

# 다중 홉 이동 애드 혹 네트워크에서 크로스레이어 기반의 효과적인 멀티미디어 전송 알고리즘

정희원 이경철\*, 김완\*, 송황준\*

## An Effective Cross Layer-based Multimedia Transmission Algorithm over Multi-hop Mobile Ad Hoc Network

Gyeongcheol Lee\*, Wan Kim\*, Hwangjun Song\* *Regular Members*

### 요약

본 논문에서는 다중 홉 이동 애드 혹 네트워크에서 크로스 레이어 (Cross layer) 기반의 효과적인 멀티미디어 전송 알고리즘을 제안한다. 제안 알고리즘은 멀티레이어를 지원하는 IEEE 802.11 MAC을 기반으로 하며, 수신 노드에서 패킷 손실률 (Packet Loss Rate, PLR)이 제약 조건 이내를 유지하고 중단간 지연시간이 최소가 되도록 하기 위해 경로상의 각 노드들은 MAC 계층에서 응용계층의 데이터 특성과 물리 계층의 채널정보를 이용하여 효과적인 전송 모드를 선택 한다. 마지막으로 실험을 통하여 제안 알고리즘의 우수성을 확인 한다.

**Key Words** : Cross Layer, Multi-Hop Mobile Ad Hoc Network, Multimedia Transmission, IEEE 802.11 Multi-Rate Service

### ABSTRACT

In this paper, we present an effective cross layer-based video transmission algorithm over multi-hop mobile ad hoc networks. The proposed algorithm selects the most efficient PHY mode of wireless LAN multi-rate service at each node in a distributed way based on the available information at application, MAC, and physical layers in order to minimize end-to-end delay and maintain packet loss rate in tolerable range at the receiver. Finally, experimental results are provided to show superior performance of the proposed algorithm.

### I. 서론

이동 애드 혹 네트워크는 기존 인프라의 도움 없이 무선 단말들 사이의 동적인 연결을 통하여 간편하게 네트워크를 형성 할 수 있는 장점을 가지고 있어, 유비쿼터스 시대를 이끌 수 있는 차세대 방법의 일환으로 높은 관심을 불러일으키고 있다. 그러나 장치들의 이동성으로 인하여 링크들이 불안정하고, 네트워크 토폴로지가 지속적으로 변화하는 단점을 가지고 있으며 또한 무선 채널의 간섭과 제한적

인 배터리 용량과 같은 문제점으로 인하여 높은 대역폭, 엄격한 지연 시간 제약조건과 같은 QoS (Quality of Service)를 요구하는 멀티미디어 서비스를 제공하기에는 더욱 많은 어려움이 있다. 지금까지 이동 애드 혹 네트워크에서 QoS를 제공하기 위한 많은 연구가 있었다.

특히 최근 들어 한정된 무선 자원을 효과적으로 이용하여 QoS를 제공할 수 있는 크로스 레이어 기법들에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>[1][4]</sup>. 먼저 응용계층의 우선순위 기반의 패킷화 (Packetization)와

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2010-(C1090-1011-0004)

\* 포항공과대학교 컴퓨터공학과 멀티미디어 통신네트워킹 연구실 (jbrandon, xviii, hwangjun)@postech.ac.kr

논문번호 : KICS2009-07-274, 접수일자 : 2009년 7월 3일, 최종논문접수일자 : 2010년 3월 5일

MAC 계층에서 비평등 보호 (Unequal protection) 스케줄링을 결합하여 QoS를 제공하고 있다<sup>[1]</sup>. 또한 WLAN (Wireless Local area Network)과 같은 단일 홉 무선 네트워크에서 응용 계층의 데이터 특성에 기반하여 패킷화와 MAC계층의 재전송 횟수를 조절하여 QoS를 제공하는 방법이 제안되었다<sup>[2]</sup>. 다음으로 다중 홉 무선 네트워크에서 네트워크 계층의 패킷 기반의 라우팅 기법과 MAC 계층의 재전송 횟수, 물리계층의 적응적인 변조기법을 결합한 알고리즘도 제안되었다<sup>[3]</sup>. 정리하면 위의 방법들은 QoS를 제공하기 위해 멀티미디어의 지연 시간에 민감한 특성을 고려하여 패킷들의 중요도에 따라 서로 다른 처리를 해주는 알고리즘을 설계하고 있다. 그러나 실제 멀티미디어 서비스에 있어서는 지연 시간과 더불어 멀티미디어 데이터의 패킷 손실률도 고려되어야 한다. 그 이유는 멀티미디어 데이터가 패킷 손실에 강인한 특성이 있더라도 무선채널에서 발생하는 과도한 패킷손실은 극복할 수 없기 때문이다. 그러므로 원활한 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해서는 지연 시간 조건뿐만 아니라 전송중 발생하는 패킷 손실률도 고려되어야 한다. 이러한 패킷 손실률을 고려한 기존 연구로는 응용계층에서 멀티미디어의 허용 가능한 손실률을 고려하여 MAC계층에서 전송 레이트 선택 시 필요한 새로운 SNR (Signal to Noise Ratio) 임계값을 재설정하는 방법이 제안되었다<sup>[4]</sup>. 그러나 위에서 언급된 기존의 크로스 레이어 기법들은 지연시간과 패킷 손실률 중 하나만을 고려하여 알고리즘을 설계하고 있는 약점을 가지고 있다. 또한 다중 홉 통신이라는 이동 애드 혹 네트워크의 특성이 충분히 반영되어 있지 않다. 그러므로 최적의 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해서는 멀티미디어 데이터의 지연시간 제약 조건과 패킷 손실률 그리고 다중 홉 네트워크 특성을 모두 고려한 멀티미디어 전송 알고리즘이 필요하다.

