

論文2001-38CI-2-1

# 축구 영상 시퀀스로부터 물체 이동거리와 속도 추정 (Estimation of Displacements and Velocities of Objects from Soccer Image Sequences)

南時旭\*, 李鍾賢\*, 李在哲\*, 朴永奎\*, 金在熹\*

(Siwook Nam, Jonghyon Yi, Jae Cheol Lee, Yeunggyu Park, and Jaihie Kim)

## 요 약

본 논문에서는 축구 영상 시퀀스로부터 공과 같은 물체가 축구 경기장내에서 이동한 거리와 속도를 추정하는 알고리즘을 제안하였다. 물체가 이동한 시간과 그 시간 동안의 경기장에서의 물체 위치를 알면 물체의 이동거리와 속도를 구할 수 있다. 본 논문에서는 물체가 이동한 시간이 주어질 때 영상에서의 물체 위치들을 경기장에서의 위치들로 변환하여 그 사이의 거리를 구하고 주어진 시간으로 구한 거리를 나누어 속도를 구하였다. 축구 영상과 경기장간의 대응되는 특징점(경기장 선들의 교차점)이 4개 이상이고, 그 중 세 특징점이 한 직선 위에 존재하지 않는 경우에는 투영 범위 필드 모델에 의해 영상에서의 물체 위치를 경기장에서 물체 위치로 직접 변환하였다. 또한, 영상에 특징점이 4개 미만 존재하는 경우에는 일단 특징점이 4개 이상인 영상으로 물체 위치를 변환한 후 다시 투영 범위 필드 모델에 의해 경기장에서의 물체 위치로 변환하였다. 특징점이 4개 미만 존재하는 영상과 4개 이상인 영상간의 위치 변환 관계를 구하기 위하여 영상 시퀀스의 모든 영상간에 존재하는 카메라의 페닝, 확대/축소를 구하였다. 실험결과에서는 제안한 알고리즘을 컴퓨터 그래픽 툴로 합성한 축구 영상에 적용하여 물체의 이동 거리와 속도 추정의 정확도를 정량적으로 분석하고, 방송용 축구 영상에 적용하여 그 유용성을 보였다.

## Abstract

In this paper, we propose an algorithm which estimates the displacements and velocities of objects in the soccer field from the soccer image sequences. Assuming the time interval of an object movement is given, we transform the object positions into those in the soccer field model and compute the distance and the velocity. When four corresponding pairs of the feature points, such as the crossing points of the lines in the soccer field, exist and three of them are not on a line, we transform the object positions in the soccer image into those in the soccer field by using the perspective displacement field model. In addition, when the soccer image has less than four feature points, we first transform the object positions into those in the image which has more than four feature points, and then transform the positions into those in the soccer field again. To find the coordinate transformation between two images, we estimate the panning and zooming for consecutive images in the sequence. In the experimental results, we quantitatively evaluated the estimation accuracy by applying our algorithm to the synthetic soccer image sequences generated by graphic tools, and applied it to the real soccer image sequences for broadcasting to show its usefulness.

\* 正會員, 延世大學校 電氣·電子工學科

(Dept. of Electrical and Electronic Eng., Yonsei University)

接受日字: 2000年6月24日, 수정완료일: 2001年2月27日

## I. 서론

최근 스포츠 영상 분석<sup>[1]-[5][7]</sup>에 대한 관심이 증가함에 따라, 컴퓨터 비전(computer vision) 기술들이 스

포츠 영상에 광범위하게 적용되고 있으며, 특히 방송용 스포츠 영상에서 물체의 위치를 추적하여 그 위치에 부각 영상효과를 주는 상용 소프트웨어도 개발되고 있다<sup>[6]</sup>. 최근에는 축구 영상에서 선수나 공과 같은 물체의 위치를 자동으로 추적하고, 이로부터 실제 경기장에서의 정보를 추출하는 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>[2]-[5], [12]-[14]</sup>.

Intille<sup>[1]</sup> 등은 사전지식(prior knowledge)을 이용하여 미식 축구에서 선수들의 위치 추적에 대한 연구를 수행하였고, Seo<sup>[2]</sup> 등은 축구경기에서 선수와 공을 추적하고 실제 경기장에서의 위치를 구하는 방법에 대해 연구하였다. Kim<sup>[3]</sup> 등은 축구영상으로부터 축구공의 3차원 위치를 구하기 위한 방법을 제안하였고, Reid<sup>[4]</sup> 등은 시점(point of view)이 다른 두 영상시퀀스로부터 경기장에서의 축구공 위치를 구하는 방법에 대해 연구하였다.

