

해양환경 정보를 고려한 북극해 항로계획 연구

여승균, 정현(한국과학기술원)

1. 서론

지구 온난화의 영향으로 북극해의 빙하 면적이 줄어들고 있다. 과학자들에 따르면 매년 스위스만한 면적의 해빙이 사라지고 있다고 한다. 지구 평균적으로는 산업혁명 이전과 비교해서 섭씨 0.74도 정도 온도가 상승했으나, 그린란드를 포함한 북극지방은 저위도 지방에 비해 훨씬 가파르게 온도가 상승하고 있다. 전지구적인 기후 변화에 대한 우려의 목소리가 높아지는 가운데 한편으로는 이러한 북극해 해빙이 축소하는 것을 새로운 기회로 활용하고자 노력하고 있다. 북극해의 수산 자원 및 지하 자원을 개발하거나, 북극해를 가로지르는 새로운 항로를 개척하기 노력들이 계속되고 있다. 북극의 환경을 고려한 최적 북극항로 계획에 대한 연구는 이러한 북극의 새로운 활용을 위한 필수적인 연구이다.

일반적으로 항로 계획 또는 경로 계획은 1) 경로 계획의 대상이 되는 영역에 대한 연속적 또는 이산화된 정보를 가진 지도 작성, 2) 경로를 운행할 운동체 (로봇 또는 선박)가 해당 환경에서 운행하는데 소요되는 에너지 등 비용함수를 계산할 수 있는 운항모델 (ship transit model) 개발, 그리고 3) 경로 최적화 알고리즘의 연구로 구성된다.

첫 번째로 항로 설정 지역에 대한 정보가 필요하다. 빙해역인 북극해에서 선박의 운항에 영향을 주는 변수들, 즉 운항모델에 영향을 주는 정보들로는 해빙의 두께, 집적도 (concentration), 조류의 방향 및 세기, 바람의 방향 및 세기, 등 다양한 것들이 있다. 특히 북극해 항로계획 문제에서는 이러한 환경정보의 불확실성이 다른 경로계획 문제와 달리 무시할 수 없이 크다는 특징이 있다. 예를 들어, 최적 경로계획을 위해 빙두께, 빙집적도(ice concentration)가 가장 중요한 환경 인자라고 한다면, 어느 한쪽 경로의 빙두께와 빙집적도 값이 다른 경로에서의 값들과 다르기 때문에 여러 경로 대안 중 정량적으로 해당 경로의 운항비용 또는 에너지의 차이를 계산할 수 있고, 최적 경로를 선택할 수 있게 된다. 그러나 만약 빙두께, 빙집적도의 값의 신뢰도 또는 정확도가 떨어진다면, 그를 기반으로 계산된 최적 경로에 대한 신뢰도 또는 정확도도 낮아지게 된다.

두 번째로는 현재 환경 정보에 기반한 가까운 미래에 대한 환경 정보 예측값이 필요하다. 북극해 영역에서 일반적인 선박이 항해를 할 경우, 약 1-2주일 가량이 소요되는데, 현재로

부터 1-2주 미래에 대한 환경정보를 모두 예측할 수 있어야, 그를 기반으로 한 북극해 전체의 최적 운항 경로를 결정할 수 있게 된다. 북극해 환경정보의 예측도, 일반적인 일기예보가 그러하듯 바로 다음날과 같은 가까운 미래에 대한 예측정보가 일주일 후나 좀 더 먼 미래의 예측정보에 비해 상대적으로 더 정확하고, 이는 곧 같은 경로계획 지도 안에서도 서로다른 신뢰성을 갖고 있는 환경 정보를 고려해서 경로계획을 수행해야 한다는 의미이다.

북극해의 항로계획을 위해서는 이러한 불확실성이 큰 환경 변수를 반드시 고려해야 하며 그에 따라 이에 맞는 적절한 항로계획 방법론이 개발되어야 한다.

2. 본론

2.1 북극 항로 계획 시스템

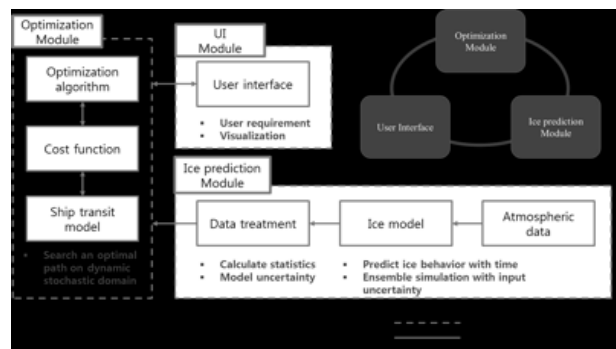


그림 1 북극 항로 계획 시스템 모식도

그림 1의 모식도는 북극 항로 계획시스템을 간략화하여, 나타내고 있다. 항로 계획 시스템은 크게 3가지 부분으로 나눌 수 있다. 해양 환경 정보 예측 모듈, 최적화 모듈, UI(User Interface) 모듈로 나눌 수 있다. 이 중 본 논문에서는 최적화 모듈에 초점을 두고 진행을 하고자 한다.

