

적응형 가중치를 사용한 영상기반 무인 헬리콥터의 Ego-Motion

전재춘, 채희성, 신창완, 김형석
 전북대학교 제어계측공학과

Image-Based Ego-Motion Detect of the Unmanned Helicopter using Adaptive weighting

Jea-Choon Chon, Hee-Sung Chae, Chang-Wan Shin, Hyong-Suk Kim
 Control and Instrument engineering, ChonBuk National University

Abstract -카메라 영상을 통하여 무인 헬리콥터 동작을 추정하기 위해 적응형 가중치를 사용한 새로운 Ego-Motion을 검출 기법을 제안하였다. 무인 헬리콥터 동작 특성은 비선형이며, 심한 진동 발생으로 영상 번짐(blur) 현상이 나타나기 때문에 상관 값만을 고려한 정합 방법으로는 빈번히 오차가 발생한다.

본 논문에서는 가속도, 각 가속도 및 제어입력 값에 의한 위치 추정 값과 상관 값 및 에지 강도를 가중치에 의해 융합하여 정확한 Ego-Motion을 계산할 수 있는 기법을 제안하였다. 또한 무인 헬리콥터의 가속도, 각 가속도, 상하 속도에 따라서 영상의 번짐 정도가 달라 이들 값이 크면 위치오차에 가중을 크게 주고, 작으면 상관 값에 가중치를 적게 주는 적응형 가중치 결정 알고리즘을 적용하였다. 제안한 적응형 가중치 기법을 무인 헬리콥터에 실험한 결과 카메라에 포착된 영상에 의해 무인헬기의 동작을 정확히 추정 할 수 있었다.

1. 서 론

영상을 이용한 무인 헬리콥터의 motion 인식 방법은 진동에 의한 영향이 적기 때문에 다른 기계적 특성에 의하여 인식되는 센서들 보다 성능이 우수하다. 헬리콥터의 기술여짐을 인식하는 유체센서는 진동에 의하여 출력 값이 편이 되어 출력되며, 가속도, 각 가속도에 민감하게 반응하는 문제점이 있다[1]. 가속도, 레이트 자이로는 헬리콥터의 미세 움직임을 인식 해야 하므로 센서가 민감해야 되지만 헬리콥터 동체의 진동에 의한 noise를 분리 하기가 어렵다[2].

카메라 동작은 회전,이동 으로 표현되어 6개의 특징 점을 알고 있으면 motion을 구할 수 있다. 그러나 6개의 특징 점을 정확하게 정합 할 수 있다는 보장이 없기 때문에 여러 개의 특징 점을 고려한 동작 추정 방법(RMS)이 사용되고 있다[3][4][5][6]. 카메라의 회전 인자를 선형화 하는 방법은 카메라가 회전 중심에서 멀리 위치되어 있으면 실제 motion과 다른 값을 얻을 수 있으므로[3], 카메라 동작이 선형식으로 유도되는 방정식을 이용하는 연구도 있었다[4][5][6].

System motion을 인식은 하기 전에 가장 중요한 것은 특징 점을 정확하게 정합 하는 일이다. System이 안정적이며, 움직입이 작다면 상관 값을 고려한 알고리즘으로도 해결 할 수 있으나 매우 불안정한 무인 헬리콥터 경우 정합 오류가 많이 발생 한다. 이 논문에서는 상관정합 방법에 위치 추정오차를 추가하여 정합을 시도 하였으며, 특히 가중치가 적응적으로 변화 할 수 있게 하였다.

