

# Manual Control 의 최근 연구동향

## —20차 연례 Manual Control회의 참가 보고—

南 文 鉉

(建國大 工大 副教授)

■ 차 례 ■

- 1. 서 론
- 2. 20차 연례 학술대회
- 3. 몇가지 화제

- 4. 맺음 말
- 〈부록〉

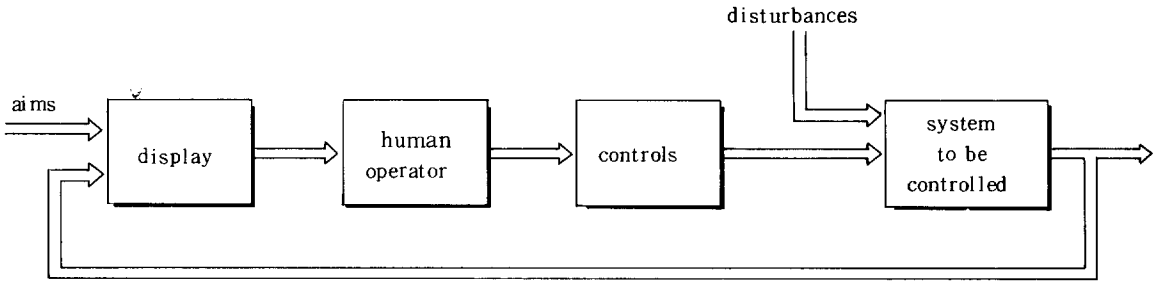
### 1 서 론

Manual Control 은 제어 시스템에서 제어기로서의 역할을 인간이 대신하는 제어공학의 한 분야로서 이때 루우프 안에서 사람을 인간 조종자 (human operator)라 한다. 인간과 기계가 공존하는 시스템을 인간-기계 시스템 (man-machine system) 이라 하여 제어 이론을 위시한 인간공학, 생체공학, 응용 심리학 등 여러 분야에서 널리 연구되고 있다. 본문에서는 manual control 에 대한 이해를 돕기 위하여 이 분야의 전문 학술대회인 연례 manual control 회의에 필자가 참가하여 보고 느낀 것과 회의의 성격 및 연혁, 최근의 몇 가지 화제를 들어 회의 참가보고에 대신하고자 한다.

제어 이론을 manual 시스템에 응용한 것은 2차대전중 영국과 미국의 과학자들 이었다. 인간 조종자에 대한 연구는 1945년 영국의 Kenneth Craik가 발표한 "Theory of the Human Operator in Control Systems" (British Journal of Psychology, volume 38, pp. 56-61, 1947.) 이란 논문을 효시로 A. Tustin 교수 등에 의해 제어공학의 한 분야로 연구되기 시작하였다. 그림 1(a)는 manual control 의 개념을 나타낸 블럭 선도로서 제어 시스템에서 제어기의 역할을 인간이 담당한다. 제어 요소로서 인간은 다양한 비선형성과 시변적인 행위를 나타내며 독특한 적응성과 학습 능력을 갖는다. 지

상이나 외계 또는 해양에서 쓰도록 개발된 운반체 (vehicles) 는 자체의 복잡성 외에도 이를 조종하는데 관련된 인간-기계 상호작용이 극도로 복잡해지고 있다. 따라서 이와 같은 복합 시스템을 제어하는데 있어서 인간 (조종자) 의 역할을 재검토할 필요에 따라 1950년대 후반 미국에서 일단의 기술자와 심리학자들이 모여 학술회의를 갖게 된 것이 소위 "Annual Manuals" 였다. 1964년 이와 같은 분야의 연구자들이 미시간 대학교에서 첫번째 연례 NASA-Uuniversity 회의를 갖게 되었다. 1966년에는 제어 루우프에서 파일럿의 모델을 개발해 온 공업심리학의 전문가와 이와 같이 개발된 모델을 인간-운반체 시스템의 설계에 응용하려는 기술자들이 MIT에서 3일간의 회의를 갖게 되었으며 논문집은 NASA의 특별 간행물로 발간되었다. 당시에 토의되었던 논문들을 보면 인간 조종자에 대한 의사-선형기술 함수 모델 (quasi-linear describing function model) 은 단일축 트래킹 임무에서 적합하다는 사실이 입증되었다. (이와 같은 모델은 가변 부동작시간, 가변 앞섬/뒤섬 시정수, 고정된 신경근육 지연 및 가변 이득, 조종자의 추력이 입력과 선형적인 관계를 갖지 못하게 하는 부가적인 잔여항으로 구성되어 있다. 프랜트 동특성 및 입력 스퀵 트럼이 광범위하게 변할 때 매개 변수도 가변적이 밝혀졌다.) 또한 이 회의에서는 정교한 조종자의 행위, 다수 루우프, 다수 축, 시변 또는 비선형 트래킹 상황에서 인간 조종자를 기술할 수 있는 다른 모델의 개발도 논

