

네트워크 및 단말기 적응화를 위한 동영상 변환 부호화 기법

유 국 열*

1. 서 론

MPEG-1 동영상 부호기[1]가 성공적인 확산된 이후 최근에는 DTV (Digital TV; MPEG-2 MP@HL 부호기[2]), DMB(Digital Multimedia Broadcasting; MPEG-4 AVC/H.264[3]), 휴대전화용 동영상 (MPEG-4 SP[4]) 등의 다양한 응용 분야에서 디지털 동영상이 폭넓게 활용되고 있다. 또한 광대역 인터넷의 광범위한 보급과 더불어 HSDPA 및 Wibro와 같은 광대역의 무선 인터넷이 시장에 출시됨에 따라 유무선 통합형 환경에서의 멀티미디어 서비스에 대한 필요성은 점차 높아지고 있다.

현재의 멀티미디어 서비스들은 대부분의 경우 광대역 유선네트워크 환경을 가정하고 있기 때문에 광대역 이동 및 무선 네트워크에 연결된 휴대형 단말기의 경우에는 적합하지 않는 측면들이 있다. 비실시간성의 스트리밍 응용에서 실시간성이 필요한 응용으로 범위가 넓혀지고, 다양한 종류의 단말기를 활용하여 서비스를 받을 경우에는 기존의 고정된 콘텐츠에 기반에 배포 및 분배의

형식으로는 사용자에게 적절한 수준의 품질을 제공하기 힘들다. 이런 현실적인 제한 요소들을 정리하여 보면, 네트워크 측면에서는 가용 대역폭, 전송 오류(transmission error rate), 전송 지연 시간 (transmission delay) 등이 있고, 단말기 측면에서는 처리 가능한 복잡도(computational complexity), 디스플레이 화면크기 (spatial resolution) 등이 있을 수 있다[6].

두 개의 단말기들이 실시간 또는 비실시간으로 동영상 통신을 수행할 경우에는 상기한 제한 요소들이 서로 만족되어야만 원하는 수준의 통신을 할 수 있다. 또한 다자간의 통신의 경우에는 문제는 더욱 복잡해지는데 하나의 콘텐츠를 서로 상이한 네트워크 및 단말 특성을 가지는 단말기들이 통신을 해야 하므로, 동일한 사양의 동영상으로는 통신이 불가능하다[7,8]. 즉, 하나의 단말이 동영상을 두 개의 단말기들에 동영상을 전송하는 경우 수신하는 단말기 중 하나의 단말은 낮은 해상도와 낮은 전송률을 지원하고, 다른 단말의 경우 높은 해상도와 높은 전송률이 지원하는 경우를 생각해 보자. 이런 경우에 송신하는 단말기는 수신하는 각 단말기별 특성에 맞게 서로 다른 동영상을 전송해야 할 필요성이 있다. 이를 위해서는 하나의 동영상 원천(source)을 서로 상이한 특성을 가진 복수개의 동영상으로 압축해서 각각의 수신 단말의 특성에 맞게 선택해서 전송을 하여야 한다. 이

* 교신저자(Corresponding Author) : 유국열, 주소: 경북 경산시 대동 영남대학교 소재관 214호(712-749), 전화: 053)810-3528, FAX : 053)810-4742, E-mail : kyoo@yu.ac.kr
*영남대학교 전자정보공학부 조교수

※ 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (ITA-2006-(C1090-0603-0002)).

런 복수개의 상이한 특성을 가지는 동영상을 만드는 기술은 동영상 변환 부호화 기법(video transcoding techniques)이 대표적이다[9]. 본 기고에서는 향후 UMA(Universal Media Access) 및 품질 보장형 다자간 멀티미디어 통신에 필수적인 변환 부호화 기법의 응용 분야, 변환 부호기의 구조 및 기술적인 특성에 대해서 고찰하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 네트워크와 단말기 적응형 동영상 부호기가 필요성 대해서 설명한다. 제 3장에서는 변환 부호기에 대한 구조와 기술적인 특성에 대해서 소개하고, 제 4장에서는 결론을 맺는다.

