

자동적인 위치, 배율 조정 기반의 용의자 계측 프로그램 개발

Application of the height measurement method by Automatic Size, Position Adjustment

*이중, *이용대, *김동욱, **윤도영

*국립과학수사연구소 영상분석실, ** 광운대학교 화공학과

전화:(02)2600-4892 / 팩스: (02) 2600-4719

* Lee Joong , *Lee Eung-Dae , *Kim Dong-Wook, **Youn Do-Young

*National Institute of Scientific Investigation, **Kwang Woon Univ. Chemical eng.

E-mail: ljfirst@nisi.go.kr

Abstract

Over the last few years computer based image processing has become more prominent in forensic science. The image quality from many CCTV systems is too poor for facial recognition. but there are other human characteristics which allow us to recognize individuals from a distance. one of these parameters is a human's height. In this paper, we propose useful height measurement method by auto position, size adjustment which uses image superimposition and edge detection regardless of lens distortion and not uses conventional photogrammetry calibration methods.

선 기법으로 계측하는 방법이 있다. 이러한 방법은 좌표 값 측정시 오차가 발생할 수가 있으며 직관적으로 오차를 확인하기가 어렵다. 다른 방법으로는 실제 촬영된 장소에서 같은 위치에 측정자를 놓아 비교하여 신장을 계측하는 방법이 있으나 이 방법은 동일위치와 배율 조정 등의 문제점이 발생할 수 있다. 한편 1997년 디지털 비디오 레코더(DVR)사업이 소규모적으로 시작된 이래로 근래에는 대부분의 새로 설치되는 감시 시스템은 취약 시간대의 비디오테이프의 교체의 어려움, 빈번한 테이프의 교체, 테이프의 반복사용에 의한 화질저하, 보관과 검색의 용이성 등 여러 원인에 의해 DVR 방식을 채택하고 있다. 그러나 DVR시스템은 생산회사마다 규격이 다르며 또한 실제 캡처영역, 컴퓨터 영상그림의 엘레먼트와 센서 엘레먼트 사이의 변환인자인 카메라 어레이의 수평척도인자(horizontal scale factor)가 각각 달라 동일 위치와 크기를 위치시켜 실제 인물의 위치를 발견하는데 어려움이 있다. 본 논문에서는 아날로그, DVR시스템의 종류에 영향을 받지 않고 쉽게 자동적인 위치, 배율을 조정하여 윤곽선 비교, 중첩비교, 절단 비교 등으로 범인의 신장이나 체형을 계측할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 이 프로그램은 노트북, 케이블 등 간단한 구성요소만으로도 적용이 가능하므로 현장에서 감식을 담당하는 일선 과학수사요원에게도 도움이 될 것으로 생각된다.

1. 서 론

은행이나 공공기관 등 특정 지역에서만 국한되어 설치되었던 감시 카메라(Surveillance Camera)가 최근에는 버스, 음식점, 소매점, 지하철, 도로변 등 일상 생활 공간 상에서 널리 보편화되어 범죄가 발생한 경우 범죄현장, 용의자 또는 중요 증거물이 영상자료로 촬영될 가능성이 점점 높아지고 있다. 그러나 많은 경우 원거리로 카메라 촬영되거나 주위 조명의 부적합 등으로 범인을 식별하기 어려운 경우가 종종 발생한다. 이때 개인 식별을 위한 주요한 요소가 신장이나 체형이다.

신장이나 체형을 계측하는 방법에는 사진계측학(photo grammetry)기법을 이용한 것으로 미리 알고 있는 몇 개의 영상 좌표와 실제 좌표를 가지고 선형 보정이나 비선형 보정을 사용하여 계측하는 방법^{[1][2]}, 투영 기하학과 영상에서 알고 있는 하나의 특정 물체를 이용한 소멸

2. 기존의 사진계측학에서의 계측 방법

카메라 보정(Calibration)은 영상좌표와 실제세계좌표(real world) 점들 사이의 상관관계를 결정하는 과정으로서 정확한 보정이 이루어져야만 영상좌표로부터 정확한 3차원상의 실제 위치를 구할 수 있다. 카메라 보정은 다른 말로 카메라의 내부매개변수(intrinsic parameter)와

