

V/S/TSIUVC를 이용한 멀티펄스 음성부호화 방식에 관한 연구

이 시 우^{*}

요 약

유성음원과 무성음원을 사용하는 음성부호화 방식에 있어서, 같은 프레임 안에 모음과 무성자음이 있는 경우에 음질저하 현상이 나타난다. 본 논문에서는 음질을 개선하기 위해 V/S/TSIUVC 스위칭, 개별피치 펄스와 TSIUVC 근사합성 방법을 사용한 새로운 멀티펄스 음성부호화 방식을 제시한다. TSIUVC는 영교차율과 개별피치 펄스에 의하여 추출되며, TSIUVC의 추출율은 여자와 남자음성에서 각각 91%와 96.2%를 얻었다. 여기에서 중요한 사실은 양질의 TSIUVC 합성 파형을 얻기 위해서는 0.547kHz 이하와 2.813kHz 이상의 주파수 정보를 사용하여야 한다. V/UV를 이용한 MPC와 V/S/TSIUVC를 이용한 FBD-MPC의 비교평가를 하였다. 실험결과, FBD-MPC의 음질이 MPC의 음질에 비하여 상당히 개선되었음을 알 수 있었다.

A Study on Multi-Pulse Speech Coding Method by Using V/S/TSIUVC

See-Woo Lee[†]

ABSTRACT

In a speech coding system using excitation source of voiced and unvoiced, it would be involved a distortion of speech quality in case coexist with a voiced and an unvoiced consonants in a frame. This paper present a new multi-pulse coding method by using V/S/TSIUVC switching, individual pitch pulses and TSIUVC approximation-synthesis method in order to restrict a distortion of speech quality. The TSIUVC is extracted by using the zero crossing rate and individual pitch pulse. And the TSIUVC extraction rate was 91% for female voice and 96.2% for male voice respectively. The important thing is that the frequency information of 0.547kHz below and 2.813kHz above can be made with high quality synthesis waveform within TSIUVC. I evaluate the MPC use V/UV and the FBD-MPC use V/S/TSIUVC. As a result, I knew that synthesis speech of the FBD-MPC was better in speech quality than synthesis speech of the MPC.

Key words: Multi-Pulse Speech Coding(멀티펄스음성부호화), Speech Signal Processing(음성신호처리)

1. 서 론

근래, DSP(Digital Signal Processing)의 기술진

보를 배경으로 통신망의 대부분이 디지털화 되어가고 있다. 통신망의 회선을 유효하게 사용하고 전송 효율을 높이기 위해서는 낮은 bit rate의 음성부호화 방식이 바람직하다.

* 교신저자(Corresponding Author): 이시우, 주소: 충남 천안시 안서동 산98-20(330-720), 전화: 041)550-5352, FAX: 041)550-5355, E-mail: swlee@smu.ac.kr

접수일: 2003년 11월 11일, 완료일: 2004년 1월 27일

[†] 정회원, 상명대학교 컴퓨터정보통신공학부 교수

※ 이 연구는 2004년도 상명대학교 연구비의 지원으로 이루어졌다.

Bell 연구소의 Atal은 낮은 bit rate의 음성부호화 방식으로 AbS(Analysis by Synthesis)법에 의하여 멀티펄스(Multi-Pulse)를 탐색하고, 이 멀티펄스에 의하여 LPC 합성 필터를 구동함으로써 음성신호를 합성하는 방식을 제안하였다[1]. 이를 Putnins는 9.6

