

무선 애드 혹 네트워크에서 비디오 전송에 효율적인 Cross-Layer 프로토콜 설계

준회원 서지영*, 조은희* 정회원 유상조**

Cross-Layer Protocol Design for Effective Video Transmission in Wireless Ad hoc Networks

Jee-Young Seo*, Eun-Hee Cho*. *Associate Members*, Sang-Jo Yoo* *Regular Member*

요 약

본 논문에서는 MANET 환경에서 효율적인 비디오 데이터 전송을 위한 cross-layer 설계 방법을 이용한 CVPT 프로토콜을 제안 한다. MANET은 노드의 이동성 때문에 전송 경로가 자주 바뀌고, 또한 경로마다 전송률이 다르기 때문에 비디오 응용 전송과 같이 송신측에서 인코딩시 전송률을 결정하는 응용에서는 낮은 성능을 보인다. 그리고 MANET에서 노드들은 제한된 에너지로 구동되기 때문에 노드의 효율적인 에너지 사용은 네트워크의 연결 지속 시간을 증가시키는데 중요한 역할을 하며, 이는 곧 네트워크의 처리량에 영향을 미친다. 따라서 MANET 환경에서의 효과적인 비디오 응용 전송 방법이 필요하지만 각 계층이 독립적이고 계층적인 특성을 갖는 기존의 OSI 권장 프로토콜을 사용해서는 네트워크 상태에 따라 효과적이고 적응성 있는 전송을 하기가 어렵다. 따라서 본 논문에서는 cross-layer 설계 방법을 이용하여 노드의 잔여 에너지량 및 전송 경로의 상태, 그리고 홉의 개수에 따라 최적의 경로를 선택하며 송신단의 인코더에서는 이러한 정보를 이용하여 인코딩 시 효율적인 전송률을 결정하는 방법을 제안한다.

Key Words : Cross-layer, Ad-hoc networks, Video, Adaptive, Energy

ABSTRACT

In this paper, we propose an efficient video data transmission protocol using the cross-layer approach in ad hoc networks. Due to node movement, the MANET is frequently changing path and each path has different transmission rate so that it has low performance when transmitters select a constant transmission rate at the encoding time. Because MANET is running limited energy, efficient energy management is important because it increases network life time and network throughput. Therefore we need an effective video transmission method that considers physical layer channel statistics, node's energy status, and network topology changes at the same time unlike the OSI recommendation protocol in that each layer is independent and hard to transmit adaptively video data according to the network conditions. Therefore, in this paper we propose a cross-layer effective video transmission protocol and mechanism that can select an optimal path using multilayer information such as node's residual energy, channel condition and hop counts and can determine the adequate coding rate adaptively.

※ 본 연구는 2005학년도 학술진흥재단의 지원에 의하여 연구됨(KRF-2005-202-D00321)
 * 인하대학교 정보통신대학원 멀티미디어 통신망연구실 (cseseo@naver.com, euny1002@hotmail.com)
 ** 인하대학교 정보통신대학원 교수 (sjyoo@inha.ac.kr)
 논문번호 : KICS2005-10-402, 접수일자 : 2005년 10월 5일

1. 서론

MANET(Mobile Ad-hoc Network)은 각 노드들이 기반 네트워크의 도움을 받지 않고 스스로 통신의 주체가 되는 역할을 해내는 노드로 구성된 네트워크를 의미한다. 이러한 네트워크는 기반 구조가 없거나 파괴 되었을 경우 신속하게 네트워크를 구축 할 수 있다는 장점을 가진다. 그러나 MANET은 무선 환경에서 통신을 해야 하기 때문에 상호 간섭(interference), 페이딩(fading) 등 무선 전송 채널의 영향을 많이 받게 되고, 유한한 무선 자원의 효율적인 사용이 필요하다. 또한 MANET에서 데이터 전송시 노드의 에너지 능력(배터리)에 네트워크의 생존시간, 패킷전송 오류, 연결 끊김 등의 네트워크 성능이 많이 종속되기 때문에 효율적인 에너지 관리도 필요하다.

이러한 MANET 환경에서 대용량의 비디오 데이터를 효과적으로 전송하기 위해 여러 방안이 제안되었다. 그 중 한 방법이 레이어드 코딩(layered coding)이다. 이 방법은 MANET의 다중 경로(multipath) 특징을 이용한 것으로 송신단의 비디오 인코더에서 인코딩 시 데이터의 중요도에 따라 두 개의 계층으로 인코딩 하고, 전송 경로 중 서로 다른 에러 발생 확률을 가지는 두 개의 경로를 선택하며, 인코딩 된 데이터를 중요한 것은 에러 발생 확률이 낮은 쪽으로, 그 외의 것은 에러 발생 확률이 약간 큰 높은 쪽으로 나누어 전송하는 방법이다. 그러나 이러한 방법은 H.26x나 MPEG과 같은 대부분의 압축 코딩 표준들이 예측 코딩(predictive coding) 방법을 사용하기 때문에 전송시 에러 전파(error propagation)가 발생하는 것을 막을 수 없다는 단점이 있다. 이에 대한 해결 방안으로 피드백(feedback) 메커니즘을 두어 전송되지 못한 패킷이나 프레임을 상태가 좋은 전송 경로 쪽으로 재전송하는 방법이 제안 되었다. 하지만 이러한 해결 방법도 피드백 메시지에 의한 오버헤드가 발생하고 실시간 전송에서 재전송 패킷이 너무 늦게 도착하여 사용되지 못하는 경우가 발생하는 등의 단점이 있다. 또 다른 MANET에서 비디오 전송 방법으로는 송신단에서 비디오 데이터 인코딩 시 다중 스트림(multistream)으로 인코딩하고 다중 경로와 피드백 메시지를 이용하여 전송하는 방법도 제안 되었다. 그러나 송신단에서 다중 스트림 전송을 위해 다중 경로를 할당해야 하는 오버헤드, 그리고 수신단에서 전송된 패킷을 재구성해야 하는 오버헤드와 피드백 메커니즘

이 필요하다는 단점을 갖는다.

