

유전자 알고리즘을 이용한 대잠 탐색패턴 최적화 기법 개발

Development of Optimization Method for Anti-Submarine Searching Pattern Using Genetic Algorithm

김 문 환* 서 주 노* 박 평 종* 임 세 한*
 Moon Hwan Kim Joono Sur Pyung-Jong Park Se Han Lim

Abstract

It is hard to find an operation case using anti-submarine searching pattern(ASSP) developed by Korean navy since Korean navy has begun submarine searching operation. This paper proposes the method to develop hull mount sonar(HMS) based optimal submarine searching pattern by using genetic algorithm. Developing the efficient ASSP based on theory in near sea environment has been demanded for a long time. Submarine searching operation can be executed by using multi-step and multi-layered method. however, In this paper, we propose only HMS based ASSP generation method considering the ocean environment and submarine searching tactics as a step of first research. The genetic algorithm, known as a global optimization method, optimizes the parameters affecting efficiency of submarine searching operation. Finally, we confirm the performance of the proposed ASSP by simulation.

Keywords : 대잠 탐색 패턴(Anti-Submarine Searching Pattern), HMS(Hull Mount Sonar), 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm), 최적화(Optimization)

1. 서론

현재 대잠전에서 사용하고 있는 잠수함 탐색전술은 기존에 미국 대잠전 교범에서 수십 년간 수행해 온 전술과 경험을 바탕으로 이루어지고 있으며 한국해군 자체에서 대잠 패턴의 효과도를 이론적으로 충분히 검증하는 절차를 시행한 적이 거의 없다. 대잠전에는 함정의 HMS, TASS, 잠수함과 대잠 항공기 등을 복합

적으로 운용하는 경우가 많다. 함정의 HMS만을 이용하는 탐색전술은 본질적인 취약점이 있어 해공 합동 대잠전술에 비해 적용 및 시행에 있어 선택 가능성이 낮아 보이기는 하나, HMS를 이용 하는 대잠탐색 전술은 모든 대잠전의 기본이 되므로 필요성은 여전히 존재한다. 현재는 TASS를 이용한 대잠탐색 전술이 HMS 탐색전술 보다 기술적으로 우위에 있는 것은 사실이지만 이 또한 천해 등의 작전환경에 따라서 운용 제한을 갖고 있기 때문에 HMS를 이용한 대잠탐색 전술이 운용적 측면에서도 기본적인 탐색전술로 유효하다. 일반적으로 대잠전은 HMS대잠함-항공기, HMS대잠함-TASS운용함, HMS대잠함-잠수함간 협동 대잠탐

† 2008년 10월 6일 접수~2009년 1월 9일 게재승인

* 해군사관학교(Naval Academy)

책임저자 : 김문환(moonani.kim@gmail.com)

색 전술은 물론 이 모든 세력이 참가하는 대잠탐색전술을 수행하고 있으며, 이러한 탐색전술에서 HMS 대잠함의 탐색 전술은 기본이 된다.

이처럼 HMS 대잠함 탐색 전술은 여러 측면에서 융합에도 불구하고 대잠 작전에서 실무 지휘관이 대잠전 전술을 완전히 이해하고 적용하기에는 너무 복잡하고 어려운 측면이 있다. 더구나 HMS를 이용한 탐색 패턴에 대한 연구는 거의 이루어 지지 않았으며 지휘관의 경험 기반의 직관적인 탐색 패턴에 의존하는 경향이 있다. 따라서 보다 효율적 탐색을 수행하기 위해 최적의 탐색 패턴에 대한 이론적 연구가 필요한 실정이다.

대잠 탐색 패턴 생성은 확률을 기반으로한 복잡한 의사결정 문제이다. 기존의 탐색 패턴에 대한 연구로 Donald R. DelBalzo가 GRASP(Genetic Range Dependent Algorithm for Search Planning) 알고리즘을 제안하였다^[1,3,4]. GRASP 알고리즘은 유전자 알고리즘을 탐색 패턴에 적용 시킨 것으로 탐색 패턴의 경유점을 염색체로 정의하고 이를 이용해 최적 탐색 패턴을 찾는 방법이다. GRASP의 성능을 향상 시킨 다른 알고리즘으로 OASPP(Optimal Acoustic Search Path Planning) 기법이 있다^[2]. OASPP는 GRASP가 가지는 지역해에 빠질 수 있는 문제를 해결하기 위해 타각 정보만으로 구성된 염색체를 사용하였지만 이로 인해 경유점 사이의 고정된 이동 거리를 갖는 단점을 가지게 된다.

