

반복적 보정에 의한 파랑정보 추출 기법

(Wave information retrieval algorithm based on iterative refinement)

김진수^{1)*}, 이병길²⁾

(Jin-soo Kim and Byung-Gil Lee)

요약 해양의 파랑 파라미터는 해상 교통의 운행과 항해에 있어 안전성과 더불어 효율성을 위해 매우 중요하다. 본 논문에서는 X-대역의 해양 레이더를 이용하여 해류 속도, 파랑 파라미터와 같은 해상의 표현 정보를 수집하는데 효율적인 알고리즘을 개발한다. 특히, 제안된 방식은 고정된 제어 방식을 사용하는 것 대신에 반복적인 보정 과정을 채택함으로써, 최적화된 해류 속도를 효과적으로 계산할 뿐만 아니라, 최적화된 방식으로 비용함수를 도입하도록 설계된다. 실험을 통해서 제안한 알고리즘은 기존의 알고리즘에 비해서 파랑 정보를 추출하는데 매우 효과적임을 보인다.

핵심주제어 : 파랑 파라미터, 해류 속도, 반복적 보정

Abstract Ocean wave parameters are important for safety and efficiency of operation and routing of marine traffic. In this paper, by using X-band marine radar, we try to develop an effective algorithm for collecting ocean surface information such as current velocity, wave parameters. Specifically, by exploiting iterative refinement flow instead of using fixed control schemes, an effective algorithm is designed in such a way that it can not only compute efficiently the optimized current velocity but also introduce new cost function in an optimized way. Experimental results show that the proposed algorithm is very effective in retrieving the wave information compared to the conventional algorithms.

Key Words : Wave Parameters, Current Velocity, Iterative Refinement

1. 서론

세계적으로 해양 교통량의 증대로 인해 선박은 고속화와 더불어 대형화되어지고, 또한, 세월호

사고와 같은 대형 사고가 매우 자주 발생함에 따라 인적 물적 피해규모가 천문학적으로 크게 증대되고 있는 실정이다[1]. 해양사고로 인한 엄청난 인적 물적 재산의 피해를 막기 위해, 해상 선박의 동정을 지속적으로 관찰하고, 항해 안전 정보를 제공하기 위한 시도로서, 해상교통관제(VTS, Vessel Traffic Service)를 통하여 파랑 정보를 실시간으로 지속적으로 측정하고 모니터링 방법에 대한 연구소와 산업체에서 다양한 기술 개발이 활발하게 시도되고 있다[1]. 해상교통관제를 위하여 파랑정보를 얻는 가장 정확한 방

* Corresponding Author : jskim67@hanbat.ac.kr

† 본 연구는 국민안전처/한국해양과학기술진흥원의 미래해양개발사업 연구비지원(ETRI 수행 과제번호 20090403)에 의해 수행 되었습니다.

Manuscript received February 09, 2016 / revised February 20, 2016 / accepted February 24, 2016

1) 한밭대학교 정보통신공학과, 제1저자

2) 한국전자통신연구원 사이버보안시스템연구부, 제2저자

법은 부이(buoy)를 사용하는 방법으로부터 인공 위성을 사용하여 파랑정보를 계측하는 다양한 방법이 개발되고 더불어 사용되고 있다[2]. 부이와 같은 경우에는 정확성이 높다는 장점이 있으나, 해양의 많은 곳에 위치시켜야 하기 때문에 많은 범위의 해상상태에 대한 정보를 얻는데 많은 전력 소모와 더불어 비용이 소모되며, 또한 파손이나 분실에 노출되기 쉽고, 실시간으로 획득하는데 문제가 있다[3]. 그래서 실시간으로 파랑정보를 획득할 수 있으면서도 비용이 적게 드는 방법으로서 레이더 신호를 이용하여 파랑정보를 계측하는 다양한 방법들이 개발되어 오고 있다[4][5].

한편, 해수면으로부터 얻어지는 레이더신호는 해수면 반사파로 알려져 있으며, 이 신호는 해양의 동적인 특성에 크게 의존한다. 기존의 X-대역 해양 레이더에서 얻어지는 영상을 분석하여 해수면의 파랑 정보를 얻기 위해 많은 연구들이 수행해왔는데, 크게 두 가지 방식의 수치 시뮬레이션 기법이 사용되어 왔다. 한 가지 방법은 기울어짐(tilt)과 그림자효과(shadowing) 변조 과정으로 시뮬레이션을 수행하는 기법이고[6], 또 다른 방법은 정규화된 레이더 상관 부분 방식으로 시뮬레이션을 수행하는 방법이 있다[7]. 그러나 이러한 방법들은 모두 파랑 분석 자체에만 있고, 실제 해류 속도는 반영되지 않는 문제점을 갖고 있다. 즉, 해양의 레이더 영상이 얻어지기만 하면, 푸리에 변환과 필터링, 그리고 후처리 보정 과정을 통하여 파랑정보를 구함으로써 실제 해양에서 나타나는 해류속도에 의한 효과를 고려하지 않고 있다.

