

3차원 위성영상과 센서영상의 정합에 의한 가상표적 overlay 기법

차 정 희[†] · 장 효 종[‡] · 박 용 운^{**} · 김 계 영^{***} · 최 형 일^{****}

요 약

제한된 훈련장안에서 실전에 대비한 훈련이 되려면, 다양한 전투상황이 부여된 현실감 있는 모의훈련이 필수적이다. 본 논문에서는 현실감 있는 모의훈련을 위해 가상영상이 아닌 지상기반 CCD 카메라영상에 지정된 시나리오대로 가상표적을 전시하는 방법을 제안한다. 이를 위해 고 해상도 GeoTIFF(Geographic Tag Image File Format) 위성영상과 DTED(Digital Terrain Elevation Data)를 이용하여 현실감 있는 3차원 모델을 생성(운동자용)하고, 입력된 CCD 영상(운동자, 훈련자용)으로부터 도로를 추출하였다. 위성영상과 지상기반 센서영상은 관측위치, 분해능, 스케일 등에 많은 차이가 있어 특징기반 정합이 어렵다. 따라서 본 논문에서는 영상 워핑함수인 TPS(Thin-Plate Spline) 보간 함수를 일치하는 두개의 제어점 집합에 적용하여 3차원 모델에 표시된 이동경로를 따라 CCD 영상에서도 표적이 전시되는 이동 동기화 방법을 제안하였다. 실험 환경은 Pentium4 1.8MHz(RAM 512M)의 PC 2대를 사용하였으며, 실험 영상은 대전지역의 위성영상과 CCD 영상을 이용, 제안한 알고리즘의 유효성을 입증하였다.

Virtual Target Overlay Technique by Matching 3D Satellite Image and Sensor Image

Jeong-Hee Cha[†] · Hyo-Jong Jang[‡] · Yong-Woon Park^{**}
Gye-Young Kim^{***} · Hyung-Il Choi^{****}

ABSTRACT

To organize training in limited training area for an actual combat, realistic training simulation plugged in by various battle conditions is essential. In this paper, we propose a virtual target overlay technique which does not use a virtual image, but projects a virtual target on ground-based CCD image by appointed scenario for a realistic training simulation. In the proposed method, we create a realistic 3D model (for an instructor) by using high resolution Geographic Tag Image File Format(GeoTIFF) satellite image and Digital Terrain Elevation Data (DTED), and extract the road area from a given CCD image (for both an instructor and a trainee). Satellite images and ground-based sensor images have many differences in observation position, resolution, and scale, thus yielding many difficulties in feature-based matching. Hence, we propose a moving synchronization technique that projects the target on the sensor image according to the marked moving path on 3D satellite image by applying Thin-Plate Spline(TPS) interpolation function, which is an image warping function, on the two given sets of corresponding control point pair. To show the experimental result of the proposed method, we employed two Pentium4 1.8MHz personal computer systems equipped with 512MBs of RAM, and the satellite and sensor images of Daejeon area are also been utilized. The experimental result revealed the effectiveness of proposed algorithm.

키워드 : 3차원 모델링(3D Modeling), GIS 정합(GIS Matching), 가상표적 overlay(Virtual Target Overlay), TPS 보간함수(Thin-Plate Spline Interpolation Function)

1. 서 론

무기체계 및 훈련, 전쟁 관련 가상현실(Virtual Reality)

기술이 현재의 추세대로 발전하게 되면 장래에는 거의 모든 전술적인 행동들이 컴퓨터를 통하여 이루어질 것이라는 사실은 의심의 여지가 없을 것이다. 1990년대 후반부터 인식된 CBT(Computer Based Training)의 중요성은 그동안 많은 비용이 소요되었던 기존의 훈련과정을 다양한 모의훈련 기술로 대체하기 위한 본격적인 연구를 가능하게 하였다. 특히 전차 조종훈련의 경우, 실전차 사용으로 발생할 수 있는 유류소모와 유지비용, 훈련장 제한 등의 현실적인 문제점을

※ 본 연구는 국방과학연구소 기초연구과제(과제번호 ADD-03-06-04)지원으로 수행된 것으로 특별히 연구수행에 많은 도움을 주신 국방과학연구소 책임연구원 박용운 박사님께 감사드립니다.

† 준 회원 : 송실대학교 대학원 컴퓨터학과

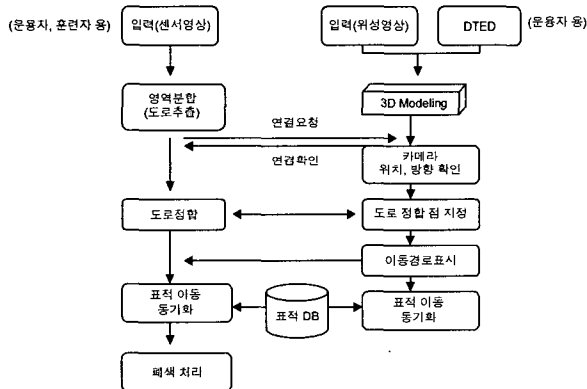
‡ 정 회원 : 국방과학연구소 책임연구원

*** 중신회원 : 송실대학교 컴퓨터학과 교수

**** 중신회원 : 송실대학교 미디어학부 교수

논문접수 : 2004년 7월 20일, 심사완료 : 2004년 10월 7일

해소하고 실제 전차와 동일한 조종수실에서 다양한 지형, 기후조건, 전투 임무상황 등을 체험할 수 있는 실전과 유사한 모의훈련을 위한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 본 논문에서는 현재의 가상영상, 가상표적 기반[14, 15]의 실내 모의훈련을 보다 현실감 있게 수행하기 위하여 훈련용 차량에 탑재된 지상기반 CCD 센서영상(실제 환경)에 운용자가 정한 시나리오 포인트에 의해 가상의 3차원 표적을 출현시키는 기술을 연구하였다. 이를 위해 먼저 훈련지역이 포함되어 있는 위성영상을 수치지형도인 DTED와 결합하여 운용자용 실감있는 3차원 모델을 생성하였다. 3차원 모델이 완성된 후 훈련지역과 떨어진 지역에서 운용자가 선택하는 이동 시나리오에 의해 CCD 센서 영상(훈련용)위에 표적이 동기화되기 위해서는 위성영상과 지상기반 센서영상의 정합이 이루어져야 한다. 영상정합은 두개의 영상에서 대응되는 화소들이 물리적인 현장(scene)에서도 서로 일치되도록 두 영상을 공간적으로 정합하는 과정으로, 많은 영상처리 응용분야에서 동일 장면에 대해 두개, 혹은 더 많은 영상을 화소마다 비교해야 할 때 필연적으로 해결해야 하는 문제이다. 그러나 기존 연구[1]에서 영상정합은 대부분 동일 센서, 동일 장면에 대해 영상처리 과정을 거쳐 영역기반이나 특징기반의 기술을 사용, 일치성 여부를 확인하고 있고, 위성영상과 지상기반 센서영상의 정합처럼 관찰위치, 분해능, 영상 취득시기 등이 차이가 있는 경우 정확한 특징기반 정합이 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 표적의 정밀위치 획득을 위해 탑재된 CCD 카메라의 센서영상(모노영상)과 3차원 위성영상을 정합하고 운용자가 현장에서 정한 시나리오에 의해 위성영상과 동일한 위치에 센서영상의 가상표적이 동기화되어 이동하는 방법을 (그림 1)과 같이 제안하였다. 위성영상에서 차량의 대략적인 위치(Localization)는 10M의 정확도를 가진 GPS에 의해 확인하고, 오차 보정을 위해 운용자가 인터페이스를 이용하여 방향과 두 영상에서의 도로상의 일치된 몇 개의 위치를 지정하는 반자동 정합방법을 사용하였다, 그리고 지정된 점들에 영상위평 방법중 TPS 보간함



