

ATM 망에서의 영상부호화 기술

李光基, 李鎔均*, 朴圭泰
延世大學校, 韓國電子通信研究所*

I. 서론

기존의 협대역 ISDN의 대역폭 한계를 극복하고 다양한 전송 특징을 요구하는 임의의 서비스에 능동적으로 대처하기 위하여 B-ISDN의 필요성이 대두되고 있다. B-ISDN의 구현을 위해서는 서비스의 종류에 따라 다양하게 요구되는 전송특징을 적절히 수용할 수 있는 효율적인 방안이 강구되어야 하며, 전송 속도 및 정보원의 특성에 망 구조가 의존하지 않는 전달 기술로써 ATM(asynchronous transfer mode)방식이 제안되었다.

B-ISDN이 수용해야 할 통신 서비스는 무엇보다도 넓은 대역폭이 요구되는 영상 관련 서비스라 할 수 있다. ATM 환경에서는 영상 신호를 가변 비트율(VBR: variable bit rate)로 부호화함으로써 화질을 균일하게 유지할 수 있을 뿐만 아니라, 각 소스의 필요에 의해 전송채널을 할당받는 가상연결(virtual connection)에 의해 망내의 자원(resource)을 효율적으로 이용할 수 있다. 그러므로 ATM 환경에서의 영상서비스를 실현하기 위한 주요 연구 방향은 ATM 망이 제공하는 전송의 유연성과 제한조건들을 고려한 효율적인 영상 부호화와 망자원 활용의 극대화가 될 것이다. 결국, 기존의 부호화가 고정전송율(CBR: constant bit rate) 채널을 위한 비트율 제어(rate control) 중심의 압축이었다면, ATM 환경에서는 사용자의 요구에 충실한 품질위주의 제어(quality control)를 위한 전혀 새로운 영상부호화 방법을 필요로 하게 된 것이다^[1].

그러나 ATM 환경에서의 영상부호화는 셀손실(cell loss)과 셀지연지터(cell delay jitter) 등의 문제를 필연적으로 내포하게 되므로, 이에 대한 효과적인 대처가 필요하다. 또한 다양한 전송특징을 가진 호에 대하여

서로 다른 요구품질(QoS: quality of service)을 만족시키기 위해 전송의 전과정에 걸친 트래픽 제어(traffic control)가 필요하다. 특히 망과 단말 간의 협상 및 제어는 망자원의 효율적인 이용과 일정한 품질의 유지를 위해 가장 중요한 문제이며, 이를 위하여 각 전송원의 트래픽 특징을 정확하게 표현할 수 있는 소스 모델링과 영상정보의 통계적 특성에 대한 분석이 중요한 문제로 대두되고 있다^[2]. 이러한 현상은 기존의 망과 단말이 서로 독립적으로 동작하던 것과는 달리, ATM 망에서는 망이 단말을 혹은 단말이 망의 상태를 고려해야 한다는 것을 의미한다.

본고에서는 ATM 망에서의 영상서비스를 위한 연구 동향 및 영상부호화 알고리즘 개발시 고려해야할 조건들에 대하여 살펴보고자 한다. 특히 셀손실과 셀지연지터 등의 문제점을 해결함과 동시에 영상서비스의 통합화(integration of video services)와 호환성을 이루기 위한 효과적인 방법인 계층적 부호화(layered coding)에 대하여 살펴본다.

II. ATM 망에서의 영상서비스

1. ATM 망의 특징

ATM 망은 서로 다른 특성을 지닌 통신서비스를 통합적으로 지원하며 각 서비스는 자신의 전송특징 및 요구품질을 기초로하여 망자원을 사용하게 된다. ATM 망에서의 모든 정보전송은 한가지 방법, 즉 비동기 전달 모드(ATM)의 고정 길이 패킷인 셀을 이용하여 이루어진다. 셀은 5 옥텟의 헤더부와 48 옥텟의 사용자 정보 영역으로 나누어지며, 5 옥텟의 셀헤더의 역할은 사용자 정보를 쉽게 다중화 시켜주고 능동적인 대역폭

할당을 위해 이용되며 가상채널과 가상경로, 셀 우선권에 대한 정보를 포함한다.

ATM은 회선 교환과 패킷 교환의 결점을 보완하는 방법으로 다음과 같은 장점을 갖는다. 첫째, 실시간 전송을 위하여 가능한 한 간단한 프로토콜을 기본으로 하여 하드웨어적으로 프로토콜을 처리하므로 고속 전송이 가능하다. 둘째로 가변 비트율 소스에 대한 통계적 다중화로 인해, 고정된 채널할당에서보다 더 높은 채널이용 효율을 얻을 수 있게 되므로, 망 자원의 효율적인 이용이 가능하다. 셋째 셀 전송형태에 기초한 ATM 다중화 기술은, 다양한 특성을 갖는 트래픽의 전송에 있어서 최대의 유연성을 제공하게 되므로, 멀티미디어 서비스 즉 데이터, 영상, 음성정보 등의 효과적인 결합을 지원한다.

2. 영상서비스의 통합화

광대역 통신망의 도래로 인해 비디오 및 영상 서비스는 점차 중요한 통신 형태로 부각되고 있으며, 이에 대한 사용자의 욕구는 더 다양하고 높은 품질의 서비스에 대한 수요를 증대시킬 것으로 기대된다. B-ISDN이 수용해야 할 가장 중요한 통신 서비스는 영상전화, 영상회의, 영상검색, 그리고 HDTV, TV 방송 등의 영상서비스이다. 이들 서비스의 특징은 협대역에서 광대역까지의 다양한 대역폭을 요구할 뿐만 아니라, 정보의 흐름이 양방향(교신성 서비스), 편방향(검색형 서비스), 방송형(분배성 서비스) 임과 동시에 대칭적 혹은 비대칭적이며, 서비스의 종류에 따라 고정전송속도(CBR) 혹은 가변전송속도(VBR)를 요구한다. 또한 각 서비스는 서로 다른 전송 지연과 정보손실을 허용하며 이에 따라 상이한 요구품질(QOS:quality of service)을 요구하게 된다.

B-ISDN은 음성, 데이터 및 비디오 응용을 종합적으로 지원할 수 있는 공중망의 토대로써 다양한 서비스에 대한 통합적인 처리를 가능케 하며, 그 결과 사용자에게 더욱 경제적이고 유연한 서비스를 제공하게 된다. 서비스의 통합화는 망과 사용자 기기 내의 전단계에 걸친 일관성 있는 표준화를 필요로 하며, 사용자-망간 접속(user-network interface), 시그널링 및 제어규격(signalling and control formats), 부호화기술, 디스플레이 장치 등이 서비스 형태의 전 범위에 걸쳐 일관성 있게 결정될 경우 극대화될 것이다. 특히 영상서비스의 경우 공통된 영상부호화 방법은 서비스 통합화를 위한 가장 중요한 요구조건이 될 것이다. 공통된 부호화 방법을 사용할 경우 다양한 서비스를 지원할 수 있는 경

제적인 단말기를 제공할 수 있으며 연동(interworking)을 용이하게 실현할 수 있다.

