

# 충돌예측 기반 선박 충돌회피모델에 관한 연구

## A Study on Surface Ships Collision Avoidance Based on Collision Prediction

김창민\*, 김용기\*, 최중락\*\*  
경상대학교 컴퓨터과학과\*  
국방과학연구소\*\*

Chang-Min Kim\*, Yong-Gi Kim\*, Joong-Lak Choi\*\*  
Department of Computer Science, Gyeongsang National University\*  
Agency for Defence Development\*\*  
e-mail : nuno@ailab.gsnu.ac.kr

### 요 약

산업이 발달함에 따라 대량의 화물을 빠르게 운반할 수 있는 해상운송수단의 수요가 증가하게 되고 이로 인하여 해상 선박 간 충돌사고가 빈번히 발생하게 되었다. 선박 충돌은 주로 조선하는 사람들의 관습, 습관의 차이, 부주의, 판단오류 등의 이유로 발생한다. 연구자들은 선박 충돌을 방지하기 위하여 조선에 관련된 많은 부분을 지능화한 지능형 충돌회피시스템 개발에 노력을 기울이고 있다. 선박을 비롯한 자율운동체의 충돌방지 기법은 비행체, 수중운동체, 자율로봇 등 영역 특성을 달리하는 다양한 분야에서 연구되어오고 있다. 기존 연구들의 충돌방지는 주로 장애물의 공간적 특성에 기반하고 있다. 이에 개체의 움직임을 예측하여 시간적 요소를 가미하면 더욱 향상된 충돌방지가 가능하다. 특히, 선박은 느린 운동 특성과 조선법, 규격화된 통신수단의 발달로 인하여 상대방 선박의 이동 예측이 용이하므로 이를 적용하여 보다 향상된 충돌방지가 가능하다. 본 연구에서는 기존의 충돌회피기법의 과정에 예측을 추가한 예측기반 충돌회피모형을 제안하고 선박운항환경을 모의실험에 의하여 해당 모형 적용시 충돌회피 경로 산출의 안전성이 크게 개선됨을 보인다.

#### 1. 소개

산업이 발달함에 따라 대량의 화물을 빠르게 운반할 수 있는 해상운송수단의 수요가 증가하게 되었다. 이로 인하여 해상 선박 교통 빈도도 크게 증가하였고, 동시에 선박의 좌초, 침몰, 충돌의 위험도 증가하였다. 이 중 좌초, 침몰 등의 해난사고는 기상학 발달, 조선 및 항해기술의 발달로 현저히 감소하였으나, 선박 상호 간의 충돌로 인한 해난사고는 계속 증가하고 있다. 따라서 해상운송체제를 갖춘 국가는 선박을 해상 충돌 방지를 위한 해상교통체계 정립과 해상 충돌 예방에 관한 연구가 필요하게 되었다[3].

선박 해상 충돌은 주로 조선하는 사람들의 관습, 습관의 차이, 부주의, 판단오류 등의 이유로 인하여 발생한다. 선박의 조종은 지동화 또는 지능화가 가능한 부분이 많이 존재하므로 이들을 자동화하면 선박 충돌의 원인을 제공하는 조선하는 사람의 관습, 습관, 부주의, 판단오류 등을 크게 보완하여 보다 안정된 운항을 가능하게 한다. 연구자들은 선박 해상 충돌 문제를 조선하는 인간으로부터 비롯되는 문제로 파악하고 조선하는 사람을 돕기 위하여 선박충돌회피에 관하여

연구하고 있다[3].

충돌회피 관련 기존의 연구들은 대부분 상황에 주어진 장애물의 위치적 특성에 기반 충돌회피를 구현하고 있다. 그러나 예측이 가미된 충돌회피는 공간적 특성뿐만 아니라 시간적 특성도 반영하여 보다 향상된 충돌회피 결과가 산출된다. 본 연구에서는 기존의 충돌회피 체계에 예측을 반영한 예측기반충돌회피모형(CAMBPA, Collision Avoidance Model Based on Prediction)을 제안하고, 기존의 모형과 제안된 모형에 동일한 탐색기법을 적용하여 탐색기법의 변화 없이 모형의 변화만으로도 충돌회피 결과 향상을 보인다.

