

論文99-36S-1-6

# 축구 경기 분석 I : 영상 모자이크를 통한 축구 선수의 운동장 궤적 추출 (Soccer Game Analysis I : Extraction of Soccer Players' ground traces using Image Mosaic)

金泰源\*, 洪起祥\*

(Tae-one Kim and Ki-Sang Hong)

## 요 약

본 논문에서는 축구 경기 자동 분석을 위한 첫걸음으로 일반적인 축구 경기 영상열에서 선수 및 공을 추적하고 영상 모자이크 기법을 이용해서 운동장 모델 상에서 선수가 움직인 궤적을 알아내는 기법을 제시한다. 여기서 일반적인 축구 경기 영상열이란 극도의 zoom-in 또는 zoom-out이 아닌 경우로 TV 카메라가 공을 쫓아 자연스럽게 움직이는 상황의 영상을 말한다. 이러한 영상열로부터 선수의 궤적을 구하기 위해선 다음과 같이 크게 세 가지 문제를 해결해야한다. 첫째로 입력 영상에서 운동장 부분을 추출하는 문제, 둘째로 선수 및 공을 추적하고 선수들의 팀을 구분하는 문제, 마지막으로 영상에서의 선수의 위치를 실제 운동장 좌표로의 변환을 통해 선수가 움직인 자취를 운동장 모델 상에서 구하는 문제가 그것이다. 운동장의 추출은 칼라 정보를 이용하였고 이 추출된 운동장 영역 하에서 템플릿 매칭과 Kalman 필터링을 이용하여 선수와 공을 추적했다. 선수간 겹침 문제에 대해서는 CHBP(Color Histogram Back-Projection) 기법을 적용했다. 특히 선수가 운동장에서 움직인 궤적을 구하기 위해서 입력 영상에서 보이는 특징점들을 이용하여 운동장 모델 좌표와 입력 영상 좌표 간의 변환을 구하고 이를 통해 운동장 모델에서의 선수의 위치를 구했다. 이때에 입력 영상에서 특징점이 충분치 않을 경우 영상 모자이크 기법을 이용하여 특징점이 보이는 영상과의 좌표 변환 관계를 구함으로써 해결하였다. 실험으로 실제 TV에서 방영된 축구 경기 영상열에 제안된 방법을 적용하여 얻어진 결과를 보인다.

## Abstract

In this paper we propose the technique for tracking players and a ball and for obtaining players' ground traces using image mosaic in general soccer sequences. Here, general soccer sequences mean the case that there is no extreme zoom-in or zoom-out of TV camera. Obtaining players' ground traces requires that the following three main problems be solved. Three main problems: (1) ground field extraction (2) player and ball tracking and team identification (3) player positioning. The region of ground field is extracted on the basis of color information. Players are tracked by template matching and Kalman filtering. Occlusion reasoning between overlapped players is done by color histogram back-projection. To find the location of a player, a ground model is constructed and transformation between the input images and the field model is computed using four or more feature points. But, when feature points extracted are insufficient, image-based mosaic technique is applied. By this image-to-model transformation, the traces of players on the ground model can be determined. We tested our method on real TV soccer sequence and the experimental results are given.

## I. 서론

\* 正會員, 浦港工科大学校 電子電氣工學科

(Pohang Univ. of Sci. and Tech.)

接受日字:1998年3月24日, 수정완료일:1998年10月7日

2002년 월드컵이 한국과 일본의 공동 개최로 결정됨에 따라 축구에 대한 관심이 점차 증가하고 있다.

본 논문에서는 컴퓨터 비전 및 영상처리 기법을 축구 경기 영상열에 적용하여 경기 자동 분석을 수행함으로써 여러 가지 흥미로운 데이터(선수 위치, 운동량, 달리기 능력 등의 정보)를 뽑아내고, 최종적으로는 상대 팀의 전략, 경기 내용 파악 등과 같은 고차원적 경기 분석을 가능하도록 하는 시스템 구성을 위한 첫 단계로 실제 축구 경기 영상열로부터 선수와 공의 궤적을 자동으로 추출할 수 있는 방법을 제안한다. 이를 위해서 영상열에서 선수 및 공을 추적(tracking)하고 이를 통해 실제 축구장에서 선수가 움직여 나간 자취(trace)를 구하고자 한다.

본 논문에서 제안한 방법과 관련된 연구로는 Intille와 Bobick<sup>[1]</sup>이 제안한 미식 축구 영상열에서의 선수 추적을 들 수 있다. 일반적으로 미식 축구 영상에는 축구 영상과는 다르게 운동장에 그려진 선들(lines)과 교차점 같은 비교적 많은 특징점들이 존재해서 영상-모델 좌표 변환을 구하는 것이 비교적 쉽다. 그들은 선수 겹침 현상이 발생할 때에 운동장에 보이는 특징점들 중에서 다른 것들과 뚜렷이 구분되는 특징점들을 이용해서 영상-모델 변환을 구하고 선수들을 추적했다. 그 외에 Kawashima<sup>[2]</sup>는 칼라 히스토그램 투영(color histogram projection)을 이용해서 선수들의 단체 행동(group behavior)을 분석했고, Taki<sup>[3]</sup>는 여러 대의 카메라로부터 얻어진 영상을 분석해서 선수들간의 팀워크(teamwork)를 평가하는 방법을 개발했다. 또한 Yow<sup>[4]</sup>는 경기 영상열에 영상 모자이크 기법을 적용하여 경기 영상에서 주요 장면(highlight scene)을 추출하는 방법을 제안했다. 이런 시스템들은 주로 경기 영상으로부터 선수들의 단체 행동이나 팀워크와 같은 고차원적인 정보를 얻는데 그 목적이 있다. 이에 비해서, 본 논문의 목적은 개개의 선수들과 공을 추적하고 선수들간의 팀 구별 및 선수 위치 계산과 같은 기본 정보 추출에 있다. 이러한 정보는 축구 경기 영상 자동 분석에 있어서 중요한 기본 정보가 된다.

