

# 사물인터넷 환경에서의 이벤트 전달지연 최소화 연구

## Minimizing Event Dissemination Delay for the Low Duty-Cycled IoT Environment

임상순<sup>1</sup>

Sangsoon Lim<sup>1</sup>

요약

사물인터넷 환경에서 주변 환경 정보를 수집하기 위해 사용되는 무선 센서 노드들은 에너지 사용을 절약하기 위해 낮은 듀티 사이클 모드로 동작하며 주변 노드들과 통신을 진행한다. 낮은 듀티 사이클은 무선 인터페이스를 꺼놓는 상태를 유지하며 에너지 소모를 최소화 하기 때문에 무선 센서 노드들의 이벤트 감지 및 데이터 전달에 큰 지연을 가져오게 된다. 따라서, 중요한 이벤트를 정확한 시점에 감지하지 못하거나 싱크 노드로 필요한 시점에 전송하지 못하는 문제를 발생시킨다. 본 논문에서는 낮은 듀티 사이클 환경에서 이벤트 감지 및 데이터 전달지연을 최소화 시킬 수 있는 기법을 제안한다. 동일한 영역을 감지하고 있는 노드들의 활성화 상태 주기를 조절하고 인접 영역의 노드들의 활성화 상태를 조절하여 이벤트 감지 지점으로 부터 싱크 노드까지 빠르게 데이터를 전달해주는 것을 보장한다. 즉, 동일 감지 영역 내와 인접 영역에 대해 균등한 개수의 노드들이 활성화 상태에 존재하도록 환경을 구성하여 전달지연 성능을 향상시킨다. 성능 검증을 위해 진행된 시뮬레이션에서는 노드들이 임의로 활성화 슬롯을 지정할 때보다 고르게 활성화 슬롯들이 지정되는 것을 확인하였으며, 이로 인해 전체적인 전달지연이 감소하였다.

핵심어 : 사물인터넷, 이벤트 감지, 전달지연, 듀티 사이클

Abstract

Wireless sensor nodes collecting surrounding environment information in the IoT environment operate in a low duty cycle mode to save energy and communicate with neighboring nodes. The low duty cycle mode keeps the wireless interface turned off and minimizes energy consumption, resulting in a large delay in event detection and data transmission of wireless sensor nodes. Thus, an important event cannot be detected in a specific time period and transmitted to the sink node at a required time. In this paper, we devise a technique that can minimize event detection and data dissemination delay in a low duty cycle environment. By adjusting the activation status of nodes sensing both the same area and the adjacent area, it guarantees fast data transmission from the event detection point to the sink node. The dissemination delay performance is improved by configuring the environment so that an equal number of nodes exist in the active state in the same sensing area. In the simulation conducted for performance verification, it is confirmed that the activation slots are designated more evenly than when the nodes arbitrarily designated the activation slots, and thus the overall transmission delay is reduced.

Keyword : Internet of Things, Event Detection, Transmission Delay, Duty Cycle

<sup>1</sup> Department of Computer Engineering, Sungkyul University, Anyang, Korea [Professor]  
e-mail: lssgood80@gmail.com

Received(November 4, 2021), Review Result(1st: November 22, 2021), Accepted(December 10, 2021), Published(December 31, 2021)



© 2021 The Authors. Published by NCISS.  
This is an open access article licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.  
To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

## 1. 서론

사물인터넷 환경에서 사용자의 편의를 증대시키기 위한 지능형 서비스를 구축하기 위해서는 주변에서 발생하는 다양한 상황들을 주기적으로 모니터링 할 수 있는 장치가 필수적인 요소이다 [1]. 주변 환경을 주기적으로 모니터링 하기 위해서는 소형 무선 센서 노드들이 필요하며 이러한 무선 센서 노드들은 이벤트를 감지하고 관련 데이터를 메모리에 저장하고 처리하는 역할을 수행하며 배터리로 동작하고 무선 근거리 통신을 지원해야 한다. 또한, 임베디드 시스템 기술의 비약적인 발전으로 프로세싱 능력, 센싱 능력 및 민감도 등의 주요 기술들이 점점 고도화되어 가고 있다. 하지만, 소형 무선 센서 노드들이 배치되는 환경은 지속적인 전원 공급이 불가능한 상황으로 에너지 소모를 최소화하는 것이 가장 중요한 요소 중 하나이다 [2].

소형 무선 센서 노드 기반 모니터링 시스템에서 네트워크 지속시간(Network lifetime)을 늘려주기 위해서는 무선 센서 노드들의 듀티 사이클링(Duty Cycling) 기법이 필요하다. 네트워크를 구성하는 모든 노드들이 항상 활성화 상태(Active state)를 유지하며 에너지를 소모하는 것이 아니라 필요에 따라 활성화/비활성화(Inactive state) 상태로 적응적으로 조절하여 네트워크의 에너지 소모량을 최소화하여 네트워크 지속시간을 늘려주게 된다. 송신할 데이터 혹은 수신할 데이터가 존재할 때 필요에 의해 노드를 활성화 상태로 전환하고 동작 수행 후 다시 에너지 소모를 최소화하는 비활성화 상태로 돌아가게 된다.

