DBpia

논문 02-27-8A-5 한국통신학회논문지 '02-8 Vol.27 No.8A

CW Morse 신호 인식을 위한 신호처리 기법

정회원 손 영 채*, 임 동 민**, 태 기 철***, 김 청 섭***, 함 영 권***, 김 창 주***

Signal Processing Techniques for Recognition of CW Morse Signals

Young-Chae Son*, Dongmin Lim**, Ki-Cheol Tae***, Chung-Sub Kim***,
Young-Kwon Hahm***, Chang-Joo Kim*** *Regular Members*

요 약

CW Morse 신호의 인식은 톤과 스페이스를 구별하는 신호 검출 과정, 잡음 제거 등의 신호처리 과정, 톤/스페이스를 판별하는 과정, 판별된 톤과 스페이스 순열을 문자로 변환하는 과정, 변환된 문자 메시지를 반복 구문 등을 이용하여 오류정정을 수행하는 과정으로 나눌 수 있다. 본 논문에서는 신호의 페이딩에 효과적으로 대처하기 위하여 주파수 영역에서 피크의 형성 유무로 신호를 검출하는 방법을 제안하고 검출된 다수의 주파수 피크 성분을 합성하고 잔여 신호 성분 및 잡음을 제거하는 방법을 제시한다. 톤/스페이스의 판별에는 LMS 적응 판별법을 이용하였으며 초기치 설정 방법 및 오동작 조건을 분석하였다. 실제 수신된 CW Morse 신호를 이용한 인식 실험을 수행하였으며 제안된 방법이 신호의 페이딩이 심한 경우에도 우수한 인식 성능을 나타냄을 확인하였다.

ABSTRACT

Recognition of CW Morse signals can be divided into several phases such as detection of tones and spaces, signal processing for removing noise from detected signals, decision of tones/spaces, mapping a sequence of tones and spaces into characters, error correction of a character message with textual repetition. In this paper, in order to cope with signal fading effectively we propose a signal detection method of identifying peaks in the frequency domain and present techniques for combining multiple frequency peaks and for removing residual signal components and noise. LMS adaptive method is applied for decision of tones/spaces, and initial value setting and malfunctioning conditions are analyzed. In recognition experiments, we used CW Morse signals collected by radio receivers and found that the proposed method achieves good recognition performance even in severe fading conditions.

I. 서 론

1837년 Samuel Morse에 의해 완성된 Morse 부호는 1844년 미국의 Washington, D.C.와 Baltimore 사이의 전신에 이용됨으로써 장거리 통신의 중요한 수단으로 등장하였다[1]. 전자통신 분야의 다양하고 급속한 기술 발전과 더불어 통신 수단으로서의 Morse 부호의 중요성은 감소하였지만 선박에서의 조난신호 전송, 아마추어 무선, 재활공학 (rehabilitation engineering) 등의 분야에서 여전히 효율적인 통신 수단의 하나로 이용되고 있다. Morse 신호는 채널에서의 페이딩, 간섭, 잡음 등의 영향에 의해 신호 품질이 저하될 뿐만 아니라 수작업에 의한 Morse 신호의 발신으로 인하여 수신된 신호가 통계적으로 불규칙한 특성을 지니게 되어 Morse 신호의 정확한 수신에는 높은 숙련도가 요구된다. 따라서 여러 응용 분야에서 Morse 신호를 자동으로 인식하는 시스템에 대한 필요성이 대두되고 있으며 효율적인 자동인식 알고리즘에 대한 연구가 진행되고 있다. 예를 들어 재활공학의 분야에서는 신체적 장애로 인하여 일반적인 형태의 키보드를 통하여 컴퓨터를 이용하는 것이 어려운 사람들을 위하여 신

* 한국항공우주산업, ** 경상대학교 전자공학과 (dmlim@gsnu.ac.kr), *** 한국전자통신연구원
논문번호 : 020099-0228, 접수일자 : 2002년 2월 28일

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.
www.dbpia.co.kr

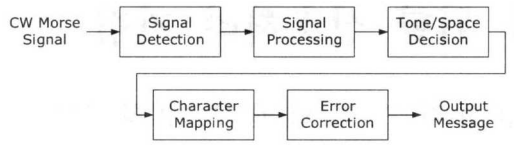


그림 1. CW Morse 신호의 인식 과정

체 일부의 움직임을 Morse 부호로 변환하여 컴퓨터를 이용하고 인터넷에 접속하는 방안에 대한 연구가 수행되고 있다[2],[3].

