Journal of the KNST

2024; Vol.7, No.2; pp.114-117

ISSN: 2635-4926

https://doi.org/10.31818/JKNST.2024.6.7.2.114

Check for updates

Received: 2024/06/03
Revised: 2024/06/15
Accepted: 2024/06/29
Published: 2024/06/30

*Corresponding Author:
Chul Hyun
Dept. of Battlefield Analysis and Development, LIG Nex1
333 Pangyo-ro, Bundang-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do, 13488, Republic of Korea
Tel: +82-31-5178-4293
Fax: +82-31-5179-7086
E-mail: chul.hyun@gmail.com

Abstract

본 논문에서는 교전 시뮬레이션 내부의 인간 요소 중, 시각을 이용한 탐지/식별에 대해서 실시간 시뮬레이션에 적용 가능한 모델링 방법론을 제시하였다. 영상을 기반으로 하는 탐지, 인지, 식별 확률 계산에 널리 쓰이는 Johnson 기준을 인간 시각에 적용하여 반영하였다. 탐지 범위 판단 모델, 탐지/식별 판단 모델, 표적 정보 추출 모델로 구성된 인간 시각 모델링을 수행하고 실시간 전장 시뮬레이션에 적용 가능하도록 하였다.

This paper presents a methodology for modeling human visual detection and identification applicable to real-time simulations within engagement simulations. Johnson's criteria, widely used for calculating the probabilities of detection, recognition, and identification based on imagery, were applied to human vision. The human visual modeling consists of a detection range determination model, a detection/identification judgment model, and a target information extraction model, making it suitable for application in real-time battlefield simulations.

Keywords

실시간 전장 시뮬레이션(Real-time Battlefield Simulation),
인간 시각 모델링(Human Visual Modeling),
탐지/식별(Detection/Identification),
공간분해능(Spartial Resolution)

실시간 전장 시뮬레이션을 위한 시각 탐지 및 식별 모델링 제안

Proposal of a Visual Detection and Identification Modeling for Real-time Battlefield Simulation

김동건, 현철*, 김정, 이상욱

LIG넥스원 전장분석개발팀 수석연구원

Dong Geon Kim, Chul Hyun*, Jeong Kim, Sangwook Lee

[1]Principal researcher, Dept. of Battlefield Analysis and Development, LIG Nex1

1. 서론

교전 시뮬레이션은 실제 전투를 직접 수행하지 않고도 다양한 전략과 전술을 검증하고 분석할 수 있는 효과적인 도구이다. 이와 관련하여 차기 전투 플랫폼/무기 체계를 대상으로 성능/교전 효과도의 상호 분석을 위한 모델링 방법론[1,2]이나 교전레벨 모델 상호운용을 위한 방법론[3], 해상 전투상황에 대한 작전 분석[4] 등 다양한 연구가 수행된 바 있다.

시뮬레이션 모델링 수준에 따라 시뮬레이션 내부에서 인간이 개입되는 경우가 있는데, 단순 스펙이나 확률 모델만을 적용하기에는 한계가 있다. 본 논문에서는 교전 시뮬레이션 내부의 인간 요소 중, 시각을 이용한 탐지/식별에 대해서 물리적 수식을 기반으로 하여 실시간 시뮬레이션에 적용 가능한 모델링 방법론을 제시한다. 영상을 기반으로 하는 탐지, 인지, 식별 확률 계산에 널리 쓰이는 Johnson 기준을 인간 시각에 적용하여 반영하고, 이를 실시간 시각 탐지, 식별 시뮬레이션에 활용한다.

본 연구에서는 표적 특성과 환경 영향을 고려하여 인간의 시각에 의한 표적 탐지/식별을 모의하는 기능을 수행하는 시각 모델을 제안한다. 이 모델은 탐지 범위 판단 모델, 탐지/식별 판단 모델, 표적 정보 추출 모델로 구성된다.

2. 탐지 범위 판단 모델

탐지 범위 판단 모델은 인간 시각에 의해 탐지되는 표적의 위치

© 2024 Korea Society for Naval Science & Technology

가 탐지범위 내에 있는가를 판단하는 모델이다. 탐지범위는 시정거리, 지구 곡률을 고려한 최대 가시거리, 그리고 가시선(LOS: line of sight)을 기준으로 정의된다.

가시선은 광학적인 의미에서 인간의 눈으로 직선상에 도달할 수 있는 지역 내의 특정 지점까지의 연장선으로 정의된다. 탐지가능영역 안에 존재하는 표적들에 대해 가시선 확보여부를 확인하고, 가시선이 확보되는 표적들을 선별한다.

