

일반논문-08-13-6-16

무선 Ad-hoc 네트워크에서 협력 다이버시티를 이용한 관심영역 중심의 비디오 전송

장 옥^{a)}, 이 상 훈^{a)†}, 배 경 훈^{b)}

ROI-based Video Transmission using Cooperative Diversity over Wireless Ad-hoc Networks

Uk Jang^{a)}, Sanghoon Lee^{a)†}, and Kyunghoon Bae^{b)}

요 약

협력 통신은 각 노드가 데이터를 협력하여 전송하는 것으로, 자신의 노드 뿐 만 아니라 주변의 다른 노드들을 이용하여 데이터를 전송하는 통신 방식이다. 협력 통신을 하고 있는 모든 이동 노드로부터 기지국으로 수신된 데이터를 결합하여 협력 다이버시티를 얻으므로 열악한 무선채널 환경에서 발생하는 극심한 페이딩을 억제시킴으로써 사용자의 QoS를 향상시킬 수 있다. 본 논문에서는 H.264/AVC에서 제공하는 에러에 대한 복원력을 높이기 위한 여러 가지 방식 중에서 유동적 매크로블록 순서화를 이용하고, 무선 채널에서는 협동 다이버시티를 이용하여 비디오 전송을 통해 화질을 향상시킬 수 있는 기술을 제안한다. 사용자는 눈동자 추적기를 착용하고 있어서 소스 노드에게 현재 눈동자의 위치를 주기적으로 전송하고, 소스 노드는 그에 맞는 관심 영역 중심 코딩을 하게 된다. 관심영역과 비 관심영역으로 구분된 비디오를 서로 다른 채널을 통해서 전송함으로써 화질측면에서 더 높은 만족도를 얻게 됨을 확인하였다.

Abstract

Cooperative diversity is a cooperative technique which exploits user diversity by decoding the combined signal of the relayed signal and the direct signal in wireless multi-hop networks. Using the cooperation, the performance of the network system can be improved because cooperative diversity which is very strong against the fading channels can be achieved. In this paper, we propose the technique that provides the enhanced visual quality of the reconstructed video using the cooperative diversity with the FMO which is the error resilience tool of H.264/AVC standardization over wireless networks. The eye-tracker can detect the gaze point of user and transmit the gaze information to the nodes. After receiving the gaze information of user, each node performs ROI encoding according to the received gaze information. After encoding, video sources are divided into ROI and Non-ROI. Through the simulation results, the better visual quality of the reconstructed video is achieved when ROI and Non-ROI are transmitted through different channels.

Keyword : ROI, Cooperative Diversity, Wireless Video, Multimedia, FMO

a) 연세대학교 전기전자공학부

Department of Electrical Engineering, Yonsei University

b) 삼성 탈레스

R&D Center Communication/Platform CFCS Group Samsung Thales Co., LTD

† 교신저자 : 이상훈(slee@yonsei.ac.kr)

※ 이 논문은 2008년도 삼성탈레스(주)의 재원을 지원 받아 수행된 연구임(2008-8-0345). 또한, 이 논문은 2008년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R01-2007-000-11708-0).

I. 서론

미래의 4세대 통신 네트워크에서는 무선 채널의 불안정성을 극복하여 언제 어디에서나 끊김 없고 높은 전송 효율을 가지는 실시간 통신 (real-time communication)을 제공하게 될 것이다. 무선 멀티미디어 서비스의 증가로 인해서 무선 채널의 적절한 이용에 대한 관심은 급속도로 증가되어오고 있다.

채널의 불안정성을 극복하기 위해서 협력 다이버시티 (cooperative diversity)를 사용하는 접근은 계속 이루어져오고 있다^[1,2,3]. 협력 통신 (cooperative communication)은 각 노드 간에 데이터를 협력하여 전송하는 것으로, 노드 자신 뿐 만 아니라 주변의 다른 노드들을 이용하여 데이터를 전송하는 통신 방식이다. 협력 통신을 하고 있는 모든 이동 노드로부터 기지국으로 수신된 데이터를 결합하여 협력 다이버시티를 얻으므로 열악한 무선채널 환경에서 발생하는 극심한 페이딩 (fading)을 억제 시킬 수 있고, 시스템의 성능을 크게 향상시킬 수 있다^[1,2]. 이동통신시스템에서 노드가 전파음영 지역에 있어 다른 노드와의 통신이 어려운 환경에 있을 때 릴레이 (relay)를 이용하여 통신하게 되면 높은 전송률을 이용한 양질의 서비스를 제공받을 수 있다. 최근에 여러 개의 릴레이간의 협력을 통한 데이터 전송과 기지국에서 협력에 이용된 릴레이를 통해서 송신된 데이터들을 결합하여 협력 다이버시티 이득을 얻을 수 있는 협력 릴레이 개념이 제안되었다^[2,3,4].

무선 채널을 이용하여 비디오를 전송하는 경우에는 데이터의 방대한 양으로 인해서 화질이 보장되지 못하는 경우가 빈번하기 때문에 위에서 서술한 통신의 측면 이외에, 적용 계층 (application layer)에서의 소스 코딩 (source coding)의 측면에서 에러에 강인한 코딩 (error resilience coding)을 이용하여 화질 향상을 이끌어내는 노력이 여러 방식으로 이루어지고 있다^[5,6]. 그리고 최근에는 적용 계층에서 물리 계층 (physical layer)의 무선 채널의 특성을 효율적으로 사용하기 위한 상호 계층 최적화 (cross-layer optimization) 방법들이 연구되고 있다^[7,8,9]. 이러한 노력의 일환으로 ITU-T 산하 VCEG (Video Coding Experts)와 ISO/IEC 산하 MPEG (Moving Picture Experts Group)이

결합하여 조인트 비디오 팀 (Joint Video Team)이 결성되었다. 이 그룹은 매우 높은 압축률을 갖고 있는 압축 기술을 개발하였으며, 에러에 대한 복원력을 높이기 위한 다양한 방식을 제시 하여 영상 데이터를 채널의 특성에 맞게 적극적으로 전송하는 방식에 대한 표준화를 H.264/AVC (Advanced Video Coding)란 이름으로 진행하였다^[10].

