

Điều Khiển Robot Di Động Qua Mạng Internet Sử Dụng Kiến Trúc Truyền Thông CORBA

Control of a Mobile Robot over the Internet Using CORBA as Communication Architecture

Phùng Mạnh Dương^a, Quách Công Hoàng^b, Vũ Xuân Quang^c, Trần Quang Vinh^d

^a Bộ môn Điện tử và Kỹ thuật Máy tính, trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội.
Email: duongpm@vnu.edu.vn

^b Khoa Điện tử Viễn thông, trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội.
Email: quachconghoang89@gmail.com

^c Khoa Điện tử Viễn thông, trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội.
Email: xuanquang110289@yahoo.com.vn

^d Bộ môn Điện tử và Kỹ thuật Máy tính, trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội.
Email: vinhqtq@vnu.edu.vn

Tóm tắt

Giám sát và điều khiển các hệ thống thời gian thực qua mạng Internet là vấn đề đang nhận được nhiều sự quan tâm nghiên cứu gần đây nhờ khả năng mở ra những ứng dụng mới cho cuộc sống hiện đại như phòng thí nghiệm ảo, hệ thống y tế từ xa, hệ thống điều khiển các thiết bị từ xa... Trong bài báo này, chúng tôi trình bày một hệ thống phân tán sử dụng kiến trúc truyền thông CORBA (Common Object Request Broker Architecture) cho phép chương trình khách có thể triệu gọi các lệnh điều khiển một robot di động qua mạng Internet mà không cần phải quan tâm các lệnh đó được cài đặt ở đâu, bằng ngôn ngữ lập trình gì và trên hệ điều hành nào. Điều này giúp khắc phục nhược điểm của đa số hệ thống điều khiển qua mạng Internet hiện nay thường chỉ tương thích với một ngôn ngữ lập trình và hệ điều hành nhất định. Hệ thống cũng cung cấp các dữ liệu phản hồi theo thời gian thực về môi trường ở xa tới người điều khiển như dữ liệu hình ảnh, dữ liệu siêu âm, dữ liệu hồng ngoại, vị trí và tốc độ hiện tại của robot... Các phép thực nghiệm cho thấy hệ thống có thể hoạt động ổn định và hiệu quả trên môi trường không biết trước trong ứng dụng giám sát an ninh tòa nhà.

Abstract

Supervision and control real-time systems over the Internet are receiving much research interest due its potential applications such as virtual laboratory, tele-healthcare, remote control systems... In this paper, we present a distributed robot control system using CORBA (Common Object Request Broker Architecture) allowing the system can communicate with the remote controller over the Internet without requiring knowing its underlying information such as its location, programming language and operating system. This ability allows to overcome problems of current Internet-based robot systems which are only compatible with certain configurations in programming language and operating system. Our system also provide real-time data to remote user such as video stream, ultrasonic sensory data, and infra-red sensory data. Experimental results show that the system operate well in unknown environments with the application of autonomous building guard.

Key Words: robot di động, robot từ xa, mạng Internet, kiến trúc CORBA, điều khiển phân tán, điều khiển robot qua mạng Internet

1. Mở đầu

Giám sát và điều khiển các hệ thống thời gian thực qua mạng Internet là vấn đề đang nhận được nhiều sự quan tâm nghiên cứu gần đây nhờ khả năng mở ra những ứng dụng mới cho cuộc sống hiện đại như phòng thí nghiệm ảo, hệ thống y tế từ xa, hệ thống điều khiển thiết bị tòa nhà từ xa... Có thể nhận thấy rằng, độ trì trễ (time delay), độ thăng giáng (delay jitter) và băng thông truyền không thể dự đoán trước của mạng Internet chính là khó khăn và thách thức lớn nhất với bài toán điều khiển robot qua mạng máy tính nói chung và mạng Internet nói riêng [4]. Để khắc phục vấn đề này, có hai phương pháp tiếp cận chủ yếu là phương pháp phát triển các giải thuật điều khiển từ xa cải tiến kết hợp với kỹ thuật xây dựng giao diện [5]-[9] và phương pháp xây dựng các giao thức truyền tải thời gian thực [4][10].

