

# 비디오 센서 망에서의 감시 체계를 위한 저지연/적응형 영상전송 기술 연구

이 인 웅\*, 김 학 섭\*, 오 태 근\*, 이 상 훈<sup>o</sup>

## Study on Low Delay and Adaptive Video Transmission for a Surveillance System in Visual Sensor Networks

In-woong Lee\*, Hak-sub Kim\*, Tae-geun Oh\*, Sang-hoon Lee<sup>o</sup>

### 요 약

비디오 센서 망을 이용한 무인 감시 체계에서는 고용량의 영상 정보를 왜곡 없이 전송하는 것이 중요하다. 하지만, 무선 채널의 특성상 왜곡 발생이 최소화 되도록 처리할 경우, 불필요한 전송 신호의 추가 또는 정보의 재전송 등으로 인해, 전송 자체의 지연을 초래하는 효과로 연결된다. 따라서 비디오 센서 망 기반의 감시 체계는 무인 체계와 운용자 사이 또는 무인체계들 사이에 고용량의 영상 정보를 압축하면서, 실시간 정보의 특성에 알맞도록 지연시간을 줄이고 시시각각 변화하는 감시 체계에 적합하게 전송할 수 있는 저지연/적응형 영상 전송 기술을 설계하는 것이 중요하다. 본 고에서는, 무인체계의 전체 시스템 프로토콜을 상기의 목표에 맞게 설계하고, 다양한 무선 환경에서 실현할 수 있는 영상전송 기술을 소개 한다. 원활한 무인체계 통신단말 운용을 위해 대용량의 다채널 영상 정보를 효율적이면서 지연이 적게 압축하고, 통신 상태 변화에 따라 유연하게 크로스 레이어 관점에서 영상의 정보를 계층적 부호화 (Layered Coding)를 기반으로 우선 순위에 기반하여 저지연 및 적응적으로 전송하는 기술을 소개한다.

**Key Words** : Low delay, adaptive video, visual sensor, packet priority, end-to-end delay

### ABSTRACT

Even if it is important to transmit high rate multimedia information without any transmission errors for surveillance systems, it is difficult to achieve error-free transmission due to infra-less adhoc networks. In order to reduce the transmission errors furthermore, additional signal overheads or retransmission of signals should be required, but they may lead to transmission delay. This paper represents a study on low delay and adaptive video transmission for the unmanned surveillance systems by developing system protocols. In addition, we introduce an efficient and adaptive control algorithm using system parameters for exploiting unmanned surveillance system properly over multi-channels.

\* 본연구는 방위사업청 및 국방과학연구소의 지원에 의한 개별기초연구(과제번호: ADD-10-01-02-04, 계약번호: UD130008DD)의 일환으로 수행되었음.

◆ First Author : Yonsei University Department of Electrical and Electronic Engineering, mayddb100@yonsei.ac.kr, 학생회원

○ Corresponding Author : Yonsei University Department of Electrical and Electronic Engineering, slee@yonsei.ac.kr, 정회원

\* Yonsei University Department of Electrical and Electronic Engineering, khsphillip@yonsei.ac.kr, tgoh27@yonsei.ac.kr

논문번호 : KICS2014-03-097, Received March 19, 2014; Revised May 8, 2014; Accepted May 8, 2014

## I. 서론

최근까지 비디오 센서 망을 이용한 감시 체계 시스템에 관한 연구들이 활발히 진행 되어 왔다<sup>1,2</sup>. PTZ (Pan-Tilt-Zoom) 카메라 환경의 감시 체계에서 물체를 추적하는 방법을 파티클 필터를 적용하여 제안하거나<sup>1</sup>, 멀티 카메라를 이용하여 오브젝트를 추정하는 방법에 대한 연구들이 이루어져 왔다<sup>2</sup>. 위와 같은 감시 체계에 대한 여러 연구들을 보면 카메라의 물체 추적 기능에 주로 연구의 초점을 맞추었던 것에 반해 통신 및 네트워크 차원에서의 카메라 센서에 대한 연구는 찾아보기가 힘들다.

이런 연구의 흐름과는 반대로 카메라 기반의 센서로 구성된 감시 체계에서는 신속성을 요하는 기술을 필요로 한다. 이는 침입자가 발생했을 시에 보다 빠른 인지과 대처를 하기 위해서이다. 국방에서의 감시에는 적의 공격 등에 의한 방어적인 부분에서 카메라가 활용이 될 수 있는데 적외선 카메라의 경우도 많이 활용이 된다.

기존 연구<sup>3</sup>에서는 카메라의 영상 촬영과 네트워크를 연동하여 시스템을 구성하여 카메라 기반의 센서 기기와 통신 네트워크를 연결하는 시도를 하였다. 하지만 이것은 신속성을 목표로 한다기 보다는 네트워크의 에너지 관점에서의 최적화를 이루었기 때문에 이 역시 신속성을 요하는 기술과는 거리가 있다. 따라서, 비디오 센서 망 기반의 실시간 감시 체계에서는 전송 지연이 중요한 평가 척도가 될 수 있다.

PSNR (Peak Signal to Noise Ratio)와 SSIM (Structural Similarity) 은 비교 분석한 것을 확인할 수 있는 가장 널리 사용되는 화질 평가 메트릭이다<sup>4,5</sup>. 두 메트릭은 모두 화질이 어떤 영상 처리나 통신 채널을 거쳐서 변형이 되었을 때 얼마만큼 기존 이미지에 비해 열화가 되었는지에 대한 척도를 제시해주고 있다. 또한, 두 메트릭은 원본 영상과의 비교를 통해 화질을 평가하기 때문에, 수신 단에서 실시간으로 영상의 화질을 평가해야 하는 비디오 센서 망 기반의 감시 체계에서는 적용하기 어렵다. 따라서, 비디오 센서 망에서 영상 전송 기술의 성능 평가에 관한 척도도 중요한 문제가 된다.

따라서, 본 논문에서는 사람의 시각 및 서비스 시스템의 특성에 기반한 화질 평가 방법들을 소개한다. 한 연구<sup>6</sup>에서는 영상을 통해 획득 및 전달할 수 있는 시각 정보의 양을 “Visual Entropy”라 정의하고, 이에 기반하여 영상의 화질을 정의하였다. 영상 내에서도 특정 영역의 영상 정보가 다른 영역의 영상보다 시각

적으로 중요할 수 있기 때문에, 이들 영역을 탐지하기 위한 관심 영역 추출 (Saliency Detection) 기술과 목표물 추적 (Object Target Tracking) 기술은 화질 평가에 있어 중요하다.

본 논문에서는 감시 체계의 성능을 위해서 필요한 관점에서 화질의 향상과 실시간 감시 체계의 특성을 지원하기 위한 통신 입장에서의 지연 속도 향상을 위한 기술들을 소개한다. 특히, 영상 화질 입장에서는 계층적 영상 부호화 (SVC: Scalable Video Coding) 을 사용하여 화질이 통신 상황의 열화에 따라서 심하게 떨어지지 않도록 하였고 통신 입장에서는 긴급한 전송을 위해 영상의 우선 순위를 결정하여 전송하는 맥 알고리즘을 사용하였다. 이는 비디오 센서 망을 사용하는 감시 체계에서 급변하는 무선 통신 환경에도 적응적 및 저지연으로 영상을 전송할 수 있는 기술이라는 점에서 특별하다.

