

스펙트럴 차원의 잡음처리를 이용한 음성인식

이광석

진주산업대학교

Speech Recognition Using Noise Processing in Spectral Dimension

Gwang-seok Lee

Jinju National University

email : kslee@jinju.ac.kr

요 약

본 연구는 잡음을 포함한 음성 환경에서의 음성인식을 개선방안에 관한 것이다. 우리는 음성인식에서 잡음 섞인 음성으로부터 얻은 스펙트럴 envelope에서 곡들의 스펙트럴 subtraction 및 복원이 보다 더 효과적임을 알 수 있었다. 본 연구에서, 평균화된 스펙트럴 envelope은 모음 스펙트럼으로부터 추출하여 곡들의 강조에 사용하였다. 낮은 주파수 영역에서의 모음 스펙트럴 정보는 강조되어지고 자음으로부터 얻은 스펙트럼은 변하지 않는다. 시뮬레이션으로 살펴보면, 강조계수는 캡스트럴 영역에서 변한다. 이 방법으로 잡음적인 숫자음성 인식에서 적용하였으며 인식결과가 개선됨을 알 수 있었다.

ABSTRACT

This research is concerned for improving the result of speech recognition under the noisy speech. We knew that spectral subtraction and recovery of valleys in spectral envelope obtained from noisy speech are more effective for the improvement of the recognition. In this research, the averaged spectral envelope obtained from vowel spectrums are used for the emphasis of valleys. The vocalic spectral information at lower frequency range is emphasized and the spectrum obtained from consonants is not changed. In simulation, the emphasis coefficients are varied on cepstral domain. This method is used for the recognition of noisy digits and is improved.

키워드

Speech Recognition, Noisy Speech, Spectral Envelope

1. 서 론

음성인식 및 음성정보처리의 실용화의 중요문제로 잡음환경에 대한 대처를 들 수 있으며 여러가지 검토가 행해지고 있다.[3][4][6][9] 이는 입력과형에 대하여 직접적인 잡음처리를 행하는 방법과 잡음중첩 음성을 분석한 후, 그 분석 파라미터에 대하여 잡음처리를 행하는 방법으로 나눌 수 있다. 대표적인 것으로서 스펙트럴 영역에서의 잡음처리를 들 수 있으며 이는 잡음환경의 음성인식에서 스펙트럴 포락변형으로 대처한 대표적인 방법으로서 보통은 스펙트럴 Subtraction이 생각되지만 이 경우, 발생한 잡음 스펙트럴을 완전히 추정해 둘 필요가 있으며 이를 위하여 일차함수를 사용한 입력음성 스펙트럴의 낮은 레벨 제한을 제안하고 이것을 준정상 유색잡음환경하의 음성인식에 적용하였다.[4][9]

그 결과 간단한 방법으로 의사 스펙트럴 Subtraction 가능한 것 및 중첩잡음 스펙트럴의 스펙트럴 경사의 정도와 제한하는 일차함수의 경사사이에서 10dB정도의 차이가 생기는 것은 인식에 대한 악영향이 적다는 것을 나타낸다.⁸⁾ 잡음중첩 유성음 스펙트럴에서 스펙트럴 포락으로 곡 부분이 결락하는 것에 착안하여 규칙에 의해 상실한 곡 부분의 회복방법을 숫자음성인식에 적용하여 그 유효성에 대하여 나타내었다. 이 고주파영역의

정보는 통상 자음부의 식별에서 보다 중요하다는 것을 고려하면 저주파 영역의 강조도를 음소마다 변화시키는 것이 유효하며 또한 고 레벨의 스펙트럴 요소변화의 보정을 위해서 곡이나 경사성분의 강조도 조정하여 행하는 것이 중요한 요소라는 것을 알 수 있었다.

