

## Distributed Control Framework based on Mobile Agent Middleware

Yon-Sik Lee\*

\*Professor, School of Computer Information and Communication Engineering, Kunsan National University, Kunsan, Korea

### [Abstract]

The control system for the efficiency of resource utilization in sensor network environment based on object detection and environmental sensor requires active control function which based on sensor data acquisition and transmission functions and server's data analysis. Using active rule-based mobile agent middleware, this paper proposes a new distributed control framework that reduces the load of central sensor data server in sensor network environment by implementing remote data sensing and Zigbee-based communication with server and data analysis method of server. In addition, we implemented a power-saving system prototype using active rule-based distributed control methods that applied consumer's demand and environmental variables, and verified the validity of the proposed system through experiments and evaluations in the mobile agent middleware environment. The proposed system is a system framework that can efficiently autonomously control distributed objects in the sensor network environment, and it can be applied effectively to the development of demand response service based on optimal power control for the smart power system in the future.

▶ **Key words:** Mobile Agent Middleware, Agent Migration, Active Rule, Distributed Control System, Sensor Network

### [요 약]

객체 감지 및 환경 센서 기반의 센서네트워크 환경에서 자원 활용 효율화를 위한 제어 시스템은 센서데이터 획득 및 송수신 기능과 서버에서의 분석을 기반으로 하는 능동적 제어 기능을 필요로 한다. 본 논문은 능동규칙 기반 이동에이전트 미들웨어를 이용하여 원격 데이터 센싱과 서버와의 Zigbee 기반 통신 및 서버의 데이터 분석 방법을 구현함으로써, 센서네트워크 환경에서 중앙 센서데이터 서버의 부하를 감소시키는 새로운 분산제어 프레임워크를 제안한다. 또한, 수요자의 요구 및 환경 변수들을 적용한 능동규칙 기반의 분산제어 방법을 이용한 절전 시스템 프로토타입을 구현하고, 이동에이전트 미들웨어 환경에서 실험과 평가를 통하여 유효성을 검증하였다. 제안 시스템은 센서네트워크 환경에서 분산된 객체들을 효율적으로 자율제어할 수 있는 시스템 프레임워크이며, 향후 스마트 전력 시스템을 위한 최적 전력제어 기반의 수요 반응 서비스 개발에 효과적 적용이 가능하다.

▶ **주제어:** 이동에이전트 미들웨어, 에이전트 이주, 능동규칙, 분산제어 시스템, 센서네트워크

- 
- First Author: Yon-Sik Lee, Corresponding Author: Yon-Sik Lee
  - \*Yon-Sik Lee (yslee@kunsan.ac.kr), School of Computer Information and Communication Engineering, Kunsan National University
  - Received: 2020. 10. 12, Revised: 2020. 12. 01, Accepted: 2020. 12. 01.
  - This paper was published at the Summer Conference of the Korean Society of Computer Information in 2020 and expanded the "Distributed Control Framework for Demand-Response Service based on Mobile Agent".

## I. Introduction

객체 감지 및 환경 감응 센서들과 환경 요소 제어 시스템을 이용한 인체공학적인 가전기기들은 센서네트워크 환경에서 절전 등 자원 사용의 효율화를 위한 제어 시스템을 필요로 한다. 이러한 제어 시스템은 우선적으로 기기에 부착된 센서데이터 및 주변 환경 데이터를 획득하고 통신을 통해 서버로 전송하는 기능과 서버에서 이들을 이용한 비교 분석 및 설정된 제어 기능을 필요로 한다[1,2].

본 논문에서는 프로그램 자체가 네트워크상을 순회하며 수행되는 프로그램인 이동에이전트를 이용하여, 센서네트워크상의 환경 데이터의 원격 센싱과 Zigbee 통신을 통한 서버로의 전송 및 서버에서 센싱 데이터들을 응용에 적합하도록 비교 분석하여 설정된 능동규칙 적용 방법을 구현하고, 제어용 능동규칙을 이동에이전트를 통하여 해당 노드로 이주시켜 기기를 제어하는 센서네트워크 기반의 분산형 제어 시스템을 제안한다.

본 논문에서 제안하는 분산형 절전제어 프레임워크는 능동규칙 시스템[3], 이동에이전트 시스템 및 센서네트워크 미들웨어 관련 기술 기반으로 구축한다. 이는 임계값 등을 적용한 선별적 데이터 수집 기능, 단말 노드 및 서버에서의 연산 기능, ECA 규칙 처리 기능, 명령 및 데이터 송수신을 위한 통신 기능 등을 지원한다. 제안 시스템의 활용성과 효율성 증진을 위하여, 센서네트워크 기반의 분산형 제어 프레임워크의 기능과 역할을 기반으로 수요자의 요구 및 환경에 따른 다양한 변수들을 적용한 능동규칙 기반의 제어 시스템 프로토타입을 구현 적용하여 평가함으로써, 제안 시스템을 통한 센서데이터의 획득, 저장, 응용 및 관리의 효율성과 수요자의 의도에 적합한 서비스의 제공 가능성을 보인다.

