

비모수적 차영상과 칼만 필터를 이용한 실시간 객체 추적 알고리즘의 구현

정희원 김 영 주 · 김 광 백**

Implementation of Real-time Object Tracking Algorithm based on Non-parametric Difference Picture and Kalman Filter

Young-Ju Kim* · Kwang-Baek Kim**

요 약

본 논문은 연속적인 영상에 대해 비모수적 영상 처리 기법과 칼만 필터 기반의 동적 AR(2) 프로세스 기법을 적용하여 객체의 움직임을 적응적으로 추적하는 실시간 객체 추적 알고리즘을 구현하였다. 다양한 환경 조건에서 입력되는 영상에 대해 비모수적 영상 처리 기법을 이용하여 처리함으로써 효과적으로 움직인 객체를 추출하였으며, 객체의 움직임을 동적 AR(2) 프로세스 모형으로 모델링하고 동적으로 변하는 AR(2) 프로세스의 파라미터를 칼만 필터를 통해 추정함으로써 객체의 다변적인 움직임을 적응적으로 예측하여 추적할 수 있었다. 구현된 객체 추적 시스템을 실험한 결과, 기존의 선형 칼만 필터 기법을 이용한 추적 기법과 비교하여 추정 오차가 약 1/2.5~1/50 만큼 더 적게 나와 객체의 움직임을 더 근사적으로 추적함을 알 수 있었다.

Key Words : Object Tracking, Non-parametric Thresholding, Dynamic AR(2) Process, Kalman Filter

ABSTRACT

This paper implemented the real-time object tracking algorithm that extracts and tracks the moving object adaptively to input frame sequence by using non-parametric image processing method and Kalman filter-based dynamic AR(2) process method. By applying non-parametric image processing to input frames, the moving object was extracted from the background adaptively to diverse environmental conditions. And the movement of object was able to be adaptively estimated and tracked by modeling the various movement of object as dynamic AR(2) process and estimating based on the Kalman filter the parameters of AR(2) process dynamically changing along time. The experiments of the implemented object tracking system showed that the proposed method tracked the moving object as more approximately as the estimation error became about 1/2.5~1/50 of one of the traditional tracking method based on linear Kalman filter.

I. 서 론

실시간 객체 검출 및 추적 기법(Real-time Object Detection and Tracking)은 카메라나 레이더 또는 다른 감지 센서로부터 전송되는 입력 신호를 이용하여 움직인 객체의 현재 위치를 파악하고 객체의

이동 방향 및 속도 등과 같은 이동 정보를 추정하는 방법이다. 최근의 객체 추적 기법은 다양한 응용을 위해서 활발히 연구가 진행 중이며, 특히 자동 카메라 제어, 항공기의 자동 유도, 교통량 통제, 로봇 비전 그리고 동영상 압축 기법 등에 광범위하게 응용될 수 있다^{[1][7][15]}.

본 논문은 원격 CCTV 감시 카메라에서 입력되는

* 신라대학교 컴퓨터공학과 멀티미디어통신연구실(yjkim@silla.ac.kr), ** 퍼지신경망 및 의료영상처리연구실(gbkim@silla.ac.kr)
논문번호 : 030204-0513, 접수일자 : 2003년 5월 14일

연속적인 영상으로부터 움직이는 객체를 검출하고 움직임 정보를 추정하여 객체를 추적할 수 있도록 CCTV 감시 카메라 장치의 동작을 제어하는 연속적인 영상 기반의 실시간 객체 추적 알고리즘을 설계하고 구현하였다.

본 논문은 연속적인 영상 기반의 실시간 객체 추적 알고리즘을 제시한 기존 연구들^{[2][7][12]}과는 달리 다음과 같은 요구 조건을 가정하였다.

첫째, 객체 추적 알고리즘은 외부 환경에서 동작한다. 외부 환경에서는 움직이는 객체의 모양이나 움직임 형태가 일정하지 않을 뿐만 아니라 밝기 등 주변 환경 변화가 자주 발생하는 조건을 갖는다.

둘째, 실시간으로 움직임 객체를 검출하여 추적한다. 움직임 객체가 나타났을 경우에 실시간으로 객체를 검출하고 움직임 정보를 추정하여 CCTV 감시 카메라의 팬틸딩 동작을 제어하도록 한다.

셋째, 경량의 컴퓨터 시스템에 기반하여 동작한다. 로봇 비전^{[2][7]} 등과 같이 고성능의 전용 하드웨어를 사용하지 않고 경량의 컴퓨터 시스템에서 소프트웨어 방식으로 구현하여 동작하도록 한다.

본 논문은 상기의 요구 조건을 만족할 수 있도록 두 가지 접근법을 제안하였는데, 첫째, 연속적인 영상에 비모수적인 영상 처리 기법을 적용하여 다양한 환경 조건에서 적응적으로 움직임 객체를 검출하였으며, 둘째, 특징점 정합과 칼만 필터 기반의 동적 AR(2) 프로세스 모형을 이용하여 객체의 다변적인 움직임 정보를 추정하였다. 그리고 제안된 알고리즘을 바탕으로 자동 객체 추적 시스템을 구현하고, 실험을 통하여 성능을 평가하였다.

본 논문의 구성은 2장에서 관련 연구에 대해 살펴보고, 3장에서 제안된 객체 추적 알고리즘을 바탕으로 구현된 실시간 객체 추적 시스템을 설명하였다. 그리고 4장에서 실험을 통해 성능을 평가한 다음 5장에서 결론으로 마무리하였다.

II. 관련 연구

1. 움직임 객체 검출 기법

연속적인 영상에서 움직임 객체를 검출하기 위해서는 다양한 영상 처리 기법이 적용되는데, 대표적으로 광류 검출 기법과 차영상을 이용한 기법을 예로 들 수 있다.