실험을 위해 TV에서 방송되는 축구 경기를 녹화하여 실험 영상으로 사용했는데 TV 카메라의 움직임으로 인해서 흔히 발생할 수 있는 inter-field 움직임(motion)을 없애기 위해 even field 영상만을 사용했다. 그림 1에 TV 카메라로부터 얻어진 표본 영상의 예를 나타냈다. 본 논문의 구성은 다음과 같이 크게 세 가지 경우로 나누어진다.

(1) 운동장 영역 추출 : 운동장이 영상에서 대부분

을 차지하고 또한 거의 녹색에 가깝다는 가정 하에서 영상의 칼라 히스토그램(histogram) 정보를 이용하여 추출한다. 이때에 운동장의 색깔이 흑색에 가까울 경우에는 경계선(side line) 추출을 통한 운동장 영역의 구분이 필요할 것이다. 이렇게 추출된 운동장 영역 하에서 선수 추적, 중앙선(half line), 경계선, 그리고 중앙원(center circle) 추출을 수행하고 이로부터 영상 모자이크(image mosaic)을 수행한다.

(2) 선수, 공의 추출 및 추적 : 선수들의 움직임은 비강체(non-rigid body) 움직임을 가정하고 또한 선수들간의 충돌과 겹침 문제(occlusion problem)등이 발생할 수 있음을 고려해야 한다. 선수의 추적은 간단한 템플릿 매칭(template matching)과 Kalman 필터링(filtering)을 사용하였고, 겹침 문제는 CHBP(Color Histogram Back-Projection) 기법을<sup>[5]</sup> 이용하여 해결했다. 선수간 팀 구별(team identification)은 선수 템플릿의 칼라 분포를 이용했다. 선수 추적에 사용된 비슷한 방법이 공의 추적에도 적용되나 공의 경우는 초기 위치 선정 문제가 있다.

(3) 실제 운동장에서의 선수들의 위치 계산 : 먼저 운동장 모델을 구성하고 입력 영상과 모델 사이에 대응되는 대응점(corresponding points)을 이용하여 영상-모델 변환(3 x 3 행렬)을 구한다. 여기서 대응점은 입력 영상에 존재하는 특징점(feature points)에 해당한다. 이때 입력 영상에 특징점이 충분치 않을 경우를 대비하여 영상 모자이크 기법(image mosaic technique)<sup>[6]</sup>을 사용했다. 이렇게 최종적으로 구해진 각각의 선수들이 운동장에서 움직인 궤적은 경기 분석이나 영상 주석(video annotation)등에 쓰일 수 있다.



(a) (b)

그림 1. 예제 경기 영상열(640x240) : 초당 30 프레임의 짝수 필드 영상

Fig. 1. Exemplary images of a soccer sequence, which are sampled at thirty frames per second and deinterlaced.

제 2 절에서는 운동장 영역 추출 방법을 제시한다. 선수 및 공 추적 방법과 팀 구별 문제는 제 3 절에서 기술하고 제 4 절에서는 운동장 모델과 선수의 운동장

에서의 위치 계산 방법에 대해 설명한다. 마지막으로 결론이 제 5 절에 주어진다.

## II. 운동장 영역 추출

영상에서 선수들은 운동장안에 존재함으로써 우선 운동장 이외의 부분들 즉 관중석이나 광고판 같은 부분을 제외한 운동장 영역을 먼저 추출해야 한다. 이렇게 추출된 운동장 영역을 바탕으로 모든 작업이 이루어진다. 일반적으로 운동장의 색깔은 녹색에 가깝다고 가정할 수 있는데, 만일 운동장의 색깔이 기타 여건에 의해서 흑색에 가까울 경우에는 색깔에 의한 운동장 구분이 어려워진다. 따라서 이때에는 경계선에 의한 운동장 구분이 필요할 것이다. 아래에 운동장 영역의 색이 녹색에 가깝고 또한 입력 영상에서 대부분의 영역을 차지한다는 가정을 이용하여 운동장을 추출하는 식을 표시했다.

$$B(x, y) = \begin{cases} 1 : \begin{cases} |I_R(x, y) - R_{peak}| < R_{th} & \text{----- (가)} \\ |I_G(x, y) - G_{peak}| < G_{th} & \text{----- (나)} \\ |I_B(x, y) - B_{peak}| < B_{th} & \text{----- (다)} \\ I_G(x, y) > I_R(x, y) & \text{----- (라)} \\ I_G(x, y) > I_B(x, y) & \text{----- (마)} \end{cases} \\ 0 : \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

