

## HMD기반 비행 시뮬레이터를 위한 혼합현실 영상 생성 기법

현주하<sup>1,†</sup> · 강문혜<sup>2</sup> · 문용호<sup>3,†</sup><sup>1</sup>경상국립대학교 일반대학원 기계항공공학부<sup>2,3</sup>경상국립대학교 공과대학 항공우주및소프트웨어공학부**Mixed Reality Image Generation Method for  
HMD-based Flight Simulator**Joo Ha Hyun<sup>1</sup>, Mun Hye Kang<sup>2</sup> and Yong Ho Moon<sup>3,†</sup><sup>1</sup>School of Mechanical and Aerospace Eng., Gyeongsang National university<sup>2,3</sup>School of Aerospace and Software Eng., Gyeongsang National university**Abstract**

Recently, interest in flight simulators based on HMD and mixed reality is increasing. However, they have limitations in providing various interactions and a sense of presence to pilot wearing HMD. To overcome these limitations, a mixed reality image corresponding to the interaction under the actual cockpit environment must be generated in real time and provided to the pilot. For this purpose, we proposed a mixed reality image generation method, in which the cockpit area including the pilot's body could be extracted from real image obtained from the camera attached to the HMD and then composed with virtual image to generate a high-resolution mixed reality image. Simulation results showed that the proposed method could provide mixed reality images to HMD at 30 Hz frame rate with 99% image composition accuracy.

**초 록**

최근 HMD와 혼합현실에 기반한 비행 시뮬레이터에 많은 관심이 증가하고 있다. 그러나 기존 혼합현실 기반 비행 시뮬레이터는 HMD를 착용한 조종사에게 다양한 상호작용과 실재감을 제공하는 데 한계가 있다. 이를 해결하기 위해서는 실제 조종석 환경하에서 상호작용에 대응하는 혼합현실 영상이 실시간으로 생성되어 조종사에게 제공되어야 한다. 본 논문에서는 HMD에 부착된 카메라에서 얻어지는 현실 영상에서 조종사의 신체를 포함한 조종석 영역을 검출하고, 이를 가상영상과 합성하여 고해상도의 혼합현실 영상을 실시간으로 생성하는 혼합현실 영상 생성기법을 제안하였다. 모의실험 결과는 99%의 영상합성 정확도를 지니고 30Hz 프레임율로 HMD에 혼합현실 영상을 제공할 수 있음을 보여준다.

**Key Words** : Flight Simulation(비행 시뮬레이션), HMD(헤드 마운트 디스플레이), Virtual Reality(가상현실), Mixed Reality(혼합현실), Real-time Image Composition(실시간 영상합성)

**1. 서 론**

20세기 초부터 개발되어 온 비행 시뮬레이터는 실제 비행 환경 및 상황을 모의하는 장치로 항공기 설계

및 검증, 조종사 비행 훈련 등에 널리 활용되고 있다 [1]. 비행 시뮬레이터는 시·공간적 측면에서 다양한 비행 훈련을 효율적으로 수행할 수 있게 할 뿐만 아니라 항공기 운용 시 발생할 수 있는 각종 사고 및 위험을 예방하고 연료 소모, 유지보수 등으로 인한 훈련 비용 및 환경 오염을 감소시킬 수 있게 한다. 이러한 이유로 비행 시뮬레이터는 조종사 양성에 필수적으로 활용되고 있으며 최근 전 세계적으로 신규 조종사 수

Received: Dec. 12, 2022 Revised: Feb. 02, 2023 Accepted: Feb. 03, 2023

† Corresponding Author

Tel: +82-55-772-1374, E-mail: yhmoon5@gnu.ac.kr

© The Society for Aerospace System Engineering

요가 증가할 것으로 예측됨에 따라 고성능 비행 시뮬레이터 개발에 많은 관심이 고조되고 있다[2].

일반적으로 비행 시뮬레이터는 조종사가 조종석 내 장치를 조작하면 이에 대응하는 가상비행 영상이 조종석 외부에 설치된 디스플레이 장치에 시현되어 조종사가 비행 상황을 체감할 수 있도록 한다. 그러나 이러한 비행 시뮬레이터에서는 디스플레이 프레임 밖의 외부 환경이 조종사의 시야에 노출되어 몰입감 및 현장감의 저하를 초래한다. 불필요한 외부 환경 노출을 차단하기 위해 비행 시뮬레이터를 돔 형태로 구성할 경우 이와 같은 한계가 극복될 수 있지만, 설치 공간 및 비용이 증가하고 이동성이 저하되는 등의 또 다른 문제가 야기된다.