기존의 MANET은 OSI(Open Systems Interconnection)와 같은 계층별 프로토콜 구조를 사용하기 때문에 각 계층이 독립적이며 강하게 분리되어 있는 특징을 갖고 있다. 이러한 특징은 정보를 원하는 계층간의 데이터 및 컨트롤의 유연한 전달이 힘들며, 경로가 자주 재설정 되고 다중 경로를 갖는 MANET에서는 낮은 성능을 갖는다. 특히 MANET에서 비디오 데이터 전송과 같이 응용 계층에서 전송률을 결정하는 응용에서는 더욱 낮은 작업 성능을 보인다. 그래서 정보를 원하는 각 계층간의 컨트롤 및 데이터의 이동이 용이하고 유연한 새로운 계층적 접근 방법인 크로스 레이어(cross-layer)설계^{1, 2} 기법이 대두되고 있다.

기본적인 크로스 레이어 설계 방법은 프로토콜 스택 계층간 데이터 교환 시 계층적으로 데이터 교환이 이루어지는 기존의 OSI 권장 프로토콜과는 달리 데이터 교환을 원하는 어떠한 프로토콜 스택으로도 데이터 송수신이 가능한 특징을 갖고 있다. 이러한 유연성 및 적응성 있는 특징 때문에, 데이터 전송시 경로가 자주 바뀌고, 다중 경로를 설정할 수 있으며 경로 마다 전송률이 다른 MANET에서 좋은 성능을 발휘 할 수 있다. 특히 비디오 응용 전송과 같이 응용 계층에서 전송률을 결정하는 응용에서는 네트워크의 상태 및 이동 노드의 상태 등에 따라 적응성 있게 전송률을 변화 할 수 있기 때문에 좋은 성능을 발휘할 수 있다.

본 논문에서는 MANET 환경에서 비디오 데이터 전송시 전송 경로를 선택할 때 각 경로 상에 노드들의 잔여 에너지(residual energy)와 송신자와 수신자간의 홉수(hop count), 그리고 각 경로마다의 전송률 상태에 따라 최적의 전송률을 결정하고, 송신단에서 H.263³의 코덱을 이용하여 비디오 데이터 인코딩 시 QP(Quantization Parameter) 값을 바꾸어 최적의 전송률을 전송 하는 크로스 레이어 설계 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 관련 연구로 MANET 환경에서의 기존의 비디오 전송 방법을 살펴보고 문제점을 지적, 해결책으로 cross-layer 설계 방법을 제안하고, 제 3장에서는 MANET에서의 효율적인 비디오 전송을 위해 cross-layer 설계 방법을 이용한 CVTP 프로토콜의 전체적인 동작 원리를 설명하며, 제 4장에서는 모의실험 및 결과를 도출하며, 마지막으로 제 5장에서 본 연구의 결론을 기술한다.

II. 관련 연구

MANET은 각 노드들이 기반 구조의 도움을 받지 않고 스스로 라우터의 역할과 각 통신의 주체들의 역할을 해내는 노드로 구성된 네트워크이다. 즉 노드들은 네트워크 내에서 컴퓨팅 기능을 가지고 있는 호스트이며, 다른 네트워크와 통신을 하기 위한 라우팅 기능을 가진 라우터로서 작동 한다. MANET의 큰 특징은 네트워크에 참여하는 노드들이 가지는 이동성을 들 수 있다. 이동성 때문에 네트워크에서의 노드의 진입과 진출이 자유로워 전송 경로가 바뀌게 되고, 그로 인해 동적인 네트워크 토폴로지(topology)를 가지게 된다. 그러나 이러한 토폴로지의 빈번한 변화에도 끊이지 않고 통신을 유지하기 위해서는 적절한 라우팅 방법이 필요하다. 이러한 동적인 토폴로지에 대응으로 MANET에서는 reactive 방식의 라우팅 프로토콜이 널리 사용된다. Reactive 방식은 소스에서 목적지로 데이터를 전송하려고 할 때 라우팅 정보를 생성하는 특징을 갖고, 널리 사용되는 예로는 AODV^[4]와 DSR^[5]이 있다.

에드 혹 네트워크를 구성하는 각 노드들은 제한된 에너지 능력을 갖고 있으며, 무선 환경에서의 상호 간섭과 페이딩과 같은 제약에 그대로 노출 된다. 일반적인 무선망에서의 비디오 전송에 비해 MANET에서의 비디오 전송 응용은 노드의 이동성, 분산된 네트워크 환경, 잦은 토폴로지의 변화, 각기 다른 단말의 에너지 능력, 전송경로의 상태변화 등으로 많은 제약을 받게 된다. 이러한 제약을 극복하기 위해 여러 해결 방안이 제안 되었고, 그 중 다중 경로(multiple path)^[6-8]에서 레이어드 코딩과 피드백 메시지를 이용한 비디오 전송 방법들이 제안되었고, 또한 이러한 환경에서 H.263+의 선택적 기능으로 포함된 참조 영상 선택(reference picture selection)^[9]을 이용한 전송 방법도 제안 되었다. 위 논문들에서 논의되었던 방법 중 레이어드 코딩은 MANET의 다중 경로의 특징을 이용한 것으로, 송신단에서 EL(Enhancement Layer) 과 BL(Base Layer)로 나누어 인코딩 되고, 이 두 레이어는 서로 다른 경로로 전송 한다. 즉, 컨트롤 패킷 또는 기준이 되는 프레임과 같이 중요한 데이터는 BL로, 나머지 데이터는 EL로 인코딩 하고, 네트워크 상황이 좋은 경로를 BL로 선택한다. 또한 전송시 에러 전파가 발생한 경우 이를 해결하기 위해 선택적인 ARQ(Automatic Repeat Request)를 이용하여, 수신단에서 임의의 패킷 또는 프레임을 받지 못한 경우, 이전의

프레임 아닌 전송되지 못한 특정 프레임만 선택하여 참조하는 방법이다. 그러나 위 논문들에서 접근 방법의 단점은 피드백 메커니즘이 필요하다는 것과 선택적 재 전송 기능 때문에 패킷의 RTT(Round Trip Time)보다 큰 버퍼가 필요하다는 것이다.