kbit/s의 bit rate에서 멀티펄스 음성부호화 방식의 음질을 개선하였다[2]. 이 방식에서 bit rate을 더욱 낮추기 위하여 멀티펄스의 수를 감소시키면 음질이 떨어지는 것을 피할 수 없게 된다. 그래서 NEC의 Ozawa는 멀티펄스의 수를 감소시키지 않고 음질을 개선하기 위한 방법으로서 피치에측법과 피치보간법을 이용하여 4.8~9.6kbit/s의 멀티펄스 음성부호화 방식(MPC)을 제안하였다[3]. 이 방식은 자기상관법에 의하여 추출한 피치정보에 의하여 유성음(Voiced)/무성음(UnVoiced)을 선택하고, 이 V/UV 선택 정보에 의하여 유성음원과 무성음원을 구동하여 음성신호를 재생하는 방식이다. 그러나 프레임내 음성신호가 유성음, 무성음, 무음(Silence)이 상호 독립적으로 존재하는 것이 아니라 무음(S)+무성음(UV) 또는 무음(S)+유성음(V), 무성자음(UVC)+유성음(V)의 형태로 존재하며, 이러한 형태의 음성신호는 과도기적인 특성을 나타낸다. 특히, 모음과 자음이 결합하여 유성음도 무성음도 아닌 특성을 나타내는 천이 구간이 존재하는데, 이러한 천이구간의 음성신호를 유성음원이나 무성음원 어느 한쪽의 음원으로 음성신호를 재생하는 것은 문제점이라 할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하는 방법으로 유성음과 무성자음이 같은 프레임에 존재하지 않도록 프레임의 길이를 동적으로 할당하는 것도 고려해 볼 수 있으나, 이것은 디지털 신호처리의 특성상 상당히 어려운 처리과정이라 할 수 있다.

종래의 MPC에서는 자기상관법에 의하여 추출한 피치정보에 의하여 V/UV를 선택하고, V/UV에 의하여 유성음원과 무성음원을 선택하여 음성신호를 재생한다. 그러나 같은 프레임 안에 모음과 무성자음이 있는 경우에 피치추출 오류가 발생할 뿐만 아니라 이러한 음성신호를 V/UV에 의하여 유성음원 혹은 무성음원 어느 한쪽의 음원을 선택하여 사용하는 것은 모순이라 할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 개별피치 추출법을 사용하고, 특성을 달리하는 유성음(V), 무음(S), TSIUVC(Transition Segment Including UnVoiced Consonant)의 음성신호를 V/S/TSIUVC의 선택정보에 의하여 음성신호를 재생하는 새로운 멀티펄스 음성부호화 방식(FBD-MPC: Frequency Band Division Multi Pulse Coding)을 제안하고자 한다. 본 연구에서는 V/S/TSIUVC의 선택정보를 얻기 위하여 개별피치

와 zero crossing rate을 이용하였으며, TSIUVC 재생에는 주파수 대역 분할에 의한 근사합성 방법을 사용하였다.

2. 개별 피치 추출

2.1 개별 피치 추출 알고리즘

일반적으로 피치추출에 자주 이용되는 자기상관법[4]은 수십ms 프레임 단위로 정규화한 하나의 피치정보를 산출한다. 따라서 음소 상호간의 간섭에 의해 피치간격이 일정하지 않을 경우, 또는 음성의 시작이나 끝부분과 같이 준주기성의 음성파형, 무성음과 유성음 혹은 무성자음과 유성음이 같이 존재하는 프레임에서는 피치추출 오류가 종종 발생한다. 이러한 오류를 억제할 수 있는 방법으로 본 연구에서는 FIR-STREAK 필터의 잔차신호에서 개별 피치 펄스를 추출하는 방법을 적용하고자 한다. 그림 1의 FIR-STREAK 필터에 있어서, FIR 필터는 주파수 대역을 제한하기 위한 LPF(Low Pass Filter)의 역할을 하며, STREAK 필터는 잔차신호를 얻는 역할을 한다.

실제의 음성신호에 있어서 5kHz 주파수 대역에 3~4개의 포어먼트 정보가 존재하며, 이러한 음성신호를 처리할 때 일반적으로 10차의 선형필터를 사용하는데, 본 연구에서도 STREAK 필터의 차수는 10차로 하고, 음성신호의 표본화 주파수는 10kHz로 하였다.

