

실시간 다중이동물체 추적을 통한 이동로봇의 위치개선

Position Improvement of a Mobile Robot by Real Time Tracking of Multiple Moving Objects

진태석¹, 이민중², 탁한호³, 이인용⁴, 이준탁⁵

^{1, 2} 부산광역시 사상구 주례2동, 동서대학교

E-mail: {jints, mnjlee}@gdsu.dongseo.ac.kr

³ 진주시 칠암동 150번지, 진주산업대학교 전자공학과

E-mail: fmtack@jinju.ac.kr

⁴ 부산광역시 부산진구 전포2동, (주) 삼진기술

E-mail: samjintech1@hanmail.net

⁵ 부산광역시 사하구 하단2동 840번지, 동아대학교 전기공학과

E-mail: jtleee@mail.donga.ac.kr

요 약

가까운 미래에 인간생활에 활용될 지능형 로봇은 인간과 공존하면서도 효과적으로 인간을 도와줄 수 있는 인간친화형 로봇이라 할 수 있다. 이러한 것을 실현하기 위해서 로봇은 미지의 환경 내에서 자신의 위치 및 방향을 인식해야 할 필요가 있다. 더욱이, 이것은 일상생활에서 자연스럽게 이뤄지는 것이 당연하다. 로봇을 제어하는 가장 중요한 문제중의 하나로서 이동로봇의 주행에서의 위치불확실성을 해결함으로써 로봇의 위치를 추정하는 것이 바람직하다 할 수 있다. 본 논문에서는 실내의 공간에서 인간을 포함한 이동물체의 영상정보를 이용하여 이동로봇의 자기위치를 인식하기 위한 방법을 제시하고 있다. 제시한 방법은 로봇자체의 DR센서 정보와 카메라에서 얻은 영상정보로부터 로봇의 위치추정방법을 결합 한 것이다. 그리고 이동물체의 이전 위치정보와 관측 카메라의 모델을 사용하여 이동물체에 대한 영상프레임 좌표와 추정된 로봇위치간의 관계를 표현할 수 있는 식을 제시하고 있다. 또한 이동하는 인간과 로봇의 위치와 방향을 추정하기 위한 제어방법을 제시하고 이동로봇의 위치를 추정하기 위해서 칼만필터 방법을 적용하였다. 그리고 시뮬레이션 및 실험을 통하여 제시한 방법을 검증하였다.

Key Words : Fuzzy modeling, TSK fuzzy model, Non-linear system

1. 서 론

이동로봇이 자율적인 행동을 하기 위해서는 환경인식, 경로 계획 및 주행제어, 그리고, 위치 인식 및 보정 등의 기본적인 능력을 갖추어야 한다[1]. 특히, 원활한 작업 수행을 위하여 임의의 경로로 자율적으로 이동하는 이동로봇의 경우에는 로봇 자신의 현재 위치를 추정하는 기능이 필수적으로 요구된다. 로봇이 자신의 위치를 추정하기 위한 방법으로는 로봇의 이동 바퀴에 회전수를 측정할 수 있는 encoder를 장착하여 초기 위치로부터 이동거리를 더해 나감으로써 자신의 위치를 추정하거나 가속도 센서와 자이로 센서 등의 가속도 정보를 2차적분하여 초기 위치로부터 변화된 자신의 위치를 알아내는 방법 등이 사용되어 왔다. 그러나

이러한 방법들은 그 방법이 단순하고 손쉽게 구현이 가능함에도 불구하고 결정적으로 오차를 누적시키기 때문에 장시간 주행 시 누적오차가 발생되어 위치 추정에 심각한 오류를 유발하게 된다. 이러한 누적된 오차를 보정할 수 있는 방법으로 많이 활용되는 것이 landmark를 사용하는 것이다. 전파, 초음파 등을 발사하여 이것을 기준으로 로봇이 자신의 위치를 추정하는 방법이 있고, 일정한 패턴이나 도형을 이용하는 방법이 있다. 혹은 자연적으로 존재하는 건물의 벽, 모서리 등과 같은 특징 점을 추출하여 로봇의 위치 추정을 위한 표식 점으로 이용하는 방법이 있다[2][3][4].

