

복잡한 환경에서 파티클 필터를 이용한 자율이동로봇의 사람추적방법

권호상 김영중 임요택
고려대학교 전기공학과

Person Tracking with a Mobile Robot using Particle Filters in Complex Environment

Ho-sang Kwon, Young-Joong Kim, Myo-Taeg Lim
Department of Electrical Engineering, Korea University

Abstract - This paper presents a method that a mobile robot can track persons in complex environment using particle filters. The topic of person following using mobile robot is researched in many different areas. The main problems of following a person are real time constraint, motion change of person during the tracking and occlusion with other objects. We present appearance adaptive models in a particle filter to realize robust visual tracking algorithm. Adaptive appearance model can handle occlusion with other people while target is moving.

1. 서 론

로봇의 활용범위가 넓어짐에 따라 서비스분야에 대한 로봇이용이 관심을 끌고 있다. 로봇연구의 목표 중 하나는 로봇이 일상의 환경에서 동작하게 만드는 것이다. 즉 인간에게 서비스를 제공하는 방향으로 연구되고 있다 [16]. 서비스 분야에 로봇을 이용하기 위해서는 로봇의 사용법에 대해 친근하지 않은 사람들도 자유롭게 쓸 수 있게 해야 한다. 이러한 목표로 자율이동로봇을 서비스분야에 이용하는 연구가 많이 진행되고 있다. 대표적인 연구로 사람을 따라가는 방법에 대해 많은 연구가 되고 있다 [1]. 복잡한 환경에서 작동하기 위해서는 로봇동작 중에 일어나는 여러 외란에 대해 영향을 받지 않아야 한다. 기존의 연구는 사람이 입고 있는 옷의 색깔을 이용하는 방법이 있다 [2]. 이외에 사람을 따라가는 기법은 다양하다 [9], [12].

물체추적방법은 크게 결정적 접근 [3]과 확률적인 접근 방법 두 가지로 나눌 수 있다 [8]. 결정적 접근방법은 보통 최적화 문제로 귀결된다. 다시 말해 비용함수를 최소화하거나 적합한 값을 찾는 문제이다 [3]. 확률적인 접근방법은 추정문제로 귀결된다. 즉 시계열상태공간모형을 위한 상태를 추정하는 것이다. 과거에는 확률적인 접근방법으로 칼만 필터를 이용하였다 [4], [5]. 그러나 최근에는 비선형적이고 비가우시적인 경우에 대해 모델링할 수 있는 Sequential Monte Carlo(SMC) 알고리즘이 쓰인다 [6], [7]. 컴퓨터영상분야에서는 파티클 필터를 이용하여 영상정보에 대해 물체추적을 하는 알고리즘들이 많이 나오고 있다 [8]. 자율이동로봇분야에서는 파티클 필터를 이용하여 로봇의 위치인식에 이용한다 [9]. 본 논문에서는 컴퓨터영상분야에서 쓰이는 방법 [14]을 영상기반 자율이동 로봇에 알맞게 변형하여 적용하였다.

기존에 로봇을 이용한 사람추적 방법의 문제점은 물체 겹침이 일어났을 때 추적 중인 사람을 놓치는 경우가 발생한다. 물체 겹침을 처리하는 방법으로는 다음과 같은 방법들이 있다. 첫번째 방법은 JPDAF(Joint Probabilistic Data Associative Filter)방법을 이용하는 것이고 [10], [11], 두번째 방법은 로버스트 통계량 방법 [13]을 이용하는 것이다. 본 논문에서는 로버스트 통계량 방법을 사용한 상

황적응모델(Appearance Adaptive model)을 사용하는 방법을 제안하였다.

본 논문은 다음과 같은 구성으로 되어있다. 2.1절에서 파티클 필터에 대해 서술했으며 2.2절에서는 상태추이모델에 대해 서술하였다. 2.3절에서는 로버스트 통계량방법을 통해 물체 겹침이 발생했을 때 그것을 해결하는 방법을 제안하였으며 2.4절에서 실험결과에 대해 서술하였고 마지막으로 3절에서 결론을 서술하였다.

