

<Manuscript template updated May 2, 2016>

Title

Situation Awareness modeling with cognitive activities in ACT-R

ABSTRACT

Objective: The aim of this study is to model all levels of situation awareness (SA), which would be able to predict situation awareness quantitatively.

Background: When measuring situation awareness, directly measuring SA methods such as SAGAT and SART have been utilized. Several approaches (cognitive modeling approaches) were introduced to model SA but level 3 SA was not completed. For real-life situation, however, it is necessary to detect problematic level of SA rather than overall SA. Therefore, in this study, we proposed a new model of all levels of SA.

Method: In order to model all levels of SA, this study chose factors in ACT-R architecture through literature review. ATC (Air Traffic Control)-related simulation task was video-taped to analyze human behavior to model all levels of SA including level 3.

Results: As a result, regression analyses show that cognitive activities (neural activations) represented for all levels of SA were highly correlated with SAGAT.

Conclusion: In conclusion, neural activations in ACT-R could be proved to be effective to model all levels of SA.

Application: Our SA model could be used to predict all levels of SA quantitatively without directly measuring SA of operators.

Keywords

Situation Awareness (SA), cognitive architecture, neural activations, SAGAT, ACT-R

1. Introduction

상황 인식은 동적인 상황에 대한 이해, 나아가 의사 결정을 내리는 데 있어 지난 수십 년간 중요한 개념으로 여겨져 왔다. 맨 처음 상황 인식의 연구 배경으로 등장한 영역은 항공 시스템이다. 시간이 지나 동적인 시스템의 영역이 확장됨에 따라 항공기 뿐 아니라 자동차(Ma & Kaber, 2005), 잠수함(Loft et al., 2013), 전쟁 전략과 관련된 지휘관의 상황 인식(Mason, 2002)에 이르기까지 다양한 영역에서 연구되어오고 있다. 나아가 최근에는 자동화 시스템에 대한 연구가 활발히 진행됨에 따라 사람이 모든

작업을 수행하는 수동 조작(full-manual)에서 시스템이 모든 기능을 수행하는 자동 제어(full-automation)에 이르기까지 다양한 상황에서의 상황 인식을 측정하기 위한 연구가 진행되어오고 있다(Ma & Kaber, 2005; Kaber et al., 2006). Endsley(1995)의 3단계 상황 인식 모델은 상황 인식을 표현하는 가장 대표적인 모델로, 이에 따르면 1단계 상황 인식은 상황을 구성하는 요인들에 대해 그것들의 색, 크기, 속도, 위치 등을 인지하는 것, 2단계 상황 인식은 요인들에 대한 인지를 바탕으로 이를 전체적인 하나의 그림으로 이해하는 것, 3단계 상황 인식은 가까운 미래의 상태에 대해 예측하는 것으로 정의된다.

상황 인식을 측정하기 위한 기법 중 잘 알려져 널리 사용되는 기법으로는 Endsley의 3단계 상황 인식 이론을 바탕으로 실험 도중 실험을 일시적으로 정지(freezing)시키고 문제 풀이를 통해 각 단계별 상황 인식을 측정하는 Situation Awareness Global Assessment Technique (SAGAT), 3단계 상황 인식 이론보다 먼저 등장한 상황 인식의 측정 기법으로 실험이 끝난 뒤 피험자의 주관적인 느낌의 정도를 다차원적 접근 방법을 통해 포괄적으로 측정하는 Situation Awareness Rating Technique (SART)의 두 가지가 있다.

그런데 최근 연구 결과를 보면 항공 관련 사고의 약 71%가 사람의 문제, 그 중 88%가 상황 인식의 오류와 연관되며(Yang et al., 2004), 자동차 관련 사고의 약 78%가 사람의 상황 인식 오류에 의해 발생한다(Klauer et al., 2006). 이러한 통계 결과로 미루어 볼 때 앞으로는 사람이 동적 시스템을 사용함에 있어 즉각적인 대처가 어려운 상황 인식의 측정보다 사고 발생을 미연에 방지하기 위한 상황 인식의 예측이 더 중요할 것이다. 기존의 상황 인식 예측 모델로는 자바 기반의 툴인 dTank를 이용한 연구(Ritter et al., 2007), 인지 아키텍처의 하나인 CoJACK을 이용한 연구(Evertsz et al., 2008), 상황 인식을 설명함에 있어 환경을 이를 구성하는 요소들(situation elements)로 나누어 정량적인 값으로 예측하는 MIDAS (Man-machine Integration Design and Analysis, Hooey et al., 2011) 등의 연구가 진행되어 왔다. 그러나 이러한 기존의 예측 방법은 3단계의 상황 인식을 모두 설명하지 못하여 dTank 및 CoJACK을 이용한 연구의 경우 1단계 상황 인식만을 예측 가능하였고 MIDAS의 경우엔 1, 2단계 상황 인식만을 예측 가능하였다. 이렇듯 3단계 상황 인식 이론에 대해 이를 부분적으로만 설명이 가능하다는 한계점이 존재하여 상황 인식을 측정하는 기존의 평가 기법과 연결시켜 설명하기에는 부적절하였다. 이와 관련하여 Liu(2014)는 ACT-R (Adaptive Control of Thought-Rational, Anderson, 2004) 이론에서 제공하는 알고리즘을 통해 Endsley의 3단계 상황 인식이 형성되는 프로세스를 설명, 이를 정량적인 값으로 예측하였다. 나아가 실험을 통하여 기존 측정 기법들을 통해 얻어진 상황 인식 값을 통해 이를 검증하였다. 그러나 이 또한 기존 알고리즘을 그대로 적용하여 설명한 탓에 2단계 상황 인식과 3단계 상황 인식 간에 명확한 구분을 짓지 못하였다는 한계점이 여전히 존재하였다. 때문에 Liu의 연구에서는 상황 인식을 예측하는데 있어 이를 종합적 상황 인식(overall SA)값으로 산출하였다. 이렇듯 기존 연구 중 3단계의 상황 인식을 명확하게 구분하여 예측한 연구가 없으며, 이에 3단계의 상황 인식을 모두 나타낼 수 있는