스펙트럴 포락의 저주파 영역을 강조키 위한 방법으로 스펙트럴 포락의 주파수축의 비직선 변형에 의한 평가를 들 수 있다. 이것은 최소위상의 스펙트럴 포락 관련 파라미터에 재귀식에 의해 계산 가능하며 파라미터 분석계에 적용하기가 쉽다. 또 이 때문에 적당한 주파수축도 산출되고 있다. 음성의 각 시점에 있어서 스펙트럴을 모음평균 스펙트럴로써 강조하는 경우, 그 곡 정도를 나타내는 요소를 캡스트럴의 Quefrequency상에서 분리하고 각각 효과적인 강조법을 검토하였다. 이 파라미터에 의한 강조법을 잡음 환경하에서의 숫자음성인식에 적용하고 방식 및 사용 파라미터의 유효성을 검증하였다. 또 종래법의 스펙트럴의 규칙적인 곡부가 방법의 병용 Over-emphasis에 대응하기 위하여 거리의 가중치 부가 방법의 검토에 대해서도 함께 행하였다.

II. 잡음부가된 스펙트럴 포락의 곡에 의한 스펙트럴 보정

종래의 스펙트럴 레벨 제한과 규칙에 의한 곡의 부가에 대하여 살펴보면 잡음중첩 유성음의 경우, 스펙트럴 포락의 저 레벨부만의 레벨 상승변화를 볼 수 있다. 이

현상이 일어나는 주파수 범위는 1~2 kHz 부근 및 제 2 포만트 주파수 이후에 일어나는 것을 확인할 수 있으며 이는 한 방법으로써 앞의 강조계수가 생각되지만 그 외의 보정을 적극적으로 행하기 위해서는 규칙을 사용하여 유성부 스펙트럴 저 레벨에 곡을 부가하고 이 결과를 보정하는 것을 생각할 수 있으며 다음과 같다. 유성부 스펙트럴 포락에 대하여 우선 (1)식과 같이 일차함수 $th(k)$ 를 사용하여 간이 스펙트럴 Subtraction을 행한다. 이를 스펙트럴 저 레벨 제한으로 부르고 있다. 여기서, k 는 이산주파수를, N 는 표본수를 각각 나타내고 있다.

$$S'(k) = S(k), (S(k) > th(k))$$

$$th(k), (S(k) \leq th(k))$$

$$th(k) = TH1 + 2(TH2-TH1)k/N \quad (1)$$

그리고 규칙에 의한 곡의 부가변형을 행하며 데이터의 표본화 주파수 10kHz일 때 다음과 같이 나타낸다.

$$THL(f) = p(f1) + \{W(f3) - p(f1)\}(f - f1)/(f3 - f1)$$

$$THL(f) = p(f2) + \{W(f3) - p(f2)\}(f2 - f)/(f3 - f2)$$

$$p(f) = TH1 + (f / 5000)(TH2 - TH1) \quad (2)$$

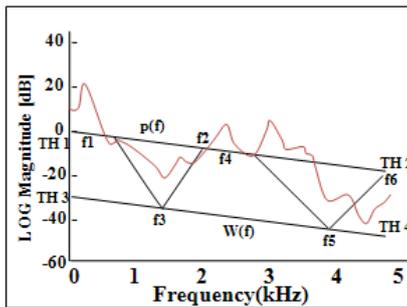


Fig. 1. Addition of Valley to Spectral Envelope by Rule

단, 하나의 곡에 대하여 THL 은 곡의 좌측을, THR 은 곡의 우측을 나타내는 직선 함수이며 $p(f)$ 는 잡음 레벨을 의사하는 직선함수로서 (1)식의 $th(k)$ 와 동일 함수이다. 또한 $W(f)$ 는 곡의 깊이를 의사하는 직선함수이다. 제1곡에 대해서는 식의 $f1, f2$ 는 1.2kHz 이후의 주파수로써 원 스펙트럴 포락과 $P(f)$ 의 교점 주파수이며 $f3$ 는 그 중심점으로 그림1과 같이 곡을 부가한다. 제2곡에 대해서는 $f2$ 이후의 주파수로 원 스펙트럴 포락이 $P(f)$ 를 위에서 아래로 지나는 주파수를 새로운 $f1$ 으로 하여 제1곡과 같은 형식으로 부여한다. 이와 같이 부여한 곡의 수는 저주파 영역부터 순서대로 두 개로 한정하고 있으며 $W(f)$ 의 임계치는 스펙트럴 포락제한·곡용으로 각각 두 개씩 설정하고 있다.

