

시스템 재설정 및 진화를 위한 지능형 아키텍처 개발

Development of Reconfigurable and Evolvable Architecture for Intelligence Implement

나진희* · 안호석* · 박명수* · 최진영**

Jin Hee Na, Ho Seok Ahn, Myoung Soo Park and Jin Young Choi

서울대학교 전기컴퓨터공학부, 자동화시스템 공동연구소(ASRI)

*{jhna,hsahn,mspark}@neuro.snu.ac.kr, **jychoi@snu.ac.kr

요 약

대부분의 지능 알고리즘들은 환경이나 사용목적에 따라 항상 최적 성능을 보장하지는 못한다. 그러므로 다양한 알고리즘들을 구현한 후에 환경이나 사용 목적에 따라 최적인 알고리즘 또는 알고리즘의 조합을 선택하여 시스템을 구성할 수 있다면 유용할 것이다. 본 논문에서는 지능형 Macro Core를 기반으로 한 시스템 재설정 및 진화를 위한 지능형 아키텍처를 제안한다. 제안한 아키텍처를 이용하면 새로운 알고리즘들의 추가와 이들을 조합하여 시스템을 구성하는 데 드는 비용을 절약할 수 있으며, 표준화된 규격을 제시할 수 있다는 장점이 있다. 제안한 Macro Core 기반의 지능형 아키텍처에 맞추어 시스템을 구성해 보고 이를 실제 얼굴 추출 및 인식 시스템 구성에 적용하고자 한다.

Abstract

Many researches on intelligent system have been performed and various intelligent algorithms have been developed, which are effective under an assumed specific environment and purpose. But in an real environment, the performance of these algorithms can be largely degraded. In this paper, we proposed an Evolvable and Reconfigurable(ERI) Architecture based on intelligent Macro Core(IMC) so that various and new algorithms can be easily added incrementally and construct the reconfigured intelligent system easily. We apply the proposed ERI Architecture to face detection and recognition system to show its usefulness.

Key Words : Reconfigurable and Evolvable Architecture, Intelligence Macro Core, Face Detection, Face Recognition

1. 서 론

지능형 로봇은 기존의 산업용 로봇과 달리 다양한 환경에서 여러 가지 입출력 센서와 지능 알고리즘, 데이터베이스 및 행동결정 모델 등을 이용하여 사람과 상호작용한다. 이 경우, 로봇이 수행하여야 할 임무는 상황에 따라 변할 수 있는데 로봇은 자신이 처한 상황이나 환경에 알맞게 센서, 알고리즘, 데이터베이스, 행동결정 모델들을 선택하여 주어진 임무를 수행할 수 있어야 한다. 그런데 현재까지 개발된 지능 알고리즘들은 특정 센서로부터 오는 입력만을 고려하고 있을 뿐 아니라, 환경 변화에도 민감하기 때문에 지능 로봇에 장착해야 할 센서의 종류와 구현해야 할 알고리즘의 종류는 기하급수적으로 늘어날 가능성이 있다. 예를 들어, 로봇이 음성을 인식하기 위해 사용하는 알고리즘과 얼굴을 인식하기 위해 사용하는 알고리즘은 서로 다르며, 카메라로부터만 입력 정보를 받는 경우에도 무엇을 인식하고자 하느냐에 따라 사용하는 최적 알고리즘의 종류가 다를 수 있다. 또한 특정

물체를 인식하기 위한 가장 효율적인 알고리즘도 로봇이 처한 환경에 따라 그 성능이 급격히 저하될 수도 있다. 또 다른 측면에서 살펴보면 지능형 로봇과 같은 통합 시스템을 구축하고자 할 경우에는 여러 사람들이 각각 로봇의 특정 기능을 구현하고 이를 통합해야 하는 경우가 많이 발생한다. 이러한 점들을 고려할 때, 다양한 알고리즘들을 보다 효율적으로 구현하고 이를 통합할 수 있는 확장 가능한 소프트웨어 아키텍처에 대한 연구는 필수적이다[1]. 특히, 알고리즘들이 그 종류나 사용 목적과 무관하게 일반화된 규격에 따라 개발되고, 이들을 효율적으로 연결하여 전체 시스템을 구축할 수 있다면 시스템을 통합하는데 드는 비용과 시간을 단축시킬 수 있을 것이다. 본 논문에서는 여러 가지 지능형 알고리즘들을 구현하기 위한 규격화된 형태의 Intelligent Macro Core(IMC)를 정의하고 이들을 효율적으로 연결하기 위한 방법으로 시스템 재설정 및 진화를 위한 지능형 아키텍처(Evolvable and Reconfigurable Intelligent(ERI) Architecture)를 제안하고자 한다. 그리고 제안한 아키텍처를 적용한 개발 환경을 구축하고 테스트를 통해 그 유용성을 검증할 것이다. 테스트는 입력으로 비전 정보를 이용하여 얼굴을 추출하고 인식하는 수준에서만 수행하기로 한다.

