

사진측량기법을 이용한 이동객체 추적에 관한 연구

- 축구장 모형을 중심으로 -

A Study on Tracking a Moving Object using Photogrammetric Techniques - Focused on a Soccer Field Model -

배상근¹⁾ · 정재승²⁾ · 김병국³⁾

Bae, Sang-Keun · Jung, Jae-Seung · Kim, Byung-Guk

Abstract

Extraction and tracking objects are fundamental and important steps of the digital image processing and computer vision. Many algorithms about extracting and tracking objects have been developed. In this research, a method is suggested for tracking a moving object using a pair of CCD cameras and calculating the coordinate of the moving object. A 1/100 miniature of soccer field was made to apply the developed algorithms. After candidates were selected from the acquired images using the RGB value of a moving object (soccer ball), the object was extracted using its size (MBR size) among the candidates. And then, image coordinates of a moving object are obtained. The real-time position of a moving object is tracked in the boundary of the expected motion, which is determined by centering the moving object. The 3D position of a moving object can be obtained by conducting the relative orientation, absolute orientation, and space intersection of a pair of the CCD camera image.

Keywords : 3D Position Computation, Tracking Moving Objects, 3D Position Tracking, Space Intersection

초 록

객체의 추출 및 추적은 동영상상을 처리하는 영상처리 및 컴퓨터비전 분야에서 매우 기본적인 중요한 단계로 여러 가지 알고리즘이 제안되었다. 본 논문에서는 두 대의 CCD 카메라를 이용하여 영상을 획득하면서 이동하는 객체를 추적하고 좌표를 계산하기 위한 알고리즘을 제안하였다. 특히 개발한 알고리즘의 적용 및 실용화를 위해 축구장에 대한 1/100 크기의 축소모형을 제작하여 실험하였다. CCD 카메라를 통해 얻어지는 영상에서 이동 객체(축구공)의 RGB값을 이용해 후보를 선정하고 후보 중 객체의 크기값(MBR size)을 이용해 객체를 추출한다. 이렇게 추출된 이동객체의 영상좌표를 획득하고 이동객체의 현재 위치를 중심으로 예상 움직임 범위를 설정하여 그 범위 내에서만 검색을 실시해 이동객체의 실시간 위치를 추적하게 된다. 한편 두 대의 CCD 카메라에 대한 상호표정 및 절대표정을 수행하고, 공간전방교선법을 이용함으로써 이동객체의 3차원 좌표를 획득할 수 있다.

핵심어 : 3차원 위치계산, 이동객체추적, 3차원위치추적, 공간전방교선법

1. 서 론

최근 컴퓨터 비전 기술과 영상처리 기술의 발전으로 실시간 영상에서 이동객체의 인식과 위치 추적에 관한 관심

이 증가하고, 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 이동객체 추출 및 추적에 관한 연구는 로봇비전, 보안 및 감시 장비 시스템, 동영상 압축 기법, 항공기 자동유도 시스템, 교통량 분석 시스템, 공장 자동화 등 광범위한 분

1) 정희원 · 대한측량협회 측량연구기술연구원 연구원(E-mail:sk3938@hanmail.net)

2) 정희원 · 연결저자 · 인하대학교 공과대학 지리정보공학과 석사과정(E-mail:komsat@netian.com)

3) 정희원 · 인하대학교 공과대학 환경토목공학부 교수(E-mail:byungkim@inha.ac.kr)

야에서 활용되고 있다(김금옥, 2002). 그러나 객체 추출 및 추적은 다양한 환경적 요소(잡음, 그림자, 조명의 영향 등)로 인해 많은 제약이 따르기 때문에 완벽한 성능을 가지는 알고리즘을 정립하고 구현하는 것이 쉽지 않아 아직도 계속적인 연구가 이루어지고 있는 분야이다. 또한 기존 연구의 경우 영상에 나타난 객체에 대하여 3차원 위치에 대한 정보를 제공하지 않고, 상용화된 객체 추적시스템의 경우 후처리시스템이므로 실시간 이동객체의 정보를 획득할 수가 없었다.

따라서 본 논문에서는 기존의 후처리의 객체 추적 및 추출 시스템과는 다르게 실시간에 가깝게 이동객체를 정확히 추출할 뿐 아니라 객체에 대한 3차원 좌표까지 획득할 수 있게 하고자 하였다. 또한 실제 적용을 위해서 축구장과 축구공에 대한 1/100 크기의 축소모형을 제작하여 본 논문에서 적용한 알고리즘을 축구경기에 적용할 수 있는 가능성을 알아보았다.

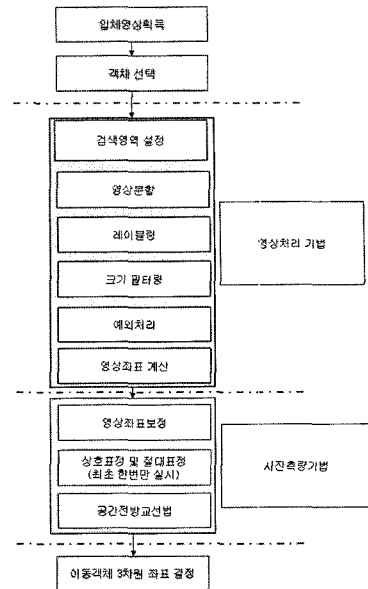


그림 1. 연구절차

2. 연구 내용 및 방법

2.1 객체 추출 및 추적, 3차원 좌표 산출

이동객체를 추출하고 그에 대한 3차원 좌표까지도 획득하기 위해서는 영상처리 기법 뿐 아니라 사진측량학적 원리가 필요하다. 3차원 좌표를 얻기 위해서는 대상체에 대한 입체 영상이 필요하다. 본 논문에서는 두 대의 CCD 카메라를 이용해 이동객체의 입체 영상을 획득하였다. 그리고 영상분할, 레이블링, 크기 필터링 등을 이용해 영상으로부터 객체를 추출 및 추적하고, 상호표정과 절대표정, 공간전방교선법을 이용하여 객체의 3차원 좌표를 산출하였다.

