

論文99-36S-7-6

신뢰구간을 이용한 다중표적 추적시스템의 설계

(Target Trackings Using Confidence Region in Multi-target Tracking System)

李 淵 錫 * , 千 承 煥 *

(Yeon Seok Lee and Seung Hwan Cheon)

요 약

다중표적 추적시스템은 여러 개의 표적물을 동시에 추적한다. 이와 같은 시스템에서는 여러 개의 표적물들에 관한 위치정보들과 추적중인 표적물들과의 정보융합과정이 요구된다. 본 논문에서는 이러한 경우에 추적중인 표적물들이 지나는 예측위치들의 신뢰구간을 이용하여 측정된 위치정보들을 각각의 표적물들에 할당하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법을 실제의 교통정보에 적용하여 그 우수한 특성을 살펴보았다.

Abstract

Multi-target tracking system is defined as tracking several targets simultaneously. Data association is needed for tracking a target among the measurements of several targets. In this paper, a method based on the confidence region of predicted target position is proposed. The simulation results and the application results in multi-target tracking systems show the superior properties of the proposed method.

I. 서 론

표적추적시스템에서는 주로 군사적인 목적으로 사용되는 조기경보시스템이나 대공방어망시스템, 그리고 민수용으로 사용되는 항공기의 관제시스템 등의 고도의 기술과 자본이 요구되는 부분에서 발달되어 왔다. 표적추적시스템은 주로 레이더나 적위선 감지기 등으로 측정된 정보를 이용하여 표적의 탐지나 식별, 그리고 추적을 수행하게 되는데, 이 과정은 추적시스템의 대상물체들이 지니고 있는 현재의 위치, 속도, 그리고 가속도 등에 관한 정확한 정보들을 추출하는 작업을 의미한다.^[1] 표적물의 추적에는 그 추정능력이 최적으로 잘 알려진 칼만필터를 주로 사용하였다.^[2, 3] 추적

시스템은 그 측정장치인 레이더 등이 고가의 장비이고, 또한 여기에 사용되는 칼만필터는 복잡한 계산을 처리하여야 하므로, 시스템의 구현에는 많은 기술과 자본이 요구되어 일반상용으로는 활용이 용이하지 않았다. 그러나, 근래에 이르러 급속도로 발전한 전자기술과 컴퓨터기술로 인하여 이들을 비교적 저렴하게 구현하는 것이 가능하게 되었다. 특히 최근에 급속도로 발전한 영상기술과 빠른 컴퓨터의 등장은 추적시스템의 실시간 구현을 저렴하고 용이하게 만들어 주었다. 이에 따라서 근래에 이르러 추적시스템을 복잡한 공항에서의 항공관제나 복잡한 도심에서의 혼잡한 교통문제를 해결하기 위한 방법으로 확장되고 있다.^[4, 5] 추적시스템을 이와 같은 용도로 사용할 경우에는 여러 개의 표적물을 추적해야 한다. 특히 교통정보를 위하여 사용되는 경우에는 다수의 차량을 추적하는 다중표적 추적시스템의 구축이 요구된다.

다중표적 추적시스템에서는 영상으로부터 얻은 여러 개의 독립적인 표적물에 관한 정보로부터 각각의 표적

* 正會員, 群山大學校 電氣電子制御工學部
(School of Electrical, Electronic and Control Engineering, Kunsan National University)