본 논문에서 새롭게 제안하는 방식은 다음과 같다. 우선, 소스 코딩의 측면에서 H.264/AVC에서 제공하는 에러에 대하여 복원력을 높이기 위한 여러 가지 방식 중에서, 유동적 매크로블록 순서화 (Flexible Macroblock Ordering, FMO) 의 타입 2^[11]를 이용하여 관심영역(ROI)과 비 관심영역(Non-ROI)을 나누어 코딩을 해 주고, 무선 채널의 측면에서는 릴레이의 협력 다이버시티를 이용하는 전송 방식을 사용한다. 즉, 소스 코딩의 측면에서 무선 채널 측면의 특성을 효율적으로 이용하기 위한 계층간 최적화 방식을 사용하여 접근함으로써 하나의 계층만을 고려한 경우보다, 수신된 비디오의 화질을 향상 시킬 수 있는 기술을 제안한다. 사용자는 눈동자 추적기(eye-tracker)를 착용하고 있어서 소스 노드에게 현재 눈동자의 위치를 주기적으로 전송하고, 소스 노드는 그에 맞는 관심영역 중심 코딩을 하게 된다. 유동적 매크로블록 순서화의 결과 나누어진 슬라이스는 관심영역의 안정적인 전송을 위해서 슈퍼포지션 코딩^[12]을 적용하여 서로 다른 파워로 전송된다. 릴레이 노드에서는 관심영역의 정보만을 디코딩하여 재전송해 줌으로써 관심 영역에 대한 정보는 협력 다이버시티의 효과를 얻게 된다. 협력 다이버시티를 이용하여 관심영역에 대한 전송을 우선적으로 보장하고, 비 관심 영역에 대한 정보는 최선형 (Best-Effort)으로 전송하기 위해 관심영역의 크기와 비트율을 조절하는 알고리즘을 제시하고, 채널 환경이 좋지 못한 경우 제안하는 방식이 화질측면에서 더 높은 만족도를 얻게 됨을 확인하였다.

II. 시선을 이용한 관심영역 중심 코딩

1. 눈동자 추적기

전통적인 사람/컴퓨터의 상호 정보 교환은 키보드를 타

이핑 하는 방식, 마우스를 이용하여 포인팅 위치를 변경 하는 방식으로 이루어 졌었다. 그리고 컴퓨터를 조작하는 더 자연스러운 방식에는 사람의 말, 행동, 시선 등을 이용하는 방식을 예로 들 수 있다. 그 중에서 사람의 머리의 위치와 시선을 측정하여 비디오 컨퍼런스, 장애인을 위한 통신 수단으로 이용하는 등의 어플리케이션은 사람과 기계간의 상호 정보 교환의 예가 될 것이다. 이러한 사람과 기계간의 상호 정보 교환을 사람의 시선으로 행할 수 있게 해 주는 기계가 바로 눈동자 추적기이다¹³⁾.

이러한 눈동자 추적기의 분류는 시선 정보를 얻기 위해서 눈과 접촉하는 방식에 따라서 적외선을 이용한 방식, 피부의 전기 포텐셜(Electric skin potential)을 이용하는 방식, 콘택트 렌즈를 이용하는 방식 등 다양한 종류로 나눌 수 있다. 그 중에서 적외선을 이용한 방식이 가장 널리 쓰이는 눈동자 추적기인데, 홍채와 흰 눈동자 사이 (Limbus Tracking), 눈동자와 홍채 사이 (Pupil Tracking), 각막과 눈동자 사이 (Corneal Pupil Reflection)에서 오는 빛을 측정하는 방식으로 나눌 수 있다. 그림 1은 현재 존재하는 다양한 종류의 눈동자 추적기를 나타낸다. 위에 설명된 종류의 눈동자 추적기는 측정 방식이 다를 뿐 아니라, 서로 다른 장 단점을 가지고 있다^{13,14,15)}. 이러한 눈동자 추적기는 상황에 따라



그림 1. 다양한 타입의 눈동자 추적기
Fig. 1. Different types of Eye-tracker

서 매우 다양한 어플리케이션에 적용이 가능하다. 가장 쉬운 예로는 사람이 실제로 관심을 가지고 바라보고 있는 부분을 알려주기 때문에, 관심영역을 찾는 데 기준점으로 사용될 수 있다. 본 논문에서는 눈동자 추적기를 착용한 사용자가 현재 관심 영역을 알려주고, 그에 따라서 관심영역과 비 관심영역을 구분해 내는 역할을 하는데 있어서 눈동자 추적기를 사용한다.

2. H.264/AVC에서의 유동적 매크로블록 순서화

H.264/AVC는 비디오 데이터의 효과적인 압축 방법뿐만 아니라 에러에 대한 복원력을 높이기 위한 많은 방식을 제공한다¹⁰⁾. 그 동안의 많은 비디오 코딩 표준화 작업에서 다양한 에러에 대한 복원 방식들을 제공 하였고⁵⁾, H.264/AVC에서는 여분의 슬라이스 (redundant slices), 파라미터 셋 (parameter sets) 그리고 유동적 매크로블록 순서화라는 세 가지의 새로운 에러에 강인한 복원 방식을 제공한다^{10,11)}. 이들 방식들 중, 본 논문에서는 유동적 매크로블록 순서화를 이용한 에러 복원 방식을 사용한다. 유동적 매크로블록 순서화를 사용하면 각각의 매크로블록들은 더 이상 래스터 스캔 (raster scan)의 순서로 슬라이스화 되지 않는다. 대신에, 각각의 매크로블록들은 MBmap (MB allocation map)을 통하여 자신이 정한 순서대로 슬라이스 그룹을 형성한다. 그림 2는 유동적 매크로블록 순서화에서 제공하는 슬라이스 그룹의 6가지 타입을 나타낸다. 그림에서 보이는 6가지의 타입 이외에 7번째 타입으로는 사용자 임의로 슬라이스 그룹을 지정하는 방식이 있다. 유동적 매크로블록 순서화에서는 한 화면 내에서 최대 8개의 슬라이스 그룹을 가질 수 있도록 제공하고 있고, 슬라이스 그룹 내부의 매크로블록들은 원래의 스캔 순서로 코딩 된다. 또한, 특이한 점은, 하나의 매크로블록은 하나 이상의 슬라이스 그룹에 속할 수 있는 특징도 가지고 있다.