Phương pháp phát triển các giải thuật điều khiển từ xa cải tiến kết hợp với kỹ thuật xây dựng giao diện không can thiệp vào vấn đề truyền tải dữ liệu qua mạng máy tính mà tập trung xây dựng các thuật toán để dự đoán và bù trừ những tham số ngẫu nhiên gây ra bởi mạng máy tính như độ trì trễ, độ thăng giáng và băng thông cho phép. Trong [11], Kuk-Hyun Han đã phát triển một hệ thống điều khiển robot qua mạng Internet dựa trên những dự đoán về thời gian trì trễ và vị trí của robot để từ đó xây dựng một bộ lọc lệnh (command filter) cho phép điều chỉnh các tín hiệu điều khiển robot. Hình 1 trình bày sơ đồ khối hệ thống. Theo sơ đồ này, một bản đồ ảo đã được xây dựng ở phía người dùng cho phép mô phỏng chuyển động của robot cũng như tọa độ và vị trí sắp tới. Nhờ đó, người dùng có thể dễ dàng quan sát và ra lệnh điều khiển robot. Để khắc phục độ trì trễ do mạng gây ra, Kuk-Hyun Han đã đề xuất công thức dự đoán thời gian trì trễ:

$$\begin{aligned} T_d(k) &= \sum_{i=0}^n \left[\frac{l_i}{C} + t_i^R + t_i^L(k) + \frac{M}{b_i} \right] \\ &= \sum_{i=0}^n \left(\frac{l_i}{C} + t_i^R + \frac{M}{b_i} \right) + \sum_{i=0}^n t_i^L(k) \quad (1) \\ &= d_N + d_L(k) \end{aligned}$$

Trong đó, $T_d(k)$ là độ trì trễ tại thời điểm k , l_i là chiều dài của liên kết thứ i , C là tốc độ ánh sáng, t_i^R là tốc độ định tuyến của nút mạng thứ i , $t_i^L(k)$ là độ trễ gây ra bởi tải của nút mạng thứ i , M là lượng dữ liệu, và b_i là băng thông của liên kết thứ i . d_N là tham số độc lập với thời gian, và $d_L(k)$ là tham số phụ thuộc thời gian. Từ thời gian trì trễ dự đoán này, tác giả xây dựng một bộ lọc lệnh trước khi gửi tín hiệu đó tới điều khiển trực tiếp robot.

Trong một nghiên cứu khác [12], thay vì cố gắng bù trừ thời gian trì trễ, Dawei Wang đã phát triển các thuật toán tránh vật cản và cơ chế an toàn cho phép robot có thể phản ứng được với những tình huống không mong đợi do sự trì trễ gây ra. Các thuật toán này về cơ bản dựa

trên các thuật toán tránh vật phổ biến như thuật toán trường thế hay thuật toán sử dụng logic mờ nhưng được cải tiến cho phù hợp với bài toán điều khiển qua mạng. Một môi trường ảo cũng được xây dựng ở phía người dùng nhằm dự đoán quỹ đạo robot và trợ giúp điều khiển.

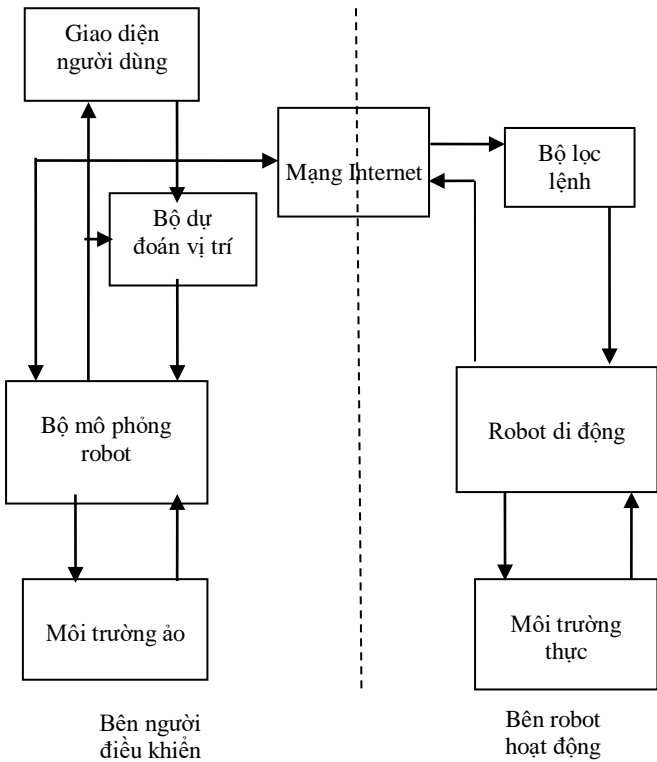
Như vậy, có thể nhận thấy rằng hướng tiếp cận này không cố gắng làm giảm các tham số ngẫu nhiên do mạng gây ra như độ trì trễ, độ thăng giáng mà tập trung vào vấn đề giảm thiểu ảnh hưởng và phản ứng lại với các yếu tố đó.

