

스마트 축사를 위한 에지 컴퓨팅 기반 IoT 협업 시스템

안치현¹ · 이형탁² · 정광수^{3*}

IoT Collaboration System Based on Edge Computing for Smart Livestock System

Chi-Hyun Ahn¹ · Hyungtak Lee² · Kwangsue Chung^{3*}

¹Graduate student, Department of Electronics and Communications Engineering, Kwangwoon University, Seoul, 01897 Korea

²Undergraduate student, School of Computer & Information Engineering, Kwangwoon University, Seoul, 01897 Korea

^{3*}Professor, Department of Electronics and Communications Engineering, Kwangwoon University, Seoul, 01897 Korea

요 약

정보 통신 기술(ICT)이 축사와 접목된 스마트 축사는 대부분 클라우드 컴퓨팅 패러다임에 기반하고 있다. 클라우드 기반 스마트 축사는 응답 시간 증가, IoT 센서 증가에 따른 클라우드의 자원 부담, 망의 트래픽 부담과 같은 단점이 있고 인접한 IoT 디바이스와의 협업을 통한 장애 회복 메커니즘이 거의 없는 실정이다. 본 논문에서는 에지 컴퓨팅 기반 IoT 협업 시스템을 제안한다. 에지 디바이스의 비교적 제한적인 컴퓨팅 자원으로 클라우드의 웹 서버 기능을 분담하게 하여 클라우드에 필요한 자원을 절감하며, 사용자 요청에 대한 응답 시간을 개선하고자 한다. 또한 heartbeat 기반 장애 회복 메커니즘을 통하여 IoT 디바이스의 장애를 감지하고 그에 따른 적절한 조치를 하도록 하였다.

ABSTRACT

The smart farm for livestock, in which information and communication technology (ICT) is combined with livestock farm, is mostly based on the cloud computing paradigm. A cloud-based smart livestock farm has disadvantages such as increased response time, burden on cloud resource caused by the increased number of IoT sensors, traffic burden on the network, and lack of failure resilience mechanisms through collaboration with adjacent IoT devices. In this paper, with these problems in mind, we propose an IoT collaboration system based on edge computing. By using the relatively limited computing resources of the edge device to share the cloud's web server function, we aim to reduce the cloud's resources needed and improve response time to user requests. In addition, through the heartbeat-based failure recovery mechanism, IoT device failures were detected and appropriate measures were taken.

키워드 : 스마트 축사, 스마트 팜, 에지 컴퓨팅, Internet of Things (IoT)

Keywords : Smart livestock system, Smart farm, Edge computing, Internet of Things (IoT)

Received 23 November 2021, Revised 15 December 2021, Accepted 29 December 2021

* Corresponding Author Kwangsue Chung(E-mail:kchung@kw.ac.kr, Tel:+82-2-940-5134)

Professor, Department of Electronics and Communications Engineering, Kwangwoon University, Seoul, 01897 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2022.26.2.258>

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. 서 론

스마트 축사는 IoT 센서와 제어기, 통신모듈 등의 디바이스를 활용하여 축사의 내부 환경 조건을 실시간에 가깝게 감지하여, 적절한 농장 제어를 실시함으로써 생육 환경을 적정 수준으로 유지·관리를 하는 데에 초점이 맞추어져 있다. 제어기는 IoT 센서로 부터 농장의 환경 정보를 감지하고, 유·무선 지역 통신망, 광역 통신망을 이용하여 원격 클라우드 서버로 데이터를 전송한다. 사용자는 스마트폰, PC 등의 디바이스를 활용하여 서버에 접속하여 농장의 정보를 실시간으로 확인하고, 적절한 조치를 시공간의 제약 없이 실시할 수 있게 된다.

