

## 퍼지 가중치 평균 분류기에서 통계 정보를 활용한 가중치 설정 기법의 제안

우영운\*, 허경용\*\*, 김광백\*\*\*

# Proposal of Weight Adjustment Methods Using Statistical Information in Fuzzy Weighted Mean Classifiers

Young Woon Woo \*, Gyeongyong Heo \*\*, Kwang-Baek Kim \*\*\*

### 요 약

퍼지 가중치 평균 분류기는 가중치를 적절히 설정함으로써 뛰어난 분류 성능을 얻을 수 있다는 장점이 있다. 그러나 일반적으로 가중치는 인식 문제 분야의 특성이나 해당 전문가의 지식과 주관적 경험을 기반으로 설정되므로 설정된 가중치의 일관성과 객관성을 보장하기가 어려운 문제점을 갖고 있다. 따라서 이 논문에서는 퍼지 가중치 평균 분류기의 가중치를 설정하기 위한 객관적 기준을 제시하기 위하여 특징값들 간의 통계적 정보를 이용한 가중치 설정 기법들을 제안하였다. 제안한 기법들의 효과를 조사하기 위하여 UCI machine learning repository 사이트에서 제공되는 표준 데이터들 중의 하나인 Iris 데이터 세트를 이용하여 실험하였으며, 그 결과 우수한 성능을 확인할 수 있었다.

### Abstract

The fuzzy weighted mean classifier is one of the most common classification models and could achieve high performance by adjusting the weights. However, the weights were generally decided based on the experience of experts, which made the resulting classifiers to suffer the lack of consistency and objectivity. To resolve this problem, in this paper, a weight deciding method based on the statistics of the data is introduced, which ensures the learned classifiers to be consistent and objective. To investigate the effectiveness of the proposed methods, Iris data set available from UCI machine learning repository is used and promising results are obtained.

▶ Keyword : 퍼지 가중치 평균 분류기(Fuzzy Weighted Mean Classifier), 가중치 조정(Weight Adjustment), 통계적 정보(Statistical Information), Iris 데이터세트(Iris Dataset)

• 제1저자 : 우영운    교신저자 : 김광백

• 투고일 : 2009. 04. 27, 심사일 : 2009. 04. 28, 게재확정일 : 2009. 07. 26.

\* 동의대학교 멀티미디어공학과 교수    \*\* Computer and Info. Sci. and Eng., University of Florida

\*\*\* 신라대학교 컴퓨터정보공학부교수

※ 이 논문은 2009년 한국컴퓨터정보학회 제39차 동계학술대회에서 발표한 논문("퍼지 가중치 평균 분류기를 위한 통계적 정보 기반의 가중치 설정 방안")을 확장한 것임

## I. 서론

정보화 시대에 쉽게 얻을 수 있는 수많은 데이터들을 적절히 표현하는 것은 물론, 다양하고 방대한 자료를 분류하고 처리하기 위한 기술이 다양하게 발전되어 오고 있다. 그 중에서도 인식 기술은 정보를 검색하고 분류, 처리하기 위한 가장 뛰어난 기술이며, 인식기술의 대표적인 것이 패턴인식이다. 패턴인식은 인지과학과 인간의 학습능력과 추론능력을 인공적으로 모델링하여 외부 대상을 지각하는 능력, 나아가 자연 언어와 같은 구문적인 패턴까지 이해하는 능력을 컴퓨터 프로그램으로 구현하는 인공지능의 한 분야이다. 패턴인식의 대표적인 응용분야로는 문자인식, 음성인식, 생체인식, 행동패턴 분석, 의료영상 분석, 진단시스템, 도면인식, 예측시스템 등이 있으며, 최근에는 보안과 군사 분야뿐만 아니라 비정보기술 분야를 포함한 다양한 분야에서 활용되고 있다[1].

패턴 인식 기술에서 인식의 정확성을 향상시키기 위해서는 대상의 특성을 파악하여 그 특성에 따른 변별력이 높은 특징값을 추출하는 것과, 추출된 특징값들을 하나의 값으로 집계, 비교하여 인식 결과를 산출하기 위한 분류기 모형을 선택하고 세부 파라미터들을 적절히 구성하는 것이 필요하다. 현재 널리 활용되고 있는 분류기 모형들로는 신경망, 베이스 이론(Bayes theory), SVM(Support Vector Machine), 퍼지(fuzzy), Kernel, Spectral 등의 기법에 기반한 것들을 들 수 있다[2-5].