STREAK 필터에서 k_i 를 구하기 위해서는 전 방

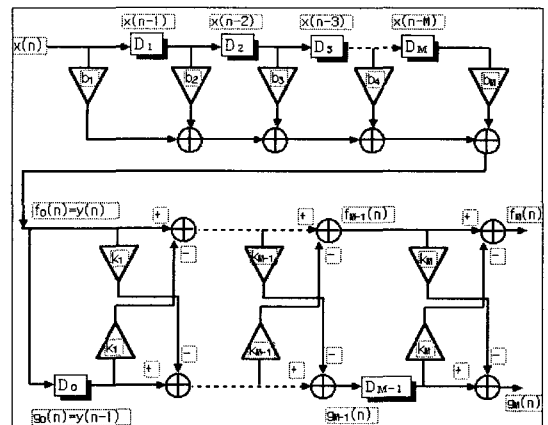


그림 1. FIR-STREAK 디지털 필터의 구성

향 오차신호($f_i(n)$)와 후 방향 오차신호($g_i(n)$)의 순시 값을 최소화 한 다음

$$A_s = f_i(n)^2 + g_i(n)^2$$

$$= -4 k_i \cdot f_{i-1}(n) \cdot g_{i-1}(n-1)$$

$$+ (1 + k_i^2) \cdot (f_{i-1}(n)^2 + g_{i-1}(n-1)^2) \quad (1)$$

윗식을 k_i 에 관하여 편미분함으로서 STREAK계수 k_i 를 구할 수 있다.

$$k_i = \frac{2 \cdot f_{i-1}(n) \cdot g_{i-1}(n-1)}{f_{i-1}(n)^2 + g_{i-1}(n-1)^2} \quad (2)$$

여기에서, $i=1,2,\dots,M$ 이고, $n=1,2,\dots,N$ 이다.

k_i 를 사용한 STREAK 필터의 전달함수는 다음과 같다.

$$H_s(z) = \frac{1}{\sum_{i=0}^{M-1} k_i z^{-i}} \quad (3)$$

이와 같은 특성을 가진 FIR-STREAK 필터의 잔차신호는 그림 2와 같이 펄스성 잔차신호(R_P)와 잡음성 잔차신호로 구성되어 있음을 알 수 있다. 그림 2는 '아'의 남여 음성파형을 나타낸 것이다.

프레임 길이가 25.6ms인 두 프레임의 연속된 음성파형을 사용하여 피치를 추출한 결과를 그림 3에 나타내었다. 실험결과, Frame-2와 같이 ①유성음의 경우에는 개별피치 추출법과 자기상관법에서 유효한 피치정보를 추출할 수 있었던 반면, Cepstrum법에서는 피치추출 오류를 볼 수 있다.

또한 Frame-1과 같이 ②무성음과 유성음, 혹은 무성자음과 유성음이 같이 존재하는 부분, ③음소가 변위하는 부분, ④프레임의 경계 부분, ⑤음성의 시작

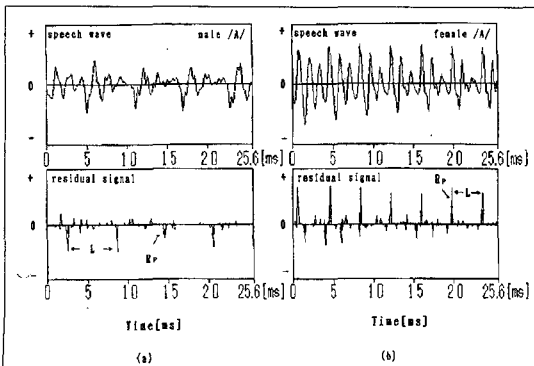


그림 2. FIR-STREAK 디지털 필터의 출력 잔차신호 (a) 남자음성 (b) 여자음성

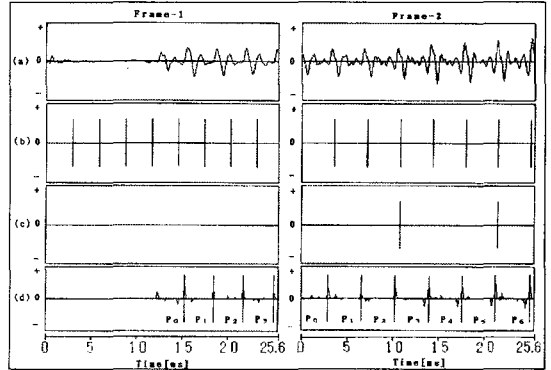


그림 3. 피치추출 예 (a) 본래 음성 (b) 자기상관법 (c) Cepstrum법 (d) 개별피치 추출법

부분, ⑥음성의 끝 부분에서는 개별피치 추출법이 보다 안정된 피치정보를 얻을 수 있었다.