현재 국내에서 사용 중인 스마트 축사용 IoT 시스템들은 유럽, 미국 등의 외국 제품들이 주를 이루고 있으며, 이 중 대부분이 클라우드 컴퓨팅 기반으로 구현되는 경우가 많다. 클라우드 컴퓨팅 패러다임에서는 클라우드 서버가 모든 종단 사용자로부터의 데이터를 수신하고, 처리가 완료되면 처리된 결과를 종단 사용자에게 전송한다 [1]. 따라서 대부분의 데이터와 요청들이 클라우드로 집중이 되며 긴 응답시간을 유발해 사용자 경험에 부정적 영향을 줄 수 있다 [2]. 또한 외국산 제품들의 특성 상 클라우드 서버가 해외에 위치하는 경우가 많은데, 이는 국내 사용자에게는 더욱 긴 응답시간을 야기할 수 있다. 그리고 종단 사용자가 증가할수록, 그와 비례하여 많은 양의 데이터를 전송하고 저장해야하기 때문에 클라우드의 자원 부담은 증가하고 그에 따른 서비스 비용 또한 증가한다.

현재 통용되고 있는 스마트 축사의 IoT 제어 시스템에서는 IoT 디바이스에 정전 등의 장애가 발생하였을 경우, 경보를 통하여 사용자에게 이를 알리고, 필요시에는 자가 발전기를 이용하여 비상전원을 공급하는 경우가 대부분이다. 인접한 IoT 디바이스들의 장애를 대비한 상호 협업은 거의 없는 수준이다.

본 논문에서는 스마트 축사에서의 에지 디바이스 자원을 활용하여, 에지 컴퓨팅 기반 IoT 협업 시스템을 제안하였다. 제안하는 협업 시스템에서는 스마트 축사의 서비스 성격에 따라서, 에지와 클라우드의 특성을 감안하여 기능을 분담한다. 또한 heartbeat 기반 장애 회복 메커니즘을 통하여, IoT 디바이스에 정전 등의 장애가 발생하였을 경우 비상조치가 가능하도록 하였다.

본 논문의 2장에서는 클라우드 컴퓨팅, 에지 컴퓨팅

과 관련된 연구들을 살펴본다. 3장에서는 제안하는 스마트 축사를 위한 에지 컴퓨팅 기반 IoT 협업 시스템에 대하여 기술한다. 4장에서는 실험을 통하여 제안된 시스템을 검증하고 제안 방식이 기존의 방식보다 우수함을 보이고, 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

2.1. 에지 컴퓨팅

에지 컴퓨팅이란 네트워크의 에지에 컴퓨팅과 스토리지 자원을 배치하는 패러다임을 말한다 [2]. 네트워크의 사용자가 증가함에 따라 많은 데이터가 발생할 때 효율적으로 데이터를 처리하지 못하는 문제가 있다. 이 문제를 해결하기 위해 마이크로 데이터센터 [3,4], 클라우드렛 [5], 포그 컴퓨팅 [6]이 선행 연구로 진행되었다. 에지 컴퓨팅은 이를 모두 포괄하는 개념으로 여러 연구에서도 볼 수 있듯이 [7-8] 응답시간 감소, 네트워크 대역폭 및 클라우드 자원 절약 등의 많은 이점이 있다.

2.2. 클라우드 기반 스마트 축사

현재 상당수의 국내 축산 농가에서 사용되는 스마트 축사는 클라우드 서버를 중심으로 한 서비스를 제공하고 있다. 이러한 클라우드 기반 스마트 축사에서는 농장에서 수집되는 모든 정보들이 1차적으로 에지 디바이스로 수집이 되고, 에지 디바이스에서는 다시 클라우드로 모든 정보를 전송한다. 사용자는 인터넷망을 이용하여 시간과 장소에 구애 받지 않고 클라우드 기반 농장 감시, 농장 제어 서비스를 이용할 수 있다.