2. 네트워크 및 단말기 적응화의 필요성

영상 전화 및 영상회의를 위한 H.261 동영상 부호기법의 표준화가 완수된 이후 지속적으로 동영상 부호화기법들이 표준화가 수행되었다. 특히 MPEG-1 부호기의 성공적인 시장 진입으로 시작하여, MPEG-2 MP@HL 부호기가 DTV용 동영상 부호기로 미국 및 유럽에 공히 사용됨에 따라 디지털 동영상에 대한 위치는 확고히 자리매김하게 되었다. 또한 광대역 인터넷의 광범위한

보급으로 인해 웹을 통한 디지털 동영상 콘텐츠들이 제작 및 배포됨에 따라 디지털 동영상은 이미 매우 친숙한 매체로 되어가고 있다. 최근의 광대역 무선 및 이동 네트워크의 도래와 휴대 단말기의 보급으로 인해 디지털 동영상의 배포 및 전송 환경의 다양화도 동시에 이루어지고 있다.

표 1에 ISO/IEC 및 ITU-T에서 표준화한 표준 동영상 부호기들 별로 널리 사용되는 부호화 파라미터들과 응용 분야로 구분하여 정리하였다. 특히 MPEG-2 MP@HL의 경우는 DTV를 위한 동영상 부호기로 사용되고 있고, 향후의 디지털 동영상 콘텐츠들이 DTV를 중심으로 제작 및 배포된다는 점에서 디지털 동영상 콘텐츠의 원천(source)로 활용될 가능성이 매우 높다. 그러므로 MPEG-2 MP@HL 형식으로 제작된 디지털 동영상 콘텐츠를 다양한 형태의 단말기에 배포할 경우에는 각 단말기에 적합한 형식으로 변환이 절실한 상황이다.

3. 네트워크 및 단말기 적응화를 위한 변환 부호화 기법

본 장에서는 변환 부호화 기법의 종류, 구조 및

표 1. 대표적인 표준 동영상 부호기들의 사양 및 응용분야

동영상 부호기	부호화 파라미터			응용분야	대표 단말기
	공간해상도(pixels)	시간해상도(fps)	전송률 (bps)		
MPEG-1	352×240 640×480	30	1.5M~5M	저장용	디지털 카메라
MPEG-2 MP@HL	1920×1080i	30	17.5M	방송용	DTV
H.263	176×144 352×288	10~30	64k~384k	영상전화/회의	영상 전화기, 화상회의시스템
MPEG-4 SP	176×144 352×288	10~30	64k~384k	범용	원격감시 장치, 디지털 카메라
H.264	176×144 352×288	10~30	64k~384k	범용	DMB

상세 기술에 대해서 다룬다. 본 장은 다음과 같이 구성되어 있다. 3.1절에서는 변환 부호기의 특성에 따라서 종류를 구분하고 기본 구조에 대해서 설명한다. 3.2절에서는 변환 부호기에서 변환의 대상이 되는 파라미터들의 특성에 대해서 논의한다. 3.3절에서 3.5절에서는 대표적인 변환 부호기의 기술적인 특성에 대해서 설명한다.

3.1 변환부호기의 구분

표 1에서 언급한 동영상 부호화 기술의 기반은 이동 보상 (MC; Motion Compensation)과 DCT 변환 (Discrete Cosine Transform)에 바탕을 둔 DPCM (Difference Pulse Coded Modulation) 구조를 가지고 있다. 이런 예측을 사용하는 DPCM 부호화 방식을 화면간 부호화 방식(interframe coding method)이라 하고, 이 방식으로 부호화된 화면을 P-picture라고 부른다. 예측을 수행할 때에 시간적으로 미래의 영상과 과거의 영상을 이용하는 방식은 B-picture라고 부른다. 또한 예측을 사용하는 DPCM을 사용하지 않고 현재 화면내의 정보만을 이용해서 부호화를 수행하는 방식을 화면내 부호화 방식(intraframe coding method)이라 하고, 이 방식으로 부호화된 화면을 I-picture라고 부른다. 또한 그림 1에서 보인 바와 같이

