밴드 코우딩

Sub - Band - Coding

이 상 욱*

서울대학교 공과대학
제어계측공학과

1. 서론

디지털 음성 코우딩 목적은 어떻게 하면 음성 신호를, 우리가 원하는 음질 범위안에서, 낮은 bit-rate로 효율적으로 전송하느냐 하는데 있다. 음성을 디지털 신호로 전송하려면 먼저 음성을 샘플링하여 양자화하여야 하는데, 양자화시 발생하는 양자잡음이 음질의 좋고 나쁨을 결정하는데 큰 영향을 주고 있다. 양자잡음은 그 스펙트럼의 크기가 주파수 대역에서 거의 일정한 크기를 가지는 백색잡음적인 성질을 가지며, 대부분의 음성 코우딩 방식은 양자잡음을 최소화하는데 그 노력을 경주하여 왔다. 그러나 최근 많은 청각실험에 의해, 다소 양자잡음의 양을 증가시키더라도, 양자잡음의 주파수 분포를 잘 조정하면, 백색잡음적 양자잡음을 가진 음성보다 그 음질이 청각적으로 우수하다는 사실이 증명되었다 [1]. SBC(Sub-Band-Coding)는 그림1에 그 구성도를 보인 바와같이 입력음성을 4-5개의 대역필터로 분리한후, 각 밴드들의 신호를 독립적으로 각각 양자화해서 보내는 코우딩 방식이다 [2]. 음성에서 인식도나 이해도에 중요한 역할을 하는 성분은 pitch나 formant인데, 이런 성분들은 보통 1000 Hz미만에 집중적으로 분포되어 있고 1000Hz 이상의 성분들은 파열음 또는 잡음적인 것들이다. 그러므로 1000Hz 미만의 pitch나 formant 성분은 고주파 성분 보다는 좀 더 정확하게 코우딩해서 보낼 필요가 있다. 이것은 각 밴드 신호에 할당하는 양자기 bit 수를 조정하면 된다. 이렇게 하므로써 전체 양자잡음의 분포를 조정할 수 있다. SBC는 ADM이나 ADPCM과 비교할때 적어도 10Kbps의 코우딩 이득이 있어 중대역 코우딩(9.6-16Kbps)에서 널리 사용되고 있다.

본 논문에서는 디지털 mobile radio 개발을 위해, 컴퓨터 시뮬레이션으로 SBC의 동작특성 및 SBC에 필요한 여러가지 파라미터들을 실험적으로 결정한 연구결과를 보고하려고 한다. 특히 디지털 필터 대신 값싼 애널로그 Switch Capacitor 필터를 사용하여 하아드웨어의 구성도를 간소화하여, 소형 건전지로써 장시간 동작이 가능하게 하였다.

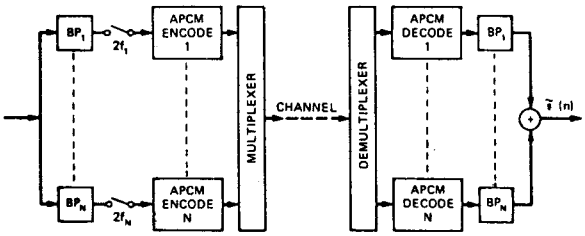

그림1. SBC 구성도

2. SBC

(1) 정수 샘플링방법 [3]

통과대역 f_i를 가진 대역 필터를 통과한 각 밴드신호들은 샘플링 주파수 $2f_i$로 다시

샘플링하여야 한다. 이렇게 하려면 각 밴드 신호들을 저역변환(low-pass-translation)할 필요가 있다. 저역변환이란 대역폭 f_1-f_2($f_2>f_1$) 신호를 대역폭 0-(f_2-f_1)로 변환하는 것을 의미하는데, 일반적인 방법, 변조를 사용하면 배율기(multiplier)를 사용하여야 된다. 그러나 배율기는 첫째 비싸고 둘째 전류소모가 많아 휴대용 Mobile Radio에는 사용이 적합치 않다. 그러나 정수 샘플링 방식을 사용하면 배율기 없이 변조와 똑같은 저역변환을 할 수 있다. 정수 샘플링 방식이란 각 대역필터의 하,상단 절단 주파수를 $m_i f_i$와 $(m_i+1)f_i$로 하는 것을 말한다. 여기서 m_i는 정수로써 보통 1-3의 값을 가진다. 그림2에 정수 샘플링 방식과 그 동작해석도를 보였다.

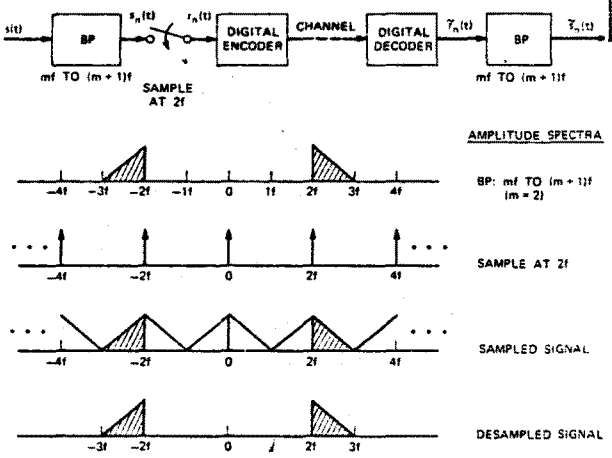

그림2. 정수 샘플링

(2) 대역필터

SBC에서 대역필터의 특성이 전체 음질에 주는 영향은 대단히 크다. 만일 필터의 과도 밴드(transition band) 특성이 원만하면 각 인접한 밴드 신호들의 겹치는 부분이 넓어져서 aliasing error가 발생, 음질에 많은 손상을 주게 된다. 그러므로 대역필터는 차수가 높은 (100-200) 디지털 FIR 필터를 사용하는 것이 유리하나, FIR 필터는 하아드웨어 구성이 복잡해지는 단점이 있다. FIR필터를 사용하기 위해서는 많은 레지스터와 배율기가 필요하나, 배율기 사용의 단점은 전항에서 언급하였다.

