

국방 분야의 인간-차량 인터랙션 연구

양지현 · 이상헌[†]

국민대학교 자동차공학과

A Survey of Research on Human-Vehicle Interaction in Defense Area

Ji Hyun Yang and Sang Hun Lee[†]

¹Department of Automotive Engineering, Kookmin University

Received 15 April 2013; received in revised form 6 May 2013; accepted 13 May 2013

ABSTRACT

We present recent human-vehicle interaction (HVI) research conducted in the area of defense and military application. Research topics discussed in this paper include: training simulation for overland navigation tasks; expertise effects in overland navigation performance and scan patterns; pilot's perception and confidence on an overland navigation task; effects of UAV (Unmanned Aerial Vehicle) supervisory control on F-18 formation flight performance in a simulator environment; autonomy balancing in a manned-unmanned teaming (MUT) swarm attack, enabling visual detection of IED (Improvised Explosive Device) indicators through Perceptual Learning Assessment and Training; usability test on DaViTo (Data Visualization Tool); and modeling peripheral vision for moving target search and detection. Diverse and leading HVI study in the defense domain suggests future research direction in other HVI emerging areas such as automotive industry and aviation domain.

Key Words: Eye-tracking, Human-Vehicle Interaction, Modeling and simulation, Navigation, Overland navigation, Target detection, Unmanned systems

1. 서 론

최근 드론(Drone)이라고 불리는 무인 전투 항공기, 구글의 무인 자동차, LS3 등과 같은 야지용(rough-terrain) 로봇 등에서 보는 바와 같이 세계적으로 민간 및 군사 분야를 막론하고 무인 자동화 기술이 비약적으로 발전되고 실제 임무에 널리 활용되어 가고 있는 것은 명확한 사실이다. 이러한 첨단 기술의 발전과 더불어, 해당 기술 시스템과 인간(human) 요소 조종사(pilot), 군인(soldier),

운전자(driver), 오퍼레이터(operator) 등의 상호작용에 대한 이해 및 전체 시스템 운용에 미치는 다양한 영향에 관한 연구의 필요성 또한 크게 대두되고 있다. 즉, 무인 기술의 발달이 인간 요소를 배제하여 진행되는 것이 아니라, 이전과는 다른 인간-기계 시스템에서 각 요소의 역할의 재분배를 가져올 것이며, 이에 대한 피상적인 연구를 지양하고 궁극적으로 시스템의 안전(safety)과 효율(efficiency)을 담보할 수 있는 인간-기술 상호작용 연구가 심도있게 수행되어야 한다는 것이다. 무인 기술을 포함한 첨단 기술은 우주 탐사 혹은 국방 분야 등 임무 위험이 높은 분야에서 활용도가 높기 때문에 관련 인간-기술 상호작용 연구도 타 적

[†]Corresponding Author, shlee@kookmin.ac.kr
©2013 Society of CAD/CAM Engineers

용 분야보다 상대적으로 매우 활발한 편이다. 예를 들어, 미해군대학원(Naval Postgraduate School) 산하의 모델링 및 가상환경 시뮬레이션 연구소(MOVES - Modeling Virtual Environment and Simulation Institute)에서는 컴퓨터과학을 중심으로 인간 공학, 기계항공공학, 군수학, 심리학 등 다양한 분야의 전문가들이 인간-기술 상호작용에 대한 학제간 융합 연구를 수행하고 있다. 국내에서도 최근 안보에 대한 우려가 높아짐에 따라 국방 분야에 첨단 무인 자동화 기술의 개발이 절대적으로 요청되며 따라서 인간과 기계시스템 또는 차량간의 상호작용에 대한 연구 또한 반드시 필요한 상황이다. 이에 이 분야에 선도적인 미국 국방 분야, 특히 원거리 해외 작전을 자주 수행하는 미해군에서 최근 활발하게 진행되는 인간-차량 상호작용(HVI: Human-Vehicle Interaction) 연구를 조사 검토하고 향후 국내에서의 관련 분야 연구 방향에 대한 청사진을 제시하고자 한다.

이후 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 헬리콥터 목적 항해술 훈련 툴 개발과 관련하여 조종사의 인지 모델링 및 숙련도에 따른 시선 패턴 분석에 관한 연구를 소개하였고, 제3장에서는 무인 항공기 및 유인 항공기 등 기계 시스템과 오퍼레이터 및 조종사 등 인간 요소의 상호작용 및 자동화 수준 밸런싱에 관한 연구를 소개하였다. 제4장에서는 시선추적장치를 이용한 사제폭발물 탐지 훈련 툴 개발, 데이터 분석 소프트웨어 사용성 평가 등에 관한 내용을 요약하여 소개하였다. 제5장에서는 최근의 국방 분야 HVI 연구에 기반하여 향후 주목받게 될 소분야에 대해 기술하였다.

2. 헬리콥터 목적 항법 훈련 툴의 개발

2.1 목적 항법(visual navigation)의 중요성

항행(navigation)은 현재의 항공기 위치를 파악하고 다음 목적지를 찾아가는 과정으로, 저고도 항행(low level navigation)은 통상 지상고도 200 피트 이하의 비행을 일컫으며, 수색 구조(search-and-rescue) 등 다양한 국방 임무 수행에 필수적으로 훈련되어야 하는 기술이다. 고고도 항행에서는 추측항법(DR or Dead Reckoning), 목적항법(VNAV or Visual Navigation), 항법 보조 장비(NAVAIDS or Radio Aids to Navigation), 위성 위치 확인 시

스템(GPS or Global Positioning System), 관성항법장치(INS or Inertial Navigation System) 등을 이용하여 항행의 임무를 수행하는 반면, 저고도 항행에서는 항법 보조 장비의 신뢰도가 상대적으로 저하되어 목적항법(VNAV)의 중요성이 높아진다^[1]. 2011년 12월 미국 동부에서 MH-60S 헬리콥터가 나무에 부딪혀 발생한 사고에서도 볼 수 있듯이^[2] 저고도 항행은 전깃줄과 같은 지형지물과 충돌의 위험이 상대적으로 높다. 이러한 저고도항행에서의 안전도를 높이기 위해서는 목적항법의 인지과정을 이해하고, 이를 효과적으로 훈련시킬 수 있는 시스템의 개발이 시급하다. 이러한 훈련 시스템 개발의 필요성을 미국 해군 연구소(U.S. Office of Naval Research)와 시뮬레이션/모델링 연구소(U.S. Navy Modeling and Simulation Office)에서 인지하고 저고도항행에서 목적항법 훈련 시스템을 개발하는 과제를 지원하고 있다.

