

산업용 퍼지제어 시스템의 표준화 동향

최종수, 이기범, 권오신*
포항산업과학연구원 기전연구팀, *군산대학교 전기전자제어공학부

On Standardization of Fuzzy Control Systems with Industrial Applications

Jong-Soo Choi, Gi-Bum Lee, and Oh-Shin Kwon*
Research Institute of Industrial Science & Technology(RIST), *Kunsan Nat'l University

Abstract - To promote fuzzy logic in industrial applications, the German Association of Mechanical and Electrical Engineers(VDI/VDE) established the work group UA451, focusing on "Fuzzy Logic and Fuzzy Control" in 1991. The group focuses on two activities: providing information platforms for designers to exchange project experiences and fuzzy logic standardization. This article presents some of the intermediate results of the standardization activities and discusses future standards for fuzzy logic systems.

1. 서 론

1996년 IEEE에서 조사한 결과에 따르면 약 1100개의 성공적인 퍼지논리 적용이 발표되었다. 조사한 거의 모든 적용은 PID제어기와 같은 표준형 제어를 대체한 것이 아니라 다변수 감독제어가 대부분을 차지하고 있다. 이러한 응용영역은 embedded control(28%), 산업자동화(62%)로부터 공정제어(10%)에 이르기까지 다양하다. 설문조사에 답한 논문의 저자 311명 중 약 90%가 퍼지논리는 설계시간을 절반이상으로 대폭 줄여 준다고 응답하였고, 설계자의 97.5%가 퍼지논리가 적용가능하다면 장치의 응용에 퍼지논리를 다시 사용하겠다고 응답하였다. 따라서, 퍼지논리는 미래의 제어공학에서 매우 중요한 역할을 할 것임이 분명하다.

유럽에서는 1990년에 퍼지논리를 성공적으로 개척한 많은 일본 및 미국 상품의 출현으로 퍼지 기술에 관한 광범위한 관심이 일어났다. 제어 및 공학 협회의 일부 관심있는 그룹들은 퍼지기술의 찬/반에 관한 토론을 조장하였고, 산업분야의 응용에 퍼지논리를 사용하기 시작하였다. 유럽에서의 성공적인 퍼지논리 응용에 관한 상세한 설명이 문헌 [1],[2]에 제시되었다. 대부분은 퍼지논리를 이용함으로써 많은 실질적인 이득을 거두었음을 입증하였다. 이들 응용에서 퍼지논리의 기술적 잠재력이 인지됨에 따라 퍼지논리의 선구자적 설계자들은 이용한 수많은 퍼지기술 관련 용어, 방법, 알고리즘의 혼동에 대비하고, 성공적인 퍼지논리 응용을 증진시키기 위해서는 표준화가 필요함을 인식하였다.

1991년에 독일기계전기공학협회는 Measurement and Automation Chapter(GMA)에 "퍼지논리 및 퍼지제어"에 중점을 두어 Work Group UA451을 설립하였다. 이 그룹은 퍼지 논리 응용에 있어서 수많은 유럽 개척자 뿐만아니라 Allen-Bredley, Foxboro/Eckardt, SGS-Thompson, Siemens Semiconductor, 및 Texas Instruments 등의 선도적인 퍼지논리 소프트웨어/하드웨어 공급자들로 구성되어 있다. 이 그룹은 산업 응용에 퍼지논리를 증진시키기 위하여 두 가지 활동에 중점을 두었다. 즉, 프로젝트 경험을 교환하기 위해 설계자들에게 정보 플랫폼을 제공하는 것과 퍼지논리 표준화를 제공하는 것이었다. 이 논문에서는 퍼지논리 표준

화 활동에 대한 중간결과를 기술한다.

2. 퍼지논리 표준화

그룹 UA451은 표준화를 위해 즉시 해결해야할 문제를 다음의 5가지 영역으로 인식하였다.

- 1) 퍼지논리 시스템에 대한 기술포맷
- 2) 퍼지논리 시스템에 대한 성능측정
- 3) 퍼지논리 시스템의 개발 방법론
- 4) 표준 응용을 위한 퍼지논리 솔루션
- 5) 퍼지논리 시스템의 적응(adaptation)

이 절에서는 위의 5개 작업영역에 있어서의 표준화에 대한 내용을 설명한다.