여기서 추출이란 동시에 촬영한 1쌍의 입체 영상에서 특정 객체를 따로 분리해 내는 것을 말하며, 추적이란 연속적으로 얻어지는 여러 장의 입체영상에서 특정 객체를 계속 찾아내는 것을 말한다. 쉽게 말해 추출은 1쌍의 입체 영상에서 객체를 찾는 것이고, 추적은 여러 입체 영상에서 객체를 찾는 것을 의미한다. 좌표 계산(산출)은 추출 및 추적을 통해 찾아낸 객체에 대해 사진측량학적 기법을 이용하여 3차원 좌표를 부여하는 것을 말한다.

2.2 실험환경 및 방법

이동객체 추적 알고리즘의 적용 및 실용화를 위해 축구장 및 축구공의 1/100 크기 축소모형을 제작하여 축구공

의 궤도추적 및 좌표 획득에 대한 실험을 실시하였다. 이동객체의 추적을 위해 영상에서 객체의 특성(색상, 크기 등)을 이용한 2단계의 Filtering을 실시하는 영상처리 알고리즘을 사용하였다.

이동객체의 3차원 좌표를 산출하기 위해서는 사진측량학적 기법을 활용하였다. 상호표정 및 절대표정을 통해 카메라의 외부표정요소를 계산하였다. 계산된 외부표정요소를 이용하여 공간전방교선법을 통해 이동객체의 3차원 좌표를 획득하였다. 본 연구의 절차를 간단히 요약하면 그림 1과 같다.

3. 시스템 개요

본 논문에서 구현한 이동객체 추적시스템은 그림 2에서 보는 바와 같이 영상취득장비, 영상그래프장비, 입·출력 장비로 구성된다.

축구장 축소모형은 실제 크기의 1/100로 축소하여 제작하였으며 축구장내에서 움직이는 공에 대한 추적모의를 위해 사용하였다.

영상취득장비로는 2대의 CCD 카메라와 영상을 프레임 그래버로 전송하는 데이터 케이블, 그리고 CCD 카메라에 전원을 연결하는 전원 어댑터로 구성된다. 본 논문에서 사용된 CCD 카메라의 주요 사양은 표 1과 같다. 영상

그랩장비는 CCD 카메라가 취득한 영상 자료를 처리하는 프레임그래버와 PC로 구성된다. 본 논문에서 사용된 PC는 Intel Pentium 4 2.6GHz의 CPU와 1.0GHz의 RAM을 장착하였다. 또한 데이터 전송과 처리 속도를 극대화하기 위해 운영체제부분과 영상 저장부분을 분리하여 2개의 SCSI HDD를 따로 구분하여 사용하였다. 입·출력장비는 CCD 카메라로 촬영한 영상을 화면에 나타내거나, 객체 추적에 의해 디지털화된 이동객체의 움직임을 시각화하는데 사용된다.

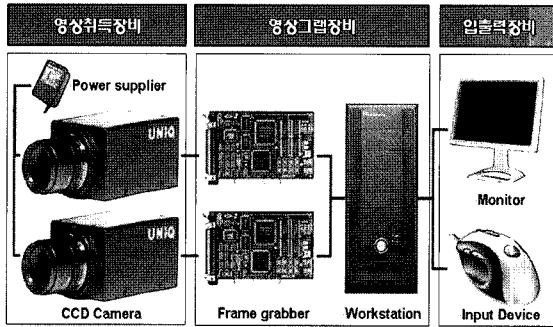


그림 2. 이동객체 추적시스템 장비 구성

표 1. CCD 카메라와 렌즈의 사양

항목	내용
명칭	UNIQ UC-900
영상 크기	1312×1028 (저장용량 : 3.952MB)
픽셀 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"
CCD 센서	1/2" Hyper HAD progressive scan interline transfer CCD

이동객체 추적시스템은 스테레오 영상 촬영, 이동객체의 영상좌표 취득, 영상좌표 보정, 3차원 좌표 결정의 순서로 작동한다. 축구장의 1/100 크기 축소모형은 바닥이 편평한 곳에 움직이지 않도록 고정시키고, 카메라를 고정시키기 위한 지지대(bracket)을 이용하여 중앙선 부근 양쪽 상단의 벽면에 두 대의 CCD 카메라를 설치하였다. 이는 축구장의 어느 위치에서나 축구공의 위치를 추적하고 3차원 좌표를 산출하는 것이 가능해야 하므로 두 대의 CCD 카메라가 축구장 전체에 대한 영상을 연속적으로 촬영할 수 있게 하기 위해서이다. 그림 3은 축구장 축소

모형과 스테레오 영상을 찍기 위한 카메라의 배치를 나타낸다.