IVS(integrated video services) Baseline Document^[2]는 CCITT SGXVIII 및 영상서비스에 관련된 여타 관련그룹(Task Group CMTT/2, CCITT SGXV ATM Video Coding Experts Group, ISO/MPEG, CCIR SG11, CCITT SGI 등)들의 연구에 있어서 공통적인 기초를 제공하기 위하여 작성되고 있으며 B-ISDN 환경에서의 종합영상서비스의 실현을 위한 기술적, 경제적인 문제점들을 밝히고 있다. B-ISDN에서의 영상서비스는 다음과 같은 범주로 분류할 수 있다.

- 교신성 서비스(conversational services)
- 분배성 서비스(distributive services)
- 검색형 서비스(retrieval services)

3. ATM 망에서의 영상부호화 표준

통신망의 광대역화와 VLSI 기술의 지속적인 발전은 새로운 환경 즉 더 넓은 대역폭과 더 빠른 처리속도를 보장하게 되었으며 사용자의 욕구 또한 더욱 고도화, 다양화된 서비스를 요구하게 되었다. 이러한 환경변화는 새로운 영상부호화 표준의 필요성을 증대시키게 되었으며, 최근 ATM 환경에서의 영상부호화 표준인 H.26X^[3], MPEG-1의 뒤를 잇는 MPEG-2^[4]의 표준화 작업에 관심이 집중되고 있다. (표 1)

1) ATM 영상부호화 전문가 그룹(experts group for ATM video coding)

AVC 전문가그룹은 1990년 6월에 B-ISDN 환경에서의 ATM 전송에 적합한 영상 부호화의 표준을 개발하기 위해 CCITT Study Group XV의 산하에 설립되었으며 H.26X라는 권고안을 목표로 연구중에 있다. AVC 전문가그룹에서 진행되고 있는 연구를 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

- ATM 환경에서의 교신성 서비스에 적합한 영상부호화 알고리즘에 대한 연구, 특히 기존의 영상 및 음성 서비스(AV:audiovisual services)에 대한 권고를 ATM 망에 적용하기 위하여 필요한 변형
- 양질의 화질을 얻기 위한 영상 부호화 알고리즘과 망 변수(network parameters) 사이의 관계. 망변수로는 평균/피크 비트율(average/peak rates), 군집도(burstiness), 피크발생기간(peak duration) 등이 검토되고 있다.
- ATM 망의 모든 서비스 등급에서의 다양한 응용을 위한 통합적인 부호화 표준(unified coding standard)에 관한 연구.

표 1. 영상부호화 표준

표준화 기관	응용분야	영상규격	비트율	기타		
CCITT	H.261	ISDN conversational service	QCIF(180×120) CIF(360×240)	64Kbps -1.5Mb/s	p*64Kbps	완료
	H.26X	universal coding for ATM	CCIR or SIF?	수십Mbps	CBR/VBR, ATM compatibility with H.261, MPEG II, CMTT/2	진행중
ISO	JPEG	DSM, Computer	CCIR(720×480)등	0.75-1.5 bit/pixel	Still image	완료
	MPEG I	멀티미디어 Interactive DSM application	CIF(360×240)	1.0-1.5Mbps	Random access, F/F, Reverse play modes	완료
	MPEG II	Generic coding Digital VTR, Digital DISC Cable TV	CCIR(720×480) Interlaced	upto 10 Mbps	CBR/VBR Compatibility & Scalability Frame/Field based motion estimation	진행중
	MPEG III	Generic coding(HDTV)	?	upto 40Mbps	CBR/VBR	예정
CCIR/ CCITT	CMTT/2	TV/HDTV Secondary distribution	CCIR(720×480)	34-45Mbps (1-0.5 bit/pix)	Compatibility between TV and HDTV CBR/VBR, STM/ATM	진행중
FCC (미국)	Advanced Advisory Committee	TV/HDTV 6MHz Channel	?	?	GI & MIT, Zenith & AT & T 방식이 유력	진행중

- ATM 부호화 시스템의 응용 분야(교신성, 분배성, 저장 및 검색등의 서비스)와 이들 시스템의 망과 관련된 요구 및 제약조건
- H.200 권고안에 제시되어 있는 AV 시스템과 새로운 알고리즘 사이의 호환성
- 영상 부호화에 관련된 타 연구단체(CCITT의 다른 그룹, CMTT, ISO/IEC)들과의 공동연구 및 협조
- ATM 환경하에서의 영상 부호 표준안 권고

AVC 전문가그룹은 유사한 분야에 서로 다른 표준이 제정될 위험성을 배제하고 표준화 작업의 중복을 막기 위하여 CMTT 및 ISO MPEG와 긴밀한 관계를 유지하고 있으며, 영상부호화 알고리즘, 멀티미디어 다중화 및 동기화에 대한 시스템 문제 그리고 구현에 관한 공동연구를 수행하고 있다. 특히 10 Mbps급의 영상부호화 알고리즘의 표준화 작업을 진행하고 있는 ISO MPEG와는 joint meeting을 통하여 공동관심 분야에 대한 공동연구를 활발히 진행하고 있다. 영상부호화 알고리즘의 설계에 영향을 미치는 ATM 망의 특징은 다음과 같이 정리할 수 있으며 이러한 문제들에 대한 SGXVIII과의 상호연구 및 협의가 진행 중이다.