(a) MANUAL CONTROL



(b) SUPERVISORY CONTROL

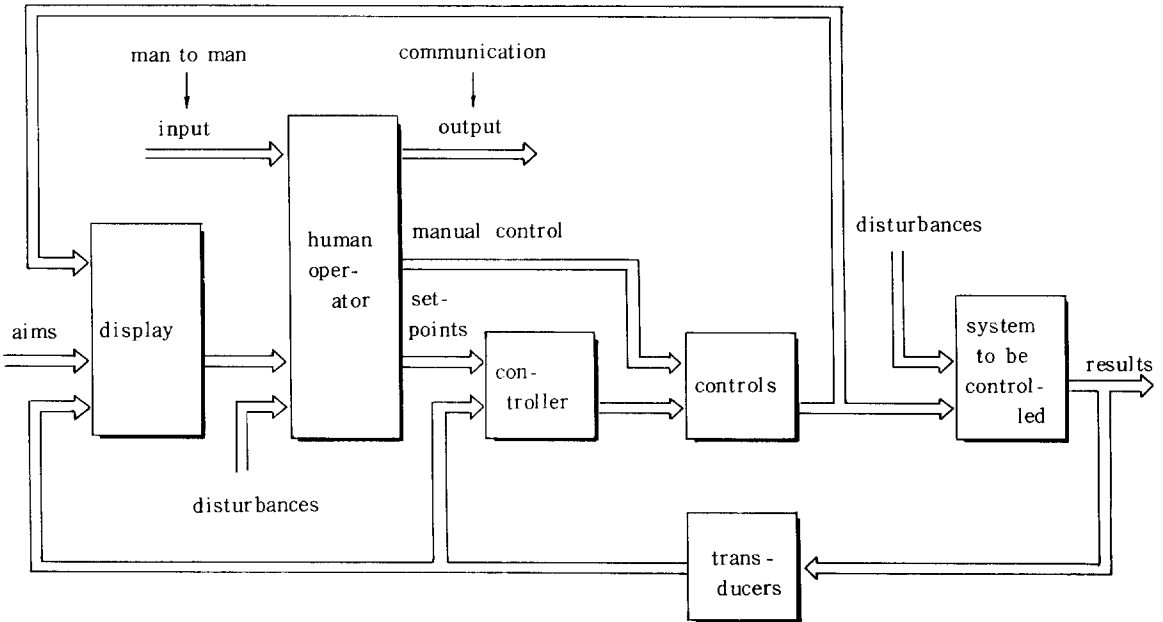


그림 1. Manual Control 과 감시제어 임무에 있어서 인간조종자의 위치

의되었다. 초창기부터 이 대회에 참석하던 사람으로는 MIT의 Young, Sheridan, Mann 교수, 남가주 대학교(USC)의 George Bekey, Georgia 공대의 Rouse 교수, UCLA의 Lyman 교수, U.C. Berkeley의 Stark 교수 등이며 이들은 역시 IEEE의 System, Man, Cybernetics 그룹에서 초창기부터 활약하던 분들이다.