해류속도를 고려한 방법으로는 Young[4]은 최소 자승 정합(Least Square Fitting) 방법을 도입하여 기저 모드의 분산성 관계를 통하여 파랑정보를 얻는 방법을 제안하였다. 이 방법은 많은 후속 연구들의 기초가 되었으나 기저 모드에 의한 분산성 관계만을 고려함으로써 성능 개선에 한계가 있다. Serafino[8]는 가변적인 해류 속도에 대해 정규화된 스칼라 곱의 최대화를 통해 관찰자의 높은 해류 속도를 예측하는 방법을 제안하였다. 그러나 이 방법은 정확한 해류 속도를 결정하는데 많은 시간을 요구하는 문제점을 갖고 있다. 이러한 방법들은 모두 기저 모드의 파랑정

보만을 고려하는 한계점이 있는 반면에, Senet[9]은 높은 차원의 고조파 성분에 의한 분산성 관계에 기초하여 고정된 횡수의 반복을 통해 해류 속도를 개선하는 방식으로 최소 자승 방법을 고안하는 방법을 제시하였다. 그 외에도 Huang[10], Ganeskar[11], Nieto-Borge[12], Park[13] 등이 제안한 방법들은 반복적인 보정을 통하여 연산량이 매우 많거나 또는 성능 개선이 제한적인 경우로 알려져 있다[14][15][16]. 본 논문에서는 해류 속도를 적응적으로 구하면서 또한 연산량이 제한적인 방법으로 반복적으로 파랑정보를 계측하는 알고리즘을 제안한다.

2. 시스템 구성 및 기존의 알고리즘

2.1 계측 시스템 구성

Fig.1은 레이더 신호를 사용하여 파랑정보를 계측하는데 사용될 수 있는 전체적인 시스템의 구조 예시를 나타내고 있다. 기존에 파랑정보 계측에 사용되는 X-대역 레이더 안테나는 해안에 고정형으로 설치되어 있고, 이 레이더는 9.41 ~ 10.5Ghz 대역 주파수 범위를 갖고서, 2.8 ~ 3.2 cm의 파장 정보를 통하여 파랑 정보를 관측할 수 있도록 한다. 레이더 안테나로부터 수집된 레이더 이미지는 레이더 디스플레이 시스템에 표출된다. 이때, 레이더로부터 5km 떨어진 거리에서는 배경의 백색잡음보다는 여전히 바다 클러터 노이즈(sea clutter noise)가 더욱 크게 나타나게 되는 경향이 있는데, 이러한 특성을 고려하여 레이더로부터 거리 효과를 고려한 파랑관측이 요구된다. 레이더 이미지에서 각종 파랑 정보를 추출하기 위해서는 아날로그 정보에서 디지털정보를 변환하기 위한 A/D변환기를 필요로 한다. 이때 ADC (Analog-to-Digital Converter)을 빠를수록 고해상도의 이미지 정보로 변환할 수 있으나, 나이퀴스트 샘플링을보다도 훨씬 높은 경우에는 중복적인 정보들로 인하여 처리해야 할 정보만 증가하는 문제를 가질 수 있다. 하지만, ADC에 의해 측정될 수 있는 공간해상도가 높을수록 관측되는 파랑정보의 정확성은 개선된다.

일반적으로 A/D변환기에 의해 디지털화된 영상은 8비트 그레이 스케일의 값으로서, 데이터 저장 및 분석을 위해 개인용 PC와 같은 장치에 입력된다. 이때 다양한 부가적인 연산을 통하여 파랑정보를 추출하여 화면에 표출하게 된다. 실제 다양한 잡음에 의해 파향과 같은 파랑 정보는 순간적으로 왜곡될 수 있으므로, 일정시간 누적 통계 특성을 분석하여 그 결과를 표출하는 방식을 취한다. 따라서 이를 위해 본 논문에서는 디지털화된 레이더 영상을 이용한 3D 분석에 기초하여 개발된 파랑추출 알고리즘에 대한 것이다.

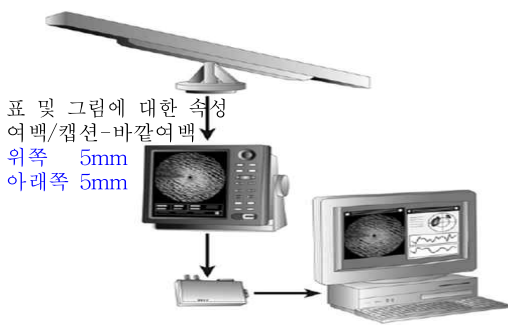


Fig. 1 Overview scheme for wave information measurement[11]