- 셀 손실율(cell loss ratio) 및 셀 손실의 버스트 특성(cell loss burst behavior)
- 셀 우선도(CLP : cell loss priorities)의 사용 및 제한조건
- 사용자 파라미터(usage parameters)
- 멀티미디어 접속(multimedia connection)
- 비트 에러율(bit error rates)
- 셀 전송지연 지터(cell delay jitter)
- 망 모델(network model for hardware experiments)
- ATM 적응 계층(AAL : ATM adaptation layer)의 정의
- 망 연동(network interworking)

2) ISO MPEG

ISO/MPEG에서는 1.5 Mbps급의 동영상 부호화 표준인 MPEG-1의 완료와 함께 10 Mbps까지의 전송속도를 수용할 수 있는 MPEG-2의 표준화 작업에 박차를 가하고 있다. MPEG의 표준화 활동은 원래 CD-ROM과 같은 DSM을 위한 비디오 및 오디오 부호화의 표준화를 목표로 시작되었으나, 최근 방송 및 통신으로 그 적용범위가 크게 확대되고 있다. MPEG-2의 표준화

목적은 특정 응용분야에 제한되지 않는 일반적인 부호화의 제정에 있으며, 다양한 응용분야에 공통적으로 적용할 수 있는 부호화/복호화 과정을 특정 응용분야의 미디어 및 채널에 적용시킬 수 있다. 그러므로 MPEG-2에서는 여러 응용분야가 요구하는 요구조건(requirement)을 유연하게 수용할 수 있는 알고리즘, 특히 기존 영상부호화 표준과의 호환성(compatibility)과 해상도가변성(resolution scalability)을 고려한 알고리즘이 주목되고 있으며, CCITT AVC 전문가그룹과의 공동연구를 통해 ATM 망에서의 요구조건을 수용하는 방향으로 연구가 진행되고 있다. 또한 HDTV급의 MPEG-3에 대한 연구도 조만간 구체화될 것으로 예상된다.

III. ATM 망에서의 영상부호화 요건

1. 고정비트율(CBR)과 가변비트율(VBR) 영상부호화의 비교

동영상 부호화에서의 정보량은 영상신호의 시공간적 특성(영상의 복잡도, 움직임, 화면전환 등)에 따라 변화한다. CBR 부호화에서는 가변적인 정보발생량을 완화하기 위하여 버퍼를 사용하여 큰 활동도에서의 초과정보를 일시적으로 저장할 수 있으나, 버퍼의 데이터량이 한계값을 넘으면 넘침(overflow)을 막기 위하여 비트발생율을 감소시켜 주어야 한다. 이는 버퍼에서 부호화에 대한 피드백제어를 통해 이루어지며, 가장 일반적인 방법은 양자화 간격을 조절하는 것으로 양자화 간격이 클수록 적은 양의 정보가 발생되며 역의 경우에는 많은 양의 정보를 발생시키게 된다. 이러한 조절을 통하여 CBR을 유지시켜 줄 수는 있지만 활동도가 큰 영상의 경우에는 화질의 저하를 가져오게 되고 역으로 활동도가 작은 영상에는 채널에 할당된 대역을 낭비하게 되는 단점이 있다. 또한 복원된 화질은 큰 변화를 겪게 된다. 즉, CBR로 영상 정보를 부호화할 경우 영상의 복잡도에 따라 왜곡이 불균일하게 되고 인간의 시각 특성은 영상 왜곡 자체 뿐만 아니라 왜곡의 불균일에 민감하게 반응하는 것으로 알려져 있다. 특히 CBR 부호화에서의 버퍼에 의한 지연은 교신성 서비스의 경우 큰 단점이 된다.

한편 ATM 망에서는, 영상신호의 정보량의 변화를 반영하는 전송비트율을 필요에 의해 할당받을 수 있으므로, VBR 부호화를 통하여 품질을 일정하게 유지(quality control)하는 것이 가능하다. 또한 서로 독립적인 다수의 화상정보원을 통계적 다중화(statistical

multiplexing)를 통해 전송로를 공유시킴으로써 전송로의 유효이용이 도모되며, 필요할 때만 높은 전송율을 할당받게 되므로 CBR에서보다 낮은 평균 비트율로 더 높은 화질을 얻을 수 있다. VBR 영상부호화에서는 비트율제어(rate control)를 제거 혹은 단순화시킴으로써 부호화 알고리즘을 간단하게 구현할 수 있으며, 버퍼의 크기를 줄일 수 있으므로 부호화지연의 단축효과를 기대할 수 있다. 그러므로 이러한 장점을 명확히 하여 VBR이 가장 효율적인 응용분야를 명확히 할 필요가 있다. 특히, 화상전환 및 화상회위와 같은 저전송율 응용에서는 VBR 부호화가 월등히 우수한 성능을 나타낼 수 있으며, 고품질을 요구하는 분배성 서비스의 경우에 있어서도 높은 대역폭 이득(bandwidth gain)을 얻을 수 있다.

큰 화면전환(scene cuts or change)이 없고 적당한 움직임을 포함하는 화상회의 영상을 open loop VBR 부호화할 경우, 한 프레임당 발생시키는 셀의 수는 gamma distribution을 갖게 된다. 그러나 VBR 영상부호화에 의해 발생하는 비트량은 영상정보의 내용, 부호화 알고리즘, 그리고 요구되는 화질등의 여러 요소에 의해 달라진다. 화면의 변화는 배경, 밝기, 그리고 시/공간 주파수의 차를 포함하며 발생 비트량은 특히 영상에 포함된 움직임에 크게 영향을 받게된다. 또한 VBR 부호화의 경우에도 영상신호의 단기변화를 완충시키기 위한 작은 전단버퍼가 필요하며 이는 출력소스의 모양을 변형시키게 된다. 수십 마이크로초전 정도의 용량을 갖는 망내의 큐는 통계적 다중화에 크게 기여하지 못하므로 전단 버퍼를 통하여 단기 변화를 수용한다. 그러나 전단버퍼의 크기는 CBR에서의 레이트버퍼에 비하여 매우 작게할 수 있으므로 심각한 지연 문제를 일으키지는 않는다.

CBR은 VBR의 특별한 경우로 생각할 수 있으며 응용분야에 따라 VBR 부호화는 CBR 혹은 VBR 모드로 동작할 수 있다. 가변 비트율 부호화를 수행하는 알고리즘에 필요한 기본적인 사항은 다음과 같다.

- 균일 화질의 보장
- 원하는 화질과 이용할 수 있는 '범위에 맞는' 평균 비트율의 선택이 가능
- 전송 에러의 영향을 최대로 제한
- 간단한 알고리즘과 유연성 있는 하드웨어

2. 통계적 다중화

ATM 망에서 서로 다른 소스로부터의 비트스트림이 통계적 다중화를 통하여 하나의 채널로 다중화될 경우,

각 개별 비트스트림의 피크의 합보다 더 작은 용량의 채널을 사용할 수 있으므로 대역폭의 이득을 얻을 수 있다. 이때 각 소스가 서로 독립적이라면 다중화기의 확률 밀도 함수(pdf)는 각 소스의 확률 밀도 함수의 컨벌루션이 되므로 이를 통하여 통계적 다중화시 발생할 수 있는 셀손실 확률을 얻을 수 있다. 즉, 각 호의 컨벌루션으로부터 구한 확률밀도 함수로부터 대역폭에 대한 음의 누적분포(negative cumulative distribution)를 취하여 셀 손실 확률을 구할 수 있으며 이는 허용된 셀손실율에서의 최대 자원 활용을 나타내게 된다.