유전자 알고리즘을 이용한 탐색 패턴 모델 개발에 대한 연구들은 대부분 일반적인 탐색 패턴 문제를 해결하는데 그치는 경우가 많았고, 실제적인 작전 전술에 사용될 수 있는 수준의 현실성을 고려하는 경우가 없었다. 본 논문에서는 이러한 한계를 극복하고자 HMS 대잠전의 다양한 현실적 요소를 고려한 유전자 알고리즘을 이용하여 HMS 대잠전 탐색 패턴 생성 기법을 개발하였다. 이를 위해 본 논문에서는 함정 특성을 고려한 염색체 정보를 이용하며, 해양 환경을 반영한 탐색 패턴 생성 알고리즘을 제안한다. 특히 염색체 구성에 있어서 함속에 따른 선회각의 크기를 제한함으로써 보다 현실에 적합한 형태의 탐색패턴 도출을 유도하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 유전자 알고리즘을 이용한 최적 대잠 탐색 패턴 개발 기법에 대해 서술하고 3장에서 모의실험을 통해 제안된 탐색 패턴 생성 기법의 효율성을 검증한다. 마지막으로 4장에서는 연구 내용에 대한 결론 및 향후 과제를 기술

하였다.

2. 유전자 알고리즘 이용한 HMS 기반 최적 대잠 탐색 패턴

가. 개요

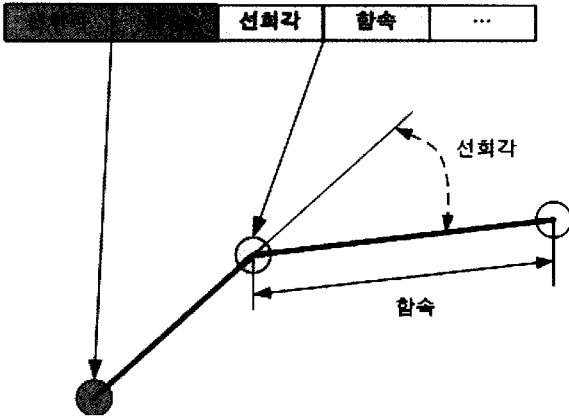
2차 세계대전 이후 미국에서 부터 대잠 작전이 시작한 이래 대잠전은 기술뿐만 아니라 전술운용에도 많은 발전이 있어왔다. 대잠전의 기본 전술형태는 함정에 탑재된 HMS를 이용한 대잠전술이라 할 수 있다. 이후 HMS 탑재 함정 TASS, 대잠 항공기 등 대잠 세력을 합동으로 운용하는 전술로 발전하였다. 본 연구에서는 대잠전의 기본 형태인 HMS를 이용한 단위함정의 최적 대잠 탐색패턴을 개발하고자 한다. HMS 기반 최적 대잠 탐색 패턴 개발은 작전구역의 해양환경, 함정의 운동특성 등을 고려하였으며 향후 다른 대잠 세력의 탐색 패턴 개발에도 적용 할 수 있을 것이다.

나. 유전자 알고리즘 기반 탐색 패턴 최적화

유전자 알고리즘은 자연의 진화 과정을 응용한 최적화 알고리즘이다. 대잠 탐색 패턴 최적화 문제를 정의하고 최적화 모델 후보들을 염색체화 시키고 이 모델의 적합도를 계산하여 우수과 열성으로 나눈다. 진화 과정을 통해 적합도가 우수한 우성을 늘리는 방향으로 지속해서 최적화 모델을 도출한다. 유전 알고리즘은 전역 최적화 방법으로 거의 모든 종류의 최적화 문제에 적용 시킬 수 있는 장점을 가지고 있고 특히 문제에 따라 염색체 구조 및 유전 연산자 그리고 평가 함수를 적합하게 설계함으로써 최적의 해를 쉽게 구할 수가 있으므로 대잠탐색 패턴 문제에도 적용할 수가 있다.

