

자율적인 상황인식을 위한 다중센서 위협데이터의 귀납적 분류

(Inductive Classification of Multi-Spectral Threat Data for
Autonomous Situation Awareness)

정용웅[†] 노상욱^{**} 고은경^{***} 정운섭^{***}

(Yongwoong Jeong) (Sanguk Noh) (Eunkyoung Go) (Unseob Jeong)

요약 본 논문은 복잡한 실시간 환경에서 인간의 의사결정을 대체하는 자율적인 에이전트의 구축을 위하여 필수적인 지식베이스의 형성과정을 제안하며, 지식베이스의 형성과정에 대한 방법론을 실질적인 응용 도메인에서 검증한다. 한국형 헬기의 두뇌역할을 수행하는 생존체제장비가 실시간 전장 환경에서 여러 개의 센서로부터 수신하는 위협 데이터를 분석하고, 위협 데이터의 특성과 위협간의 상호 연관성을 컴파일 과정을 통하여 귀납적 모델로 정형화한다. 규범화된 상황-행동 규칙은 헬기가 복잡한 전장 환경에서 실시간 추론 시간을 줄이며, 자율적으로 위협에 대처할 수 있는 능력을 갖추도록 할 것이다. 제안한 방법론의 검증을 위하여 한국형 헬기의 위협을 실험적으로 분류하였으며, 컴파일 과정이 위협을 성공적으로 탐지할 수 있음을 보여주었다.

키워드 : 자율적인 에이전트, 상황인식, 컴파일 과정, 위협 분류

Abstract To build autonomous agents who can make a decision on behalf of humans in time-critical complex environments, the formulation of operational knowledge base could be essential. This paper proposes the methodology of how to formulate the knowledge base and evaluates it in a practical application domain. We analyze threat data received from the multiple sensors of Aircraft Survivability Equipment (ASE) for Korean helicopters, and integrate the threat data into the inductive model through compilation technique which extracts features of the threat data and relations among them. The compiled protocols of state-action rules can be implemented as the brain of the ASE. They can reduce the amounts of reasoning, and endow the autonomous agents with reactivity and flexibility. We report experimental results that demonstrate the distinctive and predictive patterns of threats in simulated battlefield settings, and show the potential of compilation methods for the successful detection of threat systems.

Key words : autonomous agents, situational awareness, compilation, threat classification

- 본 연구는 2006년도 국방과학연구소의 "다중센서 위협데이터 통합기법 연구 (UD060072FD)" 용역과 2007년도 가톨릭대학교 교비연구비의 지원으로 이루어졌음
- 이 논문은 2007 한국컴퓨터종합학술대회에서 '자율적인 상황인식을 위한 다중센서 위협데이터의 귀납적 분류'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

[†] 학생회원 : 가톨릭대학교 컴퓨터정보공학부
jeong@catholic.ac.kr

^{**} 종신회원 : 가톨릭대학교 컴퓨터정보공학부 교수
sunoh@catholic.ac.kr
(Corresponding author임)

^{***} 정회원 : 국방과학연구소 2 기술본부 통신/전자전 개발시험장 연구원
ekgo@add.re.kr
jeus@add.re.kr
논문접수 : 2007년 10월 2일
심사완료 : 2008년 1월 28일

Copyright©2008 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다. 정보과학회논문지: 소프트웨어 및 응용 제35권 제3호(2008.3)

1. 서론

자율적으로 주어진 상황을 인식한다는 것은 동적으로 변화하는 환경에 대한 정보를 받아들이며 에이전트의 지식베이스로 축적하는 과정으로 정의할 수 있다. 자율적인 상황인식에서 가장 중요한 단계는 임박한 상황에서 무엇이 발생할 수 있는가를 예측하는 지식 또는 정보의 분석이다. 이러한 과정은 복잡한 상황을 확인하고 추적하는 과정으로 귀결되며, 단순하며 즉각적인 반응이 아닌 동작 가능한 지식의 형태가 될 것이다. 따라서 자율적인 상황인식은 긴급한 상황에서 적용할 수 있는 지식의 형태로 나타난다. 상황인식은 전장상황, 교통 및 재난상황 - 화재, 지진, 방사능 유출 - 등에서 널리 응용되고 있다[1-4].

복잡한 실시간 환경에서 인간의 의사결정을 대체하는 자율적인 에이전트에 대한 연구는 지속적으로 이루어지고 있다[5-7]. 본 논문에서는 이러한 자율적인 에이전트의 구축을 위하여 필수적인 지식베이스의 형성과정을 보이며, 지식베이스의 형성과정에 대한 방법론을 실질적인 응용 도메인에서 검증한다. 구체적으로, 에이전트의 자율성을 위하여 환경에 적응할 수 있는 귀납적인 컴파일 방식을 제안하며, 에이전트의 실시간 반응성을 위하여 상황-행동 추론 방식을 사용한다.

