

임베디드 시스템의 분류

소선섭¹ · 손경아² · 은성배^{3*}

A Taxonomy of Embedded Systems

Sun Sup So¹ · Kyung A Son² · Seongbae Eun^{3*}

¹Professor, School of Computer Eng., Kongju National University, Chonan, 31080 Korea

²Research professor, UNIST Innovative Education Center, Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST), Ulsan, 44919 Korea

^{3*}Professor, Dept. of Information and Communication Eng., Hannam University, Daejeon, 34430 Korea

요 약

임베디드 시스템은 컴퓨터가 내장된 특수목적 시스템으로 정의하며 가전제품, 사무기기, 무기 체계 등 매우 다양한 분야에서 사용된다. 특정 분야에서 잘 정의된 분류 기법은 교수 및 학습에 강점을 갖는데 임베디드 시스템을 위한 분류체계는 찾아보기 힘들다. 본 논문에서 우리는 임베디드 시스템의 분류체계를 제시한다. 먼저, 임베디드 시스템의 표준화된 구조를 제시한다. 이 구조에서 임베디드 시스템 응용들을 “firmware-based”와 “embedded OS-based”로 나눈다. 또한, 임베디드 시스템 응용의 특성을 기반으로 “고신뢰 응용”과 “일반 응용”으로 나누는데 그 결과 총 4 개의 영역으로 임베디드 시스템 응용을 나눈다. 우리는 각 영역의 특징을 제시하고 임베디드 응용들의 사례를 제시하여 우리의 분류체계가 적절함을 보였다. 우리의 분류체계는 임베디드 시스템의 교수/학습법에 잘 활용될 수 있을 것이다.

ABSTRACT

The embedded system can be defined as a special purpose system with a built-in computer, and has a wide variety of applications such as home appliances, office equipment, and weapon systems. A well-defined taxonomy in a specific field is advantageous for learning and education, however, the classification scheme for embedded systems is difficult to find. In this paper, we propose a taxonomy for embedded systems. First, the generalized structure of the embedded system was presented. And, it is divided into two parts: “firmware based” and “embedded OS based”. In addition, according to the characteristics of embedded system applications, it is divided into two categories: “non-dependable” application and “dependable” application, which makes 4 planes. We describe the features of each quadrant and show that the classification is well suited by showing examples. Our taxonomy can be used to set teaching and learning methods of embedded systems.

키워드 : 고신뢰, 분류, 임베디드 OS 기반, 임베디드 시스템, 펌웨어 기반

Keywords : dependability, embedded OS based, embedded system, firmware based, taxonomy

Received 1 June 2020, Revised 5 June 2020, Accepted 12 June 2020

* Corresponding Author Seongbae Eun (sbeun@hnu.kr Tel:+82-42-629-7926)

Professor, Dept. of Information and Communication Eng., Hannam University, Daejeon, 34430 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2020.24.6.818>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

임베디드 시스템은 컴퓨터가 내장된 특수목적 시스템 [1]으로서 냉장고, 세탁기, 엘리베이터, 프린터, 자동차, 비행기 등, 다양한 응용에서 활용된다. 특히, 4차 산업혁명으로 IoT 등이 부각되면서 더욱 활성화될 것이다.

멀티미디어 분야에서도 임베디드 시스템의 활용이 적극적이다. 스마트태그에 멀티미디어 정보를 저장하고 사용자가 스마트 단말을 이용하여 긴급 매뉴얼을 얻는 방식[2]이나 NFC 태그에 저장된 경로 정보를 스마트 단말로 검색하여 군용 지도를 생성하는 응용[3] 등이 그 예이다.

임베디드 시스템의 응용 분야는 매우 다양해서 이를 분류하기가 어려운데 세탁기, 냉장고, 에어컨 등의 가정용 응용, 프린터, 복사기 등의 사무용 응용 등과 같이 응용에 따라 임베디드 시스템을 분류하는 방식은 직관적이고 이해하기 쉬우나 응용 분야의 수가 많고 기술적으로 정리하기 어렵다는 것이 문제이다.

분류 관련 기존 연구로는 수학의 한 분야로서 동치류와 분할[4]이 이에 해당한다. 집합과 관계에 관한 수학적 이론으로서 특정 집합을 완전하게 분류할 수 있다는 것이 장점이다. 생물 분류학은 지구상의 모든 생물들을 명확한 기준으로 분류하는 것[5]인데 수학의 동치류에 해당할 만큼 엄밀하게 다양한 생물들을 분류할 수 있다.

