

Modeling and Simulation of LEACH Protocol to Analyze DEVS Kernel-models in Sensor Networks

Su Man Nam*, Hwa Soo Kim**

*Researcher, DuDu Information Technologies, Ltd., Seoul, Korea

**Professor, Graduate School of Information Communication and Technology, Ajou University, Suwon, Korea

[Abstract]

Wireless sensor networks collect and analyze sensing data in a variety of environments without human intervention. The sensor network changes its lifetime depending on routing protocols initially installed. In addition, it is difficult to modify the routing path during operating the network because sensors must consume a lot of energy resource. It is important to measure the network performance through simulation before building the sensor network into the real field. This paper proposes a WSN model for a low-energy adaptive clustering hierarchy protocol using DEVS kernel models. The proposed model is implemented with the sub models (i.e. broadcast model and controlled model) of the kernel model. Experimental results indicate that the broadcast model based WSN model showed lower CPU resource usage and higher message delivery than the broadcast model.

▶ **Key words:** Wireless sensor networks, Low-energy adaptive clustering hierarchy protocol, Discrete Event System Specification, Kernel models, Broadcast models, Controlled models

[요 약]

무선 센서 네트워크는 인간의 개입 없이 다양한 환경에서 센싱 데이터를 수집하고 분석한다. 센서 네트워크는 초기에 설치된 라우팅 프로토콜들에 따라 네트워크 수명이 변경된다. 게다가, 네트워크가 운영 중에 라우팅 경로를 변경하기 위해 센서들은 많은 에너지를 소모해야 한다. 센서 네트워크를 실제 필드에 구축하기 전에 시뮬레이션을 통해 성능 측정하는 것은 중요하다. 본 논문은 DEVS 커널 모델들을 사용하여 저전력 적응형 클러스터링 계층 프로토콜을 위한 WSN 모델을 제안한다. 제안 모델은 커널 모델인 브로드캐스트 모델과 컨트롤드 모델로 구현된다. 실험 결과, 컨트롤드 기반의 WSN 모델은 데이터 전송 부분에서는 효율적이지만, 컨트롤드 모델에서 특정 모델을 선택하기 위해 CPU 사용량이 높은 것을 확인했다.

▶ **주제어:** 무선 센서 네트워크, 저전력 적응형 클러스터링 계층 프로토콜, 이산사건 시스템 명세, 커널 모델, 브로드캐스트 모델, 컨트롤드 모델

-
- First Author: Su Man Nam, Corresponding Author: Hwa Soo Kim
 - *Su Man Nam (sumannam@gmail.com), DuDu Information Technologies, Ltd.
 - **Hwa Soo Kim (ajhskim@ajou.ac.kr), Graduate School of Information Communication and Technology, Ajou University
 - Received: 2020. 03. 17, Revised: 2020. 04. 16, Accepted: 2020. 04. 16.

I. Introduction

최근에 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network; 이하 WSN)는 자동화된 원격 정보 수집을 목적으로 다양한 응용(예: 과학적, 의학적, 군사적 등) 개발에서 폭넓게 활용된다[1, 2]. 한 센서 네트워크에서 노드들은 이벤트를 감지(sensing), 계산(computing), 그리고 무선 통신(wireless communication) 기능을 가지고 있다. 베이스 스테이션(base station; 이하 BS)은 센서들로부터 이벤트 보고서(report)를 수집하여 사용자에게 정보를 제공한다. Fig. 1은 센서 노드들과 BS가 포함된 클러스터 기반의 WSN을 보여준다. 센서 네트워크의 센서 필드는 한 클러스터 헤드(Cluster Head; 이하 CH)와 다수의 멤버 노드(Member Node; 이하 MN)들이 포함된 클러스터들로 구성된다. 실제 이벤트가 한 클러스터 내에서 발생할 때, 그 클러스터의 노드들은 이벤트를 감지하고 보고서를 생성하여 BS를 향해 BS에 보고서를 전달한다. 이처럼 센서 네트워크는 인간의 개입 없이 환경 데이터를 수집하고 분석함에도 불구하고 네트워크의 토폴로지와 라우팅 프로토콜에 따라 영향을 크게 받는다.

