

## APC(Adaptive Predictive Coder) 알고리즘을 적용한 INMARSAT-B Voice Codec 구현

이 채 호\*, 황 윤 호, 김 정 훈, 임 종 근, 배 정 철, 최 우 진 · 이 준 탁  
 삼양 무선공업 주식회사 · 동아대학교

### Implementation of Voice Codec using APC Algorithm for INMARSAT-B

(Chae-Ho Lee\*, Yun-ho Hwang, Jeong-Hun Kim, Jong-Kun Lim, Jung-Chul Bae, Woo-Jin Choi · Joon-Tark Lee)  
 SAMYANG RADIO CO. LTD · Dong-A University

**Abstract** - The APC is a coding algorithm which has the middle property of both Wave Coding(ex ADPCM) and Vocoding(ex CELP) and can decode a proper quality of sound by using scalar quantizer instead of vector quantizer at computation a low calculation. So, the APC required for Voice Codec of INMARSAT-B could be successfully implemented by full duplex using TMS320C30(DSP).

거함으로써 수행되어진다.

#### 1. 서 론

최근 이동 통신 사업의 비약적인 확산과 더불어 보다 낮은 전송률에서 음질의 저하 없이 음성을 전송할 수 있는 음성 부호화에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 디지털 음성 전송 기술은 64Kbps u-law PCM을 시작으로 하여 32Kbps ADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulation), 8Kbps ACELP (Algebraic Code Excited Linear Prediction) 등에 이르기까지 많은 발전을 거듭하여 왔다.

선박용 통신장비로 개발이 되고 있는 INMARSAT-B는 선박전화용 장비인 INMARSAT-A보다 용량을 대폭 확장시킨 디지털통신방식의 최첨단의 장비이다. 이 장비에는 9,600bps 데이터 전송 Fax와 고품질 음성을 제공하기 위해 APC(Adaptive Predictive Coding)16Kbps를 전송하는 예측 부호화 방식이 도입되었다.

APC는 ADPCM과 같은 파형 부호화와 CELP의 중간적인 특성을 갖는 부호화 방식으로 CELP 방식에서 벡터 양자화가 대신 스칼라 양자화를 사용함으로써 비교적 낮은 계산량만으로 적절한 음질의 음성을 재생해 낼 수 있는 기법이다.

본 논문의 APC는 INMARSAT-B의 개발에 관련되어 제작되어진 Voice Codec이며 APC알고리즘이 강제 요구 사항으로 지정되어 있다. 게다가, 이미 다른 논문들에서도 APC 알고리즘에 대한 소개는 많이 되었기 때문에 알고리즘에 대한 해석보다는 제작된 APC의 하드웨어의 구성과 동작에 대해 기술하고자 한다. 그래서 여기서는 APC알고리즘을 통해 얼마나 적절한 음성의 표현이 가능 한지에 목적을 두도록 하겠다.

그래서 본 논문에서는 제 2절에서 APC알고리즘에 대해 간략하게 소개를 한 후 전체적인 구성에 대해 설명을 하겠다. 그런 후에 제 3절에서는 시험 방법과 동작 결과 보이고, 마지막으로 제 4절에서 결론을 논하겠다.

#### 2. APC (Adaptive Predictive Coder) 알고리즘

APC의 기본 개념은 Fig 1과 같다. APC는 입력 파형 샘플의 초기값에 바탕을 두고 있으며, 여기에 실제적인 입력과 추정된 샘플을 비교함으로써 얻어지는 잔여신호(오차 신호)를 더하게 된다. 이 잔여 신호는 양자화되어 수신단에 전송되며, 수신단에서는 되돌려진 양자화 잔여 신호는 음성신호를 재구성하기 위해 합성 필터에 주입된다. 즉 APC의 코딩 효율은 입력 신호에 파형 여분을 제