2.2 3-D FFT 기법에 기초한 기존의 파랑 계측 기법

Fig. 2는 기존에 X-대역 레이더 이미지 시퀀스를 입력으로 하여 파랑정보를 추출하기 위한 전체적인 처리 과정을 나타내고 있다. X-대역 레이더 신호는 일정한 시간 간격을 주기로 해서 관측하고자 하는 영역을 포함하는 고해상도 이미지 시퀀스로 입력하는 단계, 입력된 고해상도 이미지 영역에서 파랑 분석을 위한 공간적 구간을 설정하고, 통계적 신호처리가 가능하게 하는 시간적 누적을 수행하는 단계를 포함한다. 전체 영역을 동시에 수행할 수 없으므로 일정 분석 영역 흔히 128 x 128 해상도의 영상이 32프레임 또는 64프레임을 시간적으로 누적함으로써 시공간 분석이 가능해진다. 이렇게 누적된 분석 구간에 대해 시공간적 3차원 FFT(Fast Fourier Transform) 단계를 수행한다. 3차원 스펙트럼에

존재하는 잡음을 제거하고 또한 해류 속도를 계산하고, 시간적인 통계적 신호특성을 분석하여 파랑 정보를 추출하는 단계, 그리고 추출된 파랑 정보를 표출하는 단계 등으로 구성된다[4][5][11].

일반적으로 잡음이 없는 해수면 레이더 영상을 가정하고 3차원 FFT를 적용하게 된다. 즉, 3차원 FFT는 공간좌표 x, y 와 시간 좌표 t 에 대해 적분을 3차원 적분을 수행하여 3차원 주파수 영역으로의 변환 과정으로 표현되며, 다음 식과 같다.

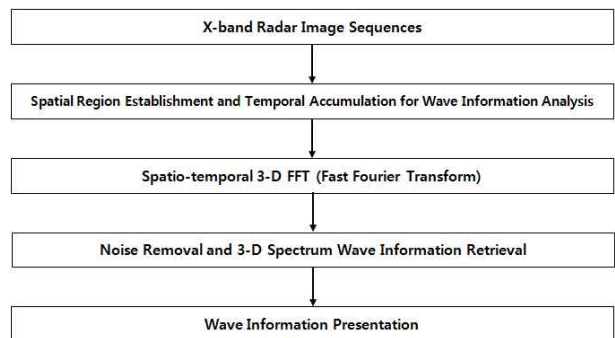


Fig. 2 Flow chart of the conventional 3-D FFT based wave information retrieval and presentation[11][4]

$$F(k_x, k_y, \omega) = \iiint \zeta(x, y, t) e^{-i(k_x x + k_y y + \omega t)} dx dy dt \quad (\text{식 1})$$

여기서, ζ 는 연속적인 레이더 영상 신호이고, ω 는 파수이고, k_x, k_y 는 각 주파수이다. 이 3차원 스펙트럼은 파랑 정보와 관련된 성분과 더불어 다양한 잡음이 포함되어 있어 분산성 관계에 의해 기본적인 잡음을 제거하며, 다음 식에 기초한다[4].

$$\omega_0 = \sqrt{g|\vec{k}| \tanh(|\vec{k}|d) + \vec{k} \cdot \vec{U}} \quad (\text{식 2})$$

여기서 \vec{k} 는 k_x 와 k_y 로 구성되는 파수 벡터이고, g 는 중력가속도, d 는 관측 영역의 수심, \vec{U} 는 바람, 해류, 조류 등을 포함한 파도 자체의 이동 속도 외에 발생하는 속도 성분의 총합을 포함한다[4][5][8][10]. 이러한 모든 요소에 의한 것을 해류라고 통칭하고 이를 별도로 정확하고 신뢰성

이 있는 값으로 구하는 방법을 구하고자 하였다. (식 2)에 의한 3차원 시공간 스펙트럼에 대해 k_x, k_y, ω 의 모든 값들에 대해 검색해서 최대값을 갖는 최대인 곳을 검색하여 이에 (식 2)에 대응하는 기저 파형(fundamental waveform)만을 검출하는 방식이 구해진다. k_x, k_y, ω 의 값을 구하여 파수(공간주파수)와 각주파수 (시간주파수) 성분을 추출하기도 하였다[4]. 이러한 방식은 기존의 young[4]에 의해 제안된 방법에 기초한 것으로서 이후에 많은 방법들이 이 방법에 기초하여 제안되었으나 구해진 파랑정보가 부정확하거나 또한 짧은 시간 내에 불안정한 결과를 도출하는 문제점을 갖고 있다. 특히, 기저 파형 성분만을 고려할 경우에는 주파수 모호성이 발생할 수 있으며, (식 1)로 구해진 3차원 데이터를 적분하여 2차원 평면에 대응하면 Fig. 3과 같이 기저 주파수 (fundamental frequency)와 고조파 주파수 (harmonics frequency)가 중첩되는 경우가 발생되며, 이로 인해 잡음이 있는 환경에서는 이들이 왜곡이 되어 실제 최대값이 아닌 다른 곳의 값을 추출되는 경우가 종종 발생된다.