축구 경기장에서 공과 같은 물체가 이동한 거리와 속도를 추정할 수 있으면, 슈팅이나 센터링과 같은 축구 경기의 주요장면에서 슈팅거리나 슈팅속도와 같은 정보를 제공할 수 있다. 이를 위하여 본 논문에서는 축구영상에서의 물체 위치를 경기장에서의 위치로 변환하여 물체의 이동거리와 속도를 추정하는 알고리즘을 제안하였다. 축구영상에서 물체의 이동거리 및 속도를 추정하기 위해서는 다음과 같은 문제점을 극복해야 한다.

첫째, 크기와 모양이 변하는 물체를 추적해야 한다. 일반적으로 축구경기를 촬영할 때에는 카메라의 패닝(panning), 확대/축소(zoom in/out)로 인해 물체의 크기나 모양이 변한다. 이를 위하여 본 논문에서는 템플릿을 매 영상마다 갱신하는 적응 템플릿 매칭(adaptive template matching)<sup>[11]</sup>을 사용하였다.

둘째, 축구 영상과 경기장간의 위치 변환관계를 구하기 위해 기준으로 사용할 특징점(경기장 선들의 교차점, 그림 3 참조)의 수가 적다. 축구 영상과 경기장간의 위치 변환관계를 구하기 위해서 사용되는 투영 변위 필드 모델(perspective displacement field model)<sup>[9]</sup>에서는 기준이 되는 특징점이 4개 이상 존재하고 이중에 세 점 이상이 한 직선 위에 존재하지 않으면, 영상에서의 위치를 경기장에서의 위치로 직접 변환할 수 있다. 그러나, 축구경기장은 골 에어리어(goal area)를 제외하고는 특징점이 거의 존재하지 않기 때문에 축구영상 시퀀스의 여러 영상 중에서 이 조건을

만족하지 못하는 영상도 많이 존재하며, 이 경우에는 영상에서의 물체 위치를 경기장에서의 위치로 직접 변환할 수 없다. 따라서, 특징점이 4개 미만 존재하는 경우에는 특징점이 4개 이상 존재하는 영상으로 일단 위치를 변환한 후 다시 경기장에서의 위치를 구하게 된다. 이를 위해서는 축구 영상 시퀀스의 인접 영상(consecutive image)간의 위치 변환관계를 모두 파악해야 한다. 앞에서 언급한 바와 같이 축구 경기를 촬영할 때에는 카메라의 패닝, 확대/축소가 존재한다. 따라서, 이를 고려하여 한 영상에서의 물체 위치를 다른 영상으로 변환하기 위해서는 패닝과 확대/축소 정도를 구해야 한다. 이를 위해 본 논문에서는 블록 매칭 알고리즘(block matching algorithm)을 이용하여 카메라의 패닝, 확대/축소를 구하였다. 축구 영상과 국제 축구 연맹(FIFA)에서 정한 표준 국제 경기장<sup>[10]</sup>간의 위치 변환관계가 구해지면 영상에서의 물체 위치를 축구 경기장에서의 위치로 변환하고 유클리디안 거리(Euclidean distance)를 구하여 물체의 이동거리를 추정하였다. 물체의 속도는 추정한 이동거리를 물체가 이동한 시간으로 나누어 구하였다. 여기서, 물체가 이동한 시간은 축구 영상 시퀀스의 샘플링율(sampling rate)이 30fps(frame per second)라고 가정했을 때 '이동거리 추정 구간의 영상수×1/30 초'로 계산된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II절에서는 물체의 이동거리와 속도 추정을 위한 알고리즘의 전체구성에 대하여 설명하고, III절에서는 크기와 모양이 변하는 물체의 위치 추적에 대하여 설명한다. IV절에서는 카메라의 패닝, 확대/축소 파악에 대하여 설명하고, V절에서는 축구 영상과 경기장간의 물체 위치 변환에 대하여 설명한다. VI절에서는 제안한 알고리즘을 컴퓨터 그래픽 툴로 만든 합성 축구 영상에 적용한 결과를 정량적으로 분석하고 방송용 축구 영상에 적용한 결과를 보였다. 마지막으로 VII절에서는 결론을 맺는다.

## II. 물체의 이동거리와 속도 추정을 위한 알고리즘 전체 구성

본 논문에서는 그림 1과 같이 축구 영상 시퀀스가 입력으로 들어오면 크기와 모양이 변하는 물체의 위치 추적, 카메라의 패닝, 확대/축소 파악, 투영 변위 필드 모델을 이용한 축구 영상과 축구 경기장간의 물체 위

치 변환에 의해 물체의 이동거리와 속도를 추정한다.