교육 분야에서도 분류체계를 활용하여 교사가 교육 과정을 좀 더 잘 이해하고 학생들에게 잘 가르치도록 지원[6]한다. Anderson[7]이 제시한 신교육목표 분류체계를 활용하여 교사는 무엇을 어떻게 가르치고 평가할 것인가에 대한 구체적인 방안을 수립할 수 있고 학생들이 수업에서 무엇을 배우게 될지를 정의할 수 있으며 수업의 결과로 기대하는 학생들의 모습을 보다 구체적으로 유도할 수 있게 된다. 교육 분야의 분류에서 우리는 특정 분야의 잘 정의된 분류체계는 교수법과 학습법에 도움을 준다는 것[8]을 이해할 수 있다.

생물 분류학은 1735년 린네에서 시작됐듯이 매우 오래된 분야로서 최근까지도 학문 전 분야에서 연구된다. 노인 복지 분야[9], 컴퓨터 인공지능 분야[10], OECD의 산업 리포트[11], 심지어 2020년에는 생물 분류학의 철학적 고찰[12]까지 학문 전 분야에서 찾아볼 수 있으며 분류 기법이 필수적이라는 것을 인식할 수 있다.

임베디드 시스템 관련해서는 Agarwal이 분류한 것

[13] 외에 찾아보기 어려운데 임베디드 시스템을 성능과 기능 요구에 따라 실시간, 독립형, 네트워크형, 이동형의 4가지로 분류하였고 마이크로 컨트롤러의 성능에 따라 소형, 중형, 복합형의 3가지로 분류하였다. 이 경우, 분류의 기준이 엄밀하지 않다는 문제를 갖는다. USN 서비스를 2가지 분류 기준으로 4가지로 분류한 방식[14]은 임베디드 시스템의 분류 방식으로 참고할 만하다.

본 논문에서는 임베디드 시스템의 분류 방식을 제안한다. 먼저, 임베디드 시스템의 정의를 바탕으로 컴퓨터 중심의 기술 분류로서 firmware 기반 및 embedded OS 기반, 또한 응용의 특성에 따라 일반 응용과 고신뢰 응용 등, 총 4 분면으로 분류하며 각 분면의 특징을 기술한다. 예를 들어 우리의 분류 방식이 적절함을 보인다.

II. 배경

2.1. 임베디드 시스템의 정의

임베디드 시스템은 아래 영어 문장으로 정의할 수 있다. 이는 “embedded”라는 단어에서 컴퓨터가 어떤 시스템에 내장됐다는 것을 의미하고 그 시스템이 일반 시스템이 아닌 특수목적 시스템이라는 것을 의미한다. 따라서 우리말로는 “컴퓨터가 내장된 특수목적 시스템”으로서 정의할 수 있다.

“An embedded system is a computer system that has a dedicated function within a larger mechanical or electrical system.”[1].

2.2. 수학 및 생물학의 분류 이론

이산 수학[4]에서는 특정 집합 A에 대한 관계 R이 동치관계일 때, 동치류 집합 $S = \{A_1, A_2, \dots, A_k\}$ 는 다음과 같은 특징을 갖는다. 이를 이용하여 분류를 수학적으로 정의할 수 있다. 수식 (2)와 (3)은 분류가 갖는 의미를 수학적으로 엄밀하게 정의한다. 이는 분류된 집합들의 합은 전체집합을 형성하며 분류된 각 부분 집합들의 교집합은 공집합이다 라는 것을 의미한다. 이는 분류 방식이 가져야 할 분류의 엄밀성을 제시한다.

$$i = 1, 2, \dots, k \text{ 일 때, } A_i \neq \emptyset \quad (1)$$

$$S = A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_k \quad (2)$$

$$i \neq j \text{ 이면, } A_i \cap A_j = \emptyset \quad (3)$$

생물 분류학은 지구상에 사는 생물의 계통과 종속을 특정 기준에 따라 나누어 정리하는 생물학의 한 분야이다[5]. 분류의 결과, 서로 다른 종으로 분류된 생물들은 상위 분류에 따라 같은 특징들을 가지며 현 단계 분류에 따라 서로 다른 특징을 부여받는다. 이를 기반으로 교육 및 학습, 새로운 연구에 직간접적으로 활용된다. 생물 분류학의 분류 방식은 매우 엄밀해서 수학의 동치류 집합의 특징을 갖는다고 할 수 있다.

2.3. 교육목표 분류체계와 교육적 활용

교육목표를 잘 분류하는 것은 교사가 표준화된 교육 과정을 이해하고 구현하거나 학생들에게 가르칠 학습 목표를 보다 완전히 이해하도록 도움을 준다. 교육목표의 분류를 통해 교사는 무엇을 어떻게 가르치고 어떻게 평가할 것인가에 대해 구체적인 방법과 학습 자료를 제시할 수 있다.