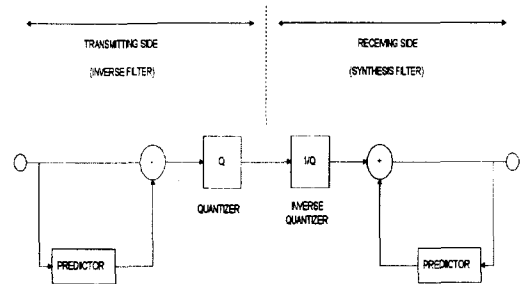


Fig 1 APC의 기본 구성

APC의 Coder 및 Decoder의 구성은 Fig 2와 3에 잘 표현되었다. 전체적인 APC의 신호처리를 간략하게 설명 하면 먼저 샘플된 입력 data가 발생기관 모델링 필터 LPC(Linear Predictive Coding)에 주입되고 반사계수 K가 자동자기상관법에 의해 결정된다. 함수 K인자는 양자화 되어지고, 2진 코드로 변환되며, 단기 예측기의 계수를 변환한다.(tap 계수)

역전 단기 필터로부터 잔여신호가 장기예측 필터에 주입되어지면, 피치 주기와 계수(장기 예측기의 계수)는 AMDF(Average Magnitude Difference Function) 또는 자동자기상관법에 의해 측정되어진다. 그런 후, 장기 예측기로부터 잔여 신호를 사용함으로써 RMS 비례축소 값은 4개의 예정값으로부터 선택되어진다. RMS 비례축소 값에 기초가 된 최적의 RMS는 재구성된 신호와 입력 신호사이에 차를 제공하여 최소화함으로써 결정된다.

최종적으로, 장기 예측 역전 필터로부터 잔여 신호의 결과는 필터의 출력으로 나오는 잡음을 차감한 후 전향 선택 양자화에 주입되어진다.

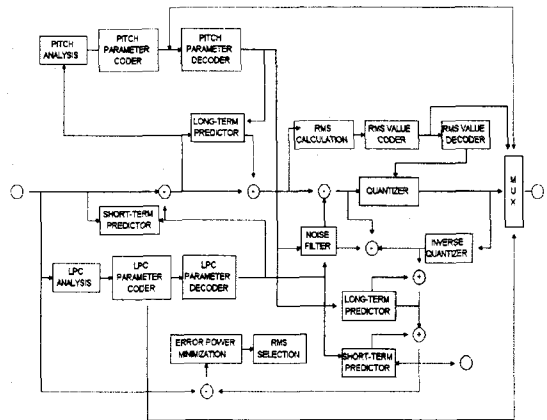


Fig 2 APC Coder의 구성

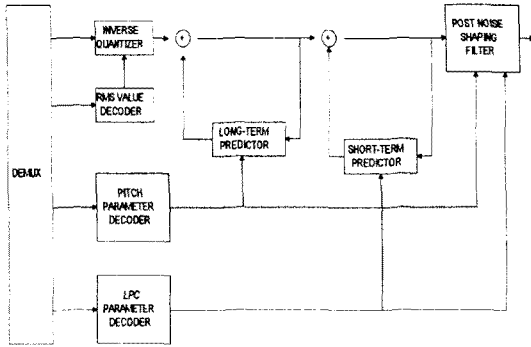


Fig 3 APC Decoder의 구성

APC에서 가장 중요한 것은 양자화와 예측기의 수행에 있다. 양자화의 영향은 재구성된 음성출력을 왜곡하는 성질이 있다. 가장 근접한 양자화법의 선택은 양자화 잡음을 최소화하는 것이다. 그러기 위해서는 잔여 신호의 변화를 최소화하여 양자화 오차를 줄이는 예측기를 디자인하는 것은 중요하다. 그래서 양자화 신호는 샘플당 아주 작은 비트를 요구한다. 참고로 최적 예측기 수행(자세한 내용은 참고문헌을 참조)은 입력신호의 통계치에 의존된다.

## 2. DSP를 이용한 APC의 구성

### 2.1 APC의 구성

APC의 하드웨어는 입력과 신호처리 및 출력의 복잡한 APC의 알고리즘에 비해 아주 간단한 구성으로 가능하였다.

