creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[UCI]I804:24011-200000266398

2017年 8月

박사학위 논문

인간 중심형 시스템 및 컴퓨팅을 위한 점증적인 입자 모델의 설계 및 응용

조 선 대 학 교 대 학 원

제어계측공학과

이 명 원

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

인간 중심형 시스템 및 컴퓨팅을 위한 점증적인 입자 모델의 설계 및 응용

A Design of Incremental Granular Model for Human-Centric System and Computing and Its Applications

2017년 8월 25일

조 선 대 학 교 대 학 원

제어계측공학과

이 명 원

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

인간 중심형 시스템 및 컴퓨팅을 위한 점증적인 입자 모델의 설계 및 응용

지도교수 곽 근 창

이 논문을 공학박사학위신청 논문으로 제출함.

2017년 04월

조 선 대 학 교 대 학 원

제어계측공학과

이 명 원

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

이명원의 공학박사학위논문을 인준함

위원장	조선대학교 교 수	반 성 범	(인)
위 원	조선대학교 교 수	장 순 석	(인)
위 원	조선대학교 교 수	최 현 식	(인)
위 원	한국전자통신연구원	김 도 형	(인)
위 원	조선대학교 교 수	곽 근 창	(인)

2017년 06월

조선대학교 대학원

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

목 차

제1장 서론 1
제1절 연구 배경 1
제2절 연구 목적 및 방향 4
제3절 논문의 구성 5

제2장 이론적 배경 및 분석 6
제1절 정보 입자 및 입자 컴퓨팅 6
제2절 Fuzzy c-Means 클러스터링 13
제3절 컨텍스트 기반 Fuzzy c-Means 클러스터링 17
제4절 구간 기반 Fuzzy c-Means 클러스터링 22

제3장 클러스터링 방법을 통한 입자모델 구축 24
제1절 컨텍스트 기반 입자 모델 24
제2절 구간 기반 입자 모델 27
제3절 방사기저 함수 입자 모델 29

제4장 점증적인 입자 모델 구축 31
제1절 컨텍스트와 구간 생성 31
제2절 컨텍스트 기반 점증 입자 모델 33

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제3절 구간 기반 점증 입자 모델 ····· 31
제4절 점증적인 방사기저 함수 입자 모델 ····· 33

제5장 실험 및 결과 ····· 40
제 1절 성능평가 방법 ····· 40
제 2절 실험 및 결과 ····· 47

제6장 결론 및 향후 계획 ····· 74
참고문헌 ····· 75

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 목차

표 5-1. Auto-MPG 데이터를 사용한 모델 성능 비교(RMSE) ····· 48
표 5-2. Auto-MPG 데이터를 사용한 새로운 성능 지표(PI) ····· 52
표 5-3. 보스턴 가격예측 데이터를 사용한 모델 성능 비교 ····· 53
표 5-4. 전복 나이 예측 데이터를 사용한 모델 성능 비교 ····· 55
표 5-5. Medical Imaging System 데이터를 사용한 모델 성능 비교 ····· 60
표 5-6. 컨텍스트 p와 클러스터 c에 대한 최적의 퍼지화 계수 ····· 58
표 5-7. 에너지 효율 데이터(냉각부하)를 사용한 모델 성능 비교 ····· 65
표 5-8. 에너지 효율 데이터(난방부하)를 사용한 모델 성능 비교 ····· 68
표 5-9. 전기 부하 및 가격 예측 데이터를 사용한 모델 성능 비교 ····· 70

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그림 목차

그림 2.1 정보 입자$\{A_1, A_2, ..., A_c\}$를 이용하여 X를 기술한 Rough Set ····· 11
그림 2.2 (a) 집합, (b) 그림자 집합, (c) 퍼지 집합 ····· 11
그림 2.3 주어진 패턴 집합과 두 개의 클러스터 ····· 15
그림 2.4 m = 1.1에서 m = 10까지의 변화 ····· 15
그림 2.5 두 클래스로 구성된 학습 집합 ····· 18
그림 2.6 클러스터링 방법의 비교 ····· 19
그림 2.7 입자 컨텍스트의 생성 ····· 20
그림 2.8 언어적인 컨텍스트 기반 클러스터링의 개념도 ····· 20
그림 2.9 구간 기반 클러스터링 ····· 23
그림 2.10 출력 정보 집합의 구성을 적용한 구간 방법 ····· 23
그림 3.1 컨텍스트 기반 입자 모델의 구조 ····· 27
그림 3.2 구간 클러스터링 기반 입자 모델의 구조 ····· 29
그림 3.3 일반적인 RBFN 구조 ····· 30
그림 4.1 점증적인 입자모델 ····· 32
그림 4.2 LR과 로컬 RBFN의 조합을 통한 점증적인 RBFN 설계 ····· 35
그림 4.3 IRBFN 모델의 아키텍쳐 ····· 35
그림 4.4 언어적인 컨텍스트 생성 ····· 37
그림 4.5 컨텍스트 기반 클러스터링의 개념 ····· 38
그림 4.6 전역적인 모델로 2차 다항식을 사용한 IRBFN 모델의 아키텍쳐 ····· 39
그림 4.7 퍼지 집합의 컨텍스트에 의해 생성된 언어적인 컨텍스트 ····· 40
그림 5.1 정보 입자의 수치데이터 및 구간 형태에 대한 정당화 가능한 입자성의 원칙 ····· 42
그림 5.2 소속 등급 및 정보 입자의 구간 형태의 수치데이터에 대한 정당화 가능한 입자성 원칙의 실현 ····· 44
그림 5.3 소속 등급의 변경 기준의 최소화를 통해 실현된 구간 정보입자의 설계 44

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그림 5.4 정보 입자로 취급된 수치데이터 및 퍼지 집합에 대한 정당화 가능한 입자성 원칙의 실현 ····· 45
그림 5.5 정당화 가능한 입자성 원칙의 실현 ····· 47
그림 5.6 검증데이터에 대한 출력 값(GM, p=9, c=6) ····· 50
그림 5.7 검증데이터에 대한 출력 값 (IGM, p=10, c=7) ····· 50
그림 5.8 검증데이터에 대한 출력 값 (IRBFN_LSE, p=5, c=10) ····· 51
그림 5.9 입자 모델에 대한 상한, 하한, 모델 출력, 실제 출력 ····· 51
그림 5.10 MPG 검증데이터에 대한 성능 지표 ····· 52
그림 5.11 검증데이터에 대한 출력 값 (IGM, p=10, c=10) ····· 55
그림 5.12 검증데이터에 대한 출력 값 (IRBFN_LSE, p=10, c=7) ····· 56
그림 5.13 Boston Housing 검증데이터에 대한 성능 지표 ····· 56
그림 5.14 검증데이터에 대한 출력 값 (IGM, p=10, c=10) ····· 58
그림 5.15 검증데이터에 대한 출력 값 (IRBFN_LSE, p=8, c=6) ····· 59
그림 5.16 abalone 검증데이터에 대한 성능 지표 ····· 59
그림 5.17 검증데이터에 대한 출력 값 (IGM, p=10, c=10) ····· 61
그림 5.18 검증데이터에 대한 출력 값 (IRBFN_LSE, p=10, c=6) ····· 62
그림 5.19 MIS 검증데이터에 대한 성능 지표 ····· 62
그림 5.20 퍼지화 계수의 값에 의한 RMSE 변화 (p=c=6) ····· 65
그림 5.21 검증데이터에 대한 출력 값 (IGM, p=7, c=6) ····· 66
그림 5.22 검증데이터에 대한 출력 값 (IRBFN_LSE, p=10, c=10) ····· 67
그림 5.23 냉각 부하 검증데이터에 대한 성능 지표 ····· 68
그림 5.24 검증데이터에 대한 출력 값 (IGM, p=10, c=3) ····· 69
그림 5.25 검증데이터에 대한 출력 값 (IRBFN_LSE, p=9, c=2) ····· 70
그림 5.26 난방 부하 검증데이터에 대한 성능 지표 ····· 70
그림 5.27 전력부하예측 데이터 컨텍스트 생성 ····· 71
그림 5.28 각 컨텍스트에 해당되는 데이터와 클러스터 ····· 72
그림 5.29 오류 예측 ····· 72
그림 5.30 구간 기반 입자 모델의 출력 ····· 73

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그림 5.31 컨텍스트 기반 입자 모델의 출력 ····· 73
그림 5.32 IGM에서 전기부하 예측(all, p=10, c=10) ····· 74
그림 5.33 IGM에서 전기부하 예측(part, p=10, c=10) ····· 74
그림 5.34 새로운 성능지표로 본 전기부하 예측 성능(p=2~20, c=2~20) ····· 75
그림 5.35 전기 예측 부하와 실제 부하 비교 ····· 76
그림 5.36 오차 분포, 절대 오차 평균, 백분율 오차 ····· 76
그림 5.37 시간 별 예측 오류 통계 분석 ····· 77
그림 5.38 요일 별 예측 오류 통계 분석 ····· 77
그림 5.39 달 별 예측 오류 통계 분석 ····· 78
그림 5.40 주간 차트를 통한 매주 예측 및 실제 부하 ····· 78

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

ABSTRACT

A Design of Incremental Granular Model for Human-Centric System and Computing and its Applications

Lee, Myung Won
Advisor : Prof. Kwak, Keun Chang, Ph. D.
Dept. of Control and Instrumentation Eng.,
Graduate School of Chosun University

This is paper, we design a granular model based on information granular and predict the data for a real world with robust nonlinear. So we have to design a nonlinear prediction model however, existing models are dominated by linear models. The proposed model is designed by linear regression of the global part and local area of the nonlinear part by using the radial basis function. In addition, the incremental model described in this paper is accomplished by using information granular. We design and develop a granular fuzzy model that takes input and target data to form local information granular. The primary goal of making these granular available is to create models at the level of information granular. This study demonstrates that information granular is important and performs the multifaceted role in granular modeling. The model is constructed as an associative network between information granular. This supports the analysis possibility of the

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

model, which is easily transformed into a collection of rules with conditions and conclusions formed by structured information granular. The information granular form a conceptually intact building block and can be used to organize various relationships between input and output variables in terms of their function. The information granular serves as a complete descriptor of the data. Each information granular is provided with well-defined semantics, and the granular can be associated with a specific meaning that is specific to a particular language. This way, we can generate generic complete data.

Granular fuzzy model is concerned with constructing models at the information granular level rather than numerical evidence. Therefore, experimental numerical data is formed in the form of information granular because they induce information granular. In this paper, we design a granular fuzzy model that takes input and target data to form information granular, and then uses interval-based clustering and context -based clustering to generate information granular. When designing a granular model, we generate a fuzzy rule and adjust the membership function of the fuzzy set to optimize the number of clusters, the fuzzy coefficient, and the interval. In experiment, we compared with the performance using linear regression, GM(Granular Model), IGM(Incremental Granular Model) and IRBFN(Incremental Radial Basis Function Network) methods from real-world application problems such as Auto-mpg, Boston house forecast, energy efficiency data, electric load prediction problem, abalone age prediction data and MIS data. In this paper, the performance evaluation using the reasonable granularity principle proposed also proceeds, in addition to the performance evaluation through the mean square root error. Experimental results show that the performance of the proposed incremental radial basis function granular model and interval-clustering method is better than existing methods.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제1장 서론

제1절 연구배경

입자 컴퓨팅은 컴퓨터 조작 지능 및 인간 중심 시스템에서 증가하는 정보 처리 패러다임이다. 입자 컴퓨팅 연구는 많은 실무자를 끌어 들여서 다양한 설계 방법론을 만들었다[1-8]. 입자화 된 컴퓨팅은 초기에 퍼지 세트 연구와 관련된 정보 입자성 또는 정보 입상화라고 불렸다. 그리고 입자 컴퓨팅이라는 용어는 1997년 Zadeh[9]의 논문에서 "단어로 계산하는 하위 집합"으로 정의되었다. 따라서 일반적으로 1997년에 입자 컴퓨팅의 탄생으로 야기되고 있다. 입자화 된 컴퓨팅이라는 용어가 새로운 것 이였지만, 입자화 된 컴퓨팅의 기본 개념과 원칙은 많은 분야에서 다양한 형태로 발생하였다[10]. 복잡하고 현실적인 문제를 해결하기 위해 자연에서 영감을 얻은 계산 방법론 및 접근 방식의 집합이다. 뉴로-퍼지 시스템 및 진화적 퍼지 시스템의 개념과 구조는 연구 문헌에서 점점 더 많이 볼 수 있게 되었고 널리 확대되고 있다. 비슷한 견해로는 빌리프 함수, 인공 지능, 클러스터 분석, 데이터 압축, 데이터베이스, 의사 결정 트리, 분할 및 정복, 퍼지 논리, 구간 컴퓨팅, 기계 학습, 구조화 프로그래밍, 양자화, 지수 공간 이론 및 러프 집합 이론이 있다. 입자화 컴퓨팅은 복잡한 문제 해결에서 입자를 사용하는 이론 및 방법론, 기술 및 도구를 포괄하는 용어로 정의된다.

입자화 된 컴퓨팅의 중요한 측면은 입자화 된 컴퓨팅을 인간 중심의 지능형 시스템으로 보는 것이다. 인간 중심의 정보 처리는 퍼지 집합의 도입으로 시작되었다. 이러한 통찰력으로 인해 입자화 된 컴퓨팅 패러다임이 개발되었다. 기계 중심에서 인간 중심의 접근 방식은 GrC(Granular Computing)연구의 동향 중 하나로 간주된다. 입자 컴퓨팅의 기본 구성 요소는 하위 집합, 클래스, 개체, 클러스터 및 유니버스의 요소와 같은 입자이다. 이 입자는 구별 가능성, 유사성 및 기능성으로 함께 그려지는 미세한 입자로 구성된다. 복잡성, 추상화 수준 및 크기를 기반으로 다양한 수준에서 입자를 측정할 수 있다. 문제 영역 중 전체집합에는 가장 크고 가장 굵은 입자에 존재한다. 최저 수준의 입자는 사용되는 특정 모델의 요소로 구성된다.

입자화는 문제 해결을 위한 입자 컴퓨팅의 주요 문제 중 하나이다. 사전에서

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

입자화의 원래 의미는 '무엇인가를 입자로 만드는 행위 또는 과정이다'고 기술되어진다. 그것은 큰 물체를 작은 물체로 만드는 과정이다. Zadeh는 전체를 입자로 분해하기 위해 이 아이디어를 채택했으며 "입자화는 전체를 부분으로 분해하는 것과 관련이 있다. 반대로, 구성(organization)은 부분 전체를 통합하는 것을 포함한다." 이 정의에 기초하여, 입자 컴퓨팅은 입자화 및 조직에서 두 가지 작업이 수행된다. 입자화는 문제 해결에서 구축 및 분해의 두 가지 방향을 포함한다. 이 구축은 더 작고 낮은 수준의 입자로 더 크고 높은 수준의 입자를 형성하는 과정을 포함한다. 분해에는 더 큰 입자를 더 작은 입자로 나누는 과정이 포함된다. 전자는 상향식 프로세스이고 후자는 하향식 프로세스이다. 입자 형성에 대한 보다 일반적이며 광범위한 견해가 있는 이유는 구축과 분해가 밀접하게 관련되어 있기 때문이다. 한 응용 프로그램에서 특정 입자를 선택하면 한 방향의 이점과 효율성은 그 반대 방향과 상관관계가 있다. 구조를 고려하지 않고 분해 작업을 고려하면 매우 효율적인 분해 작업과 매우 비효율적인 구조로 끝날 수 있다. 입자화를 수행하기 위해서는 입자간의 관계를 이해하는 것이 중요하다. 입자화 된 관계를 상호 관계와 관련지어 두 그룹으로 분류 할 수 있다. 분해는 더 큰 입자를 더 작은 입자로 나눈다. 구축하는 그룹의 유사성, 구별할 수 없는 성질 및 기능을 큰 입자에 공유하는 작은 입자들로 분류한다. 이전의 입자화에 포함된 관계는 상호 관계화 후자의 상호 관계로 간주된다. 즉, 상호 관계는 작은 개체를 그룹화 하는 기초이며, 내부 관계는 입자를 작은 개체로 나누는 기초이다. 개선과 조대화(coarsening)는 추가 유형의 관계이다.

퍼지 모델은 구조와 계속되는 설계 접근법의 탁월한 다양성에도 불구하고 하나의 공통된 특징을 공유한다[11-21]. 퍼지 집합 기술의 사용과 관계없이 숫자 결과를 생성하게 되는데, 대조적으로 입자 모델은 그들의 구조가 직관적으로 매력적이며 그 결과가 정보 입자로 이어질 수 있다는 점에서 많은 퍼지 모델에서 흥미로운 개념 및 디자인 대안을 형성한다[22-32]. 간단히 말해서 개별적으로 수집되어 일반적으로 공유되지 않은 서로 다른 데이터 세트를 사용하여 동일한 복잡한 현상을 인식하고 모델링 할 수 있다. 그 과정에서 견해가 다른 관점에서 확보될 수 있는 것처럼 데이터는 서로 다른 특징 공간에서 표현될 수 있다. 개별적으로 개발된 모델들은 지식의 다양한 원천으로 취급 될 수 있을 것이다. 퍼지 모델의 개별적인 설계와 함께, 지식의 원천을 공유하고, 연구결과를 결합시키고, 근원적인 현상에 대해서 세계적 규모의 통합되고 포괄적이고 총체적인 견해를 제공할 수 있는 모델

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

을 형성시키려는 의도를 가지고 협업을 하는 것은 유익한 일이 될 수 있다. 이러한 상황 속에서 의사소통 플랫폼을 통해 지식을 공유하고 융화시키는 효과적인 방법은 최고의 중요성을 갖게 된다. 협업과 융화의 메커니즘은 상세한 수치적 엔티티보다는 정보 입자의 전달을 통해서 실현된다는 사실에 주목하는 것은 필수적이다.

퍼지 모델에서 다양한 클러스터링 기법, 특히 Fuzzy c-Means(FCM)가 종종 사용된다[33]. 가중화된 FCM 알고리즘을 사용하여 세부적인 퍼지 모델을 구성하기 위해 가중화된 FCM 알고리즘과 역전파 알고리즘이 결합되었다[34]. Fuzzy C-Regression모델은 주어진 퍼지 모델로부터 적절한 수의 규칙을 자동으로 결정하기 위해 제안되었다[35]. 퍼지 클러스터링 기법은 주어진 퍼지 모델로부터 적절한 수의 규칙을 자동으로 결정하기 위해 개발되었으며, 이는 Takagi-Sugeno Fuzzy 모델의 추정을 향상시키는 것을 도왔다[36]. FCM과 스위칭 회귀 알고리즘의 조합을 기반으로 한 다른 클러스터링 기법이 개선된 퍼지 클러스터링과 더 나은 향상된 구조식별을 가진 퍼지 모델을 구성하는데 사용되었다[37]. 다른 클러스터링 접근법은 한정된 Gath-Geva 알고리즘에서 얻은 클러스터로부터 T-S 퍼지 모델을 식별하는 데 도움이 된다[38]. 이 접근법에서 클러스터의 가장 좋은 수는 유효성 측정을 사용하여 결정된다. 얼굴인식 방법은 FCM 알고리즘으로부터 얻어진 파티션 매트릭스를 입력 패턴으로 사용하여 인공 신경망(ANN)을 학습한다[39]. ANN과 유사한 다른 아키텍처로는 신경 퍼지 제어기(NEFCON)와 신경 퍼지 분류(NEFCLASS)가 있다[40-43]. 이러한 구조는 퍼지 집합을 가중치로 사용하여 언어적으로 'if-then' 규칙으로 해석 될 수 있다. 획득된 결과는 수치화 된 값을 생산하는데 있어 비정형화(decoding) 된다. 제안하는 모델과는 달리, 이러한 아키텍처는 데이터를 입자화함으로써 퍼지 분류 규칙을 유도하지 않는다. 대신 각 입력 차원에 사전 정의된 퍼지 분할이 학습 메커니즘에 의해 조정된다.

입자 모델에서 클러스터링은 보다 집중적으로 사용되어 출력 공간에 정보 입자를 형성하고 결과적으로 입력 공간에 유도 정보 입자를 생성합니다. 이 범주에 해당하는 가장 초기 모델 중 하나가 FCM 알고리즘이며, 입력 단일 출력 시스템에서 퍼지 모델의 구조를 식별하는 데 사용되었다[44]. 이 접근법에서는 입력 공간의 일반적인 퍼지 분할을 피할 수 있다. 대신 출력 데이터가 클러스터가 되고 클러스터가 개별 입력 좌표에 투영된다. 이는 수치적인 엔티티로 퍼지화 될 수 있는 퍼지 규칙을 생성한다. 우리의 접근법에서, 출력 공간은 최적화된 간격 기반 정보

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

입자로 입자화 되기 때문에 결과는 간격의 형태로 생성된다. W. Lu[45]는 시계열을 세분화하고 모델의 예측 정확도를 향상시키기 위해 유사한 간격 기반 클러스터링을 제안하였다. 이러한 간격은 보다 합리적이고 유익한 정보가 될 때까지 너비를 점진적으로 조정하여 최적화 시킨다. 다른 연구에서는 정보 입자는 다차원 입력 공간에서 각 입력 좌표 공간으로 하이퍼박스 클러스터를 투영함으로써 유도 된다[46-49]. 이 접근법은 여기에서 추구하는 접근법과 약간의 유사성을 나타내지만 입력 공간이 유도되는 방식은 출력 공간에 있는 정보 입자에서 이루어진다. 더 유사한 접근법에서 출력 공간에 형성된 구간의 집합은 근사 문제를 분류 과제로 바꾸고 입력 공간에 하이퍼 박스와 초 타원체의 형성을 유도하는 클래스로 사용되며, 그럼에도 불구하고 끝에 있는 값은 숫자 값으로 디퍼지화 되지 않는다[50][51].

제2절 연구 목적 및 방향

본 연구의 목적은 비선형성이 강한 실세계에 대한 데이터를 예측하는데 있다. 그러기 위해서는 비선형 예측모델을 설계해야하는데 기존의 모델들은 선형 모델들이 주를 이룬다. 제안하는 모델은 전역적인 부분을 선형회귀로 설계하고 비선형 부분인 로컬 영역을 방사기저함수를 사용하여 설계한다. 추가적으로 본 논문에서 말하는 점증적인 모델은 정보 입자를 사용함으로써 완성된다. 지역 정보 입자를 형성하기 위해 입력 및 목표 데이터를 취하는 입자화 된 퍼지 모델을 설계하고 개발하는 것이다. 이러한 입자를 사용할 수 있게 하는 주된 목표는 정보화 입자의 수준에서 모델을 만드는 것이다. 이 연구를 통해 입자화 된 모델링에서 정보입자가 중요하고 다각적인 역할을 한다는 것을 입증합니다. 모델은 정보 입자간의 연관 네트워크로 구축된다. 이는 구조화된 정보 입자에 의해 형성되는 조건과 결론 부분을 가진 규칙 수집으로 쉽게 변환되는 모델의 해석 가능성을 지원한다. 정보 입자는 개념적으로 온전한 빌딩 블록을 형성하고 그 기능면에서 입력 변수와 출력 변수 간의 다양한 관계 형성에 사용될 수 있다. 정보 입자는 데이터의 온전한 기술자 역할을 한다. 각 정보 입자는 잘 정의된 의미론과 함께 제공되며 입자는 특정 언어적으로 의미 있는 특정 의미와 관련 될 수 있다. 이 방법으로 일반적인 온전한 데이터를 생성할 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

입자화 된 퍼지 모델은 본질적으로 수치적 증거가 아닌 정보 입자 수준에서 모델을 구축하는 것에 관한 것이다. 그러므로 실험적 수치 데이터는 정보 입자를 유도하기 때문에 정보 입자의 형태로 구성된다. 본 논문에서는 정보 입자를 형성하기 위해 입력 및 목표 데이터를 취하는 입자화 된 퍼지 모델을 설계하고 여기에서 정보 입자를 생성하기 위해 구간 기반 클러스터링과 컨텍스트 기반 클러스터링을 사용한다. 입자 모델을 설계할 때, 퍼지 규칙을 생성하고 퍼지 집합의 소속 함수를 조정하여 클러스터의 수, 퍼지화 계수, 구간 간격 등에 대한 최적화를 진행한다. 실험에는 실세계 응용문제인 Auto-mpg, 보스턴 집값 예측, 에너지 효율 데이터, 전기 부하 예측 문제, 전복 나이 예측 데이터, MIS 데이터를 사용하여 선형회귀, 입자모델, 점증적인 입자모델, 점증적인 방사기저함수 입자모델 방법들을 사용하여 성능을 비교한다.

제3절 논문의 구성

본 연구는 다음과 같이 구성된다. 먼저 정보입자의 개념을 소개하고 입자 모델과 클러스터링에 대해 2장에서 자세히 설명한다. 3장에서는 점진적인 입자 모델에 대해서 설명하고 컨텍스트 기반 클러스터링과 구간 기반 클러스터링에 대해서 기술한다. 다음으로, 4장에서는 기존 성능 평가방법과 정당화 가능한 입자성의 원칙에 대해서 설명한다. 5장에서는 복잡한 비선형 특성을 보이는 실세계 응용문제들을 이용하여 제안한 모델의 성능을 비교한다. 마지막으로 6장에서 논문의 결론과 향후 연구 방향을 제시한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제2장 이론적 배경 및 분석

제 1절 정보 입자 및 입자 컴퓨팅

인간 중심 시스템 및 인간 중심 컴퓨팅은 시스템을 인간 사용자의 요구에 의해 매우 민감하게 만들 수 있다. 그렇다면 사용자마다 다를 수 있는 요구 사항과 선호 사항에 대한 사실을 충분히 인식하게 해야 한다. 어떻게 이러한 요구를 수용할 수 있는 시스템을 구축하고 이러한 방식으로 높은 수준의 사용자 편의성을 제공할 수 있습니까? 인간 중심성이 중요한 역할을 하는 수많은 시나리오가 있다. 예를 들어 시스템 모델링에서 사용자는 독특한 모델링 관점을 기반으로 현실을 모델링하고 싶어 한다. 이러한 의미에서 모델링 목적으로 사용할 수 있는 데이터는 사용자가 설정한 적절한 상황에서 모델을 구성하는데 사용되며 조사되어야 한다. 정보 검색 및 정보 조직에서 개별 사용자의 기본 설정에 따라 동일한 개체 컬렉션을 구성하고 다른 관점에서 볼 수 있다. 이 경우 인간 중심 시스템의 궁극적인 기능은 사용자가 제공한 적합한 피드백을 효과적으로 실현하는 것이다. 퍼지 클러스터링에 대한 기본 아이디어를 직접 탐구하고 입자화 된 모델의 개념으로 이어지는 퍼지 모델링은 다음과 같다. 이 모델의 핵심은 정보 입자, 즉 입력 및 출력 공간에서 모두 형성되는 퍼지 집합 간의 연관성을 설명한다. 이러한 관계가 형성되는 컨텍스트는 시스템 개발자가 설정한다. 정보 입자는 전문화된 조건부 퍼지 클러스터링을 사용하여 구축된다. 이것은 모델의 인간 중심적 특성을 강조한다. 정보 입자를 형성하고 모든 모델링 작업을 올바른 프레임 워크에 캐스팅하는 프로세스에서 적극적인 역할을 담당한다.

정보 입자는 인간의 노력에 스며든다. 어떤 문제가 고려되든 상관없이, 일반적으로 문제를 공식화하고 문제를 해결하는 것과 관련 있는 것으로 간주하여 기본 개체의 특정 개념적 틀에 이 문제를 넣는다. 이것은 어떤 추상화 수준에 부합하는 일반 개념을 공식화하고 처리를 수행하며 결과를 외부 환경에 전달하는 프레임 워크가 된다. 예를 들어, 이미지 처리를 고려한다고 한다. 이 지역의 지속적인 발전에도 불구하고, 인간은 이미지를 이해하고 해석 할 때 지배적인 입장이며 대단히 논쟁의 여지가 없는 입장을 취한다. 물론 개별 픽셀에 주의를 기울이지 않고 그대로 처리하지만 의미론적 의미가 있는 구조, 즉 일상생활에서 다루는 익숙한 객체

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

로 그룹화 한다. 이러한 물체는 이미지에서의 근접성, 질감, 색상 등이 비슷하기 때문에 함께 그려지는 픽셀 또는 범주의 픽셀로 구성된 영역을 포함한다. 인간에게 놀랍고 도전 할 수 없는 능력은 정보 입자를 만들고, 조작하고, 확실한 결론에 도달하는 힘없는 능력에 달려 있다. 또 다른 예로, 시계열 컬렉션을 고려한다. 전문가는 심전도를 쉽게 해석 할 수 있다. 이러한 신호의 일부 세그먼트를 구별하고 조합을 해석한다. 전문가는 센서의 시간 판독을 해석하고 모니터링 되는 시스템의 상태를 평가 할 수 있다. 다시 말하지만, 이러한 모든 상황에서 신호의 개별 샘플은 분석 및 신호 해석의 초점이 아니다. 항상 모든 현상을 입자화 한다. 시간은 입자화에 또 다른 중요한 변수이다. 초, 분, 일, 달 및 년 등 모든 단위를 사용한다. 염두에 두고 있는 특정 문제와 사용자가 누구인지에 따라 정보 입자의 크기가 매우 크게 달라질 수 있다. 하이 레벨(high level) 관리에 있어서, 1년 또는 몇 년의 시간 간격은 의미 있는 시간 정보 입자일 수 있으며, 이를 바탕으로 예측 모델을 개발 할 수 있다. 발전소의 일상적인 운영을 담당하는 사람들을 위해 분과 시간은 시간 입자화의 실행 가능한 규모로 형성하여 보낼 수 있다. 고속 집적회로 및 디지털 시스템 설계자의 경우 시간 정보 입자는 나노초, 마이크로초에 해당한다. 정보 입자는 지식 표현과 처리의 핵심 구성 요소이며, 입자화 수준은 문제 설명과 전반적인 문제 해결 전략에 결정적인 요소가 되며, 보편적인 수준의 정보 입자화가 없다. 입자의 크기는 문제 지향적이고 사용자에게 달려 있다. 지금까지 말한 설명한 내용은 질적 측면에 영향을 미쳤다.

목표는 이러한 모든 표현 몇 처리 노력을 공식적으로 실현 할 수 있는 컴퓨팅 프레임 워크를 개발하는 것이다. 이 컨텍스트 내에서 나타나는 공통 플랫폼은 입자 컴퓨팅이라는 이름 아래에 있다. 본질적으로 정보 처리의 새로운 패러다임이다. 이미 시스템 모델링, 기계학습, 이미지 처리, 패턴 인식 및 다양한 추상화가 존재하는 데이터 압축의 영역에 구축된 여러 가지 중요한 개념 및 계산 구조를 알아냈지만 입자 컴퓨팅은 혁신적이고 지적인 전향적인 몇 가지 기본 방법을 가지고 있다. 첫 번째로 다양한 문제와 기술 간에 필수적인 공통점을 식별한다. 이 공통 기술은 일반적으로 입자화 된 세계라고 불리는 통일된 프레임 워크로 변환 될 수 있다. 이것은 필요한 입자 정보를 수집하고 입자 컴퓨팅의 결과를 반환함으로써 외부 세계와 상호 작용하는 완전히 작동하는 처리 엔티티(entity)이다. 두 번째로 입자화 된 처리의 통일된 프레임 워크가 등장함에 따라 다양한 형식주의 간의 상호 작용의 역할에 대해 보다 잘 이해하고 의사소통 방식을 시각화한다. 세 번째로

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

가시적으로 뚜렷한 토대에도 불구하고 집합이론(구간 분석), 퍼지 집합, 러프 집합 등 기존의 형식주의를 동일한 지붕 아래에서 명확하게 시각화함으로써 근본적인 공통점을 나타낸다. 이러한 의미에서 입자화 컴퓨팅은 개별적인 접근 방식 간의 시너지 효과를 창출한다. 네 번째로 기존의 공식 접근법의 공통점을 바탕으로 입자화 컴퓨팅은 기존의 잘 정립된 프레임 워크의 직교 성을 분명히 인식함으로써 정보 입자 처리의 복합적이고 다각적 모델을 구축하는 데 도움이 된다. 다섯 번째로 입자화 컴퓨팅은 입자화 된 수치 엔티티 및 매우 추상적이고 일반적인 정보 입자를 다루는 가변 입자화 개념을 완전히 인정한다. 이러한 정보 입자의 호환성 측면과 입자화 된 세계의 통신 메커니즘에 대해 살펴본다. 흥미롭게도 정보 입자의 시작은 동기 부여가 된다. 이유 없이 정보 입자를 형성하지 않는다. 정보 입자는 추상적 패러다임의 실현된 결과물이다. 입자화 컴퓨팅은 통합된 개념 및 컴퓨팅 플랫폼을 형성한다. 그러나 그것은 집합이론, 퍼지집합, 러프 집합 등의 설정에서 형성된 정보 입자에서 이미 존재하고 잘 정립된 개념으로부터 직접적으로 이득을 얻는다.