2. 본 론

2.1 파티클 필터

본장에서는 사람을 추적하기 위해 파티클 필터를 사용하여 상태추이모델을 근사화한 모델로 물체의 움직임을 예상하고 추적해나간다.

2.1.1 일반적인 파티클 필터

파티클 필터 [6]는 모르는 상태 θ_t 를 관찰결과 $Y_t = \{Y_1, \dots, Y_t\}$ 를 이용하여 추정하는 기법이다. 파티클 필터를 이용하여 물체의 움직임을 예상하고 추적해나간다.

$$\text{상태추이모델} : \theta_t = F_t(\theta_{t-1}, U_t) \quad (1)$$

$$\text{관찰모델} : Y_t = G_t(\theta_t, V_t) \quad (2)$$

여기서 U_t 는 시스템노이즈이고 F_t 는 운동특성을 나타낸다. V_t 는 관찰노이즈를 나타내고 G_t 는 관찰자를 모델한다. 식(1) 상태추이모델은 상태추이확률 $p(\theta_t | \theta_{t-1})$ 에 의해 표현되고 식(2) 관찰모델은 가능성함수 $p(Y_t | \theta_t)$ 에 의해 표현된다. 파티클 필터는 가중치가 적용된 파티클들의 집합 $S_t = \{\theta_t^{(j)}, w_t^{(j)}\}_{j=1}^J$ 을 이용하여 입력되는 영상 프레임의 확률밀도함수 $p(\theta_t | Y_{1:t})$ 의 근사치를 구하는 것이다. 즉 필요한 확률밀도함수를 $\sum_{j=1}^J w_t^{(j)} = 1$ 로 정규화 되는 가중치가 적용된 랜덤 샘플들의 집합으로 표현한다. 시간 t 에서의 실제 이산추정값은 다음 식(3)으로부터 구해진다.

$$p(\theta_t | Y_{1:t}) \approx \sum_{j=1}^J w_t^{(j)} \delta(\theta_t - \theta_t^{(j)}) \quad (3)$$

이때 가중치는 중요샘플링(Importance Sampling :IS) [6]의 성질을 이용하여 정해진다. 샘플들 $\theta_t^{(j)}$ 은 중요 밀도(Importance Density) $q(\theta_t | Y_{1:t})$ 에 의해 그려질 수 있으며 식(3)의 가중치는 다음과 같이 정의된다.

$$w_t \propto \frac{p(\theta_t | Y_{1:t})}{q(\theta_t | Y_{1:t})} \quad (4)$$

전체적인 알고리즘은 $p(\theta_{t-1} | Y_{1:t-1})$ 에 의한 가중치가 적용된 샘플집합 $S_{t-1} = \{\theta_{t-1}, w_{t-1}^{(j)}\}_{j=1}^J$ 을 같은 가중치를 적용하여 다시 샘플링하여 새로운 샘플집합 $\{\theta_t^{(j)}, 1\}_{j=1}^J$ 로 만든다. 그런 다음 U_t 를 위한 집합 $\{U_t^{(j)}\}_{j=1}^J$ 을 그려서 샘플들은 추정하고 $\theta_t^{(j)}$ 를 식(1)에서 구한다.

$$Z_t = A_t + V_t \quad (5)$$

Z_t 는 Y_t 에서 추적하길 원하는 이미지들이다. 전달된 이미지 $Z_t^{(j)}$ 을 계산한다. 가중치를 갱신하고 앞의 과정을 반복한다. 파티클 필터의 목적은 샘플들을 순환적으로 전달하고 가중치를 추정하는 것이다.

2.1.2 상태추이모델의 근사화

상태추이모델은 영상기반 자율이동로봇에서 영상 프레임들 사이의 모션의 변화를 나타낸다. 물체의 운동을 정확히 나타내는 모델을 쓰는 것이 이상적이나 실제로는 근사화모델이 쓰인다. 근사화모델은 식(6)와 같이 상황 모델(Appearance model)[15]을 변형한 상황적응모델을 쓴다.

$$\theta_t = \bar{\theta}_{t-1} + \nu_t + U_t \quad (6)$$

이때 추정상태 $\bar{\theta}_t$ 는 최소평균제곱오차추정값으로 다음과 같이 표현된다.