接受日字:1999年5月20日, 수정완료일:1999年6月17日

물에 관한 정보로 분리하여야 한다. 이러한 방법으로는 전 상태까지 추적하던 표적물에 관하여 현재의 위치를 미리 예측하여 이에 가까운 위치에 있는 표적물을 추적중인 표적물로 판단하고, 이를 이용하여 다음의 위치를 예측하는 방법을 사용하게 된다. 그러나 경우에 따라서는 예측한 위치에 가까이 있는 표적물이 다른 표적물인 경우도 있다. 이러한 경우는 표적물들이 서로 뒤바뀌는 경우가 발생하게 된다. 본 논문에서는 이와 같은 경우에 예측한 위치정보가 지나고 있는 신뢰정보를 이용하여 더 정확한 판단을 하는 방법을 제시하고자 한다. 제안된 방법은 다중표적 추적시스템에서 예측기로 사용된 칼만필터의 출력이 지니고 있는 확률정보를 이용하여, 측정된 위치정보들 중에서 추적중인 표적물의 정보일 가능성이 가장 높은 값을 선택하는 방법이다. 이와 같은 방법은 Kerr가 고장진단을 위하여 사용된 방법^[6,7,8] 여기에서는 추적중인 표적물의 예측위치가 지나고 있는 신뢰구간을 설정하여 신뢰구간내의 측정치 중에서 확률이 가장 높은 측정치를 사용하여 표적물의 추적을 계속하도록 하였다. 본 논문의 구성은 먼저 2장에서 추적시스템에서 일반적으로 사용되는 칼만필터에 관하여 살펴보고, 3장에서는 칼만필터의 출력이 지니는 신뢰구간을 이용한 정보융합과정을 살펴보도록 한다. 4장에서는 제안된 방법이 지니는 우수성을 가정된 상황에서의 시뮬레이션과, 이를 실제의 교통정보에 적용하여 그 우수성을 확인하여 보았다. 그리고 5장에서 본 논문의 결론을 맺도록 한다.

II. 칼만필터

움직이는 물체를 추적하기 위하여서는 주로 칼만필터를 사용하게 된다. 본 연구에서도 측정된 화상정보로부터 표적물을 추적하기 위하여 칼만필터를 사용하였다. 칼만필터는 상태변수들이 정규분포를 지닌 선형 시스템에서 추가되는 잡음들이 백색 가우시안의 특성을 지니고 있을 경우에 그 특성이 최적을 나타내며, 선형구조를 지닌 필터로 잘 알려져 있다.^[9] 식(1)로 표현되는 이산선형시스템에서 그 측정방정식이 식(2)와 같이 주어지는 경우의 칼만필터를 살펴보자.

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{A}\mathbf{x}_k + \mathbf{w}_k \quad (1)$$

$$\mathbf{y}_k = \mathbf{H}\mathbf{x}_k + \mathbf{v}_k \quad (2)$$

여기에서 \mathbf{w}_k 는 시스템에 추가되는 프로세스잡음을 의미하며, 측정방정식에서의 \mathbf{v}_k 는 신호를 측정할 때에 발생하는 잡음을 의미한다. 이들은 서로 상관관계가 없으며, 각각의 공분산행렬이 \mathbf{Q}_k , \mathbf{R}_k 로 주어지고, 각각 영평균 백색잡음의 특성을 지닌다고 가정한다. 시간 k 에서 상태변수의 측정값 \mathbf{y}_k 가 입력되면, 칼만필터는 식(3)부터 식(7)까지의 순환식으로 구성된다.

$$\mathbf{K}_k = \bar{\mathbf{P}}_k \mathbf{H}^T (\mathbf{H} \bar{\mathbf{P}}_k \mathbf{H}^T + \mathbf{R}_k)^{-1} \quad (3)$$

$$\hat{\mathbf{x}}_k = \bar{\mathbf{x}}_k + \mathbf{K}_k (\mathbf{y}_k - \mathbf{H} \bar{\mathbf{x}}_k) \quad (4)$$

$$\mathbf{P}_k = (\mathbf{I} - \mathbf{K}_k \mathbf{H}) \bar{\mathbf{P}}_k \quad (5)$$

$$\bar{\mathbf{x}}_{k+1} = \mathbf{A} \hat{\mathbf{x}}_k \quad (6)$$

$$\bar{\mathbf{P}}_{k+1} = \mathbf{A} \mathbf{P}_k \mathbf{A}^T + \mathbf{Q}_k \quad (7)$$

식(3)에서의 \mathbf{K}_k 는 필터의 이득이며, 전 상태의 예측값 $\bar{\mathbf{x}}_k$ 의 공분산행렬 $\bar{\mathbf{P}}_k$ 와 입력된 측정값 \mathbf{y}_k 가 나타내는 공분산행렬로부터 구할 수 있다. 필터이득 \mathbf{K}_k 를 이용하여 식(4)와 식(5)와 같이 상태변수의 추정값 $\hat{\mathbf{x}}_k$ 와 그 공분산행렬 \mathbf{P}_k 의 측정치 보강식을 수행하고, 다시 다음의 측정값 \mathbf{y}_{k+1} 이 입력될 때 사용할 예측값 $\bar{\mathbf{x}}_{k+1}$ 과 그 공분산행렬 $\bar{\mathbf{P}}_{k+1}$ 을 식(6)과 식(7)과 같이 계산하게 된다. 따라서 필터의 초기값 $\bar{\mathbf{x}}_0$ 와 $\bar{\mathbf{P}}_0$ 를 설정하게 되면, 매번의 측정값이 입력될 때마다 필터식들을 순환적으로 계산할 수 있다.