구간 분석은 집합의 개념에 머물러 있으며, 이 경우 집합은 [a, b], [c, d]와 같은 요소의 모음이다. 다차원 구조는 숫자 구간과 데카르트 곱을 기반으로 하며 하이퍼박스를 사용하여 컴퓨팅을 발생 시킨다. 구간을 두고 컴퓨팅 하는 것은 디지털 기술의 세계와 밀접하게 연결되어 있다. 이 분야의 첫 번째 논문 중 하나가 1956년 Warmus에 의해 발행되었다. 다른 초기 연구는 1966년에 Sunaga와 Moore에 의해 수행되었다. 그 뒤에 구간 수학 또는 구간 계산법에 대한 연구가 있었다. 개념적으로 구간은 소속의 기본적인 속성을 사용하여 2진 논리에 뿌리를 두고 있다. 여기에는 거짓-참이 부여된 2진 논리의 구조와 집합, 그리고 그 특성을 완전히 기술한 집합 이론 사이의 중요한 동형사상이 있다. 구간 분석은 신뢰할 수 있는 컴퓨팅의 초석이며 궁극적으로 모든 변수가 유한한 정밀도와 관련되는 디지털 컴퓨팅과 관련된다. 이 제한된 정확성은 컴퓨팅 오류 전파의 특정 패턴을 불러온다. 예를 들어 두 개의 구간 [a, b]와 [c, d]의 추가는 [a+c, b+d] 형태의 넓은 구간으로 이어진다. 여기서 불확실성의 누적은 주어진 구간 동안 완료된 특정 대수 연산에 따라 달라진다. 구간은 추상화의 직접적인 메커니즘을 제공한다. 특정 구간 내에 있는 모든 요소는 구별할 수 없으므로 동일하게 취급된다. 대수 조작 외에도 구간 수학 영역은 미분, 적분학, 구간 값 최적화 등 훨씬 더 진보되고 실제적으로 적절한 처리과정을 포함한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

퍼지 집합은 기여하는 요소가 다양한 정도의 소속에 속할 수 있는 정보 입자를 설명하는 중요하고 고유한 기능을 제공한다. 이는 실제 세계에서 흔히 접할 수 있는 개념을 설명하는 데 도움이 된다. 예로는 저소득, 높은 인플레이션, 작은 근사 오차 와 같은 정량화가 적용되지 않거나 인공적이고 제한적일 때이다. 부울의 경계를 정량화 할 수 있는 방법이 없다는 것을 인식하고 있다. 그 이유는 개념에 대한 소속이 부분적으로 0이고 1과 완전히 다른 많은 요소가 있기 때문이다. 집합이론과 2값 논리에 의해 뒷받침 된 세계의 이진 관점은 철학과 논리에 의해 유효성에 대해 이의를 받았다. 논리의 혁명적 단계는 Lukasiewicz에 의해 다중 값 논리의 도임으로 이루어졌다. 그러나 아리스토텔레스의 세계관에서 퍼지 집합이 도입될 때까지는 수십 년이 걸렸다. 이것은 1965년 Zadeh의 퍼지 집합에 대한 독창적인 논문의 발표와 함께 일어났다. 퍼지 집합의 개념은 놀라울 정도로 간단하고 명쾌하다. 퍼지 집합 A는 다양한 요소의 소속으로 요소를 할당함으로써 요소를 포착한다. 소속의 기능은 회원의 포함 정도를 정량화하는 수단이다. 회원 A(x)의 정도가 높을수록 A에 대한 이 요소의 귀속 정도가 더 강하다.

퍼지 집합에서 개념에 대한 “전형적인” 요소와 경계 문자의 요소를 구별한다. 높은 속도, 따뜻한 날씨, 빠른 차와 같은 정보 입자는 이 범주에 속하는 정보 입자의 예이며, 퍼지 집합으로 편리하게 표현될 수 있다. 완전히 구별 할 수 없는 경계를 형성하는 부분들에 대해서 퍼지 집합은 이 문제에 대한 매력적인 대안과 실질적인 해결책을 제공한다. 유연한 전이 경계를 지닌 퍼지 집합은 부분 소속의 개념을 포착하기 위한 이상적인 수단이다. 이러한 의미에서 퍼지 집합 언어로 공식화된 정보 입자는 광범위한 인간 중심적 추구를 지원한다. 그것은 인간과 지능 시스템을 연결할 때 중요한 역할을 하기 쉽다.

퍼지 집합은 필수적인 설계 지식을 전달할 수 있는 사용자 중심 인터페이스를 구성하여 기존의 정보 기술을 기반으로 하므로 문제 해결을 유도하고 보다 효율적으로 사용할 수 있다. 예를 들어 신호 처리 및 이미지 처리에서 특정 영역의 필터 개발에 대한 특정 설계 지식을 포착하는 규칙모음을 통합할 수 있다. 제어 공학에서는 특정 제어 목표에 대한 일부 도메인 지식을 통합 할 수 있다. 그리고 퍼지 집합이 방법론적인 골격을 형성하고 필요한 알고리즘 설정을 제공하는 고유한 응용 프로그램 영역이 있다. 이는 정보 입자모음으로 시작하여 모델 간의 연결로 모델을 구성하는 퍼지 모델링에 관련된다. 이 접근 방식은 “표준” 시스템 모델링에서 발생하는 숫자 기반의 함수 모델과 근본적으로 다르다. 퍼지 모델링은 수치 모

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

델에서 강조된 것과 비교하여 증가된 의제를 강조한다. 우리가 결과 모델의 정확성에 여전히 관심을 가지는 반면, 해석 가능성과 투명성은 동등하고, 때로는 더 높은 관련성을 갖는다. 퍼지 집합이 기존의 잘 정립된 영역에 추가 개념 및 알고리즘 계층을 제공한다는 점을 강조할 필요가 있다. 예를 들어, 패턴 인식에 퍼지 집합의 심오한 기여가 있다. 이 경우, 퍼지 집합은 기능 선택, 분류 및 클러스터링에 관한 확립된 기술을 기반으로 한다. 퍼지 집합은 인간과 컴퓨팅 환경 간의 의사소통의 궁극적인 메커니즘이다. 모든 입력은 퍼지 집합으로 변환되므로 컴퓨팅 시스템 수준에서 이해할 수 있다. 마찬가지로 상세한 처리, 검색 및 유사 결과를 전달할 때 퍼지 집합과 유사한 역할을 한다. 종종 의사소통 메커니즘을 결합하여 단일 모듈의 형태로 표현한다. 이러한 표현은 개발된 시스템의 인간 중심적 측면을 강조한다.

퍼지 집합은 입자 컴퓨팅 결과를 형성한다. 이와 같이 구성되는 담론의 전체의 요소들에 대한 전역적인 관점을 전달한다. 시각화되면 소속 함수의 값은 개별 점의 적합성을 해답과 호환하는 것으로 나타낸다. 이러한 의미에서 퍼지 집합은 유용한 시각화 수단으로 사용된다. 사용자가 표시되면 해답 특성에 대한 전체적인 시각을 얻고 최종 선택을 할 수 있다. 이것은 인간 중심적 측면과 매우 흡사하다. 가능한 모든 결과를 사용자에게 제시하지만, 특정 해답을 선택하는 것에 대해 어떠한 압박도 가하지 않는다. 입자화 된 컴퓨팅의 설정에서 실현된 컴퓨팅이 그 결과로 퍼지 집합을 반환하기 때문에, 그것은 최소한의 의지와 원칙을 실현하는 데 효과적으로 사용될 수 있다. 이 원칙의 핵심은 퍼지 집합을 획득된 결과의 품질을 인식하는 메커니즘으로 사용하는 것이다. 여러 단계의 의사 결정 문제의 결과로 퍼지 집합을 생각하면 퍼지 집합은 다양한 대안을 통해 정의되며 해당 선호도와 연관된다. 매우 유사한 정도의 회원 자격을 가진 몇 가지 대안이 있는 경우, 이는 결정을 내리는 데 있어서 불확실성이나 주저함을 명확히 나타내는 지표 역할을 한다. 즉, 생성된 퍼지 집합의 형태에 비추어 현재로서는 어떠한 결정에 전념할 의사가 없다. 우리의 의도는 결정을 연기하고 더 많은 자료를 수집하는 것이다. 예를 들어, 추가로 데이터를 수집하고 전문가의 의견을 구하는 등의 작업이 필요할 수 있다. 이 자료를 바탕으로 계산을 계속할 수 있고 결과로 나오는 퍼지 집합의 형태를 평가할 수 있다. 수집된 자료로 인해 보다 구체적인 결정이 의사 결정을 진행할 수 있다. 따라서 최소한의 원칙은 의사 결정과 자료 수집의 메커니즘에 대한 흥미롭고 유용한 지침을 제공한다. 이 원칙의 핵심은 퍼지 집합을 획득된 결

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

과의 품질을 인식하는 메커니즘으로 사용하는 것이다.

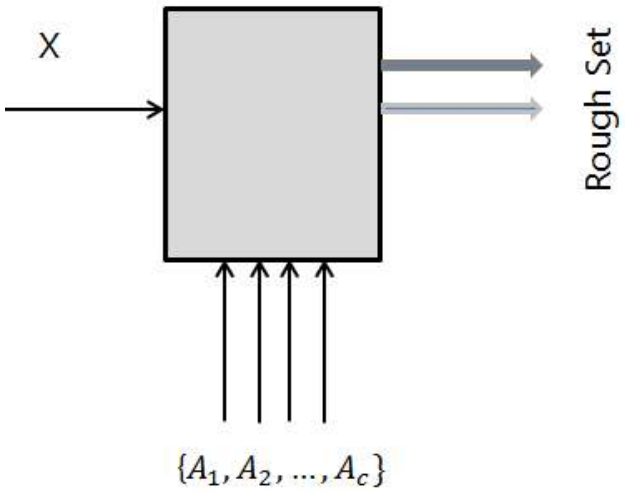


그림 2.1 정보 입자 $\{A_1, A_2, \ldots, A_c\}$를 이용하여
X를 기술한 Rough Set

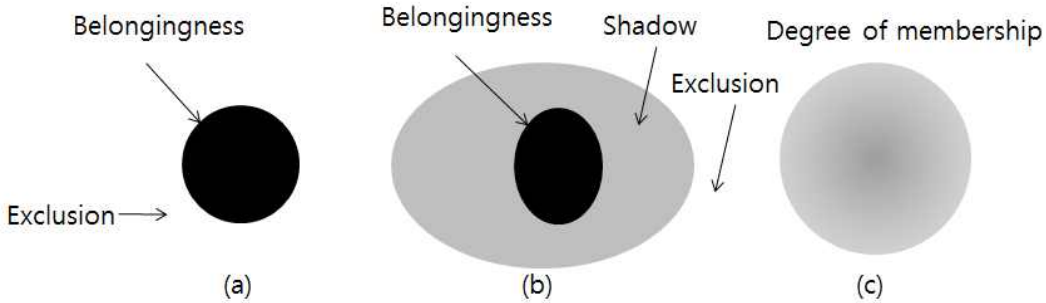


그림 2.2 (a) 집합, (b) 그림자 집합, (c) 퍼지 집합
그림자 집합과 퍼지 집합 사이의 연결을 나타냄.

폴란드의 컴퓨터 과학자인 Pawlak에 의해 소개된 러프 집합(Rough Set)은 데이터의 불확실성을 다루기 위한 수학적 이론으로 집합의 상한 근사(upper approximation)와 하한 근사(lower approximation)에 대한 정의에서 출발하여 러프 집합 제어, 모델링과 시스템 동정, 실험 데이터로부터 규칙 발견 등에 이용된다. 러프 집합의 개념을 설명하고 정보 입자를 표현할 때 제공해야하는 것을 보여

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

주기 위해 예를 사용한다. 온도와 압력의 관점에서 표현된 환경 조건에 대한 것을 고려한다. 이러한 각 요소에 대해 가능한 범위의 여러 범위를 수정한다. 이러한 범위마다 “아래 값”, “중간 값”, “위 값” 등과 같은 해석이 제공된다. 두 변수에서 선택된 범위를 허용함으로써, 온도와 압력 공간의 직교 곱(cartesian product)에서 형성된 개념 그리드를 구성한다. 약간의 시간동안 환경조건으로 인해 모니터링 하여 상한과 하한 사이의 온도 및 압력의 일부 값이 산출된다. 이 결과를 X로 나타내면 기술함수의 요소로 설명할 때 X에 완전히 포함된 요소 모음으로 끝난다. 그들은 주어진 기술함수가 있는 상태에서 완성 될 때 X에 대한 일부의 하한선을 형성한다. 마찬가지로 X와 비어있지 않은 중복이 있는 기술함수의 요소를 식별 할 수 있으며, 이러한 의미에서 주어진 환경 조건에 대한 일부의 상한을 구성할 수 있다. 기술함수와 함께 일부는 러프 집합을 형성한다. 주어진 기술함수 X에 대한 설명을 일반적이고 간단한 용어인 A1, A2, ...,Ac의 특정 집합으로 실현한다. 상한 및 하한은 개념자체와 기존 기술함수 간에 비 호환성으로 인해 발생하는 부정확성을 반영한다. 그럼으로써 퍼지 집합으로 표현되는 정보 입자를 포함할 수 있다. 러프 집합과 퍼지 집합이 함께 있는 퍼지 러프 집합과 같은 형태를 자주 접할 수 있다. 퍼지 집합은 숫자로 구성된 회원 등급과 연결된다. shadow 집합은 소속이라는 숫자 개념에서 보다 일반적이고 고도로 통합된 보기를 형성함으로써 퍼지 집합을 기반으로 한다. shadow 집합을 사용하여 숫자로 된 소속 값을 세 가지 범주(완전한, 완전 배제, 알려지지 않은)로 정량화 한다. 집합과 퍼지 집합의 원리와 함께 shadow 집합의 그림이 그림 2.2에 개략적으로 나와 있다. 이는 정보 입자의 세 가지 기본 구성을 대조하는 데 도움이 된다. 간단히 말해 shadow 집합은 퍼지 집합의 일반적이고 훨씬 간결한 표현으로 간주 된다. 퍼지 집합은 컴퓨팅을 처리 할 때, 특히 유용 할 수 있다. 이 경우 전반적인 처리 과정을 상당히 줄일 수 있다.

$f: X \rightarrow [0;1]$이 주어졌을 때, 퍼지 집합 B 는 $B = (x, f(x)) | x \in X$로서 정의된다. shadow 집합은 퍼지 집합으로부터 생성된 정보 입자이다. 이 집합의 주요 특징은 퍼지 집합의 본질을 포착하여 계산 비용을 줄이고 해석 능력을 얻는다. 식 (2.1)과 같이 shadow 집합 S를 형성하는 퍼지 집합이다.

$$S: X \rightarrow 0,1[0,1] \tag{2.1}$$

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

퍼지 집합으로 모델링된 불확실성을 보존하기 위해 세 개의 영역을 구성하는 임계값 α를 선택하여 shadow 집합을 만드는 게 시작이다. 첫 번째 영역은 임계값 α보다 작은 모든 소속 값을 0으로 감소시킴으로써 유도된다. 1-α에서 1보다 큰 소속 값에 의해 형성되는 두 번째 영역과 마지막 영역은 소속 값이 약 0.5인 shadow 영역 또는 소속 값을 알 수 없다. α를 선택하는 것은 다음의 방정식의 형태로 불확실성의 균형에 의존한다. 러프 집합은 대략 포함으로 설명될 수 있고, 모호성과 불확실성에 대한 수학적 접근 방식이다.

제 2절 Fuzzy C-means 클러스터링

퍼지 클러스터는 퍼지 모델을 구성하기 위한 확실한 기초를 제시한다[52-60]. 이 프레임 워크는 특징 공간 전체에 클러스터를 분배해서 만들어진다. 마찬가지로 출력 공간에 정의된 프로토 타입 세트가 있으며, 클래스의 지속적인 소속 등급은 일부 연속 출력 변수가 있을 수 있다. 결과로 나오는 모델의 세부 공식을 작성하는 몇 가지 방법이 있다. 문헌에서 흔히 볼 수 있는 것은 출력 공간에 존재하는 프로토 타입의 가중 합을 취하여 주어진 입력 x의 소속 등급, 즉 $u_1(x), u_2(x), ..., u_c(x)$를 사용하여 선형적으로 결합한다. $z_1, z_2, ..., z_c$는 출력 공간에서 프로토 타입을 나타내는 반면, 입력 공간에서는 프로토 타입 $v_1, v_2, ..., v_c$로 나타낸다. 모델 y의 출력은 x의 사용으로 인한 입력 공간에서 I번째 클러스터의 '활성화' 레벨인 ui(x)와의 가중 합으로 결정되며 '표준' 형태로 계산된다. 입력에서 출력 공간으로의 비선형 매핑을 실현하는 모델의 특성을 시각화하는 학습이다. 비선형성은 프로토 타입의 값에 따라 달라진다. 이 비선형성은 퍼지화 인자인 m의 값에 크게 영향을 받을 수 있다. 퍼지화 도입부의 인자의 값은 다양하게 적용할 수 있다. 이 변수는 비선형성의 특성에 중요한 영향을 미치며, 이 범주의 모델 내에 존재하는 모델링의 유연성에 대해서 분명히 지시한다. 그림 2.3은 100개의 패턴 데이터 포인트와 2개의 클러스터 센터를 시각화하여 결과를 보여주고 있다. 그림 2.4에는 다양한 퍼지화 인자의 변화에서 C1과 C2 사이에 위치하는 패턴에 대한 중심 C1에 대응하는 소속 그림이다. 이 퍼지화 계수는 비선형성의 특성에 중요한 영향을 미치며 이는 이 범주 의 모델 내에 존재하는 모델링 유연성에 영향을 끼친다. 1에 가까운 m값은 매핑의 단계별 특성을 나타낸다. 개별 규칙이 서로 전환되

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

는 지점에서 중요한 변화가 있음을 알 수 있다. 이러한 방식으로 각 규칙에서 오는 영향은 분명하게 묘사된다. 퍼지화 계수의 일반적인 값은 2 사이에서 부드러운 전이를 산출하며 모델의 입출력 관계의 부드러운 비선형성을 나타낸다.

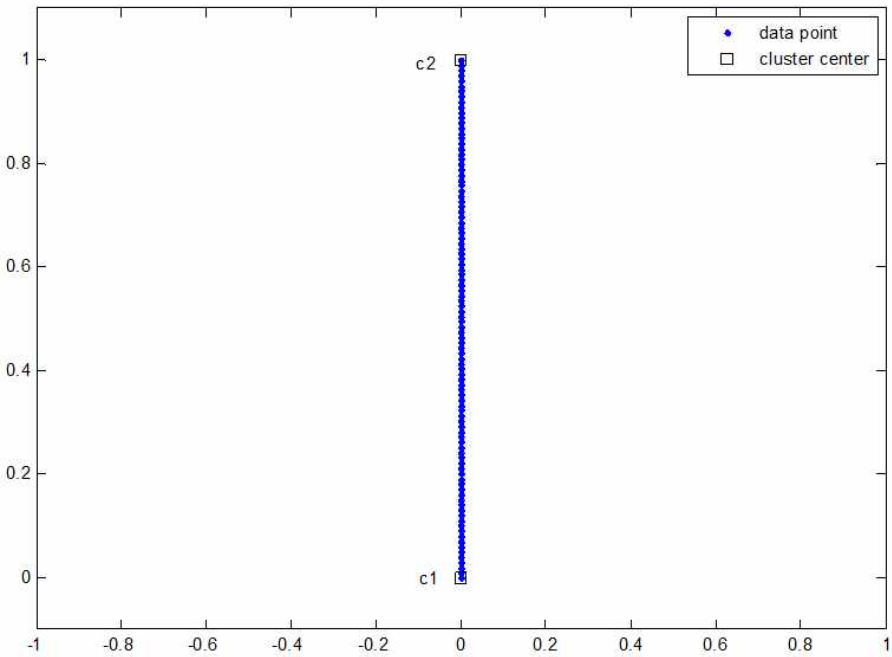


그림 2.3 주어진 패턴 집합과 두 개의 클러스터

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

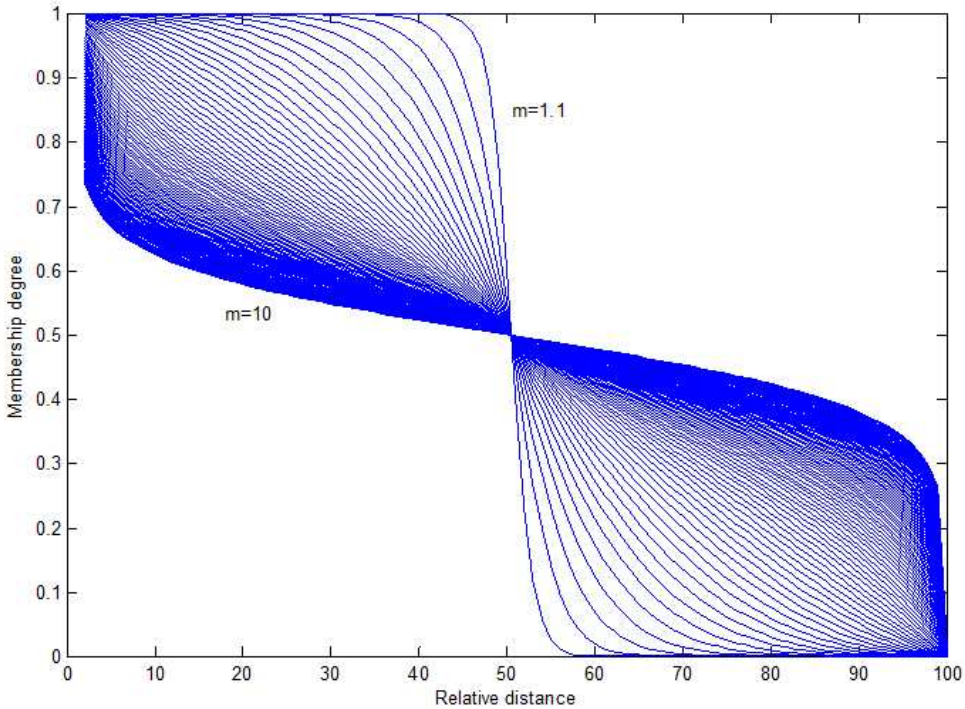


그림 2.4 m =1.1에서 m=10까지의 변화

퍼지화 계수의 값은 생성되는 소속 함수인 클러스터의 모양에 영향을 미친다. m의 값이 작을수록 소속 함수는 집합의 특징적인 함수와 비슷하게 되고 중간 소속 값을 갖는 요소는 더 적어지는 경향이 있고 클수록 파급 효과가 있는 뾰족한 소속 함수가 생성되고 요소는 더 많은 로컬 미니마를 보여주며 값은 방법의 평균에 더 가깝게 위치한다. 문헌에서 발견할 수 있는 공통적인 값은 m=2인데, 이것은 집합과 같은 소속 기능과 등급에서 과도한 진동을 나타내는 소속 기능 간에 수용할 수 있는 타협안을 구성한다.

Fuzzy C-means clustering(FCM)은 각 데이터가 회원 등급에 의해 클러스터에 속하는 데이터 클러스터링 알고리즘이다. Bezdek은 hard C-means clustering(HCM)보다 향상된 알고리즘을 1973년에 제안했다[61]. FCM은 n개의 벡터 $x_i, i=1,\ldots,n$의 집합을 c 퍼지 그룹으로 분할하고 각 그룹에서 비평행성 측정의 목적 함수가 최소화되도록 클러스터의 중심을 찾는다. FCM과 HCM의 가장 큰 차이점은 퍼지 파티셔닝을 사용하여 주어진 데이터 포인터가 회원 등급에 따라 0과 1 사이의 등급으로 지정된 여러 그룹에 속할 수 있다는 것이다. 퍼지 파티셔닝의 도입을 수용하기 위

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

해, 소속 행렬 U는 0과 1사이의 값을 가진 요소를 가질 수 있다. 그러나 표준화를 강요하면 데이터 세트에 대한 소속의 합이 항상 1과 같다고 규정됩니다.

$$\sum_{i=1}^{c} u_{ij} = 1,\ \forall j = 1, ..., n \tag{2.2}$$

FCM에 대한 비용 함수는 다음의 식의 일반화이다.

$$J(U, c_1, ..., c_c) = \sum_{i-1}^{c} J_i = \sum_{i=1}^{c}\sum_{j}^{n} u_{ij}^m d_{ij}^2 \tag{2.3}$$

여기서 u_{ij}는 0과 1사이에 있다. c_i는 퍼지 그룹 i의 클러스터 중심이고, $d_{ij} = \| c_i - x_j \|$는 I번째 클러스터 중심과 j번째 데이터 사이의 유클리드 거리이다. m은 가중 지수이다.

수식 (2.2)가 최솟값에 도달하기 위한 필요조건은 다음과 같이 새로운 목적 함수 J를 형성함으로써 찾을 수 있다.

$$\begin{aligned}\bar{J}(U, c_1, ..., c_c, \lambda_1, ..., \lambda_n) &= J(U, c_1, ..., c_c) + \sum_{j=1}^{n} \lambda_j (\sum_{i=1}^{c} u_{ij} - 1) \\ &= \sum_{i=1}^{c}\sum_{j}^{n} u_{ij}^m d_{ij}^2 + \sum_{j=1}^{n} \lambda (\sum_{i=1}^{c} u_{ij} - 1)\end{aligned} \tag{2.4}$$

여기서 $\lambda_j, j = 1$에 n은 식 (2.1)의 n 제약 조건에 대한 라그랑주 승수이다. 모든 입력 인수에 대해 $\bar{J}(U, c_1, ..., c_c, \lambda_1, ..., \lambda_n)$를 구별하면 식 (2.2)가 최솟값에 도달하는데 필요한 조건은

$$c_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} u_{ij}^m x_j}{\sum_{j=1}^{n} u_{ij}^m} \tag{2.5}$$

and

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

$$u_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^{c} \left(\frac{d_{ij}}{d_{kj}} \right)^{2/(m-1)}} \tag{2.6}$$

FCM 알고리즘은 앞의 두 가지 필수 조건을 통해 반복되는 절차이다. 배치 모드 작동에서 FCM은 다음 1단계를 사용하여 클러스터 중심 c_i 및 소속 행렬 U를 결정한다.

[단계 1] : 소속 행렬 U를 0과 1 사이의 임의의 값으로 초기화하여 식 (2.2)의 제약 조건을 만족시킨다.

[단계 2] : 식 (2.5)를 사용하여 퍼지 클러스터 센터 $c_i, i = 1,...,c$를 계산한다.

[단계 3] : 식 (2.3)에 따라 목적 함수를 계산한다. 특정 허용 오차 값의 아래이거나 이전 반복에 대한 개선된 값이 특정 임계 값 미만이면 중단한다.

[단계 4] : 식 (2.6)를 사용하여 새로운 U를 계산합니다. 그리고 [단계 2]로 간다.

클러스터 센터를 처음 초기화 한 다음 반복적인 절차를 수행 할 수 도 있다. FCM이 최적의 답으로 수렴되는지는 보장하지 않는다. 성능은 초기 클러스터 센터에 따라 달라지므로 초기 클러스터 중심을 결정하거나 FCM을 여러 번 실행하기 위해 다른 클러스터 센터 집합으로 시작하는 알고리즘을 사용 할 수 있다.

제 3절 컨텍스트 기반 퍼지 C-means 클러스터링

이 클러스터링 방법은 Pedrycz[69]에 의해 소개되었으며, 입출력 데이터의 상관관계를 유지하면서 클러스터링을 수행하는 효과적인 접근방법이다. 이 클러스터링 방법을 설명하기 위해 그림 2.5과 같이 간단한 두 클래스를 갖는 데이터에 대해서 살펴보면 다음과 같다. 데이터 요소의 검은색과 파란색 표시들은 종속 변수에 의해 해당된 값을 반영한다. 그림 2.6(a)는 일반적인 FCM 클러스터링 알고리즘에 의해 생성된 2개의 클러스터를 보여준다. 그러나 이러한 클러스터들은 대응하는 출력 변수를 고려할 때 그림 2.6(b)와 같이 효율적으로 추정한다. 그림 2.6(b)

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

에서 보는 바와 같이 출력 변수에 관한 동질성을 보존하기 위해 추가 클러스터가 생성된다. 그림 2.6(b)에서 보여준 클러스터링은 일반적인 FCM 클러스터링에 의해 추정된 클러스터보다 더 동질성이 있음을 확인 할 수 있다.

