

Human Interface 기술의 일환으로서 ASR과 Fuzzy Set Theory를

이용한 Developed-ERES/WCS 설계에 관한 연구

이 순 요

이 창 민

박 세 권

고려대학교 산업공학과

A Study on a Design of Developed-ERES/WCS using the ASR and Fuzzy Set Theory as a part of Human Interface Technique

Soon Yo Lee

Chang Min Lee

Se Gwon Park

Korea University

Abstract

As a means of human interface, this study designs Developed-ERES/WCS with voice recognition capability and fuzzy set theory. In the advanced teleoperator system, when an error occurs on the automatic mode, the error is recovered after the automatic mode is changed into the manual mode intervened by a human. The purpose of this study is to reduce human work load and to shorten error recovery time during error recovery.

1. 서론

로봇이 활약하는 응용분야가 확대됨에 따라 인간과 로봇과의 관계가 중요한 문제로 부각되었다. 이를 human interface라 칭하며 로봇공학중에서 중요한 분야의 하나이지만 현재 가장 뒤떨어진 상태이다.

이를 위해 로봇의 자율성과 인간의 범용성을 인간 공학적인 측면에서 효율적으로 결합시키고자 하는 연구가 진행되어 왔으며, 특히 이번의 연구는 이 human interface기술 중에서 "로봇과 인간과의 대화기능" 즉 음성 인식(voice recognition)의 능력을 포함하는 man-robot system에 대한 것이다.

Man-robot system의 궁극적인 모습은 로봇이 인간으로부터의 언어 등에 의한 간단명료한 지령을 생성하며, 그 작업상황을 전달해 줌으로써 인간과 로봇과 그 능력을 최대한 발휘하여 목적하는 작업을 완성하는 일이다. 이런 목적의 일보로서 기존의 원격조작에 사용

되는 teleoperator에 지적기능을 부여한 일본전자기술 통합연구소의 지적원격조작시스템(advanced teleoperator system)이 있다(1).

이는 인간에 의한 조작과 프로그램에 의한 조작을 보다 유기적으로 연합시키고 있다. 작업수행의 자동 모드중에 에러가 발생하면, 프로그램의 사용을 중단하지 않고 인간이 개재하는 수동모드로 들어가서 에러를 회복하고 재차 중단되었던 자동모드로 복귀하여 시스템의 기동성을 향상시키고 있다.

이 과정에서 관심을 가지고 연구를 해오던 부분이 수동모드에서의 에러회복으로 이를 프로그램에 의한 지령조작과 인간에 의한 직접조작으로 나누어 이 두 조작을 보다 효율적으로 수행하기 위하여 전문가의 지식을 지식베이스화 한 ERES/WCS(error recovery expert system/world coordinate system)가 있다(2).

ERES/WCS는 그림 1에서와 같이 지령조작에서는 위치 제어에 heuristic rule을, 자세제어에는 모호추론을 사용하며, 직접조작은 unit control(UC)과 micro motion control(MMC)를 통해 수동모드에 있어서의 에러회복 작업을 수행하게 된다.

그런데 이 ERES/WCS는 지령조작에서 모호추론은 요인들에 대한 관계들이 개개의 법칙들로 되어 있어 다루기에 불편하며, 직접조작에서는 단순히 키보드에 의해서 행해지는 UC와 MMC만을 사용함으로써 그에 따른 인간에 대한 작업부담(work load)의 증가, 전체적인 에러회복 시간의 지연 등 여러가지 문제점이 있어왔다(2).

이의 해결을 위해 본 연구에서는 에러회복에 있어서 지령조작으로 같은 모호집합의 범주이지만 모든 법칙들이 하나의 관계로 표현되는 모호논리제어(fuzzy logic control)를 사용하며, 직접조작의 수단으로 UC와 MMC를 인간이 작업할 때의 손움직임과 유사하게 모듈화하여 이에 대한 지령을 automatic speech recognition(ASR) 기술을 통해 로봇을 제어함으로써 수동모드에서 발생하는 여러 문제점들을 해결하는 Developed-ERES/WCS를 설계하고자 한다.