또 다른 방법으로는 송신 단의 인코더가 비디오 데이터를 다중 스트림(multistream)으로 인코딩하고, 다중 전송 경로를 할당하여 전송시에도 다중 경로를 통해서 전송하는 접근이다^[10]. 이 방법은 다중 경로에서 데이터가 전송되기 때문에 수신자에서 패킷 재배열기(resequencer)를 두어 순서에 맞게 재정렬을 하고 디코더로 전달한다. 그리고 데이터 전송시 에러가 발생한 경우, 피드백 메커니즘을 이용하여 전송 중 오류나 실패한 메시지를 검출 재전송하게 된다. 이러한 방법의 단점으로는 피드백 메커니즘이 필요한 점, 또한 송신자 측에서 인코딩된 다중 스트림 전송을 위해 다중 경로를 할당 해야 하는 오버헤드, 그리고 수신자 측에서 재배열기를 사용하여 순서에 맞게 배열하기 때문에 RTT보다 큰 디코딩 지연이 필요하다는 것이다. 이러한 MANET 환경에서 비디오 응용 전송의 한계점들을 극복하고자 최근에 cross-layer 설계 방법을 이용한 비디오 전송 방법들이 대두 되고 있다.

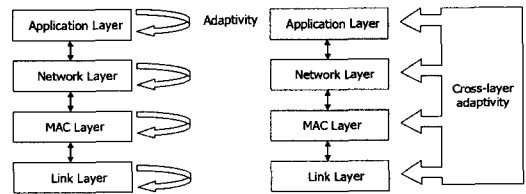


그림 1-(a)

그림 1-(b)

그림 1. OSI 계층 구조와 적응적 크로스 레이어 프로토콜 구조 비교

위 그림 1-(a)는 OSI 권장 프로토콜 스택으로 일반적인 에드 혹 네트워크의 계층적 접근 방법이다. 각 계층이 독립적으로 설계되고 동작하게 된다. 이러한 계층은 네트워크 설계 시 네트워크를 간단하고 강인하게 설계할 수 있는 장점이 있다. 그러나 각 계층이 독립적이며 계층적으로 실행되기 때문에 비유연성 및 비 적응성을 가지므로 일반적인 무선 에드 혹 네트워크 환경에서의 비디오 전송과 같이 응용 계층에서 전송률을 결정하는 어플리케이션에서는 낮은 작업 처리량과 많은 유지 비용을 갖게 된다.

크로스 레이어 프로토콜 스택(stack)이란 기존의 OSI 프로토콜 모델과 달리 각기 다른 레이어간의

데이터 전송 및 제어가 가능한 프로토콜 스택으로 그림 1-(b)^[2]에 간단한 작동이 도시 되어 있다. 이러한 프로토콜 스택에서는 기본적으로 OSI 프로토콜 처럼 상위 계층과 하위 계층이 유기적으로 데이터 교환이 가능 하고, 크로스 레이어 특징인 데이터 교환을 필요로 하는 어떠한 스택으로도 컨트롤 정보 및 데이터의 송신과 수신이 가능한 특징을 갖는다. 예를 들어 응용 계층은 링크 계층에서 주어진 전송 경로나 네트워크 상태에 따라 전송률, power, 코딩 방법 등을 바꿀 수 있고, 응용 계층에서는 네트워크의 상태에 따라 최대한의 QoS(Quality of Service)를 보장 해줄 수 있다. 이러한 크로스 레이어 설계 방법을 이용한 프로토콜 개발에서 주요한 점은 각각의 계층이 독립적이지 않고 각 역할이 통합적이고 계층적으로 적응성 있게 서로 이점을 가지도록 해야 한다.

최근에 MANET 환경에서 효율적인 비디오 전송을 위해 크로스 레이어 설계 방법을 사용한 여러 방법이 존재한다. 그 중 MANET에서 송신자와 수신자사이의 홉수(hop count)가 증가 할수록 처리량이 감소하는 성질을 이용^[11]하여, 송신자의 인코더에서 데이터 인코딩시 홉의 갯수에 따라 인코딩 QP 값을 조절하여 프레임당 패킷의 개수를 효과적이고 적응성 있게 바꾸는 방법^[12]이 제안되었다. 즉 홉수가 증가할수록 송신측의 인코더가 QP값을 증가시켜 인코딩하고, 그로 인해 프레임당 인코딩된 데이터 양이 감소되므로 고정 크기의 패킷을 전송할 경우 프레임당 전송 패킷의 수도 줄어 효과적으로 네트워크 상태에 대응하는 방법이다. 이 방법에서는 라우팅 테이블의 홉수를 감시하고, 홉의 개수가 변하면 곧바로 응용 계층의 인코더에서 인코딩시 QP값을 변화시키는 크로스 레이어 설계 기법을 이용하였다. 그러나 이러한 접근은 단지 홉수만을 이용하여 응용 계층에서 전송률을 적응성 있게 결정하는 방법만 제시 할 뿐, 경로에 존재하는 노드의 잔여 에너지나 경로 마다의 다른 전송률 등과 같이 데이터 전송 성능에 영향을 미치는 요소들이 많이 존재하므로, 실제 효과적인 전송률을 설정 하기에는 한계를 갖는다.

III. 제안된 애드 혹 네트워크에서의 크로스 레이어 비디오 전송기법

비디오 데이터 전송과 같은 실시간 스트리밍 전송에서는 일정 비디오 연결 지속 시간(T_v) 동안

네트워크의 지속적인 연결 유지가 필요하다. 따라서 네트워크 에서는 가능한 T_v 시간 동안 끊김 없는 연결유지가 중요하며 네트워크의 환경변화에 따른 영상 화질(video quality)의 변화는 감수 해야 한다. 이 경우에도 가능한 최소한의 인식 가능한 영상의 화질을 보장해야 한다. 그리고 애드 혹 네트워크 특징상 각 이동 노드는 배터리에 의해 구동되므로 일정 시간 동안 비디오 데이터 전송을 필요로 할 때에는 각 노드의 에너지 상태를 고려해야 한다. 이를 위해 애드 혹 네트워크의 에너지 준위(energy level)을 고려한 비디오 압축(video coding) 방법이 필요하다. 또한 이동 노드들은 이동성이라는 특징을 갖고 데이터 전송 중에도 이동하기 때문에, 전송 경로의 대역폭(데이터 전송률)도 변화하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 전송 경로의 전송 상태에 알맞게 전송률을 조절하는 방법도 필요하다. 위에서 본 특징들 때문에 기존의 OSI 권장 네트워크 프로토콜 스택을 애드 혹 네트워크에 그대로 사용한다면 계층간의 강인함과 독립성 때문에 효율성 및 작업처리량 측면에서 좋지 못한 결과를 도래하게 된다.