최근 이러한 문제의 해결 방안으로서 HMD(Head Mounted Display)와 가상현실(Virtual Reality)을 기반으로 하는 새로운 유형의 비행 시뮬레이터가 주목받고 있다. 일반적인 디스플레이 장치와 비교할 때 HMD는 동일한 해상도를 제공하면서도 상대적으로 작고 저렴할 뿐만 아니라 외부 환경을 차단하면서 입체 영상을 제공할 수 있어 몰입감과 현장감을 향상시킬 수 있는 장점을 지닌다. 그러나 가상현실을 이용한 비행 시뮬레이터에서 HMD를 착용한 조종사는 조종석 내부를 전혀 인지할 수 없으므로 조종석 내 장치 및 계기와 상호작용을 수행할 수 없다. 이는 조종사에게 시현되는 조종석 내부 환경이 가상으로 구현된 영상이기 때문에 조종사는 조종석 내부의 장치를 조작하거나 계기를 확인할 수 없기 때문이다. 이러한 이유로 가상현실 기반 비행 시뮬레이터는 비행 훈련 시에 조종사에게 실재감을 제공할 수 없다는 심각한 문제를 지닌다. 이를 극복하기 위하여 HMD에 카메라를 부착하여 현실 영상을 촬영하고 이를 가상영상과 합성하여 HMD에 시현하는 혼합현실(Mixed Reality) 기반 비행 시뮬레이터가 개발되고 있다[3-6]. 그러나 기존 혼합현실 기반 비행 시뮬레이터는 단순화된 프로토타입의 조종석 환경하에서 제한적인 비행 시뮬레이션만을 제공하는 기초 수준에 머물고 있다. 따라서 기존 비행 시뮬레이터의 제약과 한계를 해소하면서 비행 훈련 효과를 증대시키기 위해서는 HMD를 착용한 조종사에게 보다 다양한 상호작용과 실재감이 제공될 수 있는 기술 개발이 필요하다.

실제 조종석 내부가 충실히 반영된 조종석 환경에서 HMD를 착용한 조종사와 모의 조종석 내 계기 및 장치 간에 다양한 상호작용이 제공되기 위해서는 무엇보다도 상호작용에 대응하는 혼합현실 영상이 실시간으로 생성되어 조종사에게 제공되는 것이 필수적으로 요구된다. 이를 위하여 본 논문에서는 F-16계열 전투기의 HMD에 부착된 카메라에서 촬영되는 현실 영상에서 조종사의 신체를 포함한 조종석 영역을 검출하고, 이를 가상영상과 합성하여 고해상도의 혼합현실 영상을 실시간으로 생성하는 혼합현실 영상 생성기법을 제안한다. 제안하는 혼합현실 영상 생성기법은 HMD를 착용한 조종사가 조종석 내부의 장치 및 계기와 상호작용하는 자신의 신체를 인지할 수 있게 함으로써 현장감과 실재감을 증가시키는 효과를 가져온다. 모의실험은 제안하는 혼합현실 영상 생성기법이 99%의 영상 합성 정확도를 가지며, 혼합현실 영상이 30Hz 이상의 프레임율로 HMD에 제공될 수 있음을 보인다.

## 2. 기존 HMD기반 비행 시뮬레이터

오늘날 가상현실 기술과 혼합현실 기술이 항공우주 분야에 널리 적용되고 있다[7-10]. 실세계에서 발생하는 상황이나 현상을 가상공간에 모의하는 가상현실 기술은 시간, 공간, 환경 등의 제약 없이 시뮬레이션을 수행할 수 있게 한다. 특히 가상현실 기술이 HMD와 결합할 경우 공간과 비용측면에서 보다 높은 몰입감과 현장감을 제공하는 시뮬레이션 개발이 가능해진다. 이러한 이유로 가상현실 기술이 적용된 비행 시뮬레이터는 전통적 비행 시뮬레이터의 대안으로 제시되었다. 그림 1에서 가상현실 기반 비행 시뮬레이터의 예를 보인다. 왼쪽 그림은 가상의 조종석과 손 등이 포함된 가상비행 영상으로서 조종사가 착용한 HMD에 시현된 것이고, 오른쪽 그림은 가상비행 영상이 시현되는 HMD를 착용한 조종사를 보여준다. 그러나 그림에서 알 수 있듯이 조종사는 실제 조종석의 장치 및 계기를 전혀 인식할 수 없고, 장치나 계기를 조작하거나 확인하는 것이 불가능하다. 또한, 조종사가 인지하는 가상비행 영상의 시각 정보와 실제 조종석에 부착된 장치를 통한 촉각 정보 간의 인지 부조화는 몰입감 및 현장감을 저하시키는 결과를 가져온다[10].



Fig. 1 Example of virtual reality based flight simulator [3]



Fig. 2 Examples of mixed reality based flight simulator (Left:[5] , Right:[6])

현실의 객체와 가상의 객체가 공존하면서 상호작용이 이루어질 수 있도록 하는 혼합현실 기술은 가상현실 기반 비행 시뮬레이터의 문제를 극복할 수 있는 방안으로 대두되고 있다. 만약 실제 조종석 환경이 포함된 현실 영상과 비행에 따른 외부 환경변화가 모의된 가상영상이 합성되어 자연스럽게 HMD에 시현된다면, 조종사는 실제 조종석 장치를 조작하면서 이에 대응하여 생성되는 가상영상을 통해 비행 상황을 체감할 수 있을 것이다. 그림 2는 혼합현실 기반 비행 시뮬레이터의 예를 보여준다[3-6]. 그림 2의 시뮬레이터에서는 실제 조종석 영역이 HMD에 부착된 카메라를 통하여 현실 영상으로 얻어진다. 그리고 현실 영상과 가상영상이 합성으로 생성된 혼합현실 영상이 HMD에 시현된다. 따라서 조종사는 HMD를 착용하고도 실제 조종석 내 장치나 계기를 확인·조작하면서 가상영상의 변화에 따른 비행 상황을 체감하는 일을 동시에 수행할 수 있다. 이처럼 혼합현실 기반 비행 시뮬레이터는 비행 훈련 시 조종사에게 몰입감과 현장감 뿐만 아니라 높은 실재감을 제공한다.

