JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지 Vol. 25, No. 11: 1581~1587, Nov. 2021

QR 코드로 인코딩된 소프트웨어 실행 제어 흐름 전력 소비 패턴 기반 시스템 이상 동작 감지

강명진[1] · 박대진[2*]

Abnormal System Operation Detection by Comparing QR Code-Encoded Power Consumption Patterns in Software Execution Control Flow

Myeong-jin Kang[1] · Daejin Park[2*]

[1]Ph.D. student, School of Electronics Engineering, Kyungpook National University, Daegu, 41566 Korea
[2*]Associate Professor, School of Electronics Engineering, Kyungpook National University, Daegu, 41566 Korea

요 약

임베디드 시스템의 활발한 사용으로 스마트 팩토리와 같이 여러 에지가 모여서 함께 복합적인 동작을 하게 되는 멀티 에지 시스템들이 동작되고 있다. 멀티 에지 시스템에서 하나의 에지에서의 이상 동작이 다른 에지로 전달되거나 전체 시스템이 다운되는 경우가 자주 발생한다. 이러한 시스템에서 각 에지의 이상 동작을 판단하고 제어하는 것이 중요하지만, 이는 성능의 한계가 존재하는 작은 에지의 임베디드 시스템에 부하를 가한다. 이러한 시스템에서 우리는 전력 소비 데이터를 사용하여 에지 장치의 상태를 확인하고 이를 QR코드 기반으로 데이터를 전송하여 서버에서 이상 동작을 확인하고 제어하려 한다. 논문에서 제안된 아키텍처는 에지의 전력 소모 데이터를 측정하기 위해 'chip-whisperer'를 사용하고 서버를 구현하기 위해 '라즈베리 파이'를 사용하여 구현하였다. 그 결과 제안된 아키텍처 서버는 성공적인 데이터 전송 및 이상 동작 판정을 보였으며 에지에서 추가 부하가 나타나지 않음을 확인하였다.

ABSTRACT

As embedded system are used widely and variously, multi-edge system, which multiple edges gather and perform complex operations together, is actively operating. In a multi-edge system, it often occurs that an abnormal operation at one edge is transferred to another edge or the entire system goes down. It is necessary to determine and control edge anomalies in order to prevent system down, but this can be a heavy burden on the resource-limited edge. As a solution to this, we use power consumption data to check the state of the edge device and transmit it based on a QRcode to check and control errors at the server. The architecture proposed in this paper is implemented using 'chip-whisperer' to measure the power consumption of the edge and 'Raspberry Pi 3' to implement the server. As a result, the proposed architecture server showed successful data transmission and error determination without additional load appearing at the edge.

키워드 : 결함 허용 시스템, 데이터 전송, 임베디드 시스템, 이미지 통신
Keywords : Fault tolerant, Data transmission, Embedded system, Image communication

Received 9 September 2021, **Revised** 14 September 2021, **Accepted** 20 September 2021

*** Corresponding Author** Dae-Jin Park(E-mail:boltanut@knu.ac.kr, Tel:+82-53-950-5548)
Professor, School of Electronics Engineering, Kyungpook National University, Daegu, 41566 Korea

Open Access http://doi.org/10.6109/jkiice.2021.25.11.1581 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 및 관련 연구

IoT 장치들이 발전하면서 하나의 커다란 목표를 달성하기 위해 여러 IoT 장치들이 함께 사용되고는 멀티 IoT, 멀티 에지 시스템이 많이 사용되고 있다. 이를 위해 각 장치는 서로 연결되어 각각이 처리한 데이터값들을 공유하거나 상태를 공유한다. 이때 한 장치에서 발생한 이상 동작들은 시스템의 병목현상을 발생시키거나 혹은 이상 동작을 전염시켜 시스템을 마비시키기도 한다. 따라서 서로 연결된 장치들의 이상 동작 전염을 막기 위해 실시간 이상 동작 감지 기술들이 연구되고 있다.

임베디드 프로세서를 활용하는 IoT 장치들은 각자의 역할만을 수행하기 위해 제작되는 경우가 많으므로 스스로 이상 동작을 감지하고 판단하는데 많은 부하가 걸리게 된다. 또한 이상 동작의 종류 또한 연결된 장치로 인해 늘어나게 되어 IoT 장치들이 스스로 이상 동작을 판단하여 제어하는 것이 어려워지게 된다.