본 논문에서는 다중 홉 이동 애드 혹 네트워크에서 지연시간 제약 조건과 패킷 손실률을 모두 고려한 크로스 레이어 기반의 멀티미디어 전송 알고리즘을 제안한다. 제안 알고리즘은 무선 자원을 효과적으로 사용하기 위해서 크로스 레이어 기법을 적용 하였으며 응용계층의 데이터 특성과 물리계층의 채널 상태, 그리고 지연 시간 조건과 패킷 손실률, 다중 홉 네트워크 특성을 모두 고려하여 MAC 계층에서 적응적으로 전송 모드를 선택 하게 된다.

본 논문은 II에서 배경지식을 III에서는 제안한

크로스 레이어 기반의 멀티미디어 전송 알고리즘에 대해 설명하고, IV에서는 NS-2를 이용한 실험을 통해 성능 향상을 보인다. 마지막으로 V에서는 결론에 대하여 기술 하였다.

## II. 배경지식

본 절에서는 크로스 레이어 설계, IEEE 802.11 멀티레이트 서비스 그리고 시변환 (Time-varying) 무선 채널에서의 패킷 손실률에 대해서 간략히 소개한다.

### 2.1 크로스 레이어 설계

크로스 레이어 설계는 QoS를 제공하는 가장 중요한 방법론이다. 기존의 계층 기반 설계는 네트워크 아키텍처와 같이 매우 복잡한 시스템을 설계하는데 모듈화를 제공하는 측면에서는 매우 긍정적이었지만 프로토콜 계층 간의 정보 공유가 어려워 네트워크의 성능 및 효율의 저하를 야기시켰다. 반면 크로스 레이어 설계는 그림 1과 같이 네트워크 소프트웨어의 프로세싱 시간을 줄일 뿐만 아니라 프로토콜 계층간 정보를 쉽게 공유할 수 있어 QoS를 제공하기에 원활하다.

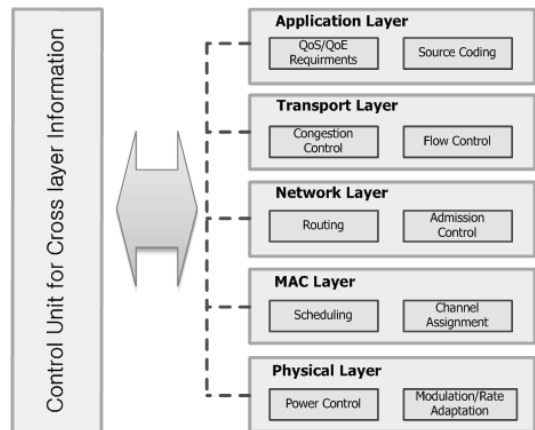


그림 1. 크로스 레이어 구성요소 및 구조

### 2.2 IEEE 802.11 멀티 레이트 서비스

IEEE 802.11 계열의 표준은 멀티 레이트를 제공할 수 있는 무선 MAC 기술로서 널리 사용되고 있다. 멀티 레이트 서비스는 물리 계층에서 수신 신호의 세기에 따라 다른 변조 기법을 적용함으로써 제공할 수 있다. IEEE 802.11a는 표 1과 같이

표 1. IEEE 802.11a의 전송 모드

Data Rate (Mbps)	Modulation scheme	Code Rate
6	BPSK	1/2
9	BPSK	3/4
12	QPSK	1/2
18	QPSK	3/4
24	16-QAM	1/2
36	16-QAM	3/4
48	64-QAM	2/3
54	64-QAM	3/4

5GHz 대역에서 4가지 변조 기법과 3가지 코드를 조합하여 6Mbps에서부터 54Mbps까지 총 8개의 전송 모드를 제공할 수 있다 [5]. 이때 물리계층의 기술로는 48개의 데이터 전송 반송파와 주파수 추적을 위한 4개의 반송파로 구성된 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex)을 사용한다.

