Journal of the Human Engineering Society of Korea
Vol. 5 No. 2, Dec. 1986

《研究論文》

컴퓨터 그래픽 시뮬레이션을 利用한 監視制御作業에서의 에러回復方法에 관한 硏究

(A Study on the Error Recovery Method of the Practical Supervisory Control using Computer Graphic Simulation)

李 舜 堯[†] 長町三生[††] 伊藤宏司[††] 權 奎 植[†††]

Abstract

The present paper deals with obtaining the proper application criteria for the control mode, by using computer graphic simulation, in order to recover the error effectively occurring in the practical supervisory control work of human-robot system.

In these experiments the operations by human and by control program are performed as control modes for recovering the error. And then we compare and analyze two control modes taking task error and task time as performance measures and task difficulty as a variable factor. .

Consequently as the task difficulty increases, the task error in the operation by human tends to be less than in the operation by control program and the task time is superior in the operation by control program.

Therefore, we suggest that two control modes should be used jointly for recovering the error and the operation by control program should be applied in major fraction of control and the operation by human in minor fraction of control.

Ⅰ. 序 論

1. 硏究의 意義와 目的

人間에게 있어서 苛酷한 環境下에서의 機器의 修理, 復舊作業 등 로보트의 活躍이 기대되어지는 應用分野는 대단히 넓다. 그러나 現在의 技術水準으로서는 로보트화 할 수 있는 作業의 種類는 극히 限定되어 있다. 이러한 種類의 作業 즉, 整備되지 않은 作業을 能率的으로 實行하기 위해서는 로보트 그 자체의 作業能率 뿐만 아니라 指令을 주는 人間과 로보트와의 관계를 검토할 필요가 있다[24]. 따라서 로보트가 活躍하는 應用分野가 확대됨에 따라 人間과 로보트와의 관계가 점점 중요하게 되는 것이다. 宇宙, 深海,

†高麗大學校 産業工學科
††日本広島大學 人間工學硏究室
†††高麗大學校 人間工學硏究室

原子力플랜트 등 최근에 증대해가고 있는 危險즉, 人間이 接近하기 힘든 作業環境下에서 로보트가 機器裝置類의 組立, 分解, 修理 등의 作業을 행할 경우, 高度의 知識이나 經驗을 가진 人間操作者의 狀況判斷과 적절한 指令이 없으면 그 作業의 수행은 곤란하게 된다. 이러한 極限作業用의 人間-로보트 시스템에 있어서 로보트의 環境適應能力을 최대한으로 살리면서 安全한 遠隔地點으로부터 操作者의 巨視的인 判斷과 操作에 따라 人間과 로보트가 단독으로서는 할 수 없는 作業을 協力하여 能率的으로 실시하는 遠隔操縱(teleoperation) 技術이 提案되었다[8, 22, 27]. 이 技術에서는 直接制御, 監視制御 및 自動制御에 의한 接近方法이 試圖되고 있다[19, 20].

William R. Ferrell과 Thomas B. Sheridan은 遠隔操縱에서의 人間과 컴퓨터가 협동하여 어느 한쪽의 가능한 遂行度 이상을 성취하기 위해서 遠距離 센서와 遠距離 컴퓨터프로그램을 이용하여 遠隔操縱作業을 완성하기 위해서 코맨드를 받는 컴퓨터를 遠距離에 設置하도록 제안하는 制御모드를 監視制御(supervisory control)라고 하였으며, 이 制御는 컴퓨터가 人間에 의해서 指令된 命令을 수행하는 동안 人間操作者는 目標를 計劃하고, 遂行度를 監視하며, 필요할 때 關與하는 計劃(plan), 教示(teach), 監視(monitor), 干涉(intervene), 學習(learn) 등의 機能을 수행한다[19, 27].