이 출력 변수에 대해서 컨텍스트는 다음과 같이 정의된다.

$$D: T \rightarrow [0,1] \tag{2.7}$$

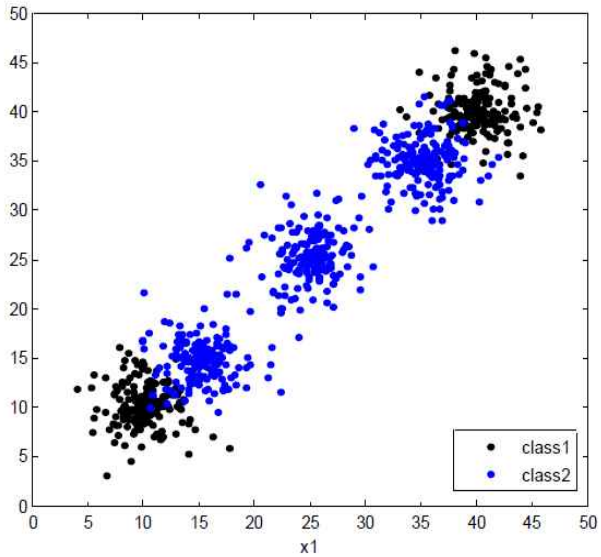
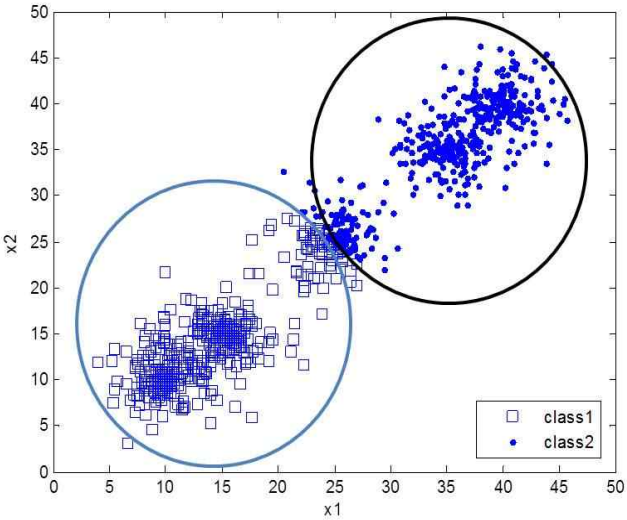


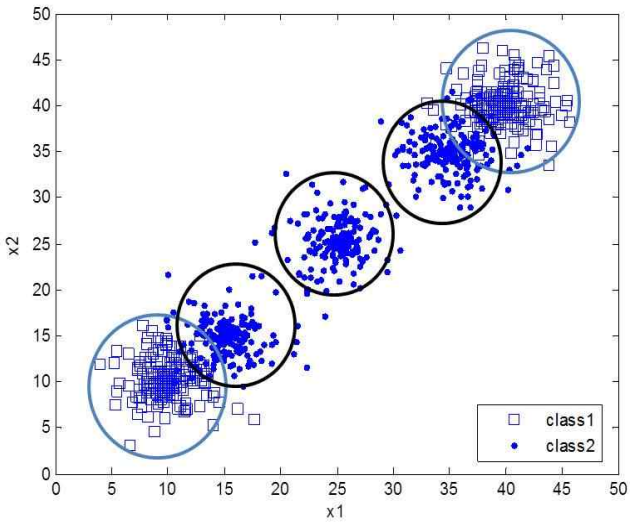
그림 2.5 두 클래스로 구성된 학습 집합

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) 일반적인 클러스터링



(b) 컨텍스트 기반 퍼지 클러스터링

그림 2.6 클러스터링 방법의 비교

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

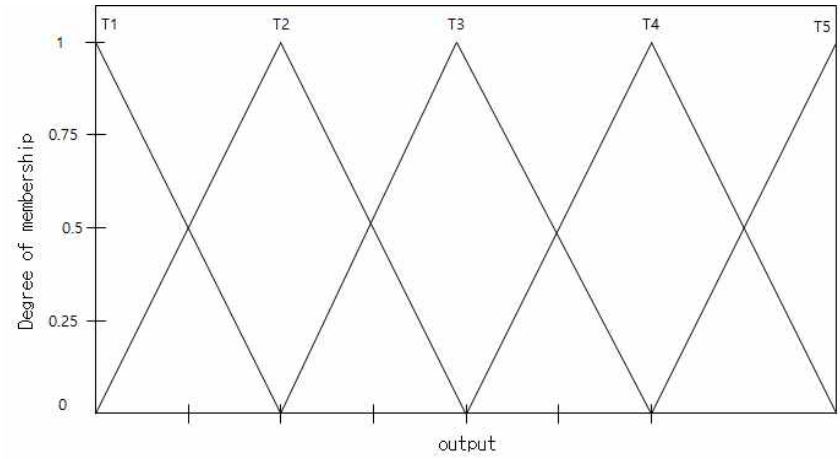


그림 2.7 입자 컨텍스트의 생성

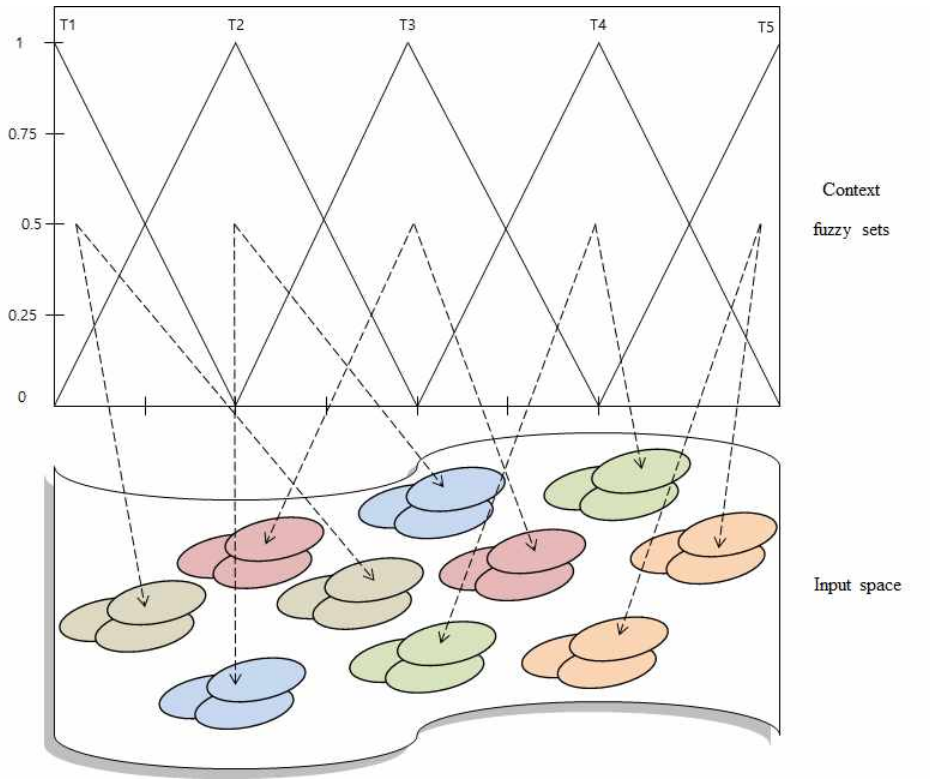


그림 2.8 언어적인 컨텍스트 기반 클러스터링의 개념도

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

여기서, D는 출력변수의 집합이다. 주어진 데이터에 대한 컨텍스트는 이용 가능한 값을 가진다고 가정한다. $f_k = T(d_k)$는 출력공간의 퍼지 집합에서 k번째 데이터의 포함정도를 표현한다. 여기서 f_k의 값은 0과 1사이의 소속 값을 생성시킨다. 이러한 특성에 의해 소속 행렬의 요구 조건을 수정하면 다음 식과 같다.

$$U(f) = \left\{ \begin{array}{l} u_{ik} \in [0,1] | \sum_{i=1}^{c} u_{ik} = f_k \, \forall \, k \\ \text{and } 0 < \sum_{k=1}^{N} u_{ik} < N \end{array} \right\} \tag{2.8}$$

수정된 소속행렬 U는 다음과 같이 표현되어진다.

$$u_{ik} = \frac{f_k}{\sum_{j=1}^{c} \left(\frac{\| x_k - c_i \|}{\| x_k - c_j \|} \right)^{\frac{2}{m-1}}} \tag{2.9}$$

여기서 $m \in [1, \infty]$은 가중치 지수이며, 일반적으로 m=2를 사용한다. 컨텍스트는 f_k를 얻기 위해 출력변수의 영역에 균등하게 분포되어진 사다리꼴 소속 함수를 통해 발생되어진다. 그림 2.7에서 보는 바와 같이 소속 함수는 0.5의 소속 값에서 겹쳐지도록 생성되었으며, 출력공간에서 균등히 분포된 삼각형 혹은 사다리꼴 소속 함수에 의해 발생되어진다. 컨텍스트 기반 퍼지 클러스터링(Context based Fuzzy C-Means(CFCM)) 알고리즘의 수행 순서는 다음과 같다.

[단계 1] 언어적인 컨텍스트의 수와 각 컨텍스트에서 발생되어질 클러스터의 수를 선택한다. 0과 1사이의 임의의 값을 가진 소속행렬 U를 초기화한다. 간소성을 위해 각 컨텍스트에서 클러스터의 수는 동일하다고 가정한다.

[단계 2] 출력공간에서 균등하게 분포된 사다리꼴 소속 함수에 의해 언어적인 컨텍스트를 생성시킨다.

[단계 3] 각 컨텍스트에서 클러스터 중심을 다음과 같이 계산한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

$$c_i = \frac{\sum_{k=1}^{N} u_{ik}^m x_k}{\sum_{k=1}^{N} u_{ik}^m} \tag{2.10}$$

여기서 소속 값 u_{ik}는 식에 의해서 구해진다.

[단계 4] 목적함수는 다음 식과 같이 계산되며, 만약 이전 반복을 통해 얻어진 개선정도가 어떤 임계치보다 적은 값이라면 멈춘다.

$$J = \sum_{i=1}^{c} \sum_{k=1}^{N} u_{ik}^m d_{ik}^2 \tag{2.11}$$

$$|J^p - J^{p-1}| \leq \epsilon \tag{2.12}$$

여기서 d_k는 I번째 클러스터 중심과 k번째 데이터 포인트 사이의 유클리디안 거리를 나타내며 p는 반복 횟수를 나타낸다.

[단계 5] 식에 의해 새로운 소속행렬 U를 계산하고 [단계 3]으로 간다.

그림 2.8은 컨텍스트 기반 퍼지 클러스터링의 개념도를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 언어적인 컨텍스트의 수와 각 컨텍스트에서 클러스터의 수는 각각 p=5와 c=2를 나타낸다.

제 4절 구간 기반 퍼지 C-means 클러스터링

이 절에서는 구간 기반 퍼지 클러스터링에 대해서 기술한다. 출력 공간에 형성되는 구간 정보 입자는 그림 9와 같이 입력 공간에 나타나는 정보 입자의 모음을 형성한다. 그렇기 때문에 정보입자는 전체 모델에서 중요한 기능을 한다. 구간을 구성하는 방법으로는 몇 가지 방법이 존재한다. 첫 번째 방법은 그림 2.10(a)처럼 균등한 구간을 가지게 한다. 출력 공간의 범위를 동일한 크기의 길이로 분할하여 구간을 만든다. 이 방법은 간단한 반면 데이터의 특성을 반영하지 않는다. 두 번째 방법은 확률 균등 구간을 가지게 한다. 구간은 각 구간마다 동일한 수의

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

데이터를 포함하도록 형성된다. 즉, 이 영역에 많은 수의 데이터가 있으면 구간이 상대적으로 좁고 데이터의 농도가 낮으면 넓어진다. 이 방법도 입력 데이터의 특성을 반영하지는 않는다. 출력 공간에만 초점을 맞추고 입출력 관계를 고려하지 않는다. 마지막으로 그림 2.10(b)와 같은 확률 균등 분할 방법이 있다. 입출력 종속성을 모델링하는 방식으로 모델을 형성하여 구간을 확률 균등 분할한다.

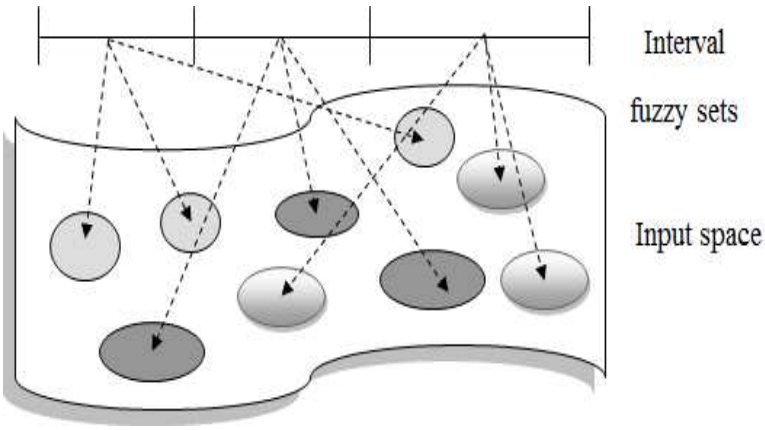


그림 2.9 구간 기반 클러스터링

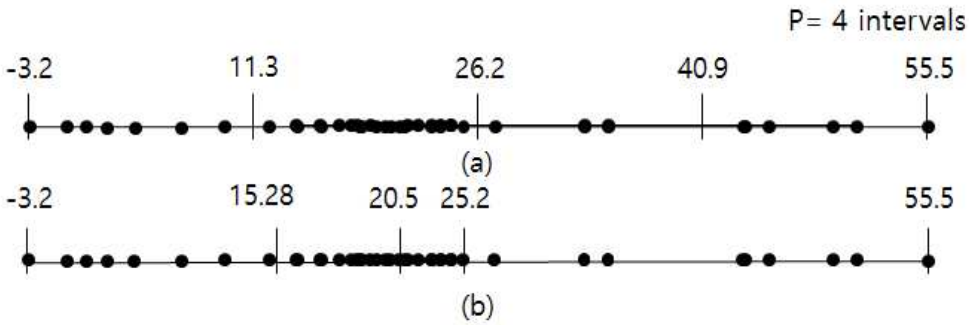


그림 2.10 출력 정보 집합의 구성을 적용한 구간 방법.
(a) 균등하게 구간을 나눔, (b) 확률 균등 방법으로 구간을 나눔

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제3장 클러스터링 방법을 통한 입자모델 구축

제 1절 컨텍스트 기반 입자모델

2장 3절에서와 같이 Pedrycz가 도입한 CFCM을 사용하고 퍼지 입자를 사용하여 동질성을 유지한다. 전제부의 파라미터는 CFCM에 의해 얻어진 클러스터 중심에 의해 얻어진다. 출력공간에서 생성된 언어적인 컨텍스트는 그림 3.1에서 보는 바와 같이 결론부의 파라미터가 된다. 각각의 컨텍스트는 활성화 레벨 이후에 합산되는 클러스터들을 생성한다. 이러한 클러스터는 컨텍스트 기반 퍼지 클러스터링에 의해 추정된다.

결과적인 모델의 추론 값 Y는 다음과 같이 퍼지 수에 의해 계산되어 진다.

$$Y = \sum_{\oplus} W_t \otimes z_t \tag{3.1}$$

여기서 일반화된 덧셈과 곱셈의 기호($\oplus, \otimes$)는 정보입자를 강조하기 위해 사용되어진다. 이러한 구성 요소는 그림3.1과 같이 표현 할 수 있다. 이렇게 하면 퍼지 신경 네트워크에 도달하게 됩니다. 네트워크는 처리과정에서 실제 퍼지 집합을 생성합니다. 그림 3.1의 아키텍처는 유도된 클러스터에 의해 형성된 단일 은닉 층을 포함한다는 것을 기억해야 한다. 숨겨진 레이어와 출력 레이어 사이의 연결은 언어적이며 이전의 클러스터링 용도로 사용된 컨텍스트이다. 출력 레이어에서 완료된 합계는 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$\begin{aligned} Y = & (z_{11} \otimes A_1 \oplus z_{12} \otimes A_1 \oplus \cdots \oplus z_{1n1} \otimes A_1) \\ & \oplus (z_{21} \otimes A_2 \oplus z_{22} \otimes A_2 \oplus \cdots \oplus z_{2n2} \otimes A_1) \\ & \oplus (z_{c1} \otimes A_c \oplus z_{c2} \otimes A_c \oplus \cdots \oplus z_{cn_c} \otimes A_c) \end{aligned} \tag{3.2}$$

여기서 가산 $\oplus$ 및 곱셈 $\otimes$는 퍼지 산술의 표준 기술을 사용하여 완성된다. 컨텍스트가 삼각형 퍼지 숫자로 지정된 경우 다음 식과 같이 표현한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

$$A_i = (a_{i-}, a_i, a_{i+}) \tag{3.3}$$

이 세 숫자가 A_i의 하위, 모델 및 상위 경계를 나타내는 경우 네트워크의 출력은 개별 컨텍스트의 경계를 기반으로 계산된 경계를 갖는 삼각형 퍼지 수 $Y = (y_-, y_m, y_+)$이다. 퍼지 계산은 기본 사항을 따른다. 다변수의 경우 이들을 사용하여 퍼지 수의 매개 변수를 얻는다.

1) 하한

$$\begin{aligned} y_- = &(z_{11}a_1 + z_{12}a_{1-} + \cdots + z_{1n1}a_1) \\ &+ \cdots + (z_{c1}a_{c-} + z_{c2}a_{c-} + \cdots + z_{cnc}a_{c-}); \end{aligned} \tag{3.4}$$

2) 모델 값

$$\begin{aligned} y_m = &(z_{11}a_1 + z_{12}a_1 + \cdots + z_{1n1}a_1) \\ &+ \cdots + (z_{c1}a_c + z_{c2}a_c + \cdots + z_{cnc}a_c); \end{aligned} \tag{3.5}$$

3) 상한

$$\begin{aligned} y_+ = &(z_{11}a_1 + z_{12}a_{1+} + \cdots + z_{1n1}a_{1+}) \\ &+ \cdots + (z_{c1}a_{c+} + z_{c2}a_{c+} + \cdots + z_{cnc}a_{c+}); \end{aligned} \tag{3.6}$$

컨텍스트 기반 퍼지 클러스터링이 수행 될 때 소속 행렬은 퍼지 파티셔닝을 수행하기 위해 0과 1사이의 값을 가지는 요소를 가질 수 있다. 그러나 데이터 집합에 대한 합계는 항상 다음과 같이 1과 같지 않다.

$$U(f) = \left\{ \begin{array}{l} u_{ik} \in [0,1] | \sum_{i=1}^{c} u_{ik} = f_k \forall k \\ \text{and } 0 < \sum_{k=1}^{N} u_{ik} < N \end{array} \right\} \tag{3.7}$$

여기서는 특정 상황에서 k번째 데이터의 소속 등급이다. 컨텍스트는 출력 공간의 도메인을 따라 배치된 일련의 삼각형 소속 함수를 통해 생성된다. 이 클러스터링은 단계 [2][3]를 사용하여 클러스터 센터와 소속 등급을 결정한다.

[단계 1] 컨텍스트의 개수와 각 컨텍스트에서 클러스터 수를 선택하고, 0과 1 사이의 임의의 값으로 소속 행렬 U를 초기화 한다. 여기서는 컨텍스트 당 클러스

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

터 수가 2에서 6으로 증가함에 따라 클러스터링이 수행된다.

[단계 2] FCM 클러스터링과 유사한 방식으로 컨텍스트 당 클러스터 센터를 추정한다. 그러나 식 (3.8)은 기존의 FCM 클러스터링 알고리즘과는 달리 중요한 역할을 한다.

$$c_i = \frac{\sum_{k=1}^{N} u_{ik}^m x_k}{\sum_{k=1}^{N} u_{ik}^m} \tag{3.8}$$

$$u_{ik} = \frac{f_k}{\sum_{j=1}^{c} \left(\frac{\| x_k - c_i \|}{\| x_k - c_j \|} \right)^{\frac{2}{m-1}}} \tag{3.9}$$

[단계 3] 목적 함수를 계산한다. 여기서 목적 함수는 FCM 클러스터링 알고리즘과 동일하다. 이전 반복에 대한 개선이 정해놓은 임계 값 미만이면 중지한다.

[단계 4] 새로운 소속 행렬을 계산한다. [단계 2]로 이동한다.

그림 3.1은 컨텍스트 기반 입자 모델의 구조를 보여주고 있다. 구조에 대해서 설명하면 Layer 0은 데이터 입력을 나타내고 있으며, Layer 1은 컨텍스트와 관련된 모든 클러스터의 활성화 레벨 집합을 나타내고 있다. Layer 2에서 컨텍스트 집합에 대한 조건부 클러스터링을 실현하고 있다. Layer 1과 Layer 2 는 서로 연결되어 있어서 컨텍스트가 주어지면 클러스터링은 구조에서 직접 검색하여 정보를 사용한다. 입자 모델의 구조는 이 두 가지 주요 개발 단계를 반영한다. 컨텍스트는 조건부 퍼지 클러스터링을 호출하고, 안에서는 입력 공간에 분산된 퍼지 관계를 생성한다. 각 컨텍스트마다 몇 개의 클러스터를 만든다. 활성화 레벨은 네트워크의 첫 번째 단계에 있고, 합계 노드의 수는 컨텍스트 수와 같다. Layer 3은 출력 레이어로 단일 입자화 된 뉴런으로 구현된다.

그림 3.2는 구간 기반 입자 모델의 구조를 보여주고 있다. 컨텍스트 기반 입자 모델 내용에서 컨텍스트 기반으로 진행했던 부분을 구간 기반으로 진행하는 점만 다르다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

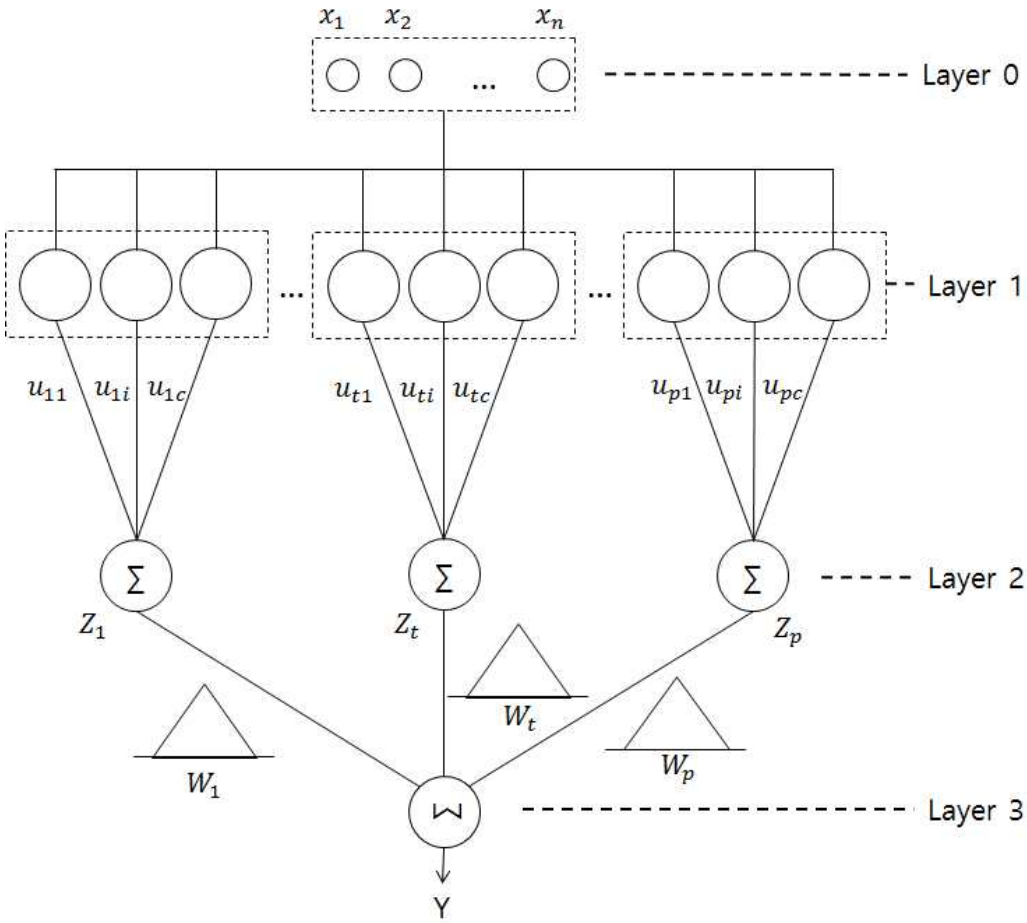


그림 3.1 컨텍스트 기반 입자 모델의 구조

제 2절 구간 기반 입자모델

이 절에서는 말하는 입자 모델은 정보 입자 주위에 구조화되어 있으며 구조적인 관점에서 연결된 정보 입자의 네트워크로 발생한다. 모델의 일반적인 토폴로지가 그림 3.2에 나와 있다. 출력 공간에 위치한 $W_1, W_t, ..., W_p$의 형태로 정보 입자의 모음이 있다. $W_h = [W-h, W+h], h = 1, 2, ..., p$는 h번째 구간의 하한선과 상한선을 나타내며, p는 구간 수이다. 이러한 구간은 출력 구간의 분할을 형성한다. 즉, 구간이 쌍을 이루지 않고 전체 출력 공간을 포함한다. 각 W_h는 입력 공간에 투영되고 모델의 구조에 첫 번째 레이어에 있는 R_n의 정보 입자 컬렉션을 반사한

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

다. 여기서 R은 실수의 집합이고 n은 입력 데이터, 일반적으로 각 W_h에 대해 $c_1, c_2, ..., c_p$와 같이 특정수의 클러스터가 형성될 수 있다.

이 모델에는 두 가지 중요한 핵심 기능이 있다. 첫째, 입력과 출력 공간 모두에서 정보 입자 모음으로 구축되며 입력 공간의 입력 인자는 출력 정보 입자에 의해 직접 유도 된다. 둘째, 모델에 의해 생성된 결과는 수치보다 입자화 되어 있다. 이러한 모델에 의해 실현된 컴퓨팅을 살펴봄으로써 명백해진다.

임의의 숫자 입력 데이터 x_n은 입력 정보 입자를 활성화 하여 해당 소속도를 생성한다. 동일한 출력 간격에 의해 암시된 퍼지 집합에 의해 생성된 x_n $Z_t(x_n) = \sum_{i=1}^{c} u_{nti}$로 합산된다. 여기에서 u_{nti}는 n번째 입력 데이터에 대한 t번째 컨텍스트에서 i번째 소속도이며 n번째 구간에 대한 전체 활성화 레벨이 $Z_t(x_n)$이다. 후속 작업에서 부분 결과의 합계는 다음과 같이 수행된다. 여기서 $Z_t(x_n)$과 $W_t(x_n)$은 이들 변수가 입력 데이터 x_n에 종속됨을 나타낸다. 시스템 모델링에서 입자화된 퍼지 모델은 입출력 데이터 쌍(x_n, Y_n)의 집합으로 나타나는 특정 데이터에 기초하여 구성된다. 여기서 $x_n \in R_n$과 $Y_n \in R_n$이다. 출력 공간에서 정보 입자의 형성은 일부 최적화 기준에 의해 진행된다. 정보 입자가 형성이 되면 입력 공간에 정보 입자 계열을 유도하게 된다. 클러스터는 규칙의 조건 부분을 형성하는 반면 출력 공간의 구간은 규칙의 결론 부분에 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

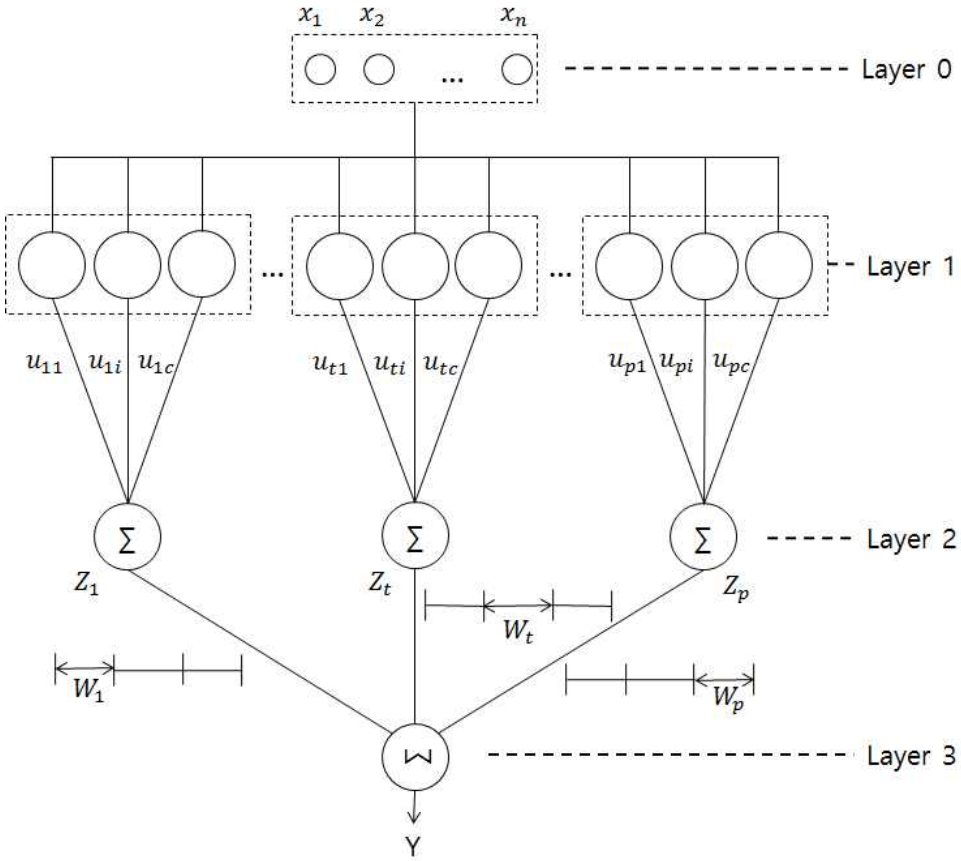


그림 3.2 구간 클러스터링 기반 입자 모델의 구조

제 3절 방사 기저 함수 입자 모델

RBFN(Radial Basis Function Network)은 하나의 은닉 층을 가지는 계층형 신경망과 같은 구조로 되어있다. 신경망에서 유클리드 거리를 이용하는 경우 그림 3.3과 같이 활성화 함수로 시그모이드 함수 대신에 가우시안 함수를 사용하게 되면 RBF(Radial Basis Function)가 된다. 간단히 말하게 되면 가우시안 함수 형태의 기저 함수들의 유한개 선형 결합 형태로 표현된 신경회로망이 RBFN이다. 은닉층 처리요소에 대하여 비선형적이고 정적인 가우시안 함수를 취하고 있으므로 가우시안 분포의 중심으로부터 좁은 범위의 입력 공간에서만 반응을 한다. 그렇기 때문에 신경망에 RBF를 적용하기 위해서는 가우시안 함수로부터 적절한 중심을 찾

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

는 것이 중요하다.

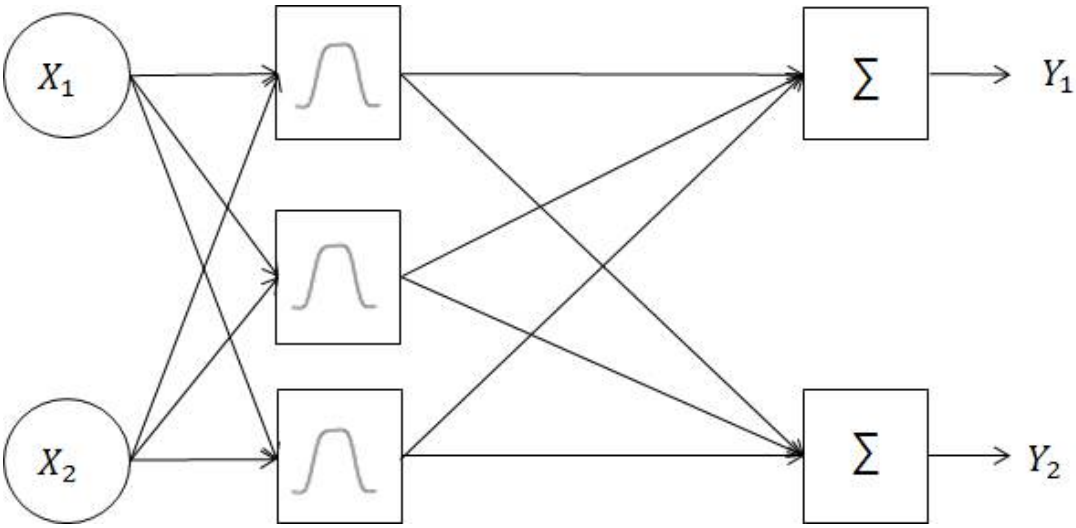


그림 3.3 일반적인 RBFN의 구조

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제4장 점증적인 입자모델 구축

제1절 클러스터링 기반 점증 입자 모델

점증적인 입자 모델의 기본 설계는 그림 4.1과 같이 2가지의 단계가 있다. 선형 회귀의 개발은 회귀 부분에 의해 생성된 오차를 제거하기 위해 로컬 입자 규칙 기반 구조 생성에 뒤를 이은 것이다. 선형 회귀 모델은 $z(k)=L(x;b)=a^T x(k)+a_0$의 표준 형식으로 제공되며 여기서 회귀 평면의 계수 값은 최소 오차 자승법을 통해 결정된다. 모델의 성능향상은 잔여 부분이 선형 모델의 오류를 나타내는 $e(k)=target-z(k)$ 표현을 통해 나타나는 변형된 데이터 $x(k),e(k),k=1,2,...,N$를 기반으로 합니다. 계속해서 이러한 데이터 쌍을 사용하여 모델의 점진적인 입자 규칙 기반 부분을 개발합니다. 데이터의 특성을 감안할 때, 모델의 규칙 기반 보강은 입력 데이터에 "입력 후 오류" 규칙의 형태로 선형 회귀 모델에 의해 생성된 오류를 연관시킵니다. 규칙 및 정보 입자는 컨텍스트 기반 클러스터링을 통해 구성됩니다.