새로운 상황 인식 모델링 연구가 필요하다.

본 연구의 궁극적인 목표는 모든 단계의 상황 인식을 정량적으로 예측하기 위한 3단계 상황 인식의 새로운 모델을 제안하는 것이다. 이는 정량적인 수치로 상황 인식을 표현할 수 있다는 점에서 기존 Endsley(1995)가 상황 인식을 다양한 환경과 시스템에 대해 적용가능한 일반적인 구조로 설명한 것과는 차이점이 있다. 본 연구에서는 상황 인식을 정량적으로 예측하기 위해 먼저 사람의 인지적 처리 과정을 설명할 수 있는 ACT-R 이론을 바탕으로 Endsley의 각 단계별 상황 인식과 연관되는 요인들을 선정하고 이러한 요인들을 이용하여 각 단계별 상황 인식을 모델링하였다. 또한 기존의 상황 인식 측정 방법을 통한 상황 인식 값을 얻기 위해 Kaber의 연구(2006)에서 실시한 실험과 유사한 항공 교통 관제(ATC; Air Traffic Control)에 관련된 시뮬레이션 과제를 설계하여 피험자들의 SAGAT 결과값을 측정하였다. ACT-R 인지아키텍처에서, 각 단계별 상황 인식과 관련되는 것으로 선정된 요인들은 모두 정량적 값으로 나타난다. 이에 실제 실험에서도 이러한 요인들을 정량적으로 나타낼 수 있도록 인지적 행동의 분석을 통해 각 단계별 상황 인식을 정량적으로 나타내는 값을 산출하였다(α_{issue1} , α_{issue2} , α_{issue3}). 마지막으로 실험을 통해 측정한 피험자들의 상황 인식 값을 이용해 이를 검증하여 본 연구에서 제안한 상황 인식의 모델이 타당함을 보였다.

1.1 ACT-R architecture

ACT-R은 여러 개의 모듈로 설명되는 인지 아키텍처로 사람의 인지가 어떻게 형성되는지를 이를 통해 설명한다. 각각의 모듈은 각기 다른 정보 처리 과정과 연관된다. 시각적 물체를 보고 판별하는 것과 관련되는 시각 모듈(visual module), 외부 환경과 상호작용하는 반응 모듈(response module, manual과 vocal로 세분화), 현재의 목표를 계속 기억하는 것과 관련되는 목적 모듈(goal module), 사람의 지식을 저장하고 불러오는 것과 관련되는 선언적 모듈(declarative module)이 이에 해당된다. 이 때 정보는 특정한 형태로 저장되고 불러오게 되는데, 이를 군집(chunk)이라 한다. 이러한 여러 개의 모듈은 절차적 지식(procedural memory)에 의해 처리되고 통합되는데, 이 때 IF-THEN 알고리즘에 의해 특정 조건이 만족될 때 다음의 행동으로 이어지는 방식으로 사람의 행동을 표현한다.

선언적 모듈 내의 각 군집은 모두 활성화도(Activation level)라는 수치를 가진다. 지식 및 정보의 저장, 혹은 불러오기의 결과로서 활성화도에 변화가 일어나게 되고 그러므로 ACT-R에서 활성화도 수치는 사람이 각 군집에 들어 있는 정보를 얼마나 기억해냈는지를 예측하는데 이용될 수 있다(Baumann et al., 2009). 높은 활성화도 수치는 해당 인물이 특정 요인에 대한 충분한 정보를 가지고 있다는 것을 의미한다. ACT-R에서 활성화도 수치는 다음과 같이 정의한다 :

$$A_i = B_i + \sum_j W_j S_{ji} \quad (\text{활성화도 방정식}) \quad (1)$$

여기서 B_i 는 특정 군집의 초기 활성화도를 나타내는 것으로 이는 또한 다음과 같이 정의한다 :

$$B_i = \ln \left(\sum_{j=1}^n t_j^{-d} \right) \quad (\text{초기 활성화도 방정식}) \quad (2)$$

n 은 군집 i 가 나타난 횟수를 나타내며 t_j 는 군집 i 의 j 번째 등장 이래의 시간을 말한다. d 는 감쇠(decay) 상수로 거의 모든 경우 0.5로 정해진다. W 는 Figure 1에서 볼 수 있듯이 작업을 수행하는 데 있어 세부적인 목적에 해당하는 슬롯(slot)에 할당되는 가중치로, 슬롯의 개수 n 에 따라 $1/n$ 의 값을 가진다. S 는 작업을 수행하는 도중 형성되는 군집들이 각각 얼마나 목적에 대한 관련성을 지니는지를 나타내는 것으로, 각 군집의 관련성 정도에 비례하여 할당되며 확산 소스(source spreading)라 한다.