III. 모음 스펙트럴을 이용한 유성부 스펙트럴 포락의 경사 강조

앞에서 유성음, 특히 모음성분의 스펙트럴의 저역부 강조방법에 대해서 설명했지만 잡음 중첩음성에서 모음성 음소의 스펙트럴 포락의 곡 부분이 묻힌 스펙트럴 포락 전체가 평탄화 되기 때문에 이것을 보정하는 의미

로서 모음성 스펙트럴 포락에 대하여 단모음의 스펙트럴 포락에 사용하여 다음처럼 스펙트럴 포락 경사의 강조를 행하는 것을 고려한다. i 차의 캡스트럼을 C_i , 모음 평균 캡스트럼을 v_i 로 할 때

$$C_i = C_i + \beta v_i \quad (3)$$

라고 말하는 변형을 유성부만에 대하여 행하는 것으로 하며 β 는 강조계수이다. 여기서는 모음 캡스트럼으로써 시뮬레이션에 사용한 단어음성 화자와 별개의 남성 화자가 발성한 5모음의 중심부 스펙트럴 포락에서 구한 것을 사용한다. 이 포락의 예를 그림2에 나타내었다.

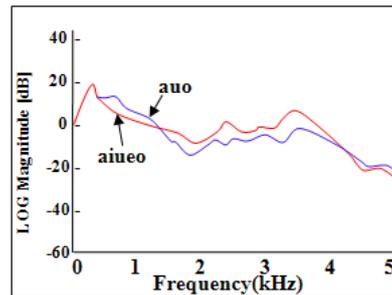


Fig. 2. Spectral Envelope of /a/, /u/, /o/ and 5 Vowels

양자의 스펙트럴 포락형상에는 본질적인 차는 없지만 여기서는 스펙트럴 포락에서의 경사와 곡 부분을 강조할 수 있는 /aueo/로부터 얻어진 포락을 사용하고 있다. 이것을 의사 모음성 음소필터로 생각하고 스펙트럴 강조에 사용한다. 식(3)에 의해 변화시킨 스펙트럴 포락 변화의 예를 그림3에 나타내었다. 그림에서 남성화자 모음 /i/에 대하여 그림2의 /aueo/ 포락을 사용하여 강조한 것으로서 스펙트럴의 곡의 강조와 스펙트럴 평탄화의 보정에 이용 가능한 것을 알 수 있다.

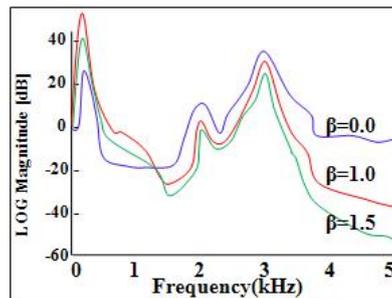
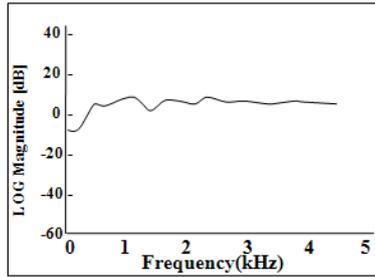
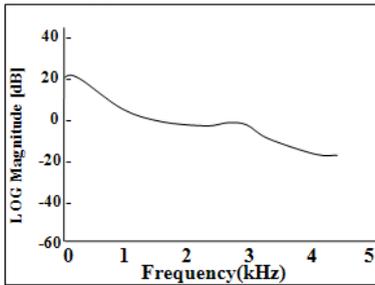


Fig. 3. Emphasis of Average Spectral of Vowels(/aueo/) to /i/

여기서 그림2의 포락을 구한 캡스트럼의 특징에 의해서 Quefrequency 영역에서 분리하는 것으로 생각된다. 모음 캡스트럼을 보면 이전의 모음 연쇄 분할 시뮬레이션에 의해서 스펙트럴 포락의 대표적 경사를 표시한 Quefrequency 저차부와 포-만트 미세 변화를 표시한 Quefrequency 고차부에서 분리된다.



