

동영상 부호의 Error Resilient 방법

심우성*, 허도근*

*원광대학교 전자공학과

목 차

- I. 서 론
- II. 표준안의 Error Resilient 방법
- III. 표준안 이외의 Error Resilient

- IV. UEP (Unequal Error Protection)
- V. 결 론

I. 서 론

최근 무선환경의 이동 통신에서 영상 통신은 발전을 거듭하고 있다. 이러한 발전에도 불구하고 영상을 무선환경에서 전송하는 데는 크게 두가지 문제점이 내재하고 있다. 영상과 같은 소스는 많은 데이터 량을 갖기 때문에 이에 따른 대역폭 문제와 에러의 열악한 무선환경에 발생하는 에러 문제가 그것이다. 이들 문제를 해결하기 위한 많은 노력들이 행해지고 있다. 특히 에러 prone 환경의 멀티미디어 통신을 위해 ITU-T에서는 H.324를 ISO에서는 MPEG-4를 표준안으로 채택하고 있다. 이들은 전체 시스템 구조, 압축 알고리즘과 Error resilient 방법을 다루고 있다.[1]~[4]. H.324의 경우 동영상 압축 을 위하여 H.263과 H.223의 Multiplex 방법을 사용하고 여기에 Error resilient방법을 추가 하고 있다. MPEG-4의 경우도 무선환경의 동영상 전송을 위한 단기표준안으로 H.263을 이용하고 장기 표준안으로 Open system을 위한 여러 가지 Tool들을 개발하고 있다. 이들은 모두 에러 prone 환경의 무선 통신 대역폭을 줄이기 위한 영상 압축 방법으로 H.263을 채택하고 있다.

H.263은 영상의 공간적 중복성을 제거하기 위한 압축방법으로 블록 단위의 DCT를 사용하고 부호화 중복성을 제거하기 위한 방법으로 DCT계수를 VLC(Variable length Code)테이블에 의한 가변장 부호화 한다. 또한 동영상의 시간 중복성을 제거하기 위하여 동영상의 픽처를 Intra와 Inter 픽처로 분류한다. Intra 픽처는 블록단위로 DCT하고 Inter 픽처는 각 픽처를 매크로 블록으로 나누어 부호화한다. 이전

픽처의 탐색영역을 기준으로 현재 픽처의 매크로 블록의 움직임 벡터를 찾아 벡터가 존재하면 Inter 매크로블록으로 분류하여 그 차를 DCT하고, 존재하지 않으면 Intra 매크로 블록으로 분류하여 DCT 한다. 이들 계수를 VLC 테이블에 의해 가변장 부호화한다. 여기에 양자화정보, 픽처의 타입, 동기비트 등의 헤더 정보를 첨가하여 비트스트림을 만든다[5]. H.263에서 만들어지는 이러한 비트스트림은 전송시 발생하는 에러에 대하여 다음과 같은 특징을 갖고 있다.

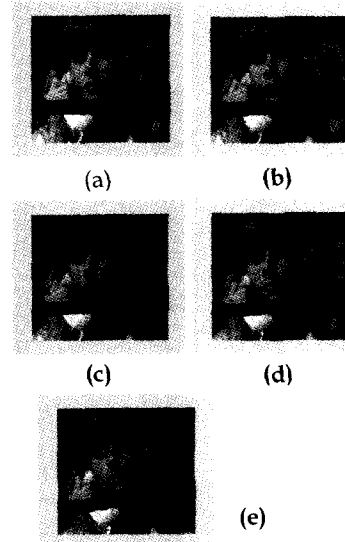


그림 1 INTRA픽처의 GOB 단위의 잡음과 INTER 픽처로의 전파

- (1) VLC에의한 에러의 열악성
- (2) Intra 픽처의 잡음이 Inter 픽처로의 전파

(3) DCT 계수의 서로 다른 에러 특성

그림 1 (a)는 Susie 영상의 VLC 비트스트림에 잡음이 발생했을 때 이 잡음이 동기신호인 GBSC(Group of Block Start Code)까지 전파됨을 보여주며 (b)~(e)는 Intra 픽처의 잡음이 잡음이 없는 Inter 픽처에 전파되는 것을 보인다.