2.2 다양한 인지 임무 이해를 위한 시선 추적기 적용 연구

여러가지 임무 수행 중의 인지과정을 이해하기 위해서 뇌파 등의 생체 신호를 측정하고 분석하는 여러 가지 방법이 있을 수 있는데, 피험자에게 직접적인 간섭(interference)을 최소화 할 수 있는 원격(remote) 시선(eye-tracking) 추적 장치를 이용한 방법이 국방 임무를 비롯한 다양한 도메인에서 활용되고 있다. 빈번하게 쓰이는 시선움직임의 시간(temporal) 파라미터로는 일정 임계치 이상의 빠른 안구의 움직임인 단속운동(saccade), 이웃하는 단속운동의 사잇값으로 도출할 수 있는 시선 고정값(dwelling duration, fixation duration), 눈깜빡임률(blink rate), 줄음 운전 탐지에서 널리 쓰이는 PERCLOS(percentage eye closure) 등이 있으며, 공간(spatial) 파라미터로는 시선 고정 위치, 동공(pupil)의 크기 변화 및 변화율 등이 있다.

시선 추적 장치를 이용한 최근의 연구를 전반적으로 요약하여 분류 조사하는 것은 본 논문의 범위를 벗어나므로, 다양한 분야에서 빈번히 인용되는 연구 몇 가지를 중심으로 예로 들기로 한다. Marshall^[3]은 부주의와 정상, 집중과 산만, 졸음과 각성 등 상반되는 인지 상태를 안구의 움직임과 동공의 크기 변화를 이용하여 구분하는 연구를 수행하였으며, Van Orden *et al.*^[4]은 시선 추적 데이터가 시각 정보 처리 과부하 레벨을 추정하는 것



Fig. 1 Overland navigation experimental set-up with two remote eye-tracking systems

에 쓰일 수 있다는 것을 보였다. 또한 시선 추적 데이터가 다양한 도메인에서 사람의 숙련도를 구분하는 지표로도 사용됨을 확인할 수 있다. 일례로 비디오 게임, 운전, 항공 분야를 들 수 있다. (Di Nocera *et al.*^[5], Bellenkes *et al.*^[6], Katoh *et al.*^[7], Mourant and Rockwell^[8]) 조종사들은 이착륙 등 비행 단계에 따라서 상이한 시선 스캔 패턴을 보였으며, 숙련된 조종사의 스캔 패턴과 경로 오차 감소의 연관성을 알 수 있었다. 조종사의 의사 결정 (decision making) 임무에서는 숙련된 조종사일수록 고장이 발생한 경우, 관련된 단서의 시선 고정 값이 더 길며 일반적으로 더 빠르고 정확한 의사 결정을 내리는 것을 알 수 있었다. 이렇게 시선 추적장치가 다양한 도메인에서 활용되는 것을 확인할 수 있지만, 목적항행 인지활동 이해를 위하여 시선추적장치를 활용한 연구는 미해군대학원의 MOVES 연구소가 선도적이다.

2.3 숙련도에 따른 시선 움직임 패턴 분석

Sullivan *et al.*^[11]에서는 피험자에게 직접적인 간섭(interference)을 최소화 할 수 있는 원격(remote)

시선(eye-tracking) 추적 장치를 이용하여 숙련도에 따른 시선 패턴을 분석하였다. 적어도 항법을 공부한 경험이 있고, 평균 1,488비행시간(표준편차 = 1,104시간)을 보유하고 있는 총 19명의 미군 장교를 Fig. 1과 같은 비행 시뮬레이션 환경에서 저고도항행에서의 시선 데이터를 수집하였다. 비행시 보이는 환경을 시각화한 OTW(out-the-window) 관점과 등고선과 목적지 방문지점 waypoint이 표시되어 있는 지도(MAP) 관점에서의 시선 데이터를 모두 수집하였고, 또한 항공기의 위치, 제어 입력 등 항행 성능도 동시에 수집하였다.

회귀 분석을 이용하여 실험 결과를 분석한 결과, 피험자의 숙련도와 시선 데이터는 유의미한 상관 관계가 있으나 실제 항행성과 숙련도와 유의미한 상관 관계를 밝히지 못하였다. 즉, 피험자의 비행 시간(flight hours)이 1,000시간 증가할수록, 평균적으로 시선 고정 시간의 중간값(median)이 28 ms 감소하고, OTW와 MAP의 시각 관점 변경 횟수가 33회 증가하는 등 시선 움직임 값과는 상관관계를 보인 반면, 일반적인 기대와는 다르게, 피험자의 비행 경험(숙련도)이 많다고 해서 초보 조종사보다 항행 목적지를 착오 없이 더 잘 찾아가는 것을 통계적으로 확인할 수는 없었다.

이는 일반적으로 추적 임무 성능 지수로 널리 쓰이는 RMS(root-mean-square) 오차 값이 목적항행 성능 측정으로 유효한 지 검토되어야 함을 암시하며, 목적항행 시 시선 움직임 값이 피험자의 숙련도를 추정할 수 있는 가능성을 내포한다고 볼 수 있다. 이러한 가능성에 기반하여 Fig. 2에 나타난 것과 같은 조종사의 시선 움직임과 항공기의 항행 상태를 동시에 시각화할 수 있는 FEST(Flight and Eye Scan Visualization Tool)를 개발하여 시간이

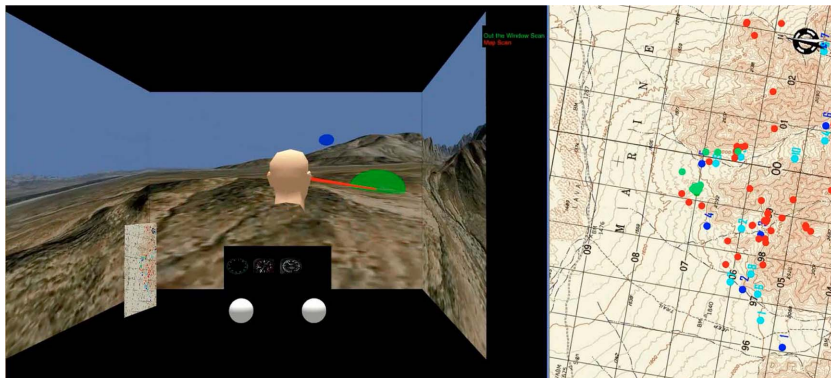


Fig. 2 FEST (Flight and Eye Scan Visualization Tool) applied to 2nd experimental setup

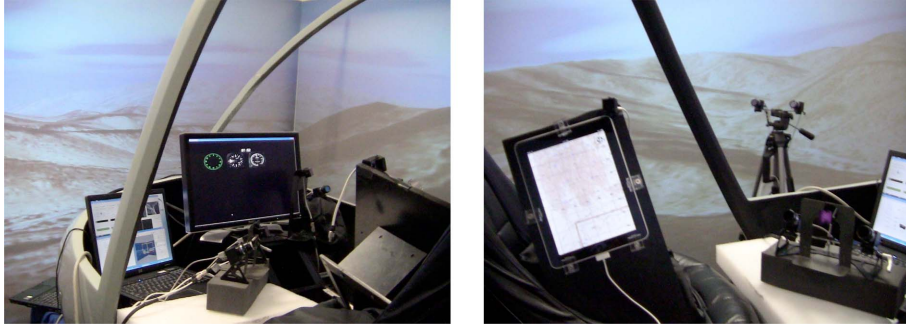


Fig. 3 Navigation simulator set-up with a wide view, remote eye-tracking systems, and iPad map applet

흐름에 따라 동적으로 변하는 시선 움직임과 항행 성능의 정성적인 관계 또한 관찰할 수 있었다.