2. 3D Camera Motion의 영상 투영

카메라가 평면을 운동하는 가정하에 그림1같이 좌표축을 설정 하였다. 카메라 초점(f_c) 위치는 O_c 이며, 헬리콥터의 무게 중심은 O_h 이다. 평면상의 점 $R=[X Y Z]^T$ 은 헬리콥터

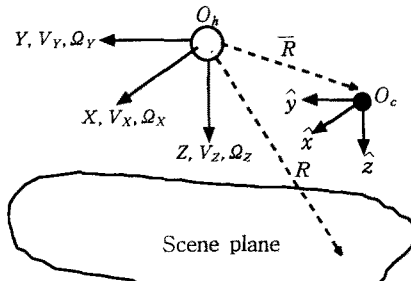


그림 1. 헬리콥터 CCD 카메라 좌표

무게중심으로부터 $\bar{R}=[\bar{X} \bar{Y} \bar{Z}]^T$ 에 부착된 영상 점 $r=[x y -f_c]^T$ 은 다음 공식으로 투영된다.

$$r(Z-\bar{Z})=f_c(R-\bar{R}) \tag{1}$$

Image 상에서 motion $\dot{r}=[\dot{x}, \dot{y}]^T$ 은 (1)식으로부터 유도되며, scene motion 값은 $R=V+\Omega\wedge R$ 로 표현된다.

$$\dot{r}(Z-\bar{Z})=-rV_z+f_cV-r\Omega\wedge R\cdot\hat{z}+f_c\Omega\wedge R \tag{2}$$

여기서, V 는 속도 $[V_x V_y V_z]^T$, Ω 는 각 속도 $[\Omega_x \Omega_y \Omega_z]^T$ 이다. (2)식을 x, y 축으로 분리하여 표현하면

$$\begin{aligned} \dot{x}(Z-\bar{Z}) &= f_c V_x - x V_z - \{xy(Z-\bar{Z})/f_c + X\bar{Y}\}\Omega_x + \{x^2(Z-\bar{Z})/f_c \\ &\quad + xX - f_c(Z-2\bar{Z})\}\Omega_y - \{x(Z-\bar{Z}) + f_cX\}\Omega_z \\ \dot{y}(Z-\bar{Z}) &= f_c V_y - y V_z - \{y^2(Z-\bar{Z})/f_c + y\bar{Y} + f_c(Z-2\bar{Z})\}\Omega_x + \\ &\quad + \{xy(Z-\bar{Z})/f_c + yX\}\Omega_y + \{y(Z-\bar{Z}) + f_cY\}\Omega_z \end{aligned} \tag{3}$$

이 된다. 무인헬리콥터 운동 특성은 V 대하여 $\Omega_x \approx 0, \Omega_y \approx 0$ 이므로 Scene 평면 단위벡터 $\hat{N}=[0 0 1]^T$ 으로 설정되어 각 특징 점에 대한 Z Update 공식이 필요가 없으므로 (3)식은

$$AP=B \tag{4}$$

으로 표현 할 수 있다.

$$\text{여기서, } A = \begin{bmatrix} -f_c & 0 & x_i & y_i(Z-\bar{Z})-f_c\bar{Y} \\ 0 & -f_c & y_i & x_i(Z-\bar{Z})+f_c\bar{X} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} \dot{x}_i(Z-\bar{Z}) \\ \dot{y}_i(Z-\bar{Z}) \\ \vdots \end{bmatrix}$$

$P=[V_x V_y V_z \Omega_z]^T$ 이며, $A=2N \times 4, P=4 \times 1, B=2N \times 1$ 행렬, $i=1, 2, \dots, N, N$ =특징 점의 정합 수이다.

3. 적응형 가중치에 의한 Ego-Motion 결정

영상에서의 정합강도 결정은 주로 상관정합을 사용하지만, 카메라 진동으로 인해 영상 왜곡이 심한 경우에는 오히려 위치 추정 값이 더 정확성을 갖는다. 이 논문에서는 상호 상관 정합과 위치추정에 의한 결과를 가변형 가중치에 의해 융합하여 optical flow를 결정하는 방법을 사용 하였다. 헬리콥터 Ego-Motion을 구하는 과정은 그림2에서와 같으며 중요한 내용은 다음과 같다.