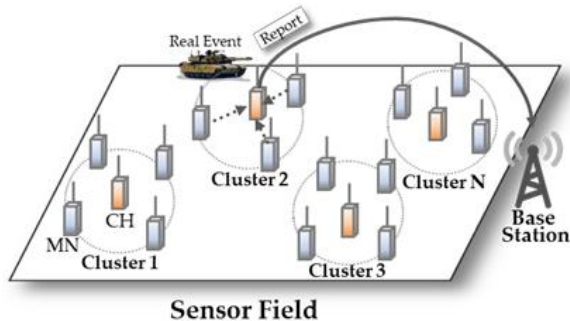


Fig. 1. Cluster-based WSN

센서 네트워크 연구자들은 다양한 클러스터 기반의 라우팅 프로토콜들[3,4,5]을 제안했다. 그 라우팅 프로토콜들은 센서 노드들이 감지한 정보를 BS까지 효율적으로 전달하는 라우팅 경로 설정 기술이다. 그 중에서 저전력 적응형 클러스터링 계층 (Low-energy adaptive clustering hierarchy; 이하 LEACH)[5] 프로토콜은 센서 노드들을 클러스터 단위로 나누고 각 클러스터에서 선출된 CH는 BS와 직접 통신한다. LEACH 프로토콜이 센서 네트워크 운영에 효율적임에도 불구하고, 초기에 설정된 라우팅 프로토콜은 운영 중에 간단한 경로를 변경해도 많은 에너지를 소비해야 한다[3]. 그리하여 모델링과 시뮬레이션은 실제 WSN을 설치하기 전에 성능 분석과 예측을 위해 사용되어야만 한다[6,7,8].

이산사건 시스템 명세(Discrete Event System Specification; 이하 DEVS)는 이산사건 이벤트 추상화를 사용하여 복잡한 시스템을 모델링하는 데 널리 사용하는 형식론이다[9,10,11]. DEVS의 장점은 모델을 엄격한 공식으로 정의하고 모듈화 및 계층 구조를 갖는다. 게다가 DEVS에서는 커널 모델 기반의 엔도모피즘(Endomorphism)을 사용하여 한 모델을 여러 동형 모델로 생성할 수 있다[10, 12]. DEVS 커널 모델의 하위 모델인 브로드캐스트 모델과 컨트롤드 모델은 WSN을 위한 시뮬레이션 모델에 각각 사용되고 있다[13,14,15]. 그리하여 센서 네트워크의 특징 상 네트워크 시뮬레이션을 위해 DEVS의 커널 모델을 사용하는 것이 적합하다[13, 16].

본 연구에서는 LEACH 기반의 WSN을 위해 DEVS 커널 모델을 사용하여 시뮬레이션 모델을 제안한다. 제안하는 시뮬레이션 모델은 커널 모델인 브로드캐스트와 컨트롤드 모델을 기반으로 각각 구현한다. 브로드캐스트 기반 WSN 모델에서는 각 센서 모델들이 라우팅 정보를 자신 정보만 가지고 있어 모든 모델이 메시지를 받게 되면 그 메시지가 자신의 것인지 검사한다. 반면에 컨트롤드 기반 WSN 모델은 센서 모델들 사이의 컨트롤 모델이 모든 라우팅 정보를 가지고 있어 보고서 전달을 중개한다. 제안 모델의 실험은 두 모델의 성능을 측정하기 위해 중앙처리장치(Central Processing Unit; 이하 CPU) 자원 사용과 메시지 전달의 효율성을 분석한다.

본 논문의 구성은 2장에서 계층적 라우팅 프로토콜의 대표적인 LEACH을 간략히 소개하고, 3장에서 이산사건 시뮬레이션인 DEVS를 설명한다. 4장에서는 제안 모델을 소개하고, 5장에서는 각각 브로드캐스트와 컨트롤드 기반의 WSN 모델들의 자원 사용과 메시지 전달 효율성을 분석한다. 마지막으로 6장에서 전반적인 결론을 요약한다.

II. Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy

센서 네트워크에서는 센서 노드들을 필드에 배포하기 전 센서 노드에 경로 설정 등을 위해 사전에 알고리즘들을 설치한다. 필드에 배포된 센서 노드들은 위치 내에서 자신의 전송 범위 내에 이웃 노드들을 확인한다. 이웃 노드들과 통신 상태가 정상이면 구현된 라우팅 프로토콜을 통해 BS까지 경로를 결정한다. 다만, 한 번 설정된 라우팅 프로토콜은 WSN의 운영 특성 상 센서들의 배터리의 충전이나

교체가 거의 불가능하여 실제 환경에 따라 적합한 라우팅 프로토콜 설정이 중요하다[17,18]. 라우팅 프로토콜 기술들은 크게 계층적 라우팅, 평면 라우팅, 위치 기반 라우팅 등으로 나뉜다[19]. 본 장은 계층적 라우팅 프로토콜에서 대표적인 LEACH 라우팅 프로토콜에 대해 설명한다.