컨텍스트 기반 클러스터링 방법은 3장 1절에서 소개된 내용과 상동하며 점진적인 입자 모델링의 전반적인 설계 과정을 살펴보면 다음과 같다. 두 함수 모듈이 어떻게 작동되는지 그림 4.1에서 보여주고 있다. 모델링 환경의 초기 설정은 다음과 같다. 모델 개발에 사용되는 정보의 입자화, 즉 컨텍스트의 수 및 각 컨텍스트에 대해 형성된 클러스터의 수를 결정합니다. 마찬가지로 컨텍스트 기반 클러스터링의 매개 변수, 특히 퍼지화 계수의 값을 결정합니다. 가중 유클리디언 거리의 선택은 합법적인 설계 대안이다.

[단계 1] 입출력 공간에서 선형 회귀의 설계, $z=L(x;b)$ 와 b는 회귀 초평면의 벡터, $b=[aa_0]^T$. 형성된 원래의 데이터 세트에 기초하여, 입력 오차 쌍, (x_k, e_k)의 집합이 생성되며, 여기서 $e_k=target-L(x_k, a)$이다.

[단계 2] 회귀 모형 $E_1,E_2,...,E_p$의 오차 공간에서 컨텍스트 퍼지 집합을 구축한다. 이 퍼지 집합의 분포는 퍼지 균등화를 사용하여 최적화되지만 퍼지 집합은 인근 퍼지 집합 사이에 0.5 중첩을 갖는 삼각형 멤버 함수로 특징

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

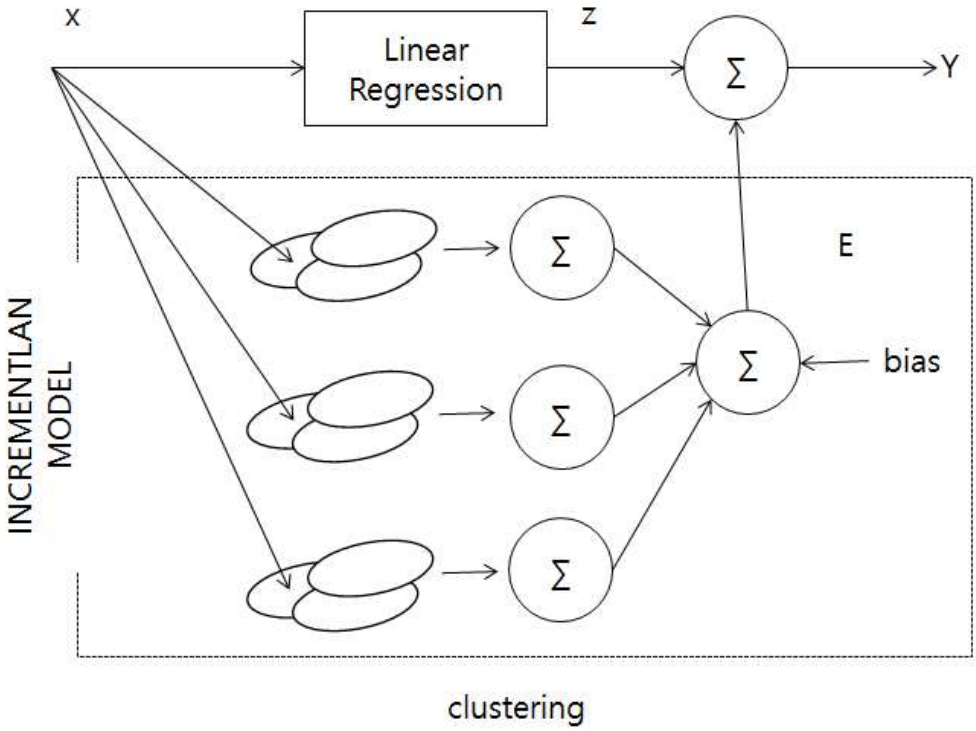


그림 4.1 점증적인 입자모델

지어진다.

[단계 3] 컨텍스트 기반 FCM은 입력 공간에서 완료되고 개별적인 퍼지 집합에 의해 유도됩니다. 컨텍스트 당 'p' 컨텍스트와 'c' 클러스터의 일 때, c x p 클러스터가 있다.

[단계 4] 해당 컨텍스트에 의해 유도된 클러스터 활성화 레벨의 합계와 삼각형 퍼지 수 출력으로 이어지는 컨텍스트의 퍼지 집합에 의한 가중을 통한 전체 집계 $E=F(x;E_1,E_2,...,E_p)$ 여기서 'F'는 점진적인 입자 모델에 의해 실현된 전체 변환을 나타냅니다. 또한 수치 바이어스 용어를 추가하여 결과의 최종 체계적 이동을 제거했다. 이 두 함수 모듈은 그림 4.1에서 보여주고 있다.

[단계 5] 점진적인 모델의 입자 결과는 선형 부분의 출력과 결합됩니다. 결과는 시프트 된 삼각형 수 Y이다, $Y=z\oplus E$.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제2절 점증적인 방사기저함수 입자 모델

이 절에서는 제안된 점증적인 방사기저함수(Incremental RBFN) 입자모델의 두 가지 필수 단계를 기본 원칙을 다룬다. 먼저, 데이터의 선형 부분을 포착하는 부분으로 표준 LR을 설계한다. 다음으로, 로컬 RBFN은 모델의 희귀 부분에 의해 생성된 오류를 제거하도록 설계되었다.

그림 4.2는 전역적인 부분을 LR로 로컬 RBFN의 조합을 통한 비선형 관계 및 모델링의 예를 보여준다. 그림 4.2에 보여진 바와 같이 LR은 2개의 로컬 영역을 제외하고 양호한 매칭을 나타낸다. 나머지 영역은 CFCM 클러스터링 알고리즘을 통해 정보 입자를 사용하여 로컬 RBFN에 의해 예측된다. 그림 4.3는 제안된 IRBFN의 설계에서 실현된 프로세싱의 구조와 전반적인 흐름을 보여준다. 다음은 IRBFN의 설계 과정을 단계별로 설명한다.

IRBFN은 다음 과 같은 단계로 이뤄진다.

[단계 1] 입출력 공간에서의 선형 회귀 모델의 설계, 선형 모델의 회귀 초평면의 벡터를 나타낸다. 따라서 LR을 전역 모델로 사용하여 예측된 결과를 얻는다. 원래의 데이터 세트에 기초하여 입력-에러 쌍들의 집합($X_k e_k$)이 형성된다.

[단계 2] 회귀 모델의 에러에서 컨텍스트 구축($E_1, E_2, ..., E_p$). 여기서 p는 컨텍스트의 수이다. 이 퍼지 집합의 분포는 통계적 방법을 통해 얻어진다. 컨텍스트는 이웃 퍼지 집합 사이에 0.5의 중첩을 갖는 삼각형 멤버 함수로 이뤄진다.

[단계 3] CFCM 클러스터링은 에러에서 생성된 컨텍스트로부터 입출력 공간이 완성된다. 얻어진 클러스터 중심은 국소 RBFN의 설계에서 수용 필드의 중심으로 사용된다. 각 컨텍스트에 대한 p 컨텍스트와 c 클러스터의 경우 숨겨진 계층에 있는 노드의 수는 $c \times p$이다.

[단계 4] 로컬 RBFN 설계시 산출량을 산출, RBFN의 최종 출력은 다음과 같이 각 수용 필드와 관련된 출력 값의 가중 합계이다.

$$o = \sum_{i=1}^{c \times p} w_i c_i \qquad (4.1)$$

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

수용 필드 함수는 고정되어 있으며 출력 계층의 가중치는 LSE(Least Square Extimate) 및 BP(Back-propagation)에 의해 직접 추정된다. 이러한 방법은 RBFN과 함께 자주 사용되는 가장 대표적인 기법으로 알려져 있다. 변화하는 환경에 대처하기 위해 RBFN의 아키텍처를 배우고 적응시키려면 RBFN 설계에서 방사형 기저함수 및 출력 가중치의 중심을 조정하는 최급강하법을 사용하면 BP학습이 필요하다. 그렇지 않으면 LSE를 사용하여 원스텝 추정으로 출력 정치를 얻을 수 있다. 본 논문에서는 LSE 방법만을 사용한다.

[단계5] 제안된 IRBFN의 최종 출력을 계산한다. IRBFN의 입자화된 결과는 선형 부분의 출력과 결합한다.

$$Y = z + E \tag{4.2}$$

전체 성능을 평가하기 위해 다음과 같이 정의된 평균 제곱 평균 오차를 사용한다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}(Y_k - y_k)^2} \tag{4.3}$$

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

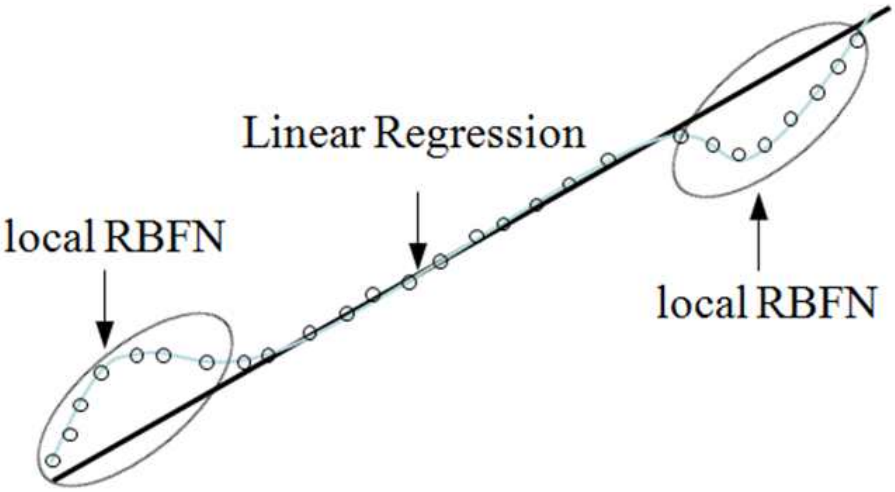


그림 4.2 LR과 로컬 RBFN의 조합을 통한 점증적인 RBFN 설계
(o : 데이터 포인트)

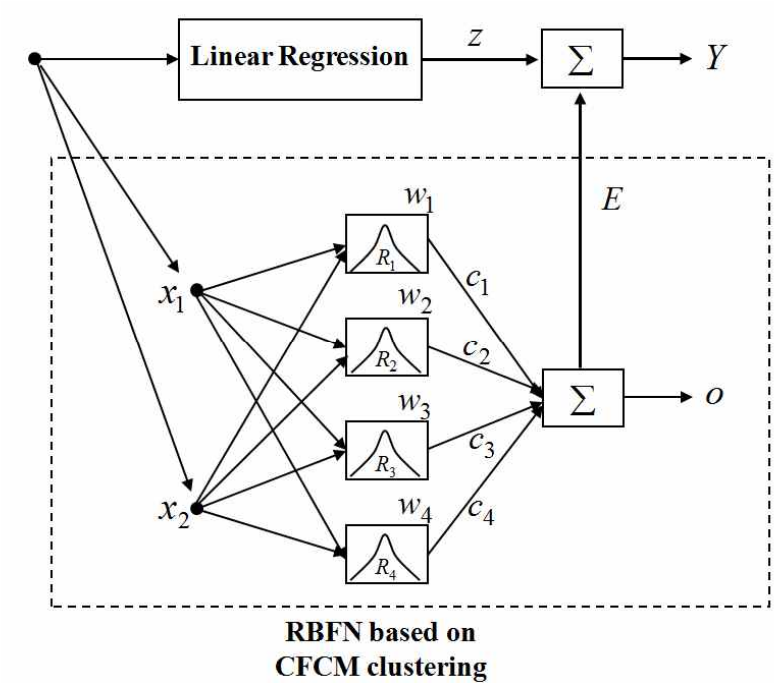
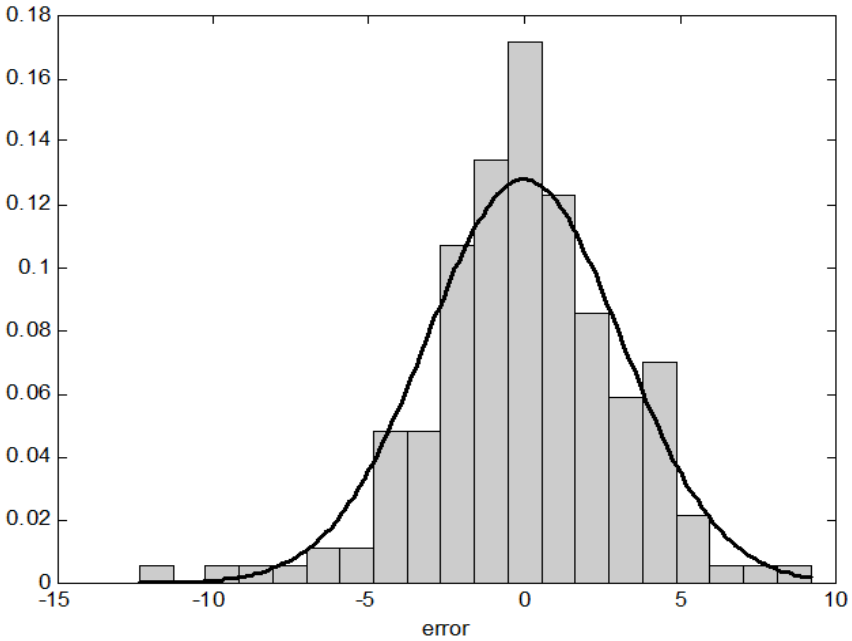


그림 4.3 IRBFN 모델의 아키텍처

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

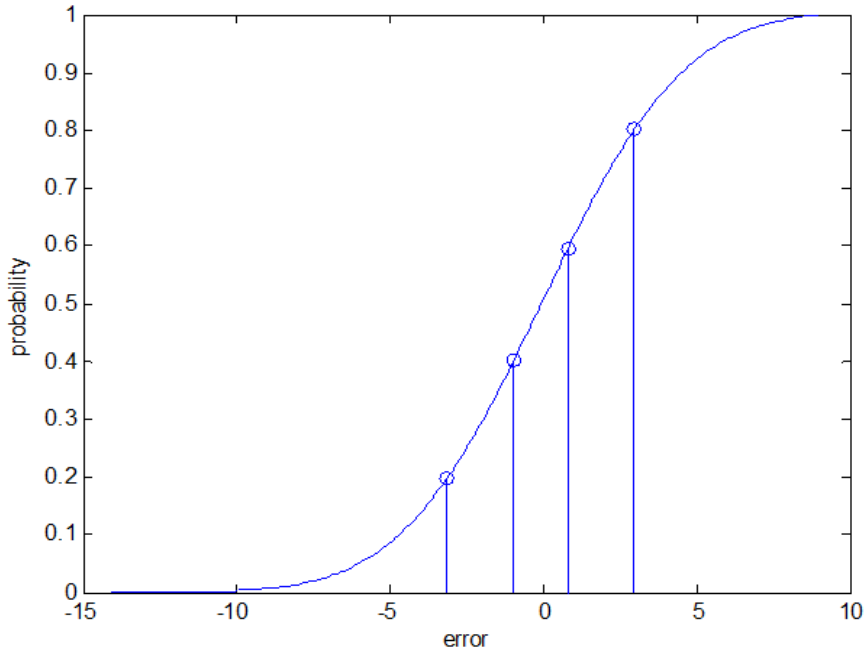
기존의 방법에서 f_k를 얻기 위한 언어적인 컨텍스트는 일련의 삼각 소속 함수를 통해 생성되었으며, 출력 변수의 도메인을 따라 동일한 간격으로 배치되었다. 그러나 일부 언어적인 컨텍스트에 포함된 소량의 데이터로 인해 데이터 부족 문제가 발생할 수 있다. 따라서 유연한 언어적인 컨텍스트를 얻기 위해 출력 변수의 확률 분포를 사용한다. 이를 위해 그림 4.4와 같이 히스토그램, 확률 밀도 함수(Probability Density Function: PDF) 및 조건부 밀도 함수(Conditional Density Function: CDF)를 기반으로 오류 공간에 언어적인 컨텍스트가 자동으로 생성된다. 그림 4.5는 컨텍스트 기반 클러스터링의 개념과 p=3 과 c=[2 3 3]에 대한 점증적인 모델의 청사진의 예를 보여준다. 여기서 p는 언어적인 컨텍스트의 수이고, c는 각 컨텍스트에서 클러스터 중심의 수이다. 오류 공간에서 형성된 언어적인 컨텍스트의 역할은 전체 모델의 형성에 필수적이다. 그림 4.4와 그림 4.5에서 알 수 있듯이 정보 입자는 언어적인 컨텍스트와 컨텍스트 기반 클러스터링을 기반으로 출력 데이터의 특성을 반영한다는 것을 알 수 있다. 또한 소속 함수는 정보 입자의 입자 수준과 숫자 데이터 집합에 대한 모델의 성능을 평가하는 데 사용되는 숫자 값 사이의 오류 없는 변환 메커니즘을 지원하는 방식으로 선택된다.



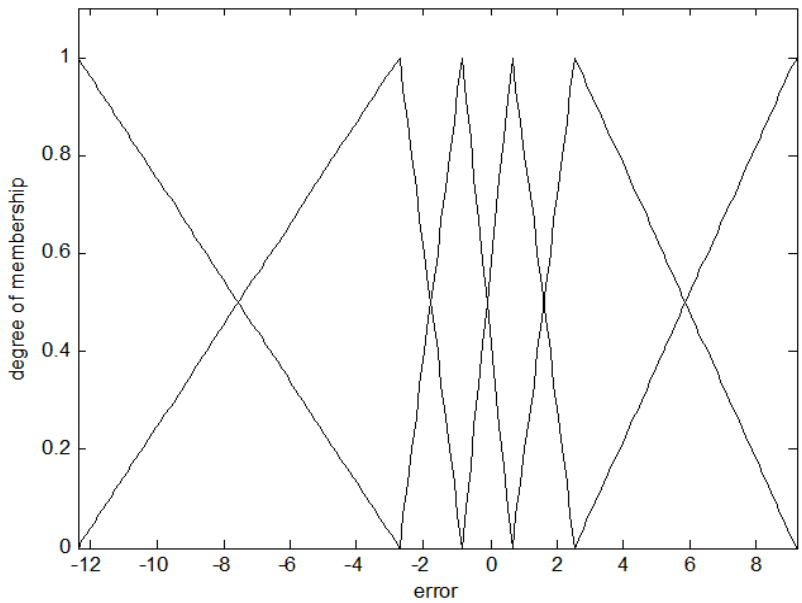
(a) 히스토그램과 PDF

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(b) CDF



(c) 언어적인 컨텍스트

그림 4.4 언어적인 컨텍스트 생성(p=6)

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

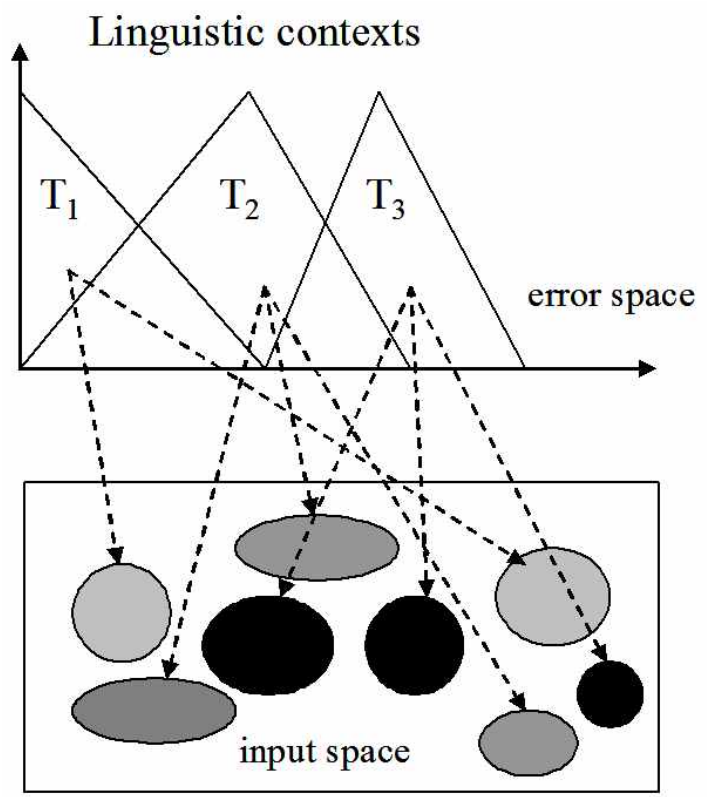


그림 4.5 컨텍스트 기반 클러스터링의 개념
(p=3, c=[2 3 3])

앞선 방법에서는 전역적인 모델을 LR을 통하여 예측된 결과를 얻었다. 보다 더 좋은 성능을 도출하기 위하여 2차 다항식을 이용하여 전역적인 모델을 예측하고 로컬부분은 RBFN을 설계하여 얻어서 사용하였다. 그에 대한 부분은 그림 4.6과 같다. 전역적인 모델로 LR을 사용하지 않고 2차 다항식을 이용한 부분만이 다른 형태를 취한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

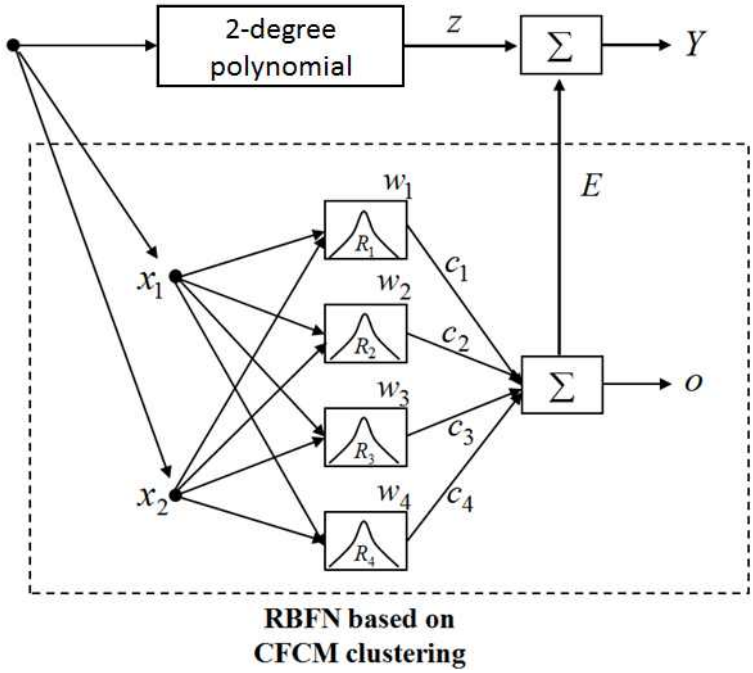


그림 4.6 전역적인 모델로 2차 다항식을 사용한 IRBFN 모델의 아키텍쳐

본 논문에서는 그림 4.4와 같이 자동적으로 언어적인 컨텍스트가 생성되면서 일련의 규칙 생성에 직접적으로 도움을 준다. 일반적으로 사용되는 규칙과는 달리 입력 공간과 오류 공간 사이의 연결을 포함한다. 예를 들면, 그림 4.7과 같은 컨텍스트가 생성되고 각 컨텍스트에 해당하는 입력과 결과에 대한 규칙이 생성된다. 이 규칙은 퍼지 클러스터링이 오류 공간의 정보 입자와 입력 공간에 구성된 퍼지 집합 사이의 명시적인 연관을 제공한다는 사실을 고려할 때 기존 모델을 기반으로 쉽게 만들 수 있다. 여기에서 규칙은 다음과 같다.

만약, 입력 공간의 영역이 A_1이면, 오류는 LN이다.

만약, 입력 공간의 영역이 A_2이면, 오류는 ML이다.

만약, 입력 공간의 영역이 A_3이면, 오류는 LZ이다.

만약, 입력 공간의 영역이 A_4이면, 오류는 MP이다.

만약, 입력 공간의 영역이 A_5이면, 오류는 LP이다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

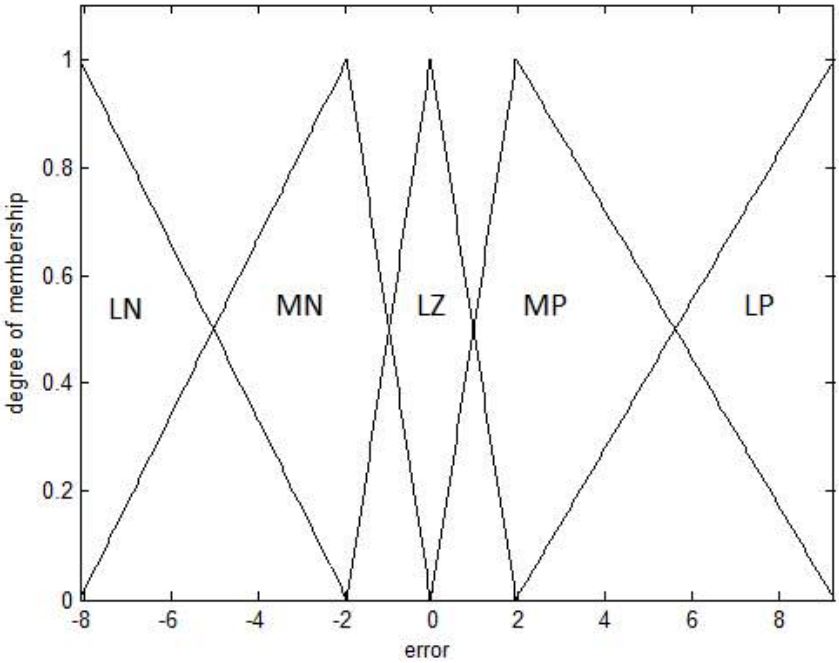


그림 4.7 퍼지 집합의 컨텍스트에 의해 생성된 언어적인 컨텍스트

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제5장 실험 및 결과

제 1절 성능평가 방법

본 논문에서는 일반적으로 사용되는 평균 제곱근 오차(RMSE:Root Mean Square Error)는 모델 성능을 측정하는 표준 통계 척도로 사용하였다. 그리고 퍼지 수 출력을 갖는 입자 모델에 적합한 새로운 성능지표를 사용하였다. 새로운 성능지표는 다양한 실세계 응용문제에 적용하여 정당화 가능한 입자성의 원리를 실현가능한지 분석 및 평가를 하게 된다. 먼저 간략하게 RMSE 방법을 설명하고 정당화 가능한 입자성의 원칙에 대해서 자세하게 설명한다.

1. 평균 제곱근 오차(Root Mean Square Error)

평균 제곱근 오차(RMSE: Root Mean Square Error)는 모델 성능을 측정하는 표준 통계 척도로 사용되었다. 그리고 평균절대 오차(MAE: Mean Absolute Error) 또한 모델 평가에 널리 사용되는 유용한 방법이다. RMSE는 추정 값 또는 모델이 예측한 값과 실제 환경에서 관찰되는 값의 차이를 다룰 때, 흔히 사용하는 척도이다. RMSE의 식은 다음과 같다.

$$\mathrm{RMSE}(\theta_1,\theta_2) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_{1,i} - x_{2,i})^2}{n}} \tag{5.1}$$

[단계 1] 오차의 제곱을 구하기

[단계 2] 오차 제곱의 평균 구하기

[단계 3] 오차 제곱 평균의 제곱근을 구하기

최종적으로 나온 제곱근을 취한 값이 RMSE 값이 됩니다. RMSE 값이 작을수록 성능이 좋다고 할 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 정당화 가능한 입자성의 원칙

정당화 가능한 입자성의 원칙(Pedrycz)[9]의 본질은 X 에 대한 의미 있는 표현이 아무리 하나의 개체가 선택된다고 해도 하나의 단일한 숫자 엔티티라기 보다는 특정한 정보 입자로서 실현될 수 있다는 것이다. 통계에 수행되고 있는 사례에서 확률적 정보 입자의 언어로 구현되는 이 원칙의 예를 들어 볼 수 있다. 수치 데이터의 샘플은 평균 또는 중간 값뿐만 아니라 표준편차에 의해서도 대표된다. 평균과 표준편차는 모두 예를 들면 정규분포와 같은 특정한 확률적 정보 입자의 실현을 의미한다. 확률적 정보 입자는 단지 수치데이터 컬렉션을 나타내는 정보 입자를 구성하는 가능성 중의 하나인 것이다.

정보 입자의 다른 형식주의 경우에는 해당 입자의 개발은 특정한 최적화 기준에 의해 진행된다. 일반적으로 두 개의 충돌하는 요구 사항이 있다. 하나는 충분히 높은 차원의 실험적 증거가 그 뒤에 누적되어 그 존재를 지원하는 정보 입자를 형성하는 것에 관한 것이다. 두 번째는 이러한 결과로 생겨나는 정보 입자의 높은 특수성을 유지하는 것에 관한 것이다.

다수의 일반적 사례를 논의함으로써 정보 입자의 실현에 관한 좀 더 상세한 알고리즘 내용으로 조심스럽게 들어가 본다. 다음은 구간 기반 정보 입자의 구성뿐만 아니라 퍼지 집합으로 표현된 정보 입자를 보여준다. 숫자 데이터의 구간 기반 정보 입자의 설계를 다음 그림에서 보여준다.

