

특집논문-08-13-1-01

## IEEE 802.11e에서 네트워크 적응적인 H.264 비디오 스트리밍

이 선 현<sup>a)\*</sup>, 정 광 수<sup>a)</sup>

## Network-adaptive H.264 Video Streaming over IEEE 802.11e

Sunhun Lee<sup>a)\*</sup> and Kwangsue Chung<sup>a)</sup>

## 요 약

무선 네트워크 환경의 불안정한 채널 상태는 패킷 손실과 패킷 재전송을 발생시키게 되고 그로 인해 비디오 스트리밍과 같은 시간적 제약을 가지는 서비스의 품질을 저하시키는 문제점을 갖는다. 이러한 무선 네트워크에서의 효율적인 멀티미디어 전송을 위해 최근에 QoS 기능을 강화한 IEEE 802.11e가 표준화되었다. 본 논문에서는 IEEE 802.11e 네트워크를 기반으로 네트워크 적응적인 H.264 비디오 스트림 전송기법에 대해 기술한다. 향상된 스트리밍 서비스를 제공하기 위해서는 현재의 무선 네트워크 상태에 적응적인 스트림 전송이 필요하다. 네트워크 상태는 패킷 손실률이나 가용 대역폭 측정을 통해 예측할 수 있으며, 이렇게 측정된 네트워크 상태를 크로스-레이어 기법을 기반으로 응용계층에 알려줌으로써, 현재 네트워크가 전송하지 못할 것으로 판단되는 데이터를 우선순위에 따라 차등적으로 제거하게 된다. 전송될 가능성이 없는 데이터를 미리 제거함으로써 시스템 리소스를 보다 효율적으로 사용하게 되며, 결과적으로 사용자에게 제공되는 스트리밍 서비스의 품질을 향상시킬 수 있다. 시뮬레이션 및 시스템 구현을 이용한 성능검증을 통하여 제안하는 기법이 사용자에게 끊임없이 부드럽게 재생되는 비디오 스트리밍 서비스를 제공함으로써 서비스 품질을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

## Abstract

An instable wireless channel condition causes more packet losses and retransmissions due to interference, fading, station mobility, and so on. Therefore video streaming service over a wireless networks is a challenging task because of the changes in the wireless channel conditions and time-constraints characteristics of the video streaming services. To provide efficient video streaming over a wireless networks, QoS-enhanced MAC protocol, IEEE 802.11e, is standardized recently. In this paper, we propose a new network-adaptive H.264 video streaming mechanism in the IEEE 802.11e wireless networks. To improve the quality of video streaming services, video stream has to adapt to the changes in the wireless channel conditions. The wireless channel conditions are estimated by the packet loss probability and informed to the application layer by the cross-layering. According to the wireless channel information, the video streaming application filters out the low-priority data. This adaptation mechanism efficiently uses system resources because it drops the low-priority data in advance. Therefore, our cross-layer design can provide improved video streaming services to the end-user. Through the implementation and performance evaluation, we prove that the proposed mechanism improves the QoS of the video streaming by providing the smoothed playback.

Keywords : IEEE 802.11e, H.264, Cross-layer

a) 광운대학교 전자공학부

Department of Electronics Engineering, Kwangwoon University

\* 교신저자 : 이선현(sunlee@adams.kw.ac.kr)

\* 이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(R01-2005-000-10934-0).

## 1. 서 론

ITU-T(International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector)와 MPEG (Moving Picture

Experts Group)에 의해 최근에 표준화된 H.264 비디오 코딩 기법은 기존의 코딩 기법들에 비해 향상된 압축 성능을 가지며 네트워크를 통한 전송 과정에서 발생할 수 있는 에러들에 강건하기 동작하기 위해 데이터 파티셔닝(Data Partitioning), PSC (Parameter Set Concepts), FMO (Flexible Macroblock Ordering), RS (Redundant Slice)와 같은 여러 에러 회복 기법 (Error Resilience Tool)들을 가지고 있다<sup>[12]</sup>. 이러한 H.264의 우수한 압축 성능 및 에러에 대한 강건함으로 인해, 유선망에 비해 상대적으로 대역폭이 작고 채널 상태가 불안정한 무선 네트워크 환경에서, 점차 수요가 늘어나고 있는 비디오 스트리밍 서비스를 제공하는 측면에서 중요한 역할을 할 것으로 기대되고 있다.

코덱 기술의 발전과 함께, 네트워크 측면에서도 향상된 스트리밍 서비스 제공을 위한 연구가 진행되었다. 비디오 스트림을 전송하는 기존 무선 네트워크 환경은 본질적으로 최선형 (Best-effort) 서비스에 기반한 시스템으로, 비디오 스트리밍과 같이 시간적 제약성을 가지는 서비스의 품질을 보장하기에는 적합하지 않다. 이러한 문제를 개선하기 위해 IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)에서는 무선 네트워크 환경에서 비디오나 오디오와 같은 멀티미디어 데이터에 대한 QoS (Quality of Service)를 향상하기 위해 IEEE 802.11e 표준화를 진행하였다<sup>[3][4]</sup>.

본 논문에서는 크로스-레이어(Cross-layer) 기법을 통해 무선 네트워크 환경에서 네트워크 상태에 적응적인 H.264 비디오 스트림 전송 기법에 대해서 기술한다. 네트워크 적응적인 비디오 스트리밍을 위해 네트워크 상태는 패킷 손실률이나 가용 대역폭 측정으로 예측될 수 있으며, 본 논문의 구현에서는 패킷 손실률을 이용하였다. 이렇게 예측된 네트워크 상태정보를 기반으로 응용계층의 스트리밍 서버는 전송되는 비디오 스트림의 품질을 조절하게 된다. 이를 위해 IEEE 802.11e EDCA (Enhanced Distributed Channel Access)를 기반으로 H.264가 가지는 데이터 파티셔닝 기능을 활용한다. H.264 비디오 스트림을 구성하는 각각의 파티션(Partition)들은 데이터의 중요도에 따라 IEEE 802.11e MAC (Medium Access Control)의 EDCA가 제공하는 각각의 AC (Access Category)에 맵핑되어 무선 채널에 대한 접근 기회를 차등적으로 배분받게 된다. 즉, 비디오 스트림의

중요한 데이터에 대해 우선적으로 전송기회를 부여하게 된다. 또한, 크로스-레이어 기법을 통해 패킷손실률을 기반으로 전송될 가능성이 없다고 판단되는 낮은 우선순위의 데이터를 응용계층에서 미리 제거함으로써 사용자에게 향상된 QoS를 제공함과 동시에 시스템 자원을 보다 효율적으로 사용하게 된다. 성능 검증을 위해 IEEE 802.11e 기반의 무선랜 환경을 구축하였고, H.264 비디오 스트림 전송 시스템을 구현하였다. 실제 시스템 구현을 이용한 성능 검증을 통해 제안하는 크로스-레이어 기반 전송기법이 기존의 무선랜 환경에서의 비디오 스트리밍 서비스에 비해 사용자에게 좀 더 부드러운 비디오 스트리밍 서비스를 제공할 수 있다는 것을 확인하였다.