여기서  $I_R, I_G, I_B$ 는 각각 입력 영상의 R, G, B 영상에 해당하고,  $R_{peak}, G_{peak}, B_{peak}$ 는 각 R, G, B 영상의 히스토그램 분포에서의 최대치를 나타낸다. 또  $R_{th}, G_{th}, B_{th}$ 는 운동장 영역이 될 수 있는 문턱치(threshold values)를 나타낸다. 여기서 조건 (가)-(다)는 운동장이 입력 영상에서 대부분을 차지한다는 사실을 이용한 것이고, 조건 (라), (마)는 운동장의 색깔이 녹색에 가깝다는 가정을 이용한 것이다. 이렇게 해서 구해진 이진화 영상  $B(x, y)$ 에 먼저 형태학적(morphological) 필터링과 연결 영역 추출(Connected Region Extraction) 방법을 적용해서 운동장 영역을 추출하고, 이 추출된 영역에 경계 추출(boundary-following) 방법을 이용해서 운동장 영역의 경계선을 추출하고 이 경계선의 안쪽에 해당하는 영역을 모두 운동장 영역으로 가정하여 운동장 마스크(mask)를 구성한다<sup>[7]</sup>. 그림 2에 입력 영상의 R, G, B 히스토그램을 나타냈고, 그림 3에 입력 영상과 최종적으로 구성된 운동장 마스크를 나타냈다.

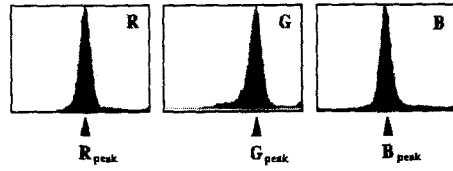
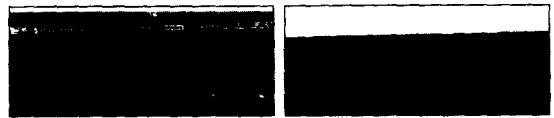


그림 2. R, G, B 히스토그램 분포 : 최대치는  $R_{peak}, G_{peak}, B_{peak}$   
 Fig. 2. R, G, B histogram with the peak values  $R_{peak}, G_{peak}, B_{peak}$ .



(a) 입력 영상 (b) 운동장 마스크

그림 3. 운동장 영역의 추출  
 Fig. 3. Extraction of the ground region.

추출된 운동장 영역 안에서 운동장의 색깔에 해당하지 않는 부분이 선수들에 해당한다. 따라서 다음과 같은 식에 의해서 선수들을 추출해 낼 수 있다.

$$P(x, y) = \begin{cases} 1 : \text{if } (x, y) \in \text{field and } B(x, y) = 0 \\ 0 : \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

이렇게 추출된 각각의 선수의 위치는 선수 추적을 위한 초기 템플릿 구성에 이용된다. 그림 4는 식 (2)을 적용해서 추출된 선수들을 보여준다.

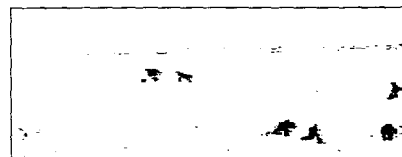


그림 4. 선수 마스크  
 Fig. 4. Extraction of players : Player mask.

## III. 선수 및 공의 추적

### 1. 선수 추적

연속되는 입력 영상열에서 선수들의 영상에서의 위치는 계속해서 변화하게 된다. 이 움직임을 따라가는 것을 선수 추적이라 한다. 이 선수 추적을 위해서 본 논문에서는 템플릿 매칭과 Kalman 필터링을 이용했

다. 템플릿 매칭을 위해서 필요한 선수 템플릿은 그림 4의 선수 마스크(mask)로부터 얻어진 각각의 선수에 해당하는 일정한 크기의 영역을 입력 영상으로부터 얻어 초기 선수 템플릿을 구성했다. 그림 5(a)에 선수 마스크로부터 추출된 개개의 선수 영역에 해당하는 선수 템플릿을 나타냈다. 이렇게 얻어진 초기 선수 템플릿을 다음 번 입력 영상에서의 선수 위치 계산에 사용하는데 이때에 템플릿 매칭과 Kalman 필터링을 이용하게 된다. 즉 Kalman 필터링을 통해 예측된 다음 영상에서의 위치를 중심으로 일정한 사각형 영역 안을 스캔(scan)하면서 현재 구성되어 있는 선수 템플릿과의 상관도가 가장 큰 위치를 선수의 다음 위치로 판단한다. 이때 선수 템플릿은 찾아진 위치에 해당하는 선수 영역으로 갱신된다. 그림 5(b)에 Kalman 필터링에 기초한 템플릿 매칭을 나타냈다. 추적하고자 하는 선수들은 모두 추적 리스트(list)에 등록하고 이 리스트에 등록된 모든 선수들에 대해서 위와 같이 추적을 계속하게 된다. 이때 새로운 선수가 영상에 나타날 경우나 사라질 경우에는 추적 리스트에 새로이 등록 또는 삭제 가능하다.