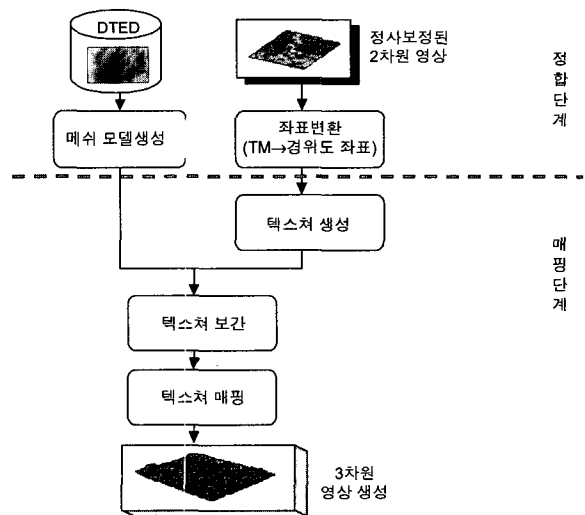
(그림 1) 표적 이동 동기화 알고리즘의 주요 단계

수[2, 3]를 적용, 두 영상 간 공간적인 변형을 정규화하여 센서영상의 동일 위치에서 가상의 표적이 동기화 되도록 하였다. 또한 추출된 도로를 따라 표적이 이동할 때, 좌표 변화와 각도를 계산하고 폐색영역 여부를 확인하여 형태, 방향을 변형시켰다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 위성영상의 3차원 모델링에 대해 설명하고, 3장에서는 3차원 모델과 센서영상과의 정합을 통한 표적 이동 동기화에 대해 설명한다. 4장에서는 실험결과를, 그리고 5장에서는 결론 및 향후 연구 방향에 대해 논의한다.

2. 3차원 모델링

3차원 모델링기술[4, 5]은 실세계나 가상현실 속에 존재하는 물체를 3차원 좌표계를 사용하여 표현하는 기술로, 모델링기법은 볼륨(volume)기반 기법 및 면(surface)기반 기법으로 분류[6]할 수 있다. 수치지형도의 입체적인 표현과 사진 및 영상 자료와의 결합을 통한 3차원 모델링작업은 고해상도 위성영상과 정확한 위치정보를 기반으로 지도제작, 건설, 환경, 지질자원 분야 등 다양한 응용분야에 적용이 이루어지고 있다. 최근에는 볼륨(volume)기반 기법과 면(surface)기반 기법외에 컴퓨터비전 기술을 기반으로 물체의 3차원 형상에 대한 정보를 추출하고 이를 바탕으로 폴리곤 메쉬를 생성하는 영상기반 모델링기법[7]의 연구가 활발하게 진행되고 있다. 본 연구에서는 면기반 기법인 폴리곤 메쉬모델을 구성하여 위성영상과 정합을 수행하였고, 매핑 단계에서 사실감있는 표현과 왜곡현상을 줄이기 위해 이방성 보간법을 사용하였다. (그림 2)는 본 연구에서 사용한 3차원 모델링의 구성도로 정합과 매핑의 두 단계로 나누어진다. 정합 단계에서는 DTED를 이용하여 메쉬 모델을 구성하고 정사보



(그림 2) 3차원 모델링 구성도

정된 위성 영상인 GeoTIFF의 TM 좌표계를 메쉬 모델의 경위도 좌표계로 변환하여 정합을 수행한다. 매핑 단계에서는 생성된 메쉬 모델과 텍스처를 매핑시키는데, 이때 보간법을 적용하여 현실감있는 3차원 모델을 만든다. 메쉬는 DTED의 각 정점의 고도정보를 이용하여 구성하였는데, 삼각 메쉬 두 개로 구성된 사각 메쉬를 사용하였다. 텍스처는 정합을 통해서 결정된 매핑 좌표를 가진 위성영상으로, 이방성 보간법을 이용하여 텍스처가 메쉬 모델에 적용 됐을 때 부드러운 영상을 표현하도록 하였다.

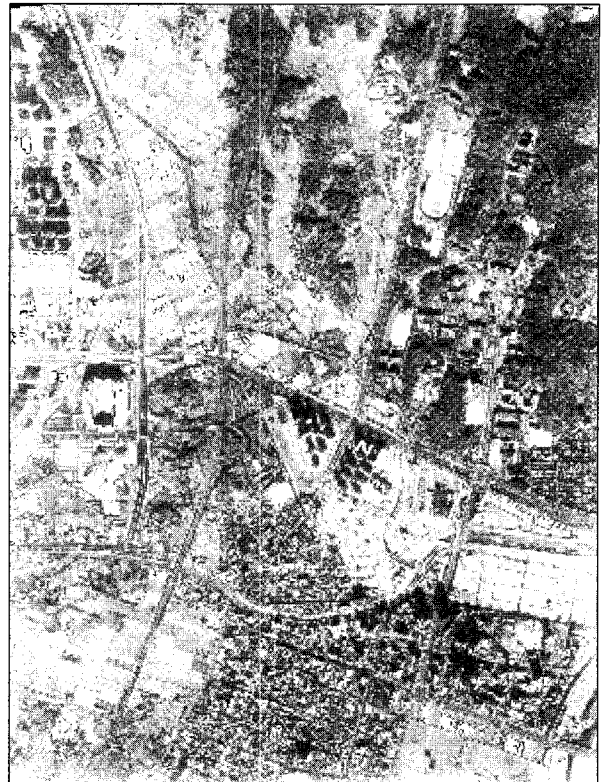
2.1 DTED와 위성영상의 정합

DTED는 30M 격자 단위로 고도정보가 있는 NIMA(The National Imagery and Mapping Agency)형식의 Level 2 등급을 사용하였으며, 3차원 모델을 생성하는데 필요한 2차원 좌표에 대한 고도정보를 가지고 있으므로 이를 이용하여 3차원 메쉬 모델을 만든다. 메쉬 모델을 만들기 위해서는 메쉬의 각 정점들로 이루어진 인덱스 버퍼를 생성해야 하는데, 삼각형 리스트를 사용함으로써 중복된 정점수를 줄일 수 있었다. 이를 통해 렌더링 시간을 단축시킬 수 있으며, 모델 구성시 기존의 메쉬 모델보다 정확한 모델 생성이 가능하였다.

