

저전송률 음성부호화기의 DUAL-TONE MULTIFREQUENCY(DTMF) SIGNALLING 검출법

손상목, 박종관, 조영주, 임슬가, 박순
SK Telecom 중앙연구원 신기술 그룹

Detection of DTMF Signalling for Low Bit Rate Vocoder

S.M. Sohn, J.K.Park, Y.J.Cho, S.G.Yim, S.Park

SK Telecom Central R&D Center New Technologies Lab.

Email : smsohn@sktelecom.re.kr, (jpark+yjcho+sgyim+spark)@sktelecom.com

ABSTRACT

We proposes a new detecting algorithm of DTMF tones for low bit rate vocoder so that we use DTMF tones for signalling in the digital network. Using DTMF tones for signalling, we could not change the conventional IS-95 protocol and control the mobile phone. We apply the Root Finding to detection of formants and bandwidth to search whether DTMF tones or voice and moreover to find what's kinds of DTMF tones, for instance 1,2,3,..., #, *, A, B, ..., etc.

Consequently, Proposed method has a good result which is 0.000944% average error rate. It is satisfied with recommended error rate in ITU-T ($\pm 1.8\%$).

I. 서 론

최근 이동통신 시장의 확장과 그에 따른 사용자수의 증가로 인해 제한된 자원에서 많은 사용자에게 좀더 많은 정보를 전송하기 어렵게 되었다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 음성을 저적화하여 보낼링하는 저전송률의 VOCODER 가 등장 하였다. VOCODER 의 등장으로 디지털 방식의 휴대용 음성통신기기에서 전송채널의 대역폭을 효율적으로 사용할 수 있게 되었다[1].

이러한 이점 때문에 통신환경에서 VOCODER 는 필수적인 요소가 되었다. 결과 VOCODER 를 이용하는 통신 시스템환경에서 새로운 서비스를 사용자에게 제공하기 위해서는 VOCODER 의 동작원리를 고려하여 Signalling 과 시스템을 구축하여야 한다. Digital Telecommunication Network 환경에서 새로운 서비스를 제공하기 위한 Signalling Message 로 많이 사용되고 있는 것이 DTMF tones 이다. DTMF tones 을 VOCODER 환경에 적용할 경우 VOCODER 의 동작 원리를 고려하지 않으면 정확한 Signalling 의 검출이 어렵게 된다. 따라서 DTMF tones 을 Signalling 으로 인식하게 하기 위하여 VOCODER 환경에 잘 동작 되는 DTMF tones 검출기가 필요하다.

II. DTMF tones 과 시스템 구성

DTMF tones 을 Signalling 신호로 이용하여 음성신호를 단말기에 전송하는 Voice Messaging 서비스를 구현 할 경우 필요한 시스템구성은 그림 1 과 같다. 입력된 음성신호는 기지국에 설치되어 있는 교환기 내부의 Echo Cancellation 과정을 거친 후 VOCODER 에서 음성신호인지 또는 DTMF tones 인지 검사 한다. DTMF tones 일 경우에는 그에 해당하는 Signalling Message 를

저전송률 음성부호화기의 Dual-Tone Multifrequency Signalling검출법

Packing 하여 단말기에 보낸다. 즉, 가입자가 서비스를 이용하기 위하여 전화를 걸어 음성신호가 교환기로 입력되면 기지국의 CENTER를 통해서 음성신호가 접수되게 된다. 그런 다음 Service Center에서 단말기를 제어/상태화학을 위해서 DTMF tones을 만들어 낸다. DTMF tones을 만들어 낼 때 주의 해야 할 것은 일정한 프레임 길이를 갖고 발생시켜야 한다. 그렇지 않으면 하나의 tones을 중복하여 검출할 수 있고, 또한 각각의 DTMF tones 간에 일정한 길이의 휴지기간을 두어 음성신호와 DTMF tones이 겹치지 않게 하여 만들어 내야 한다. 만일 음성신호와 DTMF tones이 서로 겹치게 된다면 VOCODER에서는 이것을 음성으로 판정을 내리게 되어 단말기의 제어가 제대로 이루어 지지 않는다. 여기서 휴지기간은 ITU-T Q.24에서 제안하고 있는(AT&T) 40msec을 사용하고 있고, DTMF tones의 길이는 25msec을 사용하고 있다. 또한 Frequency Power level도 만족해야 한다[2][3].