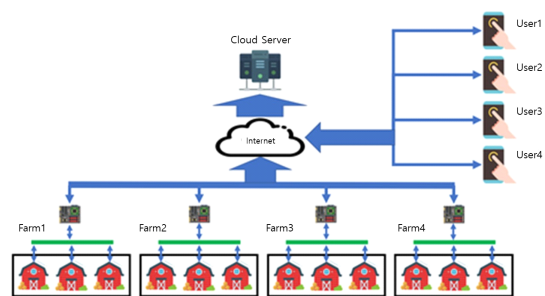


Fig. 1 Cloud-based smart livestock farm

그림 1에서 볼 수 있듯이, 클라우드 기반 스마트 축사에서는, 모든 사용자의 농장 데이터와, 종단 사용자

에 대한 서비스가 클라우드에 집중이 된다. 축사에는 온도, 습도, 압력 등의 내·외부 환경 센서, 제어 관련 센서류 등 다수의 정보 수집 장치가 설치되어, 일정 시간 간격, 또는 이벤트 기반 정보가 수집되어 클라우드로 전송이 된다. 따라서 이러한 클라우드 기반 서비스는 사용자의 수가 많을수록 망의 트래픽 부하가 증가하고 클라우드의 자원을 많이 소모할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 스마트 축사를 위한 에지 컴퓨팅 기반 IoT 협업 시스템을 제안한다. 제안하는 협업 시스템에서는 에지 디바이스의 자원을 활용하며, 에지 기반 서버를 구축하여 모든 데이터 연산과 저장이 집중되었던 클라우드 서버의 기능을 분담하였다.

III. 에지 컴퓨팅 기반 IoT 협업 시스템

에지 디바이스는 클라우드와 비교하여 자원이 제한적인 반면, 중단 사용자와 물리적으로 가까운 경우가 많다. 따라서 클라우드의 서비스 중 실시간성 화면과 같이 응답시간에 민감한 서비스를 에지 디바이스에 구현하여 클라우드의 자원을 경감하고 중단 사용자의 응답 시간을 개선하였다. 또한 물리적으로 인접한 IoT 디바이스들과 에지 간에 일정 시간 간격으로 heartbeat를 공유하여, 디바이스에 정전 등의 장애가 발생하였을 경우 인접한 디바이스가 해당 디바이스가 제어하는 축사의 비상 제어 디바이스를 제어할 수 있도록 고안하여 시스템의 회복력을 확보하였다.

3.1. 에지와 클라우드 서버의 기능 분담

본 논문에서는 스마트 축사 서비스들을 클라우드와 에지의 특성을 감안해서 분류했다. Identification 서비스의 경우, 필요한 모든 사용자 정보가 담긴 데이터베이스는 컴퓨팅 자원이 비교적 풍부한 클라우드에 구현되어 있어야 보안 관리 측면에서도 유리하다. 따라서 이러한 서비스는 클라우드에서 제공하는 것이 바람직하다고 볼 수 있다.

클라우드에서 제공할 수 있는 또 다른 서비스로 장기 데이터 조회를 생각해볼 수 있다. 과거 데이터는 실시간 데이터에 비해 데이터가 저장되는 간격이 길고, 보존되는 기간이 장기간에 걸쳐서 저장이 되는 특성이 있다. 또한 한 번의 쿼리로 사용자의 조회가 끝나기 때문에,

실시간성 서비스처럼 일정 간격으로 데이터를 계속적으로 업데이트를 하지 않는다. 이러한 서비스는 응답 시간에 민감하지 않고, 데이터 저장 밀도가 낮아서 많은 사용자 수를 고려하면 자원부담이 비교적 적은 편이므로 클라우드 서버에 적합하다고 볼 수 있다.

농장의 현재 상황을 계속적으로 감시하는 경우, 사용자는 현재 농장의 정보가 얼마나 빨리 업데이트가 되는지에 민감한 경우가 많다. 이러한 서비스는 일정 시간 간격마다 농장의 상당수의 센서 정보가 업데이트되기 때문에, 농장의 동 수, 사용자의 수가 많아질수록 망에 트래픽과 클라우드의 컴퓨팅 자원 부담을 가중시킨다. 따라서 이러한 서비스를 에지에서 분담한다면 클라우드와 망에 대한 부담을 줄이는 동시에, 응답시간을 향상시킬 수 있다. 또한 사용자는 농장에 알맞은 제어 조건 설정을 위해서 IoT 디바이스와 환풍기, 에어 인렛 등의 구동 디바이스를 시험할 수 있다. 이러한 서비스 또한 응답시간에 민감하기 때문에 에지 서버에서 분담하기 적절하다고 볼 수 있다.

