

자동응답시스템에서 DTMF 신호음 검출 개선에 관한 연구

Improvement of DTMF Tone Detection in ARS System

김 희 동*, 김 제 우*, 홍 영 진**
(Heedong Kim*, Jewoo Kim*, Youngjin Hong**)

요 약

본 논문에서는 자동음성응답장치(ARS)에서의 복합주파수(DTMF)톤 수신 정확도를 높이기 위한 방법을 제안한다. ARS시스템이 음성안내를 송출하는 동안 이용자가 DTMF신호를 발생할 경우, ARS시스템의 망접속부에 위치한 하이브리드에 의해 수신측으로 변환된 음성신호가 이용자가 송신한 DTMF신호와 중첩이 되어, ARS시스템에서 DTMF신호음을 제대로 검출하지 못하는 경우가 발생한다. 제안하는 방법은 ARS의 음성안내신호에서 DTMF 신호의 주파수 대역 부분을 노치필터(notch filter)로 제거함으로써 여파된 음성안내신호가 하이브리드를 통해 수신측으로 변환되어도 DTMF신호에 해당하는 주파수 성분이 없게 된다. DTMF수신기의 전단에는 노치필터에서 사용된 필터의 역필터특성을 갖는 대역 통과필터를 설치하면, 하이브리드를 통해 수신측으로 변환되는 신호는 DTMF수신기에 입력되지 않게 되며, 이용자가 송신하는 DTMF신호를 효과적으로 검출할 수 있다. 또한, 노치필터링된 음성신호의 음질저하는 무시할만하여 음성 안내어를 사용하는데 문제가 없다.

ABSTRACT

In this paper a novel method improving the accuracy of DTMF tone reception in ARS system is proposed. ARS system should allow users to generate DTMF signals while it is sending voice guidance. It is not uncommon, in this case, that a portion of transmitting voice signals cross-talks to the receiving channel and it often results in interfering with the receiving DTMF signals. Serious degradations including DTMF tone missing, false alarm and so forth have been introduced for the above reason. To overcome this phenomena, we have proposed a way eliminating the frequency spectra representing DTMF signals bands from the transmitting voice signal by using notch filters. This method also employs bandpass filters of which the frequency responses are reciprocal to those of the notch filters incorporated with the DTMF receiver. It is shown that a drastic improvement has been achieved with respect to the DTMF tone detection with little deterioration of voice guidance quality.

1. 서 론

자동음성응답장치(ARS: Automatic Response System)는 공중전화교환망 또는 사설교환망에 접속되며, 호출음에 대하여 자동음성응답을 하며 음성안내어를 송출하고 이용자가 입력하는 DTMF(Dual Tone MultiFrequency) 신호음을 수신하거나 또는 음성입력내용을 녹음하는 형태로 음성사서함, 음성정보검색, 조회업무등에 사용되는 장치로서 계속해서 응용분야가 넓어지고 있다[1].

ARS장치의 공중전화망 인터페이스에는 그림 1과 같이 구성되어 있으며, 여기서 하이브리드의 역할은 2선에

서 4선식으로 변환하여, 2선에서 입력되는 신호가 수신측으로만 전달되고, 한편 4선에서의 송신신호는 2선으로 전달되게 한다. 그러나, 이러한 과정에 송신신호의 일부가 수신 경로로 변환되는 현상이 발생되며, 데이터통신에 사용할 경우에는 이를 변환을 없애기 위해서 반향제어기 등을 사용하기도 한다[2]. ARS장치에서 사용자 인터페이스에는 음성안내어가 송출되는 동안에 이용자가 자신이 원하는 정보를 DTMF로 입력하는 전이중(full duplex) 방식을 채용하는 것이 바람직하다. 한편, 어떤 응용분야에서는 자동발신장치를 사용하고 있으며, 이 경우 여러개의 DTMF톤신호가 연속적으로 발신되므로 DTMF 수신기의 정확성과 신뢰성이 매우 중요하다.