한국형 헬기의 두뇌역할을 수행하는 생존체계장비(Aircraft Survivability Equipment: ASE)[8-11]는 실시간 전장 환경에서 여러 개의 센서로부터 수신하는 위협 데이터를 분석하고, 위협 시스템을 정확하게 분류 및 확인하여야 한다. 위협 데이터의 수신으로부터 위협 시스템 확인까지의 과정을 자율적으로 수행하는 에이전트를 설계하며, 자율적인 에이전트가 주어진 실시간 환경에서 빠르게 반응할 수 있도록 한다. 생존체계장비가 수신하는 위협 데이터의 특성과 위협간의 상호 연관성을 컴파일 과정을 통하여 귀납적 모델로 정형화한다. 통합 모델은 자율적인 에이전트의 지식베이스로 형성되며, 상황-행동 추론방식에 의하여 특정한 전장상황에서 위협 시스템을 확인할 수 있도록 할 것이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 한국형 헬기에 대한 다양한 위협의 징후를 나타내는 위협 요소들을 보이며, 위협확인 및 분류 시스템을 설계한다. 3장에서는 컴파일 과정에 의한 규범의 생성 방법에 대하여 서술한다. 4장에서는 실험을 통하여 제안한 방법론을 입증하며, 실험 결과를 분석한다. 결론에서는 실험결과를 정리하며, 앞으로의 연구방향을 제시할 것이다.

2. 위협요소 추출

전장헬기의 생존율을 향상시키고 주요 임무를 성공적으로 수행하기 위하여 다양한 위협 시스템의 특징적 요소들을 추출하며, 헬기 생존체계장비를 설계한다.

2.1 위협 분석

헬기의 생존율을 높이고 주요 임무를 원활하게 수행하기 위하여, 헬기 생존체계에 대한 위협 데이터를 정의하고 분석하는 연구는 다양한 형태로 진행되어 왔다 [12-14]. 헬기 위협에 대한 유형 및 분류는 자체적으로 위협을 구성하지 않는 비격추 위협 시스템(non-terminal threat system)과 헬기에 직접적인 위협이 될 수 있는 격추 위협 시스템(terminal threat system)으로 구분된다. 비격추 위협 시스템은 전파방해 등을 통하여 아군 헬기의 효율성을 저하시키거나, 아군 헬기를 확인하고 이러한 추정정보를 적군 무기 시스템에 전달하는 등의 방법으로 그 효과를 향상시킨다. 비격추 위협 시스

템은 레이더 및 각종 센서에 의한 탐색, 수신 및 추적 등으로 나눌 수 있다. 격추 위협 시스템은 헬기에 치명적인 손상을 입히는 것으로 정적인 시스템과 이동형 시스템으로 분류된다. 이러한 비격추 및 격추 위협 시스템은 헬기에 장착된 레이더(radar) 수신기, 레이저(laser) 수신기, 자외선(ultra-violet) 수신기 등을 통하여 확인할 수 있다. 자외선 수신기는 헬기를 중심으로 위협 시스템이 어느 방향에서 접근하는가를 판단할 수 있게 하며 위협 자체의 분류 특성을 제공하지 않기 때문에, 본 논문에서는 레이더 센서와 레이저 센서가 수신하는 위협 데이터를 중심으로 위협요소를 추출한다.

전장상황에서 헬기가 수신하는 속성들을 표 1에 정리하였다. 이러한 속성은 헬기생존체계를 구성하는 지식베이스의 구성요소가 된다.

표 1에 정리한 속성들은 위협의 유형과 위협 정도를 효과적으로 구분하는 요소들로 선택되었다. 레이더 센서에 의하여 확인되는 속성들은 위협 시스템을 특징적으로 구별할 수 있는 반면에 레이저 센서에 의하여 확인되는 위협의 속성은 일반적으로 제한되어 있다. 레이저 수신기와는 다르게 레이더 수신기는 기상조건에 매우 적은 영향을 받으며 자료를 수신한다[9].

표 1 전장상황에서 헬기와 관련된 속성

수신기 유형	속성	값의 범위	위협 유형
레이더	레이더 주파수 펄스 폭 펄스 세기 펄스반복주기	30 - 8,000(MHz) 0.8 - 5 (μs) 10 - 500 (kW) 1 - 666 (kHz)	비격추
레이저	펄스 비율 빔 확산각	single shot 1 - 2 (mrad)	
레이더	레이더 주파수 펄스 폭 펄스 세기 펄스반복주기	8 - 40 (GHz) 0.1 - 0.8 (μs) 1 - 50 (kW) 333 - 1,000(kHz)	격추
레이저	펄스 비율 빔 확산각	0.1 - 20 (Hz) 0.1 - 2.5 (mrad)	

2.2 위협분류 시스템의 설계

표 1에서 정리한 속성들로 정의되는 위협 시스템에 빠르게 반응하며 실시간 전장 환경에서 실질적으로 동작할 수 있는 자율적인 에이전트를 설계하고자 한다. 이러한 목적을 달성하기 위한 첫 번째 단계는 위협 시스템의 특징을 통합하며, 위협 자체를 확인하고 식별할 수 있는 능력을 자율적인 에이전트에게 부여하는 것이다. 생존체계 구성 장비의 위협 데이터를 분석하고, 각 장비별 위협 데이터의 특성과 위협간의 상호 연관성을 분석하고 통합하는 과정에 대한 시스템 체계도는 그림 1과 같다.

