

## 모바일매핑시스템에서의 이동객체 추적을 위한 연구

정재승\* · 박재민\*\* · 김병국\*\*\*

### Tracking of Moving Objects for Mobile Mapping System

Jae-Seung Jung\* · Jae-Min Park\*\* · Byung-Guk Kim\*\*\*

#### 요 약

모바일매핑시스템은 차량에 GPS, IMU, CCD 카메라 등을 장착하여 대상물의 위치 및 영상정보를 획득할 수 있는 효율적인 시스템으로 도로 시설물의 유지·관리, 수치지도의 갱신 등 여러 분야에서 활용되고 있다. 이러한 모바일매핑시스템은 CCD 카메라 영상과 차량의 위치 및 자세정보를 제공하게 되고 이는 영상안의 객체에 대한 위치정보를 제공하는데 중요한 역할을 한다. 모바일매핑시스템에서의 위치 및 자세정보를 활용하여 본 연구에서는 획득된 정보를 이용하여 특정 이동객체를 대상으로 위치 추적 기술을 적용하여 보았다. 이러한 이동객체 추적 시스템은 모바일매핑시스템에서 획득된 다양한 지리정보 중에서 필요한 특정 객체만을 추출하여 정보에 대한 활용성을 증대시킬 수 있을 것이다.

주요어 : 모바일매핑시스템, 이동객체추적, 3차원위치추적

**ABSTRACT** : The MMS(Mobile Mapping System) using the vehicle equipped GPS, IMU and CCD Cameras is the effective system for the management of the road facilities, update of the digital map, and etc. The image, vehicle's 3 dimensional position and attitude information provided MMS is a important source for positioning objects included the image. In this research we applied the tracking technique to the specific object in image. The extraction of important object from immense MMS data makes more effectiveness in this system.

**Keywords** : Mobile Mapping System, Tracking Moving Objects, 3D Position Tracking

\* 인하대학교 지리정보공학과 석사과정(E-mail : kompsat@netian.com)

\*\* 인하대학교 지리정보공학과 박사과정(E-mail : jeje21pjm@naver.com)

\*\*\* 인하대학교 환경토목공학부 교수(E-mail : byungkim@inha.ac.kr)

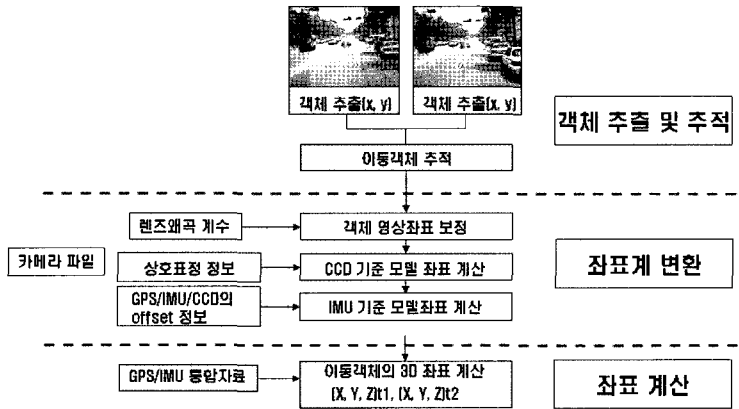
## 1. 서 론

모바일매핑시스템은 차량에 CCD 카메라와 위치측정장비(GPS/IMU, Odometer 등)를 장착하고 도로 및 도로시설물에 대하여 일정한 거리 또는 시간간격으로 정보를 취득하는 시스템이다(이종기, 2003). 이런 모바일매핑시스템은 국가지형정보와 국가시설물정보 데이터베이스를 구축, 유지, 관리하기 위한 시스템이다. 모바일매핑시스템은 기존 측량 방법과 대비하여 비용 및 시간면에서 효율성을 높이고 향후 활용성을 높이기 위한 첨단정보 시스템이다(김성백, 2004).