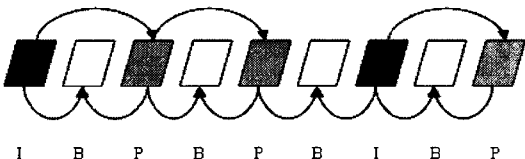


그림 1. 이동 보상형 예측 방향에 따른 화면 부호화 기법의 구분; I-picture는 부호화시에 이전에 부호화된 영상을 사용하지 않음; P-picture는 이전에 부호된 영상을 이용해서 예측 부호화를 사용함; B-picture는 예측 부호화를 사용하나 다른 영상의 부호화시에는 활용되지 않음.

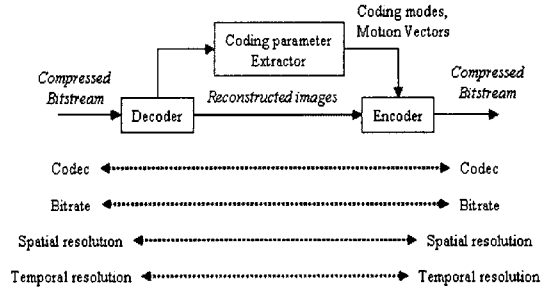


그림 2. 변환 부호기의 기본적인 구조 및 변환의 대상

I-picture들은 부호화된 영상에서 임의 접근 화면(random access point)를 제공하거나, 네트워크를 통해서 전송할 경우 전송 오류에 의한 화질 저하가 시간 방향으로 전파되는 것을 막기 위해서 주기적으로 사용되기도 한다[1,2].

동영상 부호화 기법들이 동일한 원리에 바탕을 두고 동작하기 때문에 변환 부호기에서는 원래 압축된 비트열에 포함되어있는 부호화 정보를 최대한 활용하여 복잡도를 줄이는 것에 주안점을 두고 연구를 수행되어왔다(그림 2의 coding parameter extractor 참조). 그림 2은 기본적인 변환 부호기의 구조를 보여준다. 입력으로 압축된 동영상 비트열을 받아들여서, 복호기를 통해서 재생 화면들을 만든다. 만들어진 재생 화면을 입력으로 해서 원하는 형태의 압축된 동영상 비트열로 부호화를 수행한다. 이때 입력된 비트열의 부호화 방식이 변환 후의 비트열의 부호화 방식과 다른 경우를 이종 변환 부호기 (heterogeneous transcoder)라고 부르고, 부호화 방식이 같은 경우를 동종 변환 부호기(homogeneous transcoder)라고 부른다. 또한 변환 부호화를 수행하는 목적에 따라서 변환 전후의 전송률, 공간 해상도(spatial resolution) 및 시간 해상도(temporal resolution)이 달라질 수 있다.

특히 이종 변환 부호기의 경우에는 서로 상이한 부호화 방식이므로, 보통 응용 분야 및 단말기

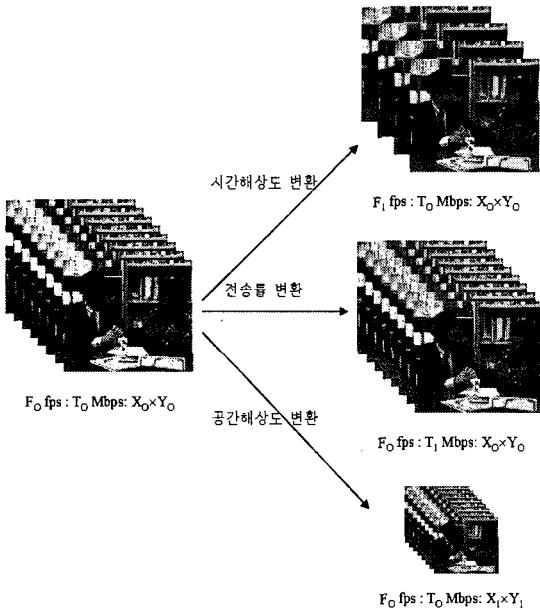


그림 3. 변환 부호기의 동작 설명 예: 변환 부호기는 압축된 동영상상을 입력으로 해서 시간해상도, 공간해상도 및 전송률을 가변해서 새로운 압축된 동영상으로 변환이 가능함.