지금까지의 人間-로보트시스템에 있어서는 産業用 로보트(industrial robot), 遠隔操縱(teleoperation), 實體的 監視制御(practical supervisory control) 등의 硏究가 진행되어 왔으며, 自動制御(automatic control)에 대한 硏究에는 아직 많은 當面課題가 남아 있다[24]. T. L. Brooks는 SUPERMAN이라는 remote manipulation의 監視制御硏究에서 作業時間과 作業過誤를 遂行度尺度로 사용하여 監視制御와 手動制御를 비교하여 監視制御의 우월함을 보였으며, 이는 컴퓨터 그래픽 시뮬레이션을 이용한 李舜堯, 梁瑄模의 硏究에서도 立證되었다[19, 29]. 이러한 實體的 監視制御硏究에서는 코맨드列에 의한 監視制御作業中 에러發生時 그 코맨드를 中斷하고 에러를 回復, 復歸하는 硏究가 진행되고 있으며, 이러한 에러를 回復하는 데는 에러回復操作을 人間操作者가 적당한 변화를 直接 가해서 操作하는 直接操作과 人間操作者가 部分空間에 프로그램制御를 적용함으로써 코맨드를 내려 에러를 回復하는 코맨드操作의 두 가지 制御모드의 方法이 試圖되어 왔다[24].

本 硏究에서는 컴퓨터 그래픽 시뮬레이션을 이용하여 實體的 監視制御作業에서의 에러發生時 이를 回復하고 復歸하기 위한 直接操作과 코맨드操作의 두 개의 制御모드를 作業過誤와 作業時間을 遂行度尺度로써 비교분석하기로 한다. 또한 人間이 어떠한 情報를 어떠한 方法으로 賦與하면 에러回復時 좀 더 쉽고 편리하게 制御할 수 있는가 하는 制御모드의 적용기준을 마련하고, 作業環境情報를 관리하기 쉽고 사용하기 쉬운 형식으로 構造化하기 위해서 作業環境모델을 이용하여 遂行度에 영향을 미치는 變動要因으로 作業의 困難性을 추가함으로써 作業의 困難性에 따른 두 가지 制御모드의 遂行度 차이를 밝히고자 한다.

2. 硏究의 槪要

컴퓨터 그래픽 시뮬레이션을 이용한 監視制御硏究에서의 手動制御와 監視制御의 흐름圖를 나타낸 것이 그림 1이다[29].

本 硏究에서는 그림 2와 같이 컴퓨터 그래픽 시뮬레이션에 의한 에러發生時 이를 回復, 復歸시키기 위한 方法으로써 두 가지 制御모드(直接操作, 코맨드操作)를 이용하여 이들의 遂行度를 비교함으로써 人間에게 좀 더 容易하고 便利한 制御모드의 適用基準을 마련하고자 한다[24].

