

무선 LAN기반에서 힘 반영을 이용한 이동로봇의 원격제어

Wireless LAN based Teleoperation of a Mobile Robot with Force-reflection

홍현주*, 박창준**, 노영식***
Hong Hyun-Ju, Park Chang-Jun, Ro Young-Shick

Abstract - In this paper, we constructed the infrastructure with wireless LAN and Access Point in the indoor environment and implemented the teleoperation. Wireless LAN based teleoperation system is irregular communication delay according to environment condition and occurrence possibility of blackout is very high.

In this paper, In case these problem happened, we measured communication delay time by real time, and did mobile robot to control harmoniously through vision and force reflection information.

Also, we present obstacle-avoidance mode that mobile robot can travel without collision using direction information in case communication delay time is large.

We proved usefulness of presented algorithm through teleoperation experiment to apply presented algorithm

Key Words : wireless lan, teleoperation, mobile robot, force-reflection

1. 서론

원격제어(Teleoperation)란 인간의 감각과 작업능력을 확장하는 것으로 정의된다. 이러한 원격제어를 구현하기 위해 설치된 시스템을 원격제어 시스템(Teleoperation system)이라 한다. 원격제어의 주용 적용 분야는 심해작업, 우주탐사, 의료 기술, 원전설비 유지 보수, 공장 자동화 등이 있다[1]. 근래에 컴퓨터와 인터넷기술의 발전과 더불어 원격제어에 관한 연구가 더욱 활발히 이루어지고 있다. 인터넷 기반의 원격제어는 자원의 공유, 원격거리 학습, 원격실험 등과 같은 이점이 있다 [2].

본 논문은 인터넷을 통한 원격제어를 구현하기 위한 초기 단계 연구로서 독립 네트워크를 구축하고 원격제어 시스템을 구현하였다. 원격제어 시스템은 서버 시스템(Server system)(이하 이동로봇이라 칭함)과 클라이언트 시스템(Client system)(이하 원격제어기라 칭함)로 구성되어 있으며, 이를 위한 소프트웨어를 구현하였다. 이동로봇은 조작자를 대신해서 직접 행위를 하는 쪽으로 정의하며 원격제어기는 조작자와 인터페이스(Interface)되는 쪽으로 정의된다. 조작자는 여러 사용자들 중에서 제어권을 가진 사용자로 정의한다. 통신 채널은 무선 랜을 사용하여 이동로봇과 원격제어기를 연결함으로써 이동로봇의 유연성을 보장 할 수 있다.

본 연구에서 Vector Field Histogram(이하 VFH라 칭함)[3, 4]알고리즘을 사용하여 통신지연이 작을 때는 이동로봇과 주위 환경과의 관계를 모델링하고 장애물의 충돌 벡터

를 검출하여 가상의 반발력을 발생시켜 이동로봇 주위 환경에 대한 가상의 힘을 인터넛망을 통해 사용자에게 전달시킴으로써 힘 반영 조이스틱에 의해서 재생된 가상의 힘을 인식하여 조작자가 원격지의 장애물 위치를 추정할 수 있도록 하였으며, 통신지연 혹은 통신두절이 발생하였을 경우에는 통신두절이 해소될 때까지 VFH알고리즘을 사용하여 이동로봇 주위의 장애물을 인식, 회피하는 기능을 통하여 이전 작업을 수행하도록 하였다. 또한 본 논문은 이동로봇에서 통신지연시간을 실시간으로 측정하고 연결 상태를 확인할 수 있도록 하였다. 측정된 결과에 따라 이동로봇의 제어모드를 능동적으로 전환하는 알고리즘 및 VFH를 이용한 장애물 회피 알고리즘을 제안 하였다. 그리고 제안된 알고리즘을 레이저 센서와 PC카메라를 장착한 저수준의 이동로봇에 적용하여 원격주행 실험을 수행하였다.

