

스포츠 동영상의 다중 물체 인식 및 추적을 위한 실시간 시뮬레이터 설계 및 구현

김현수, 팡소호, *김덕환
인하대학교 전자공학과

e-mail : {hyun, pengshaohu}@iesl.inha.ac.kr, deokhwan@inha.ac.kr

Design and Implementation of Real-Time Simulator for Multiple Object Detection and Tracking in Sports Video

Hyun-Soo Kim, Shao-Hu Peng, *Deok-Hwan Kim
Dept. of Electronics Engineering, Inha University

요 약

동영상의 다중 물체 인식 및 추적은 의료영상이나 무인 주행 시스템 등의 응용분야에서 중요성이 높아지고 있다. 본 논문에서는 스포츠 동영상의 다중 물체를 인식 및 추적하기 위해 칼만필터 알고리즘을 사용한다. 칼만필터 알고리즘을 이용한 물체의 이동 궤적 관리를 통해 표적 겹침 현상에 대한 추적 실패를 극복하도록 하였다. 표적 겹침이 일어나는 동영상을 입력 영상으로 이용하여 제안한 실시간 시뮬레이터의 추적 성능을 분석하였다.

1. 서론

연속적인 영상 이미지에서 표적 물체를 인식 및 추적하기 위한 연구는 상당히 오래전부터 계속되어왔다. 이러한 연구들은 의료영상 속에서 이상병변을 가리는데 사용되거나[1,7], 무인 시스템의 주행 성능 및 안정성을 보장하는 응용[2] 과 같이 다양한 분야에 적용되고 있다.

본 논문에서는 스포츠 동영상의 다중 물체를 인식하고 추적하는 시뮬레이터를 개발하였다. 이를 통해 코칭스태프들이나 전략분석가들이 선수들의 훈련이나 경기의 전략 수립 및 분석에 활용할 수 있는 기반을 마련하고자 한다.

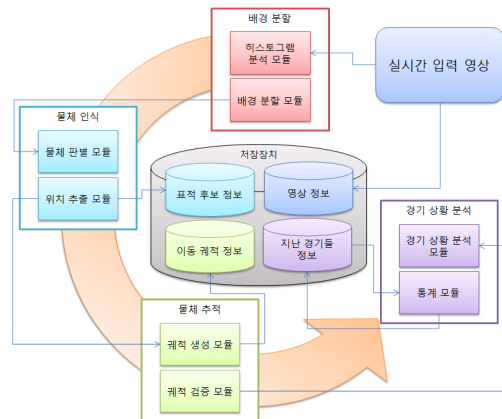
물체를 추적하는 단계는 배경 분할 과정, 위치 추정과정 및 궤적 추출과정으로 구분할 수 있다. 첫째, 추적할 표적을 배경으로부터 분할하는 과정에서 본 논문에서는 히스토그램의 형태에 기반한 방법을 통해 배경으로부터 표적을 분할한다. 둘째, 물체를 인식하기 위해서 물체 판별 모듈에서는 표적의 평균 색상을 이용하였고, 위치 추출 모듈에서는 표적의 무게 중심을 추정하여 그 중심의 변화로부터 표적의 이동 정보를 추출해 내는 무게중심추정기법(centroid estimation of target)을 사용하였다. 셋째, 궤적 추출과정은 표적들의 상호작용으로 인해 표적 가림이 발생한 경우 이로 인한 추적실패(breaklock)를 줄이고 이

를 보완하기 위한 과정이다. 본 논문에서는 궤적 추출과정에 칼만 필터(Kalman Filter) 알고리즘을 이용하였다.

2장에서는 시뮬레이터 모듈의 구조와 물체 인식 및 추적 과정에서 사용된 기법들을 기술한다. 3장에서는 스포츠 동영상에서 물체 인식 및 추적에 대한 시뮬레이터의 성능을 평가한다. 4장에서는 결론과 향후 연구방향을 기술한다.

2. 본론

그림 1은 제안한 시뮬레이터의 모듈 구성을 보여준다.



