

한국어 숫자음의 음운변화 및 화자 발성특성을 고려한 연결숫자 인식의 성능향상

Performance Improvement of Connected Digit Recognition by Considering Phonemic Variations in Korean Digit and Speaking Styles

송 명 규*, 김 형 순*
(Myung Gyu Song*, Hyung Soon Kim*)

* 부산대학교 전자공학과
(접수일자: 2002년 2월 5일; 채택일자: 2002년 4월 8일)

한국어 숫자는 모두 단음절로 이루어져 있으며, 연속적으로 발음될 때 인접 숫자들의 상호조음현상에 의해 각 숫자의 고유 발음이 변화하고, 또한 그 숫자들의 경계도 모호해지는 문제점이 있다. 이러한 문제점들과 더불어 배경잡음이나 채널에 의한 왜곡에 따른 문제점들로 인해 한국어 연결숫자의 인식 성능은 만족스럽지 못한 것이 현실이다. 본 논문에서는 연결숫자의 인식성능 향상을 위해서 한국어 숫자들의 음운변화를 고려하여 유사음소 (phonelike units: PLUs)군을 정의하고, 사용자의 여러 가지 발성형태에 따른 다양한 음운 현상의 변화를 흡수할 수 있도록 인식 시스템을 구성하는 방식을 검토하였다. 전화망 4연숫자를 이용한 화자독립 인식 실험을 수행한 결과 제안된 방법의 숫자열 인식률은 상태당 믹스처 (mixture) 개수가 1인 경우 83.2%로, 기준 시스템 (baseline)에 대한 오류감소율이 7.2%였고 가장 높은 성능을 나타낸 믹스처 개수가 11인 경우 숫자열 인식률은 91.8%, 오류감소율은 4.7%였다.

핵심용어: 음성인식, 연결숫자, 음운변화, 발성특성

투고분야: 음성처리 분야 (2, 5)

Each Korean digit is composed of only a syllable, so recognizers as well as Korean often have difficulty in recognizing it. When digit strings are pronounced, the original pronunciation of each digit is largely changed due to the co-articulation effect. In addition to these problems, the distortion caused by various channels and noises degrades the recognition performance of Korean connected digit string. This paper dealt with some techniques to improve recognition performance of it, which include defining a set of PLUs by considering phonemic variations in Korean digit and constructing a recognizer to handle speakers various speaking styles. In the speaker-independent connected digit recognition experiments using telephone speech, the proposed techniques with 1-Gaussian/state gave string accuracy of 83.2%, i.e., 7.2% error rate reduction relative to baseline system. With 11-Gaussians/state, we achieved the highest string accuracy of 91.8%, i.e., 4.7% error rate reduction.

Keywords: Speech recognition, Connected digit, Phonemic variation, Speaking style

ASK subject classification: Speech signal processing (2, 5)

I. 서론

연결숫자 인식은 음성 다이얼링, 증권거래, 은행업무 서비스 등의 다양한 응용분야가 있으며 이에 따라 미국 등 영어권에서는 연결숫자 인식에 관한 연구와 실용화에 많은 진전이 이루어져 왔다[1-5]. 한국어 숫자의 경우에도 실험실 환경에서는 99% 이상의 인식성능을 얻은 것으로 보고되었다[6]. 그러나 실제 환경에 적용될 경우 인식률은 상당히 저하되는데, 이는 한국어 숫자의 특성에 따른 문제 및 배경잡음이나 채널에 의한 왜곡에 따른 문제점들에 기인한 것으로 볼 수 있다. 본 논문에서는 배경잡음이나 채널왜곡 등에 의한 환경불일치 문제의 완화보다는 한국어 숫자의 특성에 기인한 연결 숫자 인식의 어려움을 완화시킴으로써 인식성능을 향상시키고자 한다.