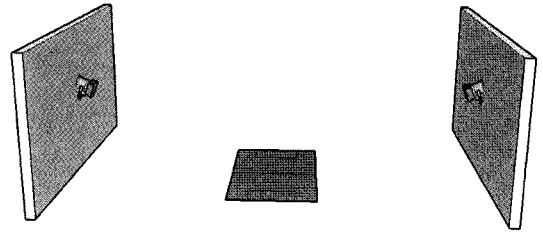


그림 3. 축구장 축소 모형과 CCD 카메라의 배치

4. 시스템 구현

그림 4의 이동객체 추적시스템 흐름도를 모듈별로 조금 더 상세하게 나타내면 그림 5와 같다. CCD 카메라를 통해 영상이 취득되면, 객체를 선택해야 하는데, 본 논문에서 개발된 시스템의 경우 정해진 이동객체(축소 축구공)의 크기와 RGB화소 값을 이용하여 자동으로 객체를 선택하게 설계되어 있다. 만약 자동 객체 추출에 실패한다면, 사용자가 입력 영상에서 입력장비(마우스)를 이용하여 영상에서 객체를 선택하도록 구현되었다. 선택된 객체의 영상은 광학렌즈의 특성상 렌즈왜곡을 가지고 있으므로 실험에 의해서 산출된 렌즈왜곡계수를 이용하여 영상좌표를 보정하고 3차원 좌표까지 결정하면 초기 영상에 대한 처리가 끝난다.

그러면 다음 영상에서 이동객체의 예상 움직임 범위를 설정하고, 설정된 범위 내에서 RGB에 대한 임계값을 이용하여 후보를 선정한다.

이렇게 선정된 후보 중 사전에 설정한 객체 크기(MBR size : Minimum Boundary Rectangle size)의 범위를 이용해 최종객체를 추출하고 그에 대한 영상좌표를 취득

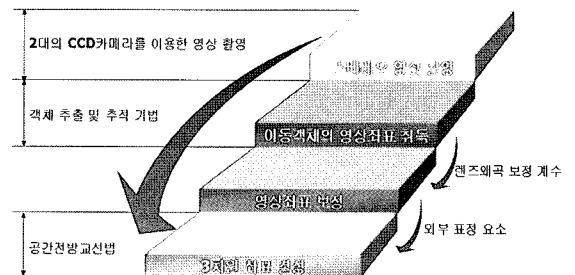


그림 4. 이동객체 추적시스템의 흐름도

한다. 이 단계에서 최종객체가 성공적으로 추출될 경우에는 영상좌표를 보정하고 3차원 좌표를 결정하게 된다. 그러나 그렇지 않을 경우에는 그림 5에서와 같이 ②번 과정으로 돌아가 사용자가 수동으로 객체를 선택하게 된다.

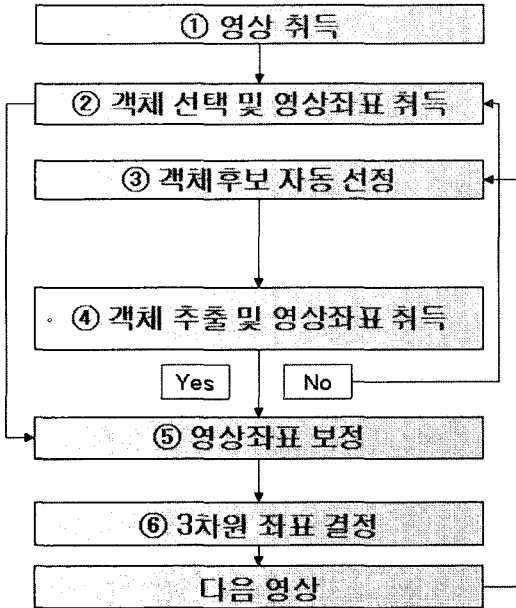


그림 5. 이동객체 추적시스템의 상세 흐름도

그 후에 영상좌표 보정 및 3차원 좌표 결정과정을 거치게 된다.

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 것으로서 축구장 모형을 예로 들면 축구공이 객체가 되고 나머지는 모두 배경으로 처리되는 것이다. 본 논문에서는 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 영상좌표를 취득하는 방법을 사용하였다.

본 논문에서 객체를 추출하고 영상좌표를 취득하는 순서는 그림 6과 같다.



그림 6. 이동객체의 영상좌표 취득순서

4.1 이동 객체의 영상좌표 취득

검색 영역 설정에 있어서 이동객체의 속도 및 방향을 잘 고려하여 검색 영역을 적절하게 설정하여야 한다.

본 논문에서는 픽셀기반의 영상분할을 할 때 배경으로부터 객체를 분리하였으며 서로 떨어져 있는 픽셀이 동일한 영역이 될 수도 있는 오류를 극복하기 위해 레이블링 기법을 사용하였다.

본 논문에서는 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.

본 논문에서는 객체에 대한 크기(MBR size)를 이용하여 후보 중에서 최종 객체를 추출하는 방법을 사용하였다. 축구공의 경우 크기가 일정하기 때문에 크기에 대한 범위를 미리 설정하여 추출하면 된다.

