

# 이동로봇의 인터넷 기반 원격제어시 시간지연에 따른 경로 보상 제어

## Path Compensation Control for Remote Control of Internet Based Mobile Robot with Time Delay

유봉수 · 이상민 · 조중선  
창원대학교 제어계측공학과

Bong-Soo Yoo, Sang-Min Lee and Joong-Seon Joh  
Department of Control and Instrumentation Engineering, Changwon University  
(jsjoh@sarim.changwon.ac.kr)

### ABSTRACT

최근 인터넷은 전세계적으로 대중화되어 다양한 분야에서 많이 응용되고 있다. 특히 인터넷을 이용한 Telerobot 시스템의 연구가 활발히 진행되면서, 인터넷상에서의 네트워크 상태나 대역폭에 따른 시간지연 문제가 중요한 이슈가 되고 있다. 이는 조작자가 의도하는대로 이동로봇을 제어하기 위해 반드시 해결되어야 할 문제이다. 따라서 본 논문에서는 원격지의 조작자가 지시하는대로의 원활한 주행을 위하여 이동로봇에 전송되는 명령에 시간정보를 함께 보냄으로써, 이를 수신한 이동로봇이 지연시간을 계산하여 시간지연에 따른 경로오차를 보상하거나, 이전의 경로를 이용하여 앞으로의 경로를 예측함으로써 이동로봇이 적절한 경로를 주행할 수 있도록 함을 목적으로 한다.

**Key Words** : 시간지연, 이동로봇, 원격제어, Telerobot

### 1. 서 론

최근의 고도화된 정보사회에서 인터넷은 다양한 분야에서의 적용사례를 보이고 있다. 이러한 현상은 로보틱스 분야에서도 마찬가지로 인터넷 기반 원격로봇 시스템은 많은 연구자들이 관심을 가지고 있으며, 인터넷을 기반으로 한 다양한 형태의 로봇이 개발 및 연구되고 있다.

Berkeley 대학의 Goldberg는 Mucury project[1]에서 Standard Web Browser를 통해서 robot arm을 제어하였고, 이후에 Telegarden project[2]에서 흙속에 묻힌 물건을 찾거나 정원에 물을 주는 간단한 로봇 시스템을 개발하였다. Western Australia 대학의 Telerobot 연구[3]는 인터넷을 통하여 산업용 ASEA IRB6 robot arm을 이용한 블록 쌓기 등을 하였다. 또한, Schulz과 Burgard[4]등은 이동로봇 Minerva를 개발하였는데, 이 이동로봇은 박물관에서 사람을 안내하는 작업을 성공적으로 수행하였다.

한편 현재의 인터넷기반 로봇기술은 아직 초기단계여서 많은 문제점을 가지고 있다. 컴퓨터의 통신포트를 이용한 직접적인 통신과는 달리, 원격 조작자 또는 조작컴퓨터와 이동로봇간의

인터넷을 통한 통신에 있어서 갑작스런 통신 단절이나 낮은 대역폭, 또는 불특정 다수의 동시접속으로 인한 시간지연 등은 이동로봇의 오동작의 원인이 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 Riko[5]등은 원격의 조작자가 인터넷을 통하여 laboratory robotic system에 접근하여 manipulator를 제어시 V-Collide library를 사용하여 simulator의 데이터 계산 시간을 줄이고 시간지연에 의해서 생기는 manipulator와 그에 관계된 작업공간상의 물체와의 충돌을 방지하였다. Imad[6]는 이동로봇이 시간지연에 의해 일정시간 내에 명령을 받지 못했다면 장애물과의 거리를 검출하고 만약 장애물과의 거리가 미리 정의되어있는 위험 거리보다 가까우면 로봇을 정지시키는 event based control을 통하여 remote control system의 안정성을 높였고, Ohba[7]는 시간지연이 있는 network를 사용한 원격 로봇의 협력을 Multi Operator Multi Robot (MOMR) teleoperation을 통하여 연구하였다. 이때 MOMR 시스템을 수행하는데 있어서 몇 가지의 구속을 두고, 이 구속하에서 시간지연이 MOMR 시스템에 미치는 영향을 설명하고, MOMR 시스템에서 다른 로봇과의 충돌을

방지하기 위하여 virtual thickness modification 방법을 제안하였다.

