

위성 X-band SAR 이미지를 이용한 항적 분석 연구

김세라*

*해군사관학교

*srkim@navy.ac.kr

Research on the ship wake analysis using satellite X-band SAR images

Kim Sera*

*Republic of Korea Naval Academy

요약

본 논문은 위성 X-band SAR 영상에서 관측되는 선박 후류 항적을 여러대의 선박의 운동 상태와 상호작용 정보를 파악하기 위한 수치정보를 정의하였다. 선박 항적을 방향성 그래프로 추상화한 뒤, 이를 MOY(Murakami - Ohtsuki - Yamada) 그래프 관점에서 해석하여 분기, 합류, 그리고 루프 구조의 변화를 정량화하는 방법을 제안한다. 특히 SAR 이미지 영상에서 에지-스켈레톤화한 이미지 변화 후, 분기, 합류, 루프 중심의 MOY-like 그래프를 구성하고, 분기-합류-루프를 고려한 Ship wake Interaction Index를 정의하고 실제 사례에 적용하였다.

I. 서 론

SAR 기반 선박 탐지에서 선박 항적은 선박의 움직임을 파악하기 위한 정보로 사용된다. 해당 이미지의 항적 구성을 바탕으로 한 가시성 추정은 레이더 파장, 입사각, 선박 크기, 속도 등 다양한 영향인자에 의해 비선형적으로 변하며, 이 특성은 항적 기반 추정 알고리즘의 성능을 좌우한다.[1] 최근에는 항적 성분의 검출 가능성과 영향인자를 모델링하는 연구 및 위성영상 기반 후류 검출 기법을 정리한 리뷰가 축적되고 있다[2]. 항적은 본질적으로 연속 곡선 구조인데, 이를 단순한 선분이나 각도·길이·특징만으로 표현하면 근접 상호작용(예: 두 선박이 가까이 항해할 때의 간섭, 합류, 비대칭 강화)을 포착하기 어렵다. 반대로 위상적 관점인 분기점, 합류점, 그리고 재연결 모양으로 항적을 구조화하면, 상호작용이 생길 때 그래프 구조가 바뀐다는 수치를 정의할 수 있다. 따라서 본 연구는 위성에서 X-band SAR로 촬영한 선박 항적을 MOY 그래프 형태의 방향성 그래프로 바꿔 표현하고, 그래프 구조 변화량을 근접 상호작용 지표로 정의하는 방향을 제안한다.

II. 본론

해당 연구를 위한 이미지 처리 및 해당 수치를 정의하는 단계를 보아도록 하겠다.

2.1 이미지 전처리 및 스켈레톤화

원본 SAR 강도 영상을 통해 Canny 힘수를 이용한 에지 영상을 아래와 같이 추출한다.

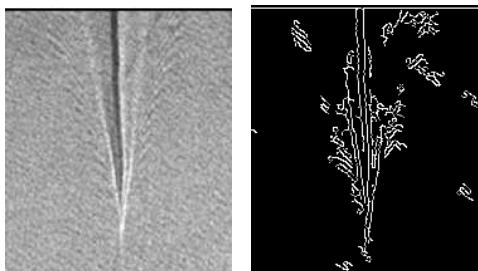


Fig. 1. 위성 X-band SAR에서 관측된 항적 이미지[1]와 스켈레톤 이미지

이를 위해 항적 후류 성분 중 주 후류 성분으로 선택하였다. 이는 연결요소 분석으로 가장 큰 연결 성분을 유지하여 잡음성 산란은 최대한 제거할 수 있다. 추가로 가벼운 연결 보정을 추가하였으며 여기서 중심선의 스켈레톤 추출하였다. 이를 위해 마스크를 1픽셀 두께의 중심선으로 thinning(Zhang - Suen류)하여 곡선의 위상 구조를 안정적으로 보존하였다. 이 과정은 선 굽기의 변화보다는 연결성을 우선시하므로, 위상 분석에 유리하다고 판단하였다.