시각, 감정, 제스처, 환경 인식 등을 통한 인간-로봇 상호작용(human-robot interaction)은 최근 활발하게 연구되고 있는 분야 중 하나이다. 그 중에서도 시각은 로봇이 사람의 얼굴을 인식하고, 그에 따르는 행동이나 반응을 취하는데 있

접수일자 : 2005년 10월 21일

완료일자 : 2005년 12월 5일

감사의 글 : 본 연구는 산업 자원부의 차세대 신기술개발 사업(수퍼지능칩 및 응용기술 개발 과제)과 두뇌한국2(BK21) 사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

어서 가장 기본적으로 필요한 정보이다. 얼굴인식에 대한 연구는 지속적으로 이루어져 왔고, 다양한 알고리즘들이 제안되었다[2]. 그러나 대부분의 알고리즘들은 제한된 조건 하에서만 우수한 성능을 보이는 경우가 많다. 다시 말해 조명이나 해상도, 얼굴의 기울어짐이나 크기, 데이터베이스의 종류 등에 따라 그 성능이 바뀔 수 있기 때문에 특정 알고리즘이 다른 알고리즘에 비해 우수하다고 말하기는 어려운 경우가 많다. 그런데, 로봇은 다양한 환경에서 사람을 인식해야 하기 때문에 다양한 인식 알고리즘들 중 가장 적절한 알고리즘을 선택해야 할 필요가 있다. 또한 하나의 알고리즘이 아닌 여러 개의 알고리즘을 이용하여 시스템을 구성해야 할 경우, 알고리즘의 조합도 시스템 성능에 큰 영향을 끼치게 된다. 이러한 사항을 고려하여 본 논문에서는 ERI 아키텍처를 제안하고 이를 이용하여 얼굴 인식 시스템을 구현하는 것을 목표로 한다. ERI 아키텍처는 새로운 알고리즘을 추가하거나 환경에 따라 시스템을 재구성 해야 할 경우 이에 대한 비용과 시간을 단축할 수 있다는 장점을 갖는다. 또한 기존의 알고리즘들을 최대한 활용하면서 사용 목적에 알맞게 필요한 알고리즘을 사용자가 비교적 쉽게 선별하여 시스템을 설계할 수도 있다.

2. 재설정 및 진화를 위한 지능형 아키텍처

2.1 지능형 아키텍처의 구조

소프트웨어의 개발을 위한 개념은 크게 구조적(Structured)인 접근방식과 객체 지향적(Object Oriented)인 접근방식으로 나눌 수 있다[1]. 이 중에서 객체 지향적인 방식은 비록 개발에 드는 비용은 많이 들더라도 소프트웨어의 수정, 재사용 및 유지보수 비용을 줄일 수 있기 때문에 선호되고 있는 방식이다. 특히 지능형 로봇과 같이 여러 사람들이 공동작업으로 전체 시스템을 구현하고 시스템을 지속적으로 업그레이드 하여야 할 경우에 유용할 수 있다. 이 방법은 구현하고자 하는 알고리즘이나 알고리즘 사이의 인터페이스를 독립적인 객체 단위의 모듈로 정의한 후, 객체 사이의 연결 관계를 통해 더 큰 단위의 기능을 수행할 수 있도록 하는 방식이다.