본 논문에서는 애드 혹 네트워크에서의 비디오 전송의 성능을 높이기 위해서 전송 경로 선택 시, 이동 노드의 잔여 에너지(residual energy)와 전송 경로의 전송률, 송신자와 수신자 사이의 홉수를 고려하여 비디오 전송을 위한 경로를 선택하는 크로스 레이어 라우팅 프로토콜 설계 방안을 제안 하였다. 또한 전송 경로의 전송률 상태나 홉의 개수, 노드의 잔여 에너지량을 라우팅시 인식하고, 이 값을 이용하여 응용 계층에서 최적의 비디오 데이터 전송률 값을 구한 후 H.263 인코더를 사용하여 비디오 데이터 인코딩 시 QP 값을 변화^[12]하여 네트워크 계층 및 물리계층 정보를 이용한 효율적인 전송률 값을 적응적으로 계산하고 유지할 수 있는 새로운 CVTP(Cross-layer Video Transmission Protocol)을 제안한다. CVTP는 비디오 전송에 효율적인 라우팅 경로를 결정하는 부분과 인코더의 전송률을 적응적으로 결정하는 부분으로 구성된다.

그림 2와 같이 애드 혹 네트워크에서 경로 i (path $_i$)의 최소 잔여 에너지를 식 (1)과 같이 정의 할 수 있다. Path $_i$ 는 송신자에서 수신자까지의 모든 경로 중 i 번째 경로를 의미하고, 그림 2에서는 세 가지의 경로(path $_{1,2,3}$)가 존재한다. $\min REnergy_i$ 는 송신자와 수신자사이의 i 번째 경로에 존재하는 노드들의 잔여 에너지량($REnergy_i$) 중 가장 적은 노드

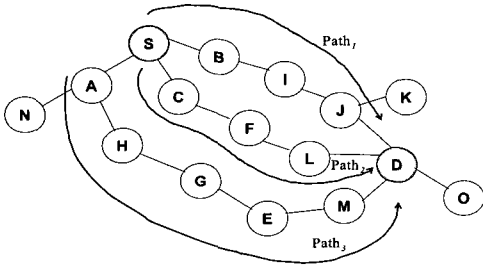


그림 2. MANET 에서의 전송 경로 결정

의 에너지량을 의미한다. 만약 $path_i$ 에서 j 노드의 잔여 에너지량이 가장 적다면 $path_i$ 의 $minREnergy_j$ 는 $REnergy_j$ 가 되는 것이다. 최소 잔여 에너지는 해당 경로의 지속시간이 실질적으로 경로상의 노드 중 최소 에너지를 갖는 노드에 결정되므로 중요한 요소이다.

$$minREnergy_i = \min \{ REnergy_j, \forall j \in path_i \} \quad (1)$$

이동 에드 혹 네트워크는 송신자에서 수신자까지의 경로마다 전송 대역폭의 변화에 따른 전송률도 다르게 된다. 즉 $path_i$ 에서 노드 j 와 노드 $(j+1)$ 사이의 경로의 대역폭과 노드 $(j+1)$ 과 노드 $(j+2)$ 의 대역폭은 달라 질 수 있기 때문에 비디오 소스에서 해당경로를 통해 전달 받을 수 있는 최대 송신 전송률은 경로상의 링크 간 최소 전송률로 조절 되어야 한다. 만약 $path_i$ 에서 노드 j 와 노드 $(j+1)$ 간의 전송률이 가장 적다면 $path_i$ 의 최소 전송률인 $minRate_i$ 는 노드 j 와 노드 $(j+1)$ 간의 전송률($Rate_{(j),(j+1)}$)이다.

$$minRate_i = \min \{ Rate_{(j),(j+1)}, \forall j \in path_i \} \quad (2)$$

이동 에드 혹 네트워크에서 최적 경로를 설정하기 위해 본 논문에서는 데이터 전송시 필요한 총비용(total cost)을 정의한다. 그리고 이동 에드 혹 네트워크에서 송신자와 수신자 사이의 중간 노드의 개수 즉, 홉수도 데이터 전송시 네트워크의 성능에 큰 영향을 미치게 된다^[11]. 따라서 홉수도 본 논문에서 정의한 총비용에 영향을 준다. 그래서 본 논문에서 정의하는 것으로 임의의 경로 i 에서 데이터 전송 총 비용(C_i)은 다음 식 (3)과 같다.

$$C_i(Totalcost) = \alpha HOP_i^N + \frac{\beta}{minREnergy_i^N} + \frac{\gamma}{minRate_i^N} \quad (3)$$

($\alpha + \beta + \gamma = 1$)

식(3)의 HOP_i^N 은 $\frac{HOP_i}{\max[HOP_k, \forall k \in \{path\}]}$ 로 정의 한다. 이것은 모든 가능한 경로 중 최대 홉수를 갖는 경로의 홉수로 정규화된 i 번째 경로의 홉수를 의미한다. 또한 $minREnergy_i^N$ 는 $\frac{minREnergy_i}{\max[minREnergy_k, \forall k \in \{path\}]}$ 로 정의되고, 모든 가능한 경로 중 최대 잔여 전력을 갖는 경로 값으로 정규화된 i 번째 경로의 잔여에너지를 의미한다. 마지막으로 $minRate_i^N$ 를 정의 한다. 이것은

$\frac{minRate_i}{\max[minRate_k, \forall k \in \{path\}]}$ 이며, 정규화된 i 번째 경로의 전송률을 의미한다. 모든 항목에 대해 최대 값을 이용한 정규화를 수행하는 이유는 다른 항목에 비해 지나치게 큰 값의 특정항목 단위에 영향을 받지 않게 하기 위해서이다. α, β, γ 는 각 요소 별 중요도에 따른 가중치이다.