본 논문에서는 기존의 연구 대상이었던 고정된 물체가 아닌 걸어 다니는 인간을 이용한 이동로봇의 절대 위치를 추정하는 방법을 제시하

였다. 이는 이동로봇이 해저나 혹은 적지에서 이동할 때 이동로봇의 절대위치를 인식할 수 있는 방법이 없을 경우 이동로봇 주변에서 움직이는 물체의 정보를 활용하여 이동로봇의 절대위치를 보정하는 방법으로 매우 유용하다. 연구를 위해서 물체에 대한 영상모델을 알고 있는 것으로 가정하나 실제적인 상황 속에서는 영상매칭을 통하여 그 정보를 수신하는 것으로 해석한다. 본 연구를 위하여 로봇의 위치 추정 불확실성을 정량적으로 나타내었으며, 좌표계 변환을 통한 영상기반의 기하학적 구속 식을 유도하였고 칼만 필터를 적용하여 로봇의 위치를 보정하여 위치 추정 불확실성을 줄일 수 있음을 보였다.

본 논문의 II장에서는 이동로봇의 위치추정의 불확실성 모델링을 다루고 있으며, III장에서는 영상 변환 관계, 칼만 필터에 의한 로봇 위치 추정기법을 설명한다. 그리고 IV, V장에서 각각 시뮬레이션 및 실험을 통해 제안한 방법의 타당성을 검증하고, VI장에서 결론 및 향후과제를 기술한다.

2. 위치추정의 불확실성과 모델링

주행하고자 하는 이동로봇의 초기 위치는 정확히 주어질 수 있다. 그러나 그림 1에서와 같이 로봇이 주행함에 따라 측정 오차와 미끄러짐 등에 의해 위치 추정치에 불확실성이 증대하게 된다. 이러한 불확실성은 주행 거리가 길어짐에 따라 증가하게 되어 마침내 자신의 위치를 잃어버리게 된다.

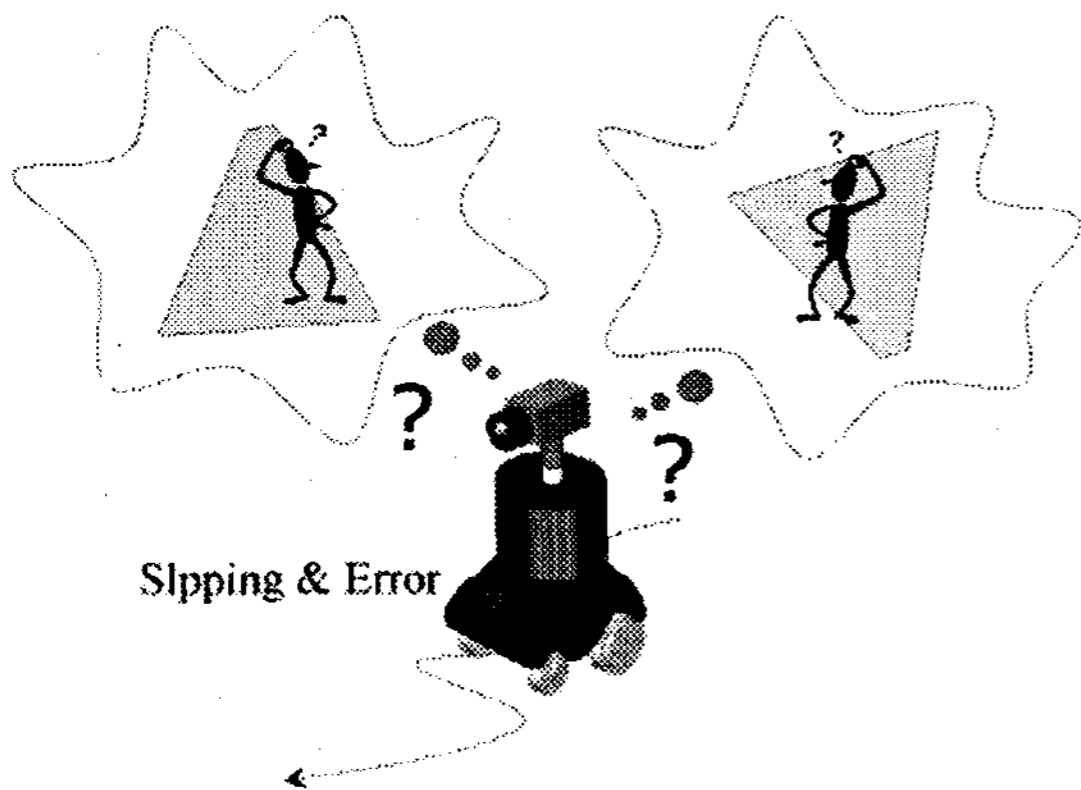


그림 1. 주행오차에 따른 위치 불확실성.