하지만, 이와 같은 듀티 사이클링 기법은 네트워크 지속시간을 늘려줄 수 있는 장점이 있으나 모니터링 시스템에서 특수 목적의 이벤트를 감지했을 때 이를 빠르게 중앙 관제 시스템까지 전달 해주지 못하는 문제가 발생하게 된다. 특정 노드가 비활성화 상태인 상황에서 해당 노드가 이벤트를 감지해야 하는 영역에서 주요 이벤트가 발생한 경우 해당 노드가 활성화 상태로 전환될 때까지 이벤트 감지 지연이 발생하게 된다. 또한, 각 센서 노드들은 배터리 기반 저전력 근거리 무선 통신 기술을 사용하기 때문에 먼 거리에 설치되어있는 관제 시스템까지 싱글 홉(Single-hop) 통신으로 한번에 전달할 수 있는 구조가 아니므로 라우팅 프로토콜을 통한 멀티 홉(Multi-hop) 통신이 일반적이다. 따라서, 감지된 이벤트가 전달되어야 하는 라우팅 경로상에 존재하는 노드가 비활성화 상태에 존재하는 경우 감지된 이벤트 전달 시간이 길어지는 문제가 발생하게 된다.

본 논문에서는 무선 센서 네트워크 기반 모니터링 시스템에서 빠른 이벤트 감지 및 전달 지원을 위한 듀티 사이클링 기법을 제안한다. 전체 단계를 이벤트 감지 단계와 이벤트 전달 단계로 구분하고 각 단계의 지연을 최소화한다. 이벤트 감지 단계에서는 이벤트 감지 가능한 영역 내에 존재하는 노드들의 그룹을 형성하고 해당 그룹 내에서 항상 일정 비율 이상의 노드들이 활성화 상태에 있도록 조절하여 이벤트 감지를 위한 시간을 최소화한다. 또한, 이벤트 전달 단계에서는 활성화

상태에 있는 노드들의 라우팅 경로상에 존재하는 노드들에 대해 동일한 시점에 활성화 상태로 진입하게 하여 연속적으로 멀티 홉 통신을 통해 라우팅에 따른 전달지연을 줄일 수 있다. 이로 인해, 이벤트 감지 영역을 벗어나서 이벤트 내용을 전달해야 하는 경우 발생하던 전달지연을 효율적으로 제거할 수 있다.

본 논문의 2장에서는 무선 센서 네트워크 기반 모니터링 시스템의 종류 및 특징과 전달지연을 줄이기 위한 관련 논문들을 소개한다. 3장에서는 제안하고 있는 2단계 이벤트 감지 및 전달지연 최소화 기법을 설명한다. 4장에서는 시뮬레이션 결과를 바탕으로 제안한 기법의 우수성을 보여주며, 5장에서 결론으로 논문을 마무리한다.

## 2. 관련연구

최근 모니터링 시스템의 이벤트 감지 및 전달지연 최소화를 위해 다양한 연구들이 진행되어왔다. 이벤트 감지 기반 모니터링 시스템에서 이벤트 감지 결과 전달지연이 발생하는 주요 원인은 저전력 듀티 사이클링 기법 때문이다 [3]. 듀티 사이클링 기법은 모니터링 시스템을 구성하고 있는 무선 센서 노드들의 에너지 소모를 줄이기 위해 일정 시간 동안 최소의 전원을 사용하는 비활성화 상태로 센서 노드들을 전환 시키는 것으로, 특정 이벤트가 발생했을 때 모든 노드들이 비활성화 상태에 있게 되면 이벤트가 감지되지 못하는 상황이 발생할 수 있다. 듀티 사이클링 기법에 의해 비활성화 상태의 노드가 다시 활성화 상태로 전환되게 되었을 때 이벤트들은 감지 될 수 있으며 이벤트가 실제 발생하고 이벤트 발생 영역의 노드가 활성화 상태가 되어 해당 이벤트를 감지할 때까지 시간을 이벤트 감지 시간이라고 한다 [4].

하나의 센서 노드에서 듀티 사이클의 비율은 전체 시간 중 활성화 상태에 있는 시간을 의미한다. 예를 들어, 듀티 사이클이 10%라고 한다면 전체 시간 중 10% 시간 동안에 해당 노드가 활성화 상태를 유지하게 되므로 나머지 90%의 비활성화 시간에 이벤트가 발생하는 경우 감지할 수 없게 된다. 따라서 특정 영역의 이벤트를 감지하기 위해 다수의 센서 노드들을 중복해서 배치하게 된다. 하지만, 과도한 센서 노드들의 중복 배치는 이벤트 감지 시간을 단축시키지만 모니터링 네트워크를 구성하는 비용을 증가시키게 된다.