(a) 1st ~ 3rd Order



(b) 4th ~ 12th Order

Fig. 4. Average Envelope of Vowels /auo/ after Quefrequency Separation

그림4는 그림2의 포락을 Quefrequency 저차부와 고차부에서 분리한 것과 각각의 포락을 표시하지만 이러한 특징을 표시하고 있는 것을 알 수 있다. 여기서 식(3)의 모음 캡스트럼에 의한 경사 강조 계수를 캡스트럼 영역에서 이 두 종류를 분리하고 강조계수를 변화함을 생각할 수 있다.

$$e_i = C_i + \beta_1 v_i \quad (1 \leq i \leq m)$$

$$C_i + \beta_2 v_i \quad (m + 1 \leq i \leq n) \quad (4)$$

(4)식에서, β_1 은 대표적 포락 경사의 강조, β_2 는 미세한 포락의 강조, 포락 피크선의 강조를 표시한 것으로 생각할 수 있으며, 이 경우에는 유성부의 스펙트럴 포락의 곡부분과 스펙트럴 포락 전체의 경사도가 강조됨이 알려져 있다.

IV. 시뮬레이션 및 고찰

시뮬레이션은 남성화자 10명이 5회 발성한 10개의 숫자음성에 2종의 유색잡음을 더하여 사용하였으며 각각은 경사 10dB, 자동차는 경사 30dB이고, 피크로 표기된 잡음쪽이 백색잡음에 가까운 성질을 가지고 있으며 이것은 프레임 주기 10ms에서 Mel-캡스트럼 분석이 된다. 스펙트럴 변형은 앞에서 캡스트럼에 의한 경사 강조가 일어난 후 매칭되기 때문에 채귀식에 의해 멜 주파수 축으로 주파수 변환된다. 포락 변환일 경우 유성·무성 판단은 무잡음 데이터의 캡스트럼 저차부의 함으로 판단하고 있다. 시뮬레이션은 5프레임 중점-Free DP 매칭에 의해 불특정 화자인식에 적용하였으며 표준패턴은 무잡음 음성을 사용하였다.[2][5][7]

Table 1. Recognition Results by Equal Emphasis in Vowel Average Envelope ($\beta = 1.0$)

Emphasis Order		Vehicle		Peak	
Start	End	0dB	10dB	0dB	10dB
1	12	36.2	55.5	28.8	47.5
2	12	29.5	55.9	21.5	40.6
1	10	36.3	54.3	28.2	46.6
2	10	30.2	55.6	21.8	38.5
1	8	35.3	56.3	26.4	45.2
2	8	30.6	55.5	20.6	34.5
1	5	36.5	55.8	24.3	46.2
2	5	25.4	54.5	17.5	32.4
1	3	35.3	56.2	27.3	46.4
1	2	36.4	56.6	26.3	46.8

Table 2. Recognition Results by Equal Emphasis in Vowel Average Envelope and Parallel Use of Vally Addition ($\beta = 1.0$)
(a) TH1=0dB, TH2=-10dB, TH3=-30dB, TH4=-40dB

Emphasis Order		Vehicle		Peak	
Start	End	0dB	10dB	0dB	10dB
1	12	33.5	50.2	33.4	60.7
2	12	29.6	44.5	25.5	47.2
1	10	35.2	49.4	30.5	57.5
2	10	27.8	43.7	25.2	46.2
1	8	35.3	48.2	31.6	58.7
2	8	27.9	40.5	23.2	44.4
1	5	33.4	49.6	31.8	59.3