그림 1은 전문가시스템의 구조로서 지식베이스의 Parts, Rules, Goals로 ERES/WCS와 Developed-ERES/WCS와의 차이를 나타내고 이중선으로 되어있는 것이 본 연구에서 다루는 부분이다.

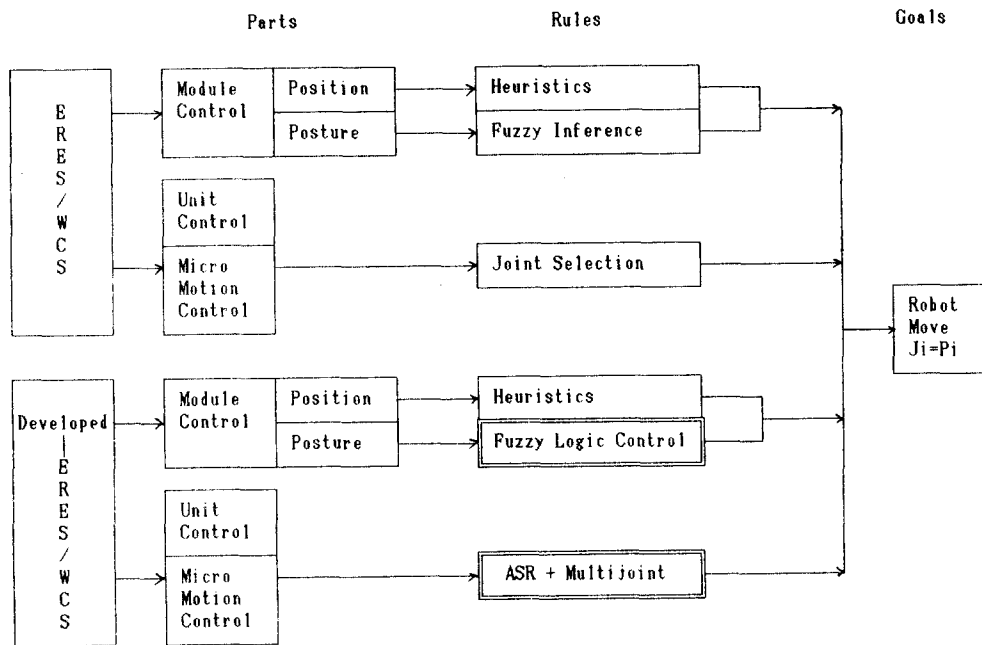


Fig. 1. The Architecture of ERES

2. 시스템의 개요

(1) 모호논리제어를 위한 모호집합이론

1) 모호집합의 기본이론

종래 집합이론의 기본개념은 임의의 어떤 한 요소가 정해진 집합에 속하는지, 안 속하는지에 따라 전개된다. 그러나 현실세계에서 어떤 집합이 포함하고 있는 요소의 성격들이 "yes-or-no"의 형식으로 분명하게 만든

이루어져 있지 않다. 모호집합이론은 어떤 집합이 "more-or-less"의 형식으로 불명확(imprecision)한 개념을 다룰 수 있다는 사실에 근거를 두고있다(3).

모호집합이란 그 집합에 속하는 요소와 속하지 않는 요소사이에 명확한 경계를 갖는 집합이 아니라 그 집합의 요소로서의 자격이 (0, 1)사이의 단계적인 자격정도(degree of membership)를 갖는 요소들로 이루어진 집합을 의미한다. 그리고 구성요소들의 자격정도를 나타내는 함수를 그 모호집합의 자격함수(membership function)라 하며 모호집합을 다음과 같이 정의한다(4).

X 를 공간, x 를 요소라 하자. 즉 $X = \{x\}$ 이때 공간 X 에서의 모호집합 A 란 자격함수에 의해서

$$A = \sum \mu_A(x_i) / x_i \quad (X \text{가 유한집합일 때})$$

혹은

$$A = \int_x \mu_A(x) / x \quad (X \text{가 무한집합일 때})$$

와 같이 정의되며 집합 X 는 모호집합 A 의 대집합(universe of discourse)이라 부른다.