III. 신뢰구간을 사용한 정보융합

2장에서 살펴본 칼만필터에서 식(6)의 과정에서 구한 표적물의 예측위치를 이용하여 주어진 여러 표적물의 측정치 중 가장 가까운 측정치를 그 표적물의 측정치로 사용하게 된다. 그러나 칼만필터의 예측위치가 가장 가까운 측정치가 그 표적물의 다음위치일 확률이 가장 높은 것은 아니다. 이와 같은 현상은 그림 1과 같이 설명될 수 있다.

그림에서 두 개의 표적물에 관한 예측위치 $\hat{\mathbf{x}}_1$, $\hat{\mathbf{x}}_2$ 에 관하여 가까운 위치에 있는 측정치 \mathbf{z} 를 가정할 수 있으며, 이 측정치는 가장 가까운 예측위치인 $\hat{\mathbf{x}}_2$ 의 측

정치로 고려될 수 있다. 그러나 식(7)로 주어지는 공분산에 의한 확률정보를 이용하게 되면, 주어진 측정치는 \hat{x}_2 의 측정치일 확률보다 \hat{x}_1 의 측정치일 확률이 더 높은 것을 알 수 있다. 따라서 주어진 측정치는 비록 \hat{x}_1 과의 거리가 \hat{x}_2 와의 거리보다 먼 위치에 있지만, \hat{x}_1 의 측정치로 고려하는 것이 의미가 있다. 즉, 표적물의 예측값으로부터 일정한 확률을 지나는 신뢰구간을 설정하여, 여러 개의 측정치로부터 보다 높은 신뢰도를 지닌 측정값을 선택하여야 한다.

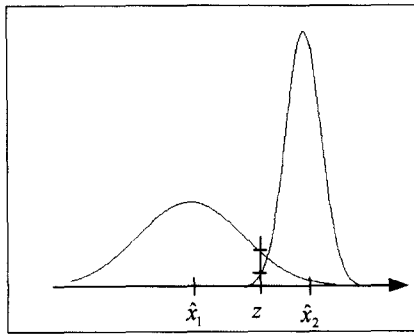


그림 1. 측정치의 표적물에 관한 확률값
Fig. 1. Measurement probabilities depending on targets.

이와 같은 결과를 평면에서 운동하는 물체로 확장하여 살펴보면, 그림 2와 같이 표현할 수 있다. 그림 2에서는 왼쪽에서 오른쪽으로 이동하고 있는 물체에 대하여 칼만필터로 예측한 위치의 신뢰구간과 그 근처의 측정치 두 개를 도시한 것이다. 칼만필터에서는 물체의 속도변화에 의하여 운동방향으로 주어지는 공분산이 커지게 되어, 필터의 출력이 지나는 확률분포함수는 그림과 같이 나타나게 된다. 다중표적 추적시스템에서는 입력된 영상정보로부터 이동물체들을 추적하게 되므로, 각 표적물들은 평면상에서 운동하는 물체들로 표현된다. 따라서 각각의 표적물들에 대하여 칼만필터를 적용한 결과들은 그림 2와 같은 평면상의 신뢰구간을 지니게 된다. 그림에서의 타원체는 예측된 위치의 같은 신뢰도를 지닌 위치들이고, 예측위치에 가까운 타원체일수록 그 신뢰도는 증가된다. 따라서 측정치 z_1 이 측정치 z_2 에 비하여 예측치로부터의 거리가 크지만, 예측치로부터 높은 확률값을 가진 신뢰구간에 위치하게 된다. 따라서 예측치 \hat{x} 의 측정치는 거리가 가까운 측정치 z_2 를 선택하지 아니하고, 신뢰도가 높은 측정치 z_1 을 선택하게 된다.