본 논문에서는 이러한 여러 가지의 연구들중 인터넷을 통한 이동로봇의 원격제어시 발생하는 시간지연이 이동로봇의 주행경로에 미치는 영향을 최소화하기 위해, 이동로봇에 전달되는 명령에 시간정보를 덧붙임으로써 시간지연을 계산하고, 계산된 시간지연에 따른 주행경로를 보상하는 방법을 제안한다. 그리고 제안된 주행 경로 보상 방법을 시뮬레이션을 통하여 검증하고자 한다.

## II. 인터넷 기반에서의 시간지연 측정

인터넷을 기반으로 하는 이동로봇의 원격제어시 다수가 관리하고 공유하는 회선을 이용함으로써 여러 가지의 문제점들이 제기될 수 있다. 그중 가장 커다란 문제점은 통신의 신뢰성(reliability) 문제로써, 불특정 다수의 접속자가 사용함으로써 인해 통신의 트래픽을 정확히 예측할 수 없는 TCP/IP 기반의 통신방식에서 발생하는 통신두절 또는 시간지연은 시스템에 커다란 영향을 끼친다. 이는 이동로봇의 특성상 다양한 환경에서의 작업 및 동작이 가능함으로써, 오동작이 발생시 상황에 따라 커다란 문제를 야기시킬 수 있다. 이러한 상황을 회피하기 위한 가장 일반적인 방법은 일정시간의 한계를 정하고, 한계시간 이상의 시간지연은 통신두절로 정의하고, 그렇지 않은 경우 정확한 시간지연을 측정하여 그에 따른 적절한 보상을 하면 될 것이다.

정확한 시간지연의 측정을 위하여 그림 1과 같이 원격지의 조작컴퓨터와 이동로봇을 인터넷 타임 서버의 절대시간으로 동기화한 후 이동로봇에 내리는 각각의 명령마다 현재 전송되는 명령의 절대순서와 원격지 컴퓨터의 시간 데이터를 이동로봇에 전송되는 명령에 첨부함

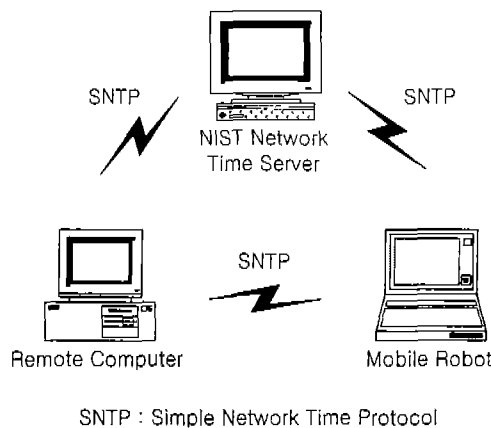


그림 1. 인터넷을 이용한 시간 동기  
Fig 1. Time synchronization using internet

으로써 이동로봇이 명령을 수신할 때까지의 지연시간을 계산한다. 즉 아래의 식 (1)과 같이 이동로봇이 명령을 받은 시간( $T_m$ )과 전송된 명령에 포함되어온 명령을 내릴 시점의 시간( $T_c$ )을 비교함으로써 명령이 전송될 때까지의 지연시간( $T_d$ )을 알아낼 수 있다.

$$T_d = T_m - T_c \quad (1)$$

따라서 본 논문에서는 다음과 같은 가정하에서 주행중인 이동로봇의 경로를 보상 및 제어하고자 한다.

1. 이동로봇은 신속한 동작을 위하여 지연제한시간( $T_D$ ) 내에서는 일정한 속도( $V_s$ )로 이동한다. 일정시간을 경과한 시간지연은 통신두절로 정의하고 별도의 조치를 취하는 것으로 한다.
2. 로봇에 내려지는 경로 명령은 일정시간( $T_s$ )마다 주어지며, 지연시간은 이를 초과하지 않는다. 즉  $T_d < T_s$ 로써 식 (1)과 함께 그림 2와 같이 정의된다.
3. 보다 원활한 통신을 위하여 원격지 조작 컴퓨터와 이동로봇 간의 데이터 이동량을 최소화하기로 한다. 따라서 이동로봇에 내리는 명령은 로봇의 이동방향( $\vec{C}$ )만을 지시하고, 이동로봇의 상태는 피드백 받지 않는다.