본 논문의 2장에서는 제안하는 기법과 관련하여 기존 연구들에 대해서 기술하였으며, 본 논문에서 제안하는 기법과 구현에 관련한 내용을 3장에 상세히 기술하였다. 4장에서는 성능 검증을 위한 실험 환경 및 결과를 기술하였으며, 끝으로 5장에서 결론을 맺었다.

## II. 관련 연구

### 1. H.264

H.264는 MPEG-4 Part 10이나 AVC (Advanced Video Coding)으로도 불리며, 기존 비디오 코덱 기술에 비해 매우 높은 압축률을 가지는 디지털 비디오 코덱 표준으로 ITU-T의 VCEG (Video Coding Experts Group)과 ISO/IEC (International Organization for Standardization/ International Electrotechnical Commission)의 MPEG이 공동으로 구성한 JVT (Joint Video Team)에 의해 표준화 되었다. MPEG-2나 MPEG-4 Part 2, 그리고 H.263등의 기존의 표준과 비교했을 때, 낮은 데이터율에서 비슷하거나 더 좋은 화질을 얻을 수 있도록 개발되었으며, 구현할 때에 설계상의 유연성도 고려되었다. 또한 다양한 응용을 고려하여, 다양한 시스템 및 다양한 네트워크에서 작동하도록 개발되었다.

H.264는 그림 1에서와 같이, 개념적으로 VCL (Video Coding Layer)과 NAL (Network Abstraction Layer)의 2개

의 계층으로 구성된다. VCL은 비디오 압축 기술과 관련된 계층이며 NAL은 VCL을 통해 코딩된 데이터를 다양한 네트워크를 통해 전송하기 위한 캡슐화를 담당한다. NAL을 통해 인캡슐된 하나의 전송 단위는 NALU (NAL Unit)로 1바이트 크기의 헤더를 포함한다. 헤더안의 2bits는 NRI (Nal\_Ref\_Idc) 필드로 해당 NALU에 포함되어 있는 데이터의 종류, 즉 데이터의 우선순위를 표시한다. NALU 데이터의 종류는 H.264가 가지는 여러 복원 (Error Resilience) 기법중의 하나인 데이터 파티셔닝에 의해 이루어지며, 데이터 파티셔닝에서 MB (Macro Block)의 모든 심볼은 하나의 슬라이스 (Slice)를 이루는 비트스트림으로 코딩되어 NALU으로 인캡슐된다. H.264에는 세 가지의 종류의 파티션이 있다. 파티션 A는 MB 타입이나 양자화 파라미터와 같은 헤더 정보를 포함하는 것으로 다른 파티션을 디코딩 처리하는데 필요한 정보를 포함하므로 가장 높은 우선순위를 갖는다. 파티션 B는 인트라-파티션 (Intra-partition)으로도 불리며, 인트라 CBP (Intra Coded Block Pattern)나 계수 (Coefficient)를 포함한다. 해당 데이터를 사용하기 위해서는 파티션 A가 필요하며, 마찬가지로 다음의 파티션 C를 사용하는데 필요한 정보를 포함한다. 파티션 C는 인터-파티션 (Inter-partition)으로도 불리며, 인터 CBP (Inter CBP)나 계수를 포함하며 파티션 A, B에 비해 가장 낮은 우선순위를 갖는다<sup>[1][2]</sup>.

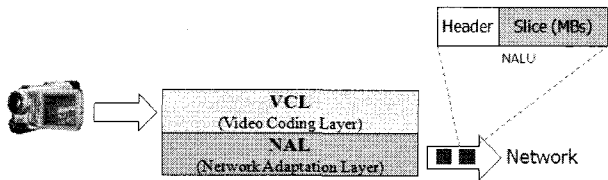


그림 1. H.264의 구조  
Fig 1. H.264 architecture

2. IEEE 802.11e 표준

IEEE에서는 서비스 타입별 차별화를 지원하기 위한 향상된 채널 접근 메커니즘으로 IEEE 802.11e를 표준화하였다. IEEE 802.11e의 채널 접근 메커니즘인 HCF (Hybrid

Coordination Function)은 기존의 무선랜 표준과 마찬가지로, 경쟁기반의 접근방식인 EDCA (Enhanced Distributed Channel Access)와 폴링기반의 비경쟁 접근 방식인 HCCA (HCF Controlled Channel Access)를 포함한다. EDCA는 우선순위에 기반한 차별화된 채널 접근 방법으로 기존 802.11의 DCF (Distributed Coordination Function)와 그 구성이 유사하다. EDCA에서는 차별화된 QoS를 제공하기 위해 AC를 정의하고 있으며, 각각의 AC는 사전에 정의된 채널 경쟁 파라미터와 DIFS (Distributed Inter Frame Space)를 대체하는 AIFS[AC](Arbitration IFS), 그리고 AC별로 차별화된 최소, 최대 CW (Contention Window)의 파라미터 (각각 CWmin[AC], CWmax[AC])를 가진다<sup>[3][4]</sup>.

그림 2는 가상 스테이션처럼 인식되는 4개의 AC와, AC별 우선순위를 결정하기 위한 파라미터들을 가지는 WSTA (Wireless Station)의 구조를 보여준다. 하나의 WSTA에 존재하는 복수개의 AC가 동시에 채널 접근을 시도할 경우, 가상 충돌 처리기 (Virtual Collision Handler)가 이를 방지하여, 하나의 AC에게 무선 채널에 대한 접근 기회를 부여하게 된다.

