

# 영상 감시를 위한 이동하는 사람 수 추정 기법

김병수, 송수한, 이광국, 김희율  
한양대학교 전자통신컴퓨터공학과

e-mail : [bskim@vision.hanyang.ac.kr](mailto:bskim@vision.hanyang.ac.kr), [shsong@vision.hanyang.ac.kr](mailto:shsong@vision.hanyang.ac.kr),  
[gglee@vision.hanyang.ac.kr](mailto:gglee@vision.hanyang.ac.kr), [wykim@hanyang.ac.kr](mailto:wykim@hanyang.ac.kr)

## People-Flow Density Estimation for Video Surveillance

Byeoung-Su Kim, Su-Han Song, Gwang-Gook Lee, Whoi-Yul Kim  
Dept. of Electronics and Computer Engineering, Hanyang University

### 요 약

공공 장소에서 통로를 통해 이동하는 사람의 수를 측정하는 것은 영상 감시를 위한 필수 기술이며 이와 관련하여 다양한 연구가 진행되어 왔다. 그러나, 지금까지의 방법들은 카메라를 통로의 바로 위쪽에 수직방향으로 설치해야 하며, 넓은 범위의 영상을 처리하지 못하는 문제점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 영상의 특징에 기반한 사상합수를 사용하여 카메라 시점에 제약을 받지 않는 사람 수 추정 방법을 제안한다. 실험 결과 카메라가 통로의 수직 방향에 위치하지 않아도 이동하는 사람 수를 추정할 수 있기 때문에 다양한 분야에 이용될 수 있다.

### 1. 서론

통로를 통해 이동하는 사람 수를 측정하는 것은 건물의 출입 제어, 보안 등의 응용에 중요하게 이용될 수 있다. 이와 관련하여 통로를 통해 이동하는 사람 수를 측정하는 다양한 방법이 제안되어 왔다. K. Terada 등에 의해 제안된 방법[1]에서는, 스테레오 카메라를 이동하는 사람의 바로 위쪽에 수직방향으로 설치하여 사람을 검출하고 추적하여 이동하는 사람의 숫자를 측정한다. 이 방법에서는 스테레오 카메라를 사용하여 영상 내의 사람이 증가하는 경우에도 사람을 인식할 수 있는 장점이 있다. Thou-Ho Chen 등에 의해 제안된 방법[2]은 통로에 하나의 카메라를 설치하여 영상을 획득하고, 획득된 영상에서 배경 영상을 제거한 전경 영역을 구분한다. 이렇게 구분된 전경 영역을 추적하여 이동하는 사람 숫자를 측정한다. 이 방법은 영상에서 가려짐이 발생하여도 이동하는 사람의 수를 추정할 수 있는 장점이 있다. Andrade, E.L. 등에 의해 제안된 방법[3]은 영상에서 미리 지정된 평행한 세 직선상의 픽셀을 시간 변화에 따라 누적하고, 이렇게 생성된 영상에 모폴로지 연산을 이용하여 출입하는 사람 수를 추정한다. 이 방법은 복잡한 환경에서도 사용 가능하며 연산이 간단하기 때문에 실시간으로 처리할 수 있는 장점이 있다.

이와 같이 통로를 통해 이동하는 사람 수를 측정하기 위한 다양한 방법이 제안되어 왔다. 그러나 이러한 방법들은 카메라를 통로의 바로 위쪽에 수직방향으로 설치해야 하며, 넓은 범위의 영상을 처리하지 못하는 문제점이 있다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 카메라의 시점에 제약을 받지 않는 이동하는 사람의 숫자 추정 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 움직임 벡

터와 픽셀 수를 특징으로 하여 통로를 이동하는 사람의 숫자를 추정하며, 카메라의 위치에 제약을 받지 않기 때문에 다양한 환경에서 사용이 가능하며, 넓은 공간을 처리할 수 있는 장점이 있다.

### 2. 통로를 이동하는 사람 수 측정 방법

본 논문에서 제안한 통로를 이동하는 사람 수 추정 방법은 주어진 통로를 지나는 사람의 수는 영상에서 추출된 특징량과 관계가 있다고 가정하며 사상합수를 통하여 이를 추정하게 된다.