DTMF톤을 음성대역의 주파수를 사용하므로, DTMF 수신기는 ARS 시스템이 음성안내를 송출하는 기간동안

* 수원대학교 정보통신공학과

** 성미전자 기술연구소

접수일자: 1996년 10월 30

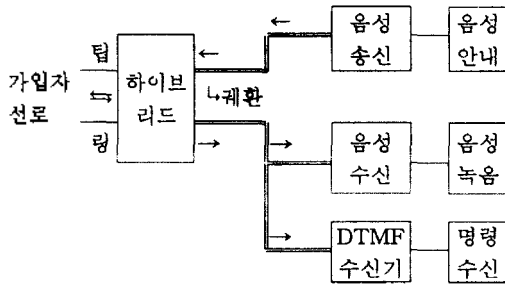


그림 1. ARS의 공중망 접속부 블록도

이용자가 DTMF 신호를 발생할 경우, ARS 시스템의 망 접속부에 위치한 하이브리드에 의해 수신측으로 전환된 음성신호가 DTMF 신호와 중첩되어, DTMF 수신기의 DTMF 신호음 검출에 오류가 발생한다. 특히, 이용자와 연결된 전화선로에 잡음레벨이 높은 경우에는 특히 오검출 또는 디지털분실의 확률이 높아진다.

제안하는 방법은 ARS의 음성안내신호에서 DTMF 신호의 주파수대역 부분을 노치필터로 제거하여 여파된 음성안내신호가 수신측으로 전환되어도 DTMF 신호에 해당하는 주파수 성분이 없게 함으로써 수신률을 높게 하는 것이다. DTMF 복조기의 전단에는 노치필터에서 사용된 필터의 역필터특성을 갖는 대역통과필터를 설치하면, 하이브리드를 해 수신측으로 전환되는 신호는 DTMF 복조기에 입력되지 않게 되며, 이용자가 송신하는 DTMF 신호를 검출하는데 장애가 되지 않는다.

서론에 이어 제2절에서는 DTMF 수신기의 동작원리를 설명하고, 3절에서는 DTMF 수신기의 불안전 요소를 분석한다. 4절에서는 제안된 방법에 의한 시스템의 구현 방법을 설명하고 5절에서는 컴퓨터 모의시험결과를 분석한다.

II. DTMF 수신기의 원리

그림 2에 나타내었듯이 일반적으로 음성신호는 0~4000 Hz의 주파수 성분을 가지고, DTMF 톤의 주파수 성분은 전화기의 Dial의 숫자판의 배치에 따라 음성대역내의 8개의 주파수 톤을 가진다. 그림 3과 표 1은 전화기 Dial의 숫자판과 이에 해당하는 주파수 Tone을 나타낸다. 예를 들어 숫자 6에 해당하는 DTMF 신호는 행 1과 열 2에 해당하는 770 Hz와 1,477 Hz의 복합주파수 톤을 발생한다. 그림 3에서 행 3의 자판은 일반적인 전화기에서는 사용하지 않지만 특별한 응용을 위한 DTMF 신호로 할당되었기 때문에 DTMF 신호의 모든 경우를 나타내기 위해 나타낸 것이다.

상용화된 DTMF 수신기의 내부 구조는 그림 4와 같다 [3, 4]. 우선 입력신호에 대해서 저군 및 고군의 주파수로 대역 필터링을 한 후 이들 신호들을 각각 경편정하여 영교차점을 검출한다. 이러한 과정에서 자동이득조절기능

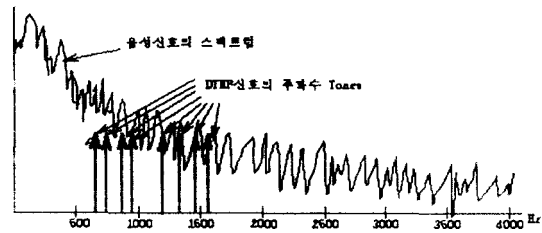


그림 2. 음성과 DTMF톤의 주파수 관계

표 1. DTMF 신호의 주파수

저군주파수	고군주파수
행 0 = 696 Hz	열 0 = 1209 Hz
행 1 = 770 Hz	열 1 = 1336 Hz
행 2 = 852 Hz	열 2 = 1477 Hz
행 3 = 941 Hz	열 3 = 1633 Hz

	행0	행 1	행 2	행 3
열 0	1	2	3	A
열 1	4	5	6	B
열 2	7	8	9	C
열 3	*	0	#	D

그림 3. Dial 판의 숫자배치

이 이루어진다. 이렇게 구해진 신호는 각각 톤 여파기를 거쳐지며, 이 여파된 신호들은 포락선(envelope) 검출된 다음 임계값(threshold)과 비교된다. 이 결과를 이용하여, DTMF 신호 및 신호구간 정보가 얻어진다. DTMF 수신기는 음성대역의 톤을 검출하므로 일반음성에 대해 DTMF 톤으로 인식하는 오검출(false alarm)이 발생할 가능성이 있으므로, 임계값을 적절히 선정할 필요가 있다.