모호집합의 기본적인 연산을 보면

$$\text{합집합은 } A \cup B = \int \mu_A(x) \vee \mu_B(x) / x$$

교집합은 $A \cap B = \int \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) / x$

보집합은 $A^c = 1 - \int \mu_A(x) / x$

곱집합은 $A \times B = \int \mu_A(x) \wedge \mu_B(y) / (x, y)$ 으로

정의되며 특히 X에서 Y로의 모호관계(fuzzy relation) R은 — 모호관계를 정의하는 데는 여러가지 방법이 있으나 본 연구에서는 Mamdani(5)의 방법을 사용한다. —

$$R = \int_{X \times Y} \mu_R(x, y) / (x, y) \quad \text{---- (1)}$$

으로 정의되는 $X \times Y$ 에서의 모호집합이다.

두개의 모호관계 A와 R의 합성(composition)은 $A \circ R$ 이라 하고

$$A \circ R = \int \text{SUP}_x (\mu_A(x) \wedge \mu_R(x, y)) / y \quad \text{--- (2)}$$

로 정의한다.

2) 모호추론(fuzzy inference)

모호논리제어를 위해서는 그 대상작업에 속련된 인간 조작자의 경험으로부터 제어를 위한 법칙을 만들어 언어명제로 표현한 뒤에 각 언어명제의 언어변수(linguistic variable)를 모호량으로 나타낸다.

다음으로 각 언어명제에 대한 모호관계를 구하여 전체적인 모호제어법칙(fuzzy control rule)에 대한 모호관계를 구하고 이에 대해 모호추론을 행하여 입력에 대한 출력량을 구한 뒤 이 출력량으로 시스템을 제어하게 된다.

모호추론은

조건부1 : 만약 x가 A이면 y는 B이다

조건부2 : x는 A'이다

 결론부 : y는 B'이다.

을 의미하며 조건부1에서 x와 y의 모호관계 R_{AB} 를 구해서 조건부2가 주어졌을때 $B' = A' \circ R$ 의 모호합성으로 결론부를 추론하는 과정이다.

조건이 하나 더 증가하여 조건부1이 "만약 A이면 B 이면 C" 의 형식으로 되면 조건부1의 모호관계는 R_{ABC} 로 되어

$$C' = B' \circ (A' \circ R_{ABC}) \quad \text{---- (3)}$$

로 C'을 추론할 수 있다.

그리고 2개이상의 조건부1이 있을때 즉, $A_1 \rightarrow B_1, A_2 \rightarrow B_2, \dots$ 의 "AND", "OR"의 결합은

$$(A_1 \rightarrow B_1) \text{ OR } (A_2 \rightarrow B_2) \dots \Rightarrow R = R_{A_1 B_1} \cup R_{A_2 B_2} \cup \dots \text{---- (4)}$$

$$(A_1 \rightarrow B_1) \text{ AND } (A_2 \rightarrow B_2) \dots \Rightarrow R = R_{A_1 B_1} \cap R_{A_2 B_2} \cap \dots \text{---- (5)}$$

의 식들을 이용하여 전체적인 모호제어법칙에 대한 모호관계를 구할 수 있다.

(2) 음성인식 시스템

인간이 다른 인간에게 작업을 교시하는 수단으로 작업대상을 손으로 지시하거나 말로 지시하거나 하여 동작을 시험적으로 실행시켜 보는 방법이 유효한 것과 같이 작업의 이해에는 말이 중요한 작용을 한다.

이렇듯 인간 상호간에는 언어라는 매개체를 통해 다양한 정보교환이 이루어지는 반면에 기계와 인간 사이에는 문자를 통해서 만이 정보를 주고 받을 수 있다.

이러한 점에 주목하여 기계에도 음성인식기능을 갖도록 하는 연구가 근래에 와서 활발히 진행되고 있는데 이에 대한 이유로는 첫째, 음성은 인간의 의사전달방법중 가장 자연스럽고 신속한 방법이며 둘째, 음성을 이용한 입출력은 현재 가장 보편화가 되어 있는 입출력 방법인 키보드나 CRT의 경우처럼 사용자의 손이나 시각의 사용이 요구되지 않으므로 이들을 다른 업무에 사용할 수 있고 셋째, 사용자가 컴퓨터 앞에 앉아 있을 필요가 없어 자유로운 이동이 가능하고 넷째, 음성인식장치의 활용 범위가 간단한 숫자의 입력에서부터 우주산업에 이르기 까지 광범위하다는 것들이 있다.