## III. 시간지연에 따른 이동로봇의 경로 보상 제어

### 3.1 1차 보간을 응용한 경로 보상 제어

이동로봇은 주행 중 원격 조작자에 의해 이동방향을 지시 받게 되면 이를 수행하게 된다. 이동로봇은 일정한 속도로 이동중이며, 원격지에서 일정한 시간마다 명령이 전송되므로, 시간지연이 없이 명령을 전송 받게 되면 항상 일정

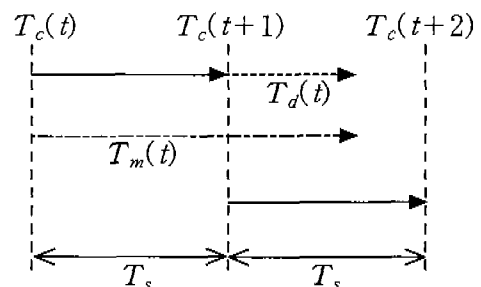


그림 2. 시간 데이터그램  
Fig 2. Time datagram

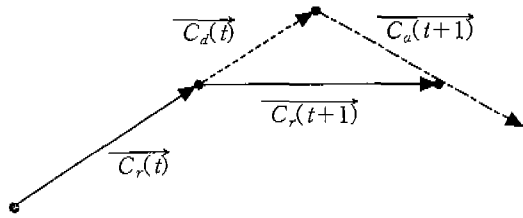


그림 3. 1차 보간을 응용한 경로 보상  
Fig 3. Path compensation applied 1st interpolation

한 거리를 이동하게 된다. 그러나 명령수신에 시간지연이 발생하게 되면, 원격지의 조작자가 원하는 경로를 벗어나 의도한 거리보다 더 많은 거리를 이동하게 된다. 이때 시간지연이 발생한 명령을 수신한 지점에서 지연시간만큼 이동한 거리를 역방향으로 계산하게 되면 실제 이동로봇이 명령을 수신했어야 될 위치를 계산할 수 있다. 즉

$$\vec{C}_r = \vec{C}_m - \vec{C}_d \quad (2)$$

이다. 여기서,  $\vec{C}_r$ 은 이동로봇이 이동해야 할 reference 경로이며,  $\vec{C}_m$ 은 이동로봇의 실제 이동 경로,  $\vec{C}_d$ 는 이동로봇이 지연시간동안 이동한 거리이다. 이를 도식화하면 그림 3과 같다. 이동로봇이 reference 경로  $\vec{C}_r(t)$ 를 따라 이동 중 시간지연으로 인해 일정시간 이내에 다음 명령을 수신하지 못한다면,  $\vec{C}_r(t)$ 방향으로 계속 이동하게 된다. 이때 이동로봇이 다음 명령  $\vec{C}_r(t+1)$ 을 수신하게 되면 시간지연에 의해 이동한 거리  $\vec{C}_d(t)$ 를 계산함으로써 실제 이동로봇이 다음 명령을 수신하였어야 할 위치를 알 수 있다. 여기에 다음 명령  $\vec{C}_r(t+1)$ 을 계산함으로써 원격지의 조작자가 의도한 실제 다음 위치를 알 수 있으므로, 이동로봇은 실제 진행하여야 될  $\vec{C}_a(t+1)$ 를 계산하여 이동함으로써 reference 경로에서 벗어남을 최소화할 수 있다.

### 3.2 Cubic spline 보간을 응용한 경로 보상 제어

어떤 데이터 사이의 변수값을 추정하기 위해서 고차 다항식을 이용하면 원하지 않는 데이터가 발생할 수 있기 때문에 고차 다항식을 이용한 보간법이 부적절할 수도 있다. 이런 경우 널리 활용되고 있는 방법으로, 인접 데이터들의 각 쌍 사이의 저차 다항식을 이용하여 데이터를 근사화하는 방법이 Spline 보간법이다. 이중 가장 일반적으로 사용되고 있는 신뢰할 수 있