III. 제안시스템의 구성

ARS 시스템이 음성안내를 송출하는 기간동안 이용자가 DTMF 신호를 발생할 경우, ARS 시스템쪽의 하이브리드에서 수신측으로 전환된 음성신호가 이용자가 송신한 DTMF 시스템쪽의 하이브리드에서 수신측으로 전환된 음성신호가 이용자가 송신한 DTMF 신호와 중첩이 되어, ARS 시스템에서 DTMF 신호음을 제대로 검출하지 못하는 경우가 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로서 반향제거기(echo canceller)를 이용할 수도 있으며, 그림 5는 반향제거기를 이용한 ARS 시스템을 나타낸다.

반향제거기를 부착한 ARS 시스템에서는 송신하는 음성안내신호의 궤환성분을 예측하여 이 신호를 수신필터

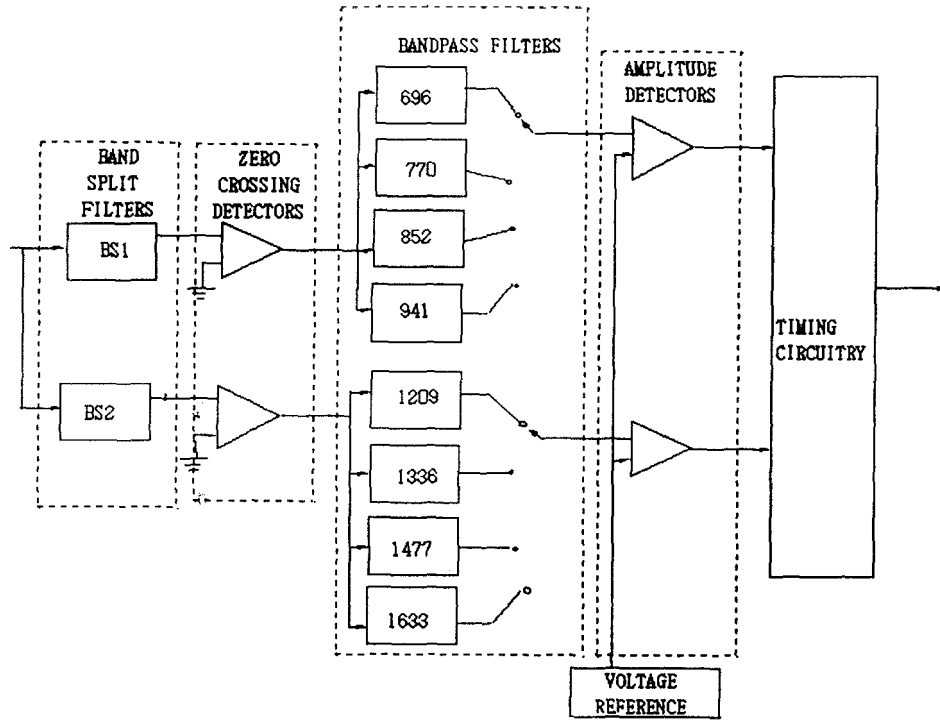


그림 4. DTMF 수신기의 블럭도

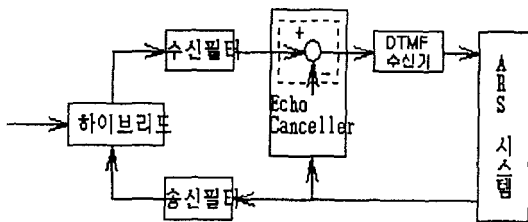


그림 5. 반향제거기를 이용한 ARS 시스템

출력신호로부터 반향제거기에서 제거한 다음 DTMF 신호를 복조하면, 오검출을 줄일 수 있다. 그러나 이러한 반향제거기는 별도의 비교적 복잡한 하드웨어가 추가되는 단점이 있다.

본 논문에서는 별도의 하드웨어 추가없이 음성신호의 특성을 이용하여 DTMF 신호 검출시 오류를 줄이는 방법을 제안한다. 그림 6과 그림 7은 노치필터와 이를 이용한 제안된 DTMF 신호 검출기의 개념도를 나타낸다. 즉, ARS의 음성안내신호를 DTMF 신호의 주파수 대역을 제거하기 위한 노치필터를 통과한 다음 송출한다. 음성신호의 에너지는 비교적 저역에 집중되어 있으며, 음성신호는 전체대역중 특정 주파수 대역의 신호 일부를 제거하여도 사람들이 인지하는 데는 별 영향이 없다. 이 노치필터를 통과한 음성안내신호는 하이브리드에서 수신측으로 반환되어도 DTMF 신호에 해당하는 주파수 성분이 없게 된다. DTMF 수신기의 전단에는 노치필터에서 사용된 필터의 역필터특성을 갖는 대역통과필터를 설치하

