

# x-y축이 결합된 신뢰구간을 이용한 다중표적 추적시스템의 설계

## Target Trackings Using x-y Coupled Confidence Region in Multi-target Tracking System

이 연 석, 조 장 래, 전 칠 환  
(Yeon-Seok Lee, Jang-Lae Jo, and Chil-hwan Jeon)

**Abstract** : Multi-target tracking systems need to tracking several targets simultaneously. To track a target among the measurements of several targets, data association is needed. In this paper, a method using the coupled confidence region of predicted target position is proposed. The proposed method shows good performance in simulations of multi-target tracking systems.

**Keywords** : Kalman filter, multi-target tracking, confidence region

### I. 서론

주로 항공기나 중급 미사일 등에 많이 쓰이는 SDNS (Strapdown Inertial Navigation System)[1][2]와 MTI (Moving Target Indicator) 레이더[3] 군사적 목적이나, 민수용으로 사용되어지는 표적 추적시스템은 레이더나 적외선 감지기 등으로 측정된 정보를 이용하여 표적의 탐지나 식별, 그리고 추적을 수행하게 되는데, 이 과정은 추적 시스템의 대상물체들이 지니고 있는 현재의 위치, 속도, 그리고 가속도[4][5] 등에 관한 정확한 정보들을 추출하는 작업을 의미한다[6]. 다중표적 추적시스템은 영상으로부터 얻은 여러 개의 독립적인 표적물에 관한 정보로부터 각각의 표적물에 관한 정보를 분리하여야 한다. 표적물의 추적에는 그 추정능력이 최적으로 잘 알려진 칼만필터를 사용하였다[7]. 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 다중표적 추적시스템에서는 경우에 따라서 예측한 위치에 가까이 있는 표적물이 다른 표적물인 경우가 있다. 이러한 경우는 시스템의 예측의 표적물들이 서로 뒤바뀌거나 추적중인 물체를 인식하지 못하는 경우가 발생하게 된다. 이와 같은 경우에 예측한 위치정보가 지니고 있는 신뢰정보를 이용하여 표적물 추적을 강화시킬 수 있다. 칼만 필터의 결과로 얻어지는 예측위치 정보는 공분산으로 규정되고 신뢰영역을 지니고 있으며, Kerr는 이를 고장진단에 사용하였다[8][9][10].

본 연구에서는 이와 같이 예측된 위치정보가 지니는 신뢰구간을 이용한 참고문헌 [10]의 결과에서 x-y축 결합 신뢰구간으로 확장하여 다중표적 추적시스템에

적용하였다. 영상정보를 이용한 다중차량 추적시스템 추적시스템은 측정입력이 평면으로 추정되는 영상입력이고, 따라서 시스템의 동역학은 평면을 운동하는 물체의 모델로 설정되어 있으며, 특히 시스템의 실시간 처리를 위하여 x-y축의 운동을 각각 분리하여 구성하였다. 그러나 실제의 표적물들은 영상 정보에서 대각 방향으로 움직이는 경우도 있으며, 따라서 신뢰구간을 산출할 경우에 이에 관한 고려가 필요하다. 이를 위하여서는 참고문헌[10]에서와 같이 각 축에 단순한 신뢰구간을 적용하기보다는 표적물의 운동방향을 고려한 신뢰구간의 설정이 요구된다.

본 논문의 구성은 II에서 논문에서 사용한 칼만필터의 일반적인 알고리즘에 대해서 살펴보고, III에서는 신뢰구간을 이용한 정보융합과 본 논문에서 제안하고 있는 x-y축이 결합된 신뢰구간에 관하여 서술한다. IV에서는 이들의 차이점을 설명할 수 있는 간단한 경우의 시뮬레이션 결과를 살펴보고, 이를 실제의 동영상 입력을 사용한 다중차량 추적시스템에 적용하여 그 효과를 살펴보았고, 마지막으로 본 논문의 결론을 V에서 맺도록 한다.

### II. 칼만필터

칼만필터의 성능은 잘 알려져 있다. 칼만필터는 필터의 구조가 선형으로 구성되어 있으며, 선형시스템의 초기 상태변수들이 정규분포를 지니고, 시스템에 부가되는 잡음들이 백색 가우시안의 특성을 지니고 있을 경우에 그 특성이 최적으로 나타난다. (1)과 (2)와 같이 주어지는 선형시스템에서의 칼만필터를 살펴보자.

