



An Energy-Efficient Cross-layer Wakeup Scheduling Scheme by using Multipath in Wireless Sensor Networks

Yong-Hyeog Kang¹, Moon Jeong Kim², Moonseog Han³

¹*Department of Global Business Administration, Far East University*

²*Department of Smart IT, UI University*

³*Department of Software, Gangneung-Wonju National University*

ABSTRACT

Wireless sensor networks are composed of many wireless sensor nodes and have many application ranges. The sensor nodes are resource constrained in memory space, CPU computation, and energy capacity. These constraints are restricted to extend the sensor networks to the more applications. In these networks, many energy efficient mechanisms are proposed with wakeup scheduling schemes that wake up the sleeping sensor nodes to be active states of the sensor nodes synchronously or asynchronously. This paper proposes the scheme of energy efficient and load balancing wakeup scheduling of sensor nodes by using cross layer approach with not disjointed multipath. Our proposed scheme constructs the graph of not disjointed multi-paths from source nodes to the sink node. This graph is maintained by each sensor nodes and is used in the wakeup scheduling of the sensor nodes synchronously. Our proposed scheme wakes up the sensor nodes along the not disjointed multipath from the sensor nodes in range of interests to the sink node synchronously. Our proposed scheme is analyzed to have many merits that are the low and expected packet latency, the energy efficiency, and the energy balancing of wireless sensor networks through the combined transfer of packets and the combined processing of packets.

© 2017 KKITS All rights reserved

KEYWORDS : Multi-path routing, Cross-layer approach, Wireless sensor networks, Wakeup scheduling, Energy efficiency, duty cycling

ARTICLE INFO: Received 17 August 2017, Revised 14 September 2017, Accepted 13 October 2017.

*Corresponding author is with the Department of Software, Gangneung-Wonju National University, 150

Namwon-ro Wonju, 26403, KOREA.
E-mail address: mshan@gwnu.ac.kr

1. 서론

무선 센서 네트워크는 인간의 간섭이 없거나 최소화되는 환경에서 필요한 정보를 감지하고 접근 및 분배하는 유비쿼터스 컴퓨팅 환경이다[1]. 무선 센서 노드는 배터리로 동작하고 무선으로 통신하며 자원 제약적인 특성을 가진 디바이스이다. 무선 센서 네트워크의 응용분야에는 경계 보안, 조사, 사람 건강 모니터링, 환경 모니터링 등이 있다[2]. 무선 센서 네트워크에서는 센서 노드들의 에너지 효율에 대한 연구가 활발히 연구되고 있다[3]. 네트워크 내의 데이터 처리는 지역 적으로 처리하여 싱크 노드(sink node)까지 전송하는 데이터의 양을 줄이는 기법도 제안되고, 통신 링크를 통해 연속적인 전송에 필요한 에너지를 줄이는 물리 계층 최적화 기법도 제안된다.

가장 효율적인 에너지 효율화 기법은 슬리핑(sleeping) 기법으로, 센서 노드의 불필요한 대기청취(idle listening)를 줄임으로써 낭비되는 에너지의 비율을 상당히 줄일 수 있다. 센서 노드의 슬리핑 상태(sleeping mode)에서는 인터럽트 핸들러와 타이머만 기능한다. 슬리핑 기법의 단점은 수신하는 노드가 깨어날 때까지 메시지를 전송하지 못하기 때문에 패킷 전송 지연이 발생할 수 있다는 점이다.

본 논문은 중첩되는 다중 경로를 이용하여 계층 교차적 접근 방식으로 에너지 효율적인 깨우기(wakeup) 기법을 제안한다. 본 논문의 2장에서는 관련 연구를 설명하고, 제 3장과 4장에서는 제안기법을 제시하고, 제안기법의 성능을 분석하며, 제 5장에서는 결론 및 향후 연구 과제를 제시한다.

2. 관련 연구

2.1 깨우기 스케줄링 기법

무선 센서 네트워크에서 센서 노드는 데이터를 전송할 수 있는 활동 상태(active mode)와 데이터를 전송하지 않는 슬리핑 상태(sleeping mode)를 가질 수 있다. 활동 상태의 센서 노드만 데이터를 전송할 수 있고 활동이 끝나면 바로 에너지 낭비를 줄이기 위한 슬리핑 상태로 변환한다. 슬리핑 상태의 센서 노드가 다시 활동 상태로 변환되기 위해서는 깨우기 스케줄링 기법이 수행되어야 한다.