CW (continuous wave) Morse 신호는 CW 신호를 단속하여 만들어지며 CW 신호가 존재하는 톤 (tone) 구간과 신호가 없는 스페이스 (space) 구간이 반복되는 형태이다. 톤은 길이가 상대적으로 짧은 도트 (dot)와 길이가 긴 대시 (dash)로 나누어지며 표준 Morse 신호에서 도트 대 대시 길이의 비는 1:3이다[2],[3]. 스페이스는 하나의 문자 내에서 도트/대시 사이를 분리하는 상대적으로 짧은 길이의 도트 스페이스 (dot-space)와 문자 사이를 분리하는 긴 길이의 문자 스페이스 (character-space)로 나눌 수 있으며 표준 Morse 신호에서의 도트 스페이스 대 문자 스페이스 길이의 비는 1:3이다[2],[3]. 여러 문자가 하나의 단어를 이루는 경우 단어와 단어 사이는 일반적으로 보다 긴 길이의 스페이스가 사용된다. CW Morse 신호의 인식은 라디오 수신기에서 주파수 변환 (frequency conversion)을 통하여 얻어진 가청 주파수 대역의 Morse 신호에서 톤과 스페이스를 구별하는 신호검출 과정, 잡음 제거 등의 신호처리 과정, 톤을 도트와 대시로, 스페이스를 도트 스페이스와 문자 스페이스로 판별하는 과정, 판별된 톤과 스페이스 순열을 문자로 변환하는 과정, 변환된 문자 메시지를 예약어, 반복 구문 등을 이용하여 오류정정을 수행하는 과정으로 나눌 수 있다. CW Morse 신호의 인식 과정을 그림 1에 나타내었다.

논문의 구성은 제 2장에서 Morse 신호의 주파수 영역에서 피크 (peak) 형성 유무에 따라 신호를 검출하는 방식을 설명하며 검출된 다수의 주파수 성분을 합성하고 잔여 신호 성분 및 잡음을 페이딩으로 감쇠된 신호와 분리하여 제거하는 신호처리 알고리즘을 제시한다. 제 3장에서는 검출된 신호에서 도트/대시와 도트 스페이스/문자 스페이스를 LMS (least mean square) 방식을 이용하여 적응적으로 판별하는 방법을 소개하고 초기치 설정 방법 및 오동작 조건을 분석한다. 제 4장에서는 실제 CW Morse 신호를 이용한 실험 결과를 제시하고 개선 방법을 모색한다. 제 5장에서는 결론을 정리한다.

Ⅱ. Morse 신호의 검출

Morse 신호의 검출은 신호가 존재하는 구간인 톤과 신호가 존재하지 않는 구간인 스페이스를 구별하는 과정이다. 톤 구간의 파형은 일반적으로 송수신 과정에서 발생하는 비선형 왜곡으로 인하여 다수의 주파수 성분을 포함한다. 톤의 검출에는 톤을 구성하는 주파수 성분을 추출하여 그 크기가 설정한 임계치 이상인 경우에는 톤으로 이하인 경우에는 스페이스로 구별하는 방법을 이용할 수 있다. 임계치를 이용하는 방법은 신호의 페이딩이 존재하는 경우 신호 검출에 어려움이 발생하며 성능 개선을 위해서는 신호의 페이딩 정도에 따라 임계치를 적응적으로 변화시키는 방법이 요구된다. 신호의 페이딩이 심한 경우에는 추출된 신호의 크기에 임계치를 적용하는 방법보다는 검출 구간에서 신호의 주파수 특성이 톤의 주파수 특성과 얼마나 유사한가에 따라 톤과 스페이스로 구별하는 방식이 보다 효과적이라고 판단된다.

2.1 주파수 영역에서의 피크 검출

주파수 영역에서 톤은 송수신 과정에서 발생하는 비선형 왜곡으로 인하여 다수의 주파수 성분으로 구성되는 특성을 나타내며 스페이스는 여러 주파수 성분이 균일하게 분포하는 잡음의 특성을 가지고 있다. 그림 2에 주파수 변환을 통하여 가청 주파수 대역의 신호로 변환된 CW Morse 신호를 나타내었다. 변환된 가청 주파수 대역의 신호는 복소수 값을 가지며 원래의 대역통과 (bandpass) 신호에 대한 저주파 등가신호 (lowpass equivalent signal)에 해당한다[1]. 반송파 주파수가 f_c인 일반적인 대역통과 신호 $f(t)$를 동위상 (in-phase) 성분 $f_I(t)$와 직교위상 (quadrature) 성분 $f_Q(t)$로 표현하는 경우 저주파 등가신호 $\tilde{f}(t)$는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} f(t) &= f_I(t)\cos(2\pi f_c t) - f_Q(t)\sin(2\pi f_c t) \\ \tilde{f}(t) &= f_I(t) + j f_Q(t) \end{aligned} \quad (1)$$

그림 2(a)는 이 Morse 신호의 동위상 성분을 나타내고 있으며 신호 대 잡음비가 양호하여 파형으로부터 비교적 용이하게 톤과 스페이스를 구별할 수 있다. 그러나 그림 2(b)에서 spectrogram[4]으로 나타낸 신호의 주파수 영역에서의 특성을 살펴보면 톤과 스페이스가 보다 분명히 구별됨을 알 수 있다.