위와 같은 에러의 영향을 최소로 하기 위한 Error Resilient 방법으로 H.324와 MPEG-4에서는 여러 가지 방법들을 제안하고 있다. 여기서는 이러한 표준안에서 채택하고 있는 여러 가지 Error Resilient 방법과 표준화 이외의 방법들에 대하여 고찰한다. 또한 잡음을 줄이기 위하여 소스 코딩과 채널 코딩을 접목시키는 JSCC(Joint Source Channel Coding) 방법의 하나인 UEP(Unequal Error Protect) 방법을 기술하고 문제점에 대하여 고찰한다.

II. 표준안의 Error Resilient 방법

1. ITU-T의 H.324에서 권고하는 Error Resilient 방법

1) Error Tracking(Appendix II)

GOB(Group of Block)단위로 에러가 발생될 때 수신단에서 NACK신호를 이용하여 에러가 발생된 GOB의 위치인 TR(Temporal Reference : 8bit)과 GN(Group Number : 5bit)을 역방향 채널을 통하여 인코더에 전송하게 한다. 이 정보로부터 인코더에서는 현재 전송된 프레임의 에러 분포를 알 수 있어 그 위치의 GOB를 Intra mode로 전송함으로써 효과적으로 에러 전파를 최소로 할 수 있는 방법으로 그 과정을 그림 2에 보인다. 이 기법은 많은 메모리를 요구하며 에러 분포를 평가하는 방법이 복잡하므로 많은 시간 지연을 유발시킨다. 따라서 에러 분포 평가 방법이 단순하고 정확한 에러분포를 알 수 있는 알고리즘의 연구가 필요하다.

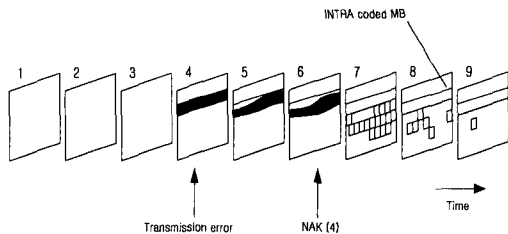
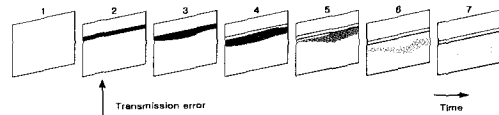


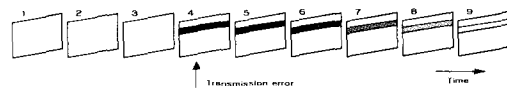
그림 2 Error Tracking에 의한 잡음의 영향

2) Independent Segment Decoding(ISD) (Annex R)

미리 정의된 segment의 공간적 경계를 통하여 에러가 전파되지 못하도록 GOB단위로 픽처를 분리하여 독립적으로 디코딩 함으로서 다른 GOB로 에러가 전파되지 못하게 한다. 이 방법에 의한 에러 전파를 그림 3에 보인다. 이 방법은 각 GOB를 독립적인 픽처로 간주하고 픽처 단위의 MV를 ME/MC에 의해 추정하므로 효과적인 ME/MC가 이루어지지 않을 경우 약 0.2dB ~ 1.0dB 정도의 PSNR 감소를 초래한다. 또한 GOB단위의 MV를 이용하므로 수직적인 움직임이 많은 영상에는 적합하지 않으며 근본적인 시간적 에러 전파를 해결하지 못한다.



(a) 일반적인 error propagation



(b) ISD mode에 의한 error propagation

그림 3 ISD에 의한 잡음의 영향

3) Reference Picture Selection(RPS) (Annex N)