한국어의 숫자는 ‘영(零), 일(一), 이(二), 삼(三), ...’ 처럼 한자어로 된 것과 ‘하나, 둘, 셋, 넷, 다섯, ...’ 같이 순수 한국어로 된 것 두 가지가 있다[7]. 번호나 돈의 단위 (원), 시간표시 (년, 월, 일, ...) 등에는 한자어 계통이 주로 쓰이므로 본 논문에서는 한자어 계통의 ‘영, 공, 일, 이, 삼, 사, 오, 육/륙, 칠, 팔, 구’의 11개 숫자에 국한하여 그 특징을 살펴본다. 한자어 계통의 숫자들은 모두 하나의 음절로 이루어져 있으며 더구나 ‘일’과 ‘이’, ‘일’과 ‘칠’, ‘삼’과 ‘사’ 같이 음절의 일부분의 차이로 인해서 구별되는 숫자가 존재하므로 음성인식에 문제점으로 작용한다. 또한 연결숫자 인식의 경우처럼 연속적으로 발음되는 숫자열에서는 숫자의 경계가 모호해질 뿐만 아니라, 인접한 숫자들의 상호조음현상에 의해 각 숫자들의 고유한 발음이 변화하므로 음성인식의 혼동가능성을 높인다. 위 숫자들은 ‘ㄱ, ㅋ, ㆁ, ㄷ, ㅌ, ㄴ, ㄹ’의 7개 자음과 ‘ㅏ, ㅑ, ㅓ, ㅕ, ㅗ, ㅛ’의 6개 모음으로 구성되지만, 이들이 말소리로 실현이 될 때에는 음운규칙에 따라 다양한 변이음들로 나타난다. 이와 같은 한국어 숫자의 특성을 고려하여 유사음소군을 정의하고 사용자의 발성형태에 따른 다양한 음운 현상의 변화를 흡수할 수 있도록 연결숫자 인식 시스템을 구성한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 한국어 숫자의 특징 분석 및 문제점 완화 방안에 대해 설명하고, 3절에서 실험 결과를 언급하고, 4절에서 결론을 맺는다.

II. 한국어 숫자의 특징 분석

서론에서 언급한 바와 같이 한국어 숫자의 음소는 말소리로 실현될 때 다양한 변이음들로 나타난다. 한국어 숫자음에 고려될 수 있는 음운규칙은 닿음소리 되기, 두들김소리 되기, 울림소리 되기 등이다. 음운규칙이 음소의 변이음을 실현시키는 규칙이라 한다면, 한 형태소의 음소가 그 놓이는 환경에 따라 다른 음소로 바뀌는 현상도 발생하는데 이러한 음소의 바뀔 규칙을 변동 규칙이라 한다[8]. 숫자음에 적용되는 변동규칙은 소리 이음, 된소리되기, ‘ㄹ’ 머리소리 규칙, ‘ㄴ’ 머리소리 규칙, ‘ㄹ’의 ‘ㄴ’되기, ‘ㄹ’ 겹치기, 콧소리 되기 등이다. 이러한 변동 및 음운규칙을 적용하여 숫자음에 나타나는 유사음소들을 표 1에 정리하였다.

한국어 숫자에는 ‘이’와 ‘일’, ‘일’과 ‘칠’, ‘오’와 ‘구’ 등의 오인식이 잘 되는 숫자쌍들이 존재하는데, 이들의 변별력을 높이기 위한 한가지 방법으로 유사음소 설정과정에서 이를 고려하였다. 그림 1-3에서 이 숫자음들의 음향특징을 관찰할 수 있다. 그림들은 각각 5189, 5289, 5789의 파형과 스펙트로그램이다. 일과 칠의 ‘ㅣ’는 이의 ‘ㅣ’에 비해 제2포먼트가 비교적 낮음을 알 수 있으며 이는 혀열소리 ‘ㄹ’의 영향에 기인한 것으로 판단된다. 또한 하나의 홀소리로 음절을 형성하는 이의 ‘ㅣ’가 일과 칠의 ‘ㅣ’보다 지속시간이 비교적 길다는 것을 알 수 있다. 또한 칠의 ‘ㅊ’은 스펙트럼상에 스파이크와 잡음이 낀듯한 특성을 나타낸다. 인지적으로도 ‘일’과 ‘칠’에서의 ‘ㅣ’와 이의 ‘ㅣ’는 음소의 시작부분의 세기나 길이, 고저 등에 있어서 차이가 있음을 알 수 있으므로 이를 고려하여 ‘ㅣ’를 혀열소리 ‘ㄹ’ 앞의 ‘ㅣ’ (이후 /ii/로 언급)와 그 외의 ‘ㅣ’ (이후 /i/로 언급)로 구분한다.

표 1. 한국어 숫자음에 나타나는 유사음소
Table 1. PLUs in Korean digit strings.