## II. 저지연/적응형 영상전송 기술을 위한 프로토콜 설계

시스템은 비디오 센서 망에서의 감시 체계를 주된 시나리오로 하고 있으며 Fig. 1과 같이 간단히 표현할 수 있다. 감시 체계에서 각각의 센서는 비디오를 기반으로 감시를 수행하고 물체 (Object)를 잘 추적하고 추적된 물체의 영상적 분석 및 처리를 수행한다. 이때 본 논문은 각각의 센서 들은 망을 이루어 무선으로 통신을 하고 각 센서들의 통신 시에 여러 가지 영상, 트래픽, 물리적 환경 변수들을 고려한 저지연/적응형 영상 전송을 하는 것을 목표로 하고 있다.

Fig. 2는 저지연/적응형 영상전송을 위한 시스템의 개략도를 나타낸다. 일반적인 시스템과 비교하여 특징적인 사항을 서술하면 다음과 같다.

응용 계층의 전처리기 종류인 관심 영역 추출 기술

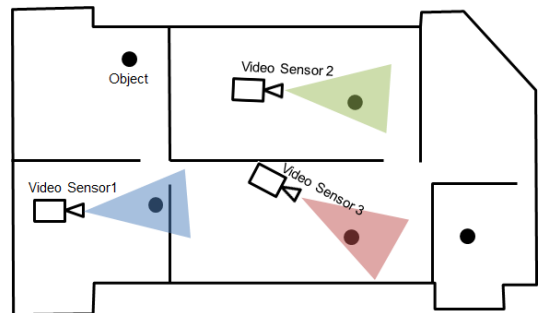


그림 1. 비디오 센서 기반의 감시 체계 예시  
Fig. 1. Example of video sensor based surveillance system

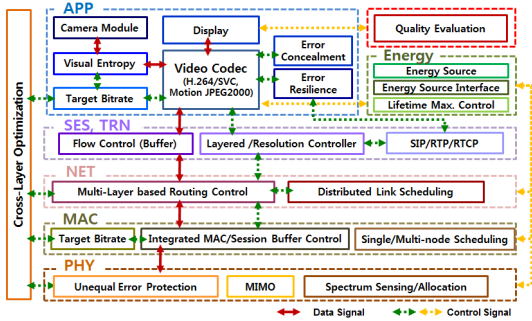


그림 2. 시스템의 계층별 개략도  
Fig. 2. Concept of open interface system

은 영상 내 관심 영역 추출하는 것으로 HVS (Human Visual System) 을 기반으로 하여 영상의 특징 점을 뽑아내는 과정을 의미한다. 이는 이후 과정에서 실제 인간이 느끼는 영상을 추출하는 지표로서 이용될 수도 있다<sup>10-12</sup>. 관심 영역 추출 기술과 같은 전처리 기술로 쓰이는 목표물 추적 기술은 주어진 잡음이 섞여 있는 관측 자료를 활용하여 선형 혹은 비선형 움직임 모델을 갖는 사물을 추적하기 위해 사용된다. 가장 널리 사용되는 방식으로 선형 움직임을 추적할 수 있는 칼만 필터 (Kalman Filter)와 비선형 움직임을 추적하는 파티클 필터 (Particle Filter)가 사용 된다<sup>13,14</sup>.

응용 계층은 최신 영상 부호화 기술<sup>7</sup>을 기반으로 전송 우선순위 결정을 위한 전처리기인 관심 영역 추출 기술, 촬영 목표를 따라가기 위한 전처리기인 목표물 추적 기술, 전송량 제어를 위한 Target Bitrate 기술, 그리고 무선 채널 상의 오류 및 왜곡을 수정, 보완하는 Error Concealment, Error Resilience 기술 등을 담당하고 있다. 이는 완벽한 전송이 보장되지 않는 환경에서 저지연 전송 및 고품질의 영상을 유지되게 하며 또한 순간 데이터 처리 속도의 부담도 완화할 수 있게 한다<sup>15</sup>. 다시 말해, Object 등 중요도 결정, 상황 인지기반 저지연/적응 영상 처리 및 전송기술 개발하는 역할을 담당한다.

또한 저지연 압축을 위해 BTC (Block Truncation Coding) 이 사용될 수 있다<sup>16</sup>. BTC는 Image를 지정한 Macro Block단위로 저장하는 방식으로, Block 내의 픽셀 값을 대표 값 두 개로 Mapping하는 기술이다. 이는 간단하게 구현할 수 있으면서 동시에, 높은 압축률을 얻을 수 있는 압축 방법이다. 그리고 복잡도가 낮으므로 저지연 영상 처리 및 전송기술에 적합한 압축 방식이라고 할 수 있다. 또한 기존 BTC에서의 영상 화질 열화의 단점을 극복하기 위해서 여러 개의 대푯값을 이용하여 영상을 압축하는 AQC (Adaptive

Quantized Coding)<sup>17</sup>도 저지연 영상압축에서 유용하게 활용될 수 있다.

세션 계층은 영상 전송의 지연 원인 중 하나인 세션 생성, 추가 및 소멸 등을 제어하는 SIP/RTP/RTCP 기술, 전송 단계에서의 전송률을 조절하여 수신 단계의 지연 시간을 조절하는 Flow Control 및 Traffic Smoothing 기술, 그리고 Layered Coding이 적용되거나 화면의 해상도가 변화될 때에 지연이 발생하지 않도록 세션 제어를 하는 Layered /Resolution Controller 기술을 담당하게 되는데, 이는 End-to-End 네트워크 QoS 제어 및 저지연 /적응 트래픽 제어를 통한 단말적응 및 세션 이동 에 관한 역할을 수행하는 것이다.

링크 계층은 종단 간 (End-to-End)에 발생할 수 있는 지연을 제어하려는 목적으로 다채널의 영상 정보 전송을 위한 Multi-Layer based Routing Control 기술, 분산적으로 지연 시간 발생을 제어할 수 있는 Link Scheduling 기술을 수행한다. 즉, 종단 간 네트워크 지연 제어 및 감시 상황에 적합한 데이터의 중요도 기반 라우팅을 수행하고 영상 데이터가 라우터를 지날 때 라우팅 경로와 사용자 시스템 및 데이터 중요도를 고려하여 데이터의 실시간 경로를 할당한다<sup>18</sup>.

맥 계층과 물리 계층은 무선 채널의 평균적인 전송 용량을 계산하여 상위 계층으로 전달하는 Target Bitrate 기술과 저지연을 목적으로 하며 전송 매체의 우선순위가 반영된 버퍼 기술을 보유한 Buffer Control & Scheduling 기술 및 각 통신 장비의 주변 상황에 적합한 영상 정보의 전송을 위한 Spectrum Sensing/Allocation 기술, 영상 정보의 우선순위 및 중요도에 맞는 UEP 전송 기술, 그리고 고효율 영상 데이터 전송을 위한 Multi-Input Multi-Output (MIMO) 기술의 연동을 담당한다. 이는 영상데이터 중요도 기반의 Buffer 제어 기술 및 무선자원과의 Cross-Layer 최적화 기술과 영상데이터 중요도 기반의 전송용량 제어 및 저지연/고용량을 위한 MIMO기반 전송기술과 연결된다. 이 같은 방법을 통해, 통신망의 용량을 고려한 실시간 영상 데이터 전송은 고품질의 정보를 사용자에게 전달함과 동시에 네트워크 부하도 줄일 수 있다<sup>13</sup>. 이때 가장 중요한 것은 영상 콘텐츠의 중요도를 어떻게 정량화 하고 이를 무선 자원에 어떻게 연결을 지을 지에 대한 고민이다. 앞서도 언급한 것이지만 영상 어플리케이션의 Saliency Detection과 Object Target Tracking 그리고 영상 압축과 같은 과정들은 화질 평가와 관련한 중요한 고려사항들이 된다. 또한 이런 개념들은 직접적으로 맥에서 이루어지

는 무선 자원의 할당과 같은 문제를 풀 때에 연결되어서 활용이 될 수 있다.