2.3 패킷 손실을 예측

IEEE 802.11a에서 이진 컨벌루션 코드와 경관정 비터비 복호화 (Binary convolutional coding and hard-decision Viterbi decoding)를 사용하고 채널에서의 오류는 서로 독립이라 가정하면 패킷 손실률의 상한 값은 다음과 같이 정의 된다.

$$PLR\left(\frac{\epsilon_{sav}}{N_0}, md\right) \leq 1 - \left[1 - P_u\left(\frac{\epsilon_{sav}}{N_0}, md\right)\right]^{8L}$$

위 식에서  $\epsilon_{sav}$ 는 심볼당 신호의 평균 에너지,

$N_0$ 는 심볼당 잡음 에너지이다. 이때 첫 오류가 발생할 확률의 결합 경계는 다음과 같다.

$$P_u\left(\frac{\epsilon_{sav}}{N_0}, md\right) = \sum_{d=d_{free}}^{\infty} c_d \cdot P_d\left(\frac{\epsilon_{sav}}{N_0}, md\right)$$

여기서  $d_{free}$ 는 컨벌루션 코드의 자유거리,  $c_d$ 는 가중치가  $d$ 일 때 총 오류발생 횟수,  $P_d\left(\frac{\epsilon_{sav}}{N_0}, md\right)$ 는 경관정 비터비 복호화에서 거리  $d$  만큼 떨어진 부정확 경로에 위치할 확률이며 다음과 같이 주어진다.

$$P_d\left(\frac{\epsilon_{sav}}{N_0}, md\right) = \begin{cases} \sum_{k=(d+1)/2}^d \binom{d}{k} \cdot \rho^k \cdot (1-\rho)^{d-k} & \text{if } d \text{ is odd,} \\ \frac{1}{2} \binom{d}{d/2} \cdot \rho^{d/2} \cdot (1-\rho)^{d/2} + \sum_{k=(d+1)/2}^d \binom{d}{k} \cdot \rho^k \cdot (1-\rho)^{d-k} & \text{otherwise,} \end{cases}$$

위 식에서  $\rho$ 는 이 SNR로 주어 졌을 때 변조기법의 BER (Bit Error Rate)이다. 이때  $c_d$ 의 값은 계산적인 방법으로 찾을 수 있다 [6].

III. 크로스 레이어 기반 멀티미디어 전송 알고리즘

제안 알고리즘은 수신 노드에서 패킷 손실률은 일정 범위의 값을 가지면서 지연 시간이 최소가 되도록 한다. 제안 알고리즘은 그림 2와 같이 응용계층에서 멀티미디어 데이터의 안정적인 전송을 위해서 전향 오류 정정 (Forward Error Correction,

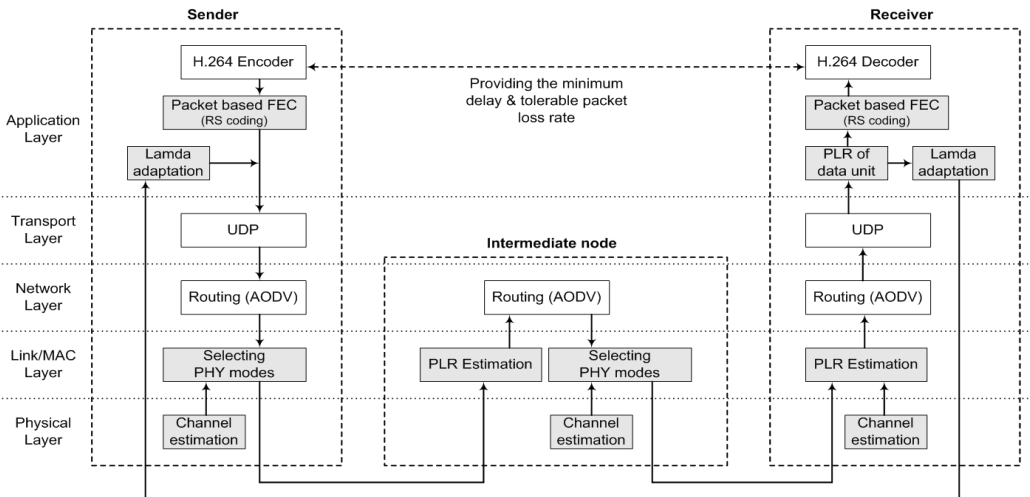


그림 2. 제안 알고리즘의 블록도 (검은 블록이 제안 알고리즘에서 고려하는 부분)

FEC)기법인 리드솔로몬 코딩 (Reed-Solomon coding) 을 사용하였다. 리드솔로몬 코딩에서  $(n, k)$ 는  $k$ 개의 데이터 패킷과  $n-k$ 개의 패리티 패킷을 가지고 있다는 것을 뜻한다. 이때 수신 노드에서는  $k$ 개 이상의 패킷을 수신하면 이를 복호화 하여 원본 데이터를 얻어 낼 수 있다. 전송 계층에서는 UDP (User Datagram Protocol)를 사용하고 네트워크 계층에서는 AODV (Ad hoc On-demand Distance Vector)를 사용한다. MAC 계층에서는 예측된 채널 상태를 기반으로 전송 모드를 결정한다. 마지막으로 물리 계층에서 무선 채널의 불확실성으로 인해 채널 예측 시 순간적인 RSS (Received Signal Strength)의 변화가 미래의 채널 상태를 나타낸다고 할 수 없다. 그러므로 본 논문에서는 채널 예측을 위해 자기회기 이동평균법 (Autoregressive Moving Average, ARMA)을 이용하여 현재 채널 상태를 예측하였다.

