

퍼지추론을 이용한 최적의 얼굴검출 알고리즘 선택기법

장 대 식*

Selection of Optimal Face Detection Algorithms by Fuzzy Inference

Daesik Jang*

요 약

본 논문에서는 퍼지추론을 기반으로 얼굴검출 알고리즘을 지능적으로 선택함으로써 개발자들이 전문적인 지식이 없이 얼굴검출 기능을 손쉽게 사용할 수 있는 새로운 기법을 제안한다. 본 논문의 목적은 퍼지추론 기반의 고차원 얼굴검출 시스템을 제시함으로써 사용자가 컴퓨터비전 이론이나 개별 알고리즘들에 대한 전문적인 지식이 없어도 손쉽게 얼굴검출 기능을 포함하는 시스템을 개발할 수 있도록 지원하는데 있다. 얼굴검출의 방대한 문제영역을 분류하기 위해서 가장 먼저 얼굴검출을 위한 주요한 조건들을 고려하고 정리하였다. 이렇게 정리된 조건들은 개발자들이 주어진 문제를 표현하는데 사용할 수 있도록 정의되었다. 정의된 조건들과 사용 가능한 얼굴검출 알고리즘들은 퍼지추론 규칙을 이용하여 규칙화 되고 퍼지추론 해석기를 구성한다. 개발자들에 의해서 개별 문제의 조건들이 정리되면, 제안된 퍼지해석기가 퍼지추론을 통해 이에 대응되는 문제를 해결하기 위한 최적을 알고리즘들을 찾아내고 구성한다. 제안된 방법의 개념검증을 위해 기존의 알고리즘들과 성능을 비교하였으며 이를 분석하고 우수성과 실용성을 보여준다.

▶ Keyword : 퍼지추론, 얼굴검출, 퍼지해석기

Abstract

This paper provides a novel approach for developers to use face detection techniques for their applications easily without special knowledge by selecting optimal face detection algorithms based on fuzzy inference. The purpose of this paper is to come up with a high-level system for face detection based on fuzzy inference with which users can develop systems easily and even without specific knowledge on face detection theories and algorithms. Important conditions are firstly considered to categorize the large problem space of face detection. The conditions identified here are then represented as expressions so that developers can use them to express various problems. The expressed conditions and available face detection algorithms constitute the fuzzy inference rules and the Fuzzy Interpreter is constructed based on the rules. Once the conditions are expressed by developers, the Fuzzy Interpreter proposed take the role to inference the conditions and find and organize the optimal algorithms to solve the represented problem with corresponding conditions. A proof-of-concept is implemented and tested compared to conventional algorithms to show the performance of the proposed approach.

• 제1저자 : 장대식

• 투고일 : 2010. 10. 27, 심사일 : 2010. 11. 03, 게재확정일 : 2010. 11. 19.

* 국립군산대학교 컴퓨터정보공학과(Dept. of Computer Information Engineering, Kunsan National University) 조교수

▶ Keyword : Fuzzy Inference, Face Detection, Fuzzy Interpreter

I. 서론

얼굴검출은 컴퓨터비전 분야에서 생체인식 분야에서 매우 중요하게 다루어지는 문제들 중 하나로 오랜 기간에 걸쳐 연구되어 왔다. 그 결과 얼굴검출 기술의 수준은 매우 높은 수준으로 향상되었고 디지털카메라의 자동초점, 감시시스템, 영상 및 동영상 처리 등 얼굴검출을 수행할 수 있는 많은 상업적 시스템들이 개발되었다. 특히 몇몇 알고리즘들은 실시간의 구현까지 가능하게 하였고 이러한 얼굴검출에 있어서의 최근의 발전된 기술들은 보행자, 자동차 등의 물체인식 분야에도 많은 기여를 하고 있다.

그러나 얼굴검출 문제는 조명의 변화, 얼굴표정, 폐색 등으로 인해 발생하는 다양한 얼굴형태의 변화를 수용해야 하기 때문에 여전히 도전적인 과제로 남아있다. 게다가 크기변화, 자세 및 영상회전 등으로 인한 다양한 변형의 경우에도 얼굴을 검출해야 하는 어려움이 존재한다. 얼굴검출에 대한 이러한 다양한 조건들은 하나의 커다란 문제공간을 이루고 있으며, 이에 대한 부분적인 작은 문제들을 해결하기 위해 많은 알고리즘들과 구현이 제안되었다. 여기서 발생하는 한 가지 문제는 각 응용시스템마다 적합한 최적의 알고리즘들을 선택하고 조합한다는 것이 쉽지 않다는 것이다. 개발자들이 이 문제를 해결하도록 돕기 위해 일부 공개소스와 상업적 라이브러리들이 존재하지만, 이들은 여전히 사용되는 각 알고리즘들에 대한 전문적인 지식을 요구하고 있다.

본 논문의 목적은 퍼지추론 기반의 고차원 얼굴검출 시스템을 제시함으로써 사용자들이 컴퓨터비전 이론이나 개별 알고리즘들에 대한 전문적인 지식이 없어도 손쉽게 얼굴검출 기능을 포함하는 시스템을 개발할 수 있도록 지원하는데 있다. 알고리즘을 선택하고 각 알고리즘에 대한 최적의 인자들을 결정하는 문제는 개발자가 더 이상 신경 쓸 필요가 없도록 자동으로 결정된다. 개발자들은 단지 문제를 정의하고 이를 제안된 시스템에 따라 표현하는 데만 전념할 수 있다. 얼굴검출의 방대한 문제영역을 분류하기 위해서 가장 먼저 얼굴검출을 위한 주요한 조건들을 고려하고 정리하였다. 이렇게 정리된 조건들은 개발자들이 주어진 문제를 표현하는데 사용할 수 있도록 정의되었다. 정의된 조건들과 사용 가능한 얼굴검출 알고리즘들은 사용자들의 표현상의 애매모호함을 수용하기 위해 퍼지규칙을 이용하여 규칙화 되고 퍼지추론 해석기를 구성한다. 개발자들에 의해서 개별 문제의 조건들이 정리되면, 제안

된 퍼지해석기가 퍼지추론을 통해 이에 대응되는 문제를 해결하기 위한 최적을 알고리즘들을 찾아내고 구성한다.