이 논문에서는 퍼지 기반의 분류기 모형들 중의 하나인 퍼지 가중치 평균 분류기의 성능을 개선시킬 수 있는 방법의 일환으로 가중치를 설정하는 기법들을 제안하였다. 이를 위하여 특징값들 간의 관계를 파악할 수 있는 다양한 통계적 정보들을 활용하였으며, 제안된 기법들을 UCI(University of California, Irvine) machine learning repository 사이트[6]에서 제공되는 표준 데이터들 중의 하나인 Iris 데이터 세트를 이용하여 실험하고 그 결과를 비교, 분석하였다. 논문의 전체 구성은 다음과 같다. 2장에서 제안 기법을 설명하고 3장에서는 제안 기법들을 이용한 실험 및 분석 결과를 제시한 후 4장에서 결론을 맺는다.

## II. 관련 연구 및 제안 배경

패턴 분류 문제들에서 추출된 특징값들을 이용하여 하나의 클래스를 결정짓기 위한 기법들은 보편적으로 유사도 척도

(similarity measure)를 이용하여 학습된 기준 데이터와 입력되는 테스트 데이터의 유사도를 비교하여 가장 유사한 클래스에 소속하는 데이터라고 결정짓는 방법을 활용하고 있다. 이 때 기준 학습 데이터의 특징값 벡터와 입력된 테스트 데이터의 특징값 벡터의 유사도를 비교하기 위하여 Minkowsky distance, Euclidean distance, City-block distance, Mahalanobis distance 등의 거리 척도들이 일반적으로 이용되고 있다[2].

그러나 이들 중 Mahalanobis distance를 제외하고는 특징값 벡터의 모든 요소들을 동일한 수식에 의해 계산을 수행한 후 모든 거리값의 합이 가장 작은 클래스를 결과 클래스로 산출하는 방식을 사용하고 있다. Mahalanobis distance는 특징값 벡터의 각 요소가 각 클래스의 해당 차원(dimension)의 클래스 내 분산(within-class variance)을 이용하여 클래스 분포의 특징을 거리에 반영하는 장점을 갖지만, 이 또한 모든 거리값들을 하나의 값으로 결정하기 위하여 개별적으로 산출된 거리값들의 단순 합을 최종 결과값으로 이용하고 있다.

따라서 분류를 위해 특징값 벡터의 각 요소들의 거리값들이 산출되었다고 할 경우에 각 요소들의 거리값들을 단순히 합으로 계산하여 비교하지 않고, 각 요소들의 거리값에 기준 클래스들의 평균과 분산 등의 통계적 정보를 가중치로 활용한 가중치 평균 기법으로 최종 결과값을 산출하여 사용한다면 분류 성능을 더욱 높일 수 있을 것이라는 아이디어에서 이 논문이 출발되었다. 예를 들어 8개의 클래스와 각 클래스별로 10개의 요소로 이루어진 특징값 벡터로 이루어진 문제 분야의 학습된 기준 특징값들을 그래프로 나타낸 그림 1을 살펴보면 하자.

그림 1에 나타나 있는 것처럼 10차원 벡터의 특징값을 갖는 8개 클래스의 특징값 분포를 보면 5번째 특징값들의 클래스간 분포가 8번째 특징값들의 클래스간 분포보다 더욱 넓은 간격으로 벌어져 있음을 알 수 있다. 이는 5번째의 특징 요소가 8번째 보다는 클래스간의 구별을 위한 변별력이 더욱 높은 것으로 생각할 수 있다. 따라서 저자의 초기 연구에서는 이러한 개념을 구현하기 위하여 클래스간의 분포가 더 넓은 정도를 가중치로 활용한 가중치 평균을 산출하면 더욱 분류 성능을 높일 수 있을 것이라고 예상하고, 식 (1)과 같이 표현되는 각 특징값들의 8차원 세로 벡터에 대한 분산을 이용하여 기존 연구들과 비교 실험하여 분류 성능이 더욱 높아짐을 확인하였다[7].