2.1 기술 포맷(Description Formats)

현재 퍼지집합 이론에 관한 수 만개 이상의 출판물이 있는데, 대부분은 퍼지 기술을 솔루션에 어떻게 이용할 것인가에 관한 방법, 알고리즘 및 기술을 제안하고 있다. 그러나 이들 사이에서 많은 불일치를 초래하고 있다. 예를들면, 동일한 전문용어가 빈번히 다른 방법에 언급되고 동일한 알고리즘이 다른 이름으로 언급되기도 한다. 이러한 현상의 원인은 퍼지논리에 대한 표준화의 결핍으로 인한 것이다. 따라서, 응용자(practitioners)가 퍼지논리를 쉽게 이용할 수 있도록 퍼지논리 전문용어 및 방법론이 표준화되어야 한다.

그룹 UA451은 다른 그룹과 협동으로 표준 전문용어를 제안하였다. 이 정의에 따라 응용의 대부분에 공통으로 "기초 퍼지논리 기능성"을 정의하였다. 소프트웨어 플랫폼과 하드웨어 플랫폼이 이 "기초 퍼지논리 기능성"을 지원하게 되면 시스템 porting이 용이하게 되고 응용자들도 동일한 훈련으로 다른 제품을 이용한 응용이 가능하다. 그러나 제안하는 표준은 전문용어와 방법 그 자체에 한정한다. 구현상의 상세한 내용은 하드웨어 및 소프트웨어 벤더(vendors)의 자유로 남겨두어 공급자에게 적합한 확장이 용이하도록 개방되어야 하기 때문이다.

다음 단계로 UA451은 퍼지시스템 기술언어(fuzzy systems description language,FSDL)를 제안하였다. 이 FSDL은 하나의 하드웨어 플랫폼 또는 소프트웨어 플랫폼으로부터 다른 타겟시스템으로의 직접적인 전달을 수월하게 한다. Inter-platform portability를 위해 기술언어는 상호간에 읽고 쓸 수 있도록 ASCII타입 포맷으로 정의하였다. 퍼지논리 소프트웨어 및 하드웨어 벤더들은 FSDL상에서 직접 그들의 제품을 만들거나, 내부적으로 소유권을 사용하면서 export 및 import에 이 FSDL을 사용할 수 있다.

2.2 성능 측정(Performance Measurement)

여러 가지 하드웨어 플랫폼의 계산성능을 비교하기 위해 다양한 성능측정을 사용한다. 퍼지논리 시스템에 대하여 MFLIPS(million fuzzy logic inferences per second)와 같은 측정방법 등이 제안되었다. MFLIPS 수는 특정 퍼지논리 시스템이 어떤 하드웨어 플랫폼 상

에서 필요로 하는 계산시간을 정확히 측정할 수 없기 때문에 제약이 따른다.

실질적인 성능측정을 위해 간단한 것으로부터 복잡한 것까지의 전체 영역을 측정하고 다양한 응용분야를 대표할 수 있는 "전형적인 퍼지논리 시스템"을 벤치마크 슈트로 그룹 UA451이 제안하였다. 제안한 전형적인 퍼지논리 시스템의 전체 연산시간과 필요로 하는 코드크기(code size)가 여러 가지 하드웨어 플랫폼들의 성능을 비교하는데 사용할 수 있다. 정확한 벤치마크를 위해 테스트 순서도 정의하고 있다.

2.3 개발 방법론(Development Methodology)

퍼지논리 설계에 있어서 공식적으로 정의된 개발 순서는 없다. 따라서 그룹 UA451은 ISO 9000 general system development 가이드라인을 기반으로 한 개발 방법론을 정의하였다. 이 방법론은 퍼지논리 설계를 완료하기 위해 필수적인 단계를 정의하고 기술하였다. 이 단계들은 순서적이고 기술적인 단계들인데, 순서적 단계는 시연(auditions)과 검사(reviews)를 정의하고, 기술적 단계는 각 설계 단계에 관련된 설계 의사결정을 처리한다. 또한 가이드라인은 이 설계 의사결정을 돕기 위한 다양한 퍼지논리 방법과 알고리즘을 분류하고 있다.