Error tracking 방법과 비슷한 방법으로 역방향 채널을 이용하여 에러 전파를 줄이는 방법이다. 에러가 발생했을 때 Inter Frame Prediction 방법을 이용하여 디코더는 인코더에게 역방향 채널을 통하여 여러개의 이전 픽처 메모리중 하나를 선택하게 함으로서 에러의 전파를 최소로 한다. RPS mode는 ISD와 마찬가지로 GOB단위의 선택을 함으로 ISD mode와 조합해서 사용할 수 있고 공간적 에러를 줄일 수 있어 Error tracking 방법보다 효과적인 것으로 알려져 있다. RPS는 ACK mode와 NACK mode가 있다. ACK mode에서는 수신된 GOB가 정확할 때 ACK 신호를 전송하고 이 GOB를 reference 픽처로 사용한다. 만약 재전송에 의한 지연이 인코더 픽처의 간격보다 크면 시간적으로 가장 멀리 떨어져있는 픽처를 reference GOB로 사용한다. NACK mode에서는 잘못된 GOB가 발생될 경우 이전의 refer-

ence GOB를 이용한다. 이 방법은 에러가 지연 시간 만큼 전파되므로 ACK에 비하여 성능이 저하된다. 하지만 오랫동안 에러가 전파되지 않는 경우에는 채널 효율면에서 좋은 결과를 가질 수 있다. 그림 4는 RPS의 ACK와 NACK mode를 보여준다.

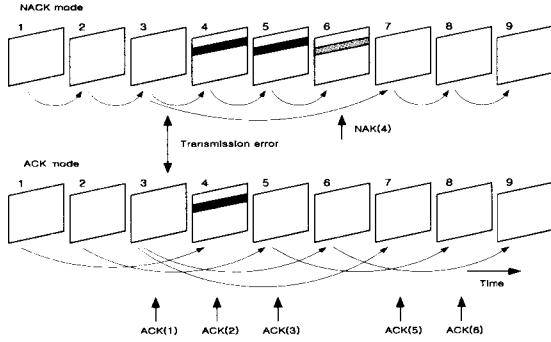


그림 4 RPS의 ACK와 NACK mode

2. ISO의 MPEG-4에서 권고하는 Error Resilient 방법

1) Video Packet Resynchronization

일반적으로 영상의 비트스트림은 그림 5 (a)와 같이 VLC된 데이터이므로 동기 신호는 가변적으로 존재하게 된다. 이러한 비트스트림에 에러가 발생할 경우 잘못된 디코딩에 의해 동기 신호까지 잃어버릴 수 있으며 극단적인 경우 하나의 픽처까지도 잘못될 수 있다. 이러한 현상을 제거 하기위해 Resynchronization에서는 그림 5 (b)와 같이 임의의 고정적인 비트후에 재동기 비트를 첨가 함으로서 에러의 전파를 최소로 한다. MPEG-4에서는 24kbps에서 480비트마다, 25~48kbps에서 736비트 마다 한번씩 재동기를 한다. 이러한 Resynchronization의 구조는 그림 5(c)와 같이 각 Video packet의 시작에 존재하는 Resynchronization marker와 한 영상에서 Video packet안에 있는 첫 번째 매크로 블록의 절대적인 MB의 수와 양자화 정보로서 구성된다. 두 개의 Video packet사이의 종속적인 데이터는 다음의 Video packet에 영향을 미칠 수 있으므로 인코더에서 종속적인 데이터를 제거할 필요가 있다.

2) Data Partitioning

VLC 비트스트림의 두 개의 동기 신호 사이에는 MVD와 DCT계수값이 공존한다. 이 때 수신측 입장에서는 MVD와 DCT계수값 중 어느것에 에러가 발생했는지 알 수 있다면 이 데이터 모두를 무시하지 않아도된다. 이를 위해

MPEG-4에서는 그림 6과 같이 MVD와 DCT사이에 기존의 VLC테이블과 중복되지 않는 17비트의 MBM(Motion Boundary Marker: 1 1111 0000 0000 0001)을 사용하여 분리한다.