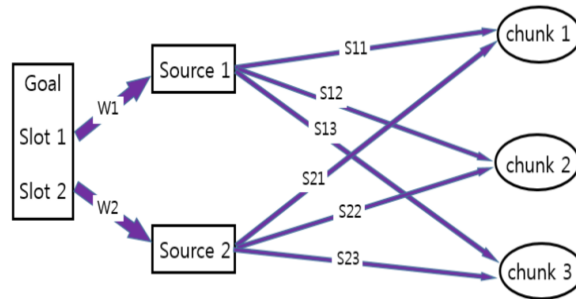


Figure 1. Spreading activation of ACT-R

2. Method

2.1 Modeling of level 1 SA

Kaber(2006)에 따르면 1단계 상황 인식은 정해진 시간 동안 얼마나 많은 정보를 습득하였는지에 비례하여 증가한다. 사람이 물체를 인식하고 이를 기억 체계에 입력하는 데 있어 그 첫 번째 과정을 인코딩(encoding)이라 하며 그 때 발생하는 시간을 인코딩 시간(encoding time)이라 한다. 이 때 정보를 많이 습득하였다는 것은 그 만큼의 인코딩 시간이 발생하였다는 것을 의미하며 이에 1단계 상황 인식의 경우 발생한 전체 인코딩 시간에 대한 목적과 관련된 정보 습득을 통해 발생한 인코딩 시간의 백분율로써 예측이 가능할 것이다. 이에 1단계 상황 인식은 식 (3)과 같이 나타낼 수 있을 것이다. ACT-R에서는 한 번의 인코딩에 소요되는 시간을 85ms로 정의하고 있다. Endsley(1995)에 따르면, 일반적으로 1단계 상황 인식 실패를 발생시키는 요인으로는 시스템 디자인 실패를 통해 피험자가 적절한 정보를 습득하기 어려운 경우, 혹은 시각적 장애물이나 청각적 차폐효과로 인해 탐지 가능성이 감소된 경우를 들 수 있다. 본 모델에서는 이러한 시스템적 문제점이 존재하지 않고, 주어진 정보들이 지각하고 이해하기 쉬운 정보로 인코딩의 오류가 발생하지 않는다는 것을 기본 가정으로 한다.

$$1\text{단계 상황 인식} : \frac{\sum \text{인코딩 시간(목적)}}{\sum \text{인코딩 시간(전체)}}(3)$$

2.2 Modeling of level 2 SA

피험자가 작업을 수행함에 있어 수신 정보를 적절히 수용하여 이해하기 위한 심성 모형(mental model)이 충분히 형성되어 있지 않은 경우, 2단계 상황 인식은 작업 기억 내에서 형성되어야 한다(Endsley, 1995). 전문적인 수준을 갖춘 피험자의 경우 심성 모형이 충분히 형성되어 있어 정보가 부족한 경우에도 초보자에 비해 더 효과적인 의사 결정을 내릴 수 있으며, SAGAT을 이용한 상황 인식 측정을 할 경우에도 1단계 상황 인식의 충분한 형성 없이 3단계 상황 인식이 높게 나타나는 3단계 상황 인식 모델의 예외적인 상황으로 나타난다. 또한 심성 모형에 의해 정보의 선택과 해석에 있어 편향됨을 보일 수 있다는 가능성 또한 존재한다(Endsley et al., 2003). 이에 본 모델에서는 작업에 대한 전문적인 수준의 심성 모형이 형성되어 있지 않은 피험자들을 가정한다. Anderson(2004)에 따르면 ACT-R에서 활성화도는 입력된 정보가 얼마나 자주 사용되었는지 혹은 얼마나 최근에 사용되었는지를 반영하여 실시간으로 변화하는 값이다. 또한 ACT-R 인지 아키텍처는 이 두 가지를 바탕으로 입력된 정보가 작업 기억을 통해 형성되고 장기 기억에 저장된 후 재사용되는 실제 사람의 정보 처리 과정을 실시간으로 변화하는 군집의 활성화도를 통해 잘 나타내고 있다. Endsley(2015)에 따르면 상황 인식은 시간이 흐름에 따라 계속적으로 바뀌는 역동적인 개념으로 표현되며 이에 2단계 상황 인식의 경우 군집 정보에 대한 활성화도의 합으로써 시간이 흐름에 따라 변화하는 상황에 대한 이해를 나타낼 수 있다는 것이 본 모델의 추가적인 가정이다. 따라서 2단계 상황 인식은 식 (4)와 같이 나타낼 수 있을 것이다.

$$2\text{단계 상황 인식} : \frac{\sum \text{초기 활성화도(목적)}}{\sum \text{초기 활성화도(전체)}}(4)$$