논문의 구성은 II 장에서 이동에이전트 미들웨어와 분산 제어 프레임워크 관련 주요 적용기술을 설명하고, III 장에서 분산형 전력 절감 시스템을 위한 능동규칙과 이들을 탑재한 이동에이전트의 이주 및 규칙 실행 과정을 제안한다. IV 장에서는 이동에이전트 이주 및 규칙 실행 관련 실험 및 결과를 보이고, 결론을 맺는다.

## II. Main Technologies

### 1. Mobile agent middleware platform

Java RMI를 기반으로 동작하는 이동에이전트는 통신 모듈, 객체 정보 모듈, 이주를 위한 라우팅 모듈, 명령제어

모듈로 구성되며, 객체 저장소의 스템(stub)를 동적으로 로딩하고 원격 메소드를 호출하여 서버의 저장소를 검색하여 분산된 객체를 선택적으로 사용함으로써 네트워크 오버헤드를 줄인다[4,5]. 이동에이전트는 기능적 특성을 중심으로 다음과 같이 네 가지 구조로 구분한다.

- a) RPC를 이용하여 이주대상 노드의 프로시저를 호출 수행하여 결과를 반환하는 구조
- b) 이주대상 노드의 프로시저를 다운로드 받아 처리 후 결과를 반환하는 구조
- c) 이주대상 노드의 별도의 에이전트를 검색하여 이주 전 노드로 가져와서 수행 후 결과를 반환하는 구조
- d) 이주대상 노드로 이주하여 수행하고 결과를 가지고 이주 전 노드로 반환되는 구조 등의 구조

본 논문에서는 상기 구조 d)의 기능에 다른 노드로의 연속적 이주 기능을 추가한 변형된 이동에이전트 구조를 사용하며, 이는 이주를 위한 정보(에이전트 고유 정보, 싱크 노드 ID, 출발 및 목적 노드, 이주리스트)들과 능동규칙 파라미터 및 임계값을 보유한다. 본 논문에서 제안하여 사용하는 이동에이전트의 구조는 다음 Fig. 1과 같다.

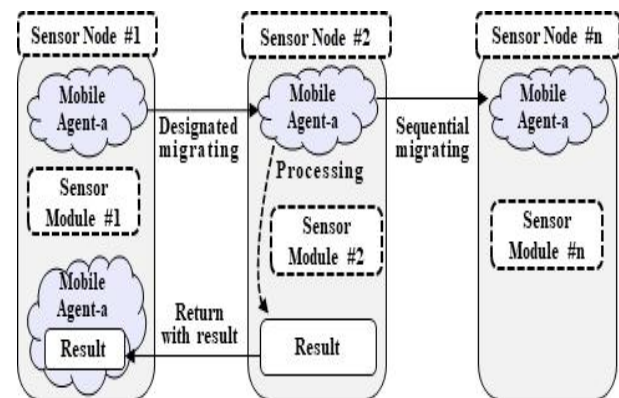


Fig. 1. Proposed structure of mobile agent

이동에이전트는 이주리스트를 이용하여 대상 노드들을 순차적으로 방문하면서 센서데이터 획득 및 필요 시 연동된 능동규칙을 수행한다. 이러한 이동에이전트 기반 센서네트워크 미들웨어는 데이터 수집 기능, 능동규칙 탑재 이동에이전트를 이용한 새로운 데이터 주도 통신 기능, 사건 발생 시각 기반의 능동적 데이터 처리 기능을 지원한다 [6,7]. 본 논문에서 적용하는 센서네트워크 환경 기반의 이동에이전트 미들웨어 플랫폼은 Fig. 2와 같다.