Phương pháp xây dựng các giao thức truyền tải thời gian thực tập trung xây dựng các giao thức lớp truyền tải (transport layer) phù hợp với các ứng dụng thời gian thực như giảm độ trì trễ, độ thăng giáng, tận dụng tối đa băng thông cho phép... Điển hình theo hướng tiếp cận này, Peter X. Liu đã đề xuất giao thức truyền tải thời gian thực Trinomial. Giao thức này cải tiến cơ chế điều khiển luồng dựa trên tốc độ truyền tải dữ liệu (rate-based flow control) để giảm độ thăng giáng và tận dụng nhiều hơn băng thông cho phép. Công thức cho sự thay đổi tốc độ truyền dữ liệu được Peter X. Liu đưa ra như sau:

$$\begin{aligned} \text{increase: } S_t &= S_0 + \left(\frac{t}{\alpha} \right)^\gamma, \quad \alpha \geq 1 \quad \gamma \geq 0 \\ \text{decrease: } S_{t+} &= (1 - \beta)S_t, \quad 0 < \beta < 1 \end{aligned} \quad (2)$$

Trong đó, t là chỉ số thời gian; S_t là tốc độ truyền tại thời điểm t ; S_0 là tốc độ truyền sau lần giảm gần nhất; S_{t+} là tốc độ truyền ngay sau thời điểm t ; α , β và γ là những hằng số không âm. Các kết quả mô phỏng và thực nghiệm, Peter X. Liu đã chứng tỏ giao thức do tác giả đề xuất cho kết quả tốt hơn các giao thức đang dùng hiện tại như TCP và UDP về mặt băng thông và độ thăng giáng.

Trong một nghiên cứu khác, tác giả LI Ling đề xuất giao thức IRTP cải tiến từ giao thức RTP để tối ưu hóa cho ứng dụng thời gian thực. Trong giao thức IRTP, tiêu đề của mỗi gói tin được rút gọn xuống 9 byte thay vì 40 byte như của RTP và do đó tăng được hiệu suất truyền tin hơn 10% so với giao thức RTP.



Hình 1. Sơ đồ điều khiển robot qua mạng sử dụng bộ lọc lệnh

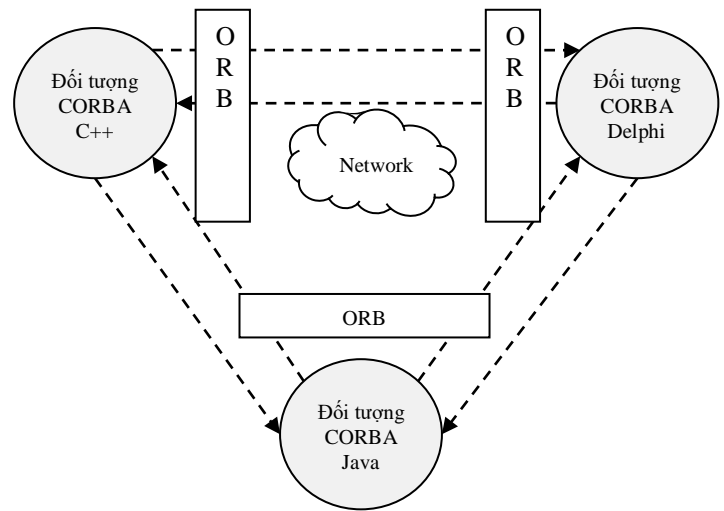
Trong bài báo này, chúng tôi trình bày một hệ thống phân tán sử dụng kiến trúc truyền thông CORBA (Common Object Request Broker Architecture) cho phép chương trình khách có thể triệu gọi các lệnh điều khiển một robot di động qua mạng Internet mà không cần phải quan tâm các lệnh đó được cài đặt ở đâu, bằng ngôn ngữ lập trình gì và trên hệ điều hành nào. Điều này giúp khắc phục nhược điểm của cả hai phương pháp đã nêu thường chỉ tương thích với một ngôn ngữ lập trình và hệ điều hành nhất định. Hệ thống cũng cung cấp các dữ liệu phản hồi theo thời gian thực về môi trường ở xa tới người điều khiển như dữ liệu hình ảnh, dữ liệu siêu âm, dữ liệu hồng ngoại, vị trí và tốc độ hiện tại của robot... Các phép thực nghiệm cho thấy hệ thống có thể hoạt động ổn định và hiệu quả trên môi trường không biết trước trong ứng dụng giám sát an ninh tòa nhà.