2.2 개별 피치 추출물

피치 추출물은 합성음성의 품질을 향상시키기 위한 지표이며, 기존의 피치추출 방법과 비교하여 피치 추출물을 향상시키기 위한 것은 아니다. 피치 추출물은 엄정한 규칙과 세심한 관찰력에 의하여 산출되어야 하는데, 한 프레임에서 여러 개의 피치 정보를 추출하는 방법에 있어서, 어떤 경우를 피치추출 오류로 판단해야 하는지가 관건이라 할 수 있다.

본 연구에서는 피치추출 오류를 시간 축 상의 음성파형에서 관찰된 실제의 피치간격과 R_P 에서 산출한 피치 간격이 일치하는지의 여부를 비교 관찰하여 판정하도록 하였다. 구체적으로는 본래 피치가 존재함에도 불구하고 이를 추출하지 못한 경우(b_{ij}), 또는 피치가 존재하지 않는데 추출된 경우(C_{ij})를 피치추출 오류로 판정하여 피치 추출율(P_R)을 산출하도록 하였다.

$$P_R = \frac{\sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^m [a_{ij} - (b_{ij} + C_{ij})]}{\sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^m a_{ij}} \quad (4)$$

윗 식에서, $m, T, a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}$ 는 각각 프레임 총수, 총 음성제원 수, 관찰된 피치 수, 피치를 추출하지 못한 경우의 오류, 한개 이상의 피치를 잘못 추출한 경우의 오류를 나타낸다.

본 연구에 의한 개별 피치펄스 추출법과 자기상관법 혹은 Cepstrum법과 피치 추출 측면에서 직접 비교하기는 어렵다. 왜냐하면, 전자는 프레임 마다 여

러 개의 피치 정보가 산출되는 반면 후자는 프레임마다 한 개의 피치 정보가 산출되기 때문이다. 이러한 이유 때문에, 자기상관법과 Cepstrum법에 의하여 추출한 한 개의 피치정보를 25.6ms의 프레임에 나타낼 수 있는 피치의 수로 환산하고, 이를 개별적인 피치로 간주하였다. 표 1의 음성 표본과 식(6)을 사용하여 피치 추출률을 산출한 결과, 표 2와 같은 결과를 얻었다.

여기에서, 피치 추출률이 여자음성에서 낮게 산출된 까닭은 여자음성이 남자음성에 비하여 피치주파수가 급격히 변하는 특성 때문으로 해석된다. 여기에서 피치 추출률은 피치추출 알고리즘을 개선하기 위한 지표 정도로 인식하는 것이 바람직하다.

표 1. 음성 표본

제 원	남자음성	여자음성
발성자	4	4
발성 시간	54.4초	54.4초
단문 수	16	16
모음 수	145	145
무성자음 수	34	34

표 2. 피치 추출률

방 법	남자	여자
개별피치 추출법	96%	85%
자기상관법	89%	80%
Cepstrum법	92%	86%

3. V/S/TSIUVC 추출과 근사합성

3.1 V/S/TSIUVC 추출

일반적으로 유성음(V)에서는 낮은 zero crossing rate(ZCR)과 피치정보를 갖는 것을 특징으로 하며, 무성자음(UVC)에서는 높은 ZCR과 피치정보가 없는 것이 특징이다. 또한, 천이구간(TS)에서는 낮은 ZCR과 피치정보가 없는 특징을 나타낸다. 이러한 특징들을 고려하여 연속음성에서 V, S, TSIUVC를 탐색·추출하는 방법을 그림 4에 나타냈다. 이 방법에 있어서 음성신호는 3.4kHz LPF로 주파수 대역을 제한한 다음 10kHz, 12bit로 표본화 및 양자화고, FFT 처리를 위하여 프레임 길이는 25.6ms로 하였다.

