

웨이브렛 패킷을 이용한 고유음선 식별

조환래 · 오선택 · 나정열
한양대학교 지구해양과학과

Eigenray identification with wavelet packets

Hwanrae Cho, Suntaek Oh, Jungyul Na
Department of Earth and Marine Sciences, Hanyang University

Email: chwanrae@ihanyang.ac.kr

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-1999-000061-0) 지원으로 수행되었음.

요약문

본 논문에서는 해양에서 다중경로를 통하여 수신되는 음파의 도달시간을 정확히 파악하기 위한 방법을 제시하였다. 음파 도달 시간을 파악하기 위한 방법으로는 정합 필터 방법 및 웨이브렛 방법을 도입하였으며 각각 모의 수신신호 및 실관측 수신신호에 대해 적용하여 식별 성능을 분석하였다.

1. 서론

해양에서 음파는 다중 경로를 통하여 전파된다. 그러므로 수중에서 수신된 음파는 각각 시간 지연, 위상 변화, 그리고 진폭의 감쇠현상 등과 같은 특성을 지닌 몇몇 전달 경로들의 합으로 나타낼 수 있으나 그 경로의 개수는 알 수 없다. 또한 송신음파의 대역폭 제한에 따라 밴드폭 내에 수신되는 각 음파의 도달시간은 식별할 수 없게 된다. 이러한 다중경로를 파악하는 것은 음파를 이용하는 분야에서는 필수적으로 해결해야 할 문제이다. 이를 해결하기 위해 도입된 것이 음원 신호를 위상변조 (Phase Shift Keying, PSK) 하여 송신하는 방법으로 많은 해양음향 토모그래피 실험을 통해서 PSK의 일종인 m-시퀀스가 유용함을

보였다[1,2,3]. 그러나 다중경로에 의한 음파 도달시간을 구분하기 위한 방법 중 하나인 정합 필터링 또는 빔형성 방법에 의한 신호 처리는 밴드폭에 의한 한계로 인해 거의 동시에 도달되는 음파를 식별하는데 문제가 있다[4].

따라서 도달시간차가 거의 없는 음파를 식별하기 위하여 정합 필터 방법 및 웨이브렛 방법을 도입하여 그 식별 성능을 비교 분석하였다.

2. 신호처리

일반적으로 다중경로 식별을 위하여 위상변조 (phase shift keying, PSK) 신호의 일종인 m-시퀀스 신호를 사용하며, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$s(t) = A \cos(2\pi f_0 t + c(t)\theta_0) \quad (1)$$

여기서 f_0 는 반송파 주파수를 나타내고 $c(t)$ 는 변환된 m-시퀀스를 나타내며 θ_0 는 m-시퀀스 주기에 의해 결정된 초기 설정된 위상각이다. 이때의 θ_0 는 다음과 같이 표시할 수 있다 [2].

$$\theta_0 = \tan^{-1}(511) \approx \pi/2 \quad (2)$$

이러한 신호가 다중경로를 통하여 송신되었을 경우

잡음의 영향을 무시하면 수신된 신호는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$r(t) = \cos(2\pi f_0 t + c(t)\theta_0 + \phi) \quad (3)$$

여기서 ϕ 는 지연 시간에 기인한 위상 변이를 나타낸다.

따라서 송신 신호 $s(t)$ 와 수신된 신호 $r(t)$ 의 상호 상관 관계로부터 다중경로를 식별할 수 있으며 상호 상관 함수는 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$R_{sr}(l) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} s(n)r(n-l), \quad l=0, \pm 1, \dots \quad (4)$$

웨이브렛은 시간-주파수 국소화(time-frequency localization)를 구현하는 함수로서 다중 해상도 분석이란 척도구성 필터(h_j)와 웨이브렛 필터(g_j)로 구성된 두 채널 대역분할 필터링에 의해 신호를 분해 및 복원하는 방법이다. 각각의 필터에 의해 생성되는 함수 $\phi(x)$ 와 $\psi(x)$ 는 다음과 같은 팽창 방정식(dilation equation)을 만족한다[5].