본 논문은 총 5장으로 구성되어 있으며, 각 장의 주요 내용은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 얼굴검출 알고리즘 및 접근 방법들에 대한 설명과 관련연구를 소개하며, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 얼굴검출 시스템에 필요한 조건들의 퍼지화와 퍼지추론에 대해 기술한다. 4장에서는 본 논문에서 제안한 시스템을 구현하고 검증을 위해 성능을 평가하였다. 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구 과제에 대해 기술한다.

II. 기존 연구

몇몇 논문들에서 영상에서의 얼굴검출을 위한 많은 알고리즘들과 다양한 접근방법들에 대해 분석하였다. King은 논문에서 Support Vector Machine, AdaBoost, 신경망 등을 포함하여 얼굴검출을 위한 최근 접근 방법들을 분석하였다[1,2]. Yang 등은 얼굴검출 알고리즘들을 지식기반 방법, 특징불변 접근방법, 형판정합 방법, 형상중심 방법의 네 부류로 분류하였다[3].

최근에는 형상중심 접근방법들이 검출율과 속도의 측면에서 좋은 성능을 보여주고 있다. 이들 알고리즘들은 정면얼굴과 같은 특정 자세에서 촬영된 얼굴영상들을 학습하여 지역특징이나 밝기 패턴과 같은 특징들을 추출하여 사용한다. 그리고 많은 알고리즘들은 Eigenface와 통계 분포와 같은 형판에 기반한 학습방법을 제안하고 있으며, 신경망, Support Vector Machine, AdaBoost와 같은 분류기들도 제안되었다 [4,5,6,7,8,9]. 이와 같이 제안되고 분석된 얼굴검출 알고리즘들에 대한 분류는 얼굴검출 문제를 이해하는데 많은 도움을 주고 있지만, 이들 대부분이 수학적이고 이론적인 관점에서 접근하고 있으며, 컴퓨터비전을 연구하는 전문가들을 대상으로 하고 있다. 따라서 이러한 분류와 분석은 컴퓨터비전 알고리즘들에 대한 전문 지식을 가지고 있지 않은 일반적인 개발자들을 위해 특별히 설계된 개발자 중심의 시스템에는 적합하지 않다.

얼굴검출을 지원하기 위해 다양한 접근방법에 근거한 공개소스나 상업용 라이브러리들도 실제 시스템의 개발에 많이 사용되고 있다. OpenCV는 컴퓨터비전 개발자들을 위해 가장 널리 사용되고 있는 공개 라이브러리이다. 이 라이브러리는 영상처리와 컴퓨터비전 알고리즘들을 위한 다양한 범용 함수들을 다양하게 지원하고 있고, 실질적인 실시간 시스템에 있어

서도 매우 효율적이고 유용하게 사용될 수 있다[10]. OMRON 사는 OKAO Vision이라는 시스템을 성공적으로 개발하였다. OAK Vision은 사람의 얼굴에 존재하는 다양한 밝기의 차이를 이용하여 얼굴을 빠르게 검출할 수 있어서 얼굴검출을 위해 필요한 정보의 양을 최소화 하였다[11]. 이 시스템은 또한 얼굴검출 기술이 기존 시스템들에서는 고사양의 컴퓨터 성능을 필요로 하는 것과 대조적으로 모바일 단말기에 통합하는데 성공하였다. 이러한 공개 또는 상업용 라이브러리들은 얼굴검출 기능을 그들의 시스템에 적용하고자하는 개발자들을 위해 제공되었다. 이들 라이브러리들은 주로 성능과 상업적인 적용에 초점을 두고 있기 때문에 이와 같은 목적에는 매우 효과적이라 할 수 있다. 그러나 이들은 주로 성능을 위한 알고리즘적인 기술에 기반하고 있기 때문에, 개발자들은 여전히 이들을 사용하기 위해 전문적인 알고리즘 지식을 필요로 한다.

최근 이러한 어려움을 극복하기 위해, 다양한 알고리즘들을 분류하고 이를 기반으로 개발자들이 전문적인 지식이 없이도 주어진 문제에 대한 최적의 얼굴검출이나 컴퓨터비전 기능들을 손쉽게 사용할 수 있도록 지원하기 위한 보다 상위 수준의 언어모델들이 제안되고 있다[12,13]. 이러한 상위 수준의 언어모델들에서 핵심적인 역할을 수행하는 것은 다양한 얼굴검출이나 컴퓨터비전 알고리즘들을 분류하고 주어진 문제를 해결하는데 가장 최적의 알고리즘을 선택할 수 있도록 돕는 기능이다. 이를 위해 간단한 "if-then" 규칙이나 확률규칙 등이 사용되어왔으나, 이러한 규칙들은 주어진 문제에 대한 조건들을 알고리즘 개발자나 사용자들이 명시적으로 표현하기 어렵기 때문에 사용하는데 여전히 어려움이 존재한다.