#### 2. 관련연구

무인선박, 무인항공기, 무인차량, 수중자율운동체 등 인간의 의사결정이 직접 개입될 수 없는 운항시스템에서 공통적으로 필히 갖추어야 하는 기능은 경로계획 기능이 포함된 충돌회피기능이다. 그러나 충돌회피는 다른 실세계 문제처럼 매우 복잡하고, 정형화되지 못하며, 불확실한 요소들을 내재하고 있어서 간단하게 해결될 수 있는 문제가 아니다. 향후 무인화 시스템이

사회전반에 확산될 것을 고려한다면 충돌회피는 무인화 시스템에 있어서 가장 필수적 연구분야 중 하나임에 틀림없다.

충돌회피는 수많은 학자들에 의하여 연구되었고 이로부터 다양한 충돌회피 기법이 제안되었다. 이들 기법은 크게 인공 포텐셜 함수(artificial potential function)를 이용한 방법과 그래프 탐색(graph search)을 이용한 탐색방법으로 구분할 수 있다. 인공 포텐셜 함수를 이용한 방법은 작업 환경에 대하여 인공 포텐셜 함수를 이용하여 위치에너지 정도를 표현하고 에너지가 작아지는 방향으로 운동체를 유도하는 방법이다[1]. 이 방법은 지역정보를 이용하여 경로를 산출하므로 그래프 탐색기법은 컨피그레이션 공간(configuration space)를 이산화시켜 격자로 분할한 후 작업 공간을 그래프로 표현하고 그래프 상에서 경로 탐색기법을 적용하는 방법이다[4][7][8].

기존의 충돌회피는 일반적으로 그림 1과 4 단계의 반복적 흐름으로 이루어진다. 환경인식은 선박 주변환경을 인식하는 단계로서 레이더(RADAR), 초음파센서, 적외선 센서 등의 입력 장치들로 구성된다. 공간추상화는 주변 환경정보로부터 정보를 추출 또는 융합하여 경로산출에 필요한 공간정보로 구체화한다. 경로산출은 추상화된 공간에 경로산출 기법을 적용하여 적절한 운항경로를 산출한다. 경로추적은 경로산출에서 제공되는 경로에 근접하게 선박 운항을 이끄는 선박 운동제어 부분이다.

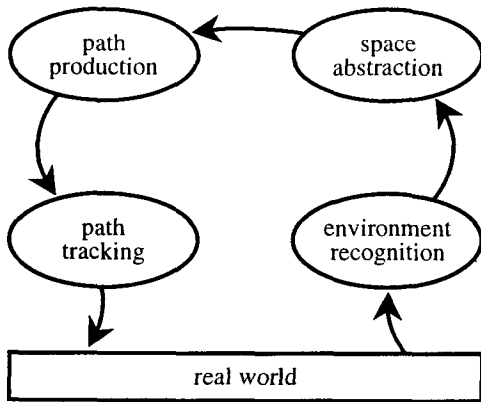


그림 1. 일반적인 충돌회피모형

### 3. CAMBP

운동체와 장애물의 충돌이 예측 가능할 때, 충돌하는 장애물은 시간과 장소로 표현되는 임의의 충돌 점의 리스트로 수렴하게 된다. 따라서, 이상적인 예측도가 주어지고, 현재의 장애물을 대상으로 하지 않고 예측된 충돌 위치를 대상으로 공간추상화 한다면, 동적 충돌회피 공간은 정적충돌회피 공간으로 전환되

로 충돌회피 안정성을 높일 수 있다. 그러므로 예측이 가능한 환경에서의 충돌예측은 향후 충돌회피시스템에서 필수적 요소로 자리잡을 것이다.

본 연구에서는 충돌예측을 적용하여 기존의 충돌회피모형을 개량한 CAMBP(예측기반충돌회피모형, Collision Avoidance Model Based on Prediction)를 제안한다. CAMBP는 그림 2와 같이 그림 1의 충돌회피 모형에 충돌예측을 하나의 단계로 추가함으로써 충돌회피의 안정성을 높인다.