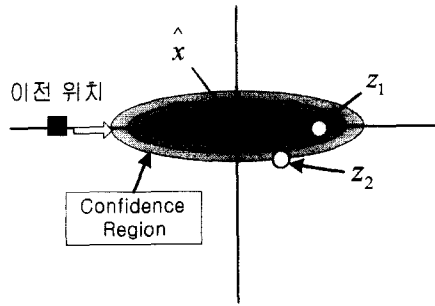


그림 2. 예측위치의 신뢰구간
Fig. 2. Confidence region of estimated position.

이와 같이 예측치가 지나는 확률값을 표현한 신뢰구간을 이용하여 다중표적에 관한 정보융합과정을 사용할 수 있다. 영상정보로부터 얻어지는 표적물의 측정치 $z(z_x, z_y)$ 와 칼만필터로부터 계산되어진 표적물의 예측치 $\hat{p}(\hat{x}, \hat{y})$ 와의 확률가중치 거리를 구하면 식(8)과 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{(z_x - \hat{x})^2}{P_x} + \frac{(z_y - \hat{y})^2}{P_y} = r^2 \quad (8)$$

이와 같이 식(8)의 가중치거리를 사용하게 되면 영상정보로부터의 여러 물체들의 위치와 예측된 표적물의 위치를 계산하여 최소값을 선택한다. 이와 같은 정보융합방법을 이용하여 다중표적에 관한 측정치로부터 표적물에 관한 측정치를 선택하는 것은 단순히 두 위치의 거리만을 계산하여 측정위치를 결정하는 것보다 정확하게 물체의 위치를 추적할 수가 있다. 그림 3과 같이 두 개의 물체가 교차하는 경우를 살펴보자. 그림에서 두 개의 표적물에 관한 신뢰구간은 물체의 이동방향으로 길게 나타나는 타원체로 표현될 수 있다.

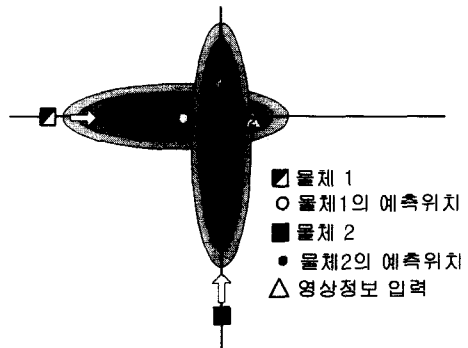


그림 3. 교차하는 두 물체의 신뢰구간
Fig. 3. Confidence regions of crossing targets.

그림에서 거리만으로 측정치를 선택하게 되면, 아래에서 뒷방향으로 움직이는 물체는 교차하는 지점에서 2번 위치를 선택하게 되고, 좌측에서 우측으로 이동하던 물체는 거리가 가까운 1번 위치를 선택하게 된다. 그러나, 식(8)과 같이 신뢰구간에 관한 가중치거리를 이용하게 되면 아래에서 위로 향하던 물체는 비록 거리는 2번보다 멀지만 확률적으로 큰 1번 물체를 선택하게 되며, 마찬가지로 좌측에서 이동하던 물체는 2번을 선택하게 되어 표적물의 추적을 계속 할 수 있게 된다.

IV. 다중표적 추적시스템에의 적용

이상과 같이 다중표적에 관한 정보융합과정에서 신뢰구간을 이용한 표적물의 추적에 관한 성능을 다중표적 추적시스템에 적용하여 그 성능을 살펴보았다. 시뮬레이션에 사용된 다중표적 추적시스템은 먼저 제안된 신뢰구간을 사용하는 정보융합방법의 우수성을 살펴보기 위하여 간단한 상황을 가정하여 시뮬레이션 결과를 살펴보았다. 여기에 사용된 시스템은 WIN95 환경의 개인용 컴퓨터에서 구현된 시스템으로, 그림 4와 같이 영상입력, 물체의 추출, 표적물 정합, 표적물의 등록 및 삭제, 그리고 표적물 예측 등의 부분으로 설명되는 시스템이다.^[10]