$$\bar{\theta}_t = \theta_t^{mmse} = E[\theta_t | Y_{1:t}] \approx J^{-1} \sum_{j=1}^J w_t^{(j)} \theta_t^{(j)} \quad (7)$$

ν_t 는 모션벡터에서 예상되는 움직임이다.

$$\nu_t = \theta_t - \bar{\theta}_{t-1} \quad (8)$$

U_t 는 다음과 같은 $U_t = R_t * U_0$ 정했다.

$$R_t = \max(\min(R_0 \sqrt{\varepsilon_t}, R_{\max}), R_{\min}) \quad (9)$$

R_t 는 노이즈범위를 나타내고 이 함수는 에러 ε_t 의 함수로 나타내어진다. 이때 에러 ε_t 는

$$\varepsilon_t = \mathcal{O}(Z_t, A_t) = \frac{2}{d} \sum_{j=1}^J \left(\sum_{i=1}^d m_{i,j}(t) \rho \left(\frac{Z_{i,j}(t) - \mu_{i,j}(t)}{\sigma_{i,j}(t)} \right) \right) \quad (10)$$

로 표현된다. R_t 가 적은 값이면 빠른 물체를 추적하기 어렵고 값이 크면 계산량이 많아진다. 따라서 노이즈 분산 R_t 에 따라 이미지에서 관심있는 파티클수 J_t 가 식(11)에 의해 결정된다.

$$J_t = \frac{J_0 R_t}{R_0} \quad (11)$$

2.2 사람추적 중 외란처리

사람추적 중 만나는 대표적인 외란은 물체 겹침이다. 물체 겹침이 발생되었을 때 이상값이라 볼 수 있는 큰 이미지 변화가 생긴다는 것을 가장하였다. 이상픽셀은 기본적인 과정으로는 설명되어질 수 없다. 따라서 이상픽셀의 영향을 줄여주는 방향으로 접근하기 위해 식(12)을 사용한다.

$$\bar{\rho}(x) = \begin{cases} \frac{1}{2} x^2, & \text{if } |x| \leq c \\ cx - \frac{1}{2} c^2, & \text{if } |x| > c \end{cases} \quad (12)$$

x 는 단위분산과 이상값 변화율을 조정하는 상수 c 에 의해 정규화 되어있다. c 의 값은 실험에 의해 $c=1.3$ 으로 정하고 $|x| > c$ 인 픽셀을 이상픽셀이라 판단하고 실험하였다. 이상픽셀의 수 d_{out} 가 문턱치를 넘으면 ($d_{out} > \lambda d$) 물체 겹침이라고 판단한다. 이때 λ 값은 자율이동로봇을 이용한 실험에 의해 $\lambda=0.2$ 로 설정한다. 물체 겹침이 발생되었다고 판단하면 근사화 모델 갱신을 중단하고 $\nu_t=0$, $R_t=R_{\max}$, $J_t=J_{\max}$ 로 설정하여 진행된다. 전체적인 과정을 정리하면 다음과 같다.

1. Initialize a sample set $S_0 = \{\theta_0^{(j)}, 1/J_0\}_{j=1}^{J_0}$ according to prior $p(\theta_0)$.
2. Initialize the appearance model A_1 .
3. Set $OCC_{FLAG} = 0$ to indicate no occlusion
4. For $t=1, 2, \dots$, if $OCC_{FLAG} = 0$, then calculate the state estimate $\bar{\theta}_{t-1}$ by Eq.(7), the adaptive velocity ν_t by Eq.(8), the noise variance R_t by Eq.(9), and the particle number J_t by Eq.(11); otherwise $R_t = R_{\max}$, $J_t = J_{\max}$, $\nu_t = 0$.
5. For $j=1, 2, \dots, J_t$, draw the sample $U_t^{(j)}$ for U_t with variance R_t .
6. Construct the sample $\theta_t^{(j)} = \bar{\theta}_{t-1} + \nu_t + U_t^{(j)}$ by Eq.(6)
7. Compute the transformed image $Z_t^{(j)}$.
8. Update the weight using $w_t^{(j)} = p(Y_t | \theta_t^{(j)}) = p(Z_t^{(j)} | \theta_t^{(j)})$ and go to step 5 until $j=J_t$.
9. Normalize the weight using $w_t^{(j)} = w_t^{(j)} / \sum_{j=1}^{J_t} w_t^{(j)}$.
10. Set OCC_{FLAG} according to the number of the outlier pixels in \bar{Z}_t .
11. If $OCC_{FLAG} = 0$ then update the appearance model A_{t+1} using \bar{Z}_t .
12. Go to step 4