2.2 노드 및 에지의 MOY 그래프화를 위한 degree 도입

이렇게 얻어진 스켈레톤 픽셀에 차수(degree)를 적용하여 끝점은 degree 값을 1로, 접합점에는 양측 방향에서 오는 degree를 더하여 3 이상의 degree값을 적용한다. 이 후 노드 클러스터의 경계에서 스켈레톤을 따라가며 다른 노드에 도달할 때까지 추적하여 구성된 에지의 degree값을 부여한다. 스켈레톤에서 나오는 짧은 잔가지부분은 특정 임계값 이하일 경우 제거하여 전체 계산값의 안정성을 높였다.

2.3 방향 부여(orientation)와 MOY-like 해석

MOY 그래프는 본래 교차 구조를 갖는 그래프 불변량 계산에 등장하지만, 본 연구에서는 교차가 없는 형식적 MOY-like 그래프로 다음 대응을 사용한다. 후류 진행 방향(선박 위치에서 원거리 방향)을 기준으로 그래프에 방향을 부여하고 후류 성분이 갈라지는 구조 또는 두 성분이 합류하여 한 성분으로 수렴하는 구조, 재연결 패턴이 만들어내는 원 구조를 각각 분기, 합류, 루프라고 지칭하였다. 해당 그래프의 방향 정의는 선박 위치를 그래프의 하단 노드로 지정하였다.

3. Ship wake interaction index 정의 및 적용

연구자가 확인하고자 하는 함선들 사이의 근접 상호작용이 강해지면 경험적으로 합류, 분기, 루프가 등장하는 이벤트가 증가하게 된다. 이를 반영해 다음 수치를 정의한다.

$$M = \frac{m}{\max(1, s)}, \quad B = \frac{s + m}{L+1}, \quad L = \frac{2+E-V}{\max(1, V)}$$

여기서 V 는 MOY 그래프의 vertices 개수, s 는 그래프에서 분기 개수, m 은 합류 개수, L 는 그래프의 길이정보, E 는 MOY 그래프의 degrees 개수이다. 그럼 여기서 M 은 합류점이 분기점에 대한 비율 정보가 된다. B

는 전체 그래프에서 분리된 vertices의 비율 정보이며, L 은 2차원 평면 그래프 정보에서 오일러 degree 2를 이용하여 그래프의 vertices와 faces 개수의 비중을 파악하는 값이 된다. 여기서 함선 사이의 상호작용에서 항적의 합류 및 루프 형태가 등장하는 구조가 2배이상 등장하므로 Ship wake intersection index를 정의하면 0.4 가중치를 M 과 L 에 주고 0.2가 중치를 B 에 두어 정의한다. 이 경우 Fig.1.의 index는 V 가 30, E 가 31이며, s 는 1, m 는 8로 분석되었으며 이를 통해 index의 절댓값은 0.445로 계산된다.

III. 결론

이 index 결과는 해석적으로, 본 이미지는 분기 이벤트가 다수 존재하고, 소규모 루프가 감지되어 해당 index가 0보다 큰 값으로 산출되었다. 다만 s 가 1로 크지 않으므로 강한 근접 간섭이라 단정하기보다, 후류의 구조적 복잡도가 존재하는 장면으로 보는 것이 안전하다. 특히 edge 영상은 잡음에 민감하므로, 실제 적용에서는 원본 SAR 강도 영상 기반으로 그래프 안정화를 추가하는 것이 필요할 것으로 보인다. 이 결과는 영상의 시간별 이미지를 바탕으로 index의 변화량을 확인할 수 있다. 또한 실시간 선박 접근 시 해당 index값을 이용한 안전 선박 거리 측정용으로 사용 가능하리라 생각된다.

ACKNOWLEDGMENT

참 고 문 헌

- [1] Tings, B. Non-Linear Modeling of Detectability of Ship Wake Components in Dependency to Influencing Parameters Using Spaceborne X-Band SAR. *Remote Sensing*, (2021), 13, 165
- [2] Mazzeo, A.; Renga, A.; Graziano, M. D. A Systematic Review of Ship Wake Detection Methods in Satellite Imagery. *Remote Sensing*, (2024) 16, 3775.