

진화전략 기반 경로탐색 알고리즘을 활용한 선박경제운항시스템

방세환*, 권영근*
 *울산대학교 IT융합전공
 paumqkd@mail.ulsan.ac.kr

An Economic Ship Routing System by a Path Search Algorithm based on Evolutionary Strategy

Se-hwan Bang*, Yung-keun Kwon*
 *Dept of IT Convergence, University of Ulsan

요 약

선박경제운항이란 예보된 기상정보를 활용하여 연료소모량을 최소화하도록 선박을 운항하는 것으로서 최근 다양한 방법론이 연구되고 있다. 성공적인 경제운항시스템을 구현하기 위해서는 기상을 고려하여 지리적 운항경로를 바꾸거나 적절하게 엔진 출력을 조절하는 방법이 필요하다. 그러나 항해 시각에 따라 연료소모량이 변하는 동적 비용 문제임을 고려할 때 지리적 운항 경로의 결정은 최적의 해를 찾기가 어렵다. 이에 이 논문에서는 매우 많은 지리적 후보 경로들 중에서 우수한 품질의 해를 효과적으로 탐색하기 위한 진화전략 기반 경로탐색 알고리즘을 제안하였다. 제안된 방법을 5개 노선에 대해 실험한 결과 최단거리 운항 방법에 비해 운항소요시간은 거의 차이가 없으면서도 연료소모량을 평균 1.41%, 최대 1.45% 개선시킬 수 있었다.

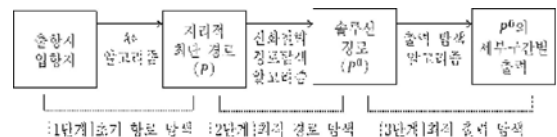
1. 서론

선박경제운항이란 연료소모량을 최소화하도록 선박을 경제적으로 운항하는 것을 말하며 국제적인 에너지 절약 및 환경보호 필요성에 의해 그 중요성이 더욱 부각되고 있다. 가장 보편적인 경제 운항방법으로는 감속 운항 방법이 있는데 이 방법은 선박 엔진의 출력을 적절하게 감속하여 연료소모량 대비 엔진 출력의 효율을 높이는 것이다. 그러나 감속 운항 방법은 연료소모량을 줄이는 장점이 있지만 결국 운항 시간이 늘어나므로 다른 비용을 증가시키는 단점이 있다. 감속 운항 방법 대신 최근에는 기상예측 정보와 선박제원정보를 활용하여 운항 소요 시간이 비슷하면서도 연료소모량을 줄일 수 있는 방법에 대해 다양한 연구가 시도되고 있다[1-4].

이에 이 논문에서는 기상정보와 선박제원정보를 활용한 지리적인 최적화를 위해 진화전략(Evolutionary Strategy; ES) 기반 탐색 알고리즘을 제안하고 이를 바탕으로 선박 경제운항시스템을 개발하고자 한다. 효율적인 탐색을 위해 A* 알고리즘으로 얻은 지리적 최단경로를 초기해로 사용하여 진화전략기반 경로탐색을 할 수 있도록 구현하였다. 이 논문에서는 5개의 실험 노선에서 각각 12회 운항 시간표(즉, 총 60개 스케줄)에 대해 이전 연구[1]에서 제시된 운항방법과 이 논문에서 제안하는 시스템의 성능을 비교하였다. 그 결과 기존 시스템에 비해 이 시스템의 경제운항방법은 운항소요시간에 큰 차이가 없으면서도 평균

1.41%, 최대 1.45%의 연료소모량이 감소함을 관찰할 수 있었다.

2. 시스템 개념



(그림 1) 이 논문에서 제안하는 선박경제운항시스템의 구성

이 논문에서 제안하는 선박경제운항시스템의 전체적인 구성은 그림 1과 같이 초기항로 탐색, 최적 항로 탐색, 최적 출력 탐색의 3단계로 구성된다. 먼저, 첫 번째 단계에서 출항지와 입항지의 경위도가 주어지면 [1-2]에서 설명한 세계 지리정보 데이터를 바탕으로 A* 알고리즘을 통해 지리적 최단 경로(P)를 찾아 다음 단계의 최적 항로 탐색에서 초기 항로로서 활용된다. 두 번째 단계에서는 여러 개의 세부 구간으로 구성된 초기 항로 P에 이 논문에서 제안하는 진화전략 알고리즘을 활용하여 지리적 최적 경로(P0)를 구한다. 마지막 단계에서는 여러 개의 세부 구간들로 구성된 지리적 최적 경로 P0에 대해 각 세부구간에서의 최적엔진출력을 탐색하기 위해 이전 연구[1]에서 제안된 진화전략기반 출력탐색 알고리즘을 적용한다. 이때

연료소모량을 추정하기 위해 Townsin-Kwon 연료추정식 [5] 계산식을 활용하였다.