GeoTIFF(Geographic Tag Image File Format)는 위성 영상에 지리정보를 태그 형식으로 저장할 수 있는 그래픽 파일 포맷인데, 본 논문에서 사용한 파일은 TM좌표 형식의 지리정보를 가지고 있다. TM좌표(Transverse Mercator)는 임의의 지역에 대한 기준 지점을 좌표 원점으로 정하고 원점을 중심으로 TM 투영한 평면상에서 원점을 지나는 자오선을 X축, 동서방향의 위도선을 Y축으로 하여 각 지점의 위치를 M단위의 평면 직각 좌표계로 표시하며, 우리나라의 경우에는 크게 3구역(중부원점, 서부원점, 동부원점)으로 나누어 좌표를 표시하고 있다.

반면에 구성된 메쉬모델은 경위도 좌표계를 사용하고 있는데, 이 좌표계는 지구 타원체를 동서방향의 위도선과 남북방향의경도선을 도, 분, 초로 표시하며 투영법의 종류에 관계없이 임의의 위치점을 표현할 수 있는 장점을 가지고 있다. 따라서 메쉬모델과 위성 영상의 좌표계가 서로 다르기 때문에 정합을 위해서는 위성영상의 TM 좌표계를 메쉬모델의 경위도 좌표계로 변환하였다. 실험에서는 위성 영상의 기준지점과 DTED와의 매핑을 위해 Bursa → Wolf 방식에 의해 TM 좌표계를 경위도 좌표로 변환하였다.

(그림 3)은 표현할 대전지역의 GeoTIFF 위성영상으로 한 픽셀 당 1M의 비율로 구성되어 있다. 영상 크기가 2777 × 3388 화소로 2777M × 3388M 영역을 표현하고 있다. 또한 <표 1>은 (그림 3)의 위성영상에서 구한 영상 각 모서리의 TM좌표이고, <표 2>는 추출된 GeoTIFF Upper Left의 TM좌표를 위도와 경도로 변환한 것이다.



(그림 3) 대전지역 위성영상(GeoTIFF)

<표 1> 추출된 TM좌표

위성 영상의 위치	TM 좌표
Upper Left	228647.664, 320035.047
Lower Left	228647.664, 316647.047
Upper Right	231424.664, 320035.047
Lower Right	231424.664, 316647.047
Center	230036.164, 318341.047

<표 2> 변환된 좌표

	도	분	초
위도	36	20	50.225742
경도	127	19	9.020083

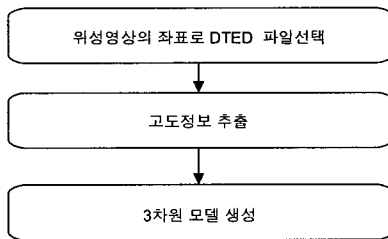
2.2 텍스처 매핑

매핑 단계에서는 DTED와 위성영상의 정합을 통해 알아낸 좌표를 기준으로 하나의 사각 메쉬에 대응하는 위성영상 영역을 입힌다. 이때 사실감 표현을 위해서 보간 방법을 사용하는데, 기존의 보간 방법인 이선형과 삼선형 보간에서는 텍스처의 화소를 기준으로 주위에 있는 정사각의 샘플링 영역 안에 있는 화소를 이용하여 보간을 하기 때문에 텍스처가 관찰자의 시점으로부터 많이 기울어져 있을 경우에 왜곡 현상이 발생하는 단점이 있다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 보간 방법으로 이방성 보간법을 사용하였는데, 이방성 보간은 텍스처가 매핑 되었을 때의 연신율(elongation :

늘어나는 비율, 길이 나누기 폭)을 계산하여 보간에 반영하므로, 기존의 선형 보간에서 나타나는 왜곡을 감소시킬 수 있다.

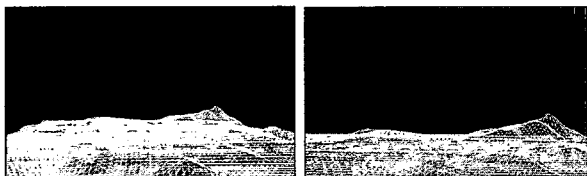


(그림 4) 3차원 모델링에 사용될 DTED

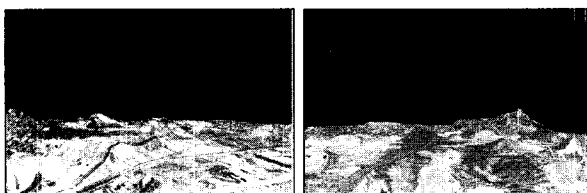


(그림 5) DTED 및 모델생성 단계

(그림 4)의 사각형은 <표 2>에 나타난 경위도 좌표를 이용하여 추출된 대전지역으로 이 부분의 지형 정보를 이용하여 메쉬모델을 구성한다. 선택된 DTED는 한 화소 당 30M의 간격으로 표현되었고, 크기는 901×901 화소로 구성되어 27030M×27030M의 영역에 대한 지형 정보를 가지고 있다.



(그림 6) 지형정보를 이용하여 구성된 메쉬모델들



(그림 7) 구현된 3차원 모델들

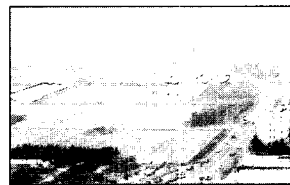
(그림 6)은 구성된 메쉬모델이고, (그림 7)은 GeoTIFF와 DTED간의 거리 비율인 1 : 30을 적용, 메쉬 모델과 위성영상을 매핑하여 3차원 모델을 구현한 것이다.