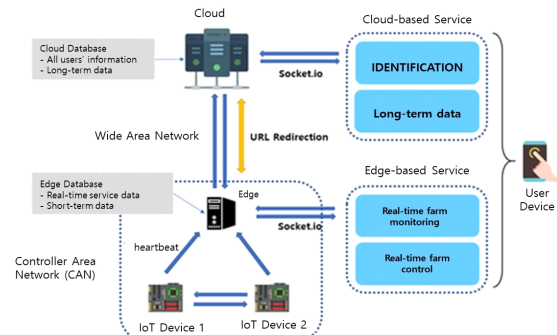


Fig. 2 Service division of the edge and the cloud servers

그림 2에 이러한 서비스 분담 모델을 제시하였다. 제시된 모델에서 사용자는 도메인 주소를 이용하여 클라우드의 웹 기반 서비스에 최초로 접속하여, Identification을 거친다. 그 후 실시간 농장 감시 등의 에지 기반 서비스를 요청할 경우, 클라우드는 URL redirection을 통하여 사용자의 요청을 에지 디바이스 서버로 전달한다. 요청을 전달받은 에지는 해당 서비스를 사용자에게 제공하고, 마찬가지로 사용자가 클라우드 기반 서비스를 요청할 경우 다시 클라우드에게 사용자 요청을 전달한다.

에지 디바이스는 IoT 디바이스로부터 데이터를 수집하고, 그 중에서 에지 기반 서비스를 위한 데이터를 에지 데이터베이스에 저장한다. 수집된 데이터 중에서 클

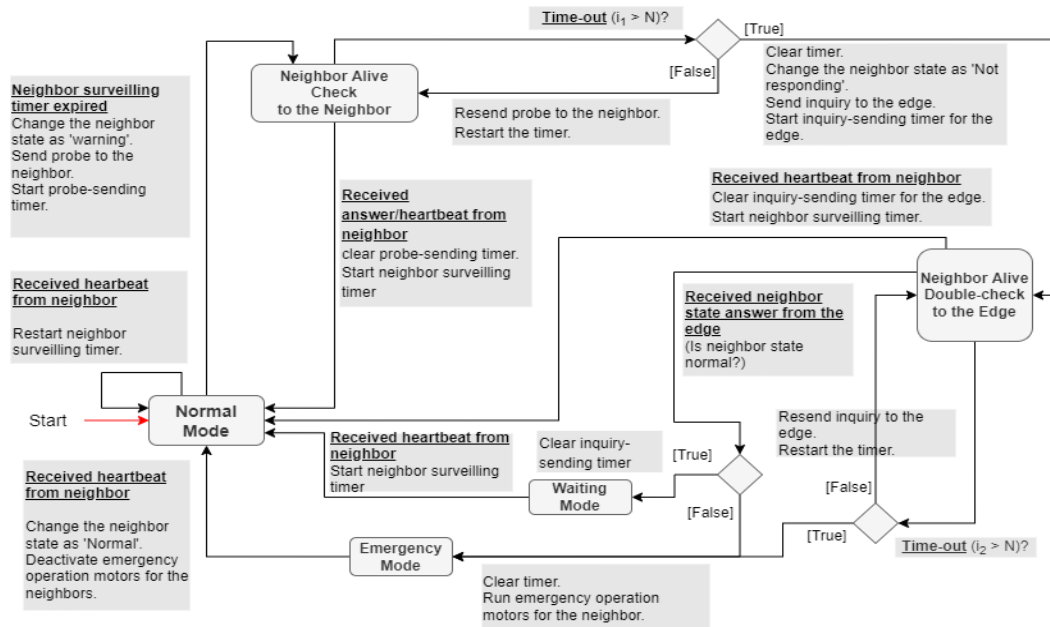


Fig. 3 FSM for failure-resilient mechanism of IoT devices, in smart livestock farm

라우드 기반 서비스에 필요한 정보들은 데이터 추상화를 거쳐서 클라우드로 전송된다. 클라우드에서는 마찬가지로 클라우드 기반 서비스에 필요한 데이터를 클라우드 데이터베이스에 저장한다.

이렇게 에지와 클라우드의 특성에 맞는 서비스와 데이터베이스를 분산 배치함으로써, 클라우드의 컴퓨팅 파워, 메모리 등의 자원을 절감할 수 있고 네트워크의 트래픽 부하도 줄일 수 있다. 또한 사용자와 물리적으로 가까운 에지 기반 서비스를 통하여 응답 시간을 개선할 수 있다.