그러나 그림 2에서 쉽게 확인할 수 있듯이 기존의 혼합현실 기반 비행 시뮬레이터는 스톱, 스틱과 같은 최소한의 장치와 계기로 구성된 단순화된 조종석 환경하에서 초보적인 비행 훈련만이 제공되는 프로토

타입 수준에 머물고 있다. 따라서 기존 혼합현실 기반 비행 시뮬레이터는 비행 훈련에 필요한 다양한 상호작용을 지원하는 데 한계를 지니고 있으며 현실감과 실재감을 충분히 제공하지 못하고 있다.

### 3. 제안하는 혼합현실 영상 생성 기법

기존 혼합현실 기반 비행 시뮬레이터에서 다양한 상호작용과 함께 현실감 및 실재감이 제공되기 위해서는 무엇보다도 2가지 사항이 기본적으로 요구된다.

- 실제 조종석 환경에서 조종석 장치 및 계기 뿐만 아니라 조종사의 신체가 HMD를 착용한 조종사에게 실시간으로 시현
- 비행 훈련 시에 조종석에 부착된 장치의 조작에 따른 계기 및 외부 환경변화가 HMD를 착용한 조종사에게 실시간으로 시현

이러한 요구사항을 만족시키기 위해서는 실제 조종석 환경과 조종사의 신체를 포함하는 현실 영상과 장치 조작에 따른 비행 환경변화가 모의된 가상영상이 실시간으로 합성된 혼합현실 영상이 HMD에 시현되어야 한다. 본 논문에서는 F-16계열 전투기를 대상으로 HMD에 부착된 카메라에서 촬영되는 현실 영상에서 조종사의 신체를 포함한 조종석 영역을 검출하고, 이

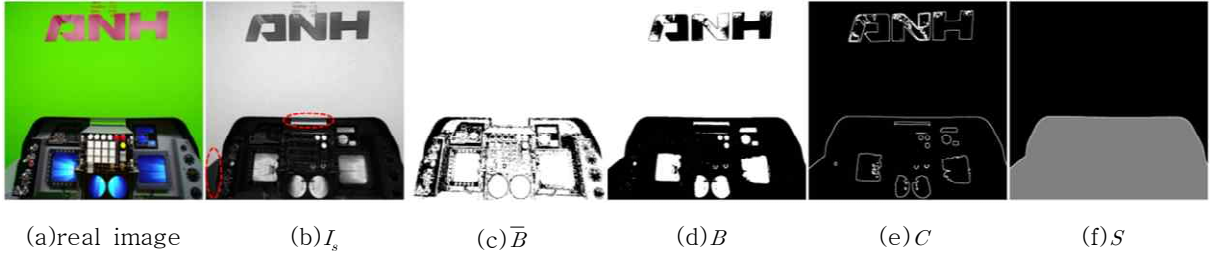


Fig. 3 Intermediate images produced by binarization step

를 가상영상과 합성하여 고해상도의 혼합현실 영상을 실시간으로 생성하는 혼합현실 영상 생성기법을 제안한다. 제안하는 기법은 색 공간 변환, 이진화, 윤곽선 추출, 조종석 영역 검출, 영상합성의 5단계로 구성되며, 각 세부 단계의 역할과 기능은 다음과 같다.

### 3.1 색 공간 변환(Color Space Conversion)

일반적으로 F-16계열 전투기는 조종석의 외관과 내부가 회색 및 검은색 계열의 무채색으로 이루어져 있다. 따라서 HSV 색 공간[11]의 채도 성분을 사용하면 조종석 영역을 대략적으로 검출하는 것이 가능할 것이다. 현실 영상에서  $(i,j)$  위치의 픽셀에 대한 채도 성분  $I_s(i,j)$ 은 식(1)과 같이 얻어진다.

$$I_s(i,j) = \begin{cases} \frac{I_v(i,j) - \min(I_r(i,j), I_g(i,j), I_b(i,j))}{I_v(i,j)} & \text{for } I_v(i,j) \neq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{where } I_v(i,j) = \max(I_r(i,j), I_g(i,j), I_b(i,j))$$

식(1)에서  $I_r(i,j)$ ,  $I_g(i,j)$ ,  $I_b(i,j)$ 은  $(i,j)$  위치의 픽셀에서 현실 영상의 R성분, G성분, B성분을 각각 나타낸다. 일반적으로 채도 성분은 색에 대한 탁한 정도를 나타내며 무채색일수록 0에 가까운 값을 지닌다. 따라서 채도 성분이 작은 값을 지니는 픽셀의 경우 조종석 영역에 존재할 가능성이 매우 높을 것이다.