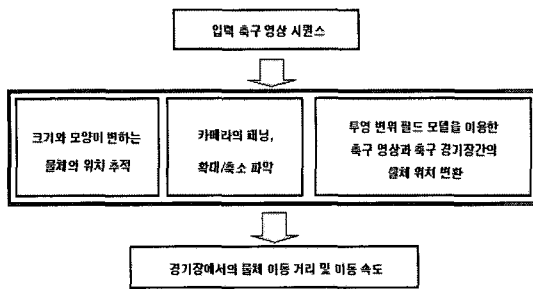


그림 1. 물체의 이동거리와 속도추정을 위한 알고리즘 전체 구성

Fig. 1. Algorithm Overview

### III. 크기와 모양이 변하는 물체의 위치 추적

물체 위치 추출에 많이 사용되는 방법중의 하나인 템플릿 매칭(template matching)은 우리가 찾고자 하는 물체의 형태에 해당하는 고정 템플릿을 영상의 각 부분과 비교하여 유사도가 높은 위치를 물체의 위치로 판정하는 방법이다. 그러나, 축구와 같은 스포츠 영상에서는 카메라의 페닝, 확대/축소에 의해 추적대상이 되는 물체의 크기와 모양이 변하므로 고정 템플릿으로 유사도 비교에 의해 물체의 위치를 찾아내기는 어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 매 영상마다 템플릿을 갱신하는 적응 템플릿 매칭(adaptive template matching)을 사용하였다.

우선 초기 영상에서 사용자가 추적할 공 주위에 폐곡선 표시를 하여 선택하면 식 (1), (2)에 의해 폐곡선 위에 있는 화소  $P_1(R_1, G_1, B_1), P_2(R_2, G_2, B_2), \dots, P_N(R_N, G_N, B_N)$ 에 대한 평균 칼라  $M$ 과 평균 거리  $D$ 를 구한다.  $M$ 과  $D$ 가 구해지면 폐곡선 내의 임의의 화소  $P$ 에 대해 식 (3)에 의해 배경인지 물체인지를 판단하여 물체를 분할(segmentation)하고 템플릿을 설정한다. 이 템플릿을 두 번째 영상에 매칭하여 물체의 위치를 찾고, 찾은 물체의 위치를 중심으로 다시 물체를 분할하여 템플릿을 설정한 후 세 번째 영상에 매칭을 한다. 이후 영상들에 대해 이 과정을 계속 반복하여 물체의 위치를 찾는다. 축구 영상에서 공의 초기 위치는 처리시간 단축을 위해 영상 전체를 탐색하지 않고 사용자가 지정하도록 하였다.

$$M = (m_R, m_G, m_B) = \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N R_i, \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N G_i, \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N B_i \right) \quad (1)$$

$$D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \|P_i - M\|, \quad \text{단, } \|\cdot\| \text{은 Euclidean Norm} \quad (2)$$

$$P = \begin{cases} 1, & \|P - M\| > c \cdot D \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

식 (3)에서,  $c$ 는 상수이며 1은 물체 화소, 0은 배경 화소를 의미한다. 그러나, 축구 경기장의 잔디색은 진한 부분과 덜 진한 부분이 존재하고, 조명의 영향도 있기 때문에 이후의 영상에서 초기 영상에서 정한 고정된  $M, D$ 를 계속 사용하면 물체가 정확하게 분할되지 않는다. 따라서, 분할의 기준이 되는 평균 칼라  $M$ 과 평균 거리  $D$ 를 매 영상마다 갱신하고, 이를 기준으로 하여 물체를 분할한다.

### IV. 카메라의 페닝, 확대/축소 파악

투영 변위 필드 모델<sup>[9]</sup>을 이용하여 축구 영상과 경기장 모델간의 위치 변환을 구하기 위해서는 4개의 대응되는 특징쌍이 존재하고 이 중 세 특징이 한 직선위에 존재하지 않아야 한다. 그러나, 축구 경기장에서는 골 에리어를 제외하고는 특징점이 거의 없기 때문에 축구 영상에서 특징점이 없는 경우도 존재한다. 이 경우에 물체의 위치를 경기장에서의 위치로 변환하기 위해서는 축구 영상 시퀀스의 영상중에서 특징점이 충분히 존재하는 영상으로 먼저 위치를 변환하여야 한다. 축구 영상에서는 카메라가 선수와 공을 중심으로 연속적으로 움직이면서 촬영하기 때문에 배경이 계속 변화하므로 한 영상에서의 물체 위치를 다른 영상으로 변환하기 위해서는 두 영상간에 존재하는 카메라의 페닝, 확대/축소를 구해야 한다. 이를 위하여 본 논문에서는 블록 매칭 알고리즘(block matching algorithm)기반 방법을 이용하였다.

블록 매칭 알고리즘(BMA)은 현재 영상의 어떤 블록과 가장 유사한 다른 영상의 블록을 찾는 방법으로 매우 간단하지만 계산량이 많다. 본 논문에서는 성능 저하를 보이지 않으면서 빠른 방법인 인터리브드 블록매칭 알고리즘(interleaved BMA)<sup>[8]</sup>을 사용하였다. 카메라의 위치가 고정되고 페닝과 확대/축소만이 존재한다고 가정하면 식 (4)의 움직임 모델을 적용할 수 있다.