면, DTMF 수신기에는 수신측으로 반환되는 신호는 완전히 제거되고 다만 이용자가 입력한 DTMF 신호만이 입력되어 검출의 정확도가 높아진다. 따라서 제안된 방법을 이용하면, ARS 시스템에서 음성안내신호를 송출하는 도중이라도 이용자가 필요한 서비스를 요구하는 DTMF

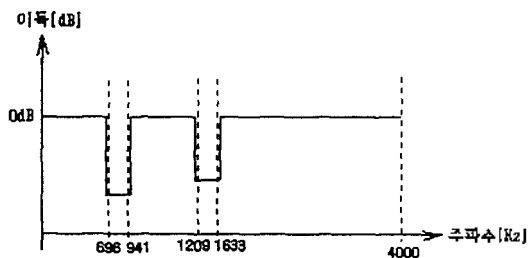


그림 6. 노치필터의 특성

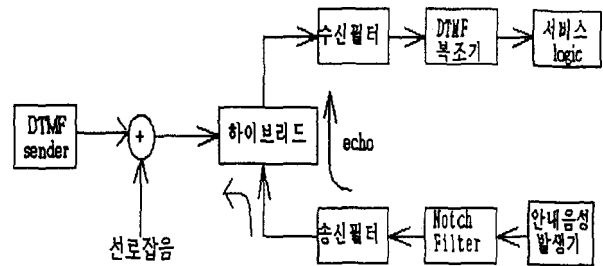


그림 7. 노치필터를 사용한 시스템 구성도

신호를 발생해도 ARS 시스템에서 이 DTMF 신호를 검출하기가 용이하게 된다.

한편, 실제 시스템의 구현시 그림 7처럼 노치필터를 이용하려면, 하드웨어가 추가되어야 하므로 비용이 상승하고, 기존의 운영되는 장비를 교체해야 하는 번거로움이 있다. 따라서 ARS 시스템에 사용될 음성안내신호를 녹음하는 과정에서 노치필터를 이용하여 DTMF 신호에 해당하는 주파수성분을 제거한 다음 이를 ARS의 음성안내신호로 이용하면, 하드웨어적으로 별도의 노치필터를 실장하지 않아도 된다.

ARS 시스템의 DTMF 신호 검출은 수신된 DTMF 신호의 세기와 하이브리드에 의해 변환되는 음성신호의 크기에 의해 좌우되나, 일반적으로 하이브리드에 의해 음성안내신호가 감쇄되어 변환되므로 음성을 노치필터링하기 위한 노치필터의 null이 깊지 않아도 된다. 따라서, 대략 15dB 정도로 노치필터링하면 된다. 그러나, 음성신호는 낮은 주파수대에 에너지가 크므로 하이브리드에 의해 변환되는 신호도 당연히 낮은 주파수대가 크다. DTMF 신호의 그룹중 낮은 주파수대에 해당하는 음성신호를 상대적으로 더 제거하여 음성안내신호로 송출하여야 한다. 이를 위해서는 노치필터의 설계시 DTMF 신호의 그룹중 낮은 주파수대에 해당하는 쪽의 null을 그림 6과 같이 보다 깊게 설계해야 한다. 만약 음성안내신호를 C-Message Weight Curve[5]와 같이 고주파대를 강화한 경우라면, 노치필터의 저주파와 고주파대의 Null을 동일하게 설계할 수도 있다. 한편, 그림 6과 같이 대역신호를 없애면, 신호의 전력이 줄어 음성송출레벨이 줄어들므로 페스밴드부분을 증폭하여야 한다.

IV. 모의 실험 결과

제안된 방법에 따라 실제 음성과 DTMF톤을 이용하여 컴퓨터 모의실험을 행하였다. 음성 안내어를 내보내는 동안 DTMF톤열 "1234567890*abcd"를 입력하였을 때 반향 및 잡음에 의해 DTMF톤을 검출하지 못하는 경우와 DTMF 톤이 없는 경우에 반향과 잡음에 의해 DTMF 톤이 오검출되는 두가지의 경우에 대해 살펴보았다. 각 DTMF 톤의 주기는 100ms이고, 톤과 톤의 간격은 40ms로 설정하였다. 음성 및 DTMF 톤은 8 KHz로 샘플링하였으며, 각 샘플은 16비트로 양자화했다.