광류(Optical Flow) 검출 기법은 영상 내의 특징적인 광류 벡터의 집합을 구하여 움직임 객체를 검

출하는 방법으로서, Bert^[3]가 제안한 동적 움직임 분석 기법(Dynamic Motion Analysis)은 영상 전체에 대한 광류를 구한 다음에 움직임 객체라고 추정되는 광류 벡터의 집합을 선별하고 세부적인 움직임을 분석하여 객체를 검출하나 많은 계산 시간을 요구한다.

차영상(Difference Picture)을 이용한 기법^{[1][6]}은 객체의 밝기 시변값에 대해 적절한 임계값(threshold)을 적용하여 움직임 영역과 배경 영역으로 구분함으로써 객체를 검출한다. 차영상 정보는 가장 기본적이면서 중요한 움직임 정보일 뿐만 아니라 실시간 구현이 가능하다는 점에서 본 논문에서 제안하는 추적 알고리즘에 적합하다고 할 수 있다. 그러나 차영상 기법은 잡음에 민감할 뿐만 아니라 임계값 설정에 따라 성능이 크게 차이가 나는 문제점이 있다.

2. 움직임 추정 기법

움직임 추정 기법은 객체의 특징 정보를 검출하고 추적하는 방법에 따라 블록 정합 기법, 윤곽선 정합 기법 그리고 특징점 정합 기법 등으로 나눌 수 있다^{[13][15]}. 본 논문에서는 실시간 처리 요건을 고려하여 움직임 추정 기법들 중에서 특징점 정합 기법을 적용하므로 특징점 추출 기법 및 이를 이용한 움직임 추정 기법들에 대하여 알아본다.

영상의 특징점(Feature Point)은 최소한 두 방향 이상으로 밝기 변화가 발생하는 점으로 코너점(Corner Point)이라고도 하며, 영상 내에서 관심의 대상이 되는 객체와 배경을 명확하게 구별해주는 역할을 한다. 대표적인 특징점 추출 기법으로는 Plessey 특징점 추출 기법^[5]과 SUSAN(Smallest Univalued Segment Assimilating Nucleus) 특징점 추출 기법^[11] 등이 있다. 본 논문에서는 구현의 실시간성을 고려하여 SUSAN 특징점 추출 기법을 사용한다. 현재 SUSAN 특징점의 경우 Plessey 특징점과 비교하여 성능이 떨어지는 측면이 있으나, 입력 영상이 외부 환경에 대한 영상임을 고려하면 성능 차이가 크지 않을 뿐만 아니라 특징점 추출을 위한 계산 오버헤드가 적다.

특징점 기반 움직임 추정 기법은 이웃하는 프레임 내의 특징점 간에 정합을 수행하고 정합된 특징점 집합에서 객체의 움직임을 나타내는 특징점을 선별하여 클러스터링함으로써 객체의 움직임 영역을 찾는다. 그리고 이를 바탕으로 일련의 객체 움직임 정보를 산출하여 다음의 객체 위치를 추정하게 된

다. 기존의 특징점 기반 움직임 추정 기법으로는 고정점 정합 기법을 적용한 Reid^[7] 기법, 객체의 외형 정보 정합을 이용한 Smith^[12] 기법, 그리고 정합된 특징점의 통계적 특성에 기반한 투영 기법을 적용한 Torr^[14] 기법 등이 있다.

본 논문에서 제안하는 움직임 추정 기법은 Reid^[7] 기법에 기반하는데, Reid는 검출된 객체의 움직임 영역에 대해 무게 중심점 대신에 연속적인 프레임의 어파인 변환 구조를 이용하여 정합된 특징점들을 바탕으로 객체의 고정점(Gaze Point)을 구하고 이 고정점을 기준으로 움직임 정보를 추정한다. 이러한 기법은 신뢰성이 높고 관측점 변화에 따른 변동성이 적을 뿐만 아니라 장애물 교합(occlusion) 등의 문제를 쉽게 해결한다.

그러나 Reid 기법에서는 객체의 움직임 속도가 일정하다고 가정하고 선형 칼만 필터^[4]를 사용하여 객체의 움직임을 예측하였는데, 객체의 움직임이 일정한 방향성을 가지지 않거나 속도가 일정하지 않은 경우에는 정확한 움직임 추정이 이루어지지 않는다. 따라서 본 논문에서는 객체의 움직임을 동적 AR(2) 프로세스^[6]로 모델링하고 칼만 필터를 적용하여 AR(2) 프로세스의 파라미터를 동적으로 산출함으로써 객체의 다변적인 움직임을 적응적으로 추정할 수 있도록 하였다.

III. 연속적인 영상 기반의 실시간 객체 알고리즘

1. 실시간 객체 추적 시스템

본 논문은 그림 1과 같은 실시간 객체 추적 시스템을 가정하며, 전체적인 시스템은 원격장치(Remote Device)와 제어장치(Control Unit)로 구성된다.

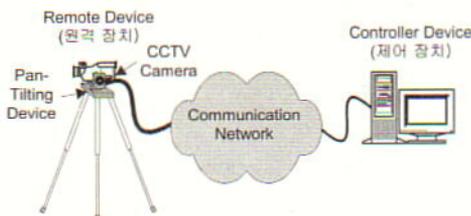


그림 1. 실시간 객체 추적 시스템의 구성

원격장치(Remote Device)는 감시 영상을 입력하는 원격 감시 카메라와 카메라의 감시 방향을 제어하는 팬틸팅 구동장치(Pan-Tilting Device)로 구성되며, 제어장치(Control Unit)는 사용자의 제어 입력을 제어 명령으로 바꾸어 원격장치에 전송하거나 입력

된 연속적인 영상에 대해 객체 검출 및 추적 알고리즘을 실행하여 객체의 움직임에 맞추어 자동적으로 원격장치를 제어하는 기능을 수행한다.