(a) 일반적인 동기신호위치와 데이터



(b) 고정적인 크기후의 재동기 방법



(c) Video packet에서의 비트스트림 구조

그림 5 Resynchronization

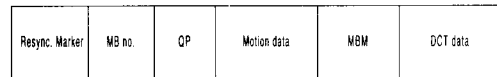


그림 6 Data partitioning을 고려한 MPEG-4 비트스트림

3) Reversible Variable-Length Codes (RVLCs)

VLC에 에러가 발견될 경우 다음의 동기 신호까지 진행되는 것을 방지하기 위해 고정적인 Hamming 거리를 갖게 하고 앞, 뒤(Prefix, Suffix)에 고정적인 비트를 추가한 VLC테이블을 이용하여 에러가 발생할 경우 뒤에서부터 진행 할수 있도록 한다. 이러한 것은 하나의 비트 에러에 의해 다음의 동기 신호까지 에러가 전파되는 것을 최대로 줄일 수 있다. 하지만 만약 두 개의 Video packet에 Resynchronization신호가 에러가 난다면 RVLC는 사용되지 않으며 심볼의 수가 많을수록 VLC의 코딩 효과가 감소된다. 또한 더욱 완벽한 RVLC는 Prefix, Suffix비트를 더욱 많이 첨가 시킨다. 예를 들어 표 1은 Hamming 거리가 1인 RVLC의 코드이며 그림 7은 RVLC에 의한 에러의 영향을 보여준다.

표 1 RVLC Code

VLC code with Hamming weight of 1	RVLC
	0
1	111
01	1011
001	10011
0001	100011

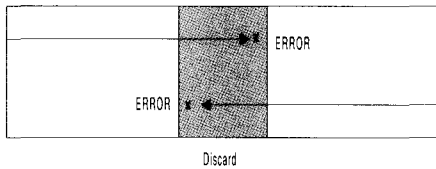


그림 7 RVLC에 의한 에러의 영향

4) Header Extension Code(HEC)

비디오 데이터의 공간적위치, 현재 Object의 코딩 유, 무등을 나타내는 헤더정보는 디코더에서 중요한 역할을 한다. 따라서 헤더를 보호하기 위한 방법으로 헤더임을 가리키기 위하여 Video packet에 1비트를 사용하며 이것이 잘못될 경우 패킷의 재전송을 요구함으로써 중요한 헤더 정보를 보호한다. 이러한 것은 영상의 질을 높일 수 있으나 많은 재전송에 의한 지연을 유발한다.

III. 표준안 이외의 Error Resilient

1. EREC (Error Resilient Entropy Coding)

가변길이를 고정 길이로 변환함으로써 가변길이 에러를 전파되지 못하게 하는 방법으로서 효과적인 Error resilient 방법으로 알려져 있다. 일반적으로 동영상 부호에서 가변장 부호 방법은 Huffman 코딩을 이용한다. 이러한 것은 Entropy coding방법으로서 순시 복호 가능한 특성을 갖고 있다. EREC는 이러한 code의 특성을 이용하는 것으로 입력은 N_b 개의 각 블록의 가변적인 크기 B_j 로 이루어진 식 (1)과 같은 전체 입력 T_b 를 N_s 개의 슬롯으로 이루어지고 각 슬롯의 크기가 S_j 로 이루어지고 식 (2)과 같은 전체 비트 T_s 의 고정된

크기에 인코딩 하는 것이다. 이때 각 슬롯의 크기 S_j 는 식 (3)과 같다.

$$T_s = \sum_{j=1}^{N_s} S_j \quad (1)$$

$$T_b = \sum_{j=1}^{N_b} B_j \quad (2)$$

$$S_j = \begin{cases} \bar{S} + 1 & 1 \leq j \leq \text{remainder}(T_s / N_s) \\ \bar{S} & \text{remainder}(T_s / N_s) < j \leq N_s \end{cases} \quad (3)$$

여기서 \bar{S} 는 T_s / N_s 의 정수이다. EREC 알고리즘의 진행은 $j + \Phi_n$ 의 블록을 찾아서 빈 블록의 나머지에 채우기 위한 것이며 offset 값 Φ_n 은 붕괴의 종류(nature of corruption), 데이터 분포에 따라 단 방향, 양 방향, 랜덤 탐색방법이 있다[6][7]. 그림 8는 알고리즘 구현이 용이한 단 방향 탐색방법에 의한 EREC 인코딩의 예이다. 디코딩 방법은 인코딩과 같은 offset값을 이용하여 반대 방향으로 진행하며 Huffman code의 순시복호 가능 특성을 이용하여 디코딩 하게된다. 이러한 것은 T_s 의 크기만 알고 있다면 블록 단위의 어떠한 동기신호 없이도 수신단에서 디코딩시 블록 단위의 재동기가 가능 하므로 에러 전파를 최대로 줄일 수 있다. 하지만 일반적으로 $T_s \neq T_b$ 이므로 마지막을 알리기 위해 EOB를 첨가하게 되는데 잡음의 영향에 의해 하나의 픽처를 손실할 우려가 있고 하나의 픽처 단위로 수행되므로 많은 메모리와 지연이 요구된다.