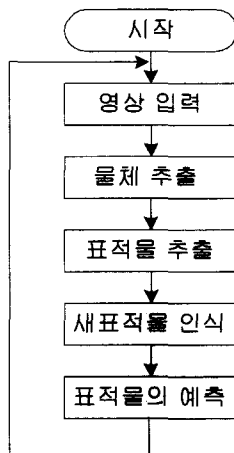
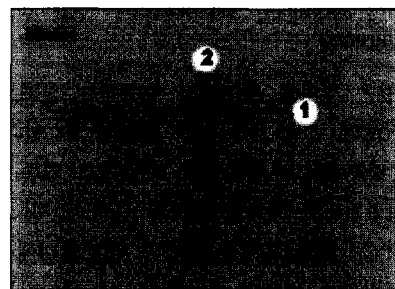


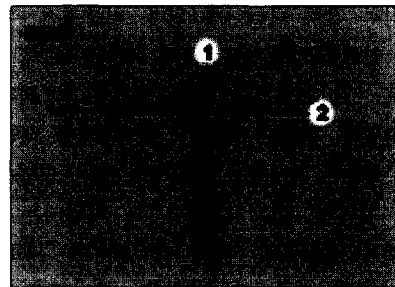
그림 4. 다중표적 추적시스템의 블록선도
 Fig. 4. Block Diagram of Multitarget Tracking System.

사용된 다중표적 추적시스템을 살펴보면, 먼저 영상 입력부분에서는 CCD 카메라, 혹은 이미지 센서로부터

매초 10프레임에서 30프레임 정도의 적절한 속도로 입력받게 된다. 입력된 영상에는 배경을 포함하는 영상영역 내의 모든 물체에 관한 정보가 존재하기 때문에, 이들 중에서 이동하는 표적물과 고정된 물체 및 배경을 구분하는 과정이 요구된다.^[11] 사용된 시스템에서는 실시간 구현이 용이하도록 계산량이 적은 섭동분포도(disturbance map)을 사용하여 고정된 물체의 영상을 배제하고 이동하는 물체를 추출하게 된다. 입력된 영상으로부터 물체의 추출이 이루어지면, 추출된 물체들의 위치정보와 현재 추적하고 있는 표적물들의 예측위치정보와 비교하여 측정된 위치정보를 각각의 표적물들에게 할당하는 과정이 표적물 추출 과정이다. 새 표적물 인식 과정에서는 현재 추적하고 있는 표적물들이 영상영역 밖으로 사라진 경우와 새로운 표적물이 발생한 경우를 고려하는 과정으로 표적물을 관리하는 부분이다. 마지막 부분인 표적물의 예측부분은 표적물의 정합과정에서 현재 추적중인 표적물의 위치정보가 결정되면, 이를 이용하여 추적중인 표적물의 다음 위치를 예측하게 된다.



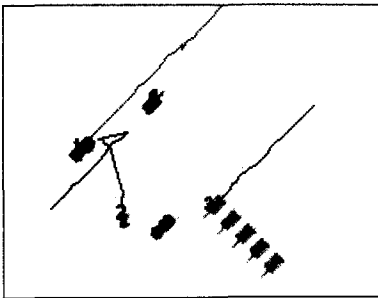
(a)



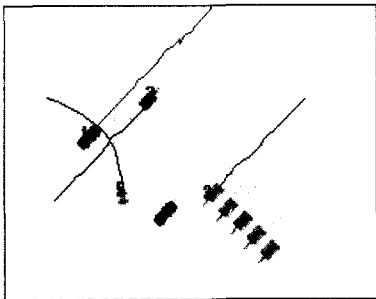
(b)

그림 5. 교차하는 두 물체의 추적결과. (a)최소거리추적 (b)신뢰구간추적
 Fig. 5. Tracking results of crossing targets. (a)minimum distance tracking, (b)confidence region tracking.