유사음소/기호/	예	유사음소/기호/	예
ㄱ /g/	9/구/	ㅇ /N/	0/영/
닿음소리 ㄱ /gq/	6/육/	ㅈ /c/	7/칠/
울림소리 ㄱ /gg/	20/이공/	ㅊ /p/	8/팔/
ㄷ /G/	69/육구/	ㅏ /a/	4/사/
ㄴ /n/	36/삼륙/	ㅑ /v/	0/영/
혀열소리 ㄹ /l/	1/일/	ㅓ /o/	5/오/
두들김소리 ㄹ /rl/	26/이륙/	ㅕ /u/	9/구/
ㅁ /m/	3/삼/	ㅗ /u/	6/육/
ㅓ /s/	4/사/	ㅛ /i/	2/이/

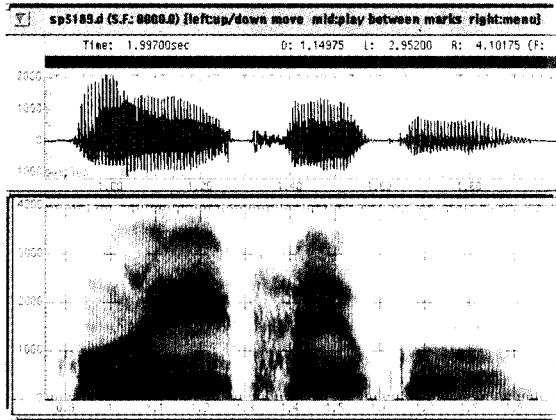


그림 1. '5189'의 파형과 스펙트로그램
Fig. 1. Waveform and spectrogram of '5189'.

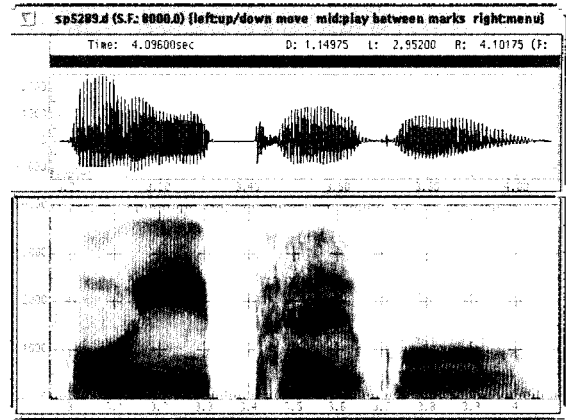


그림 2. '5289'의 파형과 스펙트로그램
Fig. 2. Waveform and spectrogram of '5289'.

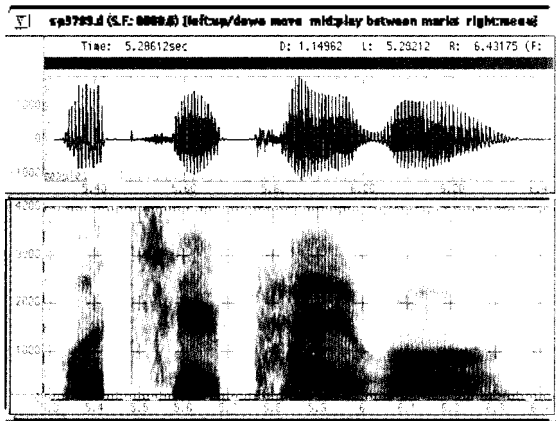


그림 3. '5789'의 파형과 스펙트로그램
Fig. 3. Waveform and spectrogram of '5789'.

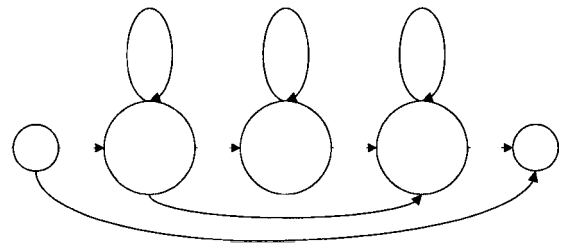


그림 4. 개선된 짧은 휴지시간 모델
Fig. 4. Improved short pause model.