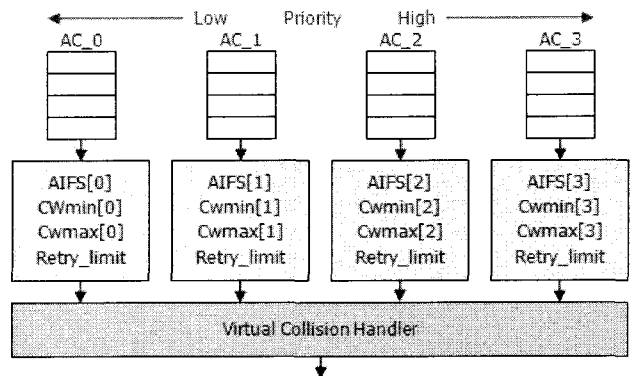


그림 2. IEEE 802.11e EDCA 모델  
Fig 2. IEEE 802.11e EDCA model

EDCA의 무선 매체 접근을 그림 3에 나타내었다. 우선순위에 따라 각각의 AC별로 AIFS[AC]가 다르게 설정되므로, 가장 높은 우선순위를 가지는 트래픽이 큐잉되는 AC\_3는 가장 짧은 AIFS로 설정되며, 가장 낮은 우선순위를 가지는 최선형 (Best-effort) 트래픽이 큐잉되는 AC\_0는 가장

긴 AIFS로 설정된다. 설정된 AC별 AIFS동안 무선 매체가 유힬상태 (IDLE)일 경우, 각 AC는 무선 매체를 점유하여 데이터 전송을 시도하게 되며, 매체 점유에 실패할 경우, 데이터 전송을 다음 주기로 미루게 된다. 결과적으로 우선 순위가 높은 AC에 포함된 데이터는 상대적으로 낮은 우선 순위의 AC에 비해, 무선 매체를 먼저 점유함으로써 데이터를 빠르게 전송할 수 있는 확률이 높아지게 된다. 마찬가지로, 각각의 AC는 우선순위에 따라 서로 다른  $CW_{min}[AC]$ 와  $CW_{max}[AC]$ 로 설정되어 우선순위가 높은 데이터는 무선 매체 접근 과정에서 충돌이 발생하더라도 다음 매체 접근까지의 대기시간을 줄일 수 있으므로, 상대적으로 빠르게 무선 매체를 점유하여 데이터를 우선적으로 전송할 수 있게 된다.

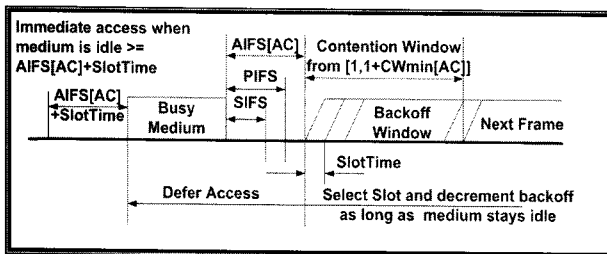


그림 3. IEEE 802.11e EDCA에서의 매체접근  
Fig 3. Medium access mechanism in IEEE 802.11e EDCA

### 3. IEEE 802.11e기반 QoS 제어 연구

멀티미디어 데이터를 위한 향상된 무선 채널 접근방법을 가지는 IEEE 802.11e의 EDCA 모델을 이용하여 효율적으로 멀티미디어 스트림을 전송하기 위한 몇몇 연구가 진행되었다<sup>[4][5][6]</sup>. 대표적으로 그림 4에 나타낸, Ksentini가 제안한 크로스-레이어 기법을 이용한 IEEE 802.11e EDCA 기반의 H.264 비디오 스트림 전송기법이 있다<sup>[6]</sup>. 제안하는 기법에서 각각의 NALU들은 헤더에 존재하는 비디오 데이터의 중요도를 기준으로 802.11e의 AC별로 맵핑되며 AC별로 설정된 QoS 파라미터에 따라 매체 점유를 차등적으로 시도하게 된다. 즉, 스트림의 각 프레임을 디코딩하는데 가장 중요한 정보인 PSC와 같은 디코딩에 필요한 기본적인 정보는 가장 높은 매체접근 우선순위를 가지는 AC3에, 파

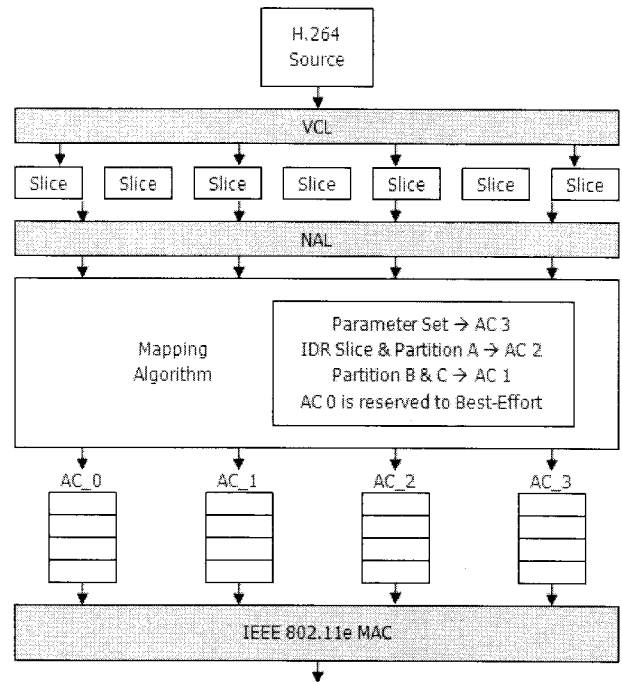


그림 4. Ksentini가 제안한 기법  
Fig 4. Ksentini's mechanism

티션 A는 AC2에, 가장 중요도가 낮은 파티션 B, C는 AC1에 맵핑된다. Ksentini가 제안한 기법은 802.11e의 AC별 매체접근 우선순위를 기반으로 비디오 데이터의 중요도에 따라 각각 다른 AC로 맵핑을 함으로써 우선순위 데이터를 더 빠르고 안전하게 전송하게 되며, 그로인해 전체적인 서비스의 품질 향상을 가져온다. 하지만, 현재 네트워크의 상태, 즉 전송능력에 상관없이 모든 데이터들에 대한 전송을 시도하기 때문에 무선 네트워크 상태변화에 적응적으로 대처하지 못하며, 네트워크 상태가 좋지 않을 경우, 전송될 가능성이 없는 데이터에 대한 패킷화, AC별 맵핑, 그리고, AC에 대한 큐잉등의 과정에서 시스템 리소스를 소비하고 전송큐의 오버플로우를 발생시킬 수 있다는 문제점을 갖는다.