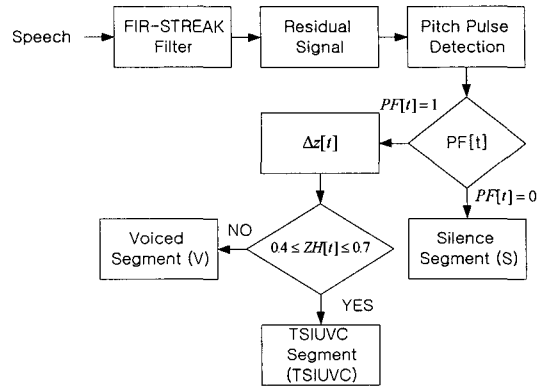


그림 4. TSIUVC의 탐색과 추출법

프레임 안에 개별 피치정보가 하나도 존재하지 않으면(PF[t]=0) 프레임을 S로 판정하였고, 그렇지 않다면 해당 프레임의 ZCR($Z[t]$)과 프레임간의 ZCR($\Delta Z[t] = Z[t] - Z[t-1]$)차, 천이구간(TS)과 무성자음구간(UVC)의 ZCR($ZH[t]$)이 $\Delta Z[t] < 0, Z[t-1] \geq 0.4, 0.4 \leq ZH[t] \leq 0.7$ 인 조건을 만족한 경우에 최초로 나타나는 개별피치(P_0)의 위치에서 25.6ms 이전의 음성신호를 TSIUVC로 판정하였고, 그렇지 않다면 V로 판정하였다.

여기에서, 최초의 개별피치(P_0)는 유성음의 시작 위치인 동시에 TSIUVC가 끝나는 위치를 나타내는 중요한 정보이다. 결국, V, S, TSIUVC 판독한 결과를 근거로 그림 5와 같이 프레임을 재구성함으로써 V/S/TSIUVC 처리에 적합한 신호처리 방법을 선택할 수 있도록 하였다.

남여 9명의 연속음성(73문장, 모음수: 609개, 무성자음수: 195개)에서 본래 TSIUVC가 존재함에도 불구하고 추출되지 않았을 경우(b)와 본래의 TSIUVC가 존재하지 않는데도 불구하고 추출된 경우(c)를 TSIUVC추출오류로 규정한 (7)식에 의하여 TSIUVC 추출률을 산출하였다.

$$R = \frac{\sum_{j=1}^m \{a_j - (b_j + c_j)\}}{\sum_{j=1}^m a_j} \quad (5)$$

a_j : TSIUVC 관찰 수, m : 음성샘플 수

실험결과, TSIUVC 추출률은 남자음성에서 96.2%, 여자음성에서 91%의 결과를 얻을 수 있었다.

3.2 TSIUVC 근사합성

남여 9명의 대화체 음성(73문장, 무성자음수: 195

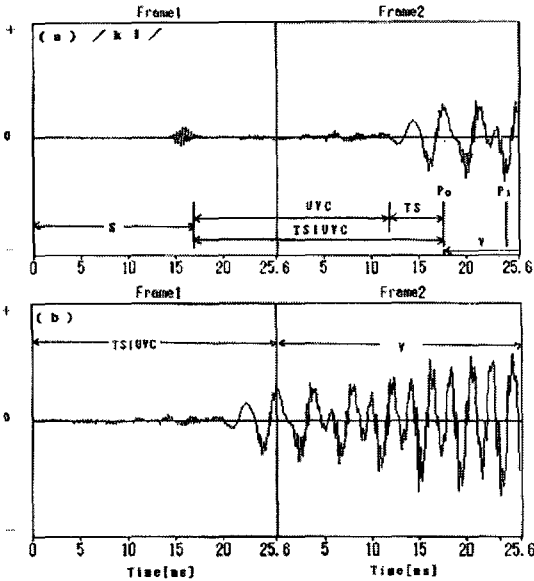


그림 5. V/S/TSIUVC의 프레임의 재구성
(a) 본래의 프레임 (b) 재구성한 프레임

개)신호를 사용하여 추출한 TSIUVC의 SNR를 분석한 결과의 한 예로 무성자음 “p”, “t”, “k”의 SNR를 그림 6에 나타냈다.

