

물체의 움직임 궤적에 기반한 감시 비디오의 검색

이규원¹, 정영기², 호요성³
대전대학교¹, 호남대학교², 광주과학기술원³

Surveillance Video Retrieval based on Object Motion Trajectory

KyuWon Lee¹, Young-Kee Jung² and Yo-Sung Ho³
Taejon Univ.¹, Honam Univ.², K-JIST³

요약

본 논문에서는 객체 단위의 특징에 기반을 둔 비디오 색인 및 탐색 방법을 제안한다. 의미론적인 레벨에서 각 객체를 접근하기 위해 물체의 움직임 궤적 모델이 색인 키로 이용되었다. 객체 움직임 궤적을 이용한 내용기반의 비디오 색인을 위해 비디오 시퀀스에서 움직임 분할을 이용하여 물체를 찾아낸 다음, 분할된 물체를 추적하여 움직임 궤적을 생성하고 이를 기호적인 표현으로 모델링한다. 제안된 검색 시스템은 query by example, query by sketch 및 query on weighting parameters 등의 사건 기반의 비디오 검색을 위한 다양한 질의 유형을 지원할 수 있다. 제안된 시스템은 관심있는 비디오 클립(clip)을 검색했을 때 유사도에 따라 순서대로 비슷한 사건들을 출력한다.

I. 서론

비디오 시퀀스의 특정한 내용을 검색할 때, 하나의 비디오 객체는 계층적으로 구성된 비디오 표현에서 의미론적으로 다른 레벨에서 특징들을 제공할 수 있다. 일반적으로 시퀀스, 장면, 화면, 프레임, 객체 및 영역 등이 구조화된 비디오의 전형적인 예들이다. 비디오 시퀀스에서 하나의 객체는 여러 가지 특성들을 가질 수 있고, 그 중 하나의 특성이 객체의 움직임 궤적이다. 한 객체의 움직임 궤적은 객체의 동적인 이동 경로를 나타낸다. 비디오 감시 응용분야에서 움직임 궤적은 특정 방향과 속도를 갖고 이동을 하는 객체가 포함된 비디오상의 위치를 검색하는데 이용될 수 있다[1].

객체 움직임 궤적을 이용한 내용기반의 비디오 색인을 위해서는 비디오 시퀀스에서 움직임 분할에 의한 물체 검지를 한다 [2]. 그런 다음 분할된 물체를 추적함으로써, 움직임 궤적을 생성하고 이를 기호적인 표현으로 모델링 한다 [3-5]. 이러한 궤적 모델은 의미론적인 레벨에서 객체를 접근하기 위한 색인 키로써 이용될 수 있다.

본 논문에서는 비디오 검색에 있어서 객체 지향의 효율적인 색인 방법과 객체를 탐색하는데 있어서 새로운 매칭기준을 제안하였다. 또한 query-by-example, query-by-sketch 및 query on weighting parameters 등의 사건 기반의 비디오 검색을 위한 다양한 질의 유형을 설계하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II, III장에서 비디오 시퀀스 상에서 물체를 분할하고 추적하기 위해 이용된 알고리즘을 설명한다. IV장에서는 다항식 근사를 이용한 효율적인 움직임 궤적의 표현에 대해 기술하며, 비디오 시퀀스를 사건 기반으로 표현하고 이의 색인을 위한 새로운 매칭 기준과 탐색 방법을 제안한다. V장에서는 제안된 알고리즘을 영상 감시 비디오 시퀀스에 적용한 시뮬레이션 결과를 설명하고 마지막으로 VII장에서 결론을 맺는다.

II. 물체 영역 분할

그림 1은 물체를 분할하기 위한 알고리즘의 블록도이다. 적응적인 배경 갱신을 위해 시간적인 중앙값(Temporal Median) 연산을 이용한다.