본 논문에서는 기존 연구의 단점을 개선하여 각 AC별로 측정된 무선 채널의 상태 예측을 기반으로, 크로스-레이어 기법을 적용하여 네트워크 상태에 적응적으로 처리될 데이터의 양을 조절하게 된다. 이를 기반으로 비디오 데이터의 중요도를 기준으로 현재 무선 네트워크 상태에서 전송될

가능성이 없다고 판단되는 데이터를 미리 응용계층에서 제거해 줌으로써 시스템의 리소스를 효율적으로 사용하며 사용자에게 끊임없이 부드러운 스트리밍 서비스를 제공할 수 있게 된다.

### III. 제안 기법

#### 1. 구조 및 알고리즘

본 논문에서 제안하는 크로스-레이어 기반의 H.264 비디오 스트림 전송기법의 전체 구조를 그림 5에 나타내었다. 응용계층의 스트리밍 서버에서 H.264 데이터는 VCL 계층의 데이터 파티셔닝에 의해 비디오 데이터의 중요도에 따라 구분되며, NAL 계층을 거쳐 NALU로 생성된다. NALU에 포함되어 있는 비디오 데이터의 중요도는 그림 6에 나타나 있는 1byte 크기의 NALU 헤더 분석을 통해 알 수 있다.

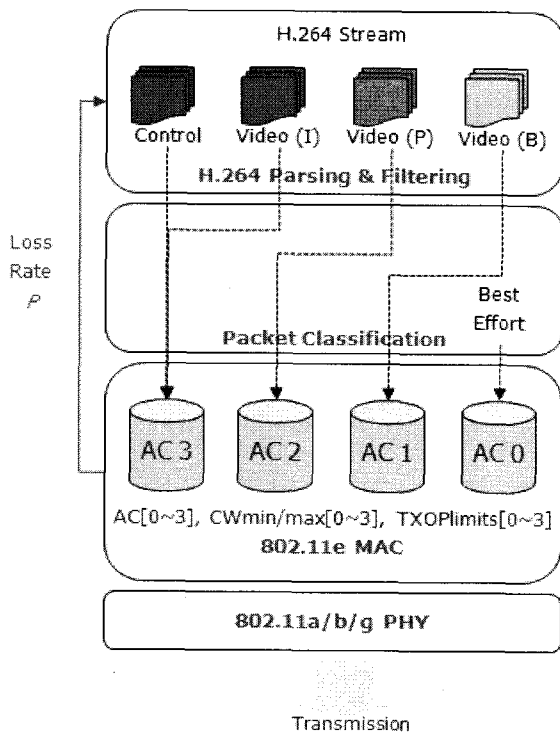


그림 5. 전체 구조  
Fig 5. Overall architecture

5bits의 Type 필드는 H.264 표준에서 정의된 NALU에 포함된 데이터의 종류를 나타내는 것이며, 2bits의 Priority 필드는 데이터의 종류에 따른 우선순위를 명시한다. 1bit의 Forbidden 비트는 NALU의 전송도중 에러가 발생할 경우, 이를 기록하는 필드이다<sup>[3]</sup>.

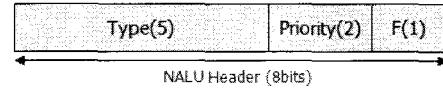


그림 6. NALU 헤더  
Fig 6. NALU header

생성된 NALU 패킷들은 데이터의 중요도에 따라 차별화된 매체접근 기회를 제공받기 위해 각각의 AC로 맵핑된다. PSC와 같이 비디오 스트림을 디코딩하는데 반드시 필요한 제어 정보와 다른 프레임들을 정확하게 디코딩하는데 필요한 I 프레임은 가장 높은 우선순위를 가지는 AC\_3로 맵핑되며, 상대적으로 낮은 우선순위를 가지는 P 프레임과 B 프레임은 각각 AC\_2와 AC\_1으로 맵핑된다. 비디오 데이터의 우선순위에 따라 각각의 AC에 큐잉된 데이터들은 각 AC별 QoS 파라미터인 AIFS[AC]와 CWmin[AC], CWmax[AC]에 의해 차별화된 매체접근 기회를 부여받으며, 이로 인해 중요한 데이터 성분 즉, 높은 AC가 무선 매체를 보다 빠르게 점유함으로써 중요한 데이터를 빠르고 안전하게 전송하게 된다.

제안하는 기법에서 무선 네트워크의 채널상태는 각 AC별 패킷손실률을 기반으로 예측하게 된다. 식 (1)은 각 AC별 패킷손실률에 기반하여 무선 채널의 전체 패킷손실률(P)을 계산하는 것을 나타낸 것으로, AC별 전송한 패킷(TxFrame)과 MAC 계층의 ACK를 기반으로 성공적으로 수신되었다고 판단되는 패킷(RxFrame)의 비율로 전체 패킷손실률을 계산하게 된다.

$$P = 1 - \frac{\sum_{AC=1}^3 R_{xFrame}[AC]}{\sum_{AC=1}^3 T_{xFrame}[AC]} \quad (1)$$

채널상태가 좋을 경우, 모든 AC에 있는 데이터를 클라이

언트로 전송 가능하지만, 채널상태가 좋지 않을 경우, 모든 데이터를 전송할 수 없으며 매체접근에 대한 AC별 우선순위로 인해 상대적으로 낮은 우선순위를 가지는 AC\_0와 AC\_1에 맵핑된 데이터의 전송확률은 낮아지게 된다. 식 (1)에서 계산된 전체 패킷손실률을 바탕으로 현재 무선 네트워크의 채널 상태에서 전송 가능한 데이터의 확률을 예상할 수 있다.