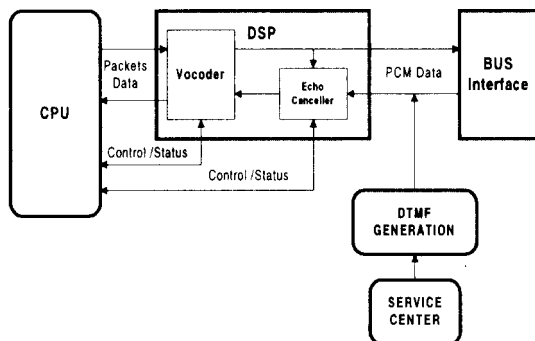


그림 1. 전체구성도

III. 기존의 DTMF tones 검출법

DTMF tones을 Signalling 신호로 이용하기 위해 많은 DTMF 검출 방법들이 제안되고 있다. 그러나 인간의 음성에 맞게 모델링 된 저전송률의 VOCODER에 DTMF tones을 적용할 경우 문제가 발생하여 Signalling 신호로 이용하기 어렵다. 저전송률 VOCODER를 위한 DTMF tones 검출법으로 대표적인 방법은 LSP 계수를 이용하는 것이다. 즉, LSP 값을 이용하여 VOCODER로 입

력되는 음성 데이터와 DTMF tones을 구별한 후, DTMF tones인 경우 제 1 포먼트값과 제 2 포먼트값을 검출 하여 어떤 DTMF tones인지 검출하는 방법이 제안되어 있다[4]. 그러나 LSP 계수를 이용한 방법은 결정논리에 문제가 있고, 정확한 DTMF tones의 검출이 어렵다. LSP 계수를 이용한 기존 방법의 결정논리는 VOCODER에서 LSP 값을 얻어내어 LSP(0)값을 600Hz와 비교한 후 LSP(0)값이 600Hz보다 작으면 음성신호로 결정하는 방법이다. 만일 600Hz보다 크다면 LSP 값의 간격이 60Hz 이하인 쌍(Pair)의 계수를 계산한다. 만일 쌍의 계수가 2개가 아니면 음성신호로 판단하게 되고, 만일 쌍의 계수가 2개이면 DTMF tones으로 판단을 내린다. 그런 다음 저주파수값과 고주파수값을 두개의 쌍으로 부러 구하게 된다[4]. 이때 각각의 쌍이 이루는 주파수의 간격이 포먼트가 된다. 그러나 이러한 방법은 VOCODER마다 계수의 안정성을 위해서 LSP의 간격을 임의적으로 조절을 하기 때문에 정확한 검출이 어렵다는 문제점이 있다. 예를 들면 Q-CELP에서는 LSP 계수의 안정을 위해서 LSP 간의 간격을 최소한 80Hz로 벌려놓고 있고, CS-ACELP의 경우는 약 60Hz 정도로 정해놓고 있다. 다시 말해 음성신호의 경우 LSP 값을 약간 변형시켜도 LSP 값의 안정적인 면을 고려하는 것이 더 좋은 함성음을 만들어 낼 수 있지만, 정확한 포먼트의 위치를 검출 해야 할 경우에 LSP 계수를 이용하여 포먼트를 검출해야 하게 되면 LSP 계수를 변경시키기 때문에 결과적으로 포먼트의 위치가 변하게 되어 Signalling 신호를 검출하기 위한 방법으로 사용하기에는 적합하지 않다. 또한 모의 실험결과 DTMF tones으로 결정을 내리더라도 하더라도 구체적으로 어떤 tones인지 정확한 검출이 어렵다.

IV. LPC 계수를 이용한 DTMF tones 검출법

본 논문에서 우리는 저전송률 VOCODER의 분석파라미터중에 하나인 LPC 계수를 이용하

여 DTMF tones 을 정확하게 검출할 수 있는 알고리즘을 새로이 제안하였다. DTMF 검출 알고리즘이 내장된 VOCODER 에서 DTMF tones 의 10 차의 LPC 계수를 이용하여 DTMF tones 을 검출하게 된다. 검출하는 방법은 LPC 계수로 이루어진 다항식에 대하여 근을 찾아서 DTMF tones 의 포맷트를 검사한다. 이때 우리는 Root-Finding 법을 이용하여 포맷트와 대역폭을 검출해내게 된다[5][6]. 포맷트와 대역폭을 구하는 식을 아래 식 1 과 식 2 에 나타내었다[7].

$$F_i = \frac{\theta_i}{2\pi T_s} \quad \text{식(1)}$$

$$B_i = -\frac{\ln |z_i|}{\pi T_s} \quad \text{식(2)}$$

여기서 $T_s = \frac{1}{f_s}$ 이다.