최종 입, 출력의 신호는 A/D변환 소자를 이용하여 변환이 되어지고 DSP로 직접 연결이 된다. 이 경우 A/D변환소자는 음성 신호 처리용을 사용하여야한다. 그렇지 않을 경우 하드웨어의 구조가 복잡해지고 동기에 대한 알고리즘이 복잡해지기 때문이다.

본 논문에서는 DSP로 TI의 TMS320C30을 이용하였고 음성 칩으로는 TLC32044를 사용하였다. 이 DSP는 외부와 통신을 하기 위해 확장 포트를 만들어 사용할 수도 있지만 다른 시스템과 직접 연결이 가능한 Serial 포트 두 개가 제공되어 있다.

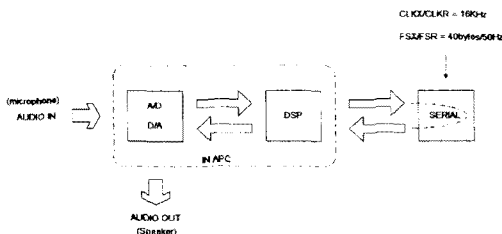


Fig 4 APC 하드웨어의 기본 구성

그래서 가격은 비싸지만 Serial 포트를 이용하여 결선과 시스템의 구성을 간편하게 할 수 있으며, 특히 음성 칩인 TLC32044와 직접 연결이 가능하다는 이점을 가지고 있다. 하지만 경제적인 측면을 고려한다면 제공되는 Serial 포트가 하나이지만 TMS320C30대신 31 또는 32를 대신하는 방법도 좋을 듯 하다.

Fig 4는 APC 하드웨어의 전체구성을 보인 것이다. Full Duplex방식으로 전송이 가능하도록 Serial 포트를 나누어 포트 하나는(포트 0) 입, 출력의 최종단에 두어 음성의 입력과 출력을 담당하게 하였으며 나머지 한 부

분은 다른 장비와의 연계로 사용이 된다.(INMARSAT B의 경우는 CPU단) 참고로 신호의 동기 및 송, 수신 Clock은 외부에서 입력을 받게 하였다.

### 2.2 신호처리

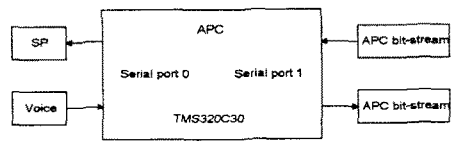


Fig 5 APC의 신호처리 구성

INMARSAT-B 시스템에 사용되는 APC는 6.4kHz로 샘플링된 음성에 대해 동작한다. 그러므로 보통 8kHz로 샘플링 되고 8bit의 u-law로 양자화된 음성신호는 먼저 14bit의 linear PCM으로 변환시킨 후 다시 6.4kHz로 변환이 된다. 그래서 8kHz에서 6.4kHz로의 sampling rate conversion을 위하여 32kHz로 샘플링을 한 후 5배 decimation하는 과정에서 231tap의 linear-phase FIR low-pass filter를 사용하였다. 이는 INMARSAT-B 표준에서 제시하는 60dB stop-band 감쇠를 만족하도록 설계한 것이다. 출력의 경우는 앞의 설명과 반대로 적용이 되어진다.

6.4kHz로 변환된 음성 신호는 DC 성분이 제거되는데 이를 위해 2차의 IIR 필터를 설계하여 사용하였다. 이러한 DC-blocking filter는 부호화기의 지연을 줄이기 위하여 IIR를 사용하였는데 DC 성분을 제거하는 notch filter이므로 pass-band에서의 phase distortion이 거의 없도록 설계되었다.