화질평가 계층에서는 시각 체계의 인지적 특성에 기반 함으로써 보다 정확하게 영상의 화질을 평가할 수 있다. 사람의 눈이 저주파 성분에 민감하고 고주파 성분에는 둔감하다는 시각적 특성<sup>[19]</sup>을 기반으로 하는 영상의 저지연 혹은 적응형 전송의 화질평가 기술과 전송 과정에서의 지연을 고려한 성능평가 기술을 통해 감시체계가 전송 수신하는 영상의 화질평가 및 영상 전송 알고리즘의 성능을 평가할 수 있다. 또한, 보다 현실감 있는 영상을 전송하기 위해, 비디오 센서 망을 이용한 3D 영상의 촬영 및 전송을 위한 기술 개발이 이루어지고 있으며, 수용은 점차 증가할 것이다. 하지만, 이와 같은 3D 영상은 보다 많은 데이터 전송을 필요로 하며, 전송 오류에 더 민감하다. 이와 같은 전송 오류는 3D 영상의 피로도를 급격히 증가시킨다. 따라서, 3D 영상의 화질 및 피로도 평가의 중요성이 점차 증가하고 있으며, 이에 대한 연구도 점차 활발해지고 있다<sup>[20]</sup>.

마지막으로 크로스레이어 최적화 계층은 저지연/적응형 영상 전송을 위해 전 계층을 아우르는 핵심 기술로서, 각 계층에서 도출된 파라미터 들을 이용하여 원활하고 신속하게 영상 전송이 이루어질 수 있도록 전 계층을 유기적으로 통합한 후에 최종 솔루션을 제공하는 역할을 담당한다. 여기서 주로 최대화하는 요소는 앞서 언급한 엔트로피인데 영상 단에서의 압축 혹은 프로세싱 파라미터의 조절이나 링크 계층의 라우팅 경로라든지 맥이나 물리 단에서의 파워 및 액세스 조절이 크로스 레이어 최적화에 이용이 될 수 있다.

### III. 영상전송을 위한 각 프로토콜 별 핵심 기술

여기서는 소단원에 관한 내용을 간단히 살펴본다. 여기서는 소단원에 관한 내용을 간단히 살펴본다.

#### 3.1 응용 계층 (Application layer)

Fig. 3은 응용 계층이 가지고 있는 처리 모듈들에 대한 개략도를 나타낸다. 응용 계층은 데이터의 중요도를 기반으로 저지연/적응형 영상 처리를 수행한다. 획득한 영상 정보의 중요도 및 무선 채널 상황에 기반해 전송 용량을 할당 하며, 전송 에러로 인한 화질 열화 방지를 위해 에러의 전파를 회피/은닉하는 기술을 포함한다. 높은 우선순위를 가진 정보에 높은 신뢰도의 전송 경로를 할당하고, 전처리를 통해 영상의 각 영역에 차등적인 전송률을 배분함으로써, 실시간 감시

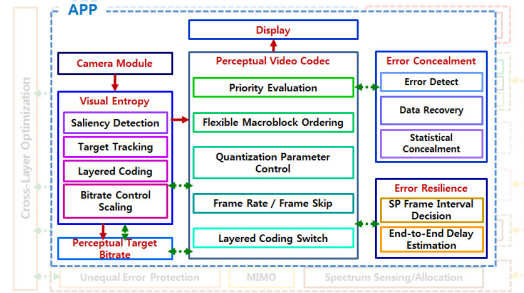


그림 3. 응용 계층의 개략도  
Fig. 3. Concept of application layer

체계에서 제한된 무선 자원으로도 중요한 영상 정보에 대해 신뢰성 있는 전송이 가능하다.

본 고의 관심 영역 추출 모듈<sup>[12]</sup>에서는 영상 시청 시의 인간의 시각적 특성을 추출하고, 이를 수학적으로 모델링 함으로써, 효과적인 관심 영역 추출을 가능하게 하였다. 모든 영상에 대한 인간의 보편적인 시각적 특성을 추출하는 것은 한계가 있으므로, 본 고에서는 Motion기반의 Scene Classification을 수행하고, 이에 따라 적응적으로 인간의 시각적 특성을 Eye-tracker<sup>[21]</sup>를 통해 추출하였다. 이를 바탕으로, 영상 내 휘도 (Luminance), 색차 (Color), 움직임 (Motion) 등을 활용하여 영상 내 관심영역을 효율적으로 추출하였다. 본 논문에서는 <sup>[22]</sup>의 데이터베이스를 활용하여 관심 영역 추출을 수행하였다<sup>[23,24]</sup>. Fig. 4는 관심 영역 추출 결과를 보여준다. 이를 살펴보면, 각각의 영상에서 시각적 관심영역을 정확하게 추출하



그림 4. 관심 영역 추출 결과  
Fig. 4. Result of saliency detection

는 것을 확인할 수 있다.

추적 (Tracking)기술의 대표적인 알고리즘인 칼만 필터는 잡음이 포함되어 있는 다이나믹 시스템의 상태를 효과적으로 추적하는 재귀 필터로서 Computer Vision, Robotics 등의 분야에서 사용되었다. 하지만 대상의 움직임이 선형이며 잡음은 Gaussian 분포를 따라야 한다는 한계가 있다. 파티클 필터는 Monte-Carlo Approximation의 원리를 활용한 추적 알고리즘이다. 다수의 샘플들을 만들어내어 시뮬레이션 한 후 관측 정보와 결합함으로써 대상을 효과적으로 추적한다. 칼만 필터 와 달리 비선형 시스템과 Gaussian 아닌 잡음에도 적용이 가능하다는 장점이 있다. 따라서 비디오 감시 시스템에서 대상을 추적하기 위해 파티클 필터 알고리즘들을 효과적으로 활용할 수 있다.

파티클 필터는 Bayesian Theory에 입각한 알고리즘이다. 이전 시간에서의 정보와 Motion Model이 결합하여 현재 시간에서의 Prior 정보를 만들어낸 후, 현재 시간의 Likelihood와 곱해져 Posterior를 추정한다.

각각의 샘플들은 Bayes Rule에 의해 Posterior를 만들어낸다. 목표물의 위치를 추적하는 비디오 시스템에서 우리가 얻고자 하는 State는 현재 시간의 목표물 위치이다. 영상 정보로부터 추출되는 특징은 필터에서 관측 정보가 된다. 파티클 필터는 예측, 업데이트, 추정 및 리샘플링의 과정으로 이루어진다<sup>[25][26]</sup>. 예측 단계에서는 이전 시간에서 만들어진 샘플들을 미리 정의된 Motion Model에 의해서 현재 시간에서의 새로운 분포를 만들어낸다. 업데이트 단계에서는 각각의 샘플들의 가중치를 구하고, 각 샘플들의 위치 값과 가중치의 곱들의 합으로써 현재 시간에서의 사물의 위치를 구해낸다.