본 논문에서는 위에서 설명한 객체 지향적인 접근 방식을 바탕으로 아래의 그림 1과 같은 IMC를 기반으로 하는 ERI 구조를 제안한다. 여기서, IMC는 특정한 기능을 수행하는 객체를 의미하며, 여러 IMC들이 결합하여 새로운 IMC를 형성할 수도 있다. Module은 같은 기능을 하는 IMC의 집합을 의미하는데, 각 Module은 상위 IMC와 하위 IMC들로 이루어진다. 같은 모듈 안에 있는 하위 IMC들은 같은 기능을 수행하는 객체이다. 상위 IMC는 하위 IMC 중에서 사용자가 선택한 IMC의 객체를 생성하여 Connection Manager에서 지정한 다른 모듈의 상위 IMC와 데이터를 전송한다. 즉, 사용자는 Connection Manager를 이용하여 최적의 하위 IMC들을 선택하기만 하면 각 모듈의 상위 IMC에서 선택된 하위 IMC들의 객체가 생성되어 다른 모듈과 자동으로 연결된다.

ERI 구조는 IMC들의 조합을 통해 사용자가 필요로 하는 기능이 상황과 목적에 맞게 구현되도록 하기 위한 계층화된 모듈 구조의 소프트웨어 설계 방법이다. ERI 설계 방법을 통해 사용자는 새로운 IMC를 쉽게 추가, 관리할 수 있으며, IMC 사이의 연결 관계를 비교적 쉽게 수정하여 상황이나 목적에 적절한 최적의 성능을 보장 받을 수 있다. 또한 상위 IMC를 통해 다른 모듈들과 통신하기 때문에 IMC가 많을 경우에도 연결 관계가 기하급수적으로 복잡해지지 않는 장점을

갖는다. 또한 두 가지의 구현하고자 하는 기능이 전혀 다른 내용이라고 할지라도 이를 같은 형태의 구조로 규격화할 수 있다는 장점이 있다. 예를 들어 영상 정보를 이용하여 물체를 인식하는 기능과 음성 정보를 이용하여 음성을 인식하는 기능을 같은 형태의 구조로 설계하고 통합하여 로봇이 특정 행동을 취하게 하는데 유용하게 사용될 수 있다.

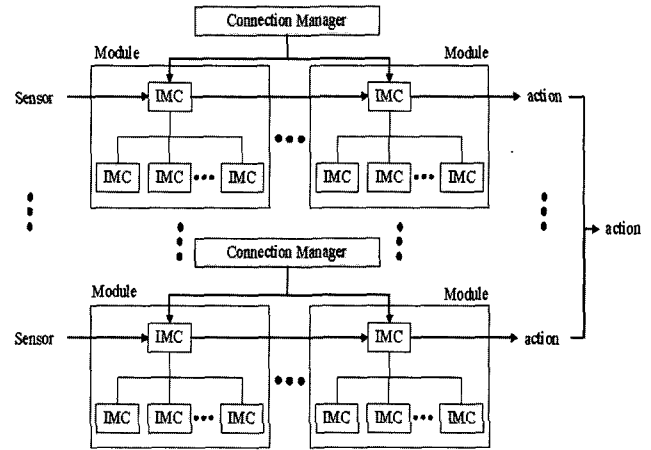


그림 1. IMC 기반의 ERI Architecture

2.2. IMC specification

ERI 아키텍처를 이용하여 시스템을 설계하기 위해서는 특정 기능을 수행하는 객체인 IMC를 규격화할 필요가 있다. 이는 시스템에 새로운 알고리즘을 추가하거나 IMC 사이의 연결을 재설정하기 쉽게 하기 위함이다. 예를 들어, 로봇이 다양한 환경에서 환경 변화에 강인하게 원하는 성능을 발휘하려면 환경에 따라 적절한 알고리즘들을 선택할 필요가 있다. 또한, 주어진 환경에서 높은 성능을 내는 알고리즘이라 할지라도 계산 량이 많아서 실시간으로 동작하기 어렵다면, 특정 상황에서는 그 알고리즘을 로봇에 적용하기 어려울 수도 있다. 그러므로 다양한 종류의 알고리즘들을 구현하고 환경이나 목적에 맞도록 이를 선택해서 사용할 필요가 있는데, 이 경우 같은 기능을 수행하기 위한 알고리즘들을 같은 규격으로 설계하고, 알고리즘에 대한 장단점 등을 미리 명시해 준다면 사용자가 알고리즘들을 추가하거나 시스템을 재설정할 경우에 유용할 것이다. ERI Architecture에서는 각각의 알고리즘들이 IMC의 형태로 구현되는데, 설계 시 고려해야 할 규격을 다음과 같이 규정하였다.