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

www.dbpia.co.kr

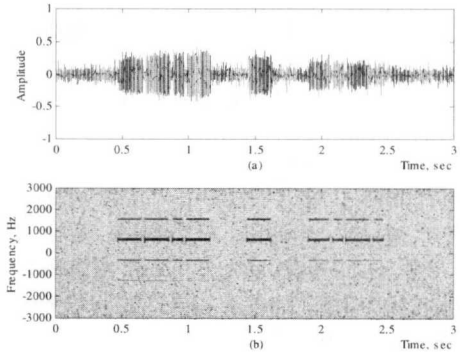


그림 2. CW Morse 신호: Q(--.-) T(-) C(-.-.)
(a) 동위상 성분의 파형 (b) spectrogram

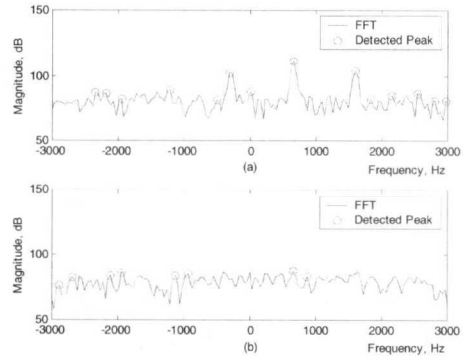


그림 3. 주파수 영역에서의 피크 검출
(a) 톤 부분 (b) 스페이스 부분

주파수 영역에서 톤과 스페이스를 구별하는 방법은 장구간 관찰을 통해 기준으로 사용할 톤의 주파수 특성을 파악한 후 각 검출 구간의 주파수 특성과 유사성을 비교하는 방식을 이용할 수 있다. 각 검출 구간에서 주파수 특성에 대한 정보를 보다 많이 이용할수록 톤과 스페이스 식별의 정확도가 증가할 것으로 기대되지만 유사성의 비교 과정 또한 복잡해지는 어려움이 발생한다. 가장 간단한 방법의 하나는 톤의 주파수 특성을 주파수 영역에서 피크가 형성되는 주파수 성분으로 설정하는 것이다. CW Morse 신호와 같은 협대역 신호에 대해서는 신호의 페이딩은 주파수 비선택적이며 따라서 주파수 영역에서의 피크는 신호의 페이딩과 무관하게 검출할 수 있는 장점이 있다. 주파수 영역에서 나타나는 피크를 다음부터 간단히 "주파수 피크"로 부르기로 한다. 주파수 피크에 대한 기준은 여러 가지로 정할 수 있으며 이에 따라 검출되는 주파수 피크의 수가 달라지게 된다. 그림 3(a)는 그림 2에서 톤에 속하는 1.1초 부근의 주파수 특성이며 그림 3(b)는 스페이스에 속하는 1.3초 부근의 주파수 특성을 나타낸다. 그림에서 Morse 신호의 동위상 성분 및 직교위상 성분 모두 10k 샘플/초의 샘플링 속도를 이용하여 이산신호로 변환하였으며 256 포인트 FFT를 사용하여 주파수 분해능은 약 39.1Hz가 된다. 주파수 피크는 FFT 데이터의 절대치를 5 포인트 단위로 조사하여 5 포인트 범위의 중심에서 최대치를 가지며 범위 양 끝점에서 6dB 이상 감쇠하는 것을 기준으로 검출하였다.

전체적인 Morse 신호 검출은 장구간 관찰에 의한 톤에 대한 기준 주파수 피크를 검출하고 최적치를 선정하는 과정과 각 검출 구간에 대하여 기준 주파수 피크의 형성 유무를 검사하여 톤과 스페이스로 식별하는 과정으로 나눌 수 있다. 톤에 대한 기준 주파수 피크의 검출에는 신호의 전 구간에서 전력밀도함수를 구하는 periodogram[4] 방식으로 신호의 스펙트럼을 구하여 위에서 언급한 주파수 피크에 대한 기준을 적용하였다. 실험에서 이용한 Morse 신호는 도트 구간과 도트 스페이스 구간이 수십 ms 정도로 조사되어 신호 검출 구간을 64 샘플로 구성하였다. 샘플링 속도는 10k 샘플/초이며 따라서 신호 검출 구간인 한 프레임의 길이는 6.4ms이다. 각 검출 구간에 대하여 3개의 프레임을 겹쳐가며 각 4개 프레임에 대한 스펙트럼을 256 포인트 FFT로 구하여 주파수 피크를 검출하였다. 그림 4에 전체적인 Morse 신호 검출 과정을 도시하였다. 최종 검출된 신호로는 그림 4에서와 같이 기준 주파수 피크 성분 중에서 지속적으로 검출되어 간섭 신호라고 판단되는 것을 제외한 나머지 성분 중 최대치를 선택할 수도 있으며 검출된 다수 주파수 피크 성분을 합성할 수도 있다.

다수의 주파수 피크 성분이 검출되는 경우 최대치를 선택하는 방법은 신호의 전력이 하나의 주파수 피크 성분에 집중되어 있는 경우에 매우 효과적이다. 그러나 신호의 전력이 다수의 주파수 피크 성분에 분포되어 있는 경우에는 상관관계가 높은 주파수 피크 성분들을 합성하는 것이 보다 효과적이라고 판단된다. 특히 신호 전력의 주파수 분포도가 시간에 따라 변하는 경우에는 주파수 피크 성분의 합성은 주파수 다이버시티 수신과 동일한 효과를 가진다. 검출된 주파수 피크의 합성에는 기준 주파수 성분 중에서 지속적으로 검출되어 간섭 톤이라고 판단되는 것을 제외한 나머지 성분 중에서 최대