3. 진화전략 기반 경로탐색 알고리즘을 사용한 지리적 최적경로 탐색

```

S PS(V, Vg) {
  t ← 0 // 최초 세대 값을 초기화
  xt ← A*(Vs, Vg) // 초기 부모해 초기화, 지리적 최단 경로
  while (t < T) { // 최대 세대 상수 T까지 반복
    y ← mutate(xt) // 마디 변이 알고리즘
    // γ : 경로의 항해시간, δ : 항해 시간 허용 비율, ζ : 연
    료소모량 추정식
    if (γ(yt) - γ(x0) ≤ δ and ζ(yt) ≤ ζ(xt))
    then xt+1 ← yt // 자식해를 다음 세대의 부모해로 선택
    else xt+1 ← xt // 부모해를 다음 세대의 부모해로 선택
    t ← t + 1
  }
  return x ; // 진화전략 기반 경로탐색 알고리즘의 결과
}
    
```

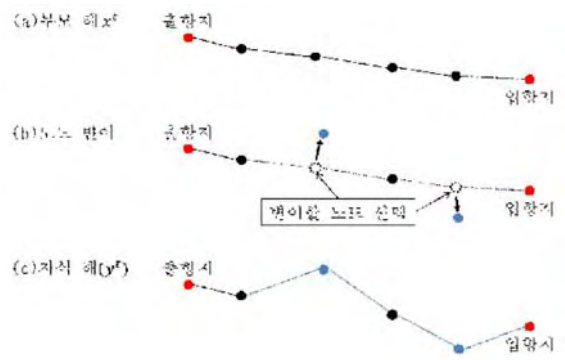
(그림 2) 진화전략 기반 경로탐색 알고리즘

이 경제운항시스템에서 제안하는 진화전략 기반 경로탐색 알고리즘은 A* 알고리즘에 의해 찾은 지리적 최단 경로를 초기해로 하여 진화전략을 이용한 탐색 알고리즘이다. 그림 2는 이 연구에서 제안하는 진화전략 기반 경로탐색 알고리즘의 의사코드로서 해는 출발지에서 도착지까지의 경위도를 가진 노드 좌표들의 리스트로 표현된다. 각 세대에서 부모해 x^t 는 변이연산자를 통해 자식해 y 를 생성하며 y 의 품질이 x^t 의 품질보다 우수할 경우 다음 세대의 부모해로 대체된다. 이 때, 해의 품질은 선박의 출력을 일정한 값으로 고정하여 평가한 예상 연료소모량으로 정의된다. 한편, 변이연산자는 경로 내 임의의 두 좌표를 정규 확률변수 값만큼 변화시키는 형태로 구현되었다(그림 3). 그림 4는 이 논문에서 정의한 변이연산자의 예를 나타낸다.

```

mutate(x) {
  // x := x0x1...xn (이 때, xi는 (경도, 위도)의 좌표로 표현 됨)
  의 좌표 리스트로 가정
  // x1, x2, ..., xi-1 } 중 임의의 xi, xj 두 좌표 선택
  (lati, loni), (latj, lonj) ← random select(x1, x2, ..., xi-1)
  // (0, σ)는 평균 0, 표준편차 σ인 정규 확률변수 값
  xi' ← (lati + N(0, σ), loni + N(0, σ))
  xj' ← (latj + N(0, σ), lonj + N(0, σ))
  return y := x0 x1...xi-1 xi}' xi+1...xj-1 xj}' xj+1...xn
}
    
```