그래서 (식 1)의 결과를 (식 2)에 의한 분산성 관계를 그대로 적용하고, 또한 잡음을 일정 부분 제거한다고 하더라도 여전히 고주파 영역에서 다양한 잡음이 존재할 수 있어 기존에는 대역 통과 필터링(BPF)을 수행하기도 하였다[5][10][11][13]. 즉, (식 2)의 분산성 관계에 대응되는 각 주파수에 대해 일정 영역의 크기(β) 구간만큼의 적분을 통해 해당 각 주파수에서의 공간 스펙트럼을 구하였다.

$$S(k_x, k_y, \omega) = \int_{\omega - \beta/2}^{\omega + \beta/2} F(k_x, k_y, \omega) d\omega \quad (\text{식 3})$$

(식 3)으로부터 파향 정보와 더불어 중요한 파랑정보인 파고 정보를 추출하기 위해, Young[4]와 Park[13] 등은 양의 각 주파수 성분으로 적분함으로써 공간 영역 주파수 즉, 파수 스펙트럼을 얻고자 하였다[11][13].

$$G(k_x, k_y) = 2 \int_{\omega > 0} F(k_x, k_y, \omega) d\omega \quad (\text{식 4})$$

$$G(\theta, \omega) = \frac{\partial(k_x, k_y)}{\partial(\theta, \omega)} G(k_x, k_y) \quad (\text{식 5})$$

이 결과로부터 수치해석 결과를 바탕으로 주요한 파랑정보를 추출하였다.

3. 제안한 파랑정보 추출 알고리즘

Fig. 2에 나타낸 기존의 파랑정보 추출방식과 달리 제안한 방식에 대한 전체적인 제어 흐름도는 Fig. 4와 같이 요약된다. 먼저 X-대역 레이더 신호가 입력이 되면, 일정 시간을 누적하여 그 시간 구간에 대해 시공간 3차원 FFT를 수행한다. 3차원 FFT 영역에서 반복적인 해류 속도를 구하는 과정을 도입하는데, 이때 주파수 구간에서 반복적인 방식으로 최적화된 해류속도를 구하고, 그 결과에 대해 잡음제거와 더불어 대역통과 필터링을 수행한다. 필터링된 결과를 바탕으로 공간영역의 스펙트럼을 추출하여 통계적 처리 기반의 파랑 정보를 추출하여 표출하도록 하는 방

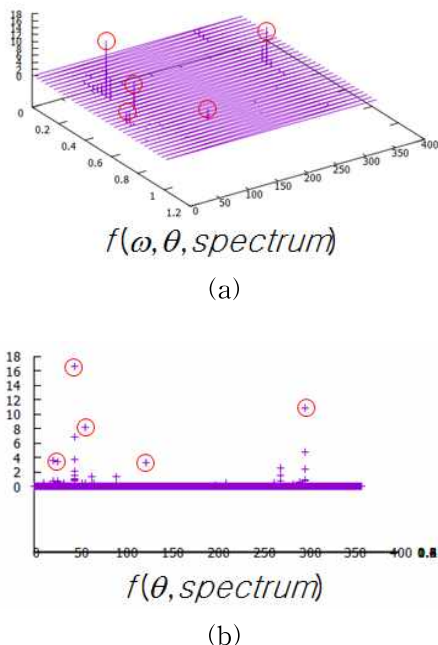


Fig. 3 An Example of 3-D spectrum $f(\omega, \theta, \text{spectrum})$ and 2-D spectrum $f(\theta, \text{spectrum})$

식으로 구성된다.

