

고품질 멀티미디어 기반 응급 원격 진료서비스를 위한 생체신호 무손실 압축, 복원 프로그램 개발

임영호*, 김정삼*, 윤태성*, 유선국**
 *창원대학교 전기공학과, **연세대학교 의과대학 의학교육과

Development of the Lossless Biological Signal Compression Program for High-quality Multimedia based Real-Time Emergency Telemedicine Service

Young-Ho Lim*, Jung-Sang Kim*, Tae-Sung Yoon*, Sun-Kook Yoo**

*Dept. of EE, Changwon National Univ., **Dept. of BME, College of Medicine, Yonsei Univ.

Abstract - In an emergency telemedicine system such as High-quality Multimedia based Real-time Emergency Telemedicine(HMRET) service, it is very important to examine the status of the patient continuously using the multimedia data including the biological signals(ECG, BP, Respiration, SpO₂) of the patient. In order to transmit these data real time through the communication means which have the limited transmission capacity, it is also necessary to compress the biological data besides other multimedia data. For the HMRET service, we developed the lossless biological signal compression program in MSVC++ 6.0 using DPCM method and JPEG Huffman table, and tested in an internet environment.

1. 서 론

인터넷 기반 고품질 멀티미디어 응급 원격 진료 서비스를 위해서는 환자의 상태에 대한 고화질 비디오신호, 조언을 위한 화상회의 시스템과 관련한 오디오 및 오디오 신호, 의무기록 및 방사선 사진과 같은 화상 신호 그리고 심전도(ECG), 혈압(BP), 호흡(Respiration), 혈중 산소 포화도(SpO₂) 등과 같은 생체신호의 동시 전송이 요구되어진다. 또한, 응급 환자에 대해서는 환자 상태에 대한 원격지에서 지속적인 관찰이 중요하며, 이를 위해서는 이들 데이터에 대한 실시간 전송이 필요하게 된다. 위와 같은 멀티 미디어 데이터들을 한정된 데이터 전송 용량을 갖는 인터넷을 통하여 동시적으로 그리고 실시간으로 전송하기 위해서는 의료용 영상 및 음성 신호에 대한 압축 전송은 물론이고 생체 신호에 대한 압축 전송이 필요하게 된다[1],[2]. 또한, 원격지에 있는 전문의에 의한 환자 상태의 정확한 진단을 위해서는 손실이 없는 생체신호의 압축 전송이 필요하게 된다. 따라서, 본 연구에서는 DPCM 방식과 JPEG 방식의 Huffman 부호화 방식을 이용한 HMRET 서비스를 위한 무손실 생체신호 압축, 복원 프로그램을 MSVC++ 6.0 언어로 개발하고 인터넷을 이용한 실제 압축 전송한 결과를 제시하기로 한다.

2. 생체 신호 전송을 위한 압축 프로그램 개발

2.1 압축프로그램의 개요

BSM(Biological Signal Manager) 프로그램은 인터넷 기반 고품질 멀티미디어 응급 원격 진료(High-quality Multimedia based Real-time Emergency Telemedicine: HMRET) 서비스 시스템 개발에 있어서의 생체 신호를 실시간으로 획득, 디스플레이, 전송을 하기 위한 프로그램이다. 본 연구에서는 BSM을 위한 생체신호 압축, 복원 프로그램을 개발하였

다. 압축 알고리즘의 선택은 실시간 전송을 위하여 시스템 부하 부담이 적은 시간 영역 압축 알고리즘들 중에서 비교적 간단히 구현할 수 있는 DPCM 알고리즘과 JPEG 방식의 Huffman 부호화 방식을 채택한 무손실 DPCM 압축, 복원 프로그램을 MS사의 Visual C++ 6.0 언어로 프로그램 하였으며 이를 BSM 프로그램에 탑재하였다.

Biosys사의 환자감시 모니터인 'Guardian'으로부터 RS-232C 방식으로 PC상의 BSM 프로그램에 전송되는 데이터는 초당 1140 bytes가 1 패킷으로 전송된다. 패킷의 마지막에 정해진 문자 데이터를 붙여서 패킷을 구분하게 되고, 기타 파라미터 값들이 이 패킷에 포함되므로, 실제의 신호(wave) 데이터는 이보다 작은 1050 bytes를 가진다. 이중에서 심전도(ECG)는 600 bytes, 혈압(IBP) 신호는 150 bytes, 호흡(Respiration) 신호는 150 bytes, 혈중 산소 포화도(SpO₂) 신호는 150 bytes 이다.