위치 추정 오차의 공분산은 로봇 위치 추정의 정확도에 결정적인 요소로 작용한다. 이 공

분산 행렬을 사용하여 위치 추정의 불확실성을 나타낼 수 있으며 정량적으로 또한 기하학적으로 나타내기 위하여 이 공분산 행렬에 의해 정의되는 불확실성 타원(Uncertainty ellipsoid)을 활용한다[6]. 다음의 그림 2에서 보는 바와 같이 로봇이 이동함에 따라 불확실성이 계속 커지는 것을 정량적으로 또한 기하학적으로 볼 수 있다.

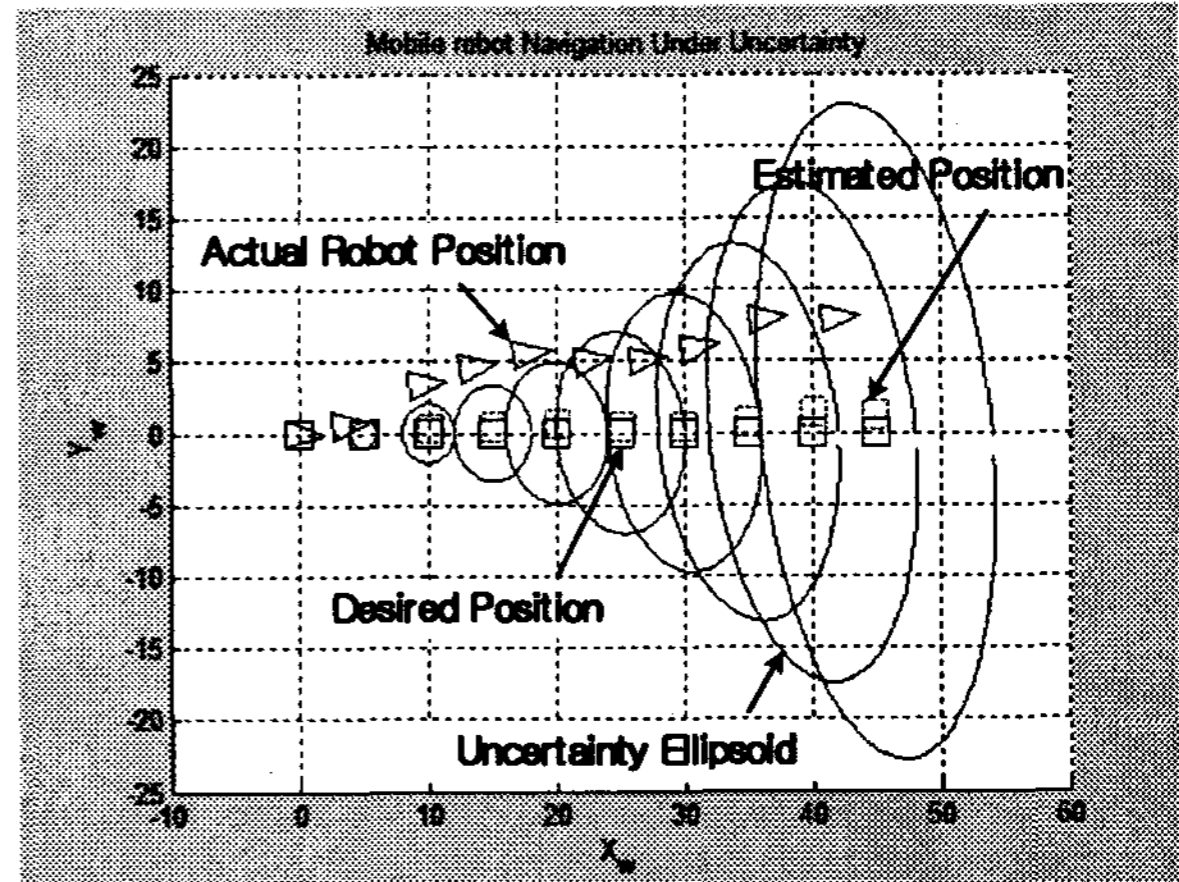


그림 2. 로봇 위치추정의 불확실성.