다. 염색체 설계

탐색 패턴 생성을 위한 유전 알고리즘에서 가장 중요한 요소는 어떤 작전 수행 요소를 유전 알고리즘을 통해서 최적화 시키는 것이다. 본 논문에서는 대잠 탐색을 수행하는 함정의 기동에 관련한 함속과 함정 선회각 정보를 염색체화 시켜 탐색 패턴을 생성한다. 그림 1은 대잠작전 수행 요소를 제안된 염색체로 표현하는 방법을 나타낸 그림이다. 탐색 패턴을 생성하는 탐색 포인트들이 각각 선회각 및 함속으로 표현된다. k 번째 염색체 s_k 는 다음과 같이 정의될 수 있다.



[그림 1] 탐색 패턴 염색체 표현 방법

$$s_k = [v_{k1} \theta_{k1} v_{k2} \theta_{k2} \dots v_{kM} \theta_{kM}] \quad (1)$$

여기서 v_{ki} 와 θ_{ki} 는 k 번째 염색체의 i 번째 시간의 합속과 선회각을 나타낸다. 본 논문에서는 km 단위로 하여 합속을 한시간당 이동 거리를 v_{ki} 로 표현하였다. 따라서 합정의 위치는 다음과 같이 계산된다.

$$x_k(i) = x(0) + \sum_{h=1}^i v_{kh} \cos(\theta_{kh}) \quad (2)$$

$$y_k(i) = y(0) + \sum_{h=1}^i v_{kh} \sin(\theta_{kh})$$

선회각은 현 침포각에서 타각으로 정의된다. 기존의 많은 연구들은 선회각의 결정을 임의로 하는 경우가 많았다. 하지만 실제 합정의 기동에 있어서 합속이 빠른 경우 타각을 크게 할 수 없고 대잠 정속기동 준수 때문에 합속에 따른 타각의 크기 제한이 필요하다. 표 1은 HMS가 탑재될 수 있는 일반적 합정의 합속에 따른 최대 타각을 나타낸다. 본 논문에서는 표 1에서 나타난 합속과 최대 타각의 관계를 이용하여 식 (3)과 같이 합속에 따른 최대 타각을 계산하고 염색체 연산 시 합속과 정속 기동 준수에 따라 타각의 크기를 제한함으로써 실 합정 기동 시 원활한 대잠 탐색이 가능한 형태의 탐색 패턴을 생성한다.

[표 1] 합속에 따른 최대 타각

합속(kts)	1	3	6	9	12	15
타각(deg)	90	80	70	55	45	35

$$\theta_{\max} = 90 - 1.83v \quad (3)$$

여기서 θ_{\max} 는 합속이 v 일 때 최대 선회각이다.

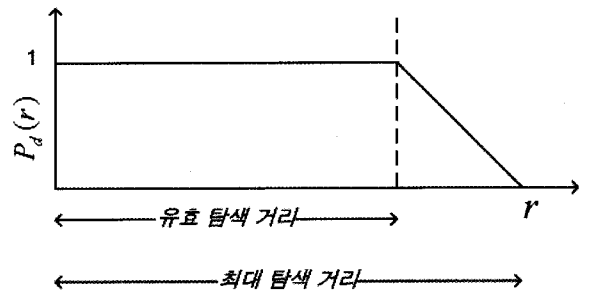
라. 평가 함수

탐색 패턴의 평가를 위한 평가 함수는 총 탐색 확률 CDP(Cumulative Detection Probability)를 통해서 계산된다. CDP는 크게 적합 존재 확률 P_t 와 적합 탐색 확률인 P_d 로 구성된다^[2]. 적합 존재 확률은 탐색 해양 환경에 따라 달라지며 일반적으로 0과 1 사이의 값으로 표현된다. 적합 탐색 확률은 HMS 탐지 반경 내에서 적합이 탐색될 확률을 나타낸다. 탐색 시간이 i 일 때 총 탐색 확률 CDP $P_{cd}(i)$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$P_{cd}(i) = P_d(r) \{1 - P_{cd}(i-1)\} + P_{cd}(i-1), P_{cd}(1) = 0 \quad (4)$$