일반적으로 말하면, 각각의 슬라이스 그룹들은 다중 디스크립션 코딩 (multiple description coding)의 디스크립션으로 동작한다고 말할 수 있다. 즉, 각각의 슬라이스 그룹들은 서로 인디펜던트하며 모든 슬라이스 그룹이 갖추어지지 않았더라도 (손실이 생겼더라도) 각각 디코딩이 가능하다.

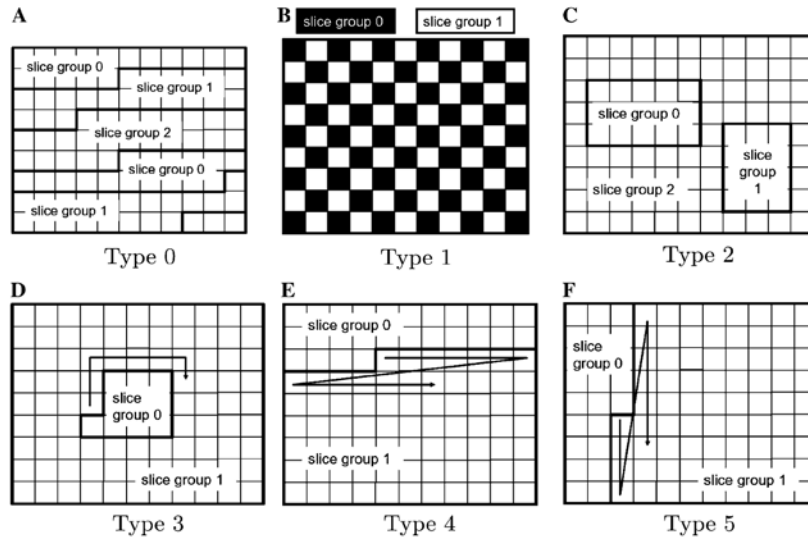


그림 2. 다양한 타입의 유동적 매크로블록 순서화
 Fig. 2. Different types of FMO

또한, FMO를 기반으로 한 방식의 또 다른 장점은 비디오 컨퍼런스 등 지연에 매우 민감한 실시간 서비스 애플리케이션에서, 통신 채널의 피드백 없이 에러에 강인한 모습을 보인다는 것이다.

이와 같은 기본적인 특징을 가지는 유동적 매크로블록 순서화는 강력한 에러 복원 기술(error resilience tool)이다. 각각의 타입의 특징에 따라 다른 장점을 가지고 있으며, 쓰임새가 다르다. 타입 1의 예를 들어보면, 만약 첫 번째 슬라이스 그룹이 통신 환경의 손실로 인해서 디코더에 전달되지 못하고 두 번째 슬라이스 그룹의 정보만이 디코더에 전달되었다면, 손실된 매크로블록들은 주변의 매크로블록으로 손실된 부분을 예측하여 비디오 소스를 디코딩 할 수 있다. 타입 2는 슬라이스 그룹을 가운데 부분의 사각형 부분과 그 이외의 부분으로 나누는데, 이것은 관심영역 코딩에 응용이 가능하다. 관심영역의 왼쪽 윗부분과 오른쪽 아랫부분의 매크로블록의 번호를 정함으로써 슬라이스 그룹을 나누게 된다. 이외의 타입에 관한 정보는 다른 논문을 참고하길 바란다^[11].

3. 관심영역 중심의 유동적 매크로블록 순서화

위에서 언급했듯이 유동적 매크로블록 순서화의 타입 2

를 이용하면 비디오 프레임 내부에서 사각형의 관심영역을 선별해 낼 수 있다. 관심영역과 비 관심영역을 각각 다른 양자화 계수(Quantization Parameter; QP)의 값을 이용하여 코딩하여 비트율을 조절하게 된다. 눈동자 추적기를 통해 측정된 현재의 시선 정보를 이용하여 현재의 관심영역을 얻어낼 수 있으며, 이 영역은 사람의 시각적 특성 (Human Visual System; HVS)에 더 민감한 영역을 나타낸다. 하나의 비디오 소스를 관심영역 슬라이스와 비 관심영역 슬라이스로 나누어 서로 다른 우선순위를 가지는 전송을 하거나, 비 균등 오류 보호(Unequal Error Protection; UEP)등을 가능하게 해 줌으로써, 동일한 데이터 양인 경우에 화질의 QoS를 보장해 줄 수 있을 것이다.

4. 유동적 매크로블록 순서화의 트레이드 오프

최근, 대부분의 코덱 표준에서는 높은 압축 효율을 위한 코딩 기법뿐만 아니라, 에러에 강인한 코딩 방식에 대한 기법을 제안하고 있다. 압축 효율의 측면에서는 비디오 프레임들 사이의 움직임에 이용한 보상 및 예측을 통한 방식을 이용하여 시간적, 공간적인 리던던시를 줄임으로써 성능의 향상이 있음을 제안해 왔다. 이러한 방식들에는 패킷의 손

실로 인해서 한번 에러가 발생하면 다음 프레임에도 영향을 미치게 되고, 화질상으로 매우 큰 손실이 일어나는, 에러 전달의 치명적인 단점이 존재하였다. 그렇기 때문에 비디오 전송에 있어서, 에러에 강인한 코딩 방식에 대한 연구는 점점 부각되어져 왔다. 에러에 강인한 코딩을 위해서 제안되어온 하나의 방식은 추가적인 정보(redundant information)를 붙여서 정보를 전송함으로써 에러가 발생되었을 경우에도 디코더에서는 충분히 화면을 복원해 낼 수 있는 방식이다. 이러한 추가적인 정보는 오류 정정 부호(Error Correction Code; ECC) 또는 다중 디스크립션 코딩 등을 이용하여 구성된다. 중요도에 따라서 서로 다른 오류 정정 부호에 다중 코딩을 이용한 기법은 우선 순위 기반의 정보 전송 방식에서 좋은 성능을 보이며, 다중 디스크립션 코딩 방식은 다채널 상황에서의 정보 전송에서 좋은 성능을 보여준다. 그러나 이러한 추가적인 정보를 붙여주어서 비디오 화질의 향상을 이루기 때문에 데이터의 양이 늘어나는 단점을 가지게 된다. 그러므로, 데이터의 양을 최소화 하면서 비디오의 화질을 최대화 하는 방식을 찾는 것이 중요하다.