의 특성이 달라진다. 예를 들자면 입력 비트열이 DTV 방식 (MPEG-2 MP@HL)이고, 출력이 MPEG-4 SP일 경우에는 DTV용 콘텐츠를 휴대형 단말기(예, PMP, PSP, PDA 등)에 저장 및 재생을 위한 용도로 사용되거나 인터넷을 통해 전송을 하고자하는 응용에 사용된다.

동종 변환 부호기의 경우에는 동일한 목적이거나 응용 분야에서 사용되고 있으나, 단말기의 성능이나 네트워크의 상황에 따라 변환 부호화를 수행하는 경우에 널리 사용된다. 즉 H.263 방식을 이용하여 다자간 영상 회의(video conference)에서 회의에 참석자들의 네트워크의 가용 대역폭(available bandwidth)가 서로 상이한 경우에 MCU(Multiparty Control Unit)에서 각 참석자의 네트워크의 상황에 맞게 전송률 또는 시간 해상도만을 가변해서 전송하는 응용에 사용할 수 있다[7].

3.2 변환 부호화의 대상 파라미터들

부호화된 비트열의 변환에는 그림 3에서 보인 바와 같이 3가지 종류의 변환과 이들의 조합으로 구분될 수 있다.

- 전송률(transmission rate; bits/sec) 변환: 현재 부호화된 동영상 비트열의 목표 전송률(target bitrate)이 수신측의 네트워크의 가용 대역폭 또는 수신단말의 최대 수신률 보다 큰 경우에 전송률을 낮추는 작용이 필요하다.
- 시간해상도(temporal resolution; frames / sec) 변환: 수신 단말기의 처리 가능한 복잡도(computational complexity)에 따라 시간 해상도를 낮출 수 있다. 이 경우에는 수신 단말기가 기 부호화된 동영상 비트열의 공간 해상도를 충분히 디스플레이를 할 수 있으나 처리 속도가 제한된 경우에 해당한다. 또한 수신 단말기의 처리 능력과 디스플레이의 크기가 충분한 경우에도 수신 전송률이 높지 않은 경우에도 활용 할 수 있다.
- 공간해상도(spatial resolution; pixels/ frame) 변환: 수신 단말기의 디스플레이 해상도가 기 부호화된 동영상의 공간 해상도 보다 낮을 경우에 사용할 수 있는 방식이다. 또한 공간 해상도의 감소는 전송 비트율을 감소시키는 효과가 있다. 대부분의 경우에 낮은 디스플레이 해상도는 흔히 휴대형 단말기의 전형적인 특징이다.
- 복합형 변환: PC의 경우에는 안정적인 전원 공급, 높은 시공간 해상도를 가진 디스플레이, 높은 처리 속도를 가지고 있다. 그러나 휴대형 단말기(예: PDA, 멀티미디어 휴대 전화, PSP 등)의 경우에는 제한된 시공간 해상도와 상대적으로 낮은 연산 능력을 가지고 있고, 주로 무선 및 이동 네트워크에 연결되기

때문에 전송률이 낮은 특성을 가지고 있다. 이런 경우에 고성능 단말기를 목적으로 만들어진 디지털 동영상 비트열은 직접적으로 수신하는 것이 불가능하므로, 시간해상도, 공간 해상도 및 전송률이 동시에 줄이는 복합형 변환을 수행하여야 한다.

3.3 비트율 가변을 위한 변환 부호화 기법

변환 부호기는 구조에 따라 화소 영역 변환 부호기(pixel-domain transcoder), 변환 영역 변환 부호기(transform-domain transcoder)로 구분된다. 또한 변환 영역 변환 부호기는 또한 개방형 구조와 폐쇄형 구조로 분류되어 진다. 이들 각각을 살펴보면 다음과 같다.

