김일성종합대학학보 JOURNAL OF KIM IL SUNG UNIVERSITY
(자연과학) (NATURAL SCIENCE)
주체104(2015)년 제61권 제2호 Vol. 61 No. 2 JUCHE104(2015).

시간령역에서 BSS에 의한 혼합신호분리방법의 장애안정성평가

김경일, 리성천

우리는 혼합중첩된 원천신호들로 이루어진 관측벡토르만을 가지고 시간령역에서 BSS 기술을 리용하여 원천신호들을 분리하는 알고리듬을 제기하였으며 백색가우스잡음속에서 그것의 장애안정성을 평가하였다.

여러개의 원천신호들이 혼합된 관측신호들만을 가지고 개개의 원천신호들을 분리하는 문제는 목표탐지, 지진파해석, 뇌파분석 등 음향신호처리분야에서 제기되고있다.[2]

선행연구들[1－3]에서는 맹목원천분리(BSS)기술을 리용하여 여러개의 원천신호들이 혼합된 관측신호들만을 가지고 개개의 원천신호들을 분리하는 방법을 연구하였다. 그러나 원천신호분리에서 잡음들이 극히 적거나 없는 경우에 대하여 원천분리방법과 결과들을 제기하고있을뿐 백색가우스잡음의 영향과 그것의 장애안정성은 평가하지 못하였다.

1. 시간령역에서 BSS에 의한 혼합신호분리방법

맹목원천분리란 관측된 여러개의 원천신호들의 혼합신호로부터 직접 관측할수 없는 원천신호를 복원하여 분리하는 방법을 말한다.

일반적으로 관측신호는 수감부의 출구에서 측정되며 이때 매개 수감부는 여러개의 원천신호들의 혼합으로 형성되는 혼합신호를 수신하게 된다.(그림 1)

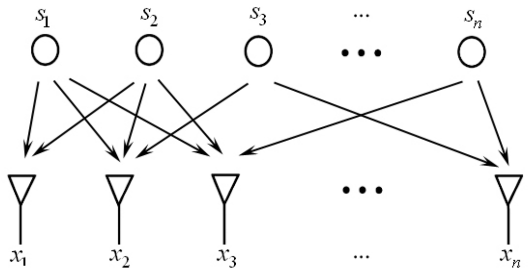

그림 1. 신호혼합과정

그림 1에서 m개의 수신기는 n개의 원천신호 $s_1, s_2, \cdots, s_n$이 내보낸 신호를 수신하여 출구신호 $x_1, x_2, \cdots, x_m$을 형성하게 된다. 여기서 신호전송은 순간에 진행된다고 가정한다. 다시말하여 각이한 신호가 매개 수감부에 도달하는 시간차는 무시할수 있으며 따라서 수감부가 수신하게 되는것은 매개 원천신호의 선형혼합이라는것이다.

이때 i번째 수감부의 출구는 다음과 같다.

$$x_i = \sum_{j=1}^{n} a_{ij} s_i(t) + n_i(t) \qquad i = \overline{1,\ m} \tag{1}$$

여기서 a_{ij}는 혼합결수이고 $n_i(t)$는 i번째 수감부의 관측잡음이다.

식 (1)을 벡토르와 행렬로 표시하면 다음과 같다.

$$x(t) = As(t) + n(t) \tag{2}$$

여기서 $s(t) = [s_1(t), s_2(t), \cdots, s_n(t)]^T$ 로서 n 차원원천신호렬벡토르, $X(t)$ 는 m 차원혼합신호렬벡토르, $n(t)$ 는 m 차원잡음렬벡토르, A 는 혼합결수 a_{ij} 를 i 번째 행 j 번째 렬요소로 하는 $m \times n$ 혼합행렬이다.