III. 협력 다이버시티를 이용한 관심영역 중심의 비디오 전송

1. 제안하는 시스템

이번 단원에서는 협력 다이버시티를 이용한 시스템의 링

크 용량을 정의한다. 여러 노드가 존재하는 시나리오가 가능하지만, 논문의 남은 부분은 세 개의 노드가 존재하는 상황에서의 분석을 하였고, 각각의 노드는 소스(S), 릴레이(R), 목적지(D) 노드의 역할을 한다. 모든 노드는 눈동자 추적기로 부터의 응시점 정보를 가지고 있어서 사용자의 요구에 맞는 관심 영역을 결정할 수 있는 상황을 가정한다.

만약 유동적 매크로블록 순서화를 사용하지 않고 단일 슬라이스로 전송을 한다면, 관심영역과 비 관심영역의 구분 없이 같은 우선순위로 전송을 하게 되어 채널의 상황이 나쁜 경우 기본적인 화질을 보장 할 수 없게 된다. 이러한 단점을 극복하기 위해서 비디오 소스는 앞 단원에서 설명된 사람의 응시점을 바탕으로 한 유동적 매크로블록 순서화의 타입2의 코딩 방식을 이용하여 관심영역 슬라이스와 비 관심영역 슬라이스로 나뉘어 각각 다른 양자화 계수(QP) 값을 가지도록 하여 코딩 된다. 그림 3과 같이 각각의 슬라이스를 구성하고 있는 정보는 슈퍼 포지션 코딩^[12]을 사용하여 관심영역 신호 x_1 과 비 관심영역 신호 x_2 를 각각 서로 다른 전송 파워 비율로 전송해 준다. 관심 영역의 신호를 안정적으로 전송해 주기 위해서 더 높은 전송 파워 비율을 사용한다. 관심영역 신호 x_1 의 안정적인 전송이 비디오 화질의 향상에 매우 큰 역할을 하기 때문에, 릴레이 노드에서는 NRI 필드의 값 (다음 소단원에 설명)을 이용하여, 관심영역 신호 x_1 만을 추출하여 전송 해 준다. 즉, 관심영역에 관련된 신호 x_1 은 릴레이 노드와의 협력 다이버시티 효과를 이용하여 전송하고 비 관심영역 신호 x_2 는 직접 경로를 통해 전송한다. 협력 다이버시티에 의해서 관심영역의

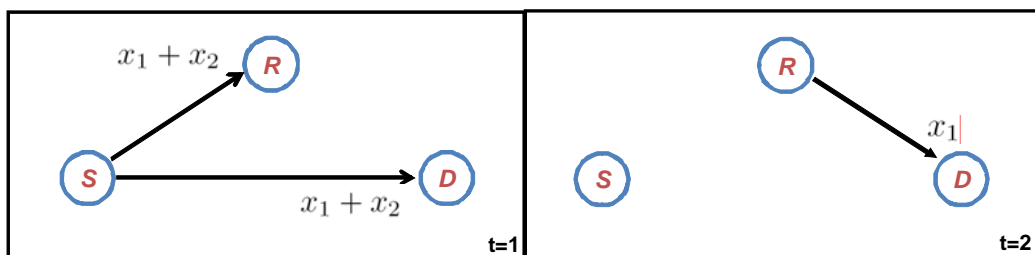


그림 3. 협력 다이버시티를 얻기 위한 전송방식. t=1에서는 소스 노드 S가 관심영역 + 비 관심영역 정보를 전송한다. t=2에서는 이것을 전송 받은 릴레이 노드 R이 관심 영역만을 선별하여 재 전송한다. 이로 인해 관심영역은 협력 다이버시티의 효과를 얻게 된다.

Fig. 3. Cooperative communication system. At time slot 1, source node transmit ROI+Non ROI. At time slot 2, relay node transmit the information of ROI. As a results, cooperative diversity can be provided to ROI.

정보 전송환경이 보장받게 되고, 그로 인해 관심영역에 대한 복원된 비디오의 화질의 향상을 기대 할 수 있다. 관심영역 신호는 데이터율이 임계 데이터율(Target Data Rate) 이상을 만족시키는 전송 파워 비율을 계산하여 각각의 신호에 대한 슈퍼포지션 코딩을 적용, 각각의 신호에 대한 최적의 파워 비율을 사용하여 전송한다. 채널 상황이 아주 나쁜 경우에는 비 관심영역을 전송하는데 사용되는 파워의 양이 매우 작아지게 된다.

2. NAL 유닛에서의 우선순위 표시

H.264/AVC에서는 NAL(Network Application Layer)이라는 네트워크에 친화적인 구조를 제안하였다. NAL은 VCL(Video Coding Layer)을 RTP/IP 등의 실시간 무선 트랜스포트 계층 (real-time wireless transport layer)에 보다 쉽게 매핑 할 수 있게 해준다^{9,10)}. NAL의 헤더 중에NAL_Ref_Idc (NRI)라는 필드는 각각의 NAL 유닛에 대해서 우선순위를 다르게 제공 할 수 있도록 해주는 필드이다. 2 bit로 이루어진 NRI는 11인 경우 가장 큰 우선순위를 가지는 NAL 유닛임을 나타내 준다. (00인 경우 가장 낮은 우선순위를 가진다.) 이렇게 마킹 된 NAL 유닛을 이용하여, 하위 계층에서는 각NAL 유닛의 중요도를 판단하는 역할을 하게 된다^{9,10)}. 이번 논문에서는 관심영역과 비 관심영역을 구별하기 위해서 우선순위 표시(tag)를 다음과 같은 규칙을 통해서 할당한다.

표 1. 우선순위 표시
Table 1. Priority Tag

NRI	슬라이스
11	파라미터 셋
10	관심영역
01	비 관심영역

본 논문에서는 NRI의 값이 11인 파라미터 셋은 완전하게 전송 된다고 가정하고, 릴레이 노드에서의 전송 패킷은 NRI의 값이 10인 관심영역에 한정시킨다.