해당 실험에서 다수의 조종사가 반복적으로 OTW에 나타나는 명확한 지형지물 신호를 인식하지 못하고, 궁극적으로 항로 이탈 상황을 자각하지 못하는 상황을 관찰할 수 있었다. 이러한 시각적 인식 및 오인식(misperception)에 대한 연구를 후속 연구에서 수행하였고 2.4장에 관련 연구를 서술하였다. 또한 FEST를 이용하여 해당 실험 중 항로 이탈 시 실험자의 도움없이 스스로 항로에 복귀한 유일한 피험자의 시선 움직임 패턴을 분석할 수 있었다. 해당 피험자는 숙련된 조종사로서 지도(MAP)에서 목적지 정보를 미리 살펴 볼 뿐만 아니라, OTW에서 인식한 지형 정보를 다시 MAP에서 확인하는 등 덜 편향된 목적항행 전략을 사용하는 것으로 확인되었다.

해당 연구는 Fig. 1에서 보이는 바와 같이 OTW 관점의 시야각이 약 65° 정도로 실제 목적항행시 확보되는 시야각에 훨씬 못 미치는 수준임을 알 수 있다. 이러한 한계점을 Fig. 3에서와 같이 3개의 94 inch × 63 inch 스크린을 연결하여 OTW 관점에서 180° 시야각을 확보하고, 3개의 시선 추적 장치를 링크하여 넓어진 관점에서의 시선 움직임을 추적할 수 있도록 하였다. 또한 피험자에게 주어진 지도와의 상호작용이 가능하도록 피험자에 의한 회전 및 움직임(패닝)이 가능하도록 iPad를 이용하여 인터랙티브 지도 애플릿을 설계하였다.

이렇게 확장된 실험 장치에서 항행과 함께 목표물 탐지(target detection) 임무 수행시의 시선 움직임 값을 수집하였다. 해당 목표물은 사고가 난 항공기 혹은 지대공미사일 발사대(SAM launcher) 중의 하나로 아군과 적군의 목표물을 상이하게 설정하였다. 평균 1,560시간의 비행시간(표준편차 =

774시간)과 평균 950시간의 저고도항행 비행시간(표준편차 = 535시간)을 갖춘 총 11명의 조종사(미해군 8명, 미해병대 2명, 미공군 1명)가 실험에 참가하였다. 항행임무만 수행할 때에는 MAP에서의 시선 고정 시간이 짧고, OTW를 바라보는 전체 시간이 짧을수록 RMS 오차값이 작았으나, 목표탐지 임무와 항행 임무를 동시에 수행할 시에는 단속운동(saccade) 횟수가 많을수록, 계기판 시선 고정횟수가 적을수록 목표탐지 오차가 작음을 알 수 있었다. 따라서, 목적항행 임무수행 시 목표물 탐지 임무수행시보다 더 빠르고 빈번한 시선 움직임을 필요로 함을 확인할 수 있었으나, 숙련도와 임무 성능의 통계적 유의미함은 발견할 수 없었다⁹⁾.

또한, 미국 캘리포니아주 North Island 해군기지에 위치한 Helicopter Sea Combat Wing Pacific 부대의 MH-60S TOFT-2 시뮬레이터(Fig. 4)를 이용하여 17명의 미해군 헬기 조종사를 대상으로 실험을 확장하여 진행하였다. 동일한 시선 추적 장치로 실험을 진행한 결과 보다 숙련된 조종사들이 초보자에 비해 느린 시선 움직임 값을 보였음을 알 수 있었다^{10,11)}. 해당 관련 후속 연구로는 먼지와 모래 등으로 인한 시계 제한(visibility restriction) 상황인 brown-out 등 위급상황에서의 시선 패턴 분석 연구가 진행되고 있다.

2.4 시각 정보의 오인식 및 목적항행 자신감에 대한 실험 및 모델링

Sullivan *et al.*^[11]에서 수행한 실험에서 관찰된 피험자들의 반복적인 항로 오인식 현상에 착안하여 Yang *et al.*^[12], Cowden *et al.*^[15] 및 Yang *et al.*^[16]은 목적항행시 시각정보 인식 모델링과 임무수행 자신감에 대한 연구를 수행하였다. Yang *et al.*^[12]에서는 합리적인 시각인지 과정을 Bayesian process



Fig. 4 MH-60S TOFT-2 simulator at Naval Air Station North Island

로 가정하고, Sullivan *et al.*^[11]에서 관찰된 반복적인 시각적 오인식을, OTW에서 인식되는 지형 정보를 기존 가설(hypothesis or belief)에 유리하도록 편향되게 샘플링하는 것으로 해석하였다. 이는 인식된 지형지물을 기반으로 위치를 추정하는 것이 아니라, 추정 위치를 가정하고 그에 해당하는 지형지물이 나타날 경우(다른 위치에서도 볼 수 있는 정보더라도) 기존 추정 위치에 대한 확신을 더욱 높이는 것으로 ‘believe what they see vs. see what they believe’로 요약할 수 있다. 반대로 기존 추정 위치에 부합하지 않는 정보가 OTW에 나타날 경우 조종사의 시선의 위치가 해당 지형지물에 머물더라도 조종사의 항행정보로 인식되지 않는 현상을 보였다. 이는 Simons와 Chabris^[13,14]에 의해 명명된 부주의의 맹시(inattentional blindness)라는 현상에 해당한다고도 볼 수 있다.

