들 사이의 간섭과 에너지 소비를 최소화하기 위해 파워 제어 기법 및 스케줄링을 결합한 전송 기법을 제안한다.

본 논문에서는 지연에 민감한 멀티미디어 데이터를 이동 애드 혹 네트워크상에서 효과적으로 전송하기 위한 크로스레이어 기반의 패킷 스케줄링 및 라우팅 기법을 제안한다. 제안하는 전송 기법은 경로 상의 전체 홉 수 및 각 패킷의 중단 간 지연 요구사항을 반영하는 긴급도 척도를 정의하고 이를 통해 MAC 계층에서의 패킷 스케줄링 기법과 네트워크 계층에서의 라우팅 기법이 긴밀하게 결합되어 이동 애드 혹 네트워크상에서 멀티미디어 전송 성능을 향상시킨다.

II. 크로스레이어 기반의 전송 기법

제안하는 전송 기법의 목표는 이동 애드 혹 네트워크상에서 멀티미디어 전송의 중단 간 지연 조건을 최대한 만족시키면서 트래픽 부하를 전체 네트워크로 분산시키는 것이다. 이를 위해 제안하는 크로스레이어 기반의 전송 기법은 긴급도 척도를 정의하며, 그림 1과 같이 계층 간 정보 교환을 통해 긴급도 정보를 획득한다. 이를 기반으로 MAC 계층에서의 패킷 스케줄링 기법과 네트워크 계층에서의 라우팅 기법간의 상호 협력을 통해 멀티미디어 전송 성능을 향상시킨다.

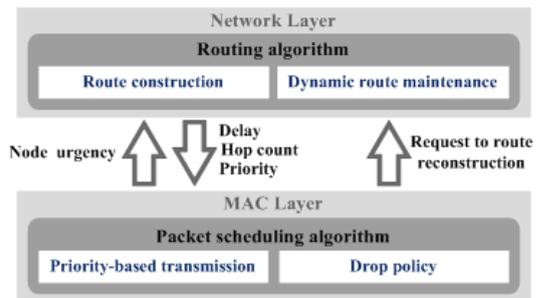


그림 1. 계층 간 정보 교환

2.1 문제 정의

패킷 긴급도, 노드 긴급도, 경로 긴급도를 각 패킷의 종단 간 지연 요구사항과 경로 상의 전체 홉 수를 고려하여 정의한다.

패킷 긴급도: 이동 애드 혹 네트워크상에서 경로가 N 개의 홉으로 구성된 경우 경로상의 k 번째 노드에서의 패킷 긴급도 (U_{pkt})를 아래와 같이 정의한다.

$$U_{pkt} = D_k^{acc} - D_k^{local},$$

$$D_k^{local} = \frac{(k-1) * D_{max}}{N},$$

D_{max} 는 종단 간 허용 가능한 최대 지연이고, D_k^{acc} 와 D_k^{local} 는 각각 소스 노드에서 k 번째 노드까지의 실제 지연 및 예측된 지연을 의미한다. 즉, 패킷 긴급도는 값이 클수록 더욱 긴박한 전송이 요구되는 패킷임을 나타낸다.

노드 긴급도: 노드 긴급도 (U_{node})는 아래의 수식과 같이 각 노드의 큐에서 전송을 기다리는 패킷들 중에서 예측시간보다 큰 전송지연이 발생한 패킷들의 패킷 긴급도의 합으로 정의한다.

$$U_{node} = \sum_{i=1}^{n_k} \max\{U_{pkt(i)}, 0\},$$

n_k 는 큐에 있는 패킷의 총 개수를 의미하고, $U_{pkt(i)}$ 는 큐에 대기 중인 i 번째 패킷의 패킷 긴급도를 의미한다. 즉, 큐에 패킷 긴급도가 높은 패킷들이 많이 존재하는 노드일수록 노드 긴급도는 증가한다.

경로 긴급도: 경로 R 에 대한 경로 긴급도 (U_{route})는 경로 R 상에 존재하는 모든 노드들의 노드 긴급도의 합으로 정의한다.

$$U_{route} = \sum_{j \in R} U_{node(j)},$$

$U_{node(j)}$ 는 경로 R 상에 존재하는 j 번째 노드에서의 노드 긴급도를 의미한다.