2. 원격제어시스템

2.1 원격제어 시스템 구조

그림 2.1은 원격제어 시스템의 구조를 보여주며 통신 네트워크는 크게 공용 네트워크와 독립 네트워크로 나눌 수 있으며 공용 네트워크는 인터넷(Internet)을 의미하고 독립 네트워크는 하부구조(Infrastructure)네트워크를 의미한다. 그림 2.1에서 AP(Access Point)는 무선 랜 프로토콜(IEEE 802.11b)을 사용하며 하부구조 네트워크를 구축할 수 있는 기능과 하부구조 네트워크와 공용 네트워크를 연결해 주는 브리지(Bridge)기능이 있다. AP와 통신할 수 있는 영역 내에서는 무선 랜 카드만 장착하면 독립 네트워크의 구성원이 될 수 있으며 인터넷 연결은 AP의 브리지(Bridge)기능을 이용하여 쉽게 구현 할 수 있다. 본 연구에서 사용된 원격제어 시스템은 그림 2.1의 독립 네트워크 영역을 갖고 있으며 하나의 AP, 이동로봇(서버) 그리고 원격제어기(클라이언트)로 구

저자 소개

- * 洪顯珠 : (주) 케피코 Customer Project TFT 연구원
- ** 朴敬駿 : (주) 잉카시스템 연구원
- *** 盧瑩植 : 蔚山大學 전기전자정보시스템 공학부 교수

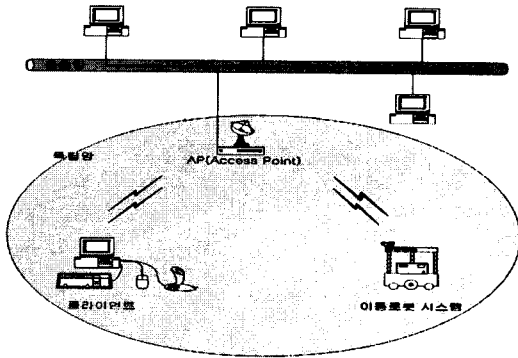


그림 2.1 원격제어 시스템의 구조
Fig. 2.1 Architecture of teleoperating system

성하였다. 그리고 사용된 AP는 실내 환경에서 전송거리 약 100[m]이고 최대 전송속도는 11[Mbps]정도이며, 무선 랜 카드의 전송거리 약 70[m]이고 최대 전송속도는 11[Mbps]이다. 원격제어 시스템에서 이동로봇과 원격제어기는 네트워크를 통해 데이터를 송수신하며 데이터의 종류는 요청(Request), 명령(command), 영상(Image), 레이저(Laser) 데이터이다. 명령, 레이저, 이동로봇의 상태 데이터의 크기는 51[bytes]이다. 영상 데이터는 한번에 2000[bytes]단위로 분할하여 전송한다. 영상 데이터는 손실이 있어도 실시간을 보장하기 위하여 UDP/IP를 사용하고 요청, 명령, 상태 그리고 장애물의 위치 정보는 신뢰성을 보장하기 위하여 TCP/IP를 사용하였다[5].

2.2 이동로봇(서버)

이동로봇의 구성은 그림 2.2과 같이 서버PC (Pentium-IV 1.4GHz), 이동 베이스(TRC, Labmate) 레이저 센서(SICK社의 LMS200) 웹 캠(SmileCam), 무선 랜카드(Rftnc사, RF_LINK 1100N)로 구성되어 있으며, 서버PC와 각각의 구성 요소들은 그림 2.2에 나타낸 프로토콜을 사용하여 통신한다.

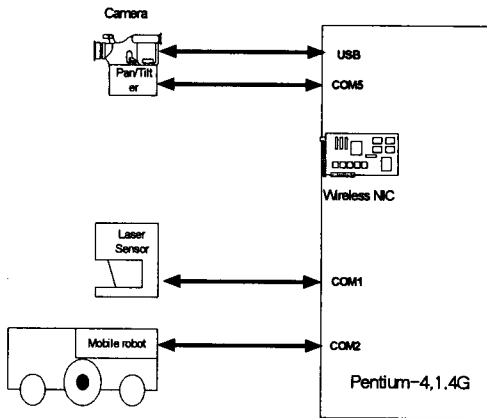


그림 2.2 이동로봇의 구조
Figure 2.2 Architecture of Mobile Robot

서버PC에 무선 랜 카드를 설치하여 AP를 통해 원격제어

기와 통신할 수 있도록 하였으며 또한 무선 랜 프로토콜은 이더넷(Ethernet) 프로토콜과 호환되므로 소프트웨어적으로 TCP/IP, UDP/IP를 그대로 사용할 수 있다[6].