3. 영상에 의한 물체 추출

본 시스템에서는 물체인식성능을 향상시키기 위해서 칼라 CCD카메라를 장착하였다. 영상정보 획득 및 영상처리를 위한 비디오 캡처 보드를 PC에 장착하였다. 영상매칭 과정을 간략화 하기위해 이동물체에 대한 대략적인 추출을 필요로 하게 된다. 배경영상의 차를 이용하여 카메라 영상에 이동물체를 인식하도록 하였다. 그리고 색정보에 대한 추출로서 영상처리 및 물체의 색상정보 추출을 위해서 RGB 모델을 사용하였다. 그림 4는 위에서 언급한 물체 추출에 대한 결과의 예시로서 보여주고 있다. 그림 3(a)는 CCD카메라가 캡처한 원영상이고 그림 3(b)는 추출된 사람과 로봇의 영상의 결과를 보여주고 있다.

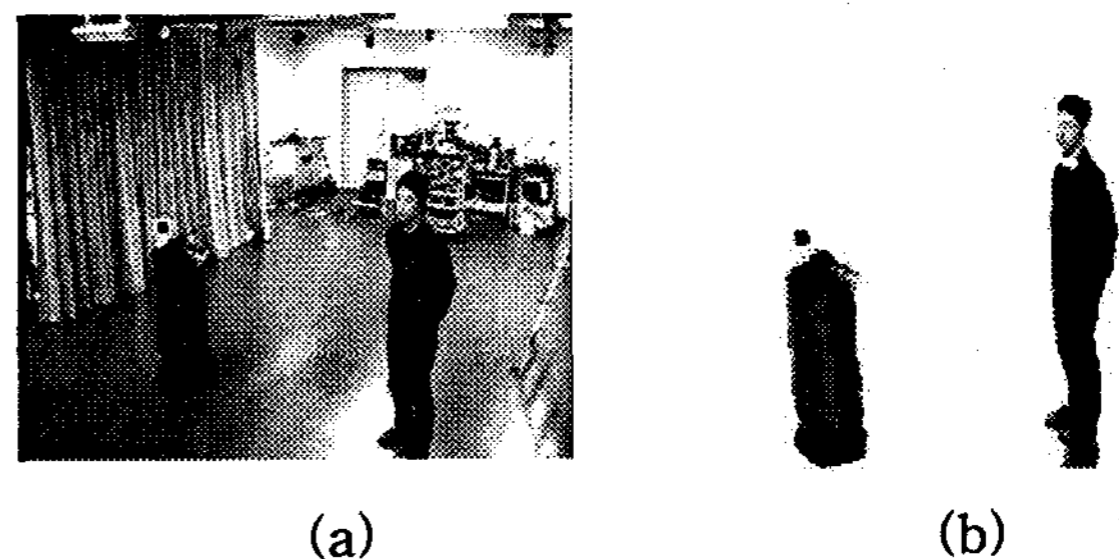


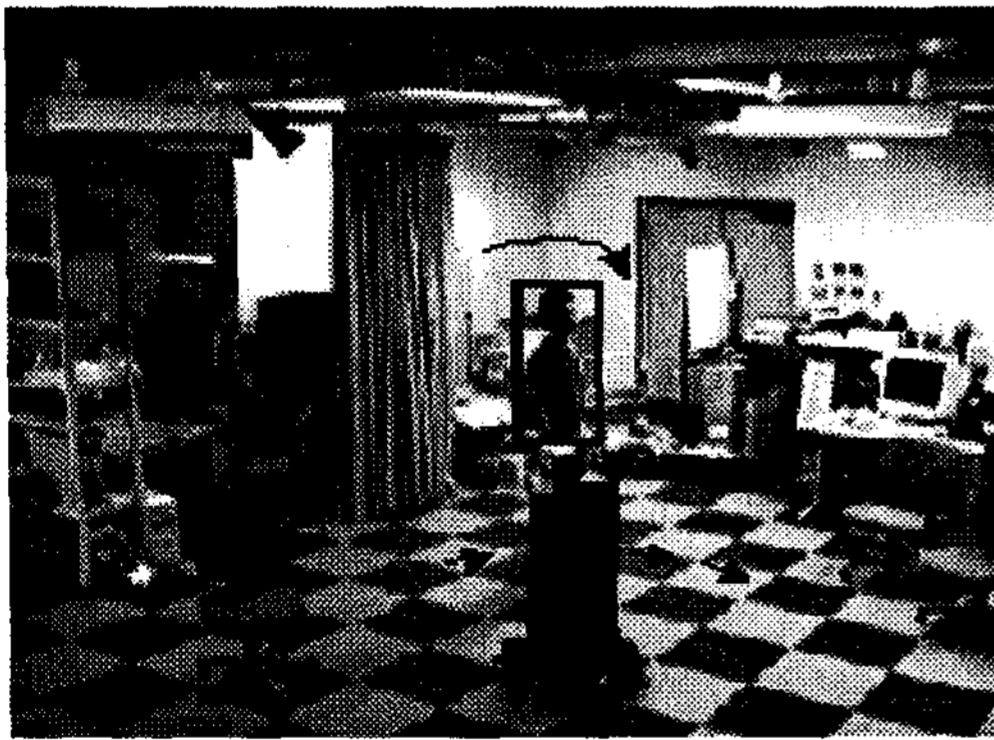
그림 3. 캡처된 원영상과 추출물체.