이러한 해석을 기반으로 조종사의 편향된 인식이 OTW에 새로운 지형지물이 나타날 때마다 어떻게 유지 및 증폭되는지를 시뮬레이션을 통해 확인하였다. Cowden *et al.*^[15]에서는 목측항행시 비행 제어 임무부하를 최소화하기 위하여 자동비행(autopilot) 모드를 실험에 포함시켰다. 즉, 피험자가 직접 목적지를 찾아가는 ‘수동 항행 모드’와 피험자가 교관의 역할을 맡고 가상의 학생 조종사가 비행 제어와 항행을 수행할 시 항행 위치를 추정하는 ‘자동 항행 모드’에서의 인식 및 성능 자신감을 분석하였다. 총 15명의 미군 장교가 실험에 참가하였고, 전체 시나리오에서 58%만이 항로를 이탈하지 않으며 피험자가 상황을 올바르게 인식하였으며, 27%는 항로를 이탈하였음에도 불구하고 피험자는 항로이탈을 자각하지 못하였다. 이는

항로이탈 시에 78%에 해당하는 비율로, 조종사의 오인식이 목측항행시 빈번하게 발생함을 확인하였다. 또한 피험자의 자신감과 항행성능과는 통계적으로 유의미한 상관관계가 없음을 밝혔다. 이는 항공기의 실제 위치와 조종사가 인식하는 인지 위치의 차이에서 발생하는 것으로 분석이 되었으며, 이러한 실험 결과는 Yang *et al.*^[12]에서 제시한 오인식 모델링에 기반하여, 조종사의 일반적인 오인식을 합리적(예: 무인 시스템, 로봇 등)인 인식과 동시에 예측하여 유-무인간 인지 충돌을 해결하는 틀을 개발하는 연구에 이용되고 있다.

3. 무인시스템과 오퍼레이터의 상호작용

3.1 인간과 다양한 무인시스템의 상호작용 연구 필요성 및 연구 추이

현재 RQ-11B Raven, Scan Eagle, RQ-7B Shadow, MQ-1B Predator, RQ-4A Global Hawk 등 다양한 크기 및 성능을 보유한 무인항공기(Unmanned Aerial Vehicle)가 미군의 실제 임무에서 활발히 운용되고 있으며^[17], 앞으로는 고위험 및 고난이도의 작업을 수행하기 위하여 무인시스템(UxS or Unmanned Aerial/Ground/Undersea System)과 유인시스템으로 이루어진 무인-유인 복합 팀의 필요성이 절실하며, 해당 요소간의 상호작용에 대한 이해 또한 필수적이다. 일례로 미국 해군 연구소의 무인 시스템 개발 프로젝트 매니저인 Marc Steinberg 박사는 무인제어 기술 개발 지원과 더불어 인간-기계 시스템 관점에서 각 요소간의 상호작용 등 HVI 연구의 중요성을 재차 강조하고 해당 분야 지원을 증가하고 있는 추세이다. 대표적인 국방 관련 인간-기술 상호작용 연구로 항공기에서의 인간-자동화 기술간 협업 연구^[18], 탄도미사일 디펜스 시스템에서의 오퍼레이터-자동화 기술간 협업 연구^[19,20], 복합 무인 시스템에서의 오퍼레이터 감시 제어 모델링^[21], iPhone을 이용한 마이크로 무인 시스템 컨트롤 인터페이스 개발^[21], 무인시스템 제어시의 임무과부하 연구^[23] 등을 예로 들 수 있다.

기존의 항공기와 조종사의 상호작용은 조종사의 수동제어 임무(manual control task)에 집중되어 개발되었으며, 이러한 추적 제어 임무를 연구한 대표적인 조종사의 비행 제어 모델은 McRuer *et al.*^[24]

의 크로스오버 모델(Crossover Model)이다. 해당 모델은 크로스오버 주파수에서 조종사가 시스템의 동역학적 특성에 능동적으로 적응하여 조종사-항공기의 전달함수가 1차 함수가 되도록 항공기를 제어한다는 모델링으로 시스템의 차수에 따른 항공기의 제어불안정성을 설명하고 보완하는데 큰 역할을 하였다. 한편, 오토파일럿과 같은 자동 비행 시스템 등 다양한 자동화 기능의 도입으로 인해 조종사의 대표적인 임무가 수동제어 임무에서 감시제어(supervisory control)로 변경되어 새로운 인간-차량 상호작용의 이해와 감시제어 모델의 필요성이 대두되었다. 오퍼레이터의 인지 수용량(capacity)을 모델링하기 위한 기존의 연구로는 여러 기의 같은 종류의 무인기를 제어하는 연구^[25-27], 여러 기의 다른 종류의 육해공 무인기를 제어하는 연구^[21] 등이 있다. 또한 오퍼레이터의 임무 인지 수용량은 무인기가 독립적으로 운영하는 시간 NT(Neglect Time), 오퍼레이터가 무인기를 모니터링하고 임무에 관한 결정을 내리는 등의 상호작용하는 시간 IT(Interaction Time)과 대기 시간 WT(Wait Time) 등의 파라미터를 이용하여 모델링을 하는 예^[21,26]도 있다. 이산 이벤트(discrete Event) 시뮬레이션을 이용하여 무인기에 의해 발생하는 내인성 및 외인성 임무를 처리하는 서버(server)로써 오퍼레이터 모델링을 시도하였고, 미흡한 상황 인식에 따른 WTSA(WT due to Loss of Situation Awareness)를 이용하여 오퍼레이터가 작업하는 시간 UT(Utilization Time)의 파라미터를 제시하였다^[21].

3.2 무인항공기 감시제어가 F-18의 편대 비행 성능에 미치는 영향

첨단 기술의 개발과 더불어 조종사에게 계기판 등을 통해 제공되는 정보의 양이 증가함과 동시에, 부조종사(co-pilot/wingman)를 포함한 전통적인 2인용(two-seat) 전투기에서 1인용(single-seat) 전투기로 전환하려는 연구^[28]가 진행되고 있다. 임무를 수행하는 조종사 수의 감소는 조종사 훈련비 등 국방 비용 부담을 완화시키는 반면, 전체 시스템의 안전(safety)에 미치는 영향 및 1인 조종사 혹은 오퍼레이터에게 주어지는 정량적인 임무부하에 대한 연구를 필요로 한다. 일례로, 무인 항공기(UAV) 감시제어(supervisory control) 등의 첨단 기술을 기존의 항공기 계기판에 통합하였을 경우 전

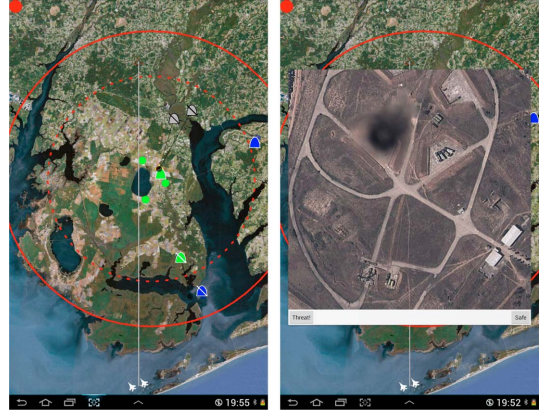


Fig. 5 Area of operation shown in SAWCI (Semi-Autonomous Wingmen Control Interface) and a destroyed target image^[29]

체적인 시스템 성능을 개선하는지 혹은 오퍼레이터에 과부하를 초래하는지에 대한 연구가 필요하다.