본 논문에서는 알고리즘들을 분류하고 선택하는 핵심적인 기능에서 사용자들의 요구조건들을 언어적 애매모호함이 허용되는 보다 자연스러운 방식으로 표현할 수 있도록 돕기 위해 퍼지규칙의 형태로 이를 표현하고, 퍼지추론을 통해 지능적으로 최적의 알고리즘을 선택할 수 있도록 지원한다.

퍼지규칙에 기반한 퍼지추론은 이러한 애매모호한 조건들과 판단규칙들을 정량적으로 표현하고 이를 통해 적절한 의사결정을 수행할 수 있는 수단으로 제어 문제, 패턴 분류 문제 등 여러 분야에서 오랜 기간 활용되어 왔다[14,15]. 퍼지 추론은 부정확하고 애매한 특성이나 규칙 등을 쉽게 표현할 수 있고 입력 정보의 오류에 크게 영향을 받지 않으며 비교적 적은 수의 규칙으로 원하는 문제를 해결할 수 있다는 장점을 가지고 있기 때문에 본 논문에서 얼굴검출 알고리즘을 표현하고 선택하는데 매우 효과적으로 사용되었다.

본 논문에서는 고차원의 얼굴검출 시스템에서 사용되고 있는 다양한 변화들을 기반으로 하는 얼굴검출 요구조건들을 사용한다[12]. 이들은 전문적인 지식이 없이도 일반적인 개발자나 사용자들의 관점에서도 직관적으로 고려되어질 수 있기 때문에, 개발자 중심의 시스템에서 매우 유용한 기반이 될 수 있다. 그리고 이러한 조건들은 사용자의 요구사항들을 모델링하고 이들의 해석을 통한 선택 방법들을 만드는 데에 중요한 단서로 사용된다. 표 1에서는 본 논문에서 사용하는 요구사항 조건들을 보여준다.

표 1. 얼굴검출을 위한 조건과 설명
Table 1. Conditions and descriptions for face detection

조건	설명
얼굴의 크기	얼굴의 최소, 최대 크기
얼굴의 자세	카메라에 상대적인 얼굴의 3차원자세
영상의 회전	2차원 영상의 회전
얼굴의 폐색	얼굴이 부분적으로 가려진 정도

3.1 요구조건들의 퍼지화

표 1에서 소개된 조건들은 애매모호한 언어적 개념을 효과적으로 표현하여 퍼지규칙에 적용하기 위해 퍼지 소속함수로 표현된다. 본 논문에서 사용하는 퍼지 소속함수는 다양한 유형의 퍼지집합을 표현하기 위해 사다리꼴 함수와 시그모이드(sigmoid) 함수를 결합한 형태를 사용한다[17]. 이 소속함수는 식 (1),(2)와 같이 두개의 시그모이드 함수와 하나의 1의 값을 갖는 상수 함수로 구성된다. 그림 1은 이 함수들에 의해 표현된 소속함수를 그래프로 보여준다.

$$G(x, C, L, R, M) =$$

$$\begin{cases} S(x, C-L, C-\frac{L}{2}, C) & \text{if } x < C \\ 1 & \text{if } C \leq x < C+M \\ 1-S(x, C+M, C+M+\frac{R}{2}, C+M+R) & \text{if } x \geq C+M \end{cases}$$

..... (1)

$$S(x, \alpha, \beta, \gamma) = \begin{cases} 0 & \text{if } x < \alpha \\ 2((x-\alpha)/(\gamma-\alpha))^2 & \text{if } \alpha \leq x < \beta \\ 1-2((x-\gamma)/(\gamma-\alpha))^2 & \text{if } \beta \leq x < \gamma \\ 1 & \text{if } x \geq \gamma \end{cases}$$

III. 요구조건의 퍼지화 및 퍼지추론

..... (2)

- C : 좌측 시그모이드 함수의 γ 값
- L : 좌측 시그모이드 함수의 밑변의 길이
- R : 우측 시그모이드 함수의 밑변의 길이
- M : 상수 함수의 길이

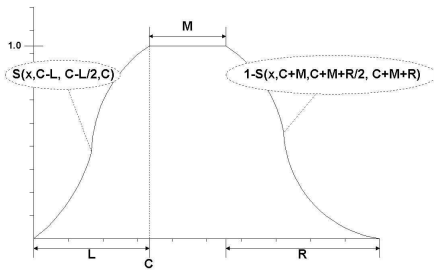


그림 1. 퍼지 소속함수
Fig. 1. Fuzzy Membership Function

많은 알고리즘과 라이브러리들에서 얼굴의 크기는 영상에서의 화소단위 크기로 표현되어 왔다. 이러한 화소단위의 크기 표현은 영상의 해상도와 함께 표현되어야 하기 때문에 효율적인 표현 방법이라 할 수 없다. 본 논문에서는 얼굴크기에 대한 보다 일반적인 표현을 위해 영상의 크기에 대한 상대적인 비율(0.0 ~ 1.0)로 표현하고, 이를 그림 2와 같이 퍼지 소속함수로 표현한다.