(b) TH1=0dB, TH2=-20dB, TH3=-30dB, TH4=-40dB

Emphasis Order		Vehicle		Peak	
start	end	0dB	10dB	0dB	10dB
1	12	35.2	65.5	30.1	56.3
2	12	31.5	66.5	22.3	44.2
1	10	35.5	65.4	29.5	55.3
2	10	30.6	65.4	23.6	43.2
1	8	35.8	65.2	29.4	55.5
2	5	30.4	65.3	21.2	40.4
1	3	36.3	64.6	27.8	56.6

시뮬레이션 결과의 예로써 표1은 식3에 의한 일정한 강조계수에 의한 강조를 행한 경우의 인식결과예를 보이고 있으며 강조계수 β 는 1.0으로 된다. 강조차수는 매칭차수와 같은 방법이 좋은 결과가 얻어지고 대표적 경사보정을 행한 작용의 임의 캡스트럼 일차항이 중요함을 알 수 있다. 고주파영역의 잡음성분이 감소한 경우 이 효과의 정도는 작게 되는 경향이 있다. 표2에서 식(2)에 의한 원 스펙트럴 유성부에 2개의 곡을 부과하고 표1과 같은 조건의 강조를 행한 결과를 표시하였다.

Table 3. Recognition Results In Case of Varying Emphasis Coefficient in Emphasis by Vowel Envelope : Matching Order : 1st~12th
(a) m=3, n=12

Emphasis Coeff.		Vehicle		Peak	
Low	High	0dB	10dB	0dB	10dB
1.2	1.0	37.8	55.6	33.1	47.4
1.5	1.0	36.9	54.8	34.6	46.2
1.8	1.0	36.1	53.5	34.9	46.3
2.0	1.0	35.5	51.9	36.2	46.1

(b) m=5, n=12

Emphasis Coeff.		Vehicle		Peak	
Low	High	0dB	10dB	0dB	10dB
1.2	1.0	35.5	55.2	32.6	47.8
1.5	1.0	34.8	53.5	35.2	47.2
1.8	1.0	34.2	52.4	35.6	46.6
2.0	1.0	35.6	48.3	36.3	45.1

표3에서는 표1과 같은 강조시물레이션에 대하여 식(4)에서 강조계수를 Quefrequency상에서 변화시킨 경우의 시물레이션결과를 표시하였다. 시물레이션은 잡음 스펙트럴 포락에 대하여 곡을 부과하지 않는 경우에 대해서 행한 것이고 강조는 앞의 시물레이션과 같게 미리 구한 유성부에 대하여 행하며 이러한 경우, 저차부의 강조도를 강화시키고 있다. 결과적으로 나쁜 환경의 경우 인식률이 향상되고 있지만, S/N비가 나쁘지 않은 경우, 또한 잡음 환경이 백색성에 가까운 경우, Over-Emphasis가 되는 것을 생각할 수 있다. 이 때문에 DP 매칭에서 유클리드 거리를 계산할 때 전 프레임에 관한 식(5)의 가중치를 부과한 거리를 사용하여 이점의 보정을 행한다. 이를 사용한 경우의 시물레이션결과예를 표4에 나타내었다.

$$d^2 = \sum_{i=1}^j \{\gamma_1(e'_i - e_i)\}^2 + \sum_{i=j+1}^n \{\gamma_2(e'_i - e_i)\}^2 \quad (5)$$

Table 4. Recognition Results by Matching Coefficient
m=3, n=12, $\beta_1=1.5$, $\beta_2=1.0$, $\gamma_2=1.0$

(a) In Case of no adding the Valley

Matching Coeff.		Vehicle		Peak	
Order	γ_1	0dB	10dB	0dB	10dB
1-3	0.7	36.6	56.3	35.6	48.3
1-3	0.8	36.4	56.1	35.3	47.6
1-3	0.9	35.4	55.4	34.5	47.1
1-1	0.7	34.2	54.2	34.1	49.2
1-1	0.8	35.3	53.8	35.2	48.7
1-1	0.9	35.6	53.1	34.2	48.5