그러나 조종석 영역에 속하면서도 채도 성분이 큰 값을 지니는 픽셀이 존재할 수 있다. 예를 들어 조종사의 손과 같은 신체, 조종석 내 버튼, 계기의 신호 불빛 등은 무채색이 아닌 유채색인 경우가 대부분이다. 따라서 단순히 채도 성분만으로 조종석 영역을 검출하는 것은 한계가 존재하며 완벽하게 조종석 영역을 검출하기 위해서는 추가적인 작업이 요구된다.

### 3.2 이진화(Binarization)

이진화 단계에서는 현실 영상내 픽셀들을 조종석 영역에 속하는 픽셀과 조종석 영역에 속하지 않는 픽셀로 분류하기 위하여 1단계에서 얻어진 채도 성분  $I_s(i,j)$ 에 대하여 식(2)와 같이 이진화를 수행한다.

$$\bar{B}(i,j) = \begin{cases} 0 & \text{for } I_s(i,j) < Th1 \\ 255 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

식(2)에 의해 얻어진 이진영상  $\bar{B}$ 에서 조종석 영역에 속하는 픽셀은 밝기값이 0(검은색)으로 표시되고 조종석 영역에 속하지 않는 픽셀은 밝기값이 255(흰색)로 표시되게 된다. 그림 3의 (c)는 식(2)에 의해 검은색으로 표시되는 모든 픽셀들이 조종석 영역에 포함되고 있음을 보여준다.

그러나 그림 3의 (b)에 붉은색 점선으로 표시된 부분과 같이 실제로는 조종석 영역에 속하는 픽셀이지만 식(2)에 의하여 흰색으로 표시되는 것을 그림 3의 (c)로부터 쉽게 확인할 수 있다. 이러한 오류를 제거하기 위하여  $Th1$ 보다 큰 임계값  $Th2$ 을 이용하여 식(3)과 같이 이진화를 다시 수행하면 그림 3의 (d)와 같은 새로운 이진영상  $B$ 가 얻어진다. 그림 3의 (d)에서 확인할 수 있듯이 실제 조종석 영역에 속한다고 판단되는 픽셀들은 모두 검은색으로 표시된다. 그러나 이진영상  $B$ 의 조종석 내부에는 흰색의 픽셀들도 존재함을 알 수 있다. 이것은 이진화 기법만으로 조종석 영역을 검출하는 것은 한계가 있음을 보여준다.

$$B(i,j) = \begin{cases} 0 & \text{for } I_s(i,j) < Th2 \\ 255 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

### 3.3 윤곽선 추출(Contour Extraction)

그림 3의 (d)에서 조종석 내부와 외부는 최외곽 경계선에 해당하는 조종석의 윤곽선에 의하여 뚜렷하게 분리되고 있음을 쉽게 확인할 수 있다. 이것은 조종석

윤곽선을 검출한다면 윤곽선 아래쪽에 존재하는 픽셀들은 밝기값과 상관없이 조종석 영역이라고 분류할 수 있다는 것을 의미한다. 아울러 윤곽선 위쪽에 존재하는 검은색 픽셀들은 자연히 조종석 외부 영역으로 분류될 수 있을 것이다. 더구나 조종사가 조종석에 탑승한 경우라 하더라도 조종사의 신체 부위는 윤곽선 아래의 영상 하단부에 위치하기 때문에 윤곽선 아래쪽을 조종석 영역으로 분류하더라도 혼합영상 생성에 문제가 야기되지 않을 것이다. 따라서 조종석 영역 검출을 위해서는 이진영상  $B$ 에서 조종석의 윤곽선을 추출하는 것이 필요하다.

일반적으로 윤곽선 추출은 에지 정보를 기반으로 수행된다. 그런데 이진영상  $B$ 는 채도 성분의 영상이 이진화된 것이기 때문에 Sobel 방식이나 Canny 방식 등과 같은 기존의 에지 추출 방식은 효과적이지 않다. 따라서 이진영상  $B$ 에 대하여 효과적으로 에지 정보를 추출할 수 있는 방식이 요구된다. 그림 3의 (d)를 살펴보면 에지로 판단되는 픽셀의 경우 흰색과 검은색의 픽셀들이 주변에 비슷한 비율로 존재하는 반면에 에지로 판단되지 않는 픽셀의 경우에는 그 주변이 검은색 또는 흰색 픽셀들로만 구성되어 있음을 알 수 있다. 이러한 특징에 기반하여 본 논문에서는 식 (4)와 같이 에지 추출을 수행한다.

$$C(i,j) = \begin{cases} 255 & \text{for } (W_h \cdot W_v)/2 < n(i,j) < W_h \cdot W_v \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{where } n(i,j) = \sum_{x=-(W_h-1)/2}^{(W_h-1)/2} \sum_{y=-(W_v-1)/2}^{(W_v-1)/2} B(i+x, j+y) / 255$$

식(4)에서는  $(i,j)$ 위치에 존재하는 픽셀에  $W_h \times W_v$  윈도우를 설정하고 윈도우내 존재하는 흰색 픽셀들의 개수를 이용하여 에지 여부를 결정한다. 그림 3의 (e)는 식 (4)를 통하여 얻어진 에지영상이다. 조종석 영역을 포함하는 윤곽선이 얇은 띠 형태로 선명하게 표시되고 있음을 확인할 수 있다.