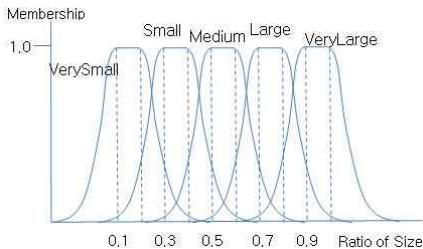


그림 2. 얼굴크기의 퍼지 소속함수
Fig. 2. Membership Function of Face Size

대부분의 얼굴검출 알고리즘들에서 얼굴의 자세는 frontal, profile, upright 등과 같은 몇몇 대표적인 자세로 표현하여 사용하고 있다. 그러나 이런 표현들은 얼굴의 자세에 대해 매우 제한적인 변화만을 표현할 수 있기 때문에 얼굴의 자세에 대한 조건을 완벽하게 표현하는 것이 불가능하다. 본 논문에서는 이와 같은 개략적인 자세에 대한 표현을 대신하여 보다 수학적이고 완전한 표현을 사용한다. 얼굴의 자세를 표현하기 위해 3차원 그래픽에서 잘 알려진 roll, pitch, yaw에 해당하는

3차원 물체의 회전 각도를 사용한다. Roll, pitch, yaw 각도들은 그림 3에서 표현하는 것과 같이 3차원 좌표계를 표현하는 x,y,z 세 축 각각에 대한 회전 각도를 표현한다. 그림에서 붉은 화살표는 양의 회전방향을 의미한다.

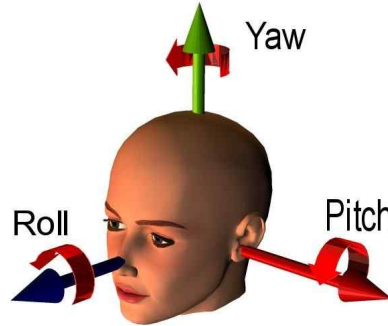


그림 3. Roll, pitch, yaw 회전각도
Fig. 3. Roll, pitch and yaw rotation angles 3

그림 4에서는 대표적으로 yaw 각도에 대한 퍼지 소속함수의 예를 보여준다. 소속함수의 x 축은 Yaw 각도의 절대값을 나타내고 y 축은 소속함수의 소속정도값을 나타낸다.

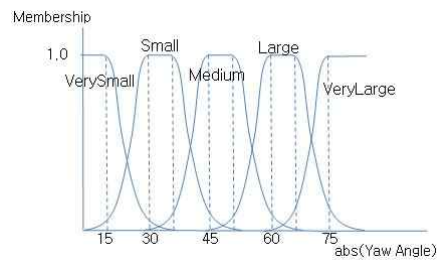


그림 4. Yaw 각도의 퍼지 소속함수
Fig. 4. Membership Function of Yaw Angle

영상의 회전은 광축을 따라 영상이 회전하거나 2차원 영상 자체를 회전함으로 발생한다. 이 회전은 영상평면에서 정면 얼굴의 회전에 표현될 수 있다. 그림 5에서는 영상회전에 대한 퍼지 소속함수의 예를 보여준다. 여기서 x 축은 회전 각도를 나타낸다.

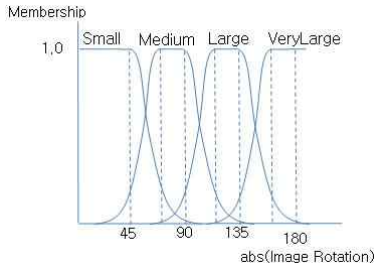


그림 5. 영상회전의 퍼지 소속함수
Fig. 5. Membership Function for Image Rotation

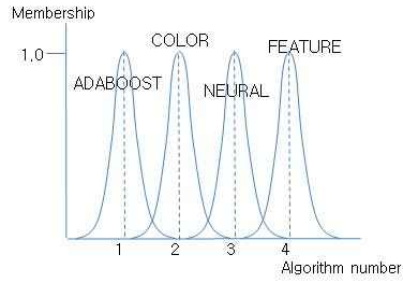


그림 7. 결론부 퍼지 소속함수
Fig. 7. Membership Function for Conclusion

얼굴의 폐색은 얼굴영상에서 가려진 부분으로 자연스럽게 표현될 수 있다. 예를 들어 얼굴의 20%가 가면에 의해 가려졌다면 이는 20으로 표현할 수 있다. 그림 6은 얼굴의 폐색에 대한 퍼지 소속함수를 나타낸다.

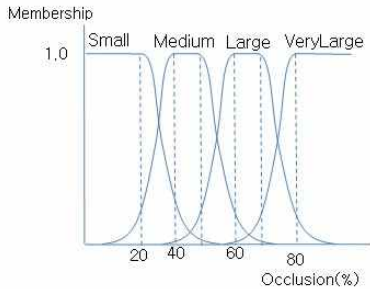


그림 6. 얼굴폐색의 퍼지 소속함수
Fig. 6. Membership Function for Face Occlusion

이와 같이 표현된 각 조건들의 퍼지 소속함수들의 조합을 통해 퍼지규칙의 전체부를 구성한다.

3.2. 퍼지규칙의 구성

본 논문에서는 퍼지규칙의 결론부에 사용 가능한 얼굴검출 알고리즘들의 변수를 퍼지집합으로 사용하여 퍼지 소속함수를 그림 7과 같이 표현한다.

여기서 “ADABOOST”는 AdaBoost 기반 알고리즘을 의미하고, “COLOR”는 Color 기반 얼굴검출 알고리즘을 말한다. “NEURAL”은 신경망기반 얼굴검출 알고리즘을 대표하고, “FEATURE”는 특징기반 얼굴검출 알고리즘을 의미한다. 식 (3)은 이와 같이 구성된 퍼지규칙의 예로 AdaBoost 기반 알고리즘이 선택될 수 있는 퍼지규칙의 예를 보여준다.

$$\begin{aligned} & \text{if } \textit{size is Small} \wedge \textit{roll is Small} \wedge \dots\dots\dots (3) \\ & \textit{pitch is Small} \wedge \textit{yaw is Small} \wedge \\ & \textit{rotation is Small} \wedge \textit{occlusion is Small} \\ & \text{then} \\ & \textit{ADABOOST} \end{aligned}$$

표 2에서 본 논문에서 사용하는 퍼지규칙들의 일부를 정리하여 보여준다.

