

PRF 에 따른 속도 모호성 분석

이종길*

*인천대학교

Analysis of Velocity Ambiguity according to Pulse Repetition Frequency

Jonggil Lee*

*Incheon National University

E-mail : jnglee@incheon.ac.kr

요 약

초음파를 이용한 거리 및 속도측정에서는 PRF(Pulse Repetition Frequency) 선정에 따른 거리 및 속도 모호성 문제가 큰 장애 요인 중의 하나이다. 따라서 이러한 장애 극복을 위한 신호파형 발생시 PRF 선정 방법과 측정 결과에 미치는 영향을 분석하였다.

ABSTRACT

The range and velocity ambiguities depending on the selected PRF are the serious problems in ultrasonic measurement. Therefore, the PRF selection method in the generation of waveform are analyzed. Also, the effects on measurements are discussed.

키워드

PRF, Ambiguity, Waveform, Estimates, Measurement

I. 서 론

초음파를 이용한 거리 및 속도 추정에 사용되는 correlation 방법은 알고리즘이 간편하고 용이하여 거리에 따른 유속의 측정에 많이 활용되고 있다[1-3]. 그러나 특정한 시간 간격으로 여러 개의 펄스를 송신하여 autocorrelation 을 추정함으로써 도플러 주파수를 추출하게 된다. 펄스간의 간격, 즉 펄스 반복 주파수에 따라 측정할 수 있는 도플러 주파수의 범위에 제약이 가해지게 된다. 즉 펄스 간격을 길게 가져가는 경우 즉 PRF(Pulse Repetition Frequency) 가 낮아지는 경우 높은 도플러 주파수의 추정, 즉 높은 유속 측정에 문제가 발생하게 된다.

따라서 PRF 역수와 도플러 주파수와의 곱은 역방향 속도인 음의 도플러 주파수를 감안하면 -0.5 보다 크고 0.5보다 작은 범위에 존재해야 한다는 것을 알 수 있다. 그러므로 이러한 문제점을 극복하기 위해서는 다수의 PRF 를 사용함으로써 이와 같은 속도 모호성을 해결할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 이와 같은 속도 모호성을 해결하기 위한 Multi-PRF correlation 추정방법에 관하

여 분석하고자 한다.

II. Multiple-PRF 추정 방법

Correlation 방법에서는 2개 이상의 펄스 반복 주파수를 추정하여 유속 정보 즉 도플러 주파수 추정에서의 모호성을 해결할 수 있다. 즉 2개의 PRF 또는 PRI(Pulse Repetition Interval)를 사용한다고 하면 얻어진 두 개의 autocorrelation 추정치, $\hat{R}(T_{s1}), \hat{R}(T_{s2})$ 를 이용하여 다음과 같이 도플러 주파수, 즉 유속을 측정할 수 있다.

$$\hat{v} = \frac{\lambda}{4\pi(T_{s2} - T_{s1})} \arg \left(\frac{\hat{R}(T_{s2})}{\hat{R}(T_{s1})} \right) \quad (1)$$

식(1)에서 보는 것처럼 두 PRI 간격이 좁게 나타날수록 도플러 주파수 영역에서의 모호성이 줄어들어 이를 확인할 수 있다. 즉 이와 같은 방법에서는 이론적으로 얻고자 하는 autocorrelation 추정치에서의 시간 간격을 충분히 좁히면 모호성 문제는 일어나지 않는다. 그러나 두 개의 PRI 간

격을 지나치게 좁힐 경우 두 개의 추정치의 통계적 불확실성이 크게 증가할 수 있기 때문이다. 따라서 이러한 점을 고려하여 두 개 이상 또는 세 개의 PRF 를 쓰는 방법도 고려되어야 한다.

III. 결과 및 고찰

이제 PRI 에 따른 모호성을 해결하기 위하여 multiple PRF 를 이용하여 측정할 때 나타나는 결과를 분석하여 보자.