LEACH는 WSN에 클러스터 기반으로 적용된 첫 번째 계층적 라우팅 기법이다. 이 라우팅 프로토콜은 센서 필드를 클러스터 단위로 나눈 후 그 클러스터 내에서 대표 노드(CH)를 선출하여 이 대표 노드가 BS에 감지한 결과 데이터를 보내는 프로토콜이다. 각각의 클러스터는 한 개의 CH와 다수의 MN들로 구성되는데, CH는 자신의 클러스터에 포함된 모든 멤버 노드들을 관리하며 멤버 노드로부터 받은 감지 데이터를 융합하여 BS로 전송하는 역할을 한다.

LEACH의 동작은 라운드마다 셋업과 안정 상태 단계로 나누어지는데, 셋업 단계는 전체 네트워크가 클러스터 단위로 나눈 후 대표 노드인 CH의 선택, MN에 선출된 CH 공지, 그리고 MN들의 전송 스케줄을 생성한다. CH의 선택 과정은 클러스터 내의 모든 센서 노드가 0과 1사의 값을 선택하고, 그 숫자가 정의된 한 임계 값보다 작다면 한 센서 노드가 해당 라운드에 CH로 선출된다. 선출된 CH는 클러스터 내의 모든 센서 노드들에게 알림 메시지를 브로드캐스트한다. 그리고 CH는 시분할 다중접속(time division multiple access) 방식으로 자신의 멤버 노드들이 감지 데이터를 언제 보내야 하는지 시간을 정한 다음 멤버 노드들에게 시간 스케줄을 전송한다. 안정 상태 단계는 보고 받은 스케줄에 따라 멤버 노드들이 자신이 속한 CH로 전송이 이루어질 뿐만 아니라 클러스터 헤드의 데이터 병합, 압축, BS로 전송하는 과정이 포함된다.

III. DEVS Formalism

DEVS 형식론[10,11,12,20]은 Zeigler를 통해 개발되었는데 시스템들을 분석하기 위해 계층적이고 모듈화된 모델을 표현하는 이론적이고 잘 정의된 수단이다. DEVS는 모델의 재사용성(model reusability)을 증대시키고 운용 의미론(operational semantics)을 내포하고 있어 실세계 시스템의 실행을 용이하게 묘사할 수 있는 특징을 갖는다. DEVS 형식론에서는 한 시스템을 모델로 구성하기 위해 원자 모델과 결합 모델로 정의한다. 원자 모델은 3개의 집합과 4개의 함수를 갖는다. 그 함수들은 현재 상태와 입력에 따라 다음 상태와 출력을 결정한다. 원자 모델의 형식은 다음과 같다.

$$M = \langle X, S, Y, \delta_{int}, \delta_{ext}, \lambda, t_a \rangle$$

위 수식에서 X 는 이산사건 입력 집합, S 는 일련의 이산사건 상태의 집합, Y 는 이산사건 출력 집합이다. δ_{int} 는 내부 상태 천이 함수, δ_{ext} 는 외부 상태 천이 함수, λ : 외부 상태 천이 함수, t_a 는 시간 진행 함수이다.

결합 모델의 구조는 다음과 같다.

$$CM = \langle X, Y, \{M_i\}, EIC, EOC, IC, select \rangle$$

위 수식에서 X 는 이산사건 입력 집합, Y 는 이산사건 출력 집합, $\{M_i\}$ 모든 이산사건 컴포넌트 모델들의 집합이다. EIC 는 외부 입력 연결 관계, EOC 는 외부 출력 연결 관계, IC 는 내부 연결 관계, $select$ 는 같은 시간에 존재하는 사건을 발생하는 모델들에 대한 선택 함수이다. 이러한 결합 모델은 더 큰 결합된 모델과 합쳐질 수 있거나 더 복잡한 모델을 만들기 위해 몇몇의 원자 모델들과 결합될 수 있다[12].

DEVS에서는 한 결합 모델 안에 한 원자 모델을 여러 개의 동형 모델로 생성하는 커널 모델을 제공한다[12]. DEVS 커널 모델은 브로드캐스트 모델(broadcast model), 컨트롤드 모델(controlled model), 하이퍼큐브 모델(hypercube model), 셀룰러 모델(cellular model)이 있다[12]. 기존 연구들에서는 WSN의 특징 상 브로드캐스트와 컨트롤드 모델을 사용하여 시뮬레이션 모델로 구현을 시도했다[13, 16]. 이때 브로드캐스트 모델은 한 자식 모델이 출력 메시지를 보낼 때 모든 자식 모델들의 입력으로 전달하는 특징이 있다. 컨트롤드 모델은 다른 커널 모델들의 유형과 달리 원자 모델인 컨트롤 모델이 추가되는데, 그 모델은 모델들 사이의 메시지를 중개하는 특징이 있다.