단기 예측 필터는 6차의 LPC를 사용하며 1tap의 피치 예측기를 사용한다. 피치 예측기의 지연(delay) 검색 범위는 14샘플 지연에서 77샘플 지연이고 정수 지연값을 6비트로 부호화하여 전송한다. 이는 2.2 ~ 12ms에 해당하는데, 일반적으로 음성 신호가 2.2 ms에서 18 ms의 피치 주기를 갖기 때문에 피치 주기가 긴 저음의 음성의 경우는 피치 예측기가 제대로 동작하지 못하여 음질이 저하되는 단점이 있다. ADPCM과는 달리 예측기의 메모리는 양자화 되지 않은 값을 사용하며 open-loop prediction 및 feedback loop에서 noise shaping filter를 사용하는 NFC(Noise Feedback Coding) 방식을 사용한다.

SNR(Signal to Noise Ratio)의 측면에서는 noise shaping filter가 예측기와 같을 경우 가장 유리하지만 인간의 청각적 특성인 masking 특성을 고려하여 신호 성분이 강한 부분에 잡음이 더 많이 분포하도록 함으로써 주관적인 음질(subjective quality)을 향상시킬 수 있다. 일반적인 NFC APC는 LPC필터에만 NFC를 적용하고 피치 예측기는 closed-loop prediction을 사용하는데, 본 논문에서는 피치 예측기에도 NFC를 적용하였다.

잔여 신호 양자화는 9.6Kbps모드의 경우 샘플당 1bit로, 16Kbps의 경우에는 2bit로 양자화 된다. 양자화기의 scale factor는 몇 개의 후보값(candidate)들에 대해 모두 NFC를 적용한 후에 양자화 오차를 최소화하는 값을 선택하는 방식인 analysis by synthesis로 양자화 된다. 이러한 후보값은 많을수록 음질이 좋아지지만 계산량이 증가하므로 적절한 개수의 후보값을 선택해야 한다. 보통 4개 정도가 되면 성능이 포화되므로 본 구현에서도 4개의 후보값 중에 최적의 scale factor를 찾도록 하였다.

### 2.3 Interfacing

TMS320C30에서는 데이터의 전송을 위한 Serial Port에는 XSR(Transmitter Shift Register)과 DXR이라는 FIFO방식의 32bit register가 있다.

XSR은 외부와 연결되어 한 비트씩 쉬프트하며 직접

Serial 통신을 하기 위한 레지스터로 XSR이 모두 전송되면 DXR의 내용이 자동으로 XSR로 복사되고 DSP에 Transmit interrupt가 발생한다. 그러면 이미 작성한 Transmit interrupt service routine은 DXR에 다음 데이터를 저장하게 된다.

송신의 경우에는 RSR(Receive Shift Register)에 데이터를 쓰면 RSR이 DRR로 복사되고 RINT(Receive interrupt)가 동작을 하게 하였다.

APC가 20ms frame 단위로 동작을 하기 때문에 A/D converter는 20 ms이내에 160번 interrupt를 사용한다. interrupt의 동작은 데이터가 가득 차게 되었을 때 발생할 한다.

Fig 6은 제작된 APC의 신호 Timing도를 결과로서 보인 것이다. 동기 신호의 경우 20ms의 간격으로 이루어지고 있으며 40byte의 오디오 신호를 처리한다. 이 경우 인터럽트(송신, 수신)도 각각 40개가 발생된다.

따라서 외부에서는 필요한 음성의 데이터를 입력하고 적당한 시간 내로 요구를 하여 받기만 하도록 구성하면 된다.

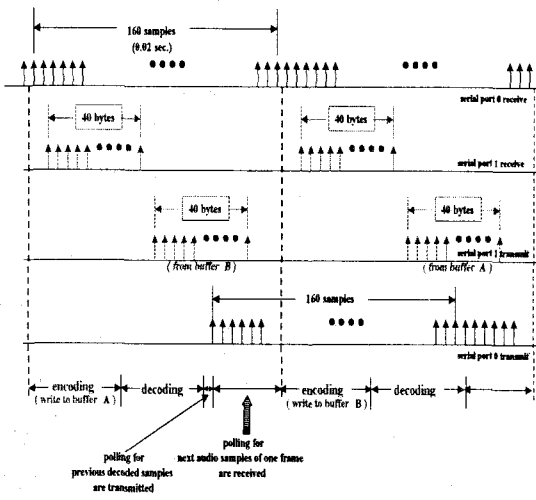


Fig 6 제작된 APC의 Timing

### 3. APC 알고리즘의 측정

APC 알고리즘은 DSP만으로 거의 모든 동작이 이루어지도록 되어 있다. 그리고 이런 APC 알고리즘 동작의 시험은 INMARSAT-B의 System Definition Manual 규격에 합당해야만 한다.