특히 로봇의 경우에 인간과의 협조 작업을 할 때 음성인식기능을 가지고 있으면 위에서 열거한 여러가지 이유들로 인해 작업수행의 효율화를 기할 수 있을 뿐 더러 인간에게 가해지는 작업부담을 감소시켜 주는 효과도 기대할 수 있다.

현재 일반적으로 사용되고 있는 음성인식의 방법을 두 가지로 크게 구분하면 포준패턴(template matching)을 사용한 인식방법과 음소판별(phoneme-based)에 의한 인식방법으로 나눌 수 있다.

포준패턴을 사용한 인식은 음성의 언어적 특징을 나타낸 포준패턴을 음성인식장치에 기억(training)시킨 후 나중에 입력된 음성을 분석하여 얻은 음향적 특징패턴과 기억된 포준패턴을 비교, 가장 유사한 포준패턴을 사용하는 방식으로 본 연구에서도 이 방식을 택해서 ASR을 구성했다.

그 개략적인 방법을 살펴보면 다음과 같다.

microphone이나 recorder에 의해 입력된 음성신호는

A/D converter로 보내기 전에 buffer에 의해 ± 5 volts 이내로 정류된다. buffer를 통한 이 신호는 sample rate가 50ms인 14bit A/D converter를 거쳐 IBM-PC/AT로 입력된다.

이 sampled signal은 Fast Fourier Transforms(FFT) 방법으로 변환되어 256FFT points로 형성된 음성신호의 wave form이 얻어진다. 그러면 이 wave form으로부터 음성입력을 인식하기 위해 지령의 미리 저장된 표준형 pattern과 입력된 pattern을 비교하는 pattern matching technique(6)을 사용하며 그림 2는 ASR시스템을 포함한 전체적인 실험 장치도를 나타낸다.

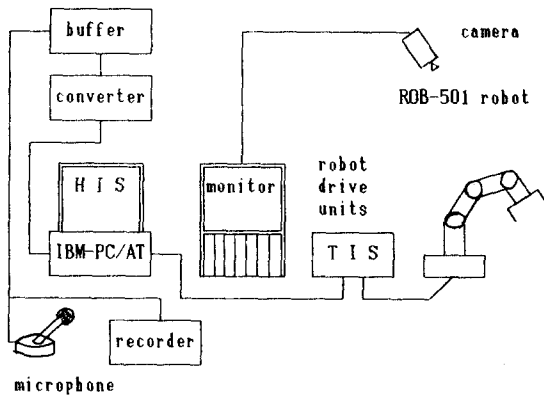


Fig. 2. Experimental Design of Systems

3. 로봇제어 시스템(Robot Control System)

(1) 모호논리제어

작업수행 도중 발생하는 에러를 회복하기 위해 지령 조작을 행할 때 WCS의 좌표계로 작업물체의 위치는 비교적 정확하게 판단할 수 있어 로봇의 위치제어를

위한 1, 2, 3축 제어에는 별 문제가 없으나 작업물체의 작업평면상에 놓여져 있는 자세에 따른 로봇 4, 5축 제어에는 어려움이 있다.

떨어진 물체를 잡기 위해서는 물체가 로봇 베이스와의 연장선상에서 떨어진 만큼을 측정할 뒤에 그 양에 해당하도록 4, 5축을 움직이는데, 물체자세를 인간 조작자가 육안으로 판단할 때 수치적으로 정확하게 몇 도가 떨어져 있나를 측정하는 일은 어려우며 정확성도 보장되지 못한다.

그러나 그 떨어진 정도를 조금 틀어졌을 경우에는 "조금(small)", 반쯤 틀어졌을 경우에는 "반쯤(middle)", 많이 틀어졌을 경우에는 "많이(large)" 등의 언어변수로 그대로 판단할 수 있다면 인간조작자의 판단에 개재되어 있는 모호성(uncertainty)을 배제할 수 있다.