(그림 3) 변이항수 의사코드



(그림 4) 변이항수 의사코드

4. 시뮬레이션 결과

이 논문에서 제안한 시스템의 성능을 검증하기 위하여 5개의 실험 노선에 대하여 2011년 1월부터 12월까지 1개월 간격으로 출발 날짜를 변경하며 시뮬레이션을 실행하였다(즉, 총 60가지의 운항 시간표). 운항 방법으로는 경로탐색 방법과 출력탐색 방법에 따라 “A*-FIX”, “A*-ES”, “ES-FIX”, “ES-ES” 등 4가지 조합이 가능하다(표 1). “A*-FIX”와 “A*-ES”는 A* 알고리즘을 이용하여 최단경로를 구한 후 세부 구간에 대하여 고정 출력으로 운항하거나 진화전략 기반 출력 최적화 알고리즘을 적용한 방법을 각각 의미하며 “A*-ES”는 기존 연구[1]에서 제안된 방법이다. “ES-FIX”와 “ES-ES”는 3절에서 설명한 진화전략 기반 경로탐색 알고리즘을 이용하여 최적 경로를 탐색한 후 앞과 마찬가지로 고정 출력 혹은 진화전략기반 출력 최적화 알고리즘을 적용한 방법을 의미한다. 한편, 공정한 비교를 위하여 모든 운항방법에 대해 동일한 도착시각에 관한 최종기한을 설정 하였다.

<표 1> 경로탐색 방법과 출력탐색 방법에 따른 4가지 조합

경로탐색 방법 \ 출력탐색 방법	고정 출력	ES 탐색
최단 거리	A*-FIX	A*-ES
ES 탐색	ES-FIX	ES-ES

표 3은 운항 방법에 따른 5개 운항 시간표에 대한 모의 실험 결과를 보여준다. 그 표에서 “A*-FIX”의 “평균 연료소모량(편차)”는 해당 실험 노선에 대해 12회(매월 1회) 운항에 따른 연료소모량의 평균 및 표준편차이며 “A*-FIX 대비 개선율”은 “A*-FIX” 운항 방법의 평균 연료소모량에 비해 해당 운항 방법들의 평균 연료소모량과 평균 운항시간이 몇 % 줄었는지를 나타낸다(즉, 개선율이 양수이면 개선 되었음을 나타낸다.). 실험결과 전체 연료소모량 평균 개선율은 각각 1.06%, 0.62%, 1.41%으로 모두 “A*-FIX”의 성능을 개선시켰다.

<표 2> A* 경로탐색과 ES 경로탐색의 성능비교

테스트 노선	A*-FIX	A*-ES	ES-FIX	ES-ES
	평균 연료소모량 (표준편차)	A*-FIX 대비 개선율	A*-FIX 대비 개선율	A*-FIX 대비 개선율
Belem → Lagos	772.95(ton) (6.75)	1.11%	0.63%	1.38%
Boston → Chennai	2,729.47(ton) (5.26)	1.00%	0.62%	1.38%
Boston → Cape Town	1,610.45(ton) (7.84)	1.18%	0.59%	1.42%
Acapolo → Cape Town	2,582.60(ton) (9.34)	1.05%	0.53%	1.43%
Belem → Cape Town	2,009.85(ton) (8.22)	0.94%	0.72%	1.45%
		평균 1.06%	평균 0.62%	평균 1.41%

“A*-ES”와 “ES-ES”는 “A*-FIX”에 비해 연료소모량을 줄일 수 있었다. 또한 “ES - FIX”는 9개 실험 노선에 대하여 “A*-ES”보다 좋지 못한 성능을 보였는데 이는 ES에 의한 지리적 경로 탐색 효과가 출력탐색에 의한 성능 개선보다 작음을 뜻한다. 하지만 “ES-ES”는 모든 경로에 대해서 가장 좋은 성능을 보이며 이는 ES에 의한 지리적 경로 탐색과 출력탐색이 결합되면 가장 큰 연료 소모량 감소를 기대할 수 있음을 의미한다.