3. 3차원 모델과 센서영상의 정합

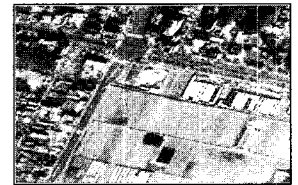
센서영상에서의 전처리로 계산속도 향상을 위해 이진화를 거친 후 외곽선을 부드럽게 하고 잡음 제거를 위해 형태학적 연산인 닫힘(closing)연산을 수행하였다. 도로 추출은 기존 방법인 직선 추출방법[8,9]을 이용하여 주도로만을 추출하였다. 그리고 3차원 모델에서 차량의 현재위치, 방향, 도로의 정합점 몇 곳을 지정하고, 표적의 이동 경로를 설정하면 TPS 보간 함수를 이용하여 센서영상에서 표적 이동 동기화 과정이 이루어지고 표적의 이동에 따른 폐색과 형태 변형처리를 하게 된다.

3.1 센서영상의 도로추출

일반 위성 영상에서의 도로는 일반적으로 다음과 같은 기하학적 특성[10]을 지닌다. 첫째, 명암 값이 주변 영상에 비해 상대적으로 밝고, 도로 면의 명암 값 차이가 크지 않다. 둘째, 도로 폭의 변화가 크지 않고, 전체적으로 부드러운 곡선의 모습을 띤 직선으로 구성된다. 그러나 지상에서 촬영한 CCD 영상인 (그림 8)의 경우 카메라의 위치, 고도 등이 위성영상과 달라 이러한 특성을 보유하지 못하게 된다. 도로 폭의 변형이 심하고, 밝기 값 역시 주변 물체와 구별이 어려우며 도로 주변이 매우 복잡해 일관성 있는 가설을 세우기 어렵다.



(그림 8) 센서영상



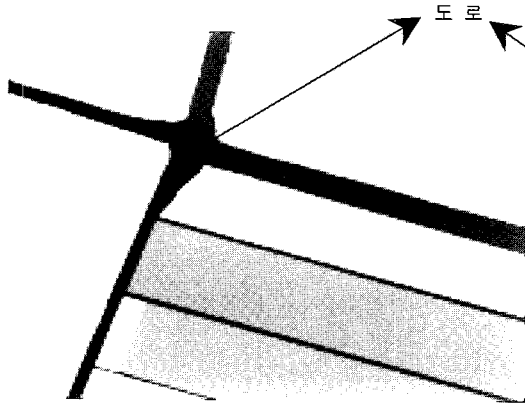
(그림 9) 센서영상주변지역 위성영상

본 논문에서는 표적이동 동기화와 렌더링을 위해 일정한 폭과 넓이를 가진 주도로만을 기존의 직선 추출방법을 이용하여 아래의 절차를 수행하고, 영상 뒷면의 좁고 흐릿한 도로와 복잡한 주변 환경과 구분이 되지 않는 눈, 발 부근의 도로는 도로 폭이 일정하다고 가정, 기존의 도로를 연장시켜 추출하였다.

- ① 이진화 : 계산시간을 줄이기 위해 센서영상을 이진영상으로 변환하고 잡음제거를 위해 형태학적 연산인 닫힘(closing) 연산을 수행한다.
- ② 연결요소 분석 : 영상을 왼쪽 위부터 오른쪽 아래로 스캔

하면서 연결된 영역마다 레이블을 할당[11]한다. 이 과정이 끝나면 영상 내에서 연결된 요소는 직사각형 모양으로 둘러싸이게 된다.

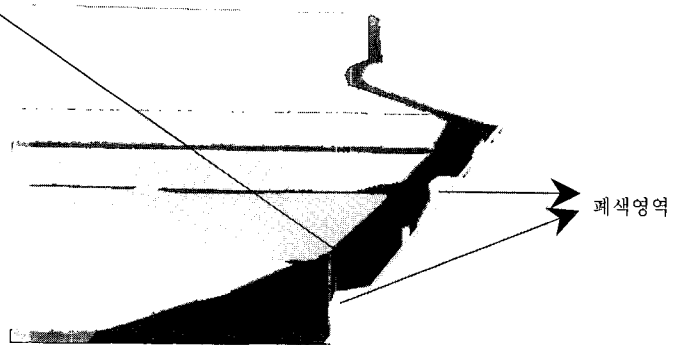
③ 체인코드 : 체인코딩을 수행하여 한 화소 두께의 에지를



(그림 10) 위성영상의 도로추출

추출한다.

④ 직선 추출 : 도로 폭이 일정하다고 가정하여 평행을 이루는 직선(주도로)을 추출한다. 이때 도로영역에 놓여진 건물과 기타 다른 물체들을 폐색 영역으로 표시한다.



(그림 11) 센서영상의 도로추출

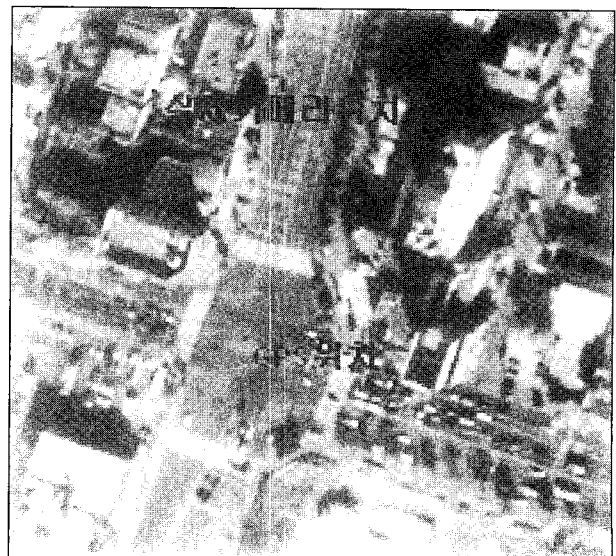
3.2 경로 설정과 표적 이동 동기화

위성영상과 센서영상에서 표적의 이동 동기화를 수행하기 위해서는 센서영상을 촬영한 지점, 즉 카메라의 위치와 방향을 위성영상에서 정확히 확인(Localization) 할 수 있어야 한다. 문제는 촬영당시 카메라를 탑재한 차량이 정지하여 있어도 GPS를 통해 얻은 위치오차 10M는 1KM 거리에서 방위각 방향으로 약 120 화소나 오차가 발생, 항법정보만으로는 카메라의 위치를 정확히 확인하기 어렵다는 것이다. 기존 연구[12]에서는 영상의 산봉우리를 특징점으로 하여 이를 DEM(digital elevation model)과 정합, 카메라의 위치와 방향을 예측하는 방법을 제시하고 있으나 계산량이 많고 영상에서 산봉우리들이 반드시 존재해야 하며 많은 가설을 세워야 하므로 정확도가 떨어지는 단점이 있다. 또한 실험에서 사용한 DEM의 정확도(30m)에는 적용하기 어렵다. 이러한 문제해결을 위해 최근에는 GPS외에 관성항법장치(Inertial navigation system), 스테레오 카메라(Stereo Camera) 등을 이용하여 이들 자체의 정확한 보정, 공간관계의 정확성을 확립한 후 3차원 위치정보를 얻는 연구[13]가 활발히 진행되고 있다. 본 실험에서는 사용자가 입력된 위성영상에서 카메라의 위치와 방향을 육안으로 확인하고 두 영상의 도로 정합점 몇 곳을 마우스 포인터로 지정하는 수동 방법을 사용하였다. 방향을 지정하는 것은 훈련병이 훈련시 카메라 서보로 제어되는 조이스틱이나 핸들바를 작동하여 카메라의 중심선을 시나리오에 따라 움직이는 표적의 중심에 맞추도록 하기 위해서이다. 또한 도로 일치점 몇 곳을 지정한 것은 이를 통해 두 영상을 정합하여 관측위치, 분해능의 차이를 보정하고, 표적 이동시 제어점으로 사용하기 위해서이다.