Hu [5]는 멀티-투-원 데이터 수집 프로세스를 제안하여 네트워크 지속시간 감소 없이 이벤트 모니터링 성능을 향상시켰다. 깔대기 효과(Funnelling Effect) [6]에 의해 싱크 노드 주변의 노드들은 전달해야 하는 이벤트의 양이 많아 에너지 소모율이 높으며 싱크 노드와 먼 거리에 존재하는 노드들은 상대적으로 에너지 소모율이 적다. 싱크 노드 주변 노드들의 과도한 에너지 소모로 인한 네트워크 단절을 회피하기 위해 싱크 노드 주변 노드들의 듀티 사이클링 비율을 높여 전체적인 네트워크 지속시간을 늘려주도록 설계하였다. 이와 같은 방식은 상호 협력적인 모니터링을 지원하지

않는 상황을 고려한다. 주변 노드들과 협력 없이 특정한 이벤트를 감지했을 때 독립적으로 해당 이벤트를 싱크 노드로 전송하는 경우에 유효한 방식이다.

이동하는 목적 객체를 감지해야 하는 경우 협력적인 모니터링 기법을 적용한다 [7]. 하나의 특정 노드가 고정적인 이벤트를 감지하는 것이 아니라 이동하는 목적 객체의 이동 경로상에 있는 다수의 노드들이 목적 객체를 감지하고 감지 결과를 싱크 노드로 전달하면 목적 객체의 움직임을 주기적으로 추적할 수 있다. 감지하고자 하는 목적 객체가 이동하는 상황이므로 특정 노드가 목적 객체를 감지하면 이동 경로를 예상하여 해당 경로에 존재하는 노드 그룹들을 예측하고 해당 그룹들의 듀티 사이클을 늘려 빠르게 이동하는 움직임을 감지하도록 해야 한다. 목적 객체가 예측되는 모니터링 영역에 들어온 순간 바로 감지가 되도록 하기 위해서는 해당 영역을 감지하고 있는 센서 노드 그룹의 활성화 비율을 100%로 변경한다면 이벤트 감지 지연 시간을 최소화할 수 있다. 이때, 목적 객체가 움직이는 경로 이외의 센서 노드 그룹이 경우 비활성화 비율을 높여 전체적인 네트워크의 에너지 소모량을 줄여줄 수 있다 [8]. 하지만, 목적 객체의 움직임에 대한 예측이 부정확할 경우 이벤트 감지와 관련된 에너지 효율성, 감지 정확도, 감지 지연 시간 등의 전체적인 성능 지표가 낮아지는 문제점이 발생한다.

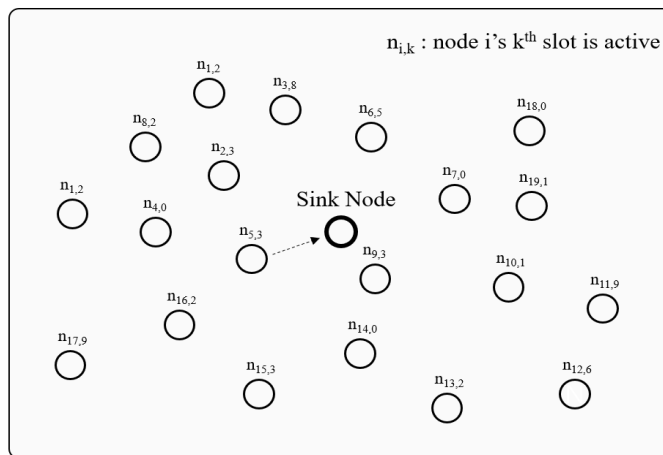
이동하는 목적 객체에 대한 움직임 예측 실패에 따른 성능 저하를 줄이기 위해 확률 기반 듀티 사이클링 기법들이 제안되었다 [9][10]. 목적 객체가 해당 센서 노드 그룹을 지나갈 확률을 계산하여 확률이 높은 경우 활성화 노드의 비율을 높여주고 확률이 낮은 경우 활성화 비율을 낮춰줌으로써 움직임 예측 실패에 따른 에너지 소모량을 줄일 수 있다. 또한, 논문 [7]에서는 모니터링하는 빈도수와 모니터링 결과의 상관관계를 연구하였다. 듀티 사이클링을 통해 모니터링 노드는 연속적인 활성화 구간과 비활성화 구간을 갖게 된다. 만약 이벤트가 활성화 구간이 끝난 후에 발생하게 된다면 비활성화 구간의 시간만큼 이벤트 감지 지연이 발생하게 되므로 활성화 구간과 비활성화 구간의 교차 시간이 길어질수록 이벤트 감지 지연 시간이 늘어나게 된다. 따라서, 전체적인 시간 관점에서 활성화 구간과 비활성화 구간의 비율을 동일하게 하고 활성화 구간과 비활성화 구간이 더욱 자주 변경되게 듀티 사이클링을 설정하게 되면 이벤트 감지 지연을 줄일 수 있다. 위에서 언급한 다양한 방법들은 주로 모니터링 시스템의 이벤트 감지 성능 향상을 위해 비활성화 구간을 늘리는 부분에 초점을 맞추고 있다.