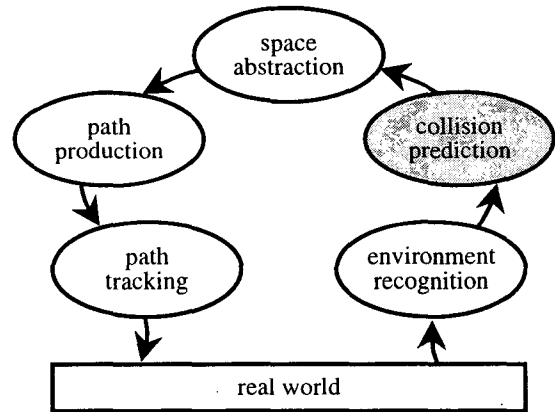


그림 2. 예측기반충돌회피모형(CAMBP)

### 4. 충돌예측

충돌이라 함은 시간적 및 공간적 위치가 일치하는 현상이다. 일반적으로 공간적 요소를 조정함으로써 회피하는 기법은 자선의 침로를 조정하여 타선을 회피하는 방법이고, 시간적 요소를 조정함으로써 회피하는 기법은 자선의 속도를 조정하여 타선을 회피하는 방법이다. 선박의 충돌회피시스템은 침로를 조정함으로써 타선을 회피하는 기법이 일반적이지만 급박한 상황에서는 자선의 속도감소가 불가결한 조건이므로 속도 조절에 의한 회피방법도 필요하다.

충돌은 두 물체가 시간 및 공간적으로 일치되는 현상이므로, 충돌회피는 운동체의 시간 또는 공간적 요소의 조작에 의하여 장애물과 운동체 간 시간과 공간 일치를 피하는 행위이다. 이때, 충돌회피에 있어서 주요 관심대상은 장애물의 현 상태가 아니라 향후 장애물과 운동체의 상태이다. 그러므로 충돌회피시스템에서 회피 대상은 현시점 존재하는 장애물의 공간적 위치가 아니라 미래의 충돌시점에 존재하게 될 장애물의 시간 및 공간적 위치이어야 한다.

미래의 충돌시점의 시간 및 공간적 위치 예측은 타선의 궤도를 예측하고 이에 자선의 이동 경로의 교집합(intersection)으로 정의될 수 있다. 시간 및 공간 위치  $P$ 가 수식 1과 같이 정의되고,  $P$ 의 리스트  $\bar{W}$ 가 수식 2와 같이 정의된다고 할 때, 자선과 타선의 충돌

예측 위치  $P_o^T$ 는 수식 3과 같다.

$$p_i = \{s_i, t_i\} \quad (1)$$

$$\overline{W}_k = |p_1, p_2, \dots, p_{k_n}| \quad (2)$$

$$P_o^T = \{x | x \in \overline{W}_o \wedge \overline{W}_T\} \quad (3)$$

예측은 일정시간 이후의 상태를 추측하는 것으로서, 가장 해결하기 힘든 문제 중 하나이다. 그러나 선박의 운동예측은 직선운항을 지향하는 선박 조종의 특성으로 인하여 이동 경로를 예측함에 있어 보다 용이한 특성이 있다. 특히, 2002년부터 발효되는 AIS(Automatic Identification System)는 선박 제원, 항로 등 다양한 항해 정보를 상호 교환한다[9][10][11]. 충돌예측에 AIS를 이용하면 완벽에 가까운 타선의 경로 예측이 가능하다.

### 5. 시뮬레이션

본 시뮬레이션에서는 동일한 환경에서 기존의 충돌 회피모형에 기반한 시스템과 CAMBP에 기반한 시스템을 구동하고 산출되는 결과를 비교한다.

우선, 실험으로부터 얻어지는 결과를 판정하기 위하여 매회 이루어지는 운항의 성공과 실패를 정의하여야 한다. 성공은 자선이 어떠한 장애물의 안전거리에 포함되지 않으면서 목적지까지 도달한 경우를 말하며, 실패는 자선이 장애물의 안전거리 내에 1회 이상 침입한 경우를 말한다.