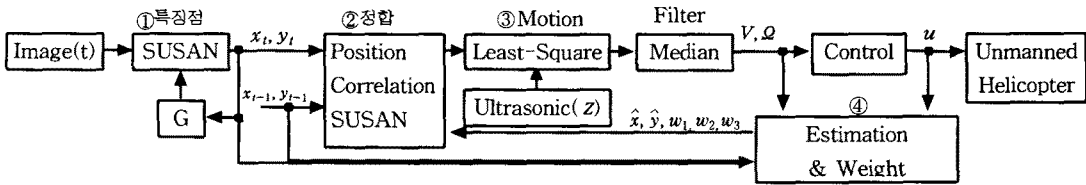


그림 2. 헬리콥터 ego-motion 흐름도

① 특징 점 검출

영상의 특징 점을 검출하기 위해 SUSAN 알고리즘을 적용 하였다(7)(8). 특징 점 숫자를 원하는 범위 내로 선택하도록 SUSAN에서 필요로 하는 Threshold 값을 가변 하도록 한다. 이 가변 방법은 특징 점이 많은 지역에서 적은 지역으로 이동할 때 G값을 변화하여 특징점 수를 원하는 범위 내로 얻어내는 일을 한다.

② 정합 강도계산

카메라에 근접한 물체가 빠르게 움직이거나, 카메라에 진동을 많이 주면 영상의 번짐(blur)현상이 발생한다. 번짐 정도는 진동의 강약에 따라 달라지기 때문에 한 영상 내의 물체 형상이 이전 영상내의 물체 형상과 달라 보이게 된다. 이 경우 영상들간의 물체 이동 벡터(optical flow)계산을 상관정합방법에만 의존한다면 에러가 많이 발생하게 된다. 본 연구에서는 위치추정 값을 고려하여 정합 하여 이 문제를 완화 하였다. 물체에 대한 3차원 공간의 이동 속도벡터는 속도, 각 속도 및 가속도, 각 가속도 P_t, \dot{P}_t 값과 제어 입력 값을 이용하여 추정 할 수 있다.

$$\hat{P}_t = P_{t-1} + k_1 \dot{P}_{t-1} + k_2 U_{t-1} \quad (5)$$

여기서, $U = [u_{roll} \ u_{pitch} \ u_{power} \ u_{yaw}]^T$, u_{roll} = roll 서보 모터, u_{pitch} = pitch 서보 모터, u_{power} = 엔진 제어 서보 모터, u_{yaw} = tail rotor 제어 서보 모터, k_1, k_2 = 비례상수를 뜻한다. 위치 추정 $\hat{x}_{t,i}, \hat{y}_{t,i}$ 는 (4)식을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{x}_{t,i} &= x_{t-1,i} + \frac{f_c \sqrt{V_x} - x_{t-1,i} \sqrt{V_x} - (y_{t-1,i} - Z_{t-1}) \sqrt{V_x} + f_c \sqrt{V_x} \Omega_z}{Z_{t-1} - Z} \\ \hat{y}_{t,i} &= y_{t-1,i} + \frac{f_c \sqrt{V_y} - y_{t-1,i} \sqrt{V_y} + (x_{t-1,i} - Z_{t-1}) \sqrt{V_y} + f_c \sqrt{V_y} \Omega_z}{Z_{t-1} - Z} \end{aligned} \quad (6)$$

이식에 \hat{P}_t 를 대입하면 영상에서의 물체 이동벡터를 구할 수 있다. 여기서 추정 위치와 실제 위치의 차를 이용하여 추정 정확도 Cl_{ij} 로 나타내면

$$Cl_{ij} = 1 - \frac{\sqrt{(x_{t,i} - \hat{x}_{t,i})^2 + (y_{t,i} - \hat{y}_{t,i})^2}}{MaxD}$$

이 된다. 여기서, $MaxD$ 는 영상 Frame사이에 optical flow 벡터가 최대로 이동 할 수 있는 값이다. 따라서 optical flow 신뢰 값 E는 상호 상관 값, 위치 추정의 정확도 및 SUSAN에 의한 에지 강도를 융합하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E_{ij} = w_1 Cl_{ij} + w_2 C_{ij} + w_3 S_{ij}$$

여기서, w_1, w_2, w_3 는 가중치, C는 상관 값, S는 에지 강도를 뜻하며, i 는 현재 검출된 특징점 수, j 과거에 검출된 특징점 수를 뜻한다.