2.3 Modeling of level 3 SA

Sulistyawati(2011)는 그가 실시한 실험에서 SAGAT을 통해 피험자들의 상황 인식을 측정함과 동시에 Education Testing Service Kit of Factor-Referenced Cognitive test (Ekstrom et al., 1976)에 기반한 인지적 시험을 추가적으로 실시하여 3단계 상황 인식이 일반적 추론 능력과 크게 관련이 있음을 보였다. 일반적 추론 능력은 예측을 하는 것과 관련되는 상위 수준의 인지 능력으로, 문제를 해결하는 데 있어 관련된 정보를 모아 통합하는 능력과 관련이 있다(Sulistyawati et al., 2011). ACT-R 인지 아키텍처를 통해 표현되는 일반적인 사람의 경우 추론 능력은 일정하며 그렇기 때문에 과제의 목표와 관련성이 높은 정보를 가지고 있을수록 정보를 통합하는 것이 더욱 용이하여 3단계 상황 인식을 높게 형성할 것이다. 이에 2단계 상황 인식을 형성하는 것과 관련되는 요인으로 앞서 제시한 군집의 활성화도에 추가적으로 ACT-R에서 해당 정보와 목적과의 관련성이 얼마나 되는지 그 정도를 나타내는 확산 소스를 추가적으로 고려하여 3단계 상황 인식을 예측할 수 있을 것이라 가정하였다. 따라서 3단계 상황 인식은 식 (5)

와 같이 나타내었다.

$$3\text{단계상황인식} : \frac{\sum \text{초기활성화도} * \text{확산소스(목적)}}{\sum \text{초기활성화도} * \text{확산소스(전체)}} \quad (5)$$

2.4 Experiment

본 연구에서는 ACT-R 인지 아키텍처를 이용한 상황 인식의 새로운 모델링을 제안하였고 이를 검증하기 위해 Kaber의 연구(2006)에서 실시된 바 있는 ATC에 관련된 시뮬레이션 과제를 바탕으로 이와 유사한 실험을 커먼 리습 언어(Allegro Common Lisp)를 이용하여 설계하였다. Kaber의 연구는 ATC에 관련된 과제를 수행함에 있어 자동화 수준의 변화에 따른 피험자의 상황 인식 변화를 보기 위한 연구로써 동일한 과제를 다양한 자동화 수준 하에서 실시하여 그 결과를 비교 분석하였다. 본 연구의 목적은 상황 인식을 정량적으로 확인할 수 있는 새로운 모델을 제안하고 이를 검증하기 위한 것으로 Kaber의 연구에서와는 다르게 수동 조작(manual)이라는 한 가지 조건 하에서의 상황 인식만을 측정하였다. 또한 제안한 모델에서 초보적 수준의 피험자를 가정하였기에 훈련의 정도에 대해서는 기존 실험과 차이를 두었다. 그 밖에 실험 환경을 구성하는 요인(항공기 수, 공항, 활주로) 및 실험 진행 과정, 인터페이스에 대해서는 동일하게 설계하였다. 본 연구에서 제안한 모델의 가정에 알맞게 실험은 항공 교통 관제 경험이 없는 21세~29세의 15명의 피험자를 대상으로 진행되었다. 15명의 피험자들은 Figure 2와 같이 2개의 공항, 각 공항에 존재하는 2개의 활주로에 서서히 다가오는 7대의 항공기가 무사히 착륙하도록 명령을 내리는 과제를 수행하였다. 모든 항공기는 실험 시작 시에 목적지로 하는 공항 및 활주로의 존재하는 전반적인 비행 상황에 대한 이해를 통해 이를 바탕으로 현 상황에서 잠재적 충돌이 예상되는 항공기가 있다면 이를 피할 수 있도록 적절한 목적지로 바꾸어 모든 항공기가 최종적으로 무사히 도착하도록 하는 것이 실험의 목표이다. 피험자들은 항공기의 정보를 문의(query)버튼을 통해 받아와 공항까지 남겨진 거리, 현재 항공기의 속도, 목표로 하는 지점을 모두 고려하여 항공기 별로 필요한 명령을 내릴 수 있다. 문의 버튼을 통해 얻을 수 있는 정보로는 항공기의 명칭, 현재 속도(nautical miles), 현재 향하고 있는 공항, 현재 향하고 있는 활주로의 존재 여부이다. Gibson et al.(1997)에 따르면 상황 인식 오류의 원인이 되는 요인 중 시간적 압박, 정신적 작업 부하가 높은 비중으로 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 이에 다가오는 항공기에 대한 시간적, 정신적 압박으로 인한 상황 인식 오류 발생을 방지하기 위해 5분 내지 10분간의 실험 환경에 익숙해지는 훈련 시간을 부여하였다. 실제 실험에서는 전반적인 비행 상황에 대한 빠른 이해를 바탕으로 총 7분의 실험 시간을 부여하고 매 1분마다 1대의 항공기에 명령을 내리는 과제를 수행하였다. 실험 도중 임의의 시간에 일시 정지 버튼을 등장시켜 작업을 멈추고 실험 화면을 볼 수 없는 곳으로 이동하여 SAGAT 측정을 위한 질문에 답변하도록 하였고 이는 실험 과정 중 총 2회 실시하였다. 측정 간격은 한 번의 SAGAT 측정 이후 다음 SAGAT 측정까지는 피험자가 상황 인식을 재형성하는데 최소 2분 이상의 시간을 제공해야 한다는 기존 연구

결과에 따라(Endsley, 1995) 2분 이상의 간격을 설정하였다. 실제 실험 전 파일럿 테스트 수행 결과 2번의 실험을 수행할 경우 SAGAT 질문에 대해 이미 알고 있어서 목적에 부합하는 작업을 수행하기보다 질문에 답변을 하기 위한 행동에 더 초점을 맞추는 경향이 있어 실험 반복 횟수는 1회로 정하였다.