현재 채널상태에서 전송 가능성이 없다고 예측되는 데이터를 제거시키기 위해서 전체 패킷손실률은 크로스-레이어 기법을 통해 응용계층의 스트리밍 서버에 주기적으로 보고 된다. 크로스-레이어를 통해 전달된 패킷손실률은 전체 전송패킷에 대한 손실률이므로, 이를 각각의 AC로 분류되는 NALU에 적용할 수 없으며, 또한 서로 다른 우선순위를 가지는 NALU의 특성을 고려해야 한다. 이를 위해 식 (2)와 같이, NALU의 데이터 중요도를 고려하여 낮은 우선순위의 NALU에 대해 우선적으로 전체 패킷손실률을 적용한다. 즉, 가장 낮은 우선순위의 AC\_1에 속하는 NALU은 전체 패킷손실률에 대하여 AC\_1에 적용되어야 할 패킷손실률을 계산하여 해당 패킷만큼을 제거하게 된다. AC\_1에 적용될 제거 확률 (Drop\_PAC\_1)이 100%를 초과할 경우, 식 (3)에서 계산되는 확률 (Drop\_PAC\_2)로 AC\_2에 속하는 NALU을 제거하게 된다. 가장 높은 우선순위를 갖는 AC\_3는 비디오 스트림을 디코딩하는데 기본적인 데이터를 포함하므로 패킷손실률을 적용하지 않고, 전체 패킷에 대한 전송 시도를 수행하게 된다. 각 AC에 대한 NALU의 제거 확률을 계산한 이후, 응용계층의 스트리밍 서버는 NALU을 통해 생성된 NALU을 실시간으로 파싱하고, 미리 계산된 NALU의 제거 확률을 적용하여 필터링을 수행한 후에 하

위 계층으로 패킷 전송을 요청하게 된다.

$$Drop\_P_{AC.1} = P \times \frac{\sum_{AC=1}^3 TxFrame[AC]}{TxFrame[AC_1]} (\%) \quad (2)$$

$$Drop\_P_{AC.2} = Drop\_P_{AC.1} - 100 (\%) \quad (3)$$

크로스-레이어 기법을 이용한 패킷손실률 정보의 교환을 통해, 응용계층에서는 다른 우선순위를 가지는 H.264 비디오 데이터에 대해 각 AC별 패킷 제거 확률을 적용하여 전송 가능한 데이터와 전송이 불가능하다고 판단되는 데이터를 예측 및 구분하게 된다. 전송이 불가능하다고 판단된 데이터는 하위계층에서 전송을 위한 패킷화 및 맵핑 과정을 수행하더라도, 실질적으로 현재의 무선 네트워크 상태에서 전송될 확률이 낮으므로, 응용계층의 스트리밍 서버에서 미리 제거함으로써 불필요한 시스템 리소스의 낭비를 예방하고 큐의 오버플로우가 발생하는 것을 예방함으로써 사용자에게 보다 나은 품질의 스트리밍 서비스를 제공할 수 있게 된다.

## 2. 구현 내용

IEEE 802.11e는 기존 무선랜 표준과 다르게 서비스 차별화를 제공하기 위해 4개의 AC를 제공하며 각각의 AC별로 서로 다른 매체접근 파라미터를 설정하게 된다. IEEE 802.11e 기반의 무선랜 시스템 환경 설정을 위해 본 논문에서는 Atheros 칩 기반 무선랜카드 리눅스 드라이버인 MADWIFI (Multiband Atheros Driver for WIFI)를 사용하

표 1. MADWIFI가 제공하는 파라미터 구분

Table 1. 802.11 metrics offered by the MADWIFI

구분	정의	예
Configuration Metrics	802.11 디바이스의 설정 정보	사용 채널 수 전송 큐의 개수
Aggregated Metrics	802.11 디바이스의 사용에 관한 전체 상태 정보	전체 전송된 프레임 수 전체 손실 프레임 수 RTS/CTS exchange를 사용한 전송 프레임 수
Per Neighbor/Link Metrics	특정 링크(Neighbor)와 관련된 정보	특정 링크로 전송된 프레임 또는 바이트 수 특정 링크로부터 수신된 프레임/바이트 수

였다. MADWIFI 드라이버는 무선 노드의 무선랜 서비스 접속을 위한 클라이언트 디바이스 드라이버로서의 기능의외에, AP(Access Point) 모드, Ad-Hoc 모드 등의 다양한 기능을 제공하며, 본 논문에서 다루고 있는 IEEE 802.11e EDCA 모드를 지원하고 있다. 또한 MADWIFI에서는 무선랜카드의 성능을 조절하고 무선 채널의 상태를 분석할 수 있는 여러 상태 및 통계 정보를 제공한다. 표 1은 MADWIFI가 제공하는 파라미터를 3가지로 분류한 것으로, Configuration metrics는 무선랜의 설정과 관련된 파라미터를, Aggregated metrics와 Per Neighbor/Link metrics는 무선 채널의 상태 및 통계 정보와 관련된 파라미터이다<sup>[7]</sup>.

본 논문에서 제안하는 기법은 H.264 비디오 스트리밍 서비스를 제공할 수 있는 스트리밍 서버를 통해 대부분 구현되었다. 서버에서는 클라이언트에 대한 스트리밍 서비스뿐만 아니라, NALU과 AC에 대한 맵핑을 위해 실시간으로 NALU을 파싱할 수 있는 H.264 스트림 파서를 구현하였다. IEEE 802.11e의 EDCA는 앞서 기술한 MADWIFI를 기반으로 전체 패킷손실률을 계산할 수 있도록, 최소한의 수정을 통해 구현하였다. MAC 계층과 응용계층과의 크로스-레이어 기법은 Ad-hoc 네트워크를 위한 크로스-레이어 인터페이스인 XIAN (Cross-layer Interface for wireless Ad-hoc Network)을 일부 기능을 이용하여 구현하였다<sup>[8]</sup>.

그림 7은 제안하는 기법에서 가장 중요한 부분인, NALU에 대한 AC별 맵핑하는 과정을 보여준다. 스트리밍 서버는 H.264 스트림 파서를 통해 NALU에 포함되어있는 데이터의 우선순위 및 데이터 타입을 알게 된다. 데이터의 우선순위에 따른 하위계층에서의 적절한 맵핑을 위해, 실제 NALU의 우선순위는 setsockopt()라는 소켓함수의 호출을 통해 IP 패킷의 ToS (Type of Service) 필드로 설정되게 된다. MADWIFI 드라이버에서는 전송 요청된 IP 패킷의 ToS 필드를 파싱하고, ToS 필드 정보를 바탕으로 우선순위에 따라 적절한 AC로 패킷을 큐잉시킨다. 이후, 각 AC별 서로 다른 매체접근 우선순위에 따라 무선 채널을 차등적으로 점유하고 큐잉된 패킷을 전송할 수 있게 된다. 클라이언트 측에서는 서버로부터 전송된 패킷을 재생하는 역할을 하며, H.264 스트림에 대한 디코딩이 가능한 VideoLAN 클라이언트 프로그램을 사용하였다<sup>[9]</sup>.