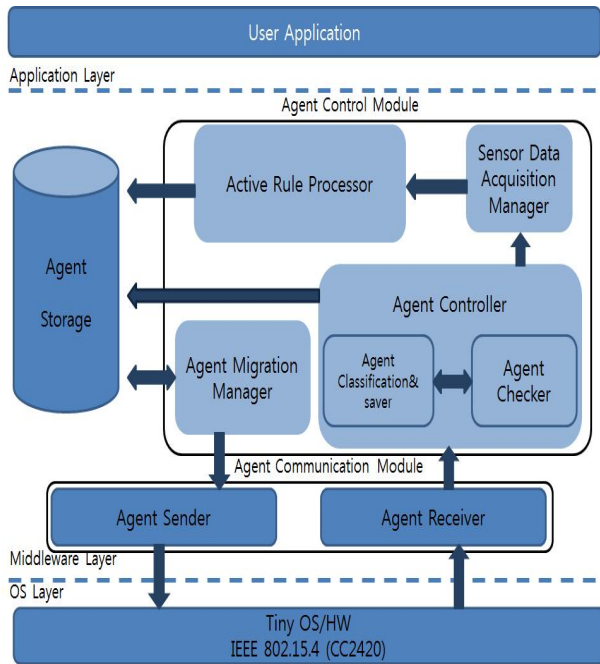


Fig. 2. Mobile agent middleware platform

Agent Communication Module은 이동에이전트의 송수신을 위한 Agent Sender와 Agent Receiver로 구성된다. Agent Control Module의 Agent Checker는 에이전트 ID를 통한 이주의 정확성을 검증하는 기능을 수행하며, Agent Classification & Saver는 에이전트를 분류하고 획득 데이터 및 이주리스트를 관리하며, 필요 시 에이전트를 저장하는 기능을 수행한다. Agent Migration Manager는 이주리스트를 통한 이동에이전트의 이주를 관리하며, 방문 대상 노드를 선택하여 저장한다. Sensor Data Acquisition Manager는 센서데이터 수집 및 관리에 관한 요구 기능을 수행하며, Active Rule Processor는 이동에이전트에 탑재된 능동규칙이나 규칙베이스에서 제공하는 규칙을 실행하고, 해당 에이전트를 저장하는 기능을 수행한다[9].

## 2. Distributed control framework

센서 및 제어 모듈들을 포함하는 센서네트워크 시스템은 물리적으로 분산된 모듈들을 제어하고자 할 경우 중앙 집중제어 방식으로 인한 비효율성을 가진다. 이러한 비효율성을 극복하기 위해서 이동에이전트 기반 센서네트워크 미들웨어 환경에서의 분산형 제어 프레임워크가 요구된다 [6,9]. 본 논문에서 적용한 센서네트워크 시스템은 하나의 중앙 센서데이터 서버와 물리적으로 분산되어 있는 싱크노드들로 구성되고, 각 싱크노드는 다수의 센서 및 제어 모듈들을 관장하도록 한다. 싱크노드는 센서 모듈들로부터 무선으로 획득한 센서데이터와, 센서데이터 서버로부터

이동에이전트를 통해 전달받은 제어규칙을 이용하여 무선 방식으로 제어 대상 장치에 접속되어 있는 제어 모듈을 제어한다. 또한, 싱크노드는 수집된 데이터를 센서데이터 서버에 전달하여 능동규칙들의 생성 및 실행을 유도한다. 이동에이전트는 센서데이터 서버와 싱크노드 및 단말 센서노드들 사이를 이주하면서 센서데이터와 능동규칙을 전달하고 실행을 유도함으로써, 중앙의 센서데이터 서버의 부하를 감소시키는 역할을 수행한다. 본 논문에서 이용하는 이동에이전트 기반 센서네트워크 환경에서의 분산형 제어 프레임워크는 다음 Fig. 3과 같다.

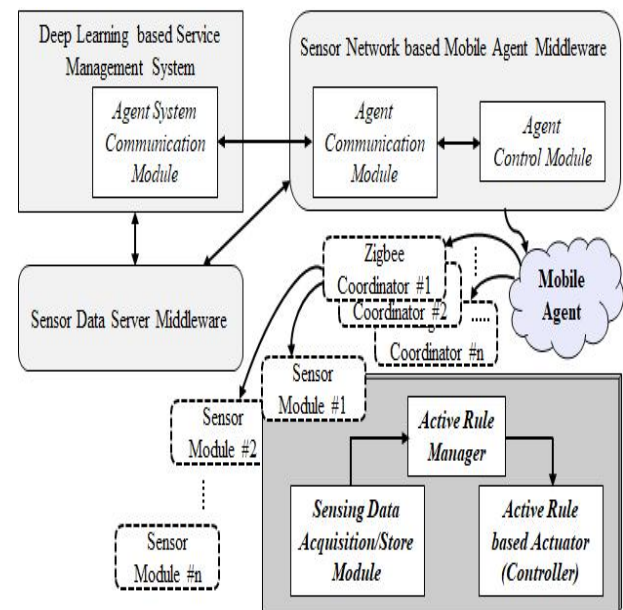


Fig. 3. The distributed control framework in mobile agent based sensor network environment