레이저 센서는 SICK社의 LMS(Laser Measurement systems) 200을 사용하였다. LMS최대 스캔 각도는 180°이며, 각 분해능은 0.25° / 0.5° / 1°로 선택할 수 있으며, 한번 스캔 할 때 걸리는 시간은 최소 13ms의 빠른 속도로 최대 401개의 데이터를 획득한다. 획득된 데이터는 RS232/RS422 시리얼 통신 케이블을 통해서 9600~500Kbps의 속도로 서버 PC에 전송된다. 본 논문에서 사용된 사양은 분해능 1°이며, 한 번에 받는 데이터의 수는 372개이며, 전송속도는 RS232, 19200[bps]를 사용하였다.

이동로봇의 소프트웨어는 VC++.NET을 이용하여 구현하였으며, 구성 요소들의 효율적 관리를 위해 객체화하였다 [7]. 객체 구조는 크게 통신관리, 센서 관리, 요청관리 3 개로 구성된다.

2.3 원격제어기

원격제어기는 일반 PC에 조이스틱을 장착하고 원격제어기용 소프트웨어만 설치하면 이동로봇을 원격제어 할 수 있다. 조작자는 일반 PC에 장착된 조이스틱을 가지고 이동로봇의 직선 주행 속도와 각속도를 연속적으로 설정하여 이동로봇을 조정할 수 있도록 인터페이스를 구현하였다.

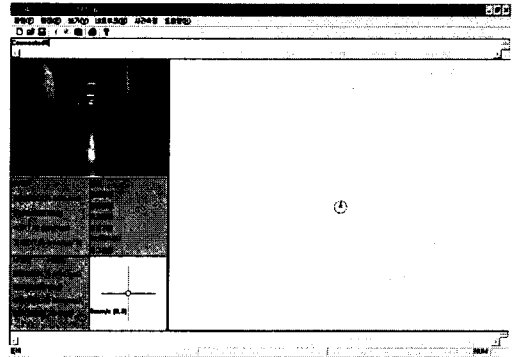


그림 2.3 원격제어기의 화면 구성
Fig. 2.3 Framework of client system

2.4 이동로봇 원격제어를 위한 VFH

이동로봇의 위치를 중심으로 레이저 센서의 인식범위를 고려한 정사각형 구역을 Active Window (AW)라고 하고, 레이저 센서에 의해 얻어지는 장애물 정보를 격자치도로 저장한다. 이때, 이 격자 하나 하나를 Active Cell(AC)이라고 한다. 레이저 중심축에서 장애물을 검출하면 중심축상의 측정된 거리에 위치한 한 개의 AC만 CV를 1씩 증가시킨다.

여기서 CV(Certainty Value)는 격자 내에 장애물이 놓여 있을 가능성을 표현한 격자확실성 값이다. AW 내의 셀들은 여러 개의 Sector 로 나누어지는데 나뉘진 셀터내의 셀들은 CV값과 이동로봇과의 거리 정보를 이용하여 장애물 밀도로 나타내게 되는데, 이를 VFH(Vector Field Histogram)이라 한다. 본 연구에서 사용된 AW의 크기는 가

로, 세로 각각 3[m]로 설정하였다. CV값은 다음과 같은 수식으로 구해진다[3].

먼저, 로봇의 중심에서 AW의 각 Cell들과의 방향은 식 (1)에 의해서 구해진다.

$$\beta_{i,j} = \tan^{-1} \frac{y_i - y_0}{x_i - x_0} \quad (1)$$

그러면 CV값은 식 (2)에 의해서 구해진다.

$$m_{i,j} = (C_{i,j}^*)^2 (a - b d_{i,j}) \quad (2)$$

다음으로 각각의 Sector에 대하여 POD(Polar Obstacle Density)를 구한다. 섹터 k는

$$k = \text{INT}(\beta_{i,j}/\alpha) \quad (3)$$

POD h_k 는

$$h_k = \sum_{i,j} m_{i,j} \quad (4)$$

a, b are positive constants

$C_{i,j}^*$ is the certainty value of active cell (i,j)

$d_{i,j}$ is the distance between active cell (i,j) and VCP

$m_{i,j}$ is the magnitude of the obstacle vector at cell (i,j)

x_0, y_0 are the present coordinates of the VCP

x_1, y_1 are the coordinates of active cell

$\beta_{i,j}$ is the direction from active cell (i,j) to the VCP

α is quantized angle

식(1) ~ 식(4)에 의해 구해진 VFH를 이용하여 이동로봇 주변 환경에 장애물이 있을 경우 장애물이 있는 방향으로 조이스틱을 조작할 때에는 VFH에 비례하는 힘을 조이스틱에 전달하여 이동로봇이 장애물 쪽으로 이동하지 못하도록 하였다.