2. Kiến trúc CORBA

CORBA (Common Object Request Broker Architecture) là một chuẩn công nghiệp cho phép gọi các phương thức từ xa và nhận kết quả trả về [13]. Nó có thể được sử dụng khi bên phía gọi và bên phía phương thức được gọi có thể sử dụng các ngôn ngữ lập trình khác nhau, trên nền tảng hệ điều hành khác nhau. Về cơ bản, CORBA bao gồm ba thành phần chính là ngôn ngữ đặc tả giao tiếp IDL (Interface Description Language), trình chuyển tiếp yêu cầu của các đối tượng ORB (Object Request Broker) và Giao thức IIOP (Internet Interoperability Protocol).

Ngôn ngữ đặc tả giao tiếp IDL (Interface Description Language) qui định một tập các mô tả hàm, kiểu dữ liệu và các khai báo cho phép đặc tả đối tượng. Đặc tả đối tượng ở đây mô tả chức năng của đối tượng thông qua hàm, phương thức, thuộc tính... và không có cài đặt mã lệnh trong ngôn ngữ đặc tả.

Trình chuyển tiếp yêu cầu của các đối tượng ORB (Object Request Broker) hoạt động như một dịch vụ cho phép phiên dịch yêu cầu của các đối tượng viết bằng ngôn ngữ khác nhau thành lời gọi theo một quy tắc chung. Hình 2 trình bày cơ chế triệu gọi lẫn nhau của các đối tượng viết bằng C++, Delphi, Java thông qua ORB. Trong quá trình hoạt động, ORB hoàn toàn trong suốt đối với người thiết kế và các lệnh triệu gọi đối tượng của Java trong C++ hay Delphi hoàn toàn theo cách tự nhiên như khi triệu gọi đối tượng được xây dựng từ chính ngôn ngữ gốc.



Hình 2. Triệu gọi đối tượng CORBA thông qua ORB

Giao thức IIOP (Internet Interoperability Protocol) cho phép liên lạc giữa nhiều tiến trình. Giao thức này do tổ chức CORBA đề xướng và nó làm nền tảng cho tất cả các đối tượng có thể giao tiếp được với nhau trên mạng Internet một cách dễ dàng.

Trong bài báo này, chúng tôi đã sử dụng ưu điểm của CORBA là cho phép triệu gọi đối tượng giữa các ngôn ngữ khác nhau để xây dựng hệ thống điều khiển robot qua mạng Internet.

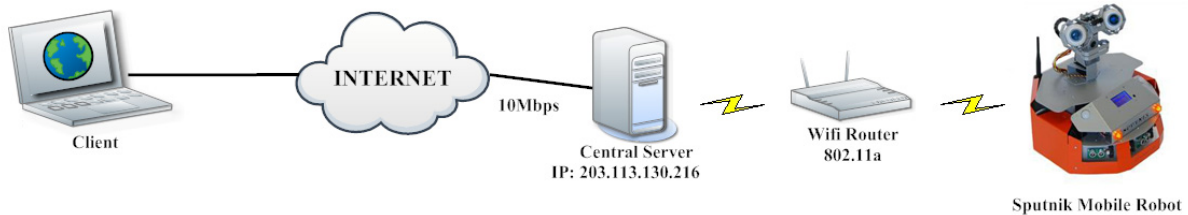
3. Thiết kế hệ thống điều khiển robot qua mạng Internet sử dụng kiến trúc CORBA

Từ những nghiên cứu lý thuyết nêu trên, tác giả đã xây dựng thực nghiệm một hệ thống điều khiển robot qua mạng Internet sử dụng kiến trúc truyền thông CORBA.