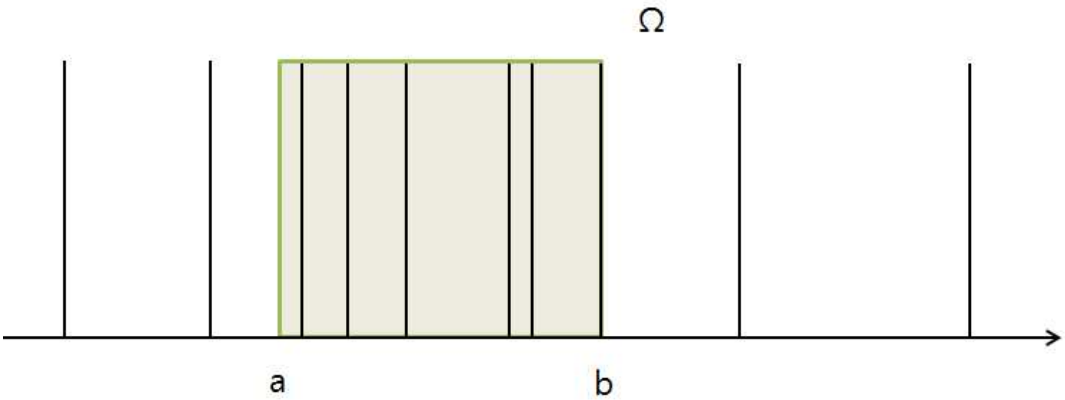


그림 5.1 정보 입자의 수치데이터 및 구간 형태에 대한 정당화 가능한 입자성의 원칙

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

다음과 같은 방식으로 숫자 구간 $\Omega(=[a,b])$의 범위를 설정한다. 즉, Ω의 한도 내에서 누적된 수치 증거를 될 수 있으면 높게 한다. Ω의 한도 내에서 속하는 데이터의 개수 즉 카드$X_k \in \Omega$를 최대로 카운팅 함으로써 이 요건을 수량화한다. 동시에 Ω를 지지하는 증거는 될 수 있으면 낮게 해서 Ω를 충분히 상세하게 만든다. 이 두 요구사항은 서로 충돌한다. 이를 하나의 기준으로 결합 가능한 방법은 다음과 같은 비율을 고려하는 것이다.

$$Q = \frac{card(X_k \in \Omega)}{supp(\Omega)} = \frac{card(X_k \in \Omega)}{|b-a|} \tag{5.2}$$

구간의 종점에 대해서 최대화 된 비율이 $\max_{a,b} Q$이다. 식 (5.2)를 수정하면 정보입자의 개발에 있어서 더 많은 유연성을 제공하는데, 구간 $|b-a|$의 길이의 감소함수는 $f(|b-a|)$이다. $f(|b-a|)$는 몇 가지 매개변수를 써서 Q의 최대화에 있어서 구간의 입자성의 영향을 제어하는데 도움을 준다. 예를 들면, 특정 매개변수가 양의 값을 갖는다고 가정할 때, $f(|b-a|) = \exp(-\alpha|b-a|)$라고 간주한다. 이와 관련된 성능 인덱스는 다음과 같다.

$$Q = card(X_k \in \Omega)\exp(-\alpha|b-a|) \tag{5.3}$$

여기서 숫자 데이터가 소속 값을 가지고 있다고 간주하고 구간 정보 입자를 설계한다. 즉, 쌍(X_k, μ_k)에 관심을 갖는다. 여기서 μ_k는 k번째 소속 값을 의미한다. 이러한 특정 설계 시나리오는 다음 그림에 묘사 된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

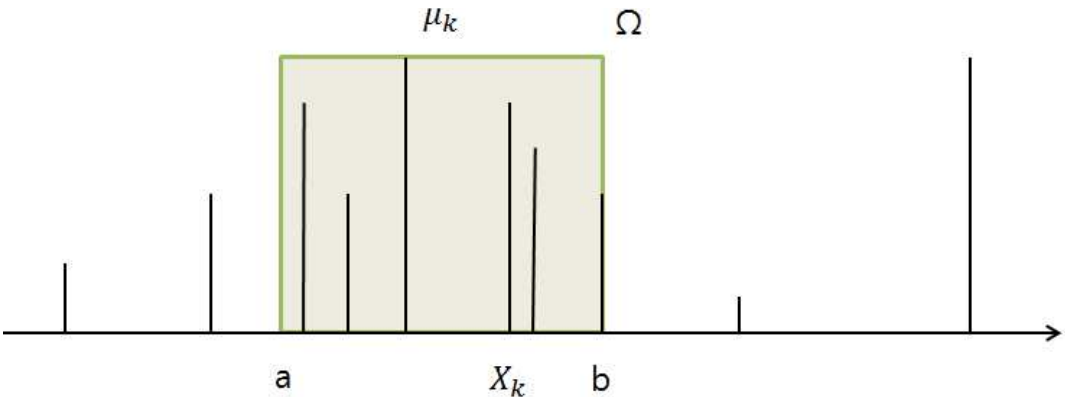


그림 5.2 소속 등급 및 정보 입자의 구간 형태의 수치데이터에 대한 정당화 가능한 입자성 원칙의 실현

위에서 논의한 것과 동일한 설계 개발이 여기에 적용된다. 각 데이터 포인트는 관련된 소속 값과 함께 나오므로, Ω내에 누적된 수치 증거는 계산에 포함되어서 Ω뒤에 누적된 실험적 증거에 기여하는 방식으로 계산되어야 한다. 증거의 $\alpha-sum$, 즉 $\sum_{x_k \in \Omega} \mu_k$를 결정한다. 이러한 결과는 다음과 같은 성능 인덱스의 극대화로 이어진다.

$$Q = \frac{\sum_{x_k \in \Omega} \mu_k}{supp(\Omega)} \tag{5.4}$$

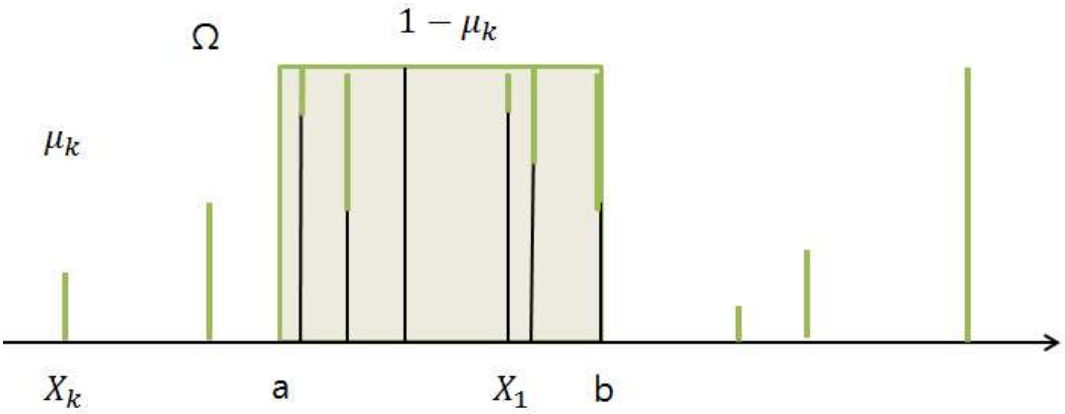


그림 5.3 소속 등급의 변경 기준의 최소화를 통해 실현된 구간 정보 입자의 설계

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

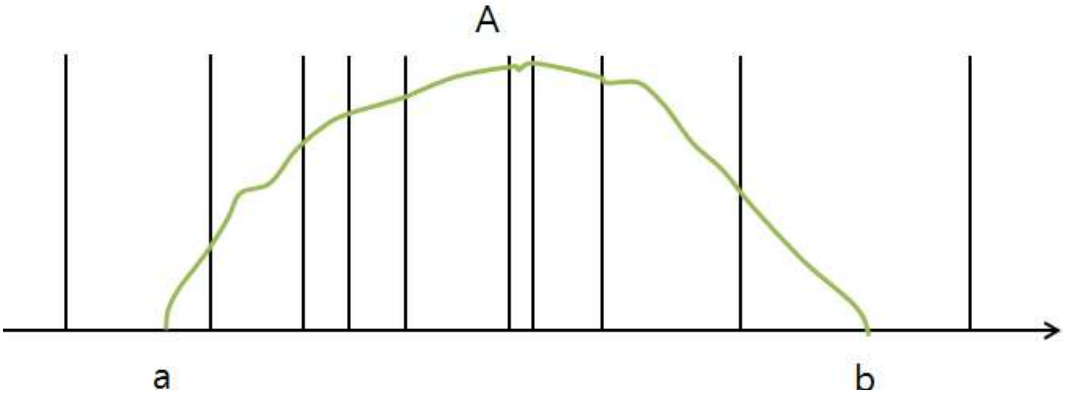


그림 5.4 정보 입자로 취급된 수치데이터 및 퍼지 집합에 대한
정당화 가능한 입자성 원칙의 실현

그렇지 않으면 정보 입자 Ω의 형성에 집중할 수 있다. 이는 해당 데이터의 소속 등급 변경의 최소화로 이어진다. X_k를 소속 μ_k로 Ω에 받아들이기 위해 소속 등급을 변경 시킬 필요가 있고 이러한 변경은 $1-\mu_k$와 같다. 마찬가지로, Ω로부터 X_k를 제외시키면 소속 값에서 이에 해당하는 변경은 μ_k이다. 그림 5.3을 보면 관심의 기준은 소속 등급에 대한 가능한 모든 변경의 합계이다. 소속 값의 변경이 가능한 낮게 되는 방식으로 Ω를 구성한다. 성능 인덱스는 다음과 같이 표시된다.

$$Q = \sum_{x_k \in \Omega} (1-\mu_k) + \sum_{x_k \in \Omega} \mu_k \tag{5.5}$$

또한, 그것의 최소화는 다음과 같이 정보 입자의 구간 형태로 이어진다.

$$Min_{a,b:\, a<b}\, Q \tag{5.6}$$

관심의 대상인 정보 입자는 구간이라기보다 하나의 퍼지 집합인 경우, 위의 고려사항은 정보 입자 A의 소속 등급에 대한 설명에 있어서 재검토가 이루어진다. 이러한 형태의 최적화는 그림 5.4에서 설명되어 진다. A의 모드 값의 위치는 데이터의 수치적 표현을 취함으로써 결정된다. 일반적으로 의미 있는 A에 도달하려면 소속 함수 A는 하나의 모드를 가질 필요가 있다. 어떤 유형의 퍼지 집합이 주어졌

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

을 때, 퍼지 집합의 스프레드의 최적화는 좌측 및 우측 스프레드에 독립적으로 실현된다. 여기서 고려된 성능 인덱스는 식 (5.2)의 수정된 버전이다. 즉,

$$Q = \frac{\sum_{k=1}^{N} A(X_k)}{supp(A)} \tag{5.7}$$

소속 함수의 고정된 형태를 고려할 때, 여기 매개변수 특성에 $Min_a Q$와 $Min_b Q$에 대한 2가지 최적화 문제가 존재한다. 매개변수가 향상된 버전을 도입함으로써 어떤 유연성이 문제에 추가될 수 있으며 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$Q = \frac{\sum_{k=1}^{N} A^{\gamma}(X_k)}{supp(A)} \tag{5.8}$$

여기서 $\gamma > 0$이다. $\gamma \in [0,1]$에 대해서 이러한 값들이 "inflated" 것이라는 의미에서 소속 값에 대한 강조가 덜 주어진다. $\gamma \to 0$인 경우 식 (5.7)은 정보 입자의 이전 구간 형태로 축소된다. 정당화 가능한 입자성의 원칙을 실현하는 알고리즘은 모두 수치데이터 컬렉션에 기반 하는 정보입자를 생성한다. 수치데이터 자체의 성격은 상당히 다를 수 있다. 여기서 두 가지 상황을 집중해서 살펴보면, 수치데이터는 시스템에 존재하는 어떤 변수를 측정함으로써 발생될 수 있다. 이 경우에는 정보 입자가 비수치 데이터로 처리되고 그런 다음 모델의 설계에 사용될 수 있고 다수의 수치데이터의 구조를 강조할 수 있게 된다. 수치데이터는 논의 공간의 특정 지점에서 보고된 몇 가지 퍼지 집합의 소속 값이다. 논의된 구조로부터 발생된 입자성 표현은 좀 더 높은 유형의 정보 입자인 타입-2 퍼지집합을 생성 시킨다. 여기서 형성된 정보 입자의 성격에 따라서 구간 값을 갖는 타입-2 퍼지집합 또는 일반 타입-2 퍼지집합에 도달한다. 정당화 가능한 입자성의 원칙은 함수의 경우에 사용될 수 있고, 그다음 입자성을 갖도록 만든다. 최적의 숫자 매핑 "f"를 가지고 입력 및 출력 데이터 (x_k, y_k)가 주어졌을 때, 그것의 입자성 매핑(granular mapping), 즉 구간과 비슷한 형태 (f, f_+)를 실현한다. 여기서 입자성의 수준은 한계 사이의 차이를 적분으로 표현한다. 목표는 가능한 많은 출력데이터를

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

커버하면서 가능한 적분 값을 낮추는 것이다.

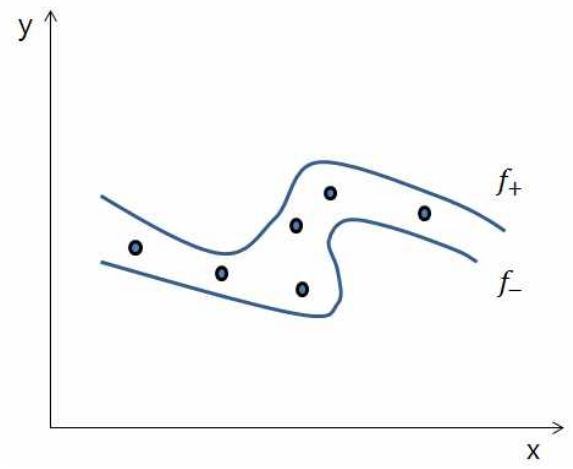


그림 5.5 정당화 가능한 입자성 원칙의 실현

위 내용을 간략히 정리하고 본 논문에서 사용한 방법을 간략히 나타내면 Q_1은 컨텍스트와 클러스터의 수에 관련되어지며, 모델 출력의 예측 정도를 나타내는 성능지표이다. Q_2는 퍼지 수의 길이와 관련되며, 길이에 따른 정보입자의 특이성을 나타낸다.

$$Q_1 = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{n} Y(d_k) \tag{5.9}$$

$$Q_2 = e^{-(l/L)} \tag{5.10}$$

$$PI = Q_1 \times Q_2 \tag{5.11}$$

여기서 l은 퍼지수 출력의 평균길이이며, L은 출력변수의 전체범위이다. $Y(d_k)$는 0과 1사이의 값이며, k번째 데이터에 대한 예측정도를 나타낸다.

성능 지표는 제안된 모델의 성능을 확인할 수 있는 지표이다. 본 논문에서 사용되는 정보 입자는 단일한 숫자 엔티티가 아닌 특이성을 가지고 있다. 표준편차를 일반화시킨 척도로서 단순히 실제 값과 추정 값의 차이가 얼마인지를 알려주는 RMSE 방법을 사용하는 것보다 그림 5.30이나 그림 5.31과 같은 형태의 출력을 나타내는 곳에서는 새로운 성능지표를 이용하여 모델 출력의 예측정도를 확인하게

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

되면 정보 입자가 포함하고 있는 컨텍스트, 클러스터의 수, 그리고 퍼지 수의 길이, 길이에 따른 정보입자의 특이성을 사용하기에 보다 의미가 있는 성능지표라고 할 수 있다.

제 2절 실험 및 결과

본 절에서는 제안하는 점증적인 입자 모델을 평가하기 위해 다양한 예측 데이터를 이용하여 각 데이터마다 성능을 비교 평가한다. 성능 평가로는 RMSE 방법과 입자 모델에 유용한 정당화 가능한 입자성의 원칙을 이용하여 성능을 측정한다. 실험에 사용된 데이터는 자동차 연비를 기록한 Auto-MPG 데이터, 보스턴시의 주택 가격에 대한 데이터, 전복 나이 예측 데이터, MIS(Medical Imaging System), 빌딩 냉난방 부하 예측데이터, 전기부하 예측 데이터이다. 먼저 UCI 데이터를 이용한 예측 성능과 그 후에 에너지 효율 및 전기 부하에 관련된 실험을 진행한다.

1. UCI Data

UCI 기계 학습 저장소(UCI Machine Learning Repository)는 기계 학습 알고리즘의 경험적 분석을 위해 기계 학습 공동체가 사용하는 데이터베이스, 도메인 이론 및 데이터 생성기를 모아둔 곳이다[142]. 이 자료실은 David Aha와 UC Irvine의 동료 대학원생이 1987년 FTP 자료실로 제작하였다. 그 이후로 전 서계의 학생들과 교육자 및 연구자들이 기계 학습 데이터 세트의 주요 소스로 널리 사용된다. 본 논문에서는 웹사이트의 371개의 많은 데이터 중에서 4개의 데이터를 사용하여 제안된 알고리즘의 성능 실험을 한다. 실험은 학습과 검증데이터를 임의로 60%-40%로 나누고 10번씩 반복적으로 실험을 수행한다. 입력과 출력 공간에서 구조의 입자성을 제어하는 두 가지 필수 매개 변수 p와 c를 사용하여 실험 결과를 얻는다.

1) Auto-MPG 데이터

1993년 자동차와 관련된 데이터로서, 종속변수는 1갤런당 가는 마일(miles per

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

gallon)을 나타낸 연속형 값이다. 8개의 특성을 가지고 있는데, 실린더의 수, 배기량, 마력, 무게, 가속도, 모델년도, origin, 자동차 이름으로 구성되어 진다. 데이터 집합은 총 392개로 서로 다른 자동차로부터 얻어졌다. 실제 실험에서는 6개의 특성(실린더의 수, 배기량, 마력, 무게, 가속도, 모델년도) 만을 이용한다.

표 5-1. Auto-MPG 데이터를 사용한 모델 성능 비교(RMSE)

방법 \ 성능		학습 RMSE	검증 RMSE
LR		3.38	3.47
GM[28]	context(9, 6)	2.57	3.30
	interval(7, 9)	3.15	3.35
IGM[78]	context(10, 7)	2.15	2.96
	interval(10, 10)	2.36	2.97
IRBFN_LSE	context(5, 10)	1.76	2.91
	interval(7, 10)	1.92	3.07

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

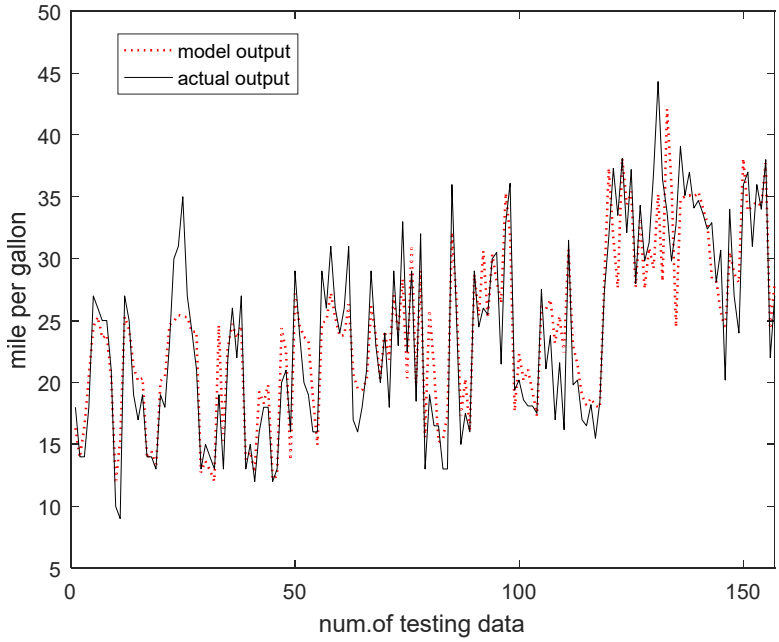


그림 5.6 검증데이터에 대한 출력 값 (GM, p=9, c=6)

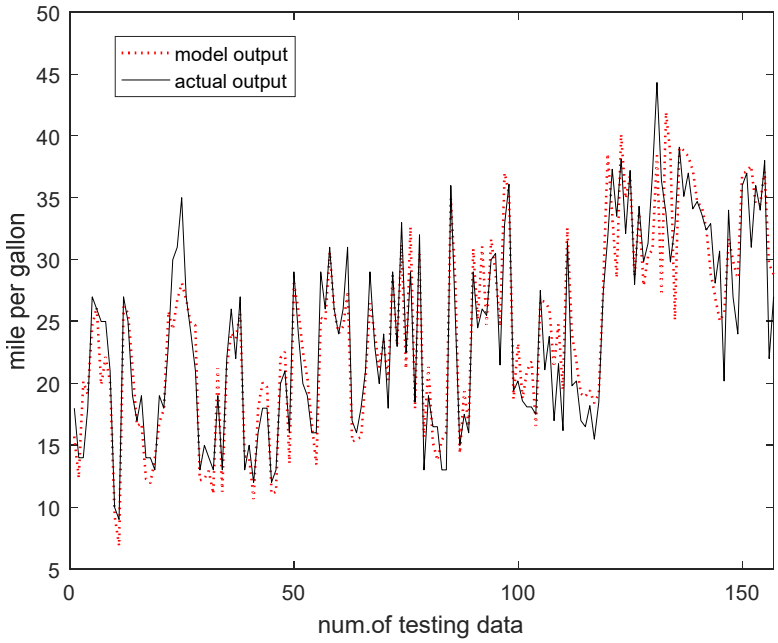


그림 5.7 검증데이터에 대한 출력 값 (IGM, p=10, c=7)

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

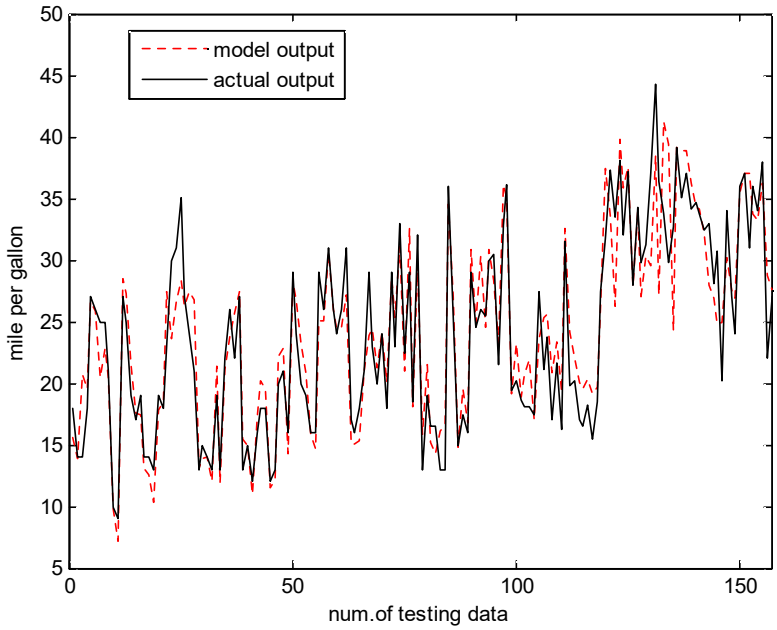


그림 5.8 검증데이터에 대한 출력 값 (IRBFN_LSE, p=5, c=10)

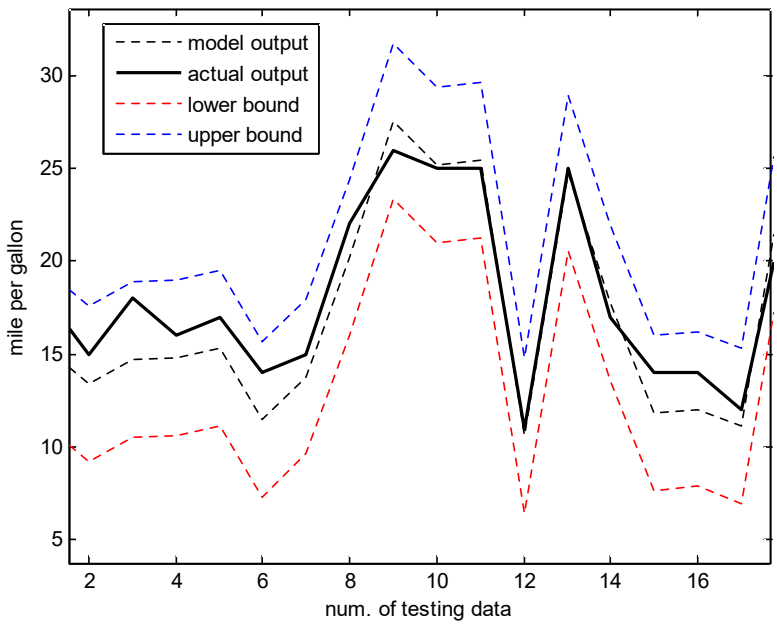


그림 5.9 입자 모델에 대한 상한, 하한, 모델 출력, 실제 출력

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

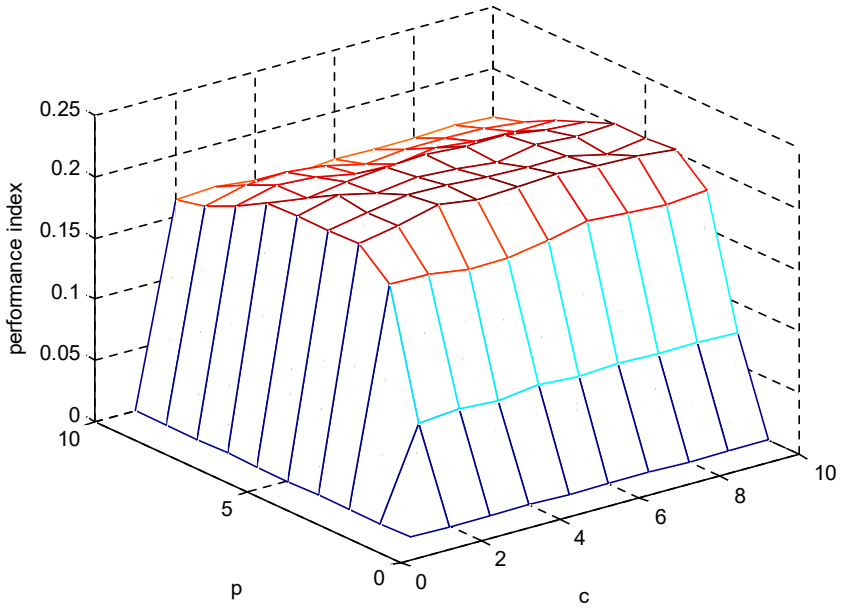


그림 5.10 MPG 검증데이터에 대한 성능 지표

Auto-mpg 데이터를 이용하여 선형회귀, 입자모델, 점증적인 입자모델, 점증적인 RBFN 방법의 검증 출력을 비교하였다. 실험은 퍼지화 계수는 일반적인 m=2.0인 상태로 두고 컨텍스트와 클러스터의 수를 2부터 10까지 변화해가면서 진행하였다. 그 결과 표 5-1와 같이 가장 좋은 경우의 수를 선택하였고 점증적인 RBFN 모델에서 가장 좋은 성능을 나타내는 것을 확인 할 수 있다. 그림 5.6, 5.7, 5.8은 가장 좋은 경우의 검증데이터에 대한 출력 값과 모델 값을 비교하고 있다. 그리고 각 알고리즘마다 컨텍스트 클러스터링과 구간 클러스터링으로 나뉘어서 실험을 진행하였고 그 결과는 표 5-1에 적혀있는 대로 컨텍스트 클러스터링 방법의 경우가 더 좋음을 알 수 있다. 그림 5.9는 예측 모델의 상한과 하한을 표현해서 나타낸 그림이다. 실체 출력이 상한과 하한 사이에 있는 것을 확인 할 수 있다.

그림 5.10은 입자 모델을 위한 성능지표를 시각화 한 것이다. 표 5-2는 클러스터와 컨텍스트의 수를 2부터 10까지 달리하여 성능지표를 나타내고 있다. 여기에서 p=4, c=4인 경우 최고 성능 지수(PI=0.21)를 얻었다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 5-2. Auto-MPG 데이터를 사용한 새로운 성능 지표(PI)

C / P	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	0.072	0.075	0.073	0.077	0.076	0.077	0.076	0.077	0.076
3	0.174	0.173	0.169	0.169	0.175	0.182	0.179	0.178	0.181
4	0.196	0.202	0.210	0.206	0.207	0.208	0.207	0.206	0.202
5	0.195	0.201	0.207	0.206	0.203	0.203	0.203	0.196	0.200
6	0.196	0.204	0.197	0.201	0.199	0.196	0.201	0.199	0.201
7	0.194	0.190	0.195	0.197	0.199	0.198	0.198	0.192	0.190
8	0.181	0.189	0.187	0.180	0.180	0.184	0.181	0.180	0.181
9	0.170	0.178	0.180	0.176	0.169	0.172	0.171	0.171	0.168
10	0.163	0.165	0.162	0.158	0.161	0.160	0.160	0.163	0.160

2) 보스턴 주택 가격 예측 데이터(Boston Housing Data)

보스턴 주택 가격 데이터는 주택의 여러 가지 요소들과 주택의 가격정보가 포함되어 있다. 총 14개의 필드로 이뤄져있고 각 필드는 표 5-3와 같은 내용으로 이뤄져 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 5-3. 보스턴 가격예측 데이터를 사용한 모델 성능 비교

필드 이름	필드 내용
CRIM	도시별 1인당 범죄율
ZN	25,000 평방피트를 초과하는 거주지역의 비율
INDUS	비소매 상업지역이 점유하고 있는 토지의 비율
CHAS	찰스강에 대한 더미변수(강의 경계에 위치한 경우는 1, 아니면 0)
NOX	10ppm 당 농축 일산화질수
RM	주택 1가구당 평균 방의 개수
AGE	1940년 이전에 건축된 소유주택의 비율
DIS	5개의 보스턴 직업센터까지의 접근성 지수
RAD	방사형 도로까지의 접근성 지수
TAX	10,000 달러 당 재산세율
PTRATIO	도시별 학생/교사 비율
B	흑인 인구의 비율
LSTAT	모집단의 하위계층의 비율(%)
MEDV	본인 소유의 주택가격의 중앙값(단위: $1,000)

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 5-4. 보스턴 가격예측 데이터를 사용한 모델 성능 비교

방법 \ 성능		학습 RMSE	검증 RMSE
LR		4.53	5.04
GM[28]	context(4, 9)	4.55	5.63
	interval(4, 9)	5.66	6.17
IGM[78]	context(10, 10)	3.21	4.36
	interval(10, 10)	3.54	4.47
IRBFN_LSE	context(10, 7)	2.45	4.17
	interval(10, 10)	2.49	4.31

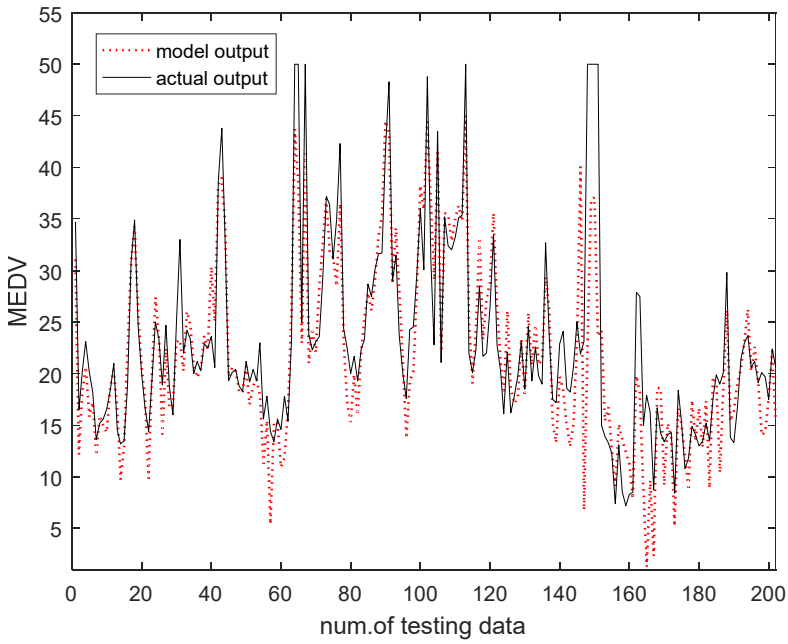


그림 5.11 검증데이터에 대한 출력 값 (IGM, p=10, c=10)

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

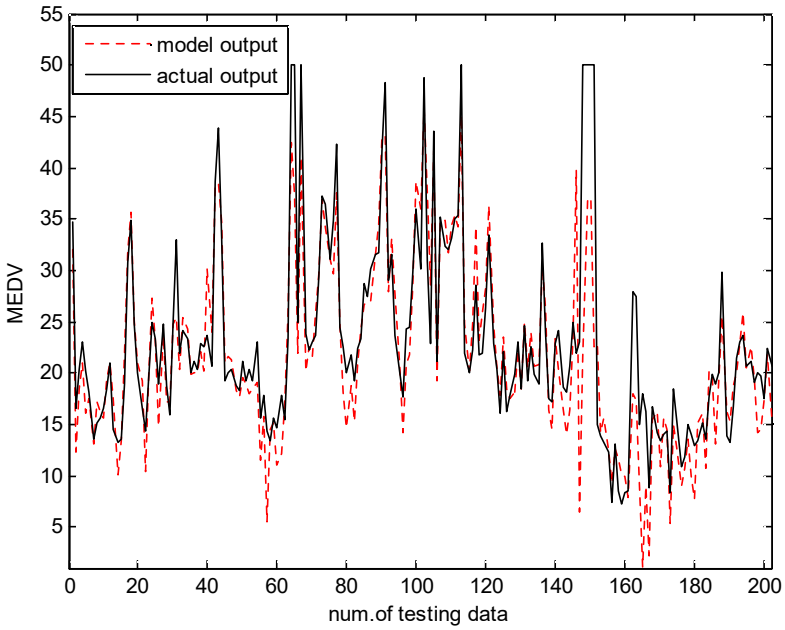


그림 5.12 검증데이터에 대한 출력 값 (IRBFN_LSE, p=10, c=7)

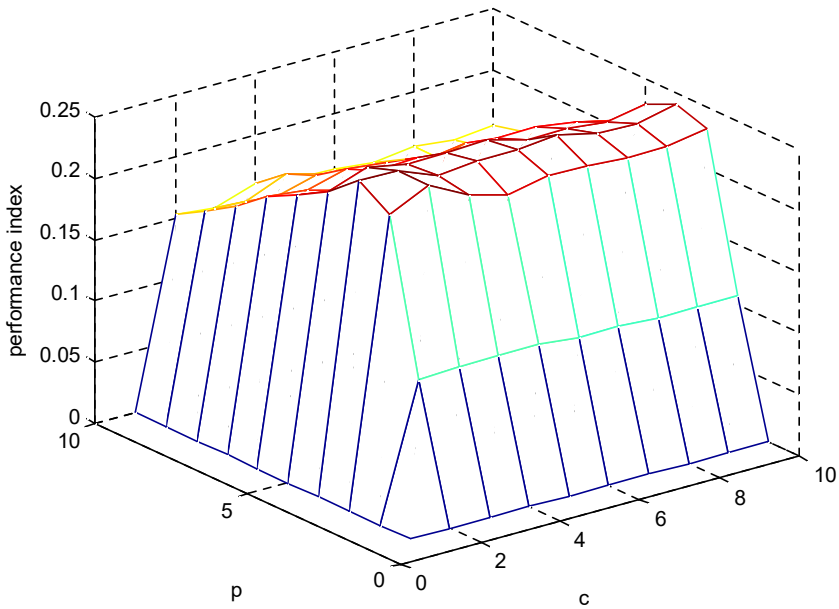


그림 5.13 Boston Housing 검증데이터에 대한 성능 지표

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

이 실험은 보스턴 주택 가격 예측 데이터를 이용하여 선형회귀, 입자모델, 점증적인 입자모델, 점증적인 RBFN 방법의 검증 출력을 비교하였다. 실험은 MPG데이터와 마찬가지로 퍼지화 계수를 일반적인 m=2.0인 상태로 두고 컨텍스트와 클러스터의 수를 2부터 10까지 변화해가면서 진행하였다. 그 결과 표 5-4와 같이 가장 좋은 경우의 수를 선택하였고 점증적인 RBFN 모델에서 가장 좋은 성능을 나타내는 것을 확인 할 수 있다. 그림 5-11, 5-12는 가장 좋은 경우의 검증데이터에 대한 출력 값과 모델 값을 비교하고 있다.