BSM 프로그램을 통하여 신호를 압축하여 전송하는데 있어서 고려되어야 할 사항들은 다음과 같다.

① 기본조건은 신호 데이터의 손실 없는 압축 전송이다. 데이터는 한번에 전송되는 1 패킷의 압축을 기준으로 한다.

② 압축 알고리즘의 프로그래밍은 기존의 BSM 프로그램과 같은 MS사의 Visual C++ 6.0 컴파일러를 이용하며, 기존 BSM 프로그램의 내, 외부적 변화를 되도록 적게 한다.

③ BSM 프로그램을 통해서, 데이터 전송 시 압축 또는 비 압축 전송을 선택 가능하도록 하고, BSM 프로그램의 사용자에게 쉽게 눈에 띄는 직관적인 인터페이스를 선택하도록 한다.

④ 신호 데이터를 제외한 파라미터 값(문자 데이터)들은 압축 대상에서 제외한다.

⑤ BSM 프로그램이 실제로 이용될 환경은 실시간 환경이므로, 압축(인코딩)과 복원(디코딩)이 추가되어 발생하는 시간이나 시스템 연산 량의 증가를 최소한으로 할 수 있도록 프로그램 함으로써, 데이터 압축률과 컴퓨터 시스템 및 네트워크 트래픽 간의 적절한 타협점을 맞추어 주도록 한다.

기본조건에 의하여 신호의 손실없는 압축 전송이 필요하므로, 압축 프로그램의 개발을 위하여 DPCM 및 Huffman 부호화를 이용하였다. 압축의 대상이 되는 신호 데이터는 16bit의 고정 크기를 가지는 short형 정수형 데이터이며, ECG 데이터의 경우 양과 음의 양방향 영역을 대상으로 하는 데이터 값 분포를 가진다.

2.2 생체 신호 압축 기법

2.2.1 DPCM

PCM(Pulse Code Modulation)에서는 각각의 샘플을 독립적으로 양자화하여 부호화한다. 그러나 대부분의 신호는 연속되는 샘플들 사이에 높은 상관관계를 가지고 있다. 다시 말하면 연속한 샘플들 사이에서의 평균적인 신호의 변화는 그다지 크지 않다는 의미이다. 이러한 점

을 활용하면 보다 적은 비트로도 충분히 전체 신호를 나타낼 수 있다는 장점이 있는데, 이러한 점을 이용한 알고리즘이 DPCM(Differential Pulse Code Modulation)이다. 따라서 DPCM은 샘플 자체에 양자화를 하는 것이 아니라 샘플 사이의 차이에 대하여 양자화를 수행한다. 샘플 간의 차이값은 샘플 자체의 크기보다 작은 양이 될 것이므로 보다 적은 bit를 할당할 수 있다(3),(4).

2.2.2 Huffman 부호화

DPCM은 실제값과 예측값과의 차이만을 부호화하므로, 차이값의 데이터는 실제값 보다 훨씬 작은 값을 가지게 된다. 그러나, BSM 프로그램의 데이터와 같이, 원래의 데이터가 이미 부호화(16bit signed short)되어 있을 때에, DPCM후의 값이 원래 값보다 작더라도, 단지, 값만이 바뀌었을 뿐, 하나의 데이터가 16bit를 그대로 차지하게 되므로, 데이터 양의 변화는 없다고 볼 수 있다. Huffman 부호화는 각 데이터 값이 출현하는 확률을 계산하고, 출현 확률이 높은 데이터 값부터 부호 길이가 짧은 부호를 할당하는 방법으로서, 낮은 확률의 데이터 값은 부호의 길이를 길게 하고, 높은 확률의 데이터 값은 부호의 길이를 짧게 하여 보내게 된다. DPCM 처리된 데이터는 데이터들이 0에 가까울 확률이 대단히 높게 되므로, 절대값이 작은 데이터가 더 짧은 부호길이를 가지도록 하면, 전체 데이터의 크기가 작아지게 되는 것이다. 여기서 중요한 것이 부호 테이블이 된다. 어떤 데이터가 어떤 길이나 형태의 부호를 가지게 되는지 정해 둘 필요가 있으므로, 이를 데이터의 출현 확률에 따라 정해 놓은 것이 부호 테이블이다. 이 테이블을 어떻게 정하느냐에 따라 전체 데이터의 압축률이 크게 차이가 날 수 있다. 부호 테이블은 Huffman 트리(tree)를 사용하여 임의의 신호 데이터에 대해 최적으로 구할 수도 있으나, 여기서는 여러 생체신호 데이터의 압축을 위하여 다음의 기준 하에 여러 신호에 공통적으로 적용할 수 있는 부호 테이블을 선정 사용하였다.