그림 3-(a)에서와 같이 송신자(S)에서 수신자(D)까지 라우팅 시 RREQ(Route Request)메시지를 통해 각 이동 노드들은 경로의 최소 잔여 에너지량과 최소 전송률 값을 전달한다. 그림 3의 예에서 $minREnergy_1$ 은 첫 번째 경로의 최소 잔여에너지 값이고, $minRate_1$ 는 첫 번째 경로의 최소 전송률을 의미 한다. 그리고 송신자와 수신자의 가장 최적 경로($Optimalpath_{S-D}$)는 각 경로의 총비용(C_i) 중 가장 적은 값으로 정의 된다. 최적 경로는 다음과 같이 수식 (4)로 정의 되고, 그림 3-(b)에서와 같이 수신자가 선택하고 RREP(Route Reply)메시지를 통해 라우팅 시 얻은 정보를 송신자에게 전달 한다.

$$Optimalpath_{S-D} = i \min(C_i, \forall i \in path) \quad (4)$$

제안된 CVTP는 라우팅에서 얻어진 정보(홉수, 경로의 최소 전송률과 최소 잔여 에너지)를 이용하여 최적 경로를 선택하고 이후 비디오 전송에서 인코더는 경로에 적합한 비디오 전송률 값을 결정하게 된다. 비디오 송신 측에서는 H.263 인코더를 이용하여 데이터 인코딩시 QP값을 변경하여 최적의 전송률을 유지 하며 전송 할 수 있다. 전송 패킷의 크기가 일정하다면 패킷 전송에 필요한 에너지를 계산할 수 있다. 한 개의 패킷 전송 에너지(E_{pkt})는 식 (5)와 같이 정의 되고 그 값은 패킷의 크기가 일정 하기 때문에 고정된 값이다. 여기서 E_r 은 패킷 수신 에너지, E_t 는 패킷 전송 에너지, E_p 는 패킷 처리 에너지(processing energy)이다.

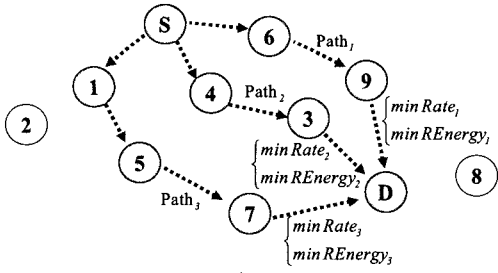


그림 3-(a)

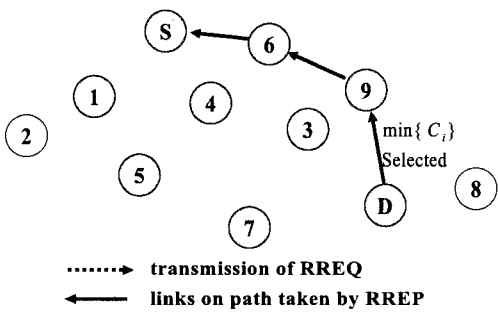


그림 3-(b)

그림 3. CVTP 라우팅 프로토콜 과정 및 최적의 경로 선택

$$E_{Pkt} = E_r + E_t + E_p \quad (5)$$

크로스 레이어 설계 방법을 이용한 CVTP에서는 경로에 존재하는 이동 노드의 잔여 에너지량의 상태에 유의하여 비디오 전송시간 (T_v) 동안 데이터를 전송해야 하므로, 경로에 존재하는 노드의 최소 잔여 에너지 측면에서의 초당 혹은 프레임당 전송 가능한 패킷 수 (N_{Pkt}^E)를 구할 수 있다. 선택된 경로의 최소 잔여 에너지량 ($minREnergy_{S-D}$)은 식 (6)과 같이 정의 될 수 있고, 최소 잔여 에너지 측면에서 전송 가능한 패킷 수를 구할 수 있다.

$$N_{Pkt}^E = \frac{minREnergy_{SP}}{E_{Pkt} \times T_v} \quad (6)$$

그리고 선택된 경로의 최소 전송률에 관점에서 비디오 전송시간 T_v 동안 전송 가능한 패킷 수 (N_{Pkt}^E)를 식 (7)에서 정의 할 수 있다. 그 값은 고정된 패킷 크기(Pkt_size)와 전송 경로의 최소 전송률 ($minRate_{SP}$), 그리고 비디오 전송시간(T_v)로 결정 된다.

$$N_{Pkt}^R = \frac{minRate_{SP} \times T_v}{Pkt_size} \quad (7)$$

이렇게 구해진 에너지 관점의 패킷 수와 전송률

관점의 패킷 수를 이용하여 응용 계층에서 전송 해야 하는 패킷 수를 결정한다. 이는 수식 (8)과 같이 최소 잔여 에너지의 관점에서 본 패킷 수와 전송률의 관점에서의 패킷 수 중에서 작은 값으로 결정되고, 이를 본 논문에서 제안하는 효율적인 응용 계층의 전송 패킷 수 (N_{Pkt})이라고 정의 하고, 이를 이용해 인코더에서는 매시점 최적의 전송률을 설정 한다.

$$N_{Pkt} = \min \{ N_{Pkt}^E, N_{Pkt}^R \} \quad (8)$$

또한, 식 (8)을 통해서, 응용 계층에서의 현재 시점 평균 전송률 값과 선택된 경로의 최소 전송률의 관계를 식 (9)와 같이 정의 할 수 있다. 실제 응용 계층 인코더의 코딩레이트는 송신단에서 H.263 코덱을 사용하여 인코딩 시 QP값을 변화하며 얻을 수 있고, 그값은 최소 전송률 관점에서의 전송가능 패킷 수 보다 작거나 같다.

$$CodingRate = \frac{N_{Pkt} \times Pkt_size}{T_v} \leq minRate_{SP} \quad (9)$$

본 논문에서 제안한 CVTP는 크로스 레이어 설계 방법을 이용하여 라우팅 시 얻은 정보를 이용하여 최적의 경로를 결정하며, 응용 계층에서는 인코딩 시 네트워크 상태에 알맞은 전송률 값을 설정 및 전송 한다. 이러한 메커니즘은 비디오 데이터 전송과 같이 송신자에서 데이터 코딩 시 효과적인 전송률 값을 결정하는 응용에서 MANET 전송 경로의 상태에 따라 적응성있게 전송률을 선택하므로 기존의 계층적인 독립구조에 비해 성능향상을 기대 할 수 있다. 또한 데이터 전송시 경로가 자주 재설정되는 특징을 갖는 MANET에서 효율적이고 안정적인 전송률을 보다 빨리 결정하고 유연성 있게 유지 할 수 있다는 장점을 가진다. 또한 송신자와 수신자의 피드백 메커니즘이나 추가적인 버퍼를 필요로 하지 않기 때문에 성능 면에서도 기존의 MANET 환경에서 비디오 데이터 전송보다는 좋은 효율성과 작업 처리량을 얻는다. 이러한 CVPT 송신자 부분의 비디오 인코더 와 라우팅 모듈 블록의 작동 원리는 그림 4와 같다.