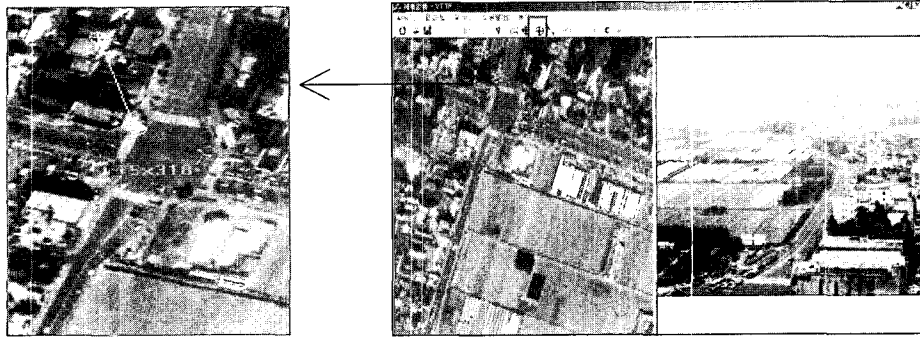
(그림 12)와 <표 3>은 지도를 통해 확인된 카메라의 실제 위치와 GPS 위치의 오차를 나타내는 자료이다. (그림 13)은 카메라의 위치와 방향을, (그림 14)는 사용자가 정합점을 지정하는 그림이다.

<표 3> 실제 카메라위치와 GPS 위치오차

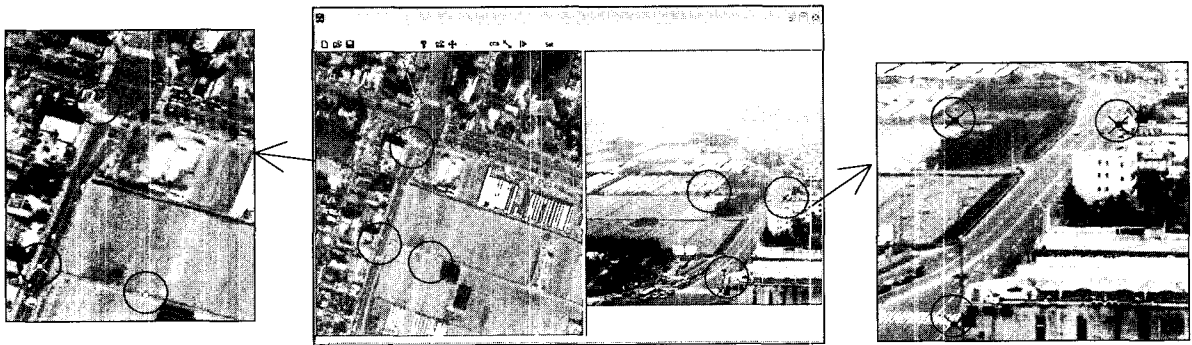
좌표 \ 위치	GPS로 확인된 위치	지도(MAP)로 확인된 카메라 위치	
TM 좌표	230576.66E, 317042.05N	230500.66E, 317129.05N	
경위도 좌표	위도	36도 21분 2.82828초	36도 21분 5.65959초
	경도	127도 20분 26.40411초	127도 20분 23.40815초



(그림 12) 카메라 위치오차



(그림 13) 카메라의 위치와 방향 지정(운용자 화면)



(그림 14) 정합점 표시

이렇게 몇 개의 점을 기준으로 두 영상의 대략적인 위치 정합이 이루어졌다 해도 영상 내 물체의 크기, 길이 등의 왜곡이 심해, 표적 이동시 정확한 동기화가 어렵다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 이미지 워핑 함수인 탄력적인 TPS(Thin-Plate Spline) 보간 함수를 두 영상의 제어 점(정합점)에 적용하였다. TPS 보간 함수인 식 (1)은 각 제어점의 왜곡을 정확하게 표현하여 제어점간 최소곡률 표면을 정의하게 된다. 또한 회전, 이동, 크기, 뒤틀림 등의 변환이 가능한 함수로, 같은 곡면을 갖는 물체의 보간에 적합한 함수로 알려져 있다.

$$h(x) = Ax + t + \sum_{i=1}^m W_i K(\|x - x_i\|) \quad (1)$$

식 (1)에서 A 와 t 는 선형 어파인 변형 파라미터 매트릭스이고, W_i 는 비선형 보간함수 K 의 가중치들이며, 함수 K 는 휨에너지(bending energy) 최소화 상태를 만족하는 방정식의 해가 된다. 또한 x_i 는 제어점들이다. x, y 성분 각각에 대한 해를 구하기 위해서 변형함수 $h(x)$ 는 m 개(식 (2)에서는 3)의 일치하는 제어점 쌍을 가진 두 개의 집합으로부터 식 (2)와 같이 다시 정의될 수 있다.

$$x' = h_x(x, y) = a_{11}x + a_{12}y + t_x + \sum_{i=1}^3 W_{xi}K(\|(x_i, y_i) - (x, y)\|)$$

$$y' = h_y(x, y) = a_{21}x + a_{22}y + t_y + \sum_{i=1}^3 W_{yi}K(\|(x_i, y_i) - (x, y)\|) \quad (2)$$

식 (2)에서 파라미터 $a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22}, t_x, t_y$ 는 선형 어파인 변형을 나타내고, W_{xi}, W_{yi} 는 x, y 각 성분에 대한 K 함수의 가중치들을 나타낸다. 위성영상과 지상기반 CCD 영상의 영상 워핑 단계는 아래와 같다.