이러한 용도로 만들어진 모바일매핑시스템은 CCD 카메라 영상과 실시간으로 위치 및 자세정보를 제공하게 된다. 그러므로 본 연구를 통해 모바일매핑시스템으로 획득한 정보 중 이동객체에 대한 위치 추적 기술을 적용할 경우 획득된 필요한 정보만을 추출하고 그 정보에 대한 활용성이 더욱 증대하고자 한다. 특히 실시간 위치 추적이 가능하고, 위치추적자가 움직이는 상태에서도 대상물의 위치 파악이 가능해진다면 여러 분야에서의 응용이 가능해진다. 예를 들어 축구경기에서 공의 움직임을 추적하여 공의 속도 및 위치, 공 점유율 등을 실시간으로 계산할 수 있다. 또 대상체의 3차원 위치정보가 필요한 무인 항공기나 유도미사일과 같은 군사무기체계, 로봇축구 시스템 등 위치측정장비가 탑재된 시스템에 본 연구에서 제시된 알고리즘을 적용할 경우 매우 효율적으로 활용될 수 있다.

## 2. 연구 개요 및 목적

본 연구에서는 CCD 카메라, GPS, IMU 장비를 이용해 객체를 인식하고 이동체의 위치추적을 가능하게 하는 방안에 대해 연구하고자 한다. 기존에 김금옥, 장세일, 김완진 등의에 의해 개발된 객체 인식 및 이동체의 추적 방안은 대부분이 영상처리 기법을 통해 영상에서 사용자가 원하는 객체를 추출하고 추적하기 위한 내용이다. 또한 영상자료를 획득하기 위해 사용되는 장비가 대부분 비디오 카메라나 CCTV와 같이 동영상을 촬영하는 장비이다. 이럴 경우 동영상을 처리하기 위해서는 PC 상에서 많은 메모리 용량을 점유하기 때문에 매우 고가이면서 고성능의 영상획득 장비와 PC가 필요하다. 하지만 본 연구에서는 CCD 카메라를 이용해 영상을 획득하는 방법을 택하기 때문에 PC 메모리의 효율성 측면이나 장비 구입에의 비용절감 측면에서도 매우 효과적이다. 또한 두 대의 CCD 카메라를 이용해 스테레오 영상을 촬영하고 GPS, IMU를 이용하여 위치 및 자세 정보까지 획득함으로써 단순히 영상내에서 대상체의 위치를 파악하고 추적하는 데에서 끝나는 것이 아니라 실세계에서의 대상체에 대한 3차원 위치좌표까지도 획득할 수 있는 장점이 있다. [그림 1]은 본 연구에서 제안한 이동객체 추적 및 좌표계산을 위한 흐름도이다.



[그림 1] 이동객체 추적 및 좌표계산을 위한 흐름도

### 3. 시스템의 개요

### 3.2 BDS(Black Diamond System)

본 연구를 위한 주요 장비는 영상을 획득하는 CCD 카메라와 모바일매핑시스템의 위치 및 자세 정보를 획득하기 위한 BDS가 있다.

BDS시스템은 모바일매핑시스템의 위치 및 자세를 결정하기 위한 장비로써, BDS 시스템은 GPS(Global Positioning System)수신기, 센서(Sensor), 컨트롤러(controller) 그리고 후처리 소프트웨어(Post Processing Software)로 구성되어 있다([그림 2]).

#### 3.1 CCD 카메라

실험차량에 사용되는 CCD 카메라는 Uniq사의 UC-900으로 Progressive Area Scan 카메라이다. 카메라 후면에는 전원입력과 프레임입그래버와 연결할 수 있는 케이블이 있으며 동기화 신호를 넣을 수 있는 선이 있다.