그림 8은 원래음성신호의 스펙트럼을 나타내고, 그림 9는 대역이 각각(650-1000 Hz), (1150-1700 Hz)인 밴드스톱여파기로 여파한 음성신호의 스펙트럼을 나타낸다. 음성신호의 밴드스톱여파시 고군대역은 -15dB로 감쇄했으며, 저군대역은 -20dB로 상대적으로 크게 감쇄하여 두 대역간 전력이 상대적으로 같게 설정했다.

우선 두가지 음성안내어 음질을 평가하기 위해 무작위 선정한 여러명의 대학생 남녀를 대상으로 주관적 평가를 수행하였으나 두 음성안내어 사이에 거의 차이를 느끼지

못했다. 따라서 저군 및 고군대역으로 밴드스톱여파한 음성을 안내어로 사용하는데 전혀 지장이 없다고 여겨진다. 또한 저군 및 고군대역으로 여파하는 대신 각 DTMF 톤 근처로 comb filter[6]로 여파하여 안내음성의 음질지하를 최소화하는 방법도 가능하지만 그럴 필요를 느끼지 못하였다. 실질적으로 이와 같은 상황에서 각각의 평가 방법이 개발된 것이 없어 사용할 수 없었다.

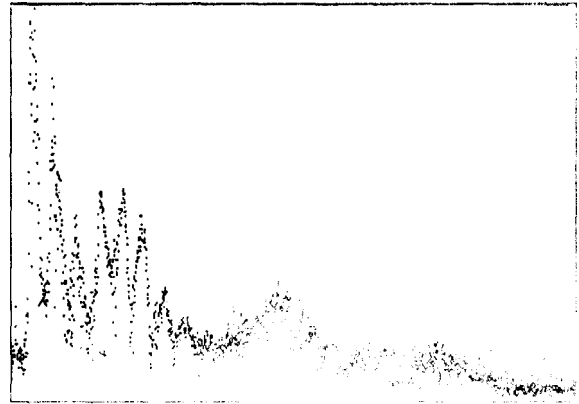


그림 8. 원래 음성신호의 스펙트럼

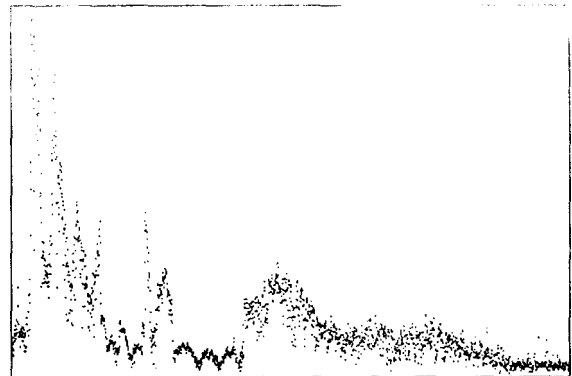


그림 9. 노치필터를 통한 음성안내어의 스펙트럼

그림 10은 모의실험에 이용한 DTMF 수신기의 구조를 나타낸다. 입력된 신호는 저군 및 고군대역의 대역분리 여파기를 통과한 다음, 각 신호를 정판정하고 이 결과를 각 톤 여파기로 다시 여파한다. 각 톤 여파기로 여파한 신호들을 절대값을 취하여 integrate and dump(ID)회로에서 DTMF 톤 구간만큼 적분한다. 이 결과값 중에서 각 주파수 군별로 최대 값을 구하여 각 군별로 해당 DTMF 톤을 검출한다. 이때 오검출을 줄이기 위해 저군 및 고군대역의 최대값들을 정해진 임계값과 비교하여, 임계값 이상이면 DTMF 톤으로 판정하고, 둘중 하나라도 임계값보다 작으면, DTMF 톤이 아닌 것으로 판정한다. 여기서, 임계값의 설정에 따라 수신기의 성능이 결정되는데, 임계값은 잡음과 반향이 없는 상태에서 DTMF 톤을 한