선수 추적에서 고려해야 할 문제는 선수간 겹침 문제이다. 선수간 겹침이 발생할 때에도 겹쳐있는 선수들을 각각 구별하여 추적할 수 있어야 하는데 본 논문에서는 CHBP 기법을 이용하여 서로 다른 팀 선수간, 즉 색깔이 다른 선수간의 겹침 문제를 해결했다. 그림 6에 CHBP 기법을 그림으로 도시하였다. 이 그림에서  $M_i$ 는 선수 템플릿의 3차원 칼라 히스토그램,  $I_i$ 는 입력 영상에서 어느 한 위치를 중심으로 한 선수 템플릿 크기의 3차원 칼라 히스토그램 그리고  $r$ 는 칼라 히스토그램의 각각의 조각(bin)을 나타낸다. 이 두 칼라 히스토그램에 의해서 다음과 같이 비율 히스토그램을 계산할 수 있다.

$$R_i = \min\left[\frac{M_i}{I_i}, 1\right] \quad (3)$$

이렇게 얻어진  $R_i$ 를 원래의 2차원 영상으로 역투영(back-projection)하는데 입력 영상의 다른 모든 위치에서도 같은 방식을 적용하면 결과적으로 0에서 1사이의 화소값을 갖는 영상(back-projected image)을 구성할 수 있다<sup>[5]</sup>. 이 영상을 선수 크기 정도의 저대역(low-pass) 필터로 걸쌘(convolution)한 뒤에 최고값을 찾으면 그 위치가 바로 선수의 위치가 된다. 그

림 7은 다른 팀의 두 선수(2번 선수와 9번 선수)가 겹쳤다 떨어지는 장면이다. 여기서 CHBP 기법을 적용하여 성공적으로 두 선수를 각각 구별하여 추적하는 것을 볼 수 있다.

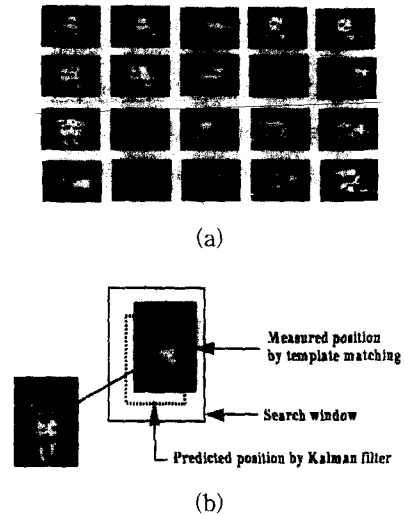


그림 5. 선수의 추적. (a) 선수 템플릿의 예, (b) Kalman 필터링을 이용한 템플릿 매칭  
Fig. 5. Player tracking. (a) player templates, (b) player tracking scheme using Kalman filtering.

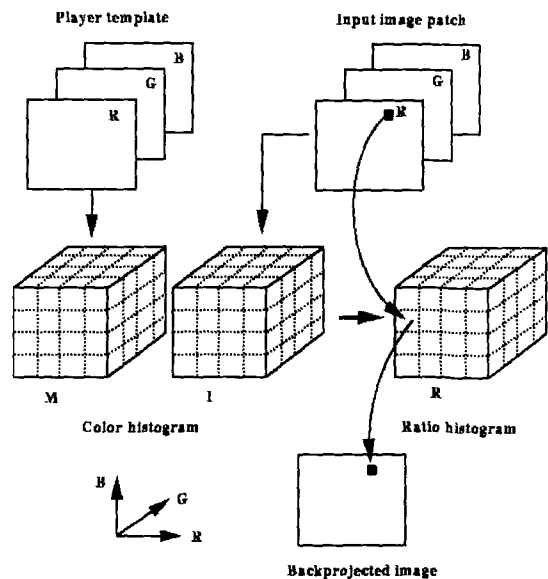


그림 6. CHBP(Color Histogram Backprojection) 기법의 도시  
Fig. 6. Illustration of Color Histogram Back-projection.



그림 7. CHBP 기법을 적용했을 때 다른 팀 선수간(2번 선수와 9번 선수) 겹침 시의 선수 추적  
 Fig. 7. Tracking in case of players' occlusion using CHBP technique.

2. 팀 구별

선수들의 팀 구별을 위해서 선수 템플릿에서 R, G, B 각각에 해당하는 수직 분포를 구한 후에 이것을 모델 분포와 비교했다. 그 단계는 아래와 같다.

(1) 선수 템플릿을 각각의 행에 대해 수평 방향으로 투영해서 각각의 행의 평균 R, G, B를 구한다.

(2) 이 수직 분포를 각 팀의 모델 분포와 비교해서 상관도를 구하여 상관도가 큰 쪽으로 선수의 팀을 구별한다. 이렇게 수직 분포를 비교함으로써 같은 색깔의 조합이지만 서로 상하가 바뀐 팀의 구별이 가능하다.

그림 8에 몇 명의 선수 템플릿에 대한 칼라 수직 분포를 보여주고 그림 9(b)에 팀 구분 결과를 서로 흰색과 검은 색의 사각형으로 표시했다. 그림 8에서 선수 A와 B(C와 D)는 같은 팀이므로 서로 비슷한 분포를 갖는다.