Figure 2. ATC (Air Traffic Control)-related simulation task

3. Results

실험을 통해 15명 피험자들의 상황 인식을 측정된 결과 Figure 3과 같은 양상을 보였다. 이 때 각 단계별 상황 인식은 비교적 고르게 나타났다(1단계 상황 인식 : 59.26%, 2단계 상황 인식 : 62.97%, 3단계 상황 인식 : 54.07%). 15명의 실험 진행 과정은 차후 피험자들의 인지적 처리 과정을 통한 분석을 위해 모두 녹화되었다. 본 연구에서 제안한 모델의 기본 가정에서 초보적 수준의 피험자를 가정하였기에 Kaber의 연구에서와 훈련 정도에 있어서는 차이를 두었고 그 결과 기존 실험에서보다는 각 단계별 상황 인식이 전반적으로 낮게 형성되었음을 확인하였다.

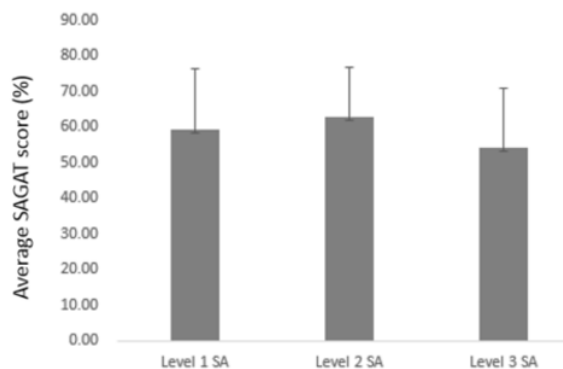


Figure 3. Average SAGAT scores (Level 1 SA, Level 2 SA, Level 3 SA)

3.1 Prediction result of level 1 SA

1단계 상황 인식의 경우 앞서 ACT-R이론을 바탕으로 인코딩 시간을 이용하여 나타냈는데 본 연

구에서는 실제 실험에서 이에 대응되는 부분을 분석하여 정량적인 값을 산출, 1단계 상황 인식을 예측하였다. 구체적으로는 실험 도중 피험자들이 전체 물체를 본 횟수에 대한 명령을 내려야 하는 목적과 관련되는 물체를 본 횟수의 백분율로써 1단계 상황 인식을 예측하였다. 나아가 본 연구에서 예측한 1단계 상황 인식 값과 실제 실험을 통해 측정된 상황 인식 값을 교차 타당화(cross validation) 기법을 이용하여 검증하였다. 총 15명의 결과 중 11명의 결과를 회귀 분석을 이용하여 검증하였고 나머지 4명의 결과를 통해 검증을 실시, 오차율이 얼마나 발생하였는지를 확인하였다. 이 때의 $F(1, 9) = 32.02$, $p\text{-value} < 0.001$, $r^2 = 0.78$, 오차율은 4.49%로 상황 인식을 비교적 정확하게 예측하였음을 확인하였다.

