《研究論文》

Journal of the Human Engineering Society of Korea
Vol. 4 No. 2, Dec 1985

컴퓨터 그래픽 시뮬레이션을 이용한 監督者 制御에 관한 硏究

(A Study on the Supervisory Control System Using Computer Graphic Simulation)

李 舜 堯† 梁 瑄 模††

Abstract

Nowadays, there are many situations which the conventional control system can't be applied any more (e.g. nuclear waste disposal sites, radioactive laboratories, the deep ocean and the vacuum of the outer space). New control system must be considered such as supervisory control system in those environment.

Using computer graphic robot simulation, supervisory control which can cope with this situation is compared to manual control. As a performance measure of these comparisons, task time and task error are used. And task difficulties and time delay are considered as a variation factor.

According to the result of this study, supervisory control is superior to manual control generally. Especially in the situation including task difficulties and time delay, the superiority is much greater.

1. 序 論

인간의 기술적 수준은 좀 더 어려운 상황하에서 좀 더 복잡한 作業의 必要性이 증가됨에 따라 점점 進步되고 있다. 인간이 直接 制御할 수 있는 비교적 짧은 거리나 위험성이 없는 환경에서의 간단한 작업은 제어루프를 직접연결 (Direct Linkage)하는 제어시스템 (Real Time Control System)으로 가능하지만 핵폐기물작업이나 放射能 硏究, 深海에서의 探査나 採取作業 그리고 달이나 그 밖의 外界에서의 복잡한 작업과 같은 極限狀況에서는 새로운 제어시스템의 필요성이 대두되고 있다.

1967년 W.R. Ferrell과 T. B. Sheridan은 이러한 極限作業에서 발생하는 문제의 해결을 위하여 監督者制御시스템 (Supervisory Control System)을 제안하였다[1]. 여기서 그들은 監督者制御시스템이 유용한 상황을

첫째 : 인간이 동시에 여러 작업상황을 監視해야 하는 경우

둘째 : 인간과 작업사이의 情報傳達이 雜音(Noise)이나 動力源의 限界 (Power Limi-

† 高麗大學校 産業工學科
†† 高麗大學校 大學院

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

tation)에 의하여 제한을 받는 경우

세째 : 인간과 作業環境과의 거리가 너무 멀어서 정보의 傳達時間이 遲延되는 경우

로 구분하였으며, 이러한 상황에서의 작업을 위하여 두가지 접근방법을 제시하였다. 첫번째 접근방법은 필요한 작업을 獨者的으로 수행할 수 있는 로보트시스템의 설계인데 이것은 우발적인 경우에 대처할 수 있는 自動化시스템(Automatic Control System)을 구성하는 것이다. 두번째 방법은 두 가지의 제어체계를 갖는 시스템으로서 하나는 遠距離에서 操縱機(Manipulator)를 直接 操縱하는 手動制御시스템(Manual Control System)이고 다른하나는 인간이 원거리에 위치한 장비의 下位目的을 지시하고 意思決定의 한계를 돕는 監督者制御시스템(Supervisory Control System)이다.

처음 연구에 쓰여진 操縱機(Manipulator)는 가까운 거리에서 위험한 방사능 물질을 다루는데 사용된 手動으로 制御하는 Master-Slave인데, 이러한 상황에서는 인간이 조종기의 正確한 位置調整과 精巧한 制御를 할 수 있었다. 그러나 거리가 멀어짐에 따라 제어정보의 전달과 피이드백에 대한 周圍環境의 妨害는 제어작업을 점점 더 어렵게 만들었다. 이러한 문제는 人間運轉者와 操縱機사이의 정보전달을 방해하는 時間的 遲延이 作業時間이나 作業過誤 등 作業遂行度에 미치는 영향에 대한 연구로 발전되었는데, R.W. Ferrell, J.H. Black, J.W. Hill and, A. J. Sword 그리고 G.P. Starr 등에 의하여 조종작업에 있어서의 時間的 遲延에 대한 부정적 영향이 실험적으로 증명되었다[2].

A. Freedy와 F.C. Hill은 컴퓨터를 이용하여 원격조종제어를 위한 훈련시스템(Learning System)을 개발하였으며[3], J. W. Hill은 Master-Slave의 遂行度尺度에 대하여 연구하였고[4], G.P. Starr는 時間的 遲延하에서의 Master-Slave와 Resolved Motion Rate Control의 두가지 手動制御에 대한 遂行度를 비교하였다[5].

이러한 연구방향은 1982년 Kevin Coker, A.H. Mishkin 그리고 John Layman 등이 포괄적인 원격조정작업에 관한 연구과제를 제시하기에 이르렀다. 그들은 感知機(Sensor)나 表示裝置, 制御시스템, 變換시스템 등의 원격조종작업에 대한 현재의 연구상황 및 앞으로의 연구방향과 이에 따르는 해결해야 할 문제점을 제시하였다[6],[7].