그림 1은 영상 내에 설정된 가상의 출입문의 예를 나타낸다. 제안한 방법에서는 그림 1과 같이 지정된 가상의 출입문을 기준으로 통로를 이동하는 사람을 추정하여 공간 내의 사람의 이동 흐름을 분석 한다.



그림 1. 가상의 출입구를 지정한 영상

본 논문에서 제안한 통로를 이동하는 사람 수 추정 알고리즘의 흐름은 그림 2에 나타난 것과 같다. 이때

사용되는 특징량으로는 움직임 벡터와 통로를 중심으로 내부에서 외부, 외부에서 내부로 지나는 방향에 대한 전경 영상의 픽셀 수가 이용되었다. 우선 훈련 과정에서는 훈련 영상에서 특징량을 추출하고 영상 내의 사람 수를 이용하여 사상함수의 계수를 계산한다. 사람 수 추정 과정에서는 이렇게 구성된 사상함수를 이용하여 실제 영상의 통로에서 검출된 특징을 사상함수의 인자로 대입하여 사람 수를 추정하게 된다.



그림 3. 움직임 벡터 검출 결과

움직임 벡터는 설정된 통로의 각 픽셀에서 그림 4의 (a)와 같이 8 방향의 움직임 벡터가 발생할 수 있으며 이렇게 검출된 움직임 벡터의 수를 히스토그램 형태로 누적한다. 그림 4의 (b)는 누적된 히스토그램의 예를 나타낸다.

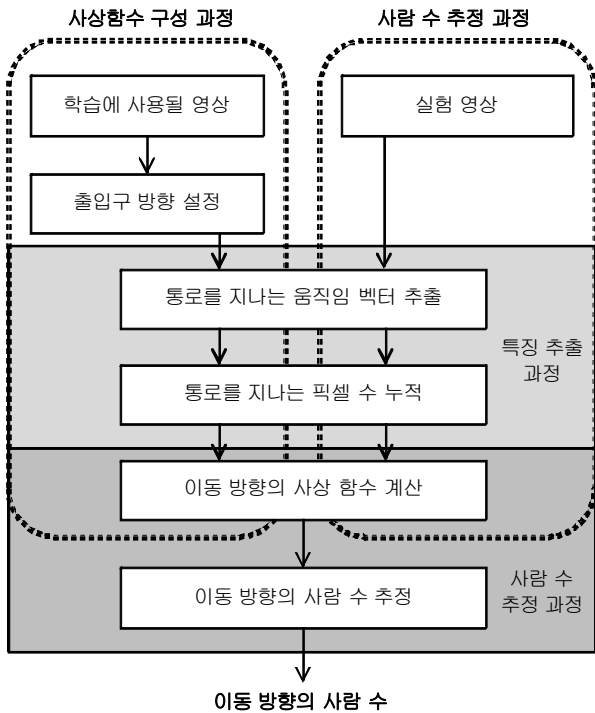


그림 2. 제안하는 알고리즘

사상함수 구성을 위하여 사용되는 특징 검출 기법은 3장에서 다루며 사상함수를 계산하는 방법은 4장에 서술하였다.

### 3. 특징 추출

본 논문에서 제안된 이동 흐름 추정 방법은 특징량으로 연속된 프레임 사이의 움직임 벡터와 단위 시간 동안 통로를 지나는 전경 영역의 픽셀 수를 이용하였다. 본 절에서는 이러한 특징 추출 방법에 대하여 설명한다.

#### 3.1. 움직임 벡터 검출

움직임 벡터는 B. Lucas 와 T. Kanade 에 의해 제안된 광류에 의해 계산되었으며[4], 계산 속도를 빠르게 하기 위해 영상의 다중 피라미드가 이용되었다.

이 방법을 사용하여 연속된 영상에서 움직임 벡터를 계산한 결과는 그림 3과 같으며 화살표의 방향이 움직임 벡터의 방향을 나타낸다. 이렇게 계산된 움직임 벡터가 출입문 영역 내에서 단위 시간 동안 누적되어 방향 히스토그램이 계산되었으며, 이 히스토그램이 흐름 추정을 위한 특징량으로 선택되었다.