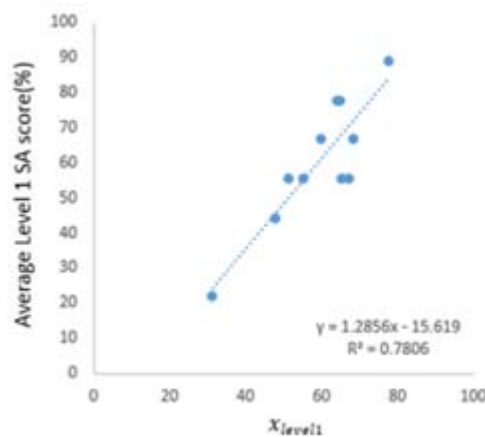


Figure 4. Scatter plot of x_{level1} vs average Level 1 SA score

3.2 Prediction result of level 2 SA

2단계 상황 인식의 경우 앞서 ACT-R 이론을 바탕으로 초기 활성화도를 이용하여 나타냈는데 본 연구에서는 초기 활성화도의 가장 큰 특징인, 정보를 얼마나 자주 사용하였는가를 나타내는 주기성 (frequency), 정보를 얼마나 최근에 사용하였는가를 나타내는 최신성(recency)에 대해 실제 실험에서 이를 동시에 고려할 수 있는 인지적, 정신적 처리 과정의 분석을 통해 정량적인 값을 산출, 2단계 상황 인식을 예측하였다. 구체적으로는 임의의 지점에서의 2단계 상황 인식을 예측할 때 그 이전에 존재하는 목적들에 대해, 선택된 지점에서 목적 수행 시점이 얼마나 떨어져 있는가를 고려하여 정보의 감쇠에 대한 상대적인 가중치를 부여하였고, 이를 반영하여 각 구간에 해당되는 목적과 관계되는 정보를 얼마나 보았는지를 백분율로써 나타내어 예측하였다. 본 실험에서는 해당되는 임의의 지점을 피험자들의 2번의 SAGAT 측정 시점으로 지정, 2단계 상황 인식을 예측하였다. 나아가 본 연구에서 예측한 2단계 상황 인식 값과 실제 실험을 통해 측정된 상황 인식 값을 교차 타당화 기법을 이용하여 검증하였다. 총 15명의 결과 중 11명의 결과를 회귀 분석을 이용하여 검증하였고 나머지 4명의 결과를 통해 검증을 실시, 오차율이 얼마나 발생하였는지를 확인하였다. 이 때의 $F(1, 9) = 26.78$, $p\text{-value} < 0.001$, $r^2 =$

0.71, 오차율은 12.6%로 상황 인식을 비교적 정확하게 예측하였음을 확인하였다.

3.3 Prediction result of level 3 SA

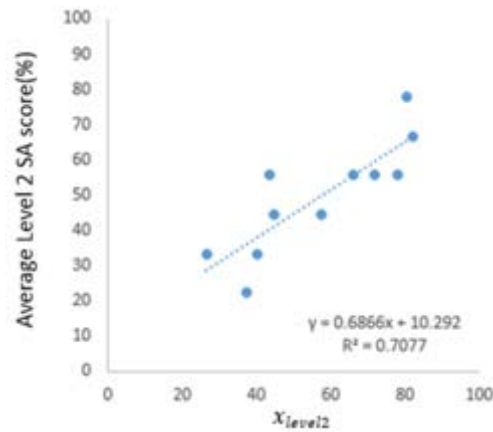


Figure 5. Scatter plot of X_{level2} vs average Level 2 SA score

3단계 상황 인식의 경우 앞서 ACT-R 이론을 바탕으로 초기 활성화도 및 확산 소스의 2가지 요인을 바탕으로 나타냈다. Sulistyawati(2011)의 추론 능력이 높을수록 정보의 통합을 통한 미래 예측 능력이 높다는 연구 결과를 바탕으로 본 연구에서는 실제 실험에서 피험자가 실시한 모든 두 대의 항공기 비교 과정에 대하여 실제로 잠재적 충돌 가능성이 있는 두 대의 항공기를 올바르게 비교한 경우의 백분율로써 3단계 상황 인식을 예측하였다. 마찬가지로 본 연구에서 예측한 3단계 상황 인식 값과 실제 실험을 통해 측정된 상황 인식 값을 교차 타당화 기법을 이용하여 검증하였다. 총 15명의 결과 중 11명의 결과를 회귀 분석을 이용하여 검증하였고 나머지 4명의 결과를 통해 검증을 실시, 오차율이 얼마나 발생하였는지를 확인하였다. 이 때의 $F(1, 9) = 25.03$, $p\text{-value} < 0.001$, $r^2 = 0.74$, 오차율은 4.81%로 상황 인식을 비교적 정확하게 예측하였음을 확인하였다.

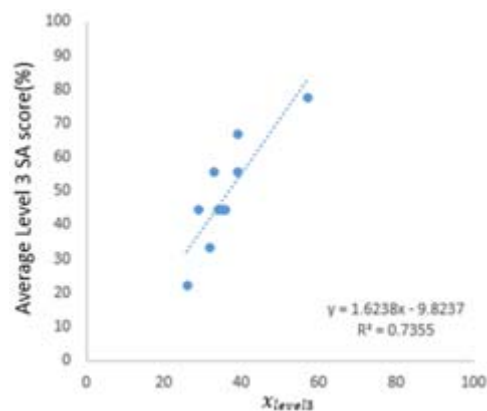


Figure 6. Scatter plot of X_{level3} vs average Level 3 SA score

4. Conclusion

본 연구에서는 상황 인식을 정량적으로 예측할 수 있도록 하기 위해 ACT-R 이론을 바탕으로 각 단계별 상황 인식을 모델링하고, 이를 바탕으로 실제 실험을 수행하는 사람의 인지적 처리 과정을 분석하여 상황 인식을 예측하였다. 또한 실제 실험에서 기존의 상황 인식 측정 기법인 SAGAT을 통해 얻은 각 단계별 상황 인식의 측정값으로 검증하여 본 연구에서 제안한 상황 인식 모델링이 타당함을 보였다.