통계적 다중화에 대한 제어는 호접속(call setup) 요구시 이루어져야 하는데, 이때 단말은 영상소스의 통계적 성질을 나타내는 파라미터들과 셀손실, 지연 등의 요구품질을 망에게 전달해 주어야 한다. 망은 현재 망 자원의 사용상태를 고려하여 위의 요구조건을 만족시킬 수 있는가를 판단하여 새로운 호의 수락여부를 결정하게 된다.

3. 요구품질과 망의 성능^[2]

요구되는 영상서비스의 품질에 대한 사용자의 제어는 요금(tariff), 특정 응용분야의 요구조건 등을 기초로 하여 이루어지며 기술적, 경제적으로 중요한 문제이다. 요구품질(QOS : quality of service)은 “사용자의 특정한 서비스에 대한 만족도를 결정하는 서비스 수행의 총체적인 영향”으로 정의되며, 호 연결시 현상 혹은 도중에 재협상되고, 호의 유지기간 동안 준수되어야 한다. QOS 매개변수가 명시되어야 할지(예를들어 셀손실과 같은 형태로) 혹은 특정 서비스 요구조건에 함축적으로 표현되어야 할지는 더 많은 연구를 필요로 한다. VCC(virtual channel connection)당 그리고 VPC(virtual path connection)당 하나의 QOS 등급이 할당되며, 하나의 VPC는 여러 QOS 등급의 VC를 포함하므로 VPC의 QOS는 최대 요구조건인 VCC QOS를 만족시켜야 한다. QOS와 망성능(network performance) 사이의 관계는 매우 중요한 문제로서, 망성능은 “사용자 사이의 통신에 관련된 기능을 제공할 수 있는 망의 능력”으로 정의된다. 망의 설계는 사용자 중심의 QOS 값을 기초로하여 얻어지지만, QOS를 특정연결의 요구조건으로 직접 사용할 수는 없다. 마찬가지로 망성능변수는 요구 품질을 결정하는 가장 중요한 요인이지만, 반드시 사용자 입장에서 의미있는 품질을 설명할 수 있는 것은 아니다. 표2^[3]는 특정서비스의 요구품질에 기초한 망성능의 요구를 나타내며, 이는 서비스 품질을 위하여 준수되어야 한다.

4. 셀 손실 제어 방법

ATM 환경에서의 정보의 손실은 크게 두가지로 나눌 수 있는데 셀지연지터(cell delay jitter)와 셀 손실(cell loss)이다. 셀 지연의 변화량인, 셀지연지터는 망내의 랜덤한 큐잉 지연의 결과로써 수신단에 셀이 일정하지 않게 도착하는데 기인한다. 셀지연지터에 대한 보상은 time stamp등을 이용한 타이밍복원과 수신단 버퍼에 의해 이루어진다. 버퍼의 크기는 셀지터와 해당서비스의 비트율로부터 결정되며 종단간의 총지연(total end-to-end delay)에 영향을 주게 된다. 교신성이 아닌 분배성 영상서비스에서는 버퍼의 용량을 크게 함으로써 셀지연지터에 쉽게 대처할 수 있다. 그러나 멀티미디어 서비스의 경우 (특히 비디오와 오디오), 각 미디어 간의 지연편차를 허용치 이내로 제한시키는 것이 중요하다.

셀손실은 ATM망의 전 계층(layer)에서 발생한다. 첫째 물리 계층에서의 헤더내의 복원할 수 없는 비트 에러, 둘째 ATM 전송 계층에서의 다중화와 스위칭에서의 버퍼 넘침에 의한 손실, 셋째 ATM 적응 계층에서의 스무딩 버퍼 넘침등으로 인한 손실을 들 수 있다. 이러한 상황에서, 일반 데이터는 재 전송이 가능하지만 실시간처리를 요구하는 영상 정보의 서비스에서는 가능한 방법이 아님은 주지의 사실이다. 결국 통계적 평균의 효율성을 유지하면서 정보의 손실에 대한 영향을 최소화하는 것이 매우 중요하게 되며, 패킷화된 영상 정보에서의 통계적 큐잉을 평가하는 새로운 모델과 기술이 요구된다.

VBR 영상서비스를 위해서 AAL Type 2가 사용되며, 셀손실은 AAL 헤더의 SN(sequence number)을 사용하여 검출될 수 있다. 비트 에러나 셀손실에 대한 대처가 어디서 이루어져야 할 것인가는 단말의 구조에 커다란 영향을 미치게 된다. 또한, 망에서의 셀손실 및 비트에러율(bit error rates)은 ATM 영상부호화 알고리즘에 큰 영향을 끼치게 되며, 역으로 영상부호화 방법에 따라 망의 설계가 영향을 받는다. 셀손실율이 충분히 낮다면 AAL(ATM adaptation layer) 혹은 그 상위계층에서의 처리만으로도 대처가 가능할 것이나 셀손실율이 매우 크다면 영상부호화/복호화 과정에서 이에 대한 적극적인 대처가 있어야 할 것이다. 그러나 예상되는 셀손실율 값은 아직 불명확한 상태이며 나름대로의 예상 셀손실율을 기초로 한 영상부호화 알고리즘이 제안되고 있는 실정이다. 또한 셀손실은 주로 망체중에 의해 발생하며, 랜덤하게 발생하는 것이 아니라 연속적으로 발생하는 것으로 밝혀졌다. 이러한 특징은 셀손실 대처 방법에 제한을 주게 되는데, 연속적인

표 2. 서비스에 따른 망의 요구조건

Service	Bit Rate	QOS Requirements	Required BER/CLR without error handling in AAL	AAL Type	Required BER/CLR after single bit error correction on cell basis in AAL	Required BER/CLR after single bit EC on cell basis and addit..cell loss correction in AAL
Communication						
Videophone	64Kbps / 2Mbps FBR(H261)	30min error free	BER < 1.e-6 CLR < 1.e-7 (BCH(511.493) FEC in user layer)	Type 1	In user layer	BER < ... CLR < 8.e-5
Videophone	2Mbps VBR	30min error free	BER < 3e-10 CLR < 1e-7	Type 2	BER < 1.2e-6 CLR < 1e-7	BER < 2.3e-5 (CLR = 1.e-6) CLR < 8e-5
Videoconference ³	5Mbps VBR	30min error free	BER < 1e-10 CLR < 4e-8	Type 2	BER < 8e-7 CLR < 4e-8	BER < 1.8e-5 (CLR = 1.e-6) CLR < 5e-5
Videodistribution						
TV Distribution	20-50Mbps VBR	2hours error free	BER < 3e-12 CLR < 1E-9	Type 2	BER < 1.2e-7 CLR < 1e-9	BER < 6e-6 (CLR = 1.e-6) CLR < 8e-6
MPEG 1 core	1.5Mbps VBR	30min error free	BER < 4e-10 CLR < 1e-7	Type 2	BER < 1.4e-6 CLR < 1e-7	BER < 2.5e-5 (CLR = 1.e-6) CLR < 9.5e-5
MPEG 2 core	10Mbps VBR	30min error free	BER < 6e-11 CLR < 2e-8	Type 2	BER < 5.4e-7 CLR < 2e-8	BER < 1.5e-5 (CLR = 1.e-6) CLR < 4.e-5