구성된 다중표적 추적시스템에서 시물레이션을 위하여 가정된 상황은 두 개의 물체가 서로 수직방향으로 이동하여 서로 비슷한 시간에 교차하도록 고려하였다. 1번 물체는 아래에서 위로, 2번 물체는 왼쪽에서 오른쪽으로 이동하고 있는 상황이며, 화면의 중앙부분에서 서로 교차하도록 구성하였다. 이러한 상황에서 최소거리의 정보융합을 사용한 추적결과와 신뢰구간의 정보융합을 사용한 결과를 그림 5에 도시하였다. 그림 5(a)에서는 최소거리를 이용한 정보융합방법의 결과를 보여주고 있는데, 그림에서 표적물이 교차점에서 서로 뒤바뀌어 표적물의 추적에 실패하고 있음을 보여주고 있다. 반면에 그림 5(b)에서는 신뢰구간을 이용한 정보융합방법이 각각의 표적물들을 잘 추적하고 있음을 보여주고 있다.



(a)



(b)

그림 6. 다중차량의 추적결과. (a)최소거리추적 (b)신뢰구간추적

Fig. 6. Tracking results of multi-targets. (a)minimum distance tracking, (b)confidence region tracking.

이러한 결과를 좀더 자세히 확인하기 위하여 여러 개의 물체가 움직이는 가상의 교통정보파일을 가정하여 시물레이션을 실행하여 보았다. 그림 6은 9개의 물체가 서로 교차하거나 이동하는 상황을 가정하여 만든

가상의 AVI파일을 이용하여 얻은 결과로 (a)는 최소거리로 정보융합을 시행한 기존방법의 결과이고, (b)는 신뢰구간을 이용한 제안된 방법을 사용한 결과이다. 그림 6의 (a)에서 2번으로 나타나 있는 궤적은 왼쪽 아래에서 오른쪽 위로 움직이는 물체의 궤적이 왼쪽에서 아래쪽으로 움직이는 물체의 궤적에 흡수되어 궤적이 서로 뒤바뀌고 원래의 물체는 새로운 표적물 6번으로 인식하여 추적하는 모습을 보여주고 있다. 그림 6의 (b)에서는 왼쪽 아래에서 오른쪽 위로 움직이는 물체의 궤적이 2번으로 계속되고 있으며, 왼쪽에서 아래쪽으로 움직이는 물체의 궤적이 5번으로 인식되어 추적하고 있음을 확인할 수 있다. 이와 같이 신뢰구간을 이용한 제안된 방법은 최소거리를 이용하는 기존의 방법보다 우수한 추적능력을 보여 주었다.

다음은 제안된 방법을 실제의 화상정보에 사용하여 그 추적능력이 실제로 어느 정도 개선되는가를 확인하여 보았다. 사용된 화상정보는 일반적인 삼거리 교차로에서 얻을 수 있는 실제의 교통영상파일로서, 240×180의 크기로 매초 15프레임의 속도로 약 17초 동안 입력된 실제의 AVI파일이다. 영상파일에서 주어진 17초 동안에 나타나는 표적물들은 사람과 모터사이클, 그리고 승용차와 트럭 등의 모두 14개의 표적물을 포함하고 있다. 먼저 주어진 실제의 영상정보에 대하여 각각의 예측기를 사용하여 약 2초 후의 상황이 그림 7에 도시되어 있다.

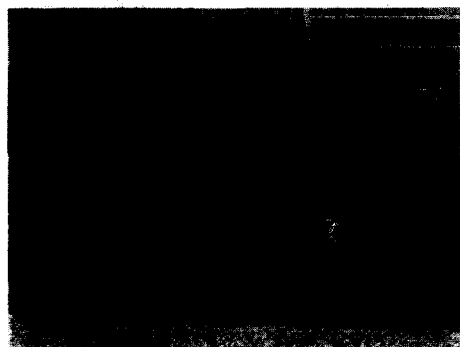


그림 7. 2초 후의 표적물의 추적

Fig. 7. Tracking results at 2 seconds.

그림에서는 오른쪽 하단에서 왼쪽으로 진행하는 회색의 승용차가 6번 표적물로 인식되어 도로의 정지선을 통과하고 있다. 이때 정지선이 승용차에 가려지면서 형태의 변화가 발생하여 새로운 이동물체로 판단하게 된다. 따라서 다중표적 추적시스템에서는 정지선을

새로운 표적물 15번으로 인식하여 그 자취를 추적하기 시작하게 된다.

정지선의 자취는 회색승용차가 정지선을 지나면 다시 원래의 상태로 복원되면서 배경화면으로 처리되어 추적을 중지하여야 한다. 그림 8에서는 회색승용차가 지나간 후의 추적상황을 보여주고 있다.