본 논문에서는 이동 애드 혹 네트워크상에서 멀티미디어 전송의 종단 간 지연 조건을 최대한 만족

시키면서 트래픽 부하를 전체 네트워크로 분산시키는 것이므로, 아래와 같이 문제를 정의할 수 있다.

문제 정의: 다음 수식을 최소화하기 위한 전체 경로 설정 및 각 노드상의 패킷 스케줄링을 결정하기

$$\sum_{m=1}^{n_R} U_{route(p)},$$

n_R 는 이동 애드 혹 네트워크상에서 전체 경로의 수이고, $U_{route(p)}$ 는 경로 p 에 대한 경로 긴급도이다. 위의 문제 정의에 대한 최적의 해를 구하는 것은 경로 간의 의존성이 존재하고 MAC 계층과 네트워크 계층의 상호 작용으로 인해 매우 복잡하다. 그리고 최적의 해를 구하기 위해 이동 애드 혹 네트워크상에서 안정적으로 존재하는 경로들을 새로운 경로로 변경하는 것은 공평성을 해칠 위험이 있다. 그러므로 이를 해결하기 위해 위에서 정의된 문제 정의를 아래와 같이 단순화하여 효율적으로 해를 구한다. 즉, 이동 애드 혹 네트워크상의 각각의 노드는 자신의 노드 긴급도를 최소화하고 동시에 지연 제약 조건을 만족시키는 패킷의 수를 최대화하기 위한 패킷 스케줄링을 결정하며, 새로운 경로의 설정이 필요한 경우에는 노드 긴급도의 합이 최소화되는 라우팅 경로를 설정한다.

부-문제 정의 1 (패킷 스케줄링): 패킷의 전송 순서 및 패킷 폐기 정책을 결정하여 노드 긴급도를 최소화하고 동시에 지연 제약 조건에 도착하는 패킷의 수를 최대화한다.

부-문제 정의 2 (라우팅 기법): 모든 노드들의 노드 긴급도가 결정된 상황에서, 새로운 경로의 설정이 필요한 경우 최소 경로 긴급도를 가지는 경로를 설정한다.

2.2 제안하는 크로스레이어 기반의 패킷 스케줄링 기법

이동 애드 혹 네트워크를 구성하는 각 노드에서 패킷 스케줄링을 결정하기 위해 그림 2와 같은 부가 정보들이 데이터 패킷의 헤더에 추가된다. 이들 부가적인 정보를 통해 각 노드는 패킷 긴급도와 노드 긴급도를 계산하고, 이를 통해 패킷의 전송 순서 및 패킷 폐기 정책을 결정한다. l_{pkt} 는 경로상의 전체 홉 수이고, $hcnt^k$ 는 소스 노드와 k 번째 중간 노드 사이의 해당

D_{\max}	$ R $	p_i^{k-1}
Delay requirement	Number of hops over the route	Data packet priority at the previous hop
D_{k-1}^{acc}	ts^{prev}	$hcnt^k$
Accumulated delay at the previous hop	Timestamp at the previous hop	Current hop count

그림 2. 데이터 패킷의 부가적인 헤더 정보

홉 수이고, p_i^{k-1} 는 이전 홉에서의 패킷 전송 우선순위 이고, D_{k-1}^{acc} 는 소스 노드에서 이전 노드인 $k-1$ 번째 노드까지의 축적된 지연이고, ts^{prev} 는 이전 홉에서의 타임스탬프를 의미한다. 1 홉 거리에 있는 이웃 노드들 사이에는 동기화가 되어 있다는 가정 하에 각 노드들은 한 홉에서의 지연을 이전 홉에서의 ts^{prev} 를 통해 예측할 수 있고, 이를 기반으로 D_k^{acc} 를 계산한다.

2.2.1 우선순위 기반의 패킷 전송 순서 결정

본 논문에서 제안한 패킷 전송 순서 결정은 노드 긴급도를 최소화하기 위해 각 노드에서 패킷 긴급도에 따라 패킷 전송 우선순위를 동적으로 결정한 후 이를 기반으로 전송 순서를 할당한다. 그러나 급격한 패킷 전송 우선순위의 변화는 다음 노드에서의 전송 시 큰 부담이 될 수 있기 때문에 점진적인 전송 우선순위의 변화가 요구되고 이를 위해 현재 노드에서의 패킷 긴급도와 이전 노드에서의 패킷 전송 우선순위를 동시에 고려하여 패킷 전송 우선순위를 결정한다. 세부적인 패킷 전송 우선순위 결정 규칙은 다음과 같다.