표 2. 얼굴검출을 위한 퍼지규칙들
Table 2. Fuzzy Rules for Face Detection

조건부(if)	결론부(then)
<i>size is Small</i> \wedge <i>roll is Small</i> <i>pitch is Small</i> \wedge <i>yaw is Small</i> <i>rotation is Small</i> \wedge <i>occlusion is Small</i>	ADABOOST
<i>size is Medium</i> \wedge <i>roll is Small</i> <i>pitch is Small</i> \wedge <i>yaw is Small</i> <i>rotation is Small</i> \wedge <i>occlusion is Small</i>	ADABOOST
<i>size is Large</i> \wedge <i>roll is Small</i> <i>pitch is Small</i> \wedge <i>yaw is Small</i> <i>rotation is Small</i> \wedge <i>occlusion is Small</i>	ADABOOST
<i>size is VerySmall</i> \wedge <i>roll is Medium</i> <i>pitch is Small</i> \wedge <i>yaw is Medium</i> <i>rotation is Medium</i> \wedge <i>occlusion is Small</i>	COLOR
<i>size is Medium</i> \wedge <i>roll is Large</i> <i>pitch is Small</i> \wedge <i>yaw is Small</i> <i>rotation is Large</i> \wedge <i>occlusion is Small</i>	NEURAL
<i>size is Large</i> \wedge <i>roll is Large</i> <i>pitch is Medium</i> \wedge <i>yaw is Medium</i> <i>rotation is Large</i> \wedge <i>occlusion is Medium</i>	FEATURE

3.3. 알고리즘 선택을 위한 퍼지추론

얼굴검출을 위한 요구조건들과 알고리즘들에 대한 소속함수, 그리고 표 2에서 정의된 퍼지규칙들을 기반으로 얼굴검출 알고리즘을 선택하기 위한 퍼지추론을 수행한다. 본 논문에서는 Mamdani의 퍼지추론 방법을 사용 한다[14]. 그림 8에서는

조건부가 A와 B의 두 퍼지 집합의 최소 연산으로 구성되고 결론부 퍼지 집합 C와 같이 구성되는 퍼지 규칙의 예를 보여주고 있다. 입력 특징값들이 각각 A와 B의 소속 함수에 의해 퍼지화되면 그 결과가 최소 연산에 의해 결합된다. 그리고 이 결과를 결론부 퍼지 집합 C의 소속 함수와 논리곱으로 결합하여 하나의 퍼지규칙에 대한 부분적인 결론을 얻는다. 이러한 퍼지 연산 기억장치를 이용한 추론을 수학적으로 표현하면 식 (4)와 같이 표현된다.

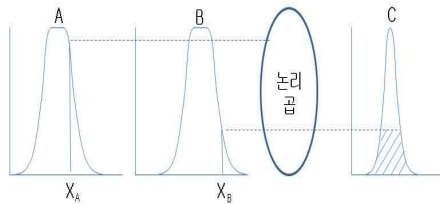


그림 8. 퍼지규칙 단위의 추론모델
Fig. 8. Inference Model of a fuzzy rule

$$y_k = \min(\mu_A(x_A), \mu_B(x_B)) \wedge \mu_C \dots\dots\dots (4)$$

x_A : 퍼지집합 A에 대한 입력값

x_B : 퍼지집합 B에 대한 입력값

μ_A : 퍼지집합 A의 소속함수

μ_B : 퍼지집합 B의 소속함수

y_k : k번째 규칙의 부분적인 결론

\wedge : 조건부의 만족도와 결론부 퍼지 소속함수의 논리곱

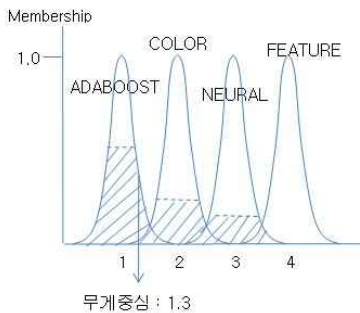


그림 9. 무게중심법을 이용한 역퍼지화
Fig. 9. Defuzzification

이와 같은 과정을 통해 각각의 퍼지규칙에 대해 부분적인 결론이 결론부 퍼지 집합의 논리곱 형태로 계산이 되면, 이들을 모두 결합하고 역퍼지화 하기 위해 무게중심법을 사용한 다[14]. 예를 들어, 그림 9는 본 논문에서 사용하는 퍼지규칙들

의 부분적인 퍼지추론을 수행하고 이 결과로 생성되는 결론부 퍼지집합들의 논리곱들을 역퍼지화 하는 예를 보여준다. 여기서 역퍼지화 결과값은 1.3을 갖게 되고, 이를 반올림하여 1번 알고리즘에 해당하는 AdaBoost 기반 얼굴검출 알고리즘이 선택된다.