#### IV. 실험 및 성능 평가

##### 1. 실험 환경

제안하는 크로스-레이어 기반 H.264 스트림 전송기법의

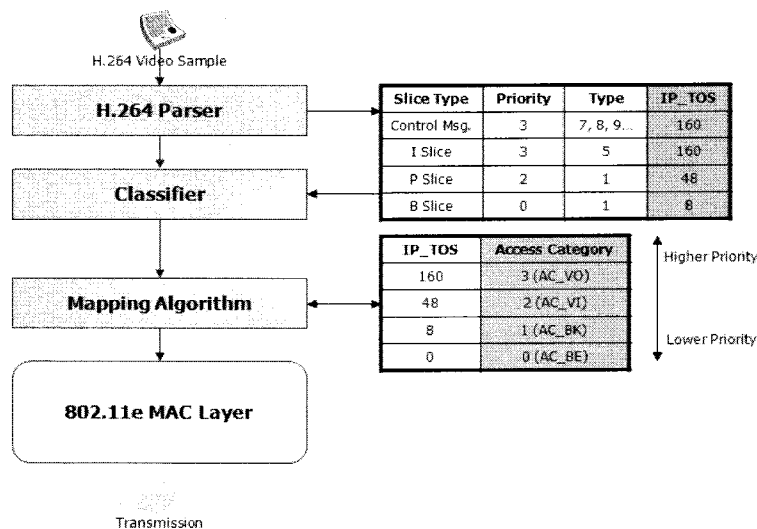


그림 7. NALU에 대한 AC별 맵핑 과정  
Fig 7. Mapping the NALU to ACs

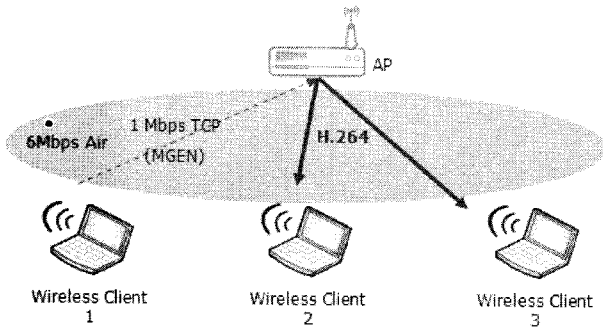


그림 8. 실험 환경  
Fig 8. Test environment

성능 검증을 위해 그림 8과 같은 실험 환경을 설정하였다. AP의 무선랜 인터페이스는 Atheros 칩기반으로 802.11a/b/g를 지원하는 Netgear WAG 311을 사용하였으며 MADWIFI 드라이버를 통해 IEEE 802.11e EDCA 모드로 동작하게 된다. AP의 전송률은 IEEE 802.11g의 6Mbps로 고정하였다.

무선 채널의 경쟁 상황을 위해 3개의 WSTA를 배치하고 AP에서는 모든 WSTA에 동시에 데이터를 전송하도록 하였으며, 경쟁 트래픽으로서, WSTA1에서는 MGEN (Multi Generator)을 통해 1Mbps의 TCP 트래픽을 발생시키도록 하였다<sup>[10]</sup>. WSTA2의 경우, 기존 DCF 모드와 유사하게 모든 데이터를 AC\_0로 맵핑해서 전송하도록 하였으며, WSTA3의 경우, 본 논문에서 제안하는 크로스-레이어 기반의 네트워크 적응적인 전송기법을 통해 전송 가능한 데이터만을 우선순위에 따라 전송하도록 하였다.

사용한 비디오 샘플은 H.264로 코딩된 "city"를 사용하였으며 1.6Mbps로 초당 25프레임으로 인코딩되어 있다. 각

표 2. AC별 파라미터 설정  
Table 2. Setting the AC parameters

	CW_min	CW_max	AIFS	Retry_limit
AC_3	2	7	50	8
AC_2	7	15	50	8
AC_1	15	31	50	4
AC_0	31	1023	70	4
DCF	31	1023	50(DIFS)	8

AC에 대해 설정한 QoS 파라미터를 표 2에 정리하였으며, 우선순위가 높은 AC에 대하여 상대적으로 높은 매체접근을 위해 각 AC별 최소, 최대 CW와 AIFS를 설정하였다.

## 2. 성능 검증

AP로부터 3개의 WSTA에 동시에 경쟁트래픽과 H.264 스트림을 전송했을 경우, WSTA2와 WSTA3의 전송률 변화를 그림 9에 나타내었다. 기존 DCF를 에뮬레이션하기 위해 모든 데이터를 AC\_0로 전송하는 WSTA2에 비교하여, 데이터의 우선순위에 따라 차등적인 매체접근 기회를 제공하는 WSTA3의 경우, WSTA2에 비교해 매체접근에 대한 우선권을 갖기 때문에 상대적으로 조금 더 높은 전송률을 보이게 된다.

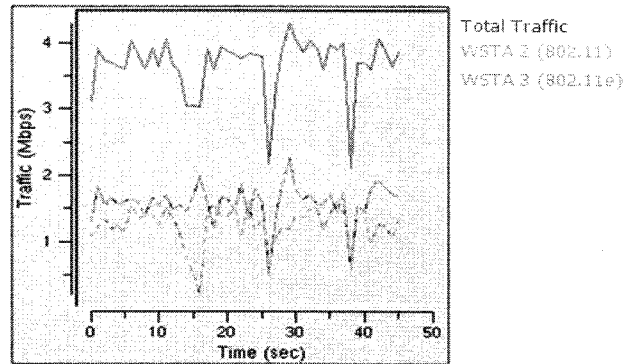


그림 9. 전송률 변화  
Fig 9. Throughput changes

무선 채널에 대한 대역폭의 경쟁으로 WSTA2와 WSTA3로 전송되는 스트림에서는 패킷손실이 발생하게 된다. 또한 WSTA2의 경우, 제한된 대역폭으로 인해 전송하지 못하고 큐잉된 데이터가 점점 많아지게 되며 전송 큐의 오버플로우에 의해 패킷손실이 발생할 가능성을 가지게 된다. 하지만 본 논문에서 제안하는 크로스-레이어 기법에서는 AC별 패킷손실률을 기반으로 응용계층의 스트리밍 서버에서 데이터를 필터링 (전송이 불가능하다고 판단되는 데이터를 미리 제거)함으로써 전송 가능한 데이터만을 처리하여 큐잉하며, 우선순위에 따라 중요한 데이터부터 전송하게 된



다. 따라서 WSTA3는 디코딩에 필요한 중요 데이터를 우선적으로 수신하게 되고, 상대적으로 우선순위가 낮은 데이터는 현재 네트워크의 상태에 따라 적응적으로 수신하게 된다.