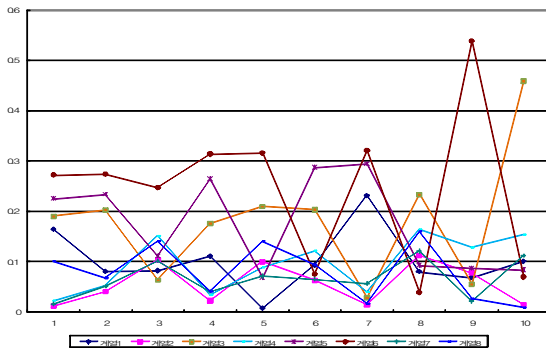


그림 1. 8개 클래스와 10개 특징값으로 구성된 문제 예  
Fig. 1. A sample problem with 8 classes and 10 feature values

$$vr_j = \frac{1}{c} \sum_{i=1}^c (x_{ij} - m_j)^2 \dots\dots\dots (1)$$

여기서  $c$ 는 클래스 수,  $x_{ij}$ 는  $i$ 번째 클래스의  $j$ 번째 특징값,  $m_j$ 는  $j$ 번째 특징값들의 평균을 의미한다.

그러나 [7]의 연구에서는 분산에 의한 가중치 개념을 적용하지 않는 결과들보다 좋은 성능을 보이지만, 실제 식 (1)에 의해 분산을 계산해 보면 9번째 특징값들에 대한 분산이 4번째나 5번째 보다 높게 나옴을 알 수 있다. 즉 모든 특징값들이 고루 넓게 퍼져 있음을 반영하기 위하여 분산을 사용하였지만, 7개의 클래스가 모여 있고 하나의 클래스 값만이 아주 멀리 떨어져 9번째와 같은 경우에는 7개의 클래스에 대한 변별력이 결코 높은 것은 아니기 때문에 9번째 특징값들의 가중치를 낮추고 4번째나 5번째 특징값들의 가중치를 상대적으로 높일 수 있는 새로운 척도가 있으면 분류 성능을 높일 수 있을 것으로 생각하고 가중치 설정을 위한 몇 가지 척도를 제안하고 비교 실험하였다.

### III. 제안한 가중치 설정 기법

특징값들의 분포를 이용하여 가중치를 합리적으로 산출하기 위한 기법을 위하여 그림 2와 그림 3과 같이 특징값들의 분포가 실제 발생할 수 있는 경우들을 제시하였다. 그림 2는 클래스들 간의 특징값 간격이 동일하지만 그 간격이 서로 다른 5가지 경우(f1 ~ f5)를 각각 나타낸 그림이고, 그림 3은 클래스들 간의 특징값 간격이 모두 같은 것부터 하나씩 차이가 나는 5가지 경우(f1 ~ f5)를 각각 나타낸 그림이다.

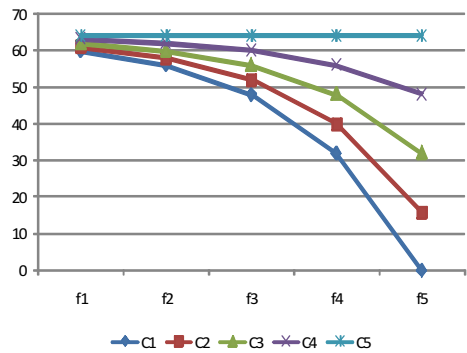
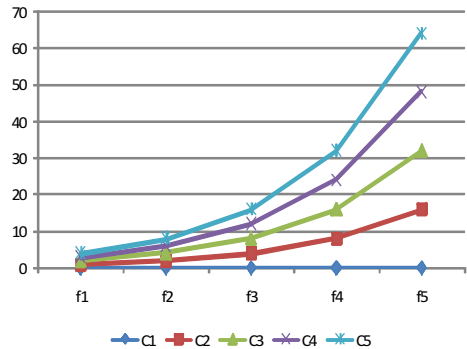


그림 2. 클래스 간에 동등한 간격으로 구성된 특징값 분포 예  
Fig. 2. Examples of feature value distribution with equal inter-class intervals

그림 2의 경우에는 각 클래스간의 간격이 동일하므로 전체적으로 간격이 큰 특징값들의 변별력이 우수한 것으로 판단할 수 있으므로 간격이 큰 특징값 세로 벡터가 큰 가중치를 갖도록 하는 척도가 요구된다. 또한 그림 3의 경우에는 각 특징값들의 클래스 간의 간격이 변하는 경우이므로 특징값들의 분포가 고를 경우 인식 대상 데이터들의 클래스 소속도간의 차이가 커져 변별력이 우수한 것으로 판단할 수 있으므로 간격이 고른 특징값 세로 벡터가 큰 가중치를 갖도록 하는 척도가 요구된다.