본 연구에서는 이러한 인간조작자의 모호성을 다루기 위해 로봇의 자세제어에 Mamdani와 Assilian(7)이 사용한 모호집합이론에서의 모호논리제어를 적용한다.

로봇의 자세제어를 위한 모호논리제어를 실행하기 위해 먼저 물체자세의 측정방법과 이에 대한 제어방법을 숙련된 인간조작자로부터 모호제어법칙(fuzzy control rule)으로 작성한 뒤, 이 법칙들에 대한 모호관계를 구하고, 모호추론에 의해 4, 5축에 대한 모터값을 결정하여 로봇 손의 자세제어를 하게 된다.

이를 위해 모호변수를 정해보면, 조작자의 판단에 의한 물체의 자세로 Right Large(RL), Right Middle (RM), Right Small(RS), Left Small(LS), Left Middle (LM)의 5개변수, 로봇 초기자세 때의 연장선을 절대 기준선으로 측정하는 물체의 자세에 따른 방향으로 Right Large 0'clock(RLO), Right Middle 0'clock(RMO), Right Small

Table 1 Membership Function of Posture

	-75°	-60°	-45°	-30°	-15°	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
RL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.7	1.0
RM	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.7	1.0	0.7	0.4	0.1
RS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.7	1.0	0.7	0.4	0.1	0.0	0.0
LS	0.0	0.1	0.4	0.7	1.0	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
LM	0.4	0.7	1.0	0.7	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Table 2 Membership Function of Azimuth

	-3	-2	-1	0	1	2	3
RLO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.7	1.0
RMD	0.0	0.0	0.0	0.1	0.7	1.0	0.1
RSO	0.0	0.0	0.0	0.7	1.0	0.7	0.0
LSO	0.0	0.7	1.0	0.7	0.0	0.0	0.0
LMD	0.1	1.0	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0
LLO	1.0	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0

Table 3 Membership Function of Motor Value

	-75°	-60°	-45°	-30°	-15°	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
HT	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.5	0.8	1.0
ER	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.5	0.8	1.0	0.8	0.5	0.2
ZE	0.0	0.1	0.2	0.5	0.8	1.0	0.8	0.5	0.2	0.1	0.0	0.0
EL	0.5	0.8	1.0	0.8	0.5	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

0'clock(RSO), Left Small 0'clock(LSO), Left Middle 0'clock(LMD), Left Large 0'clock(LLO)의 6개 변수, 이들로 인해 구해지는 모터값의 양으로 Hard Turn(HT), Easy Right(ER), Zero(ZE), Easy Left(EL)의 4개 변수로 각각 정하며, 자세와 모터값 변수의 대집합은 구간(-60°, 90°)로, 방향변수에 대해서는 구간(-3, 3)으로 정한다.

모호변수에 대한 자격함수는 표 1, 2, 3이다.

다음의 표 4는 일부의 모호제어법칙들이다.

Table 4 Fuzzy Control Rules

If (PO=RL) and (AZ=RLO) then (MV=ZE)
or, If (PO=RL) and (AZ=RMD) then (MV=ER)
or, If (PO=RL) and (AZ=RSO) then (MV=HT)
or, If (PO=RL) and (AZ=LSO) then (MV=HT)
or, If (PO=RL) and (AZ=LMD) then (MV=EL)
or, If (PO=RS) and (AZ=LMD) then (MV=ER)
or, If (PO=LS) and (AZ=RLO) then (MV=HT)
or, If (PO=LS) and (AZ=RMD) then (MV=EL)
or, If (PO=LS) and (AZ=LSO) then (MV=ZE)
.
.
.

이러 각각의 조건부에 대한 모호관계 R을 (1)식에 의해 구한 뒤 모호제어법칙 전체에 대한 모호관계는 (4)식에 의해서

$$R = R_{RL, RLO, ZE} \cup R_{RL, RMD, ER} \cup \dots \cup R_{LS, LSO, ZE}$$

로 구한다.