McMullen *et al.*^[28,29]은 무인항공기 감시제어 임무와 같은 신기술이 전통적인 조종사의 임무 중 하나인 전투기 편대비행(formation flight) 성능에 미치는 영향을 조사하였다. 전방 감시 적외선 장치(FLIR Pod: Forward Looking Infra-Red(FLIR) Pod)를 사용하는 전통적 목표물 탐지 방법과 무인항공기 감시제어를 이용한 미래형 목표물 탐지 방법을 각각 수행 시 F-18 항공기의 퍼레이드형(parade) 편대비행 성능을 비교하였다. 미국 캘리포니아주에 위치한 미 해군 부대 Lemoore Fleet Replacement Squadron(FRS) 소속인 34명의 전투기 조종사(평균 비행 시간 = 1,475시간, 표준편차 = 693시간)가 F-18 C/D/E/F/ TOFT 시뮬레이터에서 편대비행시 대장호위기(wingman)의 역할을 맡아 실험에 참가하였다. 전방 감시 적외선 장치는 해당 시뮬레이터에 장착되어 있는 기능을 사용하였고, 무인항공기 감시제어 임무를 구현하기 위하여 Fig. 5에 나타난 것과 같은 감시제어 인터페이스인 SAWCI(Semi-Autonomous Wingmen Control Interface)를 개발하였다. SAWCI는 MIT Humans and Automation 실험실의 RESCHU(Research Environment for Supervisory Control of Heterogeneous Unmanned Vehicles)의 초기 버전에 기반하여 개발된 것으로, 직관적인 인터페이스를 구현하기 위해 태블릿 PC에 설치하였고, 감시형 무인항공기가 목표 지점에 도달하여 보내온 영상을 오퍼레이터가 확인하고, 공격형 무인항공기를 배치

할 수 있는 기능을 제공한다.

피험자 내(within-subject) 실험 결과를 비교하여, 무인항공기 감시 제어 방법을 사용한 목표 탐지 임무가 전방 감시 적외선 장치를 이용한 목표물 탐지 임무보다 편대 비행의 임무 저하에 더 큰 영향($t(33) = 2.27, p = 0.015$)을 미치는 것을 보였다^[28]. 또한 두 경우 모두 편대비행 임무만을 수행하는 경우(대조군)보다는 편대 비행 평균 거리 및 표준 편차가 유의미한 차이를 보여서($t(33) = 4.89, p < 0.001; t(33) = 7.07, p < 0.001$), 부차적 임무로서 주 임무 수행에 유의미한 영향을 주는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 성능 변수와 더불어 심박수, 호흡률, 자세 등 생체 신호를 동시에 수집하여 분석 중에 있다.

3.3 군집 비행 공격/수비 배치 임무에서 자동화 수준 밸런싱

군집 비행 등을 포함한 높은 수준의 무인/자동화 기술이 개발되어 임무에 적용되더라도, 동적으로 변하는 임무 상황이나 환경 조건에 따라 원격 제어 등과 같은 상대적으로 낮은 자동화 수준으로 임무를 수행하는 경우가 발생한다. 무인-유인 팀(MUT or Manned-Unmanned Teaming)에서 어느 시점에 어떠한 방법으로 자동화 수준을 조절하는가는 전체 시스템의 안정성 및 효율과 직결되는 중요한 문제이다. Yang *et al.*^[31]은 폭넓은 자동화

수준의 무인 기술 적용에 따른 무인-유인MUT 임무 수행에서 인간과 시스템의 상호작용 피드백 모델링에 관한 연구를 수행하였다. 아군의 고가치 표적(HVU: High Value Unit)을 공격하는 적군의 군집 소형 무인항공기에 대응하여, 아군의 군집 소형 수비 무인 항공기를 다양한 자동화 수준에 따라 적군에게 배정하는 시나리오를 설정하였다. 또한 RESCHU-SA(Research Environment for Supervisory Control of Heterogeneous Unmanned Vehicles - Swarm Attack)를 개발하여 해당 시나리오를 시뮬레이션하는 Fig. 6와 같은 인터페이스를 개발하였다. Fig. 5의 SAWCI는 RESCHU를 소수의 무인시스템 감시제어 인터페이스로 목표물 탐지(target detection) 임무로 특성화 시킨 반면 RESCHU-SA는 군집 무인 수비 시스템을 대상으로, RESCHU의 목표물 탐지 임무를 배치(assignment) 임무로 대체하였다. 또한, 상황에 따라 변하는 오퍼레이터의 임무부하 상태를 측정하기 위하여 심박수, 호흡율, 자세 등을 실시간으로 모니터링 하는 윈도우를 RESCHU-SA 인터페이스에 포함시켰다.

현재 버전의 인터페이스는 완전 자동(auction algorithm 혹은 nearest neighbor algorithm을 이용^[32]하여 배치), 완전 수동(오퍼레이터가 마우스 클릭과 드래그를 이용하여 배치), 혹은 상호작용 모드(자동 배치와 오퍼레이터 수동 배치 모두 가



Fig. 6 Interface of RESCHU-SA (Research Environment for Supervisory Control of Heterogeneous Unmanned Vehicles - Swarm Attack): 1-area of operation; 2- assignment mode panel; 3-HVU damage level indicator; 4- physiological data monitor; 5-blue and red health monitoring panel^[31]

능하며 두 가지 배치 결과가 상충할 시에는 오퍼레이터 배치 선택)로 모두 세가지 자동화 수준을 시뮬레이션 할 수 있다. 총 다섯 명의 피험자를 대상으로 한 선행 연구에서 모든 피험자가 예외 없이 상호작용 모드를 가장 선호하였으나, 실제 임무 성능(HVU의 수비 여부)은 완전 자동 모드에서 더 나은 경우도 있음을 알 수 있었다. 이는 2장의 헬리콥터 목적항행 실험에서도 볼 수 있듯이, 실제 임무 성과와 오퍼레이터의 인식 성능이 일치하지 않을 수 있음을 시사한다. 이러한 인식간 불일치가 사고 발생 등 시스템의 안전에 악영향을 미치지 않도록 하는 해결 방안 도출을 위한 연구로 생체신호를 분석하여 실시간으로 자동화 레벨을 조절하는 알고리즘을 개발하는 연구를 진행 중이다.