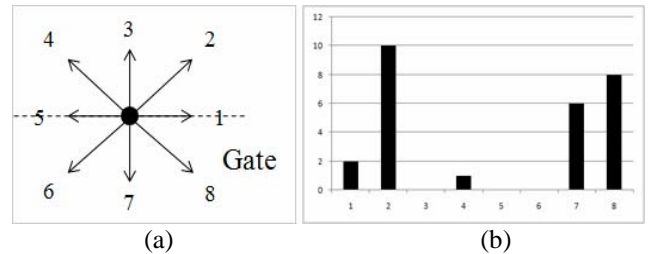


그림 4. 통로의 움직임 벡터가 누적된 예  
(a) 통로의 각 픽셀에서 발생하는 움직임 벡터  
(b) 누적된 움직임 벡터의 방향 히스토그램

#### 3.2. 통로를 지나는 사람의 픽셀 수 계산

본 논문에서는 움직임 벡터와 함께 단위 시간 동안 지정된 통로를 통과하는 전경 영역의 픽셀 수가 특징량으로 사용되었다. 이를 위해 우선 통로를 중심으로 내부에서 외부, 외부에서 내부로의 방향을 설정하였고, 지정된 방향으로 지나는 사람 수 추정을 위하여 입력 영상에서 전경 영상을 분리해 낸다. 이렇게 분리된 전경 영역에 대하여 일정 단위 시간 동안 통로에서 발생된 전경 영역의 픽셀 수를 누적시킨다.



그림 5. 전경 영역 검출 영상:  
(a) 입력 영상 (b) 전경 영상

본 논문에서는 동영상에서 전경 영역 분리를 위하여 I. Haritaoglu 등에 의해 제안된 방법을 사용하였다

[5]. 이 방법은 연속된 영상에서 누적된 픽셀 값의 최대, 최소, 차분 값을 사용하여 배경 모델을 생성하고 생성된 배경 모델을 이용하여 입력 영상에서 전경 분리를 수행한다.

제안된 방법을 사용하여 그림 5와 같이 분리된 전경 영역을 구하고 지정된 통로를 지나는 전경 픽셀 수를 계산한다.

#### 4. 사상함수 계산

3 장에서 검출된 특징인 움직임 벡터의 방향 히스토그램 값과 통로를 지나는 전경 영역의 픽셀 수를 이용하여 실제 통로를 지나는 사람수를 계산하기 위하여 최소자승법을 사용하여 특징 값들의 계수를 계산한다.

영상내의 출입하는 사람의 수를 계산하기 위하여 지정된 통로를 중심으로 그림 6에서와 같이 움직임 벡터를 선택한다.

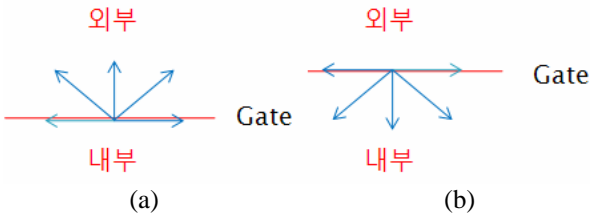


그림 6. 출입하는 사람 수 계산을 위한 움직임 벡터  
(a) 나가는 사람 수 계산을 위한 움직임 벡터  
(b) 들어오는 사람 수 계산을 위한 움직임 벡터

통로를 중심으로 내부에서 외부, 외부에서 내부로 지나는 움직임 벡터를 사용하여 통로를 지나는 각 방향에 대한 픽셀 수를 계산하며 이는 식(1)에서와 같이 계산한다.

$$C_{in} = \frac{H_{in}}{H_{in} + H_{out}} \times C_{total} \quad (1)$$

$$C_{out} = \frac{H_{out}}{H_{in} + H_{out}} \times C_{total}$$

식(1)에서  $C_{in}$ ,  $C_{out}$  은 내부, 외부로 이동하는 픽셀 수를 나타내며,  $H_{in}$ ,  $H_{out}$  은 그림 6과 같이 선택된 내부, 외부로 이동하는 움직임 벡터의 수를 의미한다.  $C_{total}$  은 통로에서 누적된 전체 픽셀 수를 나타낸다.