Bloom과 동료들은 교육목표 달성을 위한 교육내용을 인지적 영역, 정의적 영역, 심동적 영역으로 분류하였다[6]. Anderson[7]은 최초의 시도로 불리는 Bloom의 교육목표 분류를 보완하여 신교육목표 분류체계를 제시하였다. 신교육목표 분류체계는 인지적 과정 영역과 지식영역에서 표 1 과 같이 구분된다. 인지적 과정은 학생이 수행할 행동의 복잡성 정도에 따라 기억하기(remember), 이해하기(understand), 적용하기(apply), 평가하기(evaluate), 창안하기(create)로 구분된다. 지식영역은 학생이 습득하거나 구성할 지식의 추상성 수준에 사실적 지식(Factual knowledge), 개념적 지식(Conceptual knowledge), 절차적 지식(Procedure knowledge), 메타 인지적 지식(Meta-cognitive knowledge)으로 구분된다.

Table. 1 The classification in a Taxonomy Table

The Knowledge Dimension	The Cognitive Process Dimension					
	1. Remember	2. Understand	3. Apply	4. Analyze	5. Evaluate	6. Create
A. Factual Knowledge	Knowledge of terminology, Knowledge of specific details and elements					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6
B. Conceptual Knowledge	Knowledge of classifications and categories, Knowledge of principles and generalizations, Knowledge of theories, models, and structures					
	B1	B2	B3	B4	B5	B6
C. Procedural Knowledge	Knowledge of subject-specific skills and algorithms, Knowledge of subject-specific techniques and methods, Knowledge of criteria for determining when to use appropriate procedures					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6

The Knowledge Dimension	The Cognitive Process Dimension					
	1. Remember	2. Understand	3. Apply	4. Analyze	5. Evaluate	6. Create
D. Metacognitive Knowledge	Strategic knowledge, Knowledge about cognitive tasks, including appropriate contextual and conditional knowledge, Self-knowledge					
	D1	D2	D3	D4	D5	D6

신교육목표 분류는 교육현장에서 교사뿐 아니라 학생들도 스스로 교육목표를 보고 무엇을 어떻게 가르치고 배워야 하는지를 명확하게 진술하게 해 준다. 이러한 교육목표 분류체계는 교육목표 달성을 위한 교수학습 활동을 분류할 수 있고 학생들의 교육목표 달성 여부를 평가하는 데에도 사용할 수 있다[8]. 이를 바탕으로 다른 분야에서도 잘 정의된 분류체계가 그 분야의 교육과 학습에 도움을 준다는 교훈을 얻을 수 있다.

2.4. 타 분야의 최신 분류 연구

분류 기법은 1735년 린네에 의하여 시작되었으며 최근까지도 학문 전 분야에서 활용된다. 2015년 미국의 스탠포드 장수 센터에서는 노인들이 사기 범죄에 고통받는 것을 방지하기 위하여 사기 기법 들을 분류[9]하여 제시하였다. 또한, AI 분야에서 unsupervised learning 기법으로 부족한 단어에서 적절히 분류하는 기법[10]도 연구되었다. 2018년에는 OECD에서 디지털 산업들을 분류하는 체계[11]를 제시하였다. 2020년에는 생물 분류학의 철학적 의미를 고찰하는 논문[12]이 발표되었다. 이상과 같이 분류 기법은 학문 전 분야에서 꾸준히 연구되는 기법이라는 것을 확인할 수 있다.

2.5. 임베디드 시스템의 기존 분류

임베디드 시스템의 분류로는 Agrawal[13]이 제시한 분류 방법을 찾을 수 있다. Agrawal은 그림 1에서 볼 수 있는 것처럼 성능과 기능 요구 면에서 임베디드 시스템을 4가지로 분류하였는데 독립형 시스템, 실시간 시스템, 네트워크형 시스템, 이동형 시스템이 그들이다. 또한 중앙처리부의 성능에 따라 소형, 중형, 복잡형 시스템으로 분류하였다.

Agrawal의 분류 방식은 독립형, 네트워크형은 상호 대가 되는 개념으로서 이해하기 쉬우나 이동형과 실시간 시스템은 서로 호환되는 개념이 아니므로 이해하기 어렵다는 것이 단점이다. 또한, 중앙처리부의 성능으로 소형, 중형, 복잡형으로 구분한 것은 정성적으로나 정량적으로 이해하기 어렵다는 면이 단점이다.