여기서 $P_d(r)$ 는 합정과 적잠수함의 거리 r 에 따른 잠수함의 탐색 확률을 나타낸 것으로 HMS 성능에 따라서 값이 달라진다. 본 논문에서는 탐색 확률 분포를 일괄적으로 할당 하지 않고 HMS가 최대로 탐색 가능한 거리와 의미 있는 탐색 정보를 얻을 수 있는 유효 탐색 거리로 구분하여 그림 2와 같이 유효 탐색 거리 내에서는 탐색을 100%로 할 수 있다고 가정하고 유효 탐색 거리를 넘는 거리에서는 최대 탐색 거리까지 비례하여 탐색 확률이 줄어든다고 가정하였다. 따라서 각 적잠수함의 총 탐색 확률 CDP는 다음과 같이 계산된다.

$$P_{cd}(j) = P_t(j) \times \sum_{i=1}^M P_{cd}(i) \quad (5)$$



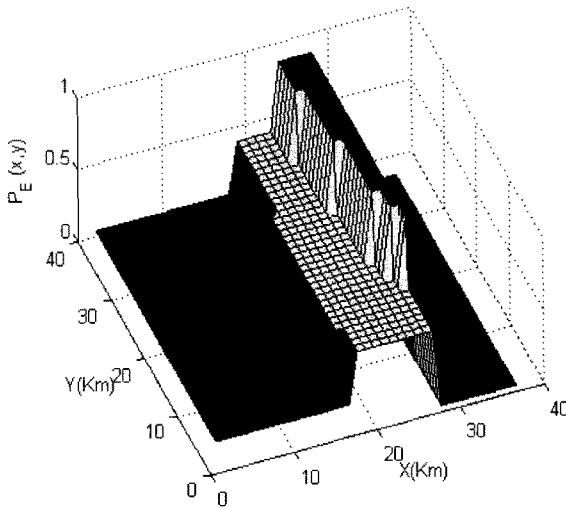
[그림 2] HMS 성능에 따른 탐색 확률 분포

여기서 $P_i(j)$ 는 j 번째 적잠수함의 존재확률을 나타내며 M 은 탐색 완료까지의 시간이다. 최종적으로 적함 N 개가 있을 때 최종적으로 모든 잠수함에 대한 CDP 합은 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$P_{fd} = \sum_{j=1}^N P_{cd}(j) \quad (6)$$

해양 환경에 따라 잠수함이 존재할 확률이 높은 지역이 존재한다. 본 논문에서는 이를 반영하기 위해 해양 정보 탐색 위치 (x, y) 에 따르는 가중치 행렬 $P_E(x, y)$ 을 둠으로써 해양 특정 환경에 잠수함이 존재할 가능성을 반영하였다. 가중치 행렬 $P_E(x, y)$ 의 값은 위치에 따라 0부터 1 사이의 값을 가지게 되고 1의 값에 가까울수록 잠수함이 기동하기 좋은 환경에 해당됨을 의미하게 된다. 그림 3은 동해연안과 같은 환경에서 수심 정보를 바탕으로 잠수함의 기동 환경의 적합성을 행렬로 표현한 예이다. 최종적으로 해양 환경 정보를 포함한 평가함수는 다음과 같다.

$$Fitness(s_k) = P_{fd} + \sum_{i=1}^M P_E(x_k(i), y_k(i)) \quad (7)$$



[그림 3] 수심 정보를 바탕으로 해양 정보 행렬(동해의 예)

마. 유전 연산자 설계

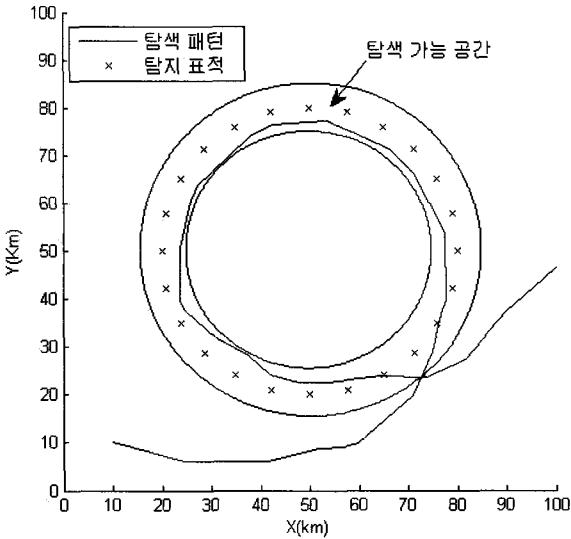
유전자 알고리즘의 유전 연산자는 크게 돌연변이 연산자, 교차 연산자, 재생산 연산자가 있다. 돌연변이