(b) In Case of adding the Valley

Matching Coeff.		Vehicle		Peak	
Order	γ_1	0dB	10dB	0dB	10dB
1-3	0.7	35.6	51.2	36.6	58.3
1-3	0.8	35.3	50.6	36.4	58.1
1-3	0.9	34.5	50.1	36.1	57.4
1-1	0.7	33.4	51.3	35.6	61.8
1-1	0.8	33.9	50.5	36.5	62.4
1-1	0.9	34.3	49.6	36.2	59.7

: TH1=0dB, TH2=10dB, TH3=30dB, TH4=40dB

여기에서 γ_2 의 값은 1.0으로 고정하고 γ_1 의 값의 변화에 의해서 캡스트럼 저차부의 가중치를 변화시키고 있다. 이 경우 $\gamma_1 < 1.0$ 이기 때문에 저차부 거리를 저감시키고 있는 것으로 된다. 이와 같이 저차에 작은 가중치를 곱하므로써 전자의 문제가 해결된 경우를 표시하였다. 특히 백색성에 가까운 잡음 및 잡음조건이 그다지 나쁘지 않는 경우에 개선됨을 알 수 있으나 이 방법은

조건에 의해 최적치가 민감하기 때문에 좀 더 검토가 필요하다.

V. 결 론

본 논문에서는 모음을 대표로 하는 유성부와 무성부에 관해서 저역 스펙트럴의 중요도의 차이 및 잡음환경에서 음성의 유성부 스펙트럴 포락의 변형에 주목한 곡의 보정법을 간이화할수록 모음 스펙트럴 포락을 강조 필터로써 사용하였다. 스펙트럴 포락의 떨어진 곡의 강조 및 평탄화한 기울기의 강조법에 대해서 제시하고 그 유효성을 검토하였다. 그 결과, 잡음환경이나 매칭조건에서 차이가 나지만, 특히 악조건에서 잡음 스펙트럴이 평탄한 경우에 유효함을 알 수 있었다.

또한 Over-Emphasis 보정을 위해 가중치를 부과한 거리에 대하여 검증하였다. 향후 주파수 변환계수 변화의 크기 판단 및 각각의 조건에 관한 최적 변형법에서의 검토 및 거리척도를 포함한 본 방식에 의한 스펙트럴 변형을 사용한 경우의 매칭방식의 검토 등이 더 필요함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 青木, 山田, 中村, "マイクロホンアレーとHMM合成による"実環境における音聲認識實驗", 秋音講論 2-Q-2, 2000.
2. H.Ney, "The Use of One Stage Dynamic Programming Algorithm for Connected Word Recognition", IEEE Trans, Acoust., Speech signal processing, Vol. ASSP-32, pp.263-271, Apr. 2005.
3. D.P.Hutten and V.W.Zue, "A Model of Lexical Access from Partial Phonetic Information", in Proc., 2008 Int. Corrf. Acoust., Speech Signal Processing, pp.26.4.1-26.4.4, Mar. 2008.
4. S.Itahashi, "Utilization of Weighting Windows for Speech Segmentation", Preprints, Autumn Meeting Acoust. Soc. P.2-9-4, pp.45-50, Oct, 2007.
5. S.Tsujimichi, S.Itahasi and H.Nishino, "Segmentation of Speech Utilizing Dynamic Programming", Preprints, Spring Meeting Acous. Soc. Japan, P.2-2-9, pp.63-64, Mar, 2008.
6. J.R.Cohen, "Segmenting Speech using Dynamic Programming", J.Acoust, Soc. Am 69(5), pp.1430-1438, May, 2008.
7. S.F.Boll, "Suppression of Acoustic Noise in Speech Using Spectral Subtraction", IEEE Trans. ASSP-27, 2008.