IV. 시스템 구현

4.1 시스템 아키텍처

그림 10에서는 본 논문에서 사용하는 시스템의 개념검증을 위한 아키텍처에 대한 전체적인 구조를 보여준다. 이 아키텍처는 기존의 얼굴검출 언어모델을 참고한 것으로 이를 개선하여 퍼지추론 기반의 퍼지추론 해석기를 구현하였다[12]. 얼굴검출을 위한 조건들은 “context”의 형태로 표현된다. 대부분의 조건들은 명시적인 요구사항에 따라 사용자에게 의해 입력되고, 영상의 색상과 같은 일부 조건들은 “내부 조건 생성기”에 의해 자동으로 생성된다. “내부 조건 생성기”는 입력영상을 분석하고 그에 대응되는 영상의 내부 조건들을 결정한다. 이런 방법으로 표현된 조건들은 결과적으로 “context”를 구성한다. 이 “context”는 “퍼지추론 해석기”에 의해 분석이 되고 이 결과로 주어진 문제를 위한 최적의 알고리즘을 선택하고 구성한다. 여기서 “퍼지추론 해석기”는 “알고리즘 선택기”, “전처리 구성기”, “인자 구성기”의 세 가지 부분단계들로 구성된다. “알고리즘 선택기”는 주어진 “context”를 기반으로 가장 적절한 알고리즘을 선택하는 단계이다. 본 논문에서는 알고리즘의 선택을 위해 3장에서 설명한 퍼지규칙 기반 퍼지추론 기법을 이용한다. 여기서 퍼지규칙들은 각 알고리즘의 개발자들이 알고리즘의 특성과 성능에 기반 하여 생성하여 추가할 수 있다. 대부분의 알고리즘들은 주로 특별한 내부적인 목적에 따라 자체적인 전처리 단계들을 사용한다. 그러나 선택된 알고리즘을 위한 최적의 입력영상을 만들기 위한 전처리 작업이 보다 나은 처리결과를 위해 추가적으로 필요하다. “전처리 구성기”가 선택된 알고리즘을 위해 필요한 전처리 단계들을 결정하는 역할을 한다. 일부 알고리즘들과 라이브러리들은 입력 인자에 매우 민감하다. 다양한 인자들을 통해서 알고리즘이 특정한 문제공간에 적용될 수 있고 또한 속도와 정확도 측면에서 성능이 최적화될 수 있다. 그러나 이러한 인자들은 알고리즘마다 모두 다르게 적용이 되며 각 알고리즘에 대한 깊이 있는 지식

이 없이는 이해하기 힘들기 때문에, 각 알고리즘들을 사용하는데 있어 매우 까다로운 부분들 중 하나이다. “퍼지추론 해석기”를 통해 일단 최적의 알고리즘이 선택되고 구성이 되고 나면 “실행기”가 알고리즘을 수행하고 필요한 결과를 출력한다.

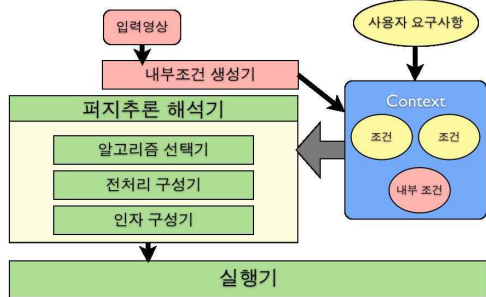


그림 10. 제안된 시스템의 아키텍처
Fig. 10. Architecture of the proposed system

그림 11에서는 제안된 시스템에서 최적의 알고리즘을 선택하는데 핵심적인 역할을 수행하는 퍼지추론 기반의 알고리즘 선택 기능을 의사코드(pseudo code)형태로 설명한다.

```

LOAD fuzzy memberships and fuzzy rules
INPUT image and context
FOR each fuzzy rule
  FOR each fuzzy membership function of condition part
    calculate membership value => μ(x)
  ENDFOR
  get minimum value of all membership values => min
  logical AND of min and conclusion membership function μC
  => Yk (Yk = min(μA(xA), μB(xB)) ∧ μC)
ENDFOR
Calculate logical OR of all Yk
Defuzzify : calculate the center of gravity => D
Round(D) to find corresponding ID of optimal algorithm
    
```

그림 11. 퍼지추론 기반의 알고리즘 선택 의사코드
Fig. 11. Pseudo code of algorithm selection based on fuzzy inference

4.2 실험 및 결과

본 논문에서는 제안하는 시스템의 우수성을 검증하기 위해 제안된 시스템에서 사용되고 있는 서로 다른 조건들에 최적화된 대표적인 알고리즘들과 함께 성능을 비교하였다. 제안된 시스템은 특정한 조건을 만족하기 위한 하나의 알고리즘이 아니라 다양한 조건들을 만족하는 알고리즘들을 통합하고 이들을 퍼지추론을 통해 최적으로 선택하게 함으로써 다양한 조건에서 최적의 결과를 도출하는데 목적이 있다. 따라서 실험에서는 제안된 시스템들이 특정한 조건 하에서만 좋은 결과를 도출하는 기존의 알고리즘들과 달리 다양한 조건하에서도 최

적 알고리즘 선택을 통해 일관되게 좋은 결과를 도출한다는 것을 보여준다.

성능비교에 사용된 첫 번째 알고리즘은 Viola와 Jones에 의해 개발되고 OpenCV에 도입되어 널리 사용되고 있는 Cascaded AdaBoost 기반 얼굴검출 알고리즘(이하 ADABOOST)이다[2]. 이 알고리즘은 Haar-like 특징이라는 효율적인 특징과 Cascade 접근을 통해 빠르면서도 높은 검출율을 보장한다. 하지만 정면자세의 회전되지 않은 조건 하에서만 좋은 결과를 보장한다는 한계를 가지고 있다. 두 번째 알고리즘은 Rowley 등에 의해 개발된 신경망을 이용한 얼굴검출 알고리즘(이하 NEURAL)으로 얼굴의 회전을 비교적 크게 허용한다는 특징을 가지고 있다[4]. 반면, 전체적인 검출율에서는 ADABOOST보다 상대적으로 성능이 떨어지는 단점이 있다. 세 번째로 사용된 알고리즘은 Tao 등에 의해 개발된 색상 정보 기반의 얼굴검출 알고리즘(이하 COLOR)으로 칼라 영상에서는 얼굴의 자세, 회전 등에 무관하게 얼굴을 검출할 수 있다는 장점이 있지만, 칼라영상이 아니거나 얼굴의 색상이 부정확한 영상에서는 얼굴을 검출할 수 없다는 단점을 가지고 있다[8].