- Macro Core Name
- Version
- Developer
- Role Description
- I/O Description
- Algorithm Description
- Advantages/Disadvantages

3. ERI에 기반한 얼굴 추출 및 인식 시스템 구현

3.1 얼굴 추출 및 인식 시스템의 소프트웨어 구조

위에서 제시한 IMC 기반의 ERI 구조를 실제 얼굴 추출

및 인식 시스템에 적용하기 위해서는 다음과 같은 설계가 가능하다. 얼굴 추출 및 인식 시스템은 얼굴 추출을 위한 Detection Module과 얼굴 인식을 위한 Feature Extraction Module, Classifier Module로 구성된다. 현재 시스템에 사용자가 새로운 기능을 추가하여 테스트하기 위해서는 해당하는 모듈에 하위 IMC를 추가하고, Connection Manager에서 원하는 IMC들의 객체들이 형성되고 서로 연결되도록 하면 된다. 아래의 그림 2는 ERI 구조를 기반으로 하는 얼굴 추출 및 인식 시스템의 소프트웨어 구조를 보여준다. CConnectionManager 클래스가 Detection IMC, Feature Extraction IMC, Classifier IMC들을 서로 연결하여 전체 얼굴 추출 및 인식 시스템이 구성되도록 한다. CManager 클래스는 얼굴 추출 및 인식 시스템 이외의 시스템이 추가될 경우 시스템 확장의 편의를 위해 설계한 클래스이다.

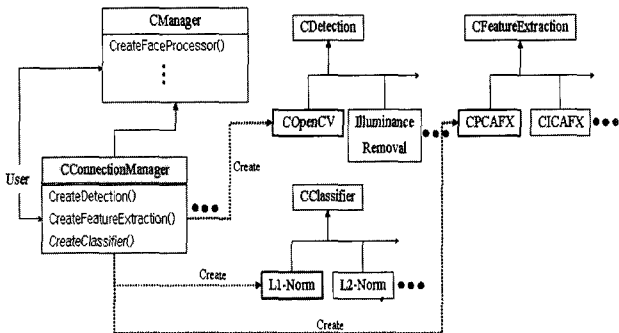


그림 2. 얼굴 추출 및 인식 시스템의 소프트웨어 구조

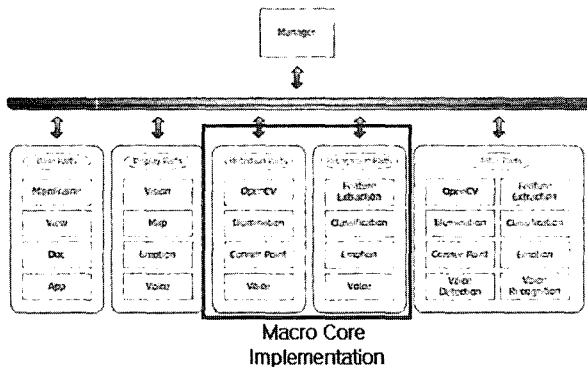


그림 3. 개발한 시블레이터의 구조

위의 그림 3은 개발한 IMC들을 이용하여 지능시스템을 구축하기 위해 설계된 개발 환경의 구조이다. 현재는 얼굴 추출 및 인식을 위한 IMC들만 구현되어 있는 상태이다. 개발된 IMC들은 Detection Part와 Recognition Part에 구현되는데, 새로운 IMC들의 추가와 시스템의 재설정을 수월하게 하는데 중점을 두었다. Status Part는 IMC들을 이용하여 테스트한 결과를 보여주기 위한 부분이다.

아래의 그림 4는 개발한 얼굴 추출 및 인식 시스템 환경에서 connection manager를 이용하여 IMC들을 선택하는 장면인데, 얼굴 추출용 알고리즘으로는 haar-like feature를 이용한 cascaded booster 알고리즘[3],[4]을 선택하고 얼굴 인식을 위한 특징 추출, 분류를 위해서는 각각 PCA-FX[5]와 L1 norm을 선택한 결과를 보여준다.