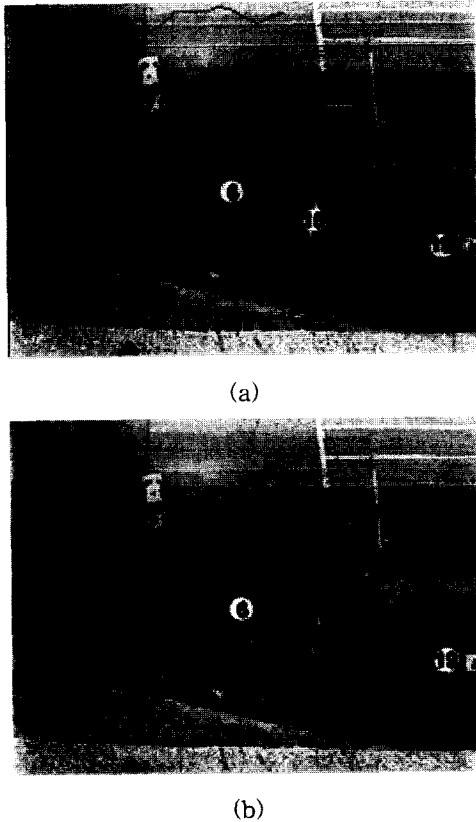


그림 8. 정지선의 추적 결과 (a)최소거리 추적 (b)신뢰구간 추적
Fig. 8. Tracking results of stop-line. (a)minimum distance tracking, (b)confidence region tracking.

그림 8의 (a)에서는 최소거리로 측정치를 판단하는 기존의 방법을 사용한 결과로서, 회색의 승용차가 정지선을 지나고 난 뒤에도 일정한 잡음에 의하여 정지선을 계속 추적하고 있음을 보여주고 있다. 제안된 방법의 결과인 그림 (b)에서는 정지선의 궤적인 15번이 배경으로 판단되어 추적을 중지했음을 보여준다. 발생된 오류는 계속되는 추적 결과에도 영향을 주게 된다. 그림 8의 오른쪽에는 19번으로 인식된 회색승용차가 나타나기 시작하는 것을 볼 수 있는데, 6번 표적물의

뒤를 따라 움직이게 된다. 흰색 승용차의 추적결과는 그림 9에 도시되어 있다.

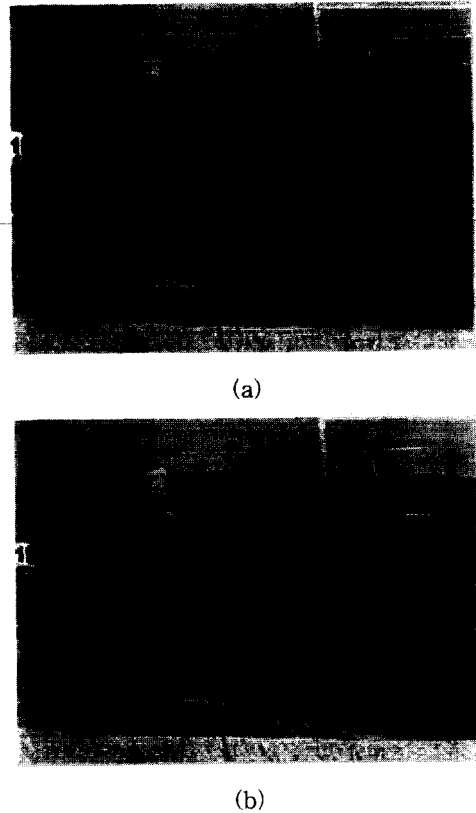


그림 9. 흰색 승용차의 추적결과 (a)최소거리 추적 (b)신뢰구간 추적
Fig. 9. Tracking results of white car. (a)minimum distance tracking, (b)confidence region tracking.