2. 객체 추적 알고리즘의 구성

본 논문에서 제안하는 객체 추적 알고리즘은 그림 2와 같이 크게 프레임 선처리 부분, 움직임 검출 부분, 그리고 움직임 추적 부분으로 구성되며, 이 세 부분을 구성하는 각 모듈들이 비동기적으로 실행되면서 움직임 객체를 검출하여 추적한다.

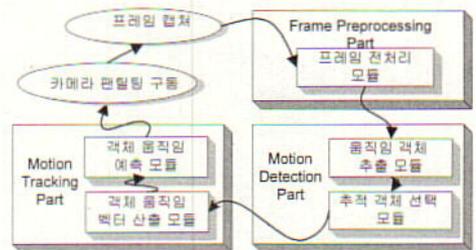


그림 2. 객체 추적 알고리즘의 구성

3. 객체 추적 알고리즘의 동작 방식

제안된 객체 추적 알고리즘의 동작 방식은 그림 3과 같이 프레임 선처리, 움직임 검출 및 목표물 선택, 움직임 예측 및 객체 추적 과정을 반복적으로 수행한다.

4. 움직임 영역 검출 알고리즘

프레임 선처리 과정에서는 연속적인 두 개의 프레임에 대해 Sobel 윤곽선 추출 알고리즘^[8]과 차영상 알고리즘^[5]을 적용한 다음, 그 결과에 대해 이미지 교차^[8] 및 투영 기법^[8]을 사용하여 움직임 영역을 검출한다. 구체적인 움직임 영역 검출 알고리즘은 그림 4와 같다.

이미지 윤곽선 추출 및 차영상 알고리즘은 두 개의 이미지사이에서 다른 부분을 찾아내는 가장 기본적인 방법으로 연속적인 영상에서 움직임 영역을 검색할 때에 쉽게 적용할 수 있는 주요한 알고리즘인 반면에 움직임이 적거나 잡음이 심한 환경에서는 움직임을 찾지 못하거나 잡음을 움직임 영역으로 추출하는 단점을 갖는다^{[11][8][16]}. 본 논문에서는 이러한 단점을 해결하기 위해 비모수적 임계화(non-parametric thresholding) 기법과 이미지 모폴로지(image morphology) 연산을 이용하여 잡음을 제거하고 미약한 움직임 신호에 대해 신호를 강조함으로써 잡음이 심한 환경이나 움직임이 적은 환경에서도 움직임을 추출할 수 있도록 하였다.

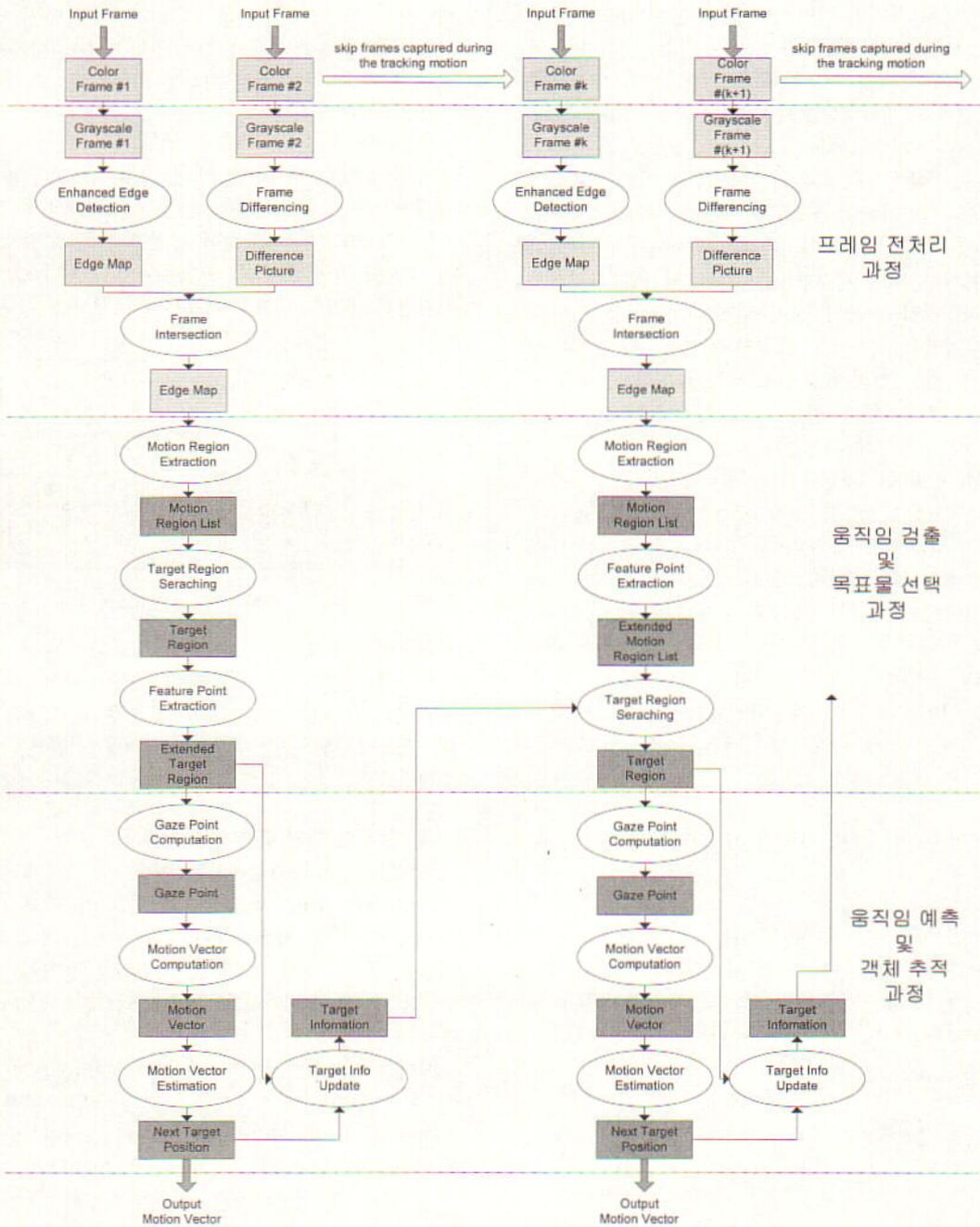


그림 3. 객체 추적 알고리즘의 동작 방식

윤곽선 추출이나 차영상 생성 등에 적용되는 임계화 과정의 임계값은 입력 영상의 조건에 따라 최소한의 오류를 가질 수 있도록 입력 영상에 대해 적응적으로 결정되어야 주변 환경 변화에 따른 성능 저하를 방지할 수 있다. 본 논문은 입력 영상에 적응적으로 임계값을 결정하는 방법으로 Rosin이

제안한 비모수적 기법^[9]을 적용하였다.