본 논문에서는 위에서 언급한 듀티 사이클링을 조절하는 방법에서 고려하지 못하고 있는 활성화 구간 조절 기법을 제안하고자 한다. 활성화 구간의 전체 비율은 동일하게 유지하면서 활성화 구간의 시작과 종료 시점을 조절하여 주변 노드들과 이벤트 감지 결과를 효율적으로 공유할 수 있도록 설계하였다. 특히, 전체 활성화 구간을 일정 단위의 슬롯으로 구분하고 활성화 슬롯의 타이밍 조절을 통해 전체적인 성능을 향상시키는 방법을 제안하였다.

### 3. 전달지연을 최소화하는 슬롯 할당 기법

#### 3.1 시스템 모델

본 논문에서 가정하고 있는 시스템 구조는 이벤트 정보를 수집하는 싱크 노드가 전체 네트워크의 중앙에 존재하며  $N$  개의 일반 노드가 임의로 배치되어 있다. 네트워크는  $\{S, n_1, n_2, \dots, n_N\}$ 으로 표현되며  $S$ 는 싱크 노드,  $n_i$ 는 일반 센서 노드의 번호를 의미한다. 각 노드들은 활성화 상태(Active State)와 비활성화 상태(Inactive State)로 표현되며 한번의 활성화/비활성화 사이클에서 한번만 깨어날 수 있다. 각 센서 노드들은 주변에서 감지 가능한 거리 내에 있는 이벤트를 감지하고 주변 노드들과 데이터를 교환하고 데이터와 관련된 연산 처리를 수행할 수 있다. 일반 센서 노드들은 배터리 기반으로 동작하는 반면 싱크 노드는 전원 공급 장치를 통해 지속적인 전원 공급이 가능하여 에너지 소모 관련 제약 사항이 존재하지 않기 때문에 항상 활성화 상태에서 데이터를 수신하고 처리할 수 있다. [그림 1]은 가정하고 있는 네트워크 구조를 나타낸다. 각 노드의 번호는  $n_{i,k}$ 로 표시되며 해당 노드의 활성화 슬롯은  $n_{i,k}$ 로 표시된다.

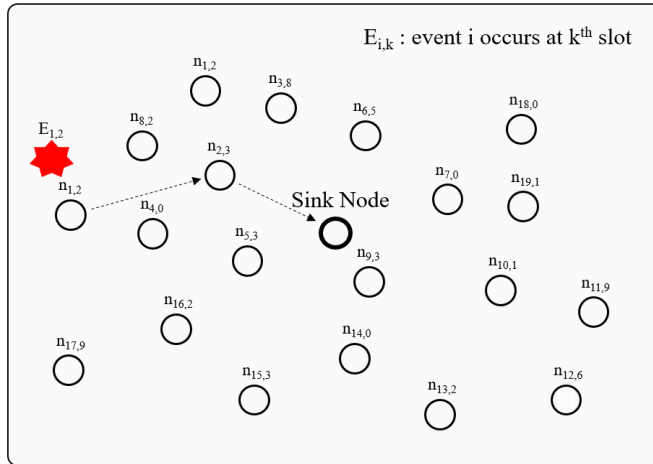


[그림 1] 네트워크 구조

[Fig. 1] Network Structure

듀티 사이클 한 주기는  $k$  개의 시간 슬롯으로 구성될 수 있으며  $k$ 개의 시간 슬롯은 0부터  $k-1$ 까지의 순서를 갖는다. 네트워크가 처음 생성되는 단계에서는 활성화 상태로 존재할 수 있는 활성화 구간 슬롯이 임의로 결정된다. [그림 2]에서 보는 바와 같이 만약 첫 번째 화재 발생 이벤트가 2번째 슬롯에서 발생한 경우 주변 센서 노드가 2번째 슬롯에서 활성화 상태로 전환되었다면 이벤트

감지 딜레이는 0이 되고 3번째 슬롯에서 활성화 상태로 전환되었다면 이벤트 감지 딜레이는 1이 된다. 데이터 전송 단계에서는 주변 노드에게 단일 홉으로 전달하기 위해 한 개의 시간 슬롯이 필요하다 가정한다. 만약 노드  $n_1$ 이 시간 슬롯 2에서 인접해 있는 노드  $n_2$ 에게 데이터를 전달하고자 할 때 노드  $n_2$ 가 시간 슬롯 3에서 깨어난다면 데이터 전달 지연은 1이 된다.



