

무선통신망을 위한 Multiple Description Coding 기반 에러 검출 및 정정 알고리즘

한창수, 최광표, 이근영
성균관대학교 전자전기공학과

An Error Detection and Correction Method based on Multiple Description Coding for Wireless Channels

Chang-Su Han, Kwang-Pyo Choi, Keun-Young Lee
Department of Electrical Engineering, SungKyunKwan Univ.
E-mail : liebein@ece.skku.ac.kr

Abstract

본 논문은 MDC의 전송중 발생한 에러를 검출하고, 그 에러를 정정하는 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘은 기존의 MDC와 같이 약간의 redundancy를 가지는 두 개의 sub-bitstream을 생성하는데, 한쪽 sub-bitstream에 에러가 발생하였을 때, 다른 한쪽의 sub-bitstream을 이용하여, 발생한 비트 에러를 정정한다. 제안된 알고리즘에 대한 BER-SNR 실험은 Generalized Gaussian source를 임의적으로 발생시켜서 결과를 얻어내었다. sub-bitstream에서 에러가 발생하였을 때 우리가 제안한 알고리즘은 $BER < 10^{-3}$ 에서 기존 알고리즘보다 약 12dB 높은 성능을 얻을 수 있었다.

I. 서론

다양한 통신시스템 환경에서, 멀티미디어 데이터를 전송하게 될 때 우리가 직면하게 되는 문제는 전송중 발생하는 에러이다. 특히 전송에러가 멀티미디어 데이터에 발생하면, 에러 propagation이 발생하게 되는데, 이러한 전송 중 발생하는 에러에 강인하도록 멀티미디어 데이터를 압축하는 error resilient coding에 대한 연구가 최근 많이 진행되고 있다.

Error resilient coding은 다양하고 비신뢰성을 갖춘 통신망에서 강인함을 갖도록 하는 source coding 알고리

즘이라고 할 수 있다. 현재까지 많은 error resilient coding 알고리즘이 제공되었는데, 그 중 대표적인 것이 data partitioning, re-synchronization, error detection, concealment, reference picture selection, multiple description coding 등이다.

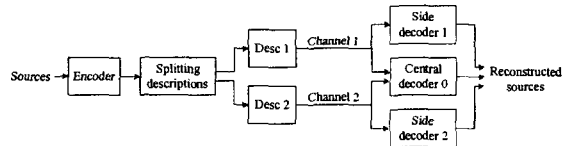


그림 1. 두개의 description을 사용하는 MDC 모델

이 중에서 multiple description coding (MDC)은 하나의 source coder가 몇 개의 sub-bitstream을 만들어서 각기 다른 채널로 전송하는 방법이다. 이러한 sub-bitstream을 description이라고 하는데, 수신단이 전송된 모든 description을 받지 못해도 정상적인 품질이 보장될 수 있도록 압축 알고리즘을 구성하는 것을 목적으로 한다. 모든 description을 수신하게 되면 복호기는 높은 품질의 데이터를 복원할 수 있으며, 어느 하나의 description만을 수신하였다고 하여도 적정수준의 품질로 복원해낼 수 있다. 본 논문에서는 그림 1과 같이 두개의 description만을 만들어내는 경우에 대해서만 고려하도록 하겠다.

Internet과 같은 packet을 기본단위로 하는 통신망에서는 TCP-UDP/IP와 같은 protocol stack을 사용한다.

이러한 통신망에서 비트에러가 발생하면 packet 의 무결성을 보장하기 위해 그 packet 을 버리기 때문에 packet loss 나 channel 의 물리적 문제를 고려하는 기존의 MDC 모델에 적합하다. 하지만, PSTN 이나 무선통신망 같은 bit-oriented 통신망에서는 비트에러를 가진 description 이 복호기에 전달될 수 있기 때문에 에러가 발생한 description 을 버리고, 나머지 description 만으로 멀티미디어 데이터를 복원하는 것은 비효율적이다. 만약 에러가 발생한 description 에서 에러를 검출하고, 정정하여 복호화를 수행하면 더 높은 품질의 멀티미디어 데이터를 얻을 수 있을 것이다.

본 논문의 II 장에서는 기존의 MDC 를 설명하고, III 장에서는 제안하는 알고리즘에 대해서 설명하였으며, IV 장에서는 제안한 알고리즘의 실험결과를, V 장에서는 결론을 서술하였다.

II. Multiple Description Coding

MDC 는 신호의 correlation 을 기반으로 부호화하는 알고리즘이다. 1981 년에 N.S. Jayant 가 음성부호화방식으로 홀수번째와 짝수번째 샘플을 서로다른 채널을 통해서 전송하는 방식을 제안하였다[1]. 수년후 V.A. Vaishampayan 이 multiple description scalar quantizers (MDSQ)[2]를 제안하였고, Y. Wang 은 correlation transform (CT)[3]을 이용한 MDC 를 제안하였다.