4. 실험

본 논문에서 제시한 방법을 검증하기 위한 실험은 아래 그림 4와 같은 환경을 설정하고 그림 5와 같 초기설정을 하였다. 이동 로봇은 초기위치 $(0cm, 0cm, 90^\circ)$ 에서 출발하게 하였고, 목적지는 $(10cm, 500cm)$ 로 하였다. 보행자의 움직임은 $X_w = 80cm, Y_w = 750 - 850cm, Z_w = 100cm$ 의 경로를 가지게 했다.



(a)



(b)

그림 4. 실험 환경.

실험에 쓰인 파라미터들은 시뮬레이션과 같이 두었고, 목적지에 도착한 로봇은 멈춰 서서 총 25 프레임의 이동물체 영상을 관측함으로써 자신의 절대 위치를 추정하게 하였다. 목적지에 도착한 이동로봇의 실제 위치는 $(13cm, 475cm, 90^\circ)$ 이었고, 추정 위치와 추정 오차의 공분산은 식 (1), (2)와 같았다.

$$\hat{x}_0 = [9.63, 485.10, 88.88]^T \quad (1)$$

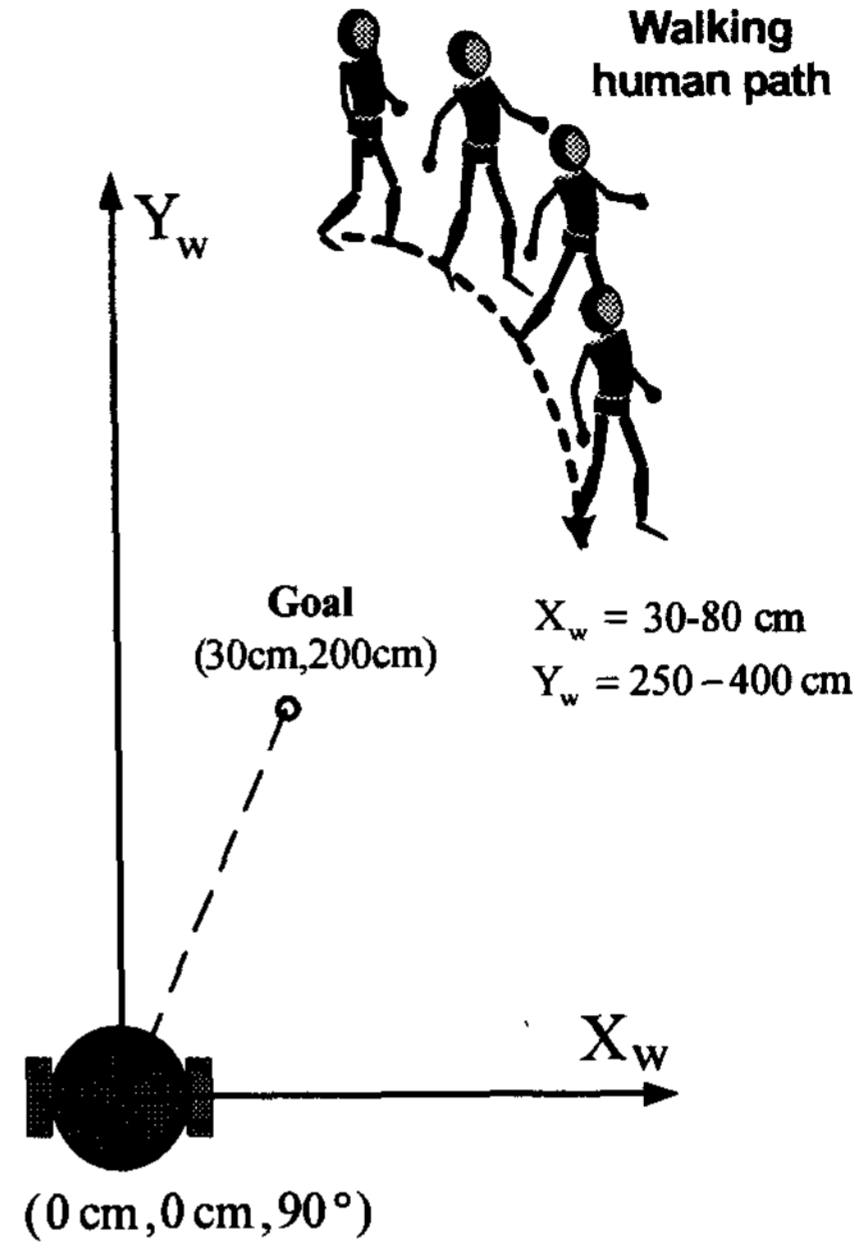
$$P_0 = \begin{bmatrix} 49.951 & -1.021 & -0.154 \\ -1.021 & 0.183 & 0.003 \\ -0.154 & 0.003 & 0.001 \end{bmatrix} \quad (2)$$