1960년대 후반 및 70년대 초반까지는 인간 조종자의 새로운 수학적 모델 개발을 위해 최신 제어 이론의 응용이 활발하였으며, 최근에는 최적제어 이론을 이용한 인간 조종자의 모델이 개발되어 이 분야의 연구에 긍정적인 면을 보여 주고 있다. 1980년대에 들어와서는 manual control의 영역을 확대한 robotics, 감시(총합)제어(supervisory co-

ntrol)에 대한 연구 논문이 많이 발표되고 있다. 그림 1의 (b)는 감시제어에 대한 블록선도로서 감시자(인간 조종자)는 감시 결정 및 제어를 수행하는 것으로서 최근에는 지능 로봇의 개발에 이 개념을 많이 이용하고 있다.

부록에는 이 회의의 개최에 대한 연보를 나타내었다. 초창기와 마찬가지로 현재도 이 회의에는 NASA와 미국 국방관계 연구소 등이 계약을 맺은 연구 과제가 정규 논문으로 발표되는 것이 상례이며, 대부분의 논문이 응용을 위주로 한 것이지만 기초적인 분야의 논문들도 높은 비중을 차지하고 있다. 특히 미국의 우주 계획과 관련된 생명과학 분야의 연구결과는 거의 이 회의를 통해 발표되고 토의되어 왔다고 할 수 있다.

### ㉑ 20차 연례 학술대회

20차 연례 Manual Control 학술 대회 ( 20 TH Annual Conference on Manual Control )는 금년 6.12 ~ 14 일까지 미국 국립 항공 우주국(NASA) Ames 연구센터 주관으로 샌프란시스코 근교인 Sunnyvale 시의 Sheraton Sunnyvale 호텔에서 열렸다.

지난 2월초 이 회의를 주관하고 있는 NASA Ames 연구센터의 James Hartzel로부터 논문 발표요청을 받고 마침 한국과학재단 연구수원과제에 대한 중간 보고를 겸하여 논문을 발표하기로 하였다. 한편 U. C Berkeley의 Lawrence Stark 교수로부터 공동연구 중인 머리운동의 inverse modeling의 연구결과를 이번 회의에서 같이 발표하는 것이 어떻겠냐는 제안도 있고, 마침 학기도 6월 초에 조금 일찍 끝나 한국과학재단의 여비 지원을 얻어 여행길에 올랐다. 1년여 만에 다시 맑은 샌프란시스코 공항의 복잡한 입국 수속을 마치고 먼저 U. C. Berkeley에서 연구중이고 이번 학술대회에 같이 참여키로 한 광운대학 전자공학과와 이상효 박사와 함께 회의장에 도착하니 6월 12일 오후 분과가 진행되고 있었다. 프로그램상 필자의 발표는 6월 14일에 들어 있어 늦은 등록을 마치고 발표회에 참석하였다. 첫날에는 이번에 새로 신설된 Annual Mental과 2개의 분과로 진행되었다. 오후 6시 반부터 호스트 없이 간단히 칵테일을 들며 오랜만에 반가운 얼굴들과 인사를 나누고 Systems Technology Incorporated (STI)의 Jex 팀이 제작하여 출품한 알콜이나 기타 약품을 복용한 운전자를 검출하는 간단한 manual control 시험기를 테스트하였다. 이 장치는 미국 교통부로부터 지원받아 설계한 것으로 인간 조종자의 제어능력은 기본적으로 싸이버네틱한 특성들에 따라 역제되며 행위도 통계적으로 결정전략에 따라 결정된다는 것을 보여 주었다. 피실험자(인간 조종자)는 스크린 앞에 앉아 실제의 운전 상황을 모의한 그래픽으로 디스플레이 되는 불안정한 제어 대상의 동특성을 조이스틱으로 트래킹하여 안정시키는 것이 시험의 전부인데 자동차에 싣고 실제 자동차 운전시 시험할 수 있도록 고안하였다.