첫째로 화소 영역에서 변환을 수행하는 화소 영역 변환 부호기가 있다. 그림 4에 화소 영역 변환 부호기의 구조를 나타내었다[11]. 그림 4를 살펴보면 복호기를 이용해서 재생 영상을 만들고, 만들어진 재생 영상을 입력으로 하여 새롭게 부호화를 수행하는 구조를 가지고 있다. 기존의 부호기와 복호기를 소프트웨어 또는 전용 하드웨어를 가지고 있을 경우에 이들의 조합으로 매우 간단하게 구현할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 구조에서 알 수 있듯이 매우 높은 복잡도를 가지고 있는 단점이 있다. 복잡도를 낮추기 위해서 복호화시에 획득한 각 매크로 블록(Macroblock)별

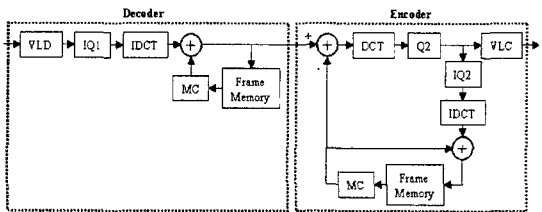


그림 4. 화소 영역 변환 부호기 (pixel-domain transcoder)

부호화 모드 정보와 이동 벡터를 재활용해서 복호화시에 활용해서 복잡도를 크게 낮출 수 있으나, 부호화 성능은 떨어진다. 부호화 성능을 유지하면서 복잡도를 낮추기 위해 복호화시에 획득한 이동 벡터를 초기치로 해서 이동 추정을 다시 하는 과정을 통해서 화질 저하를 어느 정도 막을 수 있는 방식들도 있다.

둘째, 변환 영역에서 변환 부호기를 수행하는 변환 영역 개방형 변환 부호기가 있다. 화소 영역 변환 부호기는 다른 구조들에 비해 화질 저하가 최소가 된다는 장점을 있으나, 높은 복잡도로 인해서 응용에 따라 사용이 제한이 될 수 있다. 이런 단점을 극복하기 위해 그림 5와 같은 변환 영역 개방형 변환 부호기들이 제안되었다[12]. 이 방식의 경우 I-picture인 경우에는 화소 영역 변환 부호기와 동일한 성능을 가지면서 매우 낮은 복잡도를 가진다. 그러나 예측 루프를 가지는 P-picture인 경우에는 고주파 성분의 유실로 인한 드리프트(drift) 현상이 발생하여 전반적으로 재생 영상에 번짐(blurring) 현상이 발생하는 단점이 있다. 그림 3에서 보인 Q2의 재양자화로 인해서 재생 영상의 변형이 발생하게 되나, 부호기단에서 P-picture의 이동 보상을 수행할 때 참조 영상(reference picture)가 바뀌게 된다. 그러나 수신단의 복호기에서는 이런 참조 영상의 변경이 반영되지 않고 복호화를 수행하기 때문에 송수신단의 참조 영상의 불일치(mismatch)로 인한 화질 저하가 발생하게 된다. 이런 불일치에 의한 화질 저하는 DPCM 예측 루프내에서 누적되기 때문에 시간이 흐를수록 수신측의 재생 영상

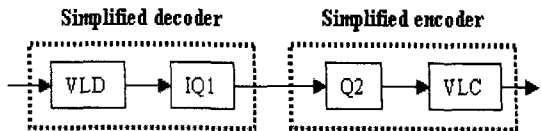


그림 5. 변환 영역 개방형 변환 부호기

의 화질의 저하가 커진다는 단점을 가진다. 이런 화질 저하는 주기적인 I-picture를 삽입해서 막을 수 있으나, I-picture들 사이의 간격이 클 경우엔 시간 방향으로 주기적인 화질의 변화로 인해 주관적인 화질의 저하는 피할 수 없다. 또한 I-picture들 사이의 간격이 작은 경우에는 발생 비트량의 증가로 원하는 변환 부호화의 목적을 달성할 수 없다는 단점이 있다.