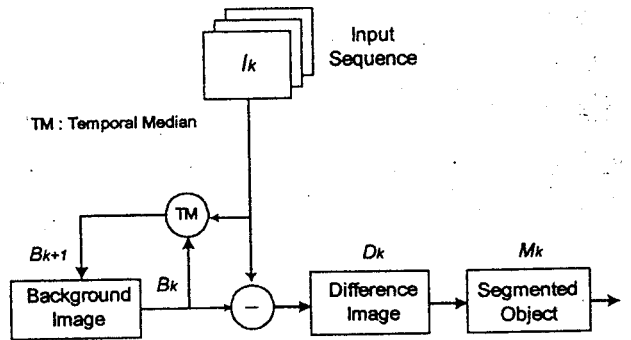


그림 1. 물체 영역 분할

영상 시퀀스의 입력 I_k 에 대해 배경 시퀀스 B_k 는 다음의 식(1)과 같이 화소 단위의 비교를 통해 각각의 프레임에 대해 갱신된다.

$$B_{k+1}(x) = \begin{cases} B_k(x) + 1, & \text{if } B_k(x) < I_k(x) \\ B_k(x) - 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

분할 영상 M_k 는 입력 영상 I_k 와 배경 영상 B_k 와의 차이값의 절대값을 이진화하여 얻어진다.

III. 물체 추적

새로운 물체를 검지한 후에는, 관측된 물체의 위치 정보로부터 다음의 위치를 예측하여 물체를 효율적으로 추적할 수 있다. 이를 위해 선형 칼만 필터를 이용한 이차원

특징에 기반한 추적 알고리즘을 설계하였다. 추적하기 위한 특징으로는 물체의 중심 위치와 크기 등의 특징을 이용한다.

일반적으로 칼만 필터는 시스템 상태 $x(k)$ 를 측정하는데 있어서 최적화된 선형 최소 오류 분산 (Linear Minimum Variance of Error) 을 갖는 연속적이고 반복적인 알고리즘을 제공한다. 본 논문에서 이용된 추적 방법에서는 측정하기 위한 시스템의 상태를 다음 식(2)과 같이 이동 물체의 중심과 크기의 변화 값을 그 성분으로 갖는 4차원 벡터로 정의한다.

$$x(k) = \begin{pmatrix} \Delta x_center(k) \\ \Delta y_center(k) \\ \Delta xsize(k) \\ \Delta ysize(k) \end{pmatrix} \quad (2)$$

따라서 선형 칼만필터의 시스템 모델과 관측 모델로부터 유도된 회귀적 칼만 필터 알고리즘을 적용한다. 알고리즘의 동작은 상태 변수 초기화, 다음 상태 변수 예측 및 현재 상태 변수 갱신등의 세 가지 단계로 이루어진다. 초기화 단계에서는 물체가 검지된 후, 연속된 2프레임의 측정치로부터 중심의 변화치와 크기의 변화치를 계산한 후 상태변수 $X(0)$ 등을 초기화한다. 그런 다음, 예측 단계에서는 다음 상태를 예측하고, 다음 단계에서는 실제 관측치를 이용하여 예측된 상태를 보정하는 과정이 반복된다.

IV. 물체 움직임 궤적의 표현

이동 물체의 궤적은 계속되는 프레임에서의 물체의 중심좌표 연속 점이다. 따라서 다음 식(3)과 같이 다항식으로 물체의 궤적을 근사화 하였다.

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_{n-1}x^{n-1} + a_nx^n \quad (3)$$

여기에서 n 은 근사화 차수이고 $n+1$ 개의 계수를 갖는다. 예를 들어, k 개의 중심점들을 3차 다항식 곡선으로 근사화 한다면, 다항식 곡선과 중심점과의 차의 제곱의 합을 최소화하는 최소 제곱 곡선 정합에 의해 미지의 계수 a_0, a_1, a_2 및 a_3 을 구할 수 있다. 근사화 된 다항식 곡선은 다음과 같이 $k \times 4$ 의 행렬로 표현되는 k 개의 식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_{k-1} \\ y_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 & x_1^3 \\ 1 & x_2 & x_2^2 & x_2^3 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{k-1} & x_{k-1}^2 & x_{k-1}^3 \\ 1 & x_k & x_k^2 & x_k^3 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} \quad (4)$$

위와 같은 정합은 정확한 데이터의 근사화를 할 수는 없지만, 정합된 곡선은 움직임 궤적의 대략적인 형상을 표현한다. 따라서 단지 몇 개의 다항식 계수만을 가지고 움직임 궤적을 표현할 수 있게 된다. 그림 2는 근사화 된 하나의 다항식 곡선의 예를 보여준다.