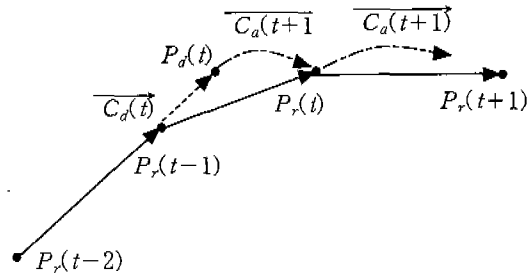


그림 4. Cubic spline을 응용한 경로 보상  
Fig 4. Path compensation applied Cubic spline

는 방법이 Cubic spline 보간법이다. Cubic spline 보간법은 n쌍의 (x,y)의 자료가 주어졌을 때 n-1개의 3차 다항식을

$$y_i(x) = a_i(x-x_i)^3 + b_i(x-x_i)^2 + c_i(x-x_i) + d_i$$

와 같이 표현한다. 본 논문에서는 원격제어시 발생하는 시간지연이 이동로봇의 주행에 미치는 영향을 최소화하기 위해 Cubic spline 보간법을 응용하여 이동로봇의 경로를 근사적으로 추정하는 알고리즘을 제안한다. 그림 4에 나타낸 것과 같이 먼저 이동로봇이 reference 경로를 따라서 주행 중  $P_r(t-1)$  지점에서 시간지연으로 인해 다음 경로명령을 수신하지 못하고, 시간지연에 의해 이동한  $P_d(t)$  지점에서 수신하였다면  $P_r(t-1)$ ,  $P_d(t)$ ,  $P_r(t)$ 의 세 포인트를 이용하여 Cubic spline 보간을 함으로써 다음 경로를 추정한다. 이때의 이동로봇의 경로 명령  $\vec{C}_a(t+1)$ 은 실제 이동로봇 자체의 명령주기에 의해 지속적으로 주어진다. 이후  $P_r(t)$  지점에 도착할 때까지 다음 경로명령을 수신하지 못했다면  $P_r(t-2)$ ,  $P_r(t-1)$ ,  $P_r(t)$ 의 세 포인트를 이용하여 Cubic spline 보간에 따른  $\vec{C}_a(t+1)$ 을 생성함으로써 reference 경로를 보상한다.

## IV. 시뮬레이션

본 시뮬레이션에서는 이동로봇이 주행 중 시간지연을 가지는 명령을 전송받았을 경우, 경로 보상이 없는 경우와 앞장에서 제시한 1차 보간을 응용한 경로 보상 및 Cubic spline 보간을 응용한 경로 보상의 경우를 2가지의 경로에 대해 시뮬레이션을 통하여 성능을 확인해 보고자 한다. 우선 경로 명령 시간  $T_s$ 와 지연 제한 시간  $T_D$ 는 0.4 초로 설정하였다. 따라서 실제 이동로봇이 명령을 전송받은 지연시간  $T_d$ 는 0.4

표 1. 시뮬레이션에 사용된 시간 테이블  
Table 1. Time table for simulation

명령	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$T_c$	0.0	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	2.8	3.2	3.6	4.0	4.4	4.8	5.2	5.6	6.0
$T_m$	0.0	0.57	1.06	1.56	1.85	2.28	2.62	3.15	3.44	3.97	4.24	4.60	5.18	5.52	5.89	6.24
$T_d$	0.0	0.17	0.26	0.36	0.25	0.28	0.22	0.35	0.24	0.37	0.24	0.20	0.38	0.32	0.29	0.24

초보다 작을 것이다. 그리고  $V_s$ 는 1 m/s로 설정하였다. 아울러 표 1은 시뮬레이션에 사용된 경로 명령 시간과 시간지연을 가진 명령을 이동로봇이 수신한 시간을 나타내고 있다.

그림 5, 6, 7은 reference 경로 1에 대해, 경로 보상이 없는 경우와 1차 보상한 경우, Cubic spline 보상을 한 경우의 시뮬레이션 결과이며, 그림 8, 9, 10은 reference 경로 2에 대해 시뮬레이션한 결과이다. 이들 실험의 결과를 평가하기 위하여 성능평가 함수로써 reference 경로와 실제 이동로봇이 주행한 actual 경로간의 차이에 의해 생기는 면적을 계산하였다. 그 결과는

표 2. 각 경로보상에 따른 성능지수 비교  
Table 2. Performance index comparison with path compensation