### 3.4 조종석 영역 검출(Cockpit Area Extraction)

조종석 영역 검출 단계에서는 다양한 상황에서 조종석 영역이 강건하게 검출될 수 있도록 하기 위하여 플러드 필(Flood Fill) 기법에 기반하여 조종석 영역을 검출한다. 플러드 필 기법[12]은 시작 지점의 픽셀 값

과 동일한 픽셀 값이 주위 4방향 또는 8방향에 있을 때 이를 특정 값으로 채우는 기능을 수행한다. 그러나 플러드 필 기법은 특정한 값으로 이미 채운 픽셀로 돌아와서 다시 주위 4 또는 8방향을 확인하는 재귀적 과정으로 인하여 순차적인 방식으로 동작하기 때문에 병렬 처리가 불가능하여 실시간성에 한계를 지닌다.

이를 해결하기 위하여 본 논문에서는 병렬 처리가 가능하도록 플러드 필기법을 스캔라인(Scanline) 방식으로 변형하였다. 스캔라인 방식은 영상을 한 줄 단위로 처리하므로 주어진 픽셀의 위쪽과 아래쪽 방향으로 제한하여 플러드 필 기법을 적용한다. 따라서 스캔라인 방식은  $\bar{B}(i,j)$ 로부터 초기 시작 지점을 설정한 후 위쪽 방향으로만 채우다가 윤곽선을 만나면 초기 시작점으로 돌아와서 아래쪽 방향을 마저 채우면 되기 때문에 조종석 영역과 외부 영역을 완벽하게 분리할 수 있다. 이러한 원리에 기초하여 조종석 영역 검출 단계에서는 그림 4와 같이  $M \times N$  영상에 대한 조종석 영역 검출을 수행한다.

그림 4의 조종석 영역 검출 방식은 주어진 라인에 있어서 시작점을 선정하는 과정과 선정된 시작점에서 조종석 영역을 검출하는 과정으로 구성된다. 만약 에지영상  $C$ 의  $(i,j)$ 위치에 존재하는 픽셀이 0값을 가지고 있고 이진영상  $\bar{B}$ 의  $(i,j)$ 위치에 존재하는 픽셀에 대하여  $W_h \times W_v$  윈도우 영역내에 255값을 지니는 픽셀이  $(W_h \cdot W_v)/2$ 개 이상이라면  $(i,j)$ 위치는 시작점으로 선정된다. 그리고 선정된 시작점에서부터 위쪽방향으로 이동하며 윤곽선선을 만날 때까지 픽셀 값을 128로 채워 나간다. 그리고 윤곽선을 만나게 되면 초기 시작점의 바로 아래 픽셀로 이동하여 아래쪽 방향으로 이동하면서 영상의 마지막에 도달할 때까지 픽셀 값을 128로 픽셀 값을 채운다. 이와 같은 과정이 모든 라인에 걸쳐 완료되면 조종석 영역에 있는 픽셀은 128, 조종석이 아닌 영역에 존재하는 픽셀은 0, 그리고 영역간 경계에 위치하는 픽셀은 255의 값을 각각 지니게 된다. 그림 3의 (f)는 그림 4의 조종석 영역 검출 과정에 의하여 얻어진 최종 결과 영상이다. 그림 3의 (f)에서 조종석 영역이 128(회색)로 설정된 반면에 외부 영역은 0(검은색)으로 설정되어 있음을 알 수 있다. 그리고 회색과 검은색이 만나는 경계 영역에 흰색의 얇은 띠가 존재하는 것을 볼 수 있다.

Pseudo-code Cockpit Area Extraction	
01:	<b>function</b> Cockpit Area Extraction( $\bar{B}, C, S$ )
02:	<b>inputs</b>
03:	$\bar{B}, C$ is input image
04:	<b>output</b>
05:	$S$ is output image
06:	<b>start</b>
07:	<b>for</b> ( $i = 0, i < M, i++$ )
08:	<b>for</b> ( $j = N - 1, j > 0, j--$ )
09:	<b>if</b> $C(i, j) = 0$
10:	$n(i, j) = \sum_{x=-\frac{W_h-1}{2}}^{\frac{W_h-1}{2}} \sum_{y=-\frac{W_v-1}{2}}^{\frac{W_v-1}{2}} \frac{\bar{B}(i+x, j+y)}{255}$
11:	<b>if</b> $n(i, j) \geq \frac{W_h \cdot W_v}{2}$
12:	<b>for</b> ( $y = 0, j - y > 0, y++$ )
13:	<b>if</b> $C(i, j - y) = 0$ <b>then</b> $S(i, j - y) = 128$
14:	<b>else</b> $S(i, j - y) = 255$ <b>break</b>
15:	<b>end for</b>
16:	<b>for</b> ( $y = j + 1, y < N, y++$ )
17:	$S(i, y) = 128$
18:	<b>end for</b>
19:	$j = 0$
20:	<b>end for</b>
21:	<b>end for</b>
22:	<b>end</b>