[그림 2] 이벤트 감지 및 전달지연

[Fig. 2] Event Detection and Dissemination Delay

가정하고 있는 네트워크의 전체 전달지연은 이벤트가 발생하고 주변 노드들로부터 감지될 때까지 나타내는 이벤트 감지 지연과 노드가 이벤트를 인지하고 이를 싱크 노드까지 전달하는데 걸리는 데이터 전달지연으로 구성된다.  $Delay_e$ 를 이벤트 감지 지연이라고 표현하고  $Delay_T$ 를 이벤트 전달지연이라고 표현할 때 전체 전달지연은  $Delay_e + Delay_T$ 로 나타낼 수 있다. 전체 전달지연을 줄이기 위해  $Delay_e + Delay_T$ 를 최소화하기 위해서는 전체 노드들의 활성화 구간을 늘리면 네트워크 지속시간이 줄어드는 문제가 발생한다. 따라서, 네트워크 지속시간 감소 없이 효과적으로 두 요소를 줄일 수 있는 접근 방법에 대한 연구가 필요하다.

무선 센서 노드들이 많이 설치된 환경에서는 특정 이벤트가 발생했을 때 다수의 노드들이 이벤트 감지 가능 영역에 존재할 수 있다 [11]. 다수의 노드들이 동일한 시점에 활성화 되도록 설정되어 있는 경우, 활성화 슬롯 직전에 이벤트가 발생하지 않는다면 전체적인 이벤트 감지 지연이 매우 커질 수 있다. 하지만, 같은 영역에 존재하는 다수의 노드들의 활성화 상태로 변하는 시간 슬롯이 고르게 분산되어 있다면 어느 시점에 이벤트가 발생하더라도 빠르게 이벤트를 감지할 수 있게 된다. 따라서, 제안하는 기법에서는 한번의 사이클에 존재하는 하나의 활성화 슬롯이 적절히 분산되어 같은 영역을 감지하는 노드들이 서로 다른 시점에 깨어나 해당 지역을 모니터링하도록 설계하였다. 또한, 일반적인 모니터링 시스템에서 이벤트를 감지하고 단일 홉으로 싱크 노드까지 전송

하지 못하는 상황이 발생하게 된다. 이때, 멀티 홉 통신을 활용하여 데이터 전달 경로를 설정하고 경로에 따라 이벤트 감지 정보를 전달하여 최종적으로 싱크 노드에게 알려주게 된다. 최종적으로 싱크 노드에게 전달되는 전달 지연을 줄이기 위해서는 전달 경로 상에 있는 노드들이 가능한 연속적으로 깨어날 수 있도록 활성화 슬롯이 배치되어 있어야 한다.

### 3.2 활성화 슬롯 협상 기법

본 논문에서는 특정 영역에서 이벤트가 발생했을 때 이를 모니터링 하고 있는 네트워크에서 빠르게 이벤트를 감지하고 싱크 노드까지 전달해 줄 수 있는 기법을 제안한다. 특정 이벤트가 발생한 시점을  $t_i$ 라고 했을 때, 무선 센서 노드가 활성화되어 이벤트를 감지하는데 드는 평균적인 시간  $T_{Ei}$ 는 수식 (1)과 같이 계산된다.

$$T_{Ei} = \frac{\sum_{j=0}^{k-1} T_{d,j}}{K} \quad (1)$$

$T_{d,j}$ 는 이벤트가 듀티 사이클의 전체 타임 슬롯 중  $j$  시간 슬롯에서 발생했을 때 이벤트 감지에 발생하는 시간을 나타낸다. 이벤트는 전체  $K$  개의 타임 슬롯 중 어떤 곳에서든 나타날 수 있으므로 이벤트 발생 슬롯의 범위는 0부터  $k-1$ 까지이다.

이벤트 감지가 완료되면 노드들은 감지된 이벤트 전달을 위해 평균적으로  $T_D$ 의 접근 지연을 통해 데이터를 인접 노드에게 전달하게 된다 [12]. 802.15.4 [13] 기반으로 듀티 사이클링을 수행하는 노드들은 CCA(Clear Channel Assessment) 기법을 통해 채널 상태를 감지하고 전송시도를 하고 단계별로 진행되는 전송 시도를 고려하여 수식 (2)가 도출되었다.

$$T_D = \frac{T_1 P_1 + \sum_{i=1}^2 T_2^i P_2^i + \sum_{j=1}^4 T_3^j P_3^j}{P_1 + \sum_{i=1}^2 P_2^i + \sum_{j=1}^4 P_3^j} \quad (2)$$

또한, 활성화 상태와 비활성화 상태에 존재할 확률을 고려하여  $w$ 만큼의 평균적인 에너지 소모가 발생하게 된다 [12]. 수식 (2)와 유사하게 전체 비활성화 구간에 대해 전송 시도하지 않는 기간을 단계별로 고려하여 수식 (3)이 도출되었다.

