

테니스 영상에서 공의 위치 추적과 영상 개선을 위한 알고리즘 연구

배민섭*, 홍영택*, 최태영*
*아주대학교 전자공학과
e-mail : tt1918@hanafos.com

Algorithm for ball tracking and image enhancement of tennis game video

Min Seop Bae*, Young Tack Hong*, Tae Young Choi*
*Dept. Electronic Engineering, Ajou University

요 약

테니스 경기 영상에서 테니스 코트 영역과 선수의 위치를 추적하기 위한 알고리즘을 제안한다. 공의 움직임을 찾기 위해서는 코트와 선수의 위치를 파악해야 하므로 이진화 영상과 형태론적 해석을 통하여 테니스 코트 영역과 선수 영역을 인식하도록 한다. 선수의 위치가 확인되면 공의 움직임이 예측되는 장소를 찾아 공이 지나가는 정보가 제공될 경우 공의 위치를 인식하고 칼만 필터를 이용하여 공의 움직임을 추정하고 공의 위치를 추적한다. 공의 움직임 정보를 이용하여 고속 이동에 의한 이미지의 손실을 개선하는 알고리즘을 제안한다.

1. 서론

다양한 미디어 매체를 통한 스포츠 경기의 중계는 단순한 경기 중계를 하는 것을 벗어나 시청자들에게 방송 경기의 해설에 대한 질적인 향상을 위하여 많은 기술 개발이 이루어지고 있다. 특히 축구 경기에서 두 팀이 공격하는 방향에 대한 비율과 공의 점유율, 공격 방법과 패스 성공률 등을 표시하고 MPEG-4 기술을 이용하여 특수 영상을 만들어 방송함으로써 시청자들에게 스포츠 경기를 즐기는데 필요한 다양한 정보를 제공하고 있다. 마찬가지로 테니스 경기나 아이스하키 경기의 중계 영상에서는 여러 대의 카메라를 이용하여 공을 추적하고 중요한 득점 장면을 득점 후 리뷰 형식으로 3D 영상으로 재구성하여 시청자들에게 제공함으로써 시청자들을 미디어 매체에 몰입이 가능하도록 유도하고 있다. 하지만 스포츠 경기 중에서 테니스, 탁구, 하키 배드민턴 등과 같은 공이 작고 빠르게 움직이는 경기의 중계방송에서는 순식간에 움직여서 시청자의 응시하는 지점에서 공이 사라져 공의 위치를 인지하지 못하는 경우가 많이 생기게 된다. 그 결과 시청자가 경기에 집중할 수 있는 기회를 잃게 만든다. 따라서 실시간으로 공의 움직임을 추적하

고 공의 영상 개선을 통하여 시청자들이 편하게 테니스 경기의 중계 방송을 시청할 수 있도록 도와줄 수 있다.

공의 움직임을 추정, 추적하기 위해서는 테니스 코트의 위치와 2 명의 선수의 위치를 우선 파악해야 한다. 공의 움직임의 시작은 선수의 손에서부터 뒷방향으로 이동하기 때문에 공의 초기 위치는 선수의 위치와 상대수 관련이 있다. 또한 2 명의 선수의 위치는 전 영상의 공의 위치 정보만을 이용하여 추정, 추적하는 것보다 정확한 정보를 제공하여 공의 위치를 찾는 데 중요한 열쇠가 된다. 공의 물리적인 이동은 일정한 패턴에 의해서 결정되는데 선수의 위치 이동은 공의 이동 방향과 밀접한 관계가 있기 때문이다.

본 논문은 단일 카메라를 통해 들어오는 영상을 형태론적 해석을 통하여 코트의 정보와 선수의 위치 정보를 찾고 공의 위치 확인 및 칼만 필터를 이용하여 공의 위치 추적을 위한 알고리즘을 제안한다. 본 논문의 실험에 사용된 영상은 2006 Medibank International에서 치러졌던 Henin Hardenne 선수와 Hingis 선수의 시합으로 640x360 크기의 30fps 의 전송률을 갖는 영상이 사용된다.

2. 테니스 코트 영상 처리

본 논문은 메인 카메라 한 대의 영상을 사용하여 영상 처리를 한다. 따라서 영상에 대해서 주로 처리할 관심 영상을 정의할 필요가 있다. 테니스 경기의 중계 방송은 그림 1 과 같은 영상을 관심 영상으로 잡고 테니스 영상을 처리하게 될 것이다. 하지만 미디어 방송의 경우 메인 카메라 영상뿐만 아니라 여러 방향과 각도에서 촬영되는 영상까지 다양하게 전송되기 때문에 메인 카메라에 의한 관심 영상과 그 외의 영상을 구분하는 기준은 영상 내에 그림 1 과 같은 코트의 형태가 존재 하는지의 유무에 의해 판단하도록 한다.