또한 칠과 일을 비교하면 칠의 'ㄹ'은 '71/치릴/, 72/치리 /, 75/치로/' 같이 비교적 소리 이음이 자유롭고 이 때의 'ㅣ'는 /i/에 해당한다. 이에 반하여 일의 'ㄹ'은 'ㄹ' 겹차기 규칙을 준수하여 '11/일릴/, 12/일리/, 10/일령/' 같이 흡소리 사이에서 겹쳐서 나타난다. 그러나, 특이하게 '일'과 '오'가 연이어 나는 경우에는 '15/일로/ 보다 15/이로/'가 더 자연스러운데, 이 때의 'ㅣ'는 /i/라기 보다는 /ii/에 해당한다. 소리가음에 있어서 '팔'의 'ㄹ'은 '81/파릴/, 82/파리/, 85/파로/'의 경우 자연스럽지만, '86/팔륙/'은 그렇지 아니며, '86/파륙/'을 허용한 경우 '46/사륙/'과의 혼동 가능성이 있어 사의 인식률이 떨어지는 것으로 확인되었다[9].

'오'와 '구'의 음향적 특성도 그림 1-3을 통해서 관찰할 수 있는데, 'ㄱ'와 'ㄷ' 모두 제 1, 2 포먼트가 낮고 그 차이가 크지 않음을 알 수 있다. 그림에서는 'ㄱ'은 포먼트 전이가 일어나는 것으로 나타나는데 이는 뒤따라

오는 'ㅣ'음의 영향으로 해석해야 한다. '오'와 '구'가 잘 혼동되는 이유는 모음의 음향특성이 비슷하여 주된 차이가 안올림 터짐소리 'ㄱ'의 유무에 달려 있기 때문이다. 그림 1과 2의 '구'는 안올림 터짐소리 'ㄱ'이고, 그림 3의 '구'는 올림소리 'ㄱ'인데 그 음향학적 특성이 확연히 다를 수 있으며, 올림소리 'ㄱ'으로 실현된 '구'는 '오'처럼 시작음이 올림소리이고, 전술한 바와 같이 모음의 음향학적 특성이 비슷하므로 이러한 '구'와 '오'의 분별은 더욱 어려워진다. 한편 그림 1과 2에서 나타난 바와 같이 'ㄱ'이 안올림 터짐소리의 제 음가대로 발성이 되는 경우에도 '오' 앞에 약한 혀차기나 입술 부딪히는 소리가 있는 경우 '구'로 오인하기 쉽다. 이러한 문제를 완화하기 위해서 숫자 사이에 가비지 (garbage) 모델을 넣는 방법도 가능하지만, 본 논문에서는 연속음성인식에 기본적으로 사용되는 짧은 휴지시간 (short pause) 모델을 보다 정교하게 구성하여 이 문제를 완화하였다. 즉, 음성벡터가 관측되는 상태가 하나인 기존의 짧은 휴지시간 모델은 어절 경계에 쉼이 있거나 없는 경우를 표현하기 위해서 사용되었는데, 본 논문에서는 짧은 휴지시간 모델의 음성벡터가 관측되는 상태를 3개로 증가시켜 가

운데 상태가 약한 혀차기나 입술 부딪히는 소리부분을 표현할 수 있도록 함으로써 '오'와 '구'의 혼동 가능성을 줄였다. 그림 4에 본 논문에서 사용한 짧은 휴지기간 모델을 나타내었다. 그림에서 음성벡터가 관측되는 상태는 짙은색으로 표시하였다.

연결 숫자에서의 음운변화를 고려하여 정의된 유사음소에 기반하여 인식시스템을 구성하기 위해서 각 숫자가 어떠한 유사음소들의 순서열로 발생될 수 있는가를 정의해야 한다. 즉 하나의 숫자에 대해 복수의 발음을 정의한 발음사전을 만든다. 그리고, 각 숫자의 시작 유사음소와 끝 유사음소만을 고려하여 음소쌍 (phone-pair) 문법을 형성한다. 즉 임의의 숫자의 끝 유사음소 다음에 이어 올 수 있는 임의의 숫자의 시작 유사음소를 제한한다[9]. 이와 같이 실제 허용되는 유사음소 시퀀스가 발생하도록 구성함으로써 화자의 발성특성에 따른 다양한 음운변화를 인식시스템이 흡수할 수 있다.