이를 위하여 그림 2의 경우를 위한 척도로는 각 특징값들 간 차이들의 평균(MD)을 고려하였으며, 그림 3의 경우를 위한 척도로는 각 특징값들의 분산(V), 각 특징값들 간 차이들의 분산(VD), 각 특징값들의 분산을 가장 큰 특징값 차이로 나눈 값(VPDM)을 고려하였다. V를 산출하는 식은 수식 (1)로 이미 제시되었으며, 수식 (2)는 MD, 수식 (3)은 VD, 그리고 수식 (4)는 VPDM를 구하기 위한 수식이다.

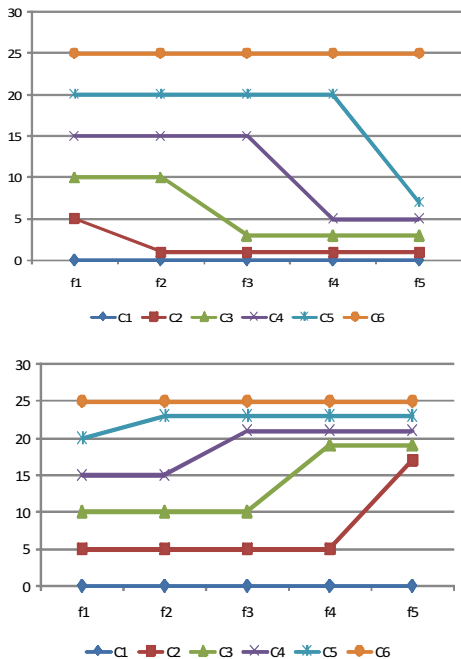


그림 3. 클래스 간에 차등 간격으로 구성된 특징값 분포 예  
Fig. 3. Examples of feature value distribution with different inter-class intervals

$$MD_j = \frac{1}{c-1} \sum_{i=1}^{c-1} (x_{(i+1)j} - x_{ij}) \dots\dots\dots (2)$$

$$VD_j = \frac{1}{c-1} \sum_{i=1}^{c-1} [(x_{(i+1)j} - x_{ij}) - MD_j]^2 \dots\dots\dots (3)$$

$$VPDM_j = \frac{\frac{1}{c} \sum_{i=1}^c (x_{ij} - m_j)^2}{DiffMax_j} \dots\dots\dots (4)$$

여기서,  $DiffMax_j = \max(x_{(i+1)j} - x_{ij}), i = 1..c$

위 수식들에서  $c$ 는 클래스 개수이며  $j$ 는 특징값 벡터의 차수를 나타낸다. 또한  $x_{ij}$  값들은  $i$ 를 기준으로 오름차순으로 정렬되어 수식에 적용된다. 그림 2와 그림 3에 대하여 이상의 수식들과 추가 통계 정보들에 의해 산출된 결과값을 그림 4와 그림 5에 나타내었다. 그림 3과 그림 4에서 분산 대신 표준편차를 사용하여 나타낸 것은 비교 대상들의 값 차이를 줄여 비교를 용이하게 하기 위함이다.

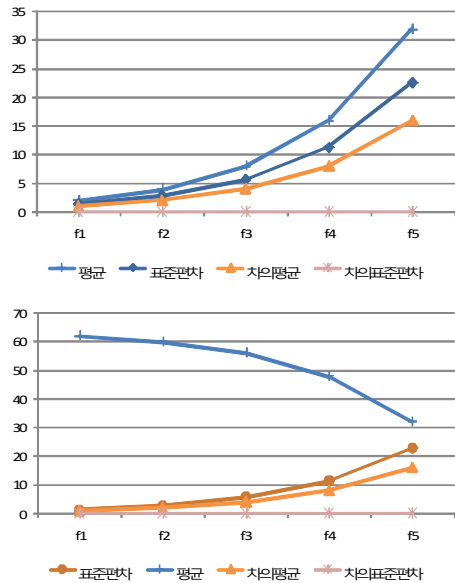


그림 4. 그림 2에 대한 4 가지 통계 정보  
Fig. 4. 4 kinds of statistical information for Fig. 2