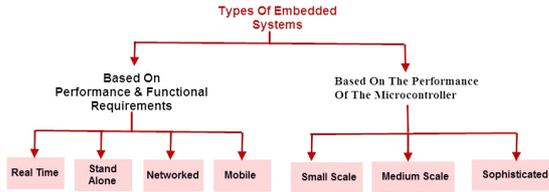


Fig. 1 A Taxonomy of Embedded Systems

유비쿼터스 센서네트워크 분야도 임베디드 시스템과 같이 응용 분야가 매우 다양하나 센서네트워크의 기본 특성이 관측자와 관측대상과의 관계로 정의하고 관측자가 고정돼 있거나 이동하거나 에 따라 2가지로 분류하고 관측대상이 고정돼 있거나 이동하거나 에 따라 마찬가지로 분류한 결과 그림 2와 같은 분류체계[14]가 제시되었다. 예를 들어 관측자와 관측대상이 모두 고정된 경우는 원격 모니터링 응용이고, 관측자가 이동한다면 텔레매틱스 응용, 관측대상이 이동한다면 위치 인식 응용이고 둘 다 이동형인 것은 엔터테인먼트 응용으로 분류하였다. 이 방식에서는 분류 기준이 상호 직교적이므로 이해하기 쉽고 분류가 명확하다는 점이 장점이다. 임베디드 시스템의 응용 분류에도 적용할 만한 방법이라고 판단한다.

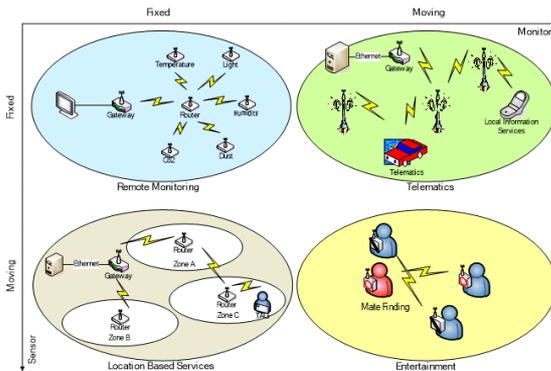


Fig. 2 The Classification of Sensor Network Applications

III. 시스템 분류

3.1. 임베디드 시스템의 구조

임베디드 시스템의 분류에 앞서 임베디드 시스템의 표준구조를 제시하고 그 구조를 바탕으로 분류 방식을

제시하려 한다. 그림 3은 임베디드 시스템의 표준구조를 도식화한다. 각 구성 요소를 설명하고 그들의 동작을 설명한다.

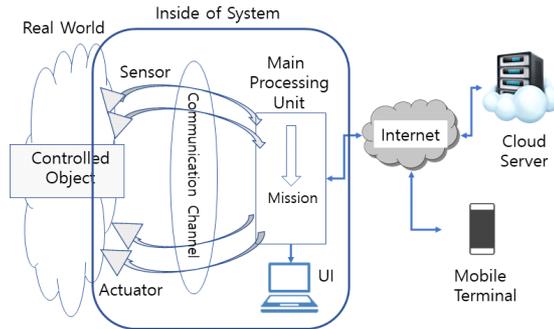


Fig. 3 A Standard Architecture of Embedded Systems

각각의 구성요소의 설명은 아래와 같다.

- 1) 실세계(real world): 임베디드 시스템이 동작하는 환경으로서 우리가 사는 실제 세계를 의미한다. 인터넷 상의 가상세계(virtual world)와 대별 되는 단어이며 임베디드 시스템은 실세계에서 동작한다는 것이 가상세계에서 동작하는 웹 기반 컴퓨터 응용들과 다르다.
- 2) 제어대상: 세탁기나 냉장고와 같이 실세계에서 특수목적 을 갖고 동작하는 시스템을 의미한다. 내장된 컴퓨터가 제어한다는 의미에서 제어대상이라고 부른다. 센서나 구동기, 내부통신망, 중앙처리부, UI 등은 제어대상 내부에 위치하지만 보기 편하게 펼쳐서 그렸다.
- 3) 센서(sensor): 제어대상의 현재 상태를 파악하기 위한 장치로서 세탁기의 경우에는 물 온도를 파악하기 위한 온도 센서, 세탁물의 무게를 측정하기 위한 무게 센서 등이 이에 해당한다.
- 4) 구동기(actuator): 제어대상의 상태를 변경하기 위한 장치로서 세탁기의 경우에는 회전 모터, 급수 밸브 등이 이에 해당한다.
- 5) 내부통신망: 센서, 구동기를 중앙처리부와 연결하는 통신망이다. 세탁기의 경우에는 단순한 전선이지만 항공기의 경우에는 전기 신호를 전송하는 3중화된 버스로서 매우 복잡하다.
- 6) 중앙처리부: 임베디드 시스템의 제어부로서 정해진 미션을 수행하도록 프로그램되어 있다. 임베디드 시스템의 정의에서 “특수목적 시스템”이라는 용어