오후 7시부터 시작된 디너 파티에서는 Manual Control 회의에 대한 역사적 회고가 있어서 1950년대 후반부터 이 학술회의를 이끌어 온 대다수의 인사가 소개되었다. 저녁식사 후 관례대로 초청강연이 있었는데 NASA Ames 연구센터의 항공 및 비행시

스템 부장인 Tom Synder가 Seth Anderson 박사(NASA 연구원)를 소개하고 Anderson씨의 "Beauty and Challenge of Hang Gliding in Yosemite Valley"란 강연이 있었다. 인간이 새 처럼 공중을 나는 꿈은 먼 옛날부터 있어 왔으며 비행기나 우주선은 이러한 꿈의 산물이다. Anderson씨는 22살 때부터 Yosemite 계곡을 새 처럼 날아보겠다고 작정한 후 지난 40년간 연구 끝에 올 봄에는 Yosemite 국립 공원의 표고 1000m가 넘는 Glacier Point에서 자신이 설계 제작한 행글라이더로 계곡을 30분간 비행 끝에 Yosemite Village 앞의 풀밭에 안착하여 그의 꿈을 실현하였다는 내용이다. 아마 미국에는 Anderson씨와 같은 집념의 사람들이 많아 오늘과 같은 찬란한 문명을 이룩한 것이 아니겠느냐는 주위 사람들의 얘기이다. 필자도 미국은 괴짜들의 왕국이라는 생각이 들 때가 가끔 있었다. 저녁에는 한 시간 거리에 있는 Berkeley에 돌아와 쉬고 다음날 아침 일찍이 다시 회의장에 도착하였다. 둘째날은 6개의 분과가 열렸는데 우주비행, 훈련, 원격조작 및 감시제어 모델에 관한 발표가 있었다. 특히 원격조작 및 감시제어에 관해서는 이번 회의참가자들의 많은 관심과 토의가 있었다.

### ㉒ 몇가지 화제

필자가 이 학술대회와 인연을 맺은 것은 1980 ~ 1982까지 문교부의 IBRD 파견교수로서 U. C. Berkeley의 전기공학 및 계산학과에서 제어 및 생체공학연구를 시작하면서 부터이다. 필자는 당시 Lawrence Stark 교수와 NASA - University Cooperation Program에 참여하여 운항관리(flight management) 연구 계획의 일부인 인간 조종자의 안구 및 머리운동에 대한 제어공학적 연구를 하면서 17차(1981년), 19, 20차 연례회의에서 논문을 발표해 왔다.

여기서는 필자가 관심을 갖고 있던 감시 제어, 근전도(EMG) 신호에 의한 제어기 설계 등에 대한 최근의 화제들을 발표한 논문들을 통하여 간단히 살펴 보고자 한다.

감시제어에 대한 논문으로서는 제트 추진 연구소(JPL)의 Bejczy와 Corker, MIT의 Sheridan, 네덜란드 Delft 공과대의 White, U.C. Berkeley의 Stark, 캐나다 CAE 전자회사의 Lippay 팀 등이 수년간 이 분야의 논문을 내고 있다. JPL과 CAE 팀은 자유도 6을 갖는 수동조절기(six-degree of

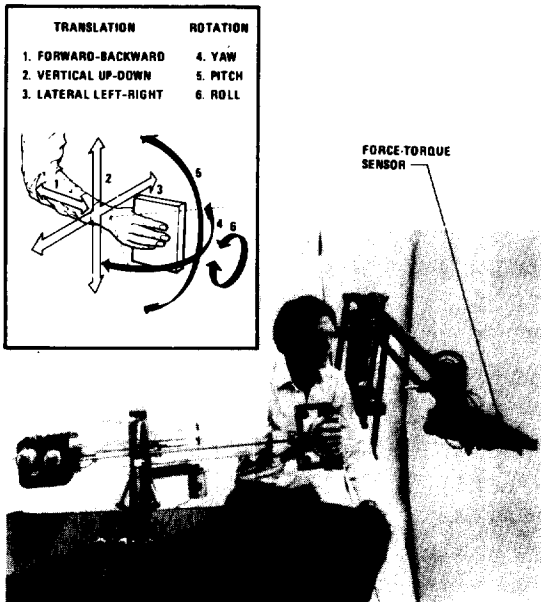


그림 2. 수동 조절기 시스템과 기본 프레임

freedom hand controller)를, MIT의 Sheridan은 심해용 조작기 (undersea manipulator)를 각각 개발하였으며, Delft의 White (Stassen 등)는 감시 제어의 산업공정에 대한 조작 시스템을 개발하여 발표하였다.