만일 근이 $z_i = 0.1 + j0.95$ 이라면 $|z_i| = 0.955$ 이고 $\theta_i = 1.466\text{rad}$ 이다. 8kHz 로 표본화 되어 있다면 이 근의 포맷트는 1866Hz 이고 대역폭은 117dB 이다. 여기서 대역폭은 3dB 대역폭이다. 만일 대역폭이 음수이면 그와 일치하는 극점은 단위원상의 밖에 존재한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 z_i 는 $1/z_i$ 로 대치함으로써 문제점을 해결할 수 있다. 즉 Minimum Phase System 으로 만들어 줌으로써 Causal 하면서 Stable 하게 만들어 줄 수 있다[5]. 그림 2 에 DTMF tone "3"의 시간축 파형과 LPC 계수의 근을 z-plane 상에 나타내었다. 모두 단위 원 안에 10 개의 극점이 있는 것을 볼 수 있다. 각각의 DTMF tones 에 대하여 식 1 과 식 2 를 이용하여 얻어낸 포맷트와 대역폭값들 중에서 한개치 (Threshold)대역폭 조건을 만족하는 제일 작은 주파수값을 제 1 포맷트로 정하고 그 다음으로 큰 값을 제 2 포맷트로 결정한다. 즉 대역폭의 크기를 통해서 포맷트가 존재하는지의 여부를 판별하며 포맷트값들의 크기를 이용하여 제 1, 2 ... 포맷트를 가려낸다. 여기서 한계치대역폭의 값이 -20dB 이상일 경우만 포맷트로 결정하였다. 음성신호와 DTMF tones 의 판정은 포맷트의 개수, 포맷트의 위치, 제 1 포맷트의 범위를 갖고 판정을 내린다. 제 1 포맷트의 값이 650Hz 이하 일 경우 라면 음성신호로 판정을 내리게 된다.

이것은 DTMF tones 이 697Hz 부터 존재하기 때문이다. 검출결과 DTMF tones 이라면 DTMF 에 해당하는 Signalling Message 로 바꾸어서 단말기에 전송한다. 위에서 설명한 과정을 그림 3 에 흐름도를 이용하여 나타내었다.

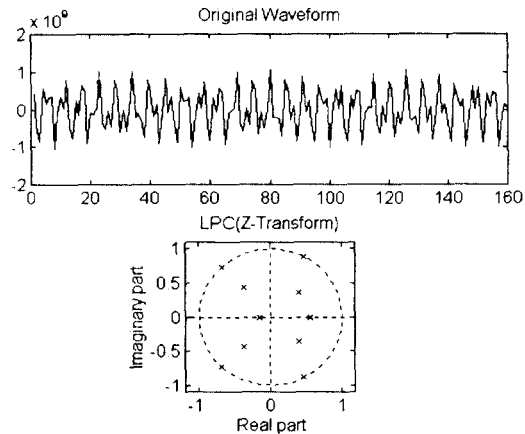


그림 2 DTMF "3"의 시간축 파형과 LPC 계수의 Z-변환

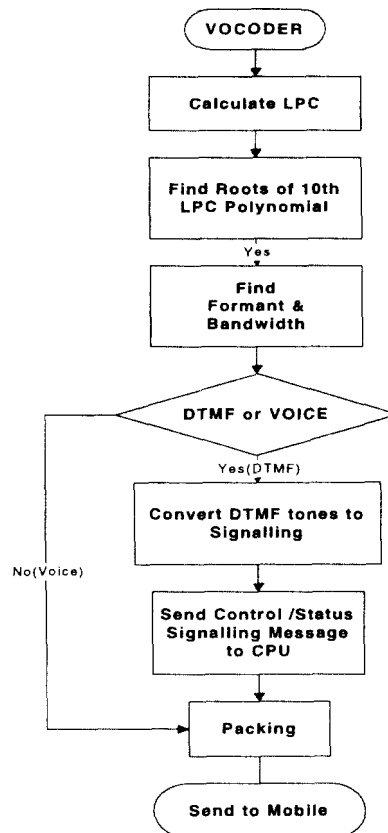


그림 3 DTMF tones 검출 흐름도

V. 실험 및 결과

저전송률 음성부호화기의 Dual-Tone Multifrequency Signalling검출법

본 논문에서 제안한 방법을 SUN Spark-20에서 시뮬레이션 하였다. 사용한 DTMF tones은 4kHz로 표본화되어 있으며 16bit로 양자화하였다. 여기서 DTMF tones의 표본화율을 4kHz로 낮춘것은 DTMF tones 자체가 2kHz 이하의 성분만을 갖고 있기 때문에 4kHz로 샘플링만 하여도 충분히 원신호를 복원할 수 있으며, 또한 4kHz로 표본화된 신호에 대하여 LPC 분석을 하게 되면 8kHz로 표본화된 신호보다 좋은 분해능을 갖게되는 효과가 있기 때문이다.

