

**옵티컬 플로우를 이용한  
로봇축구의 볼 위치 및 경로 설정**

양광현\*, 정 헌, 최한수  
조선대학교 제어계측공학과

**The ball position and Path plain  
for the robot-soccer using Optical flow**

Kwang-hyun Yang\*, Hun Jung, Han-soo Choi  
Department of Control and Instrumentation Eng. Chosun Univ.

**Abstract** - In this paper, we present the ball position and path plain method for the robot-soccer using optical flow. As we compare a optical flow method with a general method within the accurate and effective ball position information of robot-soccer or the path planning, we prove accurate and effective optical flow algorithm to apply ball position and path plain for robot-soccer

경로를 추적하기 때문에 신속하지 못한 문제점이 있다.

본 논문에서는 이러한 문제점 해결을 위해 옵티컬 플로우를 이용하는 방법을 제시하고자 한다. 옵티컬 플로우 방법은 칼라 영상기반이 아닌 그레이 레벨의 영상 기반을 사용하며 물체의 움직임을 빛의 밝기 변화에 따라 추적하므로 빛의 변화에 영향을 받지 않으며 물체에서 점들의 흐름을 벡터적 표현으로 나타내기 때문에 볼과 로봇의 위치를 예측할 수 있기 때문에 예측제어가 가능하여 실험을 통하여 옵티컬 플로우 방법이 우수함을 검증하였다.

**1. 서 론**

로봇 축구 경기에서 비전 시스템은 로봇과 공의 위치를 찾는데 사용된다. 비전 시스템을 이용하여 찾은 로봇과 공의 위치는 전략을 작성하고 로봇에게 명령을 내리는 기본 정보로 이용된다. 따라서 비전 시스템은 축구 로봇 시스템의 가장 기본이 되는 부분을 차지하고 있다고 말할 수 있다. 비전 처리에 있어서 중요한 점은 로봇 상단에 부착되어 있는 패치와 볼의 칼라를 빠르고 정확하게 찾아내야 한다. 로봇 축구에서 로봇들을 정확하게 제어하기 위해서는 빠른 샘플링 주파수로 로봇을 제어해 주어야 하는데 이를 위해서는 제어 시간 간격 안에 비전에 대한 처리가 모두 끝나야만 한다. 또한 비전 처리가 빠를수록 비전을 제외한 다른 부분에 더 많은 시간을 할애할 수 있기 때문에 보다 높은 수준의 전략을 구사하는 부분에 시간을 할애할 수 있을 것이다.

비전 처리에 있어서 빠른 처리 속도와 더불어 또 다른 중요한 요소는 강인성이다. 실제 로봇 축구 경기장에서는 대부분의 팀이 시스템을 설정하는데 많은 시간을 소비한다. 때로는 실제 경기시간 보다 시스템을 설정하는데 더 많은 시간을 보내기도 하는데 특히 비전에 대한 설정에 가장 많은 시간을 소비한다. 대부분 이렇게 많은 시간을 비전 설정에 소모하는 이유는 실제 경기장에서의 조명 상태가 실험실의 조명 상태와 다르고 비전이 조명 상태에 굉장히 민감하게 반응하기 때문이다. 또한 오랜 시간에 걸쳐 비전을 설정하였을지라도 조명 상태가 조금만 바뀌어 버리면 기존의 설정 값을 모두 다시 바꾸어야만 하고 극단적인 경우 현재의 조명 상태에서 경기를 진행할 수 없는 상황에 이르기도 한다. 이러한 비전 처리 방법은 로봇의 패치 모양과 칼라의 밝기를 이용하여 로봇을 추적하는 방법이 사용된다. 이 방법은 경기장내에서 볼의 특정 칼라를 추출하여 최대, 최소값으로 범위를 설정하는 Min-Max Threshold 방식과 함께 사용되며 움직이는 볼에 로봇이 접근하는 방법은 연속적인 볼의 위치의 추출에 따라 로봇에 지령을 내려 로봇이 볼의 움직임 경로를 따라 접근하는 방법이다. 이러한 방식은 칼라의 변화에 따라 로봇을 패치를 잃어버리는 경우와 같은 치명적인 단점을 가지고 있으며 로봇이 볼에 접근할 때 볼의

**2. 옵티컬 플로우**

옵티컬 플로우 방법은 동영상 해석방법중 하나인 그레이 디엔트기반 방법을 이용하는 방법으로 대상 물체의 움직임은 방향과 속도를 벡터적으로 표현하는 방법으로 어떤 한점의 움직임은 방향과 속도를 벡터로 표현하는 방법이다. 옵티컬 플로우 방법은 볼의 방향과 속도를 추정하여 로봇이 이동하는 볼에 대한 접근 방법이 있어 볼의 경로를 추정하는 방법을 개선하여 예측된 위치에 로봇이 접근하는 방법을 이용한다.