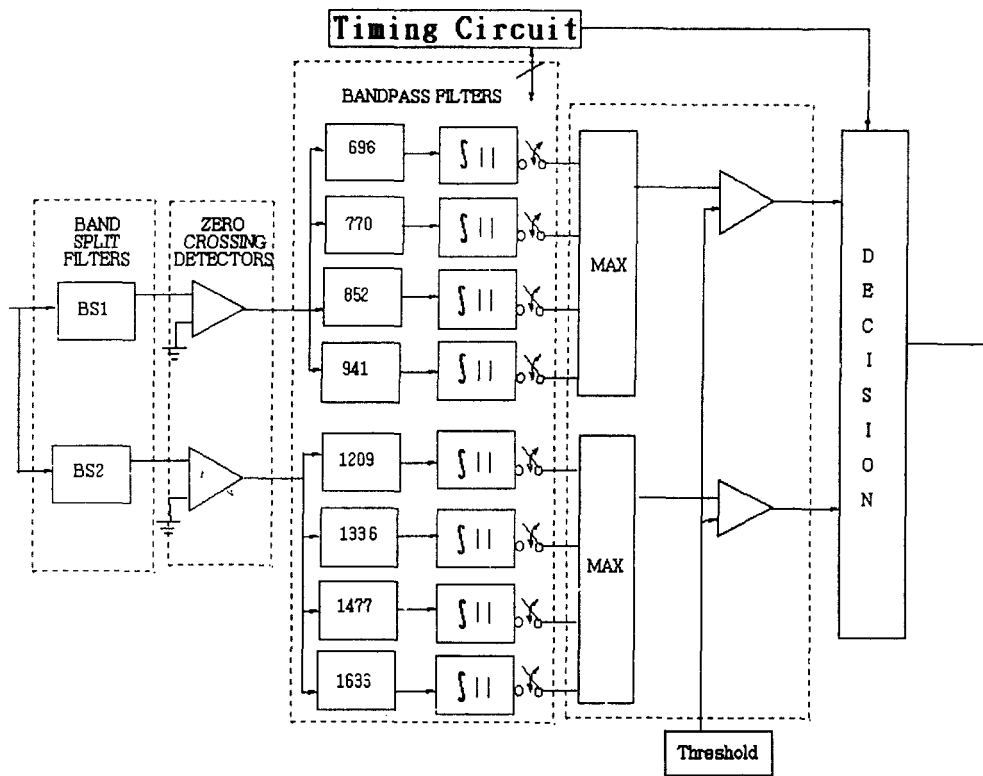


그림 10. 컴퓨터 모의실험실 DTMF 검출기의 구조

구간동안 ID부를 통과한 전력값을 기준으로 설정하였으며 모의실험에서는 100과 150의 값을 사용하였다.

저군 및 고군대역의 밴드스플리팅여파기는 (650-1000 Hz), (1150-1700 Hz)의 차단 주파수를 갖는 6차 및 7차 2종 Chebyshev 여파기를 이용했고, 각 톤 여파기는 중심주파수 ± 15 Hz인 차단주파수를 가는 3차 2종 Chebyshev 여파기를 이용하였다[7]. 각 여파기의 스펙트럼 특성은 그림 11과 그림 12에 각각 나타내었다.

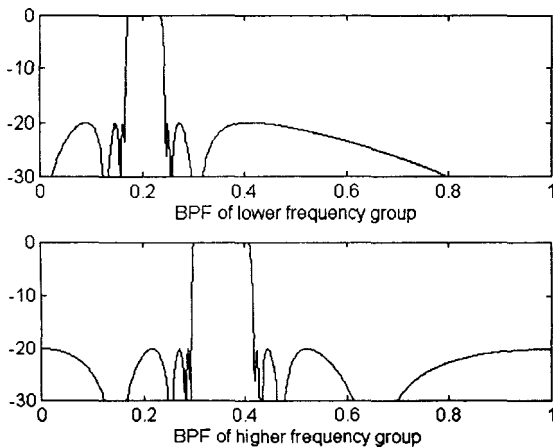


그림 11. 저군 및 고군 대역 Band Splitting 여파기의 스펙트럼 특성

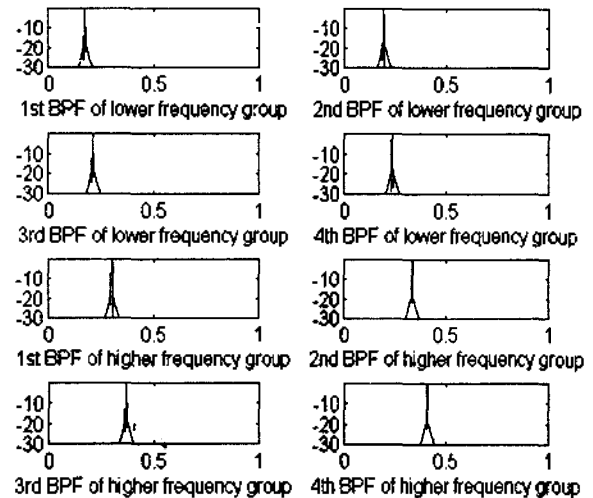


그림 12. 각 tone 여파기의 스펙트럼 특성

컴퓨터 모의실험에서는 음성신호의 반향 및 잡음에 의한 DTMF 톤 Loss 율과 DTMF 톤이 없을 때 반향 및 잡음에 의한 오검출율을 살펴보았다. 그림 13은 DTMF 전력대 잡음전력이 0dB일 때 Echo/DTMF 전력에 따른 DTMF 톤 Loss 율을 나타낸다. 그림에서 점선은 기존의 방법에 의한 DTMF 검출기의 성능을, 실선은 제안된 방법에 의한 DTMF 검출기의 성능을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 제안방식은 Echo/DTMF 전력이 15dB이하