3.2. 장애 회복 매커니즘

본 논문에서는 제어기-제어기, 제어기-에지의 협업을 통하여 정전 등의 비상시에 대비한 장애 회복 메커니즘을 제안한다. IoT 디바이스는 보통 일정 시간 간격으로 IoT 센서 정보들을 수집하고, 해당 정보를 지역 통신망 프로토콜에 맞는 메시지에 저장하여 농장의 에지 디바이스에 전달한다. 동일한 농장의 모든 IoT 제어 디바이스들은 동일한 지역망에 속하기 때문에, 해당 메시지를 공유할 수 있다. 이러한 일정 시간 간격의 메시지를 인접한 IoT 디바이스의 장애를 감지하기 위한 Heartbeat 신호로 이용할 수 있다.

그림 3은 제안하는 장애 회복 메커니즘에 대한 FSM(Finite State Machine)을 보여주고 있다. 각각의 IoT 디바이스는 일정 시간 간격으로 Heartbeat을 이웃 IoT 디바이스와 에지 디바이스에 공유한다(Normal mode). 이웃 IoT 디바이스와 에지 디바이스는 시스템 구동과 동시에 감시 타이머(Neighbor surveilling timer)를 실행하고, 이웃 IoT 디바이스로부터 Heartbeat를 받으면 타이머를 재시작 한다.

정전 등의 이유로 이웃 IoT 디바이스가 시간 내에 응답을 하지 않을 경우 타이머가 만료되고, 이웃 디바이스의 상태 값을 Warning으로 변경한 후, 이웃 디바이스에 일정 시간 간격으로 Probe packet을 보내어, Alive인지 확인한다(Neighbor alive check to the neighbor). 이 시기 동안 이웃으로부터 응답을 받거나, Heartbeat을 수신할 경우, 이웃 디바이스가 회복되었음을 의미한다. 따라서 Probe-sending 타이머를 Clear하고, Neighbor surveilling timer를 시작시킨다(Normal mode로 복귀).

만약 이웃으로부터 계속 응답이 없을 경우, IoT 디바이스는 이웃 디바이스와의 통신이 불가능하다고 판단하고 상태를 저장한다. Probe-sending 타이머를 해제한 후, 이웃 디바이스가 에지와도 통신이 불가능한 상태인지 확인하기 위하여 에지에 문의 메시지를 다시 일정 시간

간격으로 전송한다(Neighbor alive double-check to the edge). 만약 이 상태에서 Neighbor로부터 Heartbeat을 수신한다면, IoT 디바이스는 에지에 문의하는 것을 중단하고, Neighbor surveilling timer를 시작하여 Normal mode로 복귀한다. 에지로부터 이웃의 상태 응답을 받았을 경우, 상태가 Normal일 경우, 이웃과 에지는 원활하게 통신이 이루어지고 있음을 의미한다. 따라서 이는 IoT 디바이스와 이웃 간의 통신 장애일 확률이 높다. 이 경우에 에지로 문의하는 것을 중단하고, 통신이 복구될 때까지 Waiting mode로 전환한다. Waiting mode에서는 이웃으로부터 Heartbeat을 다시 받을 경우 즉시 Normal mode로 복귀한다. 반면 에지로부터 받은 응답이 Negative일 경우, 에지 또한 이웃으로부터 응답을 받지 못하고 있다는 뜻으로, 이웃 디바이스가 정전 등의 이유로 장애 상태인 것을 의미한다. 따라서 IoT 디바이스는 비상 모드로 전환하여, 이웃 IoT 디바이스가 설치된 농장의 비상 가동을 진행한다. 이웃 디바이스가 회복되어 Heartbeat을 전송할 경우, IoT 디바이스는 비상 가동을 중단하고, Normal mode로 복귀한다.