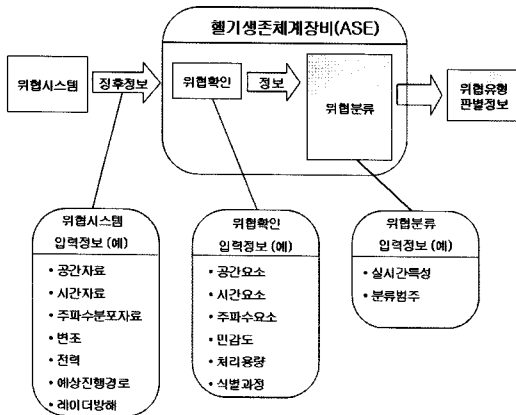


그림 1 헬기생존체계장비(ASE)의 위협데이터 통합과정에 대한 시스템 체계도

헬기생존체계장비는 정보수집 에이전트와 주어진 상황에 적용할 수 있는 위협인식 에이전트로 구성된다. 정보수집 에이전트는 위협 시스템의 징후정보를 수집하고 처리한다. 위협인식 에이전트는 정보수집 에이전트가 처리한 입력정보를 바탕으로 위협을 확인하고 귀납학습 모델에 의하여 생성된 규범의 범주와 비교하여 위협을 분류한다. 이와 같이, 헬기생존체계장비는 현재 상황에 대한 위협을 분류하고 규범에 기반을 두어 결과적인 현재 상황을 인식하며, 이에 대한 경고를 수행하게 된다. 이때, 헬기생존체계의 빠른 반응은 헬기가 긴박한 상황에서 적절한 행동을 결정할 수 있는 충분한 시간을 제공할 수 있는 장점을 가진다.

3. 위협에 대한 규범의 생성

긴급한 상황에서 적용할 수 있는 자율적인 에이전트를 구축하기 위하여 기계학습 알고리즘을 사용하며, 컴파일 과정을 통하여 위협 시스템의 속성별 특징을 고려한 규범을 생성하고자 한다.

3.1 귀납학습 알고리즘

베이저안 규칙(Bayes rule)은 일정한 데이터 분포에서 획득한 증거(속성)가 특정한 가설 또는 클래스에 속하는지의 여부를 조사한다. 베이저안 이론 [15]은 다음과 같이 정의할 수 있다:

$$P(h_j|x_i) = \frac{P(x_i|h_j)P(h_j)}{\sum_{j=1}^m P(x_i|h_j)P(h_j)} \quad (1)$$

- 관찰이 가능한 속성들의 집합, $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$;
- 특정한 도메인에서 가설들의 집합, $H = \{h_1, h_2, \dots, h_n\}$;
- $x_i, x_i \in X$, 가 관찰할 수 있는 이벤트일 경우의 가설 $h_j, h_j \in H$, 에 대한 조건부 확률, $P(h_j|x_i)$.

제안하는 방법론에서 관찰이 가능한 속성 X 는 표 1에서 정리한 속성들로 구성되며, 가설들의 집합은 어떤 위협 시스템이 어느 정도의 위협을 가지는가의 조합으로 나타난다. 특정한 상황에서 증거들이 주어지면, 베이저안 규칙은 가능한 가설에 대한 조건부 확률 $P(h_j|x_i)$ 을 계산한다. 실시간 상황에서 경고 에이전트는 $P(h_j|x_i)$ 를 계산하며, 여러 개의 위협이 존재할 때 다른 위협들보다 조건부 확률 값이 큰 위협에 대하여 경고를 설정한다.

귀납학습 알고리즘으로 분류되는 ID3, C4.5 [16] 및 CN2 [17]와 같은 의사결정 트리(decision tree) 접근 방식은 문제 영역을 분류할 수 있는 영역의 클래스 집합인 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ 으로 분할한다. 의사결정 트리 접근 방식의 귀납 학습 알고리즘은 데이터 집합을 순서화된 속성들의 계층적인 집합 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 으로 분류한다. 의사결정 트리의 내부 노드는 특정한 속성 $x_i \in X$ 과 연관되어 있으며, 최하위 노드는 속성들의 범주에 속하는 가설(클래스) $c_j \in C$ 을 나타낸다.

이와 같이, 의사결정 트리 기반의 귀납학습 알고리즘은 가상의 전장상황에서 헬기에 주어지는 다양한 위협의 모델을 나타내는 트리를 제공한다. 학습용 데이터를 사용하여 주어진 상황을 인식할 수 있는 귀납적 모델을 획득하면, 이러한 모델은 새로운 환경에서 헬기에 가해지는 특정한 위협에 대한 분류를 가능하게 한다.

인공 신경망[18]은 도메인 영역을 대표하는 예제들로 나타낼 수 있는 함수를 근사적으로 추론하는 방법론이다. 따라서 인공신경망의 출력은 특정한 위협의 속성별 가중치를 나타낸다. 이러한 속성별 가중치는 새로운 위협에 대하여 특정한 위협 클래스에 속하는가를 결정하게 되며, 위협의 속성과 위협 시스템 사이의 관계를 표현한다.

3.2 위협의 귀납적 모델

위협에 대한 규범(protocol)의 생성은 두 단계로 구성된다. 첫째로, 컴파일 과정(compilation)을 통하여 정형화된 결과를 획득하며, 둘째로, 정형화된 결과를 에이전트의 규범으로 축적한다. 컴파일 과정은 에이전트가 처한 환경에서 규칙성을 발견하는 도구로서 정의할 수 있으며, 에이전트의 자율적인 상황인식을 위하여 동적으로 변화하는 환경에 대한 정보를 받아들여 에이전트의 지식베이스로 축적하는 과정을 의미한다. 컴파일 과정을 통하여 축적된 지식은 에이전트가 실시간에 빠르게 반응할 수 있는 규범을 생성할 수 있도록 한다.