MANET 환경에서 비디오 데이터 전송 중, 경로에 존재하는 노드의 이동성으로 인한 경로 변경 또는 이동 노드의 에너지 고갈 등과 같은 원인으로 경로가 재설정 될 수 있다. 이런 경우 인코더는 새로운 전송률을 결정 하여야 하는데, 남은 전송 시간에 유의하여 결정 해야 한다. 즉, 초기 비디오 전송

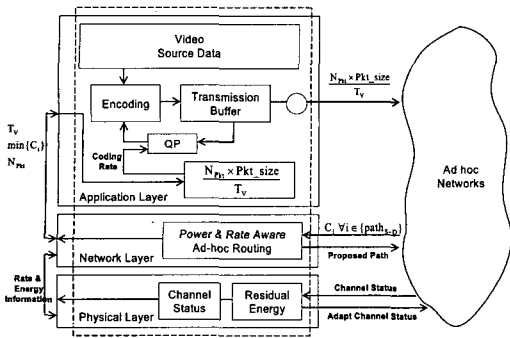


그림 4. 제안된 인코더와 라우팅 모듈 블록의 구조도

시간(T_p)에서 이미 데이터를 전송한 시간만큼(T_p)을 빼준 전송 해야 되는 시간(T_r)로 시간을 정의 할 수 있다. 즉, $T_r = T_v - T_p$ 로 정의 할 수 있다. 새로운 전송률을 설정할 때에는 T_p 를 다시 T_r 로 설정하고, 다시 CVPT 알고리즘을 이용하여, 위의 과정을 반복하여 효율적인 전송 경로를 선택하게 되고 재정의된 전송률은 식(10)과같이 정의 된다.

$$\text{CodingRate} = \frac{N_{pkt} \times \text{Pkt_size}}{T_r} \leq \text{min Rate}_{SP} \quad (10)$$

이러한 방법을 통해 본 논문에서 제안한 크로스 레이어 설계 기법을 이용한 CVPT 방법은 기존의 MANET 환경의 다른 라우팅 프로토콜 보다 경로 재설정 및 다중 경로의 전송률의 차이에 따른 비효율성과 추가 비용에 효율적인 대응이 가능하고, 응용계층 역시 물리계층 및 네트워크 계층의 정보를 이용하여 현재 에드 혹 네트워크에 최적의 코딩을 결정할 수 있다.

IV. 모의실험

본 논문에서 제안한 CVTP(Cross-layer Video Transmission Protocol)의 성능 분석을 위해 NS2^[14] (Network Simulator 2)를 사용 하였고, 비디오 압축 방법으로는 휴대용 무선 장비의 해상도와 전송률에 적합한 H.263을 사용하였다. Codec 프로그램은 UBC에서 만든 TMN5^[13]을 활용했다. 여기서 사용한 TMN Codec은 디코딩 시 오류 발생시 버퍼에 저장해있는 이전 프레임으로 현재 프레임의 에러발생 블록을 복구하는 간단한 에러 보정 기능을 갖고 있다. 비교 대상의 에드 혹 라우팅 프로토콜은 AODV^[4]를 사용하였고, 인코더의 전송률 결정 방법에 있어

표 1. 모의 실험 환경요소

모의 실험 영역	600 × 600 m
이동 노드	20개
노드의 버퍼크기	200(저장 가능한 패킷의 개수)
모의 실험 횟수	20(평균)
소스 노드 수	1
목적지 노드 수	1
최대 전파 전송거리	250m
이동 속도	5~30 m/s(18~108km/h)
Pkt_size	512byte
이동 노드의 에너지	15~25KJ(임의 분포)
링크 밴드워드	50~80Kbps(임의 분포)
모의 실험 시간	300sec(5min)

비교 대상으로는 소스노드의 주변 노드들간의 가능한 전송률 중 최소값을 갖는 전송률(NgbMin)과 주변 노드들과의 전송률 평균(NgbAvg)로 계속해서 인코딩을 수행하는 방법을 사용하였다.

첫 번째 실험으로는 노드의 수에 따른 데이터 패킷 손실률을 비교하였다. 실험 환경으로는 600m의 정 사방 공간에서 노드가 이동 없는 환경에서 이루어 졌고 노드의 개수는 5개씩 증가 하여 비교 하였다. 그림 5에서 노드의 개수가 증가 할수록 일반적인 라우팅은 패킷의 손실률이 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 일반적으로 노드의 수가 증가 할수록 주변의 노드들이 증가하기 때문에 주변 노드와 전송 노드의 컨트롤 패킷의 전송 횟수가 커지고, 데이터 전송 시 충돌로 인한 각 전송 노드의 버퍼의 패킷 손실률이 커진다.