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

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

식에서  $\mathbf{x}_k$ 는 상태변수,  $\mathbf{z}_k$ 는 측정치를 나타내고 있으며  $\mathbf{w}_k$ 는 시스템에 부가되는 잡음을 의미하고  $\mathbf{v}_k$ 는 측정할 때 발생하는 측정잡음을 의미한다. 잡음들은 서로 상관관계가 없으며, 각각의 공분산 행렬이  $\mathbf{Q}_k, \mathbf{R}_k$ 로 주어지고 영평균 백색잡음의 특성을 가진다고 가정한다. 시간  $k$ 에서 상태변수의 측정값  $\mathbf{y}_k$ 가

접수일자 : 1999. 11. 2., 수정완료 : 2000. 8. 2.

이연석, 전칠환 : 군산대학교 전자정보공학부

조장래 : 군산대학교 제어계측공학과

※ 이 논문은 2000년도 두뇌한국21사업과 (주)테오피아의 일부 지원에 의하여 수행되었습니다.

입력되면, 칼만필터는 (3)부터 (7)까지의 순환식을 통하여 다음의 예측값  $\bar{x}_{k+1}$ 을 산출하게 된다.

$$K_k = \bar{P}_k H^T (H \bar{P}_k H^T + R_k)^{-1} \quad (3)$$

$$\hat{x}_k = \bar{x}_k + K_k (z_k - H \bar{x}_k) \quad (4)$$

$$P_k = (I - k_k H) \bar{P}_k \quad (5)$$

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

$$\bar{P}_{k+1} = A P_k A^T + Q_k \quad (7)$$

(3)에서의  $K_k$ 는 필터의 이득이며, 전 상태에서 예측한 값  $\bar{x}_k$ 의 공분산 행렬  $\bar{P}_k$ 와 입력된 측정값  $y_k$ 에 부가된 잡음의 공분산 행렬  $R_k$ 로부터 구할 수 있다. 필터이득  $K_k$ 를 이용하여 (4)(5)와 같이 상태변수의 추정값  $\hat{x}_k$ 와 공분산 행렬  $P_k$ 의 측정치 보강식을 수행하고, 다시 다음의 측정값이 입력될 때 사용할 예측값  $\bar{x}_{k+1}$ 과 공분산 행렬을 (6)(7)과 같이 계산하게 된다. 따라서 필터의 초기값  $x_0$ 과  $P_0$ 를 설정하게 되면, 매번 측정값이 입력될 때, (3)에서부터 (7)까지의 필터식들을 순환적으로 계산할 수 있다. 다중표적 추적시스템에서는 순환식의 과정에서 얻어지는 예측값  $\bar{x}_{k+1}$ 을 이용하여 여러 표적물들의 측정값으로부터 각각의 표적물에 대응하는 측정값을 선택하여 사용하게 된다.

**III. 결합된 신뢰구간을 이용한 정보융합**

다중표적 추적시스템에서는 측정된 표적물들이 여러 개이고, 각각의 측정치가 어느 표적물에 관한 측정치인가를 결정하여야 한다. 일반적으로 사용할 수 있는 방법은 (8)과 같이 각 표적물들에 관한 칼만필터로부터 얻은 전 상태의 예측값으로부터 가장 가까운 측정치를 그 표적물의 측정치로 고려하는 방법을 생각할 수 있다.

$$(z_{ix} - \bar{x})^2 + (z_{iy} - \bar{y})^2 = r_i^2 \quad (8)$$

식에서  $\bar{x}$ 와  $\bar{y}$ 는 현재 추적중인 표적물의 예측값,  $z_{ix}$ 와  $z_{iy}$ 는  $i$ 번째 측정치의 두 좌표값이며,  $r_i$ 는 이들과 추적중인 표적물과의 거리를 나타낸다. 여기에서 예측값을 칼만필터를 이용하여 구할 경우에는 예측위치에 관한 정보만이 아니라 예측위치의 공분산에 관한 정보도 얻을 수 있으므로 이를 이용하여 신뢰구간을 설정할 수 있다. 이를 이용하면, (8)과 같은 단순한 거리를 (9)와 같이 신뢰도를 고려한 확률가중거리를 구할 수 있으며, 이를 이용하여 추적능력을 개선할 수 있게 된다[10].

$$\frac{(z_{ix} - \bar{x})^2}{\bar{P}_x} + \frac{(z_{iy} - \bar{y})^2}{\bar{P}_y} = r_i^2 \quad (9)$$