- 가 있는데 그 특수목적을 실제 수행하는 부분이다.
- 7) UI(User Interface): 사용자의 입출력을 지원하는 부분으로서 세탁기의 경우에는 선택 버튼, 시작/정지 버튼, 동작시간 표시 LED 등이 이에 해당한다. UI 중에서 차량 네비게이터처럼 GUI(Graphical User Interface)를 지원하는 경우도 많이 있다.
 - 8) 시스템 내부: 그림에서 시스템 내부라고 표시된 부분이 일반적인 임베디드 시스템이다. 최근에 임베디드 시스템이 인터넷에 연결되어 그 정보를 통합, 처리하는 사례가 증가하는 추세이다.
 - 9) 인터넷: 임베디드 시스템의 결과를 인터넷을 통하여 중앙 서버 또는 클라우드에 전달한다.
 - 10) 클라우드 서버: 인터넷 너머에 사용자의 데이터들을 저장하고 처리하여 사용자에게 전달하는 서버가 존재한다. 과거의 임베디드 시스템보다는 최근의 시스템에서 많이 사용된다.
 - 11) 모바일 단말: 스마트폰 등에서 임베디드 시스템의 현 상황을 모니터링하고 제어 명령을 보내는 장치들이 증가하고 있다.

냉장고를 대상으로 내부 구조를 고찰해보면 다음과 같다.

- 1) 제어대상: 냉장고
- 2) 센서: 온도, 습도, 냉장고 문 열림 등
- 3) 구동기: 모터 스위치, 송풍 스위치, 실내 전등
- 4) 내부통신망: 일반 전선(cf. 자동차: CAN BUS)
- 5) 중앙처리부: 마이크로컨트롤러
- 6) UI: 입력(버튼), 출력(온도 표시 LED)
- 7) 인터넷 및 서버(없음), 스마트폰 연동 불능
- 8) 미션: 냉장고 온도 조절 등

3.2. 임베디드 시스템의 분류

우리는 3.1절의 표준구조로부터 임베디드 시스템의 분류 기준을 설정하였다. 분류 기준은 첫째로 중앙처리부의 성능 및 특성 따라 Firmware based 와 Embedded OS based로 분류한다. 두 번째는 시스템의 구조가 Monolithic 인가 Hierarchical 인가로 구분한다. 세 번째는 응용이 고신뢰도(Dependability)를 요구하는가 아닌가로 구분한다. 이를 그림 4에서 표시하였다. 세 가지 기준, 모두 서로 직교적이므로 임의의 임베디드 시스템을 엄밀하게 분류할 수 있다.

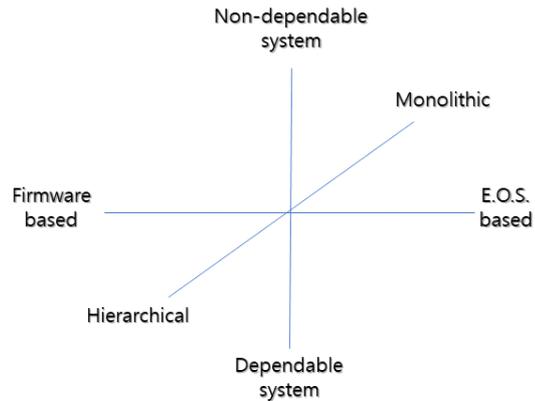


Fig. 4 Classification Criteria of Embedded Systems

Firmware based는 소형의 임베디드 시스템에 해당하는데 운영체제 없이 응용 프로그램을 개발하는 것을 말한다. 운영체제가 없으므로 프로그램 개발은 교차개발 환경(CDE:Cross Development Environment)에서 이루어지며 응용 프로그램이 하드웨어를 직접 제어하도록 프로그램을 작성한다. 세탁기나 냉장고 등이 이에 해당한다. EOS based는 임베디드 운영체제(EOS:Embedded Operating System) 위에서 응용을 개발하는데 복사기, 네비게이터 등과 같이 GUI를 요구하거나 인터넷 연결을 요구하는 등의 복잡한 응용을 개발할 때 활용된다.