Fig. 4 Pseudo-code for cockpit area extraction

### 3.5 영상 합성(Image Composition)

마지막 영상합성 단계에서는 조종석 영역 검출 단계의 결과를 토대로 현실영상과 가상영상이 합성된 혼합 현실 영상이 최종 생성된다. 일반적으로 현실영상과 가상영상을 단순히 중첩하여 결합한다면 현실영상과 가상영상이 만나는 경계선 영역이 시각적으로 부자연스럽게 느껴지는 상황이 빈번하게 발생한다. 이러한 이질감을 감소시키면서 영상 합성이 자연스럽게 이루어지도록 하기 위하여 영상 합성 단계에서는 알파 블렌딩 기법에 기초하여 혼합현실 영상이 생성된다. 식 (5)는 조종석 영역 검출 단계에서 얻어진 영상  $S$ 를 이용하여 혼합현실 영상이 얻어지는 방식을 보여준다.

$$M(i, j) = \begin{cases} (I_r(i, j), I_g(i, j), I_b(i, j), 255) & \text{for } S(i, j) = 128 \\ I_r(i, j), I_g(i, j), I_b(i, j), 128) & \text{for } S(i, j) = 255 \\ (V_r(i, j), V_g(i, j), V_b(i, j), 255) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

식 (5)는  $S(i, j)$ 가 0의 값을 지니면 혼합현실 영상의  $(i, j)$ 위치에 존재하는 픽셀이 가상영상  $V$ 의 RGB값

과 255로 구성됨을 보여준다. 여기서 255는 불투명을 의미하는 알파값이다. 그리고  $S(i, j)$ 가 128일 경우  $(i, j)$ 위치에 존재하는 혼합현실 영상의 픽셀은 현실영상의 RGB값과 255의 알파값을 지니게 된다. 반면에  $S(i, j)$ 가 255의 값을 지니는 경우에는 대응하는 위치에 존재하는 혼합현실 영상의 픽셀은 현실영상의 RGB값과 128의 알파값으로 구성되게 된다. 일반적으로 알파값이 128이면 주어진 RGB값이 50%의 투명도로 디스플레이되게 된다. 4 단계에서 설명한 바와 같이  $S(i, j)$ 가 255의 값을 지니는 픽셀들은 흰색의 얇은 띠로 표시되는 경계선 영역을 형성한다. 따라서 식 (5)는 경계선 영역에서의 투명도를 50%로 설정함으로써 경계선 영역의 이질감이 감소되는 효과를 가져온다.

## 4. 모의 실험

본 논문에서는 제안하는 혼합현실 영상 생성기법의 성능을 검증하기 위하여 조종석 영역 검출 정확도와 영상합성 속도를 측정하였다. 이를 위하여 먼저 서로 다른 신체 조건을 지닌 3명의 실험 참가자로부터 각각 100장씩 촬영된 총 300장의 현실영상을 수집하였다. 그리고 영상 편집 도구를 사용하여 수집된 현실영상들에서 조종석 영역을 픽셀단위로 조사하여 300장의 Ground Truth 영상  $G(i, j)$ 를 구하고 3개의 Data Set(D1, D2, D3)으로 분류하였다. 그림 5는 본 논문에서 영상 편집 도구를 사용하여  $G(i, j)$ 를 구하는 과정과 사례를 보여준다. 또한 본 논문에서는 제안하는 기법이 실시간으로 영상 합성을 수행할 수 있도록 하기 위하여 CUDA기반 병렬 처리 기법을 적용하였다.

본 논문에서는 제안하는 기법의 조종석 영역 검출 정확도를 확인하기 위하여 식 (6)과 같이 정확도(Accuracy)를 정의하였다. 식 (6)에서  $M$ 과  $N$ 은 영상의 가로와 세로의 크기를 나타낸다.

$$Accuracy(\%) = \left\{ 1 - \frac{1}{NM} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} e(i, j) \right\} \times 100 \quad (6)$$

$$\text{where } e(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{for } S(i, j) \neq G(i, j) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

식 (6)의 정확도는 주어진 영상의 전체 픽셀 개수에 대하여  $S(i, j)$ 와  $G(i, j)$ 간 불일치하는 픽셀의 수가 차지

(a) real image (b)  $G(i,j)$ **Fig. 5** Examples of ground truth image

하는 비율을 나타낸다.