식에서  $\bar{P}_x$ 와  $\bar{P}_y$ 는 칼만필터의 순환식 중에서 (7)로 주어지는 예측값의 공분산이다. 본 논문에서 고려되고 있는 다중표적 추적시스템은 표적물의 위치를 영상정

보로부터 얻고 있으며, 따라서 위치에 관한 정보가 평면으로 주어지고 있다. 또한 추적시스템의 실시간 처리를 위하여 평면의 두 축에 관한 독립적인 칼만필터를 사용하고 있다. 따라서 (9)로 주어지는 측정치의 확률가중거리는 x-y축이 비결합의 형태로 이루어져 있어 영상에서 측방향으로 편심된 타원체로 주어지며, 표적물이 영상정보의 상하좌우 방향으로 운동하는 경우에는 신뢰구간이 운동방향으로 나타나게 된다. 그러나 표적물이 영상에서 대각의 방향으로 나타나게 되는 경우에는 (9)로 주어지는 신뢰구간은 표적물 운동방향을 충분히 표현하지 못하게 된다. 따라서 표적물의 신뢰구간을 결정하는 과정에서 표적물의 운동방향을 고려한 신뢰구간을 설정할 필요가 있다. (9)의 확률가중거리와 관련한 식을 칼만필터에서 얻을 수 있는 표적물의 이동속도  $\bar{v}(\bar{v}_x, \bar{v}_y)$ 를 이용하여 표적물의 운동방향으로 회전시키게 되면, (10)과 같이 표현되며 이의 유도과정은 부록에 수록되어 있다.

$$\frac{\bar{x}^2 + \frac{a_i^2}{d_i} - 2\bar{x} \frac{a_i}{d_i}}{\left(\frac{\bar{P}_x}{2}\right)^2} + \frac{\bar{y}^2 + \frac{b_i^2}{d_i} - 2\bar{y} \frac{b_i}{d_i}}{\left(\frac{\bar{P}_y}{2}\right)^2} = r_i^2 \quad (10)$$

식에서  $a_i = (z_{ix}\bar{v}_x - z_{iy}\bar{v}_y)$ ,  $b_i = (z_{ix}\bar{v}_y - z_{iy}\bar{v}_x)$ 이고  $d_i = \bar{v}_x^2 + \bar{v}_y^2$ 으로 주어지며, 이들은 칼만필터의 속도에 관한 상태변수들과 측정치들로부터 얻어지는 값이다. 이러한 방법을 사용하여야 하는 경우를 그림 1에서 설명할 수 있다. 그림 1에서 측정치에 관하여 (9)와 같은 비결합 확률가중거리를 이용하게 되면, 측정

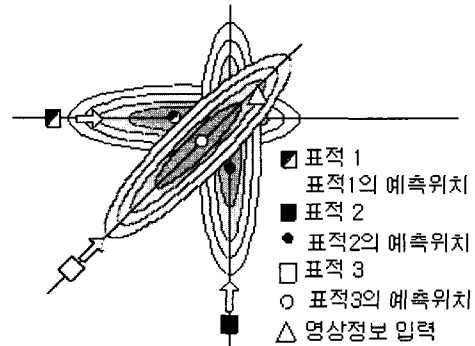


그림 1. 예측위치의 신뢰구간.

Fig. 1. Confidence region of predicted position.

치는 표적물 1에 포함된 측정치로 판단하게 된다. 그러나 (10)으로 주어지는 x-y축이 결합된 신뢰구간을 이용하게 되면, 주어진 측정치는 표적물 2의 측정치로 고려된다.

그림 1에서와 같은 경우를 살펴보기 위하여, 두개의 물체가 교차하는 상황에서 기존의 신뢰구간과 x-y축 결합 신뢰구간을 적용하여 그 결과를 살펴보았다. 1번 물체는 좌하단에서 우상단으로 이동 중이며, 2번 물체

는 좌중단에서 우중단으로 직선 이동한다. 이동 중에 화면의 중앙에서 서로 교차하게 된다. (9)를 사용한 기존 신뢰구간을 이용한 추적결과를 그림 2(a)와 같이 서로 교차하는 상황에서 1번 물체가 추적에 실패하고 2번 물체를 따라가는 모습을 볼 수 있다. 반면에 (10)으로 주어지는 x-y축 결합 신뢰구간의 추적결과인 그림 2(b)를 보면 제대로 추적하는 모습을 볼 수 있다.