본 논문에서 말하는 예외 처리란 크기 필터링까지 거친

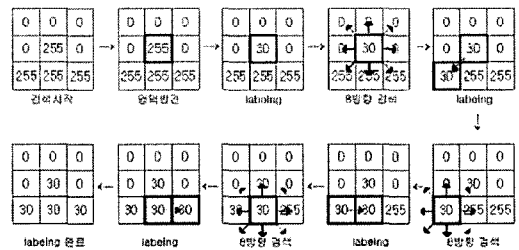


그림 7. Grassfire Labeling 기법

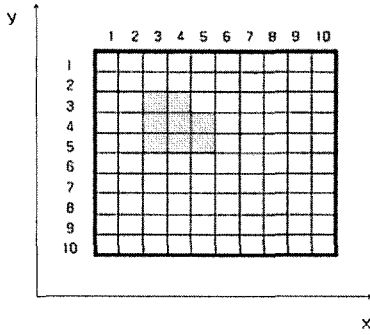


그림 8. 추출된 객체

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.

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

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

$$y = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{N-1} y_i \quad (1)$$

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

그림 8에서와 같이 추출된 객체에 대해 면적 중심법을 이용하여 중심좌표를 계산하면 다음과 같다.

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

$$y = \frac{(3+3+4+4+4+5+5+5)}{8} = 4.125 \quad (2)$$

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

4.2 이동객체 3차원 좌표 결정

4.2.1 영상좌표 보정

좌측과 우측 영상에서 관측된 점 j 의 영상좌표를 각각

$(x_{1j}, y_{1j}), (x_{2j}, y_{2j})$ 라고 하면 렌즈왜곡이 보정된 좌표 $(x_{1j}^L, y_{1j}^L), (x_{2j}^L, y_{2j}^L)$ 은 식 (3)과 같이 계산한다.

$$x'_{Lj} = x_{Lj} \left(1 - \frac{\Delta r_{Lj}}{r_{Lj}} \right) - x_{Lp} = x_{Lj} (1 - k_{L1}r_{Lj}^2 - k_{L2}r_{Lj}^4 - k_{L3}r_{Lj}^6) - x_{Lp}$$

$$y'_{Lj} = y_{Lj} \left(1 - \frac{\Delta r_{Lj}}{r_{Lj}} \right) - y_{Lp} = y_{Lj} (1 - k_{L1}r_{Lj}^2 - k_{L2}r_{Lj}^4 - k_{L3}r_{Lj}^6) - y_{Lp}$$

$$x'_{Rj} = x_{Rj} \left(1 - \frac{\Delta r_{Rj}}{r_{Rj}} \right) - x_{Rp} = x_{Rj} (1 - k_{R1}r_{Rj}^2 - k_{R2}r_{Rj}^4 - k_{R3}r_{Rj}^6) - x_{Rp}$$

$$y'_{Rj} = y_{Rj} \left(1 - \frac{\Delta r_{Rj}}{r_{Rj}} \right) - y_{Rp} = y_{Rj} (1 - k_{R1}r_{Rj}^2 - k_{R2}r_{Rj}^4 - k_{R3}r_{Rj}^6) - y_{Rp} \quad (3)$$

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 3D 타겟을 이용한 self-calibration 방법을 통하여 얻어진 값을 사용하였다.

표 2. 3D 타겟을 이용한 카메라 검교정 결과

	좌측카메라	우측카메라
$x_p(mm)$	0.002488023	-0.014368102
$y_p(mm)$	-0.001366383	-0.001317496
$f(mm)$	12.270029335	12.27061762
k_1	-0.001426730	-0.002165609
k_2	0.000018934	0.000133446
k_3	-0.000007480	-0.00012944

4.2.2 상호표정

상호표정(Relative Orientation)이란 촬영 당시 카메라들 간의 상대적인 자세와 위치이동을 결정하는 작업이다. 각각의 카메라를 통해 얻어진 영상은 세 개의 위치요소(X_0, Y_0, Z_0)와 세 개의 회전요소(w, ϕ, κ)를 갖는다. 스테레오 카메라를 통해 획득된 영상을 이용하여 촬영 당시의 상황으로 재현하기 위해서는 12개의 표정요소를 결정해야 한다.

상호표정은 독립적 상호표정(Independent Relative Orientation)과 종속적 상호표정(Dependent Relative Orientation)의 두 가지 방법으로 구분된다. 상호표정은 두 카메라간의 상대적인 자세와 위치를 구현하는 과정이므로 외부표정요소 중 몇몇 요소를 상수로 놓고 나머지 요소들을 계산한다. 계산된 외부표정변수들은 촬영 시에 존재했던 실

제 값이 아니라 사진들 간의 상대적인 관계를 규명하는 값이라고 할 수 있다.

종속적 상호표정에서는 일반적으로 왼쪽 사진의 외부표정요소 $w, \phi, \kappa, X_L, Y_L, Z_L$ 등을 '0'으로 고정하고 오른쪽 사진의 은 사진기선 b 와 같이 설정하는데, 지상사진의 경우에는 카메라가 지면과 평행을 이루므로 w 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. 본 논문에서는 왼쪽 카메라의 외부표정 요소를 0으로 고정한 종속적 상호표정을 사용하였다.