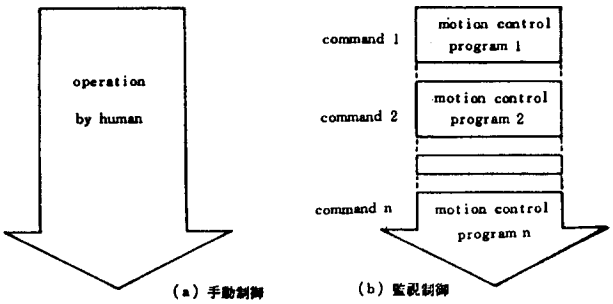

그림 1. 컴퓨터 그래픽 시뮬레이션을 이용한 監視制御硏究에서의 手動制御와 監視制御의 흐름圖

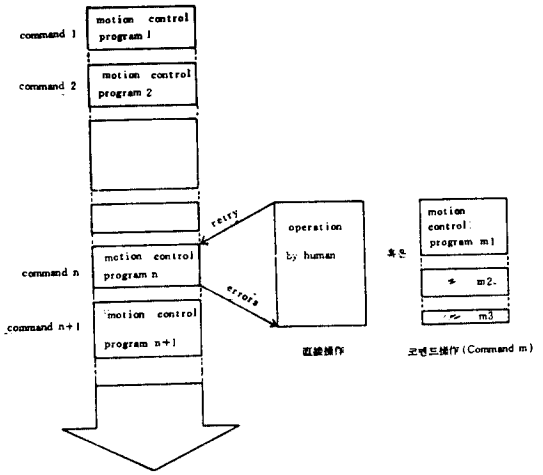

그림 2. 實體的 監視制御作業에서의 에러回復을 위한 作業實施 順序圖

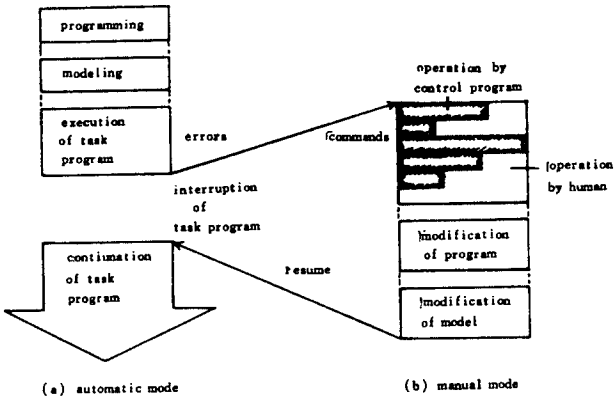

그림 3. advanced teleoperator의 作業實施 順序圖

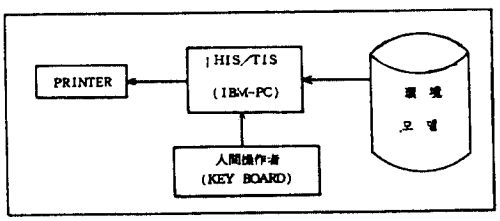

그림 4. 實驗裝置 構成圖

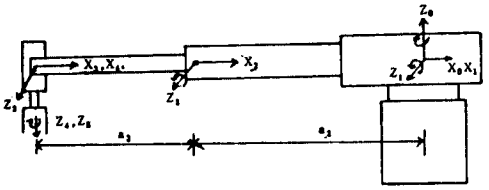

그림 5. PUMA type 5軸 로보트팔

그림 3은 本 硏究의 後續으로 實施할 human interface 技術의 일환으로서 巨視的인 意思決定은 컴퓨터가 하고, 人間은 微視的인 機能을 遂行하며 에러發生時 作業의 中斷없이 에러를 回復, 復歸시키는 advanced teleoperator의 作業實施 順序圖를 나타내고 있다[24].

Ⅱ. 實驗設計 및 方法

人間-로보트 시스템에 있어서 人間操作者의 命令을 받고 作業을 수행하며 그 結果의 情報를 피이드백하는 干涉作用 機能을 하는 機器로 IBM-PC를 사용하였으며, 實驗裝置 構成圖는 그림 4에 나타나 있다.

本 實驗에서는 人間操作者와 情報交換을 하는 HIS(human interactive subsystem)computer와 서로 干涉作用을 하며, HIS로부터의 命令을 받아 作業을 수행하고 피이드백하는 TIS(task interactive subsystem)computer의 機能을 한 대의 컴퓨터가 수행하는 것으로 간주하였다[19]. 그래픽 시뮬레이션에 쓰여진 컴퓨터言語는 一般的인 高레벨 言語에 運動經路解法을 적용한 것을 사용하였으며, 프로그램에 의하여 형성된 로보트는 그림 5와 같은 PUMA type 5軸 로보트팔이며, 각 링크의 파라미터를 나타낸 것이 표 1이다[6,12,13,14].

그림 2에서와 같이 實體的 監視制御시스템에서는 人間이 코맨드를 줌으로써 對應하는 프로그램이 實行되고 自動的으로 로보트가 動作하며, 그 動作의 完了를 確認하고 다음 코맨드를 주는 코맨드列에 의한 作業이 수행된다. 코맨드 實行中에 에러가 일어나면 그 코맨드는 中斷되고 다른 코맨드列로써 이를 回復하거나 直接操作을 한다[24]. 그래픽 시뮬레이션을 통하여 수행된

로보트작業은 로보트作業中에서 가장 일반적으로 행해지는 것 중의 하나인 運搬作業을 택하였다. 이 作業中에서 에러가 發生했을때 이를 回復하기 위한 두 가지 制御모드 중에서 直接操作 흐름圖는 그림 6에 나타나 있으며, 그림 2의 에러回復部分의 코맨드操作을 나타낸 것아 그림 7이다.