에지 장치가 더욱 개발되고 다양화됨에 따라 하나의 큰 작업에서 많은 수의 에지가 함께 작동하는 경우가 증가하고 있다. 이럴 때 각 장치는 긴밀하게 연결되어 있으며 한 장치의 이상 동작으로 인해 전체적인 병목 현상이 발생하거나 이상 동작이 다른 장치로 전송될 수 있다. 에지 장치에서 이상 동작이 발생하면 연결된 에지를 통해 이상 동작이 확산하는 것을 신속하게 방지하는 것이 중요하다. 이러한 문제를 해결하기 위해 실시간으로 이상 동작을 감지하고 제어하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다[1-3].

에지의 상태를 확인하기 위한 여러 방법이 존재하는데, 그중 전력 소비 데이터를 사용하여 에지의 상태를 분석할 수 있다[4-6]. 특히 암호화에 사용되는 부 채널 분석은 많은 장치 정보를 알기 위해 에지 전력 소비와 시간 정보를 사용한다[7, 8]. 또한 에지에서 이상 동작이 발생하면 에지에서의 통신이 마비되는 것을 방지하기 위해 통신 및 사이트 채널 수집에 추가 장치를 사용한다.

그러나 에지에서 자체 이상 동작을 판단하면 장치에 많은 부하가 가해져 성능이 저하되거나 에지 크기가 증가한다. 각 에지의 임베디드 시스템은 특정 작업을 수행하도록 설계되었기 때문에 시스템의 크기를 늘리거나 새로운 이상 동작 감지 기능을 추가하여 성능을 저하할 수 있다[9]. 또한 각 장치가 개별적으로 또는 때로는 공동으로 장치를 효율적으로 관리하기 위해 중간 서버가 필요하다. 미들 서버는 할당된 에지에서 전력 소비 데이터를 수신하고, 데이터를 분석하고, 이상 동작을 결정하고, 문제가 있는 에지의 작동을 제어한다. 따라서 Edge에서 이상 동작이 발생하면 이상 동작을 판단하고 이상 동작 정보를 서버 통신으로 전송하여 여러 Edge를 관리할 필요가 있다.

서버는 동시에 많은 에지의 전력 소비 데이터를 수신하고 이상 동작을 판별한다. 전력 소모 데이터를 전달하는 방법은 여러 가지 방법 중 데이터를 이미지화하여 카메라를 이용한 이미지 통신을 선택하여 여러 에지에서 네트워크를 통한 통신으로 인해 발생하는 문제를 배제했다. 추가적인 장치를 사용하여 얻은 전력 소비 데이터를 처리하여 QR코드를 생성한다. 이러한 이미지는 지속해서 패널에 표시되며 데이터는 카메라를 포함한 중간 서버로 전달됩니다. 우리는 QR 코드 이미지로 전력 소비 데이터 전송을 시도하였다[10].

본 논문에서는 서버가 QR코드를 이용하여 읽을 수 있는 적절한 샘플링 속도로 얻은 다중 에지의 전력 소비 데이터를 전송하고 이를 서버에서 해석하여 이상 동작을 판단하는 데 중점을 둡니다. 에지에서 전력 소비 데이터를 처리하면 이상 동작 결정에 대한 부하가 줄어든다. 또한 서버는 모니터에 표시된 QR코드를 분석하여 이상 동작을 판단할 수 있어 마진을 통한 정확한 이상 동작 감지가 가능하다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. Ⅱ장에서는 논문의 배경 및 관련 연구에 관해 서술하고 Ⅲ장에서는 제시된 문제를 해결하기 위해 제안하는 구조에 관해 서술한다. Ⅳ장에서는 제안된 구조를 실제 시뮬레이션하는 과정과 시뮬레이션한 결과를 알아보고, 타당성을 입증하고, 마지막으로 Ⅴ장에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. 배경 및 문제정의

2.1. 임베디드 시스템의 한계

IoT 임베디드 장치는 에지에서 동작하는데 이때의 장단점들이 존재한다. 에지에서 동작하는 IoT 임베디드 장치는 작은 크기로 내가 원하는 동작을 할 수 있고, 적은 전력을 사용하여 동작한다. 하지만 제한된 리소스로 인해 구성된 이후, 설계의 개선이나 업그레이드가 어렵다. 또한, 이상 동작 발생 시 파일의 백업과 같은 안정화 시스템이 부족하여 이상 동작에 취약하다. 데이터의 전송 또한 작은 임베디드 시스템에 많은 부하가 된다. 위