[그림 2] BDS 구성

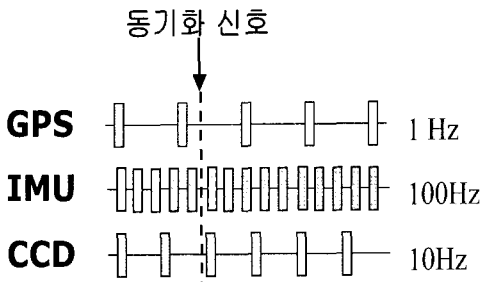
<표 1> CCD 카메라와 렌즈의 사양

항 목	내 용
명칭	UNIQ UC-900
영상 크기	1312×1028
셀 크기	4.65μm×4.65μm
유효 칩 크기	6.10mm×4.78mm
렌즈	COSMICAR 12mm, Auto-Iris
수평 시야각	28° 31' 17"
수직 시야각	22° 31' 41"

GPS수신기는 NovAtel의 GPS 보드인 OEM4

이고, 센서는 3축 자이로와 3축 가속도계로 구성된 관성측정장치(IMU, Inertial Measurement Unit)로서 미국 Honeywell사의 Honeywell 1700이다.

GPS수신기는 정밀한 GPS 시간을 1Hz 간격으로 데이터를 로깅하고, 관성측정장치는 컴퓨터시간으로 100Hz데이터를 로깅하므로 두 센서간의 시간의 동기화가 필요하다([그림 3]).



[그림 3] 동기화 방법

컨트롤러는 두 센서의 동기화를 위해서 관성측정장치가 사용하는 컴퓨터 시간보다 정확하고 오차가 적은 GPS시간으로 GPS 데이터와 관성측정장치의 시간을 동기화 한다. 특히, 모바일매핑시스템에서 취득되는 CCD 카메라 영상은 영상 촬영 당시의 위치와 자세가 필요하므로 GPS, 관성측정장치, CCD 카메라사이의 동기화는 중요한 문제이다. BDS시스템의 경우 외부 신호 발생장치를 이용하여 동기화를 시키게 되는데 트리거에서 제공하는 전압 신호를 GPS/IMU 시스템과 CCD 카메라에 동시에 전송함으로써 GPS/IMU 시스템과 CCD 카메라를 외부 신호 발생장치내의 정밀한 시간으로 동기화 시키게 된다.

후처리소프트웨어는 취득한 원자료 데

이터를 처리하는 소프트웨어로 자료획득 시의 이상현상의 검증 및 정밀한 결과를 계산하기 위하여 한다(한국건설기술연구원, 2003).

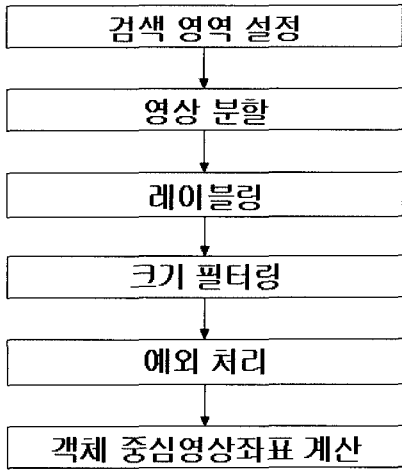
<표 2> BDS의 성능(정확도)

항 목	성 능	
위 치	stand-alone	<3m RMS
	RTK	0.02m RMS
	Post Processed	0.02~2m RMS
속 도		0.02m/s RMS
가속도		0.03m/s RMS
자 세	pitch	0.015 deg RMS
	roll	0.015 deg RMS
	azimuth	0.05 deg RMS

#### 4. 객체 추출 및 추적

두 대의 CCD 카메라를 통해 연속적으로 얻어지는 영상에서 이동객체를 추적하기 위해서는 한 장의 영상으로부터 원하는 객체를 추출한 뒤 이를 분할(Image Segmentation)하는 절차가 필요하다. 여기서 영상 분할(Image Segmentation)란 배경(background)에서 원하는 객체(object)를 추출하여 따로 끄집어내는 것이다. 본 연구에서는 영상을 구성하는 각 픽셀의 RGB 값을 이용한 레이블링(Labeling)을 통해 후보를 선정한 후(권혁중, 2005), 객체의 크기(MBR size : Minimum Boundary Rectangle size)에 대한 범위를 설정하여 후보 중에서 최종객체를 추출하고 이에 대한 영상 좌표를 취득하는 방법을 사용하였다. 본

연구에서 객체를 추출하고 영상좌표를 취득하는 순서는 [그림 4]와 같다(배상근, 2006).