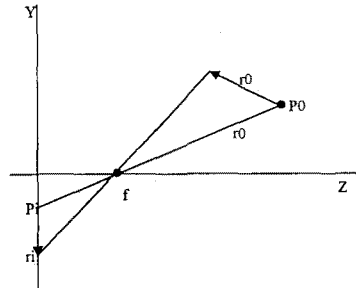


그림 1 속도 와 원근투영의 관계

특정한 시간에서 이미지내의 점 P1는 물체 표면상의 점 P0에 대응한다. 이 두점은 투영방정식에 의해 연결된다. 그림 1에서 물체상의 점에 대한 변위는 대응되는 이미지내의 점에 대한 변위가 된다. 이때 변위와 속도사이의 관계는 원근투영 방정식을 미분하는 형태로 나타난다. 물체상의 점 P0가 속도 v0를 갖는다고 하면 이것은 이미지의 점 P1에서 대응하는 움직임 vi를 일으킨다. P0는 시간간격 δt에서 v0 δt만큼 이동한다. 그리고 이것의 이미지 Pi는 vi δt만큼 이동한다 속도가 다음과 같이 주어지면

$$v_0 = \frac{dr_0}{dt}, \quad v_i = \frac{dr_i}{dt} \quad \text{----- (1)}$$

$$\frac{1}{f} r_i = \frac{1}{r_0 z} r_0 \quad \text{----- (2)}$$

$$\frac{1}{f} v_i = \frac{(r_0 \cdot z)v_0 - (v_0 \cdot z)r_0}{(r_0 \cdot z)^2} \quad (3)$$

모든 이미지의 점을 이와 같은 벡터방법으로 표시할 수 있으며 이러한 벡터는 모션 필드를 구성한다. 물체 근방의 점들은 비슷한 속도를 갖기 때문에 이미지에서 유도된 모션 필드는 대부분의 장소에서 연속적일 것이다. 한편 이미지의 밝기 패턴은 물체가 움직이는 것과 같이 이동하므로 옵티컬 플로우는 명확한 밝기 패턴의 움직임이라 할 수 있으며 이상적인 옵티컬 플로우는 모션 필드에 대응된다. 시간  $t$ 에서 이미지상의 점  $(x, y)$ 에 대한 밝기를  $E(x, y, t)$ 라고 하고,  $u(x, y)$ 와  $v(x, y)$ 가 그 점에서 옵티컬 플로우 벡터의  $x$ 와  $y$ 의 성분이라면 시간  $t + \delta t$ 일 때  $\delta x = u \delta t$ 이고  $\delta y = v \delta t$ 인 점  $(x + \delta x, y + \delta y)$ 에서의 밝기는 동일할 것이다. 즉  $\delta t$ 가 매우 작은 경우 다음식으로 표현된다.

$$E(x + u\delta t, y + v\delta t, t + \delta t) = E(x, y, t) \quad (4)$$

이 단일 제약은  $u$ 와  $v$  두 가지를 결정하기에 충분하지는 않지만 모션 필드가 모든 곳에서 연속적이라는 사실을 나타낸다. 밝기가  $x, y, t$ 에 대하여 부드럽게 변한다면 위의 식을 Taylor 급수로 전개하면 다음과 같다.

$$E(x, y, t) + \delta x \frac{\partial E}{\partial x} + \delta y \frac{\partial E}{\partial y} + \delta t \frac{\partial E}{\partial t} + e = E(x, y, t) \quad (5)$$

$e$ 는  $\delta x, \delta y, \delta t$ 의 2차항과 그 이상의 고차항들을 포함한다. 고차항들은 작은 값이므로 무시하고  $E(x, y, t)$ 를 소거하고  $\delta t$ 로 나눈다음  $\delta t$ 를 0으로 하면

$$\frac{\partial E}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial E}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial E}{\partial t} = 0 \quad (6)$$

시간에 대한  $E$ 의 도함수에서  $\frac{\partial E}{\partial t} = 0$ 으로 하고 위의 식을 이용하면

$$u = \frac{dx}{dt}, v = \frac{dy}{dt} \quad (7)$$

$$E_x = \frac{\partial E}{\partial x}, E_y = \frac{\partial E}{\partial y}, E_t = \frac{\partial E}{\partial t} \quad (8)$$

여기서  $u$ 와  $v$ 는  $x$ 와  $y$ 축 방향으로의 속도를 나타내며

$$E_x u + E_y v + E_t = 0 \quad (9)$$

영상으로부터 측정 가능한 값들이므로 다음의 식을 얻을 수 있다.

$$E_x u + E_y v + E_t = 0 \quad (10)$$

위의 방정식을 그래디언트 기반 방법이라 한다. 정칙화기반 알고리즘에서는 완만한 제약이 편미분 방정식의 해를 정칙화하고 반복적인 계산을 유도하며 속도는 영상내의 모든점에서 측정되나 물체의 접침 부분의 존재에서 발생하는 문제점과 이때 불연속적인 값을 갖으며 다제약선 기반 알고리즘에서는 다제약 방정식의 집합, Motion-invariant 함수 이용 방법, 다중점기반 방법 등의 여러 가지 방법이 이용된다.