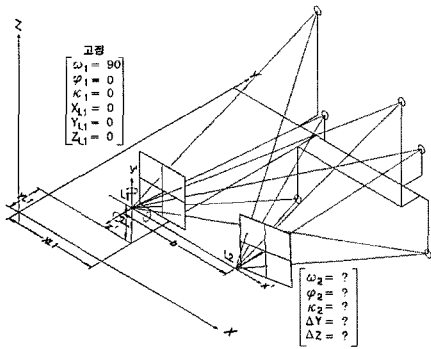


그림 9. 지상사진 상호표정

그림 10은 본 논문에서 사용한 상호표정 모듈로서 상호표정을 위한 상호표정점(센터라인, 엔드라인과 사이드라인의 교점)을 사용자가 마우스로 클릭하면 상호표정을 실시하게 된다. 이때 미리 입력하여 둔 카메라 내부표정 정보도 활용된다.

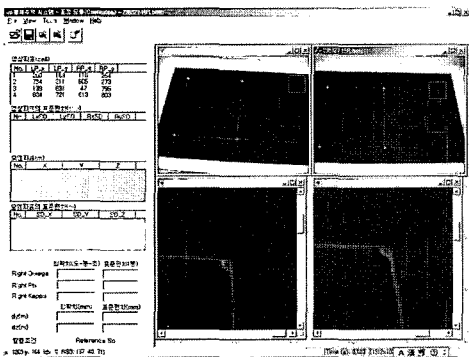


그림 10. 상호표정 모듈

4.2.3절대표정

본 논문에서는 고정된 2대의 카메라를 이용해 이동객

체의 3차원 위치를 결정하게 되므로 절대표정을 수행해 각각의 카메라에 대한 위치 및 자세를 한 번만 산출하면 그 값은 변하지 않는다. 절대표정 과정을 용이하게 하기 위해 본 논문에서 사용된 모듈은 여러 정보를 입력 파일에 기록하여 모듈에서 이를 읽어 처리하는 방식으로 되어 있다. 입력파일에는 각 카메라의 내부표정요소를 비롯하여 외부표정요소의 초기값, 기준점(측구장모서리)의 실측 위치, 기준점의 영상좌표를 기록한다.

4.2.4 객체의 3차원 좌표 결정

기하학적 공간전방교선법은 정해진 카메라 외부표정요소와 객체와 좌우 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)).

$$\alpha_1 = 90^\circ + \phi_1 - \tan^{-1} \left(\frac{x_{la}}{f} \right)$$

$$\alpha_2 = 90^\circ - \phi_1 - \tan^{-1} \left(\frac{x_{ra}}{f} \right)$$

$$\alpha_3 = 180^\circ - \alpha_1 - \alpha_2$$

$$AL_1 = BL \cdot \frac{\sin \alpha_2}{\sin \alpha_3}$$

$$AL_2 = BL \cdot \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_3}$$

(4)

$$X_A = \frac{AL_1 \cdot \cos \alpha_1 + BL - AL_2 \cdot \cos \alpha_2}{2}$$

$$Y_A = \frac{AL_1 \cdot \sin \alpha_1 + AL - AL_2 \cdot \sin \alpha_2}{2}$$

$$Z_A = \frac{y_{la} + y_{ra}}{2} \cdot \frac{Y_A^2}{f}$$

(5)

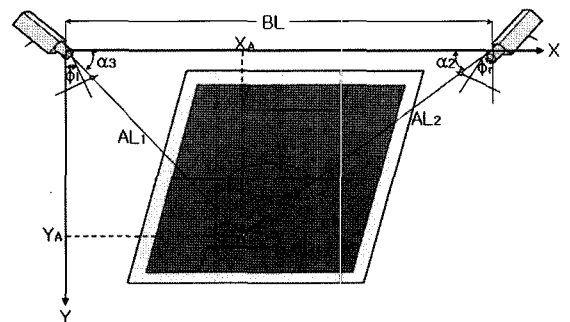


그림 11. 기하학적 공간전방교선법

표 3. 공간전방교선법의 정확도(RMSE) 비교

방 법	위치결정 정확도(m)				소요시간 (초/측점)
	X축	Y축	Z축	3D 거리	
A	0.0183	0.0407	0.0180	0.0481	0.000042
B	0.0183	0.0407	0.0180	0.0482	0.000015

공선조건식을 이용한 공간전방교선법은 보편적으로 사용되고 있지만 이 방법은 행렬의 곱셈과 역행렬 연산을 사용하기 때문에 계산이 다소 복잡하고 시간이 비교적 많이 소요되는 단점이 있다.

표 3은 정면에서 촬영된 두 영상을 이용하여 ‘(A)공선조건식을 이용한 공간전방교선법’과 ‘(B)해석적 공간전방교선법’의 3차원 위치결정 정확도를 비교한 것이다(정동훈, 2004).

약 12m 거리에서 두 방법에 mm단위 이하의 아주 미세한 차이만이 나타났다. 29개의 측점을 1,000회 반복 계산하는 시간을 0.001초 정밀도로 측정된 뒤 29,000점으로 나누어 측점당 소요되는 시간으로 환산하였고, 그 결과는 기하학적 공간전방교선법이 35%의 계산시간의 이득이 있었다. 따라서 신속하게 이동체의 위치를 결정해야 하기 때문에 기하학적 공간전방교선법을 본 논문에서 사용하였다.