표 1은 표 2와 같은 사양을 지니는 HMD를 이용하여 3개의 Data Set으로부터 얻어진 정확도 결과를 정리한 것이다. 표 1로부터 제안하는 기법이 최소 98.8%, 평균 99.3%의 정확도로 조종석을 검출하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 본 논문에서 제안하는 기법이 현실 영상과 가상영상을 효과적으로 합성한다는 것을 의미한다. 그리고 그림 6은 조종사와 조종석 간 위치에 대한 대표적인 6가지 상황에 대하여 제안하는 기법의 세부 단계별 처리 결과를 보여준다. 그림 6의 왼쪽부터 현실영상, 채도성분, 윤곽선 영상, 조종석 영역 검출 영상, 그리고 최종 혼합현실 영상이 위치한다. 표 1과 그림 6으로부터 제안하는 혼합현실 영상 생성 기법의 우수성을 확인할 수 있다.

본 논문에서 제안하는 혼합현실 영상 생성기법이 실시간으로 혼합현실 영상을 생성할 수 있는지를 확인하는 것은 매우 중요한 의미를 지닌다. 이러한 이유로 본 논문에서는 3개의 Data set에 대하여 제안하는 기법의 동작하는데 소요된 시간을 측정하였다. 표 3은 3개의 Data set에 대하여 제안하는 기법이 HD급 혼합현실 영상 1장을 합성하는 데 소요된 시간을 나타낸 것이다. 표 3에서 제안 기법이 최대 30msec, 평균 25msec의 시간안에 합성 영상을 완료한다는 것을 알 수 있다. 일반적으로 실시간 처리에서 요구하는 시간

**Table 1** Accuracy of the proposed method

Data Set	Accuracy(%)		
	Max	Min	Average
D1	99.9	98.81	99.32
D2	99.87	98.82	99.33
D3	99.88	98.8	99.44

**Table 2** Specifications of HMD

	Resolution	Frame Rate	FoV	Weight
Camera	2048x1536	120Hz	-	33g
Renz	-	-	110°	80g
HMD	2160x1200	90Hz	110°	470g

**Table 3** Processing time of the proposed method

Data Set	Time(msec)		
	Max	Min	Average
D1	29.64	19.28	24.68
D2	29.84	19.23	24.69
D3	29.94	19.26	24.69

이 33msec미만이라는 사실을 고려할 때 본 논문에서 제안하는 기법이 실시간성을 만족시키고 있음을 알 수 있다.

## 5. 결 론

기존의 혼합현실 기반 비행 시뮬레이터는 HMD를 착용한 조종사에게 다양한 상호작용과 실제감을 제공하는데 있어서 한계를 지니고 있다. 이를 극복하기 위해서는 무엇보다도 실제 조종석 내부가 충실히 반영된 조종석 환경하에서 상호작용에 대응하는 혼합현실 영상이 실시간으로 생성되어 조종사에게 제공되어야 한다. 이를 위하여 본 논문에서는 F-16계열 전투기에 대하여 고해상도의 혼합현실 영상을 실시간으로 생성하는 혼합현실 기법을 제안하였다. 5단계로 구성되는 제안 기법은 HMD에 부착된 카메라에서 촬영되는 현실영상에서 조종사의 신체를 포함한 조종석 영역을 검출하고 이를 가상영상과 합성하여 고해상도의 혼합현