$$RSS_{est}[k] = (1-\alpha) \cdot RSS_{est}[k-1] + \alpha \cdot RSS_{obs}[k]$$

$RSS_{est}[k]$ 는 위 수식에 의해 예측된 RSS 값이며,  $RSS_{obs}[k]$ 는 물리계층에서 관측된 RSS 값이다.  $\alpha$ 는 평균화 변수 (Averaging parameter) 이다.

### 3.1 문제 정의

제안 알고리즘의 제어 변수는 IEEE 802.11a의 전송 모드이며, 본 논문에서는 다음과 같이 가정한다. 첫째, 전체 멀티미디어 데이터는 상호배치 리드솔로몬 코딩 (Interleaved Reed-Solomon Coding)를 이용하여 부호화 하였으며 그림 3와 같이 일정 크기의 데이터 유닛으로 구분하고 각 데이터 유닛은 일정 개수의 고정크기 윈도우를 가지며 각 고정크기 윈도우는 동일한 개수의 패킷으로 구성되어 있다. 각 패킷은 전송 중에 분리되거나 여러 개의 패킷이 하나로 합쳐지지 않는다. 둘째, 패킷 손실률은 데이터 유닛을 기준으로 계산된다. 셋째, 고정크기 윈도우에서는 동일한 전송 모드를 사용된다.

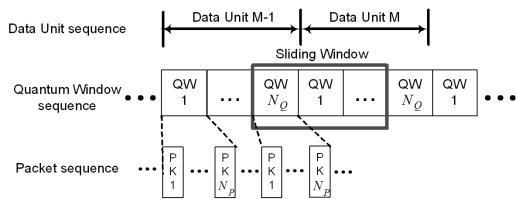


그림 3. 데이터 구성 및 슬라이딩 윈도우 구조

### 최적해 문제 수식화 :

아래의 비용함수가 최소가 되는 전송 모드 선택 벡터  $\vec{md}_{DataUnit} = \{(md_1^1, \dots, md_{N_Q}^1), \dots, (md_1^{K_{hop}}, \dots, md_{N_Q}^{K_{hop}})\}$  를 결정한다.

$$\sum_{m=1}^{K_{hop}} \sum_{j=1}^{N_Q} \sum_{i=1}^{N_P} D(md_j^m(PK_i)),$$

subject to  $1 - \prod_{m=1}^{K_{hop}} \prod_{j=1}^{N_Q} (1 - PLR_j^m) < PLR_{bmd}$

$PK_i$ 는  $i_{th}$  패킷,  $md_j^m$ 는  $m_{th}$  링크의  $j_{th}$  고정크기 윈도우의 전송 모드,  $N_Q$ 는 데이터 유닛 내의 고정크기 윈도우 개수,  $N_P$ 는 고정크기 윈도우 내의 패킷 개수,  $D(md_j^m(PK_i))$ 는  $md_j^m$ 가 선택 되었을 때  $PK_i$ 의 지연 시간,  $PLR_j^m$ 는  $m_{th}$  링크에서  $j_{th}$  고정크기 윈도우의 관측 PLR,  $K_{hop}$ 은 경로의 총 홉수,  $PLR_{bmd}$ 는 리드-솔로몬 코드에 의해 결정되는 허용 가능한 PLR 이다. 그러나 위의 수식은 링크간의 의존성과 미래의 값을 알아야 하는 비인과성 (non-causal) 문제가 되어 시변한 무선 채널 환경에서는 그 해를 구할 수 없다. 또한 데이터 유닛의 PLR을 계산하기 위해서 데이터 유닛내의 전체 패킷이 수신될 때까지 기다려야 하므로 지연 시간이 증가하는 문제점을 가지고 있다. 그러므로 비인과성 문제와 PLR을 계산하는 동안 지연 시간이 증가하는 문제를 해결하기 위해서 위의 수식은 그림 3와 같이 슬라이딩 윈도우 기법을 적용하여 변환 한다.

### 3.2 슬라이딩 윈도우 기반의 문제 수식화 및 제안 알고리즘

최적해 문제 수식화에서 비인과성 문제를 해결하기 위해서  $K_{hop}$ 은  $k$ 로 수정한다.