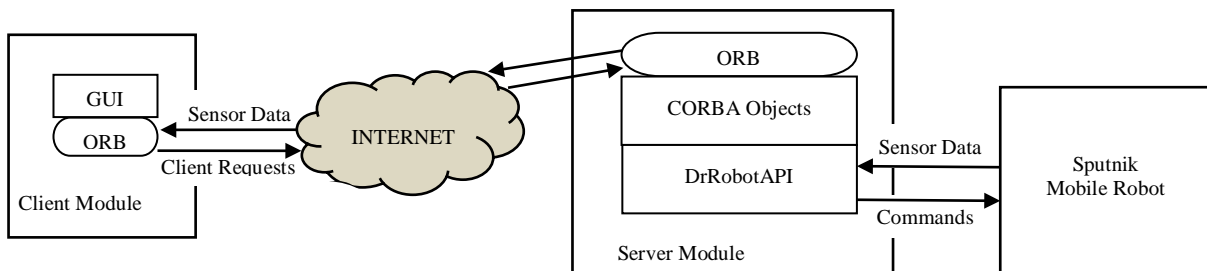
3.1 Thiết kế phần cứng

Hình 3 trình bày cấu trúc phần cứng của hệ thống bao gồm ba thành phần chính: robot di động DrRobot, máy tính trung tâm và máy tính Client.

Trong hệ thống, robot di động được sử dụng là robot Sputnik của hãng DrRobot [9] bao gồm các thành phần cơ bản sau: sáu cảm biến hồng ngoại gắn xung quanh robot; ba cảm biến siêu âm lần lượt gắn ở phía trước, bên phải và bên trái của robot; hai camera màu cho kích cỡ ảnh 353x288 với tốc độ lấy mẫu 15 khung hình/giây; hai cảm biến phát hiện sự chuyển động của người HMS (Human Motion Sensor) trong khoảng 150 cm; và bốn động cơ điều khiển điều khiển toàn bộ chuyển động của robot. Ngoài ra, robot có thể kết nối với mô đun trung tâm qua mạng cục bộ không dây Wireless LAN hoặc trực tiếp với mạng Internet qua mô đun không dây wi-fi 802.11. Máy tính trung tâm và máy tính Client là các máy tính PC thông thường được cài đặt chương trình phần mềm điều khiển dựa trên CORBA.



Hình 3. Cấu trúc phần cứng hệ thống



Hình 4. Sơ đồ phần mềm hệ thống

4. Kết quả thực nghiệm

Để đánh giá hoạt động của hệ thống điều khiển robot sử dụng CORBA, nhiều thực nghiệm đã được chúng tôi tiến hành tại tầng 3 tòa nhà G2 thuộc Khoa Điện tử - Viễn thông, trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội ở các thời điểm khác nhau, trong những điều kiện khác nhau và với nhiều tình huống giả định có thể xảy ra.

Trong các thực nghiệm, bằng việc sử dụng giao diện GUI đã thiết kế, người dùng, ở vị trí cách xa 15km, đã điều khiển thành công robot di chuyển từ điểm xuất phát O_0 đến điểm đích O_d qua mạng Internet (Hình 5a). Hình

3.2 Chương trình phần mềm

Hình 4 trình bày thiết kế phần mềm hệ thống sử dụng CORBA bao gồm hai mô đun Client và Server.

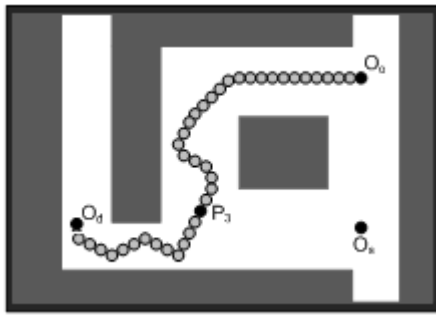
- Mô đun Client có chức năng cung cấp giao diện người dùng (GUI) và truyền các lệnh điều khiển tới robot bằng cách triệu gọi đối tượng điều khiển trên Server. Client đồng thời cũng nhận dữ liệu phản hồi từ robot về vị trí, tốc độ, trạng thái và hiển thị cho người điều khiển. Client được viết bằng ngôn ngữ Visual Basic.
- Mô đun Server được viết bằng ngôn ngữ Java bao gồm các cài đặt đối tượng điều khiển robot như quay trái, quay phải, tiến, lùi, đọc sensor... Các đối tượng này tuân theo chuẩn CORBA và có thể được triệu gọi từ xa từ bất kỳ Client nào. Khi được triệu gọi, đối tượng sẽ điều khiển robot và gửi phản hồi về cho Client.

5b trình bày một chuỗi hình ảnh của robot được ghi lại trong qua trình điều khiển trên.