그러면 어떤 위치에서의 로봇트 4, 5축에 대한 모터값 MV^* 는 (3)식으로부터

$$MV^* = B(AZ) \circ (A(PO) \circ R)$$

으로 구하며 이때 A(PO), B(AZ)는 각각 물체의 자세와 방향의 모호량이며

$$\mu_C(MV^*) = \max \mu_C(MV)$$

이다.

(2) ASR과 Multijoint에 의한 제어

ERES/WCS의 UC와 MMC는 로봇트를 직접조작하기 위한 증분식 제어방식이며, 각각에 function key를 할당해서 어느 하나를 누름에 따라 해당하는 로봇트 축을 일정한 양만큼씩 움직일 수 있다. 그렇기 때문에 물체를 잡기 위해서는 로봇트 각축의 움직임과 그 상호관계를 잘 생각해서 조작해야 하므로 시간과 조작량이 많이 소요된다.

만약, 인간이라면 손으로 물체를 잡고자 할 때 어깨, 팔굽, 손목을 얼마나 움직여서 그 물체를 잡을까 라고 생각하지 않고 무의식중에 물체 가까이에 손이 갈 것이다. 이와같이 로봇틀 이용하여 물체를 잡을 때, 로봇 각축의 이동량을 생각하지 않고 인간의 손 이동처럼 로봇의 손을 이동시키고자 하는 것이 multijoint 방식이다. 이 multijoint는 전후, 좌우, 상하의 여섯개 동작에 해당하는 로봇 1, 2, 3축의 상호관계를 지식베이스내에 법칙으로 마련했다.

그래서 직접조작시에 인간조작자로부터 ASR을 통해 이 여섯개의 동작중 어느 하나가 입력되면 동시에 로봇의 1, 2, 3축이 움직여 조작자가 원하는 위치로 제어가 가능하게 된다.

5. 결론

본 연구는 지적원격조작시스템에서 작업수행 도중에 발생하는 에러를 회복하기 위한 수동모드에서 기존의 ERES/WCS에 모호논리제어와 ASR기술을 적용하여 보다 효율적인 에러회복을 위한 Developed-ERES/WCS를 설계하고자 했다.

이로써 기대할 수 있는 효과는 불확실성을 다루는 모호집합을 적용하기 때문에 물체자세에 대해 인간 조작자가 수치 아닌 언어변수로 판단 할 수 있고, 모호논리제어는 각 제어법칙들을 하나의 모호관계로 집약시킬 수 있어 처리하기에 편리한 관계로 인간 조작자의 작업부담을 줄여 줄 수 있다.

그리고 음성을 사용하여 제어가 되기 때문에 가장 자연스럽게 신속한 전달이 되므로 에러회복시간을 단축시키는데 도움을 줄 수 있고, 손이나 시각을 사용하지 않아도 되며 컴퓨터에 매달려 있을 필요가 없어 이동에 제약이 없으며 또한, 인간조작자의 작업부담 경감에도 기여할 수 있다.

이와같은 결과가 실험상으로는 아직 완전히 검증되지 못하였으나, 현재 준비중에 있으며 위의 기대효과대로 이루어질 것으로 사료된다.

< 참고 문헌 >

- (1) Takase, K., Wakamatsu, S. "A Concept of Intelligent Teleoperation System and Related Technologies", JRSJ, Vol.2, No.6, pp.62-71, 1984
- (2) Lee, Y. S., et al., "A Study on a Comparison between the ERES/WCS and the ERES/CCS in ATS", Int. Workshop on AI for Industrial Applications, Japan, 1988
- (3) Zimmermann, H. J., "Fuzzy Set Theory - and Its Applications", Kluwer-Nijhoff Publishing, 1985
- (4) Zadeh, L. A., "Fuzzy Sets", Information and Control 8, pp.338-353, 1965
- (5) Mamdani, E. H. "Applications of Fuzzy Set Theory to Control Systems: A Survey", Fuzzy Automata and Decision Process, North-Holland, pp.77-88, 1977
- (6) Duda, O. R., et al., "Pattern Classification and Analysis", John Wiley and Sons, 1973
- (7) Mamdani, E. H., Assilian, S., "An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller", Fuzzy Reasoning and its Applications, Academic Press, pp.311-323, 1981