

무선수감부마디에서 저속표본화에 의한 음향신호 에너르기추정의 한가지 방법

왕상덕, 김원철

무선수감부에서 효과적인 신호처리방법을 적용하는것은 처리기의 자원을 절약하고 목표검출 및 식별능력 나아가서 전체 무선수감부망의 성능을 높이는데서 나서는 중요한 문제이다.[1-3]

본문에서는 저속표본화에 기초하여 소리신호의 에너르기추정방법을 제안하고 그 성능을 모의분석하였다.

1. 무선수감부의 신호구성

무선수감부에서 검출되는 신호는 일반적으로 적외선, 음향, 자기마당신호이다.

무선수감부는 각이한 수감부로부터 신호들을 증폭하여 처리함으로써 목표검출과 식별 및 추적을 보장하여야 한다. 또한 무선수감부는 합리적인 신호처리방법을 적용하여 목표검출능력을 높이고 전력소비를 줄임으로써 무선수감부망이 감시성능과 동작수명을 충분히 보장하도록 하여야 한다.

각이한 환경에서 무선수감부에 검출되는 신호의 스펙트르특성은 수감부종류에 따라 다르며 따라서 표본화주파수도 신호의 속성을 정확히 반영할수 있도록 설정되어야 한다. 사람이나 룰전기재의 이동으로 하여 발생하는 적외선신호는 3.3~16Hz범위에 있으며 자기마당신호도 유사한 주파수특성을 가진다. 그러나 소리신호를 음성신호에 국한시키는 경우에 약 4kHz까지의 주파수성분을 고려하여야 하므로 표본주파수는 8kHz로 설정되어야 한다.

표본화주파수가 높으면 그만큼 처리기의 요구성능이 높아지며 기억용량도 더 많이 소모된다. 나이퀴스트정리에 기초하여 소리신호를 표본화하는 경우 FFT(Fast Fourier Transform)에 기초한 스펙트르분석으로 보다 세밀하게 목표를 식별할수 있지만 이것은 무선수감부의 처리기능력에 비하여 현실적이지 못하다. 그러므로 무선수감부에서는 소리의 에너르기를 검출하는 방법으로 목표의 검출과 추적을 실현하고있다.[2, 3]

상세한 스펙트르정보가 아니라 신호의 에너르기만을 추정하는 경우에는 보다 낮은 표본화주파수를 리용하여도 충분하다.

2. 저속표본화와 신호에너르기의 관계

나이퀴스트의 표본화정리에 의하여 표본화과정에 신호의 겹침이지러짐을 방지하기 위한 기준이 규정된다. 한편 표본주파수가 보다 낮을 때 신호의 주파수특성겹침에 의하여

많은 정보가 상실되지만 신호의 에너지는 그대로 보존된다.

신호의 에너지는 파세발의 정리에 의하여 다음과 같이 결정된다.

$$E = \sum_{n=-\infty}^{\infty} |x_n|^2 = \frac{T}{2\pi} \int_{-\pi/T}^{\pi/T} |X(e^{j\omega T})|^2 d\omega \quad (1)$$

만일 표본주파수($1/T$)가 신호의 최대주파수 f_{\max} 의 2배 이상이라면

$$X(e^{j\omega T}) = \frac{1}{T} X(j\omega), \quad \omega \in \left[-\frac{\pi}{T}, \frac{\pi}{T}\right] \quad (2)$$

가 만족되며 표본률로부터 신호의 세기를 정확히 측정할수 있다.

그러나 표본화정리가 만족되지 않는 경우 즉 저속표본화가 진행된다면 신호의 스펙트르는 허상스펙트르들의 겹침으로 나타나며 따라서 식 (1)의 오른쪽항이 상사신호의 에너지를 그대로 반영하겠는가 하는것을 평가하여야 한다.

론의를 간단히 하기 위하여 $T=1/f_{\max}$ 인 경우를 보자. 이 경우 표본신호의 주파수특성은 그림과 같이 겹침현상을 나타낸다.