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.
www.dbpia.co.kr

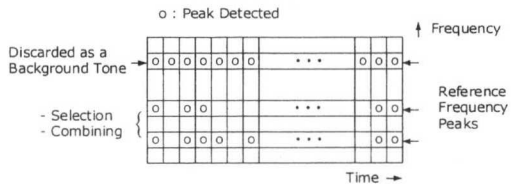


그림 4. 주파수 피크를 이용한 Morse 신호의 검출 과정

치와의 상관관계가 일정 기준 이상인 성분만을 선택하여 전력을 합성하는 방법을 이용하였다. 두 개의 주파수 피크 성분을 백터 $\vec{x}$와 $\vec{y}$로 표시하면 이 두 성분 사이의 상관관계 조사에는 다음과 같이 정의되는 상관계수 (correlation coefficient)를 이용하였다[1].

$$\rho = \frac{\mathrm{cov}(\vec{x}, \vec{y})}{\sigma_{\vec{x}}\,\sigma_{\vec{y}}} \tag{2}$$

위 식에서 cov( )는 두 벡터의 공분산, σ는 벡터의 표준편차를 표시한다. 최종 검출된 신호 $\vec{z}$는 최대치와의 상관계수가 0.7 이상인 주파수 피크 성분 $\vec{z}_i$를 선택하여 다음과 같이 합성하여 구하였다.

$$\vec{z}_i(j) = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} \vec{z}_i^{\,2}(j)} \tag{3}$$

위 식에서 $\vec{z}_i(j)$는 벡터의 j번째 성분을 나타내며 N은 선택된 주파수 피크 성분의 수를 표시한다. 그림 5에 주파수 피크의 전력 합성에 의한 Morse 신호 검출 결과를 나타내었다. 그림 5(a)는 Morse 신호의 동위상 성분이며 페이딩으로 인한 신호 크기의 변화를 관찰할 수 있다. 그림 5(b)는 주파수 피크의 전력 합성에 의해 검출된 신호이다.

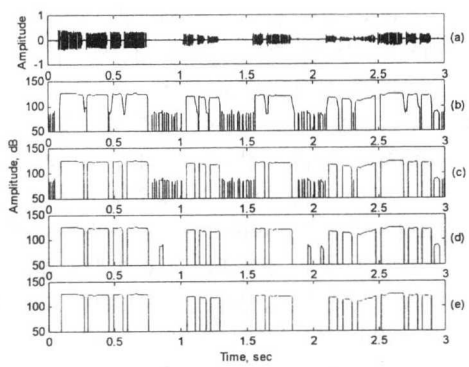


그림 5. Morse 신호 검출 결과: Q(--.-) S(...) A(.-) ?(..--..)
(a) 동위상 성분의 파형
(b) 주파수 피크의 전력 합성에 의해 검출된 신호
(c) 잔여 신호 성분이 제거된 신호
(d) 단구간 잡음이 제거된 신호
(e) 최종 검출된 신호

2.2 잔여 신호 성분 및 잡음의 제거

그림 5(b)에서 알 수 있듯이 주파수 피크는 톤 구간뿐만 아니라 스페이스 구간에서도 톤의 잔여 성분, 간섭 신호, 잡음 등의 원인으로 검출된다. 그림 5(b)의 0.5~1초, 1.5~2초, 2.5~3초 구간에 존재하는 톤 신호의 경우 톤이 시작하고 종료되는 부분에서의 잔여 성분으로 인하여 톤과 톤 사이의 스페이스 구간에서 주파수 피크가 연속적으로 검출되고 있다. 잔여 신호 성분은 톤의 시작과 끝 부분에서 나타나므로 잔여 성분의 제거에는 각 주파수 피크 구간의 실효치를 구한 다음 이 값을 기준으로 임계치를 설정하여 임계치 이하의 값들은 제거하는 방법을 이용한다. 이 경우 임계치의 설정은 신호 검출 성능에 큰 영향을 줄 수 있다. 임계치가 너무 높게 설정된 경우 원래 하나의 톤이 둘 이상의 톤으로 분리되는 경우가 발생할 수 있으며 너무 낮은 경우에는 잔여 신호 성분이 제거되지 않을 가능성이 증가한다. 잡음으로 인하여 검출된 주파수 피크는 그 불규칙한 특성상 톤과 비교하여 대부분 단구간 존재한다. 따라서 지속 구간이 일정 값 이하인 주파수 피크는 잡음으로 간주하여 제거할 수 있다. 잡음, 간섭 신호 등으로 인한 장구간 주파수 피크는 페이딩으로 인해 감쇠된 톤 신호와 구별이 쉽지 않다. 신호의 최대 페이드 기울기 (maximum fade slope)를 추정할 수 있을 때에는 검출된 주파수 피크가 인접 신호에서 최대 페이드 기울기를 적용하여 감쇠 가능한 경우에는 신호로 그렇지 않은 경우에는 잡음으로 간주하여 제거할 수 있다. 그림 6에서 신호 (a)는 인접 신호들이 최대 페이드 기울기 라인의 아래에 있으므로 페이드가 발생한 신호일 가능성이 높은 반면 신호 (b)는 인접 신호들이 최대 페이드 기울기 라인의 위에 있으므로 잡음으로 간주하여 제거할 수 있다.