연산자는 지역해에 빠지는 것을 방지하며, 교차 연산자는 지역해에 빠지는 것을 방지하고 수렴 속도를 높여준다. 본 논문에서는 1점 돌연변이 연산자와 1점 교차 연산자가 사용되었다. 다만 1점 돌연변이 연산자의 경우 돌연변이 값이 앞서 식 (3)에 의해 계산된 θ_{max} 참고 내에서 변이가 되도록 하였다. 돌연변이 및 교차 연산에 중요한 요소 중에 하나는 연산을 통해 생성된 탐색 경로의 탐색 해양 조건에 대한 적합도이다. 탐색 공간에 수상 지형물이 포함된 경우 충돌을 방지하기 위해 충돌 조건이 생길시 돌연 변이 및 교차 연산을 다시 수행하여야 한다. 재생산 연산자는 룰렛휠 방식을 사용하였으며, 엘리트리즘을 적용 시켜 최우성 인자를 보호하였다.

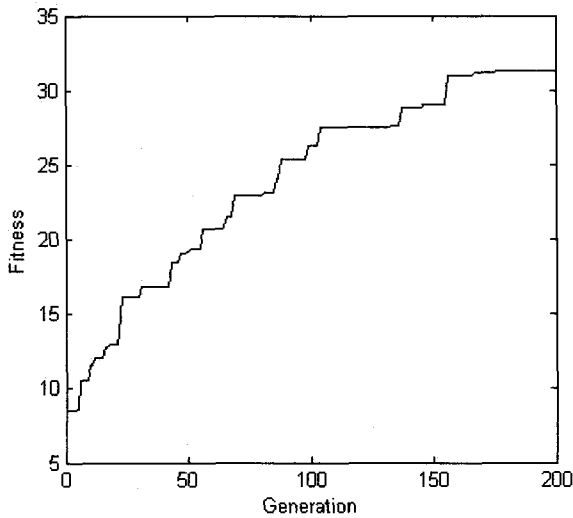
3. 모의실험

제안된 알고리즘 평가를 위해 탐색 패턴 생성으로 알려진 문제 상황 설정과 해양 정보와 잠수함의 과거 위치 정보를 안다고 가정 하였을 때 탐색 패턴 생성에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 함정 기동 특성은 HMS를 탑재한 기존 함정 특성을 실제 사용하였으며, 대잠 지속기동 속도를 준수하도록 하여 실제 상황과 매우 유사하도록 대잠 시나리오에 따른 시뮬레이션을 실시하였다.

첫 번째로 탐색 패턴 생성 연구에서 알려진 시뮬레이션으로 제안된 탐지 패턴 생성 기법이 주어진 탐지 대상물을 정확히 모두 탐색 할 수 있는가를 검증하기 위한 시뮬레이션을 수행하였다^[2]. 24개의 탐색 표적이 원형으로 배열되었으며 HMS의 유효 탐색 거리는 10km로 설정하였다. $P_E(x, y)$ 의 기본값은 0이고 잠수함이 위치한 24개의 영역만 1 값을 가지게 하였다. 그림 4는 시뮬레이션 결과를 보여준다. 그림에서 원형으로 형성된 탐색물 24개를 모두 탐색하기 위해서는 10km의 반지름차이를 가지는 두 개의 원으로 구분된 탐색 공간 안으로 탐색 패턴이 형성되어야 한다. 제안된 기법으로 탐색된 탐색 패턴은 모두 원형 안으로 들어와 있음을 확인 할 수 있다. 유전 알고리즘은 50개의 염색체를 이용하여 돌연변이율 30%와 교차율 30% 조건으로 200세대 동안 수행되었다. 그림 5는 세대변화에 따른 적합도 값의 변화이다. 그림에서 유전자 알고리즘에서 가장 바람직한 원만한 가우시안 형태의 적합도 향상을 확인 할 수 있다.