- ① 운용자 인터페이스를 통해 초기에 얻어진 두 개의 일치되는 제어점 집합을 가지고, 식 (3)에 의해 어파인 변형 파라미터 A, t (식 (3)에서 z)를 얻어낸다.

$$y = Mz$$

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ x_2 \\ y_2 \\ \cdot \\ x_m \\ y_m \end{bmatrix} M = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & x_1 & y_1 & 0 & 1 \\ x_2 & y_2 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & x_2 & y_2 & 0 & 1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_m & y_m & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & x_m & y_m & 0 & 1 \end{bmatrix} z = \begin{bmatrix} a_{11} \\ a_{12} \\ a_{21} \\ a_{22} \\ t_x \\ t_y \end{bmatrix} \quad (3)$$

실험에서 m 은 3(정합점으로 지정한 점)으로 하였으며, 어파인 변형파라미터를 나타내는 z 는 식 (4)를 이용하여 얻어진다.

$$z = (M^T M)^{-1} (M^T y) \quad (4)$$

위 식에서 M^T 는 M 의 이항치이고, $(M^T M)^{-1}$ 은 $(M^T M)$ 의 역이다.

② 다음에 두 개의 일치하는 제어점 쌍 집합들은 식 (5)를 사용, 가중치 W_{xi} 와 W_{yi} 를 계산하는데 사용된다.

$$\begin{bmatrix} x_1 & -a_{11} & x_1 & -a_{12} & y_1 & -t_x \\ x_2 & -a_{11} & x_2 & -a_{12} & y_2 & -t_x \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_m & -a_{11} & x_m & -a_{12} & y_m & -t_x \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} 0 & K(r_{12}) & K & K(r_{1m}) \\ K(r_{21}) & 0 & K & K(r_{2m}) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ K(r_{m1}) & K(r_{m2}) & K & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_{x1} \\ W_{x2} \\ \vdots \\ W_{xm} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} y_1 & -a_{11} & x_1 & -a_{12} & y_1 & -t_y \\ y_2 & -a_{11} & x_2 & -a_{12} & y_2 & -t_y \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ y_m & -a_{11} & x_m & -a_{12} & y_m & -t_y \end{bmatrix} =$$

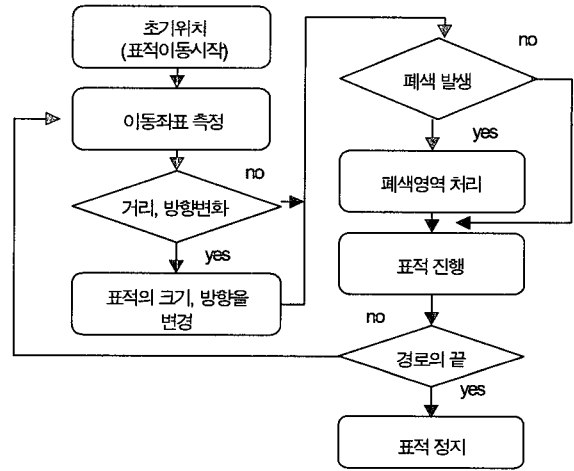
$$\begin{bmatrix} 0 & K(r_{12}) & K & K(r_{1m}) \\ K(r_{21}) & 0 & K & K(r_{2m}) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ K(r_{m1}) & K(r_{m2}) & K & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_{y1} \\ W_{y2} \\ \vdots \\ W_{ym} \end{bmatrix} \quad (5)$$

위에서 $r_{ij} = \|(x_i, y_i) - (x'_j, y'_j)\|$ 이고, $K(r) = r^2 \log(r^2)$ 이다.

③ 위와 같이 파라미터 집합이 완성되면, 정의된 변형 매트릭스는 식 (2)를 이용하여 대응되는 센서영상의 위치를 계산하는데 사용할 수 있게 된다.

3.3 이동과 폐색에 의한 표적의 형태 처리

도로는 평행하다고 가정, 센서영상에서 도로를 추출한 후, 이 영역 안에 다른 물체(건물, 나무 등)가 놓인 경우를 폐색 영역으로 지정하였다. 그리고 표적 이동에 따른 좌표 변화를 이용해 방향과 형태를 변화시켰는데 변형 절차는 (그림 15)와 같다. 먼저 운용자가 위성영상에 표적이동 시나리오에 의해 시작점, 중간점, 종료점을 지정하면 이 점들을 연결하는 직선이 만들어지고 표적은 이 직선 위를 움직이게 된다. 센서영상에서 표적은 이미 생성된 TPS보간 함수에 의해 대응되는 위치가 결정되므로 시작점에서의 거리에 따라 표적의 크기를 변화시켜주었고, 방향 각도는 결정된 하나의 점과 다음 점이 이루는 직선이 x축과 이루는 변화만큼 표적의 방향을 변화시켰다. 폐색은 센서영상에서 표적이 전시되는 영역이 이미 구해진 폐색영역과 동일한 영역인가를 확인하여 결정한다.



(그림 15) 표적의 형태변환 절차

4. 실험결과

실험 환경은 Pentium4 1.8MHz, RAM 512M의 시스템 2대를 사용하였고 OS는 Window2000 Professional, 언어는 Visual C++를 사용하였다. 네트워크 프로그램은 TCP/IP 프로토콜을 사용, 클라이언트(훈련용) 프로그램이 서버(운용자용) 프로그램에 접속 요청을 하고 서버가 접속 요청을 받아 들임으로써 통신이 이루어진다. 접속 후 운용자는 카메라의 위치와 방향을 확인하고 두 영상에서 도로의 동일 지점을 지정하게 된다. <표 4>는 두 영상에서 동일위치로 확인된 제어점 집합 3개의 좌표이고 z 는 이 좌표들로부터 얻은 어파인 변형 파라미터, W 는 가중치 들이다.

<표 4> 두 영상의 제어점 집합

위성영상의 제어점		CCD영상의 제어점	
x	y	x	y
1912	3039	241	420
1851	3201	330	299
1912	3217	136	298

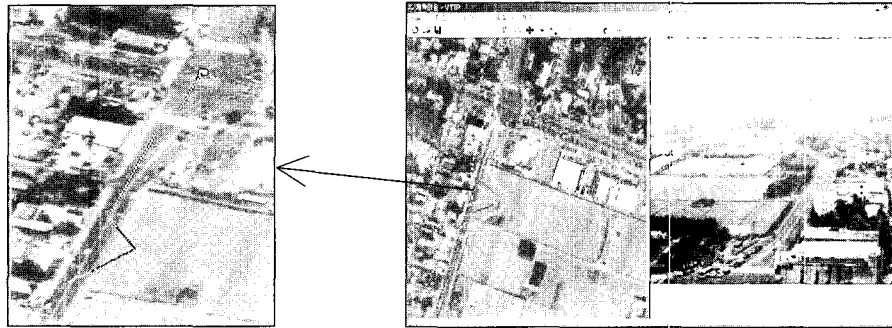
$$z = \begin{bmatrix} a_{11} \\ a_{12} \\ a_{21} \\ a_{22} \\ t_x \\ t_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -3.0256 \\ -0.5898 \\ 0.1633 \\ -0.6853 \\ 7818.62 \\ 2190.52 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} W_{x1} \\ W_{x2} \\ W_{x3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1.3526E-02 \\ -5.0140E-02 \\ -3.8692E-02 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} W_{y1} \\ W_{y2} \\ W_{y3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.3526E-019 \\ 8.5805E-020 \\ 1.2321E-019 \end{bmatrix}$$