IV. Simulation Model

1. Overview

본 논문은 LEACH 기반의 WSN을 커널 모델을 사용한 DEVS 시뮬레이션 모델을 제안한다. Fig. 2처럼 한 센서 네트워크는 DEVS 모델들로 구현되기 위해 엔도모피즘 이론을 따라 실세계의 한 객체를 한 모델로 표현한다. 즉, 한 실제 센서를 한 원자 모델로 구현한다. 게다가, 실 세계의 WSN 구조를 DEVS 모델의 구조와 동일하게 구성한다. 제안 모델에서는 한 유형의 센서들을 여러 동형 모델을 생성하기 위해 커널 모델인 브로드캐스트와 컨트롤드 모델을 사용하여 서로 다른 모델들을 보여준다.

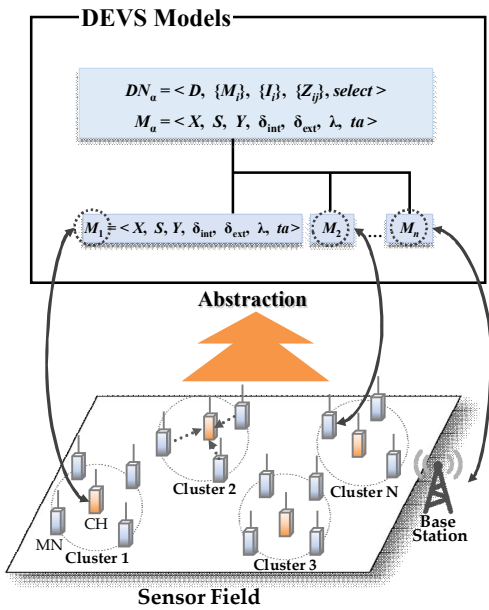


Fig. 2. DEVS model design for a WSN

2. Broadcast based WSN Model

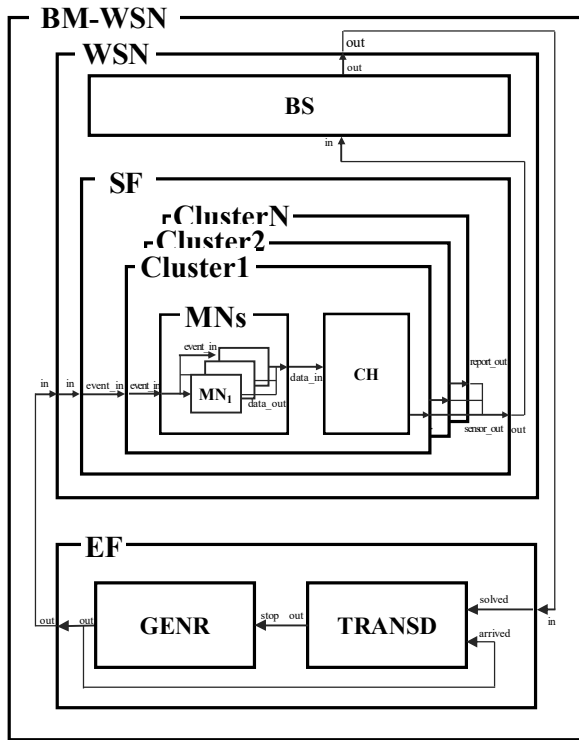


Fig. 3. Broadcast based WSN Model for LEACH

LEACH 프로토콜을 위한 브로드캐스트 기반의 WSN 모델(BM-WSN)은 Fig. 3과 같이 표현된다. BM-WSN은 결합 모델로서 WSN과 EF로 구성된다. WSN 모델은 원자 모델인 BS와 실제계의 센서 필드의 역할인 SF 모델로 구성된다. SF는 LEACH 라우팅 프로토콜의 특징을 표현하기 위해 여러 클러스터들을 포함하고, 그 클러스터 안에 한 개의 CH와

여러 개의 MN로 구성된다. WSN 모델에서 행위를 표현하는 모델은 원자 모델인 MN, CH, BS가 있다. BM-WSN 모델의 또 다른 하위 모델인 EF (experimental frame)는 GENR과 TRANSD 모델로 구성된다. GENR는 센서 네트워크의 이벤트를 랜덤하게 생성하여 WSN 모델에 보낸다. TRANSD는 GENR에서 생성된 이벤트 메시지와 BS로부터 받은 보고서 메시지를 받고 저장한다.

