

PTZ 카메라 기반의 실시간 객체 추적 시스템 구현

이상구*, 황선기**

요약

본 논문에서는 PTZ(Pan-Tilt-Zoom) 카메라를 이용하여 실시간으로 감시 대상 영역을 모니터링하며 객체의 실시간 추적이 가능한 시스템을 구현한다. 객체 추적은 검출된 객체의 컬러 분포에 기반한 Mean shift 추적 알고리즘을 바탕으로 커널 함수를 일부 변형하여 사용하였다. Mean Shift 추적 알고리즘은 빠르고 안정적인 성능으로 실시간 추적에 적합하다. PTZ 프로토콜과 RS-485 통신을 이용하여 카메라를 제어하는 방법으로 MatLab을 사용하여 화면상의 객체의 위치를 화면 가운데에 위치하게 함으로써 실시간 추적을 하게 된다. 제안된 방법은 PTZ카메라를 이용하여 빠른 추적이 가능하며 실시간 처리가 가능하며 넓은 감시 지역에서의 지속적인 객체 추적이 가능하여 효율적인 영상 감시 시스템에서 이용될 수 있을 것이다.

Implementation of a Real-Time Object Tracking System for PTZ Cameras

Sang-Gu Lee*, Seon-Ki Hwang**

ABSTRACT

In this paper, we implement a real-time surveillance monitoring and object tracking system using PTZ(Pan-Tilt-Zoom) camera. For object tracking, we use the mean shift tracking algorithm and a modified kernel function based on color image distribution of detected object. Mean shift algorithm is suitable for real-time tracking because of fast and stable performance. In the proposed system, MatLab is used for accessing the PTZ protocol and RS-485 communication for controlling the position of PTZ camera in order to arrange the object in the middle part of the monitor screen in the real-time. This system can be used in an effective and fast image surveillance system for continuous object tracking in a wider area.

Key Words : PTZ Camera, Mean shift algorithm, Object tracking, Kernel function

* 한남대학교 컴퓨터공학과(✉sglee@hnu.kr)

** 한남대학교 컴퓨터공학과

· 제1저자(First Author) : 이상구 · 교신저자(Correspondent Author) : 이상구

· 접수일(2011년 1월 15일), 수정일(1차 : 2011년 2월 15일), 게재확정일(2011년 2월 18일)

1. 서론

영상 객체를 검출하고 추적하는 기술은 수년간 연구되어 온 분야임에도 불구하고 정확하고 안정적이며 높은 성능을 기대하는 것은 여전히 어려운 문제이다. 추적 기술은 객체와 주변 환경을 어떻게 정의 하는냐에 따라 그 문제가 크게 달라진다. 추적하고자 하는 대상의 형태나 고유의 색, 그리고 특징들을 얼마나 지속하고 있는가에 따라 달라질 수 있고 객체의 이동이나 변화에 따라 달라질 수 있다. 그리고 대부분추적이 되는 객체의 대상은 움직임을 가지고 있기 때문에 주변 환경의 영향을 받게 된다. 즉, 카메라의 이동, 객체의 가려짐, 조명 및 주변 환경의 변화 등에 매우 민감하다.

본 논문에서는 PTZ 카메라 환경에서 객체를 검출하고 추적하는 방법을 MatLab으로 구현한다. 영상 감시 시스템의 목적은 감시 대상을 정확하게 인식하는 것이고, 또한 주변 환경의 변화에 영향을 받지 않고 위치를 파악하고 추적하는 기술을 개발하는 것이다. 이에 본 논문에서는 커널 함수를 일부 변형한 mean shift 추적 알고리즘을 적용하여 실시간으로 객체를 검출하고 추적하는 방법을 제안한다. 제안 시스템은 PTZ 프로토콜과 RS-485 통신을 이용하여 카메라를 이용하여 카메라를 제어하는 방법으로 화면상의 객체의 위치를 화면 가운데에 위치하게 함으로써 실시간 추적을 하게 한다. 이 시스템은 객체의 이동, 회전 등에 강인한 장점이 있어 효율적인 영상 감시 시스템에 적용될 것으로 기대된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 객체 추적 방법에 대하여 알아본다. 3장에서는 실험 결과 및 분석에 대해 알아보며, 4장에서는 결론을 다룬다.