3. 능동적 제어모드

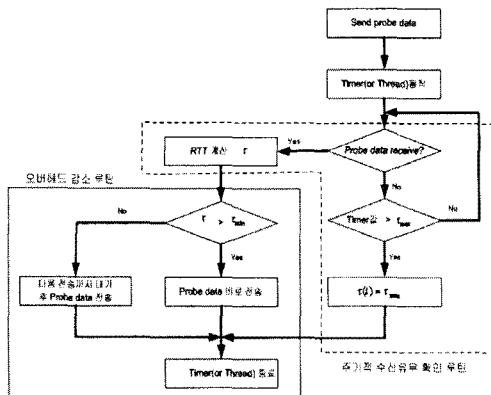


그림 3.1 RTT 측정 알고리즘 흐름도

Figure 3.1 Flowchart of the algorithm to measure RTT

제어모드 전환 알고리즘에 있어 가장 핵심적인 부분은 서버와 클라이언트 사이의 통신지연시간을 실시간으로 측정하는 것이다. 그러면 서버PC에서 통신지연 시간을 측정하는

알고리즘에 대하여 살펴보자. 서버PC는 통신네트워크를 통해 시험데이터를 전송하고 수신 받을 때까지 기다리고 있는 것이 아니라 주기적으로 수신 유무를 확인함으로써 실시간으로 통신지연 시간을 확인할 수 있다. 이와 같은 방법은 손실, 통신두절과 같은 문제가 발생하여도 지연 시간을 실시간으로 측정할 수 있다. 그리고 통신대역의 오버헤드(overhead)를 발생시킬 문제점을 가지고 있지만 샘플링(sampling)주기를 적절히 조정함으로써 오버헤드 문제는 해결할 수 있다. 통신지연을 측정하는 순서도는 그림 3.1과 같다. 이리하여 측정된 통신지연시간을 이용하여 이동로봇은 능동적으로 직접제어모드와 행동제어모드로 전환한다.

3.1 직접제어모드 알고리즘

직접제어모드는 조작자가 영상과 레이저 센서 정보를 모니터링하면서 이동로봇의 속도를 조이스틱으로 제어한다. 원격지에 대한 실시간 모니터링이 된다면 인간의 인지능력과 판단능력 그리고 학습에 의해서 이동로봇은 안정하게 제어될 수 있다. 마치 인간이 자동차를 운전하는 것 같이 조정할 수 있다. 조이스틱 좌표계(J)와 이동로봇의 속도 좌표계(V)의 좌표 변환은 식 (5)로 표현된다.

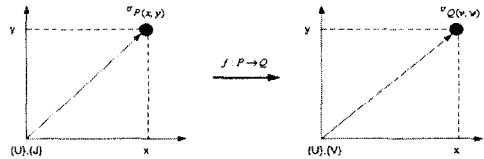


그림 3.2 조이스틱 좌표계와 이동로봇의 속도 좌표계의 관계

Figure 3.2 Relation of joystick and mobile robot's velocity coordinate

$$f: VP \rightarrow VQ$$

$$\begin{bmatrix} v \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & a \\ -b & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서,

x: 조이스틱 x좌표

y: 조이스틱 y좌표

v: 이동로봇의 직선주행속도 w: 이동로봇의 회전각속도

3.2 행동제어모드 알고리즘

통신지연은 가변적이고 통신두절 혹은 데이터 손실등과 같은 문제점들이 발생할 수 있기 때문에 실시간 모니터링이 불가능하게 되면 이동로봇을 직접 제어할 수 없게 된다. 이와 같은 경우 이동로봇이 스스로 인지하고 판단하는 능력을 가지고 있어야 한다. 행동제어모드란 이와 같이 이동로봇 스스로가 주변 환경을 인지하고 판단하는 능력을 가지고 조작자로부터 임부가 주어지면 스스로 임무를 수행할 수 있을 뿐만 아니라 통신지연시간이 큰 경우 조작자의 명령 없이 스스로 이전 명령을 처리할 수 있는 제어모드이다.