일반적으로 얼굴검출이나 얼굴인식 알고리즘들을 테스트하기 위해 MIT, CMU, CALTECH 등에서 제공하는 얼굴 데이터베이스들을 주로 사용하고 있으나, 보다 다양한 조건에서의 얼굴검출을 테스트하기 위해 이러한 표준 얼굴 데이터베이스에 추가적으로 자체 촬영한 얼굴영상, 웹에서 검색한 영상 등을 모두 종합하여 테스트 데이터베이스를 구성하였다.

표 3에서는 테스트 데이터베이스를 요구조건에 따라 3개의 그룹으로 분류하고 각 그룹 단위로 성능을 테스트하였다. “그룹1”은 비교적 얼굴이 크고 자세나 회전 각도는 작은 칼라 영상들의 집합이다. 반면, “그룹2”는 얼굴은 작지만 자세와 회전 각도가 큰 그레이영상으로 구성되고, “그룹3”은 “그룹2”보다 얼굴의 크기가 더 작고 자세의 각도가 중간 정도인 칼라영상들의 집합으로 구성된다.

표 3 얼굴 데이터베이스의 세 그룹
Table 3. Three groups of face database

조건 그룹	얼굴 크기	roll 각도	pitch 각도	yaw 각도	색상
그룹1	0.3~0.8	-15~15	-15~15	-15~15	color
그룹2	0.1~0.5	-180~180	-45~45	-90~90	gray
그룹3	0.05~0.5	-90~90	-60~60	-70~70	color

표 4에서는 위에서 분류한 각 그룹 단위로 세 개의 개별 알고리즘들과 제안된 시스템의 성능을 비교하였다. 각 알고리즘

의 성능은 검출율(DR)과 오검출율(FP)로 계산되었다. 검출율은 전체 얼굴의 개수 중에서 정확히 검출된 얼굴의 비율을 백분율로 계산하였고, 오검출율은 얼굴이 아닌 영역이 얼굴로 오검출된 개수를 계산하였다.

표 4. 성능 비교
Table 4. Performance Comparison

사용된 알고리즘	그룹 (영상개수)	그룹1 (150개)	그룹2 (75개)	그룹3 (50개)
		ADABOOST	DR(%) 96.5 FP(No.) 34	55.4 26
NEURAL	DR(%)	92.6	88.5	60.5
	FP(No.)	62	41	43
COLOR	DR(%)	99.5	0	82.8
	FP(No.)	97	0	45
제안된시스템	DR(%)	96.5	88.5	82.8
	FP(No.)	34	41	45

표 4의 실험에서 기존 알고리즘들은 최적의 결과를 도출하기 위해 실험을 통해 인자들이 선택되었으며, 가장 높은 성능을 내는 인자의 집합을 선택하여 사용하였다. 제안된 시스템에서 영상의 색상정보는 context에 외부적으로 표현되지 않고 "내부 조건 생성기"에서 영상의 색상분포를 분석하는 간단한 방법으로 자동으로 선택된다.

성능평가 결과에서 알 수 있듯이 "그룹1"의 경우는 ADABOOST 알고리즘이 검출율과 오검출율의 측면에서 가장 좋은 성능을 보여준다. "그룹1"을 구성하는 영상들은 얼굴의 색상정보가 매우 잘 보존되고 있기 때문에 COLOR 알고리즘도 높은 검출율을 나타내지만, 오검출율이 ADABOOST 알고리즘보다 높게 나타나는 문제점이 있다. "그룹2"의 경우는 그레이영상으로 구성되어 있어서 COLOR 알고리즘은 전혀 적용할 수가 없어 0%의 검출율을 가지며, 다양한 자세와 회전을 허용하는 NEURAL 알고리즘이 가장 좋은 성능을 가진다. "그룹3"의 경우는 칼라영상들로 구성되어 있고, 얼굴의 크기가 매우 작아 COLOR 알고리즘에서 가장 좋은 성능을 가지는 것으로 나타난다.

이와 같이 기존의 알고리즘들은 각각의 특정한 조건을 가지는 그룹 내에서는 최적의 성능을 가질 수 있지만, 조건이 바뀌는 다양한 조건에서는 상반된 결과를 가질 수 있다. 그러나 표 4에서 보는 바와 같이 본 논문에서 제안된 시스템은 퍼지 추론을 통하여 각 그룹에게 가장 적합한 알고리즘이 선택되어 실행되기 때문에 모든 그룹에 대해서 안정적으로 최상의 성능을 가질 수 있다. 제안된 시스템은 또한 개발자로 하여금 AdaBoost, 신경망 등 복잡한 이론에 대한 지식이 없이 외부적

으로 정의가 가능한 요구조건들에 대한 직관적인 정의만으로 얼굴검출 시스템을 개발할 수 있기 때문에, 시스템을 개발하는 노력과 시간의 측면에서 훨씬 효율적이다. 표 5에서는 "그룹1"을 적용하기 위해 제안된 시스템의 context에 입력되는 요구조건들의 값들을 대표적인 예로 보여준다.