T.L. Brook는 1982년 監督者制御의 수학적 모델을 구성하였으며[8], SUPERMAN이라는 制御시스템을 개발하여 원격조종작업에서의 手動制御와 監督者制御에 대한 遂行度를 비교하였다. 그는 여기서 時間的 遲延이 없는 상황에서 여섯가지의 로보트작업(Tool Retrieval, Tool Return, Taking a Nut off, Grasping an Object and Placing, Opening/Closing a Valve and Digging)을 네가지 手動制御方法(Mastes Slave, No Forcefeedback Master Slave, Joystick Variable Rate Control, Switch Variable Rate Control)과 監督者制御方法에 대하여 각각 作業時間과 作業過誤를 遂行度尺度로 사용하여 비교하였다. 실험의 결과에서는 概限狀況에서 監督者制御가 手動制御보다 遂行度가 우월함을 보이고 있다[9].

본 연구에서는 監督者制御시스템을 위하여 3차원 컴퓨터 그래픽로보트 시뮬레이션을 설계하였다. 그리고 로보트 시뮬레이터를 이용하여 T. L. Brooks의 SUPERMAN에서 사용한 運搬作業을 遂行作業으로 택하여 手動制御와 監督者制御로 作業을 수행하여 SUPERMAN의 결과와 비교하고자 한다. 그리고 SUPERMAN에서 고려하지 않은 作業의 困難性과 時間的 遲延을 遂行度에 영향을 미치는 變動要因으로 추가하여 이러한 變動要因의 영향을 조사함으로써 作業의 困難性과 時間的 遲延의 증가에 따른 두가지 制御方法의 遂行度차이를 밝히고자 한다.

2. 實驗의 設計 및 方法

실험을 위하여 구성한 實驗機器는 APPLE-2 퍼스널 컴퓨터 2대와 이것을 연결하는 RS-

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

232C 인터페이스 카드 그리고 데이터 저장용 디스크 드라이버이다. 한 대의 컴퓨터는 HIS (Human Interactive Subsystem)의 役割을 담당하여 人間運轉者와 의사소통을 하고 TIS (Task Interactive Subsystem)에 명령을 내리는 기능을 한다. 또다른 한 대는 TIS로서 HIS로부터의 명령을 받아들여 作業을 수행하며 그 결과를 HIS에 피이드백한다. 이들 두 대의 컴퓨터를 연결하는 인터페이스 카드는 HIS와 TIS의 데이터를 주고 받는 橋梁役割을 한다.

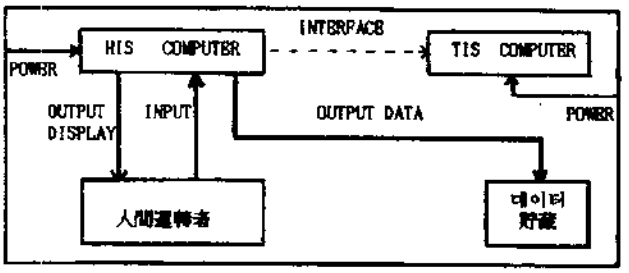

그림 1. 實驗裝置 構成圖

〔10〕, 〔11〕, 〔12〕 로보트 시뮬레이터에 쓰여진 컴퓨터 언어는 그래퍼스(Graforth Language)를 사용하였으며 프로그램에 의하여 형성된 로보트는 基礎部(Base)와 連結軸1(Link 1), 連結軸 2(Link 2) 그리고 집게 (Gripper)로 이루어진 PUMA형 5축 로보트팔이다. 즉 基礎部는 Y축회전, 連結軸 1과 連結軸 2는 Z축회전, 집게는 Z축과 X축으로 회전하게 된다 그림은 實驗裝置의 構成圖를 나타낸다 〔13〕, 〔14〕. 그리고 그림 2는 로보트 시뮬레이터에 의한 作業順序를 나타낸다.

手動制御에서는 順序圖의 GRASP 등 모든 명령이 人間運轉者에 의하여 操縱되고 監督者制御에서는 人間運轉者의 입력프로그램에 따라 독자적으로 수행하게 된다.

시뮬레이션을 통하여 수행된 로보트작업은 로보트작업중에서 가장 일반적으로 행하는 것 중의 하나인 運搬作業을 택하였다. 遂行度尺度인 作業時間과 作業過誤는 각각 한번 작업시의 총 시간과 과오횟수로 하였고 그리고 作業의 困難性은 워크 팩터법에 의하여 잡는 동작의 난이도에 따라 1, 2, 3으로 하였으며, 時間的 遲延은 0초에서 6초까지 주었다. 실험을 수행할 피험자는 비교적 본 논문에 대한 理解度가 높은 인간공학 전공의 대학원 1학년생으로 選定하였으며 실험은 10회씩 반복하여 그 평균치를 사용하였다 〔15〕, 〔16〕.