3. 시스템 링크 용량 분석

소스 노드 i 와 목적지 노드 j 사이의 채널 이득을 $h_{i,j}$ 로 나타낼 수 있고, 여기서 $i \in S, R, j \in R, D$ 이 될 수 있다. 소스노드 S는 슈퍼포지션 코딩을 사용하여 서로 다른 파워 비율 $\alpha (0 \leq \alpha < 1)$ 를 통해 전송을 하기 때문에, 각 신호 x_1, x_2 를 전송 할 때 사용하는 파워는 $\sqrt{P_T(1-\alpha^2)}$ 과 $\sqrt{P_T}\alpha$ 가 된다. $t=1$ 에서 목적지 노드와 릴레이 노드에서의 수신 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.^[2,12]

$$y_D^1 = h_{S,D}(\sqrt{P_T(1-\alpha^2)}x_1 + \sqrt{P_T}\alpha x_2) + n_1 \tag{1}$$

$$y_R^1 = h_{S,R}(\sqrt{P_T(1-\alpha^2)}x_1 + \sqrt{P_T}\alpha x_2) + n_2 \tag{2}$$

$t=2$ 에서는 릴레이 노드 R이 디코디드 앤드 포워드 (Decoded-and-Forward; DF) 방식을 이용하여 관심영역의 신호 x_1 만을 목적지 노드 D에 보내주기 때문에 $t=2$ 에서의 목적지 노드에서의 수신 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y_D^2 = \sqrt{P_T}h_{R,D}x_1 + n_3 \tag{3}$$

결국, 두 시간 슬롯 동안 목적지 노드에서의 수신 신호의 합은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y_D = y_D^1 + y_D^2 = (\sqrt{P_T(1-\alpha^2)}h_{S,D} + \sqrt{P_T}h_{R,D})x_1 + \sqrt{P_T}\alpha h_{S,D}x_2 + n \tag{4}$$

수식 (4)를 이용하여, 목적지 노드 D에서의 각 신호 x_1, x_2 에 대한 신호 대 잡음비 (signal to noise ratio; SNR)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{SNR}_{x_1} = \frac{P_T(1-\alpha^2)|h_{S,D}|^2 + P_T|h_{R,D}|^2}{P_T\alpha^2|h_{S,D}|^2 + N_0} \quad (5)$$

$$\text{SNR}_{x_2} = \frac{P_T\alpha^2|h_{S,D}|^2}{N_0} \quad (6)$$

여기서 N_0 는 잡음의 파워를 나타낸다.

위의 수식에서 볼 수 있듯이, 관심영역 신호인 x_1 은 협력 다이버시티의 효과를 얻게 된다.

샤논이 제안한 링크 용량 (Shannon's link capacity)에 의해서^[16], 각각의 신호 x_1, x_2 에 대하여 전송 가능한 링크 용량은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_{x_1} = \frac{1}{2} \log_2(1 + \text{SNR}_{x_1}) \quad (7)$$

$$C_{x_2} = \log_2(1 + \text{SNR}_{x_2}) \quad (8)$$

여기서, 수식 (7)의 1/2은 두 시간 슬롯을 이용하기 때문에 붙는 부분이다.

관심영역 x_1 의 임계 데이터율을 γ_{ROI} 라고 한다면, 화질 측면에서 최소한의 QoS를 지원하기 위해서는 다음과 같은 조건을 만족해야 한다.

$$C_{x_1} \geq \gamma_{ROI} \quad (9)$$

$$\frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{P_T(1-\alpha^2)|h_{S,D}|^2 + P_T|h_{R,D}|^2}{P_T\alpha^2|h_{S,D}|^2 + N_0} \right) \geq \gamma_{ROI} \quad (10)$$

위의 수식 (10)을 만족시키기 위해서는 소스노드에서 관심영역 신호 x_1 에 할당해 주는 파워의 비율인 α 의 적절한 값의 선택이 필요하다. 수식 (10)을 전개하면,

$$\alpha \leq \sqrt{\frac{P_T(|h_{S,D}|^2 + |h_{R,D}|^2) - N_0(2^{2\gamma_{ROI}} - 1)}{2^{2\gamma_{ROI}}|h_{S,D}|^2}} \quad (11)$$

수식 (11)과 같은 조건을 만족할 경우에, 임계 데이터율이 달성되고, 그에 화질측면에서 최소한의 QoS를 보장하게 된다.

4. 수신된 비디오의 화질 보장을 위한 알고리즘

수식 (11)을 만족하는 파워로 관심영역의 신호를 전송한다면 목적지 노드의 QoS(γ_{ROI})를 달성 할 수 있지만, 현재 채널의 상황이 매우 좋지 못한 경우에는 소스 노드에서의 파워 할당량의 조절만으로는 목적지 노드의 QoS를 달성할 수 없다. 그 이유는, 수식 (11)에서의 분자 값에서 찾을 수 있다. 만약 목적지 노드의 임계 데이터율이 너무 높다면, 수식 (11)의 분자 값이 음의 값을 가지게 되어서 적절한 파워를 할당해 주지 못하게 된다. 이러한 경우에는 소스 노드에서의 데이터율 조절이 필요하게 된다.

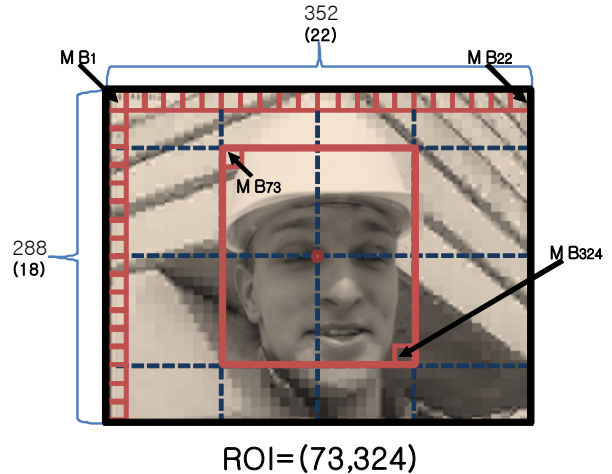


그림 4. Foreman.cif 의 관심영역 예시. 가운데의 점은 눈동자 검출기에서 측정된 중심점이고, 관심영역 좌표는 (73,324)로 나타낼 수 있다.
Fig. 4. An example of ROI for "foreman.cif" sequence. The center point is the gaze point obtained by the eye-tracker. ROI point can be represented (73, 324).

데이터율의 조절은 1) 관심영역의 크기 조절(그림 4 참조, foreman.cif의 경우 (73,368)가 초기값), 2) 양자화 계수 QP 의 조절 등의 두 가지의 방식으로 행해 질 수 있다. 이러한 점을 해결하기 위해서 제안하는 알고리즘은 다음과 같다.