(61)

$$x' = ax - by + e, y' = bx + ay + f \quad (4)$$

여기서,  $x', y', x, y$ 는 각 영상에서의 블록의 위치,  $a$ 와  $b$ 는 확대/축소 파라미터(zooming parameter)이고,  $e, f$ 는 패닝을 나타내는 병진 파라미터(translational parameter)이다. 블록 매칭 알고리즘에 의해 구한 움직임 벡터(motion vector)들은 단순히 유사도 비교에 의해 구한 2차원 병진 벡터(translation vector)이므로, 움직임 모델 파라미터를 계산하기 위해서 모델을 따르는 벡터들만이 선택되어야 한다. 본 논문에서는 모델을 따르는 벡터들은 가우스 분포와 같은 유니모달(uni-modal)분포를 가지며, 오차 벡터들은 백색잡음(white noise)과 같은 분포를 가진다고 가정한다. 따라서, 블록 매칭 알고리즘에 의해 구한 움직임 벡터들의 히스토그램으로부터 빈도가 임계치 이상되는 벡터들만 식 (4)의 모델을 따르는 벡터로 결정하였다. 결정된 벡터들이  $n$  개라 할 때 식 (5)를 얻을 수 있으며 이를 행렬 형태로 쓰면 식 (6)과 같다. 식 (6)의 최소자승(least mean square)해에 의해  $a, b, e, f$ 를 구한다.

$$\begin{bmatrix} x_1 & -y_1 & 1 \\ y_1 & x_1 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_i & -y_i & 1 \\ y_i & x_i & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n & -y_n & 1 \\ y_n & x_n & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ e \\ f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x'_1 \\ y'_1 \\ \vdots \\ x'_i \\ y'_i \\ \vdots \\ x'_n \\ y'_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\mathbf{Ax} = \mathbf{b}$$

$$\mathbf{x} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{b} \quad (6)$$

영상시퀀스의 모든 인접 영상간에서 카메라의 패닝, 확대/축소를 나타내는  $a, b, e, f$ 를 구하면 식 (4)에 의해 영상 시퀀스내의 임의의 두 영상간에서 위치 변환을 할 수 있게 된다.

## V. 축구 영상과 축구 경기장간의 물체 위치 변환

### 1. 투영 변위 필드 모델(perspective displacement field model)

시각  $t, t'$ 에서의 물체의 3D 위치를 각각  $P = [X, Y, Z]^T, P' = [X', Y', Z']^T$ 라 하고 그 투영위치를

$p = [x, y]^T, p' = [x', y']^T$ 라 하면 원근투영모델(perspective projection model)에 의해 식 (7)을 얻을 수 있다<sup>[9]</sup>. 식 (7)에서 8개의 파라미터( $a, b, c, d, e, f, g, h$ )를 구하기 위해서는 8개의 식이 필요하며 8개의 식은 4쌍의 대응되는 특징점으로부터 구한다. 식 (7)을 4쌍의 특징점에 적용하기 위해 다시 쓰면 식 (8)이 되고, 식 (8)을 행렬식으로 쓰면 식 (9)와 같다.

$$x' = \frac{ax + by + e}{gx + hy + 1}, y' = \frac{cx + dy + f}{gx + hy + 1} \quad (7)$$

$$x'_i = \frac{ax_i + by_i + e}{gx_i + hy_i + 1}, y'_i = \frac{cx_i + dy_i + f}{gx_i + hy_i + 1} \quad (i = 1, 2, 3, 4) \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 0 & 0 & 1 & 0 & -x'_1 x_1 & -y'_1 y_1 \\ 0 & 0 & x_1 & y_1 & 0 & 1 & -y'_1 x_1 & -x'_1 y_1 \\ x_2 & y_2 & 0 & 0 & 1 & 0 & -x'_2 x_2 & -y'_2 y_2 \\ 0 & 0 & x_2 & y_2 & 0 & 1 & -y'_2 x_2 & -x'_2 y_2 \\ x_3 & y_3 & 0 & 0 & 1 & 0 & -x'_3 x_3 & -y'_3 y_3 \\ 0 & 0 & x_3 & y_3 & 0 & 1 & -y'_3 x_3 & -x'_3 y_3 \\ x_4 & y_4 & 0 & 0 & 1 & 0 & -x'_4 x_4 & -y'_4 y_4 \\ 0 & 0 & x_4 & y_4 & 0 & 1 & -y'_4 x_4 & -x'_4 y_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \\ f \\ g \\ h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x'_1 \\ y'_1 \\ x'_2 \\ y'_2 \\ x'_3 \\ y'_3 \\ x'_4 \\ y'_4 \end{bmatrix} \quad (9)$$

본 논문에서는 공의 이동 거리와 속도를 추정하기 위하여 그림 2에서와 같이 골대 근처의 10개의 특징점 중 4개를 이용하여 축구 영상과 축구 경기장 모델간의 위치 변환관계를 구하였다. 그림 2는 10개의 특징점 중 특징점 ②, ③, ⑥, ⑦이 사용된 예이다.