4. 원격 시선 추적 장치를 이용한 사용성 및 효용성 연구

4.1 시선 추적장치를 이용한 목표물 탐지 임무 모델링

다양한 생체신호 측정 방법 중에서도 시선 움직임은 데이터 수집이 상대적으로 용이하고, 실제 임무 상황에서도 적용 가능하며 사용자에게 방해가 되지 않는 측정 방법 등의 장점으로 인해 항공, 교통, 인지 부하 측정, 시각 정보 처리 분야 등 다양한 인간-기술 시스템 상호작용 연구에 널리 적용되고 있다. 시선 추적 장치를 이용한 방대한 연구 중에서, 관련 연구의 몇 가지 예로 2.2장에 소개된 Di Nocera *et al.*^[5], Bellenkes *et al.*^[6], Katoh *et al.*^[7], Mourant and Rockwell^[8], Marshall^[3], Van Orden *et al.*^[4]의 연구를 들 수 있다.

시선 움직임과 시각 주의(attention)는 사물을 인지하기 위해서는 필수적이며^[33], 목표물 인지에 관한 연구에도 시선추적장치가 유용하게 쓰인다. 특히 목표물 탐지 임무는 국방 관련 임무수행에서 중요한 부분을 차지하고 있다. 그러나, Evangelista *et al.*^[34]에서도 보듯이 전장 시뮬레이션 모델상에서 개별 군인은 시선을 왼쪽에서 오른쪽으로 선형적으로 움직이는 등 고정된 시각 패턴을 사용하여 현장을 탐색하도록 모델링 되어 있다. 하지만 복잡한 도시 환경 등 실제 환경에서 군인의 목표물 탐지 시선 패턴을 관찰하게 되면 이는 사실과 크게 다를 수 있다. 또한 COMBAT XXI, OneSAF, JSAF 등의 시뮬레이션 모델은 ACQUIRE

라는 알고리즘을 사용하여 시각 탐지 확률을 계산하는데 실제 목표물 탐지 임무를 수행하는 군인의 성능을 충분히 반영하지 못한다고 알려져 있다.^[35,36] 이렇게 실제와 다른 모델을 전장 시뮬레이션에서 사용하게 되면, 목표물 탐지 시간 및 정확도를 틀리게 추정하여 국방 임무 수행에 치명적인 악영향을 미칠 수 있다. 따라서 시선 움직임 센서를 이용하여 목표물 탐지 임무에서의 시선 패턴을 이해한다면 효과적인 시뮬레이션 모델을 개발할 수 있을 것이다.

시각주의를 끌어 시선움직임을 유발하기 위해서는 목표물의 두드러짐(saliency)의 정도와 같은 상향식(bottom-up) 요소와 주어진 임무에 따라 정해지는 하향식(top-down) 요소 모두가 필요하다. 대표적인 상향식 접근방법으로, Itti^[37]는 시각 주의와 두드러진 물체의 위치의 관계 모델링을 제시하였으며, Junngjuz and Darken^[35,36]는 물체의 두드러짐, 중심시야로부터 상대적 위치, 함정 표적 등이 변함에 따라 시선 위치 움직임 확률을 계산하였다. 또한, Navalpakkam and Itti^[38]는 하향식 요소를 모델링에 도입하려는 시도를 보였다. 한편, ACQUIRE를 비롯한 대부분의 탐지 모델은 중심시야(foveal vision)의 역할을 중심으로 개발되어 있고, 이를 보완하기 위해 움직이는 목표물 탐지 임무에 있어서 주변 시야(peripheral vision)의 역할을 연구한 예^[39]도 있다.

4.2 지각합습도구 PLT를 이용한 사제폭발물 탐지 훈련 연구

Masotti *et al.*^[40]과 Yang *et al.*^[41]은 사제폭발물(IED: Improvised Explosive Device) 탐지 훈련을 위하여 지각합습(perceptual learning)을 적용하여 개발된 PLT 프로토타입을 이용하여 숙련된 군인과 초보 군인의 시선 움직임 값 및 IED 탐지 성능을 비교 분석하였다. EyeWorks Pro를 이용하여 PLT 프로그램과 시선 추적 시스템인 faceLAB5와 통합하여 시선 추적 데이터와 PLT 데이터를 동기화 하였다. 탐지(detection)와 인지(recognition) 두 경우에 대해 적용, 분석하기 위해, 기존 신호 탐지 이론의 기본적인 4가지 결과인 CD(Correct Detection), FA(False Alarm), CR(Correct Rejection)와 MD(Missed Detection)를 CDR(Correct Detection & Recognition), FR(False Recognition), MD, FA, CR의 5가지 결과로 확장하여 분석하였다^[32,41].



Fig. 7 Gaze density difference between experts (left) and novice (right) in IED detection task. Gaze location of experts is more concentrated on certain locations than that of novices^[42]

각각 4명의 사제폭발물 탐지 전문가와 15명의 초보자가 PLT를 이용한 훈련 실험에 참여하였고, 전체 피험자에 대하여 탐지 속도 증가(탐지 반응 시간이 평균적으로 약 7.1 초에서 약 3.9초로 감소) 및 피험자의 반응 편파(decision bias β)를 감소(CD와 FA가 각각 42.9%에서 46.8%로, 22.5%에서 66.7%로 증가)시키는 PLT 훈련 효과를 확인하였다. PLT를 이용한 훈련 전에는 전문가들의 단위 시간당 시선 고정 횟수(number of fixations) 및 고정 시간(fixation time)이 초보자들보다 더 높았으나, 훈련 후에는 숙련도에 따른 시선 고정 시간의 차이가 감소하였다. 또한 Fig. 7에서 보듯이 시선 고정 위치와 밀도에 관해서도 숙련도에 따른 차이를 관찰할 수 있었다. 전문가의 시선 고정 위치는 도로와 배경의 경계부분등과 같은 이미지의 특정 부분에 집중되어 있는 반면 초보자의 시선 고정 위치는 이미지 전반에 걸쳐 분산되어 있음을 관찰할 수 있다. 해당 연구를 통해 PLT 프로토타입을 이용한 숙련도에 따른 사제폭발물 탐지 훈련 효과 검증, 시선 패턴 분석으로 훈련에 효과적인 사제폭발물 이미지의 난이도 제안, PLT 훈련 프로토타입의 개선점 및 향후 사제폭발물탐지 전문가 선별에 대한 인덱스를 제공하였다.