- ① DPCM의 데이터에 관하여 적용될 것이므로, 절대값이 작은 데이터가 많을 때, 더 좋은 결과를 낼 수 있는 테이블을 정한다.
- ② 프로그래밍의 결과로 인한 BSM 프로그램의 연산량 증가와 연산 속도 저하를 최소화 할 수 있도록 적용이 복잡하지 않은 것으로 한다.

2.2.2.1 JPEG Huffman 부호 테이블

여기서는 영상 압축 표준 방식중의 하나인 JPEG 알고리즘 내에 포함된 명암 데이터의 DC 값 부호화에 사용되는 형태의 Huffman 부호 테이블을 이용하고자 한다. 이용하고자 하는 Huffman 테이블은 다음 표 1과 같다. BSM의 생체 신호 데이터에 맞추어 16bit 데이터에 맞는 부호를 여기에 추가하였다. 이 표에서 DIFF값은 DPCM 데이터이다. 이 데이터의 2진수 형태의 데이터 길이가 SSSS와 같으며, SSSS는 이 부호 테이블에서 부호어를 구분하는 카테고리 번호가 된다. 각 카테고리 별로 보면 DIFF값의 절대값 길이에 대하여 구분지어져 있음을 알 수 있으며, 그에 따라 부호를 부여하고 있다(5).

알고리즘의 진행 과정은 다음과 같다.

- ① 부호화하고자 하는 데이터가 포함된 DIFF값을 찾는다. 그 DIFF값에 대한 SSSS 번호가 카테고리 번호가 된다. 예를 들어, 데이터가 -3일 때, 카테고리는 2가 된다.
- ② 전송 부호에 카테고리에 맞는 부호가 추가된다. 위의 예에서 부호는 "011"이 된다.
- ③ 데이터를 추가한다. 이 때 데이터가 양이면 그대로 추가되며, 데이터가 음일 때는 절대값의 1의 보수를 취하여 추가된다. 위의 예로부터 데이터의 절대값은 "11"이고, 데이터가 -3이므로 절대값의 1의 보수인 "00"이

표 1. JPEG의 DC 차이 값에 대한 Huffman 부호 테이블

SSSS	부호길이	부호어	DIFF값
0	2	00	0
1	3	010	-1.1
2	3	011	-3,-2,2,3
3	3	100	-7,-4,-4,7
4	3	101	-15,-8,-8,15
5	3	110	-31,-16,16,31
6	4	1110	-63,-32,32,63
7	5	11110	-127,-64,64,127
8	5	111110	-255,-128,128,255
9	7	1111110	-511,-256,256,511
10	8	11111110	-1023,-512,512,1023
11	9	111111110	-2047,-1024,1024,2047
12	10	1111111110	-4095,-2048,2048,4095
13	11	11111111110	-8191,-4096,4096,8191
14	12	111111111110	-16383,-8192,8192,16383
15	13	1111111111110	-32767,-16384,16384,32767

추가된다. 데이터의 길이는 카테고리 번호인 2와 같다. ④ 부호어와 데이터를 합한 길이가 최종 부호화된 길이가 된다. 그러므로, 데이터 "-3"은 "01100"으로 5 bit가 저장된다.

⑤ 디코딩 시에는 인코딩과 반대의 과정을 거치며 데이터부호가 카테고리로부터 알게된 DIFF 값 내에 있지 않으면, 1의 보수를 취한 후 음수로 처리하면 된다.

이 알고리즘은 부호어와 데이터를 모두 포함한 데이터의 길이를 가지므로, 최종 결과에서 최소 2 bit에서 최대 28 bit의 데이터를 가지게 된다.

2.2.3 압축, 복원 프로그램

2.2.3.1 알고리즘의 적용 범위

환자감시 모니터로부터 BSM 프로그램으로 전송되는 데이터의 구조는 다음 표 2와 같다.