$$W = \frac{W_1 P_1 + \sum_{i=1}^2 W_2^i P_2^i + \sum_{j=1}^3 W_3^j P_3^j}{P_1 + \sum_{i=1}^2 P_2^i + \sum_{j=1}^3 P_3^j} \quad (3)$$

특정 이벤트가 발생하게 되면 해당 이벤트를 감지하는 센서의 특징에 따라 이벤트 감지 범위가 결정되게 된다. 본 연구에서는 이벤트 감지 범위를 고정적으로 설정하였다. 제안하는 슬롯 협상 알고리즘은 각 노드들의 센싱 시간을 분산시키기 위해 초기에 임의로 설정된 활성화 슬롯 정보를 주변 노드들에게 브로드캐스팅한다. [표 1]은 노드들의 정보 교환에 필요한 정보들을 나타낸다. [표 2]는 [표 1] 정보를 활용하여 활성화 슬롯 협상이 진행되는 과정을 보여주는 알고리즘이다.

[표 1] 노드 정보

[Table 1] Node Information

Notation	Description
$n_i$	Node id
$n_{i,k}$	Node i's active slot
$N_{ne}$	The number of neighbor nodes
$n_{e_{i,k}}$	Neighbor node i's active slot
$Th_{in}$	Inbound threshold
$Th_{out}$	Outbound threshold
$Slot_{available}$	Available active slots among neighbor nodes

[표 2] 활성화 슬롯 협상 알고리즘

[Table 2] Active Slot Negotiation Algorithm

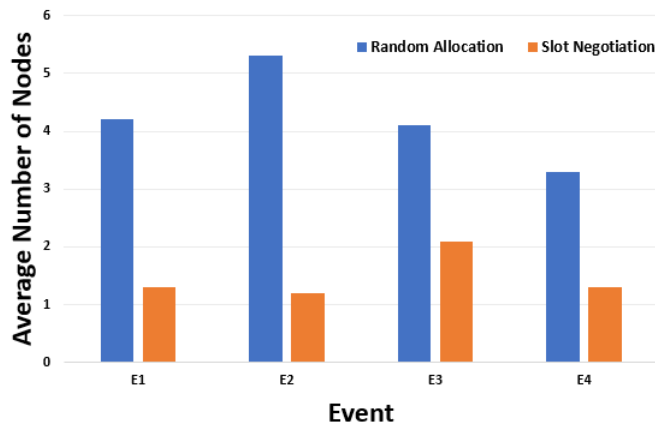
Algorithm 1: Active Slot Negotiation Algorithm
<p>* Initial Phase - Randomly initialize the active state of each and advertise the state information to neighbor nodes</p> <p>1: <math>Slot_{active} = rand()</math></p> <p>2: Broadcast(node id, <math>Slot_{active}</math>, <math>Slot_{available}</math>)</p> <p>* Negotiation Phase- Search the inactive slots of the neighbor tables</p> <p>1: Broadcast(SSAN frame)</p> <p>2: If the node receives ACK frames then</p> <p>3: <math>ACK = count(ACK\ frames)</math></p> <p>4: If <math>ACK &gt; Th_{in}</math> then</p> <p>5: <math>Slot_{active} = Adjust(Slot_{active})</math></p> <p>6: Broadcast(ASCN frame)</p> <p>7: End if</p> <p>8: End if</p> <p>9: If <math>slot_{available}</math> is not empty then</p> <p>10: Goto line 2</p> <p>11: End if</p>

활성화 슬롯 할당 알고리즘이 동작하게 되면 주변 노드들의 정보를 바탕으로 센싱 범위 내의 노드들의 활성화 슬롯이 고르게 분산되어 있지 않다고 판단되는 노드들은 자가 슬롯 할당 안내 (Self-Slot Allocation Notification, SSAN) 프레임을 주변 노드들에게 전송한다. SSAN 프레임을 수신

한 노드들은 자신의 관점에서 할당된 활성화 슬롯의 조건을 확인하고 고르게 분포되어 있지 않은 경우 응답(Acknowledgement) 프레임을 전송한다. SSAN 프레임을 보내고 주변 전체 노드들 중 절반 이상의 노드들이 응답 프레임을 보내는 경우 해당 노드들의 정보를 확인하여 활성화 슬롯을 재설정하고 활성화 슬롯 변화 안내(Active Slot Change Notification, ASCN) 프레임을 주변 노드들에게 브로드캐스팅 한다. 위의 과정을 모든 노드들의 활성화 슬롯이 고르게 분산될 때까지 수행한다.