(그림 1) 시뮬레이터 모듈 구성도

* 정희원-교신저자, 인하대학교 전자공학과

※ 이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임.
(R01-2008-000-20685-0)

첫 번째, 배경 분할 모듈은 표적 물체들을 입력 영상의 배경으로부터 표적 대상 물체를 분할한다. 두 번째, 물체 판별 및 위치 추출 모듈은 물체의 타입(공, 팀 구별 및 심판)을 판별하고 물체의 위치정보를 획득한다. 세 번째, 물체 추적 모듈은 물체의 위치정보를 기반으로 칼만필터 알고리즘을 사용하여 표적 물체의 이동 궤적을 추출하고 해당 궤적의 유효성을 검증한다. 네 번째, 자동 분석 모듈은 경기의 상황을 분석하고 지난 경기들의 통계와 함께 경기 상황 분석 결과를 갱신한다.

2.1 배경 분할

물체의 이동을 예측하기 위해서는 우선 물체를 배경으로부터 분할하여 물체를 판별하는 것이 우선시된다. 추적할 표적을 배경으로부터 분할하기 위해 텍스처(texture) 분석에 따른 기법, 히스토그램(histogram)의 형태에 기반한 기법, 클러스터링(clustering)에 의한 기법, 에지 검출 및 영역 분할과 합병에 의한 기법 등이 제안되어 왔다[6].

본 논문에서 사용하는 입력 영상의 배경은 영상에서 차지하는 비율이 높고 단순하기 때문에 히스토그램의 형태에 기반한 방법을 통해 배경을 분할한다.

RGB색상 공간을 HSI 색상공간으로 변환하여 Hue 값과 Intensity 값을 이용하여 표적을 분할하였다. 히스토그램의 분포에서 전체의 70% 이상을 포함하는 색상 영역을 운동장 영역으로 판별하여 제거한다.

2.2 물체 인식

물체를 인식하는 과정은 물체 판별 모듈과 물체 위치 추출 모듈로 구성된다. 물체 판별 모듈에서는 배경이 제거된 이후의 작은 픽셀 덩어리들을 공이나 사람의 특징들에 따라 물체를 판별한다.

2.2.1 타원 및 골대 판별

축구 경기 영상에는 골대 및 중앙에 위치한 원 등의 고정적인 크기를 가지는 물체가 존재한다. 이들은 경기 정책에 따라 정규 규격을 준수하기 때문에 표적들의 크기 판단 기준으로 사용할 수 있다.

2.2.2 공 및 사람 판별

축구 경기는 공 및 공 주변 사람들에 의해 진행된다고 생각할 수 있으므로 공의 이동 궤적을 추출하는 것이 기본적이다.

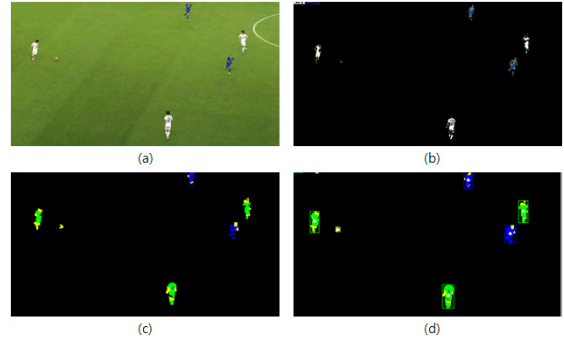
한 경기에 사용하는 공은 동일한 모델을 사용하기 때문에 크기 및 색상의 변화가 없다. 공의 크기 및 변화가 능한 색상의 범위를 제한하여 공의 후보들을 검출한다.

2.2.3 팀 및 심판 판별

사람으로 판별된 각 후보들은 해당 후보가 어느 팀에 속하는지, 혹은 심판인지 구분하기 위해 인접하는 직사각형의 상위 30%~45% 영역의 색상 평균값을 취하여 팀을

구분한다. 경기가 시작하는 시점부터 적어도 약 30~50 프레임 동안은 선수들이 각각 자신의 위치부터 시작하기 때문에 경기 초반의 영상 시퀀스에서는 후보들의 겹침 현상 없이 물체의 크기나 인접 직사각형 영역을 초기화 할 수 있다. 매 프레임마다 모든 표적 후보들에 대해 팀 및 심판을 판별할 필요 없이 추적 실패에서 복구되는 순간에 추가적인 판별 과정을 거친다.