행동제어모드에서는 통신지연시간이 큰 경우 조작자가 조이스틱을 통하여 속도정보가 아닌 방향정보를 이동로봇으로 제공한다. 방향정보를 받은 이동로봇은 조작자로부터 받은 정보를 바탕으로 진행을 하되, 진행 중 장애물이 발견되면 이동로봇 스스로 장애물을 회피하여 조작자가 내린 방향으로

진행을 하게 된다.

이동로봇이 장애물을 회피하기 위해서는 VFH알고리즘을 사용한다. VFH를 사용하여 이동로봇을 주위환경정보를 Histogram형태로 나타내게 되고, 이를 바탕으로 식(6)를 사용하여 이동로봇의 진행방향을 결정하게 된다.

$$\theta = (k_n + k_f) / 2 \quad (6)$$

여기서, k_n : 갈수 있는 방향의 왼쪽각도

k_f : 갈수 있는 방향의 오른쪽 각도

이동로봇의 진행방향이 결정되면 진행속도와 각속도를 식(7),식(8),식(9)을 통해서 결정을 하게 된다.

$$V' = V_{max} (1 - \frac{h''}{h_m}) \quad (7)$$

여기서, $h'' = \min(h'_c, h_m)$ 이다.

h_m = 실험적으로 결정된 상수

각속도 Ω 는 식(8)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\Omega = K_s (\delta - \theta) \quad (8)$$

여기서, δ : Target vector의 각도(degree)

θ : 이동로봇의 현재 진행 방향(degree)

K_s : 상수

이동로봇의 각속도가 구해지면 식(9)을 이용하여 최종적인 이동로봇의 속도가 구해지게 된다

$$V = V' (1 - \frac{\Omega}{\Omega_{max}}) + V_{min} \quad (9)$$

여기서, Ω_{max} : 최대 회전 속도(120°/deg).

V_{min} : 100mm/sec.

4. 실험 및 고찰.

원격지의 조작자는 그림 2.3의 원격제어기 프로그램을 통하여 원격지의 상황을 시각적으로 인식 하고 이동로봇을 조정할 수 있다. 하지만, 그림 2.3에서 보는 바와 같이, 시야의 제한과 전송 채널의 대역폭 한계 및 어두운 조명 같은 상황에서는 원격지의 환경을 정확히 확인할 수 없는 경우가 발생한다. 그림 4.1은 본 논문에서 구현한 이동로봇의 외관을 보여준다.

이동로봇의 원격제어를 위하여 제안된 직접제어모드와 행동제어 모드에 대한 실험을 수행하였다. 그림 4.2와 그림 4.3 및 표 1은 이동로봇의 직접제어모드에 대한 결과로서, 그림 4.2는 조정자에게 오직 비전 정보만을 제공되는 경우의 결과이며, 그림 4.3은 비전 정보와 함께 힘 정보가 제공된 경우이다. 그림을 보면 비전 정보만을 제공했을 경우가 더욱 부드럽게 움직이는 것처럼 보이지만, 표 1의 결과를 보면 비전 정보와 힘 정보가 함께 제공되는 경우가 좀 더 안정하고 빠르게 움직임을 알 수 있다.

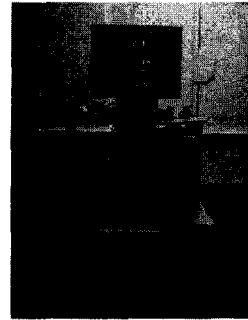


그림 4.1 LABMATE
Figure 4.1 LABMATE

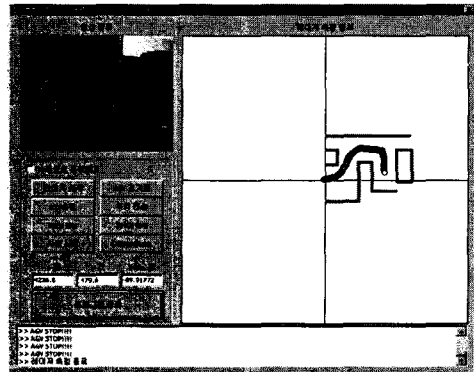


그림 4.2 비전 정보만에 의한 주행 실험
Figure 4.2 Experimental with vision information

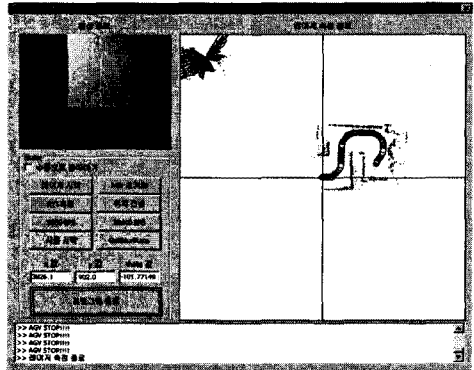


그림 4.3 비전과 힘 정보에 의한 주행 실험
Figure 4.3 Experimental with vision and force information