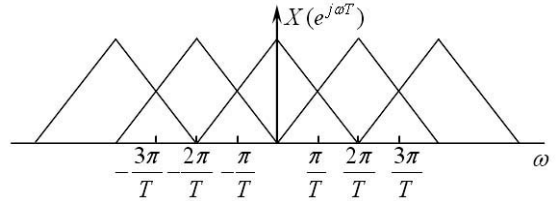


그림. 저속표본화에 의한 스펙트르겹침

이때 표본률의 에너지는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{T}{2\pi} \int_{-\pi/T}^{\pi/T} |X(e^{j\omega T})|^2 d\omega &= \frac{1}{2\pi T} \int_{-\pi/T}^{\pi/T} \left| \sum_{k=-\infty}^{\infty} X\left(j\left(\omega - \frac{2\pi}{T}k\right)\right) \right|^2 d\omega = \\ &= \frac{1}{2\pi T} \int_{-\pi/T}^{\pi/T} \left| X(j\omega) + X\left(j\left(\omega - \frac{2\pi}{T}k\right)\right) + X\left(j\left(\omega + \frac{2\pi}{T}k\right)\right) \right|^2 d\omega = \\ &= \frac{1}{2\pi T} \left\{ \int_{-\pi/T}^{\pi/T} |X(j\omega)|^2 + \left| X\left(j\left(\omega - \frac{2\pi}{T}k\right)\right) \right|^2 + \left| X\left(j\left(\omega + \frac{2\pi}{T}k\right)\right) \right|^2 d\omega + \right. \\ &\quad \left. + 2 \int_{-\pi/T}^{\pi/T} \left[\operatorname{Re} \left[X(j\omega) X^*\left(j\left(\omega + \frac{2\pi}{T}k\right)\right) \right] + \operatorname{Re} \left[X(j\omega) X^*\left(j\left(\omega - \frac{2\pi}{T}k\right)\right) \right] \right] d\omega \right\} \quad (3) \end{aligned}$$

여기서 첫번째 적분항은 상사신호의 에너지 E_a 를 그대로 나타낸다. 즉

$$\begin{aligned} \frac{1}{2\pi T} \left[\int_{-\pi/T}^{\pi/T} |X(j\omega)|^2 d\omega + \int_{-3\pi/T}^{-\pi/T} |X(j\omega)|^2 d\omega + \int_{\pi/T}^{3\pi/T} |X(j\omega)|^2 d\omega \right] &= \\ = \frac{1}{2\pi T} \int_{-2\pi/T}^{2\pi/T} |X(j\omega)|^2 d\omega &= \frac{1}{T} E_a. \quad (4) \end{aligned}$$

한편 식 (3)의 두번째 항은 서로 반대부호의 더하기이므로 상쇄된다는것을 알수 있다. 즉

$$\begin{aligned} \int_{-\pi/T}^{\pi/T} \operatorname{Re} \left[X(j\omega) X^*\left(j\left(\omega + \frac{2\pi}{T}k\right)\right) \right] d\omega &= \int_{\pi/T}^{-\pi/T} \operatorname{Re} \left[X(-j\omega) X^*\left(j\left(-\omega + \frac{2\pi}{T}k\right)\right) \right] d\omega = \\ &= \int_{\pi/T}^{-\pi/T} \operatorname{Re} \left[X^*(j\omega) X\left(j\left(\omega - \frac{2\pi}{T}k\right)\right) \right] d\omega = - \int_{-\pi/T}^{\pi/T} \operatorname{Re} \left[X(j\omega) X^*\left(j\left(\omega - \frac{2\pi}{T}k\right)\right) \right] d\omega. \end{aligned}$$

표본주파수가 보다 더 낮을 때에도 마찬가지로 신호의 에너지는 그대로 보존된다. 그것은 다음의 식

$$\left| \sum_{k=-\infty}^{\infty} X\left(j\left(\omega - \frac{2\pi}{T}k\right)\right) \right|^2 = \sum_{k=-\infty}^{\infty} X\left(j\left(\omega - \frac{2\pi}{T}k\right)\right) \cdot \sum_{m=-\infty}^{\infty} X^*\left(j\left(\omega - \frac{2\pi}{T}m\right)\right)$$