Video Codec 모듈에서는 응용목적 및 통신 상태에 따라 적응적 압축 제어 알고리즘을 수행한다. 동영상 압축 기술 중 비트율 제어 기법은 압축된 데이터의 효율적인 전송과 재생된 영상의 화질을 결정하는데 중요한 역할을 한다<sup>[15]</sup>. 가변적인 채널 환경과 다양한 응용 환경에 민첩하게 대응하기 위해 Layered Coding<sup>[27]</sup>기법을 도입하여, 획득한 영상 정보를 Low Frequency를 가진 Base Layer와 화질 향상을 위한 정보를 포함한 Enhancement Layer로 구분 한다<sup>[8,9]</sup>. 그리고 Base Layer와 Enhancement Layer의 가중치를 적용하여 FMO로 구성된 각 슬라이스의 Layer Priority 지수를 도출한다. 각 영상 계층 및 각 슬라이스의 중요도에 따라 도출된 Layer Priority 지수를 통하여 우선순위를 설정하고, 이를 기반으로 차등적인

전송률을 할당함으로써, Low Frequency 영역과 High Frequency의 영역을 가진 슬라이스의 화질의 적절한 적응을 기대할 수 있다. 우선순위가 가장 높은 Base Layer를 포함한 패킷은 물리 계층에서 가장 신뢰도가 높은 경로를 통하여 전송이 이루어진다.

앞서 언급하였듯이, 영상 전송에 있어서 저지연 영상 압축은 반드시 필요한 기술이라고 할 수 있다. 기존의 H.264/AVC 압축 기술은 효율은 높지만, 높은 복잡도에 의해서 지연이 많이 발생하므로 저지연 영상 압축 및 전송에는 적합하지 않다. 따라서 본 고에서는 앞서 언급한 BTC와 AQC를 활용한 Discrete Wavelet Transform (DWT) 기반 적응형 영상 압축 알고리즘<sup>[28]</sup>을 활용하여 저지연, 고품질 영상 압축을 가능하게 하였다. 먼저 입력으로 받게되는 영상 정보에 대해서 매 프레임 단위로 DWT를 수행한다. DWT를 통해서 각 프레임은 LL, LH, HL, HH 총 4개의 영역으로 나뉘게 되고, LL영역은 저주파 성분이 모이게 된다. LH영역은 가로축 방향의 고주파 성분, HL영역은 세로축 방향의 고주파 성분이 모이게 된다. 마지막으로 HH영역에는 대각선 방향의 고주파 성분이 모이게 되고, 이러한 각 영역의 특성에 맞게 적응적으로 압축을 함으로써, 효율적인 압축을 가능하게 하였다. 이에 대해서 영상에 적응적으로 BTC와 AQC를 수행하여 효율적 압축을 가능하게 하였다. 앞서 언급하였듯이, BTC 및 AQC는 복잡도가 낮으므로 저지연 영상압축에 적합하며, DWT 역시 복잡도가 낮은 transform이므로, 저지연 영상 압축에 활용될 수 있다. 뿐만 아니라, 영상 처리를 위한 데이터가 라인메모리 (Line Memory)에 쌓여있는 시간을 최소로 줄임으로써, 저지연 영상 압축 및 전송을 가능하게 하였다. 기본적으로 H.264/AVC의 경우 16x16 매크로 블록을 사용하므로, 이에 따라 영상의 16 라인이 메모리에 채워진 이후에 영상 처리가 가능하므로 이에 따른 지연

표 1. 라인메모리 지연 결과  
Table 1. Result of line memory delay

Encoder	Description	Line Memory Delay (us)
Low-delay Encoder	DWT based Low-delay Encoder <sup>[28]</sup>	46.88
Conventional 1	H.264/AVC Block size: 4x4	185.19
Conventional 2	H.264/AVC Block size: 8x8	370.37
Conventional 3	H.264/AVC Block size: 16x16	740.74



이 나타나는 단점이 존재한다. 따라서 본 논문에서는 DWT 기반 저지연 영상 압축 시 매크로 블록 크기를 8x2로 설정함으로써, 라인메모리 지연을 최소화시킬 수 있었다. 다음 표는 압축 방식에 따른 라인메모리 지연 정도를 보여준다. 이를 살펴보면, DWT 기반 저지연 영상압축 알고리즘이 기존의 다양한 매크로블록을 갖는 H.264/AVC 알고리즘에 비해서 프레임당 최소 3.95배에서 최대 15.80배로 라인메모리 지연이 감소해서 나타나는 것을 확인할 수 있다.

이외에도 Saliency영역을 조절하여 인코딩 영역을 적응적으로 조절하는 기법과 전송 에러로 인해 슬라이스의 비트열이 손상되었을 때 에러를 은닉하는 Error Concealment 기법 등을 사용한다. 이와 함께, 감시 상황 시에 통신 상태가 나빠지는 경우, 수신단에서 이전의 복원된 정보를 활용해 현재 정보를 예측해내는 Error Resilience 기법도 저지연/적응적 영상전송 기술에 필수적이다<sup>[29,30]</sup>.

### 3.2 세션 계층 (Session layer)

Fig. 5는 세션 계층의 개략도이다. 본 계층은 응용 목적을 기반으로 한 채널 해상도 자동 변경 프로토콜을 포함한다. 카메라 기반의 감시 환경에서 영상의 해상도는 감시 체계에서 사용하는 디바이스에 따라 다양하게 다뤄지게 된다. 그런데 디바이스에 따라 해상도를 다르게 하면 세션을 조절하는 데에 지연 발생이 필연적이기 때문에 이 계층에서 발생하는 지연을 줄이는 기법 또한 중요하다.

Flow Control 및 Traffic Smoothing 모듈은 Video Codec에서 만들어진 비트스트림을 감시 체계에서의 무선 채널 및 무선 경로에 비추어 적응적으로 전송률을 조절하는 역할을 한다. 이때 중요도가 높은 영상 데이터의 저지연 전송을 위해 중요도가 낮은 나머지 데이터 트래픽의 스무딩을 생각해 볼 수 있다. 여기서

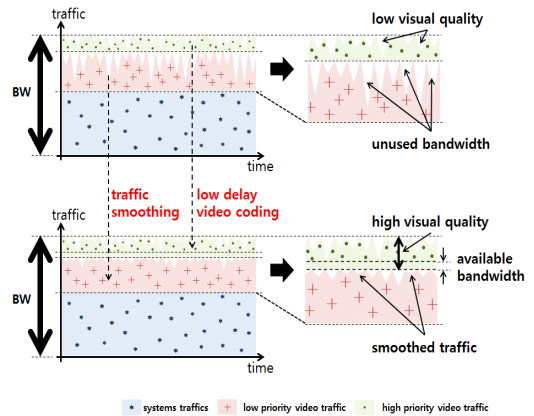


그림 6. 트래픽 관리의 개념도  
Fig. 6. Concept of traffic management

스무딩이란 트래픽의 전송률을 조금 유연하게 보내는 것을 의미한다. Fig. 6에서 볼 수 있듯이, 높은 중요도의 영상 데이터를 BTC 방법을 통해 압축함에 있어 중요도가 낮은 데이터 트래픽을 스무딩하여 Bandwidth 사용의 효율성을 향상시킬 수 있다. 이러한 방법을 통해 중요한 감시 정보 데이터를 신속하고 정확하게 감시 체계 서버로 전송한다. 이후에는 도착 IP 주소를 바탕으로 IP 패킷을 만들고, 이를 전송할 때, 수신단에서의 지연 및 버퍼 상황을 피드백 받아 전송률을 조절할 수 있다. Layered/Resolution Controller는 Video Codec에서 정보가 내려올 경우 Session을 새롭게 열고 닫는 역할을 담당하고, Session을 생성하고 소멸시키는 데에 지연을 줄일 수 있도록 하는 제어 수행이 가능하다<sup>[31]</sup>.