다수개의 셀손실을 검출 및 정정하기 위해서 FEC (forward error correction)를 사용할 경우 과도한 비용 문제 뿐만 아니라 교신성 서비스의 경우 심각한 지연을 일으키게 될 것이다. 그러므로 망부하에 대한 정확한 모델과 그에 의한 셀손실확률, 연속적인 셀손실 버스트의 길이(length of the burst)에 대한 연구가 시급하다^[3].

셀손실 우선도(CLP : cell loss priority)의 사용, 특히 계층적 부호화의 경우, 표2와는 다른 셀손실을 및 대처를 필요로 한다. 즉 각 우선도에 따른 셀손실율이 정의되어야 하며, 각 우선도에 대한 개별적인 협상 및 사용자 제어가 필요하다. 망체증이 심하지 않다면 높은 우선도(high priority)의 셀은 허용된 이상의 손실을 겪지 않을 것이며, 사용자에게 의해 특정 셀에 높은 우선도가 할당되었다면 이는 망에 의해 변경되지 않아야 한다.

결국 셀손실율은 다양한 전송요구를 갖는 각 서비스에 따라 적절히 선택되어야 할 것이며 셀손실에 대한 영향 및 대처도 서비스에 따라 상이한 형태로 나타나게 될것이다. 셀손실에 대한 대책으로 다음과 같은 방법들을 개별적으로 혹은 복합적으로 사용하는 방법이 제안되고 있다^[3].

(1) 망 부하의 낮춤(low network loading)으로 인한 셀 손실 방지

셀 손실이 거의 일어나지 않을 정도로 망의 부하를 충분히 낮추어 주는 방법이지만, 발생하는 최대 혹은 최소 비트율이 각 소스마다 다르므로 망 부하의 제한값 분포를 예측할 수 없다는 것과 비효율적인 자원활용이라는 단점을 갖는다.

(2) 소스 특성과 policing function을 통한 셀 손실 방지

ATM 망에서는 한 자원이 할당된 양보다 많은 시간 동안 망을 점유하는 것을 막기 위하여 망의 경계부분, 즉 트래픽 전체가 다중화되기 전에, 각 자원이 신고한 파라미터를 기본으로해서 망 자원의 사용현황을 감시하는 기능이 필요하며 이를 police function이라 한다. 이의 구현을 위해서는 각 영상소스의 비트발생률의 변동에 대한 예측을 근거로 하여 모든 소스가 발생시키는 총비트량을 정확히 평가할 수 있는 방법이 필요하다. 그러나 현재까지 영상소스의 특징을 정확하게 표현하는 효율적인 방법이 밝혀지지 못하고 있으며, 평균 및 피크 비트율과 같은 소스파라미터들의 위반여부를 감시하는 시간간격(time interval)의 결정도 연구과제로 남아 있다. 즉 police function은 망의 보호를 위하여 충분히 짧은 시간간격으로 감시를 해야 하지만 VBR 부호화의 효율을 높이기 위해서는 오랜기간 동안의 변화를 수용할 수 있어야 하므로 시간간격이 길수록 유리하다.

(3) 순방향 에러정정(forward error correction)

BCH와 Reed-Solomon 부호를 이용하는 전형적인 방법이 있으나 이 방법으로는 동시에 많은 에러가 발생하였을 경우 처리가 곤란하므로 에러 정정 비트를 재배열하여 처리하는 방법이 제안되었다. 재 배열처리로 인한 지연이 발생하게 되지만 높은 품질을 요하면서 지연문제가 심각하지 않은 분배성서비스에 적합한 방법이다. 에러 정정기는 셀 손실 확률, 소스 특성 그리고 망 부하에 의한 영향을 고려하여 만들어져야 한다.

(4) 계층적 부호화

셀 손실우선권 (CLP)의 이용은 계층적 부호화를 통한 셀손실 대처를 가능케 한다. 높은 우선도를 갖는 셀은 완벽한 전송을 보장받고 망의 폭주시에는 낮은 우선도를 갖는 셀을 우선적으로 포기한다고 가정하면 영상정보의 계층적 부호화를 통하여 최소의 품질을 유지할 수 있다. 일반적으로 계층적 부호화는 복잡한 처리과정이 필요하지만, 최소의 품질을 보장함과 동시에 더 많은 호를 수용하여 전송효율을 높일 수 있다는 장점이 있다.

(5) 순환적 리프레쉬(cyclic refreshing)

셀 손실에 의한 에러가 이후의 프레임으로 전파되는 것을 막기 위하여 일정 프레임 혹은 주기마다 화면내 부호화(intraframe coding)를 강제적으로 수행한다.

5. 에러감춤(Error concealment) 및 동기복원(Resynchronization)

압축이 되지 않은 영상신호에 있어서 한 비트의 에러는 한 화소(pixel)에만 영향을 미치게 되므로 그 영향

을 거의 인식할 수 없다. 그러나 부호화된 영상정보에 있어서의 한 비트 에러는 넓은 영역에 영향을 미치게 되고 심지어 화면간 부호화 방식에 있어서는 이후의 프레임으로 에러가 전파되므로 훼손된 영역의 시각특성을 완화시켜주는 에러감춤이 필요하다. 훼손된 영역을 감추어 주기 위한 간단한 에러감춤 방법은 다음과 같다. 첫째, 화면간 대체/보간(interframe replacement/interpolation) 방법은 훼손영역을 이전 프레임의 영역으로 대체/보간시키는 방법으로, 정지영역에 대하여 좋은 보정효과를 나타낼 수 있다. 둘째, 화면내 보간(intraframe interpolation)방법은 공간상의 주변 값들로부터 보간을 수행하는 방법으로 훼손영역이 단순하다면 좋은 효과를 얻을 수 있다.