실시간 입력영상으로부터 배경 분할 과정 및 물체 인식 과정을 거친 영상의 예는 그림 2와 같다.



(그림 2) 배경 분할 및 물체 인식 과정

- (a) 실시간 입력 영상, (b) 배경 분할 후 영상,
- (c) 물체 판별 후 영상, (d) 위치 추출 후 영상.

2.2.4 물체 위치 추출

표적 물체의 위치를 추정하는 과정은 대표적으로 두 가지가 있다. 첫 번째는 표적의 무게 중심을 추정하여 그 중심의 변화로부터 표적의 이동 정보를 추출해 내는 무게 중심추정기법(centroid estimation of target)이고, 두 번째는 표적이 이동시에 발생하는 전후영상의 시공간적 변화량 사이의 관계를 이용하여 표적의 이동 정보를 추출하는 상관방식추적기법(correlation tracking method)이다[5].

본 논문의 물체 위치 추출 모듈에서는 무게중심추정기법(centroid estimation of target)을 통해 물체들의 위치를 추출한다. 이 기법은 물체의 모양이나 회전 등의 변화에 큰 의미를 두지 않아도 되며, 상관방식기법과는 달리 계산량의 감소를 위해 최대 추정 변위에 제한을 둘 필요가 없다.

2.3 물체 추적

칼만 필터는 잡음에 의해 간섭받는 선형 시스템에서 추적하고자 하는 물체의 상태 벡터 y 의 최적 추정치 \hat{y} 를 얻기 위한 순환적인 알고리즘이다[3-4].

칼만 필터 알고리즘은 크게 예측(prediction) 단계, 측정(measurement) 단계, 갱신(update) 단계의 세 단계로 나눌 수 있다. 예측, 측정 및 갱신의 반복되는 과정을 통해 표적 물체의 상태벡터를 최적화한다.

각 단계에서 사용된 수식에서 변수에 붙은 ‘-’는 갱신 단계 이전에 계산된 것임을 나타낸다.

예측 단계에서는 상태 벡터 y 와 추정 오차의 공분산 행렬 P 를 예측한다. 이 단계에서 사용하는 수식은 아래와 같다. w 는 칼만필터 시스템 모델의 잡음이며, Q 는 w 의 공분산 행렬이다. A 는 변환계수이며 B 와 u 는 추가 입력 값이다.

$$\hat{y}_{k+1}^- = A\hat{y}_k + Bu_k + w_k \quad (1)$$

$$P_{k+1}^- = AP_kA^T + Q \quad (2)$$

측정 단계에서는 관심있는 상태 벡터의 실제 측정 벡터 z 에 대한 단계이다. H 는 측정 벡터와 상태 벡터의 관계를 나타내기 위한 관측 행렬(observation)이고, v 는 측정 과정에서의 노이즈이다.

$$z_k = Hy_k + v_k \quad (3)$$

갱신 단계에서는 측정 값을 기반으로 상태 벡터와 상태 추정 오차를 갱신한다. 이 단계에서 사용하는 수식은 아래와 같다. K 는 측정 값과 예측 값 사이의 관계를 나타내기 위해 적절한 가중치를 주는 역할을 하는 칼만 이득(Kalman gain)이다. R 은 측정 노이즈 v 의 공분산 행렬이다.

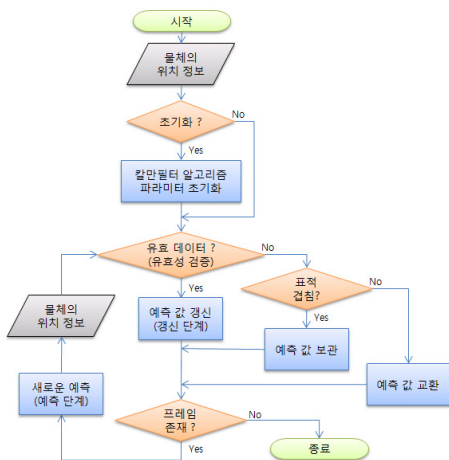
$$K_k = P_kH^T_k(H_kP_kH^T_k + R_k)^{-1} \quad (4)$$

$$\hat{y}_k = A\hat{y}_k^- + K_k(z_k - H\hat{y}_k^-) \quad (5)$$

$$P_k = (I - K_kH_k)P_k^- \quad (6)$$

2.3.1 궤적 생성

그림 3은 본 논문에서 제안하는 시뮬레이터의 칼만필터 기반 궤적 관리 흐름도이다.