Rosin^[9]에 의하면 윤곽선 추출을 위한 Sobel 마스크를 이용한 최선 처리나 차영상 등의 전처리를 거친 결과는 평균이 0인 정규 분포를 가지며, 따라서 식(1)과 같은 확률 분포를 갖는다.

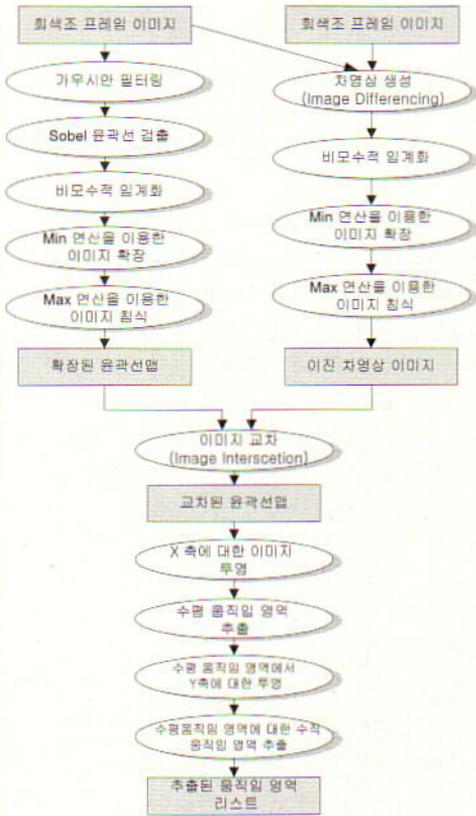


그림 4. 움직일 영역 검출 알고리즘

$$P(|d(x, y)|) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \delta} \exp\left\{-\frac{d(x, y)^2}{2 \delta^2}\right\} \quad (1)$$

여기서, $d(x, y)$ 는 화소 (x, y) 에서의 전처리 결과값이다.

전처리 결과값의 분포가 $N(0, \delta)$ 을 따르고 상위 α %의 값이 존재하는 영역을 관심의 대상으로 간주하면 식(2)에 의해 임계값 t_α 을 결정할 수 있다.

$$\alpha = P(|d(x, y)| > t_\alpha) \quad (2)$$

식(2)을 계산하려면 결과값의 분산(δ^2)이 주어져야 하며, 이를 위해 전처리 결과값에 대한 분산값을 계산하거나 식(3)을 적용하여 표준편차 값을 결정할 수도 있다.

$$\delta = \frac{LMedS}{0.33724} \quad \text{또는} \quad \delta = \frac{median}{0.67449} \quad (3)$$

여기서, $LMedS$ 는 Least Median of Squares 값을 의미한다.

5. 움직일 객체 검출 알고리즘

움직일 검출 및 객체 선택 과정에서는 프레임 선처리 과정에서 생성된 다수의 움직일 영역에 대해

SUSAN 특징점^[11]을 추출하고 추적하는 객체의 이전 특징점과 블록 정합(Block Matching) 기반의 특징점 정합을 수행하여 추적하는 객체를 선택한다.

객체 추적 알고리즘에서 움직임 객체 검출 과정이 계산 부하를 가장 크게 요구하는 단계이므로 경량의 컴퓨터 시스템에서 실시간으로 수행하기 위해서는 다른 기법에 비해 계산 부하가 비교적 적은 특징점 정합 기법이 적합하며, SUSAN 특징점이 Plessey 특징점보다 추출 과정이 간단하여 계산 부하가 적다. 그러나 SUSAN 특징점은 Plessey 특징점과 비교하여 안정적이지 못한 뿐만 아니라 성능이 다소 떨어지는데, 객체 추적 알고리즘의 적용 환경이 주로 외부 환경임을 가정하고 전처리 과정에서 잡음이 제거된다면 성능 차이가 크게 발생하지 않는다.

추출된 SUSAN 특징점에 대한 정합 알고리즘은 블록 정합 기법을 활용한 상관계수(Cross-Correlation) 비교 알고리즘을 적용한다. 두 개의 특징점 사이의 유사도는 특징점을 중심으로 7x7 또는 11x11 마스크를 사용하여 블록 정합을 수행하면서 식(4)의 상관계수 값을 계산한다.

$$r(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (x_{ij} - M_x)(y_{ij} - M_y)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (x_{ij} - M_x)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (y_{ij} - M_y)^2}} \quad (4)$$

여기서, n 은 마스크의 가로(세로) 크기이고 M_x, M_y 는 각각 마스크 내의 화소의 밝기 평균값을 의미한다.

계산된 상관계수가 일정한 임계값 이상이면서 가장 큰 값을 가지는 특징점을 정합된 특징점으로 결정한다. 본 논문에서 적용한 블록 정합에 기반한 특징점 정합은 특징점의 특성값, 즉 밝기값 또는 코너도를 비교하여 정합하는 기법보다는 계산 부하가 다소 크지만 보다 정확한 정합 결과를 산출하므로 정합 결과를 이용하는 이후의 연산 과정에서의 오류 가능성을 최대한 줄일 수 있다.