**IV. 다중표적 시스템의 적용**

이상과 같이 다중표적에 관한 정보융합 과정에서 x-y결합형태의 신뢰구간을 이용한 표적물의 추적에 관한 성능을 다중표적 추적시스템에 적용하여 그 성능을 살펴보았다. 시뮬레이션에 사용된 다중표적 추적시스템은 그림 3과 같이 영상입력, 물체의 추출, 표적물 추출, 새표적물 인식, 표적물의 예측 등의 부분으로 설명되는 시스템이다[7].

그림 3과 같이 구성된 다중 표적 추적시스템에 x-y축 결합된 형태의 신뢰구간을 실제의 영상정보에 사용

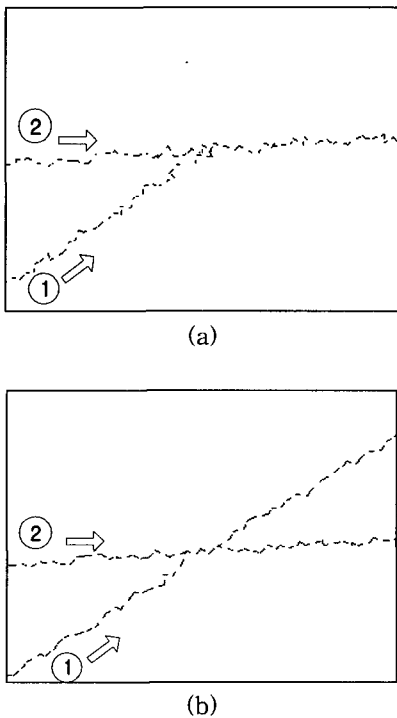


그림 2. 교차하는 두 물체의 추적. (a) 기존 신뢰구간, (b) x-y축 결합 신뢰구간.  
 Fig. 2. Tracking of crossing target. (a) conventional confidence region, (b) coupled confidence region.

하여 그 추적능력을 살펴보았다. 사용된 실제의 영상 정보는 매초 15프레임으로 구성된 사람과 자동차, 모터사이클 등 모두 14개의 표적물이 이동하는 교통 영상파일이다[10].

결합된 신뢰구간의 우수성을 나타내는 상황은 그림

4와 같이 화면의 왼편상단에서 나오는 한 무리의 사람들에 대한 추적결과에서 살펴볼 수 있었다. 그림에서 보면, 처음에 세 사람이 같이 나오다가 일정거리 이동

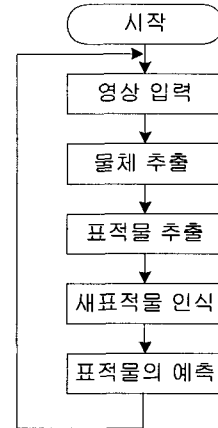


그림 3. 다중표적 추적시스템의 블록선도.  
 Fig. 3. Block diagram of multi-target tracking system.

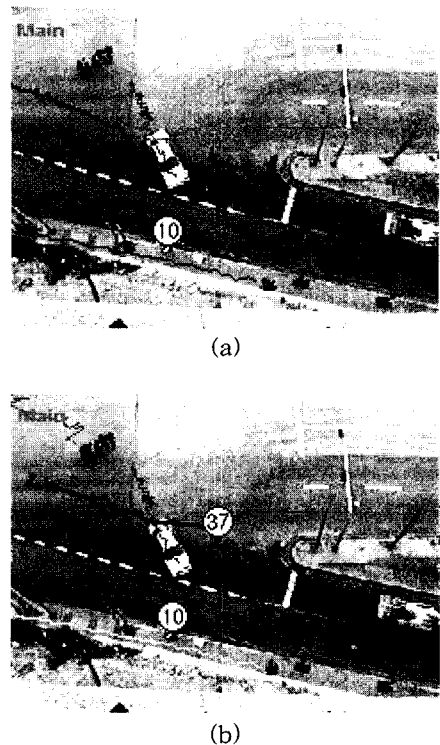


그림 4. 나뉘는 사람들에 대한 추적, (a) 기존 신뢰구간, (b) x-y축 결합 신뢰구간.  
 Fig. 4. Tracking of splitting people. (a) conventional confidence region, (b) coupled confidence region.