DTMF tone을 구성하고 있는 저주파수와 고주파수의 값을 표 2에 나타내었다. ITU-T에서 권고하는 내용을 만족하는 DTMF tones에 대한 검출결과를 표 1에서 나타내었다. 표 1에서 빗금친 부분이 제 1, 2 포먼트 그리고 각각의 대역폭이다. 검출결과 DTMF tone "1", "2", "3", "6", "7", "8", "9", "A", "B", "C", "D", "*", "#"은 정확히 검출 했으며, "5"는 저주파수는 정확히 검출했으나 고주파수를 1337Hz로 검출하여 0.0007%의 오차를 보였고, "0"은 저주파수에서 0.001%, 고주파수에서 0.0007%, "4"는 저주파수에서 0.0025%, 고주파수에서는 0.00082%의 오차를 보였다. 결과적으로 0.000944%의 평균오차를 보였으나 이 값은 ITU-T Q.23에서 제시하고 있는 각주파수의 편차 범위 $\pm 1.8\%$ 를 모두 만족한다. 즉 DTMF tones을 100% 정확하게 검출하였다.

VI. 결 론

이동통신 시장의 확장과 그에 따른 사용자수의 증가에 따라 제한된 자원에서 음성신호를 전송하기 위하여 음성을 최적화하여 모델링하는 저전송률의 VOCODER가 필수적이게 되었다. 또한 새로운 부가 서비스와 소비자의 다양한 욕구를 충족시키기 위해 단말기를 제어하거나 상태를 파악하는 것이 필요하게 되었다. 이러한 상황에서 Digital Telecommunication Network

에서 DTMF tones을 Signalling으로 이용하려는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 그러나 VOCODER가 음성신호를 기반으로 설계되었기 때문에 비음성신호인 DTMF tones의 검출이 어렵게 되었다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 각각의 Digital Telecommunication Network의 기지국에 있는 VOCODER를 통하여 문제없이 정확하게 DTMF tones Passing을 가능하게 하여 단말기의 제어 및 상태를 파악할 수 있게 하였다. 우리는 DTMF tones의 LPC 계수에 대하여 Root Finding 기법을 적용하여 DTMF tones을 검출하였다. 결과 오차값이 평균적으로 0.000944%로 상당히 우수한 결과를 얻을 수 있었다.

참고 자료

- [1]배명진 외, "CELP 보코더에서 Line Spectrum Frequency를 이용한 고속 피치검색", 1996년 한국음향학회지, 제 15 권 제 2 호
- [2]CCIT Blue Book, Recommendation Q.23: Technical Features of Push-Button Sets. Geneva, 1989
- [3]CCIT Blue Book, Recommendation Q.24: Multi-Frequency Push-Button signal Reception. Geneva, 1989
- [4] Forrest F. Tzeng, Rockville, "Dual-Tone Multi-Frequency Signalling Transparency for Low-Data-Rate Vocoder, Patent Number 5,459,784. 1995. United States Patent,
- [5]Thomas W.Parsons, "VOICE AND PROCESSING, McGraw-Hill, pp.212-219, 1986
- [6]Press, W., Flannery, B., Teukolsky, S., Vetterling, W., "Numerical Recipes in C." New York: Cambridge University Press, Chapter 9, 1988
- [7]Olive, J. P., "Automatic formant tracking by a Newton-Raphson technique," JASA, vol.50, no.2, pp.661-670, August, 1971

표 1. LPC 계수를 이용하여 검출한 DTMF tones 의 Formant 와 대역폭

단위 : 1.0e+003(Hz)

"0" Button		"1" Button		"2" Button		"3" Button	
Formant	BW(dB)	Formant	BW(dB)	Formant	BW(dB)	Formant	BW(dB)
1.3369	-0.0153	1.2090	-0.0159	0.6972	-0.0162	1.4770	-0.0168
-1.3369	-0.0153	-1.2090	-0.0159	-0.6972	-0.0162	-1.4770	-0.0168
0.9402	-0.0158	0.6970	-0.0160	1.3360	-0.0160	0.6970	-0.0162
-0.9402	-0.0158	-0.6970	-0.0160	-1.3360	-0.0160	-0.6970	-0.0162
1.7276	-0.9492	2.0000	-1.6917	0.5552	-1.2523	1.4568	-1.4115
-1.7276	-0.9492	1.4407	-1.7894	-0.5552	-1.2523	-1.4568	-1.4115
0.5686	-1.1708	-1.4407	-1.7894	1.5406	-1.4063	0.4791	-1.5971
-0.5686	-1.1708	0.5060	-2.1512	-1.5406	-1.4063	-0.4791	-1.5971
0	-1.3803	-0.5060	-2.1512	2.0000	-1.4215	0	-1.5323
0	-3.2210	0	-2.0412	0	-1.3024	2.0000	-4.5885