선별된 표적 중 현재 시점의 환경요소 중 시정거리 값보다 상대거리 값이 큰 표적은 탐지 가능 범위 밖으로 벗어난 것으로 처리한다. 위 두 조건을 만족하는 표적 중에서 고도와 지구 곡률을 고려한 최대가시거리 값보다 상대거리 값이 큰 표적은 탐지 가능 범위 밖으로 벗어난 것으로 처리한다. 최대 가시거리 계산식은 식 (1)과 같으며 세부 항목은 Fig. 1에 나타냈다.

$$d = d_1 + d_2 = \sqrt{2kR}\left(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}\right) \quad (1)$$

식 (1)에서 모든 거리 정보는 km 단위로 표현된다. d_1은 시각 탐지 위치에서 지평선까지의 거리이고, d_2는 표적에서 지평선까지의 거리이다. h_1은 시각 탐지 고도, h_2는 표적고도이며, k는 유효 지구반경계수로 일반적인 경우 4/3 값이 적용된다. R은 지구반경으로 WGS84 좌표계의 장반경 6,378.137 km를 적용한다.

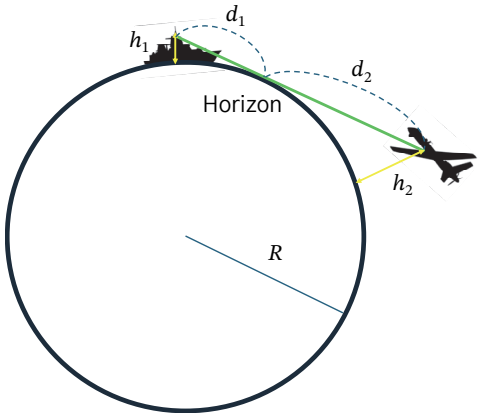

Fig. 1. Maximum visible distance calculation

표적까지의 실제 거리값이 식 (1)에서 계산되는 최대가시거리보다 크다면 차폐되어 탐지할 수 없는 것으로 판단된다.

3. 탐지 및 식별 판단 모델

J. Johnson은 1958년 사람의 눈으로 표적을 구분할 때 필요한 흑백쌍선의 수(the number of periodic line pairs)를 실험적인 방법으로 도출하여 표적구분 기준을 만들었다[5,6]. 표적을 구분할 수 있는 단계를 탐지(detection), 인지(recognition), 식별(identification)로 분류하고 각 단계별로 요구되는 흑백쌍선의 수를 실험을 통해 알아냈으며 실험에 참가한 사람들 중 50 %가 구분할 수 있는 흑백쌍선 수를 기준으로 설정하였다. 구분 가능한 흑백쌍선의 수를 이용해 탐지, 인지, 식별을 구분해 내는 개념을 Fig. 2에 나타냈다. Johnson 기준은 60여 년 동안 업계의 표준으로 받아들여지고 있으며 여전히 관련 업계에서 널리 사용되고 있다[7]. 본 논문에서는 탐지, 식별에 대한 내용으로 한정하여 구분한다.

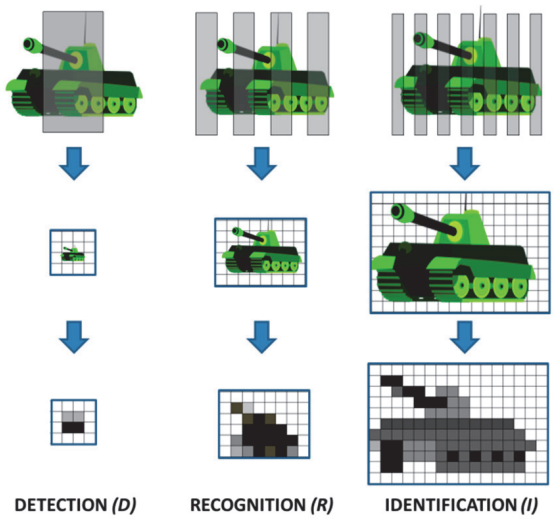

Fig. 2. Principle of detection, recognition, and identification based on Johnson's criteria[7]

인체 시각의 탐지는 표적의 투영 면적과 상대거리에 의해 영향을 받는다. 본 모델에서는 시각 탐지/식별 판단을 모의하는 데 있어 표적의 투영 면적에 비례하고 표적과의 거리에 반비례하는 관계를 반영하여 공간분해능을 나타내는 인자를 계산하고 이것을 Johnson 기준에 따른 탐지/식별 계수와 비교하는 과정을 이용한다. 탐지/식별 공간분해능(N_{DI}) 계산식은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$N_{DI} = k_{DI}\frac{\sqrt{A_T}}{R} \tag{2}$$

여기서, A_T는 표적의 투영 면적(단위: m^2)이고, R은 표적까지의 거리(단위: m)이다. k_{DI}는 비례 상수로 6076.1값이 적용된다.