헬기생존체계장비의 두뇌역할을 하는 지능형 위협인식 에이전트가 식별할 수 있는 위협 상태의 집합을 S 라 하며, 이 에이전트가 사용하는 다양한 학습 알고리즘의 집합을 L 이라고 가정하자. 주어진 학습 알고리즘 l

$\in L$ 에 대하여, 컴파일 과정은 다음과 같은 함수로 표현 된다:

$$\rho_i : S \mapsto \{ \text{위협시스템} \} \quad (2)$$

이때, 컴파일과정을 나타내는 함수 ρ_i 은 헬기가 처한 실시간 상태 $s \in S$ 에서 어떠한 위협 시스템이 공격하는가에 대한 범주를 지정해주는 분류과정이다. 따라서 다양한 귀납학습 알고리즘은 위협 데이터 통합 모델을 서로 다른 함수로 컴파일하게 되고, 결과적으로 생성된 규범을 지능형 위협인식 에이전트가 실시간 전장 환경에서 사용하게 되는 것이다. 위협인식 에이전트는 2.2절의 그림 1에서 헬기생존체계장비(ASE)의 위협확인 및 위협분류 역할을 수행한다.

위협을 확인한 이후에는 그 위협 시스템이 헬기에 어느 정도의 위협이 되는지 판단하여, 동시에 여러 개의 위협이 존재할 때 대응하기 위한 우선순위를 정할 필요가 있다. 전장헬기에 대한 위협의 정도를 나타내는 함수는 다음과 같다:

$$\omega : T \times C \times A \mapsto \{ \text{위협정도} \} \quad (3)$$

식 (3)과 같이 정의된 위협정도는 식 (2)의 컴파일 과정에 의하여 분류된 위협시스템의 유형(T : Threats), 위협 자체의 특성(C : Characteristics) 및 위협의 접근성(A : Angle of Arrival) 등을 고려하여 결정한다. 즉, 헬기에 대한 임의의 위협이 위협인식 에이전트의 규범에 의하여 특정한 위협 클래스로 결정되며, 결정된 위협은 위협 자체의 특성에 의하여 격추 및 비격추 위협의 범주로 분류될 수 있다. 비격추 위협보다는 격추 위협이 위협정도가 크며, 격추 위협 중에서 단거리 위협이 장거리 위협보다 위협정도가 증가하게 된다. 위협의 접근성은 위협 시스템이 일정한 방향에서 헬기에 접근하고 있음을 나타낸다.

위협정도의 표시는 헬기에 대한 위협이 증가하는 순서로 G(green), Y(yellow), R(red)의 3단계로 구분한다. 헬기에 대한 위협은 헬기를 중심으로 하는 위협의 방향과 위협정도를 나타내는 3단계의 색에 의하여 화면에 표시된다. 예를 들면, 일정한 방향에서 접근하는 R단계의 위협정도가 가장 큰 위협이 된다.

4. 실험 결과

실험의 목표는 컴파일 과정을 통한 규범의 생성 및 모의 전장헬기 상황에 컴파일한 규범을 적용하여 검증하는 것이다. 귀납학습도구로 WEKA(Waikato Environment for Knowledge Analysis)[19]를 사용하였고 위협분류의 정확도로서 에이전트의 성능을 측정하였다.

4.1 모의 데이터의 생성

다양한 다중 센서 위협 데이터 모델에 대한 에이전트의 성능을 확인하기 위하여 세 가지의 다른 분포를 이용

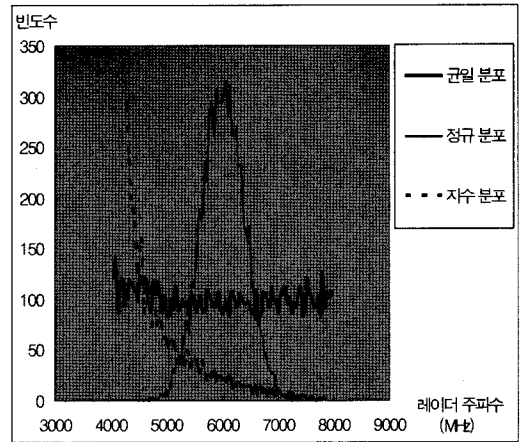


그림 2 '중장거리_레이더_및_추적' 클래스의 레이더 주파수 속성 값 범위에 대한 세 가지 분포

하여 모의실험 데이터를 생성하였다. 다시 말하면, 표 1에 주어진 속성 값의 범위에서 균일 분포, 정규 분포, 지수 분포의 세 가지 분포로 수신기 유형에 따라 각각 생성하고, 세 가지 분포로 생성한 데이터를 이용하여 에이전트의 성능을 확인하였다. 데이터 분포는 위협 데이터의 가능한 분포를 다양한 형태로 포함하기 때문에 실제 가능한 위협 모델의 불특정한 패턴에 근접할 수 있다.