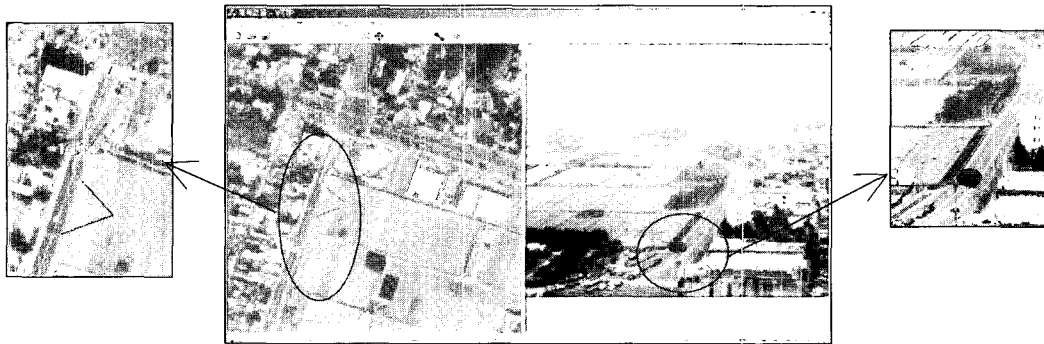
(그림 16)은 운용자가 표적의 이동경로를 위성영상에서

설정한 영상이고, (그림 17)은 설정 후 이동 버튼을 눌러서 센서영상의 표적이 위성영상과 동기화되어 움직일 때, 운전자 화면에서 이러한 표적의 진행상황을 체크하는 영상이다. (그림 18)은 다른 이동 경로를 표적이 이동하는 영상이며,

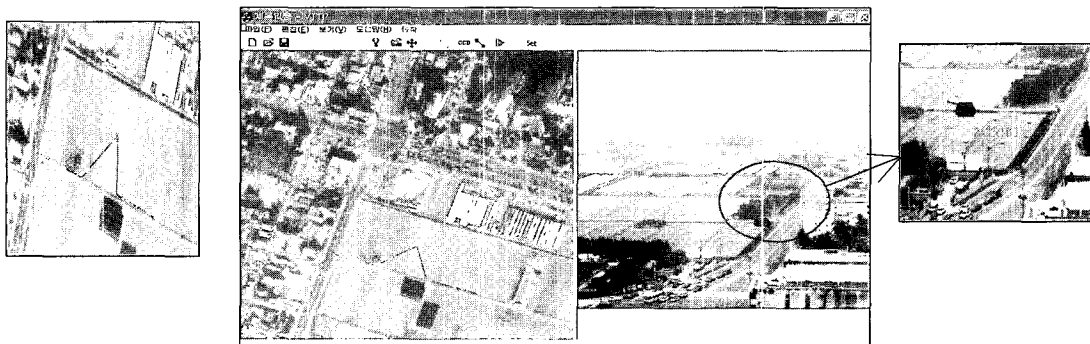
(그림 19)는 이동경로 설정(훈련 시나리오)의 여러 예이다. (그림 20)은 표적이 경로를 따라 이동하면서 방향과 모양이 변경된 결과이고, (그림 21)은 표적이 폐색 영역을 지나갈 때의 처리 결과이다.



(그림 16) 표적 이동경로 설정(운용자화면)



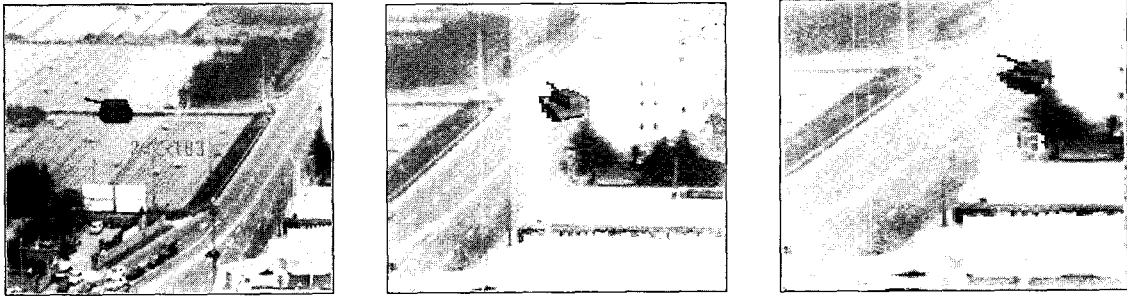
(그림 17) 표적 이동 (운용자화면)



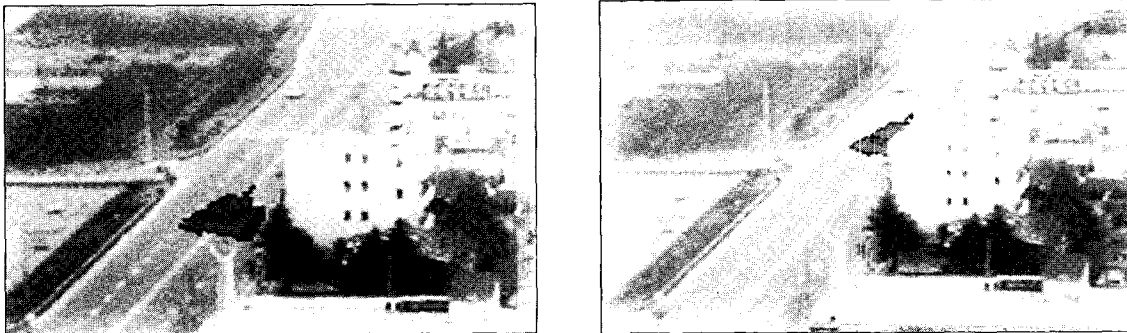
(그림 18) 표적 이동2 (운용자화면)