이러한 공식화된 개발 방법론은 퍼지논리 솔루션을 활용하고자하는 초심자들에게 도움이 될 뿐만아니라 응용시 실패에 대한 위험부담을 줄여준다. 간단한 퍼지논리 응용에 대하여, 제안된 개발 방법론은 "cookbook-like recipes"를 포함한다. 예를들면, 멤버쉽 함수, 추론 알고리즘 및 비퍼지화 루틴의 선택과 퍼지논리 시스템의 안정도 해석 및 검증을 위한 가이드라인 등이다.

2.4 표준 응용을 위한 퍼지논리 솔루션

일부의 응용은 custom structured 퍼지논리 시스템을 요구하나, 대부분의 응용들은 온도 제어, 위치 및 속도 제어와 같은 표준 범주에 속해 있다. 그러한 "표준 응용"을 위해 퍼지논리 시스템의 골격을 제안한다. 표준 응용을 위한 퍼지논리 솔루션들은 응용자들이 목적에 맞게 초기 프로토타입으로 이용할 수 있도록 제공한다. 최적화 측면에서, 특정 응용을 위해서 적응(adaptation) 및 세밀한 검토를 필요로하므로 최적화를 편리하게 하기 위해서 표준응용을 위해 퍼지논리 솔루션의 튜닝 방법을 설명하는 "cookbook-like recipes" 형태로 규칙을 상세하게 기술하고 있다.

2.5 퍼지논리 시스템의 적응(Adaptation)

일반적으로 적응제어 시스템의 설계는 비적용 시스템 설계에 비해 매우 어렵지만 만족스러운 솔루션을 촉진할 수 있다. 많은 응용에서 퍼지논리 기술이 적용 시스템의 효과적인 설계에 순응하고 있음을 보여주고 있다. 이것은 퍼지논리가 수학적 모델에 의해서라기 보다는 언어적으로 정의되는 적응 전략을 허용하기 때문이다.

적용 퍼지시스템 설계에 있어서, 시스템의 일부가 어떤 결과에 대하여 적응되는지를 이해하는 것이 중요하다. UA451은 경험이 없는 응용자들이 적응 개념이 퍼지논리 시스템과 어떻게 적용될 수 있는지에 대한 어려움을 찾아내어 적용 퍼지시스템 설계의 여러 가지 접근 방법을 분류하고 일람표를 만들고 있다. 퍼지논리 시스템 설계에 있어서 적응 기술을 이용하는 일반적인 recipes는 만들 수 없지만 퍼지논리 시스템의 개별파트를 만드는 결과를 상세하게 다루고 있다.

3. 퍼지논리 표준 IEC 1131-7

그룹 UA451은 다른 그룹 DKE-AK-962.2.5와 협력하여 1993년 7월부터 Industrial Process Measurement and Control Sub-Committee No.65B의 새로운 작업 아이템 제안서에 관한

International Standard IEC 1131의 확장인 IEC 1131-7 Committee Draft[4]를 만들었다. 이 Draft의 범위는 PLC 프로그래밍을 위한 기존 IEC 1131 표준과 퍼지논리를 통합하는 것으로 제한하였고, 산업 자동화 응용분야에 있어서 퍼지논리 시스템에 대한 기능성과 기술언어(description language)를 표준화하였다. 이 절에서는 IEC 1131-7의 퍼지제어 프로그래밍과 이를 기반으로 한 소프트웨어를 소개한다.

3.1 IEC 1131-7: 퍼지제어 프로그래밍

IEC 1131-7은 PLC를 이용한 퍼지제어 응용의 프로그래밍을 위한 언어를 정의한다. 퍼지제어 언어(fuzzy control language, FCL)로 프로그래밍한 퍼지제어 응용은 IEC 1131-3에 정의된 함수블럭(또는 프로그램)으로 캡슐화 된다. 그림 1에서와 같이 FCL로 코딩한 함수블럭의 입출력 파라미터 데이터 형태는 대응하는 호출환경의 데이터 타입과 매칭된다. 함수블럭 Fuzzy_FB는 여기에서 프로그램 또는 그래픽언어 FBD(function block diagram)로 표현된 함수블럭으로 이용된다. FCL 요소들에 대한 간단한 예를 이 절에서 설명한다.