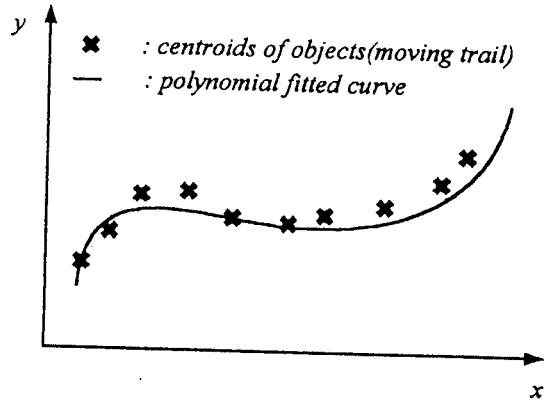


그림 2. 근사화된 다항식 곡선 정합 예

1. 제안된 움직임 궤적 표현자(Motion trajectory descriptor)의 구조

궤적의 형상을 효율적으로 표현하기 위한 제안된 움직임 궤적 표현자의 구조는 <표 1>과 같다.

표 1. 움직임 궤적 표현자의 구조

Components	Value	Data Type
VO_ID	Video object number	int
Birth_Time	Frame number	int
Death_Time	Frame number	int
Birth_Position	(x, y)	int*2
Death_Position	(x, y)	int*2
Trajectory	Main axis: [0x, 1y]	1-bit
	Polynomial Coefficients a_0, a_1, a_2, a_3	float*4

2. 움직임 궤적 표현자의 문법

다음의 그림 3에 제안된 움직임 궤적 표현자의 문법을 나타내었다.

```

Object_Motion_Trajectory {
  int VO_ID
  int Avg_Half_Width_of_Object, Avg_Half_Height_of_Object;
  int Birth_time, Birth_position_x, Birth_position_y;
  int Death_time, Death_position_x, Death_position_y;
  MT_Description
}
MT_Description {
  interpolation_function coefficients[N_order];
}

```

그림 3. 움직임 궤적 표현자의 문법

VO_ID: 비디오 객체의 고유번호.

Birth_position: 비디오 객체의 생성시의 x, y 좌표값.

Death_time: 객체가 장면으로부터 사라지는 시점.

Death_position: 비디오 객체의 소멸시의 x, y 좌표값.

N_order: 움직임 궤적의 곡선 정합의 근사화 차수.

V. 색인 및 검색

본 제안 시스템은 객체 중심의 사건을 색인하고 검색

할 수 있도록 설계되었다. 객체의 시간적인 사건을 등록하기 위해, 데이터베이스에 사건의 표현자와 원래의 비디오 클립(clip)을 저장한다. 관심있는 비디오 클립(clip)을 검색하기 위해, 하나의 질의어가 질의어 인터페이스를 통해 요구되면, 질의어의 형태를 하나의 표현자로 변환한 후 데이터베이스에 저장된 모든 표현자와 비교한다. 그런 다음, 유사도에 따라 가장 높은 매칭 값을 갖는 순서대로 매칭된 사건들을 출력하게 된다. 매칭을 하기 위한 새로운 매칭기준을 다음과 같이 제안한다. 새로운 매칭 기준은 query-by-example, query-by-sketch 및 query on weighting parameters 등 사건 기반의 비디오 검색을 위한 다양한 질의어를 제공한다.