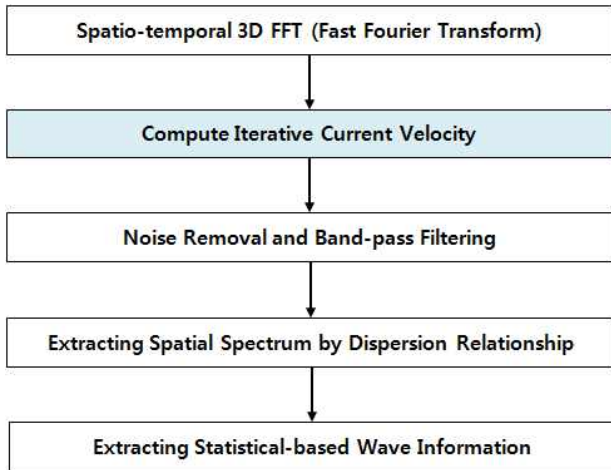


Fig. 4 Flow chart of the proposed wave information extraction

Fig. 4에 나타난 제안된 제어 흐름도에서 특징적인 요소는 해류정보를 추출함에 있어 반복적인 과정을 통하여 구하는 것이다. 해류정보 추출 제어 흐름도를 Fig. 5에 나타내었다. 먼저 해류속도를 계산하기 위해 초기의 비용함수를 정의하고, 정의된 비용함수에 기초해서 미분방정식의 해를 구하여 초기의 최적의 해류속도를 계산한다. 다음은 고조파 주파수 성분들을 고려하여 분산성 관계를 정의하고, 새로운 비용함수를 도입한다. 도입한 비용함수를 기초하여 미분방정식의 해를 구하여 새로운 해류속도를 계산한다. 계산한 해류속도가 수렴 조건 만족여부를 확인하게 되고, 수렴 조건을 만족하지 않으면 다시 고조파 주파수 성분을 고려하여 분산성 관계를 재정의하는 방식으로 수행한다. 이러한 반복적인과정을 통하여 해류속도가 계산되며, 수렴 조건이 만족되면 계산과정을 멈추게 된다.

본 논문에서는 Gangeskar[11]와 Park[13]의 연구 결과에 기초하여 다음과 같이 초기의 비용함수를 도입한다. 즉, 초기의 비용함수는 3차원 FFT한 결과에 대해 (식 2)에 의한 분산성 관계 성분과 해류성분을 제외한 성분에 대해 제곱 가중치를 부여한 것으로 정한다.

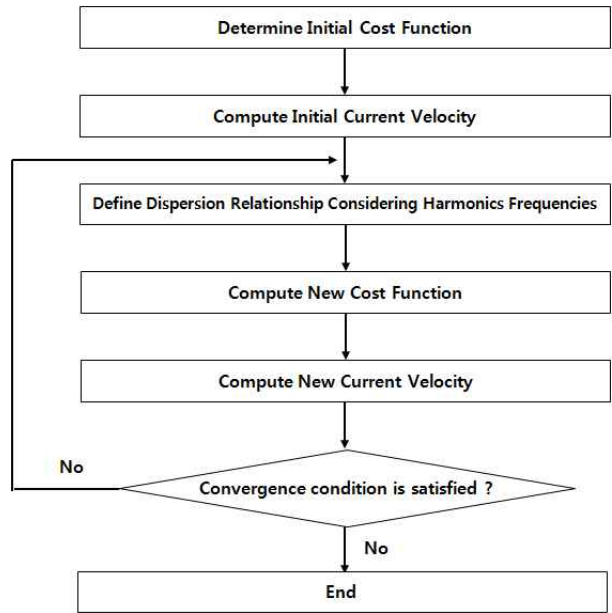


Fig. 5 Flow chart of the proposed iterative current calculation

$$J = \sum \sum \sum (\Delta \omega)^2 F(k_x, k_y, \omega) \quad (\text{식 6})$$

여기서,

$$\Delta \omega = \omega - \omega_0 - k_x U_x - k_y U_y \quad (\text{식 7})$$

이며, (식 6)을 최소화하기 위해 각 주파수 성분에 대해 미분하여 최적인 값을 구하면

$$\begin{pmatrix} U_x \\ U_y \end{pmatrix} = \frac{1}{(\sum E k_x^2)(\sum E k_y^2)} \begin{pmatrix} \sum E k_y^2 & \sum E k_x k_y \\ \sum E k_x k_y & \sum E k_x^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sum E(\omega - \omega_0) k_x \\ \sum E(\omega - \omega_0) k_y \end{pmatrix} \quad (\text{식 8})$$

와 같이 얻는다[13].

다음에는 Huang의 접근방식[10]에 기초하고, (식 8)을 통해서 얻은 결과를 바탕으로 하여 다음과 같이 p(=0, 1, 2, ...)개의 분산성 관계를 포함하는 방정식은

$$\omega_p = \pm (p+1) \sqrt{\frac{g|k|}{(p+1)}} + k_x U_x + k_y U_y \quad (\text{식 9})$$

로 결정한다. (식 9)의 결과에 따라 새로운 비용함수를 다음과 같이 정의한다.

$$G_p(k_{x_i}, k_{y_i}) = 2 \int_{\omega > 0} F(k_{x_i}, k_{y_i}, \omega) d\omega \quad (\text{식 } 10)$$

$$J = \sum \sum \sum (\omega - G_p(k_{x_i}, k_{y_i}) - k_{x_i} U - k_{y_i} V)^2 F(k_{x_i}, k_{y_i}, \omega) \quad (\text{식 } 11)$$

여기서, k_{x_i} 와 k_{y_i} 는 i 번째 반복 구간에서의 파수를 나타내고, $G_p(k_{x_i}, k_{y_i})$ 는 (식 10)에 의해 결정되는 각 주파수에 대해 i 번째 반복 구간에서의 파수에 대응되는 (식 4)를 나타낸다.