(그림 19) 이동경로 설정의 예



(그림 20) 표적의 방향과 모양 변경



(그림 21) 표적의 폐색 전, 후

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 현재의 가상 영상, 가상표적 기반의 모의 훈련에 현실감과 훈련효과 증대를 위하여 훈련용 차량에 탑재된 영상센서 즉, CCD 카메라로부터 입력되는 실제 영상에 가상의 표적을 렌더링하는 방법을 연구하였다. 이를 위해서는 표적의 정밀위치 획득이 중요한 문제이나 위성영상과 지상기반 센서영상의 경우 관측위치, 분해능, 촬영시기 등의 차이로 영상분석을 통한 정확한 정합이 어렵다. 따라서 센서영상에서 주도로를 추출한 후 카메라의 위치 및 방향, 도로의 정합점등을 수동으로 처리하였고 설정된 경로에서 표적을 동기화하기 위해 영상 워핑기법 중 TPS 보간함수를 이용하여 위성영상에서의 한 위치 좌표를 센서영상의 동일 지점과 일치시키는 방법을 제안하였다. 또한 제안한 방법들에 대한 성능을 시스템을 구현하여 검증하였다. 연구 결과는 기존의 내장훈련을 보다 현실감 있게 수행하는데 적용될 수 있으며, 야지 자율주행 차량에도 이용될 수 있다. 수동으로 처리된 부분은 위치정확도가 높은 GPS, 관성항법장치(INS), 스테레오 카메라 등을 훈련용 차량에 장착하여 보완할 수 있을 것이다. 따라서 향후에는 GPS외에 관성항법장치(Inertial navigation system), 스테레오 카메라(Stereo Camera)를 이용한 영상 정합방법에 대한 연구가 계속되어야 하는데, 세부적으로는 자동화된 3차원 위치정보 획득을 위한 카메라 보정(calibration), 스테레오 영상정합 방법과

센서 간 공간적 정확도를 유지하기 위한 방법과 탐색에 대한 연구가 있어야 하겠다. 또한 표적의 사실감 증대를 위해서 스테레오 영상에서 산출된 깊이정보와 GIS 정보를 이용한 렌더링 방법에 대한 연구도 계속되어질 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Xiaolong Dai, Siamak Khorram, "A Feature-Based Image Registration Algorithm Using Improved Chain-Code Representation Combined with Invariant Moments," IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, Vol.37, No.5, September, 1999.
- [2] Y. Bentoutou, N. Taleb, M. Chikr El Mezouar, M. Taleb, L. Jetto, "An invariant approach for image registration in digital subtraction angiography," Pattern Recognition, 35, pp.2853-2865, 2002.
- [3] Fred L. Bookstein, "Principal Warps : Thin-Plate Splines and the Decomposition of Deformations," IEEE Transactions of Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.11, No.6, June, 1989.
- [4] Stefan Growe, Peter Schulze, Ralf Tönjes, "3D Visualization and Evaluation of Remote Sensing Data," Computer Graphics International '98 Hannover, Germany, June, 1998.
- [5] Ralf Tönjes, "3D Reconstruction of Objects from Aerial Images using a GIS," ISPRS Joint Workshop on, "Theor-

etical and Practical Aspects of Surface Reconstruction and 3-D Object Extraction," Haifa, Israel, September, 1997.

- [6] Hearn D., P. Baker, "Scientific Visualization : An Introduction," Eurographics '91 Technical Report Series, Tutorial Lecture 6.
- [7] E. Chen. Quicktime VR-an image-based approach to virtual environment navigation. Proc. of SIGGRAPH, 1995.
- [8] J. Amini, M. R. Saradjian, J. A. R. Blais, C. Lucas, A. Azizi, "Automatic road-side extraction from large scale image-maps," International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 4, pp.95-107, 2002.
- [9] Stefan Hinz, Albert Baumgartner, "Automatic extraction of urban road networks from multi-view aerial imagery," ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 58, pp.83-98, 2003.
- [10] Abdullah, Q., "Evaluation of GPS-Inertial Navigation System for Airborne Photogrammetry," ACSM/ASPRS Annual Convention and Exposition, April, Seattle, WA.
- [11] Rosenfeld, A., Kak, A. C., Digital Picture Processing. Academic Press, New York, 1982.
- [12] P. C. Naval Jr., M. Mukunoki, M. Miinoh and K. Ikeda. "Estimation camera position and orientation from geographical map and mountain image," 38th Research Meeting of the Pattern Sensing Group, Society of Instrument and Control Engineers, pp.9-16, 1997.
- [13] Cramer, M., Stallmann, D., Haala, N., Direct Georeferencing Using GPS/Inertial Exterior Orientations For Photogrammetric Applications. International Archivers of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.XXXI, Part B3, pp.198-205, 2000.
- [14] <http://www.es.com>.
- [15] <http://www.cae.com>.



차 정 희

e-mail : pelly@vision.ssu.ac.kr
 1983년 숭실대학교 전자계산학과(학사)
 1983년~1998년 신용보증기금 전산실 근무
 2001년 동국대학교 대학원 컴퓨터공학과(석사)
 2001년~현재 숭실대학교 컴퓨터학과 박사과정

관심분야 : 컴퓨터(로봇)비전, 영상처리, 생체인식, 가상현실, 3D 모델링 등



장 호 종

e-mail : ozjhj@vision.ssu.ac.kr
 2001년 숭실대학교 컴퓨터학부(학사)
 2003년 숭실대학교 대학원 컴퓨터학과(석사)
 2003년~현재 숭실대학교 컴퓨터학과 박사과정

관심분야 : 음성처리, 컴퓨터비전, 영상처리, 패턴인식, 영상 검색 등



박 용 운

e-mail : woon5901@hanafos.com
 1981년 부산대학교 기계공학과(학사)
 1987년 연세대학교 대학원 기계공학과(석사)
 1994년 미국 유타대학교 기계공학과(공학박사)

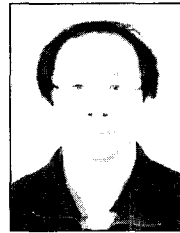
1982년~현재 국방과학연구소 책임연구원
 관심분야 : 자율주행, 로봇비전, 센서융합 등



김 계 영

e-mail : gykim@computing.soongsil.ac.kr
 1990년 숭실대학교 전자계산학과(학사)
 1992년 숭실대학교 대학원 컴퓨터학과(석사)
 1996년 숭실대학교 대학원 컴퓨터학과(박사)

1996년~1997년 한국전자통신연구원(Post Doc.)
 1997년~2001년 한국전력공사 전력연구원(선임연구원)
 2001년~현재 숭실대학교 컴퓨터학과 교수
 관심분야 : 컴퓨터비전, 패턴인식, 생체인식, 증강현실, 영상 및 신호처리 등



최 형 일

e-mail : hic@computing.soongsil.ac.kr
 1979년 연세대학교 전자공학과(학사)
 1982년 미시간대학교 전산공학과(석사)
 1987년 미시간대학교 전산공학과(박사)
 1987년~현재 숭실대학교 미디어학부 교수

관심분야 : 컴퓨터비전, 패턴인식, 생체인식, 퍼지이론, 비디오검색, 인터페이스 에이전트 등