그림 2는 균일 분포, 정규 분포, 지수 분포를 따르는 레이더 주파수의 모의실험 데이터를 보여준다. 그림 2에서 x축은 4,000 MHz에서 8,000 MHz까지의 레이더 주파수 범위를 나타내고, y축은 전체 데이터 10,000개에 대하여 주어진 분포에 따른 데이터 수를 나타낸다.

4.2 위협 데이터 분류 결과

위협인식 에이전트의 지식 베이스를 형성하는 규범을 구성하기 위하여 세 개의 기계학습 알고리즘, 즉, naive Bayesian 분류기[15], 귀납적 의사결정 트리(inductive decision tree algorithm: C4.5)[16], 신경망 알고리즘(neural network: multilayer perceptron)[18]을 사용하여 컴파일 하였다. 식 (2)에서 언급한 바와 같이 컴파일 방법의 집합 L 은 naive Bayes (= l_1), C4.5 (= l_2), multilayer perceptron (= l_3)으로 구성된다. naive Bayesian 분류기에서 결과는 클래스에 주어진 각 속성의 발생 확률을 나타낸다. C4.5는 위협 시스템에 대한 의사결정 트리(decision tree)를 귀납학습의 결과로 생성하며, multilayer perceptron의 학습 결과는 위협들의 속성들로부터 위협 시스템으로의 함수로 표현된다. 실험에서 multilayer perceptron의 구조는 6(입력층)×4(은닉층)×10(출력층)이다. 즉, 입력층에 6개의 노드는 레이더 수신기와 레이저 수신기로부터 수신된 속성 값(표 1 참조)이며, 하나의 은닉층에 4개의 노드를 설정하였으며,

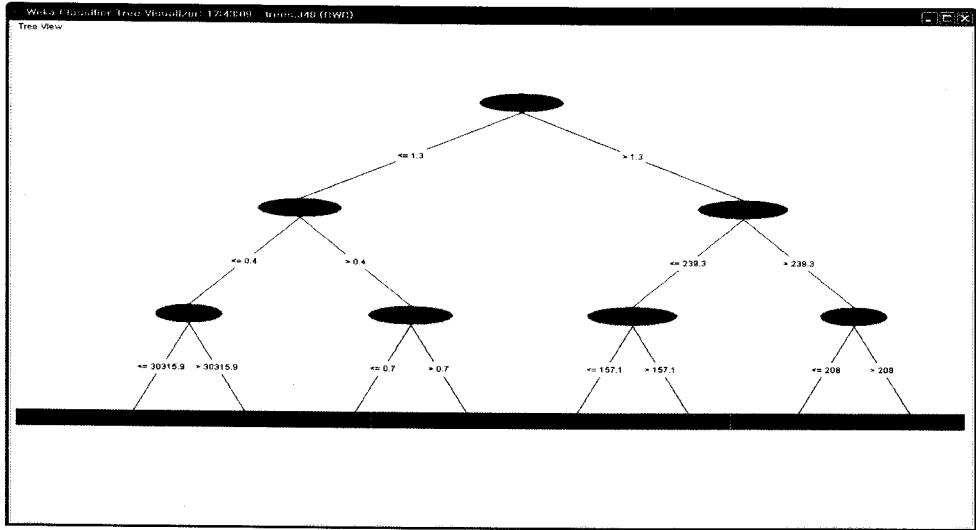


그림 3 WEKA [19]에서 제공하는 C4.5에 의하여 획득한 의사결정 트리

출력층에는 10개의 위협 클래스에 대한 노드가 존재한다. 자율적인 상황인식 에이전트가 사용하는 위협분류 지식을 컴파일하기 위하여 위의 언급된 알고리즘을 적용한다.

학습 알고리즘 $l_1 - l_3$ 은 학습 데이터를 서로 다른 규칙들의 집합으로 컴파일한다. 학습된 상황-행동 규칙들은 한 가지 유형의 수신기에 대한 속성만을 고려하여 생성되었다. 즉, 레이더 수신기에 대한 속성 값과 레이저 수신기에 대한 속성 값은 각각 분리되어 컴파일 모델에 입력된다. 그림 3은 C4.5 (= l_3)를 사용하여 얻어낸 의사결정 트리를 보여준다.

예를 들어, 레이더 수신기가 수신하는 비격추 위협 시스템에 대하여 컴파일된 특정한 규칙은 다음과 같다:

「만약 ‘펄스 폭’이 1.3 보다 크고, ‘펄스 세기’가 239.3 보다 크며, ‘레이더 주파수’가 208 보다 크면, ‘조기경보-레이더’ 이다.」

서로 다른 학습 알고리즘을 통하여 생성된 다양한 규칙 집합들을 평가하기 위한 척도로 위협 분류의 정확도를 사용하였다. 실질적인 학습 가설을 보장할 수 있는 학습 데이터의 수를 알아내기 위하여 데이터의 수를 20개부터 200개까지로 설정한 학습 데이터를 생성하였다. 일반적으로 학습 데이터의 수가 늘어나면 성능이 급격히 향상되다가 차츰 안정되면서 결국에는 일정한 성능을 보이게 된다. 결과적으로 생성한 학습곡선을 바탕으로, 위협 시스템을 분류하기 위하여 필요한 데이터의 수가 100개 임을 알 수 있었다. 레이더 수신기를 위한 모의 자료를 정규 분포로 생성하였을 경우에 위협 분류 정확도가 가장 높았으며, 레이저 수신기에 대해서는 지

수 분포로 데이터를 생성하였을 경우의 위협 분류 정확도가 가장 높게 나타났다.