$$\begin{aligned} \phi(x) &= \sqrt{2} \sum_j h_j \phi(2x-j) \\ \psi(x) &= \sqrt{2} \sum_j g_j \phi(2x-j) \end{aligned} \quad (5)$$

이러한 방법을 저주파수 영역뿐만 아니라 고주파수 영역에 대하여 신호를 분석하는 방법이 웨이브렛 패킷이며 신호 분해를 위한 함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} W_{2n}(t) &= \sqrt{2} \sum_{j=-\infty}^{+\infty} h_j W_n(2t-j) \\ W_{2n+1}(t) &= \sqrt{2} \sum_{j=-\infty}^{+\infty} g_j W_n(2t-j) \end{aligned} \quad (6)$$

다음으로 임의의 신호 $x(t)$ 의 투영계수는

$$\begin{aligned} C_{kn}^j &= \left\langle x(t), \frac{1}{2^{k/2}} W_n \left(\frac{t}{2^k} - j \right) \right\rangle \\ &= \frac{1}{2^{k/2}} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) W_n^* \left(\frac{t}{2^k} - j \right) \end{aligned} \quad (7)$$

로 나타낼 수 있다. 이 방법은 신호를 분해하기

위해서 사용된다. 이렇게 분해된 투영계수들은 웨이브렛 역변환을 통하여 원 신호로 복원된다. 그러나 투영계수는 분해하고자 하는 신호의 길이에 비례하므로 신호의 길이가 길면 길수록 투영계수의 개수 또한 많아지게 된다. 따라서 원 신호로의 복원을 가능하게 하는 최소 개수의 투영계수를 선택할 수 있으며 이를 엔트로피 규정이라 한다. 본 논문에서는 shannon 엔트로피 규정을 따랐으며 다음과 같이 나타낼 수 있다[6].

$$H(x) = - \sum_j (|x_j|^2) \log(|x_j|^2), \quad x_j: \text{투영계수}$$

3. 실험 및 분석

본 논문에서는 도달 시간 지연의 차가 적은 고유음선을 식별하는 방법으로 정합 필터링과 웨이브렛 패킷을 사용하였으며, 특히 웨이브렛 패킷의 유용성을 검증하기 위한 방법으로 모의 실험을 실시 하였고 모의 실험에서 사용한 방법을 실 관측 신호에 적용해 보았다.

모의 실험 및 실관측 신호에 사용한 신호는 1999년 10월 20일부터 10월21일까지 동해 울릉도 부근에서 수신한 신호로써 음원은 동해 북부의 블라디보스톡 부근 해역에 설치하였고 수신기는 울릉도에서 수 km위치의 부근해역에 수직 선배열로 설치 하였다. 송신 주파수는 366Hz를 사용하였으며 특성 다항식이 $x^9 + x^4 + 1$ 이며 511 digit 인 m-시퀀스를 사용하였다[7]. 토모그래피 신호의 대역폭은 45.75Hz 로써 신호분해도는 대략 21.9ms 가 된다.

그림1은 모의 실험에 사용된 채널 임펄스 응답과 다중경로를 통하여 수신기에 수신된 신호를 정합 필터링 처리한 음선 도착구조를 보인다. 그림1에서와 같이 0.022sec, 그리고 이와 충분한 시간차를 가진 밴드 폭 21.9ms이내의 간격에 해당하는 0.066sec와 0.072sec에 각각 음선이 수신되도록 모의 하였다.

그림1(a)와 (b)를 관찰함으로써 신호 분해도인 21.9ms 이상의 지연 시간차가 나는 음선은 구별이 가능하지만 21.9ms 보다 작은 시간차이를 갖는

음선들은 구별이 되지 않고 마치 하나의 음선처럼 보이게 된다.