마지막 형태인 변환 영역 폐쇄형 변환 부호기는 그림 6에서 보인 변환 부호기는 그림 4의 화소 영역 변환 부호기의 동작을 분석해서 얻은 변환 부호기로 수학적으로 화소 영역 변환 부호기와 동일한 성능을 가진다. 이는 복호단의 페루프를 부호화단의 페루프와 공유함으로써 복잡도를 줄인 구조이다[13]. 그러므로 그림 4의 변환 부호기에 비해서 복호기 단에서 많은 복잡도를 요구하는 IDCT, MC 및 화소 단위의 조작들이 없어서 매우 낮은 복잡도를 가진다. 앞에서 언급한 바와 같이 복호단의 부호화 모드 정보와 이동 벡터 정보를 부호화 단에서 재활용할 경우에는 그림 4의 구조에 비해 근사적으로 반 정도의 복잡도로 변환 부호화를 수행할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그러나 수학적으로 구조는 동일하지만, 결합된 페루프 내의 산술적인 부정확도로 인해서 근사화 오차

가 존재하게 되어 드리프트 현상이 발생한다. 그러나 그림 3의 변환 영역 개방형 변환 부호기에 비해서 드리프트 현상은 매우 낮은 편이다.

3.4 시간 해상도 변환을 위한 변환 부호화 기법

시간 해상도를 가변을 변환 부호화 기법은 부호화된 비트열의 특성에 따라 다소 가변성을 가진다. 가장 간단하면서 화질의 저하가 없이 시간해상도를 가변시키는 경우는 그림 1과 같이 B-picture가 있는 구조로 부호화가 되어 있는 경우이다. 그림 1의 구조는 일반적으로 저장용 동영상(MPEG-1) 및 방송용 동영상(MPEG-2 MP@HL)에서 흔히 볼 수 있다. 그림 1에서 B-picture의 경우에는 다른 영상의 부호화시에 예측을 위한 참조 영상으로 사용되지 않으므로, 누락을 시켜도 복호화에는 아무런 문제를 발생시키지 않는다. 그러나 이런 방식의 경우에는 P-picture들 사이에 있는 B-picture의 개수에 따라서 가변시킬 수 있는 시간 해상도가 제한된다는 단점을 가지고 있다. 부호화된 화면 중에 일부를 주기적으로 누락해서 원하는 해상도에 맞추는 경우에는 3.3절의 그림 4에서 설명한 화소 영역 변환 부호기를 사용할 수 있다. 이 경우에는 복호기와 부호기 사이에 시간 해상도를 가변시키기 위한 화면 누락기(frame skipper)를 삽입해서 시간 해상도를 조절할 수 있다. 또한 변환 부호화시에 복잡도를 줄이기 위해 복호화시에 획득한 정보는 시간 해상도의 변환에 맞추어서 변형을 가한 후에 사용하는 방법이 있다. 즉, 이동 벡터의 경우에는 움직임의 크기를 외삽(extrapolation)을 해서 크기를 신장해서 재활용할 수 있다.

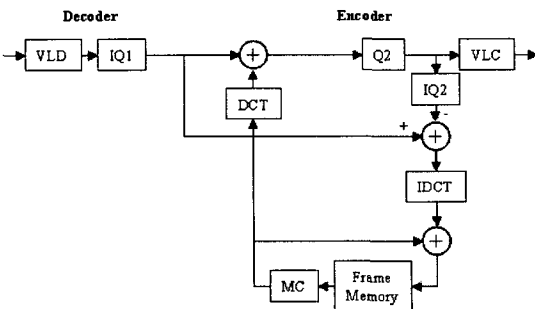


그림 6. 변환 영역 폐쇄형 변환 부호기; 복호화는 변환 및 화소 영역에서 수행이 되고, 부호기는 화소 영역에서 수행되는 구조를 가지고 있음.