새로이 정의된 비용함수에 기초해서 다시 이 비용함수를 최소화하도록 하기 위해 (식 11)에 의해 새로운 해류 속도를 얻게 된다. 이렇게 해서 얻어진 해류 속도를 각각 U_{x_n}, U_{y_n} 라고 하고, 이전에 얻은 해류 속도를 $U_{x_{n-1}}, U_{y_{n-1}}$ 이라고 하여 수렴 조건을 다음과 같이 사용한다.

$$\sqrt{(U_{x_n} - U_{x_{n-1}})^2 + (U_{y_n} - U_{y_{n-1}})^2} < 0.005 \quad (\text{식 } 12)$$

(식 12)에 의해 정의되는 수렴조건을 만족하지 않으면 다시 (식 9) 단계로 이동해서 고조파 성분을 고려한 분산성 관계식을 다시 정의하고, 만족하는 경우에는 종료를 하고, 최종적으로 얻어진 U_{x_n}, U_{y_n} 를 해류속도로 결정한다.

4. 시뮬레이션 결과 및 검토

시뮬레이션을 위해 부산시 용호동 부두 선착장에 설치된 레이더를 통하여 PPI(Plan Position Indicator) 이미지를 얻었다. PPI 이미지는 레이더로부터 3초 단위로 보낸 신호가 해수면에 부딪혀 되돌아오기까지 걸린 시간, 방향, 신호 크기 등에 대한 정보를 포함하고 있으며, 파의 주기, 높이, 진행방향 등의 정보를 포함하고 있어, 연속적인 이미지를 통해 시각적인 정보로 표출이 가능하다. PPI 이미지를 통하여 파랑정보를 추출하기 위한 시뮬레이션 결과와 비교하기 위해 실측 데이터 측정을 위한 부이가 위치한 곳은 해운대 앞

해상이다. 부이로부터 실측된 데이터는 Fig. 6과 같이 국립해양조사원(<http://www.khoa.go.kr>) 홈페이지를 통해 얻을 수 있다. 실제 11월27일에 X-대역 레이더로부터 데이터를 얻었으며, 시물레이션은 연속된 PPI이미지에서 64장의 연속된 이미지를 불러와 128 x 128 크기의 서브 이미지 영역을 지정 한 후에, Fig. 2, Fig. 4, 그리고 Fig. 5에 나타낸 기존 방법과 제안한 방법을 각각 3D FFT를 수행하여 그 실험 결과를 비교 분석하였다.

4.1 해류속도 추출 성능 비교

기존의 해류 속도 추출 방법으로 Young[4]방법, Senet[9]방법 등으로 구하였다. Young[4]방법은 최소자승법을 이용하여 3D FFT 결과에서 에너지가 분포하는 주파수와 분산관계식으로 계산되는 주파수 사이의 오차가 최소가 되는 값으로 해류 속도를 구한다. 반면에, Senet[9]방법은 기본적으로 Young[4]방법을 기초로 하고 있지만, 기존의 Young[4]방법을 개선하여 기본 주파수와 고조파 주파수 모드의 분산관계식을 적용하여 모드의 선택에 따라 해류 속도를 반복적으로 갱신하는 방법으로 해류속도를 추출하고 있다.

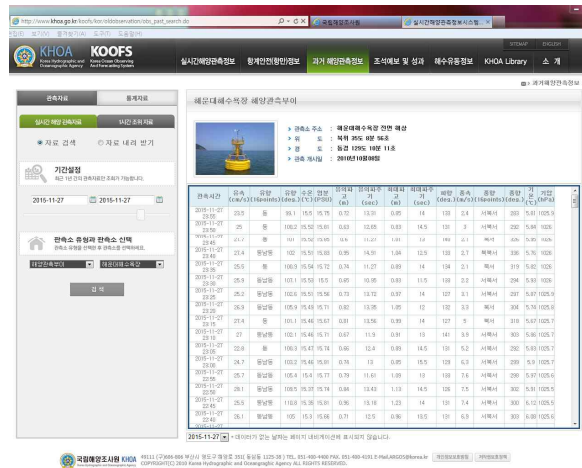


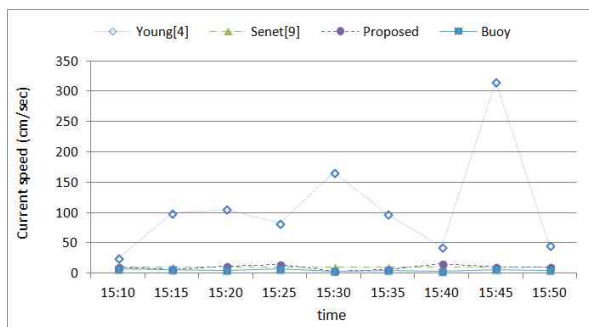
Fig. 6 Location of radar antenna and KHOA's homepage