보행자를 관측 후 추정된 로봇 위치와 공분

산은 식 (3), (4)와 같았다.

$$\hat{x}_{20} = [12.4470, 485.0358, 89.7366]^T \quad (3)$$

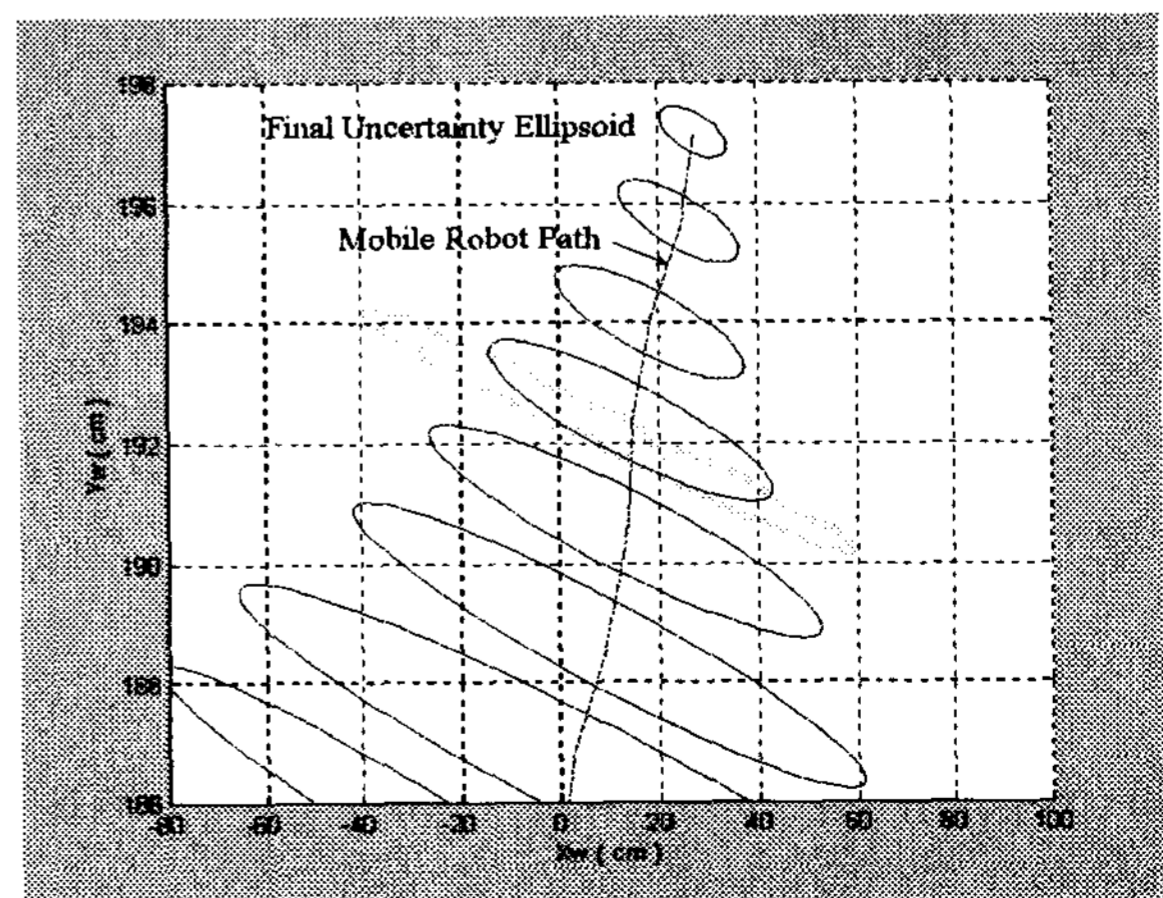
$$P_{20} = \begin{bmatrix} 8.0406 & -0.1784 & 0.0252 \\ -0.1784 & 0.1660 & -0.0006 \\ 0.0252 & -0.0006 & 0.0001 \end{bmatrix} \quad (4)$$