그림 2는 JPL의 Bejczy와 Corker 팀이 개발한 수동 조절기와 전체적인 실험 시스템과 그것의 기본 프레임을 나타낸 것으로서 시스템은 자유도 6의 조작기, 중단 효과기에 부착된 6차원 힘-토크 감지기와 자유도 6의 역운전 장치로 구성되어 있다. 좌표변환과 수동 조절기와 조작기간 제어 루우프의 개폐는 계산기가 해 주며 감시장치, 인터페이스 전자 장치는 시스템의 주요 부분을 구성하고 있다.

기본적인 기계요소는 수동 조절기로서 master arm 으로 동작하며 역운전이 가능한 6차원 동력 (isotonic) 조이스틱으로 제어반 앞에 앉은 조종자의 운동범위에 따르도록 설계되어 있다. 이것의 조종자는 손잡이를 잡고 사방 30cm의 작업공간에서 자유자재로 평행 및 회전운동을 할 수 있다. 수동제어기 메카니즘은 자기 평형 (self-balanced)형이며, 그림 2에서 보는 바와 같이 수평이나 수직으로 장치할 수 있다. 자기 평형 메카니즘 때문에 손잡이의 backlash, 마찰 및 실효관성이 낮아 휴먼 오버레이터와 원격 조작기간의 인터페이스가 잘 이루어진다.

수동 조절기는 위치와 방향 지령을 조작기에 보내 주며 조작기에서 조종자의 손에 힘과 토크가 피어

드백 되도록 해 주는 양 방향성 기능을 갖는다. 이 수동 조절기는 이것이 제어하는 조작기와는 모양이나 역학 특성의 유사점이 없다. 이런 의미에서 이것은 일반 목적의 디바이스이며 컴퓨터를 거쳐 어떤 종류의 조작기와도 인터페이스 할 수 있다. 컴퓨터는 수동 제어기와 조작기에서 측정된 결합 변수를 읽으며, 실시간 컴퓨터 알고리즘은 기계적인 손의 힘-토크 감각과 같은 방향으로 조종자의 손에 힘-토크를 전달할 수 있도록 기계적인 손에서 감지된 힘과 토크의 함수로서 수동제어기의 결합부를 역구동시키는데 필요한 전동기 토크를 결정해 주도록 되어 있다.

양 방향성 제어기의 전체 성능은 수동 조절기와 조작기간에 상호 작용되는 동특성을 다루는 제어기의 능력에 달려 있다. 수동 조절기 연구진의 견해에 따르면 팔운동과 이때 발생하는 힘이나 토크를 정량적으로 이용하고, 아울러 인간의 근육제어 메카니즘을 이 시스템에 이용하는 생체공학적인 연구가 선행될 때 좋은 결과를 얻을 수 있으리라 전망하고 있다.

실제 이 연구계획은 미국 국립항공우주국(NASA)의 연구계획의 일부이며, 신경제어에 대하여 생체공학적인 연구를 활발히 진행중인 U.C. Berkeley의 Stark 교수팀은 시스템의 성능 평가를 생체공학적인 측면에서 시도하고 있는데 팔운동 제어의 kinematics와 동역학을 기술하는 신경근육제어 모델을 원격조작기의 매뉴얼 제어에 응용할 수 있는 가능성이 매우 높다고 보고 하였다. 현재 JPL의 Corker 팀은 Stark 팀과 감시제어의 개념을 이용한 수동 제어기의 제어특성에 대한 공동연구를 하고 있으며, 이들의 연구는 감시제어와 로보틱스 연구의 첨단을 걷고 있다고 생각된다.