5. 실험 및 분석

5.1 공의 속도에 따른 객체 추적

본 논문에서는 이동객체의 추적 알고리즘을 축구경기에 적용하기 위하여 축구장 축소모형을 제작하여 사용하였다. 축구공의 움직임을 추적하기 위해서는 추적하는 시간 간격을 적절하게 설정하는 것이 중요하다(장세일, 2003). 짧은 시간 간격으로 추적을 실시한다면 축구공의 움직임을 세밀하게 추적할 수 있는 반면 자료의 양이 방대해지는 단점이 있고, 시간 간격을 크게 하면 축구공의 움직임을 세밀하게 추적할 수 없게 된다. 따라서 축구공의 속도와 이에 따른 이동거리를 파악하여 추적시간간격을 적절히 조절해야 한다.

표 4는 축구공의 속도에 따른 이동거리를 나타낸 표이다.

실제 축구경기에서 시속 100km/h 이상의 슛은 보통 프리킥이나 페널티킥 이외에는 잘 나오지 않는다. 만약 이 정도 속도의 움직임까지 추적하고자 한다면 예상 움직임을 매우 크게 설정해야 하기 때문에 전체적인 모듈의

표 4. 공의 속도에 따른 이동거리

공의 속도 (km/h)	기준시간 당 이동거리(m)			
	1초	0.5초	0.2초	0.1초
156 (캐논슛)	43	21.5	8.6	4.3
100 (페널티킥)	28	14	5.6	2.8
80	22	11	4.4	2.2
70	19	9.5	3.8	1.9
60	17	8.5	3.4	1.7
50	14	7	2.8	1.4

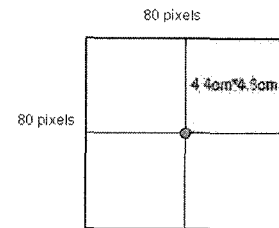


그림 12. 예상 움직임 범위 설정

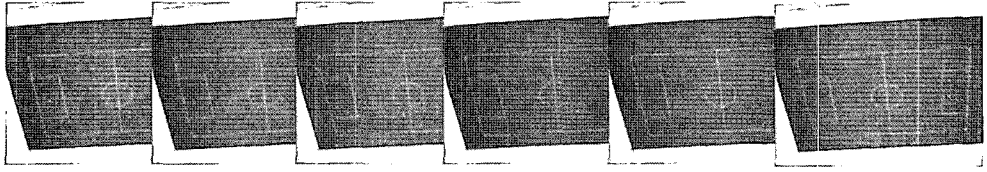
동작속도가 많이 떨어지게 된다. 패스의 속도가 약 50~60km/h 정도라고 했을 때 기준시간 당 공의 이동거리를 표 4를 살펴보면 0.1초당 약 1.4~1.7m, 0.2초당 약 2.8~3.4m 정도이다. 따라서 킥패스까지 포함한다 해도 0.2초 정도의 추적시간간격이면 공의 움직임을 추적하는 데 무난하다고 생각된다.

추적시간간격이 정해지면 이에 적절한 예상 움직임 범위를 설정해야 한다. 초기에 축구공이 추출된 후 축구공의 움직임을 추적하기 위해서 추출된 축구공의 위치를 중심으로 예상 움직임을 범위를 설정하여 그 내에서의 검색을 실시한다. 이때 움직임 범위를 너무 크게 설정하면 검색 속도가 느려지고, 움직임 범위를 너무 작게 설정하면 축구공을 제대로 추적하지 못할 확률이 높다.

본 논문에서 사용한 CCD 카메라로 영상을 촬영했을 때 1장의 영상이 포함하는 실제 면적은 약 143cm×127cm이다. CCD 카메라는 1312×1028개의 픽셀을 가지므로 픽셀 1개가 포함하는 실제 면적은 약 0.11cm×0.12cm가 된다.

그림 12에서와 같이 본 논문에서는 예상 움직임을 범위를 80픽셀 × 80픽셀로 설정하였다. 픽셀 1개가 포함하는 실제 면적은 약 0.11cm×0.12cm이므로 이 경우 현재 축구공의 위치를 중심으로 4방향에 대해 축구장 축소모형에서 4.4cm×4.8cm의 면적에 해당한다. 축구장 축소모형

Left



Right

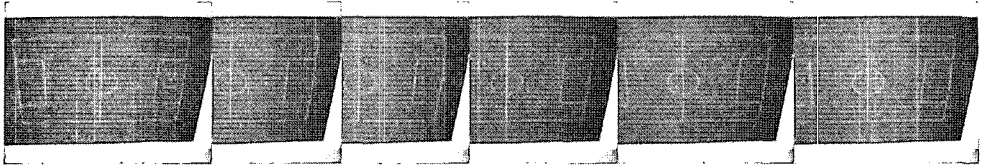


그림 13. 좌우측 CCD 카메라에서 추출된 움직이는 축구공

은 실제 축구장의 1/100 크기이므로 실제 축구장에서는 4.4m×4.8의 면적에 해당한다. 이 경우 약 80km/h로 움직이는 공까지 추적이 가능하다. 즉 본 논문에서는 0.2초 추적시간간격으로 약 80km/h로 움직이는 공까지 추적이 가능하도록 이동객체 추적모듈을 설계하였다.

이동객체 추적 모듈 실험을 위해서 속도에 따라 객체를 투명한 실에 묶어서 움직였고, 시스템의 성능 테스트를 위해서 속도별로 이동거리 다르게 하여 실험을 진행하였다. 또 실제 경기에서는 선수가 공을 드리블하거나 공을 서로 다투는 경우가 발생하므로 사람모형 주변에도 공을 이동시킴으로써 실제 경기와 유사한 상황을 연출하고자 하였다. 그림 13을 보면 공을 중심으로 두 개의 사각형을 볼 수 있는데 안쪽의 빨간 사각형은 공의 MBR이고, 바깥쪽의 보라색 사각형은 보라색 사각형은 예상움직임 범위를 나타낸다.