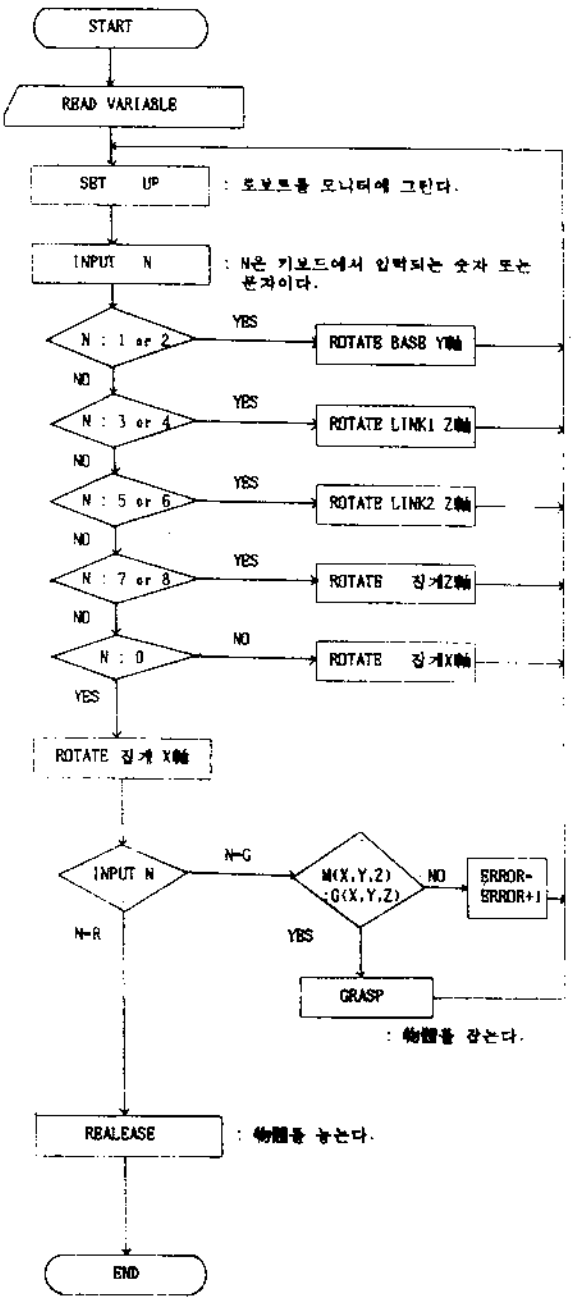

그림 2. 로보트作業順序圖

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

3. 實驗의 結果

본 연구에서 수행한 手動制御作業과 監督者制御作業의 遂行度를 비교하기 위하여 T-검정을 하였다. 두가지의 制御作業에 대한 作業時間과 作業過誤에 대한 평균치의 T-검정 결과 SUPERMAN의 실험과 비교하기 위한 기본실험에서 유의수준은 5%, T값은 32.96으로 監督者制御의 우월성을 보여주고 있다. 그림 3은 作業의 난이도와 時間的 遲延의 변동에 따른 作業時間의 變化를 보여주고 있으며 그림 4는 作業過誤의 변화를 나타내고 있다.

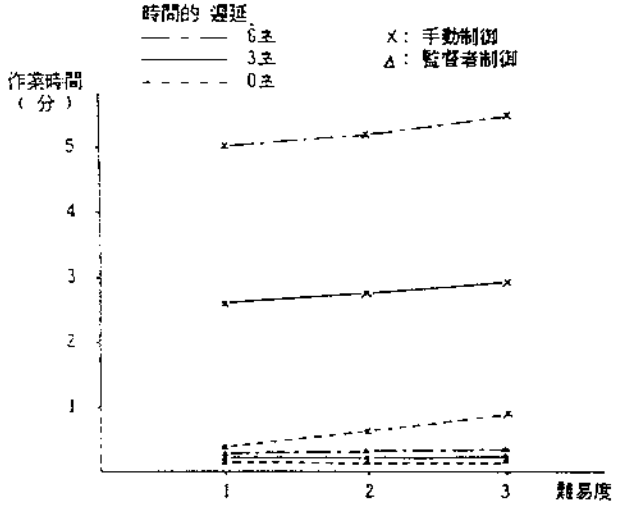

그림 3. 手動制御와 監督者制御의 作業時間

그림 3에서 보는 바와 같이 監督者制御作業에서는 制御作業의 난이도가 증가함에 따라 作業의 수행시간이 거의 변동하지 않으나 手動制御作業에서는 作業의 난이도가 증가함에 따라 그 時間이 점차 증가함을 알 수 있다. 그리고 手動制御作業에서는 동일한 난이도에서 時間的 遲延의 증가에 따라 時間차이가 크게 벌어지고 있는데 ($\alpha = 0.05$, $T = 51.6$), 그 까닭은 手動制御에서는 로보트팔을 매번 움직일 때마다 時間이 遲延되지만 監督者制御에서는 로보트작업의 준비시간에만 時間이 遲延되기 때문이다. 따라서 수행작업이 점점 어려워지게 되면 로보트팔의 움직임횟수가 증가하게 되므로 그 때에는 手動制御의 作業時間이 더욱 증가하게 될 것이다.