11월27일 오후 약 2시간에 걸쳐 측정된 부이로

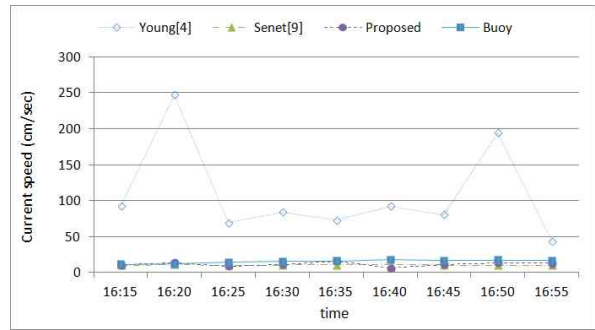
부터 얻은 해류의 평균 속도는 10cm이하로 관측되었다. Fig. 7은 시뮬레이션 결과와 실측치 부이 데이터를 각각 비교하고 있다. 이 그림에서 알 수 있듯이, 기존의 Young[4]방법은 평균오차로 약 103.6cm/sec 크기로서 매우 큰 오차를 보이고 있으며, 이 방법으로는 평균 해류 속도를 구하는데 매우 부적합함을 알 수 있다. 그리고 Senet[9] 방법은 약 5cm/sec 정도의 평균오차를 보이는 반면에 제안한 방법은 평균오차가 4cm/sec이하로서 가장 정확한 성능을 보이고 있다.

4.2 파향정보 추출 성능 비교

파향 정보는 중요한 해상의 파랑정보 중의 하나이다. Fig. 8은 기존의 방법 그리고 제안한 방법에 대한 파향에 대한 시뮬레이션 결과를 나타내고 있는데, 제안한 방법이 부이데이터에 가장 근접하는 결과를 도출하는 것으로 볼 수 있다. Young[4]방법은 실측치 부이 데이터에 비교하였을 때, 각도에서 대략 18 ~ 51° 정도의 평균 오차를 보이는 관찰하게 되고, Senet[9]방법도 대략 18 ~ 52° 정도의 평균 오차를 보인다. 반면에 제안한 방법은 5 ~ 7° 정도의 평균 오차를 보임으로써 실측치와 매우 유사한 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다. 해류 속도를 계산하는 방법에 비해 제안한 방법을 포함한 기존의 방법은 상대적으로 안정된 파향 정보를 추출하는 것을 확인할 수 있으며, 특히, 제안한 방법은 파향이 급격히 변화하더라도 안정되고 신뢰성이 있는 결과를 도출하고 있음을 확인할 수 있다.



(a)



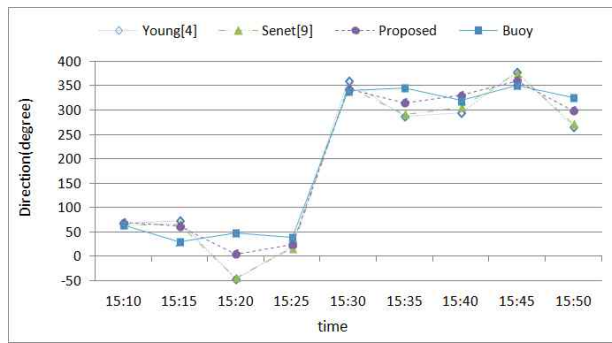
(b)

Fig 7. Performance comparison of retrieved current velocities. (a) 2015.11.27. 15:10~15:50, (b) 2015.11.27. 16:15~16:55

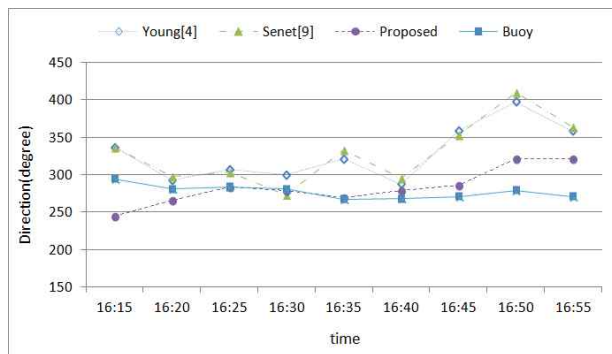
5. 결론

본 논문에서는 해수면으로부터 얻어지는 레이더 영상 신호를 분석하여 해수면의 파랑 정보를 얻기 위한 방법으로서 해류속도를 반복적 보정에 의해 파랑정보를 구하는 기법을 제안하였다. 제안한 방법은 기존의 3차원 FFT기법에 기초하고 있으나 초기의 해류속도를 계산하는 과정과 보정 과정에서 분산성 관계 성분과 해류성분을 제외한 성분에 대해 제곱 가중치를 부여하는 방법으로 최적화하도록 하였다. 시뮬레이션을 통하여 제안한 방법은 기존의 다른 방법에 비해 비교적 신뢰성 있고, 안정된 해류속도를 구하였고, 실측된 부이 데이터와 매우 유사한 특성을 얻을 수 있었다. 또한, 이를 통하여 얻어진 파향 정보는 실측된 값들과 오차를 매우 작게 할 수 있음을 관찰하였다.