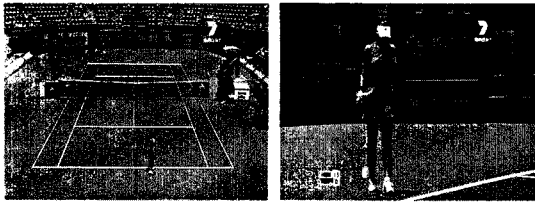


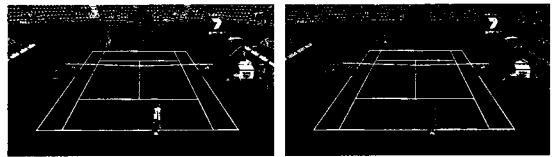
그림 1. 메인 카메라에 의해 전송된 관심 영상(좌)과 비관심(우) 영상

테니스 코트를 찾기 위해서는 우선 테니스 영상의 전처리가 필요하다. 관심 영상에는 테니스 코트와 선뿐만이 아니라 경기를 즐기는 관객의 좌석과 광고판 등 테니스 코트 인식에 방해가 되는 요소들이 많기 때문이다.

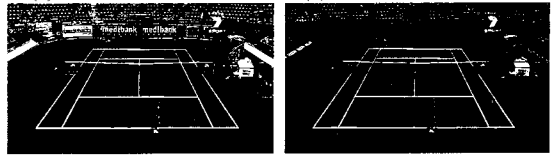
형태론을 이용하여 테니스 코트를 전처리하는 방법은 테니스 코트의 방향성 성분을 이용하여 코트의 성분을 추출하고 위치 성분의 포함 정도에 따라서 코트가 되는 성분이 남아있게 된다. 형태론을 이용하기 위해서는 관심 영상을 이진화한다. Gray 영상에서의 형태론적 연산도 가능하지만 코트 라인의 색인 흰색과 코트 바닥의 색이 확연히 분리가 되므로 빠르게 처리할 수 있도록 이진화 하는 것이 좋다. 또한 이진화를 통하여 관객이나 광고판 등과 같이 코트를 찾는 데 방해가 되는 성분을 제거할 수 있다. 코트 라인의 색은 어떤 종류의 코트이든지 흰색을 띄지만, 코트의 종류에 따라서 표면의 색은 잔디 코트, 클레이 코트, 하드 코트 등 표면의 재질에 따라 녹색, 청색, 붉은색 등 각기 색이 다르기 때문에 일괄적인 임계치를 이용하여 영상을 이진화할 수는 없다. 따라서 이진 영상을 만들기 위해서 테니스 영상의 중심에서 2/3 높이 위치에서 30×30 의 크기로 샘플을 추출하고 RGB 성분 에 대한 평균을 따로 구한 후, 각 성분 에 대하여 각각의 임계치를 설정하고 이진화한다. 이 경우 선수나 코트의 색 성분 중에 한 가지 색상값이라도 측정 한 평균값보다 작을 경우 RGB 영상에 대해서 AND 연산을 통해서 그림 3 의 (d)와 같이 필요하지 않는 부분은 제거될 수 있다.

이진화 후의 영상인 그림 3(d)와 방향성의 형태소(structuring element)를 이용하여 테니스 코트 영역만 추출한다. 형태소는 수평 성분인 0°의 형태소와 45°

135°의 형태소를 이용한다. 이 때, 형태소의 크기는 코트를 추정하는데 중요한 역할을 한다. 크기가 너무 클 경우 0°의 형태소에 대해서는 문제가 없지만 45°, 135°의 형태소에 대해서는 코트의 양변이 사라지고 남아있지 않게 된다. 또한 너무 작을 경우 테니스 코트 영역은 충분히 형태론적 연산이 가능하지만 관객 쪽의 경우 그대로 남아버리게 되어 잡음 제거