Monolithic(독립형) 구조는 시스템의 하나의 독립된 구조로 구성된 것을 의미한다. 세탁기나 냉장고 등이 이에 해당한다. Hierarchical(계층형) 구조는 전체 시스템이 별도의 작은 임베디드 시스템으로 구성된 것을 의미한다. 유비쿼터스 센서 네트워크(USN)나 M2M 응용이 이에 해당하는데 센서 노드들은 그 자체가 작은 임베디드 시스템이면서 독립적으로는 동작하기 어려운 구조이다. 이들이 게이트웨이를 거쳐서 중앙서버에서 처리되면서 전체 시스템을 구성한다.

Dependable system은 고신뢰 시스템이라고도 말하는데 시스템이 동작 중에 문제를 일으키면 인명 피해가 발생하거나 심각한 상황을 발생하는 시스템들을 의미한다. 예를 들어 자율 주행 자동차의 제어 컴퓨터가 오작동한다면 승차한 사람의 목숨이 위태로워질 수도 있고 다른 차나 보행자에게 심각한 상해를 입힐 수도 있다. 최근 달에 착륙한 중국의 로봇이 고장난다면 쉽게 고칠 수도 없으며 수천억 원의 재화가 단숨에 소멸될 것이다.

Non-dependable system은 신뢰도가 낮아도 되는 시스템들을 의미하는데 세탁기, 냉장고, 복사기 등이 이에 해당한다. 세탁기가 고장 나도 잠깐 불편할 뿐이지 인명 피해가 발생하는 것은 아니다.

3.3. 영역별 특성 및 사례 분석

영역별 특성 및 사례 분석에서 8가지의 경우가 발생하는데 이를 단순화하여 일반 시스템/고신뢰 시스템 및 Firmware-based/EOS-based 로 4 분하여 설명한다. 독립형과 계층형은 각 절에 포함하여 설명한다.

가) 일반/Firmware-based

일반 시스템이므로 가정용 등에서 많이 사용된다. 냉장고, 세탁기, 에어컨 등이 그 예이다. 미션이 단순한 편이며 센서나 구동기의 수도 많지 않다. 주로 8 비트 마이크로 컨트롤러를 이용하여 중앙처리부를 구성한다. 시스템에 OS가 없으므로 개발과정에서 교차개발환경(CDE: Cross Development Environment)을 사용하는 것이 필수적이다.

기술적인 면에서는 저가격으로 구성하는 것이 가장 중요한 면이다. 가전제품의 경우, 100원 정도에서 가격 경쟁력이 좌우되므로 센서/구동기, 중앙처리부, UI 등에서 가능한 저가격의 부품을 사용하려 한다. 배터리 동작하는 장치들의 경우, 저전력 소모가 가장 중요한 기술 요소이다, 예를 들어 리모콘의 경우, AAA 배터리 2개로 동작하는데 저전력 소모 기술을 적용해야만 수개월을 사용할 수 있다. 제어부도 ATmega128이 아닌, ATtiny8 같은 더 작고 가격도 저렴한 마이크로컨트롤러를 사용한다.

대부분의 시스템들이 독립형이지만 계층형 임베디드 시스템의 사례로 USN이나 M2M 응용을 예로 들 수 있다. 예를 들어 저수위 수위 감시 시스템은 고신뢰를 요구하지는 않으므로 일반형이며 센서 노드들은 Firmware based로 개발되며 이들이 무선통신망으로 계층구조를 이루어서 전체 시스템이 구성된다. USN과 M2M의 구분은 네트워크의 특성에 따르는데 USN은 ad-hoc multi-hop routing을 사용하고 M2M은 이동통신망을 사용한다.

나) 일반/EOS-based

일반 응용이면서 EOS를 활용하는 시스템이 이에 속한다. 임베디드 시스템에서 EOS가 요구되는 경우는 크

게 3가지 이유를 들 수 있는데, 1) 멀티미디어 기반의 GUI가 요구될 때, 2) 인터넷 등의 네트워크 기술이 활용되어야 할 때, 3) 미션이 복잡하여 멀티프로세싱이 요구될 때이다. 이 경우에는 EOS가 갖는 기능들을 활용하여 시스템을 구현하므로 개발 기간과 안정성을 높일 수 있다. EOS가 동작하는 경우 32 비트 이상의 고성능 CPU와 적절한 크기의 메모리를 보유해야 하므로 8 비트 마이크로컨트롤러는 사용할 수 없다.