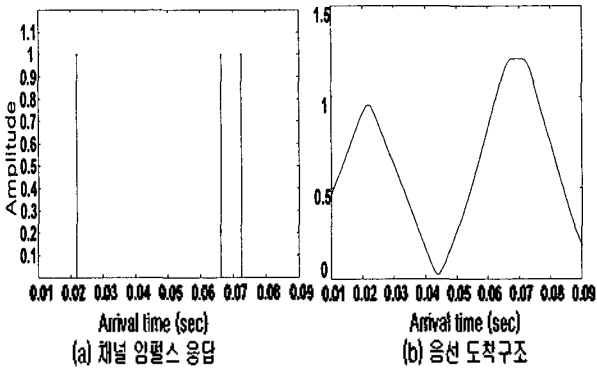


그림 1. 정합 필터링에 의한 신호 분해도와 고유음선 식별

따라서 관심 있는 정보, 즉 도달 시간 지연 차를 포함하는 신호만을 추출할 필요가 있다. 웨이브렛 패킷을 적용하여 신호를 분해할 경우 근사계수는 신호의 평균값의 형태를 나타내고 세부계수들은 어떤 분해도 단계에서 신호의 고주파 성분을 나타내게 된다. 그러므로 도달 시간 지연의 차에 대한 정보는 세부계수들이 가지고 있게 된다.

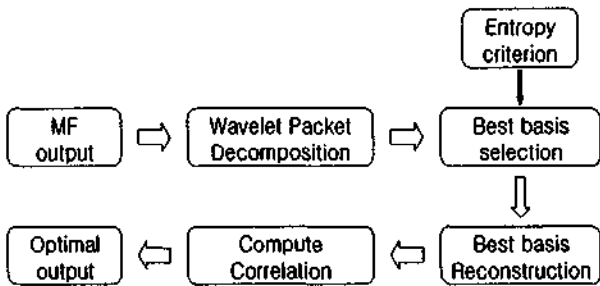


그림 2. 신호처리 블록 다이어그램

정합 필터링을 적용한 신호에 대하여 웨이브렛 패킷을 이용하여 신호를 분해하고, 투영계수를 나열한 다음 엔트로피 규정에 의해 선택된 기저의 각 계수를 복원하고 그 후에 재생된 세부신호들의 상관관계 (correlation)를 계산하였다. 이때 각 계수간의 상관관계는 산출된 계수가 포함하고 있는 정보의 독립성을 나타내며 각기 다른 다중경로를 거쳐 수신된 임펄스 응답을 포함한 계수간에는 낮은 상관값을 갖게 된다. 따라서 복원된 고주파수 영역의 세부계수들의 상관관계가 낮은 계수를 최종 신호 복원시 사용하였다.

이와 같은 방법으로 웨이브렛 패킷을 이용하여 모의 신호에 대하여 도달 음선을 분리한 결과 0.022sec,

0.066sec 0.072sec 등 3개의 음선을 식별하였다.

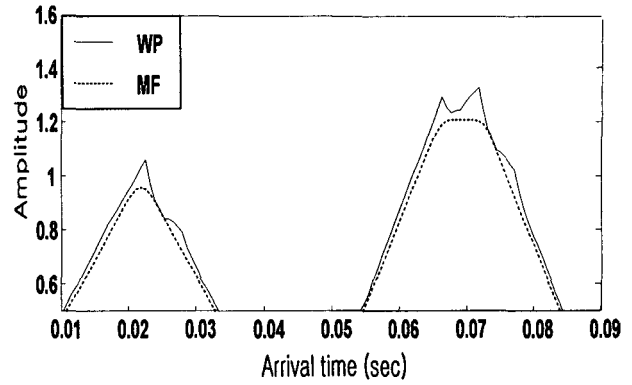


그림 3. 웨이브렛 패킷 적용 결과

동일한 방법으로 실관측 신호에 대하여 정합 필터링과 웨이브렛 패킷의 방법을 적용 비교 분석해 보았다. 그 결과 그림 4에서와 같이 정합 필터링 방법으로는 1.02sec와 1.24sec 동안 7개의 음선을 식별하였다. 그러나 웨이브렛 패킷의 방법을 적용한 결과 동일한 시간 동안 17개의 음선을 식별할 수 있었다.