[그림 4] 이동객체의 영상좌표 취득순서

#### 4.1 검색 영역 설정

효율적인 이동객체의 추출을 위해서는 검색 영역을 설정하는 것이 중요하다. 검색 영역을 크게 설정할 경우 이동객체를 정확히 추출할 수 있는 확률은 높아지지만 속도가 떨어지고, 검색 영역을 작게 설정할 경우 추출 속도는 빨라지지만 정확히 추출할 수 있는 확률이 낮아지게 된다. 따라서 이동객체의 속도 및 방향을 잘 고려하여 검색 영역을 적절하게 설정하여야 한다.

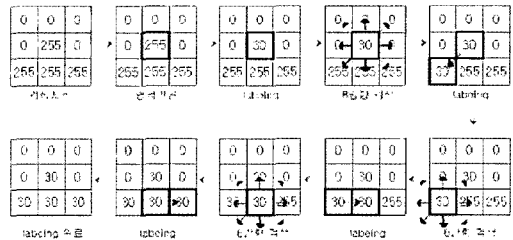
#### 4.2 영상분할

영상 분할이란 영상의 밝기, 색상, 질감 등의 특징을 고려하여 유사한 속성을 갖는 영역 단위로 영상을 표현하는 것을 의미한다. 본 연구에서는 픽셀기반의 영상

분할을 하였다. 픽셀기반의 영상분할을 할 때 배경으로부터 객체를 분리하였으며 서로 떨어져 있는 픽셀이 동일 한 영역이 될 수도 있는 오류를 극복하기 위해 레이블링 기법을 사용하였다.

#### 4.3 레이블링

하나의 연결성분을 이루는 픽셀에 동일한 고유의 레이블(번호; 정수값)을 설정하는 기법을 레이블링이라고 한다. 영상에서 각각의 객체를 구분하기 위하여 동일한 특성을 갖는 픽셀에 대한 인접여부를 파악해야 한다. 본 연구에서는 8-이웃픽셀을 사용하고 Grassfire 알고리즘을 사용하여 분리된 영역들을 레이블링 하였다. Grassfire 알고리즘은 마른 잔디(grass)에서 불(fire)이 번져나가는 모양과 비슷하게 화소를 레이블링하기 때문에 붙여진 이름이다. 이 방법은 재귀호출(recursive call)을 이용하여 모든 인접요소가 레이블링될 때까지 현재 대상픽셀의 주변 인접픽셀을 차례로 검사하면서 레이블링하는 방법이다.



[그림 5] Grassfire Labeling 기법

#### 4.4 크기 필터링

영상에서 영상분할과 레이블링까지 수

행하고 나면 영상 내에서 추적하고자 하는 객체에 대한 몇 개의 후보가 생성될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 객체에 대한 크기(MBR(Minimum Boundary Rectangle) size)를 이용하여 후보 중에서 최종 객체를 추출하는 방법을 사용하였다.

#### 4.5 예외 처리

본 연구에서 말하는 예외 처리란 크기 필터링까지 거친 후에 추출된 객체가 1개가 아닐 경우의 처리를 말한다. 만약 어떠한 객체도 추출되지 않은 경우에는 사용자가 수동으로 객체를 클릭함으로써 대상객체를 추출하게 된다. 추출된 객체가 2개 이상일 경우에는 객체의 이전 위치에서부터 가장 가까운 거리에 있는 객체가 자동으로 선택되도록 하였다.