### 3.3 네트워크/링크 계층 (Network/Link layer)

Fig. 7은 네트워크/링크 계층이 보유하고 있는 라우팅 알고리즘을 설명하고 있다. 채널 상황 변화에 기반한 저지연 라우팅 알고리즘을 수행하며, 이는 크게 2

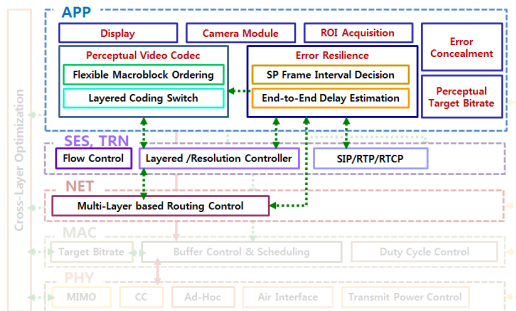


그림 5. 세션 계층의 개략도  
Fig. 5. Concept of session layer

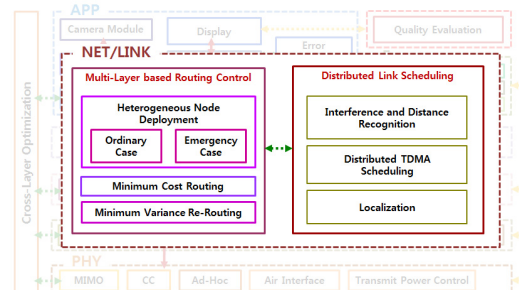


그림 7. 링크 계층의 개략도  
Fig. 7. Concept of link layer

가지 경우로 나뉜다. 첫째는 Multi-layer Based Routing Control 로써, 카메라 기반의 감시 상황에서 평상시의 감시 상황 모니터링을 비롯한 일반적인 경우, 채널 용량에 맞는 크기로 하나의 비트스트림 정보만을 다중 안테나를 이용 해 전송하는 방식이다. 두 번째는 분산적 링크 스케줄링 방법으로 네트워크의 링크 간 정보 교환이 용이하지 않은 경우에 해당한다. SINR값의 높고 낮음의 변화에 따라 통신을 수행하는 다른 카메라 기기들과의 거리를 분산적으로 추정하는 기술을 사용한다. 예를 들어 다른 카메라 기기가 인접한 거리에서 통신을 하고 있는 것을 인지할 경우, 간섭 회피를 위해 서로 다른 Time Slot에 신호를 전송할 수 있는 TDMA 기반 분산적 링크 스케줄링 방식을 사용한다.

또한 링크 계층의 경우 기존의 IP 라우팅 방식을 사용하지 아닌 SDN (Software Defined Network) 기반의 라우팅 및 관리 방식을 적용했을 경우 다양한 효과를 거둘 수 있다. 기존의 분산적인 라우팅과는 달리 SDN기반의 네트워크를 사용할 경우 컨트롤러에서 모든 네트워크 정보를 파악 가능하고, 이 정보를 바탕으로 상황에 따라 동적으로 라우팅을 수행할 수 있다. 이러한 특성으로 인해 모든 라우터의 통계를 실시간으로 파악하고 패킷의 경로 제어를 조절하여 로드 밸런싱을 수행할 수 있으며, 패킷의 종류, 수신자 또는 발신자 등에 따라서 우선순위를 부여하고, 우선순위가 높은 패킷을 넓은 대역이 확보된 경로로 전송할 수 있어, 중요한 정보를 우선적으로 보내거나 QoS(Quality of Service)를 보장하는 데 사용될 수 있다<sup>[32]</sup>.

### 3.4 맥 계층 (Mac layer)

맥 계층은 Fig. 8에서와 같이 감시 상황 시 전송 정보에 따른 차등적 Buffer Control 및 Scheduling을 수행하는 계층으로, 영상 정보의 우선순위를 기반으로 처리 순위를 조정한다. 먼저는 FMO 또는 Layered Coding을 통해 얻은 정보를 각각의 우선순위에 맞는 Buffer에 저장한다. 또한 Layer별 생성된 Group of Block (GOB) 비트스트림은 각각의 Buffer에 저장되며 이를 First In First Out (FIFO)에 따라 Scheduling한다. High Priority Buffer에 저장된 정보는 Low Priority Buffer에 저장된 정보보다 우선적으로 처리되며, High Priority Buffer에 저장되어 있는 정보가 모두 처리되기 전까지는 Low Priority Buffer의 정보는 처리되지 않고 누적된다. 이 같은 알고리즘을 통해 중요 정보의 지연 시간 발생을 최소화한다. 여기서 중요한 점은 통신 상황이 나쁠 때는 사람에게 중요한 Low

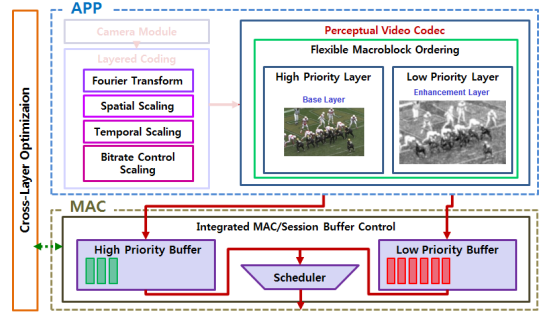


그림 8. 맥 계층의 개략도  
Fig. 8. Concept of mac layer

Frequency 영역을 우선적으로 전송하면서 사람의 시각적 Entropy를 최대화 하고 통신 상황이 좋을 때는 추가적으로 시각적인 Entropy를 높일 수 있는 High Frequency 영역을 전송하는 것으로 전체적인 시각적 Entropy를 최대화 하는 처리가 진행된다. 만약 이때 우선 순위를 고려한 맥 조절을 하지 않는다면 중요한 정보와 덜 중요한 정보 모두를 같이 잃게 되어 시각적인 Entropy 입장에서 많은 손해를 보게 된다<sup>[33]</sup>.

### 3.5 물리 계층 (Physical layer)

Fig. 9는 물리 계층이 보유할 수 있는 여러 가지 모듈을 나타낸다. 물리 계층에서는 정보의 중요도에 따른 MIMO기반의 전송을 수행한다. Unequal Error Protection (UEP)는 실시간 감시 상황에서 획득한 영상 정보의 Base/Enhancement Layer에 기반해 GOB, GOP 단위의 중요도에 따라 차등적인 Protection Level을 적용하는 기술이다. FEC를 활용하며, Base/Enhancement Layer 정보의 계층적 Power 할당을 통해 중요 정보의 Target QoS를 보장하는 Hierarchical Modulation기법을 이용한다. 이런 방법

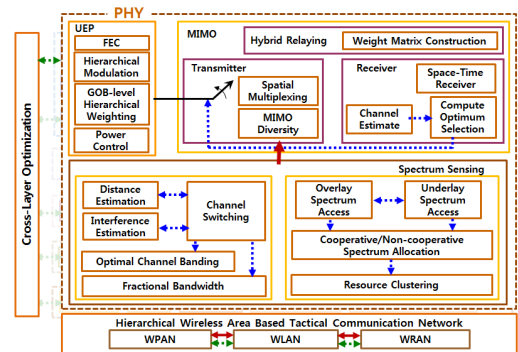


그림 9. 물리 계층의 개략도  
Fig. 9. Concept of physical layer

은 앞서 맥 계층에서 언급한 Entropy의 최대화라는 논리의 흐름과 같은 입장인데 결과적으로 중요한 정보는 Error를 적게 주도록 하고 덜 중요한 정보는 Error를 상대적으로 좀 더 나게 하더라도 전체 영상의 Entropy 입장에서는 최대화가 될 수가 있다<sup>[32]</sup>.