레이더 수신기와 레이저 수신기에 대하여 학습 데이터의 수에 따른 위협 데이터 분류의 정확도를 나타내는 실험결과는 각각 그림 4와 그림 5와 같다.

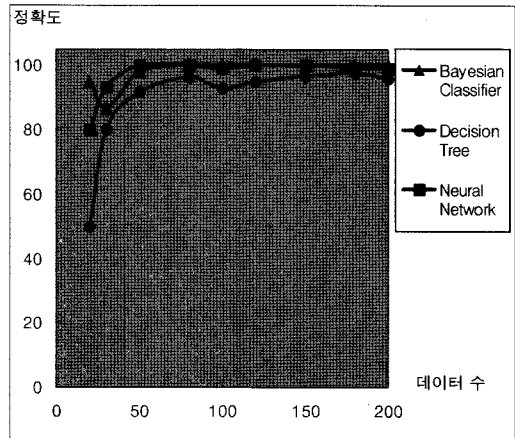


그림 4 레이더 수신기를 통하여 수신한 모의 자료 수와 분류 정확도 그래프

그림 4와 그림 5의 실험결과는 각각 레이더 수신기에 대한 데이터는 정규 분포, 레이저 수신기에 대해서는 지수 분포로 생성한 데이터를 이용하였다. 레이더 수신기에서 그림 4에 보이는 것과 같이 naïve Bayesian 분류기가 위협 시스템 분류 함수를 가장 빠르게 학습하였다. naïve Bayesian 분류기가 위협 데이터를 정확히 분류하

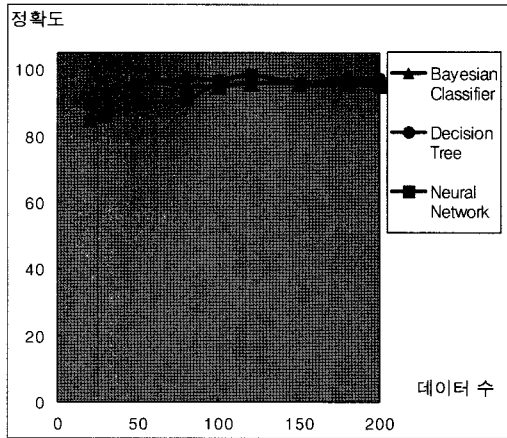


그림 5 레이저 수신기를 통하여 수신한 모의 자료 수와 분류 정확도 그래프

였을 때의 최고 성능은 100%였고 C4.5는 96%, multilayer perceptron은 99%의 최고 성능을 보였다. 반면에 레이저 수신기에서는 그림 5에 보이는 것과 같이 C4.5를 사용하여 분류하였을 때 분류 정확도 98.3%로 가장 높은 성능을 보였다. 레이저 수신기에서 naïve Bayesian 분류기가 위협 데이터를 분류했을 때 최고 성능은 95.8%로 레이더 수신기에 대한 실험 결과와는 다른 양상을 보인다.

서로 다른 학습 모델을 통하여 얻어진 상황-행동 규칙들을 새롭게 생성한 표본 100개로 이루어진 10개의 데이터 집합(총 10×100=1,000개 데이터)에 적용하였다. 새롭게 생성한 데이터 집합을 이용하여 결과적으로 얻은 각 학습 모델의 정확도는 표 2에 정리하였다.

표 2에 나타난 각 컴파일 과정의 성능 결과를 표준 분산 분석(ANOVA)방법을 이용하여 분석하였다. 표준 분산 분석을 통하여 계산 값 $f=72.41$ 과 $f=4.30$ 이 F 분포에서의 표준 값 $5.39(=f_{0.01,2,27})$ 와 $3.32(=f_{0.05,2,27})$ 보다 크기 때문에 세 개의 다른 학습 알고리즘에 의하여 생성된 결과가 레이더 수신기에 대하여 0.01, 레이저 수신기에 대해서는 0.05의 통계 유의수준에서 서로 차이를 결론지을 수 있다. 즉, 레이더와 레이저 센서가 수신한 위협 상황에서 세 가지 학습 알고리즘의 성능 차이는 각각 99%와 95%의 확률로 우연히 나온 결과가 아님을 알 수 있다. 또한, 표 2를 보면 '레이더 센서'가 수신한 위협 상황에서 naïve Bayesian을 사용한 위협인식 에이전트의 평균 성능이 C4.5나 multilayer perceptron을 사용한 것보다 더 높게 측정되었으며, '레이저 센서'가 수신한 위협 상황에서는 C4.5에 의하여 컴파일 된 규칙이 naïve Bayesian과 multilayer perceptron에 의하여 컴파일된 규칙보다 더 좋은 결과를 보임을 알 수 있다.