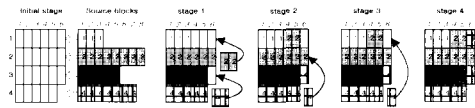


그림 8 단 방향 offset을 갖는 EREC 인코딩

2. Fixed-length entropy coding

일반적으로 가변장 부호는 소스의 압축면에서는 우수하지만 잡음의 영향에는 많은 문제점을 갖고 있다. 하지만 고정장 부호는 압축 효율면에서 좋지 않은 결과를 가져오므로 압축을 고려한 FLC 방법에 대한 연구가 진행중이다. Tunstall은 최적의 FLC 코드를 위한 알고리즘을 처음으로 제안[8]하였고 Ziv[9]와 Merhav[10]는 FLC와 VLC의 성능을 비교 하였으며 Boncellet는 low-complexity suboptimal

FLC 알고리즘[11]을 제안 하였다. 이러한 FLC 는 압축 효율을 좋게하기위하여 일반적으로 VLC에서 잡음을 줄이기 위한 후처리 기법인 FEC 방법을 사용하지 않음으로 전송율을 유지 하며 수신단에서 Error concealment 방법을 위 한 에러 검출을 쉽게 할수 있다는 장점이 있 다. 하지만 심볼의 수가 많아질수록 복잡성이 증가하고 압축 효율이 떨어지는 단점이 있다.

IV. UEP(Unequal Error Protection)

Shannon의 이론은 전체 시스템에 대하여 어 떠한 성능 손실이 소스와 채널 코딩을 분리 하여 다룰 수 있다. 소스 코딩 이론에서는 어 떤 소스 데이터에서 필요한 비트의 수는 식 (4)와 같은 조건을 만족하는 $R(D)$ 에 의해 일 치하는 정보 내용과 원하는 만큼 근접하게 접 근할 수 있다.

$$R(D) \leq \frac{1}{2} \log_2 \frac{\sigma^2}{D} \quad (4)$$

채널 코딩이론에서는 대역 제한된 잡음 채널에서 데이터 전송의 에러율은 만약 부호율 (정보율)이 채널 용량보다 작으면 적은 수로 감소할 수 있다. 즉 채널 용량보다 작은 부호 율이 있다면 적은 에러율로 전송할 수 있다 [12][13]. 이것을 흔히 Shannon의 채널 용량이라 부르며 이것은 소스에서 성능 손실이 없게 만들 수 있는 용량을 정의하고 식 (5)와 같다.

$$C = B \log(1 + S/N) \quad (5)$$

여기에서 대역폭은 통신 방식에 따라 정의 되어 있다하면 결국 낮은 에러율에서 높은 부 호율을 위하여 S/N 비를 증가시켜야 된다. 이 러한 S/N 의 증가를 위해 여러 가지 채널 코 디ング방법이 나타나게 되었다.

즉 소스에서의 에러 문제와 채널에서의 에 러 문제는 서로 독립적으로 발전 되어 왔으며 이를 Shannon의 분리법칙이라 한다. 하지만 실제 이들은 독립적으로 다룰수 없고 서로를 고려해야되며 이를 위한 방법들이 JSCC 또는 CSCC라 한다. 일반적인 JSCC 방법은 입력 소 스에대한 weight와 거리특성등에 의해 채널코 디ング에서의 생성다항식이나 puncturing 테이블에 의해 다양한 부호율을 이용하는 것이다. 이 러한 방법중의 하나가 중요비트에 대한 보호를 함으로서 에러의 영향을 최대로 줄이자는 UEP

방법으로 RCPC[14], RCPTC[15], 방법 등이 있 으며 이것의 응용으로 Subband coding+ RCPC[18], DPCM+RCPC방법[19]등이 있다.

