

VHDL을 이용한 MPEG-4 CELP 부호화기의 구현

이시원, 김수현, 홍민철, 차형태
승실대학교 전자공학과

Implementation of MPEG-4 CELP Encoder using VHDL

Siwon Lee, Soohyun Kim, Mincheol Hong, Hyungtai Cha
Dept. of Electronics Engineering, Soongsil Univ.

E-mail : winter@mmslab.soongsil.ac.kr

요 약

MPEG-4 CELP의 알고리즘은 전송환경에 따라 선택할 수 있는 다양한 전송률을 지원하며 각종 옵션을 추가함으로써 다양한 기능을 부가할 수 있도록 구성되어 있다. 본 논문에서는 MPEG-4 오디오 CELP 부호화기를 VHDL(Very High Speed Intergrated Circuit Hardware Description Language)을 이용하여 구현하였다. MPEG-4 CELP의 부호화 과정을 크게 3부분으로 나누어 LPC 분석부, 코드북 검색부, 비트열 생성부로 나누어 설계하였으며, 내부 메모리의 크기를 줄이기 위하여 중복적인 성격을 갖거나 계산과정에서 나오는 중간 결과 값들을 저장하지 않도록 알고리즘을 최적화하였다. 또 계산 값의 동적 범위(Dynamic Range)가 크거나 정밀도가 요구되는 부분에 대해서는 배밀도(Double Precision) 연산을 사용하여 값의 오차를 줄였다.

I. 서 론

국제표준화기구 ISO와 국제전기표준화회의 IEC의 공

동기관인 JCI의 제2부 위원회 SC2 산하에 WG11로서 결성된 MPEG(Moving Picture Experts Group)은 새로운 동영상 압축 부호화 방식으로 MPEG-1, 2, 4의 표준안을 제안하였다. MPEG-1과 MPEG-2는 각각 저장 미디어와 방송용도를 목표로 표준화되었고, MPEG-4는 이와 달리 저 비트율화, 다 기능화를 도모하기보다는 범용적인 부호화 방식으로 표준화하는 것을 목표로 표준화되었다. MPEG-4 오디오가 대상으로 하는 비트율은 채널당 2~64 Kbps이며, 음악 부호화에서부터 ITU-T의 영역인 음성 부호화까지 포함하고 있으며, 응용분야도 기존의 저장, 방송용도에 추가하여 인터넷, 휴대전화, 통신 등의 다양한 분야에 걸쳐 있다. 이와 같은 넓은 응용 범위로 인해 MPEG-4 오디오 부·복호화기를 효율적으로 개발하는 것은 중요한 과제가 되고 있다. 이러한 MPEG-4의 오디오 부분은 지난 1998년 5월에 DIS(Draft International Standard)가 확정되었고, 1998년 12월에는 IS(International Standard)가 확정되었다.

본 논문에서는 MPEG-4 CELP 시스템의 부호화 알고리즘을 C언어로 구성된 VM(Verification Model)을 이용하여 모의 실험하고, 이를 바탕으로 MPEG-4 CELP 부호화기를 ASIC으로 구현하기 위하여 합성 가

능한 VHDL 프로그램으로 설계하였다. 또한 부호화기의 알고리즘의 구현 과정에서는 필요한 연산과 메모리의 사용이 최소화되도록 최적화 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 MPEG-4 오디오 부호화기에 대해서 살펴보고, 3장에서는 실제로 구현된 MPEG-4 CELP 부호화기에 대한 설명과 구현 결과에 대해 언급하며, 마지막 4장에서 결론을 맺는다.

II. MPEG-4 오디오 CELP 부호화기의 개요

다른 음성부호화 표준인 G.728(LD-CELP)과 G.729(CS-CELP)가 고정 비트율을 지원하는 것과는 달리 MPEG-4 오디오 CELP는 표본화 주파수, 양자화 방법, 보간 여부에 따라 4~24 Kbps 범위의 가변 비트율을 제공한다.

그림 1은 MPEG-4 오디오 CELP 부호화기의 전체적인 구조를 보여주고 있다.