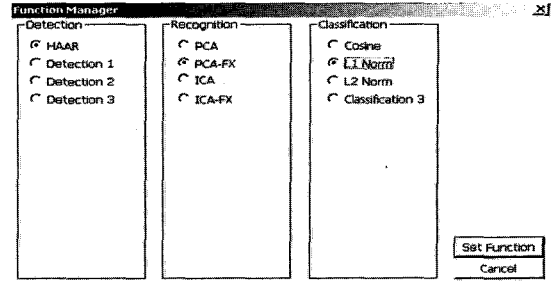


그림 4. Connection Manager를 이용한 IMC 선택

3.2 구현된 얼굴 추출 및 인식 알고리즘

Haar-like feature를 이용한 cascade booster 알고리즘은 아래 그림 5와 같은 Haar 분류기를 사용하는데, 검정색 영역의 합과 흰색 영역의 합의 차가 Haar 분류기의 특징 값에 해당하며, 이 값을 비교하여 얼굴 영상인지 아닌지를 판별하는 방법이다. Haar 분류기의 특징 값은 누적된 밝기 값을 가지는 영상을 사용하기 때문에 검정색 영역의 합과 흰색 영역의 합의 차는 몇 번의 덧셈, 뺄셈으로 이루어질 수 있어서 계산속도가 매우 빠르다. Haar 분류기의 조합을 찾기 위해서는 Adaboost 알고리즘을 사용하는데 이 방법은 얼굴 영상에서 가능한 모든 형태의 Haar 분류기에 대해 얼굴판별 능력이 뛰어난 순서대로 Haar 분류기를 추출해준다. 그리고 추출된 분류기들은 임의의 영상에 대해 다수결에 따라 얼굴영상인지 아닌지를 판별하게 된다. 얼굴인지 아닌지의 여부를 판별하기 위해 Haar 분류기를 단계적으로(cascade) 증가시켜 가면서 비교하기 때문에 얼굴 추출 속도를 향상시킬 수 있다.

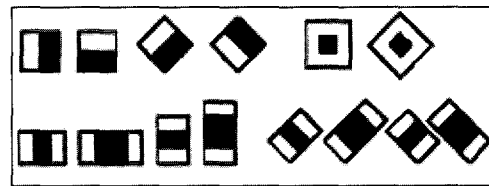


그림 5. Haar 분류기의 종류

다음으로 얼굴 인식을 위한 특징 추출 알고리즘으로는 subspace method들을 구현하여 사용하였는데 이 중 PCA-FX와 ICA-FX는 기존의 무감독(unsupervised) 방식인 PCA, ICA 알고리즘에 클래스에 대한 정보를 추가하여 특징을 추출하는 감독(supervised)방식의 특징 추출 알고리즘이다. 두 방법 모두 특징 추출 속도를 향상시키기 위해 전처리 과정으로 PCA를 사용하였다. PCA-FX의 전체 특징 추출 과정은 아래의 그림 6과 같으며, ICA-FX도 이와 비슷한 특징 추출 과정을 갖는다. 알고리즘에 대한 자세한 내용은 [5], [8]에 자세히 언급되어 있다.

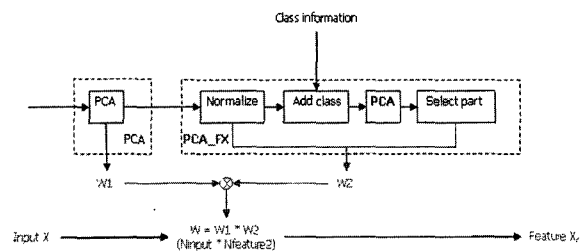


그림 6. PCA-FX에 의한 특징추출

얼굴 인식을 위한 IMC들을 선택할 경우, 주의해야 할 점은 특징 추출을 위한 알고리즘과 분류를 위한 알고리즘 사이에는 밀접한 관계가 있다는 점이다. 즉, 같은 특징 추출 알고리즘을 사용하더라도 분류 알고리즘의 종류에 따라 얼굴 인식이 다르게 나타난다. 예를 들어 특징 추출을 위해 PCA를 선택하였을 경우에는 L2 norm 보다 L1 norm이, ICA를 선택하였을 경우에는 L1 norm보다 L2 norm을 이용하는 것이 더 유리하다고 알려져 있다[6]. 아래의 표 1은 알고리즘의 조합에 따른 최소 얼굴 인식 오차율을 보여준다. 본 실험에서는 [5], [7]에서와 같이 Yale Face Database(cropped set)를 21×30 차원으로 다운샘플링하여 사용하였다. 성능 평가를 위해서는 leave-one-out 테스트 방법을 사용하였다. 이 방법은 일종의 교차평가(cross validation) 방식으로 전체 자료가 M 개 있을 경우에 우선 1개의 자료를 선택하고, 그 자료를 제외한 나머지 $M-1$ 개의 자료를 이용하여 분류기(classifier)를 구성하고 제외했던 한 개의 자료를 구성된 분류기를 이용하여 분류한다. 그리고 동일한 과정을 M 개의 자료 각각에 대하여 반복 수행하여 얻어진 분류 결과의 오차율을 성능 평가의 기준으로 삼는 방법이다.