의 이유로 멀티 에지 시스템은 이상 동작에 민감할 수밖에 없는데, 이를 에지에서 처리하기엔 많은 문제가 있다. 위의 이유로 인해 이상 동작을 에지에서 직접 처리, 판단하고 이를 서버에 전송하는 데는 많은 어려움이 따른다. 따라서 본 논문에서의 추가된 전력 소모 측정기는 에지와 분리되어 개별적으로 작동하게 된다.

2.2. QR코드

QR코드는 Quick Response 코드의 약칭으로 2차원의 바코드이다. 주로 웹사이트나 로케이터에 대한 데이터가 포함되는 경우가 많다. 본 논문에서는 QR코드를 카메라를 사용하여 데이터 통신하는데, 사용하려 한다. QR코드는 실제로 내부에 이상 동작을 수정할 수 있는 패리티 비트를 포함하여 데이터 전송의 실패율을 줄여주고, 패리티 비트의 크기를 조건에 맞게 설정할 수 있어 데이터를 일방적으로 통신하기에 유용하다. 또한 데이터의 용량에 맞춰 QR코드의 크기를 변경하여 생성할 수 있어 다양한 크기의 데이터를 가공하기에 적합하다. 이 논문에서 전력 소모 데이터를 binary로 변경하여 보내는데, 이는 QR코드로 통신하기 충분한 데이터의 양이다. QR코드는 타이밍 패턴, 크기, 인코딩 버전, 패리티 비트 등을 포함하고 있어 너무 큰 크기의 QR코드는 디코딩하는 과정이나 인식하는 과정이 오래 걸릴 수 있음으로 데이터양에 따라 나누어 맞는 크기의 QR코드에 담아 데이터를 전송하는 것이 유리하다. 또한 QR코드는 코드의 셀이 어느 정도의 크기로 나타내어지는지가 중요한데, 이는 셀이 클수록 안정적으로 인식될 수 있어 QR코드를 데이터 전송에 사용할 때는 스캔 거리, 셀의 크기, 스캐너의 성능 등을 고려할 필요가 있다[11].

그림 1과 같이 데이터를 2차원으로 나타낸 코드로 QR코드를 사용한 이미지 패턴 매칭으로 이상 동작을 찾거나 관련성을 정의 할 수 있다. 현재 관리받을 필요가 있는 상품이나 기기에 자신의 상태를 나타내기 위해 많이 사용되고 있다.

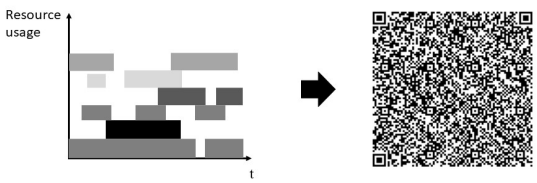


Fig. 1 Resource usage to 2D QR code

2.3. 제어 흐름

IoT에서 동작하는 임베디드 시스템들은 각각의 목적을 갖고 동작하는데, 이때 제어 흐름을 갖고 동작하게 된다. 제어 흐름이란 소프트웨어의 결정된 동작 순서이며 제어 흐름은 그림 2, 3과 같이 방향성을 사용하여 표현된다. 본 논문에서는 소프트웨어의 제어 흐름의 이상 동작을 전력 소모 데이터를 사용하여 감지하고 판단하려 한다. IoT 디바이스가 따라가는 제어 흐름은 디바이스의 전력 소모와 비례하게 나오고, 우리는 전력 소모 데이터의 분석을 통하여 IoT 디바이스의 동작을 예측하고 제어할 수 있다. 그림 2는 IoT 디바이스의 소프트웨어 제어 흐름도를 나타낸다. 그림 2와 3에서 보듯이 제어 흐름은 v_0에서 시작하여 각 조건에 맞게 분주하여 정상적인 화살표 방향을 따라 동작하게 된다. 이때, IoT 디바이스의 이상 동작으로 인해 원치 않는 무한 루프에 빠지거나 종료될 수 있는데, 이는 전력 소모 데이터를 통해 나타나게 된다.