WSN의 SF 모델은 EF의 GENR로부터 이벤트를 받으면 모든 클러스터의 모델들에게 이벤트가 전달된다.

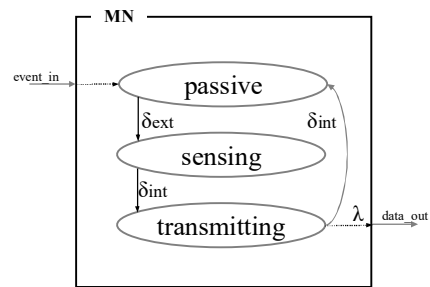


Fig. 4. MN's state transition

Fig. 4는 멤버 노드인 MN의 상태 다이어그램을 보여준다. MN는 GENR 모델로부터 event_in 입력 포트를 통해 이벤트 정보를 받는다. 이때 MN 모델은 자신의 범위 내에서 발생한 이벤트일 경우 상태 passive에서 sensing 상태로 천이된다. 상태 sensing에서 이벤트 데이터를 생성 후 transmitting에서 그 데이터가 data_out 출력 포트를 통해 CH에 보내지게 된다.

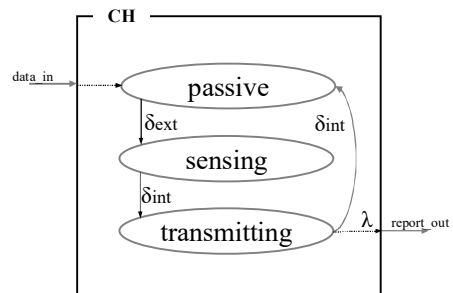


Fig. 5. CH's state transition

Fig. 5는 CH 모델의 상태 다이어그램을 보여준다. CH는 자신의 클러스터 내의 MN들로부터 data_in 입력 포트를 통해 이벤트 데이터를 받으면 sensing에서 이를 감지하고 보고서를 생성한다. 상태 sensing에서 transmitting으로 천이되면 생성된 보고서는 포트 report_out를 통해 BS 모델로 전달된다.

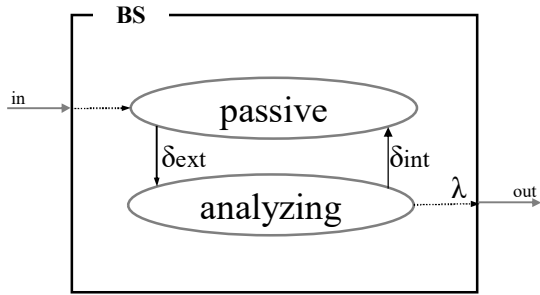


Fig. 6. BS's state transition

Fig. 6은 원자 모델인 BS의 상태 다이어그램을 보여준다. BS 모델은 입력 포트 in를 통해 CH로부터 보고서를 받으면 passive에서 analyzing으로 상태를 변경한다. BS는 그 보고서를 받은 후에 분석하고 출력 포트 out를 통해 보고서 정보를 보낸다.

3. Controlled based WSN Model

Fig. 7은 LEACH 프로토콜을 위한 컨트롤드 기반의 WSN 모델(CM-WSN)을 보여준다. 전체적인 구조는 Fig. 3에서 제시한 모델과 거의 유사하다. 다만 컨트롤드 모델의 특징 상 컨트롤드 모델인 LEACH_CNTR이 추가된다.

Fig. 8은 컨트롤 모델인 LEACH_CNTR을 보여준다. LEACH_CNTR은 event_in 포트를 통해 GENR로부터 이벤트를 받으면 busy 상태에서 그 이벤트 위치 정보를 확인하고 한 클러스터를 선택한다. 컨트롤 모델은 event_out를 통해 그 클러스터에게 이벤트를 보내고, 그 이벤트는 클러스터의 MN들에게 전달된다. MN들은 이벤트 데이터를 생성하고 그 데이터를 CH에 전달한다. CH는 전달받은 이벤트 데이터를 통해 한 보고서를 생성하고 LEACH_CNTR에 보고서를 전달한다. 보고서를 받은 LEACH_CNTR은 busy 상태에서 report_out를 통해 BS에 전달된다. 이처럼 컨트롤 모델은 센서 모델들 사이에 메시지를 받고 전달하는 역할을 수행한다.