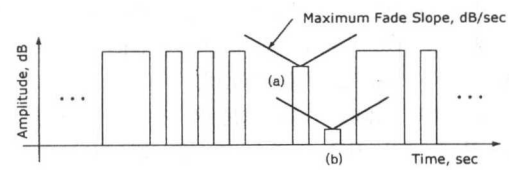


그림 6. 페이딩이 발생한 신호와 잡음의 식별

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

www.dbpia.co.kr

그림 5(c)~(e)에 그림 5(b)의 주파수 피크의 전력 합성에 의해 검출된 신호에서 잔여 신호 성분 및 잡음을 제거한 결과를 도시하였다. 잔여 신호 성분 제거를 위한 임계치는 주파수 피크 구간 실효치의 6dB 이하 값으로 설정하였으며 5 프레임 구간 (5 × 6.4ms) 미만의 주파수 피크는 잡음으로 간주하여 제거하였다. 신호의 최대 페이드 기울기는 20dB/sec로 추정하여 신호의 앞뒤 각 5초의 구간에서 페이드 발생 여부를 조사하였다. 그림 5(c)는 잔여 신호 성분을 제거한 결과이며 톤과 톤 사이의 잔여 신호 성분이 모두 제거되었음을 알 수 있다. 그림 5(d)는 단구간 잡음을 제거한 결과이다. 대부분의 잡음은 제거되었으나 4 군데의 장구간 주파수 피크는 제거되지 않았으며 페이딩이 발생한 신호일 가능성을 최대 페이드 기울기를 적용하여 검사한 결과 이 경우는 그림 5(e)와 같이 모두 제거할 수 있었다.

Ⅲ. Morse 신호의 판별

Morse 신호에서 톤과 스페이스의 검출이 완료되면 다음 단계는 톤은 도트와 대시로 스페이스는 도트 스페이스와 문자 스페이스로 판별하는 것이다. 톤과 스페이스의 통계적 특성은 발신자에 따라 또한 시간이 경과함에 따라 변화할 수 있다. 따라서 도트/대시, 도트 스페이스/문자 스페이스를 판별하는 임계치를 톤과 스페이스 길이의 국부적인 통계적 특성을 반영하여 적응적으로 변화시키는 방법을 이용할 수 있다. 최근에 발표된 좀더 체계적인 방법은 두 개의 선형 적응 예측 필터를 사용하고 필터 계수의 갱신에 LMS 알고리즘을 이용하고 있다[2].

3.1 LMS 적응 판별법

Morse 신호의 톤과 스페이스를 판별하기 위한 LMS 적응 판별 시스템[2]의 구조를 그림 7에 도시하였다. 톤과 스페이스로 검출된 신호는 각 구간의 길이 정보를 추출하여 톤과 스페이스로 분류한 다음 각각의 판별 시스템에 입력된다. 판별 시스템의 주요 구성 요소는 단위 길이 (도트 또는 도트 스페이스의 길이)와 두 요소의 길이 차이 (대시의 길이 − 도트의 길이 또는 문자 스페이스의 길이 − 도트 스페이스의 길이)를 예측하는 두 개의 선형 적응 필터, LMS 필터 계수 갱신 알고리즘, 임계치에 의한 판별 과정으로 나눌 수 있다.

그림 7의 판별 시스템에 톤의 길이 정보가 입력

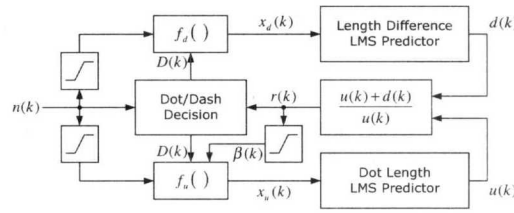


그림 7. Morse 신호 LMS 적응 판별 시스템[2]

되는 경우를 가정하여 개략적인 동작을 설명하면 다음과 같다. 입력 톤의 길이 정보를 $n(k)$, 도트 길이의 예측치를 $u(k)$, 대시와 도트의 길이 차이의 예측치를 $d(k)$로 표시한다. 시점 k에서 $n(k)$가 입력되면 우선 다음 식에 의해 도트와 대시 길이의 비 $r(k)$와 임계치 $h(k)$를 구한다.

$$r(k)=\frac{u(k)+d(k)}{u(k)} \tag{4}$$

$$h(k)=\frac{2r(k)u(k)}{1+r(k)} \tag{5}$$

식 (5)의 임계치를 이용하여 입력 $n(k)$가 임계치 보다 작으면 도트로 임계치 보다 크면 대시로 판별한다.

$$D(k)=\begin{cases}\text{dot}, & \text{if } n(k)\le h(k)\\ \text{dash}, & \text{if } n(k)>h(k)\end{cases} \tag{6}$$

다음 시점 $k+1$에서의 예측치 $u(k+1)$과 $d(k+1)$은 다음과 같이 구해진다. 도트 길이에 대한 선형 예측 필터의 입력을 $x_u(k)$로 대시와 도트 길이 차이에 대한 선형 예측 필터의 입력을 $x_d(k)$로 표시하면 입력 $x_u(k)$와 $x_d(k)$는 다음과 같이 결정된다.