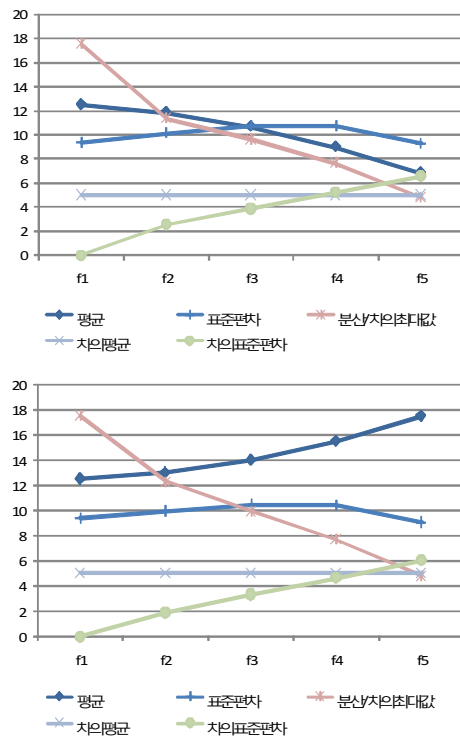


그림 5. 그림 3에 대한 5 가지 통계 정보  
Fig. 5. 5 kinds of statistical information for Fig. 3

이상과 같은 척도들을 이용하여 패턴 분류 성능이 우수할 것으로 판단되는 가중치들을 다음과 같은 4가지 수식으로 제안하고 기존에 제안된 분산과 가중치를 고려하지 않는 Euclidean distance 방법을 포함하여 모두 6가지를 비교, 실험하였다. 처음 2가지는 VPDM 활용에 중점을 둔 것이며 다음 2가지는 VD 활용에 중점을 둔 것이다.

- ① VPDM
- ② MD + VPDM
- ③ 1 - VD
- ④ MD + (1 - VD)
- ⑤ V
- ⑥ Euclidean distance

#### IV. 실험 및 결과 고찰

실험을 위하여 UCI(University of California, Irvine) machine learning repository 사이트에서 제공되는 표준 데이터들 중의 하나인 Iris 데이터 세트를 사용하였다. Iris 데이터 세트는 3개의 클래스와 4개의 특징값으로 구성된 벡터가 클래스 별로 50개씩 존재하는 구조이다. 각 클래스의 학습 데이터에 대한 테스트 데이터의 거리는 수식 (5)와 같은 동일한 기울기를 갖는 삼각형 모양의 퍼지 함수 소속도를 이용하여 산출하였다[8]. Iris 데이터 세트를 이용한 실험에서는 학습 데이터가 클래스 별로 복수개의 특징값 벡터가 사용되는데 이 논문에서는 사용되는 특징값 벡터들의 평균값만을 퍼지 함수의 중심값으로 활용하였다.

$$\begin{aligned} \mu_{ij}(x_j) &= 0.01(x_j - f_{ij}) + 1 \quad \text{if } x_j < f_{ij} \\ \mu_{ij}(x_j) &= -0.01(x_j - f_{ij}) + 1 \quad \text{if } x_j \geq f_{ij} \dots\dots\dots (5) \\ \mu_{ij}(x_j) &= 0 \quad \text{if } \mu_{ij}(x_j) < 0 \end{aligned}$$

그림 6은 Iris 데이터 세트에서 각 클래스의 특징값 벡터 하나씩을 보여주고 있으며, 그림 7은 가중치 계산에 사용되는 통계적 정보를 얻기 위한 정규화된 특징값 벡터를 나타낸다.

이상에서 언급한 6가지 경우의 가중치 설정 방법으로 Iris 데이터를 분류한 실험 결과는 표 1과 같다. 표 1의 결과값들은 각각의 경우에 대하여 10-fold cross validation 방법[9]으로 실험한 평균 결과를 나타낸다. 이 때 가중치들의 설정 방법 차이에 따른 결과들만을 비교하기 위하여 90%의 학습 데이터들로부터 얻어지는 클래스내 분산은 사용하지 않았으며, 학습 데이터들의 평균값만을 클래스 기준 데이터로 사용하여 분류 실험을 수행하였다.