그림 5.13은 입자 모델을 위한 성능지표를 시각화 한 것이다. 여기에서도 p와 c를 달리하여 실험을 진행하였고 여기에서 p=4, c=7인 경우 최고 성능 지수(PI=0.24)를 얻었다.

3) 전복 나이 예측 데이터(Abalone Data)

UCI Machine Learning Repository[142]에서 제공하는 전복 나이와 관련된 데이터를 이용한다. 전복의 나이는 물리적 측정을 통해 예측할 수 있는데 껍데기에 나 있는 층의 수를 세어보면 알 수 있다. 데이터의 특성으로는 성별, 길이, 직경, 높이, 전체 중량, 껍질을 벗긴 무게, 내장 지방 무게, 껍질의 무게로 되어 있고, 응답은 층의 수로 되어 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 5-5 전복 나이 예측 데이터를 사용한 모델 성능 비교

방법 \ 성능		학습 RMSE	검증 RMSE
LR		2.20	2.23
GM[28]	context(10, 10)	2.29	2.39
	interval(10, 10)	2.38	2.43
IGM[78]	context(10, 10)	2.11	2.24
	interval(10, 10)	2.17	2.26
IRBFN_LSE	context(8, 6)	2.09	2.20
	interval(5, 10)	2.09	2.19

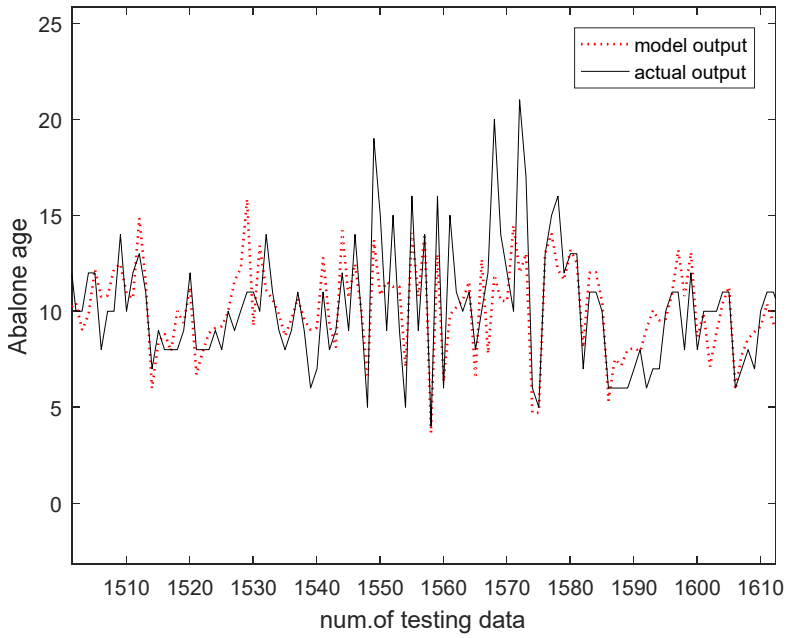


그림 5.14 검증데이터에 대한 출력 값 (IGM, p=10, c=10)

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

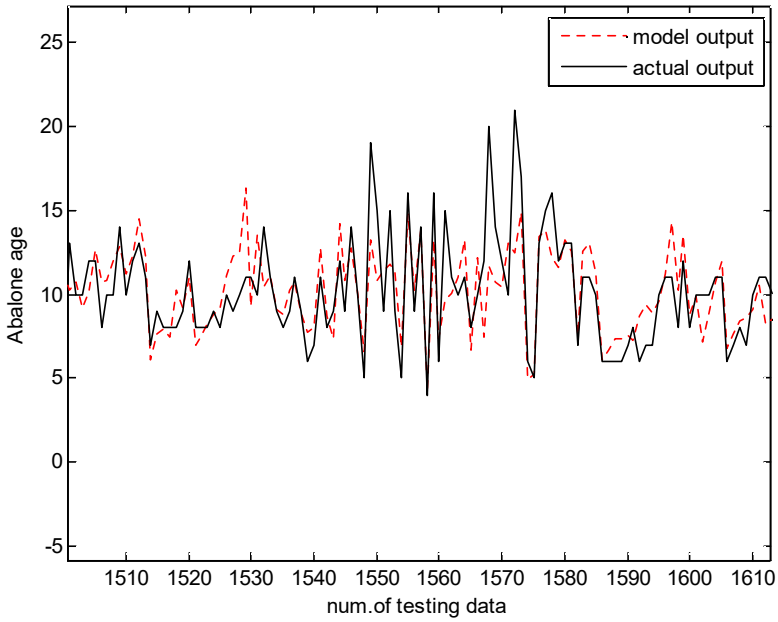


그림 5.15 검증데이터에 대한 출력 값 (IRBFN_LSE, p=8, c=6)

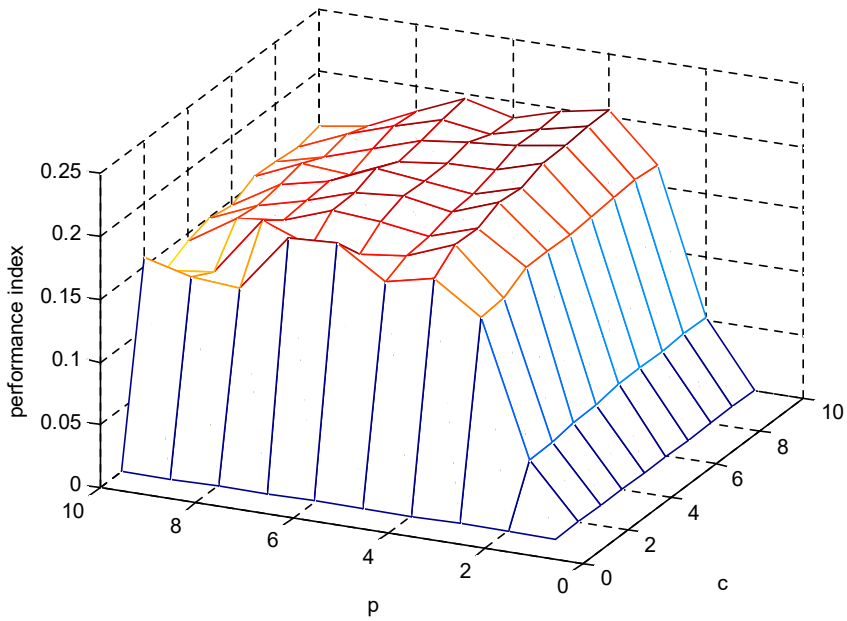


그림 5.16 abalone 검증데이터에 대한 성능 지표

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

이 실험은 전복 나이 예측 데이터를 이용하여 위와 마찬가지로 제안한 알고리즘과 기존 알고리즘의 검증 데이터를 비교하였다. 그 결과 표 5-5와 같이 가장 좋은 경우의 수를 선택하였고 p=8, c=6일 때 점증적인 RBFN 모델에서 가장 좋은 성능을 나타내는 것을 확인 할 수 있다. 그림 5.14, 5.15는 가장 좋은 경우의 검증 데이터에 대한 출력 값과 모델 값을 비교하고 있다.

그림 5.16은 입자 모델을 위한 성능지표를 시각화 한 것이다. 여기에서도 p와 c를 달리하여 실험을 진행하였고 여기에서 p=4, c=10인 경우 최고 성능 지수(PI=0.21)를 얻었다.

4) MIS 데이터 세트(Medical Imaging System Data)

Medical Imaging System(MIS)은 의학 이미징 시스템이다[142]. 약 40만 줄의 Pascal, FORTRAN, assembly 및 PL/M 코드로 작성된 4500개의 루틴 중 하나이다. 이 데이터는 Pascal 및 FORTRAN으로 작성된 390개의 하위 모듈 집합으로 약 40,000줄의 코드로 구성된다. MIS로부터 최적의 모델을 설계하기 위해 LOC, CL, TChar, TComm, MChar, DChar, N, N, NF, V(G) 및 BW를 사용한다. 출력변수로는 Changes가 사용된다. 위 실험들과 마찬가지로 모델링할 때 데이터의 60%를 사용하고 검증시 40%를 사용한다. 성능 지수는 RMSE와 PI를 이용한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 5-6 Medical Imaging System 데이터를 사용한 모델 성능 비교

방법 \ 성능		학습 RMSE	검증 RMSE
LR		9.34	11.36
GM[28]	context(4, 9)	42.85	44.70
	interval(7, 8)	58.26	57.62
IGM[78]	context(10, 10)	7.08	11.00
	interval(9, 9)	7.66	11.09
IRBFN_LSE	context(10, 6)	5.47	10.82
	interval(4, 8)	7.57	11.11

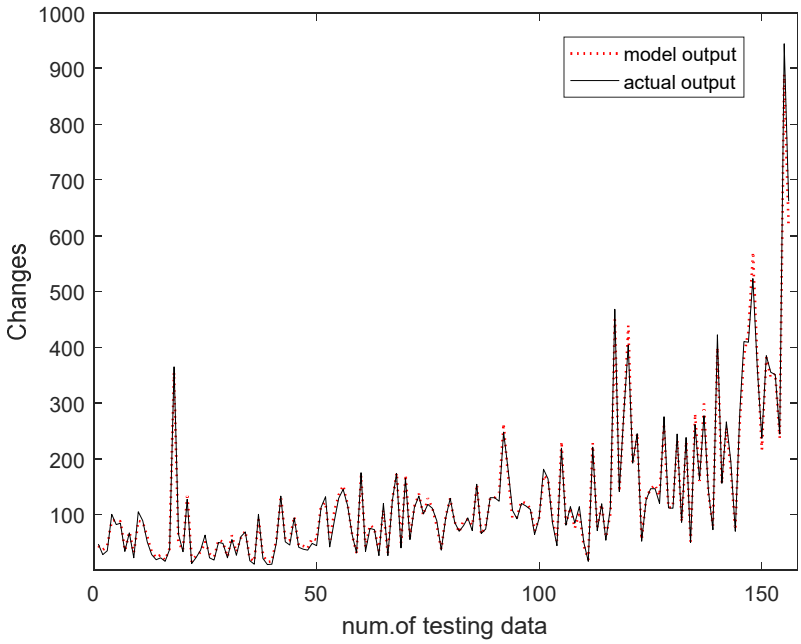


그림 5.17 검증데이터에 대한 출력 값 (IGM, p=10, c=10)

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

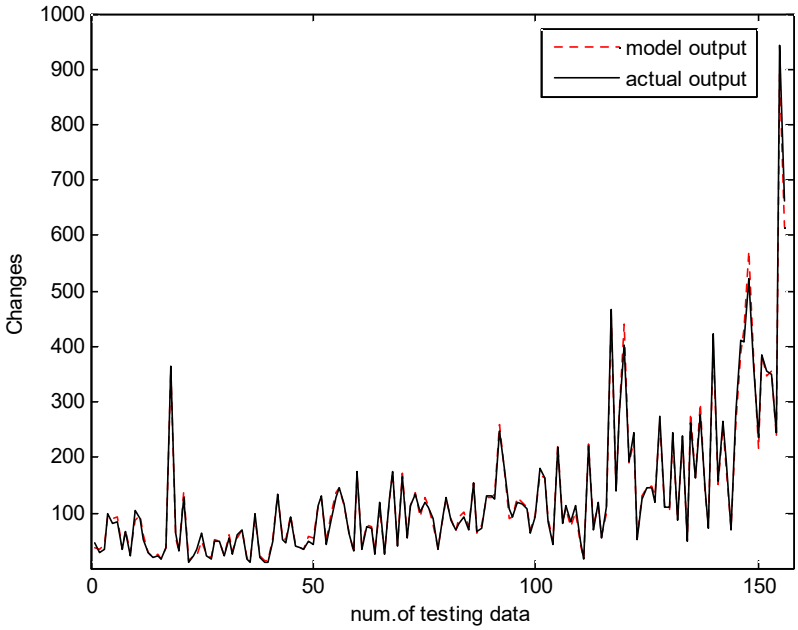


그림 5.18 검증데이터에 대한 출력 값 (IRBFN_LSE, p=10, c=6)

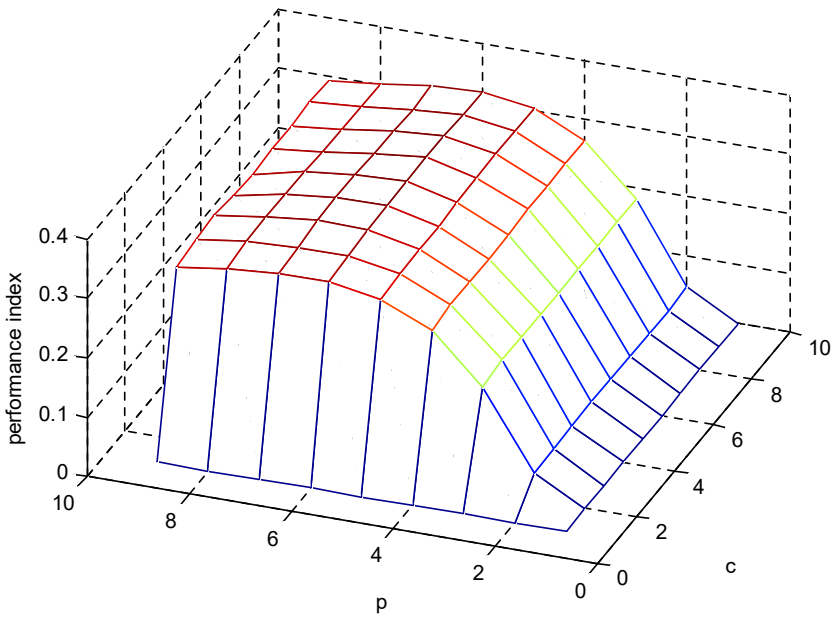


그림 5.19 MIS 검증데이터에 대한 성능 지표

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

MIS 데이터를 이용하여 검증 데이터를 비교하였다. 11개의 매개변수를 이용하여 표 5-6와 같이 가장 좋은 경우의 수를 선택하였고 p=10, c=6일 때 점증적인 RBFN 모델에서 가장 좋은 성능을 나타내는 것을 확인 할 수 있다. 그림 5.17, 5.18는 가장 좋은 경우의 검증데이터에 대한 출력 값과 모델 값을 비교하고 있다.

그림 5.19은 입자 모델을 위한 성능지표를 시각화 하였다. 여기에서도 p와 c를 달리하여 실험을 진행하였고 여기에서 p=6, c=8인 경우 최고 성능 지수(PI=0.32)를 얻었다.

2. 에너지 관련 데이터

본 논문에서는 실험데이터를 크게 널리 사용되고 있는 실세계 응용 데이터와 에너지 관련 데이터로 나누고 있다. 앞서 실험을 하였던 4개의 데이터는 다른 문헌들에서도 많이 나왔던 데이터이다. 이번에 사용된 데이터는 에너지 효율 데이터와 전기 부하 예측 문제를 다룬다. 에너지 효율 데이터는 8개의 특성을 통해서 난방 효율이나 냉방 효율 등을 따질 수 있다. 같은 데이터를 통해서 두 가지의 실험 효율을 확인 할 수 있기에 제안된 방법의 성능을 검증하기 위해 좋은 데이터이므로 선택하였다. 그리고 전기 예측 데이터는 몇 년의 기록들을 통해서 그 다음연도의 부하 예측을 하는 시계열 데이터이므로 선택하게 되었다.

1) 에너지 효율 데이터(Energy Efficiency Data)

건물의 냉난방 부하를 이용하여 에너지 효율을 평가하는 문제이다[142]. 이 데이터는 768개의 세트로 이뤄져있고 8개의 특성과 2개의 응답이 포함되어져 있다. 8개의 건물 특성은 상대 간결성, 표면적, 벽으로 된 공간, 지붕으로 된 공간, 전체 높이, 방향, 유약 지역, 유약 지역 분포도로 이뤄져있고 응답은 난방부하와 냉각 부하로 이뤄져있다. 실험은 학습과 검증데이터를 임의로 60%-40%로 나누고 10번씩 반복적으로 실험을 수행한다. 입력과 출력 공간에서 구조의 입자성을 제어하는 두 가지 필수 매개 변수 p와 c를 사용하여 실험 결과를 얻는다. 실험에 사용된 퍼지화 계수 m의 범위는 1.5와 3.0사이이며 0.1단계의 점진적인 단계를 사용한다. 표 5-7는 컨텍스트와 클러스터의 수가 증가함에 따라 퍼지 인자의 최적의 값

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

을 나열한 것이다. 그림 5.20는 난방 부하 예측을 위한 p=c=6 일 때, 퍼지 인자에 의한 RMSE의 변화를 보여준다. 여기서 매개 변수의 최적 값은 검증 오류가 최소가 되는 값이다.

표 5-7 컨텍스트 p와 클러스터 c에 대한 최적의 퍼지화 계수

p \ c	3	4	5	6
3	2.6	2.1	2.2	2.3
4	2.2	2.1	2.2	2
5	1.9	1.9	1.9	2
6	1.7	1.8	1.8	2

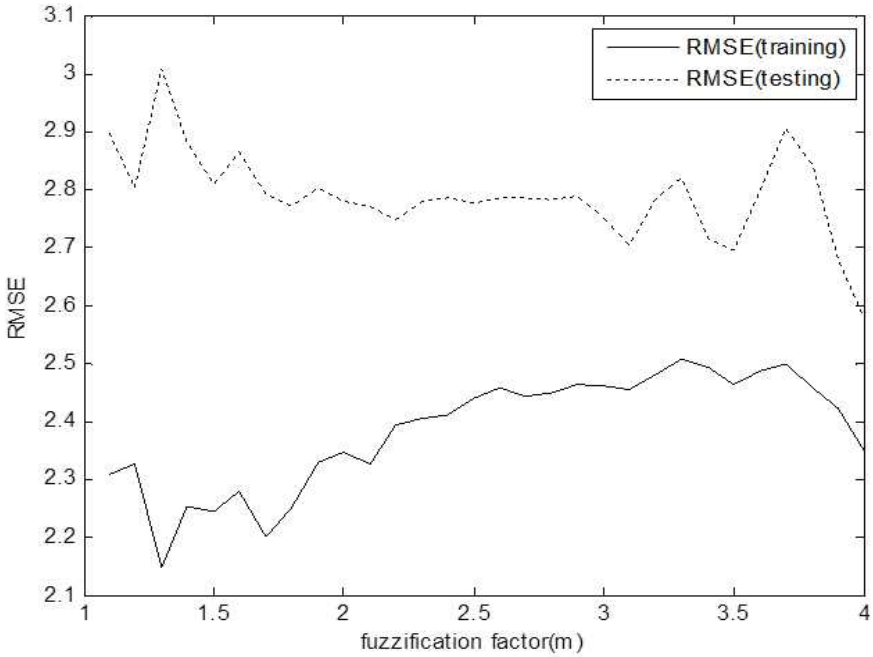


그림 5.20 퍼지화 계수의 값에 의한 RMSE 변화 (p=c=6)

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 5-8 에너지 효율 데이터(냉각부하)를 사용한 모델 성능 비교

방법 \ 성능		학습 RMSE	검증 RMSE
LR		3.18	3.20
GM[28]	context(3, 4)	3.45	3.58
	interval(4, 4)	4.17	4.22
IGM[78]	context(7, 6)	2.64	3.07
	interval(9, 5)	2.92	3.13
IRBFN_LSE	context(10, 10)	2.03	3.06
	interval(5, 4)	2.90	3.09

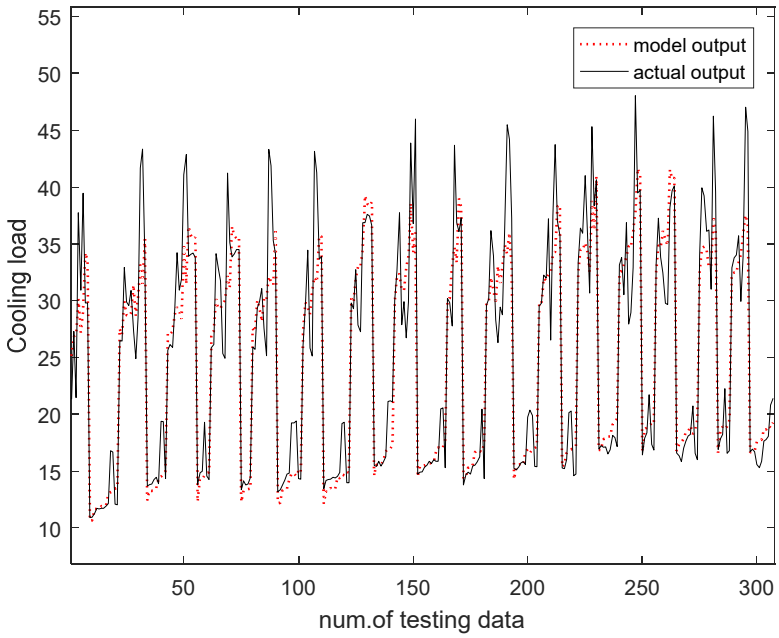


그림 5.21 검증데이터에 대한 출력 값 (IGM, p=7, c=6)

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

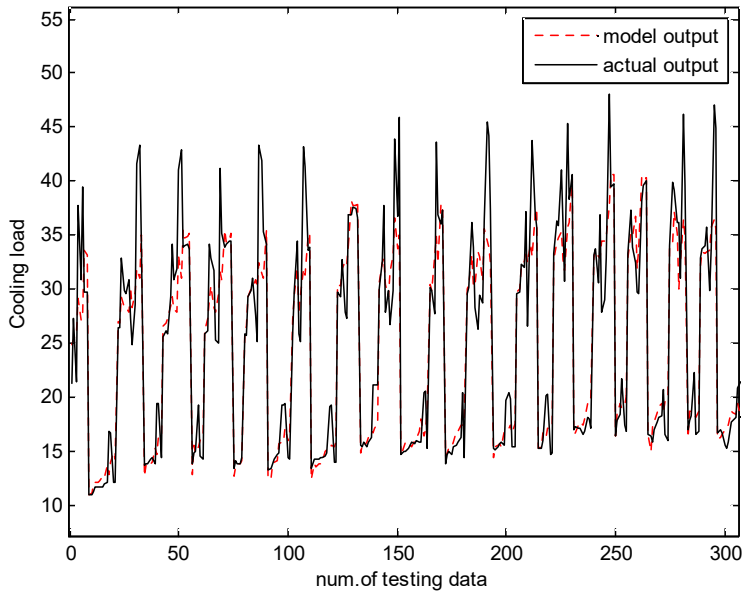


그림 5.22 검증데이터에 대한 출력 값 (IRBFN_LSE, p=10, c=10)

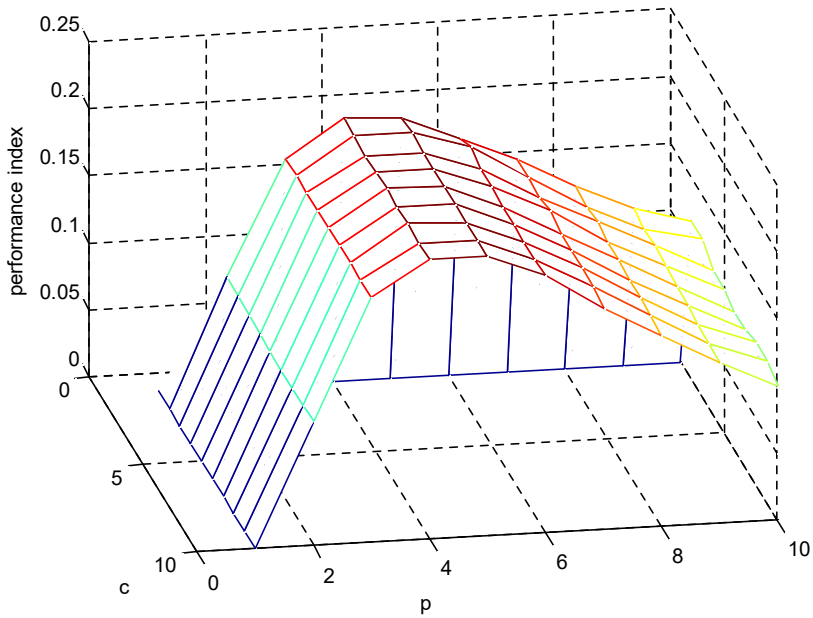


그림 5.23 냉각 부하 검증데이터에 대한 성능 지표

냉각부하 데이터를 이용하여 검증 데이터를 비교하였다. 이 실험에서는 p=10, c=10일 때 점증적인 RBFN 모델에서 가장 좋은 성능을 나타내는 것을 확인 할 수

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

있다. 그림 5.21과 5.22는 가장 좋은 경우의 검증데이터에 대한 출력 값과 모델 값을 비교하고 있다.

그림 5.23은 입자 모델을 위한 성능지표를 시각화 하였다. 여기에서도 p와 c를 달리하여 실험을 진행하였고 여기에서 p=4, c=5인 경우 최고 성능 지수(PI=0.18)를 얻었다.

표 5-8은 에너지 효율 데이터에서 또 다른 출력인 난방부하를 사용한 결과표이다. 표를 보면 제안한 점증적인 RBFN 모델에서 구간 방법을 사용한 경우에 가장 좋은 성능인 2.74를 기록한 것을 확인 할 수 있다. 그림 5.24를 통해 점증적인 입자 모델의 경우에 가장 좋은 경우의 출력을 확인하고 그림 5.25를 통해 점증적인 RBFN의 가장 좋은 경우의 그림을 확인 할 수 있다. 그림 5.26의 경우 새로운 성능지표를 통하여 p=3, c=6인 경우 최고 성능 지수(PI=0.17)을 나타내고 있다.

표 5-8 에너지 효율 데이터(난방부하)를 사용한 모델 성능 비교

방법 \ 성능		학습 RMSE	검증 RMSE
LR		2.93	2.91
GM[28]	context(3, 6)	3.44	3.53
	interval(5, 7)	4.43	4.47
IGM[78]	context(10, 3)	2.64	2.75
	interval(10, 2)	2.76	2.79
IRBFN_LSE	context(9, 2)	2.59	2.75
	interval(10, 3)	2.44	2.74

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

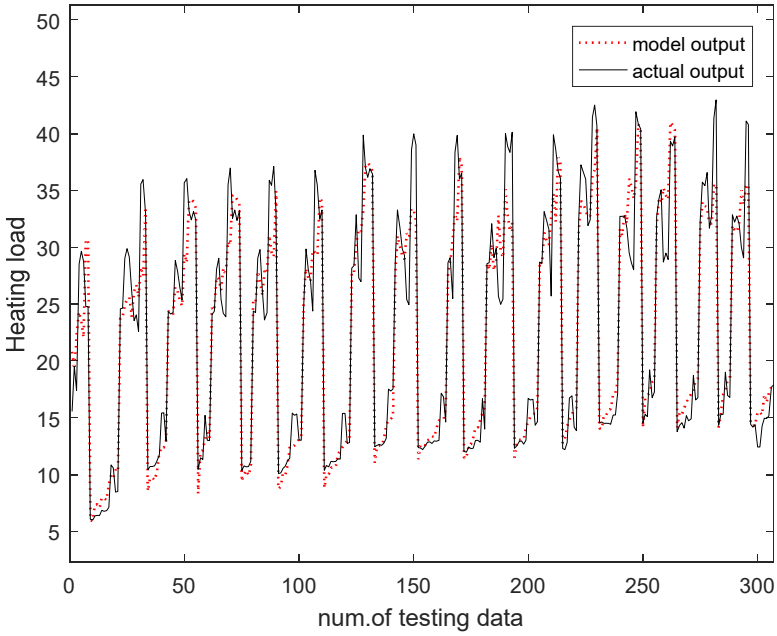


그림 5.24 검증데이터에 대한 출력 값 (IGM, p=10, c=3)

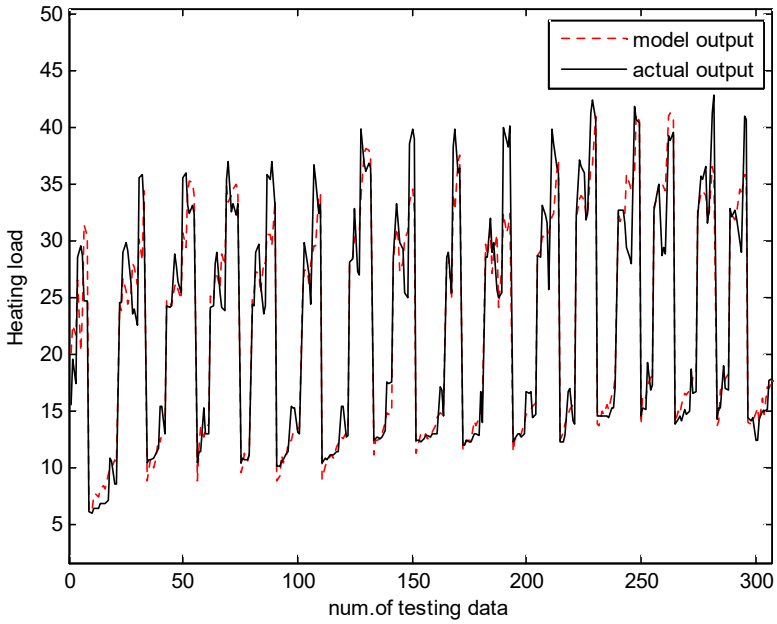


그림 5.25 검증데이터에 대한 출력 값 (IRBFN_LSE, p=9, c=2)

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

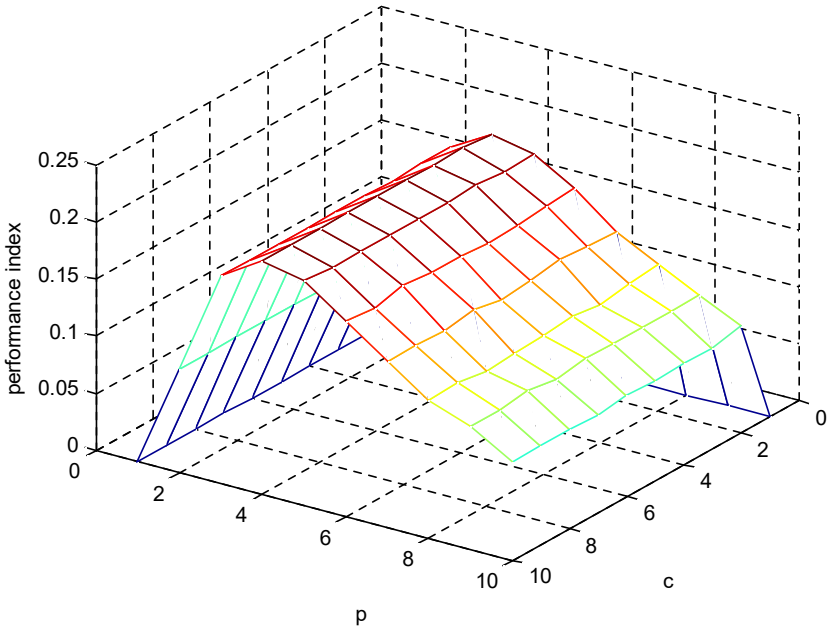


그림 5.26 난방 부하 검증데이터에 대한 성능 지표

2) 전기 부하

본 논문에서 다뤄지는 전기부하 예측 데이터는 호주 시드니 온도 및 NSW 조직 부하 데이터 세트를 사용하여 단기 전기 부하를 예측하는 방법에 대한 내용이다. 비선형 회귀 및 신경망 모델링 기술에 과거, 계절, 요일의 온도 데이터를 사용하여 정확한 모델링을 입증하는데 사용된다. 이 데이터는 http://www.iso-ne.com/에서 New Engliand ISO로부터 얻을 수 있다[143]. 단기 전기 부하예측은 특정기간동안 어떤 발전기를 투입해야하는지를 포함하여 많은 결정에 영향을 미친다. 그렇기 때문에 전력 시장 가격에도 광범위하게 영향을 준다. 그래서 실제로 전력거래소에서는 전력 거래 가격의 결정, 운영발전계획의 수립, 실시간 계통 운영, 장단기 전력 수급 등을 위한 전력 수요를 예측한다. 데이터는 2004년부터 2009년까지 한 시간마다 DryBulb(건구), Dew point(이슬점), SYSload(부하)를 기록하였다. 유틸리티 및 마케팅 담당자는 상용 소프트웨어 패키지를 사용하여 부하 예측을 수행한다. 이 데이터는 2004년부터 2008년까지의 데이터를 학습으로 사용하고 데이터의 크기는 35064x8이고 검증데이터는 17544x8의 크기로 2009년 데이터를 사용한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

전기 부하 예측 데이터를 사용한 모델 성능을 표 5-9에서 보여주고 있다. 제안된 방법 중에서 컨텍스트 클러스터링 방법이 가장 좋은 성능을 보여주고 있다. 제일 좋은 성능을 보인 경우는 컨텍스트 10개, 그리고 컨텍스트에 대한 클러스터의 수가 45개인 경우가 가장 좋은 성능을 보인다.