가변길이 부호화(VLC: variable length coding)의 경우 단 한 비트의 에러는 정보를 잘못 복원시킬 뿐만 아니라 복호화시 동기(code synchronization)를 잃어버리는 결과를 초래하므로, 에러에 더욱 민감하다. 그러므로 VLC를 채택한 시스템에서는 동기를 확인/복원하는 처리과정이 필요하며 에러의 전파를 일정 영역으로 제한시킬 필요가 있다¹⁷⁾.

IV. 호환성과 계층적 부호화

영상서비스의 통합화(integration of video services)는 ATM 영상부호화에 있어서 가장 중요한 사안이며, 다양한 해상도와 품질의 제공을 통하여 사용자의 요구를 만족시킬 뿐만 아니라 경제적인 단말기의 생산을 가능케 할 것이므로, 결과적으로 영상서비스의 활성화를 위한 기본조건이 될 것이다.

1. 호환성

새로운 영상부호화 시스템과 기존의 그리고 미래의 시스템 사이에서의 호환성은 중요한 의미를 갖는다. 완벽한 호환성은 서비스 제공자나 단말기 생산자에게 더 넓은 시장을 보장해줄 것이며 사용자에게는 넓은 범위의 서비스를 다양한 가격과 품질로 제공받게 해 줄 것이다. 특히 단말기 생산자의 입장에서 부호화 방법의 통일성은 가격과 성능 측면에서 다양한 제품들을 생산하는데 가장 중요한 요인이 될 것이다. 호환성의 의미는 4가지(upward/downward와 forward/backward compatibility)로 분류될 수 있으며, 이의 구현을 위한 5가지 방법(switchable encoder, simulcasting, embedded bit stream, syntactic extension, standard families)이 소

개되고 있다^[4].

Upward/downward 호환성은 서로 다른 영상규격 (picture format) 사이의 호환성을 의미하며, 영상규격이 다르다는 것이 표준이 다름을 의미하지는 않는다. Forward/backward 호환성은 서로 다른 표준 즉, 기존의 표준과 새로운 표준 사이의 호환을 의미하며 영상규격이 다름을 의미하지는 않는다.

Switchable encoder는 접속이 이루어진 후 단말사이의 협상(negotiation)에 의하여 동작모드를 결정하는 방법이며, simulcasting은 송신측 단말이 여러가지 해상도 및 품질의 부호화를 독립적으로 동시에 수행하며, 수신측에서는 개별적으로 전송된 여러 방법의 부호화 정보 중 자신이 필요한 정보만을 받아들인다.

Embedded bitstream은 계층적 부호화에 적합한 방법으로 모든 의미의 호환성을 이룰 수 있으며, 각 계층은 개별적인 VC에 의해 전송될 수 있다. 그러므로 수신단에서는 필요한 계층의 정보가 전송되는 VC를 선택하여 정보를 입수한다. Super set 혹은 syntactic extension도 계층적 부호화를 위한 방법이지만, 필요한 계층의 정보를 선택적으로 입수하는 embedded bitstream과는 달리, 복호화기에 전체 비트스트림이 전달되어야 한다. 새로운 표준으로부터의 정보는 기존 표준의 syntax의 확장이며, 결국 하나의 스트림 만이 전송된다. 그러므로 downward/backward 호환을 이루기 위해서는 단순한 mux/demux 이상의 transcoder가 필요하다.

2. 계층적 부호화 (Layered Coding)

서로 다른 해상도와 전송률을 갖는 영상서비스 간의 상호 호환성과 셀손실 완화대책의 한 방법으로 계층적 부호화가 연구되고 있다. 계층적 부호화는 영상 소스를 저해상도(low resolution)부터 고해상도(high resolution)까지의 계층성분으로 분리하여 부호화 하는 방식으로, 저해상도 계층의 정보는 절대적으로 부호화되며 고해상도 계층의 정보는 저해상도 계층의 정보로부터 상대적으로 부호화된다.

계층적 부호화의 장점은 다음과 같다. 첫째, 셀손실 등으로 인한 에러보상(error-concealment)에 적합하다. 계층적 부호화에서의 각 계층은 영상정보의 중요도를 반영하므로, 하위(저주파) 계층의 정보에 높은 우선순위를 부여하여 손실을 막으면 기본적인 품질을 유지할 수 있다. 한편, 상위(고주파) 계층의 정보가 손상되었을 경우에는 하위계층에서의 정보로 대체할 수 있으므로 에러의 영향이 지역적으로 나타나고 전체적인 화질에 큰 영향을 미치지 않게 된다.

둘째, 계층적 부호화는 영상서비스를 가입자의 요구에 부합시키는 데 용이하다. 요구되는 화질 및 그에 따른 대역폭과 영상서비스에 관련된 서비스들의 선택은 적절한 계층을 선택함으로써 이루어진다. 그러므로 계층적 부호화는 멀티미디어 서비스의 확장으로 생각할 수 있다. 또한 계층의 선택은 장비나 현재 사용할 수 있는 망자원의 상태에 따라 선택될 수도 있다. 장거리 전송에 있어서는 높은 화질보다 낮은 대역폭을 사용하는 것이 선호될 것이며, 단거리 전송에 있어서는 대역폭이 큰 제한조건으로 작용하지는 않을 것이다. 이러한 선택은 전송의 시작단계에서 결정될 수 있지만 전송중의 동적인 상황에 따라 계층의 첨가/제거가 이루어질 수 있다. B-ISDN의 특징을 이용하여 서비스의 통합을 이루기 위한 "유연성 있는 계층화(flexible layering)"^[3]가 주목을 받고 있으며, 이는 필요에 의해 특정계층을 생략시킴으로써 서로 다른 서비스 등급 사이의 연동을 실현하는 방법이다.

셋째, 계층적 부호화는 수 Mbps의 영상서비스에서 수백 Mbps의 HDTV에 이르기까지 여러 종류의 영상서비스 간의 호환성(compatibility)을 보장한다. 그러므로 모든 종류의 영상서비스를 동일한 부호화 방식으로 통합시킬 수 있다. 따라서 계층적 부호화는 영상 전화부터 HDTV까지 확장 가능한 개념을 포함하며 모든 영상서비스가 하나의 통합된 부호화로 이루어 질 수 있음을 의미한다. 예를 들어, 계층적 부호화의 경우 원거리 영상회의용 단말을 이용하여 영상 전화 서비스용으로 사용할 수 있을 뿐만 아니라 정지 영상의 복원과 TV까지도 수신할 수 있게 될 것이다. 일반적으로, 계층적 부호화를 통한 호환성은 압축율을 희생시키면서 얻어지므로 특정응용에서는 이런 제한조건이 용납되기 어려운 경우도 있다.