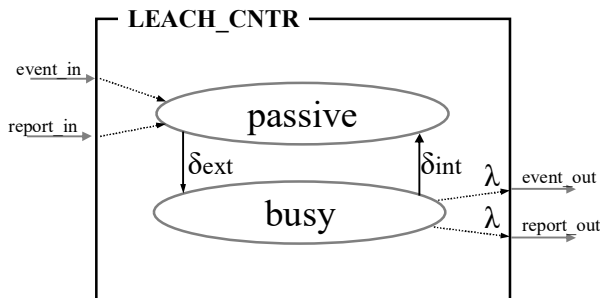


Fig. 8. LEACH_CNTR's state transition

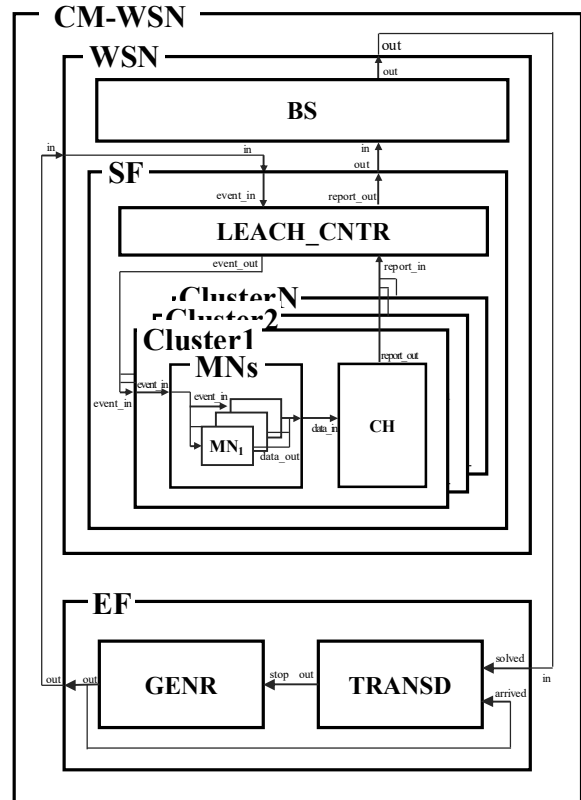


Fig. 7. Controlled based WSN Model for LEACH

그 외 WSN 모델의 BS, CH, MN 모델은 Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6에 제시한 모델과 동일한 동작을 갖는다.

V. Conclusions

우리의 실험은 제안 모델의 두 가지 유형인 브로드캐스트 모델 기반의 WSN 모델과 컨트롤드 모델 기반의 WSN 모델의 성능을 평가하였다. WSN의 센서 필드는 $200 \times 200 \text{ m}^2$ 로써, 그 필드에 100개의 클러스터가 랜덤하게 배치된다. 한 클러스터의 센서들은 한 개의 CH와 5개의 MN로 구성된다. 시뮬레이션 시간은 100으로 설정했고, 2마다 이벤트를 무작위로 발생했다. 두 모델의 성능을 평가하기 위해 데이터 전송과 자원 사용 효율성을 측정한다.

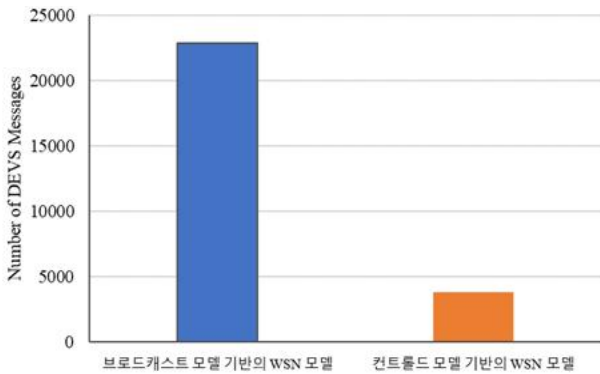


Fig. 9. Comparison of the number of DEVS messages in two models

Fig. 9는 데이터 전송 효율성을 측정하기 위해 DEVS 엔진 내의 메시지(*, x, y, done) 전달 수를 보여준다. 브로드캐스트 기반의 WSN 모델은 22,859개의 메시지가 발생했고, 컨트롤드 모델은 2,710개의 메시지가 발생했다. 이 두 모델을 비교하면 메시지 전달 수가 약 6배 차이를 보인다. 브로드캐스트 모델에서는 DEVS 커널 한 모델이 메시지를 받을 경우 모든 자식 모델들에게 그 메시지를 전달하기 때문에 전달 수가 많다. 반면에 컨트롤드 모델은 컨트롤드 모델에서 메시지의 정보를 확인하고 특정 모델만 선택하여 메시지를 전달하기 때문에 브로드캐스트 기반의 WSN 모델보다 전달 수가 낮다.