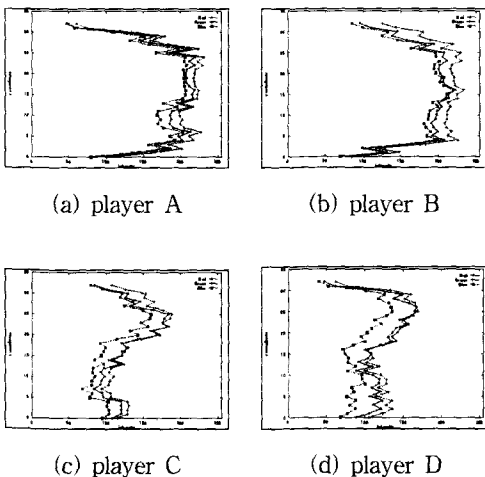
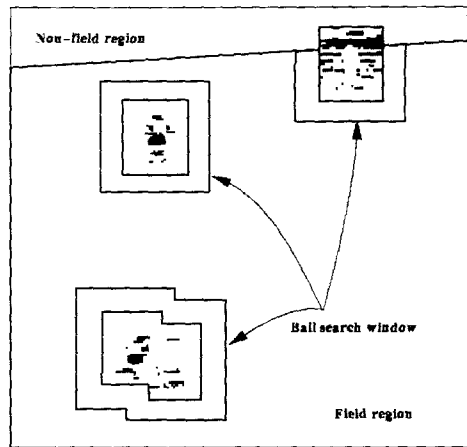


그림 8. 선수 템플릿의 칼라 수직 분포 예.  $x$  축은 R, G, B의 수평 투사값,  $y$  축은 정규화된 선수 템플릿의 높이를 나타낸다.

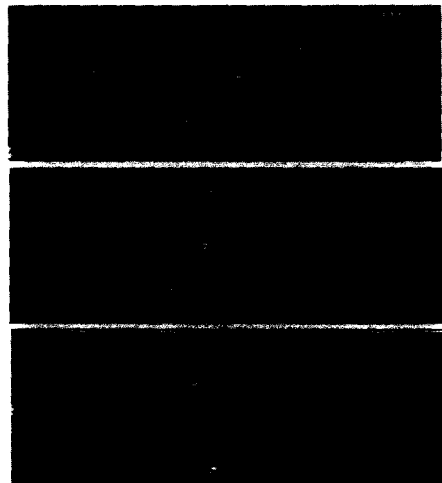
Fig. 8. Vertical color distributions of templates of players.  $x$ -axis is the horizontal projection of RGB, respectively and  $y$ -axis is the normalized height of the player template.

3. 공 추적

공 추적 방법은 선수의 경우와 유사하다. 그러나 공의 경우는 선수의 경우보다 일반적으로 더 어려움이 있다. 영상에서 공은 매우 작게 보일 뿐만 아니라 흰색 바탕의 공은 다른 잡영과 구별이 어려워지므로 초기에 공의 위치를 자동으로 찾아내는 것은 매우 어려운 일이다. 또한 공을 추적하고 있는 동안에도 선수에 의해 공이 가려지는 경우가 발생하므로 공의 추적에 있어서 이 점이 고려되어야 한다. 여기서는 전술한 문제를 해결하기 위해서 다음과 같은 방법을 제안한다.



(a)



(b)

그림 9. 선수 및 공의 추적 결과. (a) 선수 주위에서의 공의 유무 검사 영역. (b) 선수 및 공의 추적 (공의 위치를 화살표로 표시).

Fig. 9. Ball and players tracking results. (a) Ball searching area around the bounding box of a player is depicted. (b) The arrow indicates the ball.

(1) 공의 초기 템플릿 구성은 사람에 의해서 지정된다.

(2) 공이 어느 한 선수와 충분히 가까이 있으면 공의 추적을 멈추고 그 "선수가 공을 가지고 있다"라고 표시한다. 그런 다음 선수를 둘러싼 사각형의 주위를 공 템플릿을 템플릿 매칭을 하면서 공이 선수로부터 떨어져 나가는가를 검사한다(그림 9(a) 참조). 만일 공이 발견되면 "선수가 공을 가지고 있지 않다"라고 판단하고 공 추적을 재개한다. 그림 9 (b)에 선수 및 공 추적 결과를 보였으며 화살표로 공의 위치를 표시했다. 여기서 두 번째 열의 영상은 선수가 공을 가지고 있는 경우에 해당하는데 이 경우에는 공을 소유한 선수가 화살표로 표시되어진다. 또한 팀의 구분은 각각 흰색과 검은 색 사각형으로 표시했다.



(b) A transformed image

그림 10. (a) 특징점이 표시된 운동장 모델 : 점 B, C는 점 A에서 원에 그은 접점 (b) 운동장 모델로 변환된 영상

Fig. 10. (a) A field model with feature points indicated. : points B and C are tangential points from point A to the center circle (b) A example of model-transformed image.

#### IV. 운동장 모델과 선수의 위치 계산

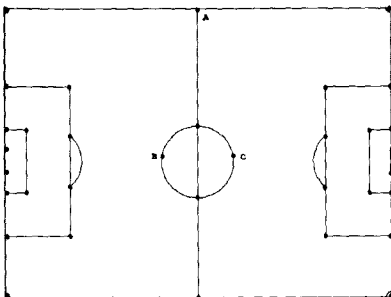
##### 1. 운동장 모델과 영상-모델 변환

그림 10(a)에 운동장 모델을 표시했다. 모델상의 검은 점은 변환에 쓰일 수 있는 특징점들을 나타내고 있다. 실제로 선수들은 운동장에서 어느 한 위치에 고정되어 있을지라도 카메라의 운동(panning and zooming)에 의해서 입력 영상마다 그 위치가 다르게 보인다. 우선 운동장 모델 상에서의 선수 위치를 얻기 위해서 입력 영상과 운동장 모델간의 변환을 계산해야 한다. 이 영상-모델 변환은 평면-평면 변환 관계(plane homography)에 있으므로 일직선상에 있지 않은 최소 4개의 대응점이 주어지면 이 변환을 구해낼 수 있다.<sup>[8]</sup> 이 최소 4개의 대응점은 운동장에 그려진 경계선의 교점이나 중앙원에 있는 교점과 같은 특징점에 해당한다. 영상에서 일직선상에 있지 않은 특징점이 4개 이상 보이면 영상-모델 변환을 구할 수 있