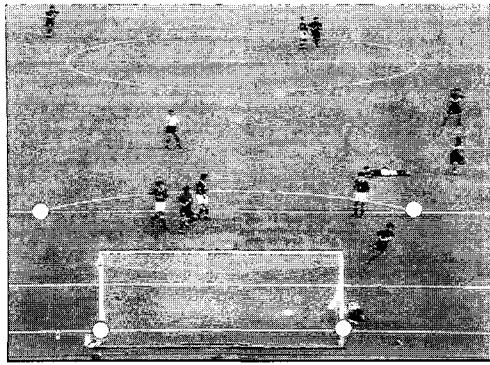
### 2. 물체의 이동거리 및 속도 추정

일반적으로 슈팅이나 센터링을 하는 순간의 영상은 4개 미만의 특징점이 존재하고 골인이 되는 순간의 영상에는 4개 이상의 많은 특징점이 존재한다. 물체 이동 거리를 구하려는 구간의 첫 영상에는 4개 미만의 특징점이 존재하고, 마지막 영상에는 4개 이상의 특징점이 존재하는 경우 축구 영상 시퀀스로부터 경기장에서의 물체 이동거리  $s$ 와 속도  $v$ 는 다음과 같은 과정에 의해 구한다.

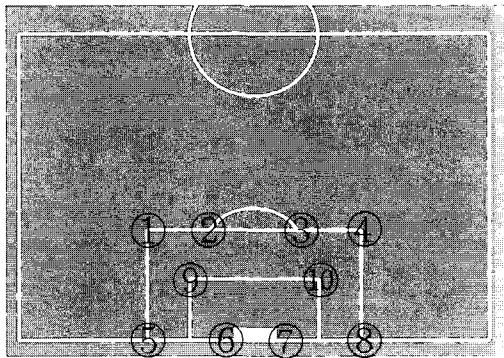
① 이동거리와 속도를 추정하려는 구간의 영상(영상 S~영상 E)에 대해 물체의 위치를 추적하여 각 영상에서의 물체 위치  $P_S, \dots, P_E$ 를 구한다.

② 구간의 첫 영상 S에서의 물체 위치  $P_S$ 를 카메라의 패닝, 확대/축소를 고려하여 마지막 영상 E에서의 물체 위치  $P_S'$ 로 변환한다.

③ 그림 2와 같이 영상 E에서 경기장의 10개 특징점 중 네 특징점에 대응되는 축구영상의 네 특징점을 사용자가 선택하고 이를 식 (8)에 대입하여 파라미터



(a)



(b)

그림 2. 경기장 모델과 실제 축구 영상에서 대응되는 특징점의 예

Fig. 2. Corresponding feature points between a soccer image and the soccer field model.

$a, b, c, d, e, f$ 를 구한다. 특징점의 위치와 모델과의 대응관계를 자동으로 구할 수도 있으나 실제 응용에서 처리시간 단축을 위하여 영상에서의 특징점 위치와 모델상의 대응되는 특징점을 사용자가 지정하도록 하였다. 이 때,  $x'_i, y'_i$ 는 경기장모델에서의 특징점 위치(국제 표준 경기장 모델로부터 이미 알고 있는 좌표),  $x_i, y_i$ 는 영상 E에서의 특징점 위치(사용자가 지정한 좌표)이다.

④  $P_{S'}$ 와  $P_E$ 를 ③에서 구한 파라미터  $a, b, c, d, e, f, g, h$ 에 의해 경기장에서의 위치로 변환한 후 두 점 사이의 거리  $s$ 를 구한다.

⑤ 축구 영상이 30fps(frame per second)로 샘플링 되었다고 가정했을 때 물체의 이동 속도  $v$ 는 다음 식에 의해 구한다.

$$v = \frac{s}{\frac{1}{30} \times n} \quad (\text{m/s})$$

여기서,  $s$ 는 물체의 이동거리,  $n$ 은 영상 S와 영상 E 사이의 영상 개수이다.