선박은 표면 마찰력이 큰 자동차와 같은 육상 운동체와는 달리 크고 마찰이 크지 않은 해상을 운항하므로 특정 상황에서 선박에 추진 및 조차 제어치를 가하였을 경우 그 제어치가 선박에 나타나는 반응시간이 매우 길뿐만 아니라 조선하기도 난해하다. 이와 같은 선박의 특성을 충돌회피에 반영하는 방법 중 가장 일반적인 방법은 선박의 조선자가 선박을 조선할 수 있는 시간 및 공간적 여유를 부여하는 것이다. 대표적인 방법으로는 개체 표현 시 개체의 중심으로부터 적절한 거리내의 영역을 장애물로 처리하고 이 영역을 회피하는 방법이다. 그러나, 자선 또는 타선이 상대편의 안전거리영역에 침입한다는 것은 상대편 선박과 충돌한다는 것을 의미하는 것은 아니다. 장애물의 안전거리 내에 든다는 것은 상대편 선박을 자신과 독립적인 개체로 볼 수 없으므로 상호 반작용(interaction)이 발생하므로 자신의 독자적인 행위로 인하여 충돌회피가 불가능하다는 것을 의미한다. 이 영역에 선박이 침입하는 것은 충돌위험성을 극도로 높이는 결과에 이르게 된다. 장애물안전거리는 선박 간 의사 전달이 중요하다. 반작용영역은 선박 조종하는 승조원의 경험, 선박 적하물 등에 연관되지만 일반적으로 선박

의 길이에 비례하는 경향이 크다.

시뮬레이션의 측정항목은 운항경비 비교와, 목적지 도달률 비교이다. 운항 경비는 선박 운항 경로의 거리의 총합으로 산출되고, 목적지 도달률은 실험회수에 대한 성공회수의 비율로 산출된다. 시뮬레이션의 실험 계획은 표 1과 같으며 각 항목에 대하여 1000회 반복 수행하여 결과의 신뢰도를 높인다.

실험항목	자선항속 (kn)	장애물밀도 (EA/km <sup>2</sup> )
자선항속 변화	10~20 (+1)	0.05
장애물밀도 변화	15	0.025~0.1 (+0.25)

표 1. 시뮬레이션 실험 계획

본 시뮬레이션에 의한 결과는 다음과 같이 산출되었다. 그림 6는 항속 변화에 따른 운항 경비를 비교한 그래프이다. 자선의 속도가 변화할 때 기존의 충돌회피모형보다 CAMBP를 적용했을 때 더 낮은 운항경비가 산출됨을 알 수 있다.

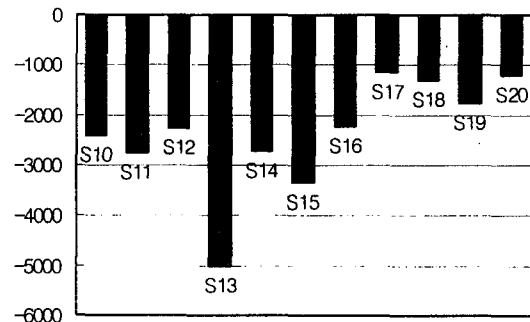


그림 6. 항속 변화에 따른 운항경비 비교

그림 7은 항속변화에 따른 목적지 도달률을 비교한 그래프이다. 기존의 충돌회피모형보다 CAMBP를 적용했을 때 목적지 도달률이 크게 향상됨을 알 수 있다.

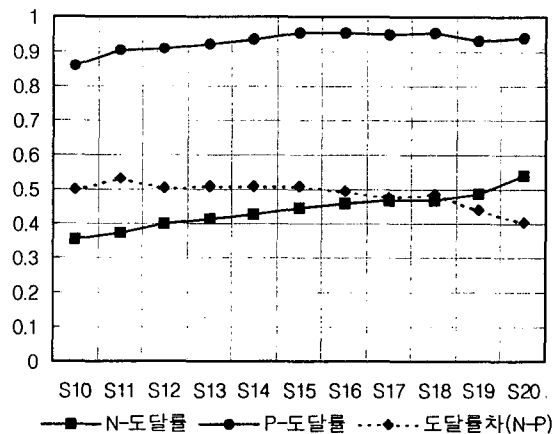


그림 7. 항속 변화에 따른 도달률 비교

그림 8는 장애물 밀도 변화에 따른 운항경비를 비교한 그래프이다. 그림으로부터 운항 영역에 장애물이

증가하여 복잡성이 높아지더라도 CAMBP 적용한 시스템이 더욱 최적화된 결과를 이끔을 알 수 있다.