독립형의 사례로는 네비게이터를 들 수 있다. 네비게이터에는 터치패드가 가능한 멀티미디어 GUI가 요구되는데 이 경우 Firmware만으로는 시스템을 구성하기 어렵다. 그 결과 EOS(Embedded Operating System)를 포함하여 시스템을 구현한다. 많이 사용되는 EOS의 예로서 임베디드 리눅스나 안드로이드를 들 수 있다. 임베디드 리눅스의 경우, 리눅스를 임베디드 시스템에 부합하도록 수정한 운영체제이며 안드로이드는 스마트폰의 운영체제로 유명한데 처음엔 임베디드 시스템의 운영체제로 개발되었던 것을 스마트폰에 적용한 것이다.

USN이나 M2M의 최근 형태인 IoT 기술에서는 센서 노드나 구동기 노드에서도 인공지능 기능을 탑재하려고 시도하고 있다. 특히, Edge Computing에서는 센서 노드, 중계 노드 등이 원 데이터를 가공하려 시도하므로 EOS-기반이며 계층적이다. Edge Computing은 중앙의 인공지능 서버의 도움을 받지 않고 임베디드 시스템의 가장자리(edge)에서 기본적인 인공지능 기능을 수행하려는 것으로서 최근 활발히 연구되고 있다.

다) 고신뢰/Firmware-based

고신뢰 시스템이면서 단순하여 운영체제의 도움 없이 Firmware 기반으로 구현되는 것을 말한다. 단순하므로 8 비트 마이크로 컨트롤러를 사용하나 신뢰도가 높은 부품을 사용해야 한다. 예를 들어 미사일 제어부의 경우, 중력가속도의 20배 이상의 힘을 견디어야 하므로 8 비트 마이크로 컨트롤러를 쓰더라도 보드 제작 시에 가속도, 진동 등을 고려하여 설계하여야 한다.

계층형의 사례로는 Fault-tolerant 시스템을 예로 들 수 있다. 동일한 노드들을 중복하여 배치하고 이를 계층적으로 연결하여 고신뢰도의 시스템을 구성한다. 또한, 우주 공간, 고도의 압력, 진동 등을 견디도록 설계 및 구현해야 한다.

라) 고신뢰/EOS-based

항공기 운항 제어 시스템과 같이 다수의 복잡한 기능을 동시에 수행할 수 있어야 할 때 고신뢰/EOS 기반으로 구현한다. 항공기 운항 제어 시스템은 multi-tasking이 요구되며 실시간 처리를 요구한다. 이러한 실시간 시스템의 사례로는 인공위성, 항공기 제어 시스템, 원자력 발전소 제어부 등을 예로 들 수 있다. 최근에는 자율 주행 자동차를 설계, 구현할 때 이 영역의 기술을 활용해야 한다. 이 영역의 기술 이슈로는 고장 허용 설계 기술과 실시간 처리 및 스케줄링 기술이 요구된다.

고신뢰 시스템으로서 계층형 시스템으로는 인공위성 시스템을 예로 들 수 있다. 인공위성은 자세 제어 모듈, 지상 통신 모듈, 중앙 처리 모듈 등으로 구성되고 각각은 실시간 운영체제를 기반으로 실시간 처리가 진행된다. 이들이 계층적으로 연결되어 최종적인 시스템을 구성한다.

그림 5는 임베디드 시스템의 분류표를 제시한다. 그림에서 볼 수 있는 것처럼 임베디드 시스템 전체를 1) 응용의 특성, 2) 구현 기술, 3) 시스템 구조에 따라 생물 분류학의 계통도처럼 분류하였다. 각 단계의 분류 및 특성은 하위 단계에 그대로 상속되는데 이러한 분류체계는 임베디드 시스템의 학습, 교육, 향후 연구를 지원하는 순기능을 할 것이다.

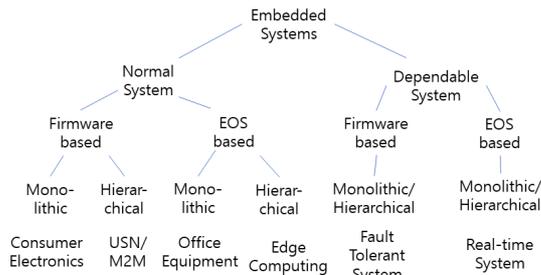


Fig. 5 The Taxonomy of Embedded Systems

IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 임베디드 시스템의 분류 방식을 제안하였다. 기존 분류 방식은 응용 분야별로 직관적으로 나열하는 방식이었는데 우리의 방식은 1) 응용의 특성, 2) 구현 기술, 3) 시스템 구조에 따라 생물 분류학의 계통도

처럼 분류하였다. 각 단계의 분류 및 특성은 하위 단계에 그대로 상속되는데 이러한 분류체계는 임베디드 시스템의 학습, 교육, 향후 연구를 지원하는 순기능을 할 것이다.