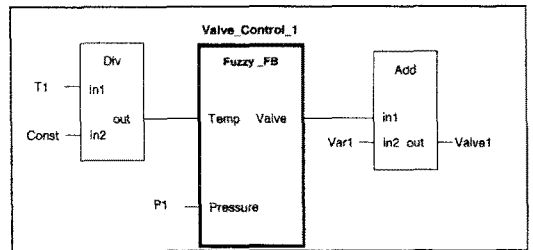


그림 1. FBD로 나타난 퍼지제어 함수블럭의 한 예.

3.1.1 함수블럭 인터페이스

퍼지 함수블럭의 외관은 IEC 1131-3의 표준 제어언어 요소와 같은 형태를 갖는다. 함수블럭 인터페이스는 함수블럭으로 전달되는 파라미터로 정의된다. 이 파라미터의 데이터 형태도 IEC 1131-3의 표준을 따른다. 그림2는 FBD언어와 ST(Structured Text)로 선언된 함수블럭의 한 예를 보여준다.

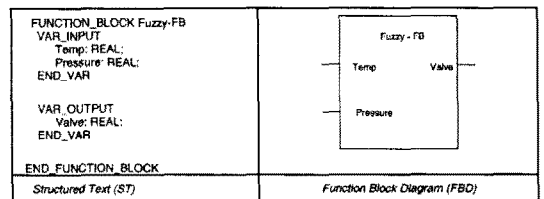


그림 2. ST와 FBD언어로 함수블럭 인터페이스를 선언한 예.

3.1.2 퍼지화

퍼지화를 통해서 입력 변수값들은 변수에 대해 정의된 멤버쉽 함수의 멤버쉽 등급으로 변환되는데, 이 변환은 다음과 같이 키워드 FUZZIFY와 END_FUZZIFY 사이에 기술한다.

```

FUZZIFY variable_name
TERM term_name := membership_function;
.....
END_FUZZIFY

```

램프함수에 대한 퍼지화의 예는 그림 3과 같다.

3.1.3 비퍼지화

출력변수에 대한 언어변수는 실수값으로 비퍼지화를

통해서 변환되는데, 비퍼지화는 다음과 같이 정의된다.

```

DEFUZZIFY variable_name
  TERM term_name := membership_function ;
  defuzzification_method ;
  default_value ;
  [range ;]
END_DEFUZZIFY
  
```

지원하는 비퍼지화 방법은 표1과 같다.

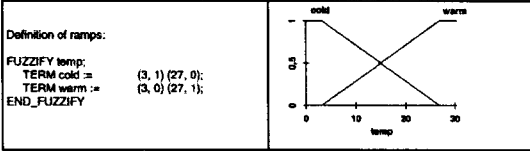


그림 3. 램프함수에 대한 퍼지화의 예

표1. 비퍼지화 방법

Keyword	Explanation
COG	Center of Gravity
COGS	Center of Gravity for Singletons
COA	Center of Area
LM	Left Most Maximum
RM	Right Most Maximum

3.1.4 규칙 블록

퍼지추론 알고리즘은 한 개 또는 다수의 규칙블럭에서 정의된다. 각 규칙블럭은 구별된 이름을 갖으며 다음과 같이 정의한다.

```

RULEBLOCK ruleblock_name
  operator_definition ;
  [activation_method ;]
  accumulation_method ;
  rules ;
END_RULEBLOCK
  
```

3.1.5 FCL 예제

FLC의 한 예를 아래의 그림 4에 보았다.

```

FUNCTION_BLOCK Fuzzy_FB
VAR_INPUT
  temp : REAL;
  pressure : REAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
  valve : REAL;
END_VAR
FUZZIFY temp
  TERM cold := (3, 1) (27, 0);
  TERM hot := (3, 0) (27, 1);
END_FUZZIFY
FUZZIFY pressure
  TERM low := (55, 1) (95, 0);
  TERM high := (55, 0) (95, 1);
END_FUZZIFY
DEFUZZIFY valve
  TERM drainage := -100;
  TERM closed := 0;
  TERM inlet := 100;
  ACCU : MAX;
  METHOD : COGS;
  DEFAULT := 0;
END_DEFUZZIFY
RULEBLOCK Not
  AND : MIN;
  RULE 1 : IF temp IS cold AND pressure IS low THEN valve IS inlet
  RULE 2 : IF temp IS cold AND pressure IS high THEN valve IS closed WITH 0.8;
  RULE 3 : IF temp IS hot AND pressure IS low THEN valve IS closed;
  RULE 4 : IF temp IS hot AND pressure IS high THEN valve IS drainage;
END_RULEBLOCK
END_FUNCTION_BLOCK
  