2.2 해양 환경 정보

본 연구에서는 해양 환경 정보 중 빙두께, 빙집적도, 위, 경도 방향의 유속 등 총 4가지 해양 환경정보를 기반으로 해양

환경 정보를 항로 계획에 반영하도록 하였다. 이는 가장 대표적인 북극해 항로 계획에서 고려되어야 할 요소이며, 비교적 초기에 쉽게 고려 가능한 정보임으로 이를 활용하여 진행하도록 하겠다.

본 연구에서 활용하는 해양 환경정보의 원천 정보는 공동 연구기관 중 한국해양과학기술원(KIOST)에서 위성자료등을 기반으로 하여, 북극해 전역을 총 2047×2047의 해상도 2.5km의 그리드 타입으로 제공되었다.

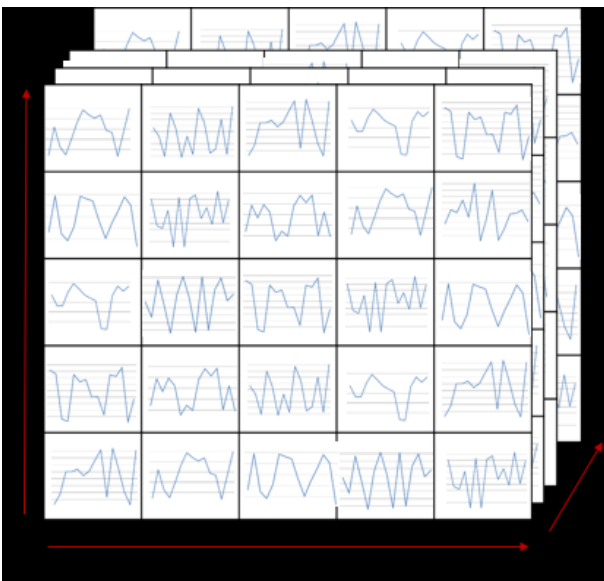


그림 2 해상 환경 정보의 Dynamic domain

그림 2는 KIOST에서 제공된 해양 환경 정보를 최적화 모듈에서 활용하는 방식에 대해 간략화하여 나타낸 그림이다. 해상환경 정보는 x, y 의 그리드 맵에서 위치에 따른 값 변화 뿐만 아니라, 시간(t)에 따라 변화하는 값을 가지게 된다. 또한 그 해상환경정보가 예측값이기에 본질적으로 불확실성을 내포하게 된다. 상대적으로 먼 미래의 값은 앞선 예측치의 불확실성의 영향으로 인하여, 그 불확실성이 커지는 경향을 가지게 된다. 따라서 경로탐색 방법론은 이러한 불확실성을 고려하여야 한다.

2.3 경로 탐색 방법론

본 연구에서 북극항로의 경로를 찾기 위해서, 사용한 방법론은 최적 경로를 찾는 방법론 중, 비교적 빠르고, 적절한 결과를 도출 하는 A* 방법론을 사용하였다.

A* 방법론은 지역을 탐색을 하는 동안, 각각의 경로를 트리 구조로 만들어가는 방법론이다. A* 방법론의 cost function은 2가지 파트로 나뉘어진다. 첫 번째는 시작점부터 특정점까지의 경로에 대한 정확한 비용, 두 번째는 특정점부터 최종점까지의 개략적인 비용이다. 이러한 비용을 기반으로 현재 지점에서 주의의 후보 지점들의 cost function을 계산하고 이중 최소 비용이 발생하는 후보점을 다음 지점으로 정하게 된다. A* 방법론은 다음 지점이 최종점이 될 때까지 반복적으로 진행되는 방법론이다.

A* 방법론은 그 활용에 있어서 낮은 계산 비용, 빠른 탐색 속도, 비교적 좋은 수렴성을 가지고 있기에, 항로 계획을 위한 많은 연구에서 활용 되고 있다. 다만 본 연구에서는 각 후보점을 거치면서 계산되는 cost function의 값을 해당 그리드에서의 환경 정보를 활용하여 계산할 때, 환경 정보 자체를 특정한 확률분포를 따르는 random variables로 가정하였고, 경로를 따라 계속 더하게 되는 경로의 cost function 값을 계산할 때 random variables의 연산을 사용하였다.

2.4 cost function 정식화

본 논문에서 노드(N)와 아크(A)로 이루어진 경로(P)를 찾는 것이 목적이다. 여기에서 노드 N_i 의 하위 정보로는 위치 정보(x, y)와 시간 정보(t)를 가진다. 그리고 $A_{i,j}$ 는 i 노드에서 j 노드까지의 아크를 나타낸다. $C_{i,j}$ 는 $A_{i,j}$ 의 비용을 의미한다. 이번 연구에서는 총 항해시간을 최소화하는 것이 목표이다.

$$C_{i,j} = \frac{D_{i,j}}{v_{i,j}(t)}$$

따라서 노드간 비용은 위와 같이 표기 될 수 있다. 여기에서 $D_{i,j}$ 는 $A_{i,j}$ 의 거리를 나타내고, $v_{i,j}(t)$ 는 시간(t)에서 $A_{i,j}$ 를 지나가는 선박의 속력을 의미한다.