마지막 날의 발표에서는 시뮬레이터 디스플레이에서 인식과 행위, 시표 수집 모델, biodynamic factors의 세 분과가 있었다. 이 세 분과는 모두 생체제어에 관계된 것들로서 필자도 발표하였다. U.C. Berkeley의 Stark 교수 그룹에서 3개의 발표가 있었는데 근전도와 신경제어 이론에 대한 역모델 (inverse modelling), 팔운동 모델링을 위한 감도해석법의 응용, 시각과 피로에 관한 것들이었다. University of Illinois (Chicago)의 Agarwal 그룹은 이산적인 발목 (ankle) 운동과 관련된 근전도 패턴을 통하여 운동시간 (movement time, MT)에 대한 Fitts (1954, 1964)의 법칙을 정량화하는 연구를 발표하였다. 필자는 앞서의 역모델 외에도 지난 6월 계측제어 시스템 연구회에서 발표했던 머리

운동에 미치는 관성부하의 영향을 발표하였다.

신경제어 이론에 관한 여러 연구자들의 견해를 종합하면 우선 1) 동력학 (dynamics) 과 근전도 (EMG) 간에는 정량적인 관계가 있으며, 2) 운동시 근육은 한 쌍이 서로 동근 (agonist) 과 길항근 (antagonist) 으로서 역할을 해 주며 일정한 근전도 패턴을 가지며, 3) 빠른 운동 (시간최적운동) 에 있어서 근전도는 3개의 펄스가 동근, 길항근, 동근의 순서로 발휘된다는데 의견의 일치를 보았다.

예정된 시간보다 조금 지나 회의를 모두 마치고 현장견학에 들어가 NASA Ames 연구센터의 Man-Vehicle System Research Division 의 연구시설을 견학하였다. 이 연구시설은 1979년부터 계획하여 NASA 가 1981년 의회로부터 승인을 얻어 건설한 것으로 종래 방식과 새로운 방식의 항공시스템에서 인간공학 (human factors) 을 광범위하게 연구하고 있다. 연구대상은 비행시의 인간오차 (human error) 의 원인과 효과를 밝히고 한계를 설정하여 실제 비행시스템에 응용하는 것이 목적이다. 주요 시설은 Boeing 727 과 Advanced Concepts Flight Simulator (ACFS) 를 위한 실험장치들이며, ACFS는 종래의 비행실 계측장치들을 최신의 그래픽 디스플레이로 대체한 것으로 Lockheed 1955 라 명명된 미래형 비행기의 시뮬레이터 이다. 참관자 모두가 시뮬레이터에 시승하여 실제 비행조종을 해 보는 기회도 가졌는데 ACFS비행실 내부는 비행기 내부라기 보다는 계기가 모두 그래픽 디스플레이로 대체되어 보듯만 누르면 기내 컴퓨터의 작동에 따라 원하는 모든 정보를 얻어 지령과 제어에 융통성이 많고, 특히 항공통제장치 (ATC) 로서 NASA 에서 개발한 CDTI (Cockpit Display Traffic Information) 가 부착되는 등 여러가지 장점들을 갖고 있었다. 앞으로는 훈련받은 노련한 비행사도 컴퓨터기술을 가진 전문인으로 대체하지 않겠느냐는 참관자들

의 말이다. 견학을 마치고 내년에는 시카고에서 만날 것을 기약하며 작별의 인사를 나누었다.

#### 4 맺음 말

Manual Control 에 대하여는 국내에 소개된 지도 얼마 되지 않고 이 분야를 연구하는 학자의 수도 현재로서는 적은 편이며 이를 전문적으로 연구하는 기관 또한 거의 없는 실정이다. Manual Control은 앞서 간단히 소개한 바와 같이 제어이론, 인간공학, 생체공학, 응용심리학 등이 종합하여 이루어진 학문 분야로서 인간과 기계가 시스템을 이루는 분야에의 응용이 매우 광범위하다고 보겠다. 특히 공학적 측면이 강조되기 때문에 제어이론이나 로봇학과 같은 분야에서는 물론 방위산업 등 각종 산업분야에서 새로이 개발할 과제가 많아 육성이 시급하며 앞으로 이와 같은 전문학술회의에 많은 참여가 있어야 하겠다.