표 5. "그룹1"을 위한 context 입력값
Table 5. Context values for "Group1"

조건	대표값
얼굴의 크기(size)	0.4
얼굴의 자세(roll)	±15 degree
얼굴의 자세(pitch)	±15 degree
얼굴의 자세(yaw)	±15 degree
영상의 회전(rotation)	±10 degree
영상의 폐색(occlusion)	20

그림 12에서는 제안된 시스템이 다양한 조건의 영상에 대해 효과적으로 얼굴을 검출한 결과들의 일부를 예로 보여준다.



그림 12. 다양한 조건에서의 얼굴검출 결과
Fig. 12. Result of face detection under various conditions

V. 결론

본 논문에서는 퍼지추론을 기반으로 얼굴검출 알고리즘을 지능적으로 선택함으로써 개발자들이 다양한 요구조건 하에서 전문적인 지식이 없이 얼굴검출 기능을 쉽고 효과적으로 사용할 수 있는 새로운 시스템이 제안되었다.

사용자들에 의해 직관적으로 이해될 수 있는 얼굴검출 문제를 위한 주요한 조건들이 사용되었고, 이렇게 사용된 조건

들은 개발자들이 주어진 문제를 표현하는데 손쉽게 사용할 수 있도록 퍼지소속 함수의 형태로 퍼지화 되었다. 정의된 조건들과 사용 가능한 얼굴검출 알고리즘들은 사용자들의 표현상의 애매모호함을 수용하기 위해 퍼지규칙을 이용하여 규칙화 되고 퍼지추론 해석기를 구성하였다. 개발자들에 의해서 개별 문제의 조건들이 정리되면, 제안된 퍼지해석기가 퍼지추론을 통해 이에 대응되는 문제를 해결하기 위한 최적을 알고리즘들을 찾아내고 구성한다. 퍼지추론 기반의 알고리즘 분류와 선택을 통해 알고리즘의 개발자 및 사용자들이 보다 편리하고 자연스럽게 시스템을 개발할 수 있도록 지원한다. 제안된 시스템의 성능을 검증하기 위해 기존의 대표적인 알고리즘들과 함께 다양한 조건들에 대해 검출율과 오검출율을 테스트 하였으며, 이를 통해 제안된 시스템의 우수성과 실용성을 보였다.

향후에는 보다 많은 얼굴검출 알고리즘들이 분석되고 추가 되어 보다 실용적으로 활용될 수 있는 시스템으로 발전될 것이다. 그리고 얼굴검출에서의 성과를 기반으로 얼굴인식, 추적, 객체인식 등과 같은 다양한 컴퓨터비전 알고리즘들로 연구의 범위가 확장될 계획이다.

참고문헌

[1] A. King, "A Survey of Methods for Face Detection," A Survey Written for a Computer Vision Course, 2003.
 [2] P. Viola, and M. Jones, "Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features," Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Vol. 1, pp. 511, 2001.
 [3] M. H. Yang, and D. J. Kriegman, "Detecting Faces in Images: A survey," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 24, No. 1, pp. 34-58, 2002.
 [4] Rowley, S. Baluja, and T. Kanade, "Rotation Invariant Neural Network-based Face Detection," Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 38, 1998.
 [5] E. Osuna, R. Freund, and F. Girosi, "Training Support Vector Machines: an Application to Face Detection," Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 130-136, 1997.
 [6] T. Matthew, and A. Tal. Detecting, "Localizing and Classify Visual Traits from Arbitrary Viewpoints using Probabilistic Local Feature modeling," Proceedings of

the 3rd International Conference on Analysis and Modeling of Faces and Gestures, pp. 154-167, 2007.
 [7] S. Phimoltares, C. Lursinsap, and K. Chamnongthai, "Face Detection and Facial Feature Localization without Considering the Appearance of Image Context," Image Vision Computing, Vol. 25, No. 5, pp. 741-753, 2007.
 [8] C. Tao, D. Shanxua, L. Fangrui, and R. Ting, "Face and Facial Feature Localization based on Color Segmentation and Symmetry Transform," International Conference on Multimedia Information Networking and Security, Vol. 2, pp. 185-189, 2009.
 [9] H. Kim, K. Jung, "Realtime Face Detection System using YCbCr Information and AdaBoost Algorithm", Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 13, No. 5, pp. 19-26, 2008.
 [10] OpenCV Library, "<http://opencv.willowgarage.com/>"
 [11] OMRON OKAO Vision, "<http://www.omron.com/>"
 [12] S. Oldridge, G. Miller, and S. Fels, "Automatic Classification of Image Registration Problems," Proceedings of 7th International Conference on Vision Systems, Oct. 2009.
 [13] D. Jang, G. Miller, S. Fels, and S. Oldridge, "User Oriented Language Model for Face Detection," Workshop on Person-Oriented Vision(POV), Jan. 2011.
 [14] H. Takagi, and I. Hayashi, "NN-Driven Fuzzy Reasoning," International Journal of Approximate Reasoning, Vol. 5, No. 3, pp. 191-212, 1991.
 [15] K. Kim, J. Jo, "Emotion Processing using Fuzzy Inference Rules", Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 12, No. 3, pp. 1-8, 2007.
 [16] H. J. Zimmermann, "Fuzzy Set Theory and Its Applications," 1987.
 [17] D. Jang, and H. I. Choi, "A Fuzzy Inference System Based on Fuzzy Associative Memory," Vol. 22, No. 12, pp. 1601-1718, 1995.

저자 소개



장 대 식

1994: 숭실대학교 공학사.

1996: 숭실대학교 공학석사.

1999: 숭실대학교 공학박사.

2005 - 현재: 국립군산대학교 컴퓨터
정보공학과 조교수

관심분야: 컴퓨터비전, 패턴인식, HCI,
영상처리, 컴퓨터 기술응용

Email : dsjang@kunsan.ac.kr