후에 흰색자동차 뒤에서 두 갈래로 나누어지는 상황이다 이때 한 명은 화면의 오른쪽 중단으로 향하여 대각선의 운동방향을 보이고 있고, 두 명은 화면의 아래부

분으로 이동하고 있다. 영상정보의 두 기준 축은 상하와 좌우의 방향으로 선택되어 있으며, 따라서 그림 4의 (a)에서의 기존의 신뢰구간을 적용할 경우에 영상정보의 대각선 방향으로 운동중인 한 명의 추적에 실패하게 됨을 알 수 있다. 이와는 달리 x-y축 결합 신뢰구간을 적용한 그림 4의 (b)에서는 대각선 방향으로 이동하고 있는 한 명에 대해서도 무리들과 분리 이후에 즉시 추적을 시작하고 있음을 살펴볼 수 있다.

**V. 결론**

이상과 같이 다중표적 추적시스템에서 예측위치에 관한 신뢰구간을 이용하여 예측된 표적물과 측정치와의 정보융합과정을 수행할 경우에, 추정된 표적물의 속도정보를 이용하여 추적능력을 개선할 수 있는 방법을 살펴보았다. 여러 개의 표적물을 동시에 추적하는 경우에 각각의 표적물들과 여러 표적물에 관한 측정치들의 관계를 설정하는 방법으로는 표적물의 예측위치와 가장 가까운 거리에 있는 측정치를 선택하게 된다. 이는 단일 표적 추적에는 좋은 성능을 보이지만 다중의 표적들이 서로 존재하는 경우에 표적들이 서로 뒤바뀌는 경우가 발생하게 된다. 이러한 경우를 방지하기 위하여서는 신뢰구간을 이용한 정보융합과정을 사용할 수 있다. 다중표적 추적시스템에서 추적기로 사용되는 칼만필터는 실시간 구현을 위하여 각 축에 대하여 독립적으로 운용된다. 독립적으로 운용된 칼만필터로부터 신뢰구간을 구할 경우에는 표적물의 운동방향이 고려되지 않고, 신뢰구간이 평면에서 각 축을 각각 장축과 단축으로 하는 타원체로 나타나게 된다. 따라서 표적물이 두 축에 대각 방향으로 운동하는 경우에는 표적물의 추적능력이 떨어지게 된다. 이는 표적물의 운동방향에 관한 정보를 충분히 사용하지 않은 결과이다.

본 논문에서는 이러한 단점을 줄이기 위하여 신뢰구간의 설정을 표적물의 운동방향을 고려한 x-y축 결합 형태의 신뢰영역으로 확장하였고, 운동방향을 고려한 경우의 장점을 가상의 표적물 운동에 관하여 확인하였다. 제안된 방법을 구성하기 위한 표적물의 운동방향은 예측기로 사용되는 칼만필터가 추정한 속도로부터 얻을 수 있으므로, 기존의 다중표적 추적시스템에서 사용이 용이하다. 실제의 영상정보를 이용한 다중표적 추적시스템에 적용하여 그 효과를 살펴보았다. 이론적인 관측과 같이 실제의 영상정보를 이용한 다중표적

추적시스템에서도 영상에서 대각방향으로 추적에 실패한 경우에도 제안된 방법이 추적에 성공하고 있음을 확인하였다. 제안된 방법은 표적물의 운동방향에 관한 정보를 추가로 사용하고 있지만, 실제 평면을 운동하고 있는 물체를 결합된 칼만필터를 사용하는 경우의 성능을 나타내지는 못한다. 따라서 앞으로 이에 관한 많은 연구가 요구된다.

**참고문헌**

- [1] Y. Bar-Shalom, *Multitarget-Multisensor Tracking, Advanced Applications*, Artech House, 1990.
- [2] 이연석, "다중표적추적시스템에 있어서의 표적물의 모델", 전자공학회 논문지, 제 36 권 S 편, 제 7 호, 7. 1999.
- [3] 박인환, 조경래, "적용 칼만필터를 이용한 표적 추적 기법" 한국자동제어학술회의 논문집, 1998.
- [4] 황보승욱, 홍금식, 최성린, 최재원, "기동하는 표적의 추적을 위한 연합형 가변차원 입력추정필터", 제어자동화시스템공학 논문지, 제 5 권, 제 6 호, 1999.
- [5] Arthur Gelb, *Applied Optimal Estimation*, MIT press, 1974.
- [6] R. G. Brown and P. Y. C. Hwang, *Introduction to Random Signal Analysis and Kalman Filtering* 3rd ed., John Wiley & Sons Inc., 1997.
- [7] 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.
- [8] 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, pp. 762-773, August, 1980.
- [9] 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.
- [10] 이연석, 천승환, "신뢰구간을 이용한 다중표적 추적시스템의 설계", 전자공학회 논문지, 제36권 S 편, 제 7호, 7. 1999.