고 따라서 운동장 좌표에서의 선수의 위치를 구할 수 있게 된다. 그림 10(b)은 그림 1(a)의 영상을 운동장 모델로 변환시킨 영상을 나타낸다. 여기서는 A, B, C, D 4개의 특징점이 변환에 이용되었다. 점 B, C는 점 A에서 원에 그은 접선의 접점에 해당하며 이 4점은 투영 불변(projective invariant) 점이다.

##### 2. 영상 모자이크

4.1 절에서 언급했듯이 영상 내에 최소 4개 이상의 특징점이 존재할 경우에 영상-모델 변환을 구할 수 있다. 그러나 4개 이상의 특징점이 보이지 않을 경우에는 4.1 절의 방법으로 그 영상과 모델과의 변환 관계를 구할 수 없게 된다. 이 경우에는 4개 이상의 특징점에 의해서 영상-모델 변환을 구할 수 있는 한 영상을 기준 영상(reference image)으로 잡고, 이 기준 영상에 대한 나머지 영상들의 변환을 영상 모자이크 방법을 이용해 구한다. 그러면 기준 영상과 모델간의 변환 관계를 알고 있으므로 모든 영상열에 대해서 모델과의 변환을 알 수 있게 된다. 본 논문에서 사용한 영상 모자이크 방법은 계층적 직접 정합 방법(hierarchical direct registration technique)<sup>[2]</sup>으로 서로 이웃하는 두 영상  $I^1, I^2$ 에 대해서 계층별 피라미드 영상을 만들고 coarse-fine 방식으로 두 영상간의 움직임 계수(motion parameters)  $a_i$ 를 구해내는 것이다. coarse-fine 방식은 먼저 최상위 계층에 있는 피라미드 영상(가장 축소된 영상)에 대해서 정합 정도



(a) A ground model

(match measure)  $E(\mathbf{u})$ 를 최소화하는 계수  $a_i (i=1, 2, \dots, 8)$ 를 구한다.

$$E(\mathbf{u}) = \sum_x (I_p^1(\mathbf{X}, t) - I_p^1(\mathbf{X} - \mathbf{u}(\mathbf{X}), t-1))^2 \quad (4)$$

여기서  $\mathbf{X}=(x, y)$ 는 영상 좌표,  $I_p^1, I_p^2$ 는 계층  $l$ 인 피라미드 영상,  $\mathbf{u}(\mathbf{X})=(u(x, y), v(x, y))$ 는 속도 벡터를 나타낸다. 이 속도 벡터는 다음과 같이 8 개의 움직임 계수에 의해서 정의된다.

$$u(x, y) = \frac{a_1x + a_2y + a_5}{a_7x + a_8y + 1}, \quad v(x, y) = \frac{a_3x + a_4y + a_6}{a_7x + a_8y + 1} \quad (5)$$

여기서  $a_5, a_6$ 는 전이 움직임(translation motion)을 나타내고,  $a_1, a_2, a_3, a_4$ 는 스케일과 회전을 나타낸다. 식 (4)을 최소화하는  $a_i$ 는 LM(Levenberg-Marquardt) 방법<sup>[9]</sup>에 의해서 구해진다. 이렇게 구한 계수  $a_i$ 를 초기값으로 사용하여 하위 계층의 피라미드 영상들에 대해서도 같은 방법으로 정합 정도를 최소화하는 계수  $a_i$ 를 구해나가는 것이다. 이 coarse-fine 방식을 통해 국부 극소점(local minimum)에 빠지는 것을 줄일 수 있다. 다음은 각 계층별 피라미드 영상  $I_p$ 를 구하는 과정을 나타냈다.

- (1) 하위 계층 영상  $I_{p-1}$ 의 크기를 반으로 줄이면서 피라미드 영상을 생성한다.
- (2) 각 피라미드 영상에 대해 sobel 연산자를 이용해 에지(edge) 영상  $I_e$ 를 생성한다.
- (2) 에지 영상의 히스토그램을 계산해서 상위 85% 지점을 문턱값  $I_{th}$ 으로 지정한다.
- (3) 에지 영상  $I_e$ 을 다음과 같이 처리한다.

$$I(x, y) = \begin{cases} 0 & : I_e(x, y) < I_{th} \\ I_e(x, y) & : I_e(x, y) > I_{th} \end{cases} \quad (6)$$

- (4) 영상  $I(x, y)$ 에서 선수들(움직이는 물체)에 해당하는 영역을 제거한다.

여기서 최종적으로 구해진  $I(x, y)$ 가 피라미드 영상  $I_p$ 에 해당한다.