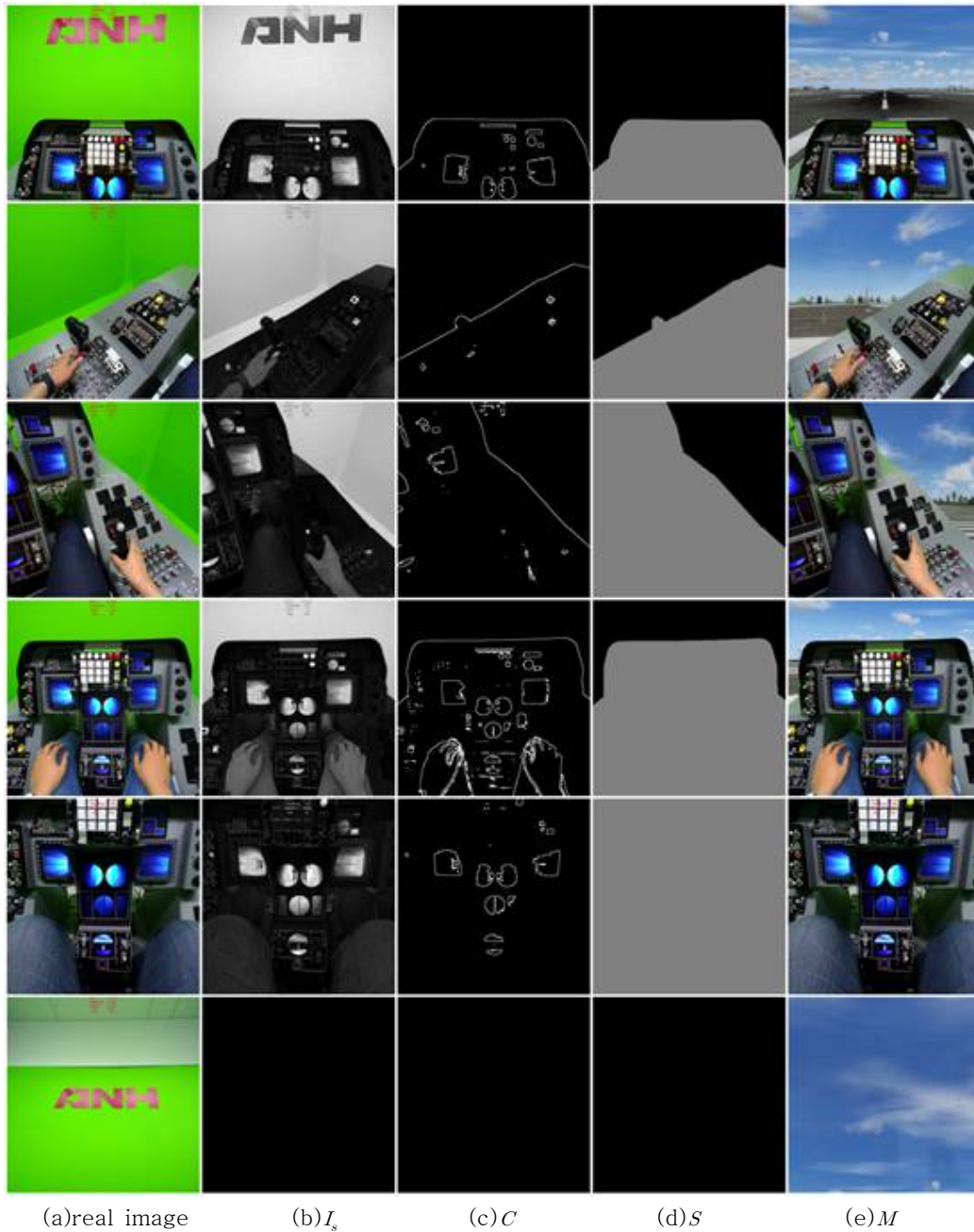


Fig. 6 Intermediate images and mixed reality image produced by the proposed method

실 영상을 생성한다. 3개의 Data Set에 대하여 수행된 모의실험은 본 논문에서 제안하는 기법이 99%의 영상 합성 정확도를 지니고 있으며, 1장의 HD급 혼합현실 영상을 30msec 이하의 시간안에 생성할 수 있음을 보여주었다. 따라서 기존의 혼합현실 기반 비행 시뮬레이터의 한계를 극복하는 데 있어서 중요한 역할을 한다는 것을 알 수 있다.

## References

- [1] D. Allerton, *Principles of Flight Simulation*, John Wiley & Sons, 2009.
- [2] D. J. Allerton, "The Impact of Flight Simulation in Aerospace," *The Aeronautical Journal*, vol. 114, no. 1162, pp. 747-756, Dec. 2010.



- [3] Bohemia Interactive Simulations(BISim) to demonstrate VR Flight Simulator and Sea Air Space, International Training Equipment Conference (ITEC), May 2016. (<https://bisimulations.com/company/news/press-releases/bisim-demonstrate-vr-flight-simulator-and-sea-air-space-itec-2016>)
- [4] MOREIRA, Vítor Manuel Pinto. Mixed Reality for Manufacturing Execution Systems. 2018. PhD Thesis. Instituto Politecnico do Porto (Portugal).
- [5] Enhanced pilot training via VR, The Journal for Civil Aviation Training(CAT), 2020. (<https://www.bluetoad.com/publication/?i=658622> & [article\\_id=3663803](#) &view= articleBrowser)
- [6] Flight Safety International, Flight Safety Mixed Reality Flight, 2019. (<https://resources.flightsafety.com/flight-simulation/mixed-reality-flight/>)
- [7] O. Erat, W. A. Lsop, D. Kalkofen and D. Schmalstieg, "Drone-augmented human vision : exocentric control for drones exploring hidden areas," *IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics*, vol. 24, no. 4, pp. 1437-1446, 2018.
- [8] N. McHenry, T. Hunt, W. Young, A. Gardner, U. Bhagavatula, B. Bontz, J. Chiu, G. Chamitoff and A. Diaz-Artiles, "Evaluation of pre-flight and on orbit training methods utilizing virtual reality," *AIAA Scitech 2020 Forum*, Jan. 2020.
- [9] D. H. Klyde, J. R. Gray and G. Park, "A mixed reality simulation tool for in-flight evaluations," *AIAA Scitech 2020 Forum*, Jan. 2020.
- [10]A. S. Vempati, H. Khurana, V. Kabelka, S. Flueckiger, R. Siegart, and P. Beardsley, "A virtual reality interface for an autonomous spray painting UAV," *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 4, no. 3, pp. 2870-2877, 2019.
- [11]J. D. Foley, A. van Dam, S. K. Feiner, and J. Hughes, *Computer Graphics: Principles and Practice*, Addison-Wesley, 995
- [12]G. Bradski and A. Kaehler, *Learning OpenCV: Computer vision with the OpenCV library*, O'Reilly Media, Inc., 2008.