또한 노드들의 잔여 전력부족으로 인해 다른 경로 설정을 위한 경로재설정 시의 패킷 손실도 커진다. 본 논문에서 제안한 CVTP 프로토콜이 노드수가 증가 할수록 비교 대상 방법보다 좋은 성능을 보이는 것을 그림 5에서 확인할 수 있다. 또한 초기

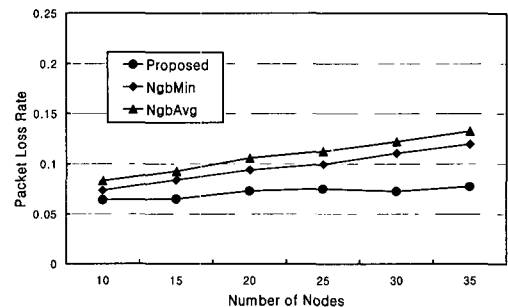


그림 5. 노드의 이동이 없을 때 노드수 증가에 따른 패킷 손실률 비교

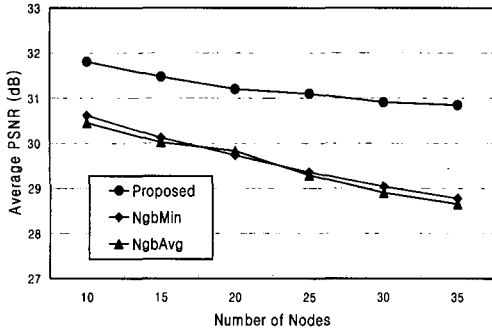


그림 6. 노드의 이동이 없을 때 노드수 증가에 따른 PSNR 값 비교

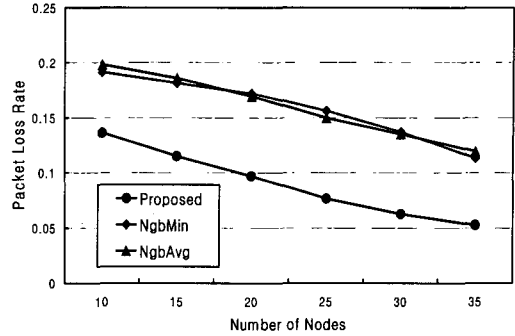


그림 8. 노드의 이동속도에 따른 패킷 손실률 값 비교

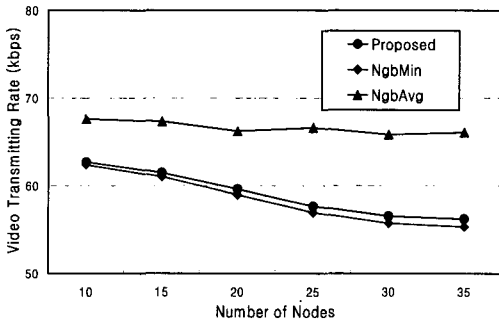


그림 7. 노드의 이동이 없을 때 노드수 증가에 따른 평균 전송률 값 비교

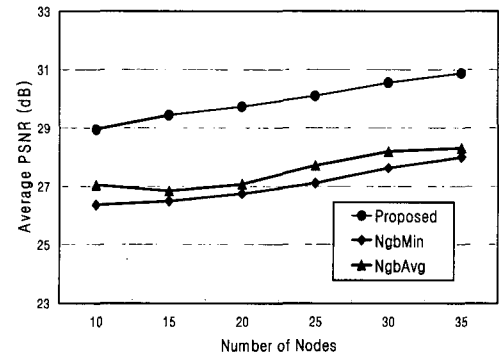


그림 9. 노드수 증가에 따른 PSNR 값 비교

경로의 최소 전송률이 평균 전송률보다 성능이 좋은 것을 알 수 있다. 이는 전송률의 크기가 작기 때문에 같은 네트워크에서 전송시 패킷의 손실률이 작기 때문이다.

그림 6은 노드의 갯수에 따라 디코딩시 PSNR 측정값을 보여준다. 디코딩시 PSNR 값은 패킷의 손실률이 적을수록 높은 값을 갖고, 전송률이 높을 때 비슷한 패킷 손실률을 가지면 전송률에 영향을 받기 때문이다.

그림 7은 노드수의 증가에 따른 평균전송률의 변화를 보여준다. 본 논문에서 제안된 CVTP는 노드수가 증가할수록 전송률이 감소하는 것을 알 수 있다. 이것은 노드수가 증가 할수록 잔여 에너지에 영향을 받는다는 것을 보여준다. 일반적으로 노드수가 증가할수록 송신자와 수신자 사이의 중간노드가 잔여 에너지가 적은 노드가 선택될 확률이 노드수가 적을 때 보다 높아지기 때문이다.

두 번째 실험은 노드에 이동을 주고 실험하였다. 실험 환경으로는 600m의 정 사방 공간에서 이동노드가 계속하여 움직이고, 모의실험 시작 시 송신자와 수신자의 선정은 무작위로 선정 하였다. 그림 8

에서 노드수가 증가할수록 패킷손실률이 커지는 것을 알 수 있다. 이는 이동 할수록 송신자와 수신자 사이의 경로가 변경이 빈번히 이루어지고 그에 따른 새로운 경로가 설정되기 때문이다. 제안된 CVTP는 다른 비교대상 방법에 비해 우수한 성능을 보이는 데 이는 노드 이동에 따른 경로재설정시 새로운 경로의 에너지와 채널상태를 고려하여 적응적으로 응용계층의 비디오 인코딩 율을 조절하기 때문이다.

그림 9와 같이 노드수가 증가 할수록, PSNR 값이 감소된다. 또한 노드가 많아질수록 경로의 재설정이 빈번히 이루어진다는 것을 예상 할 수 있다. 제안된 CVTP는 다른 비교대상 방법보다 높은 PSNR 값을 보인다.

그림 10에서 제안된 CVTP 프로토콜의 전송률은 노드가 증가 할수록 감소되는 것을 알 수 있다. 그리고 그 값은 NgbMin값과 비슷한 값을 얻는데 이는 경로선택시 잔여에너지와 전송률에 영향을 받는 것을 의미한다.

그림 11은 모의실험(300초) 동안 관찰된 전송률이다. 제안된 전송률은 잔여에너지와 전송채널의 영향을 받아 다양한 값을 갖는것을 확인 할 수 있다.