본 논문에서 제안하는 기법을 통해 비디오 스트림을 수신한 WSTA3는 수신한 데이터를 성공적으로 디코딩하여 사용자에게 끊김없이 부드러운 영상재생 서비스를 제공하게 된다. 하지만 기존의 전송기법을 통한 WSTA2의 경우, 네트워크 상태에 대한 고려없이 모든 데이터에 대한 전송 시도를 하게 되고 지속적인 패킷손실로 인해 영상재생이 끊기는 현상이 발생하게 된다. 이를 확인하기 위해 WSTA에 설치된 VideoLAN 클라이언트 프로그램을 통해 영상재생의 성능을 실험하였고, 그 결과를 그림 10과 그림 11에 나타내었다. 약 50초의 서비스 시간동안 WSTA2의 경우,

16초, 27초, 39초 시점에서 클라이언트 프로그램의 버퍼 언더플로우의 영향으로 영상재생이 끊기고, 재생이 멈추는 문제점을 확인할 수 있었으며 재버퍼링을 해줌으로써 다시 재생을 시작할 수 있었다. 하지만, 제안하는 크로스-레이어 기법을 통해 서비스하는 WSTA3의 경우, 스트리밍 서버측에서 네트워크 상태를 기반으로 전송이 불가능하다고 판단되는 데이터를 우선순위가 낮은 데이터부터 미리 제거함으로써, 영상재생에 있어 경미한 열화가 발생하지만, 영상재생의 끊김이나 멈추는 문제없이 부드럽게 재생이 되는 것을 확인할 수 있었다.

본 논문에서 제안하는 네트워크 적응적인 H.264 비디오 스트리밍 시스템 구현과 병행하여 H.264 스트림 파서를 구현하였다. 그림 12는 구현한 H.264 스트림 파서의 실행 모습을 나타낸 것으로, H.264 NALU의 파싱과정에서 얻어진 정보를 텍스트 파일로 저장한 후, 해당 파일로부터 파싱 정보를 출력하고 본 논문에서 제안한 기법에 의해 결정된 H.264 데이터의 전송 여부를 보여준다. 기본적으로 H.264 비디오 스트림에 대한 기본적인 정보를 상단 왼쪽에 나타내고 있으며, 상단 오른쪽에는 전체 프레임의 수와 프레임 타입별 프레임 수, 그리고 전송된 프레임과 네트워크 상태를 기반으로 전송 요청을 하지 않은 프레임의 수를 보여주고 있다. 하단에는 각 NALU의 파싱 결과를 나타낸 것으로 NALU의 번호부터 크기, 우선순위, 프레임 타입과, 마지막으로 전송여부까지 나타내고 있다. 성능 검증 결과에서는 20번 NALU의 예처럼, 가장 낮은 우선순위를 가지는 B 프

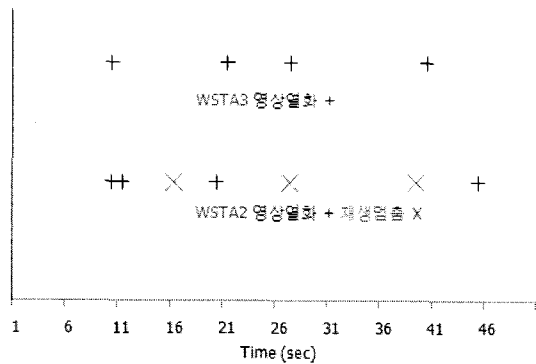


그림 10. 성능 검증  
Fig 10. Performance evaluation

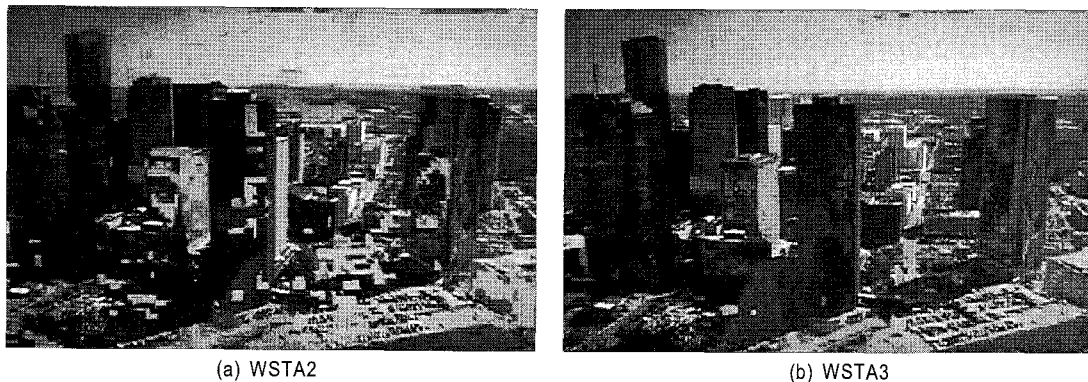


그림 11. 영상 품질 비교  
Fig 11. Video quality comparison

레이의 경우, 크로스-레이어를 통한 패킷손실률을 바탕으로 약 10%의 패킷을 스트리밍 서버에서 미리 제거하는 것을 확인할 수 있었다.

The screenshot shows the H.264 Stream Parser interface. It includes a 'Stream Information' section with details like 'Stream Name: sample.264', 'Run Time: 60 sec', 'Frame Rate: 25fps', and 'Resolution: 640x480'. A 'Statistics' section shows 'Total Frames: 1254', 'Control Frames: 40', 'I-Frames: 32', 'P-Frames: 1124', and 'B-Frames: 1158'. The main part of the image is a table titled 'NAL Unit Information' with columns for NAL Unit No., NAL Unit Size, Priority, Slice Type, Frame Type, Frame No., and Transmission. The table lists 21 entries, including Sequence Parameter Set, Picture Parameter Set, and various I, P, and B frames.