(a) R 성분 이진화 영상 (b) G 성분 이진화 영상



(c) B 성분 이진화 영상 (d) RGB 성분의 AND 영상

그림 3. 테니스 영상의 이진화 영상



그림 4. 형태론에 사용되는 구조적 요소

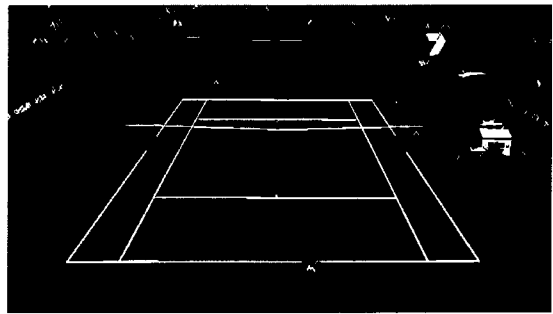
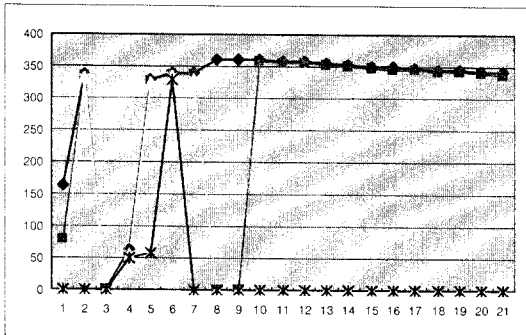


그림 5. 형태론 연산에 의한 잡음 제거

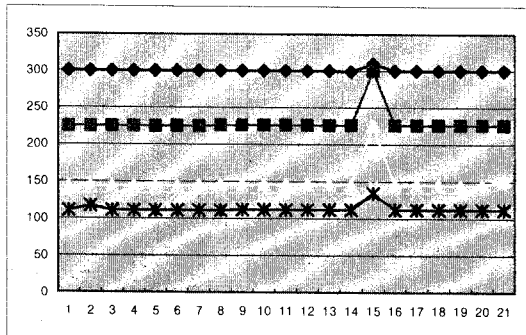
의 효과를 보지 못하게 된다. 따라서 본 논문에서의 실험은 5×5 크기의 45°, 135° 방향의 형태소와 1×12 크기의 0° 방향의 형태소를 이용하여 실험하였다. 형태론을 이용하여 잡음 성분을 제거하면 그림 5와 같이 개선된 영상을 얻을 수 있다.

테니스 코트 영상의 경우 하단에는 잡음이 생길 수 있는 상황은 거의 발생하지 않는다. 따라서 영상의 중심에서 21 개의 수직성분에 대해 샘플을 취하고 값의 분포를 분석한다. 다음 표 1 은 21 개의 샘플에 대해서 값이 1 인 지점의 좌표이다. 행의 좌표를 구하는 것은 열의 좌표값에 비해서 동일 값을 갖는 성분이 많이 존재하고 코트가 기울어져 기울기가 발생하더라도 그 오차 정도를 유추하여 직선으로 존재하는 코트

의 위치를 유추하고 확인할 수 있으므로 쉬운 계산과정을 거치게 된다. 다음 표.1 는 테니스 코트가 존재하는 영상과 아닐 경우에 대하여 비교한 그래프이다. 코트 영상이 존재할 경우에는 일정한 값들이 연속적으로 같은 값을 가지지만, 존재하지 않을 경우에는 불규칙한 분포를 가지게 된다. 따라서 오차 범위 안의 값을 코트로 인식하고 코트의 위치를 특정 지을 수 있다.



(a) 비관심 영상(그림 1 좌)에 대한 값



(b) 관심 영상(그림 1 우)에 대한 값

표. 1 코트 존재 여부에 대한 샘플 취합 결과

3. 선수의 위치와 영역 찾기

코트의 위치를 인식한 다음에는 선수의 위치를 찾아야 한다. 대체로 경기가 시작하기 전에 서브를 넣는 선수의 경우 라인 밖에서 위치하게 되고 공을 받는 선수의 경우에도 라인 끝에 위치하여 공을 받으려는 경향이 있기 때문에 선수의 위치는 첫 번째 라인과 마지막 라인의 근방에서 찾을 수 있다.