표 1. 각 링크의 파라미터

link	variable	α	a	d	cosα	sinα
1	θ_1	90°	·	·	0	1
2	θ_2	0°	a_2	·	1	0
3	θ_3	0°	a_3	·	1	0
4	θ_4	90°	·	·	0	1
5	θ_5	0°	·	·	1	0

遂行度尺度인 作業時間과 作業過誤는 각각 한 번 作業時의 總時間과 總過誤回數로 하였으며 作業의 困難性은 워크 팩터 (work factor)법에 의하여 잡는 動作의 難易度에 따라 0,1,2로 하였다[30]. 實驗을 수행할 被實驗者는 비교적 本 硏究에 대한 理解度가 높은 人間工學 專攻의 大學院 1學年生 3名으로 選定하였으며, 實驗은 각 10回씩 반복하여 그 平均値를 사용하였다[16].

Ⅲ. 實驗結果

本 硏究에서 수행한 實體的 監視制御作業에서 作業遂行中에 에러가 발생했을 때, 에러回復操作을 直接操作과 코맨드操作 중 어느 操作이 作業困難度에 따른 人間操作者의 에러를 적게 하고, 또 作業의 遂行度를 개선시키는 지에 대한 豫備實驗을 실시하여 그 결과를 T-檢定으로 분석 비교하였다. 그 결과, 有意水準 5% ($T_{0.05}$ =1.83) 에서 作業過誤와 作業時間의 T값은 각각 2.89, 4.11로 直接操作보다 코맨드操作의 우월함이 檢證되었다. 따라서 이것은 새로운 變動要因의 영향을 조사할 수 있는 토대를 제공하여 주는 것으로서 本 實驗에서는 作業困難度에 따라 人間操作者의 作業過誤와 作業時間이 어떤 영