이제 관측잡음을 고려하지 않으면 다시말하여 잡음이 존재하지 않거나 잡음이 맹목분리를 진행하기 전에 이미 여러가지 방법으로 무시할 정도로 감쇠되였다면 식 (2)는 다음과 같이 쓸수 있다.

$$x(t) = As(t) \tag{3}$$

결국 맹목원천분리문제는 혼합행렬 A 와 원천신호벡토르 $s(t)$ 가 모두 미지인 조건에서 W 가 혼합신호벡토르 $X(t)$ 의 선형변환으로 되도록 $n \times m$ 분리행렬 W 를 구하는 문제로 된다. 즉

$$y(t) = Wx(t) \tag{4}$$

우연그라디엔트방법으로 반복차수 k 와 시간변수 t 를 통일시켜 k 로만 표시하면 원천신호벡토르 $S(k)$ 와 관측신호벡토르 $X(k)$ 는 모두 N 차원복소수벡토르렬이다.

변환벡토르 $Y(k)$ 는 N 차원벡토르로서 다음과 같다.

$$Y(k) = \sum_{p=0}^{L} W_p(k) X(k-p) \tag{5}$$

여기서 $W_p(k),\ k = \overline{0, L}$ 은 N 차복소행렬, L 은 혼합－중첩계 임풀스응답의 지속구간길이를 나타낸다.

계산알고리듬의 목적은 최량 $W_p(k)$ 를 구하여 원천신호분리와 중첩해제를 동시에 실현하는것이다.

반복계산공식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
&W_p(k+1) = W_p(k) + \alpha(k)[\Lambda(k)\delta_p W_p - \varphi(Y(k-L))U^H(k-p)] \\
&\varphi(Y(k-L)) = [\varphi_1(y_1(k-L)),\ \varphi_2(y_2(k-L)), \cdots,\ \varphi_N(y_N(k-L))]^T \\
&U(k-p) = [u_1(k-p),\ u_2(k-p),\ \cdots,\ u_N(k-p)]^T \\
&\Lambda(k) = \begin{cases} I \\ \mathrm{diag}[\varphi(Y(k-L))]U^H(k-p)] \\ \delta_p = 0 \\ 1 \end{cases}
\end{aligned} \tag{6}$$

여기서 $U(k-p)$ 는 $\sum_{q=0}^{L} W_q^H Y(k-p-q)$ 에 의하여 계산하며 기호 H 는 전위공액, $\varphi(\cdot)$ 은 원천신호 $s_i(k)$ 의 통계적특성에 따라 정한다.

준가우스일 때에는 $\varphi_i(y_i) = \|y_i\|^2 \cdot y_i$ 혹은 $y_i \cdot \tanh(y_i)$, 초가우스일 때에는 $\varphi_i(y_i) = \|y_i\|$ 혹은 $y_i \cdot \tanh(y_i),\ r > 2$ 또는 $y_i + \tanh(y_i)$ 로 취한다.

2. 시간령역에서 혼합신호분리방법의 장애안정성평가

먼저 남성과 녀성의 서로 다른 음성신호를 선형혼합하고 백색가우스잡음이 없는 경우에 원천신호들을 분리하였다.(그림 2) 이 경우 분리행렬의 추정정확도가 10^{-9}일 때 수렴수 n은 88이였다.