4.3 데이터 분석 툴 DaViTo 사용성 평가

국방 임무 수행에 제공되는 정보의 양이 급격히 증가하면서 필요한 정보를 효과적으로 처리하여 주어진 시간 내에 올바르게 안전한 의사결정을 내려야 하는 중요성은 자명하다. 이러한 의사 결정에 관련한 방대한 정보 처리를 용이하게 하는 다양한 소프트웨어들이 개발되어 있지만, 해당 소프

트웨어 교육 및 훈련 시간 증가 부담 등으로 인해 실제 임무 수행에서의 효용성이 의문시 되고 있다. 이러한 배경을 기반으로 TRAC-Monterey(U.S. Army Training and Doctrine Command Analysis Center-Monterey)에서 통계에 대한 배경 지식이 없는 사병들을 위하여 직관적인 전장 데이터 분석 툴인 DaViTo(Data Visualization Tool)를 개발하였다. Cutler *et al.*^[42]과 Yang *et al.*^[43]은 미 해군, 육군, 해병대 현역 장교로 구성된 총 24명을 대상으로 DaViTo의 사용성을 평가하였다. 피험자들은 총 세 번의 훈련 세션에 참가하여, 원격 시선 추적 시스템과 설문조사를 통하여 성능 지수 및 의견을 제공하였다. 프로그램 반응 시간 지체가 가장 빈번하게 지적된 개선점 중의 하나였고, Fig. 8에서 보듯이 다양한 데이터 제공 그래프 타입 중 SBF(Stacked Bar Graph)가 다른 종류의 그래프와 비교했을 때 상대적으로 빠른 응답 시간과 정확성을 보였다.

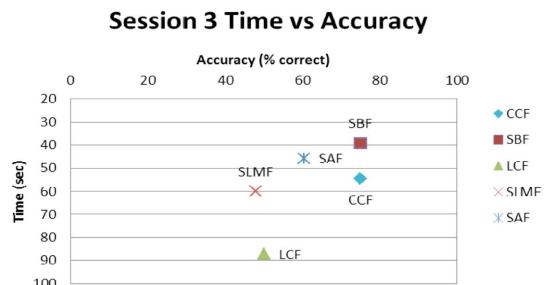


Fig. 8 Time and accuracy comparison among CCF (Clustered Columns Format), LCF (Line Chart Format), SAF (Stacked Area Format), SBF (Stacked Bar Format), and SLMF (Stacked Line Marker Format)

그 외 원격 시선 추적 장치를 이용한 연구로는, 전장 시나리오에서 최적의 의사결정을 이해하기 위하여 의사 결정의 다양한 단계에서 발생하는 오류를 시선 추적 장치와 뇌파로 추정하는 연구, 주변 시야(peripheral vision)가 움직이는 목표물 탐지에 미치는 영향⁴⁴⁾ 등에 관한 연구 등이 있다.

5. 결 론

최근의 인간과 차량의 상호작용에 관한 연구를 미국 국방 관련 응용 예시를 중심으로 정리해보았다. 무인 기술의 급속한 발전과 더불어 기존의 유인시스템과 무인시스템의 통합 운영에 대한 이해의 필요성이 더욱 강조되고 있음을 확인할 수 있었다. 이와 같은 HVI 분야의 중요성은 국방 분야 뿐만 아니라 자동차를 비롯한 다양한 산업 분야에서의 인간과 기술의 상호작용 연구에도 동일하게 적용될 수 있다. 또한 새로운 기술의 개발과 더불어 정확한 모델링과 시뮬레이션을 통한 연구의 필요성 또한 확인할 수 있었다.

감사의 글

2013년도 국민대학교 신진교수 연구지원금으로 수행된 연구입니다.

References

- Sullivan, J., Yang, J.H., Day, M. and Kennedy, Q., 2011, Training Simulation for Helicopter Navigation by Characterizing Visual Scan Patterns, *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 82(9), pp.871-878.
- Naval Safety Center, March, 2013, Aviation Summaries by Date. Report No: AV-201.
- Marshall, S.P., 2007, Identifying Cognitive State from Eye Metrics, *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 78(5, Suppl.), pp.B165-B175.
- Van Orden, K.F., Limbert, W., Makeig, S. and Jung, T.P., 2001, Eye Activity Correlates of Workload During a Visuospatial Memory Task, *Human Factors*, 43, pp.111-121.
- Di Nocera, F., Camilli, M. and Terenzi, M., 2007, A Random Glance at the Flight Deck: Pilots' Scanning Strategies and the Real-time Assessment of Mental Workload, *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 1(3), pp.271-285.
- Bellenkes, A., Wickens, C. and Kramer, A., 1997, Visual Scanning and Pilot Expertise: Their Role of Attentional Flexibility and Mental Model Development, *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 68(7), pp.569-579.
- Katoh, Z., 1997, Saccade Amplitude as a Discriminator of Flight Types, *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 68(3), pp.205-208.
- Mourant, R. and Rockwell, T., 1972, Strategies of Visual Search by Novice and Experienced Drivers, *Human Factors*, 14(4), pp.325-335.
- Neboshynsky, C., 2012, Expertise on Cognitive Workloads and Performance during Navigation and Target Detection, Master's thesis, Naval Postgraduate School.
- Kirby, C., Kennedy, Q. and Yang, J.H., submitted, An Analysis of Helicopter Pilot Scan Techniques While Flying at Low Altitude and High Speed, *AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference*, Boston, MA.
- Kirby, C., 2013, Improving the Human-machine Interface for Helo Pilots, *Naval Aviation News*, Winter, pp.26-29.
- Yang, J.H., Kennedy, Q., Sullivan, J. and Day, M., 2011, Bayesian Modeling of Pilot Belief and Visual Misperception in Helicopter Overland Navigation, *Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, Anchorage, Alaska. pp.1676-1681.
- Simons, D. and Chabris, C., 1999, Gorillas in Our Midst: Sustained Inattentional Blindness for Dynamic Events, *Perception*, 28, pp.1059-1074.
- Simons, D. and Chabris, C., 2010, What Smart Chess Players and Stupid Criminals have in Common, *The Invisible Gorilla: How Our Intuitions Deceive Us*, pp.80-115.
- Cowden, B., Yang, J., Kennedy, Q., Schramm, H. and Sullivan, J., 2012, Helicopter Pilot Misperception and Confidence during Overland Navigation, *AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference*, Minneapolis, MN.
- Yang, J., Cowden, B., Kennedy, Q., Schramm, H. and Sullivan, J., accepted, Pilot's Perception on an Overland Navigation Task Based on Confidence: Where They are vs. Where They Believe, *Aviation, Space, and Environmental Medicine*.
- U.S. Department of Defense, 2011, Unmanned Systems Integrated Roadmap FY2011-2036, Report No. 11-S-3613.
- Cummings, M.L., Clare, A.S. and Hart, C.S., 2010, The Role of Human-automation Consensus in Multiple Unmanned Vehicle Scheduling, *Human Factors*, 52, pp.348-349.