**부록**

(10)의 유도 그림 5와 같이 운동방향이 주어진 경우의 운동방향을 고려한 신뢰구간을 구할 수 있다.

먼저 운동방향을 고려하지 않은 신뢰영역의 확률가중치 거리는 (9)와 같이 주어진다.

$$\frac{(z_{ix} - \bar{x})^2}{P} + \frac{(z_{iy} - \bar{y})^2}{P} = r_i^2 \tag{9}$$

(9)에서의 타원체의 장축을 운동방향으로 설정하기

위하여 타원체를  $\theta$  만큼 회전시키면 된다. 이를 위하여 (9)에 다음의 (11)과 같은 회전관계식을 대입하여 정리하면 회전 (12)를 대입하자.

$\cos \theta = \frac{v_x}{k}, \sin \theta = \frac{v_y}{k}$  이고,  $k = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$  으로 칼만필터에서 추정된 표적물의 속도벡터로부터 얻어지는 회전각이다. 이들을 이용하면 다음과 같이 (13)과 (14)를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}
 & (\hat{x} - x \cdot \cos \theta + y \cdot \sin \theta)^2 \\
 &= \hat{x}^2 + x^2 \cos^2 \theta + y^2 \sin^2 \theta \\
 &\quad - 2\hat{x}x \cos \theta + 2\hat{x}y \sin \theta - 2xy \cos \theta \sin \theta \\
 &= \hat{x}^2 + x^2 \frac{v_x^2}{k^2} + y^2 \frac{v_y^2}{k^2} - 2\hat{x}x \frac{v_x}{k} + 2\hat{x}y \frac{v_y}{k} - 2xy \frac{v_x v_y}{k^2} \\
 &= \hat{x}^2 + \frac{x^2 v_x^2 + y^2 v_y^2 - 2xy v_x v_y}{k^2} + \frac{2\hat{x}(y v_y - x v_x)}{k} \\
 &= \hat{x}^2 + \frac{(x v_y - y v_x)^2}{v_x^2 + v_y^2} - \frac{2\hat{x}(y v_y - x v_x)}{v_x^2 + v_y^2}
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

$$\begin{aligned}
 & (\hat{y} - x \cdot \sin \theta + y \cdot \cos \theta)^2 \\
 &= \hat{y}^2 + x^2 \sin^2 \theta + y^2 \cos^2 \theta \\
 &\quad - 2\hat{y}x \sin \theta + 2\hat{y}y \cos \theta - 2xy \cos \theta \sin \theta \\
 &= \hat{y}^2 + x^2 \frac{v_y^2}{k^2} + y^2 \frac{v_x^2}{k^2} - 2\hat{y}x \frac{v_y}{k} + 2\hat{y}y \frac{v_x}{k} - 2xy \frac{v_x v_y}{k^2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \hat{y}^2 + \frac{x^2 v_y^2 + y^2 v_x^2 - 2xy v_x v_y}{k^2} + \frac{2\hat{y}(x v_y - y v_x)}{k} \\
 &= \hat{y}^2 + \frac{(x v_y - y v_x)^2}{v_x^2 + v_y^2} - \frac{2\hat{y}(x v_y - y v_x)}{v_x^2 + v_y^2}
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

따라서, (10)과 같이 정리할 수 있다.

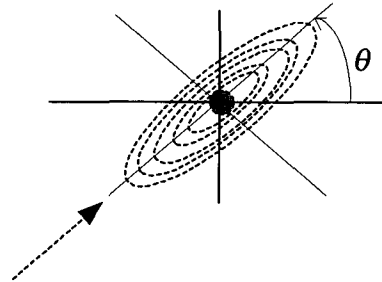


그림 5. x-y축이 결합된 신뢰구간.  
Fig. 5. x-y coupled confidence region.



**이 연 석**  
1984년. 서울대 제어계측공학과 졸업(공학사). 1986년 서울대 제어계측공학과 (공학석사). 1993년. 서울대 제어계측공학과 (공학박사) 1993년부터 현재까지 군산대학교 전자정보공학부 부교수.



**전 철 환**  
1980년 서울대 공대 전기공학과 졸업(학사). 1986년 미국 밴더빌트대학교 졸업(석사). 1990년 동대학교 졸업(박사). 현재 군산대학교 전자정보공학부 부교수.



**조 장 래**  
2000년 군산대학교 제어계측공학과 졸업 (공학사). 2000년 현재 군산대학교 제어계측공학과 석사과정.