1. 매칭 스킴 (Matching Scheme)

- 용어의 의미

q : queried, s : stored (data to be compared)

$[P] = \{a_0, a_1, a_2, a_3\}$: the coefficient set of

interpolation function

v : 비디오 객체의 속도

α, β : 궤적형상과 속도의 매칭을 위한 가중 계수

표 2. 가중레벨 및 가중계수

Level \ Value	0	1	2	3	4
α	0	0.5	1.0	1.5	2
β	0	25	50	75	100

- 거리 함수

$[P]$ 는 근사화된 궤적의 계수들이다. 궤적 형상의 거리 함수는 다음과 같이 정의된다.

$$d([P]_q, [P]_s) = (a_{0q} - a_{0s})^2 + (a_{1q} - a_{1s})^2 + (a_{2q} - a_{2s})^2 + (a_{3q} - a_{3s})^2 \quad (5)$$

속도에 대한 거리함수는 다음과 같이 정의된다.

$$d(v_q, v_s) = (v_q - v_s)^2 \quad (6)$$

궤적 형상과 속도를 고려한 거리 함수는 가중계수를 곱하여 합한 수식으로 표현된다.

$$d(Q, S) = \alpha \cdot d([P]_q, [P]_s) + \beta \cdot d(v_q, v_s) \quad (7)$$

여기서 α, β 는 가중 계수이고, 이 계수들은 <표 2>와 같이 질의어 형태에 따라 다르게 적용된다.

2. 질의어 유형

- Query by Example

비디오 클립내의 움직이는 물체를 질의어로 선택하는 질의어 유형이다.

- Query by Sketch

다항식 곡선으로 근사화 한 다음, 질의어 궤적의 다항식 계수와 데이터베이스의 계수들과 비교한다. 그림은 query by sketch 질의어 유형에 의한 사용 예를 보여주고 있다. 그림 5에서, '+' 기호들이 사용자에게 의해 표시되면 근사화된 궤적이 계산된다. 이 유형은 먼저 찾고자 하는 궤적을 스케치하는 형태로 질의하면 사용자가 스케치한 궤적과 유사한 궤적을 갖

는 비디오 클립이 찾아지게 된다.

- Query on parameter weighting

사용자는 비디오 궤적의 형태, 이동 속도 및 위치를 고려하여, 이러한 조건을 갖는 객체를 찾을 수도 있다. 따라서 이 질의 유형은 정의된 궤적 표현 변수들을 가지고 다양한 가중치 표현에 의한 질의가 가능하도록 하기 위해 설계되었다. 가중 계수는 표 2에서와 같이 질의어 형태에 따라 다르게 적용된다.

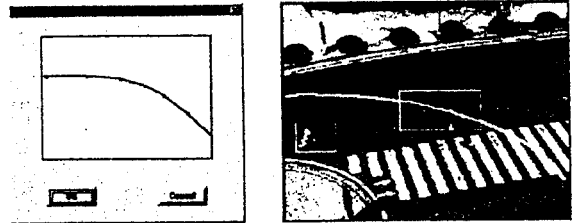


그림 5. 스케치를 통한 질의 예

3. 매칭 기준 (Matching Criterion)

제안된 궤적 표현은 2절에서 정의한 바와 같이 다양한 질의 유형을 제공한다. 질의에 대한 각각의 매칭 기준은 다음과 같다.

- Q1-1 : Query by example (속도 유사도 기반)

Q 와 S 를 질의 사건과 저장 사건이라고 가정하면, 두 궤적의 거리 $d(Q, S)$ 는 다음 식(8)과 같이 정의한다.

$$d_{1-1}(Q, S) = \min_i [\alpha \cdot d([P]_q, [P]_s^i) + \beta \cdot d(v_q, v_s^i)] \quad (8)$$

여기에서 i 는 비디오 객체들의 개수이다. 이 질의 유형에서는 α 는 0, β 는 4를 사용하고 최소 거리 $d_{1-1}(Q, S)$ 을 갖는 S 를 선택한다.

- Q1-2: Query by example(궤적 유사도 기반)

궤적거리 $d_{1-2}(Q, S)$ 는 $d_{1-1}(Q, S)$ 와 같다. 이 질의 유형에서는 α 는 4, β 는 0를 사용하고 최소 거리 $d_{1-2}(Q, S)$ 을 갖는 S 를 선택한다.