표 2 레이더 및 레이저 수신기를 통하여 인식하는 위협에 대한 컴파일 모델의 성능

수신기 유형	컴파일 모델	성능
레이더	Naïve Bayes	100.0 ± 0.00
	C4.5	95.0 ± 0.94
	Multilayer Perceptron	98.3 ± 1.34
표준 분산 분석(ANOVA)	72.41	
레이저	Naïve Bayes	95.8 ± 1.40
	C4.5	97.4 ± 1.35
	Multilayer-Perceptron	95.8 ± 1.48
표준 분산 분석(ANOVA)	4.30	

4.3 통합속성을 이용한 위협의 분류

전장행기의 수신기는 독립적으로 운영되지만, 개별적인 수신기에서 획득한 자료를 통합하여 위협을 분류하는 것은 정보이득 측면에서 또한 분류의 정확성을 높이기 위하여 실질적으로 중요하다. 따라서, 각각의 수신기와 두 개의 수신기를 통합하여 컴파일한 규칙의 분류 정확도를 비교하는 실험을 수행하였다.

4.2절에서 실험한 결과를 바탕으로 '레이더 수신기'를 위하여 naïve Bayesian을 사용하였으며, '레이저 수신기'를 위하여 의사결정 트리 알고리즘(C4.5)을 사용하여 컴파일 하였다. 세 가지 데이터 분포로 생성한 모의 자료를 이용하여 컴파일 한 의사결정 트리 규칙의 분류 정확성을 분석하였다. 실험을 위하여 모의 자료는 레이더 수신기, 레이저 수신기, 레이더와 레이저 수신기가 수신한 속성을 통합한 세 가지 경우로 생성하였으며, 세 가지 분포로 각각 100개의 학습용 데이터를 생성하였다. 실험은 레이더와 레이저 수신기가 공통적으로 분류할 수 있는 세 개의 클래스에 대하여 컴파일 한 규칙을 적용하였다. 세 가지 분포로 생성한 모의 자료를 이용하여 실험한 결과(100개의 데이터 집합을 세 가지 분포에 대하여 10번 생성 = 총 3,000개 데이터 집합), 지수 분포일 경우의 분류 정확도가 가장 높게 나타났다. 레이더 수신기, 레이저 수신기 및 레이더-레이저 통합 속성에 대한 경우의 위협 분류 정확도는 그림 6과 같다.

그림 6에 나타난 실험 결과와 같이, 레이더 수신기와 레이저 수신기가 공통적으로 분류할 수 있는 클래스는 각각의 수신기가 독립적으로 분류하는 것보다 각 수신기의 수신 가능 속성을 통합하여 분류 하였을 때 정확도가 높게 나오는 것을 알 수 있다. 즉, 두 개 이상의 수신기에서 수신 가능한 위협은 데이터를 통합하였을 때 정확도가 높아짐을 알 수 있다. 지수 분포를 사용하여 모의 자료를 생성한 경우, 레이더와 레이저 통합 속

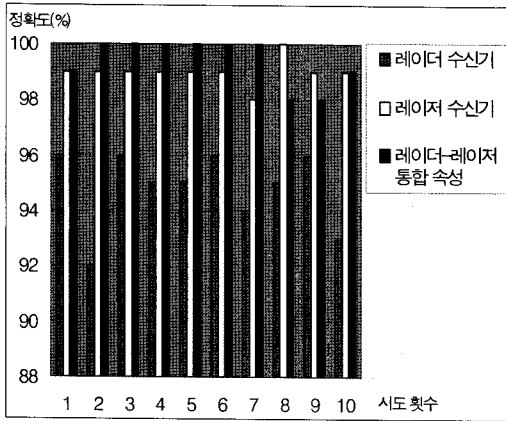


그림 6 개별 수신기와 통합 속성에 대한 위협 분류 정확도의 비교

성으로 컴파일 한 규칙을 이용하여 위협을 분류한 정확도는 평균 99.4%로 나타났다. 이러한 실험 결과를 바탕으로 속성의 통합 및 수신 자료의 특성 - 예를 들면, 수신 자료의 방향 및 일정한 시간간격을 유지하는 위협의 탐지 - 을 고려한 정확한 위협의 분류에 대한 연구를 지속적으로 수행해 나갈 것이다.

5. 결론

시간 제약적인 환경에서 자율적인 에이전트는 주어진 상황을 빠르게 인식하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 빠른 반응이 필수적인 실시간 다중 에이전트 환경에서의 자율적인 상황인식 기법을 제시하였다. 또한, 전장 환경에서 헬기의 두뇌역할을 수행하는 지능형 위협 인식 에이전트에 대한 성능을 실험하였다. 이때 위협 데이터를 균일 분포, 정규 분포, 지수 분포의 세 가지 분포로 생성하여 실제 위협과 유사한 환경에서 실험이 이루어지도록 하였다. 실험결과는 컴파일 된 규범이 주어진 상황을 정확하게 보고하며, 복잡한 상황에서 빠른 의사 결정을 수행할 수 있음을 보여 주었다. 실험을 통하여 컴파일 된 규칙의 유용성을 증명하였으며, 계속적으로 다양한 위협 시스템에 적용시켜 나갈 것이다.

앞으로의 연구를 통하여 위협시스템의 모든 가능한 형태에 대한 실험을 수행할 것이다. 또한 다양한 위협 시스템을 통합된 전장 시나리오로 완성하고 컴파일 된 규칙을 그 시나리오에 적용시켜 시험해 볼 것이다. 안정적이며 신뢰도 있는 지능형 위협 인식 에이전트의 개발을 위하여 잘못된 경보(false alarm)의 수를 줄이는 연구를 계속할 것이며, 다양한 시간 제약적인 환경에 적용시킬 것이다.