3.3. 클라우드-에지-IoT 디바이스 협업 구조

클라우드의 웹 기반 서버는 중단 사용자의 HTTP get, post 기반 서비스 요청에 대한 응답을 제공한다. 이를 통하여 앞서 기술된 Identification, 장기간 데이터 조회 등의 클라우드에 적합한 서비스를 사용자에게 제공한다. 서비스 제공자는 클라우드의 IP주소에 도메인 주소를 연결하여 사용자로 하여금 도메인 주소로 서비스 접속을 할 수 있게 해준다. 클라우드 컴퓨팅 패러다임에서와는 달리, 본 협업 모델에서는 IoT 디바이스에서 발생한 원시 데이터(Raw data)를 에지에서 가공하고 필요한 부분만 추출하여, 추상화된 데이터를 클라우드로 전송한다. 따라서 클라우드는 원시 데이터가 아닌 추상화된 데이터를 수신하여, 데이터베이스에 저장하고 장기간 데이터, Identification 등의 클라우드 기반 서비스에 필요시 사용한다. 데이터베이스는 생성, 읽기, 갱신, 삭제(CRUD)의 SQL 명령어 기반으로 관리된다. 중단 사용자가 에지 기반 서비스를 요청할 경우, 클라우드 서버는 URL redirection을 통하여 에지로 요청을 전달한다.

에지 디바이스는 클라우드와 IoT 디바이스의 중간에 위치하여, 협업 시스템의 핵심적 역할을 담당한다. 웹 기반 서버가 구현되어 클라우드로부터 사용자의 요청

을 Redirection으로 받은 경우, 그에 따른 적절한 서비스를 HTTP get, post 기반으로 제공한다. 농장의 지역통신망을 통하여 IoT 디바이스로부터 원시 데이터를 받으면, 이를 가공하고 필요한 정보를 추출하고 추상화한다. 에지 기반 서비스에 필요한 데이터는 에지에 구현된 데이터베이스에 저장하고, 클라우드 기반 서비스에 필요한 데이터는 인터넷 망을 통하여 클라우드로 전달한다. 클라우드 서버와 마찬가지로, 사용자가 클라우드 기반 서비스를 요청할 경우, URL redirection을 통하여 클라우드로 이를 전달한다. 에지는 IoT 디바이스로부터 받은 정보를 토대로 하여, 각 축종에 맞는 최적의 환경 조건, 사육 조건을 계산하여 IoT 디바이스에 농장의 제어 정보를 전달한다. 또한 장애 회복을 위하여 Heartbeat에 기반을 둔 IoT 디바이스의 상태정보를 저장하고, 장애가 발생하였을 경우 이웃 노드에게 해당 농장의 상태를 공유함으로써 장애 회복 메커니즘을 지원한다.

IoT 디바이스와 에지는 농장의 지역통신망을 통하여 필요한 정보를 주고받는다. 에지와 IoT 디바이스는 사전에 통일된 메시지 형식을 공유하고, 지역통신망을 통하여 메시지를 주고받는다. 에지는 메시지 리스너를 통하여, 메시지를 수신하였을 경우, 적절한 콜백 함수를 호출하여 데이터를 처리하고, 제어 정보를 IoT 디바이스에 전달한다.

IV. 실험 및 성능 평가

4.1. 실험환경

실험을 위하여 그림 4와 같이 클라우드 기반 시스템과 에지-클라우드 협업 시스템을 구현하였다. IoT 디바이스, 에지 디바이스는 제한적인 자원을 가진 Raspberry Pi 3, 클라우드 머신은 Google Cloud Platform(GCP)을 사용하였고, 에지와 클라우드에 node.js, mariaDB 기반의 웹 서버와 데이터베이스를 구현하였다. 사용자는 PC 또는 스마트폰 등의 디바이스에서 웹 브라우저를 이용하여 HTTP get/post 기반 요청을 서버에 보내어 필요한 서비스를 제공받는다. 각각의 IoT 디바이스에는 6개의 DHT22 센서가 연결되어 있다. 1개의 DHT22 센서에서 온도, 습도 2가지의 정보가 발생하므로, IoT 디바이스 1개당 12개의 센서 정보가 수집된다. 2개의 IoT 디바이스, 그리고 에지 디바이스가 CAN(Controller Area

Network) 지역통신망으로 연결되어 있고, 에지 디바이스는 외부 인터넷망을 통하여 클라우드 서버와 정보를 주고받는다.