6. 움직일 벡터 추정 알고리즘

본 논문은 객체의 움직일 벡터를 계산하거나 움직임을 예측하는 과정에서 객체의 무게 중심점 대신에 Reid^[7]가 제안한 객체의 고정점(Gaze Point)을 사용한다. Reid는 참고문헌 [7]에서 무게 중심점을 추적점으로 선택하였을 때에 객체의 움직일 방향이 일정하게 변하는 경우 객체 추적에 실패하는 결과를 제시하고, 객체의 다양한 변화와 장애물 교환

(Occlusion) 등을 효율적으로 해결하기 위해 어파인 구조에 기반한 고정점을 산출하여 추적하였다. 본 논문은 Reid가 제시한 방법을 바탕으로 움직임 객체의 정합된 특징점들을 이용하여 특징점간의 어파인 변환(Affine Transform) 행렬을 구하고 이를 이용하여 이전의 고정점을 어파인 변환시킴으로써 새로운 고정점을 산출하였다.

움직임 객체의 움직임 벡터를 추정하기 위해 Reid^[7], Banerjee^[2] 등의 연구에서는 객체가 일정한 속도를 가지고 움직인다고 가정하고 선형 칼만 필터를 이용하여 객체의 이동 속도를 추정하였다. 그러나 이러한 추정 기법은 다음과 같은 상황에서는 객체의 움직임을 정확하게 추정할 수 없다.

① 객체의 움직임 방향과 속도가 일정하지 않은 경우 - 객체의 움직임 방향 및 속도 변화가 빈번한 경우 그리고 카메라 관측선상에서 객체가 관측 방향으로 이동하는 경우 등에서는 객체의 이동 속도를 정확하게 예측할 수 없다. 이를 해결하기 위해서는 객체의 움직임 모형을 동적으로 변화시켜가면서 객체의 움직임을 예측하여야 한다.

② 프레임 간격이 일정하지 않거나 프레임 처리율이 낮은 경우 - 객체의 동작 주파수보다 낮게 샘플링이 이루어지는 경우로서 객체의 움직임을 충분히 반영할 수 있는 데이터를 얻을 수 없어 정확한 예측이 불가능해진다. 따라서 그 이전의 움직임 정보를 활용하여 객체의 움직임을 예측하여야 한다.

본 논문은 상기의 문제점을 해결하기 위해 객체의 움직임을 1차원의 선형 모형 대신에 2차원 동적 AR 프로세스(Second-Order Dynamic Autoregressive Process) 모형으로 모델링하였다. $\mu(n)$ 을 객체의 n 번째 움직임 거리라고 하면 식(5)과 같이 정의할 수 있다.

$$\mu(n) + a_1(n)\mu(n-1) + a_2(n)\mu(n-2) = e(n) \quad (5)$$

$$n=2,3,4,\dots$$

여기서, $a_1(n), a_2(n)$ 은 AR 파라미터로서 시간에 따라 동적으로 변하고, $\{e(n)\}$ 은 평균 0, 분산 δ^2 을 가지는 안정적인 잡음 프로세스(stationary noise process)이다.

AR 프로세스에 대한 해결책으로는 자기상관계수(Auto-correlation) 기반의 AR 파라미터 추정법, 선형 최소 평균자승 필터(Linear Minimum Mean Square Error Filter) 그리고 칼만 필터(Kalman Filter) 등이 있으며^{[4][6]}, 본 논문은 객체 추적 알고리즘의 동작 방식이 칼만 필터의 재귀적인 접근법과 유사하고, 칼만 필터의 경우 계산 부하가 적을 뿐만 아니라 안정 상태에 접근하는 속도가 빨라 칼만 필터를 동적 AR(2) 프로세스에 대한 해결책으로 적용한다. 그리고 칼만 필터를 이용한 동적 AR(2) 프로세스의 파라미터 계산 방법은 Haykin 방법^[6]을 응용하였다.

다음의 식(6)을 가정하고 식(5)의 동적 AR(2) 프로세스 모형을 칼만 필터 모형으로 변환하면 식(7)과 식(8)과 같이 정의할 수 있다.

$$u(n-1) = [\mu(n-1), \mu(n-2)]^T$$

$$u(n) = [\omega_1(n), \omega_2(n)]^T \quad (6)$$

$$\omega_1(n) = -a_1(n), \omega_2(n) = -a_2(n)$$

$w(n)$ 에 대해 random-walk model를 가정하면 동적 AR(2) 프로세스의 시스템 모형(System Equation)은 식(7)이 된다.

$$u(n+1) = u(n) + v(n) \quad (7)$$

여기서, $\{v(n)\}$ 은 안정적인 잡음 프로세스로서 0인 평균과 상관 행렬 $Q(n) = q I_{2 \times 2}$ 을 가진다.

식(6)을 이용하여 식(5)을 재정의하면 동적 AR(2) 프로세스의 측정 모형(Measurement Equation)인 식

표 1. 칼만 필터 모형과 동적 AR(2) 프로세스의 관계

Parameters	State Model of Linear Kalman Filter	Dynamic AR(2) Process
State Vector	$x(n)$	$[-a_1(n), -a_2(n)]^T$
State Transition Matrix	$\Phi(n+1, n)$	$I_{2 \times 2}$
Process Noise Vector	$v_1(n)$	$v(n)$
Covariance Matrix of Process Noise Vector	$Q_1(n)$	$q I_{2 \times 2}$
Measurement Vector	$y(n)$	$\mu(n)$
Measurement Matrix	$C(n)$	$[\mu(n-1), \mu(n-2)]^T$
Measurement Noise Vector	$v_2(n)$	$e(n)$
Covariance Matrix of Measurement Noise Vector	$Q_2(n)$	δ^2

(8)을 정의할 수 있다.

$$\mu(n) = u^T(n-1)w(n) + e(n) \quad (8)$$

그리고 잡음 프로세스인 $\{e(n)\}$ 와 $\{v(n)\}$ 은 통계적으로 서로 독립이 되도록 정의한다.