외부 매개 변수(extrinsic parameter)을 결정하는 과정이다. 내부매개변수는 카메라와 렌즈자체 특성에 관련된 변수로서 초점거리(focal length), 확대율(scale factors), 렌즈 왜곡(lens distortion)등에 관련된 변수이며 외부매개변수는 카메라의 회전각(rotation angle)과 위치이동(translation)과 같은 카메라와 실세계와의 상관관계를 나타내는 변수이다. 보정에는 많은 방법들이 존재하는데 대체로 선형보정(linear calibration), 비선형보정(nonlinear calibration)과 보정 없이 소멸선(vanishing line)을 이용하여 투영기하학(projective geometry)로 신장을 구할 수 있다.

2.1 선형보정

3차원 실세계 좌표에서 2차원 영상 좌표로의 변환은 렌즈의 왜곡이 무시되면 3x4행렬로 표현 할 수 있다. 이러한 방법은 계산속도가 빠르고 구현이 간단하나 렌즈의 왜곡이 무시되고 중복된 변수들 때문에 좌표값들이 측정잡음에 상당히 민감하다. 기본적인 핀홀(pinhole) 카메라 모델은 그림1과 같다.

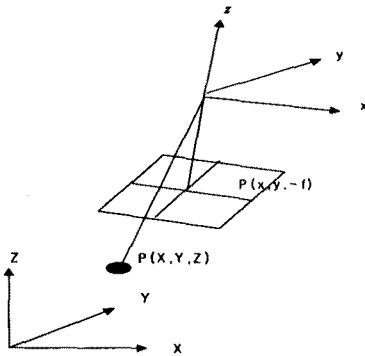


그림 1. 핀홀 카메라 모델

렌즈의 왜곡을 무시하고 수식 전개를 하면 다음과 같다. 우선 실세계 좌표와 카메라 좌표계사이의 관계를 나타내면

$$\begin{bmatrix} hx \\ hy \\ hz \\ h \end{bmatrix} = PRT \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad \text{식(1)}$$

여기서

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & T_x \\ 0 & 1 & 0 & T_y \\ 0 & 0 & 1 & T_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} : \text{변위 변환행렬}$$

$$R = \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 & 0 \\ r_4 & r_5 & r_6 & 0 \\ r_7 & r_8 & r_9 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} : \text{회전 변환행렬}$$

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{f} & 1 \end{bmatrix} : \text{투영 변환행렬}$$

$(X, Y, Z)^T$: 실세계 좌표
 $(x, y)^T$: 카메라 좌표
 h : 동차좌표 변환 계수

$$\begin{aligned} r_1 &= \cos(R_z)\cos(R_y) \\ r_2 &= \sin(R_z)\cos(R_x) + \cos(R_z)\sin(R_y)\sin(R_x) \\ r_3 &= \sin(R_z)\sin(R_x) - \cos(R_z)\sin(R_y)\cos(R_x) \\ r_4 &= -\sin(R_z)\cos(R_y) \\ r_5 &= \cos(R_z)\cos(R_x) - \sin(R_z)\sin(R_y)\sin(R_x) \\ r_6 &= \cos(R_z)\sin(R_x) + \sin(R_z)\sin(R_y)\cos(R_x) \\ r_7 &= \sin(R_y) \\ r_8 &= -\cos(R_y)\sin(R_x) \cos(R_z)\cos(R_x) \\ r_9 &= \cos(R_z)\cos(R_x) \end{aligned}$$

과 같고 이것을 다시 정리하면

$$\begin{bmatrix} hx \\ hy \\ hz \\ h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 & T_x \\ r_4 & r_5 & r_6 & T_y \\ r_7 & r_8 & r_9 & T_z \\ -\frac{r_7}{f} & -\frac{r_8}{f} & -\frac{r_9}{f} & \frac{1-T_z}{f} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad \text{식(2)}$$

와 같다.