결과에서 나타난 바와 같이 정합 필터링을 이용하여 신호 분석시 21.9ms 이내의 도달 시간차를 가진 음선에 대하여 식별에 제한이 있음을 알 수 있다. 그러나 웨이브렛 패킷을 이용하면 보다 나은 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

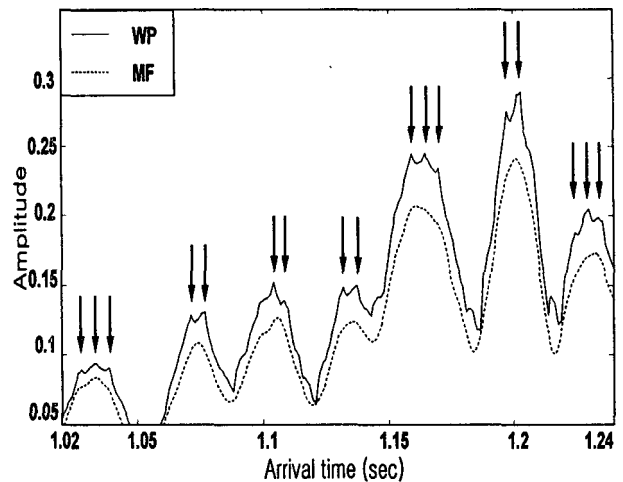


그림 4. 실관측 신호 적용 결과

4. 결론 및 토의

다중경로에 의한 효과를 포함하고 있는 수신 신호의 도달 시간을 식별하기 위해 정합 필터링과

웨이브렛 패킷 방법을 이용하여 그 식별 성능을 비교 분석하였다. 이를 위해 모의 시험을 통해 신호의 밴드폭 내에 도달된 2개의 임펄스 응답 식별 능력을 정합 필터 및 웨이브렛 패킷 방법을 적용하여 비교하였다. 또한 동해에서 측정된 토모그래피 수신 신호에 대해 두가지 방법을 적용하여 신호의 해상도 향상 능력을 비교 분석하였다. 그 결과 정합 필터를 이용해서 식별하는 것 보다 웨이브렛 패킷을 이용한 방법이 식별 성능이 뛰어나다는 것을 알 수 있었다. 실제 도달된 신호의 정확한 도달 형태를 알 수 없으므로 웨이브렛 패킷을 이용하여 식별한 도달 시간의 정확성에 대해서는 모의 시험의 결과를 통해 정량화 할 수밖에 없으나, 본 논문에서 제시한 웨이브렛 패킷 방법을 이용하여 서로 다른 경로로부터 도달된 신호를 보다 정확하게 분리할 수 있다는 가능성을 제시하였다. 또한 해양음향 토모그래피에서 음향 모델에 의해 산출된 도달시간과 웨이브렛 패킷 방법을 적용하여 식별된 보다 많은 도달시간과의 비교를 통해 매질을 역추정하는 경우 향상된 결과를 제시할 수 있다고 예측된다. 그러나 식별된 도달시간에 대한 신뢰도 향상을 위해 웨이브렛 패킷 방법에서 적절한 세부 계수의 선택 방법으로 사용된 상관지수 산출방법의 향상이 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

1. T. G. Birdsall and K. Metzger, "Factor inverse matched filtering," J. Acoust. Soc. Am., 79, 91-95, 1986.
2. R. L. Peterson, R.E. Ziemer, and D.E. Forth, Introduction to spread-spectrum communications (Prentice Hall, New Jersey, 1995), Chap. 3, pp. 89-148.
3. W. Munk, P. Worcester, and C. Wunsch, Ocean Acoustic Tomography (Cambridge University Press, London, 1995), Chap. 5, pp.173-221.
4. Andre Quinquis and David Boulinguez, "Multipath Channel Identification with Wavelet Packets," IEEE J. of Oceanic Eng., vol. 22, pp.342-346, 1997.
5. S. G. Mallet, "A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet presentation," IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., vol. 11, pp. 674-693, 1989.
6. R. Coifman and M. Wickerhauser, "Entropy based algorithms for best basis selection," IEEE trans. Inform. Theory, vol 38, pp.713-718, 1992.
7. 오선택, 나정열, 오택환, 박정수, 나영남, 김영규, "한국 동해에서 토모그래피용 신호를 이용한 음파 도달시간의 시변동성," 한국음향학회지, 제 20권 제5호, pp. 92-99, 2001.