탐지/식별 공간분해능은 모의가 이루어지는 매 시간마다 각 표적별로 반복 계산되고, 이 값이 Johnson의 실험적 기준값이 되는 2.0보다 작은 경우 탐지가 되지 않은 것으로 판단한다. 이 값이 2.0보다 크고 17.6보다 작은 경우 탐지만 되고 식별은 되지 않은 상황으로 모의하고, 17.6보다 큰 경우에는 식별까지 완료된 것으로 판단한다[8].

표적의 투영 면적별 거리에 따른 공간분해능을 Fig. 3에 나타냈다. 본 연구에서 모델링된 공간분해능 정의에 따르면, 일반적인 성인 한 명의 단면적과 비슷한 크기인 1 m^2의 투영면적을 갖는 표적은 3 km 정도의 거리에서 인간의 시각으로 탐지가 가능하고, 345 m 거리에서 식별이 가능하다. 소형 무인 수상정(USV: unmanned surface vehicle)은 대략 3 m^2 정도의 투영면적을 가정할 수 있는데, 이 경우는 9 km의 거리에서 탐지, 1.035 km의 거리에서 식별되는 결과를 산출한다.

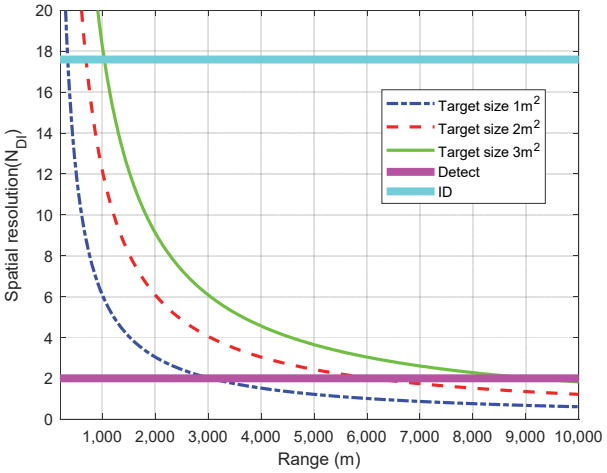

Fig. 3. Target spatial resolution based on projected area and distance

4. 표적 정보 추출 모델

표적 정보 추출 모델에서는 인간의 시각에 의해 탐지/식별된 표적 정보를 지휘통제에 전달하기 위해 추출하는 기능을 수행한다. 모델 상에서 보고되는 표적정보로는 표적 탐지 여부, 표적 식별 여부, 표적 방위, 고각, 표적거리, 고도, 적아구분, 표적명, 표적 세부유형 등을 들 수 있다.

이때 표적의 방위, 고각, 거리는 인체의 시각 특성을 고려해 한정된 범위 내에서 무작위로 발생되는 오차를 참값에 더해 출력하도록 하고, 고도 정보는 오차가 반영된 방위와 거리에 의해 산출되는 값으로 제공한다.

거리가 멀어질수록 오차가 커지는 효과를 반영하기 위해 모의 상의 표적 위치 참값에 표적 위치 오차 반경을 더하여 식 (3)과 같이 오차를 포함하는 표적 위치를 생성한다.

$$x_e = x + r_e\cos(\alpha_e)\cos(\beta_e) \tag{3a}$$

$$y_e = y + r_e\sin(\alpha_e)\cos(\beta_e) \tag{3b}$$

$$z_e = z + r_e\sin(\beta_e) \tag{3c}$$

여기서 x, y, z는 모의 상의 표적 위치의 참 값이고, x_e, y_e, z_e는 오차를 포함한 표적 위치이다. α_e, β_e, r_e는 각각 표적 위치 방위각 오차, 고도각 오차, 오차 반경을 의미한다.

표적 위치 오차 반경 r_e는 식 (4)와 같이 얻을 수 있다. ϵ은 측정 오차 각도이고, r은 표적 거리이다.

$$r_e = \epsilon \times \frac{\pi}{180} \times r \tag{4}$$

여기서, 측정 오차 각도는 실제 위치 대비 측정 위치에 대한 오차 각도를 뜻하고, 이는 인체의 지각 능력에 따라 결정되는 값으로 평균적으로 2.7°, 표준 편차 1.15° 내에서 각 해석 시간 단위마다 난수를 추출하여 사용한다[9].