QoS 만족을 위한 파워할당 및 데이터율 조절 알고리즘
(단계 1) 임의의 α 값을 이용하여 채널 추정 메시지를 보낸다. ($\alpha = \sqrt{1/2}$)
(단계 2) 현재의 채널 값을 통해서 $\alpha = \sqrt{1/2}$ 의 파워 비율을 사용 했을 때 전송 가능한 링크 용량이 수식 (7)을 통해서 계산되어 소스 노드로 피드백 된다. (γ_{ROI} 피드백)
(단계3) γ_{ROI} 는 (단계 2)에서 계산된 값보다 Δ 만큼 높인다. ($\gamma_{ROI}^* = \gamma_{ROI} + \Delta$) 수식 (11)의 결과 $0 < \alpha < \sqrt{1/2}$ 의 값의 범위에 들어오도록 한다. 이 결과, γ_{ROI}^* 을 만족할 수 있는 α 의 값이 정해진다.
(단계 4) 관심영역의 임계 데이터율인 γ_{ROI}^* 가 정해 졌으므로, 소스 코딩 측면에서 비트율을 맞추어 주기 위해서 QP_{ROI} 와 관심영역의 크기를 조절한다.
(단계 4-1) 초기 값인 $QP_{ROI}^{Threshold}$ 와 (x,y)로부터 QP_{ROI} 를 한 단계 낮추고 관심영역의 크기를 한 단계 올려주면서 현재 채널에서의 임계 데이터율 γ_{ROI}^* 에 맞는 값을 찾아 준다.

(단계 3)에서의 Δ 는 스텝 사이즈 이고, 만약 Δ 이 너무 크면 α 가 $0 < \alpha < \sqrt{1/2}$ 의 범위에 들어오지 못하는 경우가 생기기 때문에 적절한 값을 주어야 한다. (단계 4)에서의 $QP_{ROI}^{Threshold}$ 는 미리 정해져 있는 임계 값으로, $QP_{ROI}^{Threshold}$ 이상의 값을 가진다면 화질측면에서 너무 심한 왜곡이 일어나게 되어, 최소한으로 만족시켜 주어야 하는 값을 의미한다($QP_{ROI} \leq QP_{ROI}^{Threshold}$). 또한, 관심영역의 크기에 있어서도, 임계 값이 존재하여, 너무 작은 관심영역으로 코딩되는 경우가 일어나지 않도록 해준다.

IV. Experiment Result

실험 환경은 다음과 같다. 3개의 노드를 가정 하였으며, 각각 소스, 릴레이, 목적지 노드의 역할을 한다. 비디오 소스는 "foreman.cif"를 이용하였으며 (352x288), 15 fps의

화면을 (frame rate)로 인코딩해 주었다. 그리고 비디오의 첫 프레임은 I 프레임으로, 첫 프레임을 제외한 나머지 프레임은 P 프레임으로 인코딩 하였다. I 프레임으로 구성된 첫 프레임의 손실 여부에 따라 이후 나오는 영상이 큰 영향을 받을 수 있으므로, 첫 프레임의 정보는 손실되지 않는다고 가정한다. 또한 채널의 불안정에 의한 패킷의 손실에 대한 오류 은닉 기법 (error concealment)은 바로 전 프레임의 같은 매크로블록을 가져오는 기본적인 방식을 취하였다.

각 세 노드 사이의 채널 이득 $h_{i,j}$ 에 따라서 시스템의 링크 용량이 변하게 되는데, 이에 따라서 이전 단원에서 제안한 알고리즘을 수행하였다. 관심영역의 크기의 초기값은 foreman.cif의 경우 (73,368)로 시작한다. 알고리즘의 수행 결과를 확인하기 위하여, 64kbps, 128kbps, 256kbps, 384 kbps의 4가지 비트 율에서의 실험결과를 확인하였다.

$QP_{ROI}^{Threshold} = 7$, $QP_{N-ROI}^{Threshold} = 32$ 로 지정하고 실험을 하였다. 패킷의 길이는 640바이트로 구성하였고, 0%, 5%, 10%, 20%인 4가지 패킷 손실률에서의 PSNR과 FPSNR(Foveal PSNR^[17])을 살펴보았다. 또한, 각 노드의 파워 한계는 $P_T = 10$ 으로 하여 주었다.

실험은 1) 유동적 매크로블록 순서화를 사용하여 관심영역과 비 관심영역을 나누어 주었을 경우에 대한 실험과 2) 유동적 매크로블록 순서화를 사용하지 않았을 경우에 대한 실험으로 나누어 결과를 비교하였다. FMO를 사용하지 않을 경우에는, 수식 (7)에서 $\alpha = 0$ 의 값을 가질 때의 링크 용량을 가진다.

화질 측정 기준은 PSNR과 FPSNR을 이용하였는데, FPSNR은 다음과 같은 수식으로 나타낼 수 있다.^[17]

$$FPSNR = 10 \log_{10} \frac{(\sum_{n=1}^N f_{p_n}^2) \max[v(x_n)]^2}{\sum_{n=1}^N [v(x_n) - g(x_n)]^2 f_{p_n}^2} \quad (12)$$

여기서, $f_{p_n}^2$ 는 사람의 시각에 대한 가중치 이고, $v(x_n)$ 과 $g(x_n)$ 는 각각 원본 프레임과 복원된 프레임에 대한 픽

셀 값을 나타낸다. **FPSNR**은 사람의 시각적 특성을 이용한 화질 측정 기준으로, 사람은 그림의 가운데 부분에 더 큰 관심을 가진다는 사실을 고려하여 가운데 부분 일수록 더 큰 가중치를 주어 계산하는 화질 측정 기준이다.

그림 5는, 각각의 경로에 따른 시스템의 링크 용량을 **SNR**의 값에 따라서 나타낸 그림이다. **Y**축은 채널의 랜덤한 성격을 통계적 특성으로 파악한 일고딕 링크 용량(Ergodic link capacity)을 나타낸 값으로, 수식 (7)과 (8)에 대하여 1000번의 반복적인 시뮬레이션을 수행한 결과이다. 위의 그림에서 볼 수 있듯이, α 값을 조절하면서 슈퍼포지션 코딩을 적용하여 협력 통신한 경우 유동적 매크로블록 순서화를 적용한 경우 관심영역 슬라이스를 전송하는 경로의 링크 용량인 수식 (7)이 비 관심영역 슬라이스를 전송하는 경로의 링크 용량인 수식 (8)보다 커지게 되고, 그 결과로 인해서 관심영역 슬라이스의 정보의 전송이 보장되게 되어서 화질을 향상 시킬 수 있게 된다. $\alpha=0$ 인 경우에는 수식 (7)에 $\alpha=0$ 이 대입 되었을 때의 링크 용량으로, 유동적 매크로블록 순서화와 슈퍼 포지션 코딩을 사용하지 않은 경우의 링크 용량을 나타낸다.