여기에서 주목할 것은 0.547kHz 이하의 낮은 주파수 대역과 2.813kHz 이상의 높은 주파수 대역에서 상대적으로 높은 SNR를 나타내고 있는데, 이것은 TSIUVC의 주요 주파수 정보가 높은 주파수와 중간 주파수대역으로 양분되어 있는 것을 나타낸다. 따라서 본 연구에서는 TSIUVC를 재생하는데 유효한 0.547kHz 이하와 2.813kHz 이상의 주파수 정보를 사

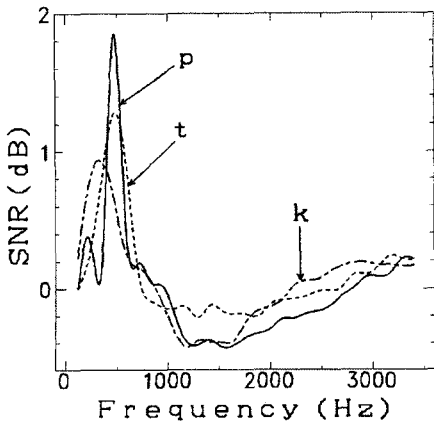


그림 6. TSIUVC 주파수 대역의 SNR

용하기로 하였다.

4. 멀티펄스의 탐색

본래의 음성신호 $x(n)$ 와 멀티펄스 $v(n)$ 에 의하여 재생된 신호 $y(n)$ 로부터 식(6)이 최소가 되도록 멀티펄스의 진폭(g_k)과 위치(m_k)를 결정하게 된다[5].

$$J = \sum_{n=1}^N e(n)^2 = \sum_{n=1}^N [x(n) - y(n)]^2 \quad (6)$$

이때, 멀티펄스의 음원 $v(n)$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$v(n) = \sum_{k=1}^N g_k \cdot \delta(n - m_k)$$

$$\begin{cases} \text{if } n = m_k, \delta(n - m_k) = g_k \\ \text{if } n \neq m_k, \delta(n - m_k) = 0 \end{cases} \quad (7)$$

결국, 그림 7과 같이 대표구간의 멀티펄스와 피치 정보를 수신측에 전송하고, 수신측에서는 피치구간마다 대표구간의 멀티펄스를 재생하여 멀티펄스 음원을 만든다.

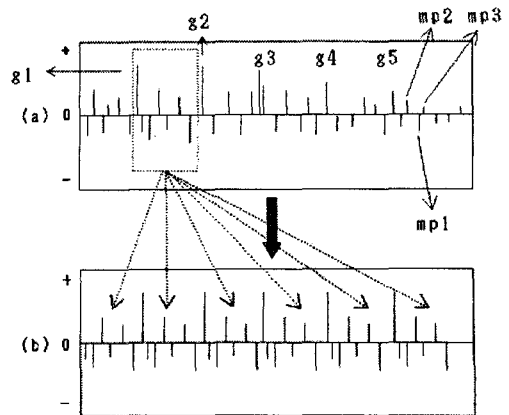


그림 7. 멀티펄스의 진폭과 위치

5. 실험 결과

5.1 부호화 조건

V/UV 형태의 MPC와 V/S/TSIUVC 형태의 FBD-MPC의 음질을 비교 평가하고자 한다. 우선, 서로 다른 방식의 음질을 비교 평가하기 위해서는 같은 bit rate이 되도록 전송 파라미터에 할당하는 bit를 조절할 필요가 있다. 다음으로 음질의 주관적 평가와 객관적 평가가 동시에 이루어져야 하는데, 주관적 평가

와 객관적 평가의 척도로 자주 사용되는 방법으로 MOS(Mean Opinion Score)와 SNR_{seg} 가 있다. 여기에서, MOS는 청각적인 음질을 나타내는 척도이고, SNR_{seg} 는 음성 파형의 일그러짐을 나타내는 척도라 할 수 있다.

MPC와 FBD-MPC의 부호화 조건을 살펴보면, 우선 음성신호는 3.4kHz LPF로 대역제한하고 10kHz, 12bit로 표본화 및 양자화 하였으며, 프레임 길이는 25.6ms로 하였다. 표 3에 나타낸바와 같이 V/UV와 V/S/TSIUVC의 선택정보에 각각 2bit를 할당하였으며, V의 경우에는 피치와 멀티펄스, PARCOR 계수를 사용하여 음성신호를 합성하고, UV의 경우에는 white noise, S의 경우에는 음원과 합성필터를 사용하지 않고 프레임처리(시간공백) 하였다.