#### 4.6 객체 중심좌표 계산

예외 처리과정까지 거쳐 추적하고자 하는 유일객체에 대한 추출이 완료되면 추출된 객체의 중심좌표를 계산함으로써 영상좌표를 얻을 수 있다. 본 연구에서는 면적 중심법을 이용하여 객체의 중심좌표를 계산하였으며 식 (1)과 같다.

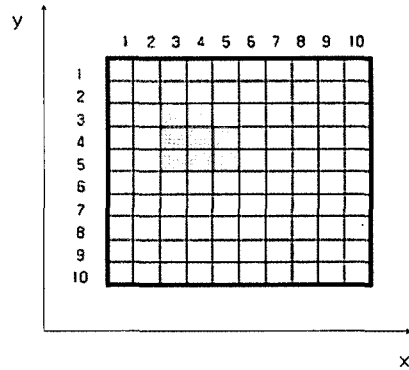
$$x = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n x_i$$

$$y = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N y_i$$

식 (3)

식 (1)에서  $x_i, y_i$ 는 각각 레이블링 된 한 영역에 대한 구성픽셀의 가로와 세로

영상 좌표이다.



[그림 6] 추출된 객체

[그림 6]에서와 같이 추출된 객체에 대해 면적 중심법을 이용하여 중심좌표를 계산하면 다음과 같다.

$$x = \frac{(3+3+3+4+4+4+5+5)}{8} = 3.875$$

$$y = \frac{(3+3+4+4+4+5+5+5)}{8} = 4.125$$

식 (2)

각 픽셀 좌표는 정수이지만, 계산된 중심좌표는 실수이다. 즉, 준 픽셀(subpixel) 단위로 계산된다.

### 5. 3차원 위치 결정

#### 5.1 영상좌표 보정

CCD 카메라로 얻은 광학영상은 렌즈의 특성상 왜곡이 발생하게 되는데, 영상에서 객체의 정확한 정보를 얻기 위해서는 이러한 왜곡경향을 분석하고 보정해 주는 작업이 필요하다. CCD 카메라 좌측과 우측 영상에서 관측된 점  $j$ 의 영상좌표를

각각  $(x_{Lj}, y_{Lj}), (x_{Rj}, y_{Rj})$ 라고 하면 렌즈왜곡이 보정된 좌표  $(x'_{Lj}, y'_{Lj}), (x'_{Rj}, y'_{Rj})$ 은 식 (3)과 같이 계산한다. 여기서  $r_{Rj}, r_{Lj}$ 는 영상의 중심에서 j점까지의 방사거리이다.

$$\begin{aligned} x'_{Lj} &= x_{Lj} \left(1 - \frac{\Delta r_{Lj}}{r_{Lj}}\right) - x_{Lp} = x_{Lj} (1 - k_{L1}r_{Lj}^2 - k_{L2}r_{Lj}^4 - k_{L3}r_{Lj}^6) - x_{Lp} \\ y'_{Lj} &= y_{Lj} \left(1 - \frac{\Delta r_{Lj}}{r_{Lj}}\right) - y_{Lp} = y_{Lj} (1 - k_{L1}r_{Lj}^2 - k_{L2}r_{Lj}^4 - k_{L3}r_{Lj}^6) - y_{Lp} \\ x'_{Rj} &= x_{Rj} \left(1 - \frac{\Delta r_{Rj}}{r_{Rj}}\right) - x_{Rp} = x_{Rj} (1 - k_{R1}r_{Rj}^2 - k_{R2}r_{Rj}^4 - k_{R3}r_{Rj}^6) - x_{Rp} \\ y'_{Rj} &= y_{Rj} \left(1 - \frac{\Delta r_{Rj}}{r_{Rj}}\right) - y_{Rp} = y_{Rj} (1 - k_{R1}r_{Rj}^2 - k_{R2}r_{Rj}^4 - k_{R3}r_{Rj}^6) - y_{Rp} \end{aligned}$$