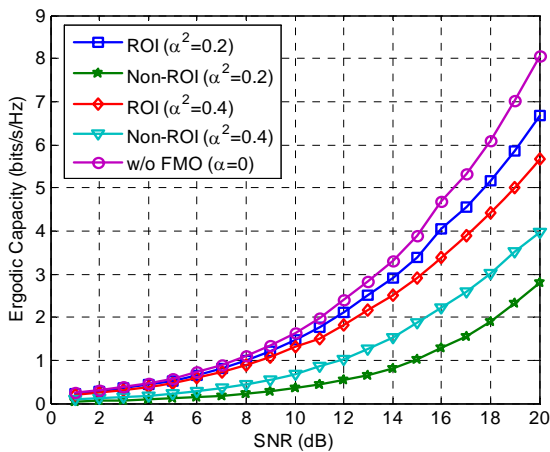


그림 5. 관심영역과 비 관심영역에 대한 링크 용량 비교 각 신호의 파워 비율에 따라 나타내었다. $\alpha=0$ 인 경우는 FMO를 사용하지 않은 상황에서의 링크 용량을 나타낸다.

Fig. 5. The comparison of the link capacity for ROI and Non-ROI according to the different power ratio (α). The case of $\alpha=0$ means that FMO is not applied.

표 2와 3은 소스의 다양한 비트율에서, 유동적 매크로블록 순서화를 사용 여부에 대하여 알고리즘의 동작 후 값을 **PSNR**과 **FPSNR**의 측면에서 측정한 결과이다. 같은 비트율에서 유동적 매크로블록 순서화를 사용한 경우 더 좋은 **PSNR**의 값을 나타남을 확인하였고, 그 결과는 사람의 시각적 관심은 가운데에 있다는 특성을 고려한 화질 측정 기준인 **FPSNR**의 결과 값에서 보다 큰 이득이 있음을 확인할 수 있었다.

표 2. 다양한 비트율에서 패킷 손실율에 따른 **PSNR**
Table 2. **PSNR** according to different packet loss environment

비트율 (kbps)	FMO	관심영역 좌표	QP		패킷 손실율에 따른 PSNR (dB)			
			ROI	N-ROI	0%	5%	10%	20%
64	O	(139,324)	7	32	30.13	29.32	28.12	27.22
	X	-	18		25.51	24.77	23.57	22.66
128	O	(139,346)	6	26	31.78	30.34	29.65	28.21
	X	-	10		26.11	25.76	24.26	23.56
256	O	(95,368)	4	19	33.06	32.03	30.72	29.87
	X	-	8		26.71	26.15	25.59	24.54
384	O	(73,368)	2	15	34.30	33.19	32.31	31.20
	X	-	5		27.47	26.91	25.88	24.79

표 3. 다양한 비트율에서 패킷 손실율에 따른 **FPSNR**
Table 3. **FPSNR** according to different packet loss environment

비트율 (kbps)	FMO	관심영역 좌표	QP		패킷 손실율에 따른 FPSNR (dB)			
			ROI	N-ROI	0%	5%	10%	20%
64	O	(139,324)	7	32	33.21	31.72	31.89	30.32
	X	-	18		23.91	23.68	22.89	20.56
128	O	(117,346)	6	26	34.67	33.42	32.14	31.03
	X	-	10		24.81	24.26	23.06	22.26
256	O	(95,368)	4	19	35.21	34.32	32.86	31.97
	X	-	8		25.21	25.03	24.32	23.22
384	O	(73,368)	2	15	36.74	35.46	34.54	33.31
	X	-	5		26.54	25.76	24.65	23.74

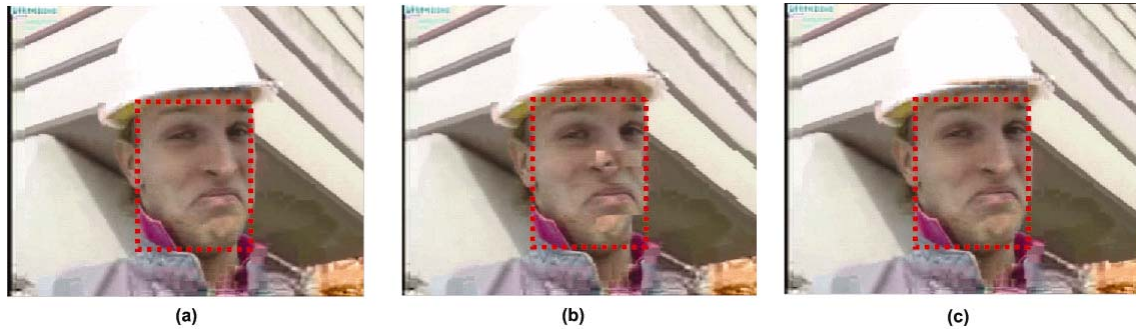


그림 6. 128kbps에서 foreman.cif의 71번째 프레임의 ROI를 나타낸다. 관심영역의 크기는 (139,346)이다. (a) 원본 프레임. (b) FMO를 사용하지 않았을 경우의 복원된 프레임. (c) FMO를 사용하였을 경우의 복원 프레임. 여기서, 점선으로 나타낸 사각형은 관심영역을 나타낸다
 Fig. 6. The 71th frame of 128kbps "foreman.cif". ROI is (138,346). (a) Original image. (b) Reconstructed image without FMO. (c) Reconstructed image with FMO. Dotted rectangular represents ROI

그림 6은 foreman.cif를 가지고 128kbps에서 실험 했을 때, (a)는 원본 이미지를 나타내고, (b)와 (c)는 각각 유동적 매크로블록 순서화의 사용여부에 따른 복원된 이미지를 나타낸다. (b)를 살펴보면, 관심영역에 대한 왜곡이 생겼고 (c)를 보면, 관심영역에 대한 왜곡이 없음을 확인할 수 있다. 알고리즘의 수행 결과 최적의 파워 비율 $\alpha^2 = 0.14$ 로 결정 되었으며, 관심영역의 크기는 (139,346), $QP_{ROI} = 6$ 로 결정 되었다. 그림 6의 결과는 릴레이 노드의 도움을 받아서 협력 다이버시티에 의한 이득을 얻은 경우에는 관심영역에 있어서 채널의 환경을 더 좋게 만들어 주기 때문에 관심영역에는 왜곡이 생기지 않고 비 관심영역에만 왜곡이 생겼기 때문이다. 사람의 시선은 프레임 내에서 한 부분만을 집중해서 보기 때문에 관심영역이 보장된 이미지가 훨씬 더 시각적으로 높은 만족도를 얻게 된다.