실제 선박의 속력은 해상환경정보를 고려하여, 복잡한 계산을 통해 결정되지만, 본 연구에서는 기존의 연구에서 개발 특정선박을 기준으로 하여, 선형회귀식을 통하여 결정된 아래의 식을 활용하였다.

$$v_{i,j}(t) = -0.011h_{A_{i,j}}(t) + -0.0354c_{A_{i,j}} + \sqrt{(v_{sx} + u_{A_{i,j}}(t))^2 + (v_{sy} + w_{A_{i,j}}(t))^2}$$

$h_{A_{i,j}}$ 는 $A_{i,j}$ 의 빙두께, $c_{A_{i,j}}$ 는 $A_{i,j}$ 의 빙 집적도, u 와 w 는 조류의 x, y 방향의 성분을 나타낸다. 또한 이러한 값들은 시간에 따라 변하므로 시간에 대한 함수로도 나타내어진다.

이러한 식을 바탕으로 최종 목적함수는 Z 는 아래와 같이 작성 할 수 있다.

$$Z = \min \sum_{A \in P} C_{i,j}$$

또한 제한조건으로는

$$P = \sum_{l=1}^m N_l$$

$$N_1 = N_{start}$$

$$N_m = N_{goal}$$

$$h_{A_{i,j}}(t) \leq B$$

이와 같이 표기 될 수 있다.

여기에서 B 는 쇄빙능력으로 선박의 최대 쇄빙가능한 빙두께로 본연구에서는 3m로 설정하였다.

3. 결과

본 최적항로 계획 모듈의 성능을 평가 하기 위하여, 설정한 케이스는 무르만스크에서 베링 해협까지 오는 북극항로를 설정하였고, 사용한 데이터는 2015년 5월 10일부터의 데이터를 활용하였다.

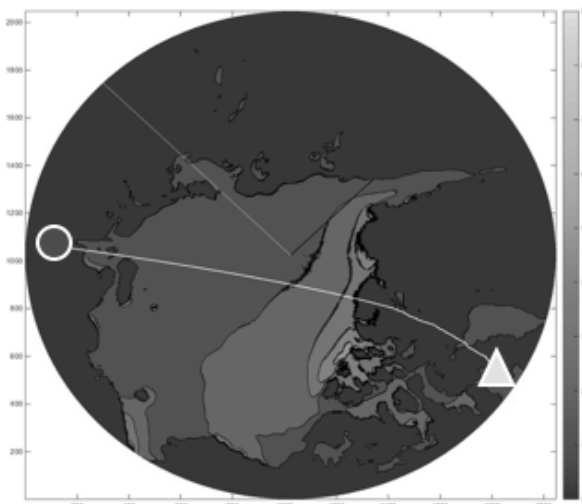


그림 3 무르만스크- 베링해협 항로 계획

그림3은 본 연구의 최적항로 경로 모듈에 의해 도출된 항로 계획으로 비교적 직선으로 보이지만, 실질적으로 출발지점에서 목적지까지 직선이 아닌 그 사이의 빙두께나, 집적도가 높은 지역을 회피하여 돌아가는 경로 임을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구를 통하여, 해양환경 정보를 고려한 북극항로 계획 방법론의 기본적인 연구를 진행 할 수 있었다. 이를 통하여 A* 알고리즘의 북극항로 계획에서의 활용 가능성을 검증하였고, 추후 더 많은 종류의 북극 해양환경정보를 고려한 ship transit model과의 연동을 통하여, 더 정확하고, 안전한 항로 계획을 도출할 수 있는 기본적인 워크프레임을 구현 하였다는데 본 연구의 의의를 둘 수 있을 것이다.

본 연구에서 나온 결과는 추후 실제 북극해를 항해하는 아라온호에 탑승하여 실제 항해데이터와 실제 북극항로 항해사와의 인터뷰등을 활용하여, 목적함수와 경로 계획방법의 수정을 통해 그 성능과 신뢰도의 증진을 가져갈 계획을 가지고 있다.

참고 문헌

- 최민주, 정현, 아미구치 하지메 [Arctic sea route path planning based on an uncertain ice prediction model] (2015)
- 여승균, 강경택, 정현 [다양한 해상 환경 정보를 활용한 북극해 선박 항로 계획](2015)



정현

- 1973년생
- 1998년 서울대학교 조선해양공학과 박사
- 현 재 : KAIST 기계공학과 해양시스템공학 대학원 조교수
- 관심분야 : 생산시스템공학, 최적화 방법론
- 연 락 처 : 042-350-1513
- E - mail : hyunny92@kaist.edu



여승균

- 1985년생
- 2013년 KAIST 해양시스템공학과 석사
- 현 재 : KAIST 해양시스템대학원 박사과정
- 관심분야 : 최적화 방법론, 최적 설계
- 연 락 처 : 042-350-1553
- E - mail : adonysysk@kaist.ac.kr