식(2)를 다시 확대율(scale factor)과 중점(image center) 변환을 고려하면

$$\begin{aligned} x &= S_x X_u + C_x \\ y &= S_y Y_u + C_y \end{aligned} \quad \text{식(3)}$$

과 같다. 여기서 (C_x, C_y) 는 실제영상중점을 (S_x, S_y) 는 확대율을 나타낸다.

마지막으로 식(2)와 식(3)을 연립하여 풀면

$$\begin{bmatrix} X & Y & Z & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -xX & -xY & -xZ \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X & Y & Z & 1 & -yX & -yY & -yZ \end{bmatrix} \vec{A} = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad \text{식(4)}$$

$$\vec{A} = [A_1 \ A_2 \ A_3 \ A_4 \ A_5 \ A_6 \ A_7 \ A_8 \ A_9 \ A_{10} \ A_{11}]^T$$

에서 기지의 실세계 좌표 6점으로 \vec{A} 를 구할 수 있다.

\vec{A} 를 구한 후 다시 정리하면

$$\begin{bmatrix} A_1 - A_{13}x & A_2 - A_{14}x \\ A_5 - A_{13}y & A_6 - A_{14}y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x - A_4 - (A_3 - A_{15}x)Z \\ y - A_8 - (A_7 - A_{16}y)Z \end{bmatrix} \quad \text{식(5)}$$

이므로 신장을 알고자 하는 사람의 발 좌표를 $Z=0$ 으로 놓고 풀면 (X, Y) 를 알 수 있고 다시 머리의 좌표도 발과 같은 (X, Y) 를 사용하면 다음과 같이 신장이 구해진다.

$$Z = -\frac{(A_1 - A_{13}x)X + (A_2 - A_{14}x)Y + A_4 - x}{(A_3 - A_{15}x)}$$

$$Z = -\frac{(A_5 - A_{13}y)X + (A_6 - A_{14}y)Y + A_8 - y}{(A_7 - A_{15}y)} \quad \text{식(6)}$$

그리고

$$A_1^2 + A_2^2 + A_3^2 = 1 / \frac{1 - T_z}{f}$$

$$A_5^2 + A_6^2 + A_7^2 = 1 / \frac{1 - T_z}{f}$$

$$A_9 = A_2A_7 - A_3A_6$$

$$A_{10} = A_3A_5 - A_1A_7$$

$$A_{11} = A_1A_6 - A_2A_5$$

이 되므로 초점거리와 변위값, 그리고 회전각도는

$$f = -\frac{A_9}{A_{13}} = -\frac{A_{10}}{A_{14}} = -\frac{A_{11}}{A_{15}}$$

$$T_x = \frac{1 - T_z}{f} * A_4$$

$$T_y = \frac{1 - T_z}{f} * A_8$$

$$T_z = \frac{1 - T_z}{f} * A_{12}$$

$$R_y = \sin^{-1}(A_9 * (-\frac{r_8}{f}))$$

$$R_z = \sin^{-1}(-A_4 * (-\frac{r_8}{f}) / \cos(R_y)) \quad \text{식(7)}$$

$$R_x = \sin^{-1}(-A_{10} * (-\frac{r_8}{f}) / \cos(R_y))$$

으로 각각 구해진다.

3. 자동 위치, 배율 조절에 의한 계측 방법

3.1 자동적인 위치, 배율 조정 기법

범행당시 촬영된 원 영상과 현장의 촬영카메라로부터의 캡처된 비교 영상을 얻은 후 1/2배, 1/4배의 다운 샘플링(Down Sampling)을 통해서 낮은 해상도의 영상을 만든다. 에일리어싱(aliasing)을 억제하기 위하여 다운 샘플링을 하기 전에 원 해상도의 영상에 평균필터링(Average Filtering)을 한다. 먼저 현장의 촬영카메라로부터의 비교 영상의 제일 낮은 해상도의 영상에 소벨(Sobel) 필터를 가하여 윤곽선을 추출한 후 미리 정해진 문턱값을 중심으로 이진화를 수행하였다.