### 3. 위치 추정

비전 시스템으로부터  $640 \times 480$  RGB 칼라 영상을 획득한다. 영상의 칼라 정보로부터 볼과 로봇의 정보를 얻는다. 볼과 로봇의 정보를 얻고 나면 다음 영상부터는 그레이 레벨의 흑백영상을 얻어서 흑백 영상으로부터 볼과 로봇의 밝기 변화에 따른 각 점들의 흐름을 측정하여 벡터로 나타낸다. 벡터적으로 표현하기 때문에 벡터에 의해 볼과 로봇의 위치가 예측 가능하여 지면 시간에 따른 위치를 예측한다. 예측된 정보에 의해 로봇의 제어에 예측제어를 할

수가 있다. 변환한다. 칼라 영상으로부터 볼과 로봇의 정보를 획득하여 영상을 그레이 레벨로 변환시킨다. 그레이 레벨의 영상으로부터 이동물체의 움직임으로 점들의 움직임 벡터를 구한다. 움직임 벡터로부터 볼과 로봇의 위치를 예측할 수 있으며 획득한 정보를 통하여 예측제어를 한다.

예측제어에 의한 볼의 위치 추정 방법은 옵티컬 플로우로부터 구한 볼과 로봇의 움직임 벡터로부터 볼과 로봇의 위치를 예측하여 로봇이 볼에 신속하게 접근할 수 있도록 하는 방법이다. 그림 3은 기존의 방법을 이용하여 로봇이 볼에 접근하는 모습을 나타냈으며 그림 4는 옵티컬 플로우를 적용한 로봇이 볼에 접근하는 모습이다.

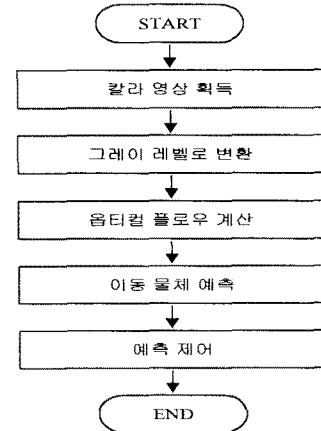


그림 2 위치 추정 순서도

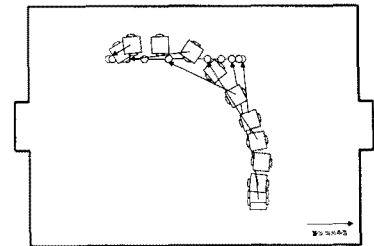


그림 3 기존의 방법

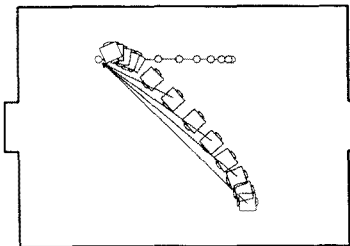


그림 4 옵티컬 플로우 방법

그림 4는 옵티컬 플로우 방법을 적용한 로봇이 볼에 접근하는 그림이다. 볼의 움직임을 예측하여 로봇을 제어하므로 로봇의 경로 설정 및 볼의 위치 추정에 신속함을 알 수 있다.

#### 4. 모의실험

모의 실험에 사용한 시스템은 Intel pentiumII (266) 컴퓨터와 삼성 CCD 카메라, Artista 오버레이 카드를 사용하였다. 실험은 실제 경기 진행 중에 적용하지 않고 off-line 상태에서 한 대의 로봇과 불에 옴티컬 플로우 방법을 적용하였으며 이미지 처리 시간을 고려하여 모든 프레임동안 옴티컬 플로우를 계산하지 않고 5프레임에 한번 옴티컬 플로우를 계산하였다. 실제 영상에서 빛의 중앙 부분을 밝게 하여 로봇과 불이 밝기가 변화하는 부분을 경유하게 하여 밝기에 대한 변화를 실험하였다. 옴티컬 플로우를 사용한 방법은 시간적 측면에서 보았을 경우 로봇이 불에 접근하는 속도가 기존의 방법 보다 신속하였으며 로봇의 이동 경로 설정에서도 정확한 경로를 설정함을 알 수 있었다.