규칙 1: 송신 노드는 아래의 수식과 같이 해당 경로 R 상의 종단 간 전체 홉 수와 허용 가능한 최대 지연에 기초하여 전송될 데이터 패킷의 전송 우선순위를 설정한다.

$$p_i^1 = \frac{D_{\max}}{|R|},$$

p_i^1 는 소스 노드에서 패킷 i 의 전송 우선순위를 의미한다. 전체 홉 수가 클수록 또는 허용 가능한 최대 지연이 작을수록 패킷의 전송 우선순위가 작은 값을 갖게 되어 우선적으로 전송된다.

규칙 2: 중간 노드는 수신된 패킷이 데이터 패킷인 경우 이전 홉의 노드 $k-1$ 에서의 패킷 전송 우선순위와 현재 노드 k 에서의 패킷 긴급도에 기초하여 아래 수식

과 같이 패킷 전송 우선순위를 결정한다.

$$p_i^k = p_i^{k-1} - \alpha * U_{pkt} \\ = p_i^{k-1} - \alpha * \left(D_k^{acc} - \frac{(k-1) * D_{\max}}{N} \right) \text{ for } k > 1$$

위 식에서 α 는 급격한 패킷 전송 우선순위의 변화를 완화시키기 위한 가중치를 의미하고, 미리 지정된 값을 가질 수 있다. k 번째 홉의 중간 노드의 큐에 새로운 패킷이 도착할 때마다 큐에 대기 중인 패킷들의 축적된 지연시간이 D_k^{acc} 에 반영되어 큐에 대기 중인 패킷들의 패킷 긴급도 및 전송 우선순위도 갱신된다. 현재 k 번째 홉에서 수신된 패킷의 패킷 긴급도가 양의 값을 가지는 경우에는 패킷 전송 우선순위 값이 이전 홉인 $k-1$ 번째 홉의 패킷 전송 우선순위 값보다 작은 값을 갖게 되고 결과적으로 패킷이 우선적으로 전송된다. 반면 k 번째 홉에서 수신된 패킷의 패킷 긴급도가 음의 값을 가지는 경우에는 패킷의 전송 우선순위 값이 이전 홉인 $k-1$ 번째 홉의 패킷의 전송 우선순위 값보다 큰 값을 갖게 되어 더 급한 전송에게 기회를 부여한다.

규칙 3: 송신 노드 및 중간 노드는 수신된 패킷이 제어 패킷 (경로 요청 (RREQ) 패킷, 경로 응답 (RREP) 패킷, 경로 오류 (RERR) 패킷)인 경우 해당 패킷의 전송 우선순위를 가장 낮게 설정한다. 제어 패킷들은 경로를 설정하고 유지하는데 중요한 역할을 수행하므로 다른 데이터 패킷보다 낮은 전송 우선순위를 부여하여 우선적으로 전송되도록 한다.

2.2.2 패킷 폐기 정책 결정

본 논문에서 제안한 패킷 폐기 정책은 지연 제약 조건에 도착하는 패킷의 수를 최대화하는 것을 목적으로 다음과 같은 두 가지 경우에 대해 패킷을 정해진 방법으로 폐기시킨다.

규칙 1: 큐에 존재하는 전송대기 중인 패킷의 수 및 네트워크의 혼잡 정보와 상관없이 패킷에 미리 정의된 허용 가능한 최대 지연을 초과하는 지연 값을 가지는 패킷을 폐기한다.

규칙 2: 새로 도착한 패킷으로 인해 큐에 오버플로우가 발생된 경우, 노드는 새로 도착한 패킷 및 큐에 대기 중인 패킷들의 헤더 정보를 분석하여 폐기시킬 패킷을 결정한다. 다중 홉을 통한 패킷 전송에서 목적

지까지 거의 전송이 이루어진 패킷을 폐기하는 것은 전송 성능의 저하를 초래하기 때문에 오버플로우가 발생한 경우 목적지 노드까지 미도착 확률이 가장 큰 패킷을 선택하여 폐기한다. 목적지 노드까지 도착하지 못할 확률은 아래 수식을 통해 계산될 수 있다.