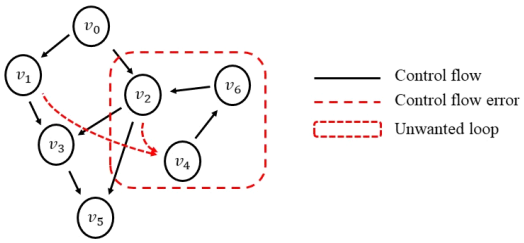


Fig. 2 Control flow of IoT software

Algorithm : Software control flow error of IoT

```
Trusted_value ← ∅
while True do
   for (signed i= 10; i>-5; i--){
      get_state_from_state(v_s)
      if i == ∅
         v_s = v_next
      else
         while
            v_s = v_s or v_s = v_Unknown
   }
```

v_s: Current state
$v_{Unknown}$: Unknown state due to error

Fig. 3 Algorithm of Control flow error

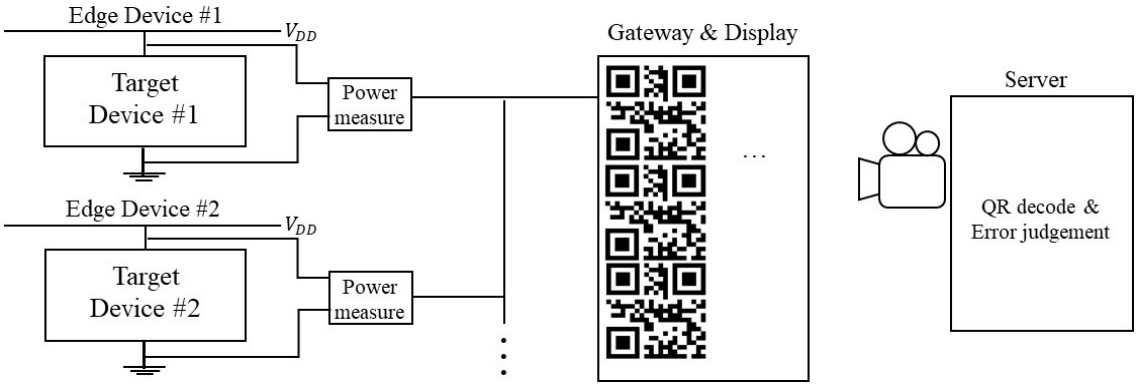


Fig. 4 Concept of proposed Architecture

Ⅲ. 제안 구조

그림 4는 제안된 아키텍처의 개념도를 보여준다. 제안된 모델에서 전력 소모 측정 및 처리기는 각 에지 장치 옆에 설치된다. 각 에지는 각 전원과 별도로 작동하며 에지 장치 수만큼의 측정기에 전력이 필요하다. 그러나 전력 측정기는 각 에지 디바이스의 동작과 무관하게 동작하므로 이상 동작 감지 및 판단을 위해 에지 디바이스의 부하를 제거하는 데 도움이 된다.

수집된 데이터는 하나의 게이트웨이로 전송된다. 게이트웨이를 통해 수집된 각 데이터가 QR코드를 생성하기 전에 데이터를 처리해야 한다. 전력 소비 데이터는 지속적으로 측정되고 이러한 데이터에는 너무 많은 세부 정보가 포함되어 있어 많은 메모리가 필요하므로 데이터의 전처리과정이 필요하다. 전력 소비 데이터를 이용하여 다양한 이상 동작을 판단할 필요가 있으므로 너무 단순해서도 또 너무 세부적이어서도 안 된다. 적절한 정확도로 데이터를 만들기 위해 그림 5와 그림 6에서 볼 수 있듯이 데이터를 네 부분으로 나누었다. 이 작업은 메모리 사용량을 확보하고, 데이터 처리량을 줄여 QR코드를 생성함으로써 샘플링 속도를 높인다.