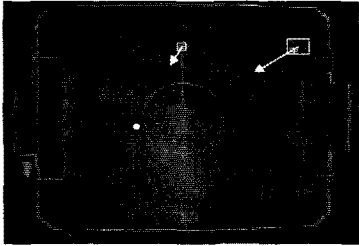


그림 5 획득한 영상

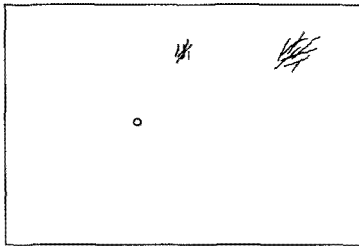


그림 6 옴티컬 플로우 영상

그림 5는 CCD 카메라로부터 그레이 레벨로 획득한 그림이며 불과 로봇의 움직임은 화살표 방향이고 흰색의 점은 추정되는 불의 위치이다. 그림 6에서 옴티컬 플로우 방법을 적용한 그림으로 불과 로봇의 움직임을 벡터적 표현으로 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 불의 위치 및 로봇의 경로 설정에 옴티컬 플로우 방법을 적용한 결과 기존의 방법보다 신속하게 로봇이 불에 접근하며 불의 추적에 있어서도 정확한 결과를 나타냄을 알 수 있었다. 칼라의 변화에 대한 적응성을 실험하기 위하여 불과 로봇의 칼라가 변할 수 있는 경기장에 불과 로봇을 위치 시키고 실험하였다. 실험 결과 불과 로봇의 위치 설정에 있어서 칼라 변화에도 불구하고 옴티컬 플로우를 적용한 방법은 정확하게 불과 로봇의 위치를 추정하였으며 그림 8에서 보는 바와 같이 불과 로봇의 움직임 벡터를 잘 검출하였으며 로봇이 불에 신속하게 접근함을 알 수 있었다.

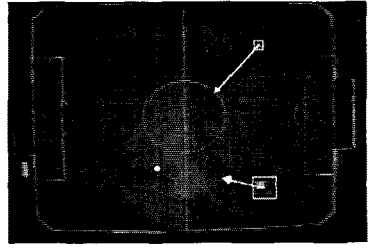


그림 7 획득한 영상

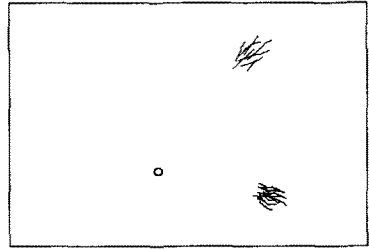


그림 8 옴티컬 플로우 영상

#### 5. 결 론

본 논문에서는 불의 위치 추정에 있어 옴티컬 플로우 방법을 사용하여 이동하는 불의 위치를 예측하는 방법을 제시하였으며 로봇축구 경기장에서는 전체 영상에 대한 그레이 레벨값의 변화가 45% 미만이기 때문에 다 제약선 방법을 적용하였다. 실험에서 알 수 있듯이 로봇의 이동경로가 짧고 불에 접근하는 로봇의 속도도 향상되었으며 칼라영상 기반에서의 문제점인 빛의 변화에 대해서도 불과 로봇의 위치추정 및 경로 설정에 영향을 받지 않는 방법임을 실험을 통하여 입증하였다. 불의 위치를 추정하여 로봇의 경로를 결정하는 부분을 실제 경기에서 아닌 off-line 상태에서 실험하였으며 실제 경기에 적용하기 위해서는 계속되는 옴티컬 플로우 데이터를 처리해야 하기 때문에 고가의 DSP 보드 등 여러 가지 하드웨어적인 기기가 필요하기 때문에 실제 경기에 적용하기가 어려웠으며 추후 연구에서는 실시간적으로 처리할 수 있는 시스템을 구축하여 실제 경기에서 적용 가능한 방법에 대한 연구가 계속되어야 할 것이다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] K. Barnard, G. Finlayson, and B. Fu, "Color Constancy for Scenes with Varying Illumination", *Computer Vision and Image Understanding*, Vol.65, NO.2, February, pp311-321, 1997
- [2] Horn B. K. P. and Schunck B. G. "Determining Optical Flow", *Artificial Intell.*, 17, 185-203, 1981
- [3] Ramesh Jain, Rangachar Kasturi, Brian G. Schunck, "Machine Vision", McGraw-Hill, Inc, 1995
- [4] Nesi P. Bimbo A. D. and Ben-Tzvi, "A Robust Algorithm for Optical Flow Estimation", *Computer Vision and Image Understanding*, 62, 59-68, 1995