	보상이 없는 경우	1차 보상	Cubic spline
Reference Path 1	0.6398 m <sup>2</sup>	0.1137 m <sup>2</sup>	0.0423 m <sup>2</sup>
Reference Path 2	0.6955 m <sup>2</sup>	0.1200 m <sup>2</sup>	0.0985 m <sup>2</sup>

표 2와 같으며, 1차 보상과 Cubic spline 보상의 경우 이동 로봇의 주행 경로가 개선되었음을

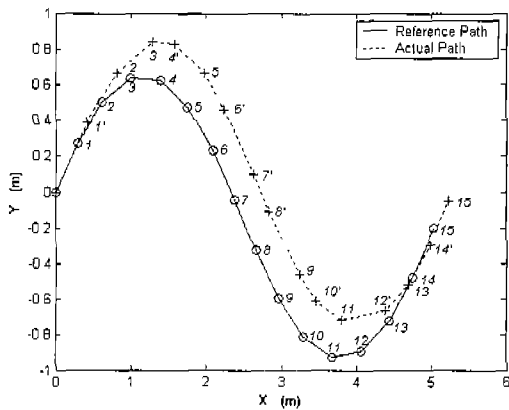


그림 5. 경로 1에 대해 보상이 없는 경우  
Fig 5. Case of noncompensation for path 1

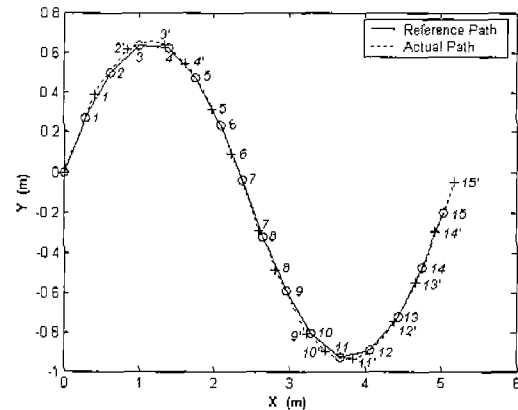


그림 7. 경로1에 대해 Cubic spline 보상을 한 경우  
Fig 7. Case of Cubic spline compensation for path 1