Manual Control 에 대한 전문적인 국제회의로서는 이번의 회의 말고도 유럽에서도 똑같은 성격의 회의 -European Conference on Human Decision Making and Manual Control- 가 1981년부터 개최되고 있으며, 오래 전부터 IFAC (International Federation of Automatic Control) 회의에서도 Analysis, Design and Evaluation of Man-Machine Systems 분과를 두고 있다. 일본에서도 금년 3월에 "국제 우주의학 심포지움" 이 나고야 대학 환경의학연구소 주최로 열려 무중력하에서 감각-운동 기능에 대한 연구발표가 있었다. 우리도 앞으로 다가올 우주시대를 대비하여 이 방면의 많은 연구가 있어야 된다고 생각한다. 끝으로 본 학술회의에 참가를 추천해 주신 대한전기학회와 여비와 참가비를 지원해 주신 한국과학재단과 전국대학교 당국과 관계자들에게 깊은 감사를 드립니다.

#### <부록>

##### <연례 Manual Control 학술회 개최 연보>

First Annual NASA-University Conference on Manual Control, The University of Michigan, December 1964. (Proceedings not printed.)

Second Annual NASA-University Conference on Manual Control, Massachusetts Institute of Technology, February 28 to March 2, 1966, NASA SP-128.

Third Annual NASA-University Conference on Manual Control, University of Southern California, March 1-3, 1967, NASA SP-144.

Fourth Annual NASA-University Conference on Manual Control, The University of Michigan, March

21-23, 1968, NASA SP-192.

Fifth Annual NASA-University Conference on Manual Control, Massachusetts Institute of Technology, March 27-29, 1969, NASA SP-215.

Sixth Annual Conference on Manual Control, Wright-Patterson AFB, April 7-9, 1970, proceedings published as AFIT/AFFDL Report, no number.

Seventh Annual Conference on Manual Control, University of Southern California, June 2-4, 1971, NASA SP-281.

Eighth Annual Conference on Manual Control, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, May 17-19, 1972, proceedings published by MIT, no number.

Ninth Annual Conference on Manual Control, Massachusetts Institute of Technology, May 23-24, 1973, proceedings published by MIT, no number.

Tenth Annual Conference on Manual Control, Wright-Patterson AFB, April 9-11, 1974, proceedings published as AFIT/AFFDL Report, no number.

Eleventh Annual Conference on Manual Control, NASA-Ames Research Center, May 21-23, 1975, NASA TM X-62, 464.

Twelfth Annual Conference on Manual Control, University of Illinois, May 25-27, 1976, NASA TM X-73, 170.

Thirteenth Annual Conference on Manual Control, Massachusetts Institute of Technology, June 15-17, 1977, proceedings published by MIT, no number.

Fourteenth Annual Conference on Manual Control, University of Southern California, Los Angeles, CA, April 25-27, 1978, NASA CP-2060.

Fifteenth Annual Conference on Manual Control, Wright State University, March 20-22, 1979, AFFDL-TR-79-3134.

Sixteenth Annual Conference on Manual Control, Massachusetts Institute of Technology, May 5-7, 1980; proceedings published by MIT, no number.

Seventeenth Annual Conference on Manual Control, University of California, Los Angeles, June 16-18, 1981, JPL Publication, 81-95.

Eighteenth Annual Conference on Manual Control, Wright-patterson AFB, June 16-18, 1982, AFIT/AFFDL Report.

Nineteenth Annual Conference on Manual Control, Massachusetts Institute of Technology, May 23-25, 1983, proceedings published by MIT.

Twentieth Annual Conference on Manual Control, NASA Ames Research Center, June 12-14, 1984, proceedings in press.