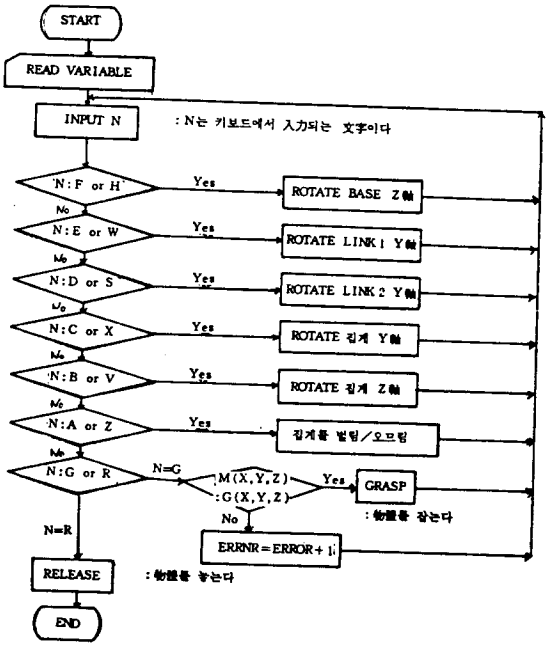

그림 6. 直接操作 흐름圖

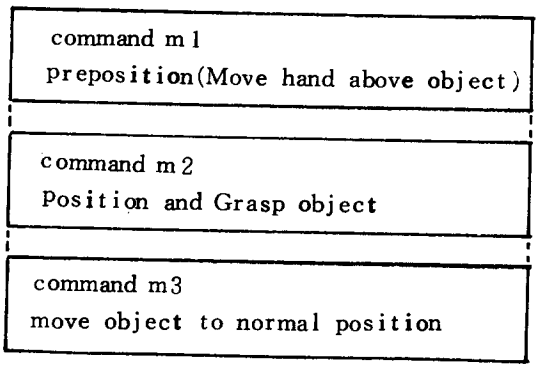

그림 7. 코맨드操作 흐름圖

향을 받는 가를 두 가지 에러回復操作에 대하여 實施하였으며, 그 結果를 T-檢定으로 분석 비교하였다. 그 결과, 實體的 監視制御作業에서 에러가 발생하였을 때 有意水準 5% ($T_{0.05}$ =1.83) 에서 作業過誤의 T값은 3.46, 作業時間의 T값은 5.05로써 直接操作보다는 코맨드操作의 우월함이 檢證되었다. 따라서 이것으로부터 本 實驗의 資料를 分析함으로써 다음과 같은 結果를 얻을 수 있었다. 첫째, 에러發生時 回復操作을

人間操作者가 作業의 困難度에 따른 直接操作과 코맨드操作으로 했을때, 人間操作者의 作業過誤의 平均回數는 그림 8과 같았고, 둘째 平均作業時間으로 비교한 것이 그림 9이다.

그림 8에서와 같이 實體的 監視制御作業에서 制御作業의 困難度가 증가함에 따라 에러回復을 위한 두 가지 制御모드에서 人間操作者에 의한 直接操作의 作業過誤가 코맨드操作의 作業過誤보다 그다지 많은 차이가 나지 않음을 알 수 있다 또한 이러한 것은 作業의 困難度가 증가함에 따라서 어느 순간부터는 오히려 直接操作의 作業過誤가 코맨드操作의 作業過誤보다 적어 질 수 있을 것이라는 傾向도 엿볼 수 있다. 코맨드操作에서는 주어진 로보트 經路發生命令에 의하여 일정한 作業遂行을 巨視的으로 하기 때문에 이러한 코맨드로서는 作業의 困難度가 증가함에 따라 미세하고 세밀한 動作으로 作業하기가 어렵게 된다. 따라서 코맨드操作에서는 物體와의 衝突回數와 로보트팔이 物體를 잡는 데 있어서의 過誤가 늘어나게 되어 直接操作에서의 경우보다 큰 경우가 생기는 것이다. 이것으로 미루어 보아 作業의 困難度가 증가하여 복잡하고 정교한 動作을 요하는 作業에 있어서는 直接操作의 作業過誤가 코맨드操作의 作業過誤보다 훨씬 적어질 경우도 豫見할 수 있다.

그림 9는 實體的 監視制御作業에서 에러發生時 作業의 困難度에 따른 에러回復을 위한 作業遂行時間이 人間操作者가 直接操作할 때가 코맨드操作을 할 때 보다도 증가함을 알 수 있다. 이것은 直接操作의 경우, 人間操作者가 直接 로보트팔을 의도하는 데로 움직이게 되므로 상당한 注意와 熟練을 필요하기 때문에 조금만 操作을 잘못해도 人間操作者가 그 에러를 回復하기 위한 直接操作回數가 증가하게 되며, 또한 作業의 困難度가 증가함에 따라서 그 만큼 더 세밀한 操作을 필요로 하기 때문에 프로그램에 의한 制御를 하는 코맨드操作에 비해서 作業遂行時間이 길어짐을 알 수 있다.