Agent Communication Module과 Agent Control Module로 구성된 Mobile Agent Middleware는 RMI 통신용 인터페이스 기능을 수행하여 센서데이터 서버로부터 전달받은 객체 참조자를 이용하여 이동에이전트를 이주시킨다. 이동에이전트는 싱크노드로부터 단말 센서노드들로 이주하여 센서데이터 전달 및 능동규칙을 실행한다. 이때 센서데이터 서버와 단말 센서노드 사이의 통신은 RMI 통신으로 실행된다. Active Rule Manager는 이동에이전트로부터 능동규칙을 받아 RuleBase에 저장하고 능동규칙이 삭제될 때까지 규칙의 활성화 및 비활성화, 사건/조건/조치에 대한 의미 관리, 실행 등을 담당하는 역할을 한다. Sensing Data Acquisition/Store Module은 단말 센서노드로부터 데이터를 수집 및 저장하고, 이를 Active Rule Manager에게 전달하여 지정된 능동규칙에 따라 Device Actuator (controller)가 해당 디바이스를 구동

및 제어하도록 한다. 센싱 및 제어 모듈은 Active Rule Processor에 무선방식으로 접속되어 데이터 전달 및 디바이스 제어 기능을 수행한다. 센서데이터 서버의 모니터링 및 제어 시스템은 싱크 및 단말 노드의 상태 모니터링, 규칙의 생성과 실행을 통한 제어 역할을 수행한다.

이와 같은 분산형 제어 프레임워크는 무선방식으로 분산된 디바이스들의 효율적 제어를 위하여, 센서 모듈들을 개별 디바이스에 배치하고 Zigbee 통신을 이용하여 디바이스 개체들을 제어함으로써 효율적인 분산제어 시스템 구축에의 응용이 가능하다.

### III. Power-Saving System Prototype using Distributed Control

#### 1. Active rules for device control

능동규칙의 의미는 '사건'이 발생하면 '조건'을 평가해서 이를 만족할 경우 정해진 '조치'를 실행하는 것이다[8]. 본 논문은 온도/조도 센서의 데이터 획득 시 능동규칙을 통한 임의의 임계값을 적용하여 강제적 조광제어 및 on/off 제어를 통한 절전 유도 시스템 개발을 위한 연구로써, 다음과 같은 절전제어용 능동규칙을 적용한다.

```
RULE Temp_Control [p_data, n_data, Threshold]
WHEN Receive n_data
IF ((p_data - n_data) >= Threshold
THEN Send (node_id, n_data) to sink node:
    IF Mig_List(node_id) is in User Defined Mig_Table
        THEN Migrate MA to nodes in Mig_List:
            Turn on loc_light();
ENDRULE Temp_Control
```

능동규칙 '*Temp\_Control*'은 임의의 센서노드와 이전 노드의 조도 데이터 차이를 임계값과 비교하여 조건에 적합하면 현재 노드의 데이터를 싱크노드로 전송하고, 복합 사건으로 사용자 정의 이주리스트를 적용하여 별도의 이동에이전트를 이용하여 디바이스를 제어하는 규칙이다.

```
RULE E_Margin_Control [Lux_data, E_Margin, Mig_List[]]
WHEN Acquiring Lux_data
IF E_Margin <= Lux_data
    THEN Dimming Control of loc_light():
        sendSensorNode(loc.id + 1, loc_light());
ENDRULE E_Margin_Control
```

능동규칙 '*E\_Margin\_Control*'은 조도 데이터를 사용자 감성마진과 비교하여 조건에 적합하면 해당 노드에 부착되어있는 조명장치의 조광 조절 후 이주리스트(Mig\_List[])에 있는 다음 노드의 조명장치를 점등시키는 규칙이다. 이와 같은 능동규칙들은 이동에이전트가 조도 센서에서 수집한 데이터를 싱크노드로 보내고, 센서데이터 서버의 모니터링 및 제어 시스템을 통하여 해당 능동규칙을 수행하거나 별도의 이동에이전트를 연동된 디바이스로 이주시켜 탑재된 규칙을 수행하는 방식으로 분산제어 기능을 지원한다[3,9]. 센서데이터 서버 내의 능동규칙 시스템은 RMI 통신으로 이동에이전트 미들웨어와 연동되며, 규칙 처리를 위한 하부 시스템 모듈들로 구성된다. 이는 이동에이전트로부터 수집된 센서데이터, 시공간 및 상황정보에 의하여 트리거되어 자율적으로 주어진 제어 기능을 실행한다.