③ Least-Square를 이용한 P 계산

Least-square방정식 $P = (A^T A)^{-1} A^T B$ 이용하여 P를 구할 수 있으며(4)(5)(6), 이 과정에서 필요로 하는 헬기 높이 Z값은 초음파 센서로 받아 들여 이용한다.

④ 가중치 결정 알고리즘

헬기 자체는 심한 Noise를 발생하므로 P값을 Median 필터링 하여 P_t 를 얻은 후 $x_{t,i-1}, y_{t,i-1}$ 와 함께 (6)식에 대입하면 보정된 특징 점들의 위치 $\hat{x}_{t,i}, \hat{y}_{t,i}$ 얻을 수 있다. σ 를 특징 점들의 실제 위치와 보정 위치간 차이 합이라고 하면

$$\sigma = \sum_{i=1}^N \sqrt{(x_{t,i} - \hat{x}_{t,i})^2 + (y_{t,i} - \hat{y}_{t,i})^2} / (N \cdot MaxD)$$

이 된다.

여기서, $MaxD$ 는 설정 위치 오차거리이다. σ 값이 작으면 특징 점들의 정합이 잘되어 신뢰성 있는 P값이 구해 진 것을 뜻한다. 그런데 추정 값은 모든 특징 점에 공통으로 적용되므로 추정 값에 오차가 포함되면 특징 점들의 위치 추정에 광범위한 오차를 유발하여 σ 값이 커지게 하는 주요 원인이 된다. 이 경우에는 추정의 정확도 CI에 대한 가중치 값을 줄여야 되므로 (1-o)에 비례하는 가중치를 갖게 하였다. 또한 영상의 왜곡은 가속도 및 각 가속도에 비례하며, 물체와 카메라간의 거리변화 속도는 초점의 불일치를 일으켜 영상을 왜곡 시키는 요인이 된다. 이 요인들이 발생하면 상관 값의 신뢰도가 떨어 져야 하며, 이 관계를 이용하여 위치 추정 값, 상호상관 값 및 에지 강도에 대한 가중치 인자 (w_1, w_2, w_3) 계산은 다음과 같다.

$$w = k_3(1 - o)(|\hat{P}_{t+1}| + |V_z|)$$

$$w_1 = (\alpha + w)/s, \quad w_2 = (\beta - w)/s, \quad w_3 = (\gamma - w)/s \quad (7)$$

여기서, s는 $\alpha + \beta + \gamma - w$ 이고, α, β, γ 는 각각 위치, 상관, edge의 기본 설정 가중치이며, k_3 는 비례상수 이다.

4. 실험 및 검토

무인헬기의 동작을 카메라 영상을 이용하여 추정하기 위하여 무인헬기에 CCD 카메라를 장착 하였으며, 유선으로 330MHz의 펜티엄 PC를 이용하여 처리 하였다. 영상은 160 x 120 해상도를 갖게 하였으며, 1초당 17프레임을 처리하게 하였다. 또한 카메라의 초점거리 f_c 는 2.54cm 였으며, 무인 헬기 무게 중심으로부터 카메라 위치 \bar{R} 은 (3 -10 15)cm 였다. 실험에 사용한 기본 가중치 [$\alpha \ \beta \ \gamma$]는 (4 8 2)였으며, 비례상수 [$k_1 \ k_2 \ k_3$]는 (0.5 0.01 1)로 설정 하였다.

카메라를 실내 환경에서 수동으로 움직일 때 얻은 영상(사진 1 (a)(c))과 무인 헬기에 장착한 카메라에서 얻은 영상(사진 1 (c)(d))에 대해서 기존의 상관 정합만을 사용한 optical flow는 사진 1 (a) 및 (c)와 강고 제한한 적응형 가중치를 적용한 경우는 사진 1(b) 및 (d)와 같다. 상관 값만을 이용한 사진 1 (a)(c)에서는 optical flow가 균일하지 않음을 보여주는데, 이것은 정확하게 추정되지 않은 특징 점들이 많은 것을 의미한다. 반면 제한한 적응형 가중치 기법을 적용한 결과는 수동 이동이나 헬기장착에 무관하게 잘 추정된 optical flow를 보여 준다. 정확한 optical flow가 구해지면 Ego-Motion은 ③과정의 Least-Square 과정을 통하여 구할 수 있다.