$$\frac{|R_{pkt(i)}| - hcnt_{pkt(i)}}{|R_{pkt(i)}|} U_{pkt(i)} - \frac{1}{|R_{pkt(i)}|} D_{pkt(i)}^{max}$$

$|R_{pkt(i)}|$, $hcnt_{pkt(i)}$, $U_{pkt(i)}$ 및 $D_{pkt(i)}^{max}$ 는 각각 패킷 i 의 전체 전송 홉 수, 소스 노드로부터 현재 노드까지의 홉 수, 패킷 긴급도 및 허용 가능한 최대 지연을 의미한다. 전체 홉 수 대비 남은 홉 수가 많을수록 또는 패킷 긴급도가 클수록 목적지 노드까지 지정된 시간 내에 도착할 확률은 적어진다.

2.3 제안하는 크로스레이어 기반의 라우팅 기법

제안하는 라우팅 기법은 최소의 경로 긴급도를 가지는 경로를 설정한다는 점에서 기존 DSR, AODV 프로토콜과 같은 최단 경로 라우팅 기법과 큰 차이가 있다. 그리고 이동 애드 혹 네트워크상에서 경로를 구성하는 중간 노드에서 경로의 혼잡도를 판단하고, 새로운 경로가 필요하다고 판단되는 경우 소스 노드에 새 새로운 경로 설정을 요청한다.

규칙 1: 소스 노드는 경로 설정을 위해 경로 요청 패킷을 브로드캐스팅 한다. 여기서, 경로 요청 패킷의 헤더에는 그림 3과 같이 소스 노드에서 해당 중간 경로까지의 경로 긴급도 ($\sum_{j \in R_{interim}} U_{node(j)}$) 및 홉 수 ($|R_{interim}|$) 정보가 추가적으로 포함된다. 소스 노드로부터 브로드캐스팅 된 경로 요청 패킷을 수신한 중간 노드는 자신의 노드 긴급도를 소스 노드부터 자신의 이전 노드까지 누적된 경로 긴급도에 더하여 경로 긴급도를 재계산하고 홉 수를 증가시킨 후, 갱신된 정보를 포함하는 경로 요청 패킷을 이웃 노드에 브로드캐스팅 한다. 이러한 과정은 경로 요청 패킷이 목적지 노드에 도착할 때까지 모든 중간 노드에서 동일하게 수행된다. 목적지 노드는 적어도 하나 이상의 중간 노드로부터 경로 요청 패킷을 수신하고 수신된 경로 요청 패킷의 헤더에 포함된 경로 긴급도를 참조하여 가장 최소의 경로 긴급도를 갖는 경로를 선택한다. 만약 경로 긴급도가 동일한 경로들이 다수 존재한다면 최소 홉을 가지는 경로가 선택된다. 이 후, 목적지 노드는 선택된 경로를 갖는 경로 긴급도와 전체 홉수 정

$\sum_{j \in R_{interim}} U_{node(j)}$	$ R_{interim} $
Accumulated route urgency over the interim route	The number of hops over the interim route

그림 3. 경로 요청 패킷의 부가적인 헤더 정보

보를 포함하는 경로 응답 패킷을 소스 노드에 유니캐스팅 형태로 전송한다. 여기서, 경로 응답패킷의 도착할은 경로 요청 패킷 도착할 과정에서 중간 노드에서 설정된 역방향경로 (Reverse Path) 설정 정보를 이용하여 전달될 수 있다 즉, 목적지 노드로부터 경로 응답패킷의 해수신한 중간 노드들은 역방향경로로 설정되어 있는 경로를 순방향경로 (Forward Path)로 설정하게 된다. 그리고 모든 중간 노드들이 이와 같은 과정을 통해 소스 노드까지 경로 응답패킷을 전달한다. 경로가 설정되면 소스 노드는 설정 경로를 통해 다음 홉에 패킷을 전송하고 중간 노드들은 경로 설정 과정에서 설정된 경로 정보를 이용하여 목적지까지 패킷을 전송하게 된다.