III. 실험 및 결과

본 논문에서 사용된 음성데이터는 원광대에서 구축한 전화음성 인식엔진 평가용 연속음성 DB의 일부로서 8kHz로 샘플링되었으며, 864종의 4연 숫자조합 및 252명의 남성화자를 50 세트로 나누어 발성한 것이다. 각각의 화자는 집 또는 사무실에서 유/무선 전화기를 이용하여 4연 숫자를 발성하였다. 총 8000여 개의 데이터 중에서 70%를 모델훈련에, 30%를 인식실험에 사용하였다. 음성특징 파라미터로는 12차 MFCC와 에너지 기반의 38차 파라미터를 추출하였고, 사용된 모델은 트라이폰 기반 연속 확률밀도 (triphone-based continuous density) HMM이며, 각 모델은 5개의 상태를 가진다. 결정트리 기반의 군집화 (clustering)를 이용하여 전체 상태수를 약 600개로 제한하였다[10]. 전화망의 채널왜곡을 보상하기 위해 cepstral 평균 차감법 (CMS: cepstral mean subtraction)을 적용하였다[11].

음운변화를 고려하여 유사음소군을 정의하는데 따른 성능 차이를 확인하기 위해선 각각의 유사음소군에 따른 성능을 개별적으로 확인하는 것이 타당하지만, 화자의 발성특성에 따른 다양한 음운변화를 반영한 정확한 유사음소 시퀀스를 제공하지 못함으로 인해 야기될 수 있는 문제점을 최소화하면서 제안된 방식들의 성능을 확인하기 위해 각각 15, 16개의 유사음소로 구성된 2가지의 유사음소군을 정의하였다. 서론에서 언급한 것처럼 한국어

숫자는 7개의 자음과 6개의 모음, 총 13개의 음소로 구성되어 있었는데, 15 유사음소군은 숫자음에 나타나는 13개의 음소 중에서 초성과 종성의 'ㄱ'과 'ㄷ'을 구분하여 정의하였다. 즉, 표 1에서 /g/와 /gq/, /l/과 /r/을 구별하였다. 16 유사음소군은 15 유사음소군에서 2절에 설명된 것과 같이 숫자음 인식의 성능 향상을 위해 'ㅣ'음을 혀옆소리 ㄷ 앞의 'ㅣ' /ii/와 그 외의 'ㅣ' /i/로 분리하여 정의하였다. 기존 시스템은 15 유사음소군 및 음성벡터가 관측되는 상태가 하나인 기존 짧은 휴지기간 모델을 이용하며, 개별화자의 발성특성을 반영하지 않은 시스템으로 한다. 각각의 성능개선 방식을 적용함에 따른 시스템의 성능 개선 정도를 확인하기 위해 다음과 같이 실험을 수행하였다.

먼저 15 유사음소군에서 개별화자의 발성 특성에 따른 음운변화를 반영하여 각 숫자마다 복수의 발음을 정의하고 허용된 유사음소 시퀀스로 인식을 하는 경우와 화자의 발성특성을 반영하지 않고 각 숫자에 고정된 한가지 발음 형태만을 허용한 경우를 비교실험 하였다. 각 상태를 1개의 가우시안으로 모델링하여 실험한 결과 숫자열 인식이 개별화자의 발성특성을 반영한 인식시스템은 82.1%, 그렇지 않은 시스템은 81.9%였다. 이는 실제 연결숫자음에서는 여러 가지 다양한 음운변화가 나타나지만 15 유사음소로 제한된 경우 나타날 수 있는 개별화자의 발성특성은 소리의음에 따른 차이가 주가 되기 때문인 것으로 판단된다. 소리의음이 반영된 경우의 일, 칠, 팔의 인식률은 각각 93.7%, 96.6%, 97.8%이며, 그렇지 않은 경우는 각각 90.8%, 95.8%, 97.1%로 화자의 발성특성을 반영하면 성능 개선이 이루어짐을 확인할 수 있었다. 그러므로 발성 특성에 따른 보다 다양한 음운변화를 반영한다면 성능향상의 정도가 더욱 두드러질 것으로 기대된다. 이후 실험은 개별화자의 발성특성을 반영한 발음사전 및 인식시스템으로 수행하였다.