향후 연구 방향으로는 분류체계를 수학적으로 정의하고 분류 결과가 이에 부합하는지를 확인하는 것이다.

ACKNOWLEDGEMENT

This Research was supported by the research grant of the Kongju National University.

REFERENCES

[1] Embedded system [Internet]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Embedded_system.

[2] N. S. Kwak, Y-S. Yun, J. Jung, S. S. So, and S. Eun, "Data Abstraction in Battlefield Smart Maps Based on QR Tag," *Journal of Korea Multimedia Society*, vol. 23, no. 3, pp. 440-446, Mar. 2020.

[3] N. S. Kwak, S. Eun, K. A. Son, and S. Cha, "Design of A Low Power Memory Tag for Storing Emergency Manuals," *Journal of Korea Multimedia Societ*, 23(2), 2020.2, 293-300(8 pages).

[4] J. Park, *Discrete Mathematics Raising Computing Thinking Power*, Hanbit Academy Inc. 2017. ISBN979-11-5664-305-0.

[5] J. Kim, *Introduction to Taxonomy*, Life Science Inc. 2012. ISBN 9788961541329.

[6] B. S. Bloom, M. D. Engelhart, E. J. Furst, W. H. Hill, and D. R. Krathwohl, *Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals. Handbook I : Cognitive domain*. New York: David McKay, 1956.

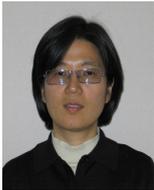
[7] L. W. Anderson, and D. R. Krathwohl, *A Taxonomy for Learning, Teaching and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives: Complete Edition*. New York: Longman, 2001.

[8] D. R. Krathwohl, *A Revision of Bloom's Taxonomy: An Overview. THEORY INTO PRACTICE*, 41(4), pp.2012-218. College of Education, The Ohio State University, 2002.

[9] *Framework for a Txonomy of Fraud*, Stanford Center on Longevity, Jul. 2015.

[10] D. Alfaron, and J. Davis, "Unsupervised Learning of an IS-A Taxonomy from a Limited-Specific Cropus," *Proceedings*

- of the Twenty-Fourth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI 2015), pp. 1434-1441, 2015.
- [11] F. Calvino, C. Criscuolo, L. Marcolin, and M. Squicciarini, "A Taxonomy of Digital Intensive Sectors," OECD Science, Technology and Industry Working Papers, [Internet]. Available: <https://dx.doi.org/10.1787/f404736a-en>, 2018.
- [12] T. Saunders, "Taxonomy at a crossroads: Communicating value, building capability, and seizing opportunities for the future," *Megataxa* 001 (1): pp. 063-066, 2020.
- [13] T. Agarwal, A Brief About Embedded System their Classification and Applications [Internet]. Available: <https://www.efxkits.us/classification-of-embedded-systems/>.
- [14] S. Eun, S. S. and So, Y. Chae, "A Scheme to Categorize Ubiquitous Sensor Network Services and Their Practical Issues," *IEMEK Journal of Embedded System Applications*, vol. 2, no. 3, pp. 202-208.



소선섭(Sun Sup So)

1986 이화여자대학교 전산학과 졸업(학사)
 1988 한국과학기술원 전산학과 졸업(석사)
 2001 한국과학기술원 전산학과 졸업(박사)
 1988 - 1995 국방과학연구소 연구원
 1995 - 현재 공주대학교 컴퓨터공학부 교수
 2002. 3 - 2003. 8 메릴랜드대학교 초빙교수
 ※ 관심분야: 소프트웨어 테스팅, 임베디드 소프트웨어, 센서네트워크



손경아(Kyung A Son)

2003년 한양대학교 교육공학과 박사
 2003년~2014년 한국방송통신대학교 책임연구원
 2005년~2008년 한양대학교 컴퓨터교육과 겸임교수
 2014년 국가평생교육진흥원 국정과제추진단 부단장
 2015년~현재 UNIST U교육혁신센터 연구교수
 ※ 관심분야: 에듀테크, 멀티미디어, 교육혁신정책 등



은성배(Seongbae Eun)

1985년 서울대학교 컴퓨터공학과 학사
 1987년 KAIST 전산학전공(석사)
 1987년~1990년 한국전자통신연구원 TDX개발단 연구원
 1995년 KAIST 전산학전공 (박사)
 1995년~현재 한남대학교 정보통신공학과 교수
 ※ 관심분야: 실시간 시스템, 임베디드 시스템 등