그림 6. 코트 근방에서의 선수 위치

그림 6 은 경기가 막 시작되었을 때의 선수의 위치이다. 위쪽의 코트라인 보다 아래쪽의 코트라인에서 선수 탐색 영역을 크게 만들어 주어야 하는데, 그 이

유는 카메라 관측하는 위치와 아래쪽 코트 라인의 위치가 위쪽에 비해 가깝기 때문에 영상에 나타나는 선수의 크기가 차이가 나기 때문이다. 그림 6 과 이전 영상에서 그림 6 과 같은 위치의 영역을 추출하여 차영상을 구한 뒤 각 수직 성분의 분산값을 구하고 수평성분의 분산값을 구하여 평균-분산 값을 비교하여

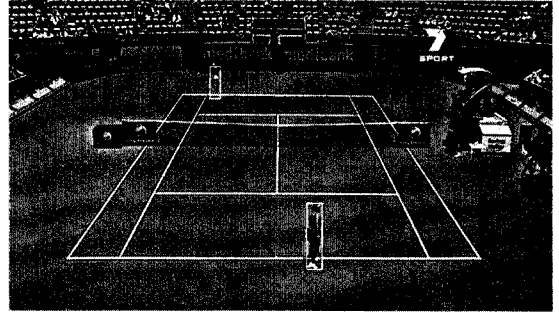


그림 7. 선수 추적 영역

값이 양수가 되는 지점을 찾으면 선수의 위치를 얻을 수 있다. 그림 7 은 선수의 위치를 추적하여 선수가 위치하는 공간을 나타내었다.

4. 볼의 탐색과 추적

공의 탐색은 두 명의 선수가 찾아졌을 경우, 선수가 위치한 영역에서 공이 지나갈 수 있는 영역을 선택한다. 단식 게임의 경우 선수가 위치한 곳에서 대각선 반대 방향으로 공을 서브해야 폴트가 일어나지 않으므로 공의 지나갈 수 있는 위치는 그림 8 과 같은 영역이다. 공이 들어 왔을 경우 공의 추적 부분에서 다룰 식(3)과 식(4)를 이용하여 불필요한 부분을 제거하고 공의 위치를 찾아내게 된다.

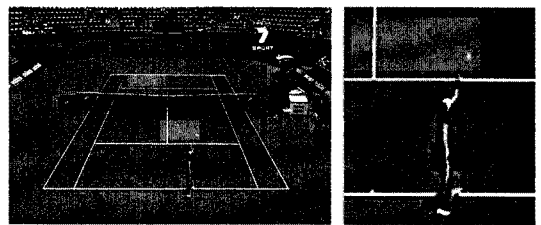


그림 8. 공 search 영역과 search 된 공영상

공의 첫 번째 위치를 확인한 후 프레임간의 공의 이동에 대한 추정 과정과 추적 과정을 거치게 된다. 볼의 추적 과정에는 볼의 위치 추정과 볼의 인식 과정으로 구성된다. 볼의 위치 추정은 칼만 필터를 이용하여 다음 식과 같이 구성하게 된다.

$$\begin{aligned} \hat{x}(k+1|k) &= \Phi \hat{x}(k|k) \\ P(k+1|k) &= \Phi P(k|k) \Phi' \\ \hat{x}(k+1|k+1) &= z(k+1) \\ K &= P(k+1|k) H' [H P(k+1|k) H' + R]^{-1} \\ P(k+1|k+1) &= [I - KH] P(k+1|k) \end{aligned} \quad (2)$$

위의 식에서 $\hat{x}(k+1|k+1)$ 을 구하기 위해서는 현재 영상의 불의 측정값 $z(k+1)$ 을 구해야 한다. 보통 칼만 필터의 경우 $\hat{x}(k+1|k+1)$ 을 구할 때 측정값과 추정값 사이에서 K 값을 곱해서 결과값을 유도하지만 테니스 영상의 측정값이 확연히 구별이 되므로 추정값의 오차를 무시하였다. 불의 위치가 확인되면 이전 영상의 불의 위치와 추정값 $\hat{x}(k+1|k)$ 를 이용하여 현재 영상과 전 영상에서 불의 위치가 예상된 지점의 영상을 블록으로 추출한다.

불의 위치를 측정하기 위해서 영상의 평활화 과정을 수행한다. 평활화 과정은 불이 코트 라인이나 코트와 걸치는 상황이 발생할 경우, 불을 코트 라인에서 분리하는 역할을 수행한다.

$$r(x, y) = r(x, y) - \frac{\sum_{i=1}^N r(i, y)}{N} \quad (3)$$

$$r(x, y) = r(x, y) - \frac{\sum_{j=1}^M r(x, j)}{M} \quad (4)$$

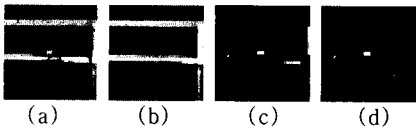


그림 9. (a)현영상, (b)전영상, (c) (a)의 평활화 영상과 (a)와 (b)의 AND 연산의 결과 영상과의 AND 연산 결과 영상, (d) 코트 매칭 후 영상