규칙 2: 중단 간 허용 가능한 최대 지연을 만족시키지 못하는 상황이 지속적으로 발생하는 경우, 현재 안정적인 경로가 존재한다 하더라도 전송에 참여하는 노드들은 경로 오류 패킷을 생성함으로써 해당 플로우에 대한 새로운 경로를 설정한다. 이동 애드 혹 네트워크의 중간 노드는 검출 구간 동안 큐에 오버플로우 발생 또는 허용 가능한 최대 지연 초과에 의한 폐기된 패킷의 수 및 대응되는 플로우 ID를 저장한다. 검출 구간 동안 폐기된 패킷 수가 가장 많은 플로우에 대해 미리 설정된 경계 값 이상으로 많은 패킷 폐기들이 발생한다면, 해당 플로우 ID의 경로 재설정을 위해 경로 오류 패킷을 소스 노드에 유니캐스팅 형태로 전송한다. 검출 구간 설정은 관측된 패킷 폐기 빈도에 상응하여 검출 구간을 동적으로 조절함으로써 네트워크 상황에 따라 적응적으로 라우팅 경로를 재설정한다. 검출 구간 동안 폐기된 패킷 수가 가장 많은 플로우에 대해 경계 값 이하의 패킷 폐기들이 발생한다면 중간 노드는 검출 구간을 증가시키고, 경로 재설정을 위한 경로 오류 패킷이 전송되는 경우 검출 구간을 감소시킨다. 검출 구간이 너무 작을 경우 잦은 경로 재설정으로 인해 네트워크의 오버헤드가 증가되는 문제를 방지하기 위해 검출 구간의 최소값을 정의한다. 그리고 검출 구간이 너무 클 경우 네트워크의 혼잡에 적응적으로 대처하지 못하므로 검출 구간의 최대값을

정의하여 이를 방지한다.

III. 실험 결과

제안한 전송 기법의 성능 평가를 위해 NS-2 시뮬레이터^[11]가 사용되었다. 성능 평가를 위해 50개의 노드들은 500m×500m 영역에 무작위로 위치해 있고, [0~5m/s]의 속도와 [100~300초]의 정지 시간을 갖는 random-way point 모델로 움직이는 것으로 가정하였다. 소스 노드와 목적지 노드는 무작위로 선택되며, 전체 플로우의 수를 {5, 10, 15, 20, 25, 30}로 변화시키면서 성능을 측정하였으며, 각 플로우는 무작위로 1초 또는 3초의 허용 가능한 최대 지연을 가진다. 소스 노드들은 512 kbyte 크기의 패킷을 지수함수 분포로 평균 초당 20개를 생성한다. 각 노드의 큐에서 전송을 기다릴 수 있는 패킷의 최대 개수는 모든 노드들이 50 개로 동일하며, 각 노드들은 IEEE 802.11 MAC^[12] 프로토콜 기반의 채널을 사용한다. 폐기된 패킷의 수를 관측하는 주기인 검출 구간은 0.5초의 단위를 가지고 [1.5~5 초] 사이에서 변경되며, α 는 1로 설정하였다. 실험 결과는 여러 시나리오에서 획득한 데이터의 평균을 구한 값이다. 제안한 전송 기법에 대한 성능 평가 대상은 FCFS (First Come First Serve) 방식의 AODV, DSR, QAR으로 선정하였다.

3.1 노드 긴급도 분포

이번 절에서는 제안한 전송 기법과 기존 전송 기법들에 대한 노드 긴급도 분포 결과를 기술한다. 그림 4와 5는 제안한 전송 기법과 기존 전송 기법들에 대한 전체 네트워크상에서의 노드 긴급도들의 합과 각 노드들의 노드 긴급도를 각각 나타내며, 표 1은 노드 긴급도의 평균값, 최대값 및 표준편차에 관한 결과이다. 결과에서 볼 수 있듯이, FCFS-AODV와 FCFS-DSR는 특정 노드들의 노드 긴급도가 높게 유지되어 전체 네트워크상에서의 노드 긴급도들의 합이 높은 값을 보이고 있음을 알 수 있다. FCFS-QAR은 접속 수락 제어를 통해 플로우 수를 제어하므로 FCFS-AODV와 FCFS-DSR에 비해 전체 네트워크상에서의 노드 긴급도들의 합이 작은 값을 유지한다. 그러나 여전히 {4, 7, 16, 19, 34, 35, 38, 39}와 같은 노드들에서 노드 긴급도가 상대적으로 높게 나타난다. 반면 제안한 전송 기법은 전체 노드에서 작은 노드 긴급도를 가지고 전송에 참여하는 노드들에게 고르게 분산되어 기존 전송