II. 객체 추적 방법

일반적인 객체 추적 방법에는 객체의 특징값 선택

에 따라 컬러 기반, 움직임 기반, 모델 기반 등으로 추적 방법을 나눌 수 있다. 제안하는 시스템에서는 객체의 컬러 분포를 특징으로 하여 객체의 컬러 분포를 히스토그램으로 나타내고 이를 Mean shift 알고리즘으로 반복적으로 적용하여 다음 프레임의 확률 분포상 객체와 가장 유사한 후보 영역을 찾아내는 방법을 사용한다.

2.1 Mean Shift 알고리즘

Mean shift 알고리즘은 샘플 점들의 분포에서 주요한 모드(최빈값)를 찾기 위한 비모수적(non-parametric) 확률밀도함수(probability density function pdf)의 모드를 찾는 방법이다. 여기서 확률밀도함수는 컬러공간에서의 이미지 픽셀들의 컬러분포를 의미한다. 주어진 픽셀주변(공간)에서 컬러 값들 중에서 현재의 픽셀과 유사한 컬러분포를 갖는 픽셀들의 평균위치와 컬러공간에서의 평균값을 계산하고, 이 점으로 이동하여서 다시 같은 작업을 반복하여 시행하면 관심영역의 크기(커널 위도우의 크기, bandwidth)내에 극대값이 존재하는 경우에 그 점을 수렴하게 된다.

찾고자 하는 객체의 pdf 모델을 q 로 정의하고 다음 프레임에서 찾고자 하는 후보 객체의 pdf 모델을 p 라고 하면 수식(1)과 같이 정의할 수 있다.

$$\hat{p}(y) = \hat{p}_u(y)_{u=1 \dots m} \quad \sum_{u=1}^m \hat{p}_u = 1 \quad (1)$$

$\hat{p}(y)$ 는 다음 프레임의 위치 y 에서의 후보 pdf모형을 나타낸다. 객체 모델 q 와 후보 모델 p 간의 유사도를 측정하기 위하여 유사도를 측정함수를 수식 (2)와 같이 ρ 로 정의 한다. 유사도 측정함수 ρ 는 Bhattacharyya Coefficient를 사용한다. 다음 프레임에서 객체 모델과 가장 유사한 후보 모델을 찾는 것이 목

적이므로 ρ 값을 최대로 갖는 위치 y 를 찾아야 한다.

$$\hat{\rho}(y) \equiv \rho[\hat{p}(y), \hat{q}] = \sum_{u=1}^m \sqrt{\hat{p}(y)\hat{q}_u} \quad (2)$$

두 모델 간 유사도 측정 함수 ρ 는 객체 모델과 후보 모델간의 거리(distance)를 정의한다. 이는 수식(3)과 같이 나타낼 수 있으며, ρ 값을 최대화 하는 것은 $d(y)$ 값을 최소화 하는 문제로 나타낼 수 있다.

$$d(y) = \sqrt{1 - \rho[\hat{p}(y), \hat{q}]} \quad (3)$$

유사도 측정 함수 ρ 는 Bhattacharyya coefficient를 사용하고 계산의 복잡도를 줄이기 위하여 수식(4)와 같이 Taylor expansion을 수행한다.

$$\rho[\hat{p}(y), \hat{q}] \approx \frac{1}{2} \sum_{u=1}^m \sqrt{\hat{p}_u(y)\hat{q}_u} + \frac{c_h}{2} \sum_{i=1}^{n_h} w_i k\left(\left\|\frac{y-x_i}{h}\right\|^2\right) \quad (4)$$

수식(4)에 y 와 연관된 항은 두 번째 항이고 이 항의 값이 최대가 되는 위치 y 가 객체 모델과 유사도가 최대로 되는 후보 모델의 위치가 된다.

이는 두 모델 사이의 거리 d 를 최소화하는 위치이기도 하다. 두 번째 항에 각 단계마다 반복적으로 지역 최대값을 찾아가는 Mean shift 알고리즘을 적용하면 현재의 사람 위치 y_0 에서 새로운 위치 y_1 으로의 이동을 수식(5)와 같이 정의할 수 있다.