1. RCPC (Rate Compatible Punctured Convolutional codes)

UEP 방법 중 채널 코딩 방법으로 Convolutional codes를 이용한 RCPC 방법은 최근 유럽의 DAB(Digital Audio Broadcasting)프로젝 트에서 소스코더의 출력의 중요도에 따라 20개 의 다른 코드율을 이용한 RCPC 코드를 사용 하였고[16] GSM 이동 통신에서 소스 코더와 채널 코더를 결합하는 방법[15]이 발표되었다. 이러한 것은 음성 소스에 대한 적용이고 영상 의 경우 H.223에서 표준화되었다[5]. 이것은 8/8~8/32 의 주기를 갖고 메모리 상태에 대 한 종료 비트의 값과 인터리빙 방법에 대하여 고려되었다. 하지만 음성에 비하여 영상에 적용은 VLC를 사용하므로 중요 비트 위치가 항상 변하게 되어 인코더의 가변 부호율을 위한 puncturing 테이블의 정보도 같이 전송되어야 한다. 그렇지 않을 경우 주기를 갖는 고정적인 puncturing 테이블에 의한 방법으로 소스의 중 요비트 위치를 정확히 고려 할 수 없다는 문제 점을 갖고 있다. 그림 9는 1/4의 mother 부호 율을 갖는 RCPC 인코더의 예이다.

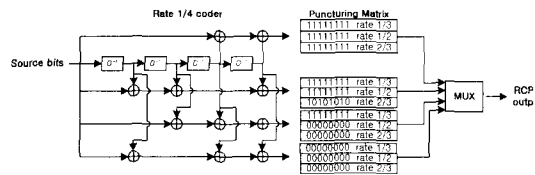


그림 9 RCPC 인코더

2. RCPTC

(Rate Compatible Punctured Turbo codes)

RCPC와 같은 목적에서 단지 Convolutional codes가 아닌 Turbo code를 사용한다. Turbo codes는 두 개의 Convolutional codes와 한 개 의 인터리버가 병렬로 연결된 것으로서 IMT-2000에서 채택된 채널 코딩 방법으로 영 상통신에 적합한 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 의 비트 오류 확률 을 만족하며 현존하는 채널 코딩 방법 중 가장 효율적인 것으로 알려져 있다. 이러한 Turbo codes를 이용한 UEP방법이 RCPTC이며 RCPC 에 비하여 인터리빙 방법에 대하여 더 고려 되 어야한다. 즉 인터리버의 특성에 따라 puncturing 테이블에 의한 부호율 조정을 위한 puncturing시 중용비트의 redundancy 비트

가 전송되지 않을 수 있어 이러한 것을 고려한 인터리버가 요구된다[20].

V. 결 론

본 고에서는 차세대 이동통신에서 영상 전송을 하는데 있어 에러 문제에 대한 여러가지 접근 방식에 대하여 고찰하였다. 이것은 크게 소스에서의 접근과 채널에서의 접근 방법이 있을 수 있으나 소스에서의 접근 방법만을 표준안과 그외의 방법으로 나누어 기술하였다. 또한 소스와 채널은 서로 독립적이지 않으므로 이들을 이용한 UEP 방법에 대하여 소개하였다. 영상과 같은 전송에 있어 소스와 채널의 각각의 접근은 어느 정도 만족하는 결과는 가져 올 수 있지만 많은 제약이 다르므로 소스와 채널을 결합시키는 연구가 최근에 많이 연구되고 있으며 이러한 방법으로는 H.263의 소스코딩과 Turbo codes의 채널 코딩을 효율적으로 접목시키는 UEP방법 등이 향후 에러 문제를 해결하는 접근 방식의 큰 축을 이룰 것이라 생각한다.