V. Conclusion

본 논문에서는 눈동자 추적기로부터 얻어진 현재 사람이 보고 있는 지점에 관한 정보를 기준으로, 유동적 매크로블록 순서화를 이용하여 비디오를 관심영역과 비 관심영역으로 나누어서 코딩해주고, 릴레이를 이용한 협력 다이버시티를 이용, 관심영역에 대해서는 릴레이에서 재 전송을 해 줌으로써 전송 받은 비디오의 화질 향상이 이루어짐을 확인하였다. 소스 코딩 측면에서의 유동적 매크로블

록 순서화를 무선 채널 측면에서의 협력 다이버시티와 결합하는, 계층간 최적화 방식의 알고리즘을 제시하였다. 채널 환경이 좋지 못한 경우에, 제안된 기술을 사용하였을 경우 하나의 계층만을 고려한 경우보다 사람이 느끼기에 복원된 이미지의 화질에서 더 높은 만족도를 얻게 됨을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] A. Nosratinia et al, "Cooperative communication in wireless network," IEEE Commun. Mag., pp. 74-80, Oct, 2004.
- [2] J. N. Laneman et al, "Cooperative Diversity in Wireless Networks : Efficient Protocols and Outage Behavior," IEEE Trans. Information Theory, vol. 50, no. 12, Dec, 2004.
- [3] A. Adinoyu, H. Yanikmeroglu, "Cooperative relaying in Multi-antenna fixed relay Networks," IEEE Trans. Commun., vol. 6, no. 2, pp. 553-544, Feb, 2007.
- [4] L. Le and E. Hossain, "Cross-layer Optimization Frameworks for Multihop Wireless Networks Using Cooperative Diversity," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 7, no. 7, pp. 2592-2602, July, 2008.
- [5] Y. Wang and Q. Zhu, "Error Control and Concealment for Video Communication: A Review," Proc of IEEE, vol. 86, no. 5, pp. 974-997, May, 1998.
- [6] A. Ventro, J. Xin and H. Sun, "Error Resilience Video Transcoding for Wireless Communications," IEEE Wireless Commun., vol. 7, no. 5, Aug. 2005, pp. 14-21
- [7] U. Jang et al, "Optimal Carrier Loading Control for the Enhancement Visual Quality over OFDMA Cellular Networks," IEEE Trans. Multimedia, vol. 10, no. 6, pp. 1181-1196, Oct. 2008.
- [8] P. Pahalawatta et al., "Content-Aware Resource Allocation and

Packet Scheduling for Video Transmission over Wireless Networks," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 25, no. 4, pp.749-758, May. 2007.

[9] A. Kesentini et al., "Toward an Improvement of H.264 Video Transmission over IEEE 802.11e through a Cross-Layer Architecture," *IEEE Commun. Mag.*, Jan. 2006, pp. 107-114.

[10] T. Wiegand et al., "Overview of the H.264/AVC Video Coding Standard," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 13, no. 7, July. 2003, pp. 560-576.

[11] P. Lambert et al., "Flexible macroblock ordering in H.264/AVC," *J. Vis. Commun. Image Representation*, Aug., 2005

[12] E. G Larsson and B. R. Vojcic, "Cooperative Transmit Diversity Based on Superposition Modulation," *IEEE Commun. Letters*, vol. 9, No. 9, pp. 778-780, Sep. 2005.

[13] L. Young and D Sheena, "Methods & desings : survey of eye movement recording methods," *Behav. Res. Methods Instrum.*, vol. 7, no. 5, 1975, pp. 397-429.

[14] A. T. Duchowski, "Eye Tracking Methodology : Theory and Practice," Springer, 2003.

[15] C. H. Morimoto, M. R. M. Mimica, "Eye gaze tracking techniques for interactive applications," *Elsevier Computer Vision and Image Understanding*, Apr. 2005, 4-24.

[16] T. M. Cover and J. A. Thomas, "Elements of Information Theory," New York Wiley, 1991.

[17] S. Lee, et al., "Foveated Video Quality Assessment," *IEEE Trans. Multimedia*, pp. 129-132, vol. 4, Mar. 2002.

저 자 소 개



장 욱

- 2007년 : 연세대학교 전기전자공학과 학사
- 2008년 : The University of Texas at Austin, Visiting Scholar
- 2007년 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학과 석사과정
- 주관심분야 : 무선네트워크, 멀티미디어 통신, MIMO 통신 시스템



이 상 훈

- 1989년 : 연세대학교 전자공학과 학사
- 1991년 : 한국과학기술원 전기전자공학과 석사
- 1991년 ~ 1996년 : KT 연구개발센터 연구원
- 2000년 : The University of Texas at Austin, Electrical Engineering 박사
- 2000년 ~ 2002년 : Lucent Technologies 연구원
- 2003년 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학부 부교수
- 주관심분야 : 무선네트워크, 멀티미디어 통신, 센서 네트워크



배 경 훈

- 2001년 : 광운대학교 전자공학부 학사
- 2003년 : 광운대학교 전자공학과 석사
- 2006년 : 광운대학교 전자공학과 박사
- 2005년 : Columbia Southern University MBA
- 2006년 : Stanford University 최고프로젝트경영과정 수료
- 2007년 : 국제예술과학 및 통신협회(WCASC) 부회장
- 2006년 ~ 현재 삼성탈레스 종합연구소 전문연구원
- 주관심분야 : 무인화로봇, 네트워크 중심 컴퓨팅, 영상통신