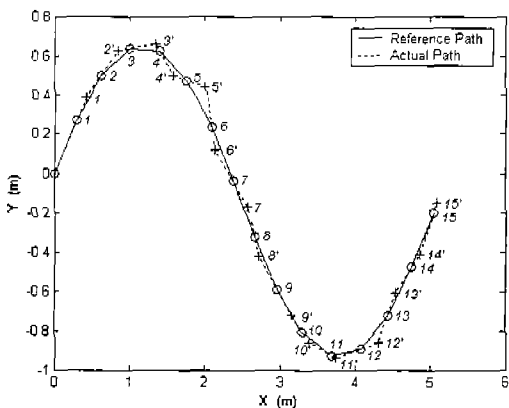


그림 6. 경로 1에 대해 1차 보상을 한 경우  
Fig 6. Case of 1st order compensation for path 1

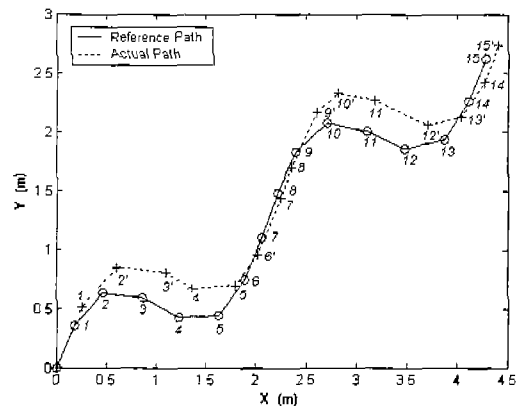


그림 8. 경로 2에 대해 보상이 없는 경우  
Fig 8. Case of noncompensation for path 2

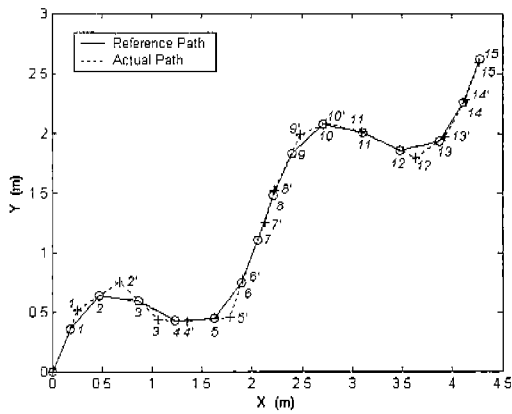


그림 9 경로 2에 대해 1차 보상을 한 경우  
Fig 9. Case of 1st order compensation for path 2

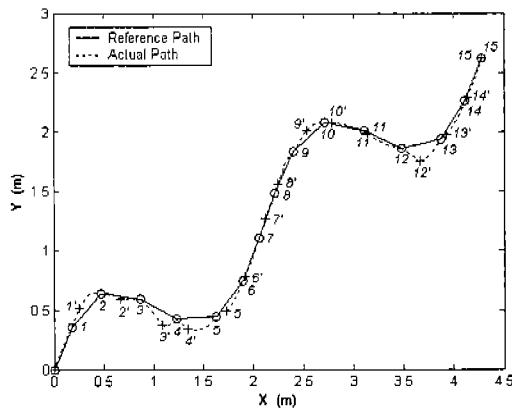


그림10. 경로2에 대해 Cubic spline 보상을 한 경우  
Fig 10. Case of Cubic spline compensation for path 2

볼 수 있다.

### V. 결론 및 고찰

본 논문에서는 인터넷을 기반으로 한 이동로봇의 원격제어시 발생하는 시간지연이 이동로봇의 주행에 미치는 영향을 최소화하기 위해, 1차 보간 및 Cubic spline 보간을 응용한 경로 보상 제어 알고리즘을 제안하였고, 시뮬레이션을 통하여 제안된 알고리즘을 타당성을 검토해 보았다. 시간지연을 계산하여 1차 보간을 할 경우 계산시간은 적게 소요되나, 다음 명령을 받을 때까지 이동로봇이 계속 이동하므로 로봇이 reference 경로를 많이 벗어나게 되어 비효율적이 되고, 다음 명령의 상황에 따른 급격한 방향 전환을 필요로 하게 된다. 그러나 Cubic spline 보간을 응용해 주행경로를 보상하게 되면 이동로봇의 주행경로는 훨씬 효율적이다.

시간지연에 따른 이동로봇의 경로 보상의 추

후 연구과제로는 경로 보상을 위한 이동로봇의 속도 제어 및 실제 지연시간에 보다 능동적으로 대응할 수 있는 지능 알고리즘이 연구되어야 할 것이다.

### VI. 참고문헌

- [1] K. Goldberg, M. Maschna, S. Gentner, et al., "Desktop teleoperation via the www," Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 654-659, Japan 1995.
- [2] <http://telegarden.aec.at>
- [3] K. Taylor and B. Dalton, "Internet Robotics : A New Robotics Niche," IEEE Robotics and Automation Magazine, Vol. 7, No. 1, March 2000, pp. 27-34
- [4] D. Schulz, W. Burgard, Dieter Fox, S. Thrun, and A. Cremers, "Web interfaces for Mobile Robots in public places," IEEE Robotics and Automation Magazine, Vol. 7, No. 1, March 2000, pp. 48-56
- [5] Riko Safaric, Karel Jezernik, D. W. Calkin, R. M. Parkin, "Telerobot Control via Internet," Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Vol. 1, July 1999, pp. 298-303
- [6] Imad Elhajj and Ning Xi, Yun-hui Liu, "Real-Time Control of Internet Based Teleoperation with Force Reflection," Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Robotics and Automation San Francisco, CA, April 2000 pp. 3284-3289
- [7] k. Ohba, S. Kawabata, N. Y. Chong, K. Komoriya, T. Matsumaru, N. Matsuhira, K. Takase, and Tanie, "Remote Collaboration through Time Delay in Multiple Teleoperation," Proceedings of the 1999 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robotics and Systems, Vol. 3, October 1999, pp. 1866-1871
- [8] Ren C. Luo, Tse Min Chen, "Development of a Multibehavior-Based Mobile Robot for Remote Supervisory Control Through the Internet," IEEE ASME Transactions on Mechatronics, Vol. 5, No. 4, December 2000, 376-385
- [9] Ren C. Luo, Tse Min Chen, and Chi Yang Hu, "Networked Intelligent Autonomous Mobile Robot: Issues and Opportunities," IEEE International Symposium on Industrial Electronics, ISIE 99, pp. PS7-PS13