깨우기 기법은 내부 제어 깨우기 기법과 외부 제어 깨우기 기법으로 구분될 수 있다. 내부 제어 깨우기 기법에서는 의무 사이클(duty cycle)의 예정된 시간에 깨어난다. 외부 제어 깨우기 기법에서는 깨우는 주체에 따라, 내부 배터리나 깨우기 신호를 사용하는 무선 제어(radio-controlled)와 환경 트리거를 사용하는 환경 제어(environment-controlled) 깨우기 기법으로 구분된다. 환경 제어 깨우기 기법에는 센싱 기반 깨우기와 에너지 수확(energy harvest) 기반 깨우기가 있다.

의무 사이클 기법은 동기적(synchronous) 의무 사이클 기법과 비동기적(asynchronous) 의무 사이클 기법으로 구분될 수도 있다. 동기적 의무 사이클 기법은 모든 센서 노드가 동일하게 예정된 시간에 깨어나며, 측정이나 환경 모니터링 및 스마트 홈 같은 응용에 적용된다. 비동기적 의무 사이클 기법은 네트워크에 각 센서 노드는 개별적으로 정해진 시간에 깨어난다.

2.2 계층별 슬리핑 기법

프로토콜의 여러 레이어에서 깨우기 및 슬리핑 기법이 활용될 수 있다. 응용 계층 슬리핑 기법에서는 중복되었거나 응용에서 요구되지 않은 데이터를 수신한 경우 센서 노드가 깨어나지 않고 슬

리핑을 유지하도록 한다. 라우팅 계층 슬리핑 기법에서는 전달할 패킷이 없는 센서 노드가 슬리핑을 유지하도록 한다. 라우팅에 사용되는 노드들이 더 많이, 더 오래 슬리핑 상태를 유지할 수 있다면 더 많은 에너지를 절약하게 된다. 매체 접근 제어 계층 슬리핑 기법에서는 센서 노드가 데이터를 전송하거나 수신하는 차례가 아닐 때 슬리핑을 유지할 수 있다.

2.2.1 MAC 계층 슬리핑 기법

효과적인 슬리핑 기법을 위해 슬리핑 상태의 센서 노드를 깨우는 기법에는 동기적 의무 사이클링 기법, 비동기적 의무 사이클링 기법, 그리고 혼합 기법이 있다. 동기적 의무 사이클링 기법은 모든 노드를 동시에 깨우는 기법으로 TDMA, 임의 접근 등을 사용한다. 비동기적 의무 사이클링 기법은 각 노드를 독립적으로 깨우는 기법으로, 전송 노드는 수신 노드가 깨어날 때까지 기다려야 한다.

동기적 의무 사이클링 기법으로는 S-MAC 기법, T-MAC 기법, P-MAC 기법 등이 있다[4,5,6]. S-MAC 기법은 청취 상태(listen mode)와 슬리핑 상태가 주기적으로 변환된다. T-MAC 기법은 전송할 데이터가 있는 동안 청취 상태가 유지된다. P-MAC 기법은 프레임과 슬롯을 사용하는 TDMA 형식으로 트래픽 패턴에 따라 슬리핑 상태를 더 길게 유지할 수 있는 기법이다.

2.2.2 네트워크 계층 슬리핑 기법

네트워크 계층 슬리핑 기법에는 토폴로지 제어 기법과 슬리핑 라우팅 기법이 있다. 토폴로지 제어 기법은 가용 센서 노드의 부분 집합을 선택하여 데이터를 라우팅하게 하는 기법으로 백본을 만들어서 네트워크 연결성을 보장하는 기법이다. 백본에 선택된 노드는 에너지 소멸이 줄어드는 형태로

선별되며 남아있는 에너지가 충분한 노드가 선택된다. 이 기법은 중복 경로가 많은 밀집 네트워크에 효과적이다[7]. 슬리핑 라우팅 기법은 트래픽 패턴이 정해진 네트워크에서 패킷 전송에 포함되지 않은 노드들을 슬리핑 상태로 더 오래 있게 만드는 기법이다[8].

또한, 경로 기반 슬리핑 기법은 경로가 아닐 때 슬리핑 상태를 유지하는 기법이다[9]. 다중 경로 라우팅 기법을 사용할 경우에 데이터 전달의 신뢰성을 높일 수는 있지만 많은 노드가 데이터 전송에 사용되어 더 많은 에너지 소비가 발생될 수 있다[10]. 슬리핑 기반 다중 경로 라우팅 접근 기법은 중복되지 않은 경로를 찾아서 다중 경로 라우팅을 적용하는 기법이다[11]. 가장 에너지 효율적인 경로를 선택하고 나머지 경로에 있는 노드들은 슬리핑 상태를 유지한다.