이와 같은 능동규칙 기반의 분산형 자율제어 기능은 향후 환경이나 수요자의 행동 변화 및 이상 패턴 탐지[14] 등에 따른 최적 전력제어 방법을 제공하는 스마트 전력 시스템 기반의 수요반응 서비스 개발에 효과적 적용이 가능하다.

#### 2. Migration and rule execution of mobile agent

이동에이전트는 이주리스트와 경로 조정을 이용하여 Agent Migration Manager와 Agent Sender를 통하여 대상 노드로 이주한다. 이주는 라디오 통신과 TinyOS의 message\_t 액티브 메시지를 이용한다. message\_t의 사용자 데이터 영역의 매크로 상수 재 정의를 통한 확장영역을 사용하여 이동에이전트 구조체를 message\_t 액티브 메시지에 저장하여 이주하는 방식으로, 다음 Fig. 4와 같은 방식으로 이주하며[9,10], 탑재된 능동규칙을 기반으로 제어 기능을 수행한다.

대기모드에서 능동규칙을 탑재한 에이전트가 이주하면 에이전트 ID(MA\_Info)와 목적 노드(Dest\_Node)를 메서드들을 이용하여 확인하고, MobileAgent\_t 메시지를 저장한다. 이후 현재 노드를 시작 노드로 설정하고 이주리스트(Mig\_list[])와 경로조정 방법[9,11,13]을 통하여 결정한 목적 노드를 MobileAgent\_t 메시지의 목적 노드 항목에 저장한다. 데이터 감지 메서드를 이용하여 센서데이터를 획득하면 획득 완료 이벤트가 발생되어 에이전트의 Sensor\_Data[]에 저장되고, 이를 헤더파일에 보관된 임계값과 비교하여 현재 데이터를 싱크로 전송 및 에이전트 이주요청을 하거나 이벤트를 발생시켜 센서노드와 연동된 장치를 능동규칙의 조치를 통하여 제어한다.

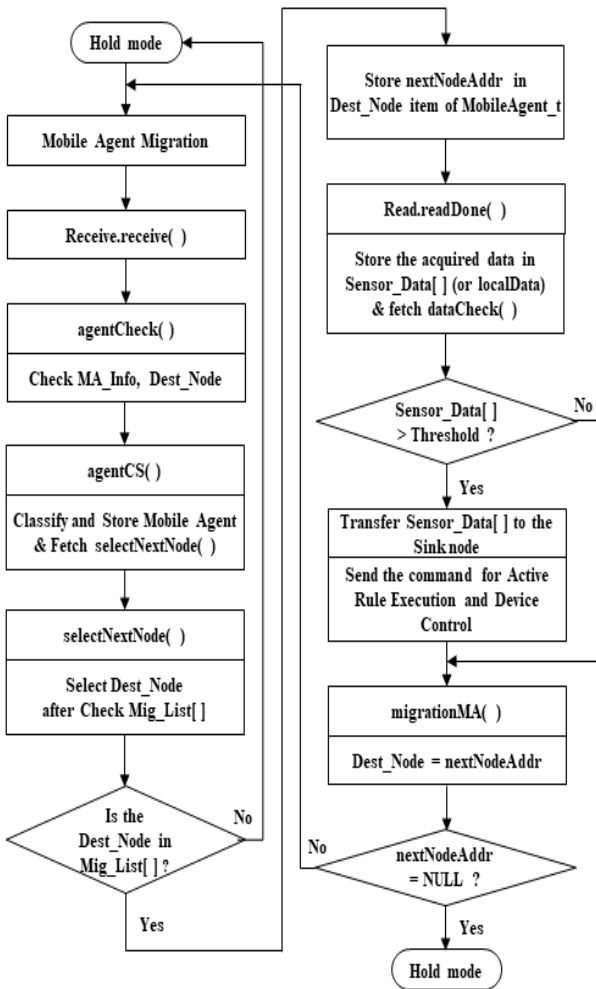


Fig. 4. The process of agent migration

또한 이와 같은 능동규칙 시스템의 적용은 임계값을 이용한 다양한 조건과 조치를 가능하도록 하는 응용 확장성 [12]을 통하여, 실시간 데이터 획득에 따른 다양한 능동규칙 기반의 이동에이전트 미들웨어 시스템의 유용성을 지원한다.