### 3.6 크로스레이어 최적화 계층

본 크로스레이어 최적화 계층에서는 전 계층을 아울러 유기적으로 통합한 후, 최종 솔루션을 제시한다. 각 분야의 파라미터들을 이용하여, 감시 상황에 적합하도록 저지연/고용량 영상전송에 활용하는 문제를 다루며, 상부의 인코딩 파라미터를 하부의 종단 간 지연, 노드 간 지연, Average SINR, Instantaneous BER 등 채널 특성에 적합하게 변형하는 역할을 담당한다. 그리고 무인 체계 간의 통신 상황 또는 무인 체계와 원격 운용자와의 통신 상황이 변하는 경우에는 함께 변화하는 링크, 맥, 물리 계층의 정보도 반영한다. 크로스레이어 최적화 관점에서, 각 계층의 다양한 파라미터에 대하여 최적화된 솔루션을 도출하는 것은 높은 복잡도와 구현 가능성에 대한 문제점이 존재한다. 이와 같은 크로스레이어 최적화 솔루션을 얻기 위한 접근 방식으로 Decomposition Theory 기반의 최적화 방식이 있다<sup>[35]</sup>. Decomposition Theory를 기반으로 기존의 복잡한 문제를 간략화 된 형태의 서브 문제로 분해함으로써, 각 서브 문제의 최적 솔루션을 반복적으로 업데이트하여 기존 문제의 최적화 솔루션을 얻을 수 있다<sup>[35]</sup>.

Tolerated Jitter, Maximum Sustained Traffic Rate, Maximum Traffic Burst, Minimum Reserved Traffic Rate, Minimum Tolerable Traffic Rate, 그리고 Maximum Latency 등은 응용 계층에서 도출된 인코딩 파라미터들로, 무선 채널 상황에 적응적으로 영상 정보 전송 용량을 변화시키는 역할을 한다. 그림 10의 Layer Weight는 영상 정보의 공간적 시각적 특성을

기반으로 해 중요도를 나타낸 값으로 정보의 계층적 복호화 기술에 핵심으로 작용할 수 있으며, 이러한 특성을 통신 채널 용량 값으로 환원한 Visual Entropy에 대한 정보도 이 계층에서 사용되는데, 이 값은 한 Bit 당 포함하고 있는 정보량의 상대적인 크기를 나타낸다. Cutoff Frequency는 Layered Coding 기술을 사용하였을 경우, 맥 계층의 Target Bitrate를 고려하여, 중요 정보와 비중요 정보를 구분하는 데 사용되고, Traffic Priority는 맥과 물리 계층에서 중요, 비중요 정보를 선택적으로 처리할 수 있도록 각 정보에 표시해놓은 마커 역할을 한다. 또한 Scheduling Type은 전송하는 정보의 속성이 실시간 여부를 파악하여 지연 시간 발생을 최소화 할 수 있도록 처리하는 중요한 판단 기준이 된다. 이처럼 각 계층의 기술을 바탕으로 전체 시스템 파라미터를 아울러 통합 시스템의 완성이 가능하다.

## IV. 저지연/적응형 영상 전송 실험

본 고의 영상 전송 기술의 저지연 효과는 맥 계층의 Priority 조절에 의해서 나타난다. 기존에는 Layered Coding에 의한 맥에서의 Priority 조절을 하지 않기 때문에 채널 상황에 좋은 좋지 않은 같은 양의 정보를 전달하기 때문에 채널의 열화에 의한 동일한 화질 획득을 위해서는 많은 지연 시간이 발생한다. 이에 반해 제안 하는 기술은 채널 상황이 나쁘게 되었을 경우에는 많은 양의 데이터를 보낼 수 없기 때문에 화질에 필수적으로 필요한 Base Layer 정보를 우선적으로 보내고, 채널 상황이 좋게 되었을 경우에는 화질에 성능을 향상시킬 수 있는 추가적인 Enhancement Layer 정보를 보냄으로써 채널의 상황에 적응적으로 조절한다. 저지연의 특성을 보여주기 위해서는 화질 입장에서 비슷한 수준의 PSNR 수치를 가진다는 가정 하에 얼마나 지연 시간을 줄일 수 있는지를 보이고, 화질 향상의 정도를 보여주기 위해서는 같은 양의 데이터를 보낼 때 얼마나 많은 화질 향상이 있는지를 보인다.

Fig. 11은 감시 상황에서 스트림이 긴급할 때와 긴급하지 않은 일반적인 상황에서의 트래픽의 전송률 조절을 나타낸다. 빨간 실선은 발생하는 트래픽의 속도 수준을 맞춰주면서 바로 바로 전송을 하는 긴급한 수준의 처리를 보여주고, 파란 점선은 긴급하지 않은 일반적인 스트림일 경우에 지연을 최소화 할 수 있는 수준에서 트래픽의 전송률을 낮춰주어서 다른 종류의 트래픽들이 원활하게 통신할 수 있도록 해준다.

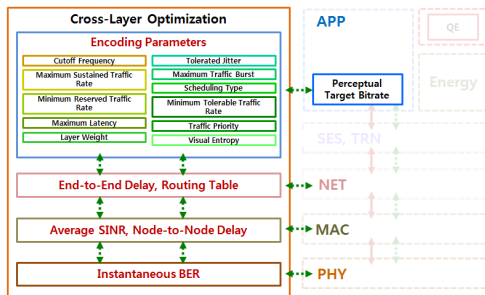


그림 10. 크로스레이어 최적화의 개념도  
Fig 10. Concept of cross-layer



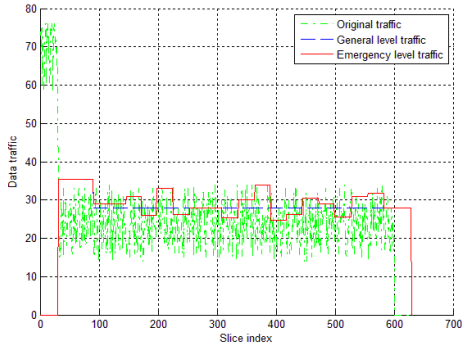


그림 11. 트래픽 스무딩  
Fig. 11. Traffic smoothing

Fig. 12는 본 논문에서 제안하는 저지연 기술 및 기존 기술을 시뮬레이션 하여 종단 간 지연의 감소 효과를 확인한 그래프이다. 제안하는 기술에는  $x$ 축은 송신 전력을 1이라 가정하였을 대비 노이즈(Noise) 전력을 상대적으로 나타낸 것으로 오른쪽으로 갈수록 노이즈 대비 파워는 증가하고 이에 따라 채널에 따른 송신의 성능이 더 좋아지고 있다. 이때 기존의 스킴에서는 모든 비디오 데이터를 전부 송신하기 때문에 Base Layer만을 송신 하고 있는 제안한 스킴에 비해서 지연속도가 거의 4배까지도 날 수 있음을 알 수 있다. 이런 지연 차이는 Base Layer와 Enhancement Layer의 데이터 용량 차이가 크면 클수록 커지고 다만 이렇게 둘의 차이가 커질 경우에는 기존의 스킴에서는 화질을 상대적으로 줄일 수 있어서 이 둘의 차이는 원하는 화질의 정도와 지연 시간을 고려하여 적절하게 조절할 필요가 있다.