다음으로 그림 4와 같이 짧은 휴지기간 모델을 개선한 경우의 성능을 확인하였다. 개선된 짧은 휴지기간 모델을 사용한 경우 82.7%의 숫자열 인식을 나타내었는데, 이는 그렇지 않은 경우의 82.1%에 비해 약간의 성능 향상이 있었다. 개선된 짧은 휴지기간 모델을 사용함으로써 오의 경우 95.8%에서 96.1%로 성능이 개선되었지만 구의 경우 오히려 93.8%에서 93.4%로 인식이 떨어졌다. 각 숫자들의 인식률을 분석한 결과 일, 이, 영은 각각 1.4%, 1.6%, 0.4%가 향상되었으나 공, 칠은 각각 0.5%, 1.0%가 떨어진 것으로 나타났다. 이 결과를 종합해 보면 터짐소리 및 불같이소리 (파찰음)로 시작하는 숫자의 인식이 조금씩 떨어지고, 모음으로 시작하는 숫자의 인식이

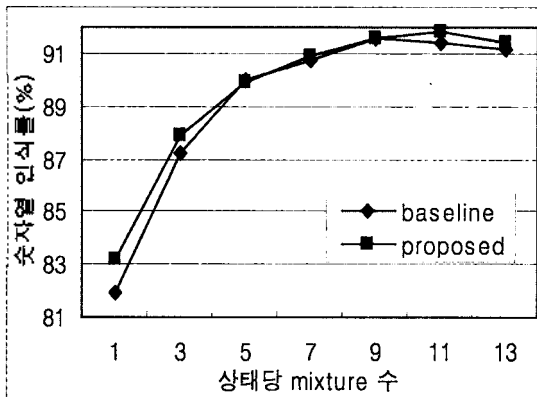


그림 5. 믹스처 개수에 따른 숫자열 인식률
Fig. 5. Recognition accuracy of digit string versus the number of mixture.

조금 개선되어 전체 성능을 약간 개선한 것으로 나타났다. 결국 개선된 짧은 휴지기간 모델은 모음으로 시작하는 숫자음 앞의 약한 혀차기나 입술 부딪히는 소리로 인한 문제를 완화하는 효과는 있지만 여전히 개선의 여지가 존재함을 확인할 수 있었다. 이후 실험은 개선된 짧은 휴지기간 모델을 이용하여 실험을 수행하였다.

마지막으로 2절에서 설명한 바와 같이 'l'를 /ii/와 /i/로 구분하여 유사음소를 정의한 16 유사음소군의 성능을 실험하였다. 16 유사음소군의 숫자열 인식률은 83.2%로 나타났는데 이 또한 'l'의 음향특성을 고려하기 전의 성능 82.7%에 비해 약간의 성능 개선이 있음을 확인할 수 있었다. 기존 시스템의 성능 81.9%에 비해서는 1.3%의 성능향상이 있었다. 지금까지는 상태당 1개의 가우시안 함수를 사용하여 실험을 하였는데, 모델의 정교성을 높여 갈 때에도 여전히 제안된 방식들의 효과가 있는지를 확인하기 위해 믹스처 개수를 늘려 가면서 기존 시스템과의 숫자열 인식률을 비교하였다. 실험 결과를 그림 5에 나타내었다.

기대하는 바와 같이 각각의 성능은 믹스처 개수를 늘려 갈 때 어느 정도까지는 인식률이 증가하다가 그 이후로는 감소하며, 한국어 숫자음의 특성을 반영하여 정의한 유사음소군이 일관되게 조금 더 나은 성능을 나타냄을 알 수 있다. 제안된 방식은 믹스처 개수가 11인 경우 91.8%의 성능을 나타내었으며, 이 경우 기존 시스템의 성능은 91.4%였다. 그림에서 알 수 있듯이 믹스처 개수가 적을 때 성능차이가 좀더 크게 나타나며, 믹스처 개수가 늘어남에 따라 그 차이가 줄어들는데 이는 'l'의 음향특성을 고려하여 /ii/와 /i/로 구분함에 따라 상대적인 훈련데이터의 감소에 기인하여 추정된 파라미터 신뢰도가 떨어지

기 때문인 것으로 판단된다. 실제로 제안된 방식의 경우 일과 이는 믹스처 개수가 각각 7, 9일 때 96.9%, 95.2%를 정점으로 떨어지며, 칠은 믹스처 개수가 11일 때 98.5%로 수렴하였다. 그러나 기존 시스템에서는 일과 이와 칠은 믹스처 개수가 9일 때 각각 94.6%, 97.9%를 정점으로 떨어짐을 확인할 수 있었다. 만약 훈련데이터가 좀더 충분히 주어진다면 제안된 방식의 훈련데이터 부족현상이 완화될 것이므로 적절한 수준의 모델 정교성을 유지하는 범위 내에서는 보다 나은 성능을 보장해 줄 것이라 기대된다. 이상의 실험을 통해서 한국어 숫자의 특징 분석 결과를 토대로 그 특성 및 화자의 발성특성을 고려하여 확인한 차이는 아니지만 성능을 개선시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