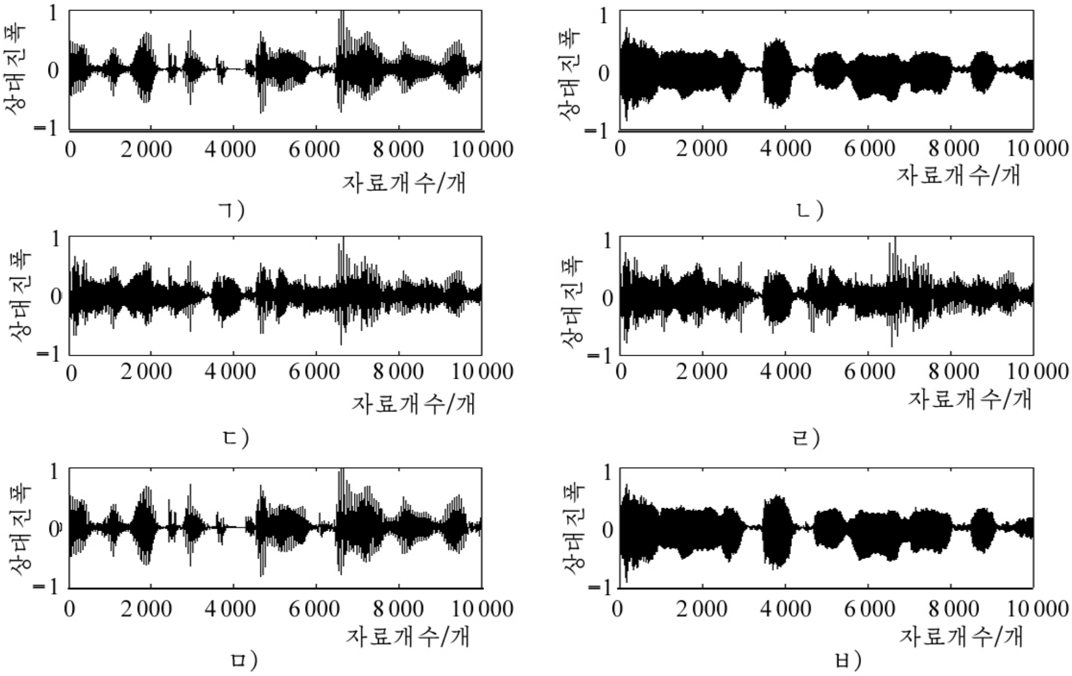

그림 2. 백색가우스잡음이 없는 경우 혼합관측신호와 분리한 원천신호곡선
ㄱ), ㄴ) 남성과 녀성의 원천음성신호곡선, ㄷ), ㄹ) 남성과 녀성의 음성신호가 혼합된 관측신호곡선, ㅁ), ㅂ) 분리한 남성과 녀성의 음성신호곡선

그림 2에서 보는바와 같이 백색가우스잡음이 없는 경우 시간령역에서 BSS를 리용한 혼합신호분리방법은 높은 정확도로 원천신호를 정확히 분리한다는것을 알수 있다.

다음 시간령역에서 BSS를 리용한 혼합신호분리방법의 장애안정성을 평가하기 위하여 SNR에 따르는 수렴속도와 안정성을 연구하였다. 이 경우 분리행렬의 추정정확도는 10^{-9}으로 하고 같은 알고리듬을 100번 반복실험하고 평균하여 수렴수를 결정하였다.

SNR에 따르는 수렴수변화는 그림 3과 같다. 그림 3에서 보는바와 같이 SNR가 작을수록 수렴속도는 떠지고 SNR가 클수록 수렴속도는 빨라지며 SNR=0dB에서 수렴수는 88로서 백색가우스잡음이 없는 경우의 수렴수와 일치한다. 또한 SNR=－12.5dB이상에서 알고리듬의 안정성이 높다는것을 보여준다.

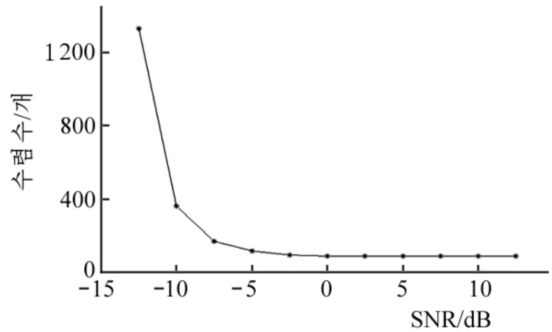

그림 3. SNR에 따르는 수렴수변화곡선

참 고 문 헌

[1] Y. Li et al.; IEEE Trans. on Neural Networks, 11, 6, 1413, 2000.
[2] A. Ferreol et al.; IEEE Trans. On Sig. Proc., 53, 5, 1640, 2005.
[3] Y. Xiang; Computers and Electrical Engineering, 34, 416, 2008.

주체103(2014)년 10월 5일 원고접수

The Valuation of Noise Stability of Mixed Signal Separation Method based on BSS Technique in the Time Domain

Kim Kyong Il, Ri Song Chon

At the SNR=0dB, the convergence velocity is equal to one in case of without white Gaussian noise and the stability of algorithm is high.

Key words: BSS, Gaussian noise