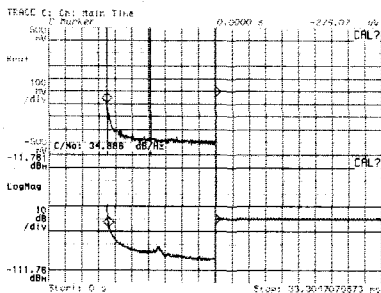


Fig 7 입력이 없을 경우

같이 신호를 되돌려서 스피커로 듣고, 출력에 스펙트럼을 측정하는 방법이 있다. 하지만 이것은 알고리즘에 대한 충분한 동작의 측정이 되지 못한다. 하지만 앞에서도 언급을 했듯이 본 논문은 INMARSAT-B에 사용되는 APC의 정확하고 적절한 음성 출력에 목적이 있다.

Fig 7과 8은 음성 입력과 출력의 파형을 비교한 것이다. Fig 7과 8의 상단은 입력이며 하단은 출력 파형을 의미한다.

약간의 잡음이 3kHz 부근에서 발생하였으며 그 외에는 올바른 음성이 출력되어짐을 발견할 수가 있다.

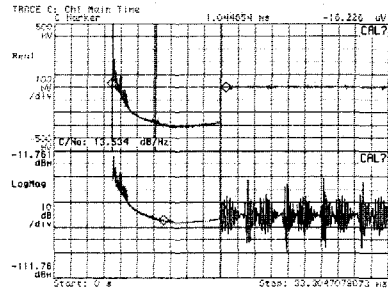


Fig 8 입력신호가 있을 경우

### 4. 결론

본 논문에서 구현한 APC알고리즘은 DSP를 이용하여 선박용 장비인 INMARSAT-B의 Voice Codec을 구현하였다. APC 시스템 제작 및 구현 결과, 복잡하지 않는 하드웨어 구성으로 외부의 아날로그 및 디지털의 음성신호를 받아들여 data를 변환(A/D), 실시간 처리 및 적절한 음성 출력이 가능하였다. 특히 APC Codec의 개발은 INMARSAT B의 내부 시스템들과 적절한 Interfacing이 용이하게 이루어 질 수 있었다.

APC는 많은 시스템에 사용되어지는 음성 부호화 기술은 아니다. 하지만 제어와 신호처리가 이루어지는 복잡한 시스템의 경우는 통신 음질보다는 적절한 내용의 표현과 전달에 더 큰 가치가 있다. 따라서 경제적이며 더욱 개선된 신호처리 알고리즘 및 프로세서에 대한 연구가 보다 많이 진행되어야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] N. S. Jayant and P. Noll, "Digital Coding of Waveforms", Prentice-Hall, 1984.
- [2] B. S. Atal and M. R. Schroeder, "Predictive Coding of Speech Signals and Subjective Error Criteria," *IEEE Trans. Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. ASSP-27, No. 3, pp. 247-254, June 1979.
- [3] "INMARSAT B SDM(System Definition Manual)", Inmarsat International Maritime Satellite Organization, INMARSAT-B MODULE 1 APPENDICES I, 1991
- [4] "USER MANUAL(TMS320C3X)", TI Web Site

APC 알고리즘 프로그램 제작에 협조해 주신 서울대학교 VLSI Signal Processing Lab의 손중서님께 감사드립니다.  
이 논문은 산업자원부 중기거점 기술 개발 사업 연구비에 의하여 연구되었음.

동작의 측정은 음성을 입력하여 Fig 4에서의 점선과