게이트웨이를 통해 한곳에 모은 데이터는 각 에지의 동작을 나타내며 제안된 모델에서는 QR코드를 사용하여 서버에서 읽힌다. 에지들의 상태 정보 데이터는 모니터를 통해 QR코드로 표시되는데, 이때 중요한 것은 샘플링 속도이다. 에지에서 같은 작업을 반복하여 상태 정보가 계속하여 같은 정보가 표시될 때, 인식이 제대로 작동하지 않을 수 있으므로 QR코드 생성과 QR코드 디

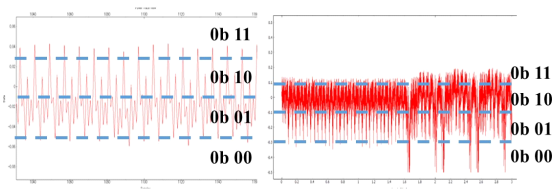


Fig. 5 preprocess of power consumption data

Algorithm : Activation of side channel Capture and QR generator in 0.1sec

```
If FullData == 1{
 for ( i = 0; i<300 ; i++){
   if  GetData(i) > 0.75*Threshold
     Data =  0b11;
   else if  GetData(i) > 0.5*Threshold
     Data =  0b10;
   else if  GetData(i) > 0.25*Threshold
     Data =  0b01;
   else
     Data =  0b00;
   QR_Data.Append(Data);
 }
}
 QR_generate(QR_Data)

else continue;
```

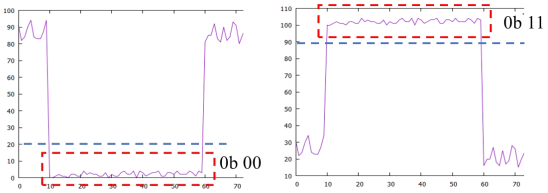
FullData : State of Hue-Detecting
GetData: Get power consumption data
Threshold : Threshold for dividing data
QR_Data : Buffer for QR code

Fig. 6 Algorithm of preprocess

코딩을 동기화하는 것이 중요하다. QR코드 생성 및 분석을 동기화하려면 에지에서의 데이터 전송 속도와 서버에서 QR코드를 해석하는 기능을 고려해야 한다. 이를 위해 앞의 전처리과정이 필요하게 되는데, 상태정보를 나타내기 위해 생성되는 QR코드의 크기, 시간 등을 고려해야 하므로, 데이터의 크기가 제한될 필요가 있다.

서버는 카메라를 통해 일정 간격으로 생성된 QR코드를 인식하고 분석한다. 데이터를 사용한 에지 이상 동작 판별은 서버에서 수행된다. 서버는 QR코드를 분석하여 각 에지의 작동에 대한 정보가 포함된 데이터를 얻을 수 있다. 서버는 여러 방법을 사용하여 에지 작업의 이상 동작을 확인한다.

첫째, 데이터에서 '0b00'과 '0b11'의 숫자가 특정 기준을 초과하는지 확인하는 것이 중요하다. 예시로 그림 7 (a)에서 볼 수 있듯이 '0b00'이 많으면 에지에 전원이 충분히 공급되지 않거나 정상적으로 동작하지 않는다는 것을 의미한다. 그림 7 (b)에서도 '0b11'이 기준치를 초과하면 에지에서 너무 많은 움직임이 계속 발생한다는 것을 의미한다.



(a) (b)

Fig. 7 Detection data of IoT error

둘째, 그림 8, 그림 9와 같이 다양한 유형의 이상 동작 패턴을 학습하여 패턴 매칭을 이용하여 에지 디바이스의 이상 동작을 판단할 수 있다. 이는 단순한 전원 꺼짐, 과부하만을 인식하는 것이 아닌, 러닝을 통해 에지의 상태와 이상 동작 정보 또한 판단할 수 있다. 하지만 여러 에지가 역할에 맞춰 다른 동작을 하고 다른 상태를 나타내므로 각 에지에 맞는 학습이 필요하고, 각 에지에 맞는 검증이 필요하다.

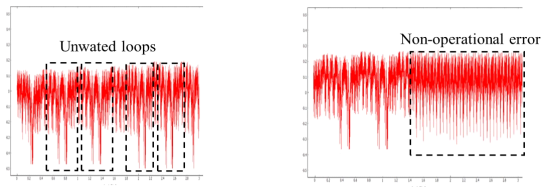
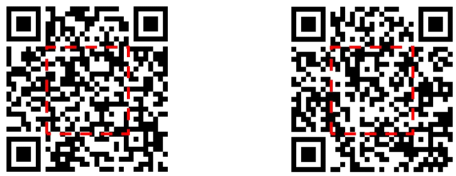


Fig. 8 Error pattern of edge device



(a) (b)

Fig. 9 Error pattern matching with QR data

Ⅳ. 시뮬레이션 및 결과

실험은 그림10과 같이 에지 역할을 하는 CW303 메가 보드와 사이드 채널을 측정하는 칩 위스퍼러를 사용하여 수행되었다. USB 연결을 사용하기 때문에 샘플링 속도는 10 MS /s이지만 에지에서 사용하기 위해 다운 샘플링하여 실험을 진행하였다. 실험에서는 소비 전력 데이터를 3KS/s의 속도로 측정하였다.