에서는 거의 오류율이 0에 가깝게 동작할 수 있으며, 임계값이 150일 때는 100일 경우보다, DTMF 톤 Loss율이 두 가지 방법 모두 증가했다. 반면, 그림 14에서 오검출율은 임계값이 150일 때는 영이었지만, 100일 경우에는 Echo/DTMF가 작을 때 즉, 음성신호의 반향전력이 잡음전력과 비슷할 때 오검출율이 비교적 큼을 알 수 있다. 음성신호의 반향전력이 클 때 오검출율이 줄어들고, DTMF 톤 Loss율이 커지는 것은 반향전력이 커짐에 따라 경관정기(영교차 검출기)를 통과한 영교차율이 상대적으로 줄어들어, 고군대역의 DTMF 톤에 해당하는 전력이 줄어들어 오검출율과 DTMF 톤 Loss율이 작아지는 것으로 분석된다.

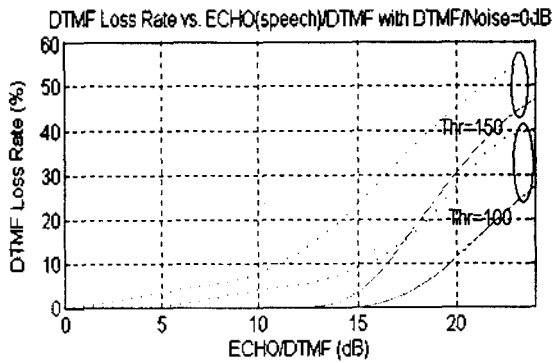


그림 13. DTMF tone Loss율

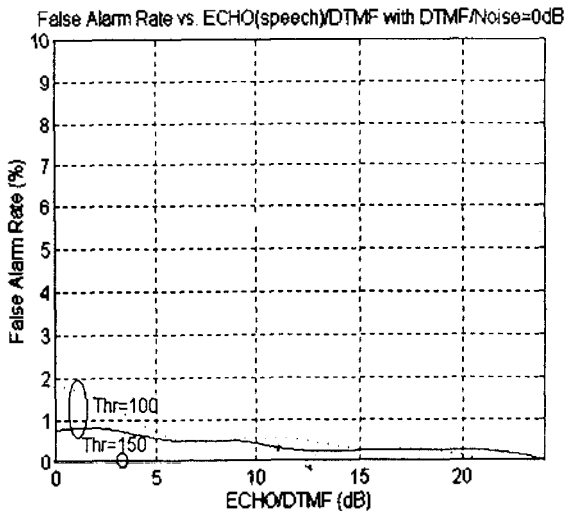


그림 14. False Alarm율

그림 15와 그림 16은 DTMF/Noise 전력의 비가 -9dB로 잡음이 DTMF 전력보다 9dB 클 경우의 DTMF 톤 Loss율과 오검출율을 나타낸다. 이 경우 임계값이 100일 경우는 그림 14에 비해 오검출율이 증가함을 알 수 있으며, 임계값이 150일 경우는 오검출율이 그림 14의 경우와 마찬가지로 영이 된다. 반면, 잡음전력이 커짐에 따라 예

상한대로 DTMF 톤 Loss율은 현격히 증가하며 제안방식에 의한 효과 또한 매우 크다는 것을 알 수 있다. 여기에서도, 임계값에 따라 Loss율이 다른데 이 임계값은 DTMF tone 수신기의 설계에서 정해진 값으로서, 본 모의실험에서는 임계값의 변화에 관계없이 제안 방식의 성능개선 효과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