- Q2 : 이동 방향에 따른 검색

$$\theta = \arctan(dy/dx) \quad (9)$$

$$dx = \text{Death_position_x} - \text{Birth_position_x}$$

$$dy = \text{Death_position_y} - \text{Birth_position_y}$$

$$d_2(Q, S) = d_2(\theta_q, \theta_s) \quad (10)$$

최소 거리 $d(Q, S)$ 를 갖는 S 를 선택한다.

- Q3 : Query by sketch

sketch 질의는 질의창 안에서 여러 개의 점들로 구성된다. 입력 점들은 미리 정해진 순서에 따라 근사화 된다.

VI. 실험 결과

이장에서는 감시 비디오에서 물체를 추적을 통해 비디오 객체의 시간적인 사건에 기반한 색인 및 검색 결과를 설명한다. 실험은 다섯 가지의 Speedway 시퀀스 및 하나의 Road 시퀀스 등의 MPEG-7 비디오 테스트 영상들에 대해 진행되었다. Speedway 시퀀스들은 왕복차선과 갓길 도로의 배경을 가지고 있으며 갓길 운행 및 정지 차량 등

의 비 이상적인 흐름을 가지고 있다. Road 시퀀스는 보행자, 자동차 및 자전거 등의 다양한 움직임 형태를 가지고 있다.

비디오 감시 응용을 위해 제안된 본 검색 시스템은 비디오 객체의 궤적 정보에 따른 다양한 질의 유형들을 제공한다. 그림 6 과 그림 7 에 Road 시퀀스에서 추출된 비디오 객체들과 Speedway2 시퀀스에서 추출된 비디오 객체들을 나타내었다. 제안된 여러 가지 매칭 기준들의 성능을 측정하기 위해, 정의된 질의 유형들에 대해 몇 가지 실험들을 반복적으로 행하였다. 표 3, 표 4 및 표 5 는 매칭 기준들에 따른 Road 시퀀스와 Speedway2 시퀀스의 검색결과를 보여주고 있다.

표 3. Q1-2 에 대한 검색결과: query by example

Sequence	Queried VO#	Top-10 retrieval results in the similarity order
Road	R0	R0-R1-R9-R20-R8-R5-R19-R13-R18-R4
	R3	R3-R16-R12-R14-R15-R6-R2-R7-R10-R11
Speedway 2	S3	S3-S12-S0-S14-S18-S11-S6-S5-S10-S8
	S15	S15-S9-S1-S13-S7-S16-S17-S2-S4-S8

R#: Number of VO for Road,
S#: Number of VO for Speedway2

표 4. Q2 에 대한 검색결과 : 움직임 방향

Sequence	Queried direction (degree)	Top-10 retrieval results in the similarity order
Road	0	R11-R17-R8-R1-R20-R10-R9-R0-R13-R5
	135	R6-R3-R16-R14-R7-R2-R12-R15-R18-R19
Speedway 2	-135	S2-S4-S16-S13-S7-S17-S1-S15-S9-S8
	135	S3-S12-S11-S6-S14-S0-S5-S18-S10-S2

표 5. Q3 에 대한 검색결과 : query by sketch

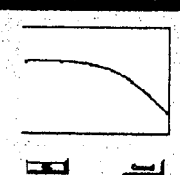
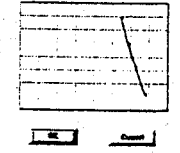
Sequence	Queried sketch	Top-10 retrieval results in the similarity order
Road		R3-R16-R14-R12-R15-R6-R2-R7-R10-R11
Speedway 2		S3-S12-S11-S0-S18-S14-S6-S5-S10-S8

표 3 은 query-by-example 의 유사도에 따른 10 가지의 검색 결과를 보여주고 있다. Speedway2 시퀀스의 S3 의 경우, 그림 7 의 VO#3 에서 보는 바와 같이 트럭이 남쪽에서 북쪽방향으로 진행되는 궤적 형태를 가진다. 따라서 이 질의에 대한 검색 결과는 표 3 과 같이 비슷한 궤적을 가지는 모든 비디오 객체들을 출력하게 된다. 표 4 는 움직임 방향에 따른 질의에 대한 검색 결과를 보여주고 있다. 표 5 는 query-by-sketch 의 질의에 대한 결과이다. 표 3, 표 4 및 표 5 에서 보인 바와 같이 제안된 매칭 기준은 여러 가지 질의에 대해 성공적으로 적용되고 있음을 알 수 있다.