그림3 은 무인헬기에 장착한 카메라로부터 무인헬기의 Ego-Motion을 12초 동안 보여주고 있다. 여기서 가는 선은 기존의 상호 상관 법에 의한 추정 결과이고, 굵은 선은 제한한 알고리즘에 의한 Ego-Motion이다. 무인헬기가 정상 운항 중에는 자체의 무게 때문에 초당 수회의 속도 변화를 할 수 없다는 특성을 고려하면 작은 ripple들은 에러임을 의미한다.

상호 상관 법에 의한 결과 그래프에서 많은 ripple이 나타나 는 반면 제한한 알고리즘의 결과에서는 부드러운 보이는 것은 제한한 방법이 보다 믿음만한 값을 제공함을 알 수 있다. 또한 특징 점들의 추정 위치와 보정 위치간의 차이 합 σ 값에 있어서도 제한한 알고리즘이 훨씬 작은 값을 보여 주는데, 이

것은 특징 점들이 optical flow가 전반적으로 균일하게 구해 지고 있음을 의미한다.

5. 결 론

카메라에 이용하여 무인헬기의 동작을 추정하기 위해 적응형 가중치를 사용한 Ego-Motion 검출기법을 소개 하였다. System이 안정적이며, 움직임이 작다면 상관 값을 이용하여 Ego-Motion을 문제가 없으나 카메라 이동 속도가 변하는 경우에는 영상의 빈집 상태 변화로 인한 프레임간의 동일 특징 점들의 정합이 어려워 진다. 이 경우 가속도, 각 가속도와 제어입력 값에 의한 위치추정 값과 상호 상관 값 및 예지 강도 등을 가중치에 의해 융합하여 정확한 optical flow 구하는 방법을 제안 하였다. 제안한 알고리즘을 수동으로 움직인 카메라의 동작과 무인 헬기에 장착한 카메라의 동작 추정 실험에 적용 하였는데, 기존의 상관 값을 이용한 방법에 비해 정확하고 안정적인 결과를 얻을 수 있었다.

향후 무인헬기의 동적인 특성을 고려하여 Ego-Motion을 추정하면 보다 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있을 것이므로 이에 대한 연구가 계속 되어야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김봉수, 김형석, "헬리콥터 자세 제어를 위한 액체균형센서의 특성 연구," 대한전기학회 하계학술대회 논문집, Vol. B, pp.597-599, 1997
- [2] 채희성, 전재춘, 김봉수, 김형석, "Fuzzy 규칙을 사용한 무인헬리콥터 호버링 제어," 대한전기학회 하계학술대회 논문집, Vol. B, pp. 525-527, 1998
- [3] QINTEN ZHENG, "Automatic Feature point Extraction and Tracking in Image Sequences for Arbitrary Camera Motion," International Journal of computer vision, Vol. 15, pp. 31-76, 1995
- [4] H.C Longuet-Higgins, "Visual Ambiguity of a Moving Plane," Proc. Royal Society of London B, vol. 223, pp. 165-175, 1984
- [5] D. W. Murray & L. S. Shapiro, "Dynamic Updating of planar Structure and Motion: The Case of Constant Motion," Computer Vision & Image Understanding, vol. 63, No. 1, pp. 169-181, 1996

[6] Wendong Wang & James H. Duncan, "Recovering the Three-Dimensional Motion and Structure Image Flow," Computer Vision & Image Understanding, vol. 63, No. 3, pp. 430-446, 1996

[7] S.M. Smith and J. M. Brady, "Real-Time Motion Segmentation and Shape Tracking," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 17, No. 8, 1995