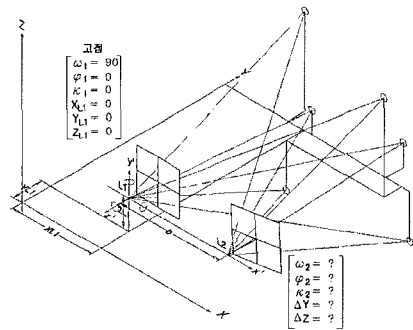
식 (3)

이때  $x_{Lp}, y_{Lp}, k_{L1}, k_{L2}, k_{L3}$ 는 좌측 영상을 촬영한 카메라의 주점위치와 렌즈의 방사왜곡계수를 나타낸 것이고  $x_{Rp}, y_{Rp}, k_{R1}, k_{R2}, k_{R3}$ 는 우측 영상에 대한 것이다. 이러한 카메라 주점 위치 및 렌즈의 방사왜곡계수는 카메라 검교정에 의해 얻어지는 값으로, 본 논문에서는 번들 조정에 의한 self-calibration 방법을 통하여 얻어진 값을 사용하였다. 만약 지상사진에서 촬영된 측점들이 카메라로부터 같은 거리에 있다면 내부표정요소의 정확도가 떨어질수도 있다. 이를 해결하기 위해서 본 연구에서는 타겟으로부터 카메라의 거리를 변경해가면서 정확한 위치를 관측하였으며 렌즈왜곡 변수를 정확히 추정하기 위해 많은 잉여점들을 관측하고, 점들이 영상 전체에 고르게 분포될 수 있도록 하였다(정동훈, 2004).

### 5.2 상호표정

본 연구에서 적용한 종속적 상호표정에서는 일반적으로 왼쪽 사진의 외부표정요

소  $\omega, \phi, \kappa, X_L, Y_L, Z_L$  등을 '0'으로 고정하고 오른쪽 사진의  $X_L(X_{L2})$ 은 사진기선  $b$ 와 같이 설정하는데, 지상사진의 경우에는 카메라가 지면과 평행을 이루므로  $\omega$ 를 90°로 고정하여야 한다. 이와 같은 설정은 미지수의 초기치를 보다 쉽게 계산할 수 있게 하며 미지수의 수를 오른쪽 사진의 5 요소로 줄이는 효과가 있다(정동훈, 2004). 본 논문에서는 왼쪽 카메라의 외부표정 요소를 0으로 고정한 종속적 상호표정을 사용하였다.

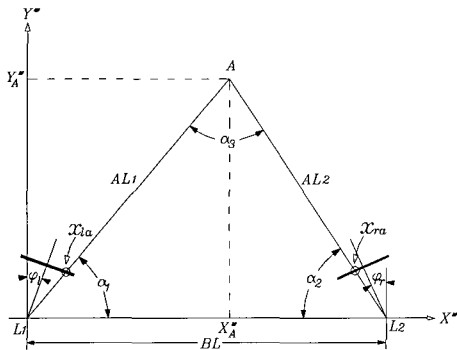


[그림 7] 지상사진 상호표정

## 6. 이동객체의 3차원 좌표계산

일반적으로 3차원 좌표계산을 위해서는 공선조건식을 이용한 공간전방교회법은 보편적으로 사용되고 있지만 이 방법은 행렬의 곱셈과 역행렬 연산을 사용하기 때문에 계산이 다소 복잡하고 시간이 비교적 많이 소요되는 단점이 있다. 그러므로 본 연구에서는 해석적 공간전방교회법을 이용하여 객체의 3차원 좌표를 산출하기로 하였다. 해석적 공간전방교회법은 정해진 카메라 외부표정요소와 객체와 좌

우 카메라가 이루는 촬영기선의 거리를 계산하여 객체의 3차원 위치를 구하는 방법이다. 이 방법은 삼각형의 내각과 카메라로부터 객체까지의 거리를 계산한 뒤 이 결과를 이용해 객체의 3차원 위치를 결정하게 된다(식(4), (5)).