아울러, TSIUVC 신호는 FFT하여 얻은 주파수 스펙트럼으로부터 0.547kHz 이하와 2.813kHz 이상의 주파수 신호에 각각 3bit를 할당하였다. PARCOR 합성 필터의 차수는 일반적으로 10차를 사용하는데, 이때 PARCOR계수의 변화가 스펙트럼의 변화에 미

치는 영향은 낮은 차수의 계수일수록 영향이 크기 때문에[7] 낮은 차수일수록 많은 bit를 할당하였다.

남녀 음성신호에서 피치 주파수는 약 80~370Hz 이기 때문에 이를 시간 간격으로 나타내면 약2.7ms~12.5ms이고, 25.6ms에 최대 9개의 피치가 존재하게 된다. 이러한 까닭에 프레임 마다 최대 9개의 피치가 존재하는 것으로 간주하되 개별피치 정보를 모두 표현할 수 있는 P_0 , I_{AV} , DP_i , $i = 2\sim 9$ 에 각각 7bit, 7bit, 3bit를 할당하였다. 한편, MPC의 경우에는 평균 피치정보에 8bit할당하였다.

MPC, FBD-MPC 모두 10개의 멀티펄스를 사용하였는데, MPC와 FBD-MPC의 bit rate을 같게 하기 위하여 MPC의 멀티펄스 진폭 및 위치에 각각 2bit, 1bit 높게 할당하였으며, 상대적으로 진폭 값이 큰 멀티펄스의 최대 진폭에는 6bit를 할당하였다.

표 3. 부호화 조건

parameter[bit]	MPC	FBD-MPC
V/UV	2	
V/S/TSIUVC		2
[유성음 구간]		
PARCOR계수 $k_i(i=1\sim 10)$	7,6,5,5,4 3,3,3,3,3	7,6,5,5,4 3,3,3,3,3
g_{max} (멀티펄스의 최대 진폭)	6	6
g_k (멀티펄스의 진폭)	6	4
m_k (멀티펄스의 위치)	6	5
멀티펄스 수	10	10
평균 피치정보	8	
P_0 (최초 개별피치의 위치)		7
I_{AV} (개별피치 간격의 평균)		7
$DP_i, (i=2\sim 9)$ (개별피치 간격의 편차)		24(3×8)
[TSIUVC 구간] Re&Im		
최대 진폭		7
저역의 주파수 신호		3
고역의 주파수 신호		3
총 bit 수	178	178
kbit/s	6.9	6.9

5.2 음질의 평가

V/S/TSIUVC 형태의 FBD-MPC 블록도를 그림 8에 나타내었다. 표 1의 음성표본을 사용하여 MPC와 FBD-MPC에 대하여 SNR_{seg} 와 MOS의 음질 평가를 하였다.