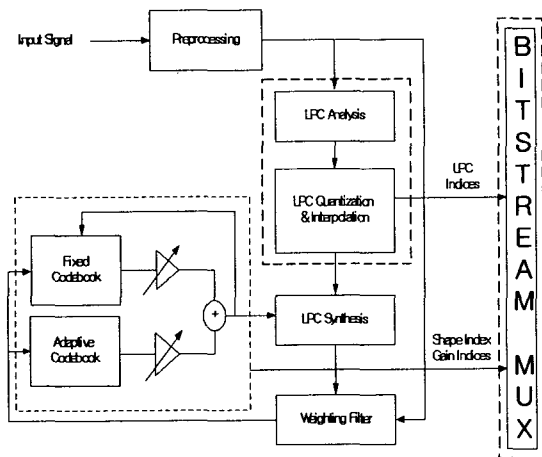


그림 1. MPEG-4 CELP 부호화기의 전체 블록도

부호화 하는 과정은 크게 LPC 분석을 하는 부분과 코드북 검색 부분, 비트열을 생성하는 부분으로 나눌 수 있다.

LPC 분석을 하는 부분에서는 입력음성신호를 자기 상관법을 이용하여 LP(linear prediction) 계수를 추출하고, 이 LP 계수를 반사계수로 변환하여 양자화 한다.

코드북 검색 과정에서는 가중치필터를 통과한 신호를 입력하여 256개로 구성된 적응 코드북과 16개로 구성된

고정 코드북을 검색한다. 적응 코드북 검색은 코드북을 구성하는 256개의 코드워드 중 5개가 먼저 선택되고 이 5개의 코드워드에 인접한 2개를 포함하는 15개를 가지고 적응 코드북을 검색한다. 이 15개의 적응 코드워드를 가지고 합성한 음성신호와 입력음성신호의 오차가 최소가 되는 코드북을 검색하여 그때의 적응 코드북 인덱스값(Shape Delay)과 이득값(Gain Indices 0)을 전송하게 된다. 식(1)은 적응 코드북 검색의 함수이다.

$$ra[r] = \frac{\left(\sum_{n=0}^{sbfm_size-1} t[n] \cdot y[r][n]\right)^2}{\sum_{n=0}^{sbfm_size-1} y^2[r][n]} \quad (1)$$

고정 코드북 검색은 펄스의 위치에 따라 16개의 코드워드를 구성하고 그 코드워드 중 5개를 먼저 선택한다. 고정 코드북 검색을 위한 신호는 적응 코드북에 의한 기여분을 제거함으로써 얻어진다. 그 5개의 고정 코드워드로 합성한 음과 입력음성과의 오차가 최소가 되는 코드워드를 찾아 그때의 고정 코드북 인덱스값(Shape Index)과 이득값(Gain Indices 1)을 전송하게 된다. 식(2)는 고정 코드북 검색을 위한 함수이다.

$$rfp[k] = \frac{\left(\sum_{n=0}^{sbfm_size-1} c[f][k][n] \cdot t[n]\right)^2}{Ef[l]} \quad (2)$$

마지막으로 이렇게 입력음성신호로부터 추출된 LP계수와 코드북 인덱스, 이득값 들을 비트열로 만드는 과정이 있다. MPEG-4 CELP의 비트열은 그림 2와 같이 이루어져 있다.

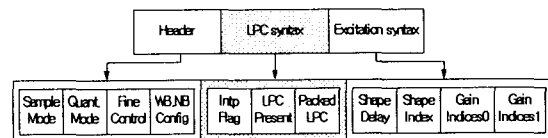


그림 2. MPEG-4 CELP 비트열 구조

비트열을 구성하는 부분은 크게 3부분으로 나눌 수 있으며, 헤더 부분은 표본화 주파수, 양자화 방식, 가변 비트율 사용여부에 대한 정보를 가지고 있으며, LPC 부분은 LP계수에 대한 정보, 보간 정보 LPC의 존재여부에 대한 정보를, 마지막으로 여기신호 부분은 적응 코드북과 고정 코드북의 인덱스 값과 이득 값들로 구성되어 있다.

III. MPEG-4 오디오 CELP 부호화기의 구현

부호화기의 전체적인 구성은 그림 3과 같으며 프로세서 코어의 구조는 레지스터 블록, RAM, ROM, 연산 블록과 이를 제어하는 제어 모듈로 구성된다. 연산기에서 곱셈기와 나눗셈기는 24비트로 구성하고 덧셈기와 뺄셈기는 연산시 누적되는 오차의 방지를 위하여 48비트로 구성하였다. 제어블록은 부호화 정보를 가지고 입력신호와 각 블록의 입·출력을 클럭에 동기하여 프레임 임벨로 처리한다.