	최소 오차율	분류기
PCA	27.27%	L1-norm
LDA	12.73%	L1-norm
ICA-FX	6.06%	L2-norm
PCA-FX	6.06%	L1-norm

표 1 최소 얼굴 인식 오차율

한편, 얼굴 인식 과정에서 시스템이 동작하는 환경 등의 외부조건에 따라 가장 높은 인식률을 갖는 알고리즘이 바뀔 수 있으므로 시스템이 동작하는 환경에 따라 시스템을 재설정해야 하거나 새로운 알고리즘을 추가해야 할 경우가 발생할 수 있다. 이러한 경우 IMC 기반의 ERI 구조를 이용하면, 시스템 재설정이나 새로운 알고리즘의 추가를 위한 시간이나 노력을 줄일 수 있을 것이다.

3.3 얼굴 추출 및 인식 데모

아래의 그림 7는 ERI 아키텍처를 기반으로 개발한 환경에서 실제 얼굴 추출 및 인식 성능을 테스트 해 본 결과이다. 얼굴 인식을 위한 학습과정은 off-line 상에서 이루어지는데, 이 과정을 통해 PCA, ICA, PCA-FX, ICA-FX를 위한 최적 특징 벡터 수가 결정되고 가중치 행렬이 저장된다. 그리고 실제 테스트 데이터가 들어왔을 때 저장된 가중치 행렬을 이용하여 실시간으로 얼굴 인식이 가능하도록 하였다. GUI의 왼쪽 위 부분은 입력센서(카메라)로부터 들어온 입력 영상과 출력 영상을 보여주기 위한 것이고, 왼쪽 아래쪽 부분은 추출 및 인식 결과를 보여주기 위한 부분이다. 그리고 GUI의 왼쪽 위쪽 부분과 아래쪽 부분은 각각 얼굴 추출과 인식에 사용되는 IMC들을 계속해서 추가해 나가고 필요한 파라미터 세팅을 사용자가 직접 해 나갈 수 있도록 고안된 부분이다. Connection Manager를 통한 IMC간의 연결은 위의 그림 4에서와 같이 사용자가 원하는 IMC를 선택하는 방법으로 이루어진다.

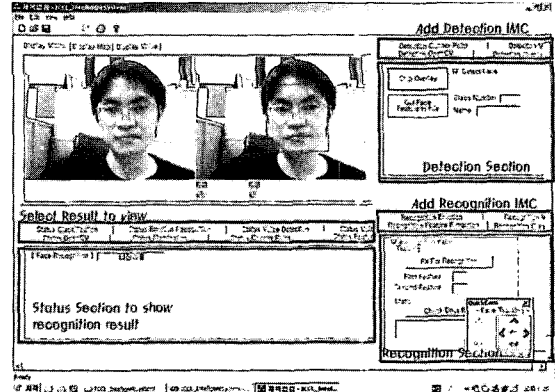


그림 7 얼굴 추출 및 인식 데모

4. 결 론

본 논문에서는 시스템 재설정 및 진화를 위한 IMC 기반의 ERI 아키텍처를 제안하였다. 또한 제안한 아키텍처를 이용하여 실제 얼굴 추출 및 인식 시스템을 구현하였다. 얼굴 추출 및 인식을 위한 모든 알고리즘들은 특정한 기능을 수행하는 객체인 IMC들로 구현하였으며, IMC들의 연결을 통해 확장된 기능을 보다 쉽게 구현하기 위해 필요한 IMC 규격들을 제시하였다. 제안한 아키텍처를 이용하면 새로운 알고리즘들의 추가와 이들을 조합하여 시스템을 구성하는 데 드는 비용을 절감할 수 있으며, 표준화된 규격을 제시할 수 있다는 장점이 있다. 또한 동일한 구조 안에서 얼굴 추출 및 인식 시스템 이외의 시스템도 쉽게 추가할 수 있도록 ERI 아키텍처를 설계하였다.