## VI. 실험결과

### 1. 실험 A

물체의 이동 거리와 속도 추정 정확도를 정량적으로 평가하기 위해 720×486의 해상도를 갖는 축구 영상을 Adobe Photoshop 과 3D Studio Max 2.5를 이용하

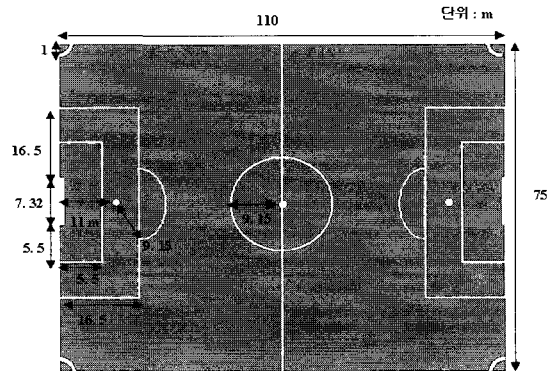
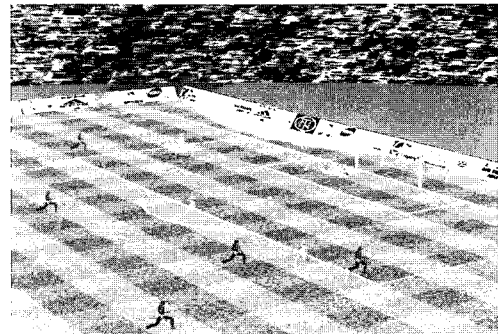
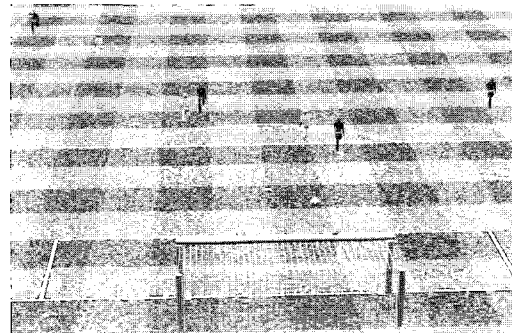


그림 3. 국제 경기용 축구장 규격  
Fig. 3. Standard Soccer Field.



(a)



(b)

그림 4. 합성 영상의 예

Fig. 4. Examples of synthetic soccer images.

표 1. 합성영상별 추정 오차

Table 1. Estimation error for each synthetic soccer image sequences.

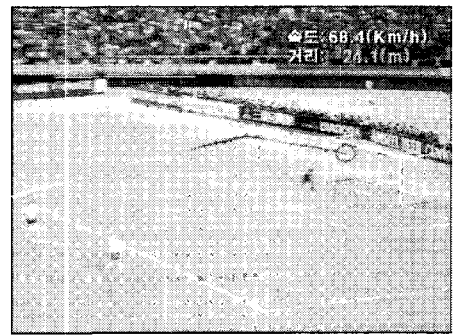
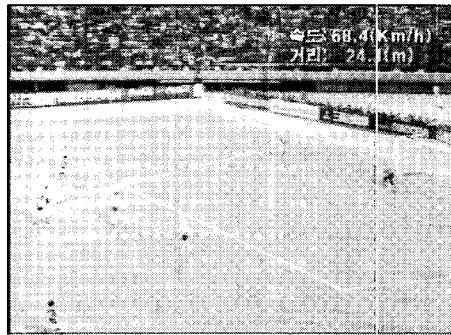
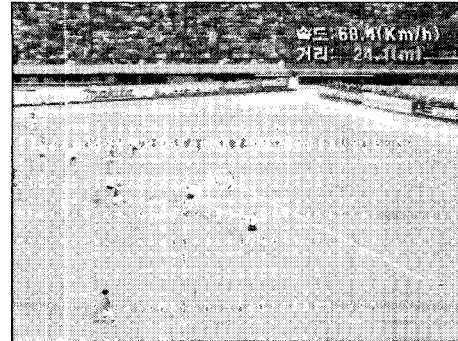
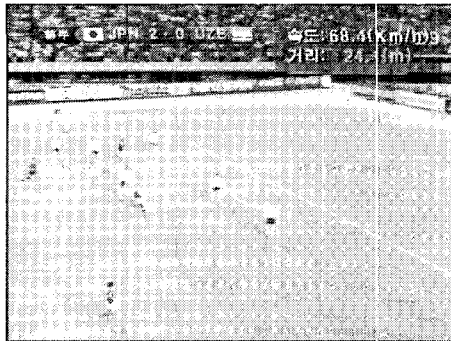
	번호	이동 거리(m)		e(%)	속도(km/h)		e(%)
		실제	추정		실제	추정	
합 성 영 상	1	실제	46.2	8.9	실제	50.4	8.5
		추정	50.3		추정	54.7	
	2	실제	13.8	2.2	실제	45.0	2.4
		추정	14.1		추정	46.1	
	3	실제	32.1	2.2	실제	66.3	2.7
		추정	31.4		추정	68.1	

여 합성하였다. 합성된 축구 경기장은 그림 3과 같은 국제 경기용 표준 규격이다<sup>[10]</sup>. 합성한 축구 영상의 예를 그림 4에 나타내었다.