5. Discussion

ACT-R은 사람의 인지적 처리 과정을 표현할 수 있으며 어떻게 상황 인식이 형성되는지를 설명할 수 있는 이론이기에 상황 인식을 측정하는 데 있어 적합한 이론이라 할 수 있다(Liu et al., 2014). Liu의 연구(2014)에서는 각 단계별 상황 인식의 형성 단계를 ACT-R 이론에서 제공하는 수학적 알고리즘을 이용하여 설명하였다. 그러나 인식된 정보를 바탕으로 현재 상황에 맞는 최적의 행동이 선택될 확률을 나타내는 기존의 알고리즘만을 바탕으로 2, 3단계의 상황 인식을 설명하려 한 결과 두 단계 사이의 구분을 명확히 하지 못하는 한계점이 있었고 그 결과 상황 인식의 정량적인 값을 단계별로 산출하는 대신 1, 2, 3단계를 아울러 나타내는 종합적 상황 인식 값만으로 상황 인식 값을 예측하였다. 그러나 사람이 동적 시스템을 이용하는 데 있어 시간이 지남에 따라 다양한 부가 기능의 등장으로 시스템이 점점 복잡해지고 순간의 상황 인식 실패가 큰 인명사고로 이어질 위험이 증가하고 있다. 이에 단순히 종합적 상황 인식의 높고 낮음을 보는 것 보다는 상황 인식의 예측을 통해 문제가 생길 수 있다고 판단될 경우 즉각적으로 해당 단계를 파악하고 피드백을 제공, 이를 개선하는 것이 중요할 것이다. 본 연구에서는 단지 종합적 상황 인식의 값을 예측하는 것보다 각 단계별 상황 인식의 정량적 예측을 위해 ACT-R에서 상황 인식에 크게 연관되는 요인을 각 단계 별로 명확하게 구분지어 선정하여 상황 인식을 새롭게 모델링하였다. 나아가 실제 실험을 수행하는 사람들의 정신적, 인지적 처리 과정의 분석을 통해 이에 대응하는 값을 정량적으로 산출하여 각 단계별 상황 인식에 해당하는 값을 성공적으로 예측할 수 있었다. 본 연구에서 제안하는 방법을 통해 동적 시스템에서 발생할 수 있는 인명사고를 미연에 방지할 수 있는 가능성을 제시한다는 점에서 실제적인 측면의 의의가 크다고 할 수 있다.

회귀 분석을 통해 본 연구에서 예측한 상황 인식 값을 SAGAT을 통해 측정한 상황 인식 값을 통해 검증함에 있어 약간의 오차가 존재하여 예측값이 측정값보다 더 높게 혹은 더 낮게 예측되었는데, 실험 도중 각 단계별 상황 인식에 영향을 미칠 가능성이 있는 외적 요인이 다음과 같이 존재하였다. 먼저 물체를 보는 데 있어서 발생한 체류 시간(dwelling time)을 그 첫 번째 요인으로 볼 수 있다. 본 연구에서 1단계 상황 인식을 예측함에 있어 확인한 정보는 인코딩 시간이 얼마나 발생했는지에 관한 것으로

로 한 번 물체에 대한 인코딩이 이루어진 후 피험자가 얼마나 오랜 시간 시선이 머물렀는지에 대해서는 고려하지 않았다. 실험 도중 몇몇 물체에 대해 체류 시간이 크게 발생하였을 경우 그 만큼 다른 물체를 볼 수 있는 시간을 잃었다는 측면에서 감소 요인으로 작용할 수 있었을 것이다. 또한 시뮬레이션 과제를 수행중 시선의 이동 시에 매번 하나의 정보만을 습득하는 것이 아니라 주변시(peripheral vision)로 인해 추가적인 정보를 습득하여 이것이 상황 인식을 측정할 때 반영되어 피험자의 상황 인식에 있어 증가 요인으로 작용할 수 있었을 것이다. 실험을 진행하고 SAGAT을 통해 상황 인식을 측정하는데 있어 반드시 숙지해야 할 정보로 항공기명이 있는데, 7대의 항공기에 대해 실제와 다르지 않는 영문과 숫자의 조합으로 이루어진 항공기명을 부여함에 따라 서로 유사하거나 복잡한 명칭으로 인해 측정 시 기억의 오류가 발생하였을 수 있다는 가능성 또한 존재하였다. 기존 상황 인식 측정 기법 중 하나인 SAGAT 측정은 객관식 문항을 통해 이루어졌고 피험자들은 모든 설문지에 대해 빈 칸 없이 응답하였다. 이에 확신을 가지고 있지 않은 문항에 대해 임의로 응답하여 정답이 선택되어 상황 인식이 높게 평가되었을 가능성 또한 존재하였다. 마지막으로 본 연구에서 수행한 실험은 Kaber의 연구(2006)에서 수행한 실험을 바탕으로 이와 유사하게 설계한 것으로 항공기와 관련된 여러 정보 중 고도 정보를 포함하고 있지 않으며 실제 ATC 상황에서 관제사가 수행하는 과제와는 난이도 측면에서 차이가 존재한다는 한계점이 존재한다. Tsang(2006)에 따르면 사람의 인지 자원은 한정되어 있기에 과제 수행 시 높은 작업 부하가 부과될 경우 상황 인식 형성에 영향을 미칠 수 있으며, Endsley(1995)에 따르면 초보자일수록 작업 부하의 영향을 크게 받는다. 본 연구에서는 제안한 모델의 기본 가정에 따라 초보 수준의 피험자들로 실험을 진행하였고, 이에 작업 부하가 초보적 수준의 피험자들의 상황 인식 형성에 미치는 영향을 최소화하기 위해 Kaber의 실험에서와 마찬가지로 고도 정보를 생략하였다.