특히, MDSQ 는 양자화된 source symbol 을 그림 2 와 같은 index assignment table 을 이용하여, 두 개의 description 으로 나눈다. 예를들어, 그림 2 에서 양자화된 source symbol 2 는 1 과 0 의 값으로 각각 description 1 과 description 2 로 부호화과정에서 나뉘어진다. 복호화과정에서 두 개의 description 을 모두 수신한 경우에는 index assignment table 을 사용하여 양자화된 source symbol 을 쉽게 복호화할 수 있다. 하지만, 채널에러 때문에 description 1 만을 수신했다고 한다면, 복호화되는 양자화된 source symbol 은 description 2 의 후보값들의 평균값인 3.33... 으로 복호된다. 하나의 description symbol 에 대해 후보가 될 수 있는 양자화된 source symbol 의 개수를 depth 라고 하는데, 일반적으로 MDSQ 에서 redundancy 양은 index assignment 의 depth 에 의해 조절되며, description 간의 correlation 은 depth 의 크기에 반비례한다.

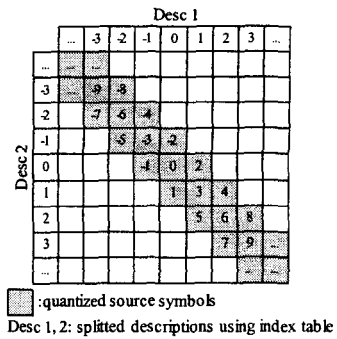


그림 2. Depth 가 3 인 Index assignment table

III. 제안한 알고리즘

본 논문에서는 그림 3 에서 보는바와 같이 RVLC[4] 와 같은 특별한 entropy coding 을 사용하지 않으면서도 에러정정이 가능한 MDC (Error-Correctable MDC, EC-MDC)를 제안한다. 이 알고리즘은 오직 description 사이의 correlation 만을 이용하여, 비트에러의 검출 및 정정이 가능하다. 그러므로 이 방법은 기존의 MDC 에, 부가적인 redundancy 를 삽입할 필요가 없다.

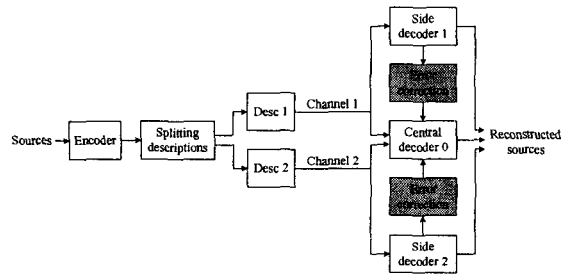


그림 3. 두개의 description 을 사용하는 EC-MDC 모델

본 알고리즘에서는 어떠한 entropy coding 방식을 사용하든 상관없이, 설명을 위해서 ITU-T 의 H.264[5]에서 Universal VLC (UVLC)로 사용되어지는 Exp-Golomb code (k=0)[6]를 사용하였다. 일반적으로 Exp-Golomb code 는 source 의 분포가 Laplacian 확률분포를 따를 때 최고의 효율을 나타낸다고 알려져있다.

3.1 에러 검출

일반적으로 전송된 codeword 중에 code 테이블에 존재하지 않는 codeword (trap)가 발생하거나 혹은 복호화되어진 값이 정의된 범위를 넘어가게 되면 에러가 발생

했다고 판단하게 된다. 하지만, UVLC 같은 경우는 code tree 의 모든 node 에 codeword 가 존재하여 trap 이 존재 하지 않는다. 또한, 정의되는 범위가 넓거나, symbol 의 확률분포의 표준편차가 작을 경우 범위를 벗어나는 경우로 에러를 검출할 확률은 작아진다.

그러므로, UVLC 에 대해서는 부가적인 에러검출 기술이 필요하다. 제안하는 EC-MDC 는 에러가 발생하지 않은 description 을 참조하여 에러가 발생한 description 의 에러를 검출해낸다. 다시말하면, 에러가 발생한 description 을 복호화한 symbol 과 에러가 없는 description 을 복호화한 symbol 이 index assignment table 에 특정 양자화된 symbol 로 mapping 이 되지 않을 경우, 그 symbol 이나 그전의 symbol 에서 에러가 발생한 것을 검출해낼 수 있다. 이 부가적인 에러검출 알고리즘을 통하여 효율적으로 에러를 검출해 낼 수 있다.