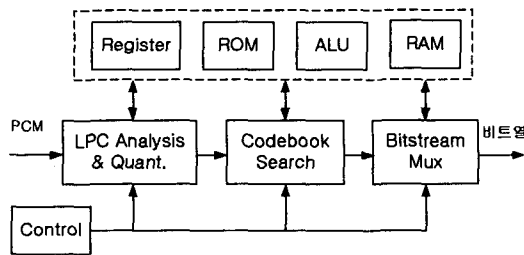


그림 3. MPEG-4 CELP 부호화기 시스템구성

부호화 과정은 입력음성신호가 들어오면 LPC를 분석하고 코드북 검색을 한 후 비트열 생성기를 통해 비트열을 생성한다. 여기서 LPC 분석은 프레임 단위로 동작하고 코드북 검색과 비트열 생성은 서브프레임 단위로 동작한다.

PCM 신호가 들어오면 입력음성신호를 프레임별로 나누기 위하여 제곱윈도우(Squared Hamming Window)가 사용되며, 여기에 사용되는 윈도우 값들은 연산시 소요되는 오차와 시간을 줄이기 위하여 ROM 테이블로 구성하였다. LPC 분석은 160, 240, 320 샘플로 이루어진 프레임단위로 이루어지며 LP 계수를 구하기 위하여 자기상관법과 Levinson-Durbin 알고리즘을 이용하였다. 자기상관함수에서 연산된 자기상관함수값은 최대 37비트의 값을 가지므로 24비트의 연산치리로는 정확한 값을 표현 할 수 없다. 또 LP 계수는 음질과 밀접한 관계를 가진다는 점을 고려하여 LP 계수의 연산시에는 배밀도 연산을 사용하여 값의 정확도를 높였다. 식(3)은 LPC 합성필터함수이다.

$$H_s(z) = \frac{1}{A(z)} = \frac{1}{1 - \sum_{k=1}^{lpc_order} a_k \cdot z^{-k}} \quad (3)$$

연산된 LP 계수는 전송하기 위한 반사계수로 변환되며, 변환된 반사계수는 테이블(look-up Table)을 참조하여 양자화 된다. 양자화 된 반사계수는 각각의 샘플링 주파수에 사용되는 필터의 차수에 맞게 그룹핑(Grouping) 과정을 통하여 변환된다. 16kHz 표본화 주파수일 경우에는 20개의 반사계수가 9개의 데이터로 변환된다.

코드북 검색은 서브프레임 단위로 이루어지며 적응 코드북 검색이 이루어진 후 고정 코드북 검색이 이루어진다. 코드북 검색을 하기 위하여 입력음성신호를 가중치 필터를 통과시키고, 이 가중치 필터를 통과한 신호가 코드북 검색의 입력으로 사용된다. 식(4)는 가중치 함수이다.

$$W(z) = \frac{1 - \sum_{k=0}^{lpc_order-1} aq[k] \cdot z^{-k-1}}{1 - \sum_{k=0}^{lpc_order-1} aq[k] \cdot \gamma^{k+1} \cdot z^{-k-1}} \quad (4)$$

적용 코드북 검색과 고정 코드북 검색은 256개와 16개로 구성된 코드워드 중 1차로 근사화 된 합성필터를 가지고 오차가 최소가 되는 값을 구하게 된다. 식(5)은 근사화 된 합성필터의 함수이다.

$$S_p(z) = \frac{1}{A_p(z/\gamma)} = \frac{1}{1 - a \cdot \gamma \cdot z^{-1}} \quad (5)$$

최종적으로 검색된 적응 코드북과 고정 코드북의 인덱스와 이득값은 비트열을 생성하기 위하여 RAM에 저장된다. 코드북 검색과정에서 생기는 중간 계산결과는 RAM에 따로 저장하지 않고 한 경로를 사용하여 계산하여 설계의 효율성을 증가 시켰고 불필요한 출력 부분의 시간지연을 최소화 하였다.