본 연구에서는 ACT-R 이론을 이용하여 각 단계별 상황 인식을 정량적으로 예측하기 위한 상황 인식의 새로운 모델을 제안하였고, 실제 실험에서 사람의 인지적 행동 분석을 통해 모델이 유효함을 보였다. 추후 연구에서는 과제를 수행하기 위한 심성 모형이 충분히 형성된 전문적 수준의 피험자를 추가적으로 고려하여 초보적 수준의 피험자와 어떤 차이가 존재하는지를 확인해볼 수 있을 것이다. 나아가 ACT-R 인지 모델링 연구를 통해 기존 상황 인식 측정 기법의 사용이나 피험자들의 행동 분석 없이도 실시간으로 상황 인식의 예측이 가능할 것이다.

References

- Anderson, J. R., Bothell, D., Byrne, M. D., Douglass, S., Lebiere, C. and Qin, Y. (2004), An integrated theory of mind, *Psychological Review*, 111, 1036-1060.
- Baumann, M. R., & Krems, J. F. (2009). A comprehension based cognitive model of situation awareness. In *Digital Human Modeling* (pp. 192-201). Springer Berlin Heidelberg.

- Dillingham, G. L., (1998). Air traffic control: evolution and status of FAA's Automation Program. Technical Report GAO/T-RCED/AIMD-98-85, United States General Accounting Office, Washington, DC.
- Endsley, M. R. (1988, May). Situation awareness global assessment technique (SAGAT). In Aerospace and Electronics Conference, 1988. NAECON 1988., Proceedings of the IEEE 1988 National (pp. 789-795). IEEE.
- Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 37(1), 32-64.a
- Endsley, M. R., Selcon, S. J., Hardiman, T. D., & Croft, D. G. (1998, October). A comparative analysis of SAGAT and SART for evaluations of situation awareness. In Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting (Vol. 42, No. 1, pp. 82-86). SAGE Publications.
- Mica, R., Endsley, B. B., & Jones, D. G. (2003). Designing for Situation Awareness: An Approach to User-Centered Design.
- Endsley, M. R. (2015). Situation awareness misconceptions and misunderstandings. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 9(1), 4-32.
- Evertsz, R., Ritter, F. E., Busetta, P., Pedrotti, M., & Bittner, J. L. (2008). CoJACK-Achieving principled behaviour variation in a moderated cognitive architecture. In Proceedings of the 17th conference on behavior representation in modeling and simulation (pp. 80-89)
- Gibson, J., Orasanu, J., Villeda, E., Nygren, T. E. (1997). Loss of situation awareness: Causes and consequences, Proceedings of the Eighth International Symposium on Aviation Psychology (pp. 1417-1421). Columbus, OH: The Ohio State University.
- Kaber, D. B., Perry, C. M., Segall, N., McClemon, C. K., & Prinzel, L. J. (2006). Situation awareness implications of adaptive automation for information processing in an air traffic control-related task. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36(5), 447-462.
- Klauer, S. G., Dingus, T. A., Neale, V. L., Sudweeks, J. D., & Ramsey, D. J. (2006). The impact of driver inattention on near-crash/crash risk: An analysis using the 100-car naturalistic driving study data (No. HS-810 594).
- Laos, L., Giannacourou, M., 1995. Perceived effects of advanced ATC functions on human activities: results of a survey on controllers and experts. In: Proceedings of the Eighth International Symposium on Aviation Psychology. The Ohio State University, Columbus, OH, pp. 392-397.
- Liu, S., Wanyan, X., & Zhuang, D. (2014). Modeling the situation awareness by the analysis of cognitive process. *Bio-medical materials and engineering*, 24(6), 2311-2318.
- Loft, S., Bowden, V., Braithwaite, J., Morrell, D. B., Huf, S., & Durso, F. T. (2015). Situation awareness measures for simulated submarine track management. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 57(2), 298-310.

- Parasuraman, R., Wickens, C.D., Sheridan, T. (2000). A model for types and levels of human interaction with automation. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* 30 (3), 286-297
- Riley, J. M., Endsley, M. R., Bolstad, C. A., & Cuevas, H. M. (2006). Collaborative planning and situation awareness in Army command and control. *Ergonomics*, 49(12-13), 1139-1153.
- Ritter, F. E., Kase, S. E., Bhandarkar, D., Lewis, B., & Cohen, M. A. (2007). dTank updated: exploring moderated behavior in a light-weight synthetic environment. In *Proceedings of the 16th Conference on Behavior Representation in Modeling and Simulation* (pp. 51-60).
- Salmon, P. M., Stanton, N. A., Walker, G. H., Jenkins, D., Ladva, D., Rafferty, L., & Young, M. (2009). Measuring Situation Awareness in complex systems: Comparison of measures study. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39(3), 490-500.
- Sulistyawati, K., Wickens, C. D., & Chui, Y. P. (2011). Prediction in situation awareness: Confidence bias and underlying cognitive abilities. *The International Journal of Aviation Psychology*, 21(2), 153-174.
- Tsang, P. S., & Vidulich, M. A. (2006). Mental workload and situation awareness. *Handbook of Human Factors and Ergonomics, Third Edition*, 243-268.
- Yang, J. Z., Zhang, K. (2004). Situation awareness: approaches, measures and applications, *Advances in Psychological Science* 12, 842-850.