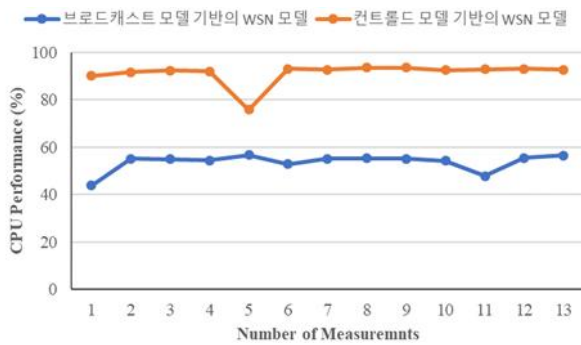


Fig. 10. CPU performance measurement of two models

Fig. 10은 자원 사용 효율성을 측정하기 위해 CPU 자원 사용량을 보여준다. CPU 자원 사용량은 윈도우 운영체제의 성능 모니터[21]를 통해 1분 마다 특정 프로세스를 측정하였다. 브로드캐스트 기반의 WSN 모델은 CPU 사용량이 평균 53.7%이며, 컨트롤드 모델은 평균 91.2%의 성능이 보였다. 전반적으로 브로드캐스트 기반의 WSN 모델이 컨트롤드 모델에 비하여 CPU 사용량(점유률)이 약 42.2% 정도 낮았다.

그러므로 컨트롤드 기반의 WSN 모델은 데이터 전송 부분에서는 효율적이지만, 컨트롤드 모델에서 특정 모델을 선택하기 위해 CPU 사용량이 높게 나왔다.

VI. Conclusions

WSN은 다양한 환경에서 다수의 센서 노드를 통해 데이터를 수집하고 분석한다. 센서 네트워크는 초기에 설치된 라우팅 프로토콜 등에 따라 네트워크 수명에 지대한 영향을 받는데 이에 따라 구축 목적에 맞는 시뮬레이션을 수행하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 라우팅 프로토콜인 LEACH를 위하여 DEVS 커널 모델을 사용한 시뮬레이션 모델을 제안하였다. 제안한 시뮬레이션 모델은 브로드캐스트 모델과 컨트롤드 모델을 기반으로 각각 구현하였다. 두 모델의 성능을 분석하기 위해 데이터 전송과 자원 사용 효율성을 측정하였다. 브로드캐스트 기반의 WSN 모델은 CPU 자원의 사용량은 낮았지만, 메시지 전달 수는 높았다. 반면에 컨트롤드 기반의 WSN 모델은 메시지 전달 수는 낮았지만, CPU 자원 사용량은 높았다. 그러므로 DEVS 커널 모델을 사용하여 WSN 모델을 시뮬레이션할 때 데이터 전송과 자원 사용의 효율성을 고려하여 설계하는 것이 필요하다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the Technology development Program(S2591452) funded by the Ministry of SMEs and Startups(MSS, Korea)

REFERENCES

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "Wireless sensor networks: a survey," *Comput. Networks*, Vol. 38, No. 4, pp. 393-422, 2002.
- [2] I. Khan, F. Belqasmi, R. Glitho, N. Crespi, M. Morrow, and P. Polakos, "Wireless sensor network virtualization: A survey," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, Vol. 18, No. 1, pp. 553-576, Jan. 2016.
- [3] S. M. Nam and T. H. Cho, "A fuzzy rule-based path configuration method for LEAP in sensor networks," *Ad Hoc Networks*, Vol. 31, pp. 63-79, 2015.
- [4] Y. Liu, Q. Wu, T. Zhao, Y. Tie, F. Bai, and M. Jin, "An improved energy-efficient routing protocol for wireless sensor networks," *Sensors*, Vol. 19, No. 20, Oct. 2019.
- [5] W. B. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, Vol. 1, No. 4, pp.