### 3. 영상 모자이크의 영상-모델 변환에의 응용

그림 11에 영상 모자이크에 사용된 150 프레임의 예제 영상열을 표시했다. 이 예제 영상열에서 볼 수 있

듯이 카메라는 운동장의 중앙원 부근에서 시작하여 왼쪽 문진 쪽으로 회전하는 운동을 보인다. 영상열중 50 번째 영상에서부터 130번째 영상까지는 4개 이상의 특징점이 존재하지 않음을 알 수 있다. 따라서 이 영상을 운동장 모델로 변환하기 위해서 본 논문에서는 영상 모자이크 기법을 적용했다. 즉 중앙원이 보이는 1 번째 영상(4 개의 특징점 존재)을 기준 영상으로 삼아서 다른 영상들에 대한 변환 관계를 영상 모자이크 방법으로 구하면 1번째 영상의 운동장 모델로의 변환 관계를 통해 다른 영상열에 대해서도 운동장 모델과의 변환 관계를 알 수가 있게 된다.

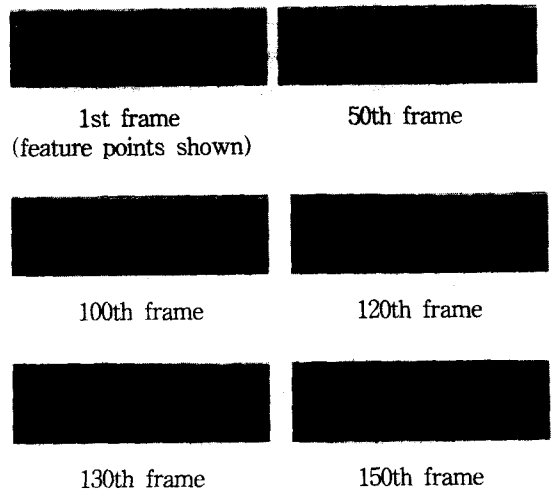


그림 11. 예제 영상열(총 150 프레임)  
Fig. 11. Exemplary images of a soccer sequence (a total of 150 frames).

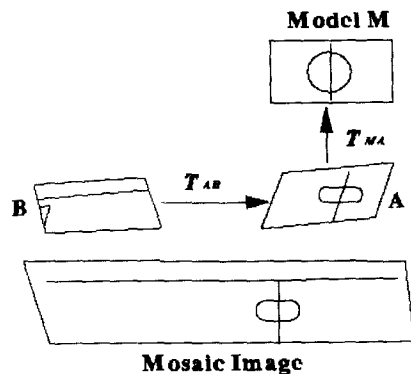


그림 12. 모자이크 기법을 이용한 영상-모델 변환의 계산

Fig. 12. Image-to-model transformation using image mosaick.

그림 12에 위의 관계를 그림으로 표시했다. 여기서 영상 A는 기준 영상, 영상 B는 특징점이 충분히 보이지 않는 영상,  $T_{AB}$ 는 영상 A와 B 사이의 변환 그리고  $T_{MA}$ 는 영상 A와 모델 M 사이의 변환을 나타낸다. 영상 B는 아래의 식에 의해서 모델 M으로 변환된다.

$$M = T_{MA} \cdot T_{AB} \cdot B \quad (7)$$

그림 13에 예제 영상열에서 1번째 영상을 기준 영상으로 해서 구한 모자이크 영상을 표시했다.

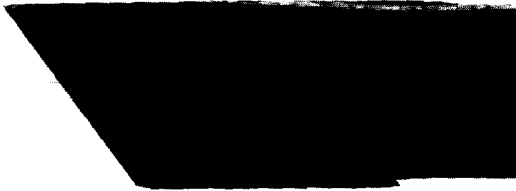


그림 13. 모자이크 영상(그림 11의 1번째 영상을 기준 영상으로함)

Fig. 13. Mosaic image (150 frames).

지금까지 영상-모델 변환을 구하는 방법을 알아보았다. 입력 영상에 일직선상에 있지 않은 최소 4개의 특징점이 존재하면 영상-모델 변환을 구할 수 있고 특징점이 충분히 존재하지 않는 입력 영상의 경우를 대비해서 영상 모자이크 기법을 이용해 각각의 영상열의 변환 관계를 구할 수 있다. 따라서 이것을 이용하면 모든 입력 영상열에 대해서 선수들이 운동장에서 움직인 자취를 구할 수 있게 된다. 운동장에서 선수들의 위치는 실제로 선수의 발 위치에 해당한다. 따라서 이 위치를 모델로 변환하면 실제 운동장에서의 선수 위치를 계산할 수 있게 된다. 그림 14에 150 프레임(약 5초) 동안에 각 선수들이 움직인 궤적이 표시되어 있다. 본 실험에서 구해진 선수들의 움직인 궤적은 부드러운 곡선을 이루지 않고 잡음(noise)이 많이 첨가되어 있는 것을 볼 수 있는데 이는 선수의 추적 시에 구해진 위치와 모델로의 변환이 정확하게 구해지지 않아서 생긴 문제이다. 그림 14를 통해 우리는 150 프레임 동안에 일어난 상황을 한 눈에 판단할 수가 있다. 이렇게 구한 선수들의 움직인 궤적 정보를 바탕으로 선수의 운동장 상에서의 위치는 물론 개별 선수의 운동량, 달리기 속도 등과 같은 여러 가지 흥미로운 데이터를 추출할 수 있을 뿐만 아니라 경기 내용 분석, 상대팀

전술 분석과 같은 고차원적인 기능을 갖는 축구 경기 영상 자동 분석 시스템의 중요한 기본 정보로 활용할 수 있을 것이다.