표 2. BSM으로 전송되는 데이터 구조

1 초당 데이터 : 1140bytes (wave + parameter)				
wave (1050 bytes)				parameter (90bytes)
ECG	SpO ₂	IBP	Resp	
600	150	150	150	

먼저, BSM 송신부 프로그램에 유입되는 데이터를 숫자 데이터로 저장하도록 하여, 패킷별로 데이터 값의 분포를 조사하였다. 랜덤하게 10개 정도의 패킷을 조사하여 신호 종류별 데이터 값의 분포를 조사한 결과, ECG를 제외한 신호 데이터의 범위와 ECG 데이터 값의 범위 내에 존재함을 알 수 있었다. 데이터를 표현한 부호는 signed short 형이며, 패킷 당 데이터 개수는 차지하는 byte의 1/2이 된다. ECG 데이터의 경우 데이터 값의 분포 범위는 대략 (±) 몇 천 정도로 된 단위를 상회하는 데이터는 존재하지 않았다. 다른 신호들은 (±) 몇 백 정도로 백 단위 내의 데이터 값을 가지므로, 신호 전체에 대하여 같은 방식의 알고리즘을 일괄적으로 대입하여도 무방하다는 것을 알 수 있다. 파라미터 데이터의 경우는 숫자 데이터가 아니므로, signed short 형으로 환산된 부호를 숫자로 살펴보면 몇 만 정도의 데이터를 불규칙하게 가진다. 같은 알고리즘으로 이를 압축하려고 하면, 가변 길이 부호에 의해서 오히려 부호 길이가 길어지는 역효과를 가져 올 수 있다.

그러므로, 패킷 당 압축의 대상이 되는 범위는 ECG, SpO₂, IBP, Resp 신호 데이터이며, 크기는 1050 bytes이다. 이는 전체 1140 byte의 92% 정도에 해당

하는 양이다. 파라미터 데이터 90 bytes는 압축 알고리즘에서 제외되어 그대로 전송된다.

2.2.3.2 데이터의 진행

BSM 프로그램 내에서 압축이 적용되었을 때의 데이터의 진행은 다음 그림 1과 같다. 프로그램은 서버와 클라이언트를 함께 가지고 있으며, 동작은 한번에 한가지만을 선택해서 실행한다. 서버 측에서 모든 설정 및 보내는 데이터의 압축 여부를 결정하고, 클라이언트에서는 서버와 같은 화면을 표시하게 된다

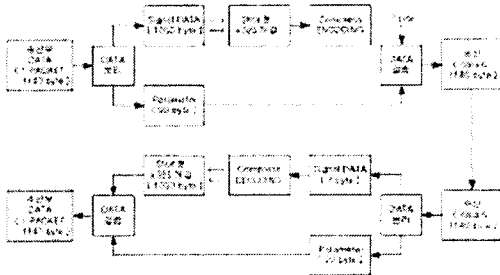


그림 1. BSM 프로그램 내에서의 데이터의 진행

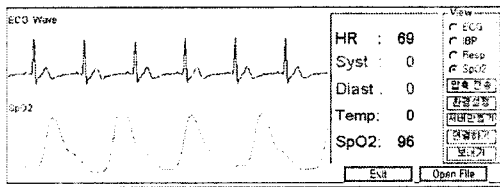


그림 2. BSM에서의 압축전송/복원 실행 모습

3. 실험 및 결과

ECG 데이터만을 압축한 것과 신호 데이터 전체에 대하여 알고리즘을 적용한 결과를 비교하여 보았다. 생체 신호는 정상인의 데이터와 환자의 데이터에 따라서 파형의 패턴이 많이 차이가 나기 때문에, 압축률의 경우에도 어느 경우나 일정하게 좋은 압축률을 얻을 수 없다. 그러므로, 시험 가능한 일정한 생체 신호를 시뮬레이터를 통해 얻어 대상이 되는 데이터는 모두 4가지 종류를 선정했다.

① Normal ECG 데이터 : BIOSYS사의 환자 감시 모니터인 GUARDIAN을 통해서 BSM 프로그램으로 전해지는 데이터에는 ECG, Resp, IBP, SpO₂ 네가지 데이터가 포함되어 있다. 이 중 ECG 데이터는 ECG 신호 발생 simulator를 모니터에 연결하여 항상 값을 얻을 수 있다. SpO₂ 데이터는 측정 프로브를 엄지 손가락에 연결하여 데이터 값을 얻는다. Normal ECG 데이터는 정상상태의 표준 ECG 데이터를 표현한다. 그 외에 IBP, Resp 신호 데이터들은 측정하지 않은 상태이므로 거의 0이거나 0에 가까운 값만을 가진다.