Fig. 13은 본 논문에서 제안하는 저지연 기술을 사용하여 실험한 것을 나타낸다. 본 실험에서는 Foreman 영상 시퀀스를 사용하였다. 이때 기존의 스

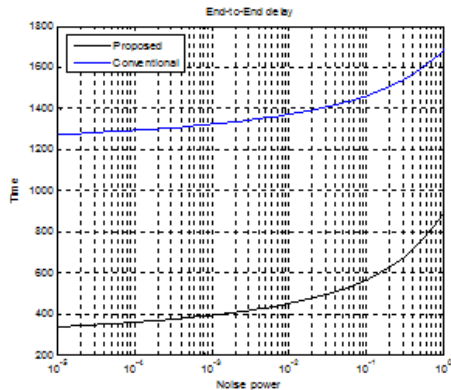


그림 12. 종단 간 지연  
Fig. 12. End-to-end delay

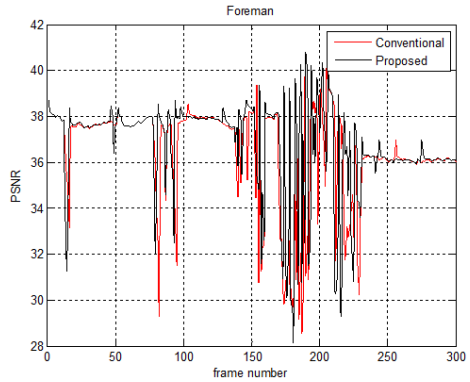
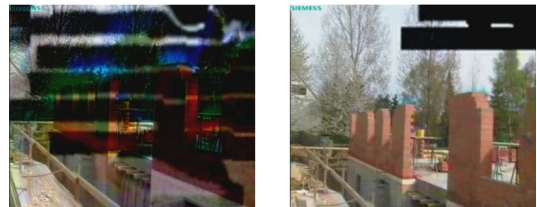


그림 13. 화질 평가 비교  
Fig. 13. Comparison of quality assesment

킴에 비해서 저지연의 성능을 보이면서도 화질적으로는 손해를 보지 않았다. 제안한 스킴은 평균적으로 36.77 dB의 PSNR 성능을 보이는 반면 기존의 스킴은 평균적으로 36.45 dB의 PSNR 성능을 보이고 있다. 저지연의 성능을 보여주면서 화질적으로는 오히려 증가 하는 이유는 Layered Coding으로 Base Layer를 우선적으로 전송하면서 전체적으로 보낼 데이터의 양을 줄이면서 Bit Error는 줄이는 반면에 기존의 스킴은 Layered Coding이 아니기 때문에 영상 이미지 전체를 다 보내야 하기 때문에 Bit Error에서도 손해를 보는 것을 알 수 있다.

Fig. 14는 전송 되는 영상의 중간을 찍은 것으로 Conventional의 이미지가 Proposed의 이미지에 비해 열화가 심한 상황을 나타낸다. 기존의 방법이 핵심적인 Base Layer에 자원을 집중하기 보단 전체적으로 데이터를 보내고 있기 때문에 Base Layer만 지키더라도 상태가 상대적으로 좋은 Proposed의 장점을 볼 수 있고 또한 긴급 시에 Base Layer만 전송하기 때문에 데이터 트래픽 관점에서도 더 짧은 지연 효과를 얻을 수 있다.



(a) Conventional (b) Proposed

그림 14. 영상 전송의 결과 비교  
Fig. 14. Comparison of video transmission results

## V. 결론 및 기대 효과

본 논문에서는 상용 무선 통신망과는 달리, 정보의 생존성과 기동성 및 보안성이 중요시 되는 카메라 기반의 감시 상황에서 급변하는 무선 통신망의 요구를 파악하고, 획득한 정보에 대한 실시간 전송의 필요성을 언급하였다. 이를 위해 획득한 전장 정보를 더욱 신속하고 효율적으로 전송함으로써, 더욱 빠르게 수집된 정보로 전장 상황 파악이 가능한 저지연 영상 전송 기술을 소개하였다. 또한 각종 센서들로부터 획득한 영상 정보를 무인 체계 간 혹은 원격 운용자와 무인체계간의 수시로 변화하는 무선 통신망 환경에 대응할 수 있는 적응적 통합 시스템을 제안하였다. 언급한 영상 압축 파라미터 변경 및 차등적 데이터 전송 기술은 긴급 상황 시에도 보다 신속하며 신뢰성 있는 획득 정보의 전송을 가능하게 하고, 이를 통하여 감시 상황에서의 영상 정보의 저지연 및 고품질 전송에 대한 요구를 만족시킬 수 있으며, 실시간 멀티미디어 정보 중심의 비디오 기반의 통신체계의 안전성을 보장할 수 있다. 본 논문에서 제안한 기술 이외에도 카메라 기반의 감시 체계에서 요구하는 고품질의 영상 정보를 왜곡 없이 보다 빠르게 전송하기 위해 급변하는 통신망 환경에 부합하는 저지연/적응형 영상 전송 기술에 관련한 추가적인 연구가 지속적으로 진행될 필요가 있을 것이다.

## References

- [1] P. D. Z. Varcheie and G.-A. Bilodeau, "Adaptive fuzzy particle filter tracker for a PTZ Camera in an IP surveillance system," *IEEE Trans. Instrumentation and Measurement*, vol. 60, pp. 354-371, Feb. 2011.
- [2] R. K. Behera, P. Kharade, S. Yerva, P. Dhane, A. Jain, and K. Kutty, "Multi-Camera Based Surveillance System," *WICT*, pp. 102-108, Nov. 2012.
- [3] S. Lee, I. Lee, S. Kim, S. Lee, and A. C. Bovik, "A pervasive network control algorithm for multicamera networks," *IEEE J. Sensors*, vol. 14, no. 4, pp. 1280-1294, Apr. 2014.
- [4] A. Hore and D. Ziou, "Image quality metrics: PSNR vs. SSIM," in *Proc. IEEE ICPR*, pp. 2366-2369, Istanbul, Aug. 2010.
- [5] A. C. Bovik, ed., *The Essential Guide to Image Processing*, 1<sup>st</sup> Ed., Academic Press, 2009.
- [6] J. Vaisey and A. Gersho, "Image compression with variable block size segmentation," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 40, no. 8, pp. 2040-2060, Aug. 1992.
- [7] Joint Scalable Video Model - reference software: [http://ip.hhi.de/imagecom\\_GI/savce/downloads/SVC-Reference-Software.htm](http://ip.hhi.de/imagecom_GI/savce/downloads/SVC-Reference-Software.htm), 2009.
- [8] J. Park, H. Lee, S. Lee, and A.C. Bovik, "Optimal channel adaptation of scalable video over a multi-carrier based multi-cell environment," *IEEE Trans. Multimedia*, vol. 11, pp. 1062-1071, 2009.
- [9] T. Oh, H. Lee, and S. Lee, "Dynamic bandwidth and carrier allocation for video broadcast/ multicast over multi-cell environments," *Wirel. Personal Commun.*, vol. 69, pp. 1925-1945, 2013.
- [10] Q. Huynh-Thu, M. Barkowsky, and P. L. Callet, "The importance of visual attention in improving the 3D-TV viewing experience: overview and new perspectives," *IEEE Trans. Broadcasting*, vol. 51, no. 2, pp. 421-431, Jun. 2011.
- [11] L. Itti and C. Koch, "Computational modeling of visual attention," *Nature Rev. Neuro-science*, vol. 2, pp. 194-203, 2001.
- [12] H. Kim, S. Lee, and A. C. Bovik, "Saliency prediction on stereoscopic videos," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 23, no. 4, pp. 1476-1490, Apr. 2014.
- [13] R. E. Kalman, "A new approach to linear filtering and prediction problems," *J. Basic Engineering*, vol. 82, pp. 35-45, 1960.
- [14] Z. Chen, "Bayesian filtering: From kalman filters to particle filters, and beyond," *Statistics*, vol. 182, no. 1, pp. 1-69, 2003.
- [15] E. J. Jin, M. C. Park, J. H. Moon, and J. C. Kwon, "Frame bit-rate control method for low delay video communication," *J. Broadcasting Eng.*, vol. 12, no. 6, pp. 574-584, Sept. 2007.
- [16] E. J. Delp and O. R. Mitchell, "Image compression using block truncation coding," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 27, no. 9, pp.