[그림 8] 해석적 공간전방교회법 (P. Wolf, 2000)

[그림 8]은 영상좌표를 이용한 해석적 공간전방교회법을 이용하여 객체의 3차원 좌표를 계산하는 그림이다. 먼저 삼각형의 내각과 카메라로부터 객체까지의 거리를 구한다.

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= 90^\circ + \phi_1 - \tan^{-1}\left(\frac{x_{la}}{f}\right) \\ \alpha_2 &= 90^\circ - \phi_2 + \tan^{-1}\left(\frac{x_{ra}}{f}\right) \\ \alpha_3 &= 180^\circ - \alpha_1 - \alpha_2 \\ AL_1 &= BL \cdot \frac{\sin\alpha_2}{\sin\alpha_3} \\ AL_2 &= BL \cdot \frac{\sin\alpha_1}{\sin\alpha_3} \end{aligned} \quad \text{식 (4)}$$

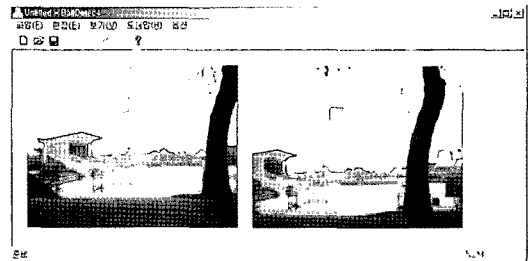
좌측 카메라를 기준으로 하는 좌표계에서 객체공간 상의 좌표  $X_A, Y_A$ 는 두 카메라와 객체로 이루어진 삼각형의 변과 그

사이각으로 계산할 수 있다. 또 좌측 영상의  $y_{la}$  좌표와 우측 영상에서  $y_{ra}$  좌표를 취하여 그 평균값에 초점거리 대비 객체까지의 Y축 상의 거리  $Y_A$ 를 곱해주면  $Z_A$ 를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} X_A &= \frac{AL_1 \cdot \cos\alpha_1 + BL - AL_2 \cdot \cos\alpha_2}{2} \\ Y_A &= \frac{AL_1 \cdot \sin\alpha_1 + AL_2 \cdot \sin\alpha_2}{2} \\ Z_A &= \frac{y_{la} + y_{ra}}{2} \cdot \frac{Y_A}{f} \end{aligned} \quad \text{식 (5)}$$

## 6. 테스트 및 결과 분석

본 연구에서는 실험적으로 객체의 형상이 간단하고 이동성이 좋은 객체를 대상으로 위치추적 실시하기 위해서 대상 객체를 축구공으로 한정하였다. [그림 9]는 본 연구에서 제안한 알고리즘을 바탕으로 구현된 시스템이며 보라색 사각형으로 표시된 것이 움직이고 있는 축구공을 나타낸다.

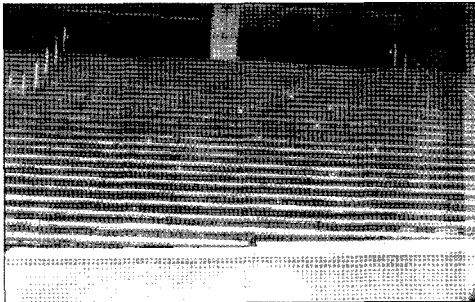


[그림 9] 이동객체 추적 시스템

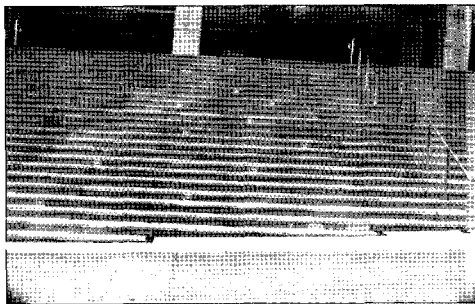
본 연구에서 이동객체로 한정된 축구공의 경우 실제 모바일매핑시스템에서 획득되는 지리정보와 형상이나 이동성에 있어서 특징이 다른 객체이다. 그러나 본 연



구에서는 모바일매핑시스템에서 이동객체의 추출 및 추적의 실현성에 대한 관점에서 실험을 진행하였으므로 향후 객체의 모양이나 특징에 따라 객체 추출 및 추적 알고리즘의 보완이 필요하다.