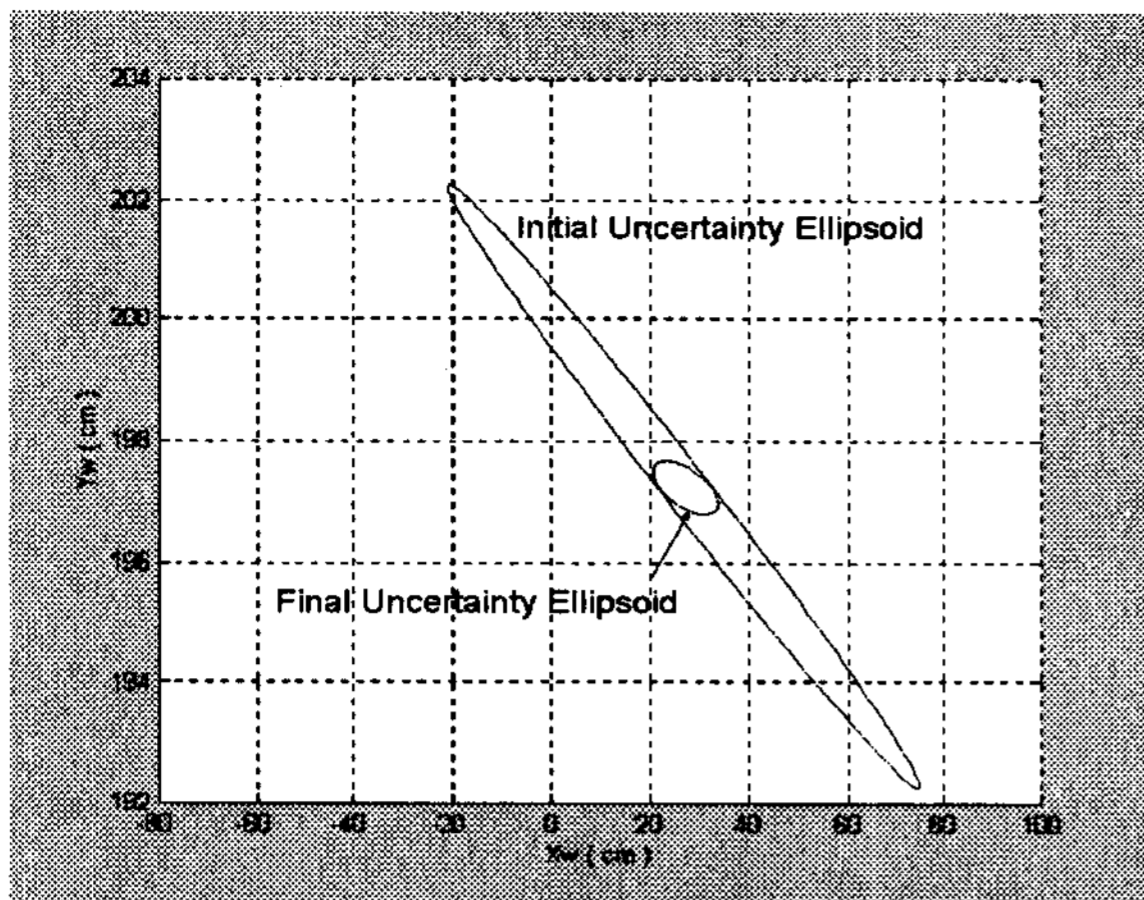
(c)

그림 5. 이동로봇의 초기설정 및 이동방향

수행된 실험의 결과로서 그림 6(a)는 매 샘플링 시간에 대한 이동로봇 위치 추정의 불확실성과 위치 추정치를 나타낸다. 시뮬레이션과 같이 작은 ellipsoid로 표시되어 줄어듦을 확인할 수 있다. 그림 6(b)에서 보여주는 것과 같이 X_w 의 수직 방향 즉, 로봇의 x 방향의 불확실성이 줄어드는 것을 볼 수 있고, 따라서 로봇의 x 위치도 수렴하는 것을 알 수 있었다.