3.2 에러 정정

비트에러 검출이 끝난후에는 EC-MDC 는 이러한 description 사이의 correlation 관계를 사용하여 에러정정을 수행하게된다. 만약 양자화된 symbol sequence 를 $q = (q_1, q_2, \dots, q_T)$, description i 의 symbol sequence 를 $d_i = (d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{iT})$, 복원된 양자화 symbol sequence 를 $\hat{q} = (\hat{q}_1, \hat{q}_2, \dots, \hat{q}_{\hat{T}})$, 에러가 발생한 description i 의 복호화된 symbol sequence 를 $\tilde{d}_i = (\tilde{d}_{i1}, \tilde{d}_{i2}, \dots, \tilde{d}_{i\hat{T}})$ 라고 한다면, 만약 $T \neq \hat{T}$ 나 $T \neq \tilde{T}_i$ 일 경우, symbol 레벨에서 동기 에러가 발생했다고 말할 수 있다. 본 논문에서는 설명을 위해서 $i = 1, 2$ 라고 가정하고, 적어도 description d_1 은 정확하게 받았다고 가정한다.

본 논문에서는 주어진 index assignment table 과 수신된 description 을 이용하여, 양자화된 symbol sequence \hat{q} 을 추측해내는데, 그것을 수행하기 위해서는 RVLC 와 같은 특수한 entropy coding 을 하지 않았기 때문에 convolutional coder[7]와 같은 채널코딩에서 사용하는 에러복구 방법을 사용해야한다. convolutional coder 를 이용한 에러정정은 전에 입력된 codeword 와 codeword 의 발생구조를 기반으로 수행이 되는데, 수신측에서 복호기는 수신된 codeword 와 codeword 발생에 관한 사전정보를 비교하여, 전송된 sequence 와 가장 가까운 sequence 를 출력한다. 하지만 일반적으로 convolutional coder 를 이용한 에러정정 방법을 UVLC 를 사용하여 부호화한 codeword 에 그대로 적용할 수 없다. 왜냐하면, 가능한

변화를 제한할 수 있는 codeword 발생구조가 없기 때문이다. 하지만, EC-MDC 는 convolutional coder 의 부호화 방법을 유사하게 수행할 수 있는데, 그것은 MDSQ 가 서로 correlation 관계가 있는 description 을 가지는 효율적인 codeword 발생구조를 가지고 있기 때문이다.

\tilde{d}_1 과 \tilde{d}_2 를 받은다음 양자화된 symbol sequence \hat{q} 을 찾는 것은 다음 수식과 같은 maximum a posterior (MAP) 법칙을 따르는 symbol sequence 를 찾는것과 같다.

$$\hat{q} = \arg \max_q \Pr(q | \tilde{d}_1, \tilde{d}_2) \quad (1)$$

만약 위에 언급된 가정과 간략화를 적용하면, (1)식은 또다른 MAP rule 인 아래 (2)식과 같아진다. 왜냐하면, 만약 d_1 과 d_2 가 정해졌다면 복원될 양자화 symbol sequence 는 오직 한가지의 \hat{q} 만이 있기 때문이다.

$$\hat{d}_2 = \arg \max_{d_2} \Pr(d_2 | d_1, \tilde{d}_2) \quad (2)$$

위에서 \hat{d}_2 는 description 2 에 대해 에러정정을 한 sequence 이다. sequence \hat{d}_2 를 추정하고 난 후 \hat{d}_2 와 d_1 을 사용하여 양자화된 symbol \hat{q} 을 구한다.

일반적으로 convolution coder 에서 MAP 를 수행하는 것은 Viterbi algorithm (VA)를 기반으로 하고 있다. VA 는 noise 가 발생한 유한한 state 를 가지는 신호에서, 원신호와 가장 유사한 유한한 state 의 신호를 찾는 데 사용한다.

본 논문에서도 VA 를 이용하여 branch metric, path metric, survivor path 를 구하고 그것을 바탕으로 source symbol 과 가장 가까운 symbol sequence 를 구한다. 그림 4 는 3.1 절에서 소개했던 예제에 대한 VA trellis diagram 이다.

각 branch metric 을 측정할 때, Euclidean distance 를 사용했을 경우, additive white Gaussian noise (AWGN) 상에서 VA 는 가장 optimal 한 maximum-likelihood 검출 방식

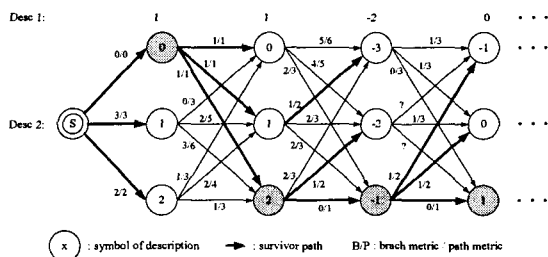


그림 4. EC-MDC 의 에러검출 방법

이 된다[8]. 하지만, source coder 는 에러가 발생한

symbol에 대해서, channel decoder로부터 soft information을 받아올 수 없다. 그래서, 비록 VA의 performance가 sub-optimal해 지기는 하지만, Hamming distance 같은 hard decision이 수행되어야 한다.