- 660-670, 2002.
- [6] B. H. Kim, Kim, "Sensor Network Simulator for Ubiquitous Application Development", *Journal of KIISE : Computing Practices and Letters*, Vol. 13, No. 6, pp. 358-370, 2007.
- [7] P. Levis, N. Lee, M. Welsh, and D. Culler, "TOSSIM: Accurate and scalable simulation of entire TinyOS applications," *SenSys'03 Proc. First Int. Conf. Embed. Networked Sens. Syst.*, pp. 126-137, 2003.
- [8] B. L. Titzer, D. K. Lee, and J. Palsberg, "Avrora: Scalable sensor network simulation with precise timing," *2005 4th Int. Symp. Inf. Process. Sens. Networks, IPSN 2005*, Vol. 2005, pp. 477-482, 2005.
- [9] Y. Van Tendeloo and H. Vangheluwe, "Introduction to Parallel DEVS Modelling and Simulation," in *Proceedings of the Model-Driven Approaches for Simulation Engineering Symposium*, 2018.
- [10] T. G. Kim and B. P. Zeigler, "DEVS FORMALISM: HIERARCHICAL, MODULAR SYSTEMS SPECIFICATION IN AN OBJECT ORIENTED FRAMEWORK.," in *Winter Simulation Conference Proceedings*, 1987, pp. 559-566.
- [11] B. P. Zeigler, "Hierarchical, Modular Discrete-Event Modeling in an Object-Oriented Environment," *Simulation*, vol. 49, no. 5, pp. 219-230, 1987.
- [12] B. P. Zeigler, *Object-oriented simulation with hierarchical, modular models: intelligent agents and endomorphic systems*. Academic press, 2014.
- [13] S. M. Nam and T. H. Cho, "Context-Aware Architecture for Probabilistic Voting-based Filtering Scheme in Sensor Networks," *IEEE Trans. Mob. Comput.*, Vol. 16, No. 10, pp. 2751-2763, 2017.
- [14] T. Antoine-Santoni et al., "DEVS-WSN: A discrete event approach for Wireless Sensor Network simulation," *AICCSA 08-6th IEEE/ACS Int. Conf. Comput. Syst. Appl.*, pp. 3189-3200, 2009.
- [15] B. Qela, G. Wainer, and H. Mouftah, "Simulation of large wireless sensor networks using cell-DEVS," *Proc.-Winter Simul. Conf.*, pp. 3189-3200, 2009.
- [16] S. M. Nam and T. H. Cho, "Modeling and Simulation of Threshold Analysis for PVFS in Wireless Sensor Networks," *Int. J. Res. - GRANTHAALAYAH(IJRG)*, Vol. 4, No. 8, pp. 1-9, 2016.
- [17] Sung-Won Na, Seung-Kwon Choi, Tae-Woo Lee, Yong-Hwan Cho, "Clustering Algorithm for Efficient Energy Consumption in Wireless Sensor Networks," *Journal of the Korea Society of Computer and Information*, Vol. 19, No. 6, pp. 49-59, 2014.
- [18] Sun-Chol Kim, Seung-Kwon Choi, Yong-Hwan Cho, "Clustering Algorithm for Extending Lifetime of Wireless Sensor Networks," *Journal of the Korea Society of Computer and Information* 20(4), pp. 77-85, 2015.
- [19] K. Akkaya and M. Younis, "A survey on routing protocols for wireless sensor networks," *Ad Hoc Networks*, Vol. 3, No. 3, pp. 325-349, 2005.
- [20] B. P. Zeigler, T. H. Cho, and J. W. Rozenblit, "A knowledge-based simulation environment for hierarchical flexible manufacturing," *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. Part A Systems Humans.*, Vol. 26, No. 1, pp. 81-90, 1996.
- [21] Microsoft Tech Community, "Performance Monitor for Windows," <https://techcommunity.microsoft.com/t5/ask-the-performance-team/windows-performance-monitor-overview/ba-p/375481>

Authors



Su Man Nam received the B.S. degree in Computer Information from Hanseo University, Korea, and M.S. and Ph.D. degree in Electrical and Computer Engineering from Sungkyunkwan University,

Korea, in 2013 and 2017 respectively. Dr. Nam joined a researcher in the Department of Biomedical Informatics, Ajou University, Suwon, Korea, in 2018. He is currently a senior researcher in DuDu IT, Ltd., Seoul, Korea. He is interested in modeling and simulation, WSN, and IoT.



Hwa Soo Kim received the BS, MS, and Ph.D., degrees in Computer Science and Engineering from Korea University, US Naval Postgraduate School and US Case Western Reserve University 1981, 1984 and

1990, respectively. Dr. Kim joined the faculty of the Graduate School of Information, Communication and Technology at Ajou University, Suwon City, Korea, in 2003. He is currently a Professor/Senior Advisor in the Graduate School of Information, Communication and Technology at Ajou University and DuDu IT, Ltd. He is interested in cyber security, project management, and artificial intelligence.