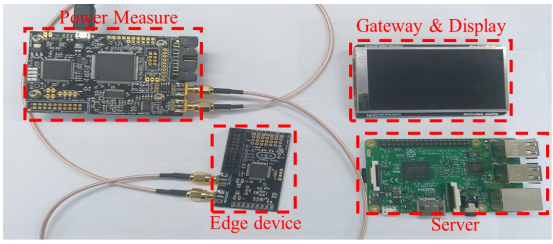


Fig. 10 Experimental setup environment

에지 전력 소비 데이터는 초당 3,000개의 샘플을 누적하므로 적절한 크기의 이미지를 표시하여 데이터와 통신하는 것이 중요하다. 300 개의 데이터를 600 비트로 표현하고 0.1 초마다 600 비트로 구성된 버전 19 QR 코드를 사용하여 통신했다. 이때 적절한 임곗값을 설정해야 한다. 중앙값, 최솟값 및 평균값을 측정하여 임곗값을 설정한다.

서버는 카메라를 통해 QR코드를 인식하고 디코딩한다. 서버는 디코딩된 데이터를 사용하여 이상 동작을 특수 이상 동작 패턴과 일치시켜 이상 동작을 찾는다. 또는 서버의 QR코드와 이미지 매칭을 통해 이상 동작 패턴 매칭이 가능함을 확인하였다.

Ⅴ. 결 론

본 논문에서는 이상 동작 감지를 위해 전력 소비 데이터를 사용하여 에지 장치의 부하를 줄이고 서버와 QR 코드를 사용하여 데이터 통신을 통해 서버에서 이상 동작을 판단하는 아키텍처를 제안하였다. 일정한 샘플링 속도를 사용하여 에지 디바이스와 서버를 동기화할 때 제안된 아키텍처는 'chip-whisperer'와 두 개의 '라즈베리 파이 3'를 사용하여 구현되었다. 제안된 구조는 여러 이상 동작에 민감한 에지가 함께 실행되는 상황에서 효율적인 제어에 매우 유용한다.

이 아키텍처에서는 에지 디바이스의 많은 이상 동작이 발견될 수 있으므로 에지 디바이스를 효율적으로 제어하기 위한 연구가 수반되어야 한다. 이에 QR코드를 이용하여 QR코드 디코딩에 대응하여 QR코드로 통신하는 연구가 서버에서 진행되고 있다. 위의 연구 외에도 QR코드를 시간 축으로 나누어 통신하는 연구가 진행되고 있으며, 현재 논문에서 제안하는 아키텍처와 결합 하면보다 효율적인 이상 동작 검출을 도출할 수 있을 것으로 예상된다. 향후 인식된 QR 코드를 이용한 효율적인 이상 동작 패턴 매칭을 위한 추가 연구를 통해 개선된 아키텍처를 제안할 예정이다.

ACKNOWLEDGEMENT

This study was supported by the BK21 FOUR project funded by the Ministry of Education, Korea (4199990113966, 10%), Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science and ICT (NRF-2019R1A2C2005099, 10%), and Ministry of Education (NRF-2018R1A6A1A03025109, 10%). This work was partly supported by Institute of Information and communications Technology Planning and Evaluation (IITP) grant funded by the Korea government (MSIT) (No. 2021-0-00944, Metamorphic approach of unstructured validation/verification for analyzing binary code, 70%

REFERENCES

[1] M. Kang and D. Park, “Lightweight Microcontroller with Parallelized ECC-Based Code Memory Protection Unit for Robust Instruction Execution in Smart Sensors,” *Sensors 2021*, vol. 21, no. 16, pp. 5508. 2021. doi:10.3390/s21165508.