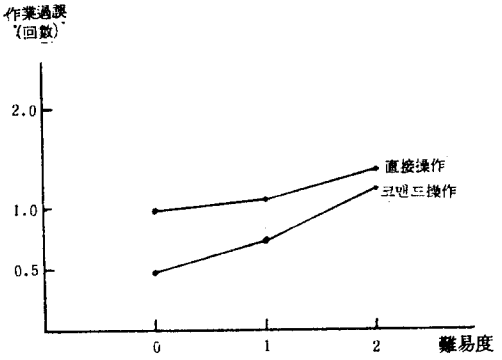

그림 8. 直接操作과 코맨드操作의 作業過誤

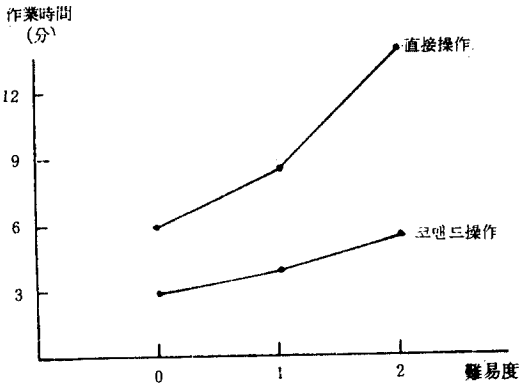

그림 9. 直接操作과 코맨드操作의 作業時間

Ⅳ. 結　　論

本 研究에서는 實體的 監視制御作業에서 作業遂行中 에러가 發生했을 때, 이를 回復하기 위한 研究를 위해서 컴퓨터 그래픽 시뮬레이션을 이용하였다. 變動要因으로서 作業의 困難性이 부과되었을 때, 이에 따른 直接操作과 코맨드操作의 두 가지 制御모드의 비교분석을 作業過誤와 作業時間의 遂行度尺度를 통해서 實施한 結果, 코맨드操作의 우월성을 立證하였다. 그러나, 本 研究에서 구분한 作業의 困難度 이상의 極限狀況下에서도 코맨드操作이 直接操作보다 항상 作業遂行度가 우월하고 作業을 훌륭히 수행한다고 판단할 수 없을 것이다. 아직도 極限作業은 로보트에 대한 指令과 教示方法, 人間과 로보트의 役割分擔에 의한 協調作業, 人間과의 對話機能, 로보트의 知能化 및 人間에 대한 安全性 등의 human interface 技術과 環境모델이나 環境

教示의 問題 등 많은 硏究課題가 남아있기 때문이다. 本 實驗 結果에 의하면 作業의 困難度가 증가함에 따라 좀 더 정교한 作業이 수행되어야 하므로 直接操作과 코맨드操作의 遂行度에 차이가 있음을 알 수 있었다. 비록 코맨드操作이 쉽고 편리하여 作業時間이 적게 걸리지만, 복잡하고 상세한 動作에 있어서의 作業過誤는 作業의 困難度가 증가함에 따라 直接操作이 적게 나타날 傾向이 있음을 豫見할 수 있다. 이러한 것으로부터 直接操作과 코맨드操作의 有機的인 併用이 큰 意義를 갖게 될 것이다. 다시 말해서 巨視的인 動作은 코맨드操作으로서 하고,세밀하고 상세한 動作은 人間이 直接 介入하는 直接操作으로 함으로써 人間-로보트시스템의 有用性을 한층 提高시킬 수 있을 것으로 생각된다. 앞으로 이러한 硏究는 에러回復을 위한 直接操作과 코맨드操作의 有機的 併用을 거쳐서 에러回復 후 프로그램의 어디로 復歸할 것인가, 로보트의 상태가 프로그램의 기대하는 상태로 適合化되어 있는가 라고 하는 것 등이다. 이와같이 巨視的인 意思決定은 컴퓨터가 하고 人間은 단지 이를 補助하는 微視的인 機能을 수행하고, 作業實施中에 에러가 발생하여도 作業을 中斷하지 않고 에러를 回復하고 復歸함으로써 人間-로보트시스템의 有用性을 한층 提高시킬 advanced teleoperator로의 硏究로부터 高度의 操作感을 가지고 마치 실제로 極限狀況下에서 人間이 作業을 하는 것과 같은 高度의 臨場感(remote presence)을 가지는 tele-existence로의 硏究로 發展해 나갈 것이다[7,8,24,25,26,27].

參 考 文 獻

[1] Amos Freedy and Hull F. C., "A Computer Learning – Based System for Remote Manipulator Control", *IEEE TRANSACTION ON S.M.C.*, Vol. SMC-1, No. 4, Oct. 1971.

[2] Brooks T. L., "The Mathematics of Supervisory Computer Control of Manipulators", *Journal of Systems, Measurement and Control*, Vol. 104, Dec. 1982.

[3] Faux I. D. and Patti M. J., Computational Geometry for Design and Manufacture, Ellis Horwood Limited, 1982.