여기서 커널 $g(x) = -k'(x)$ 이다. 기울기 벡터는 $y_1 - y_0$ 가 되고 $|y_1 - y_0|$ 이 ε 보다 작을 때까지 반복하여 객체를 추적한다.

$$\hat{y}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i w_i g\left(\left\|\frac{\hat{y}_0 - x_i}{h}\right\|^2\right)}{\sum_{i=1}^n w_i g\left(\left\|\frac{\hat{y}_0 - x_i}{h}\right\|^2\right)} \quad (5)$$

커널 k 는 연속적이고 단순 감소함수 형태인 Epanechnikov 커널을 사용한다. 이는 수식(6)과 같이 정의된다.

$$k(x) = \begin{cases} \frac{1}{2} c_c^{-1} (d+2)(1-x) & \text{if } \|x\| \leq 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

$g(x) = -k'(x)$ 이므로 수식(7)과 같이 나타낼 수 있고 $g(x)$ 는 Uniform 커널이 된다.

$$g(x) = -k'(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } \|x\| \leq 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

이를 수식(5)에 적용하면 수식(8)과 같이 간단한 가중 평균 형태로 나타낼 수 있다.

$$\hat{y}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (8)$$

정리하면 추적하고자 하는 객체 모델 q 와 다음 프레임에서 후보 모델 p 간의 유사도가 가장 큰 위치 y 를 찾는 것이 목적이고 이를 반복적으로 지역 최대값을 찾아가는 Mean shift 벡터를 사용하여 찾는다.

2.2 커널 함수

Parzen 윈도우를 사용한 커널 함수의 대표적인 것

은 다음과 같다.

- normal 함수

$$K_N(x) = (2\pi)^{-\frac{d}{2}} e^{-\frac{1}{2} \|x\|^2}$$

- Epanechnikov 함수

$$k(x) = \begin{cases} \frac{1}{2} c_c^{-1} (d+2)(1-x) & \text{if } \|x\| \leq 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

- 제안하는 함수

$$K_p(x) = e\left(-\frac{\|x\|}{\sigma}\right)$$

제안하는 커널 함수는 지수 형태로 되어 있고 좌우 대칭 형태이며 normal 함수 및 Epanechnikov 함수 보다 덜 민감하지만 객체 추적하는데 걸리는 시간은 감소 될 수 있고 radial한 Kernel의 특성을 유지하고 있다.

2.3 PTZ 카메라의 제어

실제 PTZ카메라의 제어는 PC의 메인 프로그램에서 이루어진다. 추출한 이동 객체가 이동하였을 경우 프로그램 상에서 이를 판단하고 카메라의 모터를 움직이기 위하여 명령 패킷을 RS-485 통신을 통하여 카메라에게 전송한다. 카메라의 모터가 움직여서 객체를 화면상의 가운데에 위치하게 함으로써 객체의 추적 가능하게 된다.

다음의 표 1은 PTZ 카메라의 모터를 제어하기 위한 전송 패킷 포맷과 프로토콜 예시이다.

표 1. 명령 패킷 포맷
Table 2. command packet format

| Byte1 | Byte2 | Byte3 | Byte4 | Byte5 | Byte6 |
|-------|--------|---------|--------|----------|-------|
| STX | Cam ID | Host ID | Cmd1 | Cmd2 | Data1 |
| Byte7 | Byte8 | Byte9 | Byte10 | Byte11 | |
| Data2 | Data3 | Data4 | ETX | Checksum | |

즉, 카메라에게 위의 표 2와 같은 명령을 하였을 경우 오른쪽으로 팬이 34의 속도로 이동하게 된다.

표 2. 프로토콜 샘플
Table 2. protocol sample

| 명령 | 프로토콜 | 비고 |
|-----------|----------------------------------|-------|
| Pan Right | A0 01 00 00 02 22 00 00 00 AF DA | 속도 34 |

2.4 영상 감시 시스템의 구성

제안된 시스템의 구성은 1대의 PTZ 카메라를 통하여 영상을 받아 PC의 프로그램 상에서 객체를 추출하고 이동을 감지하여 카메라에게 명령 패킷을 보내어 화면상에 객체가 가운데 위치하게끔 카메라의 모터를 움직이게 한다. 아래 그림1은 전체 시스템의 하드웨어 구조도를 나타낸다.