"4" Button		"5" Button		"6" Button		"7" Button	
Formant	BW(dB)	Formant	BW(dB)	Formant	BW(dB)	Formant	BW(dB)
1.2101	-0.0123	1.3365	-0.0161	1.4770	-0.0162	1.2094	-0.0124
-1.2101	-0.0123	-1.3365	-0.0161	-1.4770	-0.0162	-1.2094	-0.0124
0.7683	-0.0133	0.7704	-0.0156	0.7700	-0.0165	0.8516	-0.0125
-0.7683	-0.0133	-0.7704	-0.0156	-0.7700	-0.0165	-0.8516	-0.0125
1.5029	-0.7137	0.6147	-1.0124	1.7611	-1.3352	1.3429	-1.3908
-1.5029	-0.7137	-0.6147	-1.0124	-1.7611	-1.3352	-1.3429	-1.3908
0.4512	-0.6416	1.6683	-1.3279	0.5008	-1.3883	0.8084	-1.5269
-0.4512	-0.6416	-1.6683	-1.3279	-0.5008	-1.3883	-0.8084	-1.5269
0	-0.7011	0	-2.0438	0.8840	-1.5334	0	-3.2013
2.0000	-0.8195	2.0000	-1.9998	-0.8840	-1.5334	0	-6.4807

"8" Button		"9" Button		"A" Button		"B" Button	
Formant	BW(dB)	Formant	BW(dB)	Formant	BW(dB)	Formant	BW(dB)
1.3362	-0.0155	1.4770	-0.0179	1.6331	-0.0171	1.6330	-0.0169
-1.3362	-0.0155	-1.4770	-0.0179	-1.6331	-0.0171	-1.6330	-0.0169
0.8516	-0.0157	1.4972	-0.9434	0.6972	-0.0161	0.7700	-0.0168
-0.8516	-0.0157	-1.4972	-0.9434	-0.6972	-0.0161	-0.7700	-0.0168
0	-1.1424	0.8520	-0.0166	0.5196	-0.9529	1.6791	-1.8224
0.5053	-1.1309	-0.8520	-0.0166	-0.5196	-0.9529	-1.6791	-1.8224
-0.5053	-1.1309	0.2208	-1.2834	0.9823	-1.1561	0.7543	-1.5859
1.6469	-1.5033	-0.2208	-1.2834	-0.9823	-1.1561	-0.7543	-1.5859
-1.6469	-1.5033	0.6552	-1.3662	1.7944	-1.7479	0.2370	-1.6111
2.0000	-3.9815	-0.6552	-1.3662	-1.7944	-1.7479	-0.2370	-1.6111

저전송률 음성부호화기의 Dual-Tone Multifrequency Signalling검출법

"C" Button		"D" Button		"*" Button		"#" Button	
Formant	BW(dB)	Formant	BW(dB)	Formant	BW(dB)	Formant	BW(dB)
1.6331	-0.0164	1.6332	-0.0134	1.2091	-0.0169	1.4774	-0.0150
-1.6331	-0.0164	-1.6332	-0.0134	-1.2091	-0.0169	-1.4774	-0.0150
0.8521	-0.0169	0.9414	-0.0171	0.9409	-0.0159	0.9411	-0.0149
-0.8521	-0.0169	-0.9414	-0.0171	-0.9409	-0.0159	-0.9411	-0.0149
1.5111	-1.4792	1.4289	-0.8972	1.7344	-1.4700	1.7634	-0.9504
-1.5111	-1.4792	-1.4289	-0.8972	-1.7344	-1.4700	-1.7634	-0.9504
0.2426	-1.3958	0.2749	-1.1331	0.6153	-1.6831	0.7495	-0.9870
-0.2426	-1.3958	-0.2749	-1.1331	-0.6153	-1.6831	-0.7495	-0.9870
0.7568	-1.5486	0.8666	-1.0855	0	-2.9221	0.2498	-1.0789
-0.7568	-1.5486	-0.8666	-1.0855	2.0000	-8.2552	-0.2498	-1.0789

표 2. DTMF tones 주파수

High Frequency \ Low Frequency	1209 Hz	1336 Hz	1477 Hz	1633 Hz
	697 Hz	1	2	3
770 Hz	4	5	6	B
852 Hz	7	8	9	C
941 Hz	*	0	#	D