넷째, 셀 손실에 대한 대책과 상호 호환성이라는 이유 뿐만 아니라 ATM 망의 사용자 부과(charge of tariff) 관점에서도 계층적 부호화가 적절한 것으로 제안되고 있다. 즉 안정된 정보 전달이 가능한 기저(하위) 계층에 셀 손실이 발생할 수 있는 추가(상위)계층보다 비싼 사용료를 요구할 수 있으며, 저렴한 가격의 추가계층에는 통계적 다중화로 인하여 더 많은 호를 수용할 수 있을 것이다. 그러나 단일 계층 가변 비트율 전송의 경우 셀손실 우선권(CLP)에 기초한 망 사용료의 부과가 힘들게 되며, 셀손실 우선권에 따른 망의 통제가 복잡해지게 된다.

계층적 부호화를 수행하기 위하여 대역분할 부호화와 변환부호화를 이용한 방법 및 이를 혼합한 방법들이 제

안되고 있다. 이들은 대부분 대역 분할 부호화(subband coding)와 피라미드 부호화(pyramid coding)를 통하여 영상신호를 계층적으로 분리한 후 각 계층에 대하여 독립적인 부호화를 행하는 방법이다.

1) 대역 분할 부호화(subband coding)와 피라미드 부호화(pyramid coding)

영상부호화는 인간 시각 시스템의 관점에서 좋은 화질을 제공할 수 있는 방향으로 이루어져야 하므로 인간 시각 시스템에 덜 중요한 정보는 희생시키는 대신 눈에 민감한 정보는 보존함으로써 부호화 효율을 높일 수 있다. 실제로 인간의 시각 시스템은 입력영상을 여러개의 연속되는 공간주파수 대역으로 분할하는 기능이 있으며 분리된 특정대역의 주파수 정보는 타대역의 정보와 독립적으로 처리된다. 영상의 대역분할 부호화에서는 위와 같은 인간시각 체계의 특징을 이용하여 입력신호를 여러개의 주파수 대역으로 분할한 후 각 대역신호를 간축(decimation)하여 해당 대역의 통계적 특성에 최적인 부호화 그리고 인간의 시각특성에 따른 적응적인 부호화를 할 수 있다. 또한 대역분할 부호화는 특정대역의 양자화 오차 및 손실이 타 대역에 영향을 미치지 않고 자기 대역에 한정되는 효과를 갖게 되므로 계층적 부호화에 유리한 여러가지 특징을 가지고 있다. 대역분할 부호화는 변환부호화(e.g. discrete cosine transform)를 포괄하는 일반적인 부호화 방식으로서 영상신호의 상관성을 제거한다는 의미에서 유사하지만, 대역분할 부호화에서는 필터링을 통하여 대역을 분할한다.

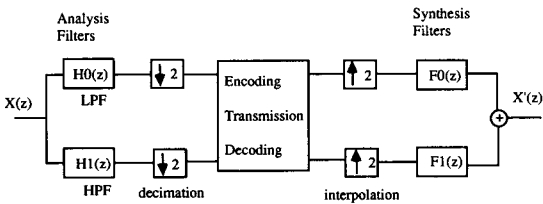


그림 1. 대역분할 부호화

그림 1은 신호를 두개의 대역으로 나누어 부호화하는 부호화 시스템의 구성도이다. 이 시스템은 입력신호를 분해/합성(analysis/synthesis)하는 필터와 분할한 각 대역의 신호를 독립적으로 부호화, 전송, 복원하는 부분으로 구성된다. 이때 분해/합성 필터쌍은 양자화 오차와 전송오차가 없는 경우 수신단에서 합성하는 과정에서 왜곡이 없이 완전복원(perfect reconstruction)이 되

도록 설계하여야 한다. 즉 $X(z) = X'(z)$ 이어야 한다. 대역분할 부호화의 일반적인 장점은 첫째 변환부호화와 벡터양자화에서 발생하는 blocking effects가 생기지 않고, 둘째 인간시각의 시공간적 반응(spatial & temporal sensitivity of the human eye)을 이용할 수 있다는 점이다.

한편 피라미드 부호화에서는 원신호의 저주파성분 신호를 얻고 이를 보간(interpolation)하여 원신호와의 차를 얻으며 이를 여러 계층으로 확장할 수 있다. 저주파 성분 계층들은 간축할 수 있으므로 전송시켜야할 정보량은 하위 계층일 수록 감소하며 수신단에 전송되는 신호는 최종 저주파 성분 신호와 각 계층의 차신호들이다.

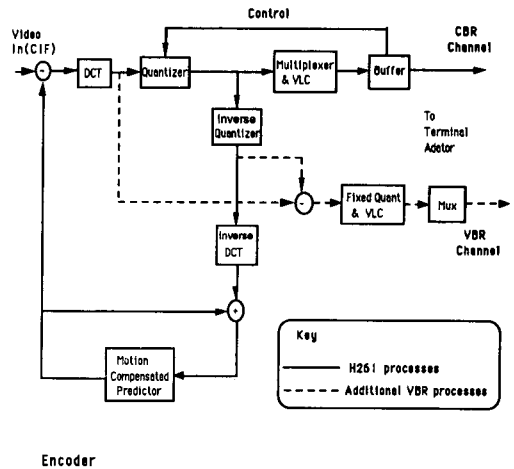


그림 2. 재 양자화에 기초한 2-계층부호화

2) H.261을 기초로한 2 계층 부호화(two layer coding)

기존의 영상 부호화 표준(H.261, MPEG)이 변환 부호화(transform coding) 방식을 채택하였으며, ATM 망을 위한 영상 부호화가 기존의 표준과 호환성을 유지하여야 하므로, ATM 망을 위한 영상 부호화 표준은 변환 부호화를 기초로하여 채택될 가능성이 높다. 특히, 기존의 H.261을 기본으로 한 2-계층 부호화에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

2-계층 부호화는 기저 계층(base layer BL)에서 높은 압축률과 기본적인 화질을 제공하며 필요하다면 높은 우선권이 할당된다. 추가 계층(enhancement layer, EL)은 더욱 높은 화질을 제공하는데 이용하며 낮은 우선권을 할당하여 망이 폭주 상태일 때 버려질 수 있다.

고해상도를 위한 추가계층에서의 정보 손실은 복원 화질에 거의 영향을 미치지 않지만 낮은 해상도를 가지며 기본적인 화질을 제공하는 기저계층의 정보 손실은 복원 화질에 심각한 영향을 미친다. 그러므로 기저계층에 FEC(forward error correction)를 적용시킴으로 에러율을 줄이는 방법과 기저계층을 고정 비트율로 설정하는 방법 등이 연구되고 있다.