이렇게 계산된 출입에 대한 움직임 벡터와 픽셀 수를 이용하여 이동하는 사람 수를 식(2)에서와 같이 표현할 수 있다.

$$P = \sum_{i=1}^5 H(i) \times W_h(i) + C \times W_c \quad (2)$$

식(2)에서  $H(i)$ 는 이동하는 각 방향으로 사용되는  $i$  번째 움직임 벡터의 수를 의미하며  $C$  는 이때 이동

방향으로 계산된 누적 픽셀 수를 나타낸다. 또한  $W_h(i)$ 는 사상함수 계산에서 움직임 벡터의 계수를 의미하며  $W_c$ 는 픽셀 수의 계수를 나타내고  $P$ 는 실제 이동방향으로 지나간 사람수를 나타낸다.

통로를 지나는 사람수와 움직임 벡터 그리고 픽셀 수를 사상함수를 이용하여 식(3)과 같이 표현 가능하며 이와 같은 방법으로 구성된 행렬을 최소자승법을 사용하여 특징 값들의 계수를 계산한다.

$$\begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_{N-1} \\ P_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_1(1) & \dots & H_1(5) & C_1 \\ H_2(1) & \dots & H_2(5) & C_2 \\ \vdots & & \vdots & \vdots \\ H_{N-1}(1) & \dots & H_{N-1}(5) & C_{N-1} \\ H_N(1) & \dots & H_N(5) & C_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W(1) \\ W(2) \\ \vdots \\ W(5) \\ W_c \end{bmatrix} \quad (3)$$

이와 같은 방법으로 계산된 사상함수와 통로를 지나는 움직임 벡터, 픽셀 수를 이용하여 각 방향으로 이동하는 사람수를 측정할 수 있다.

#### 5. 실험

실험을 위하여 10 분 동안 실내에서 녹화된 320x240 크기의 총 12,000 프레임의 영상이 사용되었다. 그림 7은 실험에 사용된 영상의 예를 보여준다.



그림 7. 실험에 사용된 영상의 예

학습을 위하여 4,000 프레임을 사용하였고 실험의 정확도 측정을 위하여 8,000 프레임을 사용하였다. 또한, 통로를 지나는 사람 수 측정을 위하여 3 초 단위로 특징량을 누적하였다.

그림 8과 그림 9는 실험 결과를 보여준다. 그림 8은 내부에서 외부 이동하는 실제 사람 수와 본 논문에서 제안된 방법으로 계산된 사람수를 그래프로 나타낸 결과이고, 그림 9는 외부에서 내부로 이동하는 실제 사람 수와 제안한 방법으로 계산된 사람수를 그래프로 나타낸 결과이다.

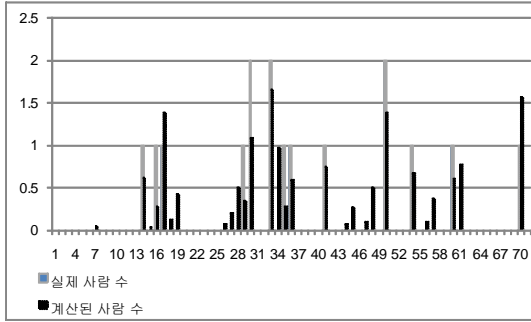


그림 8. 외부에서 내부의 이동하는 사람 수 측정 실험 결과

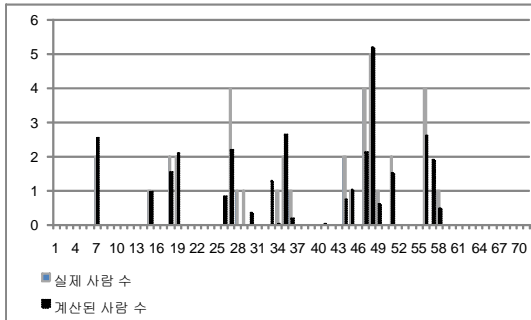


그림 9. 내부에서 외부로 이동하는 사람 수 측정 실험 결과

그래프의 가로축은 실험에 사용된 단위 프레임을 나타내고 있으며 세로축은 가상의 출입구를 통해 이동하는 사람의 숫자와 제안된 방법에 의해 추정된 숫자를 비교하여 나타내고 있다.