합성한 축구 영상으로부터 알 수 있는 물체의 실제 이동 거리 및 속도와 알고리즘에 의해 추정한 이동 거리 및 속도간의 오차는 식 (10)에 의해 측정하였다.

$$e = \frac{|\text{실제값} - \text{추정값}|}{\text{실제값}} \times 100(\%) \quad (10)$$

표 1에는 물체의 이동 거리와 속도를 추정한 결과를 보였다. 실험에서 사용된 1번 합성 영상은 그림 4(a)와



(a) 슈팅 거리: 24.1(m), 슈팅 속도: 68.4(km/h) (a) shooting distance : 24.1(m), shooting velocity : 68.4(km/h)



(b) 센터링 거리 : 31.9 (m) 센터링 속도 : 50.0 (km/h) (c) 센터링 거리 : 40.2(m) 센터링 속도 : 62.0(km/h)

(b) centering distance : 31.9(m) centering velocity : 50.0(km/h) (c) centering distance : 40.2(m) centering velocity : 62.0(km/h)

그림 5. 실사 영상에 적용한 결과 영상

Fig. 5. Experimental results for real soccer image sequences.

같이 센터링을 하는 장면이고, 2, 3번 합성영상은 그림 4(b)와 같이 슈팅을 하는 장면이다.

2. 실험 B

그림 5는 슈팅이나 센터링을 하는 경우의 실사 축구 영상시퀀스에 본 논문에서 제안한 알고리즘을 적용한 결과영상들이다. 실험 A에서와 달리 경기장에서의 공의 위치를 정확히 알 수 없으므로 공의 이동거리와 속도에 대한 정확도의 정량적 분석은 어려우며 국제 표준 경기장을 기준으로 사람이 주관적으로 추정된 이동거리와 큰 차이가 없는 것으로 판단된다.

실험 A, B에서 구한 물체 이동 거리와 속도의 오차는 알고리즘에 의해 구한 경기장에서의 물체위치에 존재하는 오차 때문이며 그 원인은 다음과 같다. 첫째는 축구 영상과 경기장간의 위치 변환관계를 구하기 위해 영상 E(V.2절 참조)에서 추출하는 특징점의 위치에 존재하는 오차이다. 축구 영상에 존재하는 특징점들은 주로 경기장 선들의 교차점으로, 경기장 선들은 카메라의 페닝 등에 의해 번지거나 흐리기 때문에 영상처리에 의해서 정확히 구하기 어려운 경우가 많으며 사용자가 지정하더라도 역시 오차가 존재한다. 따라서, 오차를 포함한 영상에서의 특징점 위치와 그에 대응되는 경기장 모델상의 특징점 위치에 의해 위치 변환 계수를 구하게 되고 이 위치 변환 계수에 의해 추정된 경기장에서의 위치에 오차가 발생하게 된다. 둘째는 인접 영상간에 존재하는 페닝, 확대/축소 계수의 오차 때문에 영상 S에서의 물체 위치  $P_s$ 를 카메라의 이동, 확대/축소를 반영하여 영상 E에서의 물체 위치  $P_s'$ 로 변환할 때 오차가 발생한다. 이 경우 오차를 포함한  $P_s'$ 를 경기장에서의 위치로 변환하게 되므로 추정된 경기장에서의 물체 위치에 오차가 발생하게 된다. 이외에도 영상 E의 선택가능한 10개의 특징점 중 어느 네 특징점을 선택하는가에 따라 영상 E와 경기장 모델간의 위치 변환 계수에 차이가 존재할 수 있으므로 그에 따라 물체의 경기장에서의 위치에 차이가 생길 수 있다.

VII. 결 론

본 논문에서는 축구 영상 시퀀스로부터 물체가 축구 경기장내에서 이동한 거리와 속도를 추정하는 알고리즘을 제안하였다. 크기와 모양이 변하는 물체의 위치를 추적하기 위하여 템플릿을 매 영상마다 갱신하는 적응