### 슬라이딩 윈도우 기반의 문제 수식화 :

아래의 비용함수가 최소가 되도록  $k_{th}$  링크 ( $1 \leq k \leq K_{hop}$ ) 에서 슬라이딩 윈도우내의 마지막 고정크기 윈도우의 전송 모드 선택 벡터  $\{(md_1^k, \dots, md_{N_{Side}}^k), \dots, (md_1^k, \dots, md_{N_{Side}}^k)\}$  를 결정한다.

$$\sum_{m=1}^k \sum_{j=1}^{N_{Side}} \sum_{i=1}^{N_P} D(md_j^m(PK_i)),$$

$$\text{subject to } 1 - \prod_{m=1}^k \prod_{j=1}^{N_{Side}} (1 - PLR_j^m) < PLR_{lmd}$$

$N_{Side}$  는 슬라이딩 윈도우의 크기이다. 이때 슬라이딩 윈도우를 적용하면 수신노드에서 PLR 제약 조건을 만족 시키지 못할 수도 있다. 그러나 상호배치 리드솔로몬 코드를 이용함으로써 패킷 손실의 영향은 전체 데이터에 분산되어 실제 이러한 경우가 발생할 확률을 줄일 수 있다. 위 수식에 대한 최적 값을 찾기 위해서 라그랑주 승수 (Lagrange multiplier)를 이용하여 수식 (1)과 같은 비용 함수를 얻을 수 있다. 수식 (1)에서  $\lambda$ 는 라그랑주 승수이다. 이때 제안 알고리즘은 슬라이딩 윈도우내의 마지막 고정 윈도우의 전송 모드만 선택하면 되므로 수식 (2)와 같이 변형할 수 있다. 수식 (2)에서  $\left(\prod_{m=1}^{k-1} \prod_{j=1}^{N_{Side}} (1 - PLR_j^m)\right)$ 는  $(k-1)_{th}$  링크까지의 관측 PLR이다.  $\prod_{j=1}^{N_{Side}-1} (1 - PLR_j^k)$ 는 현재 슬라이딩 윈도우의  $N_{Side}-1$ 까지 관측 PLR이며,  $D(md_{N_{Side}}^k(PK_i))$ 와  $PLR(md_{N_{Side}}^k)$ 는 각각  $k_{th}$  링크의 슬라이딩 윈도우에서 마지막 고정크기 윈도우의 전송 모드  $md_{N_{Side}}^k$ 가 선택되었을 때 지연시간과 PLR이다. 이때 수식 (2)에서 최적의 라그랑주 승수를 찾기 위해서는 여러 번의 반복 과정을 필요로 한다. 그러나 시변환 무선 채널 환경에서 여러 번의 반복 과정을 거쳐 최적 값을 찾아내는 것은 불가능 하다. 그러므로 지연 시간과 패킷 손실률 계산을 위한 모델을 정의하고 라그랑주 승수를 반복 과정이 없이 전송 중에 적응적으로 찾아가도록 한다. 상세 과정은 다음과 같다.

**과정 1:** 수식 (2)는 지연 시간과 패킷 손실률 모델을 적용하여 수식 (3)과 같이 정의 한다. 수식 (3)에서  $\lambda_i$ 는  $i_{th}$  고정크기 윈도우의 라그랑주 승수,  $RSS_{N_{Side}}^k$ 는 예측된 RSS값,  $\tilde{D}(md_{N_{Side}}^k(PK_i))$ 와  $\tilde{PLR}(RSS_{N_{Side}}^k, md_{N_{Side}}^k)$ 는 슬라이딩 윈도우의 마지막 고정크기 윈도우에 지연 시간과 패킷 손실률 모델을 이용한 지연시간과 PLR 예측 값이다. 지연 시간 예측 모델  $\tilde{D}(md_{N_{Side}}^k(PK_i))$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \tilde{D}(md_{N_{Side}}^k(PK_i)) &= \left( DIFS + 3SIFS + BO + T_{RTS} \right) \times 10^{-6} s \\ &\quad + T_{CTS} + T_{DATA} + T_{ACK} \\ &= \left( 4160 + \frac{8L_{DATA}}{BW(md_{N_{Side}}^k(PK_i))} \right) \cdot 10^{-6} s, \end{aligned}$$

MAC에서 IEEE 802.11 DCF 모드를 사용할 때, DIFS (Distributed Inter-Frame Space)와 SIFS (Short Inter-Frame Space)는 IEEE 802.11 표준에 따라 결정되며, BO는 평균 백오프 시간,  $T_{RTS}$ ,  $T_{CTS}$ ,  $T_{DATA}$ ,  $T_{ACK}$ 는 각각 RTS, CTS, DATA 그리고 ACK의 전송 시간이다.  $L_{DATA}$ 는 패킷 크기,  $BW(md_{N_{Side}}^k(PK_i))$ 는 선택된 전송 모드 이다 [7].  $\tilde{PLR}(RSS_{N_{Side}}^k, md_{N_{Side}}^k)$ 는 2.2절에서 기술한 모델을 사용한다. 최종적으로 제안 알고리즘은 수식 (4)와 같이 비용함수가 최소가 되는 전송 모드  $md_{N_{Side}}^k$ 를 선택한다.