IV. 결론

본 논문에서는 한국어 연결숫자 인식시스템의 성능을 향상시키기 위해 숫자 사이의 다양한 음운변화 및 숫자에서 자주 오인식이 일어나는 쌍들에 대한 특징 분석에 근거하여 유사음소군을 정의하고, 사용자의 발성 형태에 따른 다양한 음운변화를 흡수할 수 있도록 인식시스템을 구성하였다. 제안된 방법에 의한 숫자열 인식률은 상태당 믹스처 개수가 1인 경우 83.2%로, 기존 시스템에 대한 오류감소율이 7.2%였고, 가장 높은 성능을 나타낸 믹스처 개수가 11인 경우 숫자열 인식률은 91.8%, 오류감소율은 4.7%였다. 숫자열에 대한 인식률 개선이 두드러진 것은 아니지만 숫자음의 음운변화의 특성을 고려하여 유사음소군을 정의하고 화자의 발성특성에 따른 음운변화를 반영하여 성능이 향상됨을 확인할 수 있었다. 한국어 숫자음에 나타나는 좀더 다양한 음운변화 특성을 반영한다면 추가적인 성능향상이 있을 것으로 기대된다. 이를 위해선 숫자음에 나타나는 다양한 음운변화에 따른 훈련데이터의 정확한 유사음소 시퀀스를 얻기 위한 연구가 선행되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 2001년도 '대용량 음성 (음향)/ 언어/영상 DB 구축 및 표준화 과제'의 일환으로 수행되었습니다.

참고 문헌

1. M. A. Bush and G. E. Kopec, "Network-based connected digit recognition," *IEEE Trans. on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 35 (10), 1401-1413, Oct, 1987.
2. L. R. Rabiner, J. G. Wilpon and F. K. Soong, "High performance connected digit recognition, using hidden Markov models," *Proc. ICASSP*, 119-122, 1988.
3. G. R. Doddington, "Phonetically sensitive discriminants for improved speech recognition," *Proc. ICASSP*, 556-559, 1989.
4. J. G. Wilpon, C. H. Lee and L. R. Rabiner, "Improvements in connected digit recognition using higher order spectral and energy features," *Proc. ICASSP*, 349-352, 1991.
5. Y. Normandin, R. Cardin and R. De Mori, "High-performance connected digit recognition using maximum mutual information estimation," *IEEE Trans. on Speech and Audio Processing*, 2 (2), 299-311, Apr. 1994.
6. 김기성, 김승희, 김형순, 지민재, "한국어 연결숫자인식을 위한 숫자 모델링에 관한 연구," 제15회 음성통신 및 신호처리 워크샵 논문집, 15 (1), 293-297, 1998.
7. 남기삼, 고영근, *표준 국어문법론*, 탑출판사, 88-89, 1996.
8. 허 응, *국어음운학 -우리말 소리의 오늘 어제-*, 샘문화사, 260-261, 1999.
9. 송명규, 김형순, "한국어 숫자음에서의 음운변화를 고려한 연결

- 숫자 인식의 성능향상," 한국음향학회 추계학술발표대회 논문집, 20 (2(s)), 105-108, 2001.
10. 송명규, 김형순, "음소 모델링 방식들의 성능비교," 한국음향학회 학술발표대회 논문집, 17 (2(s)), 377-380, 1998.
11. S. G., Chon, M. G., Song and H. S. Kim, "Performance comparison of several channel compensation methods in connected digit recognition," *Proc. ICSP*, 897-900, 2001.

저자 약력

● 송 명 규 (Myung Gyu Song)



1996년 2월: 부산대학교 공과대학 전자공학과 (공학사)
 1998년 2월: 부산대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
 2000년 2월: 부산대학교 대학원 전자공학과 (박사과정 수료)
 2002년 3월 ~ 현재: 부산경상대학교 인터넷정보과 전
 임강사
 ※ 주관심분야: 음성인식, 음성신호처리

● 김 형 순 (Hyung Soon Kim)

한국음향학회지 제17권 제3호 참조
 현재: 부산대학교 전자공학과 부교수