19. Cummings, M.L., How, J., Whitten, A. and Toupet, O., 2012, The Impact of Human-automation Collaboration in Decentralized Multiple Unmanned Vehicle Control, *Proceedings of the IEEE*, 3, pp.660-671.
20. Clare, A.S., Cummings, M.L., How, J., Whitten, A. and Toupet, O., 2012, Operator Objective Function Guidance for a Real-time Unmanned Vehicle Scheduling Algorithm, *AIAA Journal of Aerospace Computing*, 9, pp.161-173.
21. Boussemart, Y. and Cummings, M.L., 2011, Predictive Models of Human Supervisory Control Behavioral Patterns Using Hidden Semi-Markov Models, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 24(7), pp.1252-1262.
22. Nehme, C.E., Crandall, J.W. and Cummings, M.L., 2008, Using Discrete-event Simulation to Model Situational Awareness of Unmanned-vehicle Operators. *Virginia Modeling, Analysis and Simulation Center Capstone Conference*.
23. Rodas, M.O., Szatkowski, C.X. and Veronda, M.C., 2011, Predicting an Adequate Ratio of Unmanned Vehicles Per Operator Using a System with a Mission Definition Language, *2011 IEEE First International Multi-Disciplinary Conference on Cognitive Methods in Situation Awareness and Decision Support (CogSIMA)*, pp.159-162.
24. McRuer, D.T., Allen, R., Weir, D.H. and Klein, R.H., 1977, New Results in Driver Steering Control Models, *Human Factors*, 19, pp.381-397.
25. Crandall, J.W. and Cummings, M.L., 2007, Identifying Predictive Metrics for Supervisory Control of Multiple Robots, *IEEE Transactions on Robotics*, 23(5), pp.942-951.
26. Olsen Jr., D.R. and Wood, S.B., 2004, Fan-out: Measuring Human Control of Multiple Robots. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.231-238.
27. Cummings, M.L. and Mitchell, P.J., 2008, Predicting Controller Capacity in Supervisory Control of Multiple UAVs, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*, 38(2), pp.451-460.
28. Penrice, C., 2000, Single Seat Fighter - the Way Ahead for the 21st Century, *Air & Space Europe*, 2(1), pp.8-14.
29. McMullen, E., Grass, B.S., Yang, J., Kennedy, Q. and Sullivan, J., submitted, Effects of UAV Supervisory Control on F-18 Formation Flight Performance in a Simulator Environment, *AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference*, Boston, MA.
30. McMullen, E., Grass, B.S., Yang, J., Kennedy, Q., Sullivan, J. and Smith, K., accepted, Effects of Secondary Tasks on F-18 Aircrew Performance in a Simulator Environment, *The 3rd International Conference on Driver Distraction and Inattention Conference*, Gothenberg, Sweden.
31. Yang, J., Kapolka, M. and Chung, T., 2012, Autonomy Balancing in a Manned-unmanned Teaming (MUT) Swarm Attack, *The 1st International Conference on Robot Intelligence Technology and Application*, Gwangju, Korea.
32. Day, M. and Chung, T., 2012, Multi-agent Task Assignment for Swarming UAVs. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*.
33. Itti, L. and Koch, C., 2001, Computational Modeling of Visual Attention, *Nature Reviews Neuroscience*, 2(3), pp.194-203.
34. Evangelista, P.F., Darken, C.J. and Jungkunz, P., 2013, Modeling and Integration of Situational Awareness and Soldier Target Search. *The Journal of Defense Modeling and Simulation: Applications, Methodology, Technology*, 10(1), pp.3-21.
35. Jungkunz, P. and Darken, C.J., 2010, Modeling Human Eye-Movements for Military Simulations, *Proceedings of Behavior Representation in Modeling and Simulation (BRIMS)*.
36. Jungkunz, P. and Darken, C.J., 2011, A Computational Model for Human Eye-movements in Military Simulations. *Computational and Mathematical Organization Theory*, 17(3), pp.229-250.
37. Itti, L., 2003, Visual Attention. *The Handbook of Brain Theory and Neural Networks*, 1196-1201.
38. Navalpakkam, V. and Itti, L., 2005, Modeling the Influence of Task on Attention. *Vision Research*, 45(2), pp.205-231.
39. Yang, J.H., Huston, J., Day, M. and Balogh, I., 2012, Modeling Peripheral Vision for Moving Target Search and Detection, *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 83, pp.585-593.
40. Masotti, E., Yang, J., McCauley, M. and Heerlein, D., 2012, *Analyzing the Effectiveness of Search and Target Acquisition Software*, No. TRAC-M-TR-13-017
41. Yang, J., Masotti, E., McCauley, M., Huston, J. and Heerlein, D., in Preparation, Analyzing the Effectiveness of Perceptual Learning Training Search and Target Acquisition Software Using Eye-tracking Data. *Military Psychology*.
42. Cutler, D. and Rasmussen, T., 2012, Usability Testing and Workflow Analysis of the TRADOC Data Visualization Tool, Master's thesis, Naval

- Postgraduate School.
43. Cutler, D., Rasmussen, T., Huston, J. and Yang, J., in Preparation, Usability Testing on the TRA-DOC Data Visualization Tool(DaViTo) Using Eye-tracking System. *Military Psychology*.

44. Yang, J., Huston, J., Day, M. and Balogh, I., 2012, Modeling Peripheral Vision for Moving Target Search and Detection, *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 83, pp.585-593.



양 지 현

2001년 서울대학교 기계항공공학부
학사
2003년 MIT 항공우주공학과 석사
2007년 MIT 항공우주공학과 박사
2008년~2011년 National Research
Council, Research Fellow
2011년~2013년 Naval Postgraduate
School, Research Associate
Professor
2013년~현재 국민대학교 조교수
관심분야: Human-Vehicle Interac-
tion, Operator Cognition Modeling
in Manned/Unmanned Systems,
Active Safety Systems



이 상 현

1986년 서울대학교 기계설계학과
학사
1988년 서울대학교 기계설계학과
석사
1993년 서울대학교 기계설계학과
박사
1993년~1995년 신도리코 기술연구
소 책임연구원
1996년 대우 고등기술연구원 선임
연구원
1996년~현재 국민대학교 교수
관심분야: CAD/CAM, 3D Geometric
Modeling, Human-centered
Design, Human-Vehicle Inter-
action, Die & Mold Design