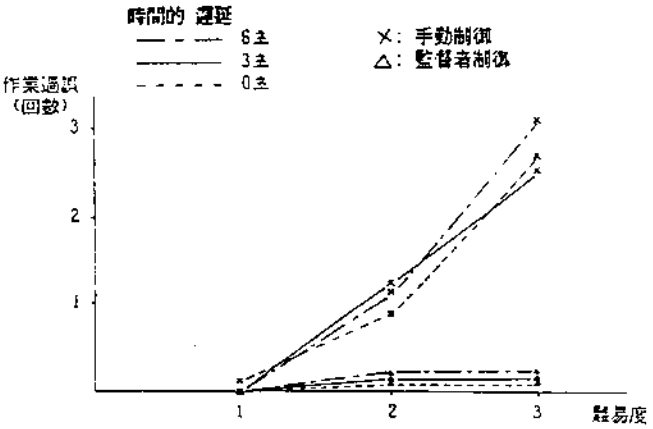

그림 4. 手動制御와 監督者制御의 作業過程

그림 4에서는 作業의 난이도가 증가함에 따라 물체를 잡는 부위가 줄어들어 作業이 점점 어려워지게 되고, 또한 로보트팔의 동작횟수가 증가하게 됨으로 물체와의 충돌횟수와 로보트팔이 물체를 잡는데 있어서의 過誤가 늘어나게 된다. 그런데 監督者制御에서는 過誤가 거의 나타나지 않는데 그것은 HIS로부터 TIS에 전달되는 로보트경로발생명령이 정확하게 수행되기 때문이다.

4. 結　論

본 연구에서는 監督者制御의 실험을 위하여 컴퓨터 그래픽 시뮬레이션을 설계하여 作業의 困難性과 時間的 遲延이 부과되었을 때 이들 변동요인이 두가지 制御作業에 미치는 영향을 作業時間과 作業過誤의 두가지 遂行度尺度로 평가함으로써 極限狀況하에서의 監督者制御의 우수성을 실험의 결과와 같이 확인하였다.

여기서 로보트 시뮬레이터에 의하여 수행된 作業은 간단한 몇가지 作業이었으나 이러한 시뮬레이터를 좀 더 발전시키면 보다 많은 作業을 다양한 作業條件하에서 수행함으로써 여러가지의 制御方法에 대한 연구를 할 수 있을 것이다.

그리고 본 연구에서 고려하지 않은 로보트의 에너지소비량이나 作業者의 피로도 등을 로보트 시뮬레이션에 고려한다면 좀 더 바람직한 결과를 얻을 수 있을 것이다.

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

參 考 文 獻

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

[2] Starr G. P., "Supervisory Control of Remote Manipulation ; A Preliminary Evelua-tion" 17th Annual Conference on Manual C-ontrol., Vol. 1, 1983.

[3] Enstrom K. D. and Rouse W. B., "Real-Time Determination of How a Human Has Allocated His Attention Between Control and Monitoring Tasks," *IEEE Transaction on S.M.C.*, Vol. SMC-7, No.3, Mar. 1977.

[4] Hill J. W., "Comparison of Seven Performance Measures in a Time-Delayed Manipulation Task," *IEEE Transaction on S.M.C.*, Vol. SMC-6, No. 4, Apr. 1976.

[5] Starr G. P., "A Comparison of Control Modes for Time-Dalayed Remote Manipulation" *IEEE Transaction on S.M.C.*, Vol. SMC-9, No. 4 Apr. 1979.

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

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

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

[9] Rouse W. B., Advances in Man-Machine Systems Research, JAI Press Inc., 1974.

[10] Lutus P., Graforth Language Reference Manual, APPLE Computer Inc., 1982.

[11] RS-232C Reference Manual, APPLE Computer Inc., 1982.

[12] 한수찬 , Apple 어셈블러 ,교학사, 1985 .

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

[14] 이순요, 작업관리, 박영사, 1975 .

[15] Mewman W. M. and Sproull R. F., Principles of Interactive Computer Graphics, Mc-Grraw -Hill Book Company, 1979.

[16] Pulton E. C., Tracking Skill and Manual Control, Academic Press, 1974.

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.