$$m(k)=\begin{cases}n_{\min}, & \text{if } n(k)\le n_{\min}\\ n(k), & \text{if } n_{\min}<n(k)<n_{\max}\\ n_{\max}, & \text{if } n(k)\ge n_{\max}\end{cases} \tag{7}$$

$$\beta(k)=\min(r(k),\beta_{\min}) \tag{8}$$

$$x_u(k)=\begin{cases}m(k), & \text{if } D(K)=\text{dot}\\ m(k)/\beta(k), & \text{if } D(K)=\text{dash}\end{cases} \tag{9}$$

$$x_d(k)=\begin{cases}u(k)+d(k)-m(k), & \text{if } D(K)=\text{dot}\\ m(k)-u(k), & \text{if } D(K)=\text{dash}\end{cases} \tag{10}$$

위 식에서 $n_{\min}$, $n_{\max}$, $\beta_{\max}$는 인식 대상인 Morse 신호의 통계적 특성을 분석하여 설정한다. 다음으로 필터 입력 $x_u(k)$, $x_d(k)$와 이에 대한 예측치 $u(k)$, $d(k)$와의 오차 $e_u(k)$, $e_d(k)$를 계산하여

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.
www.dbpia.co.kr

필터의 계수 $\vec{c}_u(k)$, $\vec{c}_d(k)$를 LMS 알고리즘에 따라 갱신한다.

$$\begin{aligned} e_u(k) &= x_u(k) - u(k) \\ e_d(k) &= x_d(k) - d(k) \end{aligned} \tag{11}$$

$$\begin{aligned} \vec{c}_u(k) &= \vec{c}_u(k-1) + 2\mu e_u(k)\ \vec{x}_u(k-1) \\ \vec{c}_d(k) &= \vec{c}_d(k-1) + 2\mu e_d(k)\ \vec{x}_d(k-1) \end{aligned} \tag{12}$$

위 식에서 μ는 LMS 알고리즘의 스텝 계수이며 $\vec{x}_u(k-1)$, $\vec{x}_d(k-1)$은 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} \vec{x}_u(k-1) &= [x_u(k-1), \ldots, x_u(k-L)] \\ \vec{x}_d(k-1) &= [x_d(k-1), \ldots, x_d(k-L)] \end{aligned} \tag{13}$$

마지막으로 선형 예측 필터에 의해 다음과 같이 $u(k+1)$, $d(k+1)$을 구할 수 있으며 이 과정이 반복된다.

$$\begin{aligned} u(k+1) &= \vec{c}_u(k)\ \vec{x}_u{}^T(k) \\ d(k+1) &= \vec{c}_d(k)\ \vec{x}_d{}^T(k) \end{aligned} \tag{14}$$

식 (13), (14)에서 L은 선형 예측 필터의 탭수이며 $(\ )^T$는 전치행렬을 나타낸다.

3.2 초기치의 설정

앞에서 기술한 LMS 적응 판별 시스템의 경우 두 개의 선형 적응 필터를 사용하고 서로의 동작이 연관성을 가지고 있어 초기치의 설정이 전체 알고리즘의 수렴 특성에 큰 영향을 미친다. 실험에서 사용한 초기치 설정 방법은 식 (15)와 같다. 우선 실험에 사용할 Morse 신호의 통계적 특성을 분석하여 도트의 평균 길이 $\bar{n}_{dot}$는 10 포인트, 대시의 평균 길이 $\bar{n}_{dash}$는 30 포인트로 설정하였다. 여기서 1 포인트는 한 프레임의 길이에 해당하며 6.4ms이다.

$$\begin{aligned} u(0) &= \bar{n}_{dot} \\ d(0) &= \bar{n}_{dash} - \bar{n}_{dot} \\ \vec{x}_u(-1) &= [\bar{n}_{dot}, \ldots, \bar{n}_{dot}] \\ \vec{x}_d(-1) &= [\bar{n}_{dash} - \bar{n}_{dot}, \ldots, \bar{n}_{dash} - \bar{n}_{dot}] \\ \vec{c}_u(-1) &= [1/L, \ldots, 1/L] \\ \vec{c}_d(-1) &= [1/L, \ldots, 1/L] \end{aligned} \tag{15}$$

실제 판별에 앞서 필터 계수를 최적치로 수렴시키는 과정이 요구되며 이 훈련구간의 길이는 입력 신호의 특성과 LMS 알고리즘의 스텝 계수의 크기에 따라 결정된다.

LMS 적응 판별 시스템은 임계치에 의해 도트와 대시가 판별되므로 임계치가 도트의 평균치와 대시의 평균치 사이의 범위를 벗어나게 되면 오동작이 발생하게 된다. 예를 들어 짧은 길이의 잡음이 일정 구간 동안 연속적으로 입력되는 경우 도트에 대한 예측치가 감소하게 되며 따라서 임계치도 감소하게 된다. 그 후 다시 정상 길이의 도트 또는 대시가 입력되면 낮아진 임계치로 인하여 도트/대시 모두 대시로 판별되며 이러한 상태가 상당 시간 지속되는 현상이 발생할 수 있다. 이러한 경우는 필터의 탭수를 잡음 발생 구간 보다 충분히 큰 값 (L=20)으로 선택하면 오동작 발생을 억제할 수 있다.