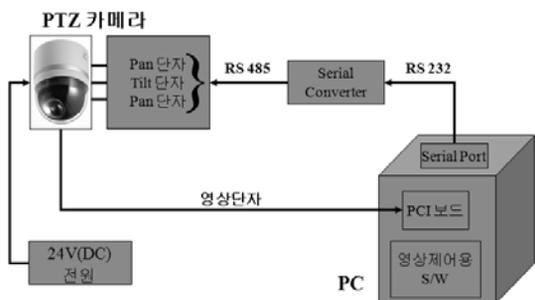


그림 1. 시스템의 하드웨어 구조도
Fig 1. h/w structure in system

PC프로그램 상에서 명령은 RS-232 통신을 RS-485 통신으로 Serial Converter를 이용해 변환하여 전송한다.

제안된 시스템은 배경을 정확히 모델링하여 배경 차분 방법으로 얻은 이미지에 모폴로지 연산과 라벨링을 수행함으로써 객체의 형태를 보완할 수 있다. 객체의 영역을 나타내 주는 이진 영상을 현재 영상의 화소 값에 AND연산을 하게 되어 객체를 추출하게 되고 mean shift 알고리즘을 이용하여 객체를 추적한다. 아래 그림 2는 전체 시스템의 개요도를 나타낸다.

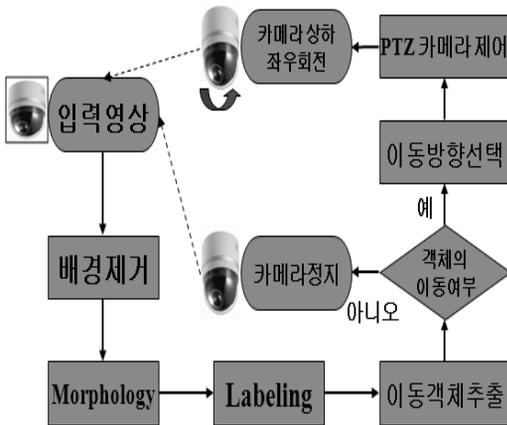


그림 2. 전체 시스템 개요도
Fig 2. flowchart of the entire system

객체가 이동을 하게 되면 메인 프로그램에 의해 PTZ 카메라의 모터를 제어하게 되어 객체의 이동에 따라 카메라가 움직이게 된다.

III. 실험 결과 및 분석

실험 방법은 다양한 실내 환경에서 삼성테크윈사의 SPD-1000 PTZ 돔 카메라를 사용하였다.



그림 3. 실험에 사용된 SPD-1000 PTZ 카메라
Fig 3. SPD-1000 PTZ Camera in experimentation

영상의 한 프레임의 크기는 320 × 240인 동영상 데이터틀 사용하였다.

제안 시스템의 PC 개발 환경은 아래 표 3과 같다.

표 3. PC 개발 환경
Table 3. Development Environment in PC

| 개발 환경 | |
|-------|--|
| H/W | CPU : Pentium(R) D CPU 3.00GHz Memory : 2.00 GB |
| OS | Microsoft Windows XP Professional SP3 |
| 실험도구 | Microsoft Visual Studio 2005, MatLab |

아래 그림은 PTZ 카메라의 모터를 제어하기 위해 패킷을 전송하기 위한 PTZ 제어 프로그램이다.