본 논문에서 실험한 내용은 동일한 장소에서 큰 파도가 없는 바다에서 실험 데이터가 획득되었는데, 실용성을 검증하기 위해서는 높은 파도가 있는 곳의 데이터에 대해 확인할 필요가 있다. 또한, 매우 높은 파고와 더불어 파향 정보가 매우 동적인 장소에 대해 검증이 추가로 진행될 필요가 있다.



(a)



(b)

Fig. 8 Performance comparison of wave direction extraction algorithms (a) 2015.11.27. 15:10~15:50, (b) 2015.11.27. 16:15~16:55

References

[1] Y. Kim and C. Song, "A Study on the Improvement of the Role of VTS by Analyzing Causes of Marine Accidents in Busan Port," *Journal of Navigation and Port Research*, Vol. 33, No. 8, pp. 525-530, 2009.

[2] M. Manoufali, P. Kong, and S. Jimaa, "An Analysis of Uncovered Area of Camera Sensor Network in Maritime Environment," 1st International Workshop on GReen Optimized Wireless Networks (GROWN'13), October 7, 2013, Lyon, France, pp. 130-134,

IEEE Press.

[3] "Introduction to Radar System and Component Tests, White Paper," Rohde and Schwarz, 2007.

[4] I. R. Young, W. Rosenthal, and F. Ziemer, "A Three-dimensional Analysis of Marine Radar Images for the Determination of Ocean Wave Directionality and Surface Current", *Journal of Geophysical Research*, Vol. 90, No. C1, pp. 1049-1059, 1985.

[5] W. Huang and E. Gill, "Surface Current Measurement Under Low Sea State Using Dual Polarized X-band Nautical Radar," *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, Vol. 5, No. 6, 2012.

[6] J. C. Nieto-Borge, R. G. Rodriguez, K. Hessner, and I. P. Gozales, "Inversion of Marine Radar Images for Surface Wave Analysis," *Journal of Atmos. Oceanic Technology*, Vol.21, pp. 1291-1300, 2004.

[7] D. H. Nomiyama and T. Hirayama, "Evaluation of Marine Radar as an Ocean-wave-field Detector Through Full Numerical Simulation," *Journal Marine Science Technology*, Vol.8, pp. 88-98, 2003.

[8] F. Serafino, C. Lugni, and F. Soldovieri, "A Novel Strategy for the Surface Current Determination from Marine X-Band Radar Data", *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, Vol. 7, No. 2, pp. 231-235, 2010.

[9] C.M. Senet, J. Seemann, and F. Ziemer, "The Near Surface Current Velocity Determined from Image Sequences of the Sea Surface", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens Letters*, Vol. 39, No. 3, pp. 492-505, 2001.

[10] W. Huang and E. Gill, "Simulation Analysis of Sea Surface Current Extraction from Microwave Nautical Radar Images", in *Proceedings of the IEEE International Conference on Image*

Processing, Orlando, USA, 2012.

- [11] R. Gangeskar, "Ocean Current Estimated From X-Band Radar Sea Surface Images", IEEE Transactions on Geosci. Remote Sens., vol. 40, no. 4, pp. 783-792, 2002.
- [12] J. C. Nieto-Borge, K. Hessner, P. Jarabo-Amores and D. Mata-Moya, "Signal-to-noise Ratio Analysis to Estimate Ocean Wave Heights from X-band Marine Image Time Series," IET Radar Sonar Navig., Vol. 2, No.1, pp. 35-41, 2008.
- [13] J. Park, "Study on Sea Surface Reconstruction Using Sequent Radar Images," Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol. 27, No. 6, pp. 100-105, 2013.
- [14] S. Ji, "The Improved-Scheme of Audio Steganography using LSB Techniques", Journal of the Korea Industrial Information System Society, Vo 19, No. 4, pp.37-42, 2014.
- [15] K. Park, "An Effective Postprocessing Algorithm for Block Encoded Images Using Adaptive Filtering and Interpolation", Journal of the Korea Industrial Information System Society, Vo 12, No. 1, pp.39-45, 2007.
- [16] B. Mun "Research on Image Compression Quality and Limited Inclusion of DCT Coefficient", Journal of the Korea Industrial Information System Society, Vo 20, No. 5, pp.53-60, 2015.



김진수 (Jin-soo Kim)

- 정회원
- 한국과학기술원(KAIST) 전기 및 전자공학과 공학박사
- 한밭대학교 정보기술대학 정보통신공학과 교수
- 관심분야 : 영상신호처리, 압축센싱, 멀티미디어정보처리



이병길 (Byung-Gil Lee)

- 정회원
- 경북대학교 전자공학과 공학박사
- 한국전자통신연구원 책임연구원
- 관심분야 : 영상신호처리, VTS기반 신호처리