H.261에 기초한 부호화기에서의 2-계층 부호화 방법은 크게 두가지로 나눌 수 있는데, 첫번째는 재 양자화 기법으로 H.261 부호화기가 기저계층으로써 동작하고 H.261 부호화기에서 발생하는 양자화 에러를 작은 양자화 단계 값으로 재 양자화하여 추가계층으로 전송하는 방법이다. 그림 2에서 실선부분은 H.261의 부호화기이며 점선부분이 2-계층 부호화를 위해 추가된 재 양자화를 위한 부호화기 부분이다. 기저계층은 높은 우선권으로 전송되며 고정대역폭을 할당받고, 재 양자화된 추가계층은 낮은 우선권으로 전송한다고 가정한다.

Morrison^[8]은 기저계층에 할당되는 대역폭을 변화시켜 가면서 추가계층에서 발생하는 비트량의 분포 및 전체 평균 비트량을 조사하였으며 Griffiths의 망자원할당 모델^[6]을 2계층 부호화의 결과에 적용시켜서, 수용 가능한 최대 호의 수와 추가계층에서 허용 가능한 셀손실을 기초로 망자원의 최대활용 가능성을 분석하였다. 두번째는 주파수 분할법으로 DCT를 행한 후에 주파수 성분에서 낮은 주파수 영역과 높은 주파수 영역으로 분리하여 전송하는 방법이다. 이 방법은 H.261과의 호환성을 완벽하게 유지하기 힘들며, 첫번째 방법이 두번째 방법보다 좋은 성능을 나타내는 것으로 알려져 있다.

위의 두방법 모두 추가계층에서의 셀 손실에 의한 영향 감소와 동기화 문제를 고려하여 기저계층만이 예측과 움직임 보상을 위해 이용된다. 그러므로 낮은 우선도를 갖는 추가계층에서의 정보의 손실은 전체적인 품질에 큰 영향을 끼치지 않게 된다. 그러나 계층적 부호화는 비계층적 부호화에 비하여 압축률 면에서 비효율적인 것으로 밝혀졌다. 그러므로 계층적 부호화의 장점을 유지하면서 부호화 효율을 높이는 것이 앞으로의 연구방향이 될 것이다.

V. 결 론

통신망의 광대역화와 VLSI 기술의 지속적인 발전은 새로운 환경 즉 더 넓은 대역폭과 더 빠른 처리속도를 보장하게 되었으며 사용자의 욕구 또한 더욱 고도화,

다양화된 서비스를 요구하게 되었다. 이러한 환경변화는 새로운 영상부호화 표준의 필요성을 증대시키게 되었으며 최근 국제 표준화 기구들의 활동이 활발하게 진행되고 있다. 이러한 표준화 추세에 적극 동참하여 선진기술의 습득 및 개발에 노력해야 할 것이며 궁극적으로 표준화작업에 적극 기여하여 영향력을 확대시키는 것이 중요하다. ATM 망에서의 영상서비스의 실현을 위해서는 다음과 같은 사항에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

- (1) 새로운 영상부호화 표준을 위한 영상포맷 (해상도, 비월주사 혹은 순차주사 ?)
- (2) 모든 서비스에 공통적으로 적용될 수 있는 영상부호화 알고리즘의 구현
 - 품질, 해상도, 평균비트율의 용이한 선택 및 확장 가능성
 - 호환성과 셀손실 대처를 위한 계층적 부호화
- (3) CBR과 VBR 영상부호화의 비교
 - VBR 영상부호화의 장점. 혹은 VBR이 효과적인 응용분야에 대한 규명
 - VBR 부호화의 제어 방법 및 제한조건
- (4) ATM 망의 특징
 - 과금체계 및 경제성(ATM과 STM, VBR과 CBR 사이의 비교)
 - 셀손실율, 셀손실 버스트, CLP 비트의 이용 및 제한, 전송지연지터
 - 호수용제어 및 policing에 사용되는 제어파라미터 (평균 혹은 피크 비트율?)
 - 망의 제한 조건 및 제어 메카니즘(UPC, 체증, 우선도 제어)
- (5) 멀티미디어 다중화. 특히 cell multiplex에서 미디어 간의 동기화, 지연편차제한
- (6) AV 시스템에 적합한 AAL
 - AAL type 2 에 대한 자세한 정의
 - N-ISDN과 B-ISDN 사이의 연동과 필요한 AAL

參 考 文 獻

- [1] Willem Verbiest, Luc Pinnoo and Bart Voeten, "The impact of the ATM concept on video coding," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 6, no.9, pp. 1623-1632, December 1988.
- [2] AVC-209, "IVS BASELINE DOCUMENT",

CCITT SGXV, January 1992.


[3] AVC-109, "Status Report on ATM Video Coding in CCITT Study Group XV", CCITT SGXV, September 24, 1991.

[4] "Proposal Package Description for MPEG Phase 2", ISO-IEC JTC1/SC2/WG11, MPEG91/100 Rev, August 23, 1991.

[5] B.Maglaris, D.Anastassiou, et al., "Performance models of statistical multiplexing in packet video communications," *IEEE Transaction on Communications*, vol.36, no.7, pp.834-844, July 1988.

[6] T.R.Griffiths, "Analysis of a Connection Acceptance Strategy for Asynchronous Transmission Mode Networks", Globecom '90, Paper 505.4.

[7] Kou-Hu Tzou, "An intrafield DCT-based HDTV coding for ATM networks", *IEEE Trans. on Circuit and Systems for Video Tech.*, vol.1, no.2, June 1991.

[8] Geoffrey Morrison and David Beaumont, "Two-layer video coding for ATM networks," *Image Communication*, vol.3, no.2-3, pp.179-195, June 1991. 

筆者紹介



李 光 基

1963年 7月 9日生
 1986年 2月 연세대학교 전자공학과
 1988年 8월 연세대학교 전자공학과 (석사)
 1988年 9월 ~ 현재 연세대학교 전자공학과 (박사과정)

李 鎔 均

1953年 8月 19日生
 1970年 연세대학교 전자공학과 (학사)
 1980年 연세대학교 전자공학과 (석사)
 1989年 3월 ~ 현재 연세대학교 전자공학과 (박사과정)

1980年 ~ 현재 한국전자통신연구소 ISDN 호처리연구실 실장



朴 圭 泰

1933年 6月 11日生
 1957年 연세대학교 전기공학과
 1964年 영국 London University, MSC (공학석사)
 1969年 영국 Southampton University, Ph.D. (공학박사)

1970年 ~ 현재 연세대학교 전자공학과 교수