2.3 자율이동 로봇과 카메라를 이용한 실험

실험에는 Activmedia사의 Pioneer2-AT 로봇이 사용되었고 펜티엄4 2.8GHz와 512램 메모리를 가진 컴퓨터가 쓰였다. CCD 카메라를 통해 입력된 영상 데이터를 가지고 물체추적을 하게 되는데 입력되는 영상데이터(640x480 픽셀)양이 너무 크기 때문에 처리시간이 오래 걸린다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 입력되는 영상데이터의 크기를 320x240 픽셀로 줄여 실험하였다. 이때 그 레이영상의 명암도를 이용하여 빛의 영향에 강인한 시스템을 구현하였다.

서비스 분야에 로봇이 쓰이기 위해서는 여러 외란에

강인해야 한다. 여러 외란 중 물체 겹침이 발생했을 때 목표물을 놓치지 않고 추적해 나가는 실험을 하였다. 그림.1 (a)는 사람이 이동 중 아무런 외란의 영향이 없을 때 결과이다. 실험결과 추적 중인 사람이 복잡한 환경에서 움직이고 추적 중에 사람의 행동변화가 있을 때 잘 추적하는 것을 볼 수 있다. 그림.1 (b)는 사람추적 중 사람과의 겹침 현상이 발생했을 때에 대한 실험이다. 실험결과 추적 중인 사람과 물체 겹침이 일어났을 때 2.2절에서 제시한 알고리즘을 이용하여 물체 겹침을 극복하는 모습을 보였다. 기존의 방법으로는 추적 중인 사람과 비

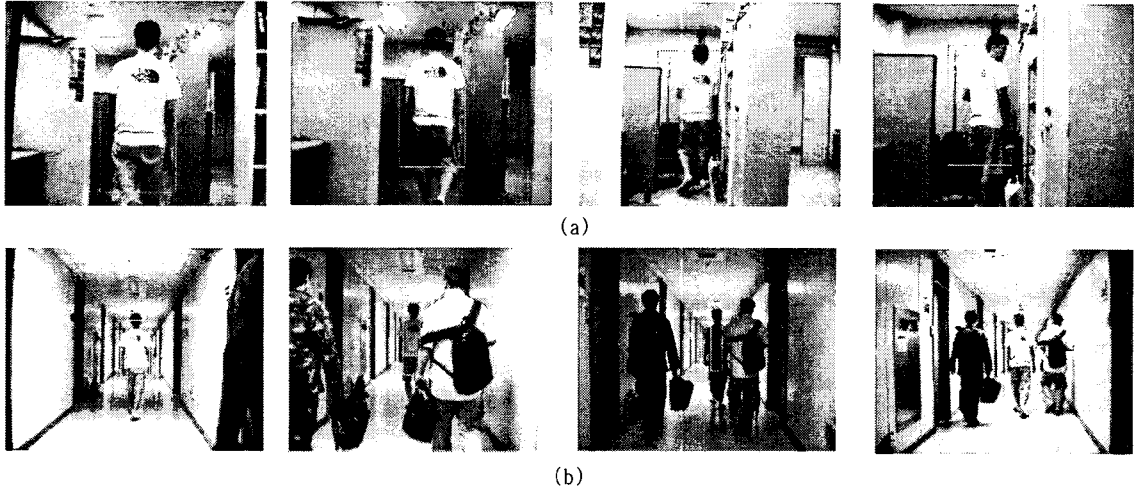


그림 1. (a) 일반적인 상황에서 사람 추적, (b) 사람과의 겹침이 일어났을 때 사람 추적

슷한 모습의 겹침이 일어나면 추적 중인 물체를 놓쳤다 [2]. 그러나 본 논문에서 제시한 방법으로 실험한 결과를 보면 사람 추적 중 주위 사람과 겹침이 발생하여 그로 인해 추적영역이 줄어들었지만 물체를 놓치지 않고 정확하게 추적하는 것을 보였다.