(그림 3) 칼만필터 기반 궤적 관리 흐름도

경기가 시작하는 시점에 각 후보들의 초기 위치 판별 작업 및 칼만 필터에 필요한 초기 파라미터를 계산하기 위한 작업을 수행할 수 있다. 경기 시작 이후 각 후보들은 매 시간 자신의 궤적을 형성하면서 표적 간 상호작용으로 발생한 추적실패 구간에 대해 칼만필터 알고리즘을 이용하여 궤적을 보완한다.

만약 표적 겹침이 일어난 후 표적이 다시 분리가 되면 두 표적이 교차했는지 접촉 후 반대로 이동한 것인지 판단하는 작업이 필요하다. 서로 다른 팀의 두 표적의 경우에는 쉽게 판별이 가능하지만, 같은 팀이거나 세 표적 이상의 경우에는 궤적 정보를 판별하기 어렵다.

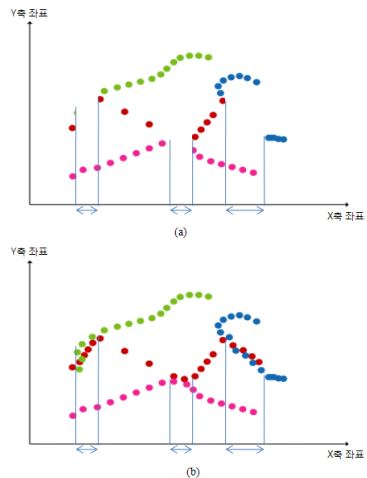
표적 겹침이 일어나면 각 물체의 궤적은 동일하게 판단된다. 표적 겹침이 해소된 일정 프레임 후 공에서 떨어진 선수가 자신의 포지션으로 돌아가게 되는 가정을 통해 보완된 궤적을 적절한 표적과 서로 교환한다.

2.3.2 궤적 유효성 검증

궤적의 유효성을 계산하는 이유는 외부 인물 및 강력한 조명 등으로 인한 원하지 않는 표적을 구별하기 위해서이다. 사람은 10m/s 이상의 속도를 가지지 않고, 평균 신장이 2.5m를 넘지 않는 등의 특징이 있다. 이러한 특징들을 제한요소로 이용하여 해당 표적의 유효성을 검증한다.

궤적 생성 단계에서 관리되는 궤적들이 표적 겹침 및 해소 후에 올바르게 판단되었는지 유효성을 검증하는 과정이 필요하다. 일정 프레임마다 공 및 심판을 제외한 각 표적들의 포지션과 비교하여 궤적을 다시 교환할 필요가 있는지 검증한다.

물체들의 실제적인 이동 궤적의 예는 그림4와 같다.



(그림 4) 궤적 생성 및 보완의 예
(a) 필터 적용 전 (b) 필터 적용 후

그림 4의 그래프에서 (a)는 칼만필터 알고리즘을 적용하기 전의 이동궤적이고, (b)는 칼만필터 알고리즘을 적용한 후의 이동궤적이다. (a)의 이동궤적에서 간헐적으로 비어있는 부분은 표적 겹침 현상으로 인해 하나의 물체로 인식된 부분이다. 이 부분들은 각 선수들이 자신의 포지션을 가지고 있음을 이용하여 (b)의 이동궤적과 같이 궤적 생성 및 검증 단계에서 보완한다.

3. 실험 결과

본 연구의 프로그램 테스트 환경은 다음과 같다. CPU는 Intel Core2 Duo 2.34GHz, 2GB RAM을 사용하였고, Visual C++ 6.0 컴파일러를 사용하였다.