#### 4. 성능평가

제한하고 있는 활성화 슬롯 할당 기법의 성능을 평가하기 위해 시뮬레이터 상에서 200m x 200m 공간을 구성하고 802.15.4 기반 무선 센서 노드들이 배치되어 있다고 가정하였다. 무선 센서 노드들이 전송하는 일반적인 환경을 고려하여 전송 거리를 10m로 제한하였으며 이벤트 감지 거리도 동일하게 10m로 가정하였다. 순차적으로 발생하는 이벤트들은 200m x 200m 공간 안에서 임의로 발생하도록 설정하였으며 100개의 노드들을 임의로 배치하였다. 전체적인 구조는 발생한 이벤트를 감지하고 싱크 노드로 전송하는 중앙 집중형 구조를 따르도록 설계하였다. 총 10개의 시간 슬롯을 하나의 사이클로 정의하고 한 사이클에는 한 개의 활성화 슬롯을 가지는 환경에서 실험을 진행하였다.

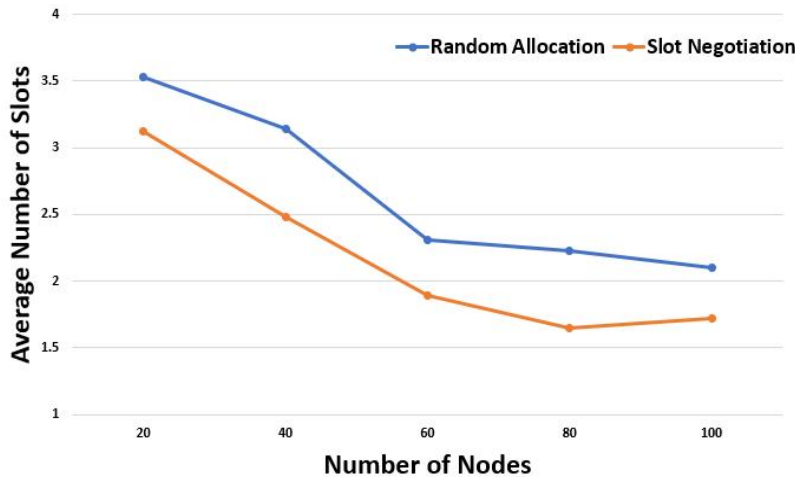


[그림 3] 이벤트 발생 위치에 따른 동일 활성화 슬롯을 가지는 노드의 개수

[Fig. 3] Average Number of Nodes as a Function of Each Event

[그림 3]은 임의로 발생시킨 이벤트 주변의 노드들이 대해 활성화 슬롯 할당 개수의 차이를 보여준다. 첫 번째로 발생시킨 이벤트부터 네 번째로 발생시킨 이벤트에 대해 임의로 활성화 슬롯을 할당한 경우 많게는 이벤트 감지 거리 내에 평균 5.3개의 노드가 동일한 시간에 활성화 되는 것을 확인하였다. 하지만, 활성화 슬롯 협상을 진행한 경우 최대 세 번째 이벤트에 대해 2.1개의 노드가

동일한 활성화 슬롯을 가지고 있는 경우를 제외하면 다른 모든 이벤트에 대해 활성화 슬롯의 시간이 겹치지 않도록 설정되는 것을 확인하였다. 활성화 슬롯이 겹치게 되면 랜덤하게 발생하는 이벤트를 빠른 시간 내에 감지하지 못하기 때문에 전체적인 이벤트 전달지연을 증가시켜 모니터링 시스템에서 발견하고자 하는 이벤트를 요구되는 시간에 싱크 노드까지 전달하지 못하는 상황이 발생할 수 있다.



[그림 4] 이벤트 최종 전달지연

[Fig. 4] Event Dissemination Delay as a Function of the Number of Nodes

[그림 4]는 이벤트에 대한 최종 전달지연을 측정된 결과를 보여준다. 고정된 장소에 이벤트를 발생시키는 환경에서 전체 노드의 개수를 변화시키며 전달지연을 측정하였다. 노드 수가 적은 경우 주변에 바로 전달할 수 있는 활성화 슬롯을 가지고 있는 노드 수가 적고 인접한 노드들 중 다음 활성화 슬롯으로 전달할 노드 수가 적기 때문에 노드 수가 많을 때보다 전달지연이 길어지는 것을 확인할 수 있다. 배치된 노드 수가 20개인 환경에서는 임의로 활성화 슬롯을 할당했을 때 평균적으로 3.5 시간 슬롯 후에 중앙에 위치하는 싱크 노드까지 전송되었다. 하지만, 동시에 활성화 상태로 진입하는 노드 수를 줄이기 위해 활성화 슬롯 협상 알고리즘을 수행 후 인접 노드들 사이에서 고르게 활성화 노드가 분포된 경우에는 평균 3.1 시간 슬롯으로 일정 부분 전달지연을 줄일 수 있는 것을 확인하였다. 특히, 노드 수가 100개 수준으로 많아지는 경우 평균 1.7 시간 슬롯에 싱크 노드까지 감지된 이벤트가 전달되는 것을 확인할 수 있다.