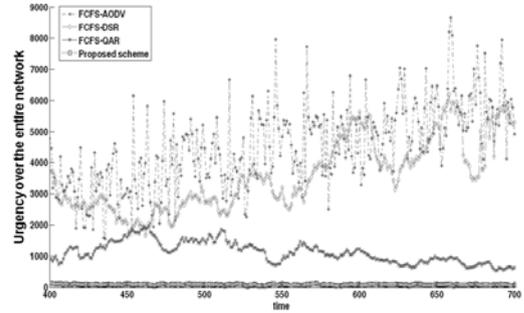


그림 4. 전체 네트워크상에서의 노드 긴급도들의 합

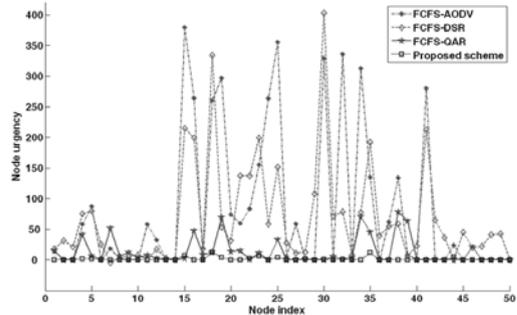


그림 5. 각 노드들의 노드 긴급도

표 1. 노드 긴급도의 통계적 비교

	평균 노드 긴급도	최대 노드 긴급도	노드 긴급도의 표준편차
FCFS-AODV	83.09	379.06	121.03
FCFS-DSR	69.91	402.87	87.16
FCFS-QAR	13.25	78.45	21.66
Proposed scheme	1.36	12.89	2.88

기법들에 비해 전체 네트워크상에서의 노드 긴급도들의 합이 가장 작다. 즉 제안한 기법은 기존 전송 기법들에 비해 효과적으로 트래픽 부하를 전체 네트워크로 분산시키고 있음을 알 수 있다.

3.2 전송 성능 분석

이번 절에서는 제안한 전송 기법과 기존 전송 기법들 사이의 중단 간 지연, 허용 가능한 최대 지연 내에 도착한 패킷의 수, 처리량, 라우팅 오버헤드에 대한 결과를 기술한다. 그림 6은 제안한 전송 기법과 기존 전송 기법들에 대한 중단 간 지연을 나타낸다. FCFS-AODV와 FCFS-DSR의 경우 특정 노드로의 트래픽 집중으로 인해 플로우 수가 증가함에 따라 중단 간 지연이 급격히 증가한다. FCFS-AODV와

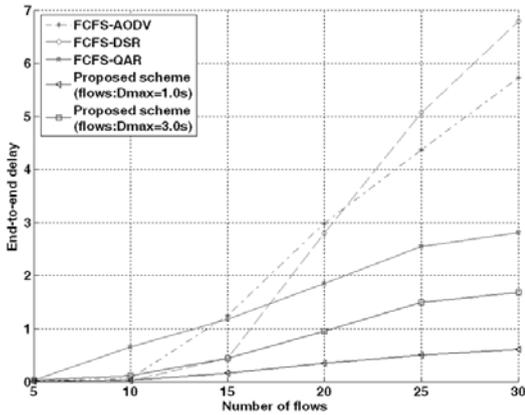


그림 6. 종단 간 지연

FCFS-DSR과 비교하여 FCFS-QAR는 접속 수락 제어를 통해 플로우 수를 제어하므로 다소 작은 종단 간 지연을 보인다. 반면, 제안한 전송 기법은 종단 간 지연 제약조건을 최대한 만족시키면서 트래픽 부하를 전체 네트워크로 분산시키므로, 트래픽 혼잡 상황에서 가장 작은 종단 간 지연을 보이며 플로우 수가 증가하더라도 종단 간 지연 증가폭은 크지 않음을 알 수 있다.