3. 결 론

본 논문에서는 영상기반 자율이동로봇을 이용하여 사람을 따라가는 방법에 대해 설명하였다. 로봇을 서비스분야에 사용하기 위한 사람 추적실험과 추적 중 발생하는 문제에 대해 설명하고 파티클 필터를 이용한 해결방법을 제시하였다. 파티클 필터를 이용한 자율이동로봇의 사람추적방법으로 상황적응모델을 사용하여 사람추적 중 겹침 현상이 발생하였을 경우 주어진 목표물을 잃지 않고 잘 추적하는 것을 보였다. 향후에는 자율이동 로봇이 사람을 따라가는 도중 발생하는 장애물을 회피하는 방법에 대한 연구와 노면의 사정에 따른 심한 흔들림을 극복하는 방향에 대한 연구가 요구된다.

[참 고 문 헌]

[1] A. Azarbayejani, C. Wren and A. Pentland, "Real-time 3-D Tracking of the human body", In Proc. of IMAGE/COM 96, 1996
 [2] C. Schlegel, J. Illmann, H. Jaberg, M. Schuster and R. Worz, "Vision Based Person Tracking with a Mobile Robot", British Machine Vision Conference, 1998
 [3] G. D. Hager and P. N. Belhumer, "Efficient region tracking with parametric models of geometry and illumination", IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., vol.20, pp.1025-1039, Oct. 1998

[4] T. J. Broida, S. Chandra and R. Chellappa, "Recursive techniques for estimation of 3-d translation and rotation parameters from noisy image sequences", IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., vol.26 pp.639-656, Apr.1990
 [5] A. Azarbayejani and A. Pentland, "Recursive estimation of motion, structure and focal length", IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., vol.17, pp.562-575, June 1995
 [6] A. Doucet, N. D. Freitas and N. Gordon, "Sequential Monte Carlo Methods in Practice", NewYork: Springer-Verlag, 2001
 [7] J. M. Odobez, S. Ba and D. Gatica-Perez, "An implicit

motion likelihood for Tracking with Particle Filters", BMVC Norwich, Sept 2003
 [8] M. Isard and A. Blake, "Contour Tracking by stochastic Propagation of Conditional Density", European Conf. on Computer Vision, Cambridge, pp.343-356, 1996
 [9] B. Kwoek, "Person following and mobile camera localization using Particle Filters", 4th International Workshop on Robot Motion and Control, June 17-20, 2004
 [10] Y. Bar-Shalom and T. Fortmann, "Tracking and Data Association", New York:Academic, 1998
 [11] C. Rasmussen and G. Hager, "Probabilistic data association methods for tracking complex visual objects", IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., vol.23, pp.560-576, June 2001
 [12] D. Schulz, W. Burgard, D. Fox and A. B. Cremers, "Tracking Multiple Moving Targets with a Mobile Robot Using Particle Filters and StaTistical Data Association", In IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation(ICRA), 2001
 [13] P. J. Huber, "Robust Statistics", New York:Wiley, 1981
 [14] S. K. Zhou, R. Chellappa and B. Moghaddam, "Visual Tracking and Recognition Using Appearance-Adaptive Models in Particle Filters", IEEE Trans. Image Processing, vol.13, pp.1491-1506, Nov 2004
 [15] A. D. Jepson, D. J. Fleet and T. El-Maraghi, "Robust Online Appearance Model for Visual Tracking", IEEE Trans. Pattern analysis and Machine intell., vol.25, no.10, Oct 2003
 [16] S. Thrun, M. Beetz, M. Bennis, W. Burgard, A.B. Cremers, F. Dellaert, D. Fox, D. Hahnel, C. Rosenberg, N. Roy, J. Schulte, and D. Schulz, "Probabilistic Algorithms and the Interactive Museum Tour-Guide Robot Minerva", Intl. Journal of Robotics Research, Vol. 19, No. 11, pp. 972-999, Nov, 2000