그림 9의 (a)는 최소거리를 사용하는 기존의 방법으로 추적한 결과인데, 그림 8에서 새로운 표적물 19번의 궤적은 없어지고, 흰색승용차가 정지선으로 인식한 15번 궤적으로 바뀌어 추적되고 있다. 반면에 그림 (b)의 신뢰구간을 이용한 제안된 방법의 결과는 흰색 승용차를 끝까지 하나의 표적물 19번으로 인식하여 추적에 성공하고 있음을 보여준다. 이와 같이 제안된 방법의 우수한 추적능력은 실제의 교통정보파일에서도 확인할 수 있었다.

V. 결론

이상과 같이 다중표적 추적시스템에서 표적물의 예측위치를 측정치를 연결하는 정보융합과정을 개선할

수 방법을 살펴보았다. 제안된 방법은 다중표적 추적 시스템에서 기존의 예측기로 사용되는 칼만필터의 정보를 이용하여 예측치에 관한 신뢰구간을 설정하였으며, 예측치의 확률값에 따르는 신뢰구간의 정보를 이용함으로써, 표적물의 추적에 있어서 발생할 수 있는 오류를 줄일 수 있음을 확인하였다. 특히, 가정된 상황의 시뮬레이션을 통하여 제안된 방법이 지니는 장점을 확인할 수 있었으며, 실제의 교통정보파일에 적용한 결과에서도 우수한 추적능력을 보여주었다. 제안된 방법은 기존의 예측기로 사용되는 칼만필터의 결과를 사용함으로써 추가되는 계산량의 부담없이 실제의 다중표적 추적시스템에 사용할 수 있는 장점을 지니고 있다. 다만 기존의 다중표적 추적시스템이 2차원으로 주어지는 화상정보를 x-y축 비결합의 형태로 사용되고 있어, 제안된 방법을 x-y축 결합의 형태로 확장하는 방법에 관하여서는 더 많은 연구가 요구된다.

참 고 문 헌

[1] Y. Bar-Shalom, *Multitarget-Multisensor Tracking:Advanced Applications*, Artech House, 1990.
 [2] R. G. Brown, *Introduction to Random Signal Analysis and Kalman Filtering*, John Wiley & Sons, Inc.,1983.
 [3] S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, 3rd ed., Prentice Hall, 1996.
 [4] D. Beymer, P. McLauchlan, and B. Coifman, and J. Malik, "A Real-time Computer Vision System for Measuring Traffic Parameter," *Proc. of CVPR 97*,

pp. 495-501, July. 1997.
 [5] M. Yeddanapudi, Y. Barshalom. and K. R. Pattipati, "IMM Estimation for Multi-target Multi-sensor Air Traffic Surveillance," *Proc. of the IEEE*, vol. 85, No. 1, pp. 80-94, Jan. 1997.
 [6] T. H. Kerr, "Real-Time Failure Detection: A Nonlinear Optimization Problem That Yields a Two-Ellipsoid Overlap Test", *Journal of Optimization Theory and Applications*, Vol 22, No. 4, pp.509-536, August 1977.
 [7] T. H. Kerr, "Statistical Analysis of a Two-Ellipsoid Overlap Test for Real-Time Failure Detection", *IEEE Transactions on Automatic Control*, Vol. AC-25, No. 4, pp762-773, August 1980.
 [8] T. H. Kerr, "False Alarm and Correct Detection Probabilities over a Time Interval for Restricted Classes of Failure Detection Algorithms", *IEEE Transactions on Information Theory*, Vol. IT-28, No. 4, pp.619-631, July 1982.
 [9] A. Gelb, *Applied Optimal Estimation*, M.I.T. Press, 1974.
 [10] 이연석, "다중표적 추적시스템에 있어서의 표적물의 모델," *전자공학회논문지*, 제36권 S편, 제7호, 1999년 7월
 [11] V. Markandey, A. Reid, and S. Wang, "Motion Estimation for Moving Target Detection," *IEEE Trans. on Aerosp. Electron. Syst.*, Vol. 32, No. 3, pp. 866-874, July. 1996.

저 자 소 개



李淵錫(正會員)
 1960년 5월 26일. 1984년 서울대 공대 제어계측공학과 졸업. 1986년 동대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 1993년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(공학박). 현재 군산대학교 공과대학 전기전자제어공학부 조교수



千承煥(正會員)
 1972년 11월 26일. 1997년 군산대학교 공과대학 제어계측공학과 졸업. 현재 군산대학교 공과대학 전자공학과 석사과정