5.2 객체 추적의 성능 테스트

실제의 축구 경기는 축구공 외에도 축구선수가 함께 경기장을 움직이며 진행된다. 따라서 본 논문에서는 축구선수 모형을 제작하여 축구장 축소모형위에 위치시킨 후 공을 추적하는 테스트를 실시하였다. 본 논문에서 사용한 축구공 모형의 경우 흰색이므로 유니폼의 색깔을 파란색, 빨간색, 흰색, 상의가 흰색, 하의가 흰색일 때로 구분하여 테스트를 진행하였다.

5.2.1 유니폼의 색깔이 흰색일 경우

유니폼이 흰색일 경우에는 축구공을 잘 추적할 수 있었다. 이는 유니폼의 색깔이 축구공과 비슷하긴 하지만 크기가 확연히 틀리기 때문이다. 예상 움직임 범위 내에 축

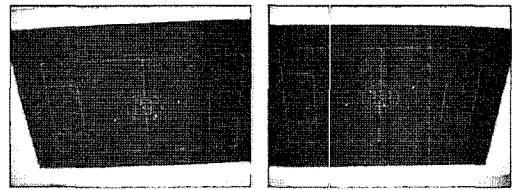


그림 14. 유니폼의 색깔이 흰색일 경우

구공과 선수가 함께 있는 경우에도 크기 필터링 과정에서 축구선수 모형은 미리 설정된 MBR size 범위를 벗어나므로 축구공이 최종객체로 추출된다.

5.2.2 유니폼의 상의 또는 하의 색깔이 흰색일 경우

유니폼의 상의 또는 하의 색깔이 흰색일 경우는 유니폼의 색깔이 흰색일 경우와 마찬가지로 크기 필터링 과정에서 MBR size에 의해 축구선수 모형이 걸러지고 최종적으로 축구공이 추출된다. 유니폼의 하의 색깔이 흰색일 경우에도 예상 움직임 범위 내에 축구공이 정확하게 추출되는 것을 확인할 수 있다.

일반적으로 축구선수의 유니폼은 축구공의 크기에 비해 크다. 따라서 크기 필터링 과정을 거치면서 축구공이 최종적으로 추출되게 된다. 그러나 만약 선수들 간의 몸

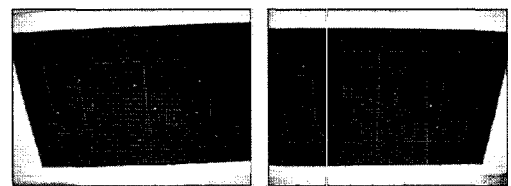


그림 15. 하의 색깔이 흰색일 경우

싸움 등으로 인해 흰색 유니폼의 일부분이 가려져 영상에서 축구공과 비슷한 크기로 나타날 경우 축구공 대신 축구선수가 추출될 수도 있다. 본 논문에서 제안한 축구공 모형의 추출 및 추적 알고리즘의 경우 축구장 모형에 다른 객체가 존재하지 않을 때에는 95% 이상의 성공률을 나타내었지만, 실제 축구경기에 발생 가능한 축구선수 모형에 의한 축구공 가림현상 발생시 객체를 추출하지 못하는 경우가 발생하였다.

5.3 3차원 위치정확도 산출 성능 테스트

본 논문에서는 축구장 모형에서 축구장의 중심(센터서클의 중심점)을 원점으로 한 이동객체의 3차원 좌표를 산출하였다.

이동객체 추적 모듈로 계산한 축구공의 3차원 좌표와 실제좌표와의 정확도를 비교하기 위해 축구장 위에 타겟을 설치하여 토탈스테이션(Total station)으로 측정한 값과, 이동객체 추적 모듈로 계산한 값을 비교하였다(정동훈, 2002). 개발한 이동객체 추적 모듈의 경우 1개의 객체에 대해서만 좌표계산이 가능하다. 한편 축구장 위에 공을 위치시키지 않고 공과 색깔, 크기가 전혀 다른 타겟을 설치하면 이동객체 추적 모듈은 어떠한 객체도 추출하지 못한다. 따라서 이러한 타겟을 축구장 위에 여러 개

설치한 뒤 수동으로 타겟의 중심점을 클릭하여 타겟의 3차원 좌표를 계산한다.

토탈스테이션으로 타겟을 측정하기 위해서는 그림 16과 같이 타겟에 반사판이 부착되어 있어야 하고, 반사판이 토탈스테이션에서 주사되는 광파를 반사시킬 수 있어야 한다. 토탈스테이션으로 측정한 타겟의 좌표값과 이동객체 추적모듈로 계산한 좌표값은 표 3에서 보는바와 같다.