템플릿 매칭을 사용하였다. 축구 경기장에서의 위치를 구하기 위하여 축구 영상과 경기장간의 대응되는 특징점(경기장 선들의 교차점)이 4개 이상이고, 그 중 세 특징점이 한 직선 위에 존재하지 않는 경우 투영 변위 필드 모델에 의해 경기장에서의 물체 위치를 구하였다. 또한, 영상에 특징점이 4개 미만으로 존재하는 경우에는 일단 특징점이 4개 이상인 영상으로 물체 위치를 변환한 후 다시 투영 변위 필드 모델에 의해 경기장에서의 물체 위치를 구하였다. 특징점이 4개 미만으로 존재하는 영상과 4개 이상인 영상간의 위치 변환 관계를 구하기 위하여 영상 시퀀스의 모든 영상에 대해 카메라의 페닝, 확대/축소를 구하였다. 축구 영상 시퀀스의 두 영상에 대해 축구 경기장에서의 물체 위치를 구하면 그 위치사이의 거리를 계산하고, 두 영상간의 시간으로 나누어 속도를 구하였다. 제안한 알고리즘에 의해 추정된 물체 이동거리와 속도의 정확도를 정량적으로 평가하기 위해 그래픽 툴로 합성한 축구 영상에 대해서 실험한 결과 평균 4.7%의 오차를 나타내었다. 또한, 제안한 알고리즘을 방송용 축구 영상에 적용한 결과 실제 응용에 사용할 수 있을 정도의 정확도를 가진 것으로 판단된다. 향후에는 축구 영상에서 특징점의 정확한 추출 및 대응관계 파악 방법, 인접 영상간 페닝, 확대/축소를 좀 더 정확히 구하는 방법, 추출된 여러 특징점 중 물체 위치 변환 계수를 가장 정확하게 구할 수 있는 네 특징점 선택 방법에 대한 연구가 필요하다.

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] Y. Seo, S. Choi, H. Kim and K. S. Hong, "Where are the ball and players? Soccer game analysis with color-based tracking and image mosaik", *Proc. of International Conference on Image Analysis and Processing*, Florence, Italy, 1997.

[3] T. Kim, Y. Seo, and K.-S. Hong, "Physics-based 3D position analysis of a soccer ball from monocular image sequences", *Proc. of*

*International Conference on Computer Vision*, Bombay, India, pp. 721-726, Jan. 1998.

[4] Ian Reid and Andrew Zisserman, "Goal-directed Video Metrology", *Proc. of European Conference on Computer Vision*, 1996.

[5] T. Bebie, H. Bieri, "SoccerMan-Reconstructing Soccer Games from Video Sequences", *Proc. of International Conference on Image Processing*, pp. 898-902, 1998.

[6] ORAD High Tech Systems (<http://www.orad.co.il/sport/dreplay.htm>).

[7] T. Taki, J. Hasegawa and T. Fukumura, "Development of Motion Analysis System for Quantitative Evaluation of Teamwork in Soccer Games", *Proc. of International Conference On Image Processing*, Vol. III, pp. 815-818, 1996.

[8] Y. Fok and O. Au, "Fast Motion Estimation Using Spatial Decimation", *Proc. of International Conference on Signal and Image Processing*, Vol. 1, pp. 225-228, Las Vegas, Nevada, Nov., 1995.

[9] A. Murat Tekalp, *Digital Video Processing*, Prentice-Hall, pp. 153-155, 1995.

[10] FIFA Home page (<http://www.fifa.com>)

[11] S. M. Smith and J. M. Brady. "SUSAN- a new approach to low level image processing", *Int. Journal of Computer Vision*, 23(1):45-78, May 1997.

[12] 남시욱, 이재철, 이종현, 이재호, 이상길, 김재희, "투영 변위 필드 모델을 이용한 물체 이동거리 추정 및 추정 정확도의 정량적 평가", 1999년 인공지능, 신경망 및 퍼지시스템 종합학술대회 논문집, pp.275-278, 1999년 10월

[13] 이종현, 남시욱, 이재철, 김재희, "배경의 특징 추적을 이용한 물체의 이동 거리 추정 및 정확도 평가", 1999년 대한전자공학회 추계종합학술대회 논문집, Vol. 22, No.2, pp.621-624, 1999년 11월

[14] Siwook Nam, Jae Cheol Lee, Jonghyon Yi, Jaihie Kim, "Quantitative Evaluation of the Estimation Accuracy of Object Displacement and Velocity in Soccer Games", *Proc. of International Conference on Computer Vision, Pattern Recognition, and Image Processing, JCIS 2000*. Vol. 2, pp.135-138, Atlantic City, New Jersey, Feb.27-Mar.3, 2000.

저 자 소 개



南時旭(正會員)  
1996년 2월 연세대학교 전자공학과 공학사. 1998년 2월 연세대학교 전자공학과 공학석사. 현재 연세대학교 전기·전자공학과 박사과정. 주관심분야는 동영상분석, 생체인식(Biometrics) 등임

李在哲(正會員)  
電子工學會 論文誌 第34卷 S編 10月號 參照

金在熹(正會員)  
電子工學會 論文誌 第34卷 C編 5月號 參照

李鍾賢(正會員)  
電子工學會 論文誌 第34卷 C編 5月號 參照



朴永奎(正會員)  
1985년 2월 영남대학교 전자공학과 공학사. 1995년 12월 국방대학원 전자계산학과 석사. 2001년 2월 연세대학교 전기·전자공학과 공학박사. 현재 국방부 정보화기획실 근무. 주관심분야는 홍채인식, 인공

지능 등임