식(7)과 식(8)을 이용하여 정규 칼만 필터 모형과 동적 AR(2) 프로세스 모형 사이의 관계를 요약하면 표 1과 같으며, 칼만 필터 모형을 이용하여 동적 AR(2) 프로세스의 파라미터를 계산하는 알고리즘은 다음과 같다.

① 초기화

$$\tilde{w}(0) = 0_{2 \times 2}, \quad K(0) = c I_{2 \times 2}$$

② 계산과정

$$G(n) = K(n, n-1) \times u(n-1) \times [u^T(n-1)K(n, n-1)u(n-1) + \delta^2]^{-1}$$

$$a(n) = \mu(n) - u^T(n-1)\tilde{w}(n-1)$$

$$\tilde{w}(n) = \tilde{w}(n-1) + G(n)a(n)$$

$$K(n) = K(n, n-1) - G(n)u^T(n-1)K(n, n-1)$$

$$K(n+1, n) = K(n) + q I_{2 \times 2}$$

위의 알고리즘이 동작하기 위해서는 δ^2 와 q 에 대한 사전 정보를 요구된다. 이를 위해 오프라인으로 실험하여 설정할 수 있으며, 대체적으로 대단히 적은 값을 적용한다.

IV. 실험 및 성능 분석

1. 실험 환경

본 논문은 제안한 객체 검출 및 추적 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 표 2에서 제시된 실험 환경에서 Visual C++ Ver.6.00 개발 툴을 사용하여 실시간 객체 추적 시스템을 구현하고, 실제 환경과 시뮬레이션 데이터에 대한 실험을 통해 제안된 알고리즘의 객체 검출 성능 및 객체 추적 성능을 분석하였다. 표 2는 본 논문에서 구현한 실시간 객체 추적 시스템의 사양을 나타낸 표로서, 컴퓨터 시스템 사양, 카메라 및 프레임 캡처 장치 사양, 팬틸팅 구동 장치 사양 등을 나타낸 것이다.

2. 객체 검출 성능 분석

그림 5는 다양한 환경에서 입력된 영상에 대해 비모수적 임계화 기법과 기존의 고정 임계화(Fixed thresholding) 기법을 적용하여 움직임 객체 검출을 수행한 결과를 비교하여 보여주고 있다.

표 2. 실시간 객체 추적 시스템 사양

항 목	사 양
1. 시스템 환경	
CPU	Pentium-II 550MHz-2CPU
Memory(RAM)	512 Mbytes
HDD	IDE-type 40 Gbytes
Interface	2 RS-232C Serial Ports
OS	Windows-2000 Professional
2. 카메라 장치	
Model	SHC-710NF Camera
Effective Pixels	768(H) x 494(V)
Horizontal Res.	440~480 lines
S/N Rate	54 dB(AGC off/Y-Signal)
IRIS Mode	ESC/Video/DC
White Balance	ATW/Manual/Indoor/Outdoor
Video Output	NTSC Composite, S-Video
3. 프레임 캡처 장치	
Model	OnAir Capture B/D
Capture Speed	1 Channel / 30 FPS
Video Format	NTSC, PAL
Capture Size	160x120, 320x240, CIF etc
Internal I/F	PCI Rev. 2.1 Bus
4. 팬틸링 구동 장치	
	Rated Payload : 2Kg
	Max Unloaded Speed: 48 VCD
	Speed to 360/sec Resolution:
Pan & Tilt Mechanism :	0.00036 PPR
Parker	Tilting Range: -45 ~ 47
SPTM-2-40	Panning Range: -85 ~ 85
	4 AMP Driver
	Voltage: 5 to 24 VDC
MICROLYNX Control System	RS-232 / RS-485
	4 or 7 A Motor Driver
	Terminal Block I/O

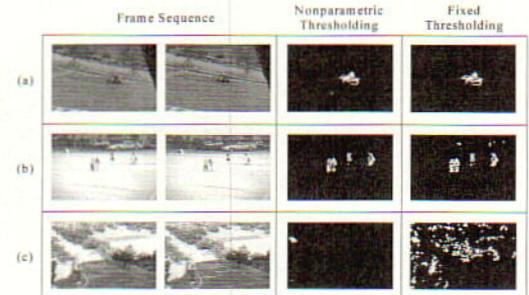


그림 5. 움직임 영역 검출 과정에서 비모수적 임계화 및 고정 임계화의 성능 비교

그림 5의 (a)는 햇빛 등 주변의 광원에 대한 영향이 적은 경우로서 평균적인 성능을 보이는 고정 임계화 기법과 비모수적 임계화 기법 사이에 차이가 없으나, (c) 경우와 같이 햇빛의 영향을 직접적으로 받는 부분과 그늘진 부분 사이에 변화가 생기고 햇빛에 의한 잡음이 많이 발생하는 경우에는 고정 임계화 기법이 잡음을 움직임 영역으로 추출하는 반면에 비모수적 임계화 기법은 입력 영상의 데이터를 고려하여 동적으로 임계값을 결정함으로써 실제 움직임 영역만을 산출하는 결과를 보여주고 있다. (b) 경우는 전체적인 배경이 비슷한 밝기를 가지나 차량 등 반사체에서 발생하는 빛 등에 의해 잡음이

발생하는 환경에서 움직임 영역을 추출하는 결과를 보여주는 것으로 고정 임계화 기법에서는 일부 잡음을 움직임 영역으로 추출하고 있다.

그림 5에서 알 수 있듯이 본 논문에서 적용한 비모수적 임계화 기법은 기존의 고정 임계화 기법과 달리 다양한 환경에서 입력되는 영상에 대해 적층적으로 움직임 객체를 검출할 수 있다.