이진화 영상을 9등분하여 4귀퉁이 부분에서 윤곽 추출된 원영상의 부분만 대응영상에서 대응점을 찾는다. 대응점을 찾고자 하는 화소를 중심으로 3x3 크기의 창 내의 화소들과 대응점이라고 간주되어지는 화소들을 중심으로 같은 크기의 창내의 화소들간의 유사도를 계산하여 가장 유사도가 큰 값을 갖는 화소를 대응점으로 간주한다. 유사도를 계산하는 방법으로는 화소간의 밝기차를 보는 SSD(Sum of Squared Distance), SAD(Sum of

Absolute Distance), 상관관계를 보는 NCC(Normalized Correlation Coefficient)등 아래와 같이 여러 방법이 있으나

$$SSD(x, y, d) = \sum_w (R_{x,y} - L_{x+d,y})$$

$$SAD(x, y, d) = \sum_w |R_{x,y} - L_{x+d,y}|$$

$$NCC(x, y, d) = \frac{(\sum_w R_{x,y} L_{x+d,y})^2}{\sum_w R(x,y)^2 * \sum_w L(x+d,y)^2} \quad \text{식(8)}$$

$$MPC(x, y, d) = \text{Matching Pixel Count}$$

$$= \sum_w T(x, y, d)$$

$$T(x, y, d) = \begin{cases} 1 & , \text{ if } |R_{x,y} - L_{x+d,y}| \leq Th \\ 0 & , \text{ otherwise} \end{cases}$$

여기서는 다음과 같은 변형된 SSD를 사용하였다.

$$\sum \left(\left(a - \frac{\sum a}{n} \right) - \left(b - \frac{\sum b}{n} \right) \right)^2 = \sum (a-b)^2 - \frac{(\sum a - \sum b)^2}{n}$$

식(9)

여기서 a 와 b 는 중첩된 창 내의 원영상과 비교영상의 1부터 n까지의 화소값이다.

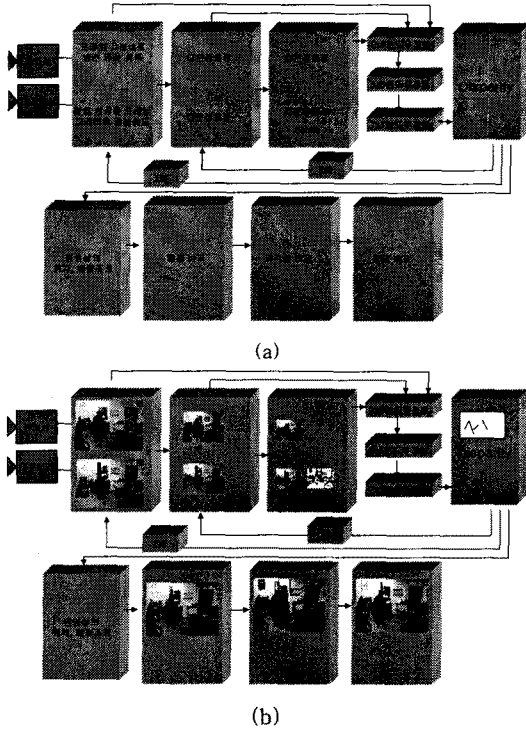
3x3 크기의 창을 이용하여 원 영상으로 비교 영상의 대응점을 찾고 다시 비교영상으로 원 영상의 대응점을 찾아 좌, 우 정합결과 일치 되는 조건(Two View Constraint)을 가하여 변위값을 찾는다. 5x5 크기로 창의 크기를 확대하여 대응되는 화소를 다시 계산하고 7x7크기로 창의 크기를 확대하여 대응되는 화소를 다시 찾아 내는 작업을 하여 각 윈도우의 결과들이 일치하는 점만을 선택한다.

낮은 해상도로 계산된 변위값을 기초로 보다 높은 해상도의 탐색영역과 탐색 범위를 구할 수 있다. 이를 기초로 하여 확대된 영상에서 동일한 정합 방법으로 변위값들을 같은 방식으로 계산한다. 여기서 나온 변위값을 기초로 다시 계산하여 원래 해상도의 영상에서 변위를 찾는다. 이때 최저의 SSD를 찾아 이 변위값을 최종적으로 취한다. 4귀퉁이로부터 계산되어진 변위값으로 최종적인 위치와 배율을 알아내어 원 영상을 계산되어진 위치와 배율로 조정한다.