그림 7과 8은 각각 제안한 전송 기법과 기존 전송 기법들에 대한 허용 가능한 최대 지연 내에 도착한 패킷의 수와 처리량을 나타낸다. FCFS-QAR의 경우에는 접속 수락 제어를 통해 허용된 플로우들의 전송에 대해서만 허용 가능한 최대 지연 이내에 전송이 이루어진다. FCFS-AODV와 FCFS-DSR의 경우 전체 트래픽이 작을 경우 제안한 기법보다 다소 좋은 성능을 보인다. 이는 제안한 기법이 경로 재설정으로 인한 오버헤드로 인해 전체 처리량이 다소 감소하기 때문이다. 그러나 FCFS-AODV와 FCFS-DSR는 네트워크상에 플로우 수가 17 개보다 더 많은 전송이 요구되면 허용 가능한 최대 지연 이내에 도착한 패킷의 수가 급격히 감소되는 것을 확인할 수 있다. 이는 특정 노드상의 트래픽 집중으로 인한 혼잡 상황이 발생하는 것에서 기인한다. 반면 제안한 전송 기법은 트래픽 혼잡 상황에서 트래픽 부하를 전체 네트워크로 분산시키면서 패킷들의 전송 우선순위를 제어하는 방법을 통해 기존의 전송 기법들에 비해 좋은 성능을 보인다.

그림 9는 제안한 전송 기법과 기존 전송 기법들에 대한 라우팅 오버헤드를 나타낸다. FCFS-QAR의 경우에는 가용 대역폭을 예측하기 위한 라우팅 오버헤드가 요구되며, 플로우 수가 증가함에 따라 라우팅 오버헤드가 급격히 증가한다. 반면 제안한 전송 기법은