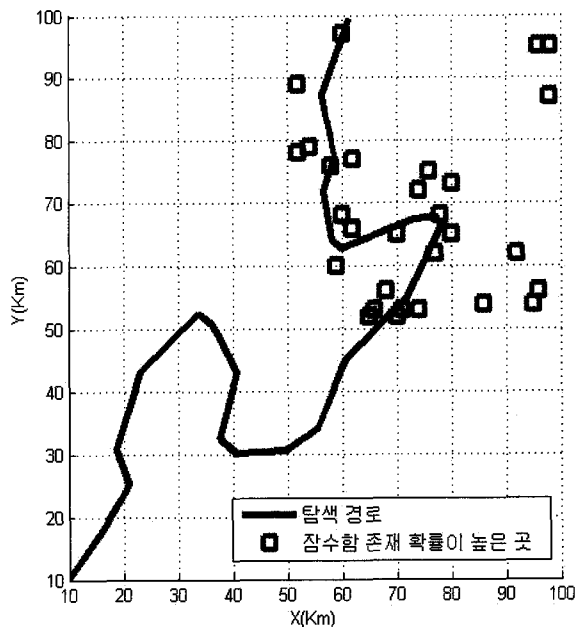
[그림 4] 고정 탐색 표적을 위한 탐색 패턴 생성



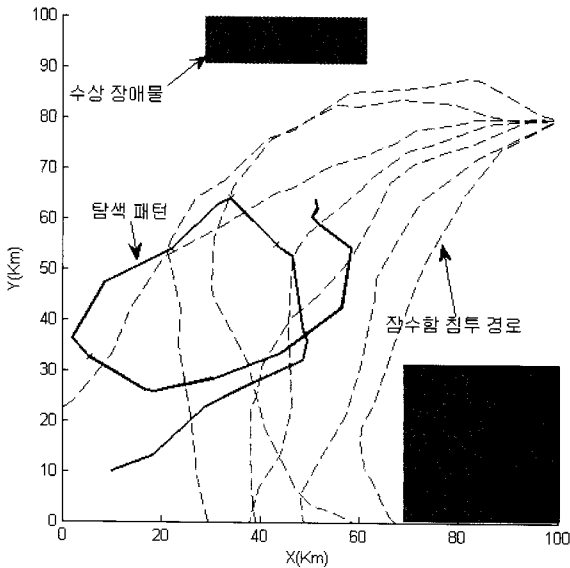
[그림 5] 제안된 기법의 세대에 따른 적합도 변화

두 번째 시뮬레이션으로 해양 정보를 알고 과거 잠수함의 위치들을 알 때 이를 이용하여 탐색 경로는 최적화 시키는 시뮬레이션을 수행하였다. 전체 탐색 영역은 100km×100km이며, 탐색 시간은 48시간으로 설정하였다. HMS의 유효 탐색 거리는 5km이며, 최대 탐색 거리는 8km이다. 함정 최소 탐색 속력은 2km/h이며 최대 탐색 속력은 8km/h이다. 개체 수는 50개, 세대수는 100세대, 돌연변이율은 30%, 교차율은 30%로 설정하였다.

해양 환경에서 잠수함은 그 위치에 따라서 존재 가능성이 달라진다. 기존의 잠수함을 탐색 하였거나 혹은 해양 환경적인 요소로 인해 잠수함의 탐색 가능성이 높은 곳이 있는 경우 그 지점을 우선적으로 탐색을 하는 것이 효과적이라 볼 수 있다. 본 논문에서는 과거 잠수함의 탐색 위치가 잠수함의 존재 확률이 높은 곳이며 해양 환경이 적합한 곳이라 판단하고 탐색 표적 잠수함을 위치시키고 많은 잠수함을 탐색하는 탐색 패턴을 우선으로 분류함으로써 잠수함의 과거 정보를 고려하여 탐색 패턴을 생성하였다. 이때 잠수함의 위치 (x,y) 의 해양 정보 가중치 행렬 $P_E(x,y)$ 값을 1로 설정하였다. 그 이외의 영역은 0으로 설정하였다. 이러한 경우 성능 검증을 위해 고정된 위치에 30개의 탐지물이 존재 한다고 할 때, 30회의 Monte Carlo 시뮬레이션 수행하였고 그 결과 58.9%의 탐지 성능을 보였다. 이는 30개의 잠수함 위치 정보를 가진다고 할 시 그 위치의 58.9% 영역을 탐색 할 수 있는 탐지 패턴을 찾을 수 있다는 것을 의미한다. 그림 7은 시뮬레이션을 통한 잠수함의 위치들을 고려해 생성된 탐색 패턴의 예이다. 그림에서 보는 것과 같이 다수의 적잠수함이 존재할 가능성이 높은 구역을 위주로 탐색 패턴을 생성함으로써 탐색 성능을 올리고 있음을 확인할 수 있다.