[4] Grossman, D. D. and Taylor, R. H., "Interactive Generation of Objects Model with a Manipulator", *IEEE Transaction on S.M.C.*, Vol. SMC-8, Sep. 1979.

[5] Hasegawa T., "An Interactive System for Modeling and Monitoring a Manipulation Environment", *IEEE Transaction on S.M.C.*, Vol. SMC-12, No. 3, May/June, 1982.

[6] IBM Reference Handbook, International Business Machines Corporation, 1984.

[7] Johnsen E. G. and Corliss W. R., "Teleoperators and Human Augumentation", An AEC-NASA Technology Survey, NASA SP-5047, 1967.

[8] Kevin Corker and John Layman, "Research Issues in Implimenting Remote Presence in Teleoperator Control", 17th Annual Conference on Manual Control., Vol. 1, 1983.

[9] Kulayov F. M. (1980), Supervisory Robot Control, Moscow /In Russian

[10] Lozano-Perez T., "Automatic Planning of Manipulator Transfer Movements", *IEEE Transaction on S.M.C.*, Vol. SMC-11, No. 10, Oct. 1981.

[11] Newman W. M. and Sproull R. F., Principles of Interactive Computer Graphics, McGraw-Hill, 1979.

[12] Park C. S., "Interactive Microcomputer Graphics", Addison Wesley Publishing Company, 1985.

[13] Paul R., "Kinematic Control Equations for Simple Manipulators,", *IEEE Transaction on S.M.C.*, Vol. SMC-11, No. 6, JUN. 1981.

[14] Paul R., Robot Manipulators, MIT PRESS, 1982.

[15] Paul Sjolund and Max Donath, "Robot Task Planning: Programming Using Interactive Computer Graphics" 13th International Symposium on Industrial Robots., Vol. 1, 1983.

[16] Poulton E. C., Tracking Skill and Manual

Control, ACADEMIC PRESS, 1974.

[17] Rouse W. B., Advances in Man-Machine Systems Research, JAI PRESS INC. 1984.

[18] Rouse W. B., "Human-Computer Interaction in Multitask Situation", *IEEE Transaction on S.M.C.*, Vol. SMC-7, No., 3, May, 1977.

[19] Sheridan T. B., "Supervisory Control of Remote Manipulators, Vehicles and Dynamic Process: Experiments in Command and Display Aiding", Man-Machine Systems Laboratory Technical Report, MIT, 1983.

[20] Sheridan T. B. and Ferrell W. R., "Supervisory Control of Remote Manipulation", *IEEE SPECTRUM*, Vol. 4, No. 10, Oct., 1967.

[21] Shirai Y., "Key Issues of Robotics Research", 2nd International Symposium of Robotics Research, 1985.

[22] Starr G. P., "Supervisory Control of Remote Manipulation: A Preliminary Evaluation", 17th Annual Conference on Manual Control, Vol. 1, 1983.

[23] Takase K., Raul R. and Berg E. J., "A Structured Approach to Robot Programming and Teaching", *IEEE Transaction on S.M.C.*, Vol. SMC-11, No.4, 1981.

〔24〕 高瀬國克, 若松清司, "知能的 テレオペーションシステムの構成法とその 要素技術", *JRSJ*, Vol.2, No.6, 1984.

〔25〕 平井成興, 佐藤知正, "LARTS/Tを用いた言語主導型 マスタスレーブマニピュレーション法", *JRSJ*, Vol.2, No.6, 1984.

〔26〕 長谷川勉, "環境教示と環境モデル", 日本ロボット學會誌, 12月, 1984.

〔27〕 辻三郎, 江尻正員, "ロボット工學とその應用," 電子通信學會編, 1984.

〔28〕 上原明, "ロボットの特色と今後の發展の方向", *Robot Engineering*, Dec., 1982.

〔29〕 李舜堯, 梁瑄模, "컴퓨터 그래픽 시뮬레이션을 이용한 監督者制御에 관한 硏究", 大韓人間工學會誌, Vol.4, No.1, 1985.

〔30〕 李舜堯 著, 作業管理, 博英社, 1975.