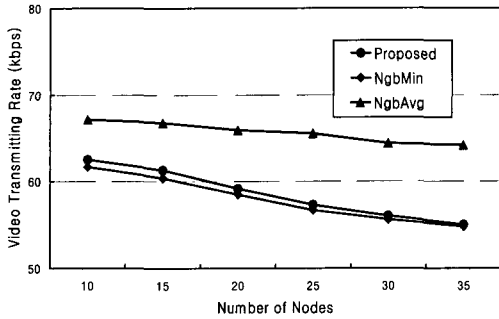


그림 10. 노드의 이동속도에 따른 전송률 값 비교

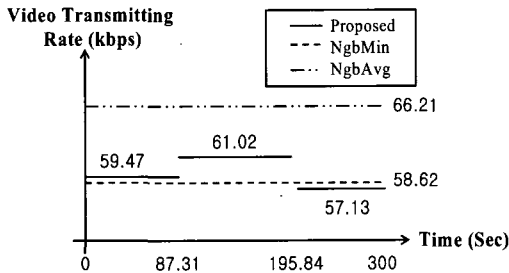


그림 11. 모의실험 시간동안 관찰된 전송률

V. 결론

무선 에드 혹 환경의 이동 노드들은 한정된 에너지로 작동되기 때문에 에너지의 효율적인 사용이 중요하다. 특히 비디오와 같은 대용량 데이터 전송 시에 전송 노드의 에너지가 고갈되었을 경우, 통신이 두절되고 그로 인해 빈번한 경로 재설정을 할 수 있다. 이점은 에드 혹 네트워크의 성능 및 작업 처리량에 많은 영향을 준다. 또한 송신자측의 인코더에서 전송률을 결정하는 특징을 갖는 비디오 데이터 전송 응용에서는 끊임없이 이동하기 노드들 때문에 송신자와 수신자간의 홉의 개수나 전송 경로의 전송 가능 상태가 바뀌게 된다. 이러한 특징 때문에 기존의 MANET에서는 네트워크의 상태에 따라 효율적인 전송률을 결정하기가 어려웠다. 따라서 본 논문에서는 이동 노드의 잔여 에너지량과 전송 경로의 전송률, 홉의 개수를 이용하여 전송시간 동안 송신자와 수신자간의 최적의 통신이 유지 되도록 하는 크로스 레이어 설계 기법을 이용한 CVTP (Cross-layer Video Transmission Protocol)를 제안하였다. 이 프로토콜은 기존의 OSI 권장 계층이 아닌 크로스 레이어 설계 방법을 사용하여 물리계층 및 네트워크 계층의 정보를 정보 값을 필요로 하는 계층에 직접 전달하여 수신단에서 최적의 전송경로

를 선택하고 송신단에서는 H.263 인코더를 사용하여 인코딩시 QP값을 변화하여 효율적인 전송률을 결정, 유지함으로써 보다 에드 혹 네트워크에 효율적이고 능동적으로 대처하도록 하였다. 모의 실험 결과에서 알 수 있듯이, 본 논문에서 제안된 CVTP 방법은 다양한 무선 환경에서 주변 상황이 변화하더라도 적응적으로 네트워크 상태에 알맞은 전송률을 결정한다. 때문에 CVTP 성능은 기존 MANET의 환경보다 패킷의 손실률이 적어지고 그에 따른 좋은 PSNR값을 얻을 수 있다.

참고 문헌

- [1] Conti M., Maselli G., Giovanni, Turi, Silvia, Giordano, "Cross-layering in mobile ad hoc network design", *IEEE Computer Society*, Vol. 37, No. 2, pp. 48-51, February 2004.
- [2] Goldsmith A.J., Wicker S.B., "Design challenges for energy-constrained ad hoc wireless networks", *IEEE Wireless Communications*, Vol. 9, No 4, pp. 8-27, August 2002.
- [3] ITU-T Draft, "H.263:video coding for low bitrate communication", February 1998.
- [4] Chales E. Perkins, Elizabeth M. Royer, "Ad-hoc on-demand distance vector routing", *Proceedings of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, pp.90-100, February 1999.
- [5] D.B. Johnson, D. A. Maltz, "Dynamic source routing in ad hoc wireless networks", *Mobile Computing*, Kluwer Academic Publishers, Vol. 353, pp. 153-181, 1996.
- [6] Shunan Lin, Yao Wang, Shiwen Mao, Shivendra Panwar, "Video transport over ad-hoc networks using multiple paths", *IEEE ISCAS 2002*, Vol. 1, pp. 57-60, May 2002.
- [7] Hong Man, Yang Li, "Layered video streams over wireless ad hoc campus networks", *IEEE 2002 and the 2nd Signal Processing Education Workshop*, pp. 387-391, October 2002.
- [8] Yih-Chun Hu, Johnson, D.B., "Design and demonstration of live audio and video over multihop wireless ad hoc networks", *MILCOM 2002*, Vol. 2, pp.1211-1216, October 2002.

- [9] Shunnan Lin, Shiwen Mao, Yao Wang, Shivendra Panwar, "A reference picture selection scheme for video transmission over ad-hoc networks using multiple paths", *IEEE International Conference on Multimedia and Expo(ICME)*, pp. 96-99, August 2001.
- [10] Shiwen Mao, Shunnan Lin, Shivendar S. Panwar, Yao Wang, Emere Celebi, "Video transport over ad hoc networks : multistream coding with multipath transport", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 21, No. 10, pp.1721-1735, December 2003.
- [11] Gharavi, H., Ban, K. "Dynamic packet control for video communications over ad-hoc networks," 2004 IEEE Int. Conf. on Communications(*ICC 2004*), pp.3086-3090, June 2004.
- [12] Gharavi H., Ban K., "Rate adaptive video transmission over ad hoc networks", *Electronics Letters*, Vol. 40, No 19, pp. 1177-1178, September 2004.
- [13] University of British Columbia, "H263+ codec", <ftp://dspftp.ece.ubc.ca>.
- [14] <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.

서지영 (Jee-Young Seo)

준회원



2004년 8월 인하대학교 컴퓨터 공학과, 공학사
 2004년 8월~현재 인하대학교 정보통신대학원 석사과정
 <관심분야> Ad hoc networks, Cross-layer, H.26x

조은희 (Eun-Hee Cho)

준회원



2003년 2월 인하대학교 컴퓨터 공학과, 공학사
 2004년 2월~현재 인하대학교 정보통신대학원 석사과정
 <관심분야> Ad hoc networks, SIP, H.26x

유상조 (Sang-Jo Yoo)

정회원



1988년 2월 한양대학교 전자통신학과(공학사)
 1990년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과(공학석사)
 2000년 8월 한국과학기술원 전자전산학과 (공학박사)
 1990년 3월~2001년 2월 KT 연구개발본부

2000년 8월~현재 인하대학교 정보통신대학원 부교수
 <관심분야> 인터넷 QoS, 초고속 통신망 구조, 멀티미디어 네트워킹, 센서 네트워크, 모바일 컴퓨팅