3. 객체 추적 성능 분석

본 논문에서는 동적 AR(2) 프로세스 기법과 선형 칼만 필터 기법의 객체 추적 성능을 비교하였는데, 실제 환경에 대해 상대적인 성능 비교가 어려워 다변적인 움직임에 대한 시뮬레이션 데이터를 생성하고 각각의 기법을 적용한 다음, 성능을 비교하였다. 시뮬레이션 데이터는 객체의 움직임에 대한 픽셀 거리로서 객체의 일정한 움직임을 반영하는 단조 증감 형태의 데이터와 복잡한 움직임을 반영하는 진동하는 형태의 데이터로 나누어 생성하고 실험에 적용하였다.

그림 6은 시뮬레이션 데이터가 단조 증감하는 경우로서 동적 AR(2) 프로세스 기법이 안정 상태에 접근한 이후로는 시뮬레이션 데이터와 거의 일치되

게 예측하고 있음을 알 수 있으며, 그림 7는 시뮬레이션 데이터가 작은 크기로 진동하는 경우로서 동적 AR(2) 프로세스 기법이 초기에 크게 진동하면서 시뮬레이션 데이터에 근접하는 반면에 선형 칼만 필터 기법은 진동 없이 예측하고 있지만 시뮬레이션 데이터와 큰 오차를 가짐을 알 수 있다.

표 3은 동적 AR(2) 프로세스 기법과 선형 칼만 필터 기법이 시뮬레이션 데이터에 대해 어느 정도 근사적으로 추정하였는지를 비교하기 위해 시뮬레이션 데이터별로 MSE(Mean Square of Error) 값을

표 3. 움직임 추정에 대한 근사도(MSE) 비교

시뮬레이션 데이터	동적 AR(2) 프로세스	선형 칼만 필터
단조 증감 데이터	0.00716	0.325
진동 데이터	0.0901	0.2067

나타낸 것이다. 동적 AR(2) 프로세스 기법의 MSE 값이 선형 칼만 필터 기법에 비해 약 1/2.5~1/50 정도로 적어 객체의 움직임을 더 근사적으로 추정하고 있음을 알 수 있다.

표 4은 각 예측 기법의 성능에 영향을 미치는

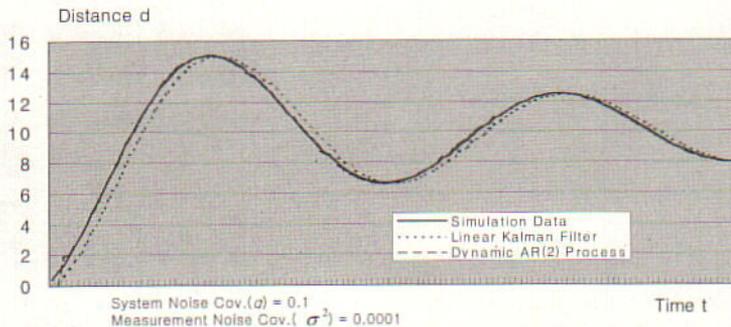


그림 6. 단조증감 시뮬레이션 데이터를 이용한 움직임 추정 성능 비교

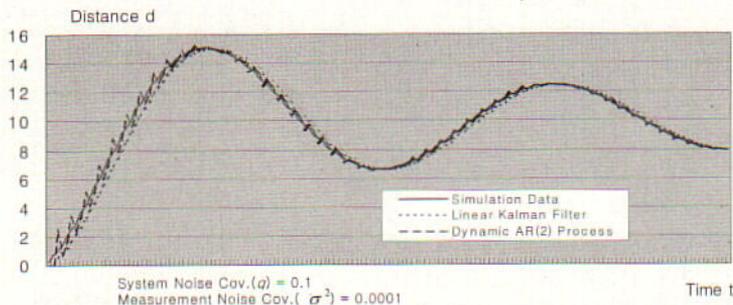


그림 7. 진동하는 시뮬레이션 데이터를 이용한 움직임 추정 성능 비교

Measurement Noise Covariance 값(δ^2)의 변화에 따른 두 기법의 성능(MSE)을 비교하였다. 동적 AR(2) 프로세스 기법은 큰 변화가 없는 반면에 선포 4. Measurement Noise Cov.에 따른 성능 비교

Measurement Noise Cov.	Linear Kalman Filter	Dynamic AR(2) Process
0.1	30.46096664	0.008079779
0.01	8.645558873	0.006670376
0.001	1.591990434	0.007065672
0.0001	0.325069919	0.00716487
1E-4	0.146197677	0.007176289
1E-5	0.124211989	0.007177454
1E-6	0.1218889	0.007177571
1E-7	0.121654481	0.007177583
1E-9	0.12163101	0.007177584
1E-10	0.121628663	0.007177584

형 칼만 필터 기법은 크게 영향을 받음을 알 수 있는데, 이는 선형 칼만 필터 기법의 경우 측정 장치의 노이즈 분산 정도가 크면 성능이 크게 떨어짐을 의미한다.

본 논문에서 구현한 객체 추적 시스템을 실제 다양한 상황에서 적용한 결과, 일정한 방향으로 움직이는 객체에 대해서는 안정적으로 추적하였으나 객체의 움직임이 일정하게 지속되지 않거나 방향을 자주 전환하는 경우에는 팬틸링 제어 기능이 진동하는 것을 확인할 수 있었다. 그리고, 전반적으로 동적 AR(2) 프로세스 기법이 선형 칼만 필터 기법 보다는 움직임 객체의 다변적인 움직임을 보다 적응적으로 추적하였다.

V. 결론

본 논문은 원격 감시 카메라에서 입력되는 연속적인 영상에서 움직임 객체를 검출하고 객체의 움직임 정보를 미리 예측하여 원격 감시 카메라 장치의 팬틸링 장치를 제어하는 연속적인 영상 기반의 실시간 객체 추적 알고리즘을 설계하고 구현하였다

본 논문은 객체 추적 알고리즘에 대해 다음과 같은 요구 조건을 가정하였다.

첫째, 객체 추적 알고리즘은 외부 환경에서 동작한다.