5. 결론

기존의 진화전략 기법을 통해 항로를 세부구간별로 나누어 엔진출력을 최적화하는 방법은 지리적으로 최적화된 항로를 찾을 수 없다는 한계를 지니고 있다. 이에 이 논문에서는 A* 알고리즘에 의해 찾은 항로를 초기해로 하여 진화전략을 통해 지리적으로 최적화 된 항로를 찾을 수 있도록 제안하였다. 또한, 지리적으로 최적화 된 항로를 기존의 세부구간별 출력최적화 알고리즘으로 엔진 출력을 최적화하여 시너지 효과를 낼 수 있도록 하였다. 실제로 5개 노선에서 12개월 운항 시간표(총 60가지)에 대해서 이 논문에서 제안된 시스템의 성능을 최단거리 기반 운항방법과 비교한 결과, 운항소요시간이 차이가 없으면서도 연료소모량을 평균 1.41%, 최대 1.45% 개선시킬 수 있음을 확인하였다.

이 연구 결과물을 향후 더욱 개선하기 위해서는 다음과 같은 연구들이 필요할 것이다. 첫째, 이 논문에서는 지리적 경로최적화와 세부구간 출력최적화가 단계적으로 실행됨으로써 실험 노선에서 또는 계절에 따라 두 최적화가 항상 시너지 효과를 발휘한다고 보장 할 수 없으므로 경로탐색과 출력탐색을 동시에 할 수 있도록 이 두 알고리즘을 적절히 결합한 탐색 알고리즘 개발이 필요할 것이다. 둘째, 진화전략 기반 경로탐색 알고리즘의 실행시간은 총 진화횟수와 변이시킬 노드의 개수에 따라 결정 되므로 실행시간을 줄이고 효율적인 탐색을 하기 위해서는 진화연

산을 병렬화하는 방법을 찾아야 할 것이다. 셋째, 이 논문에서 제안하는 진화전략 기반 경로탐색 알고리즘의 개선율은 변이할 노드의 개수와 기존 노드에서 변화되는 폭, 진화 횟수를 어떻게 설정하느냐에 따라서 좌우되므로 충분한 시뮬레이션과 통계에 기초한 적절한 값의 설정이 필요하다. 넷째, 항해사들에게는 디지털 시스템보다 예로부터 내려오는 항해 방법과 노하우에 대한 믿음이 커서, 이와 같은 경제운항시스템의 수용에 어려움이 있는 실정이다[6]. 따라서 일방적인 시스템의 권고보다는 하이브리드 형태의 상호대화형 시스템의 개발을 하여 항해 보조 시스템으로서의 가치를 높이는 것이 필요하다. 다섯째, 경제운항시스템에서는 연료소모량 추정 계산과 기상 예보의 정확도에 따른 성능 의존도가 높다. 특히 기상 예보의 경우, 언제나 오차가 존재할 수 있으므로, 이를 동적 보정하는 기법을 도입하여 성능의 강건함을 유지할 수 있도록 해야 할 것이다.

참고문헌

[1] H. S. Jang and Y. K. Kwon, “An Economic Ship Routing System by Optimizing Outputs of Engine-Power based on an Evolutionary Strategy”, Journal of Korea Information and Communications Society, vol. 36, no. 4, pp. 412-421, Apr. 2011.
 [2] S. Y. Joo, T. J. Cho, J. M. Cha, J. H. Yang and Y. K. Kwon, “An Economic Ship Routing System Based on a Minimal Dynamic-cost Path Search Algorithm”, Journal of Korea Information Processing Society, vol. 1, no. 2, pp. 79-86, Jan. 2011.
 [3] K. S. Choi, M. K. Park, J. H. Lee and G. I. Park, “A Study on the Optimum Navigation Route Safety Assessment System using Real Time Weather Forecasting”, Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety, vol. 13, no. 2, pp. 133-140,

Jun. 2007.

[4] C. P. Padhy, D. Sen and P. K Bhaskaran
“Application of wave model for weather routing of ships in the North Indian Ocean”, Natural Hazards, vol. 44, no. 3, pp. 373-385, May. 2008.

[5] J. K. Panigrahi, J. K. Tripathy and P. A. Umesh
“Optimum tracking of ship routes in 3g-WAM simulated rough weather using IRS-P4 (MSMR) analysed wind fields”, Journal of the Indian Society of Remote Sensing, vol. 36, no. 2, pp. 149-158, JUN. 2008.

[6] J. I. U. Aretxabala, S. I. Baniela and E. M. Rodriguez,
“The optimum track using the classic method with the help of a personal computer”, Journal of Maritime Research, vol. 4. no. 1, pp. 63-76, Jan. 2007.