앞의 그림 9(a)는 경기 중 불이 코트의 네트에 걸린 영상이다. 이 경우 불의 위치를 확인하기 불가능한 경우가 발생할 확률이 크다. 따라서 식(3)과 식(4)를 이용하여 가로 코트 라인과 세로 코트 라인이 영상에서 미치는 영향을 줄여준다. 그림 9(c)는 그림 9(a)와 (b)의 AND 연산 결과 영상과 (a)의 평활화 영상을 AND 연산한 후의 그림이다. 아직 가로와 세로의 코트 부분이 남아있음을 볼 수 있다. 이 경우 공이 위치한 픽셀은 3 픽셀 이상의 값을 갖고 있지 않지만 네트의 경우에는 연속으로 큰 값을 갖고 있는 모습이다. 이 특성과 앞에서 구한 코트의 위치값을 이용하여 코트를 매칭한 후 코트로 인식되는 부분을 지워주면 된다. 그림 9(d)는 코트 매칭 후의 영상으로 공의 위치를 찾을 수 있고, 그 위치는 측정값 $z(k+1)$ 에 저장되어 칼만 필터의 Correction 과정이 완료된다.

$$img(x, y) = img(x, y) + kr(x, y) \quad (5)$$

$$k = \frac{255 - img(x, y)}{\max(x, y)} \quad (6)$$

현재 영상에서 불의 색은 원래의 색인 연한 녹색을 띄어야 하지만 카메라와 공의 위치가 멀고 빠르게 움직일 경우에 공의 색정보가 카메라로 제대로 전달되지 않아 흰색과 차이가 없어 보인다. 또한 카메라로부터 멀어지고 불의 이동 속도가 빠를 경우 불은 코트 영상과 비교가 힘든 경우도 발생하게 된다. 따

라서 측정한 공의 위치값 $\hat{x}(k+1|k+1)$ 을 이용하여 불의 색을 바꿔준다. 원영상에서의 위치값 $\hat{x}(k+1|k+1)$ 을 찾을 때의 평활화된 영상의 값은 불의 값만을 갖고 있다. 따라서 불의 위치에 있는 값들을 식(5)에서와 같이 k 배 만큼 곱하여 원래의 영상과 더해준다. K 의 값은 식(6)과 같이 블록 영상에서 얻은 최고값을 255 로 만들도록 $r(x, y)$ 의 값에 곱해주는 가중치이다. 그림 10 은 공의 색변환을 통해 개선된 공의 영상이다.

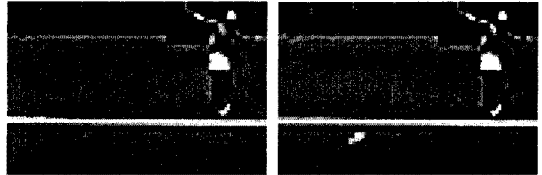


그림 10. 불의 색변환 전 영상(좌)과 결과 영상(우)

5. 결론

본 논문에서는 단일 카메라를 통해서 들어오는 테니스 영상을 형태론적 해석을 통하여 코트와 선수를 인식하고 칼만 필터를 이용하여 공의 위치 추적을 하는 방법을 제안하였다. 본 논문에 제안된 방법은 위치를 인식하기 때문에 선수의 경기 시합 방법과 전략을 구성하는데 도움을 줄 수 있고 시청자에게는 경기에 집중할 수 있는 기회를 제공하게 된다. 하지만 공의 움직임에 대한 간단한 변환으로 높은 품질의 개선이 필요하다.

참고문헌

- [1] Pingali.G, Opalach. A, Jean.Y, "Ball Tracking and Virtual Replays for Innovative Tennis Broadcast", Pattern Recognition, 2000. Preceedings. 15th International Conference on Volume 4, P.152 - 156
- [2] Wang. J.R, Parameswaran. N, "Analyzing Tennis Tactics From Broadcasting Tennis Video Chips", Proceedings of the 11th International Multimedia Modelling Conference. P102-106
- [3] Jerry M. Mendel, "Lessons in Estimation Theory for signal Processing, Communication, and Control", Prentice-Hall International, Inc. 1995
- [4] Gonzalez.R.C., Woods.R.E., Eddins.S.L., "Digital Image Processing Using MATLAB", Prentice-Hall, Inc, 2004, P.334-377