둘째, 실시간으로 움직이는 객체를 검출하여 추적한다.

셋째, 경량의 컴퓨터 시스템에 기반하여 동작한다. 제안된 객체 추적 알고리즘은 움직임 객체 검출

기법과 움직임 추정 기법으로 나누어 구현하였으며, 움직임 객체 추출 기법은 외부 환경의 다양한 조건에 적응적으로 동작하기 위하여 비모수적인 영상 처리 기법, 즉 윤곽선 추출과 차영상 처리 과정에서 적응적으로 임계값을 설정하는 기법을 사용함으로써 움직임 객체를 효과적으로 검출하였다. 움직임 추정 기법은 검출된 객체의 움직임 정보를 찾기 위해 SUSAN 특징점 추출 기법과 블록 정합 기반의 특징점 정합 기법을 적용하였다, 또한 객체의 다변적인 움직임을 동적 AR(2) 프로세스 모형으로 모델링하고 칼만 필터 기법을 사용하여 동적으로 AR(2) 프로세스 파라미터를 산출함으로써 변화가 많은 객체의 움직임을 적응적으로 예측할 수 있도록 하였다.

본 논문은 영상 처리 및 특징점 추출 그리고 적응적 필터 기반의 예측기 등을 별도의 하드웨어로 구현하지 않고 저 성능의 경량 컴퓨터 환경에서 실시간으로 동작할 수 있도록 소프트웨어로 구현하였다. 그리고 모의 실험을 통해 기존의 선형 칼만 필터 기반의 객체 추적 알고리즘과 성능을 비교하였는데, 추정 오차가 약 1/2.5~1/50 정도로 더 적었으며, 추정 알고리즘의 성능에 영향을 미치는 측정 장치의 노이즈 분산 정도에 따라 10^{-1} ~ 10^{-4} 정도로 훨씬 적은 추정 오차를 가지며 객체의 움직임을 예측할 수 있었다.

앞으로는 움직임을 보다 정확하게 모델링할 수 있는 움직임 모형과 퍼지 추론 기법을 적용한 예측 기법 등에 대한 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] 이진성, 이훈철, 김성대, "적외선 영상에서 움직임 영역 검출을 이용한 목표물 검출 및 추적 기법," 제12회 신호처리합동학술대회 논문집, pp.185~188, 1999.
- [2] S. Banerjee, A. Aggarwal, L. Kumar, P. Jain, and G. S. Manku, "Object Tracking Using Affine Structure for Point Correspondences," *Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp.704~709, 1997.
- [3] P. J. Bert, and J. R. Bergen, "Object Tracking with a Moving Camera," *Proc. of Workshop on Visual Motion*, pp.2~12, 1989.
- [4] M. S. Grewal, and A. P. Andrews, *Kalman*

Filtering : Theory and Practice Using Matlab-2nd Edition, John Wiley & Sons, 2001.

- [5] C. G. Harris and M Stephens, "A Combined Corner and Edge Detector," *Proc. of 4th Alvey Vision Conference*, pp.147~151, 1998.
- [6] S. Haykin, *Adaptive Filter Theory-2nd Edition*, Prentice-Hall, 1991.
- [7] I. D. Raid and D. W. Murray, "Active Tracking of Foveated Feature Clusters using Affine Structure," *Int. Journal of Computer Vision*, Vol.18, No.1, pp.41~60, 1996.
- [8] Randy Crane, *A Simplified Approach to Image Processing*, Prentice-Hall, 1997.
- [9] P. L. Rosin, "Thresholding for Change Detection," *Proc. of ICCV'98*, pp.274~ 279, 1998.
- [10] P. L. Rosin, "Unimodal thresholding," *Proc. of Scandinavian Conference on Image Analysis*, pp.585-592, 1999.
- [11] S. M. Smith, "SUSAN - A New Approach to Low Level Image Processing," *Technical Report TR95SMS1c*, Dep. of Clinical Neurology, Oxford University, 1995.
- [12] S. M. Smith and J. M. Brady, "ASSERT-2 : Real-Time Motion Segmentation and Shape Tracking," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.17, N0.8, pp.814-820, 1995.
- [13] S. M. Smith, "Reviews of Optical Flow, Motion Segmentation, Edge Finding and Corner Finding," *Technical Report TR97SMS1c*, Dep. of Clinical Neurology, Oxford University, 1997.
- [14] P. H. S. Torr and D. W. Murray, "Stochastic Motion Clustering," *Proc. of the 3rd European Conference on Computer Vision*, pp.328~337, 1994.
- [15] S. Araki, T. Matsuoka, H. Takemura, and N. Yokoya, "Real-time Tracking of Multiple Moving Objects in Moving Camera Image Sequence," *IEICE Trans. Inf. & Syst.* Vol. E83-D, No.7, 2000.
- [16] 최내원, 오해석, "실시간 칼라 영상에서 객체

추출 및 추적," *정보처리학회논문지B*, Vol.10-B, No.1, pp.81-86, 2003.

김 영 주(Young-Ju Kim)

정회원



1988년 2월 부산대학교 계산통계학과 (학사)
1990년 2월 부산대학교 계산통계학과 (석사)
1990년~1995년 (주)큐닉스컴퓨터 응용시스템연구소
1999년 8월 부산대학교 전자계

산학과 (이학박사)

2000년~현재 신라대학교 컴퓨터공학과 조교수

<주관심분야> 분산시스템, 멀티미디어, 영상 압축 및 통신

김 광 백(Kwang-Baek Kim)

정회원



1993년 2월 부산대학교 전자계산학과 (석사)
1999년 2월 부산대학교 전자계산학과 (이학박사)
1996년~1997년 동의공업대학사무자동화과 전임강사
1997년~현재 신라대학교 컴퓨터

공학과 부교수

2003년~현재 한국퍼지 및 지능시스템학회 이사

<주관심분야> Neural Networks, Image Processing, Fuzzy Logic, Biological Signal Processing and Biomedical System