NAL Unit No.	NAL Unit Size	Priority	Slice Type	Frame Type	Frame No.	Transmission
1	35	High	Sequence Parameter Set	Control MSG	0	☑
2	8	High	Picture Parameter Set	Control MSG	0	☑
3	31073	High	Coded Slice of IDR picture	I-frame	0	☑
4	31073	High	Coded Slice of IDR picture	I-frame (frag)	0	☑
5	31073	High	Coded Slice of IDR picture	I-frame (frag)	0	☑
6	31504	Medium	Coded Slice of non-IDR picture	P-frame	1	☑
7	2083	Low	Coded Slice of non-IDR picture	B-frame	2	☑
8	2019	Low	Coded Slice of non-IDR picture	B-frame	2	☑
9	12381	Medium	Coded Slice of non-IDR picture	P-frame	2	☑
10	2440	Low	Coded Slice of non-IDR picture	B-frame	3	☑
11	2125	Low	Coded Slice of non-IDR picture	B-frame	3	☑
12	12780	Medium	Coded Slice of non-IDR picture	P-frame	3	☑
13	2132	Low	Coded Slice of non-IDR picture	B-frame	4	☑
14	2132	Low	Coded Slice of non-IDR picture	B-frame	4	☑
15	12925	Medium	Coded Slice of non-IDR picture	P-frame	4	☑
16	2014	Low	Coded Slice of non-IDR picture	B-frame	5	☑
17	2080	Low	Coded Slice of non-IDR picture	B-frame	5	☑
18	13505	Medium	Coded Slice of non-IDR picture	P-frame	5	☑
19	2178	Low	Coded Slice of non-IDR picture	B-frame	6	☑
20	1854	Low	Coded Slice of non-IDR picture	B-frame	6	☑
21	14925	Medium	Coded Slice of non-IDR picture	P-frame	6	☑

그림 12. H.264 스트림 파서  
Fig 12. H.264 stream parser

### V. 결론

본 논문에서는 크로스-레이어 기반의 네트워크 적응적인 H.264 비디오 스트림 전송기법에 대해 기술하였다. 제안하는 기법은 무선 네트워크에서 시간 제약을 가지는 멀티미디어 서비스를 고려하여 제안된 무선 매체 접근 기법인 IEEE 802.11e EDCA를 기반으로 하며, 무선 네트워크의 상태를 고려한 네트워크 적응적인 비디오 스트림 전송을 위해 크로스-레이어 기법을 적용하였다. IEEE 802.11e의 AC별 패킷손실률을 기반으로 현재 무선 네트워크 상태를 측정하고, 이를 크로스-레이어를 통해 응용계층에 알려줌으로써, 서버 응용 프로그램은 네트워크 적응적으로 전송되는 H.264 비디오 스트림의 전송량을 조절하게 된다. 즉, 현재 무선 네트워크 상태에서 전송이 불가능하다고 판단되는 데이터 성분을 미리 제거함으로써 시스템의 리소스

를 보다 효율적으로 사용하게 되며, 우선순위가 높은 데이터를 우선적으로 전송하고 패킷 손실을 줄임으로써 사용자에게는 보다 나은 서비스 품질을 제공하게 된다. 실제 스트리밍 서버와 클라이언트로 이루어진, 시스템 구현을 통해 성능검증을 수행하였으며, 본 논문에서 제안하는 기법이 사용자에게 끊임없이 부드러운 비디오 스트리밍 서비스를 제공할 수 있음을 확인하였다.

향후, 본 논문에서 사용한 패킷손실률을 이용한 방법이 아닌, 대역폭 측정 기법과 같은 무선 네트워크의 상태를 보다 정확하게 측정하는 기법으로 적용할 필요성이 있으며 또한 향상된 무선 매체 접근 방법의 적용을 통해 보다 향상된 비디오 스트리밍 전송 기법으로의 발전이 필요하다.

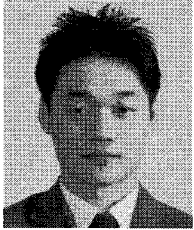
### 참고 문헌

- [1] Joint Video Team of ITU-T and ISO/IEC JTC 1. "Draft ITU-T Recommendation and Final Draft International Standard of Joint Video Specification (ITU-T Rec. H.264 ISO/IEC 14496-10 AVC)", Joint Video Team (JVT) of ISO/IEC MPEG and ITU-T VCEG, JVT-G050, 2003.
- [2] S. Wenger, "H.264/AVC over IP," IEEE Transactions on Circuits and System for Video Technology, vol. 13, no. 7, pp. 645-656, July 2003.
- [3] IEEE, "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Medium, Access control (MAC) Enhancements for Quality of Service (QoS)," IEEE Standard 802.11e, Draft 8.0, February 2004.
- [4] D. Gu and J. Zhang, "QoS Enhancement in IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks," IEEE Communications Magazine, vol. 41, issue 6, pp. 120-124, June 2003.
- [5] A. Ksentini, A. Gueroui, and M. Naimi, "Improving H.264 Video Transmission in 802.11e EDCA," IEEE International Conference on Computer Communications and Networks, pp. 381-386, October 2005.
- [6] A. Ksentini, A. Gueroui, and M. Naimi, "Toward an Improvement of H.264 Video Transmission over IEEE 802.11e through a Cross-Layer Architecture," IEEE Communications Magazine, vol. 44, issue 1, pp. 107-114, January 2006.
- [7] Multiband Atheros Driver for WIFI(MADWIFI), <http://www.madwifi.org>.
- [8] H. Aiache, V. Conan, J. Leguay, and M. Levy, "XIAN: Cross-layer Interface for Wireless Ad-hoc Networks," In Mediterranean Ad-hoc Networking Workshop, June 2006.
- [9] VideoLAN media player(VLC), <http://www.videolan.org/vlc>.
- [10] Multi Generator(MGEN), <http://pf.itd.nrl.navy.mil/mgen/mgen.html>.

---

 저 자 소 개
 

---

**이 선 현**

- 2003년 : 광운대학교 전자공학부 학사
- 2005년 : 광운대학교 전자통신공학과 석사
- 2005년 ~ 현재 : 광운대학교 전자통신공학과 박사과정
- 주관심분야 : 인터넷 QoS, 스트리밍 프로토콜, 무선 MAC 기술

**정 광 수**

- 1981년 : 한양대학교 전자공학과 학사
- 1983년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
- 1991년 : 미국 University of Florida 전기공학과 박사(컴퓨터공학전공)
- 1983년 ~ 1993년 : 한국전자통신연구원 선임연구원
- 1991년 ~ 1992년 : 한국과학기술원 대우 교수
- 1993년 ~ 현재 : 광운대학교 전자공학부 교수
- 주관심분야 : 인터넷 QoS, 스트리밍 프로토콜, 유비쿼터스 센서 네트워크