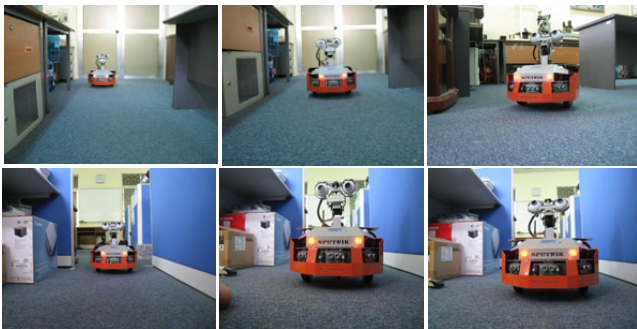
5. Kết luận

Trong đề tài này, chúng tôi đã xây dựng thành công một hệ thống cho phép điều khiển robot qua mạng Internet mà không cần phải quan tâm các đối tượng điều khiển được cài đặt ở đâu, bằng ngôn ngữ lập trình gì và trên hệ điều hành nào. Điều này giúp khắc phục nhược điểm của đa số hệ thống điều khiển robot qua mạng máy Internet hiện nay thường chỉ tương thích với một nền tảng ngôn ngữ nhất định. Nhiều phép thực nghiệm được tiến hành đã chứng minh tính khả thi và thành công của

hệ thống trong bài toán điều khiển robot nói riêng và các hệ thống thời gian thực nói chung qua mạng máy tính.



a)



b)

Hình 5. Kết quả thực nghiệm hệ thống điều khiển robot qua mạng máy tính:

- a) Đường đi của robot trong quá trình điều khiển từ điểm đầu đến điểm đích
- b) Một chuỗi hình ảnh của robot trong quá trình điều khiển

Công trình được sự tài trợ của đề tài nghiên cứu cấp Đại học Quốc gia do trường quản lý QC.09.18.

Tài liệu tham khảo

- [1] Laurent A. Nguyen et. al., Virtual Reality Inter-faces for Visualization and Control of Remote Vehicles. Autonomous Robots, Kluwer Academic Publishers, manufactured in The Netherlands, p.59-68, 11 (2001).
- [2] Joseph Alex et. al., A virtual reality tele-operator interface for assembly of hybrid MEMS prototypes. Proceeding of Design Engineering Technical Conference DETC'98, Atlanta, GA (1998).
- [3] Kuk-Hyun Han, Sinn Kim, Yong-Jae Kim and Jong-Hwan Kim. Internet Control Architecture for Internet-Based Personal Robot. Dept. of Electrical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Kusong-dong, Yousong-gu, Taejon-shi, 305-701, Republic of Korea.
- [4] Manh Duong Phung, Quang Vinh Tran, Kok Kiong Tan, "Transport Protocols for Internet-based Real-time Systems: A Comparative Analysis," The Third International Conference on Communication and Electronics (ICCE), Nha Trang, Vietnam, 2010.
- [5] R. C. Luo and T. M. Chen, "Development of a multi-behavior based mobile robot for remote supervisory control through the Internet," IEEE/ASME Trans. Mechatronics, vol. 5, no. 4, pp. 376-385, Dec. 2000.
- [6] K. Goldberg et al., "Desktop teleoperation via the world wide web," in Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, Nagoya, Japan, 1995, pp. 654-659.
- [7] K. Taylor and B. Dalton, "Issues in Internet telerobotics," in Proc. Int. Conf. Field and Service Robotics, Canberra, Australia, 1997, pp. 151-157.
- [8] Manh Duong Phung, Thanh Van Thi Nguyen, Cong Hoang Quach, Quang Vinh Tran, "Development of a Tele-guidance System with Fuzzy-based Secondary Controller", The 11th IEEE International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV), pp.1826-1830, Singapore, 2010.
- [9] T. Fong and C. Thorpe, "Vehicle teleoperation interfaces," Autonomous Robots, vol. 11, no. 1, pp. 9-18, Jul. 2001.
- [10] P. Li, W. Lu, and Z. Sun, "Transport layer protocol reconfiguration for network-based robot control system", IEEE Networking, Sensing and Control, ICNSC2005 - Proceedings 2005, pp. 1049-1053, 2005.
- [11] Kuk-Hyun Han, Sinn Kim, Yong-Jae Kim and Jong-Hwan Kim, "Internet Control Architecture for Internet-Based Personal Robot," Journal of Autonomous Robots 10, 135-147, 2001
- [12] Dawei Wang, Jianqiang Yi, Dongbin Zhao, Guosheng Yang, "Teleoperation System of the Internet-based Omni-directional Mobile Robot with A Mounted Manipulator," Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation August 5 - 8, 2007, Harbin, China.
- [13] Markus Aleksy, Axel Korthaus, Martin Schader, "Implementing Distributed Systems with Java and CORBA," Springer Berlin Heidelberg Pub, January, 2010.