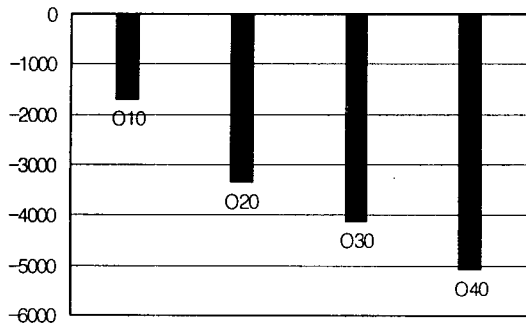


그림 8. 장애물 밀도에 따른 운항경비 비교

그림 9는 장애물 밀도 변화에 따른 목적지 도달률을 비교한 그래프이다. 그림으로부터 장애물의 개수가 증가하더라도 CAMBP를 적용한 시스템이 더욱 강건함을 가짐을 알 수 있다.

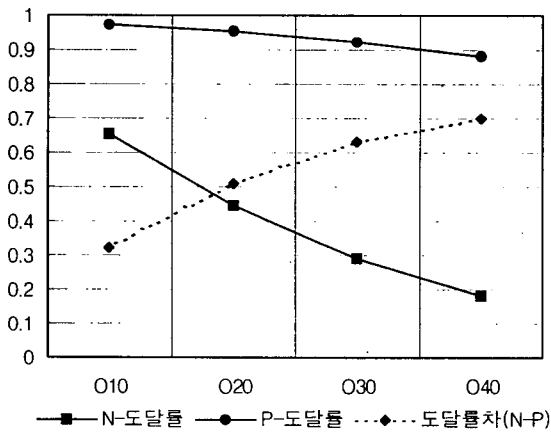


그림 9. 장애물 밀도에 따른 도달률 비교

이상의 결과를 종합해보면 CAMBP는 기존의 충돌 회피모형에 비해 운항경비를 감소하고 충돌회피환경을 매우 안정화시킴을 유추할 수 있다.

## 6. 결론

본 연구에서는 선박 간 충돌회피에 충돌예측을 효과적으로 적용하기 위한 예측기반충돌회피모형(CAMBP)을 제시하고 실험을 통하여 이의 타당성을 증명한다.

CAMBP에 의한 충돌회피는 예측에 의하여 동적 장애물 회피환경을 정적 장애물환경으로 변환하므로 보다 안정된 충돌회피 결과를 산출한다. 특히, 선박은 직선 운항을 지향하고, AIS와 같은 선박간 상호 통신 도구가 존재하므로 보다 정확한 예측이 가능하다. 따라서 선박의 충돌회피에 CAMBP를 적용하면 보다 향상된 결과를 얻을 수 있다.

## 참고문헌

- [1] Koren, Y., and Borenstein, J., "Potential field methods and their inherent limitations for mobile robot navigation," In Proc. IEEE Robotics Automat., Vol. 3, pp. 1398-1404, California, USA, April, 1992.
- [2] Hwang, Y. K., and Ahuja, N., "A potential field approach to path planning," IEEE Trans. Robotics Automat., Vol. 8, No. 1, pp. 23-32, 1992
- [3] 윤점동, 국제해상충돌예방규칙 및 관련된 국내법규 해석, 세종출판사, 2000
- [4] 현웅근, 여일홍, "로봇의 충돌 회피 경로 계획을 위한 새로운 계층적 알고리즘," Trans. KIEE, Vol. 42, No. 6, 1993
- [5] Lee, Young-il and Kim, Yong-Gi, "An Intelligent Navigation System for AUVs using Fuzzy Relational Products", Joint 9th IFSA World Congress and 20th NAFIPS International Conference, Vancouver, Canada, 2001. 7
- [6] International Radio Regulations, Appendix S18
- [7] Lozano-Ferez, T., "Spatial planning: A configuration space approach," IEEE Trans. Computers, C-32(2), pp 108-120, 1983
- [8] Zhu, D., and Latombe, J. C., "New heuristic algorithm for efficient hierarchical path planning," IEEE Trans. Robotics Automat., Vol. 7, No. 1, pp. 9-20, 1991
- [9] Universal Shipborne Automatic Identification System(AIS) Transponder, US Coast Guard
- [10] The Development and Application of the Universal Automatic Identification System(UAIS), John Macdonald, Navigational Services, Australian Maritime Safety Authority, January 1999
- [11] AIS and its Application to VTS and Ships, GP & C Sweden AB Information Paper, 1998