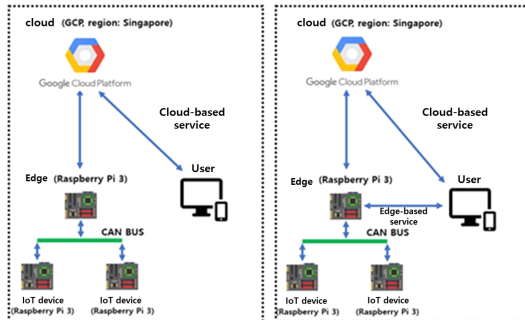


Fig. 4 System configuration for experiment

4.2. 응답 시간 비교

실시간성 서비스를 위하여 2개의 IoT 디바이스는 각각 12개의 온도, 습도 센서에서 매 10초마다 환경 정보를 수집하여 에지 디바이스에 CAN 메시지로 전송한다. 클라우드 기반 시스템의 경우, IoT 디바이스로부터 정보가 업데이트 될 때마다 항상 클라우드로 전송되어, 서비스에 필요한 데이터를 처리하고 데이터베이스에 저장한다. 사용자는 HTTP 요청을 통하여 사용자의 웹 서비스에 접근하여, 실시간 서비스를 제공받는다. 반면 에지-클라우드 협업 서비스의 경우에는 동일한 서비스를 에지에서 직접 제공한다.

사용자 디바이스의 브라우저에서 일정한 시간 간격으로 요청을 socket.io를 통하여 보내면, 그것에 대한 응답을 서버가 사용자에게 다시 전송한다. 사용자측에서는 응답을 수신하여, 요청에서 응답까지의 시간을 계산한다. 그림 5는 클라우드 기반 시스템과 에지 기반 시스템의 응답시간을 보여준다. 응답시간은 총 100회에 걸쳐서 측정했다. 클라우드 기반 시스템은 단말과 거리가 먼 곳에 위치하여 높은 전송시간이 발생한다. 이에 따라, 클라우드 시스템의 평균 응답시간은 87.71ms를 보여준다. 제안하는 시스템은 단말의 요청을 단말과 가까운 에지에서 처리한다. 그러므로 요청 및 결과에 대한 전송시간이 짧아 평균 응답시간은 18.33ms를 보여준다. 결과적으로, 제안하는 시스템이 기존 시스템보다 평균 응답시간이 78.9% 짧아 사용자의 체감 품질을 향상시킬 수 있다.

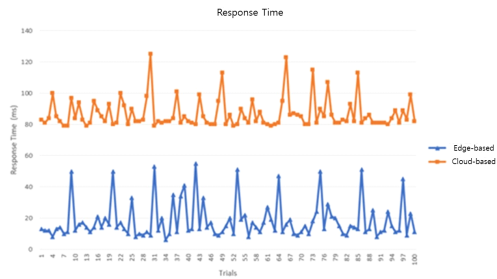


Fig. 5 Response time of Cloud-based and Edge-based services

4.3. 장애 회복 메커니즘 동작 실험

국내 측사에서는 전기 공급의 불안정, 해충·누수 등으로 인한 전기 합선 등으로 제어기의 전원이 차단되는 일이 많이 발생한다. 본 절에서는 이러한 상황을 가정하여, IoT 디바이스의 전원을 임의로 차단하였을 때에, 이웃 IoT 디바이스가 장애 회복 메커니즘에 따라서 비상 조치를 하는지 살펴보았다. 에지 디바이스에 연결된 2개의 IoT 디바이스를 각각 5회씩 임의로 전원을 차단한 결과, 모든 시행에서 이웃 디바이스가 Probe-sending, 에지 Double-checking 후 비상 동작을 정상적으로 가동하는 것을 확인할 수 있었다. 기존 스마트 측사의 경우 정전이 발생하면 비상 전력 공급 디바이스가 설치되어 정전에 대한 대비를 하고 있다. 하지만 고가의 비용 때문에 아직도 많은 농가에서는 사용하지 않고 있다. 제안하는 장애 회복 메커니즘을 통하여, IoT 디바이스간의 협업으로 IoT 디바이스에 장애가 발생하였을 경우 이웃한 디바이스가 전기적으로 연결되어 있는 비상 제어를 수행할 수 있을 것이다.