표 1. 실험결과

Table 1. Experimental Result

	비전정보	비전 + 힘 정보
주행 거리	770[cm]	770[cm]
주행 속도	50[mm/sec]	50[mm/sec]
주행 시간	6분 27초	2분 10초

그림 4.4는 행동제어모드에 대한 실험이다. 실험실 내에 임의의 환경을 만들고 우측 대각선 방향으로 조이스틱을 움직였을 경우 이동로봇이 장애물을 회피하면서 진행하는 결과를 보여주고 있다.

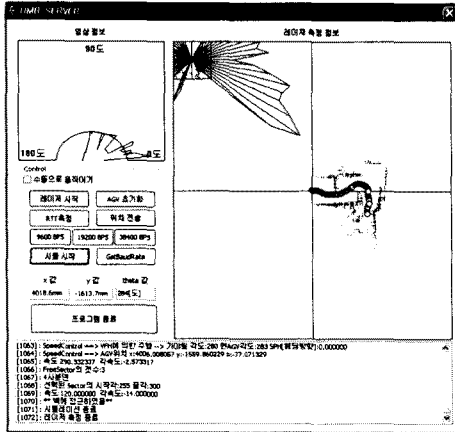


그림 4.4 행동제어에 대한 주행 실험
Figure 4.4 Experimental for behavior control

5. 결 론

본 논문은 인터넷을 통한 원격제어 시스템의 초기단계 연구로서 무선 랜과 AP를 이용하여 독립 네트워크를 구축하였다. 또한 VFH(Vector Field Histogram)과 Force Feedback Joystick을 이용한 이동로봇 직접제어모드와 행동제어 모드에 대한 실험을 수행하였다. 힘 반영 조이스틱에 의해서 재생된 가상의 힘을 인식하여 조작자가 원격지의 장애물 위치를 추정할 수 있으며 그에 따라 장애물 회피지령을 효율적으로 내려줄 수 있고, 빠르게 장애물을 회피할 수 있음을 실험으로 보였다. 또한 통신지연시간이 큰 경우 조이스틱의 방향 정보만을 가지고도 이동로봇이 장애물을 회피하면서 원하는 방향으로 진행하는 것을 실험으로 보였다. 향후 과제로는 이동로봇으로부터 제공되는 영상 정보와 레이저 정보로 원격지에서 좀 더 쉽게 이동로봇을 제어할 수 있도록 하는 것이며, 이동로봇의 자율성을 좀더 부여하여 사용자가 작업을 좀 더 안정적이고, 빠르게 수행할 수 있도록 하는 것이다.

참 고 문 헌

[1] 손재범, 정완근, 염영일, "원격제어 시스템", 제어·자동화·시스템공학회지, 1996, pp.42-60
 [2] Ren C.Luo, Tse Min Chen, and Chih-Chen Yih, "Intelligent Autonomous Mobile Robot Control Through the internet." IEEE, 2000 Vol.1 pp.6 - 11
 [3] Johann Borenstein, Yoram Koren "The Vector Field Histogram - Fast Obstacle Avoidance for Mobile Robots", Vol. 7, NO.3 IEEE June 1991 pp.278 - 288
 [4] Borenstein, J. and Koren, Y., 1989, "Real-time Obstacle Avoidance for Fast Mobile Robots." IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 19, No. 5, Sept./Oct., pp.

1179-1187.

[5] Sebastien Grange, Terrence Fong and Charles Baur, "Effective Vehicle Teleoperation on the world Wide Web", Proceeding of the 2000 IEEE International Conference on Robotics & Automation, San Francisco, CA, April 2000, pp 2007 - 2012

[6] Dirk Schulz, Wolfram Burgard and Armin B.Cremers, "Robust Visualization of Navigation Experiments with Mobile Robots over the internet", Proceedings of the 1999 IEEE/RSJ international conference on intelligent Robots and Systems.

[7] A.Benail, V.Idasiak and J.G. Fontaine "Remote robot teleoperation via Internet. A first approach", IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication.2001, pp. 306-312