참고문헌

- [1] ITU-T Rec. H.324, "Terminal for Low Bitrate Multimedia Communication," 1996.
- [2] ISO/IEC 144962-2, "Information Technology-Coding of Audio-Visual Objects: Visual," Committee draft, Oct., 1997.
- [3] <http://drogo.cse.it/mpeg/>
- [4] ITU-T Rec. H.263, "Video Coding for Low Bitrate Communication," Mar., 1996.
- [5] ITU-T Rec. H.223, "Multiplexing Protocol for Low Bitrate Mobile Multimedia Communication over Highly Error-Prone Channels," Sep., 1997.
- [6] David W. Redmill and Nick G. Kingsbury, "The EREC : An Error-Resilient Techniques for Coding Variable-Length Block of Data," *IEEE Trans. on Communication*, Vol. 5, No. 4, pp. 565-574, 1996.
- [7] N. T. Cheng and N. G. Kingsbury, "The ERPC : An Efficient Error Resilient Technique for Encoding Positional Information of Sparse Data," *IEEE Trans. on Comm.*, Vol. COM-40, pp. 140-148, 1992.
- [8] A. Tunstall, "Synthesis of noiseless compression codes," *Ph.D. dissertation, Georgia Inst. Technol.*, Atlanta, 1968.
- [9] J. Ziv, "Variable-to-fixed length codes are better than fixed-to-variable length codes for Markov sources," *IEEE Trans. Inform. Theory*, Vol. IT-36, pp. 861-863, July, 1990.
- [10] N. Merhav and D. L. Neuhoff, "Variable-to-fixed length codes provide better large deviations performance than fixed-to-variable length codes," *IEEE Trans. Inform. Theory*, Vol. 38, pp. 135-140, Jan., 1992.
- [11] C. G. Boncellet, "Block arithmetic coding for source compression," *IEEE Trans. Inform. Theory*, Vol. 39, pp. 1546-1554, Sept., 1993.
- [12] W. Gappmair, "Claude E. Shannon : The 50th Anniversary of Information Theory," *IEEE Communication Magazine*, Apr., 1999.
- [13] C. E. Shannon, "A Mathematical Theory of Communication," *Bell System Technical Journal*, Vol. 27, No. 3, pp. 379-423, July, 1948.
- [14] Joachim Hagenauer, "Rate Compatible Punctured Convolutional Codes(RCPC Codes) and their Applications," *IEEE Trans. on Comm.*, Vol. 36, No. 4, Apr., 1988.
- [15] Frank Burkert, Giuseppe Caire, Joachim Hagenauer, Thomas Hindelang, "Turbo" Decoding with Unequal Error Protection applied to GSM Speech," in *Proc. GLOBECOM'96, London, U.K.*, pp. 2044-2048, 1996.
- [16] P. Hoher, J. Hagenauer, E. Offer, Ch. Rapp and H. Schulz, "Performance of RCPC-coded OFDM-based digital audio broadcasting(DAB) system," *IEEE Trans. on Comm.*, Vol. 43, No. 9, pp. 2449-2456, Sept., 1995.
- [17] S. Barbulescu and S. Pietrobon, "Rate Compatible Turbo Codes," *Electron Letter*, Vol. 31, pp. 535-536, Mar., 1995.
- [18] D. J. Goodman, C. E. Sundberg, "Combined Source and Channel Coding for Variable Bit-Rate Speech Transmission," *BSTJ*, Vol. 62, No. 7, pp.

- 2017-2036, Sept., 1983.
- [19] D. J. Goodman, "Embed DPCM for Variable Bit Rate Transmission," *IEEE Trans. on Comm.* COM-28, No. 7, pp. 1040-1046, July, 1980.
- [20] Giuseppe Caire, Ezio Biglieri, "Parallel Concatenated Codes with Unequal Error Protection," *IEEE Trans. on Communication*, Vol. 46, No. 5, pp. 565-567, 1998.

저자소개



심우성

- 1994년 2월 : 원광대학교 전자공학과 졸업
- 1996년 2월 : 원광대학교 전자공학과 석사 졸업
- 1996년 3월 ~ 현재 : 원광대학교 전자공학과 박사과정



허도근

- 1975년 2월 : 울산대학교 전자공학과 졸업
- 1975 ~ 1979년 : 국방과학 연구소
- 1980년 2월 : 경희대학교 전자공학과 석사
- 1990년 3월 : 경희대학교 전자공학과 박사
- 1980년 ~ 현재 : 원광대학교 전자공학과 교수