표 5-9 전기 부하 및 가격 예측 데이터를 사용한 모델 성능 비교

방법 \ 성능		학습 RMSE	검증 RMSE
LR		998.9	875.8
GM[28]	context(10, 10)	1136	1044
	interval(10, 10)	1148	1052
IGM[78]	context(10, 30)	776.6	710.3
	interval(10, 40)	813.1	715.4
IRBFN_LSE (선형회귀)	context(10, 45)	647.1	596
	interval(10, 45)	703.7	616.7
IRBFN_LSE (2차 다항식)	context(10, 45)	522.5	527.4
	interval(10, 35)	627.1	579.3

그림 5.27을 보게 되면 전기 부하 예측 데이터를 사용한 컨텍스트를 생성한 모습을 보여준다. 이 그림의 경우에는 컨텍스트의 수를 5로 한 상태이기 때문에 5개의 컨텍스트를 생성하는 것을 볼 수 있다. 그림 5.28의 경우는 컨텍스트가 5개 일때 각 컨텍스트 마다 데이터와 클러스터의 모습을 보여주고 있다. 그림 5.29는 오류 예측을 나타내고 있는데 실제 오류는 점선으로 나타내고 있고 파란색 실선은 오류를 예측한 것이다. 그림 5.30을 통하여 구간 기반 입자 모델의 출력의 모습을 확인할 수 있고 컨텍스트 기반 입자 모델의 출력을 3차원의 모습으로 확인하면 그림 5.31과 같다. 전기 부하 예측 데이터의 RMSE 값을 보면 이전 실험과는 다르게

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

수치가 높은 것을 볼 수가 있다. 예측 목표 값 자체가 높기 때문에 실제 값과 예측한 데이터가 비슷한 그림을 그림 5.32을 통해 보여주고 있지만 약간의 오차도 큰 값을 가지고 있기 때문이다. 그림 5.32은 예측한 데이터의 전체 크기를 보여주는데 데이터의 크기가 17544로 크기 때문에 일부분을 발췌해서 그림 5.33에서 예측 성능을 보여주고 있다. 그림 5.34에서는 새로운 성능지표를 통하여 p=5, c=4인 경우 가장 좋은 성능지수(PI=0.2737)를 보이고 있다.

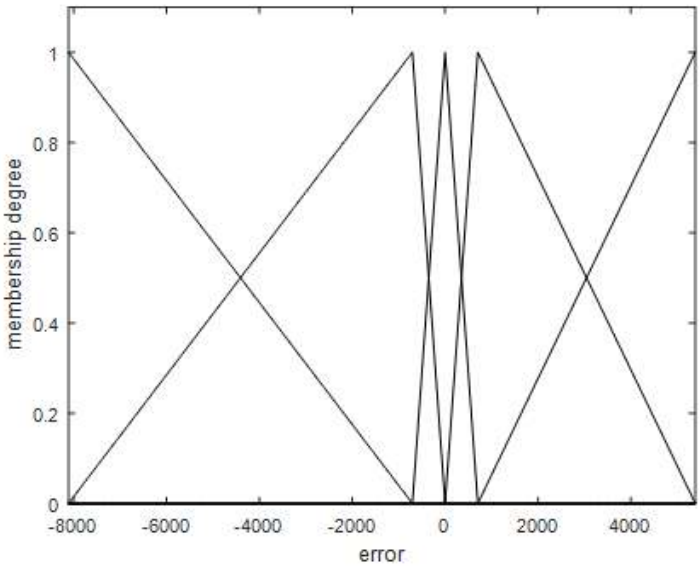


그림 5.27. 전력부하예측 데이터 컨텍스트 생성

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

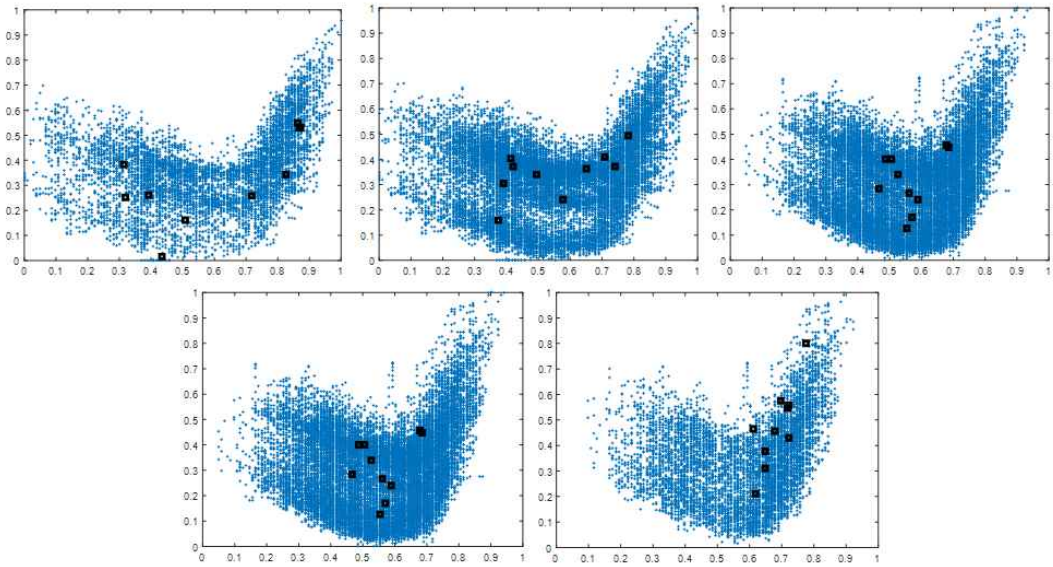


그림 5.28. 각 컨텍스트에 해당되는 데이터와 클러스터

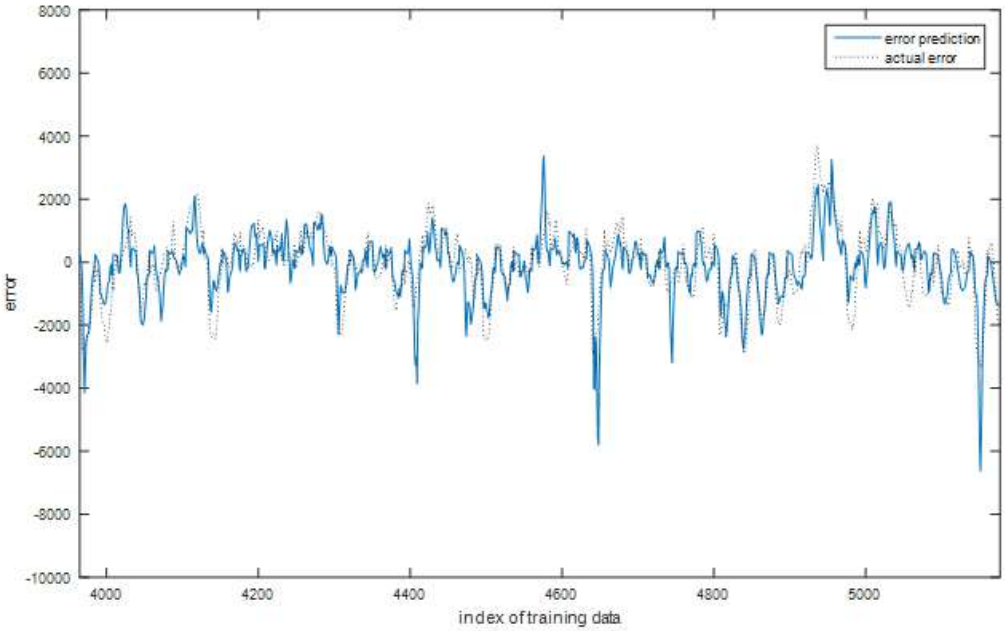


그림 5.29. 오류 예측

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

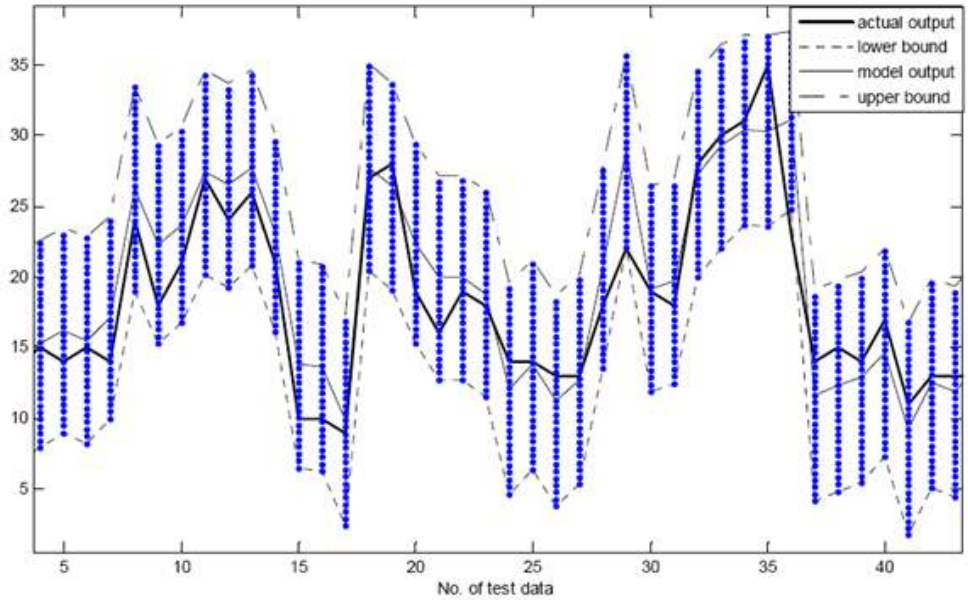


그림 5.30. 구간 기반 입자 모델의 출력

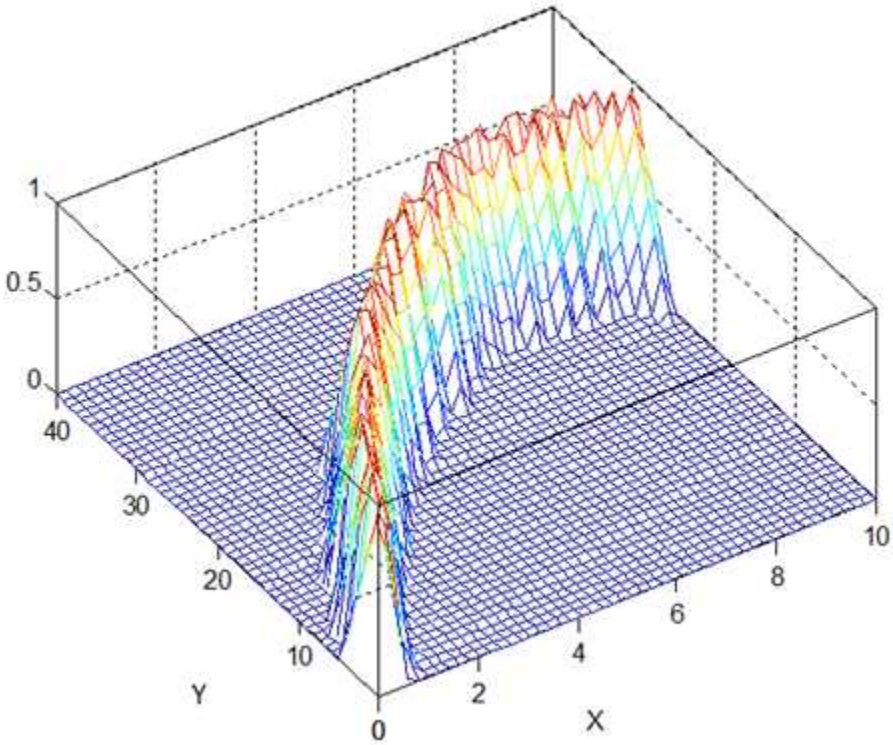


그림 5.31. 컨텍스트 기반 입자 모델의 출력

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

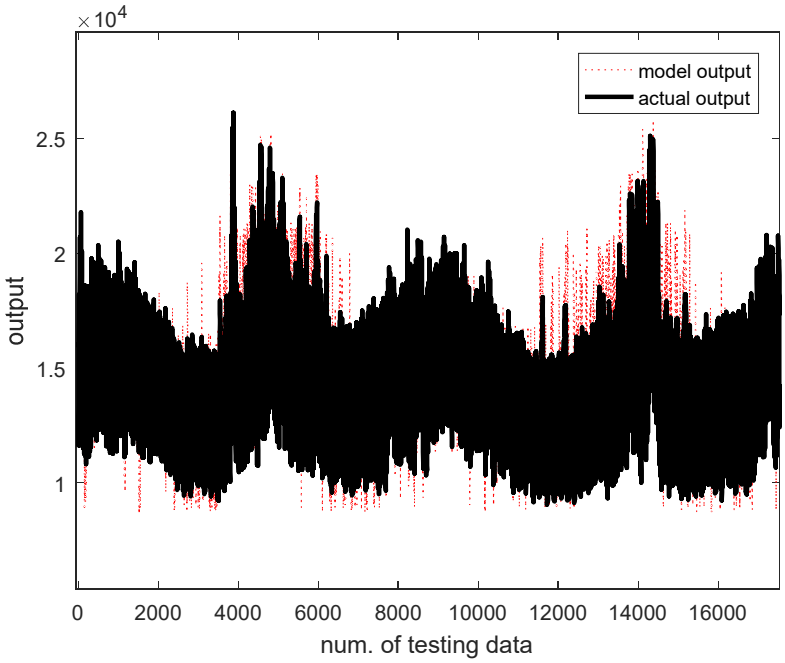


그림 5.32 IGM에서 전기부하 예측(all, p=10, c=10)

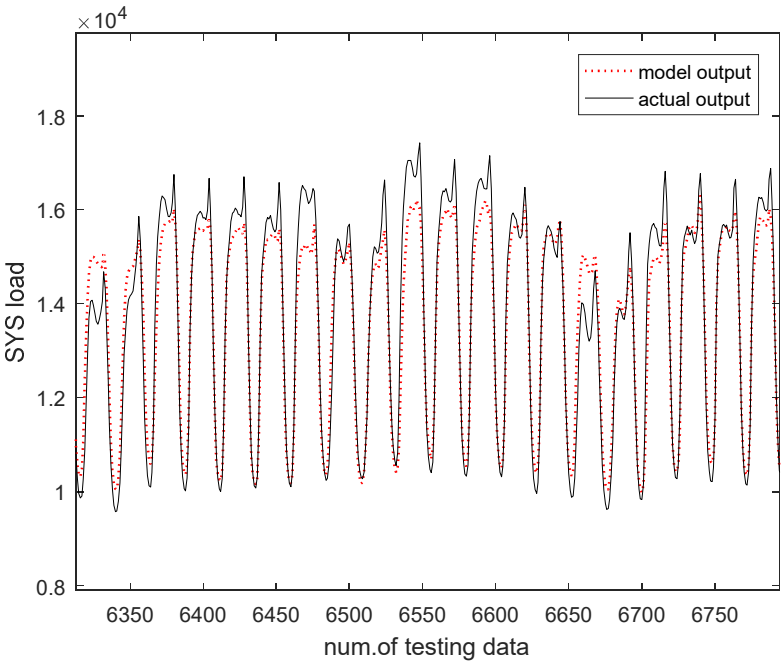


그림 5.33 IGM에서 전기부하 예측(part, p=10, c=10)

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

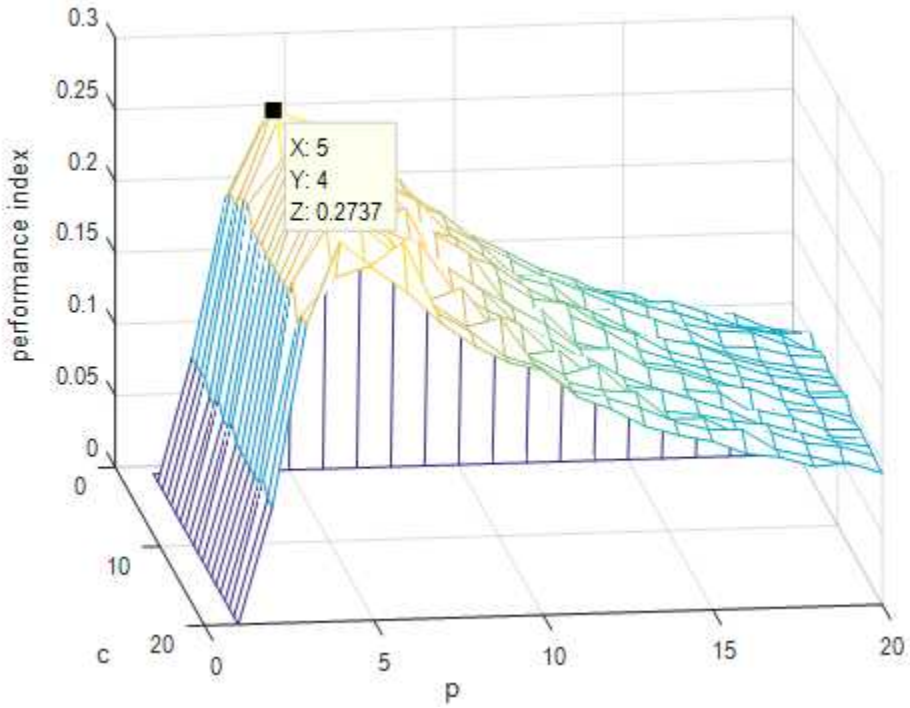


그림 5.34 새로운 성능지표로 본 전기부하 예측 성능(p=2~20, c=2~20)

전기 부하 예측 데이터의 예측 부하와 실제 부하를 비교하기 위하여 그림 5.35와 같이 나타내었다. 그림 5.35의 위의 그림은 예측 부하와 실제 부하를 다른 색으로 나타내어 그 차이정도를 눈으로 보기 위해서 나타내었고 보기 쉽게 그 차이정도를 아래 그림과 같이 나타내었다. 그림 5.36을 통하여 오차의 분포와 절대 오차 평균, 백분율 오차를 나타내었고 0에 가까울수록 좋은 상태임을 보인다. 전기부하 예측 데이터는 시간별, 요일별, 달 별로 확인할 수가 있다. 그에 대한 그림은 상자그림으로 각각 그림 5.37, 그림 5.38, 그림 5.39을 통하여 확인할 수 있다. 박스 안의 빨간색 선은 중앙값을 의미하고 박스에서 아래쪽 박스라인은 전체 분포의 25%, 위 쪽 박스라인은 75%를 나타낸다. 그리고 빨간색 플러스 기호는 아웃라인으로 이상치 혹은 비정상적인 값을 의미하며, 점선은 위스커로 이상치를 제외한 최대와 최솟값 까지를 의미한다. 그림 5.40은 주간 차트를 통하여 매주 전기부하 예측과 실제 부하를 확인 할 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

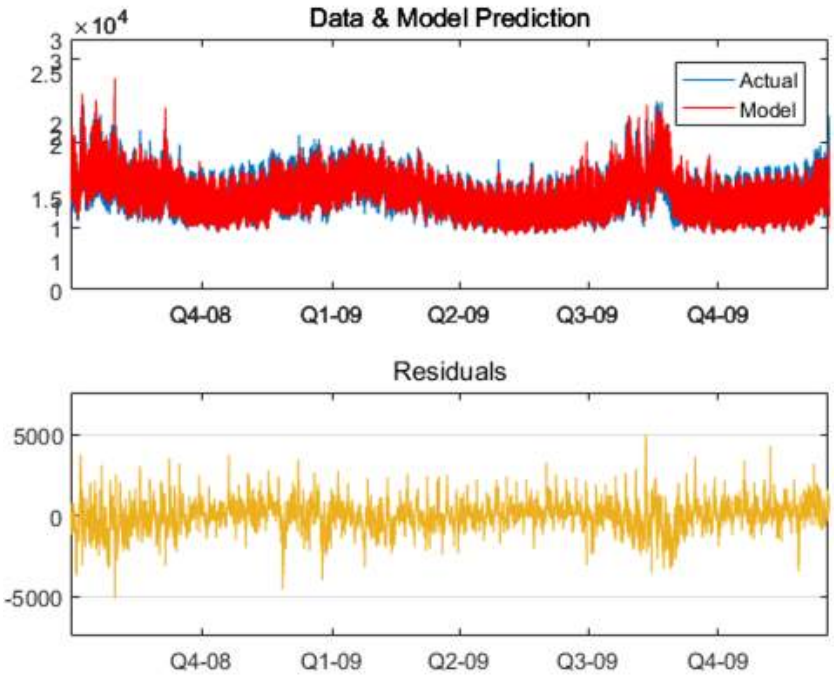


그림 5.35 전기 예측 부하와 실제 부하 비교

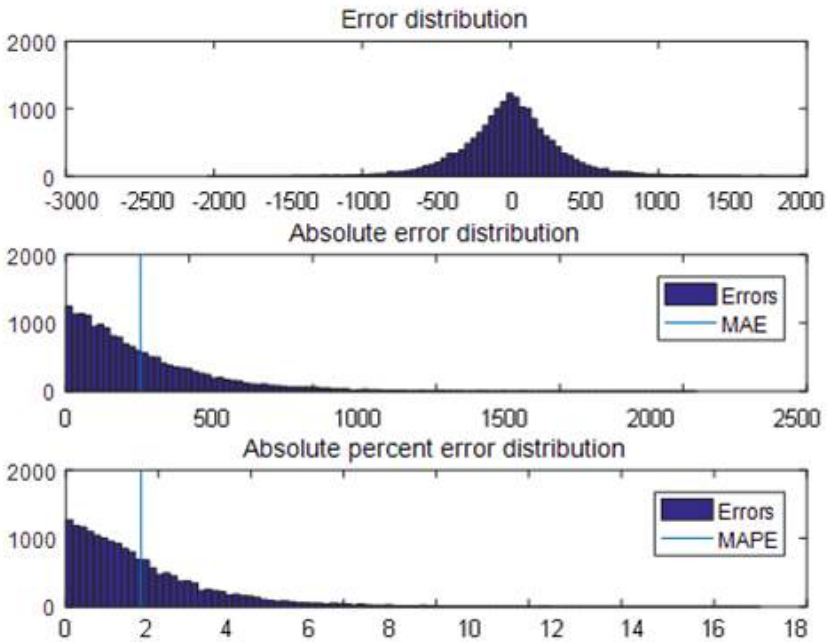


그림 5.36 오차 분포, 절대 오차 평균, 백분율 오차

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

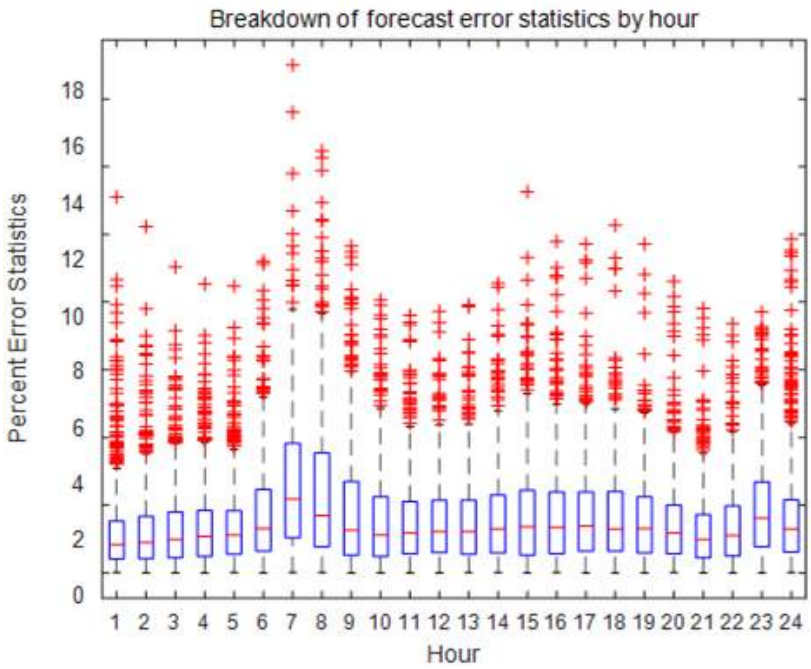


그림 5.37 시간 별 예측 오류 통계 분석

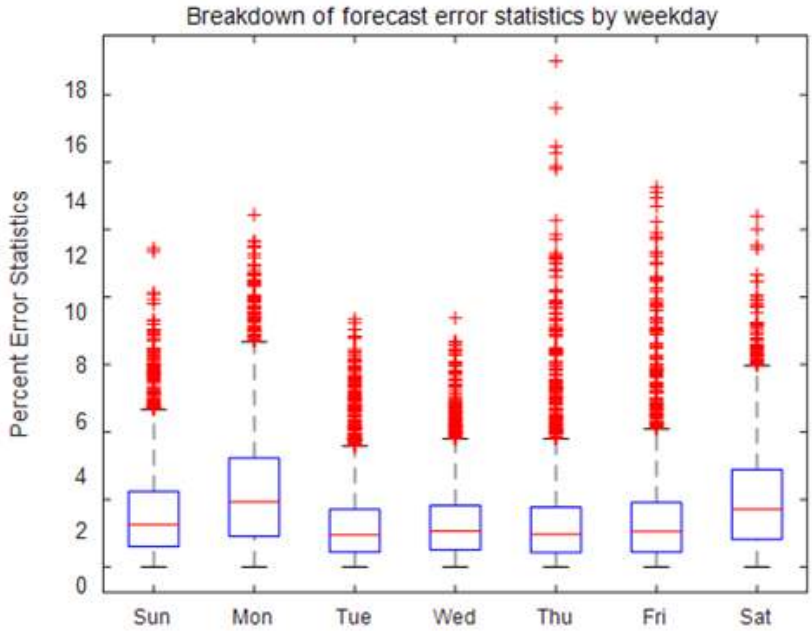


그림 5.38 요일 별 예측 오류 통계 분석

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

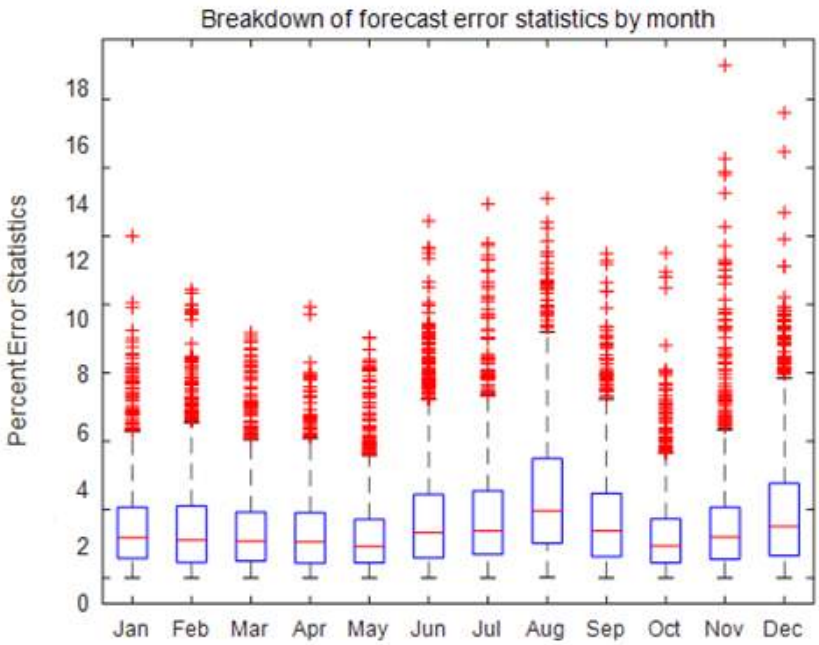


그림 5.39 달 별 예측 오류 통계 분석

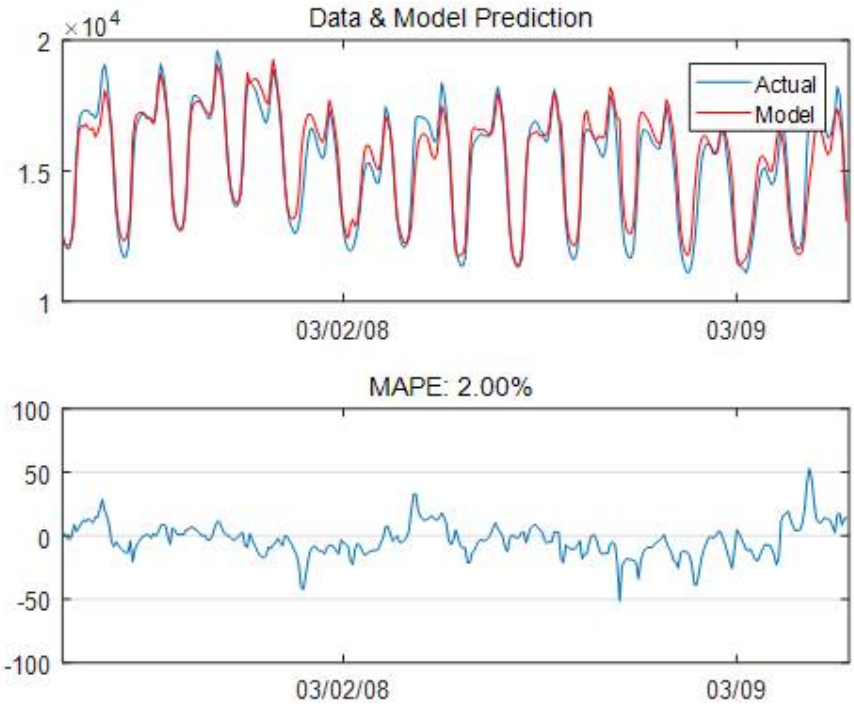


그림 5.40 주간 차트를 통한 매주 예측 및 실제 부하

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

총 6가지의 데이터에 대해서 실험을 진행하였고 성능 결과는 점증적인 방사기저함수 입자모델의 경우가 가장 좋음을 확인 할 수 있다. 모든 실험은 퍼지화 계수가 2.0일 경우에 진행하였고 클러스터와 컨텍스트의 수를 변화해가면서 실험을 진행하였다. 그 결과 데이터와 알고리즘마다 적절한 수가 달랐으며, 반복 실험을 진행하면서 가장 좋은 성능일 경우를 찾을 수 있었다. 그리고 컨텍스트 클러스터링 방법과 구간 클러스터링 방법의 경우 컨텍스트 방법이 좋은 경우도 있고 구간 방법이 더 좋은 경우도 있었다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제6장 결론

본 논문에서는 인간 중심형 시스템 및 컴퓨팅을 위한 점증적인 방사기저함수 입자 모델을 설계하였다. 그에 대한 성능을 나타내기 위하여 실세계에 관련된 데이터인 마일당 들어가는 연료량 예측문제인 Auto-mpg와 보스턴 주택가격 예측 문제, 전복 나이 예측 문제, MIS로부터 최적의 코드 모델링 문제, 빌딩냉난방 부하 문제, 전기부하 예측 문제를 적용하여 실험하였다. 성능지표로 일반적인 평균제곱근오차 방법을 이용하여 비교를 하고 퍼지 수 출력을 갖는 입자모델에 적합한 새로운 성능지표인 정당화 가능한 입자성의 원칙을 사용하였다. 그리고 컨텍스트 클러스터링과 구간 클러스터링 방법을 적용하여 두 가지 방법을 비교하였다. 그 결과 컨텍스트 클러스터링 방법이 더 좋은 성능을 보임을 확인 하였다.