3.5 공간 해상도 변환을 위한 변환 부호화 기법

공간 해상도의 변환을 위한 변환 부호기는 3.3

질의 그림 4에서 설명한 화소 영역 변환 부호기를 사용할 수 있다. 이때에는 복호기와 부호기의 사이에 스케일러(scaler; spatial subsampling)를 두어서 원하는 해상도를 맞춘 후에 부호화를 실시한다. 복호화 과정에서 획득한 부호화 정보는 적절한 해석을 통해서 부호화시에 재활용을 할 수 있다. 예를 들면 2:1로 공간 해상도를 낮추는 경우에 복호화시에 이동벡터의 4개에 해당하는 영역이 부호화시에는 1개의 영역으로 대응되게 된다. 이 경우에는 4개의 이동 벡터의 조합으로 부호화시에 활용할 이동 벡터를 구하는데 사용할 수 있다.

4. 결 론

본 기고문에서는 서로 상이한 특성을 가지는 네트워크 또는 단말기 환경에서 하나의 디지털 동영상 콘텐츠를 활용 또는 통신을 위해서 동영상 변환 부호화 기법에 대해서 정리하였다. 향후 디지털 콘텐츠가 DTV를 중심으로 제작·배포될 예정이고, 또한 사용자들은 다양한 휴대형 단말기를 보유하게 될 것이다. 이런 상황에서 하나의 콘텐츠를 최대한 활용하기 위한 UMA(Universal Media Access)를 위한 핵심 기술이 변환 부호기들이 될 것이다. 또한 실시간성을 가진 다자간 통신 환경에서 서로 상이한 네트워크의 상황과 단말 특성을 가지는 사용자들이 통신을 할 수 있도록 부호기, 전송률, 해상도 등을 개별화해서 전송하는 분야에도 응용이 가능할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] *Coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about 1.5 mbit/s*, ISO/IEC 11172-2 (MPEG-1), 1993
- [2] *Information technology - Generic coding of moving pictures and associated audio information: video*, ISO/IEC 13818-2:2000 (MPEG-2), 2000
- [3] *Advanced video coding for generic audiovisual coding*, ITU-T Recommendation H.264, 2005.
- [4] *Information technology - Generic coding of audio-visual objects*, ISO/IEC 14496-2(MPEG-4), 2004
- [5] *Video coding for low bitrate communications*, ITU-T Recommendation H.263, 2005
- [6] Y. Wang, et. al., "Utility-based video adaptation for universal multimedia access (UMA) and content-based utility function prediction for real-time video transcoding," *IEEE Trans. Multimedia*, Vol. 9, No. 2, pp. 213-219, Feb. 2007.
- [7] X.G. Liu, K.-Y. Yoo, and K.-D. Seo, "A fast video mixing method for multiparty video conference," *Springer LNCS*, Vol. 3656, pp. 320-327, Sept. 2005
- [8] K.-Y. Yoo, et., al., "A syntax-based mixing method for H.263 coded bitstreams," in Proc. of *IEEE ICCE*, Las Vegas, USA, Jan. 2005.
- [9] A. Vetro, et. al., "Video transcoding architectures and techniques: an overview," *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 20, No. 2, pp. 18-29, March 2003.
- [10] N. Bjork, et. al., "Transcoder architectures for video coding," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, Vol. 44, pp. 88-98, Feb. 1998.
- [11] Z. Zhou, et. al., "Motion information and coding mode reuse for MPEG-2 to H.264 transcoding," Proc. *IEEE ISCAS*, Vol. 2, pp. 1230-1233, May 2005.
- [12] H. Sun, et. al., "Architectures for MPEG compressed bitstream scaling," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 6, pp. 191-199, April 1996.
- [13] P. Assuncno, et. al., "Post-processing of MPEG-2 coded video for transmission at lower bitrates," Proc. *IEEE ICASSP*, pp. 1998-2001, 1996.



유 국 열

- 1991년 2월 경북대학교 공과대학 전자공학과 학사
 - 1993년 2월 한국과학기술원(KAIST) 전기및전자공학과 공학석사
 - 1998년 8월 한국과학기술원(KAIST) 전기및전자공학과 공학박사
 - 1998년 3월 ~ 2001년 3월 (주)삼성전자 중앙연구소 책임 연구원
 - 2001년 4월 ~ 현재 영남대학교 전자정보공학부 조교수
 - 관심 분야 : 멀티미디어 통신, 표준동영상압축기법, 영상 처리
-
-