표 5에서 보는 바와 같이 x, y, z 방향으로 좌표에 대한 거리차는 평균적으로 약 2.5cm 정도인 것을 알 수 있다. 또 본 논문에서는 모형 축구장에 거리를 눈금으로 표시

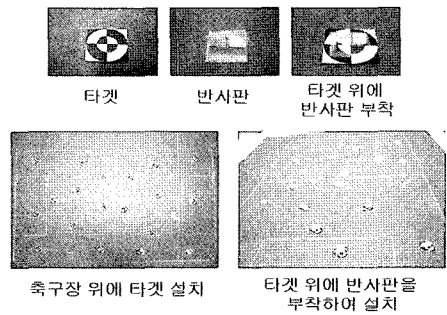


그림 16. 이동객체 추적 시스템의 정확도 검증을 위한 실험 환경

표 5. 토탈스테이션과 이동객체 추적모듈로 측정한 타겟의 좌표값(단위: m)

	토탈스테이션			이동객체 추적모듈			좌표값의 차		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	-0.254	-0.405	0.003	-0.219	-0.362	0.036	-0.036	-0.043	-0.033
2	-0.236	-0.159	0.002	-0.201	-0.130	0.033	-0.035	-0.029	-0.031
3	-0.212	0.203	0.002	-0.188	0.173	0.029	-0.024	0.030	0.027
4	-0.260	0.406	0.004	-0.223	0.366	0.022	-0.040	0.040	0.018
5	-0.166	-0.051	0.001	-0.130	-0.043	0.018	-0.036	-0.008	0.017
.
.
.
.
.
16	0.156	0.179	0.002	0.123	0.158	0.024	0.033	0.021	0.022
17	0.238	-0.402	0.002	0.209	-0.359	-0.030	0.029	-0.043	0.032
18	0.237	-0.067	0.001	0.206	-0.058	-0.021	0.031	-0.009	0.022
19	0.250	0.128	0.001	0.215	0.112	0.018	0.035	0.016	0.017
20	0.168	0.366	0.002	0.132	0.331	0.034	0.036	0.035	0.032
						RMSE	0.0258	0.0263	0.0245

하여 이동 객체의 속도별로 산출되는 3차원 좌표와 모형 축구장의 거리를 비교하여 보았다. 이 실험은 움직이는 상황에서 위치계산의 정확도를 검증하는 작업으로 모형 축구공을 3차원으로 움직일 경우 정확도를 검증하기 힘들므로 평면 상황에서만 실험을 실시하였다. 그림 17은 모형 축구공을 실에 매달고 축구장 모형에 거리를 표시한 것이다.

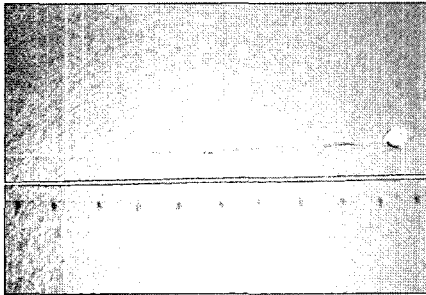


그림 17. 이동객체 추적 시스템의 속도별 정확도 검증을 위한 실험환경

그림 17에서 보는 바와 같이 축구공을 속도별로 이동시키면서 3차원 좌표값을 산출한 값과 실제 축구장의 좌표를 비교해본 결과 RMSE는 그림 18과 같다. 이때 실제 축구장의 좌표는 토탈스테이션을 이용하여 축구장의 센터라인과 엔드라인의 좌표를 측정하고 1cm 간격으로 표시하였다. 또 영상의 입력 간격은 1초 간격으로 수행하였다.

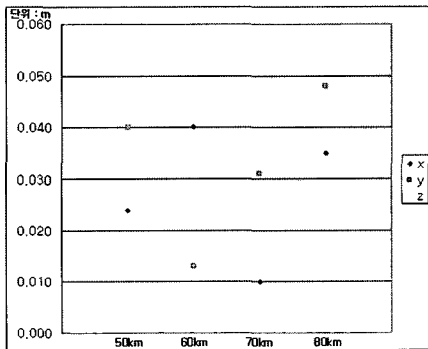


그림 18. 속도별 정확도(RMSE)

6. 결 론

본 논문에서는 영상처리 기법뿐만 아니라 사진측량학적 기법을 이용하여 이동객체를 정확히 추출하고 그에 대한 3차원 좌표까지를 획득하였다. 본 논문에서 사용된 CCD카메라의 시야각으로는 두 대의 카메라를 이용해 경기장 전체를 촬영하는 것이 불가능 하므로 경기장에 여러 대의 카메라를 설치하거나 시야각이 더 큰 렌즈를 사용해야 한다. 현재 축구경기분석을 위해 개발된 국내외의 시스템들은 후처리를 기반으로 하고 있다. 그러나 본 논문에서 개발한 모듈은 실시간에 가깝게 공의 위치를 추적하는 것이 가능하기 때문에 향후 좀 더 보완한다면 축구경기에 대한 신속한 통계 및 분석이 가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 육성·지원사업의 연구결과로 수행되었음.

참고문헌

- 권혁중 (2005), 스테레오 CCD 카메라를 이용한 이동체의 실시간 3차원 위치추적, 석사학위논문, 인하대학교.
- 김급옥 (2002), 비모수적 차영상과 칼만 필터에 기반한 실시간 객체 추적 기법, 석사학위논문, 신라대학교.
- 장세일 (2003), Markov Random Field를 이용한 객체 추출 및 추적, 석사학위논문, 한양대학교.
- 정동훈 (2004), 차량측량시스템을 위한 카메라 검교정 및 3차원 위치결정에 관한 연구, 박사학위논문, 인하대학교.

(접수일 2006. 5. 8, 심사일 2006. 6. 5, 심사완료일 2006. 6. 26)