**과정 2:** 라그랑주 승수는 슬라이딩 윈도우내의 패킷 전송 후 아래와 같은 방식으로 적응적으로 값을 변화 시킨다.

$$\lambda_{i+1} = \lambda_i + \beta \cdot \Delta \lambda,$$

$$P\left(\left(md_{N_{Side}}^1, \dots, md_{N_{Side}}^1\right), \dots, \left(md_{N_{Side}}^k, \dots, md_{N_{Side}}^k\right)\right) = \sum_{m=1}^k \sum_{l=1}^{N_{Side}} \sum_{i=1}^{N_p} D(md_j^m(PK_i)) + \lambda \left( 1 - \prod_{m=1}^k \prod_{j=1}^{N_{Side}} (1 - PLR_j^m(md_j^m)) \right) \quad (1)$$

$$P(md_{N_{Side}}^k) = \sum_{i=1}^{N_p} D(md_{N_{Side}}^k(PK_i)) + \lambda \left( 1 - \left( \prod_{m=1}^{k-1} \prod_{j=1}^{N_{Side}} (1 - PLR_j^m) \right) \left( \prod_{j=1}^{N_{Side}-1} (1 - PLR_j^k(md_j^k)) \right) (1 - PLR(md_{N_{Side}}^k)) \right) \quad (2)$$

$$P(md_{N_{Side}}^k) = \sum_{i=1}^{N_p} \tilde{D}(md_{N_{Side}}^k(PK_i)) + \lambda_i \left( 1 - \left( \prod_{m=1}^{k-1} \prod_{j=1}^{N_{Side}} (1 - PLR_j^m) \right) \left( \prod_{j=1}^{N_{Side}-1} (1 - PLR_j^k) \right) (1 - \tilde{PLR}(RSS_{N_{Side}}^k, md_{N_{Side}}^k)) \right) \quad (3)$$

$$md_{N_{Side}}^k = \arg \min_{md_{N_{Side}}^k} \left\{ \sum_{i=1}^{N_p} \tilde{D}(md_{N_{Side}}^k(PK_i)) + \lambda_i \left( 1 - \left( \prod_{m=1}^{k-1} \prod_{j=1}^{N_{Side}} (1 - PLR_j^m) \right) \left( \prod_{j=1}^{N_{Side}-1} (1 - PLR_j^k) \right) (1 - \tilde{PLR}(RSS_{N_{Side}}^k, md_{N_{Side}}^k)) \right) \right\} \quad (4)$$

$$\Delta\lambda = 1 - \frac{PLR_{bnd}}{\prod_{m=1}^k \prod_{j=1}^{N_{Side}} (1 - PLR_j^m)}$$

$\beta$ 는 값의 차이를 보정해 주는 비례 변수이다.

#### IV. 실험결과

본 절에서는 제안한 멀티미디어 전송 알고리즘의 성능 평가에 대한 결과를 기술한다. 모의실험을 위해 NS-2 [8]를 이용 하였으며 Cisco Aironet 1200 시리즈 데이터시트를 이용하여 IEEE 802.11a 멀티레이트 환경을 구축하였다 [9]. 또한 MAC에서는 RBAR (Receiver-Based Auto-Rate) 프로토콜을 적용하여 멀티레이트 서비스를 지원하였다 [10]. RBAR 프로토콜은 수신 노드가 RTS의 수신된 신호의 세기 정보를 CTS에 담아 전송 노드에 알려 준다. 전송 노드는 이를 이용하여 적절한 전송 모드를 결정한다. 실험 중 거리에 따른 수신 신호 세기의 변화를 위해서 Two-ray ground reflection model [11]을 채택하였으며 또한 실제와 비슷한 채널 환경을 고려하기 위해서 라이시안 페이딩 (Rician fading) 모델을 적용 하였다 [12]. 500m\*300m 네트워크 공간에 50개의 노드들이 임의의 중간기점 (Random waypoint) 모델에 따라 [0, 5m/sec]의 이동성을 가지며 분포 되도록 하였으며 실험 시간은 600초로 설정하였다. 실험 중 총 7개의 CBR (Constant Bit Rate) 연결이 생성되며 각 연결은 1,024바이트 크기의 패킷을 0.25초 간격으로 주기적으로 전송한다. 실험에 사용된 데이터 유닛은 총 70개이며 상세한 파라미터 설정은 표 2와 같다. 제안 알고리즘과의

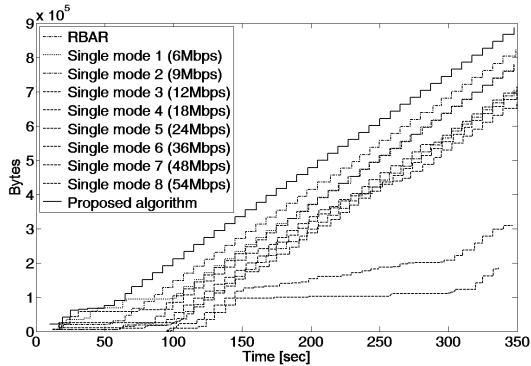
성능비교를 위해 RBAR 및 단일레이트 선택 알고리즘 (전송 중 하나의 전송 모드만을 선택하여 사용)과 비교하였다. 마지막으로 수신된 멀티미디어 서비스의 성능 비교를 위해 H.264 (JM12.4) 코덱을 이용하였으며, PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio)을 측정하여 비디오의 화질을 비교하였으며 테스트에 사용된 비디오 데이터는 QCIF (Quarter Common Intermediate Format, 175\*144 pixels) 크기의 Mother and Daughter, Akiyo 그리고 Miss America를 이용하였다 [13].