V. 결 론

본 연구에서는 클라우드 기반 스마트 측사에서 발생할 수 있는 문제점들에 착안하여, 에지 컴퓨팅 기반 IoT 협업 시스템을 제안하였다. 제한적인 에지의 자원을 활용하여 클라우드의 컴퓨팅 연산과 저장 공간을 분담하였고, 장애 회복 메커니즘을 통하여 디바이스 간 협업에 의한 장애 대비 회복력을 높일 수 있도록 하였다.

제안하는 시스템을 평가하기 위해서 Raspberry Pi와 구글 클라우드 플랫폼을 사용하여 스마트 측사 시스템

의 시제품을 구현하였다. 클라우드 기반 시스템, 에지-클라우드 협업 시스템을 각각 구현하여 응답시간을 측정하였다. 그 결과 에지-클라우드 협업 시스템의 경우 응답 시간이 78.9% 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 제안된 장애 회복 메커니즘을 통해 IoT 디바이스의 전원이 임의로 차단되었을 때에, 매번 장애 회복이 정상적으로 동작하는 것을 확인할 수 있었다.

향후 연구 과제로 본 논문에서 제안한 시스템을 다양한 네트워크 환경에서 실험하고, 실제 농장의 구동기에 적용하여 성능을 검증하고자 한다. 또한, 복잡한 연산이 요구되는 응용 서비스를 위하여, 에지의 컴퓨팅 능력을 높일 수 있는 방안에 대한 연구가 요구된다.

ACKNOWLEDGEMENT

The work reported in this paper was conducted during the sabbatical year of Kwangwoon University in 2021.

REFERENCES

- [1] Z. Chen, G. Xu, V. Mahalingam, L. Ge, J. Nguyen, W. Yu, and C. Lu, "A Cloud Computing based Network Monitoring and Threat Detection System for Critical Infrastructures," *Big Data Research*, vol. 3, pp. 10-23, Apr. 2016.
- [2] W. Shi, J. Cao, Q. Zhang, Y. Li, and L. Xu, "Edge Computing: Vision and Challenges," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 3, no. 5, pp. 637-646, Oct. 2016.
- [3] A. Greenberg, J. Hamilton, D. A. Maltz, and P. Patel, "The Cost of a Cloud: Research Problems in Data Center Networks," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 39, no. 1, pp. 68-73, Dec. 2008.
- [4] E. Cuervo, A. Balasubramanian, D. Cho, A. Wolman, S. Saroiu, R. Chandra, and P. Bahl, "MAUI: Making Smartphones Last Longer with Code Offload," in *International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services*, pp. 49-62, Jun. 2010.
- [5] M. Babar, M. S. Khan, F. Ali, M. Imran, and M. Shoaib, "Cloudlet Computing: Recent Advances, Taxonomy, and Challenges," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 29609-29622, 2021.
- [6] R. Mahmud, R. Kotagiri, and R. Buyya, "Fog Computing: A Taxonomy, Survey and Future Directions," *Internet of*

Everything. Springer, pp. 103-130, Oct. 2018.

- [7] J. Ren, G. Yu, Y. He, and G. Y. Li, "Collaborative Cloud and Edge Computing for Latency Minimization," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 68, no. 5, pp. 5031-5044, May. 2019.
- [8] G. Premsankar, M. Di Francesco, and T. Taleb, "Edge Computing for the Internet of Things: A Case Study," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 5, no. 2, pp. 1275-1284, Apr. 2018.



안치현(Chi-Hyun Ahn)

2010.2: 충북대학교 물리학과 학사
2020.8: 광운대학교 전자통신공학과 석사
2016.12 - 현재: ㈜삼우 기술연구소 팀장
※ 관심분야: IoT, 에지 컴퓨팅, 스마트 측사



이형탁(Hyungtak Lee)

2017.3 - 현재: 광운대학교 컴퓨터정보공학부
학부과정
※ 관심분야: IoT, 기계학습



정광수(Kwangsue Chung)

1981.2: 한양대학교 전자공학과 학사
1983.2: KAIST 전기 및 전자공학과 석사
1991.2: 미국 University of Florida 전기공학과 박사
1983.3 - 1993.2: 한국전자통신연구원 선임연구원
1993.3 - 현재: 광운대학교 전자통신공학과 교수
※ 관심분야: IoT, 인터넷 QoS/QoE, 지능형 미디어 처리