Left Image



Right Image

[그림 10] 정확도 검증 환경

본 연구에서 제안된 이동객체추적 방안의 경우 정확도를 검증하기 위해서는 이동하는 객체의 정확한 위치정보와 본 연구에서 제안된 시스템과 비교를 하여야 하지만 실제 이동하는 객체의 3차원 위치 정보를 획득하는 것은 힘든일이므로 본 연구에서 개발된 시스템과 토달스테이션으로 3차원좌표를 측량하여 정확도를 비교하였다(<표 3>).

<표 3> 정확도 비교

(단위 : m)

Point	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta z$	$\Delta xyz$
1	-0.023	-0.532	-0.034	0.711
2	0.061	0.795	-0.085	0.209
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
15	0.073	0.359	-0.059	0.157
16	-0.076	0.155	-0.080	0.207
RMSE	0.064	0.232	0.045	0.195

## 7. 결 론

본 연구는 모바일매핑시스템에서 얻어진 정보 중 이동객체를 추출 및 추적을 실시하여 모바일매핑시스템에서 얻어지는 정보의 다양성 증대를 위한 연구이다. 차량의 외부표정요소를 이미 결정한 경우 본 연구에서 제안된 알고리즘으로 이동객체를 추적하고 위치를 계산해 낼 수는 있다. 본 연구에서 사용된 차량의 위치 및 자세정보를 제공하는 BDS의 경우 후처리 형태로 그 정보를 제공하여 이동객체의 추적을 실시간으로 할 수는 없었다. 그러나 기존 연구나 사례, GPS/IMU의 사양서를 보면 실시간으로 위치 및 자세정보를 제공받을 수 있으므로 향후 연구를 통해서 실시간으로 이동객체의 위치추적에 대하여 연구가 필요하리라 생각된다. 또 본 연구와는 달리 모바일매핑시스템의 추출 및 추적 이동객체가 다양한 형상을 가지고 있고 주변 상황(조명이나 객체의 가림

현상 등)을 고려하여 객체추출 기술을 발전시켜야 하리라 본다.

## 감사의 글

본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 육성지원사업의 연구결과로 수행되었음.

## 참고문헌

권혁중, 2005, 스테레오 CCD 카메라를 이용한 이동체의 실시간 3차원 위치추적, 인하대학교 일반대학원 석사학위 논문  
김금옥, 2002, 비모수적 차영상과 칼만필터에 기반한 실시간 객체 추적기법, 신라대학교 교육대학원 석사학위논문  
김성백, 2004, Mobile Mapping System 기술 동향, 주간기술동향

김완진, 2001, 칼라 특징과 연계된 Active Contour Model을 이용한 동영상에서의 객체 추출 및 추적에 관한 연구, 한양대학교 대학원 석사학위논문  
배상근, 2006, 사진측량기법을 이용한 이동객체 추적에 관한 연구, 인하대학교 일반대학원 석사학위 논문  
이종기, 2003, 실시간 GPS/INS 시스템을 이용한 웹기반 모바일 매핑시스템 연구, 한국GIS학회지, 11권 3호, 291~299  
장세일, 2003, Morkov Random Field를 이용한 객체추출 및 추적, 한양대학교 대학원 석사학위논문  
정동훈, 2004, 차량측량시스템을 위한 카메라 검교정 및 3차원 위치결정에 관한 연구, 인하대학교 일반대학원 박사학위 논문  
한국건설기술연구원, 2003, 다중센서 통합 및 동기화 방안 연구  
Paul R. Wolf and Bon A. Dewitt, 2000, "Elements of Photogrammetry with Application in GIS, 3rd edition", McGraw-Hill