제안된 방법의 정확도 측정을 위하여 식 (4)와 같이 이동하는 사람 수 추정 평균 오차를 계산한다.

$$error = \frac{\sum |C_{result} - C_{truth}|}{N} \quad (4)$$

식 (4)에서  $C_{result}$  는 제안된 방법에 의하여 계산된 사람 수이며,  $C_{truth}$  는 실제 사람 수를 나타내고  $N$  은 오차 계산을 위하여 사용된 실험 자료의 수를 의미한다.

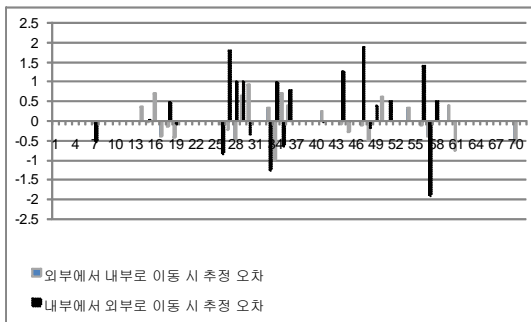


그림 10. 이동하는 사람 수 추정 오차

통로를 이동하는 실제 사람수와 계산된 사람 수의 오차는 그림 10과 같다. 실험에 사용된 영상의 경우 내부에서 외부로 이동하는 사람이 외부에서 내부로

이동하는 사람 보다 많았으며 이로 인하여 내부에서 외부로 이동 시 추정 오차가 외부에서 내부로 이동 시 추정 오차 보다 큰 값을 갖는다. 실험 결과 평균 0.21 명의 사람 수 추정 오차가 발생하였다.

## 6. 결론

본 논문에서는 영상 내에 가상의 출입구를 가정하여 두고, 단위 시간 동안 설정된 출입구를 통하여 이동하는 사람의 숫자를 추정하는 방법을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 방법은 영상의 특징에 기반한 사상함수를 사용하여 사람 수 추정한. 실험 결과 제안된 사람 숫자 추정 방법은 평균 0.21 명의 사람 수 추정 오차가 발생하였다. 이러한 결과를 통해 연속된 영상에서 효과적으로 사람 수를 추정하는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 본 논문에서 제안된 방법은 카메라가 통로의 수직 방향에 위치하지 않아도 이동하는 사람 수를 추정할 수 있기 때문에 다양한 분야에 응용될 수 있다.

## 참고문헌

[1] K. Terada, D. Yoshida and S. Oe J. Yamaguchi, "A Counting Method of the Number of Passing People Using a Stereo Camera," Industrial Electronics Society, 1999. IECON '99 Proceedings. The 25th Annual Conference of the IEEE, Vol. 3, pp.1318-1323

[2] Thou-Ho Chen, Tsong-Yi Chen and Zhi-Xian Chen, "An Intelligent People-Flow Counting Method for Passing Through a Gate," Robotics, Automation and Mechatronics. 2006 IEEE Conference on, pp. 1-6

[3] Ernesto L. Andrade, Scott Blunsden and Robert B. Fisher, "Hidden Markov Models for Optical Flow Analysis in Crowds," Proc. Of the 18<sup>th</sup> International Conference on Pattern Recognition - Vol. 01, pp. 460-463

[4] B. Lucas, T. Kanade, "An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision," Proc. Of 7<sup>th</sup> International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI), pp. 674-679, 1981

[5] Ismail Haritaoglu, David Harwood, and Larry S. Davis, "W4 : Real-Time Surveillance of People and Their Activities," in Proc. IEEE Transactions On Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 22, no. 8, August 2000