코드북의 검색이 이루어진 후에는 검색된 코드북과 이득값을 가지고 여기신호를 생성하여 적응 코드북을 갱신한다. 그림 4는 적응 코드북의 갱신 과정을 보여준다.

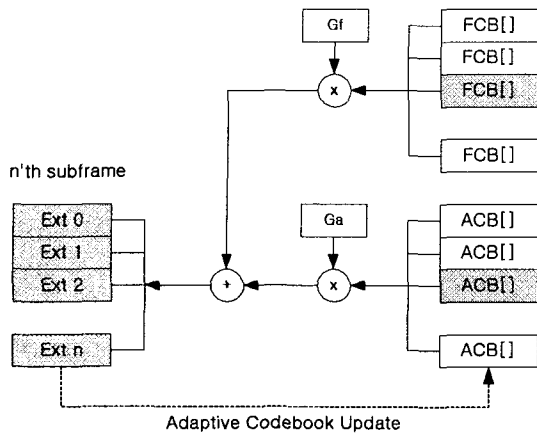


그림 4. 코드북 갱신 구조

또 적응 코드북은 식(6)과 같이 갱신되는데, 이때 매 서브프레임 마다 256번의 쉬프트를 하는 것은 많은 시간과 복잡한 회로를 요구한다. 따라서 큐(Queue)를 이용하여 불필요한 메모리의 사용과 연산의 지연을 줄였다.

$$\begin{aligned} Acb[i] &= Acb[i+j] & i &= 0, 1, \dots, 256-j \\ Acb[i] &= Ext[i] & i &= 0, 1, \dots, j \quad j = 24, 30, 40 \end{aligned} \quad (6)$$

부호화 과정을 통해 전송될 반사계수의 인덱스와 적응 코드북과 고정 코드북의 인덱스 및 이득값은 비트열 형식에 맞게 구성되어 출력된다.

표 1은 부호화기의 각 기능별 수행 클럭 수를 나타내었다.

| | LPC 분석 | 적용 코드북 | 고정 코드북 | 기타 | 합계 |
|-------|--------|--------|--------|-------|--------|
| Clock | 8,512 | 13,304 | 15,640 | 9,932 | 47,388 |
| 비율 | 18% | 28% | 33% | 21% | 100% |

표 1. 부호화기의 기능별 수행 클럭

IV. 결론

본 논문에서는 VHDL을 이용하여 MPEG-4 오디오 CELP 부호화기를 구현하였다. 설계된 부호화기는 스칼라 양자화 방식과 16kHz의 표본화 주파수를 사용하는 모드를 지원하며 합성 가능한 VHDL 구문만을 이용 ASIC 구현이 가능하도록 설계하였다. 부호화기 구현을 위하여 시스템의 타이밍을 분석하였고 LP 계수의 연산 시 정확도를 높이기 위하여 배밀도 연산을 수행하였으며, 프로세서 코어에는 RAM과 ROM의 크기 그리고 각 부분의 연산에 필요한 계산량을 최적화하기 위하여 알고리즘을 효율적으로 적용하였다.

참고 문헌

- [1] ISO/IEC FCD 14496-3 Subpart 1, May, 1998
- [2] CCITT Recommendation G.728, 1992
- [3] CCITT Recommendation G.729, 1996
- [4] Kondoz, "Digital speech coding for low bit rate communication systems," JOHN WILEY & SONS, 1994.
- [5] L. R. Rabiner / R. W. Schafer "Digital Processing of Speech Signals", PRENTICE-HALL, 1978
- [6] 미키 스케이지, "다양한 영상·음성을 자유자재로 부호화하는 MPEG-4의 세계", 영풍문고, 1999.
- [7] Douglas J. Smith "HDL Chip Design", Doone Publications, 1996
- [8] B. S. Atal and M. R. Schroeder, "Stochastic coding of speech signals at very low bit rates," Conf. Rec. Int. Conf. Commun., pp. 1610-1613, May 1984.
- [9] N. Sugamura and N. Farvardin, "Quantizer design in LSP speech analysis-synthesis," IEEE J. Select. Areas in Commun., vol.6, pp.432-440, Feb. 1988.
- [10] K. K. Paliwal and B. S. Atal, "Efficient Vector Quantization of LPC parameters at 24 Bits/frame," IEEE Trans. speech and audio proc. vol.1, pp.3-14, Jan. 1993.