그러므로 본 연구에서는 값싸고 전류 소모가 적은 Switch-Capacitor 필터 chip으로 설계가 가능한 IIR 필터를 사용하였다. IIR필터는 FIR 필터와 달리 위상 특성이 비선형인 단점은 있으나 적은 차수로도 특성이 우수한 필터를 설계할 수 있는 장점이 있다. 현재 40차 IIR 필터를 1개의 chip으로 설계할 수 있으므로 각 밴드에 사용하는 대역필터의 차수는 8차로 하였다. 표1에 본 연구에서 사용한 필터 파라미터들을 보였다.

밴드	통과대역 (Hz)	샘플링 주파수(Hz)	하단 차단주파수	상단 차단주파수
1	200-320	240	204	267
2	300-500	500	299	437
3	525-1025	1000	595	961
4	1025-2025	2000	1063	1916
5	2025-3025	2000	2139	3024

표1. 8차 IIR 필터 파라미터

(3) APCM 코우딩

대역필터는 통과한 각 밴드들의 신호들은 코우딩하여 전송되어야 하는데, 본 연구에서는 APCM 방식을 사용하였다[4]. 각 밴드들의 신호들은 각 샘플들간의 상관계수가 낮으므로 ADPCM 방식보다는 APCM이 더 유리하다. APCM 양자기의 적응 법칙은 식 (2)에 의해 결정하였다.

$$\Delta_r = \Delta^{\beta}_{r-1} M(L_{r-1})$$

$M(L_{r-1})$은 양자기 적응 상수로써 Jayant [5]가 제안한 값을 사용하였으며 β는 leakage factor로써 31/32를 사용하였다. β가 1에 가까울수록 채널 error에 대한 적응도가 약해지는 특징이 있으므로 β가 1이 아니면 적응상수를 보상할 필요가 있다. 본 연구에서는 보상상수는 1.2로 하였으며 $\Delta max/\Delta min$의 비는 40dB였다.

3. 실험결과

실험에 사용한 디지털 음성은 우선 애럴로그 음성을 200-3200Hz 대역필터로 통과시킨후 8000 Hz로 샘플링하여 얻었다. 샘플링된 데이타는

각각 14-bit로 양자화하였다. IIR 필터의 파라미터들은 반복적인 청각실험에 의하여 그 값들을 조정하였다. 그리고 IIR 필터의 비선형 위상 특성은 그렇게 음질에 큰 영향을 주지 않는다는 사실을 역시 반복적인 청각 실험에서 확인하였다. 위 결과는 우리 인간의 청각기관은 위상의 변화에 그렇게 민감하지 못하다는 사실에서도 알 수 있다.

본 실험에서는 25KHz 대역폭에 전송이 가능한 12.67, 14.67, 그리고 16.67Kbps, 3가지 SBC의 동작상태를 조사하였는바 14.67Kbps 정도면 Mobile Radio에 충분히 사용할 수 있다는 결론을 얻었다. 표2에 SBC에 사용한 각 파라미터들을 보였다. 14.67Kbps에서 SNR은 대략 15dB였다.

밴드	할당한 bit수		
	12.67Kbps	14.67Kbps	16.67Kbps
1	5	5	4
2	4	4	3
3	3	3	2
4	2	2	2
5	3	2	2

표2. 각 SBC에 사용한 파라미터

4. 결론

컴퓨터 시뮬레이션에 의해 SBC 동작특성을 반복적인 청각실험으로 조사하여, 충분히 디지털 Mobile Radio에 사용할 수 있다는 것을 확인하였다. 14.67Kbps SBC는 ADM과 비교하여 음질이 아주 우수하였다. 또한 하아드웨어 구성이 복잡한 FIR 필터 대신, 값싸고 전류 소모가 적은 Switch-Capacitor IIR 필터를 SBC에 사용할 수 있음을 보였다. 그러나 SBC에서 중요한 문제는 결국 필터의 특성으로써, 본 실험에서 사용한 반복적인 청각실험으로 필터 파라미터를 결정하는 대신 계통적이고 체계적인 방법으로 필터의 특성을 설계하는 문제는 앞으로 해결되어야 되겠다.

5. 참고문헌

1. B.S. Atal and M.S. Schroeder, "Predictive Coding of Speech Signals and Subjective error criteria,", IEEE Trans. ASSP, vol. ASSP-27, pp.247-254, June 1979.

2. R.E. Crochiere and et al., "Digital Coding of Speech in Subbands," BSTJ, vol. 55, pp.1069-1085, October 1976

3. R.E. Crochiere, "On the design of sub-band coders for low-bit-rate speech communication," BSTJ, vol.56, pp.747-770, May-June 1977.

4. N.S. Jayant, "Digital coding of speech waveform: PCM, DPCM, and DM quantizers," Proc. IEEE, vol.62, pp.611-632, May 1974

5. N.S. Jayant and et. al., "Adaptive quantization in differential PCM coding of speech," BSTJ, vol.52, pp.1105-1118, September 1973.