```

그림 4. 퍼지 함수블럭의 예

3.2 IEC 1131-7에 기초한 소프트웨어

INFORM사¹⁾가 출시한 퍼지제어 설계 소프트웨어

“fuzzyTECH”은 산업용 퍼지논리 시스템 개발을 위한 IEC 1131-7을 기반으로 하고, built-in 문서화 생성기 및 교정제어 시스템이 포함된 ISO 9001을 따르는 개발을 지원한다. 기존의 퍼지논리 툴보다 많은 성공적인 퍼지논리 응용을 가능하게 하였고, Texas Instruments, Allen-Bradley/Rockwell, Siemens, Intel, Foxboro, Mitsubishi, Motorola 등 세계 유수의 하드웨어 제조업체와 협력하여 퍼지제어의 산업분야 응용을 선도하고 있다. 그 노력의 결과로 C 컴파일러를 지원하는 PC기반 응용, 표준 마이크로 콘트롤러, DSP 및 퍼지관련 프로세서 상에서의 퍼지시스템 구현, 그리고 표준 PLC 및 공정제어 시스템에 퍼지논리 함수블럭 형태로 다운로드하여 산업분야 응용을 용이하도록 지원하고 있다. 그림 5는 fuzzyTECH 작업환경에 대한 예제화면을 보여주고 있다.

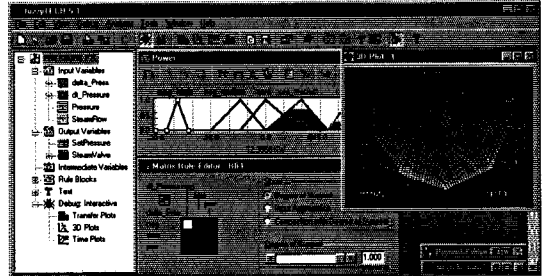


그림 5. 소프트웨어 fuzzyTECH의 화면 예

4. 요약 및 향후 전망

UA451 작업의 전반적인 목표는 문제에 대한 솔루션을 찾는 모든 응용자들에게 유용하고, 널리 통용되는 퍼지논리 기술을 만드는 것이다. 다시 말해서, 그들은 - 전문용어 및 방법론 상의 혼동 해결 - 응용자들이 퍼지논리에 대하여 알기 원하는 정보 제공 - 퍼지논리 시스템 설계방법을 cookbook 형태로 제공 - 소프트웨어 및 제어시스템 하드웨어 벤더들에게 모든 타겟 시스템에 대한 퍼지논리 기능을 구현할 수 있도록 완전한 정의를 제공 - 포터블한 퍼지시스템 설계를 만들어서 타겟 하드웨어 시스템으로부터 소프트웨어 툴을 자유롭게 하는 것과 퍼지논리 구현의 최적화를 위한 투명한 성능 측정을 확립 등의 목표를 지향하고 있다.

현재 IEEE에서도 퍼지논리를 위한 상세한 표준을 준비하고 있다. 국내에서도 최근 퍼지논리의 산업 응용이 점차 증가하고 있는 추세이다. 향후 퍼지논리 개발환경을 개발하거나 응용하고자하는 업체 및 응용자들은 이러한 세계적인 표준화 동향을 관망하여 반영하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

(참 고 문 헌)

- [1] C. von Altrock, "Industrial Applications of Fuzzy Logic in Europe," in Yen and Langari, "Industrial Applications of Fuzzy Control and Intelligent Systems," IEEE Press, 1994.
- [2] C. von Altrock, Fuzzy Logic and NeuroFuzzy Applications Explained, Prentice Hall, 1995.
- [3] C. von Altrock, "Towards fuzzy logic standardization," Fifth IEEE International Conference on Fuzzy Systems, New Orleans, Sept. 1996.
- [4] IEC 1131-7 Fuzzy Control Programming Committee Draft CD 1.0 (Rel. 19 Jan. 1997).

1) 상세한 사항은 <http://www.fuzzytech.com> 참조