[그림 6] 잠수함 존재 위치를 반영한 탐색 패턴 생성



[그림 7] 잠수함 침입 경로를 고려한 탐색 패턴 생성

마지막으로 고정된 잠수함이 아닌 적잠수함의 침입 패턴을 알고 있을 때, 이를 고려하여 대잠 탐색 패턴을 생성하는 시뮬레이션이다. 특정 지형 조건에 있어서 잠수함이 특정 경로로 침입이 예상되는 경우 이러한 침입 경로를 반영하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 조건은 두 번째 시뮬레이션과 같은 조건 하에서 수행하였고 잠수함은 함정과 같은 조건으로 움직인다고 가정하였다. 해양 정보 행렬 $P_E(x,y)$ 값은 기본값을 0으로 하고 잠수함의 침투경로좌표에 1의 값을 가지게 하였다. 일반적인 성능 검증을 위해 10척의 잠수함을 이용하여 침입 경로를 생성하여 총 50회의 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과 각 침입 패턴 대해 평균적으로 38.2%의 탐색율을 보였다. 이는 움직이는 이동 잠수함의 침입 경로의 38.2%를 성공적으로 탐색 할 수 있다는 것을 의미한다. 탐색율이 낮은 수치이지만 이동하는 잠수함을 감안한다고 하면 활용할만한 성능이라고 판단된다. 그림 7은 7척의 잠수함 이동 패턴이 주어진다고 할 때 제안된 기법으로 생성된 탐색 패턴을 나타낸다. 그림에서와 보는 바와 같이 이동 잠수함 탐색 패턴이 잠수함 이동 경로와 많이 접촉 될 수 있도록 생성되고 있음을 확인 할 수 있다.

4. 결론

본 논문은 유전자 알고리즘을 이용한 HMS 기반 최적 대잠 탐색 패턴 개발 기법을 제안하였다. 특히 실 작전 수행에 도움이 될 수 있도록 해양 환경 정보 및 함정의 운용 특성을 고려한 대잠 탐색 패턴을 개발하였다. 이를 위하여 전역 최적화 기법인 유전 알고리즘을 사용하여 다양한 탐색 효과 요소를 고려하여 탐색 패턴을 최적화 시켰다. 최종적으로 모의실험을 통해 제안된 기법의 우수성을 확인 할 수 있었다. 추후 제안된 탐색 기법을 통해 아해군의 작전 환경에 적합한 대잠 패턴을 생성 및 분석을 하고 나아가 단일 함정의 HMS 뿐만 아니라 함동 대잠 작전 수행 시 사용되는 협력적인 탐색 패턴에 대한 연구도 수행할 예정이다.

후 기

본 논문은 국과연 “대잠효과도 분석을 위한 HMS 운용전술에 관련 연구(연구용역-UD060010DD)”의 연구비 지원으로 수행되고 있습니다.

Reference

- [1] D. P. Kierstead and D. R. Delbalzo, “A Genetic Algorithm Applied to Planning Search Paths in Complicated Environments”, Military Operations Research, Vol. 8, No. 2, pp. 45~59.
- [2] Jung-Hong Cho, Jea-Soo Kim, Jun-Seok Lim, Seongil Kim and Young-Sun Kim, “Optimal Acoustic Search Path Planning for Sonar System Based on Genetic Algorithm”, International Journal of Offshore and Polar Engineering, Vol. 17, No. 2, pp. 1~7, June 2007.
- [3] K. P. Hemsteter and D. R. DelBalzo, “Acoustic Benchmark Validation of GRASP ASW Search Plans”, MTS/IEEE Conference on Ocean, Vol. 1, pp. 60~64, 2002.
- [4] D. R. DelBalzo, K. P. Hemsteter, M. D. Wagstaff, E. R. Rike and J. H. Leclere, “Environmental Effect onf MCM Tactics Planning”, MTS/IEEE Conference on Ocean, Vol. 1, pp. 1394~1399, 2002.