실험에 사용된 영상은 추적의 신뢰도를 보이기 위해 표적 겹침 현상이 나타난 프레임들을 위주로 사용하였다.

시물레이터를 이용한 분석 결과는 표 1 및 표 2와 같다. 표 1은 표적의 추적 결과 및 분석의 정확도를 나타내고 있고 85% 정도의 추적 결과를 보이고 있다. 표 2는 선수들의 팀을 판별한 뒤 공의 이동 궤적과 선수들의 이동 궤적을 분석하여 얻어낸 결과를 나타내고 있으며 76% 정도의 정확도를 보이고 있다.

<표 1> 공 추적 결과

동영상 프레임 번호	실제 데이터		추적 결과			
	프레임수	공 있음	추적 성공	판별 오류	정확도	특징
014792 - 015289	497	167	153	14	91.61%	운동장 이탈
016237 - 016554	317	245	217	28	88.57%	일반
016716 - 017032	316	287	207	80	72.12%	겹침이 많음
017246 - 017344	98	54	48	6	88.88%	빠른 공
017465 - 017760	295	276	258	18	93.47%	일반
전체 프레임 수	1523	1029	883	146	85.81%	-

<표 2> 공의 점유율 분석 결과

동영상 프레임 번호	실제 점유율			분석 결과		
	프레임수	왼쪽 팀	오른쪽 팀	왼쪽 팀	오른쪽 팀	정확도
014792 - 015289	497	167	0	153	0	91.61%
016237 - 016554	317	80	165	57	132	77.14%
016716 - 017032	316	234	53	144	31	60.97%
017246 - 017344	98	54	0	48	0	88.88%
017465 - 017760	295	92	184	73	152	81.52%
전체 프레임 수	1523	627	402	475	315	76.77%

연속되는 입력 영상 속에서 적어도 350x240 픽셀 크기 이상의 단위 입력 영상을 초당 10프레임 이상 처리하는 실시간성을 보장하면서 표적의 위치, 속도 및 가속도 등을 측정할 수 있었다.

4. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 스포츠 동영상의 다중 물체 인식 및 추적을 위한 칼만필터 알고리즘 기반 실시간 시물레이터를 설계 및 구현하였고 해당 시물레이터의 성능을 분석하였다.

실험을 통해 표적 물체들의 이동을 실시간으로 추적할 수 있음을 보였고, 선수들의 전략에 활용할 수 있을 만큼의 허용 가능한 오차를 가짐을 확인하였다.

본 논문에서는 스포츠 동영상을 대상으로 하였지만 활주로 상의 이동 물체를 판별하거나 무인 자동차의 주행 시스템에 적용 및 화재 시 안전한 장소로 사람을 유도하는 작업 등의 실시간성과 추적 실패에 민감한 분야에도 적용이 가능할 것이다.

참고문헌

- [1] J. Liang and J. Bi, "Computer aided detection of pulmonary embolism with tobogganing and multiple instance classification in CT pulmonary angiography", International Conference on Information Processing in Medical Imaging, pp.630 - 641, 2007
- [2] M. W. Park, Y. J. Son and J. H. Kim, "Design of the Real Time Control System for Controlling Unmanned Vehicle", International Conference on Control, Automation and Systems, 2007
- [3] R. E. Kalman, "A new approach to linear filtering and prediction problems", Transactions of ASME Journal of Basic Engineering, 1960
- [4] G. Welch and G. Bishop, "An Introduction to the Kalman Filter", <http://www.cs.unc.edu/~welch/kalman/kalmanIntro.html>, 2006
- [5] C. D. Bei and R. M. Gray, "An improvement of the minimum distortion encoding algorithm for vector quantization," IEEE Transactions on Communications, vol. COM-33, no. 10, pp. 1132-1133, 1985
- [6] 광현욱, 오준택, 손영호, 김옥현, "엔트로피 기반의 가중치와 분포크기를 이용한 향상된 FCM 알고리즘", 대한전자공학회, pp.1-8, 2006
- [7] 신진욱, 윤숙, 박동선, "디지털 마모그램에서 형태적 분석과 다단 신경 회로망을 이용한 효율적인 미소석회질 검출", 한국통신학회논문지, pp.374-386, 2004