실험결과, 그림 9는 MPC와 FBD-MPC의 SNR_{seg} 분포를 나타낸 것인데, 표 4에 나타낸바와 같이 FBD-

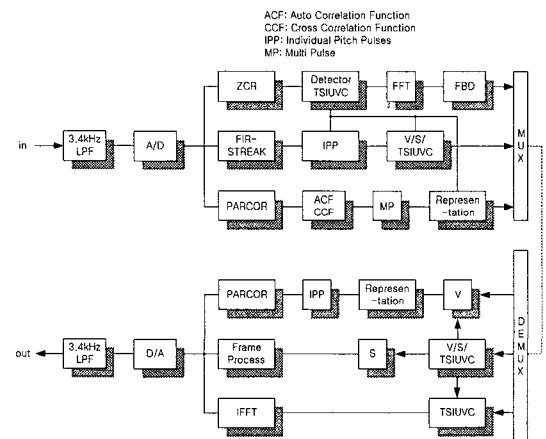


그림 8. FBD-MPC 방식의 블록도

표 4. MPC와 FBD-MPC의 SNR_{seg}

Method [dB]	kbit/s	male	female
MPC	6.9	12.6	12.1
FBD-MPC	6.9	14.1	13.6

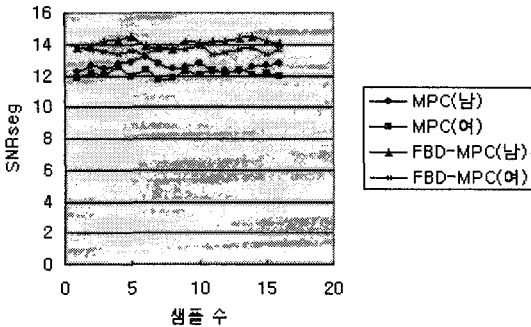


그림 9. MPC와 FBD-MPC의 SNR_{seg}

MPC의 SNR_{seg} 이 MPC에 비하여 남자 음성에서 1.5 dB, 여자 음성에서 1.5dB정도 개선되었다.

한편, 청각적 실험인 MOS 평가에서는 MPC, FBD-MPC, 4~6bit log PCM 방식을 비교 평가한 결과, 표 5에 나타낸바와 같이 FBD-MPC가 MPC에 비하여 남자 음성에서 0.64, 여자 음성에서 0.38 정도의 음질이 개선되었음을 알 수 있었다.

표 5. MPC와 FBD-MPC의 MOS

Method	kbit/s	male	female
MPC	6.9	1.35	1.37
FBD-MPC	6.9	1.99	1.75
4bit log PCM	40	1.08	1.09
5bit log PCM	50	1.82	1.83
6bit log PCM	60	2.88	2.90

6. 결 론

V/UV 형태의 MPC에 있어서, 유성음과 무성자음이 같이 존재하는 연속된 프레임의 음성신호를 V 혹은 UV의 음원으로 처리하기 곤란하다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 본 연구에서는 개별피치 펄스와 ZCR을 이용하여 V, S, TSIUVC를 탐색 추출하여 프레임을 재구성하고, 각 프레임의 특성에 맞는 음원과 신호처리 방법을 선택할 수 있는 새로운 멀티펄스 음성부호화 방식인 FBD-MPC를 제안하였다.

SNR_{seg} 와 MOS에 의하여 기존의 MPC와 FBD-MPC의 음질을 평가한 결과, MPC에 비하여 파형의 일그러짐과 청각적인 음질 개선을 확인할 수 있었으

며, 이 실험을 통하여 6.9kbit/s FBD-MPC의 음질이 약 50kbit/s log PCM 수준의 음질에 해당하는 것을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] B.S.Atal and J.R.Remdo: "A New Model of LPC Excitation for Producing Natural Sounding Speech at Low Bit Rates", IEEE, ICASSP, p.614 ~617, 1982.
- [2] Z.A.Putnins, G.A.Wilson, J.Kumar and R.D. Trupp: "A Multi-Pulse LPC Synthesizer for Telecommunications use", IEEE, ICASSP, Mar, 1985.
- [3] 小澤 一範, 惹關 卓: "ピッチ情報を用いる 9.6~4.8 kbit/s マルチパルス 音聲符號化方式", 電子情報通信學會論文誌, Vol. J72-D-2, No.8, 1989.
- [4] 藤井健作: "自己相關法による電話帶域音聲のピッチ抽出法" 電子情報通信學會技術報告書, sp87-65, 1987.
- [5] Ozawa,K, Ono.S and Araseki.T: "A Study on Pulse Search Algorithms for Multipulse Excited Speech Coder Realization", IEEE, Vol. SAC-4, No1, Jan, 1986.
- [6] 武田 昌一他: "殘差音源利用分析合成方式とマルチパルス法の基本特性の比較検討", 電子情報通信學會論文誌, Vol. J73-A, No.11, 1990.
- [7] 北脇 信彦, 板倉 文忠他: "PARCOR形音聲分析合成系における最適符號構成", 電子情報通信學會論文誌, Vol. J61-A No.2, 1978.



이 시 우

1987년 동국대학교 전자공학과 졸업

1990년 日本大學(Nihon Univ) 전자공학과 석사

1994년 日本大學(Nihon Univ) 전자공학과 박사

1994년~1998년 (주)삼성전자 통신연구소/멀티미디어 연구소

1998년~현재 상명대학교 컴퓨터정보통신공학부 조교수
관심분야: 음성신호처리, 유무선통신, 음주지각시스템