에서 임의의 $k \neq m$ 에 대한 적분항

$$\int_{-\pi/T}^{\pi/T} \operatorname{Re} \left[X\left(j\left(\omega - \frac{2\pi}{T}k\right)\right) X^*\left(j\left(\omega - \frac{2\pi}{T}m\right)\right) \right] d\omega$$

는 항상 반대부호의 짝을 가지고있다는데로부터 명백하다.

3. 소리신호의 에너지추정결과

실천에서 소리의 세기는 유한개의 자료에 기초하여 측정하므로 위에서 평가한 결과가 정확히 만족되지 못할것이다. 표 1은 MATLAB에서 제공되는 각이한 음향신호에 대하여 저속표본화에 의한 에너지추정정확도를 평가한 결과를 보여준다.

표 1. 신호에너지와 저속표본화

추정값의 비교 (E/\hat{E})

저속표본률	기적소리 (1.5s)	새소리 (1.6s)	음성 (0.5s)
2	0.998 3	1.000 2	1.006 8
4	0.950 8	1.048 4	1.039 5
8	0.951 4	1.034 7	0.985 1
10	0.977 6	1.108 8	0.962 0

표 2. 짧은 시간동안의 저속표본화

추정결과 (E/\hat{E})

저속표본률	기적소리 (0.75s)	새소리 (0.8s)	음성 (0.25s)
2	1.000 1	1.000 9	1.021 6
4	0.965 7	1.054 8	1.058 1
8	0.954 7	1.036 4	0.976 7
10	1.018 2	1.076 3	0.961 3

여기서 저속표본률은 정확한 표본주파수(8kHz)와 저속표본주파수의 비로 정의된다. 저속표본화에 의한 에너지추정은 소리의 종류와 저속표본률값에 따라 각이한 정확도를 가진다. 저속표본률 10에 대응한 극히 낮은 속도의 표본화를 제외하고 에너지추정정확도는 대략 $\pm 5\%$ 의 범위에 놓인다.

표 2는 관측시간을 절반으로 줄인 경우의 에너지추정결과를 보여준다.

표 2에서 보는바와 같이 1/4s정도의 짧은 시간동안 저속표본화관측값으로도 충분한 정확도의 에너지를 얻을수 있다.

맺 는 말

나이퀴스트정리에 기초하여 소리신호를 표본화하고 목표를 검출 및 식별하는 경우 수감부마디의 처리능력에 대한 요구가 높아지므로 무선수감부에서는 소리의 에너지를 검출하는 방법이 효과적이다.

상세한 스펙트럼정보가 아니라 신호의 에너지만을 추정하는 경우에는 보다 낮은 표본주파수를 리용하여도 충분하다. 즉 저속표본화에 의한 소리에너지추정을 $\pm 5\%$ 의 정확도로 보장할수 있다.

참 고 문 헌

- [1] Ying Shu Li; Wireless Sensor Networks and Applications, Springer, 23~64, 2008.
- [2] Lin Gu et al.; Proc. of Intl. Conf. on Embedded Network Sensor System, 159, 2005.
- [3] Jennifer Yick; Elsevier Computer Networks, 52, 2292, 2008.

주제 104(2015)년 10월 5일 원고접수

A Method of Sound Signal Energy Estimation based on Low Sampling in Wireless Sensor Node

Wang Sang Dok, Kim Won Chol

In case of object detection and classification based on sound signal samples obtained by Nyquist theorem, the performance requirements for sensor node's processor is significantly high. Therefore, sound energy detection method must be used in wireless sensor.

Not for detailed spectral information of sound signal but energy estimation of signal, it is enough to use lower sampling frequency. In this paper we presented a method of sound energy estimation using low sampling and verified estimation accuracy of $\pm 5\%$ through simulation.

Key words: wireless sensor network, energy estimation, low sampling