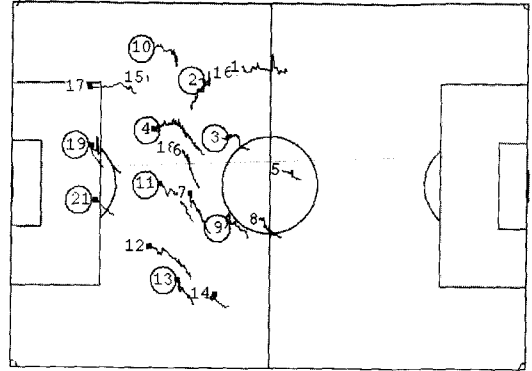


그림 14. 150 프레임 동안에 선수들이 움직인 자취(같은 팀을 원으로 표시)

Fig. 14. Trajectories of tracked players on the field model during 150 frames. Circles indicate players of the same team.

## V. 결 론

본 논문에서는 축구 경기 영상 자동 분석에 있어서 중요한 선수들이 실제 운동장에서 움직인 궤적을 계산하는 방법을 제안했다. 이를 위해서 영상열에서 개별 선수를 추적하였고 운동장 모델로의 변환을 위해서 영상 모자이크 기법을 적용해서 추적된 선수들의 위치를 운동장 모델로 변환하였다. 이렇게 해서 최종적으로 구해진 선수들의 움직인 궤적 정보는 축구 경기 상황을 한 눈에 파악하는데 많은 도움을 줄 수 있을 뿐만 아니라 축구 경기 영상 자동 분석 시스템에 사용되어서 상대팀의 전략 분석, 경기 운영 능력 파악과 같은 고차원적 정보 추출을 할 수 있는 기본 정보로도 활용될 수 있을 것이다.

그러나 본 논문에서 제안된 방법은 많은 개선해야 할 점을 가지고 있다. 우선 선수 추적을 위해서 사용한 선수 템플릿의 크기가 고정되어 카메라의 줌(zooming)에 의한 선수의 크기 변화에 대처하기가 어려워진다. 그리고 공이 영상에서 선수를 스쳐 지나갈 때에 공의 보유 판단 여부, 선수의 위치를 정확하게 구함으로써 최종적으로 구한 선수의 궤적이 부드러운 곡선을 이루는 문제, 선수 추적시 선수간 겹침 시에 서로 같은 팀 선수간 겹침의 경우 등도 고려되어야 할



것이다. 마지막으로 축구 비디오 샷 경계 검출을<sup>[10]</sup> 통해서 불필요한 장면, 예를 들면 선수가 줌 되어서 영상의 대부분을 차지하는 영상열을 제외시킴으로써 본 논문에서 제안한 방법과 결합을 피할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] S. S. Intille, A. F. Bobick, "Tracking using a local closed-world assumption: Tracking in the football domain", MIT Media Lab Perceptual Computing Group TR no. 296, MIT, August, 1994.

[2] T. Kawashima, K. Yoshino, Y. Aok, "Qualitative image analysis of group behavior", In. Proc. Comp. Vis and Pattern Rec., June 1994.

[3] T. Taki, J. Hasegawa and T. Fukumura, "Development of Motion Analysis System for Quantitative Evaluation of Teamwork in Soccer Games", In Proc. of IEEE International Conference on Image Processing", vol. III, pp. 815-818, 1996.

[4] D. Yow, B.L. Yeo, M. Yeung and B. Liu, "Analysis and Presentation of Soccer Highlight from Digital Video", In Proc. of Second Asian Conference on Computer Vision, vol. II, pp. 499-503, 1995.

[5] M. J. Swain, D. H. Ballard, "Color Indexing", Int. Journal of Computer Vision, 7-1, pp. 11-32, 1991.

[6] M. Irani, D. Anandan, S. Hsu, "Mosaic-based Representation of Video Sequences and Their Applications", ICCV'95, pp. 605-611.

[7] D. H. Ballard, C.M. Brown, "Computer Vision", Prentice Hall, pp. 143-146, 1982.

[8] J.L. Mundy and Andrew Zisserman, "Geometric Invariance in Computer Vision", The MIT Press, pp. 463-519 Appendix, 1992.

[9] W.H. Press, S.A. Teukolsky, W.T. Vetterling, B.P. Flannery, "Numerical Recipes in C", 2nd Edition, Cambridge Press, pp. 683-688, 1992.

[10] H.J. Zhang, A. Kankanhalli, S.W. Smoliar, "Automatic Partitioning of Full-Motion Video", Multimedia System, pp. 10-28, 1993.

저 자 소 개



金 泰 源(正會員)  
1996년 포항공과대학교 전자전기공학 학사, 1998년 포항공과대학교 전자전기공학 석사. 현재 포항공과대학교 대학원 전자전기공학 박사과정 재학중. 주관심분야는 영상처리 및 컴퓨터 시각, 패턴인식, MPEG-4

application 등



洪 起 祥(正會員)  
1977년 서울대학교 전자공학사. 1979년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사. 1984년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사. 1984년 ~ 1986년 한국에너지 연구소 선임 연구원. 1986년 ~ 현재 포항공과대

학교 부교수. 1988년 ~ 1989년 Carnegie Mellon 대학교 방문교수. 주연구분야는 합성개구 레이더 영상처리, 영상처리 및 컴퓨터 시각. 가상현실, 패턴 인식 등