서로 다른 조명과 카메라 이득으로 인한 영향을 피라미드기법과 다중창(Multi Window)기법으로 감소 시켜 적절한 결과를 도출한다.

일반적으로 변위정보는 색의 변화가 없는 영역 등의 이유로 전체 탐색범위에 고르게 분포되어 있지 않고 배경과 물체의 경계 부분에 많은 정보를 갖고 있다. 이러한 관점에 착안하여 윤곽선을 추출한 후 윤곽선 부근에서만 변위를 계산하므로 계산시간의 단축을 기할 수 있다. 원 해상도의 변위를 구할 때 또한 낮은 해상도에서 계산

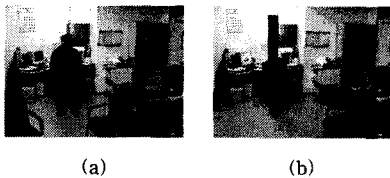
된 변위를 기초로 보다 높은 해상도에서 정합을 수행함으로써 탐색영역을 제한 할 수 있고 탐색범위가 제한됨으로써 전체 탐색보다 오정합에 빠질 확률이 줄어든다. 전체적인 알고리즘의 흐름도는 아래와 같다.



제안하는 알고리즘의 흐름도 a) 흐름도 b) 실제 예

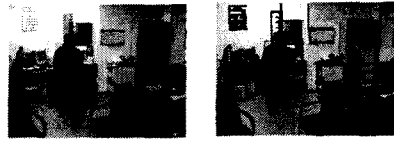
3.2 신장 계측 방법

우선 범행당시 녹화된 범인영상을 영상개선 후 저장한다. 그리고 제안한 신장계측 시스템을 범행현장의 촬영 카메라와 연결 후 각각 프레임의 크기와 배율을 조정하여 일치시킨다. 범인 영상의 외각선을 추출한 후 영상을 중첩하여 계측자를 범인 영상의 발에 정확히 위치시킨 후 신장을 바로 계측한다.



(a)

(b)



(c)

(d)



(e)

(a) 원 영상 (b) 비교영상 (c) 중첩화면
(d) 윤곽선 추출 후 중첩화면 (e) 절단비교화면

(a)는 원래영상 (b)는 대조영상 (c)는 원 영상과 계측자 영상과의 중첩시킨 영상이고 (d)는 원 영상의 윤곽선을 추출 후 계측자 영상과의 중첩 영상이고 (e)는 원 영상과 계측자 영상을 절단 후 비교한 영상이다. 그런데 중첩 영상만으로는 중첩율을 조정하여도 정확한 위치를 알아내기 어렵고 대략적인 위치만을 확인할 수 있으나 윤곽선을 추출 후 중첩시키면 발의 위치와 머리의 위치를 계측자와 정확히 일치시킬 수 있으므로 적은 오차로 신장계측을 할 수 있다. 선형계측의 경우 실험장소의 좌표점 측정시의 오차로 인해 실제의 데이터와 큰 편차를 보이는 것이 존재하나 제안한 방법은 큰 편차를 나타내는 데이터가 존재치 않았다.

4. 결 론

본 논문에서는 야날로그나 DVR이나 상관없이 감시카메라에 시스템을 연결하여 자동적으로 위치와 배율을 조정하여 영상중첩, 윤곽선 비교를 이용하여 정확히 신장을 계측할 수 있는 프로그램을 구현하였다. 기존의 사진계측학을 이용한 방법은 렌즈의 왜곡에 의한 에러와 좌표점 측정시의 에러가 발생되지만 구현한 방법은 시스템 구성이 간단하고 카메라 보정과는 무관하며 오차율도 비교적 우수한 방법을 나타내었다.

참 고 문 헌

[1] S.C. Jensen and L. Rudin, "Measure: An interactive tool for accurate forensic phot/videogrammetry", SPIE volume 2567, page 73-83, 1995
 [2] L. Klasen and O. Fahlander, " Using videogrammetry and 3-d reconstruction to identify crime suspects. SPIE, volume 2942, page 163-169, 1996