현재까지 개발된 시스템에서 얼굴 추출 및 인식 시스템 이외의 시스템도 추가하려면, 데모를 위한 GUI 환경이 좀더 일반화된 형태로 수정되어야 할 필요가 있다. 또한 시스템 사용자가 직접 IMC들의 연결을 직접 재설정하여야 하는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해 향후 과제에서는 GUI 환경을 개선하고, 구현한 얼굴 추출 및 인식 시스템을 실제 이동 로봇에 적용하여 로봇이 자신이 처한 환경을 인식하고, 환경에 알맞도록 스스로 시스템 설정을 변경해 주도록 하는 작업을 수행할 계획이다. 이를 위해서는 환경 변화에 따른 여러 인식 알고리즘들의 장단점을 미리 파악하여 환경에 대한 최적의 알고리즘 조합을 찾은 후, 로봇이 환경을 인식하여 스스로 시스템을 재설정 할 수 있도록 해야 할 것이다.

5. 참고문헌

- [1] Erich Gamma, Richard Helm, Ralph Johnson and John Vlissides, "Design Patterns", Addison Wesley, 1994.
- [2] W. Y. Zhao, R. Chellappa, A. Rosenfeld, and P. J. Phillips. Face recognition: A literature survey. ACM Computing Surveys, Vol. 35, No. 4, pp. 399 - 458, December 2003.
- [3] Intel Corporation, "OpenCV: Open Source Computer Vision Library"
<http://www.intel.com/technology/comput->

ing/opencv/index.htm

- [4] P. Viola and M. Jones, "Rapid object detection using a boosted cascade of simple features", IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR), volume 1, pages 511-518, 2001.
- [5] Myoung Soo Park, Jin Hee Na, Jin Young Choi, "PCA-based Feature Extraction using Class information", IEEE International Conference on System, Man and Cybernetics, 2005.
- [6] PCA vs. ICA: A Comparison on the FERET Data Set, Kyungim Baek, Bruce A. Draper, J. Ross Beveridge and Kai She, International Conference on Computer Vision, Pattern Recognition and Image Processing in conjunction with the 6th JCIS, Durham, North Carolina, March 8-14, 2002.
- [7] P.N. Belhumeur, J.P. Hespanha, and D.J. Kriegman, "Eigenfaces vs. fisherfaces: recognition using class specific linear projection," IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 19, no. 7, pp.711-720, July, 1997.
- [8] Nojun Kwak, Chon-Ho Choi, and Narendra Ahuia, "Face recognition using feature extraction based on independent component analysis," ICIP2002, Rochester, Sep. 2002.

저 자 소개



나진희(Na, Jin Hee)
 2003년 : 서울대학교 전기공학부 학사
 2003년~현재 : 서울대학교 대학원 전기컴퓨터 공학부 석박사 통합과정

관심분야 : 신경회로망, 패턴인식, 영상처리
 Phone : +82-2-872-7283

E-mail : jhna@neuro.snu.ac.kr



안호석(Ahn, Ho Seok)
 2005년 : 성균관대 정보통신공학부 학사
 2005년~현재 : 서울대학교 대학원 전기컴퓨터 공학부 석사과정

관심분야 : 지능로봇, 신경회로망
 Phone : +82-2-872-7283
 E-mail : hsahn@neuro.snu.ac.kr



박명수(Park, Myoung Soo)
 1998년 : 서울대학교 전기공학부 학사
 2000년 : 서울대학교 대학원 전기컴퓨터공학부 석사
 2000년~현재 : 서울대학교 대학원 전기컴퓨터공학부 박사과정

관심분야 : 인공지능, 기계학습, 신경회로망, 영상처리

Phone : +82-2-872-7283
 E-mail : mspark@neuro.snu.ac.kr



최진영(Choi, Jin Young)
 1982년 : 서울대학교 제어계측공학과 학사
 1984년 : 서울대학교 제어계측공학과 석사
 1993년 : 서울대학교 제어계측공학과 박사
 1984~1994년 : 한국전자통신연구소 연구원
 1998~1999년 : University of California, Riverside 객원교수
 1994~2004년 : 서울대학교 전기공학부 부교수

2004년~현재 : 서울대학교 전기공학부 교수

관심분야 : 적응제어, 신경회로망
 Phone : +82-2-880-8372
 E-mail : jychoi@neuro.snu.ac.kr