[8] S.M. Smith and J.M. Brady, SUSAN- A New Approach to Low Level Image Processing, Technical Report TR95SMS1c, 1995

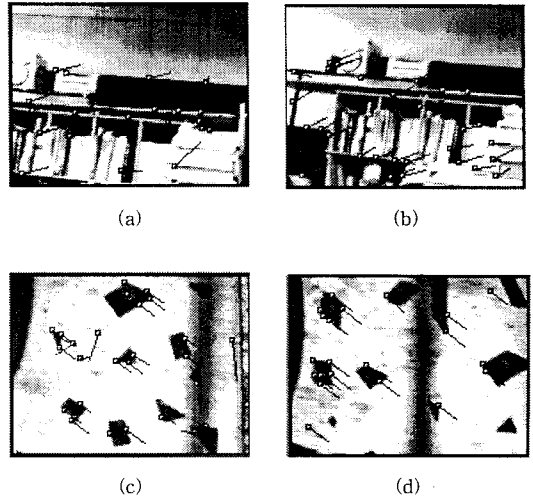


사진. 1. (a)(b):실내에서의 손으로 움직인 카메라 optical flow, (c)(d): 헬리콥터에 장착한 카메라의 Optical Flow. (a)(c):상관 정합만 사용한 결과, (b)(d):적용형 가중치 적용한 결과

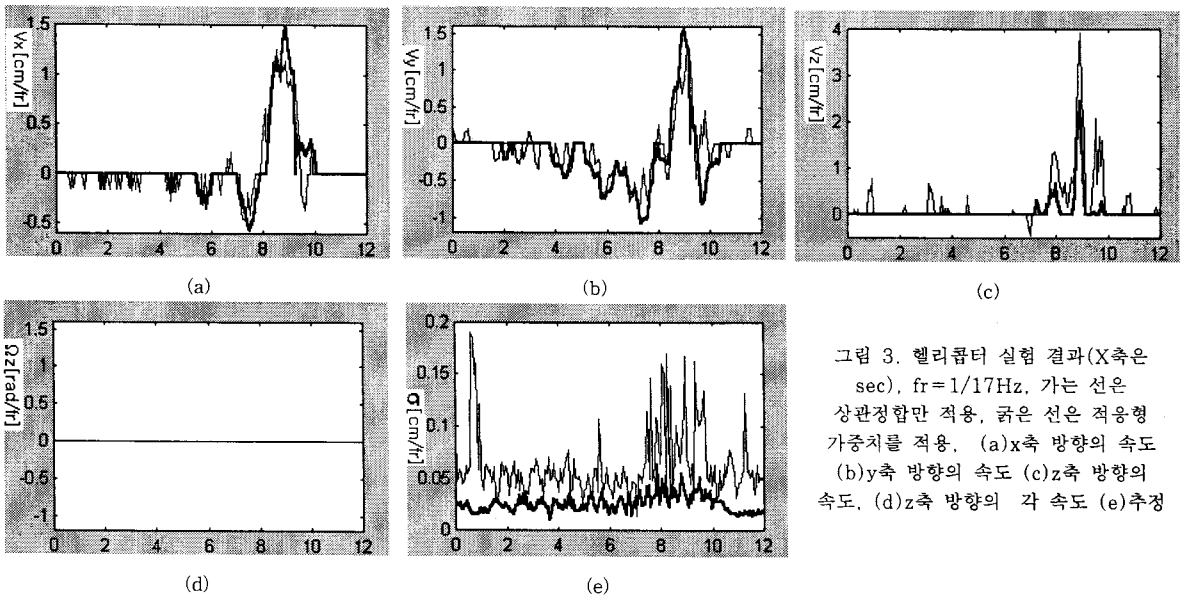


그림 3. 헬리콥터 실험 결과(X축은 sec), $f_r = 1/17\text{Hz}$, 가는 선은 상관정합만 적용, 굵은 선은 적용형 가중치를 적용, (a)x축 방향의 속도 (b)y축 방향의 속도 (c)z축 방향의 속도, (d)z축 방향의 각 속도 (e)추정