VII. 결론

본 논문에서는 비디오 감시 응용을 위해 물체의 움직임 궤적에 기반한 새로운 비디오 검색 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 비디오 객체의 궤적 정보에 따른 다양한 질의 유형들을 제공하였고, 실제 감시용 비디오 시퀀스에 적용한 검색 실험결과를 통해 질의 유형과 매칭 기준이 성공적으로 동작함을 확인하였다.

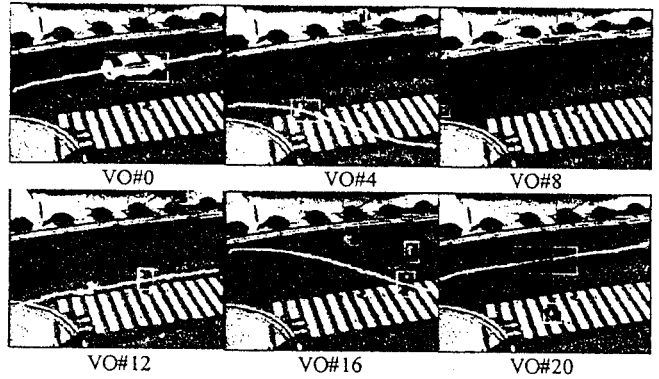


그림 6. Road 시퀀스의 비디오 객체

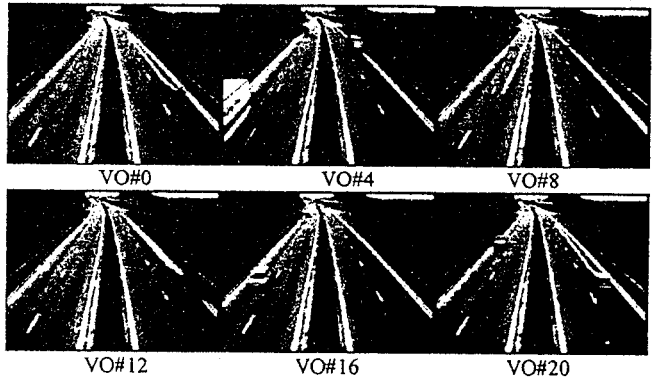


그림 7. Speedway2 시퀀스의 비디오 객체

감사의 글

본 연구는 ETRI 및 광주과학기술원(K-JIST) 초고속광네트워크연구센터(UFON)를 통한 한국과학재단 우수연구센터(ERC)와 교육부 두뇌한국 21(BK21) 정보기술사업단의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

- [1] K.W.Lee and J.W.Kim, Hierarchical Motion Trajectory Descriptor, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11/MPEG99/M4708, Vancouver, July 1999.
- [2] T. Meier and King N. Ngan, Automatic Segmentation of Moving objects for Video Object Plane Generation, *IEEE Trans. CSVT*, vol. 8, No. 5, pp. 525-538, Sep. 1998.
- [3] F. Bremond and M.Thonnat, Tracking Multiple Nonrigid Objects in Video Sequence, *IEEE Trans. CSVT*, vol. 8, No. 5, pp. 585-591, Sep. 1998.
- [4] J. Malik and S. Russell, A Machine Vision Based Surveillance System for California Roads, PATH Project MOU- 83 Final Report, University of California, Berkeley, 1994.
- [5] N. McFalane and C. Scholfield, Segmentation and Tracking of Piglets in Images, *Machine Vision and Application*, Vol. 8, pp. 187-193, Oct. 1995.