Ⅳ. 실험 결과 및 검토

Morse 신호 인식 실험에서는 실제 CW Morse 신호를 대상으로 주파수 피크 형성 유무에 의한 신호 검출과 LMS 적응 판별법을 적용하였다. 스페이스로 분리된 도트와 대시 순열은 표 1의 확장 Morse 코드표를 이용하여 문자로 변환하였다. 표 1에서 괄호 안의 소문자는 오류정정 과정에서 사용하기 위한 문자 표기이며 표에 나타나지 않는 코드는 기호 "~"로 표시하였다.

그림 8에 30초 구간에서 수신된 CW Morse 신호를 나타내었다. 이 신호의 경우 신호 대 잡음비는 양호하나 신호의 페이딩이 나타나고 있다. 그림 9에 신호 검출 및 신호 처리 과정을 거친 결과를 나타내었으며 그림 10은 문자로 변환한 결과이다. 메시지 내용의 의미는 아마추어 무선 관련 문헌[5]으로부

표 1. 확장 Morse 코드표

Code	Letter	Code	Letter	Code	Letter	Code	Letter
.	E	....	H	.....	5	-....	6
-	T	...-	V	....-	4	-...-	~
..	I	..-.	F	...-.	(e)	-..-.	~
.-	A	..--	(a)	...--	3	-..--	~
-.	N	.-..	L	..-..	~	-.-..	(m)
--	M	.-.-	(b)	..-.-	(f)	-.-.-	~
...	S	.--.	P	..--.	(g)	-.--.	(n)
..-	U	.---	J	..---	2	-.---	~
.-.	R	-...	B	.-...	(h)	--...	7
.--	W	-..-	X	.-..-	~	--..-	~
-..	D	-.-.	C	.-.-.	~	--.-.	(p)
-.-	K	-.--	Y	.-.--	(i)	--.--	~
--.	G	--..	Z	.--..	(j)	---..	8
---	O	--.-	Q	.--.-	(k)	---.-	~
		---.	(c)	.---.	~	----.	9
		----	(d)	.----	1	-----	0

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.
www.dbpia.co.kr

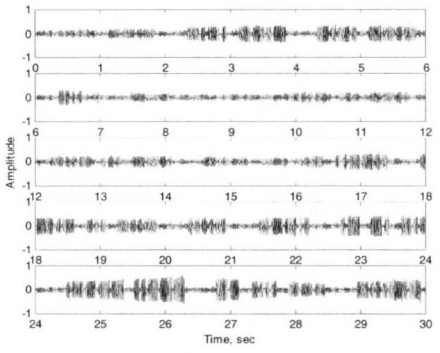


그림 8. CW Morse 신호

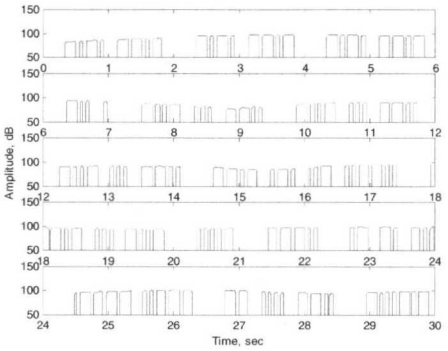


그림 9. 신호 검출 및 신호처리 결과

C Q C Q C Q D E X S Z X S Z X S Z Q
R U ? Q S X 4 8 A N D 1 2 M H Z ~

그림 10. 인식된 메시지 내용

터 파악할 수 있다. 인식 결과를 살펴보면 비교적 심한 신호의 페이딩에도 주파수 영역에서의 피크 검출 방식을 사용하는 경우 정확한 인식이 가능함을 확인할 수 있다. 신호 대 잡음비, 페이딩의 정도 등 다양한 조건에서 Morse 신호의 인식 실험을 수행한 결과 페이딩이 심하거나 부분적 감쇠가 자주 발생하는 경우에도 우수한 성능을 얻을 수 있어 주파수 피크 형성 유무에 의한 신호 검출 방식이 신호의 페이딩이 발생하는 경우에 효과적임을 확인하였다.

검출된 주파수 피크 성분의 전력을 합성하는 방식은 주파수 피크의 최대치를 선택하는 경우와 비교하여 시간에 따라 신호 전력의 주파수 분포도가 변화하는 경우에 주파수 다이버시티 효과로 인하여 신호 검출 성능이 크게 개선되었다. 그러나 일부 Morse 신호에 대해서는 신호 검출이 향상되는 정도에 비하여 제거되지 않는 잡음이 보다 현저히 증가하여 전체적인 인식 성능이 나빠지는 경우도 발생하였다. 또한 잡음의 검출이 현저히 증가하게 되면 톤/스페이스를 판별하는 LMS 알고리즘이 부분적으로 오동작하는 경우가 발생할 수 있어 인식이 거의 불가능해 지는 결과를 초래할 수도 있다.