참고 문헌

- [1] D. J. Bryant, F. M. J. Lichacz, J. G. Hollands, and J. V. Baranski, "Modeling situation awareness in an organizational context Military command and control," In S. Banbury and S. Tremblay (Eds), A cognitive approach to situation awareness: theory and application. Chapter 6, Burlington, VT: Ashgate Publishing Company, 2004.
- [2] J. Patrick and N. James, "A Task-Oriented Perspective of Situation Awareness," In S. Banbury and S. Tremblay (Eds), A cognitive approach to situation awareness: theory and application. Chapter 4, Burlington, VT: Ashgate Publishing Company, 2004.
- [3] D. Moshou, I. Hostens, G. Papaioannou, and H. Ramon, "Dynamic muscle fatigue detection using self-organizing maps," Applied Soft Computing, Vol.5, pp. 391-398, 2005.
- [4] S. Noh, C. Lee, K. Choi, and G. Jung, "Detecting Distributed Denial of Service (DDoS) Attacks Through Inductive Learning," Lecture Notes in Computer Science 2690, New York: Springer-Verlag, pp. 286-295, 2003.
- [5] N. Kasabov, "Adaptation and interaction in dynamical systems: Modelling and rule discovery through evolving connectionist systems," Applied Soft Computing, Vol.6, pp. 307-322, 2006.
- [6] A. S. Rao and M. P. Georgeff, "BDI agents: from theory to practice," in Proceedings of 1st International Conference of Multi-agent Systems, pp.312-319, July 1995.
- [7] H. Zhongwen and W. Zongxiao, Sources and Techniques of Obtaining National Defense Science and Technology Intelligence, Kexue Jishu Wenxuan Publishing Co., Beijing, 1991. Available: <http://www.fas.org/irp/world/china/docs/>.
- [8] Aircraft survivability equipment (ASE): Ensuring lethality and dominance of Army aviation over tomorrow's battlefield, Association of the United States Army, July 2002.
- [9] J. Heikell, Electronic warfare self-protection of battlefield helicopters: A holistic view, Helsinki University of Technology, doctoral dissertation, 2005.
- [10] Electronic systems - Defensive systems division, Northrop Grumman. Available: <http://www.dsd.es.northropgrumman.com>.
- [11] Advanced EW protection for maximum survivability, Northrop Grumman, AN/APR-39B(V)2 Suite of integrated sensors and countermeasures (SISCM).
- [12] L. D. Kennedy, C. R. Patterson, and D. C. Munshower, "F/A-18 electronic warfare suite cost and operational effectiveness analysis methodology : Phase rad- io-frequency countermeasures," John Hopkins APL Technical Digest, Vol.18, No.1, pp.

59-68, 1997. Available: <http://techdigest.jhuapl.edu/td1801/kennedy.pdf>.

[13] L. B. Thompson, "Army force protection : Helicopters can't wait," news article, April 21, 2006. Available: <http://lexingtoninstitute.org/782.shtml>

[14] Use of helicopters in land operations, STANAG 2999 HIS (NATO ATP-49(A)), 1992.

[15] R. Hanson, J. Stutz, and P. Cheeseman, "Bayesian Classification Theory," Technical Report FIA-90-12-7-01, NASA Ames Research Center, AI Branch, 1991.

[16] J. R. Quinlan, C4.5: Programs for Machine Learning. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 1993.

[17] P. Clark and T. Niblett, "The CN2 Induction Algorithm," Machine Learning Journal, Vol.3, No.4, pp. 261-283, 1989.

[18] L. A. Zadeh, "Fuzzy Logic, Neural Networks and Soft Computing," Communications of the ACM, Vol.37, No.3, pp. 77-84, 1994.

[19] I. H. Witten and E. Frank, Data Mining: Practical machine learning tools and techniques. 2nd Edition, San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 2005.



정 윤 섭

1988년 충남대학교 전자공학과 학사. 1990년 충남대학교 전자공학과 석사. 2007년 충남대학교 통신공학 공학박사. 1990년~현재 국방과학연구소 책임연구원. 관심분야는 통합 전자전시스템, 다중센서 데이터 통합, 레이더 및 무선통신 재밍신호

처리 등



정 용 응

2002년 가톨릭대학교 컴퓨터전자공학부 입학. 2006년~현재 가톨릭대학교 지능형 시스템 연구센터 연구원. 관심분야는 지능형시스템, 데이터마이닝, 기계학습, 정보보안 등



노 상 옥

1987년 서강대학교 생명과학이학사. 1989년 서강대학교 전자계산학 공학석사. 1999년 텍사스주립대학교 컴퓨터공학 공학박사. 1989년~1995년 국방과학연구소 연구원. 2000년~2002년 미조리주립대학교 컴퓨터학과 조교수. 2002년~현재 가톨릭대학교 컴퓨터정보 공학부 부교수. 관심분야는 지능형시스템, 지식관리, 멀티에이전트시스템, 기계학습, 결정이론 등



고 은 경

2000년 우석대학교 정보통신 공학과 학사
2002년 인하대학교 전자공학석사. 2002년~2003년 한국전자통신연구원 VoIP 기술팀 근무. 2004년~2006년 넷코텍(주) DMB기술팀 근무. 2006년~현재 국방과학연구소근무 중. 관심분야는 신호처리, 데이터 통합, 전자전 체계 등