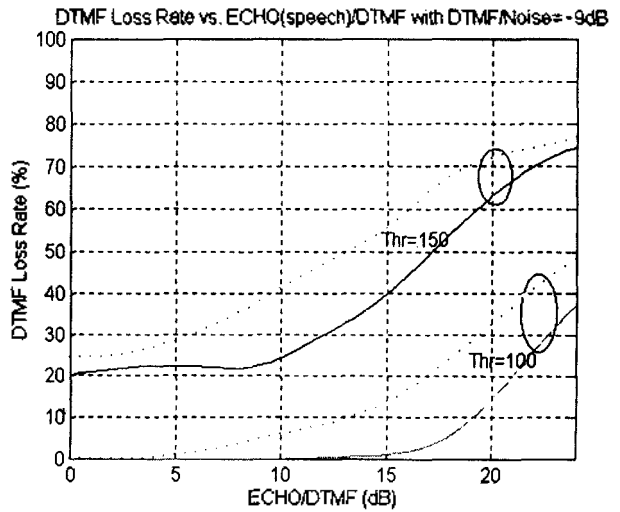


그림 15. DTMF tone Loss율

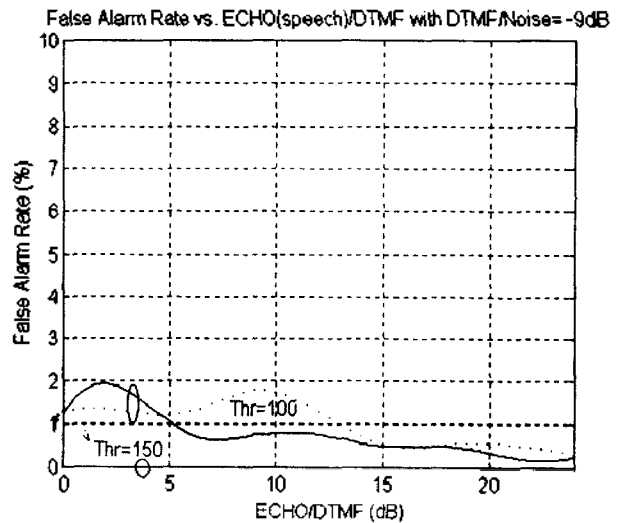


그림 16. False Alarm율

V. 결 론

본 논문에서는 ARS 시스템의 음성안내어를 밴드스톱 여파기로 여파하여, 하이브리드를 통한 DTMF 톤 대역으로의 음성신호의 왜곡성분을 줄여 DTMF 톤 검출기의 성능을 개선하는 방법을 제안하고, 이를 컴퓨터 모의실험을 통하여 검증하였다. 제안된 방법을 이용한 ARS 시

스텝에서는 음성안내어의 병료도는 크게 영향을 받지 않으면서, DTMF 톤 검출기의 성능을 크게 개선함을 알 수 있었다. 제안된 방법을 이용한 DTMF 톤 검출기에서는 DTMF 톤 Loss 율을 기존의 방법에 비해 현저히 개선할 수 있으며, 또한 오검출율도 개선할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 김희동, 멀티미디어 메시지 서비스의 전화전략 및 구현방향에 대한 연구, 통신학술 연구과제, 1992.
2. R. D. Gillin, J. F. Hayes and S. B. Weinstein, Data Communications Principles, Plenum Press, New York, 1992.
3. Silicon Systems, Telecommunication Device Databook 1993.
4. Analog Device, AD2900 Family Application Note, 1994.
5. 조동호, Speech Enhancement and Coding at Medium-Low Rates, 한국과학기술원, 1985.
6. S. K. Mitra and J. F. Kaiser, Handbook for Digital Signal Processing, John Wiley and Sons, 1993.
7. MATLAB Signal Processing Toolbox, Mathworks, 1995.

▲김 회 동

1981년: 서울대학교 전기공학과 학사
 1983년: 한국과학기술원 전기전자과 석사
 1987년: 한국과학기술원 전기전자과 박사
 1987년~1992년 2월: 디지콤 정보통신연구소장
 1992년 3월~현재: 수원대학교 정보통신공학과 조교수

▲김 제 우

1983년: 서울대학교 전자공학과 학사
 1985년: 한국과학기술원 전기전자과 석사
 1990년 2월: 한국과학기술원 전기전자과 박사
 1990년 3월~1993년 2월: 삼성전자 정보통신 연구소 선임 연구원
 1993년 3월~현재: 수원대학교 정보통신공학과 조교수

▲홍 영 진

1978년: 서울대학교 전기공학과 학사
 1982년 12월: SUNY at Stony Brook 전기공학과 석사
 1985년 12월: SUNY at Stony Brook 전기공학과 박사
 1978년~1981년 8월: 삼성전자 컴퓨터 사업부 연구원
 1986년 1월: SUNY at Stony Brook 교수
 1986년 6월~1992년 1월: LNR Communications 선임연구원
 1992년 1월~1993년 8월: 삼성종합기술원 전송기술연구소장
 1993년 8월~1994년 3월: 한국통신 위성사업단 위성감리국장
 1994년 3월~현재: 성미전자 연구소장