### IV. Experiments

#### 1. Environment of the experiments

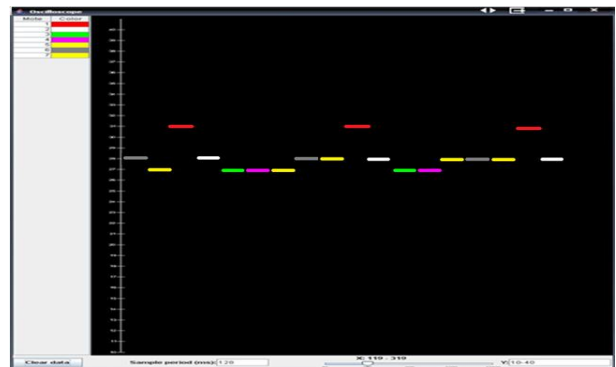
Agent Migration Manager와 Agent Sender를 통하여 대상 노드로 이주한 이동에이전트로부터 수집된 센서 데이터는 능동규칙 시스템의 ‘사건’으로 분석되어, 규칙 관리자에 의해 주어진 ‘조건’과 ‘조치’에 따른 제어를 능동적으로 처리하여 수행결과를 서버에 보내게 된다.

이동에이전트 이주실험은 통신 주파수 대역 2405MHz의 센서네트워크 미들웨어 환경에서 센서 모듈

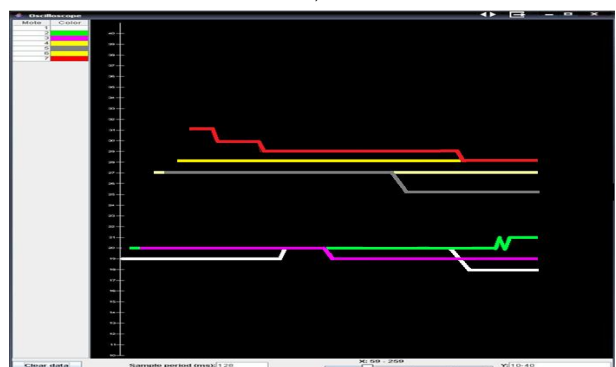
Hmote2420(MCU: MSP430F1611)와 X-Hyper 320WN 센서게이트웨이를 사용하였고, TinyOS-2.x 환경에서 Cygwin 툴을 사용하였다. 이주경로 조정을 위한 실험은 OMG의 MAF 명세와 OrbixWeb 3.2 환경에서 JBuilder와 JDK를 사용하였으며, 노드 간의 거리는 실내 7m ~ 12m로 설정하고 8개의 노드(싱크 포함)로 구성하였다.

#### 2. Experiments and their results

Fig. 5-a는 이동에이전트가 이주리스트(Mig\_list[])의 순서에 따라 1~7번 센서노드를 순차적으로 반복 순회하면서 수집한 데이터를 보여주는 실험 결과이다. 이 실험은 강제 종료 시 이동에이전트가 이주 및 데이터 수집을 종료하고 싱크노드로 복귀하거나 이주리스트에 있는 이주대상 노드들을 순차적으로 1회 순회 후 싱크노드로 복귀하도록 하는 선택적 적용이 가능하다.



a)



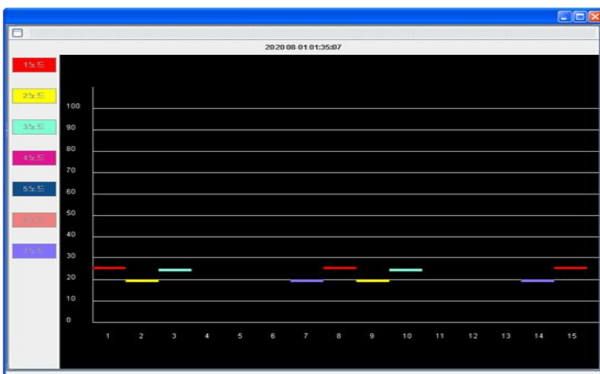
b)

Fig. 5. Experimental results of mobile agent migration

Fig. 5-b는 Fig. 5-a와 동일한 이주리스트를 적용하고, 방문 노드의 타이머를 작동(128ms)하여 해당 노드 데이터를 싱크노드로 연속적으로 전송 후(임의 시점 강제 종료) 싱크노드로 복귀하는 실험 결과이다.