(a)



(b)

그림 6. 실험에 의한 위치 추정의 불확실성.

5. 결론

본 논문에서는 인간을 보조하기 위한 이동로봇이 주행하면서 위치 추정을 위한 방법으로 보행자를 이용한 절대 위치를 추정해 내는 방법을 제시하였다. 불확실성 타원 (uncertainty ellipsoid)을 이용하여 로봇의 위치 추정 불확실성을 정량적으로 나타내었으며, 좌표계 변환을 통한 영상기반의 기하학적 구속식 (geometric constraint equation)과 칼만 필터를 적용하여 로봇의 위치를 보정할 수 있음을 보였다.

제시한 방법을 검증하기 위한 방법으로 먼저 일정한 경로로 움직이는 인간이 카메라의 영상에 원근 투영되어, 물체의 영상좌표와 현재 로봇의 추정 위치 사이에 생기는 구속식을 유도하였다. 이는 로봇의 추정 위치를 기준으로 계산하였기 때문에 보행자의 예측 영상좌표들은 실제 관측되는 것들과는 차이를 보인다. 이 오차를 이용하여 이동로봇의 실제 위치를 역으로 구해 냈다. 보행자의 영상좌표는 처리과정에 잡음을 포함하고 있으며, 로봇의 위치 추정 자체에도 불확실한 성분이 존재하므로 이에 대해 강인하게 상태를 추정하는 칼만 필터를 사용하였다. 제시한 방법은 실험을 통하여 보행자의 곡선 이동경로에 대한 로봇의 위치추정에 대한 타당성을 검증할 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] A. Georgiev, P. K. Allen, "Vision for

mobile robot localization in urban environments," *Intelligent Robots and System, IEEE/RSJ Int. Conference on*, vol.1, pp. 472-477, Sept. 2002.

[2] S. I. Roumeliotis, G. A. Bekey, "Bayesian estimation and Kalman filtering: a unified framework for mobile robot localization," *Robotics and Automation, Proc. ICRA. IEEE International Conference on*, vol. 3, pp. 2985-2992, April 2000.

[3] Robert M. Haralick and Linda G. Shapiro, *Computer and Robot Vision*, Addison-Wesley, 1993.

[4] H. W. Sorenson, "Kalman Filtering Techniques," *Advances in Control Systems Theory and Applications*, vol. 3, pp. 219-292, 1966.

[5] B. Jung and G. S. Sukhatme, "Tracking targets using multiple robots: The effect of environment occlusion," *Autonomous Robots*, vol. 13, no. 3, pp. 191-205, 2002.

[6] M. Mazo, A. Speranzon, K. Johansson, and X. Hu, "Multi-robot tracking of a moving object using directional sensors," in *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, New Orleans, LA, April 2004, pp. 1103-1108.

[7] A. Georgiev and P. K. Allen, "Localization methods for a mobile robot in urban environments," *IEEE Trans. on Robotics*, vol. 20, no. 5, pp. 851 - 864, October 2004.

[8] S. Pfister, S. Roumeliotis, and J. Burdick, "Weighted line fitting algorithms for mobile robot map building and efficient data representation," in *Proceedings of the IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, Taipei, Taiwan, Sep. 14-19 2003, pp. 1304 - 1311.

[9] A. I. Mourikis and S. I. Roumeliotis, "Performance bounds for cooperative simultaneous localization and mapping (C-SLAM)," in *Proc. of Robotics: Science and Systems*, Cambridge, MA, June 2005, pp. 73 - 80.

[10] F. M. Mirzaei, A. I. Mourikis, and S. I. Roumeliotis, "Analysis of positioning uncertainty in cooperative localization and target tracking (CLATT)," *Dept. of Comp. Sci., Univ. of Minnesota, Tech. Rep.*, 2005.