추가적으로 점증적인 모델을 설계하기 위하여 전역적인 모델로 선형회귀와 2차 다항식을 사용하여 비교하였다. 실험 결과 2차 다항식 방법을 통한 점증적인 방사기저함수 입자모델이 모든 실험에서 가장 좋은 성능을 보였다.

차후 정당화 가능한 입자성의 원리를 심화하고 성능 지표에 따른 입자모델의 체계적인 분석, 설계 및 평가를 진행하고, 진화 알고리즘을 통하여 퍼지화 수 및 클러스터의 수, 컨텍스트의 수 등을 최적화하여 더 좋은 예측 성능을 나타낼 수 있도록 할 것이다. 그리고 데이터 양에 따른 실험 시간의 차이가 컸으므로 실험 수행 시간을 줄일 수 있는 방법도 개발하여 제안할 계획이다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

참고문헌

[1] P. Angelov, E. Lughofer, and X. Zhou, "Evolving fuzzy classifiers using different model architectures", Fuzzy Sets and Systems, 159, 23, 3160-3182, 2008.

[2] F. Crespo. and R. Weber, "A methodology for dynamic data mining based on fuzzy clustering", Fuzzy Sets & Systems, 150, 267-284, 2005.

[3] J. Kacprzyk. and S. Zadrozny, "Linguistic database summaries and their protoforms: towards natural language based knowledge discovery tools", Information Sciences, 173, 4, 281-304, 2005.

[4] K. Kiliç, O. Uncu, and I. B. Türksen, "Comparison of different strategies of utilizing fuzzy clustering in structure identification", Information Sciences, 177, 23, 5153-5162, 2007.

[5] C. Molina, L. Rodríguez-Ariza, D. Sánchez. and M. Amparo-Vila, "A new fuzzy multidimensional model", IEEE Trans. on Fuzzy Systems, 14, 6, 897-912, 2006.

[6] W. Pedrycz, and F. Gomide, "An Introduction to Fuzzy Sets: Analysis and Design", MIT Press, Cambridge, MA, 1998.

[7] D. T. Pham, and M. Castellani, "Evolutionary learning of fuzzy models", Engineering Applications of Artificial Intelligence, 19, 6, 583-592, 2006.

[8] Y. Wang, W. Kinsner, and D. Zhang, "Contemporary Cybernetics and its faces of Cognitive Informatics and Computational Intelligence", IEEE Trans. on System, Man, and Cybernetics - Part B, 39, 4), 1- 11, 2009.

[9] L. A. Zadeh, "Towards a theory of fuzzy information granulation and its centrality in human reasoning and fuzzy logic", Fuzzy Sets and Systems, Vol. 90, pp.111-117.

[10] Y. Y. Yao, "Information granulation and rough set approximation", International Journal of Intelligent Systems, Vol. 16, No. 1, pp.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

87-104, 2001.

[11] P. Baranyi, "The Generalized TP model transformation for TS fuzzy model manipulation and generalized stability verification", IEEE Trans. Fuzzy System. Vol. 22, No. 4, pp. 934-948, 2014.

[12] Z. Deng, Y. Jiang, K. S. Choi, F. L. Chung, and S. Wang, "Knowledge-leverage-based TSK fuzzy system modeling", IEEE Trans. Neural Network. Learning System. Vol. 24, No. 8, pp. 1200-1212, 2013.

[13] J. S. R. Jang, "ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system", IEEE Trans. System. Man, Cybernetics. Vol. 23, No. 3, pp. 665-685, 1993.

[14] C. F. Juang, and C. Y. Chen, "An interval type-2 neural fuzzy chip with on-chip incremental learning ability for time-varying data sequence prediction and system control", IEEE Trans. Neural Networks. Learning. System. Vol. 25, No. 1, pp. 216-228, Jan. 2014.

[15] V. G. Kaburlasos, and S. E. Papadakis, "A granular extension of the fuzzy-ARTMAP(FAM) neural classifier based on fuzzy lattice reasoning (FLR)", Neurocomputing, Vol. 72, No.10-12, pp. 2067-2078, 2009.

[16] V. G. Kaburlasos, "Granular Fuzzy Inference System (FIS) design by lattice computing", Hybrid Artificial Intelligence Systems, Lecture Notes Computer Science, Vol.6077, pp.410-417, 2010.

[17] V. G. Kaburlasos, G. A. Papakostas, T. Pachidis, and A. Athinellis, "Intervals' Numbers (INs) interpolation/extrapolation", IEEE International Conference on Fuzzy Systems, pp.1-8, 2013.

[18] N. K. Kasabov, Qun. Song, "DENFIS: dynamic evolving neural-fuzzy inference system and its application for time-series prediction", IEEE Trans. Fuzzy System. Vol. 10, No. 2, pp. 144-154, Apr. 2002.

[19] K. C. Kwak, and W. Pedrycz, "A design of genetically oriented linguistic model with the aid of fuzzy granulation", IEEE International Conference on Fuzzy Systems, Vol. 18, No. 23, pp.1-6, Jul. 2010.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[20] M. Pratama, S. G. Anavatti, P. P. Angelov, and E. Lughofer, "PANFIS: a novel incremental learning machine", IEEE Trans. Neural Networks. Learning System. Vol. 25, No. 1, pp. 55-68, Jan. 2014.

[21] M. Sugeno, and T. Yasukawa, "A fuzzy-logic-based approach to qualitative modeling", IEEE Trans. Fuzzy System. Vol. 1, No.1, pp. 7, Feb. 1993.

[22] R. Alcala, M. J. Gacto, and, F. Herrera, "A fast and scalable multiobjective genetic fuzzy system for linguistic fuzzy modeling in high-dimensional regression problems", IEEE Trans. Fuzzy System. Vol. 19, No. 4, pp. 666-681, Aug. 2011.

[23] J. Casillas, O. Cordon, M. J. Del Jesus, and F. Herrera, "Genetic tuning of fuzzy rule deep structures preserving interpretability and its interaction with fuzzy rule set reduction", IEEE Trans. Fuzzy System. Vol. 13, No. 1, 13-29, Feb. 2005.

[24] O. Cordon, and F. Herrera, "A proposal for improving the accuracy of linguistic modeling", IEEE Trans. Fuzzy System. Vol. 8, No. 3 , pp. 335-344, Jun. 2000.

[25] O. Cordon, F. Herrera, and I. Zwir, "Linguistic modeling by hierarchical systems of linguistic rules", IEEE Trans. Fuzzy System. Vol. 10, No. 1, pp. 2-20, Feb. 2002.

[26] A. E. Gaweda, and J. M. Zurada, "Data-driven linguistic modeling using relational fuzzy rules", IEEE Trans. Fuzzy System. Vol. 11, No. 1, pp. 121-134, Feb. 2003.

[27] W. Pedrycz, and K. C. Kwak, "Linguistic model as a framework of user-centric system modeling", IEEE Trans. System. Man Cybernetics, Part A, System. Human. Vol. 36, No. 4, pp. 727-745, Jul. 2006.

[28] W. Pedrycz, and A. V. Vasilakos, "Linguistic models and linguistic modeling", IEEE Trans. ystem. Man Cybernetics, Part B, Cybernetics. Vol. 29, No. 6, pp. 745-757, Dec. 1999.

[29] C. Porcel, A. G. López-Herrera, and E. Herrera-Viedma, "A recommender system for research resources based on fuzzy linguistic

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

modeling", Expert System. Applications. Vol. 36, No. 3, part 1, pp. 5173-5183, Apr. 2009.

[30] Y. Tang, and J. Zheng, "Linguistic modelling based on semantic similarity relation among linguistic labels", Fuzzy Sets System. Vol. 157, No. 12, pp. 1662-1673, Jun. 2006.

[31] K. Trawinski, O. Cordon, L. Sanchez, and A. Quirin, "A genetic fuzzy linguistic combination method for fuzzy rule-based multiclassifiers", IEEE Trans. Fuzzy System. Vol. 21, No. 5, pp. 950-965, Oct. 2013.

[32] Y. Xie, V. V. Raghavan, P. Dhatric, and X. Zhao, "A new fuzzy clustering algorithm for optimally finding granular prototypes", International Journal. Approximate Reasoning. Vol. 40, No.1-2, pp. 109-124, July. 2005.

[33] J. C. Bezdek, Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms, Springer-Verlag, US, 1981.

[34] G.E. Tsekouras, On the use of the weighted fuzzy c-means in fuzzy modeling, Advances. Engineering Software. Vol. 36, No. 5, pp. 287-300, May. 2005.

[35] O. Uncu, and I. B. Turksen, "Discrete interval type 2 fuzzy system models using uncertainty in learning parameters", IEEE Trans. Fuzzy System. Vol. 15, No. 1, pp. 90-106, Feb. 2007.

[36] A. Lemos, W. Caminhas, and F. Gomide, "Multivariable Gaussian evolving fuzzy modeling system", IEEE Trans. Fuzzy System. Vol. 19, No. 1, pp. 91-104, Feb. 2011.

[37] J. Casillas, O. Cordon, M. J. Del Jesus, and F. Herrera, "Genetic tuning of fuzzy rule deep structures preserving interpretability and its interaction with fuzzy rule set reduction", IEEE Trans. Fuzzy System. Vol. 13, No. 1, pp. 13-29, Feb. 2005.

[38] J. Abonyi, R. Babuska, and F. Szeifert, "Modified Gath-Geva fuzzy clustering for identification of Takagi-Sugeno fuzzy models", IEEE Trans. System. Man Cybernetics, Part B, Cybernetics. Vol. 32, No.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

5, pp. 612-621, Oct. 2002.

[39] J. Lu, X. Yuan, and T. Yahagi, "A method of face recognition based on fuzzy c-means clustering and associated sub-NNs", IEEE Trans. Neural Networks. Vol. 18, No. 1, pp. 150-160, Jan. 2007.

[40] D. Nauck, F. Klawonn, and R. Kruse, "Combining neural networks and fuzzy controllers", Fuzzy Logic in Artificial Intelligence, Lecture Notes Computer Science, Vol.695, pp.35-46, 1993.

[41] D. Nauck, and R. Kruse, "A fuzzy neural network learning fuzzy control rules and membership functions by fuzzy error backpropagation", IEEE International Conference on Neural Networks, pp. 1022-1027, 1993.

[42] D. Nauck, R. Kruse, and R. Stellmach, "New learning algorithms for the neuro-fuzzy environment NEFCON-I", Proceedings . Neuro-Fuzzy-Systems, pp. 357-364, 1995.

[43] D. Nauck, U. Nauck, and R. Kruse, "Generating classification rules with the neuro-fuzzy system NEFCLASS", Biennial Conference of the North American, Fuzzy Information Processing Society, NAFIPS, pp.466-470, Jun. 1996.

[44] M. Sugeno, and T. Yasukawa, "A fuzzy-logic-based approach to qualitative modeling", IEEE Trans. Fuzzy System, Vol. 1, No. 1, Feb. 1993.

[45] W. Lu, X. Chen, W. Pedrycz, X. Liu, and J. Yang, "Using interval information granules to improve forecasting in fuzzy time series", International Journal. Approximate. Reasoning. Vol. 57, pp. 1-18, Feb. 2015.

[46] S. Abe, M. S. Lan, and R. Thawonmas, "Tuning of a fuzzy classifier derived from data", in: Proceedings of the Third IEEE Conference on IEEE World Congress on Computational Intelligence, Vol. 2, pp. 786-791, Jun. 1994.

[47] S. Abe, M. S. Lan, "A method for fuzzy rules extraction directly from numerical data and its application to pattern classification",

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

IEEE Trans. Fuzzy Systems, Vol. 3, No. 1, pp. 18-28, Feb. 1995.

[48] R. Thawonmas, and S. Abe, "A fuzzy classifier based on partitioned hyperboxes", in: IEEE International Conference on Neural Networks, Vol. 2, pp.1097-1102, Jun. 1996.

[49] N. Tschichold-Gürman, "Generation and improvement of fuzzy classifiers with incremental learning using fuzzy RuleNet", in: Proceedings of the 1995 ACM Symposium on Applied Computing, pp. 466-470, 1995.

[50] S. Abe, and M. S. Lan, "A function approximator using fuzzy rules extracted directly from numerical data", in: Proceedings of 1993 International Joint Conference on Neural Networks, vol.2, pp. 1887-1892, Oct. 1993.

[51] R. Thawonmas, and S. Abe, "Function approximation based on fuzzy rules extracted from partitioned numerical data", IEEE Trans. System. Man Cybernetics, Part B, Cybernetics. Vol. 29, No. 4, pp. 525-534, Aug. 1999.

[52] J. C. Bezdek, Fuzzy mathematics in pattern classification, PhD thesis, Applied Math. Center, Cornell University, ithaca, 1973.

[53] W. Pedrycz, A. Skowron, and V. Kreinovich, Handbook of Granular Computing, John Wiley & Sons, 2008.

[54] A. Bargiela, and W. Pedrycz, Granular computing: An introduction, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003.

[55] A. Bargiela, and W. Pedrycz, "Toward a theory of granular computing for human-centered information processing", IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 16, No.2, pp.320-330, 2008.

[56] A. Bargiela, and W. Pedrycz, "Human-centric information processing through granular modelling", Heidelberg: Springer-Verlag, 2009.

[57] D. E. Goldberg, Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley, Reading, MA, 1989.

[58] W. Pedrycz and M. Reformat, "Genetically optimized logic models", Fuzzy Sets and Systems, Vol.150, pp.351-371, 2005.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[59] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization",IEEE Int. Conf. Neural Networks, vol. IV, PP. 1942-1948, 1995.

[60] S. K. Oh, W. Pedrycz, and H. S. Park, "Genetically optimized fuzzy polynomial neural networks", IEEE Trans. on Fuzzy Systems, Vol.14, No.1, pp.125-144, 2006.

[61] M. A. Abido, "Optimal Design of Power-System stabilizers Using Particle Swarm Optimization, IEEE Trans, Energy Conversion, vol. 17, No. 3, pp. 406-413, 2002.

[62] Z. L. Gaing, "A Particle Swarm Optimization Approach for Optimum Design of PID Controller in AVR System", IEEE Trans. Energy Conversion, vol. 19, No. 2, pp.384-391, 2004.

[63] K. F. Parsopoulos, "On the Computation of All Global Minimizers Through Particle Swarm Optimization", IEEE Trans. Evolutionary Computation, vol. 8, No. 3, pp. 211-224, 2004.

[64] J. Robinson and Y. Rahmat-Samii, "Particle Swarm Optimization in Electromagnetics", IEEE Trans. Antennas and Propagation, vol. 52, No. 2, pp.397-407, 2004.

[65] A. Salman, I. Ahmad, and S. Al-Madani, "particle swarm optimization for task assignment problem", Microprocessors and Microsystems, Vol. 26, No., pp. 363-371, 2002.

[66] J. Kennedy, "The particle swarm: Social adaptation of knowledge", IEEE Int. Conf. Evolutionary Compur, pp. 303-308, 1997.

[67] W. Pedrycz, "Granular Computing and Human-Centricity in Computational Intelligence", 2010 9th IEEE International Conference on Cognitive Informatics(ICCI), p. 2, 2010.

[68] W. Pedrycz, "Conditional fuzzy clustering in the design of radial basis function neural networks", IEEE Tans. on Neural Networks, Vol.9, No.4, pp.745-757, 1999.

[69] W. Pedrycz, "Conditional fuzzy c-means", Pattern Recognition Letters, Vol. 17, pp. 625-632, May 1996.

[70] M. W. Lee, K. C. Kwak, "A design of incremental radial basis

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

function networks for human-centric system and computing", The Journal of Korean Institute of Information Technology, Vol. 10, No. 4, pp. 137-142, 2012.

[71] K. C. Kwak, "A design of granular model using conditional clustering and density peaks", Journal of Korean Institute of Information Technology, Vol. 13, No. 7, PP. 127-134, 2015.

[72] W. Pedrycz, R. Al-Hmouz, A. Morfeq, A. Balamash, "The design of free structure granular mapping: The use of the principle of justifiable granularity", IEEE Trans. on Cybernetics, Vol. 43, No. 6, pp. 2105-2113, 2013.

[73] W. Pedrycz, X. Wang, "Designing fuzzy sets with the use of the parametric principle of justifiable granularity", IEEE Trans. on Fuzzy Systems, Vol. 24, No. 2, April 2016.

[74] O. F. Reyes-Galaviz, W. Pedrycz, "Granular fuzzy models: analysis, design, and evaluation", International Journal of Approximate Reasoning, Vol. 64, pp.1-19, 2015.

[75] S. S. Kim and K. C. Kwak, "Development of quantum-based adaptive neuro-fuzzy networks", IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics- Part B, Vol. 40, No. 1, pp. 91-100, Feb. 2010.

[76] C. U. Yeom, M. W. Lee, K. C. Kwak, "Performance index method of granular model based on information granules", Proceeding of KIIS Autumn Conference, 2016.

[77] W. Pedrycz and K. C. Kwak, "Linguistic models as framework of user-centric system modeling", IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics-Part A, Vol.36, No.4, pp.727-745, 2006.

[78] W. Pedrycz and K. C. Kwak, The development of incremental models, IEEE Trans. on Fuzzy Systems, Vol.15, No.3, pp.507-518, 2007.

[79] S. Haykin, Neural networks: A comprehensive foundation(2nd ed.), Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1999.

[80] K. Hirota, "Conceptes of probabilistic sets", Fuzzy Sets and Systems, Vol.5, No.1, pp.31-46, 1981.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[81] X. Liu, and W. Pedrycz, Axiomatic fuzzy set theory and its applications, Berlin: Springer-Verlag, 1984.

[82] R. Moore, Interval analysis, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1966.

[83] Z. Pawlak, "Rough sets', International Journal of Computing and Information Sciences, Vol.11, pp.341-356.

[84] W. Pedrycz, "Shadowed sets: Representing and processing fuzzy sets", IEEE Transactions on Systems Man and cybernetics, Part B, Vol. 28, pp. 103-109, 1998.

[85] W. Pedrycz, "Interpretation of clusters in the framework of shadowed sets", Pattern Recognition Letters, Vol.26, No.15, pp.2439-2449.

[86] W. Pedrycz, and F. Gomide, An introduction to fuzzy sets: Analysis and design, Cambridge, MA: MIT Press, 1998.

[87] W. Pedrycz, and F. Gomide, Fuzzy systems engineering: Toward human-centric computing, Hoboken, NJ: John Wiley, 2007.

[88] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets", Information and Control, Vol. 8, pp. 338-353, 1965.

[89] L. A. Zadeh, "Towards a theory of fuzzy information granulation and its centrality in human reasoning and fuzzy logic", Fuzzy Sets and Systems, Vol. 90, pp.111-117.

[90] L. A. Zadeh, "From computing with numbers to computing with words-from manipulation of measurements to manipulation of perceptions", IEEE Transactions on Circuits and Systems, Vol.45, pp.105-119.

[91] L. A. Zadeh, "Toward a generalized theory of uncertainty(GTU)-An outline", Information Sciences, Vol.172, pp.1-40.

[92] D. Li, H. Gu, and L. Y. Zhang, "A fuzzy c-means clustering algorithm based on nearest-neighbor intervals for incomplete data", Pattern Analysis and Applications, Vol.18, No.2, pp. 377-384, 2015.

[93] L. Y. Zhang, W. Lu, X. D. Liu, W. Pedrycz, C. Q. Zhong, and L. Wang,

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

"A global clustering approach using hybrid optimization for incomplete data based on interval reconstruction of missing value", International Journal of Intelligent Systems, Vol.31, No.4, pp.297-313, 2016.

[94] X. B. Gao, H. B. Ji, W. X. Xie, "A novel FCM clustering algorithm for interval-valued data and fuzzy-valued data", International Conference on Signal processing Proceedings, pp. 1551-1555, 2000.

[95] M. G. C. A. Cimino, B. Lazzerini, F. Marcelloni, and W. Pedrycz, "Genetic interval neural networks for granular data regression", Information Sciences, Vol.257, pp.313-330, 2014.

[96] T. Li, L.Zhang, W. Lu, H. Hou, X. Liu, W. Pedrycz, and C. Zhong, "Interval Kernel Fuzzy C-Means Clustering of Incomplete Data", Neurocomputing, Available online, 2017.

[97] V. N. Pham, L. T. Ngo, and W. Pedrycz, "Interval-valued fuzzy set approach to fuzzy co-clustering for data classification", Knowledge-Based Systems, Vol.107, pp.1-13, 2016.

[98] L. T. Hgo, D. S. Mai, and W. Pedrycz, "Semi-supervising Interval Type-2 Fuzzy C-Means clustering with spatial information for multi-spectral satellite image classification and change detection", Computers and Geosciences, Vol.83, pp.1-16, 2015.

[99] J. Qin, X. Liu, and W. Pedrycz, "An extended TODIM multi-criteria group decision making method for green supplier selection in interval type-2 fuzzy environment", European Journal of Operational Research, Vol.258. No.2, pp.626-638, 2017.

[100] G. Alefeld, and D. Claudio, "The basic properties of interval arithmetic, its software realizations and some applications", Computers & Structures, Vol.67, No.1-3, pp.3-8, 1998.

[101] K. Hirota, and W. Pedrycz, "Specificity shift in solving fuzzy relational equations", Fuzzy Sets and Systems, Vol.106, No.2, pp.211-220, 1999,

[102] W. Pedrycz, "Information granules and their use in schemes of

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

knowledge management” ,Scientia Iranica, Vol.18, No.3, pp.602-610, 2011.

[103] S. Sengupta, s. Das, M. Nasir, A. V. Vasilakos, and W. Pedrycz, “Energy-Efficient Differentiated Coverage of Dynamic Objects using an Improved Evolutionary Multi-objective optimization Algorithm with Fuzzy-Dominance” , Evolutionary Computation, 2012.

[104] W. Pedrycz, and A. Bargiela, “An Optimization of Allocation of Information Granularity in the Interpretation of Data Structures: Toward Granular Fuzzy Clustering” , IEEE Transactions on Systems, Vol.42, No.3, pp.582-590, 2012.

[105] W. Pedrycz, and M. Song, “Granular fuzzy models : A study in knowledge management in fuzzy modeling” , International Journal of Approximate Reasoning “, Vol.53, No.7, pp.1061-1079, 2012.

[106] R. Al-Hmouz, W. Pedrycz, A. Balamash, and A. Morfeq, “Granular Representation Schemes of Time Series : A Study in an Optimal Allocation of Information Granularity” , Foundations of Computational Intelligence, 2013.

[107] A. A. Tsehayae, W. Pedrycz, and A. Robinson Fayek, “Application of Granular Fuzzy Modeling for Abstracting Labour Productivity Knowledge Bases” , IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting, 2013.

[108] M. Song, and W. Pedrycz, “Granular Neural Networks : Concepts and Development Schemes” , IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, Vol.24, No.4, pp.542-553, 2013.

[109] W. Pedrycz, R. Al-Hmouz, A. Morfeq, and A. Balamash “The Design of Free Structure Granular Mappings: The Use of the Principle of justifiable Granularity” , IEEE Transactions on Cybernetics, Vol.43, No.6, pp. 2015-2113, 2013.

[110] W. Lu, W. Pedrycz, X. Liu, J. Yang, and P. Li, “The modeling of time series based on fuzzy information granules” , Expert Systems with Applications, Vol.41, No.8, pp.3799-3808, 2014.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[111] W. Pedrycz, R. Al-Hmouz, A. S. Balamash, and A. Morfeq, "Hierarchical Granular Clustering: An Emergence of Information Granules of Higher Type and Higher Order", IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol.23, No.6, pp.2270-2283, 2015.

[112] X. Hu, W. Pedrycz, and X. Wang, "Comparative analysis of logic operators : A perspective of statistical testing and granular computing", International Journal of Approximate Reasoning, Vol.66, pp.73-90, 2015.

[113] W. Pedrycz, R. Al-Hmouz, A. Saeed Balamash, and Ali morfeq, "Designing granular fuzzy models : A hierarchical approach to fuzzy modeling", knowledge-Based Systems, Vol.76, pp.42-52, 2015.

[114] O. F. Reyes-Galaviz, and W. Pedrycz, "Granular fuzzy modeling with evolving hyperboxes in multi-dimensional space of numerical data", Neurocomputing, Vol.168, pp.240-253, 2015.

[115] W. Pedrycz, A. Gacek, X. Wang "Clustering in augemented space of granular constraints : A study in knowledge- based clustering", Pattern Recognition Letters, Vol.67, No.2, pp.122-129, 2015.

[116] W. Pedrycz, X. Wang, "Designing Fuzzy Sets With the Use of the Parametric Principle of Justifiable Granularity", IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol.24, No.2, pp.489-496, 2016.

[117] X. Hu, W. Pedrycz, and X. Wang, "Granular Fuzzy Rule-based Models: A Study in a Comprehensive Evaluation and Construction of Fuzzy Models", IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol.PP, No.99, pp.1-1, 2016.

[118] C. Zhong, W. Pedrycz, D. Wang, and Z. Li, "Granular data imputation : A framework of Granular Computing", Applied Soft Computing, Vol.46, pp.307-316, 2016.

[119] X. Hu, W. Pedrycz, and X. Wang, "Optimal allocation of information granularity in system modeling through the maximization of information specificity : A development of granular input space", Applied Soft Comupting, Vol.42, pp.410-422, 2016.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[120] J. Kerr-Wilson, and W. Pedrycz, "Design of rule-based models through information granulation", Expert Systems with Applications, vol.46, pp.274-285, 2016.

[121] X. Hu, W. Pedrycz, Oscar Castillo, and P. Melin, "Fuzzy rule-based models with interactive rules and their granular generalization", Fuzzy Sets and Systems, Vol.307, pp.1-28, 2017.

[122] W. Pedrycz, and J.V. Oliveira, "A Development of Fuzzy Encoding and Decoding Through Fuzzy Clustering", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol.57, No.4, pp.829-837, 2008.

[123] W. Pedrycz, "Granular Computing and Logic Processing in Intelligent Systems", Artificial Intelligence Methods 2003, pp.227-232, 2003.

[124] W. Lu, X. Chen, W. Pedrycz, X. Liu, J. Yang, "Using interval information granules to improve forecasting in fuzzy time series", Int. J. Approx. Reason. Vol. 57, pp.1-18,2015.

[125] S. Abe, M.-S. Lan, R. Thawonmas, "Tuning of a fuzzy classifier derived from data, in: Proceedings of the Third IEEE Conference on IEEE World Congress on Computational Intelligence", Jun. 1994, in: Fuzzy Systems, vol.2, pp.786-791, 1994.

[126] S. Abe, M.-S. Lan, "A method for fuzzy rules extraction directly from numerical data and its application to pattern classification", IEEE Trans. Fuzzy Syst. Vol. 3(1), pp.18-28, 1995.

[127] R. Thawonmas, S. Abe, "A fuzzy classifier based on partitioned hyperboxes", in: IEEE International Conference on Neural Networks, vol.2, pp.1097-1102, 1996.

[128] N. Tschichold-Gürman, "Generation and improvement of fuzzy classifiers with incremental learning using fuzzy RuleNet", in: Proceedings of the 1995 ACM Symposium on Applied Computing, SAC '95, ACM, New York, NY, USA, pp.466-470, 1995.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[129]M. Setnes, “Supervised fuzzy clustering for rule extraction”, IEEE Trans. Fuzzy Syst, Vol.8(4),pp.416-424, 2000.

[130] W.Pedrycz, “Allocation of information granularity in optimization and decision-making models: Towards building the foundations of Granular Computing”, European Jornal of O?perational Research, Vol.232, No.1, pp. 137-145, 2014.

[131] W. Lu, W. Pedrycz, X. Liu, J. Yang, and P. Li, “The modeling of time series based on fuzzy information granules”, Vol. 41, No.8, pp. 3799-3808, 2014.

[132] F. J. Cabrerizo, R. Urena, W. Pedrycz, and E. H. Viedma, “Building consensus in group decision making with an allocation of information granularity”, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 255, pp. 115-117, 2014.

[133] W. Pedrycz, G. Succi, A. Sillitti, and J. Iljazi, “Data description: A general framework of information granules”, Knowledge-Based Systems, Vol.80, pp. 98-108, 2015.

[134] W. Lu, X. Chen, W. Pedrycz, X. Liu, and J. Yang, “Using interval information granules to improve forecasting in fuzzy time series”, International Journal of Approximate Reasoning, Vol. 57, pp.1-18, 2015.

[135] L. Wang, X. Liu, W. Pedrycz, and Y. Shao, “Determination of temporal information granules to improve forecasting in fuzzy time series”, Expert Systems with Applications, Vol.41, No.6, pp.3134-3142, 2014.

[136] W. Pedrycz, and M. Song, “A granulation of linguistic information in AHP decision-making problems”, Information Fusion, Vol.17, pp. 93-101, 2014.

[137] W. Wang, W. Pedrycz, and X. Liu, “Time series long-term forecasting model based on information granules and fuzzy

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

clustering", Engineering Applications of Artificial Intelligence, Vol. 41, pp.17-24, 2015.

[138] W. Pedrycz, R. Al-Hmouz, A. Morfeq, and A. S. Balamash, "Building granular fuzzy decision support systems", Knowledge-Based Systems, Vol. 58, pp. 3-10, 2014.

[139] R. Al-Hmouz, W. Pedrycz, and A. Balamash, "Description and prediction of time series: A general framework of Granular Computing", Expert Systems with Applications, Vol. 42, No. 10, pp. 4830-4839, 2015.

[140] X. Hu, W. Pedrycz, G. Wu, and W. Wang, "Data reconstruction with information granules: An augmented method of fuzzy clustering", Applied Soft Computing, Vol. 55, pp. 523-532, 2017.

[141] M. R. Lyu, Handbook of Software Reliability Engineering, McGraw-Hill, New York, 1995, pp. 510-514.

[142] UCI Machine Learning Repository, https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets.html

[143] New Engliand ISO, http://www.iso-ne.com/

Collection @ chosun