IV. 실험 결과

이번 절에서는 기존의 MDC와 제안된 알고리즘인 EC-MDC에 대해서 BER-SNR 관한 실험을 하였다. 각 실험은 Generalized Gaussian (GG) PDF[9]로 random하게 100개의 symbol을 발생시켜 1000번씩 실험하였다.

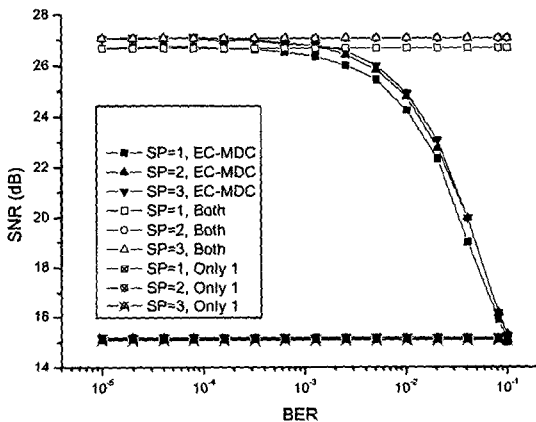


그림 6. EC-MDC의 실험결과

다음 같은 GG PDF는 image나 video 신호의 modeling에 일반적으로 사용된다.

$$f_x(x) = A \cdot e^{-|Ax|^\beta} \quad (3)$$

여기서 A와 β는 shape parameter ν와 표준편차 σ에 관한 함수로 각각 다음과 같다.

$$\beta = \frac{1}{\sigma} \left(\frac{\Gamma(3/\nu)}{\Gamma(1/\nu)} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad A = \frac{\beta\nu}{2\Gamma(1/\nu)} \quad (4)$$

여기서 Γ(·)는 감마함수를 나타낸다. Gaussian PDF와 Laplacian PDF는 ν가 각각 2와 1을 가질 때의 특별한 경우임을 알 수 있다.

그림 6은 표준편차 16인 GG PDF로 발생시킨 random source에 대한 SNR 값을 shape parameter와 BER에 따라 나타낸 것이다.

그림에서 SP는 shape parameter를, EC-MDC는 제안된 알고리즘을, Both는 두 개의 description을 모두 받은 경우를, Only 1은 하나의 description만을 받은 경우를

이야기한다. EC-MDC의 곡선은 BER이 10⁻³보다 작은 경우 error free한 성능을 나타내며 10⁻³<BER<10⁻¹ 구간에서도 좋은 성능을 보여준다.

V. 결론

본 논문에서는 에러를 검출하고 정정할 수 있는 EC-MDC를 제안하였다. BER에 따른 실험에서 기존의 MDC보다 좋은 성능을 보이고 있기 때문에, 이 알고리즘은 비트 에러가 발생하기 쉬운 무선 통신망 같은 곳에서 error resilient coding으로서 효과적으로 사용되어질 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] N.S. Jayant, "subsampling of a DPCM speech channel to provide two 'self-contained' half-rate channels," Bell Syst. Tech. J., vol.60, no.4, pp.501-509, Apr. 1981.
- [2] V.A. Vaishampayan, "Design of multiple description scalar quantizers," IEEE Trans. Inform. Theory, vol.39, pp.821-834, May, 1993.
- [3] Y. Wang et al., "Multiple description coding using pairwise correlating transforms," IEEE Trans. Image Proc., vol.10, no.3, pp.351-366, Mar. 2001.
- [4] M.W.Y. Takishima and H. Murakami, "Reversible variable length codes," IEEE Trans. Communications, vol.43, no.4, pp.158-162, Apr. 1995.
- [5] JVT of ISO/IEC MPEG and ITU-T VCEG, "Joint Final Committee Draft of Joint Video Specification(ITU-T Rec. H.264, ISO/IEC 14496-10 AVC)," Aug. 10, 2002.
- [6] J. Teuhola, "A compression method for clustered bitvectors," Information Processing Letters, pp.308-311, Oct. 1978.
- [7] P. Elias, "Coding for noisy channels," IRE Conv. Rec., Part 4, pp.37-47, 1955.
- [8] G.D. Forney, "Maximum-likelihood sequence detection in the presence of intersymbol interference," IEEE Trans. Inform. Theory, IT-18(3), pp.363-378, May, 1972.
- [9] J.H. Miller and J.B. Thomas, "Detectors for Discrete-Time Signals in Non-Gaussian noise," IEEE Transactions on Inform. Theory, vol.18, no.2, pp.241-250 Mar. 1972.