② Abnormal ECG 데이터 : 위의 Normal ECG 데이터에서 ECG 데이터를 부정맥이 있는 환자의 데이터와 같은 비표준적인 형태를 가지는 ECG 데이터로 치환한 것이다. 이때 비정상 ECG 데이터는 ECG 신호 발생 simulator의 Ventricular Tachycardia option에 의한 신호이다.

③ Normal ECG 데이터 + SpO₂ : 위의 Normal ECG 데이터에 SpO₂ 데이터를 포함시켰다.

④ Abnormal ECG 데이터 + SpO₂ : 위의 Abnormal ECG 데이터에 SpO₂ 데이터를 포함한 것이다.

시험 방법과 압축률의 산정 방법은 다음과 같다. 각

10개씩의 전송 패킷을 선정해서, 평균적인 압축률을 계산한 후 비교하였다. 압축률의 계산은 전송되는 데이터 전체에 대한 계산이다.

- 압축되지 않은 데이터 크기 : 1140 bytes

(신호(1050bytes) + parameter(90bytes))

- 압축된 결과 데이터 크기 : ?? bytes

(신호(?bytes) + parameter(90bytes) : 평균값)

위에 제시한 4가지 데이터에 대하여 각각 압축률을 계산한 결과가 표 3에 나타나 있다. 평균값에 의한 계산으로, 결과는 소수점 첫째자리 까지만 계산했다.

표 3. 데이터 유형에 따른 압축률 비교

	압축률 (1140 - ??) / 1140 Bytes
데이터①	63.3 %
데이터②	58.0 %
데이터③	57.4 %
데이터④	51.6 %

참고를 위하여 압축률을 산정할 때 압축되지 않은 부분까지 함께 계산에 포함한 위의 결과 대신 순수한 ECG 데이터만에 대한 압축률 결과를 다음 표 4에 보이고 있다.

표 4. ECG 데이터만의 압축률

ECG 데이터 압축률((600 - ??) / 600Bytes)	
Normal 데이터	Abnormal 데이터
61.4 %	56.6 %

4. 결 론

본 연구에서는 HMRET 시스템 개발에 있어서의 생체 신호 전송을 위한 프로그램인 BSM (Biological Signal Manager) 프로그램에 적용하기 위한 실제적인 압축, 복원 프로그램을 개발하였다. BSM 프로그램이 실제로 이용될 환경은 생체신호 데이터의 실시간 전송을 위하여 어느 정도의 채널 용량이 할당된 유선 인터넷 환경이다. 따라서, 압축률보다는 신호의 질에 초점을 맞추어서 무손실 압축 알고리즘으로 선정하였고, 또한 실시간 압축과 복원 처리를 위한 컴퓨터 시스템의 연산량의 증가를 최소한으로 할 수 있도록 비교적 간단히 구현될 수 있는 알고리즘을 선정하였다. 최종적으로 JPEG에 이용되는 Huffman 부호 테이블과 부호화 방식을 기반으로 한 무손실 DPCM 알고리즘을 사용하여 BSM 프로그램을 위한 압축, 복원 프로그램을 개발하여 BSM 프로그램의 일부본으로 탑재하였다. 테스트 결과 압축, 복원 프로그램은 여러 형태의 생체신호 데이터에 대해서 50% ~ 60%의 압축률을 보여 주었다.

이 논문은 정보통신부 차세대 인터넷 응용사업과제 지원사업에 의하여 연구되었음.

[참 고 문 헌]

- [1] W.J. Tomkins, "Biomedical Digital Signal Processing", Prentice-Hall, 1993.
- [2] S.M.S. Jaleddine, et al., "ECG Data compression techniques-A unified approach", IEEE Trans. on BME, Vol.37, No.4, pp.329-343, April, 1990.
- [3] N.S. Jayant, "Digital Coding of Waveforms", Prentice-Hall, 1984.
- [4] K. Sayood, "Introduction to Data Compression", 2nd Ed., Morgan Kaufmann, 2000.
- [5] 황재정, "디지털 영상공학", 도서출판 아진, 1999.