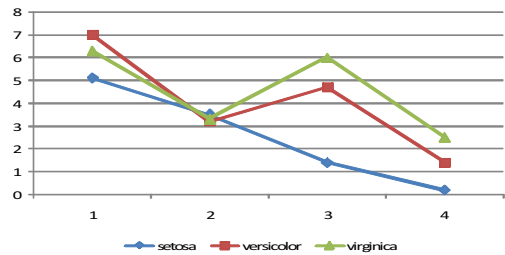


그림 6. Iris 데이터 세트의 각 클래스 특징값 벡터  
Fig. 6. Feature vectors of each class in Iris dataset

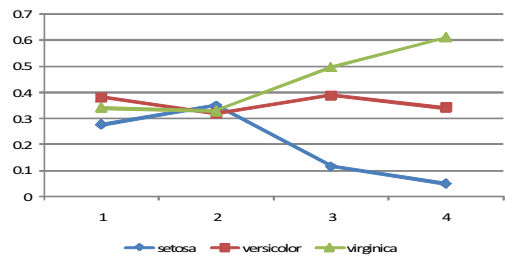


그림 7. Iris 데이터 세트의 정규화된 각 클래스 특징값 벡터  
Fig. 7. Normalized feature vectors of each class in Iris dataset

표 1. Iris 데이터 세트에 대한 각 방법의 분류 실험 결과  
Table 1. Classification results by the proposed methods on Iris dataset

가중치 설정 방법	인식률
VPDM	97.3%(146/150)
MD + VPDM	96.7%(145/150)
1 - VD	94%(141/150)
MD + (1 - VD)	94.7%(142/150)
V	95.3%(143/150)
Euclidean distance	90%(135/150)

표 2는 Iris 데이터 세트에 대하여 기존에 많이 사용되는 분류기들을 이용하여 실험한 결과를 나타낸다[10].

표 2. Iris 데이터 세트에 대한 기존 분류 기법의 인식률(10)  
Table 2. Recognition results by conventional methods on Iris dataset(10)

분류 기법	인식률
1-NN	96%
Naive Bayes	96%
BayesNet	94.7%
C4.5	94.7%

표 1의 결과와 비교해 보면 알 수 있듯이, 이 논문에서 실험한 방법은 대부분의 기존 기법들이 활용하고 있는 클래스 내 분산 정보를 전혀 이용하지 않은 상태에서도 제안한 가중치 설정 기법만으로도 기존 기법들과 유사하거나 더욱 우수한 성능이 나타남을 확인할 수 있었다.

이 논문에서는 클래스 소속도를 산출하기 위하여 모두 동일한 기울기의 퍼지 함수를 사용하였지만, 만약 클래스 내 분산 정보와 각 분산 정보들의 상관 관계 등을 활용하여 학습 데이터와 테스트 데이터들 간의 클래스 소속도를 특징값 벡터 요소에 대해 가변적으로 할당할 수 있는 퍼지 기법과 제안된 가중치 설정 기법이 함께 사용된다면 더욱 우수한 성능이 나올 것으로 기대한다.

하지만 실험에서 사용된 Iris 데이터 세트는 2가지 클래스가 비교적 잘 구별되는 특성을 갖고 있으며, 데이터 샘플수가 적은 편이어서 기법에 따른 성능이 크게 나타나지 않는 단점이 있다. 따라서 제안한 기법의 성능을 더욱 정확하게 평가할 수 있는 anneal, soybean 등의 표준 데이터 세트를 활용할 필요가 있을 것으로 생각한다.

## V. 결론

이 논문에서는 퍼지 가중치 평균 분류기의 성능을, 문제 분야의 특성에 관계없이 개선시킬 수 있는 한 가지 방법으로 가중치를 산출하는 기법을 제안하였다. 수학적으로 합리적이고 판단될 수 있는 가중치를 산출하기 위하여 특징값들 간의 관계를 나타내는 통계적 정보들을 활용하였다. 이를 위하여 여러 종류의 특징값 분포에 대한 모형을 활용하여 특징을 분석하였으며 가중치에 사용될 수 있는 통계적 척도 3가지를 제안하였다. 첫 번째 척도로 "각 특징값들 간 차이들의 평균", 두 번째 척도로 "각 특징값들의 분산을 가장 큰 특징값 차이로 나눈 값", 그리고 마지막 척도로 "각 특징값들 간 차이들의 분산" 등을 제안하였다. 제안된 기법을 이용하여 가중치 설정을 위한 수식 4가지를 제안하였으며, 이 4가지 기법들과 기존에 사용되었던 단순 분산과 Euclidean 거리 기법의 2가지를 실험하고 그 결과를 비교, 분석하였다.