Morse 신호는 시간, 장소, 기상 상태, 발신자의 숙련도 등 여러 가지 복합적인 요인으로 인하여 다양한 형태의 통계적인 특성을 나타내고 있다. 따라서 전반적으로 인식 성능을 향상시키기 위해서는 하나의 인식 방법을 적용하기 보다는 각 Morse 신호를 신호 대 잡음비, 페이딩의 정도, 톤/스페이스 길이의 분포도, 신호 전력의 주파수 분포도 변화 정도 등 다양한 특성으로 분류하여 적절한 인식 방법을 선택하고 파라미터 값을 설정하는 과정이 현실적인 범위 내에서 포함되어야 하겠다. 또한 신호의 검출, 신호의 판별, 오류정정 과정을 반복적으로 수행하기 위하여 하나의 처리 과정에서 다음 처리 과정으로 처리 결과를 효과적으로 전달 방안에 대한 검토가 필요하다고 판단된다.

V. 결 론

CW Morse 신호의 인식은 톤과 스페이스를 구별하는 신호 검출 과정, 잡음 제거 등의 신호처리 과정, 톤과 스페이스를 판별하는 과정, 판별된 톤/스페이스 순열을 문자로 변환하는 과정, 변환된 문자 메시지를 반복 구문 등을 이용하여 오류정정을 수행하는 과정으로 나눌 수 있다. 본 논문에서는 신호의 페이딩에 효과적으로 대처할 수 있는 주파수 영역에서 피크의 형성 유무로 신호를 검출하는 방안을 제안하였으며 검출된 다수의 주파수 피크 성분의 전력을 합성하고 잔여 신호 성분 및 잡음을 제거하는 방법을 제시하였다. 톤과 스페이스의 판별에는 LMS 적응 판별법을 이용하였으며 초기치 설정 방법 및 오동작 조건을 분석하였다. 실제 수신된 CW Morse 신호를 이용한 인식 실험을 수행하였으며 신호의 페이딩이 심한 경우에도 우수한 인식 성능을 얻을 수 있었다. 수신되는 CW Morse 신호는 여러 가지 복합적인 요인으로 인하여 다양한 형태의 통계적인 특성을 나타내고 있어 인식 성능을 보다 향상시키기 위해서는 각 Morse 신호의 특성에 맞는

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.
www.dbpia.co.kr

인식 방법을 선택하고 관련 파라미터 값을 설정하는 과정이 필요하며 신호의 검출, 신호의 판별, 오류정정 등의 각 과정을 반복적으로 수행하는 방안에 대한 검토가 있어야 하겠다.

참 고 문 헌

[1] S. Haykin, *Communication Systems*, 4th ed., John Wiley & Sons, Inc., 2001.

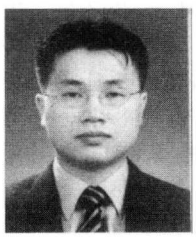
[2] M-C Hsieh, C-H Luo, and C-W Mao, "Unstable Morse code recognition with adaptive variable-ratio threshold prediction for physically disabled persons," *IEEE Trans. Rehab. Eng.*, vol. 8, pp. 405-413, Sept. 2000.

[3] C-H Yang, "Morse code recognition using learning vector quantization for persons with physical disabilities," *IEICE Trans. Fundamentals*, vol. E84-A, pp. 356-362, Jan. 2001.

[4] A. V. Oppenheim and R. W. Schafer, *Discrete-Time Signal Processing*, Prentice-Hall, Inc., 1989.

[5] *The ARRL Handbook for Radio Amateurs*, The American Radio Relay League, 1994.

손 영 채(Young-Chae Son) 정회원



2000년 2월 : 경상대학교 전자공학과 (공학사)
2002년 2월 : 경상대학교 전자공학과 (공학석사)
2002년 3월~현재 : 한국항공우주산업(주) 주임연구원
<주관심 분야> 디지털 신호 처리, 이동 통신 시스템, 부호화

임 동 민(Dongmin Lim) 정회원
1986년 2월 : 서울대학교 제어계측공학과 (공학사)
1988년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
1992년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
1992년 9월~현재 : 경상대학교 전자공학과 부교수
<주관심 분야> 이동통신, 디지털 신호처리, 컴퓨터 통신망 성능분석

태 기 철(Ki-Cheol Tae) 정회원
2001년 2월 : 전북대학교 정보통신공학과 (석사)
2001년 2월~현재 : 한국전자통신연구원 연구원
<주관심 분야> 신호처리

김 청 섭(Chung-Sub Kim) 정회원
1999년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (석사)
1999년 2월~현재 : 한국전자통신연구원 연구원
<주관심 분야> 신호처리, 디지털 방송

함 영 권(Young-Kwon Hahm) 정회원
1996년 8월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 (박사)
1984년 3월~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원
<주관심 분야> 디지털 이동통신, 디지털 방송

김 창 주(Chang-Joo Kim) 정회원
1988년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (석사)
1993년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (박사)
1979년 12월~1983년 3월 : ADD 연구원
1983년 3월~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원
<주관심 분야> 무선통신, 신호처리

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.
www.dbpia.co.kr