표적 위치에 대한 오차 방향은 균일 분포 난수값을 발생시켜 무작위로 결정하고 방위각 방향에 대해서는 360도, 고도각 방향에 대해서는 180도로 범위를 한정한다. n이 0과 1 사이의 균일 분포를 갖는 난수일 경우, 방위각/고도각 방향의 오차(α_e/β_e)는 식 (5)와 같이 표현된다.

$$\alpha_e = n \times 360 \tag{5a}$$

$$\beta_e = n \times 180 \tag{5c}$$

시각 탐지 위치를 (x_1, y_1, z_1)라 하고 오차를 포함한 표적의 위치를 (x_e, y_e, z_e)라 하면 식 (6)을 이용해 상대적인 방위각을 계산할 수 있다. Az와 El은 각각 표적의 방위각과 고각이다.

$$Az = \text{atan}\left(\frac{y_e - y_1}{x_e - x_1}\right) \tag{6a}$$

$$El = \text{atan}\left(\frac{z_e - z_1}{\sqrt{(x_e - x_1)^2 + (y_e - y_1)^2}}\right) \tag{6b}$$

5. 결론

본 논문에서는 교전 시뮬레이션 내부의 인간 요소 중, 시각을 이용한 탐지/식별에 대해서 물리적 수식을 기반으로 하여 실시간 시뮬레이션에 적용 가능한 모델링 방법론을 제시하였다. 영상을 기반으로 하는 탐지, 인지, 식별 확률 계산에 널리 쓰이는 Johnson 기준을 인간 시각에 적용하여 반영하고, 이를 실시간 시각 탐지, 식별 시뮬레이션에 활용할 수 있도록 하였다.

시뮬레이션 내부의 인간 시각 탐지/식별 모델은 탐지 범위 판단 모델, 탐지/식별 판단 모델, 표적 정보 추출 모델로 구성되고, 순차적으로 표적을 인간의 시각으로 탐지/식별이 가능한지 판단하고, 오차가 포함된 표적 정보를 지휘통제에 전달할 수 있도록 하였다.

인간의 시각이 탐지체계로 설정되었을 때, 피탐지체계 간의 관계를 공간분해능과 Johnson 기준값을 이용하여 수치화하여 실시간 전장 시뮬레이션에 적용 가능하도록 하였다. 추후 모델의 추가 분석 및 검증을 통해 보다 신뢰성 있는 시각 모델을 적용할 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] K.M. Seo, T. G. Kim, H.S. Song, J. H. Kim, and S. M. Chung, “Combat Entity Based Modeling Methodology to Enable Joint Analysis of Performance/Engagement Effectiveness – Part 1: Conceptual Model Design,” Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 17, No. 2, pp. 223-234, 2014.
[2] K.M. Seo, C. Choi, and T. G. Kim, “Combat Entity Based Modeling Methodology to Enable Joint Analysis of Performance/Engagement Effectiveness – Part 2: Detailed Model Design & Model,” Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 17, No. 2, pp. 225-247, 2014.
[3] K. Bang and W. Choi, “Evaluation of Submarine’s Tactical Operations Using Heterogeneous Models,” 2015.
[4] A. E. Opcin, A. H. Buss, T. W. Lucas and P. J. Sanchez, “Modeling Anti-air Warfare with Discrete Event Simulation and Analyzing Naval Convoy Operations,” 2017 Winter Simulation Conference (WSC), Las Vegas, NV, USA, pp. 4048-4057, 2017.
[5] John Johnson, “Analysis of Image Forming Systems,” in Image Intensifier Symposium, AD 220160 (Warfare Electrical Engineering Department, U.S. Army Research and Development Laboratories, Ft. Belvoir, Va., 1958), pp. 244-273.
[6] J.W. Park, “Establishment of Test & Evaluation Criteria in the Military Electro-Optical/Infrared Devices,” Journal of the KIMST, Vol. 19, No. 5, pp. 613-617, 2016.
[7] D. Peric, B. Livada, M. Peric and S. Vujic, “Thermal Imager Range: Predictions, Expectations, and Reality,” Sensors, Vol.19, No.15, pp. 3313, 2019.
[8] R. H. Vollmerhausen and E. Jacobs, “The Targeting Task Performance (TTP) Metric: A New Model for Predicting Target Acquisition Performance,” Tech. Rep. AMSEL-NV -TR-230, Modeling and Simulation Division, Night Vision and Electronic Sensors Directorate, U.S. Army CERDEC, Fort Belvoir, 2004.
[9] E. Brenner and F. W. Cornelissen, “Separate Simultaneous Processing of Egocentric and Relative Positions,” Vision Research, Vol. 40, pp. 2557-2563, 2000.