## 5. 결론

본 논문에서는 사물인터넷 환경에서 저전력 동작을 유지하면서 이벤트 전달지연을 줄일 수 있

는 활성화 슬롯 조절 기법을 제안하였다. 초기 셋업 단계에서 임의로 설정된 활성화 슬롯을 주변 노드들과 정보를 교환해 나가면서 고르게 분포될 수 있도록 조절하여 이벤트 감지 시 발생하는 지연을 줄일 수 있는 솔루션이다. 특히, 센서 노드들이 클러스터를 형성하여 이벤트 감지 및 데이터 전달을 할 때 효율성을 높일 수 있는 특징이 있다. 성능평가 결과 대부분의 경우에 활성화 슬롯을 조절하는 것이 임의로 설정된 상황보다 이벤트 감지 지연을 줄일 수 있는 것을 확인하였다. 저전력 동작 수행을 위한 듀티 사이클 주기의 수정 없이 이벤트 감지 동작을 수행 가능하므로 향후 다양한 저전력 무선 통신 기술과 연계하여 동작 가능하도록 확장할 수 있다.

## References

- [1] L. Atzori, A. Iera, G. Morabito, "The Internet of Things: A survey", *Computer Networks*, vol. 54, no. 15, June 2010, pp. 2787-2805, doi: 10.1016/j.comnet.2010.05.010.
- [2] X. Xiang, W. Liu, A. Liu, N. Xiong, Z. Zeng, Z. Cai, "Adaptive duty cycle control-based opportunistic routing scheme to reduce delay in cyber physical systems", *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 15, no. 4, April 2019, pp. 1-21, doi: 10.1177/1550147719841870.
- [3] Y. Zhang, W. W. Li, "Energy Consumption Analysis of a Duty Cycle Wireless Sensor Network Model", *IEEE Access*, vol. 7, March 2019, pp. 33405-33413, doi:10.1109/ACCESS.2019.2903303.
- [4] L. Marcin, B. Placzek, "Data Transmission Reduction in Wireless Sensor Network for Spatial Event Detection", *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 21, October 2021, pp. 7256, doi: 10.3390/s21217256.
- [5] A. Liu, Y. Hu, Z. Chen, "An energy-efficient mobile target detection scheme with adjustable duty cycles in wireless sensor networks", *International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing*, vol. 22, no. 4, July 2016, pp. 203-225, doi: 10.1504/IJAHUC.2016.078112.
- [6] I. Rhee, A. Warrior, M. Aia, J. Min, M. L. Sichitiu, "Z-MAC: A Hybrid MAC for Wireless Sensor Networks", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 16, no. 3, June 2008, pp. 511-524, doi: 10.1109/TNET.2007.900704.
- [7] Y. Hu, M. Mong, K. Ota, A. Liu, M. Guo, "Mobile target detection in wireless sensor networks with adjustable sensing frequency", *IEEE Systems Journal*, vol. 10, no. 3, September 2016, pp. 1160-1171, doi: 10.1109/JSYST.2014.2308391.
- [8] T. Wang, Z. Peng, J. Liang, S. Wen, M. Bhuiyan, Y. Cai, J. Cao, "Following Targets for Mobile Tracking in Wireless Sensor Networks", *ACM Trans. Sen. Netw.*, vol. 12, no. 4, September 2016, pp. 1-24, doi: 10.1145/2968450.
- [9] B. Jiang, B. Ravindran, H. Cho, "Probability-based prediction and sleep scheduling for energy-efficient target tracking in sensor networks", *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 12, no. 4, April 2013, pp. 735-747, doi: 10.1109/TMC.2012.44.
- [10] X. Liu, A. Liu, T. Qiu, B. Qiu, T. Wang, L. YANG, "Restoring connectivity of damaged sensor networks for long-term survival in hostile environments", *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 7, no. 2, February 2020, pp. 1205-1215, doi: 10.1109/JIOT.2019.2953476.

- [11] S. Lim, S. Lee, J. Yoo, C. Kim, “NBP: light-weight Narrow Band Protection for ZigBee and Wi-Fi coexistence”, *J Wireless Com Network*, vol. 76, no. 1, March 2013, pp. 1-13, doi: 10.1186/1687-1499-2013-76.
- [12] D. Nga, S. Lim, “Analysis of IEEE 802.15. 4 Beacon-Enabled MAC Protocol”, *International Journal of Electrical & Computer Engineering*, vol. 6, no. 3, June 2016, pp. 1122-1132, doi: 10.11591/ijece.v6i3.pp1122-1132.
- [13] A. Lynda, B. Louiza, “IEEE 802.15.4 historical revolution versions: A survey”, *Computing*, vol. 103, no. 1, October 2020, pp. 99-131, doi: 10.1007/s00607-020-00844-3.