먼저 T_{s2} 가 2.5 msec 이고 T_{s1} 이 2msec 인 경우를 고려하여 보았다. 만약 $\hat{R}(T_{s2})$ 및 $\hat{R}(T_{s1})$ 의 angle 이 높은 도플러 주파수로 인하여 각각 3.5π 와 2.8π 의 값을 갖는다면 모호성 문제 때문에 실제로 표시되는 위상은 -0.5π 와 0.8π 로 나타나게 된다. 이를 이용하여 식(1)에서 같이 도플러 주파수를 구하게 되면 -1300Hz 란 도플러 주파수를 얻게 되므로 실제 도플러 주파수인 700Hz 의 결과를 얻을 수 없다. 따라서 불연속적인 결과 값들이 나타날 수 있기 때문에 autocorrelation 추정치에서의 위상 추정 값들을 다음 그림 1과 같이 $0-2\pi$ 범위로 표시하는 것이 필요하다.

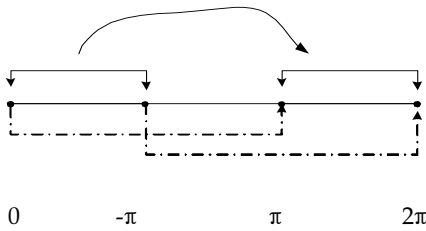


그림 1. autocorrelation 추정에서의 위상 추정치 변환

그러므로 이와 같이 위상 추정을 하게 되면 각각 1.5π 와 0.8π 로 나타나게 되며 위상차인 0.7π 에 대응되는 실제 도플러 주파수 700Hz 를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 그러면 실제 도플러 주파수가 음의 형태로 나타나는 즉 역방향 유속을 고려하여보자. 역방향 유속인 경우 -700Hz 의 실제 도플러 주파수가 나타난다고 하면 두 개의 위상은 각각 -3.5π 및 -2.8π 로 나타난다. 따라서 위에서 설명한 방법으로 위상을 맵핑하면 각각 0.5π 와 1.2π 로 표시되므로 추정치의 위상차는 -0.7π 로 표시된다. 따라서 -700Hz 의 실제 도플러 주파수를 추출할 수 있음을 확인할 수 있다.

그러나 앞에서 언급한 바와 같이 correlation 추정치에서의 불확실성 정도가 매우 크게 나타나는 경우 이와 같은 방법의 신뢰성에 큰 문제가 나타날 수 있음을 주지하여야 한다. 즉 두 PRI 간격을 어느 정도로 좁힐 수 있을 것인지에 대한 문제는 수신 단에서의 잡음 및 간섭에 의한 영향

을 고려하여 결정되어야 한다.

IV. 결 론

앞장에서 분석한 바와 같이 이론적으로는 두 개의 PRI 만을 이용하더라도 유속측정에서의 모호성 문제를 충분히 해결할 수 있다. 그러나 두 개의 correlation 추정치에서의 통계적인 불확실성이 PRI 값의 차이가 작을수록 매우 커질 수 있기 때문에 SCNR 이 매우 낮은 환경에서는 3개 이상의 PRI 를 적용하여 측정의 신뢰도를 높일 수 있는 기법에 대하여도 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

또한 correlation 추정치를 얻을 때의 lag 값인 T_s 를 선정하는데도 주의해야 한다. 기본적으로 correlation 추정치의 유효성은 신호의 coherence 가 유지되어야 만 한다. 그러나 유체의 교란정도가 매우 크게 나타나는 상황에서는 T_s 파라미터를 지나치게 큰 값으로 선정하는 경우 수신신호의 coherence 가 유지될 수 없기 때문에 측정된 r 결과 값이 무의미 할 수 있다.

따라서 correlation 추정 방법을 이용한 신뢰성 있는 유속정보 추출을 위해서는 측정하고자 하는 유체의 성질이나 특성을 잘 파악하여 앞에서 언급한 바와 같은 문제가 발생하지 않도록 적절한 파라미터를 선정하는 것이 매우 중요할 것으로 생각된다.

참고문헌

- [1] A. K. Bohne, "Radar detection of turbulence in precipitation environment", J. Atmos. Sci. vol. 39, pp. 1819-1837, 1982.
- [2] R. J. Doviak, "A survey of radar rain measurement techniques", J. Appl. Meteorol. vol. 22, pp. 832-849, 1983.
- [3] P. T. May and R. G. Strauch, "An examination of wind profiler signal processing algorithms", J. Atmos. Oceanic Tech. vol. 6, pp. 731-735, 1989.