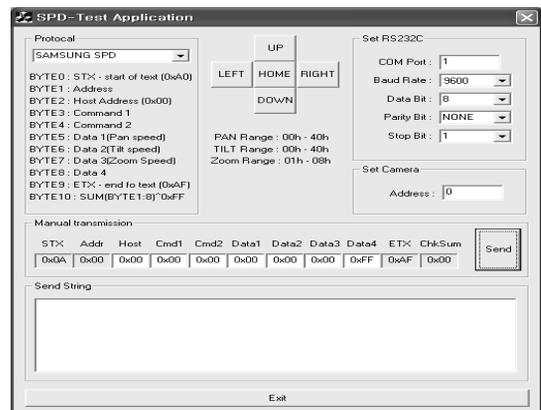


그림 4. PTZ 제어 프로그램
Fig 4. PTZ control program

실험 데이터 촬영은 PTZ 카메라 환경에서 여러 실험 객체 대상을 바꾸어 실험 하였다. 아래 그림 5는 PTZ 카메라 상에서의 객체 추적 실험 영상이다.

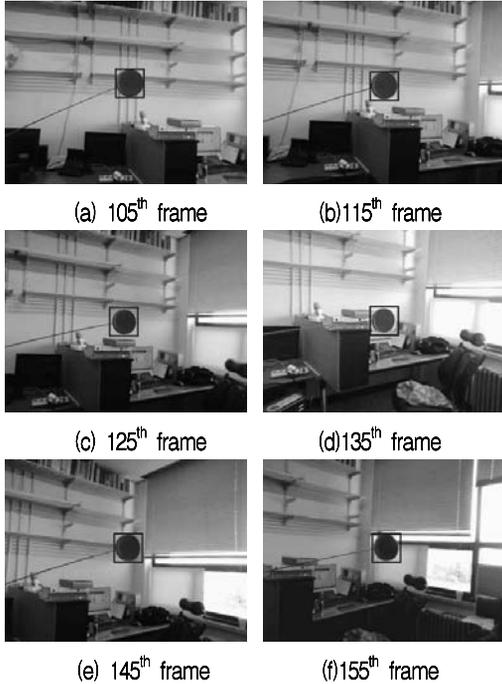


그림 5. 객체 추적 실험 영상
Fig 5. Object Tracking Test Image

위의 객체 추적 실험을 보면 객체의 움직임에 따라 카메라가 따라서 움직이는 것을 확인할 수 있다.

III. 실험 결과 및 분석

본 논문에서는 감시 영역 내의 객체 움직임을 검출하고 추적하기 위하여 PTZ 카메라 상에서의 실시간으로 동작하는 영상 감시 시스템을 설계하고, 객체를 추적하기 위하여 Mean shift 알고리즘을 이용해 객체를 추적하여 객체 이동 경로 표시를 구현하였다. Mean shift 추적 알고리즘은 빠르고 안정적인 성능으로 실시

간 추적에 적합하며, 객체의 이동이나 회전 등에도 강건하게 추적을 할 수 있었다. 향후 연구로는 배경 설정 등의 개선을 통한 주변 환경에 강인한 커널 함수의 선택 및 이에 따른 추적 기법을 연구할 필요성이 있다.

참고문헌

- [1] D. Comaniciu, and P. Meer "Mean Shift : A Robust Approach Toward Feature Space Analysis", IEEE. Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.24, No.5, 603-619, 2002.
- [2] F. Liu, Q. Liu, and H. Lu, "Robust Color-based Tracking", International Conference on Image and Graphics, 2004
- [3] I. Haritaoglu D. Harwood, L. S Davis, "W4: Real-Time Surveillance of People and Their Activities" , IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.22, No.8, 809-830, August 2000.
- [4] 정철준 외 4명, "Davinci DSP를 이용한 자동추적 카메라 시스템 구현", 제22회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵, 제주 그랜드호텔, 2010. 2.

감사의 글

본 논문은 2010년도 한남대학교 교비연구비 지원에 의해 수행되었음.

저자소개



이상구 (Sang-Gu Lee)

서울대학교 공과대학 전자공학과 졸업
한국과학기술원 전산학과 졸업(석사)
와세다대학 전기전자컴퓨터공학과 졸업
(박사)

1983년~현재 한남대학교 컴퓨터공학과 교수

※ 관심분야: 영상처리, 임베디드 시스템, 패턴인식



황선기 (Seon-Ki Hwang)

2009년 2월 한남대학교 컴퓨터공학과 학사

2011년 2월 한남대학교 컴퓨터공학과 석사졸업예정

※ 관심분야: 영상처리, 임베디드 시스템