##### 4.1 데이터 전송 능력 비교

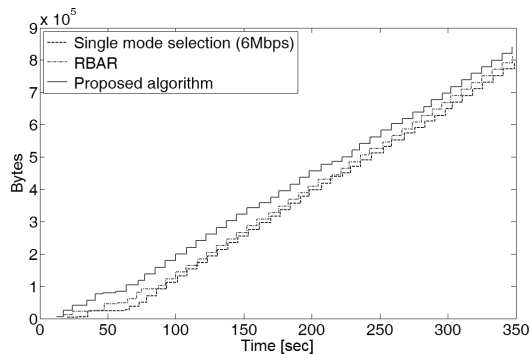
제안 알고리즘의 데이터 전송 능력을 평가하기 위해서 누적 데이터 수신 그래프를 이용 하였다. 누적 데이터 수신 그래프는 수신 데이터를 리드-솔로몬 복호화를 한 후 누적된 수신 데이터의 총량을 나타내는 그래프이다. 이때 지연 시간에 민감한 멀티미디어의 특성을 반영하기 위해 수신 패킷의 지연 시간이 50msec를 넘으면 패킷 손실로 간주 하였다. 그림 4의 (a)에서 보듯이 제안 알고리즘의 그래프가 다른 알고리즘의 그래프 보다 위쪽에 위치하고 있는 것을 확인할 수 있다. 이는 곧 제안 알고리즘의 수신 데이터 총량이 더욱 많다는 것을 뜻한다. 그 이유는 수신측에서는 리드-솔로몬 코드를 통해 일정 범위의 패킷 손실은 극복 할 수 있으므로 제안 알고리즘은 패킷 손실률을 일정 범위 안으로 유지하기 위해 각 노드에서 데이터 전송 시 윈도우 내의 패킷 손실률과 채널 상태를 동시에 고려하여 최적의 전송 모드를 선택하기 때문이다. 그러나 RBAR은 현재 채널 상태만을 고려하여 사용가능한 최대의 전송 레이트를 선택하기 때문에 패킷의 지연 시간은 감소하나 데이터 전송 중 무선 채널의 버스트 에러에 의한 패킷 손실로 인하여 수신측에서 패킷 손실률을 일정 범위 안으로 유지하기가 어렵다. 그리고 단일레이트 선택 알고리즘에서는 채널 상태에 관계없이 전송 레이트를 결정함으로써 낮은 레이트만을 선택할 때에는 패킷 손실률은 적으나 지연 시간이 커져 결국 수신측에서는 불필요한 데이터가 되고 만다. 이에 반해 높은 레이트만을 선택할 경우 지연 시간은 줄어드나 전송 중 패킷 손실이 크게 증가하여 수신 데이터의 총량은 크게 감소한다. 그림 4의 (b)를 통해 수신된 데이터의 총량은 감소하나 이러한 경향은 Rician 페이딩 채널에서도 동일하게 나타나는 것일 확인 할 수 있다.

표 2. 실험 파라미터 설정

	파라미터	값
Rician 페이딩 모델	K factor	3 dB
	Max velocity	2.5 m/sec
제안 알고리즘의 파라미터	$PLR_{bnd}$	0.33
	Initial $\lambda_i$	100
	$N_Q, N_{Side}$	3
	$N_P$	10
	$\alpha$	0.9
	$\beta$	100 if $\Delta\lambda \leq 0$ , 1000 otherwise



(a)



(b)

그림 4. 누적 데이터 수신 그래프(제안 알고리즘, RBAR, 단일 레이트 선택): (a) AWGN 채널, (b) Rician 채널

#### 4.2 비디오 화질 비교

비디오 화질 비교를 위한 결과는 그림 5와 표 3에 정리 되어 있다. 제안 알고리즘의 PSNR이 RBAR과 단일레이트 선택 알고리즘 보다 높은 값을 갖는 것을 확인 할 수 있다. 이는 그림 4에서 보듯이 제안 알고리즘의 수신 데이터 총량이 비교되는 알고리즘들 보다 크기 때문에 이용 가능한 평균 비트 레이트가 크고 결국 더욱 좋은 비디오 화질을 얻을 수 있는 것이다.