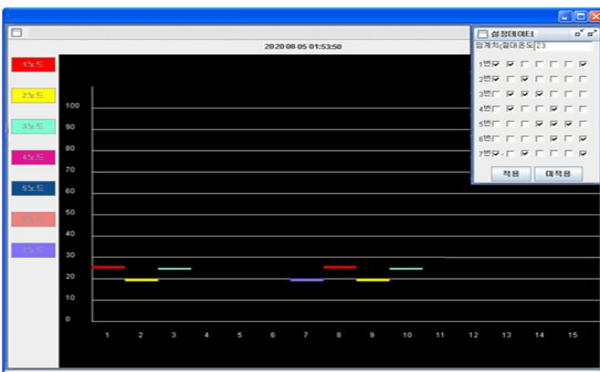
a)



b)



c)



d)

Fig. 6. Experimental results of active rule execution using mobile agent

Fig. 6-a는 이주리스트의 순서에 따라 이동에이전트가 이주하면서 이전 노드에서 획득한 데이터(p\_data), 현재 노드에서 획득한 데이터(n\_data)와 임계값을 사용한 능동 규칙 ( $IF < |p\_data - n\_data| >= Threshold > THEN < Send (node\_id, n\_data) to sink node >$ ;)을 적용한 결과를 나타낸다(붉은 표시 노드는 현재 이동에이전트의 위치를 표시). Fig. 6-b는 이동에이전트가 이주하면서 위와 같은 능동규칙을 처리한 결과를 보여주는 것으로, 1~3번 노드에서는 노드 간의 온도 차이가 임계값인 3<sup>0</sup>C 이상으로 측정되어 싱크노드로 획득 데이터를 전달하였고, 3~6번 노드에서는 임계값 보다 작으므로 전달하지 않았으며, 6번과 7번 노드 간의 차이는 임계값 이상이어서 다시 획득 데이터를 싱크노드에 전송하는 결과이다.

Fig. 6-c는 위의 능동규칙 실행 후, 서버에서 보관하고 있는 별도의 사용자 정의 이주테이블(Table 1)의 각 노드 별 해당 이주리스트에 있는 노드들로 새로운 이동에이전트를 보내서 디바이스를 제어하는 능동규칙을 적용한 실험 결과를 나타낸다.

Table 1. User defined migration table

Migration Table	
Sensor node #	Migration list
1	7 → 1 → 2
2	1 → 3
3	2 → 3 → 4
4	5 → 2
5	4 → 5 → 6
6	5 → 7
7	1 → 3 → 7

즉, Fig. 6-a와 b에 사용한 능동규칙을 적용하고, 현재 이동에이전트의 방문 노드인 노드 # 3에서의 감지 데이터 (25<sup>0</sup>C)와 이전 노드인 # 2의 감지 데이터(20<sup>0</sup>C)의 차이가 주어진 임계값(3<sup>0</sup>C) 이상이므로, 데이터를 싱크노드로 보내고, 사용자 정의 이주테이블(Fig. 5-d의 상단에 표시)의 노드 # 3의 이주리스트를 사용하여 노드 # 2, # 3, # 4로 새로운 이동에이전트를 이주시켜 디바이스를 제어하는 능동규칙을 추가적으로 실행한 결과이다.

### V. Conclusion

최근 객체 감지 및 환경 감응 센서 기반의 센서네트워크 환경에서의 자원 효율성 관련 연구들이 활발히 진행되고 있다. 이러한 제어 시스템은 센서데이터 획득 및 송수신 기능과 서버에서의 분석을 통한 능동적 제어 기능을 필요로 한다.

본 논문에서는 센서네트워크 상에서 이동에이전트 미들웨어를 이용하여 데이터의 원격 센싱, 서버와의 Zigbee 기반 통신 및 서버에서의 획득 데이터 분석 기반 규칙 적용 방법 등을 구현 적용함으로써, 이동에이전트를 이용한 센서네트워크 기반의 새로운 분산형 제어 시스템을 제안하였다. 센서네트워크 환경에서 기본적으로 요구되는 데이터 수집 기능, 데이터 주도 통신 기능 및 사건 기반 데이터 처리 기능 등을 지원하기 위하여 능동규칙을 탑재한 이동에이전트 기반의 센서네트워크 미들웨어를 구현하였고, 이를 기반으로 이동에이전트의 기능과 역할을 이용하여 센서네트워크 미들웨어 환경에서 중앙 센서데이터 서버의 부하를 감소시키는 분산형 제어 프레임워크를 제안하였다. 센서네트워크 기반의 분산형 제어 프레임워크의 기능과 역할을 기반으로 수요자의 요구 및 환경에 따른 다양한 변수들을 적용한 능동규칙 기반의 제어 시스템 프로토타입을 구현 적용하여 평가함으로써, 제안 시스템을 통한 센서데이터의 획득, 저장, 응용 및 관리의 효율성과 수요자의 의도에 적합한 서비스 개발에의 활용성을 검증하였다. 향후 실질적 유효성을 위하여 센서노드 종류 및 개수, 센서연동 디바이스 특성, 센서노드 배치 및 제어용 능동규칙 설계 등에 따른 제안시스템의 적용 및 검증이 요구된다.