[2] Y. Sazeides, A. Bramnik, R. Gabor, C. Nicopoulos, R. Canal, D. Konstantinou, and G. Dimitrakopoulos, “2D Error Correction for F/F based Arrays using In-Situ Real-Time Error Detection (RTD),” *2020 IEEE International Symposium on Defect and Fault Tolerance in VLSI and Nanotechnology Systems (DFT)*, pp. 1-4, 2020. doi: 10.1109/DFT50435.2020.9250878.

[3] W. Wang, D. Mosse, J. G. Pickel, and D. Cole, “Work-in-Progress: Cross-Layer Real-Time Scheduling for Wireless Control System,” *2017 IEEE Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium (RTAS)*, pp. 149-152, 2017. doi: 10.1109/RTAS.2017.24.

[4] C. Ma, Y. Wang, J. Zhang, K. Chen, F. Gong, T. Chen, and S. Chen, “Research on user electricity consumption behavior and energy consumption modeling in big data environment,” *2021 IEEE 2nd International Conference on Big Data, Artificial Intelligence and Internet of Things Engineering (ICBAIE)*, pp. 220-224, 2021. doi: 10.1109/ICBAIE52039.2021.9389990.

[5] A. H. Sabry, F. H. Nordin, A. H. Sabry, and M. Z. A. Ab Kadir, “Fault Detection and Diagnosis of Industrial Robot Based on Power Consumption Modeling,” in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 67, no. 9, pp. 7929-7940, Sept. 2020. doi: 10.1109/TIE.2019.2931511.

[6] R. Chen, J. Li, and W. Liu, “Lattice-reduction-aided robust detection for MIMO systems with channel estimation error,” *2010 International Conference on Wireless Communications & Signal Processing (WCSP)*, pp. 1-5, 2010. doi: 10.1109/WCSP.2010.5633448.

[7] D. Lee, M. Kang, P. Plesznik, J. Cho, and D. Park, “Scrambling Technique of Instruction Power Consumption for Side-Channel Attack Protection,” *2020 International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC)*, pp. 1-2, 2020. doi: 10.1109/ICEIC49074.2020.9051111.

[8] H. Kim, J. Cho, and D. Park, “Graphical Patterning-Platform of Software Malfunction of Software Malfunction for Power Profile-based Side-Channel Analysis,” *2019 IEEE International Conference on Consumer Electronics – Taiwan (ICCE-TW)*, pp. 1-2, 2019. doi: 10.1109/ICCE-TW46550.2019.8991899.

[9] V. B. Thati, J. Vankeirsbilck, and J. Boydens, “Comparative study on data error detection techniques in embedded systems,” *2016 XXV International Scientific Conference Electronics (ET)*, pp. 1-4, 2016. doi: 10.1109/ET.2016.7753517.

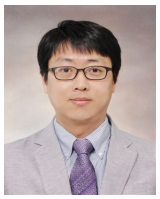
[10] A. H. Tank, M. M. Unde, B. J. Patel, and P. Raskar, “Storage and transmission of information using grey level QR (quick-response) code structure,” *2016 Conference on Advances in Signal Processing (CASP)*, pp. 402-405, 2016. doi: 10.1109/CASP.2016.7746204.

[11] H. J. Galiyawala and K. H. Pandya, “To increase data capacity of QR code using multiplexing with color coding: An example of embedding speech signal in QR code,” *2014 Annual IEEE India Conference (INDICON)*, pp. 1-6, 2014. doi: 10.1109/INDICON.2014.7030441.

강명진(Myeong-jin Kang)

2020년 2월 : 결북대학교 전자공학부 졸업s
2020년 3월 ~ 현재 : 경북대학교 전자전기공학부 석 · 박사 통학과정

※관심분야 : 임베디드 시스템, 저전력 구동, 이상 동작에 강인한 구동 등



박대진(Daejin Park)

2001 경북대학교 전자전기공학부 학사
2003 한국과학기술원(KAIST) 전기 및 전자공학과 석사
2014 한국과학기술원(KAIST) 전기 및 전자공학과 박사
2003~ 2014 SK Hynix/Samsung/ABOV반도체 (차세대 LSI 설계) 수석연구원
2014~ 2016 경북대학교 전자공학부 초빙교수 (2014년 대통령 Postdoctoral Fellow 선정)
2016~ 현재 경북대학교 전자공학부 조교수/부교수

※관심분야 : 저전력 SoC 설계, 하드웨어-소프트웨어 Co-design, Dependable 스마트 IoT 시스템, Robust 임베디드 시스템