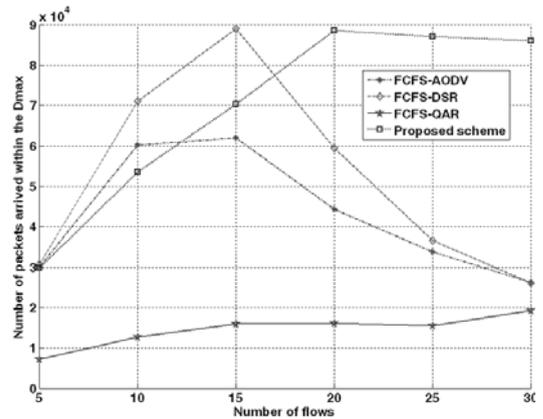


그림 7. 최대 지연 내에 도착한 패킷의 수

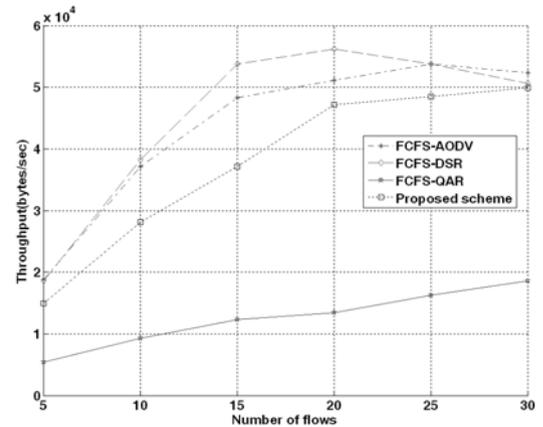


그림 8. 처리량

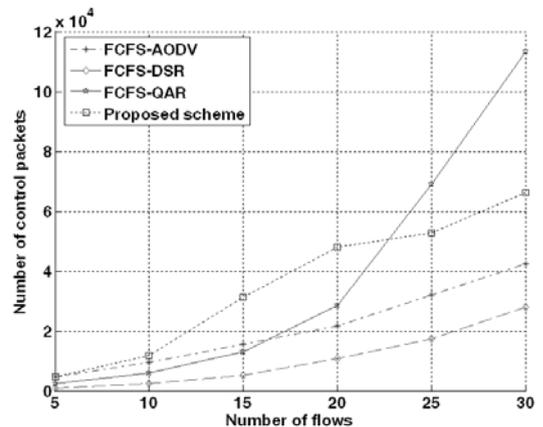


그림 9. 라우팅 오버헤드

경로 재설정을 위한 라우팅 오버헤드가 요구된다. 제안한 전송 기법이 FCFS-AODV와 FCFS-DSR과 비

교하여 다소 높은 라우팅 오버헤드를 요구하더라도 플로우 수 증가에 따른 라우팅 오버헤드 증가폭은 크지 않으며, 특히 기존 전송 기법들에 비해 혼잡 상황에서 지연에 민감한 멀티미디어의 전송 성능을 향상시킬 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 이동 애드 혹 네트워크상에서 지연에 민감한 멀티미디어 전송을 위한 크로스레이어 기반의 패킷 스케줄링과 라우팅 기법을 제안했다. 패킷 긴급도, 노드 긴급도, 경로 긴급도를 정의하고 이를 통해 패킷 스케줄링과 라우팅 기법이 유기적으로 상호 작용하도록 했다. 제안한 기법은 트래픽 부하를 전체 네트워크로 분산시킴으로써 기존의 제안된 기법들에 비해 최대 지연 내에 도착하는 패킷의 수를 확연하게 증가시킬 수 있었다. 결과적으로 제안한 전송 기법을 통해 이동 애드 혹 네트워크상에서 멀티미디어 데이터의 효과적인 전송이 가능하다.

참 고 문 헌

[1] C. E. Perkins and P. Bhagwat, "Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (DSDV) for mobile computer," *Comp. Comm. Review*, pp.234-244, Oct., 1994.

[2] S. Murthy and J. J. Garcia-Luna Aceves, "An Efficient Routing Protocol for Wireless Networks," *ACM/Baltzer Journal on Mobile Networks and Applications Special Issue on Routing in Mobile Communication Networks*, Vol.1, No.2, pp.183-197, 1996.

[3] C. C. Chiang, H. K. Wu, W. Liu, and M. Gerla, "Routing in clustered multihop, mobile wireless networks with fading channel," *Proceedings of IEEE SICON*, pp.197-211, 1997.

[4] D. B. Johnson, D. A. Maltz, and J. Broch, "DSR: The Dynamic Source Routing Protocol for Multihop Wireless Ad Hoc Networks," *Ad Hoc Networking*, C.E. Perkins, ed., pp.139-172, Addison-Wesley, 2000.

[5] C. Perkins, E. Belding-Royer, and S. Das, "Ad hoc on-demand distance vector (AODV) routing," *IETF RFC 3561*. <http://www.ietf.org/>

rfc/rfc3561.txt.

[6] V. D. Park and M. S. Corson, "A highly adaptive distributed routing algorithm for mobile wireless networks," *Proceedings of IEEE INFOCOM*, 1997.

[7] C. Li and E. Knightly, "Coordinated multi-hop scheduling: A framework for end-to-end services," *IEEE/ACM Transaction on Networking*, Vol.10, No.6, pp.776-789, Dec., 2002.

[8] S. Chen and W. Heinzelman, "QoS-aware routing based on bandwidth estimation for mobile ad hoc networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol.23, pp.561-572, 2005.

[9] G. C. Lee and H. J. Song, "Cross Layer Optimized Video Streaming based on IEEE 802.11 Multi-rate over Multi-hop Mobile Ad Hoc Networks," *ACM Mobile Networks and Applications (Available Online)*, Aug., 2009.

[10] T. Elbatt and A. Ephremides, "Joint Scheduling and Power Control for Wireless Ad-hoc Networks," *Proceedings of IEEE INFOCOM*, 2002.

[11] S. McCanne and S. Floyd, *The Network Simulator, ns-2* <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.

[12] IEEE 802.11, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, 1999.

안 기 진 (KiJin An)

정회원



2007년 2월 서울시립대학교 전
자전기컴퓨터공학부(학사)
2009년 2월 포항공과대학교 정
보통신공학과(석사)
2009년 4월~현재 SK 텔레시스
<관심분야> 네트워크 모델링, 애
드 혹 네트워크

주 현 철 (HyunChul Joo)

정회원



2005년 2월 한양대학교 컴퓨터 공학과(학사)

2007년 2월 포항공과대학교 컴퓨터공학과(석사)

2007년 3월~현재 포항공과대학교 컴퓨터공학과(박사과정)

<관심분야> IPTV, 영상압축, 오

버레이 멀티캐스트

송 황 준 (HwangJun Song)

정회원



1990년 2월 서울대학교 제어계 측공학과(학사)

1992년 2월 서울대학교 제어계 측공학과(석사)

1999년 5월 Univ. of Southern California, EE-Systems(박사)

2000년~2005년 2월 홍익대학교

전자전기공학부(조교수)

2005년 2월~현재 포항공과대학교 컴퓨터공학과(부교수)

<관심분야> 멀티미디어 네트워킹, 영상압축, 통방용 합기술