실험에 사용된 표준 데이터 세트로는 UCI(University of California, Irvine) machine learning repository 사이트에서 제공되는 Iris 데이터 세트를 이용하였다. 실험 결과 클래스 소속도를 나타내는 거리 척도로 동일한 퍼지 함수의 소속도 값을 사용함에도 불구하고, 최종 분류를 위한 결과값 산출에 제안된 가중치를 적용한 평균을 활용함으로써 기존에 사용되는 기법들과 유사하거나 그 이상의 성능이 달성됨을 알

수 있었다. 따라서 기존의 기법들에서 활용하고 있는 클래스 내 분산 정보를 이용하여 소속도를 산출한 다음 그 소속도에 제안된 가중치 평균 기법을 적용한다면 더욱 우수한 성능이 산출될 것으로 예상된다.

향후 연구 과제로는 클래스 내 통계 정보를 활용하여 더욱 합리적인 클래스 소속도를 할당하는 기법을 보완하는 것과 더욱 다양한 표준 실험 데이터 세트를 이용하여 제안한 기법의 정당성과 일반성을 검증하는 것이 필요할 것으로 생각한다.

## 참고문헌

- [1] Christopher Bishop, "Pattern Recognition and Machine Learning," Springer, 2006.
- [2] Rui Xu and Donald Wunsch II, "Survey of Clustering Algorithms," IEEE Transactions on Neural Networks, Vol. 16, No.3, pp. 645-678, 2005.
- [3] Sanjeev R. Kulkarni, Gabor Lugosi, and Santosh S. Venkatesh, "Learning Pattern Classification - A Survey," IEEE Transactions on Information Theory Vol. 44, No. 6, pp. 2178-2206, 1998.
- [4] Anil K. Jain, Robert P. W. Duin, and Jianchang Mao, "Statistical Pattern Recognition: A Review," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence Vol. 22, No. 1, pp. 4-37, 2000.
- [5] 정희진, 정충영, "퍼지이론을 적용한 정보시스템 모형의 구축," 한국컴퓨터정보학회논문지, 제 9권, 제 4호, 203-214쪽, 2004년 12월.
- [6] A. Asuncion and D. Newman, "UCI machine learning repository(<http://archive.ics.uci.edu/ml>)," School of Information and Computer Science, University of California, Irvine, 2007.
- [7] Young Woon Woo, Imgeun Lee, Jongkeuk Lee, "Optimal Feature Selection and Performance Analysis on 2D Object Recognition System," Proceedings of MTIA2003, pp. 191-196, 2003.
- [8] Timothy J. Ross, "Fuzzy Logic with Engineering Applications," Wiley, 2004.
- [9] Ron Kohavi, "A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection," Proceedings of the 14th International

Joint Confernce on Artificial Intelligence, pp. 1137-1143, 1995.

- [10] A. Kükükyılmaz, "Pattern Classification: A Survey and Comparison," Dept. of Computer Engineering, Bilkent University, 06800, Ankara, Turkey, [http://www.cs.bilkent.edu.tr/~guvenir/courses/cs550/Workshop/Ayse\\_Kucukyilmaz.pdf](http://www.cs.bilkent.edu.tr/~guvenir/courses/cs550/Workshop/Ayse_Kucukyilmaz.pdf), April 7, 2005.



### 김 광 백

1999년 부산대학교 전자계산학과  
(이학박사)  
1997년~현재 신라대학교 컴퓨터정보  
공학부 교수  
2005년~현재 한국해양정보통신학회 이  
사 및 논문지 편집부위원장  
2005년~현재 한국멀티미디어학회 학술  
이사 및 논문지 편집위원  
관심분야: Neural Networks, Image  
Processing, Fuzzy Logic,  
Medical Imaging and  
Biomedical System,  
Support Vector Machines

## 저 자 소 개



### 우 영 운

1991년 8월 연세대학교 본대학원 전  
자공학과(공학석사)  
1997년 8월 연세대학교 본대학원 전  
자공학과(공학박사)  
1997년 9월~현재 동의대학교 멀티  
미디어공학과 교수  
관심분야: 인공지능, 패턴인식, 퍼지  
이론, 의료정보



### 허 경 용

1994년 2월 : 연세대학교 전자공학  
과(공학사)  
1996년 8월 : 연세대학교 본대학원  
전자공학과(공학석사)  
2004년 9월~현재 :  
Dept. of Comp. and Info. Sci.  
and Eng., University of Florida  
관심분야: Machine Learning,  
Bayesian Network,  
Image Processing.