표 3. 비디오 화질 비교

	테스트 비디오	Proposed algorithm	RBAR	Single mode 1 (6Mbps)
이용 가능한 평균 비트 레이트 (Kbits/s)	Mother and Daughter	19.23	17.13	16.81
	Akiyo	19.19	17.18	16.86
	Miss America	19.20	16.87	16.74
평균 PSNR (dB)	Mother and Daughter	33.15	32.72	32.67
	Akiyo	33.79	33.01	32.88
	Miss America	37.10	36.43	36.42

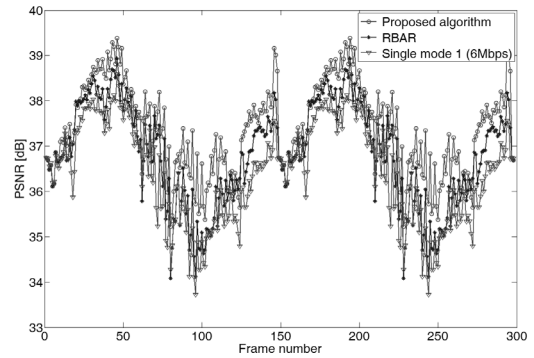


그림 5. PSNR 비교 (테스트 비디오: Miss America)

### V. 결 론

본 논문은 다중 홉 이동 애드 혹 네트워크에서 크로스 레이어 기반의 효과적인 멀티미디어 전송 알고리즘을 제안하였다. 제안 알고리즘은 응용계층과 MAC계층, 물리계층의 정보를 기반으로 채널 상태에 적응적으로 전송 모드를 선택함으로써 패킷 손실률을 허용 범위 내에 있도록 하고 종단간 지연을 최소화 함으로서 수신 멀티미디어의 화질을 향상 시킨다. 마지막으로 본 논문의 기본 아이디어는 애드 혹 네트워크와 비슷한 특성을 가지는 다중 홉 메쉬 네트워크에도 적용 할 수 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] Y. Shan and A. Zakhor, "Cross layer techniques for adaptive video streaming over wireless networks," in Proc. IEEE Int. Conf. Multimedia and Expo (ICME), Aug., 2002.
- [2] M. van der Schaar and D. S. Turaga, "Cross-layer packetization and retransmission strategies for delay-sensitive wireless multimedia transmission," IEEE Trans. on Multimedia,

Vol.9, pp.185-197, Jan., 2007.

[3] Y. Andreopoulos, N. Mastronarde, M. van der Schaar, "Cross-layer Optimized video streaming over wireless multihop Mesh networks," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.24, No.11, pp.2104-2115, Nov., 2006

[4] M. H. Manshaei, T. Turletti, T. Guionnet, "An evaluation of Media-Oriented rate selection algorithm for multimedia transmission in MANETs," EURASIP Journal on Wireless Communication and Networking, Vol.2005, Issue 5, pp.757-773

[5] IEEE 802.11a, Part 11: Wireless LAN, Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: High-Speed Physical Layer in the 5GHz Band, supplement to IEEE 802.11 Standard, Sept., 1999.

[6] D. Qiao, S. Choi, K. G. Shin, "Goodput Analysis and Link Adaptation for IEEE 802.11a Wireless LANs," IEEE Trans. on Mobile Computing, Vol.1, No.4, pp.278-292, Oct-Dec., 2002.

[7] J. Jun, P. Peddabachagari, and M. Sichitiu, "Theoretical Maximum Throughput of IEEE 802.11 and its Applications," in Proc. of the 2nd IEEE International Symposium on Network Computing and Applications, 2003.

[8] "Network Simulation-2" [Online], available in <http://www.isi.edu/nsnam/ns/index.html>.

[9] "Cisco Aironet 1200 Series Access Point Hardware Installation Guide" [Online], available in <http://www.cisco.com>

[10] G. Holland, N. Vaidya, and P. Bahl, "A Rate-Adaptive MAC Protocol for Multi-Hop Wireless Networks," ACM/IEEE MOBICOM 2001.

[11] T. S. Rapport, Wireless Communications principles and practice, 2nd Ed, Prentice Hall.

[12] R. J. Punnoose, P. V. Nikitin, and D. Stancil. "Efficient Simulation of Ricean Fading within a Packet Simulator," in Proc. IEEE Vehicular Technology Conference, Sept., 2000.

[13] "JM12.4" [Online], available in <http://iphome.hhi.de/suehring/tml/download/>

이 경 철 (GyeongCheol Lee)

정회원



2006년 2월 숭실대학교 정보통신전자공학부 (학사)  
 2008년 2월 포항공과대학교 컴퓨터공학과 (석사)  
 2008년 6월~현재 포항공과대학교 정보통신연구소 연구원  
 <관심분야> 애드 혹 네트워크, 크로스 레이어 설계, 미래 인터넷

김 완 (Wan Kim)

정회원



2007년 8월 홍익대학교 컴퓨터공학과 (학사)  
 2008년 3월~현재 포항공과대학교 컴퓨터공학과 (통합)  
 <관심분야> WiMAX, 미래 인터넷, 크로스 레이어 설계

송 황 준 (HwangJun Song)

정회원



1990년 2월 서울대학교 제어계측공학과 (학사)  
 1992년 2월 서울대학교 제어계측공학과 (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, 애드 혹 네트워크