제안 시스템은 제어용 능동규칙을 탑재한 이동에이전트를 이용하여 분산된 디바이스 개체들을 효율적으로 무선방식의 분산 자율제어가 가능하도록 함으로써, 향후 환경이나 수요자의 행동 변화 및 이상 패턴 탐지[14] 등에 따른 최적의 전력 분산제어 방법을 제공하는 스마트 전력 시스템 기반의 수요반응 서비스 개발 및 효율적 분산형 제어 기술 확보에 적용이 가능하다.

## ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (018R1D1A1B07051045)

## REFERENCES

- [1] X. Zhang, "A Node Localization Algorithm based on Wireless Sensor Network," *International Journal of Performability Engineering*, 14(4), pp. 821-830, 2018. <https://doi.org/10.23940/ijpe.18.04.p24.821830>
- [2] K. Jin, et. al., "Wi-Fi RSSI-Based Indoor Location Detection System with IoT Device," *Journal of KICIS*, 42(12), pp. 2346-2349, 2017. <https://doi.org/10.7840/kics.2017.42.12.2346>
- [3] Y. Lee, M. Jang, "Location Trigger System for the Application of Context-Awareness based Location services," *Journal of the KSCI*, 24(10), pp. 149-157, 2019. <https://doi.org/10.9708/jksci.2019.24.10.149>
- [4] S. Feng, "WSN Deployment and Localization Using a Mobile Agent," *Wireless Personal Communications*, 97(4), pp. 4921-4931, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11277-017-4747-5>
- [5] H. Park, "Design of the Agent Migration Information System for Shortest Migration Order," *The KIPS Transactions : Part A*, 9A(4), pp. 555-562, 2002. <https://doi.org/10.3745/kipsta.2002.9a.4.555>
- [6] K. Lingaraj, et al., "OMMIP: An optimized multiple mobile agents itinerary planning for wireless sensor networks," *Journal of Information and Optimization Sciences*, 38(6), pp. 1067-1076, 2017. <https://doi.org/10.1080/02522667.2017.1374740>
- [7] P. Ardakani, "A Mobile Agent Routing Protocol for Data Aggregation in Wireless Sensor Networks," *International Journal of Wireless Information Networks*, 24(1), pp. 27-41, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10776-016-0327-y>
- [8] S. Sasirekha, et. al., "Cluster-chain mobile agent routing algorithm for efficient data aggregation in wireless sensor network," *Journal of Communications and Networks*, 19(4), pp. 392-401, 2017. <https://doi.org/10.1109/jcn.2017.000063>
- [9] Y. S. Lee, "Lightweight and Migration Optimization Algorithms for Reliability Assurance of Migration of the Mobile Agent," *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, Vol.25, No.5, pp. 91-98, 2020. <https://doi.org/10.9708/jksci.2020.25.05>
- [10] G. Damianos, et al., "Mobile agent itinerary planning for WSN data fusion: considering multiple sinks and heterogeneous networks," *International Journal of Communication Systems*, 30(8), 2017. <https://doi.org/10.1002/dac.3184>
- [11] G. Cabri, et. al., "Strong agent mobility for aglets based on the IBM JikesRVM," *Proceedings of the 2006 ACM symposium on Applied computing*, pp. 90-95, 2006. <https://doi.org/10.1145/1141277.1141298>
- [12] H. Ito, Y. Miyagi, "A Study on Distance-Based Control of Mobile Agents for Formation Avoiding Entire and Partial Reflection," *Proceedings of ICCAS 2019*, pp. 753-758, 2019. <https://doi.org/10.23919/iccas47443.2019.8971714>
- [13] Y. Yang, et. al., "Detecting and resolving deadlocks in mobile agent systems," *Journal of Computer Languages*, 42, pp. 23-30, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jvlc.2017.08.002>
- [14] D. Kim, J. Lim, S. Kim, "Design of Mobile-based Security Agent for Contents Networking in Mixed Reality," *Journal of Convergence for Information Technology*, 9(3), pp.22-29, 2019. <http://dx.doi.org/10.22156/CS4SMB.2019.9.3.022>

## Authors



Yon-Sik Lee received the B.S. and M.S. degrees in Computer Science from Chonnam National University, Korea, in 1982 and 1984, respectively. And, his Ph.D. degree in Computer Application Engineering from

Chonbuk National University, Korea, in 1994. Dr. Lee joined the faculty of the School of Computer Information and Communication Engineering, Kunsan National University, Korea, in 1986. He is interested in sensor network middleware, active rule system, agent system and cloud computing.