- 1335-1342, Sept. 1979.
- [17] J. Wang, K. Min, and J. Chong, "A hybrid image coding in overdrive for motion blur reduction in LCD," in *Proc. ICEC*, pp. 263-270, China, Sept. 2007.
- [18] J. M. Park, Y. J. Park, J. I. Park, Y. J. Won, and J. H. Jee, "QoS support on real - time image based virtual reality using active network technology in heterogeneous networks," *J. Computing Sci. Eng.*, vol. 29, no. 2, pp. 334-336, Oct. 2002.
- [19] L. Mannos and D. J. Sakrison, "The effects of a visual fidelity criterion on the encoding of images," *IEEE Trans. Inf. Theory*, pp. 525-535, vol. 20, no. 4, 1974.
- [20] K. Lee, A. K. Moorthy, S. Lee, and A. C. Bovik, "3D visual activity assessment based on natural scene statistics," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 23, no. 1, pp. 450-465, Jan. 2014.
- [21] "Smart eye pro - remote 3D eye tracking for research (<http://www.sma.rteye.se>), SMART EYE PRO - 3D EYE TRACKING.
- [22] "Stereoscopic (3-D imaging) database (<http://groups.ieee.org/3dhf/> or <ftp://165.132.12.6.47/>)," IEEE Standard for the Quality Assessment of Three Dimensional (3D) Displays, 3D Contents and 3D Devices based on Human Factors, 2012.
- [23] H. S. Kim, J. C. Park, T. W. Kim, H. S. O, and S. H. Lee, "A saliency detection algorithm for 3D stereoscopic video," in *Proc. KICIS*, Korea, Feb. 2012.
- [24] H. S. O, T. W. Kim, K. H. Lee, H. S. Kim, I. W. Lee, and S. H. Lee, "Relationship between visual attention region and perceived quality in stereoscopic 3-D video," in *Proc. KICIS*, Korea, Jan. 2013.
- [25] M. S. Arulampalam, S. Maskell, N. Gordon, and T. Clapp, "A tutorial on particle filters for online nonlinear/non-Gaussian Bayesian tracking," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 50, no. 2, pp. 174-188, Feb. 2002.
- [26] N. J. Gordon, D. J. Salmond, and A. F. M. Smith, "Novel approach to nonlinear/non-Gaussian Bayesian state estimation," *Radar and Signal Process., IEE Proc. F*, vol. 140, no. 2, pp. 107-113, Apr. 1993.
- [27] I. W. Lee, K. S. Cho, and S. H. Lee, "Analysis of scalable video coding for wireless communication systems," in *Proc. KICIS*, Korea, Sept. 2013.
- [28] H. Kim and S. Lee, "Implementation of DWT-Based adaptive mode selection for LCD overdrive," *IEEE Trans. Consumer Electron.*, vol. 57, no. 2, pp. 771-778, May 2011.
- [29] Y. Wang, Z. Wu, and J. M. Boyce, "Modeling of transmission-loss induced distortion in decoded video," *IEEE Trans. Circuits and Syst. for Video Technol.*, vol. 16, no. 6, pp. 716-732, Jun. 2006.
- [30] I. W. Lee, T. W. Kim, D. H. Lee, and S. H. Lee, "Traffic smoothing of large-scale mission critical system," in *Proc. KICIS*, Korea, Jul. 2012.
- [31] N. McKeown, "OpenFlow: Enabling innovation in campus networks," *ACM SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, vol. 38, pp. 69-74, Apr. 2008.
- [32] I. Lee, J. Park, S. Kim, T. Oh, and S. Lee, "Device-aware visual quality adaptation for wireless N-screen multicast systems," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E96-B, no. 12, pp. 3181-3189, Dec. 2013.
- [33] A. M. C. Correia, J. C. M. Silva, N. M. B. Souto, L. A. C. Silva, A. B. Boal, and A. B. Soares, "Multi-resolution broadcast/multicast systems for MBMS," *IEEE Trans. Broadcasting*, vol. 53, no. 1, pp. 224-234, Mar. 2007.
- [34] D. P. Palomar and M. Chiang, "A tutorial on decomposition methods for network utility maximization," *IEEE J. Selected Areas in Commun.*, vol. 24, no. 8, pp. 1439-1451, Aug. 2006.
- [35] M. Chiang, S. H. Low, A. R. Calderbank, and J. C. Doyle, "Layering as optimization decomposition: A mathematical theory of network architectures," *Proc. IEEE*, vol. 95, no. 1, pp. 255-312, Jan. 2007.

**이 인 응 (In-woong Lee)**



He was born in Korea in 1990. He received his B.S. in E.E. from Yonsei University in 2012. He is pursuing an M.S. and Ph.D. in the Multidimensional Insight Laboratory at Yonsei University.

His research interests are in the areas of multiuser MIMO systems, interference management, and wireless multimedia communications.

**김 학 섭 (Hak-sub Kim)**



He received his B.S. degree and the M.S. degree in Electrical and Electronic Engineering from Yonsei University, Seoul, Korea in 2008 and 2011, respectively. He is currently working

toward the Ph. D. from 2011. His research interests include 2D/3D image and video processing based on human visual system, human visual attention, quality assessment of 2D/3D image and video, cross-layer optimization and wireless multimedia communications.

**오 태 근 (Tae-geun Oh)**



He was born in Korea in 1984. He received his B.S. in E.E. from Yonsei University in 2007 and he is pursuing the Ph.D. in wireless network lab from Yonsei University.

His research interests are in the area of wireless resource allocation, wireless multimedia communications, image/video coding, cross-layer optimization and image/video quality assessment issues.

**이 상 훈 (Sang-hoon Lee)**



He received the B.S. in E.E. from Yonsei University in 1989 and the M.S. in E.E. from Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST) in 1991. From 1991 to 1996, he

worked for Korea Telecom. He received his Ph.D. in E.E. from the University of Texas at Austin in 2000. From 1999 to 2002, he worked for Lucent Technologies on 3G wireless and multimedia networks. In March 2003, he joined the faculty of the Department of Electrical and Electronics Engineering, Yonsei University, Seoul, Korea, where he is a full professor. He has been an Associate Editor of the IEEE Trans. Image Processing (2010-) and an Editor of the Journal of Communications and Networks (JCN) (2009-), and the Chair of the IEEE P3333.1 Quality Assessment Working Group (2011-). He served as the Technical Committee of the IEEE IVMS (2014-), the General Chair of the 2013 IEEE IVMS workshop, and a guest editor of IEEE Trans. Image Processing 2013. He has received a 2012 special service award from IEEE Broadcast Technology Society and 2013 special service award from IEEE Signal Processing Society. His research interests include image/video quality assessments, medical image processing, cloud computing, wireless multimedia communications and wireless networks.