2.2.3 계층 교차적 슬리핑 기법

MAC 계층과 네트워크 계층을 함께 사용하여 에너지 효율 및 네트워크 신뢰성을 향상시킬 수 있다[12,13]. 이러한 기법을 계층 교차적 슬리핑 기법이라 하며, 본 논문의 제안기법에서 사용된다.

3. 계층 교차적 다중 경로 슬리핑 기법

3.1 네트워크 환경

본 논문에서 제안하는 기법은 MAC 계층과 네트워크 계층 및 응용 계층을 고려한 다중 경로를 이용하는 기법이다. 제안기법은 동기적 의무 사이클링 기법을 사용한다. 본 논문에서 제안하는 기법이 적용되는 무선 센서 네트워크 환경은 <그림 1>에서 보이는 바와 같다.

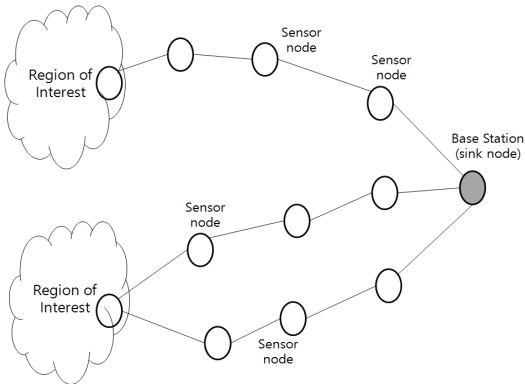


그림 1. 무선 센서 네트워크 환경
Figure 1. Wireless Sensor Network Environments

<그림 1>에서, 관심 영역(Region of Interest)에 있는 센서 노드들은 전송할 데이터가 있는 경우에 싱크 노드로 데이터를 전송한다. 모든 센서 노드는 활동 상태와 슬리핑 상태를 반복하는 의무 사이클링을 수행한다.

제안 기법의 네트워크 계층에서는 소스 노드에서 싱크 노드까지 중복이 가능한 다중 경로를 유지한다. 제안 기법의 MAC 계층에서는 TDMA(Time Division Multiple Access)와 RTS(Ready To Send)/CTS(Clear to Send) 기반으로 동기적 의무 사이클링 기법을 사용한다.

3.2 설계 원리

본 논문에서 제안하는 기법의 설계 원리는 다음과 같다.

- 1) 슬리핑 상태가 활동 상태보다 수십배 이상 길어야 한다.
- 2) 관심 영역 내의 노드에서 싱크 노드로의 전송만 고려한다.
- 3) 네트워크 내의 모든 센서 노드는 경로에 대한 정보를 유지한다.
- 4) 중복된 경로로 오는 트래픽은 중복된 노드에서

일괄 처리한다.

- 5) 싱크 노드에 근접한 노드일수록 전송 트래픽이 많으므로 우선적으로 슬리핑 상태로 변환한다.

슬리핑 상태가 활동 상태보다 길지 않을 경우 센서 노드는 데이터 전송보다는 대기청취로 인해 더 많은 에너지를 소비한다[14]. 의무 사이클링의 주기는 <그림 2>에서 보이는 바와 같다.

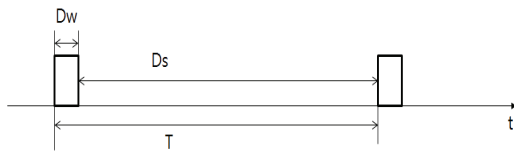


그림 2. 의무 사이클링의 깨어난 기간과 슬리핑 기간
Figure 2. Wakeup Duration and Sleep Duration of Duty Cycling

<그림 2>에서, D_w 는 활동 상태인 기간이며 D_s 는 슬리핑 상태인 기간이다. D_w 에 데이터 전송을 수행하며 작업이 끝나면 슬리핑 상태로 변환된다. D_w 는 $10ms(0.01초)$ 정도로 상당히 작다. 의무 사이클링 기간은 T 이며 T 는 D_w 와 D_s 의 합이다. T 가 클수록 에너지가 효율적으로 사용되지만 패킷 지연시간이 증가한다. T 가 10초인 경우 D_s 는 9.99초가 되어 D_w 보다는 999배 크다.

본 제안기법에서는 싱크 노드로부터 관심 영역 내의 노드로의 패킷 전송 및 양방향 동시 전송도 고려할 수 있지만[15], 제안기법의 단순화를 위해 관심영역 노드로부터 싱크 노드로의 전송만을 고려한다. 또한 네트워크 내의 모든 센서 노드는 경로에 대한 정보를 유지하여 패킷 전달 및 깨우기에 협력한다. 그리고 다중 경로로 패킷이 전달되는 경우 에너지 효율성 향상 및 전송 지연 단축을 위해 의무 사이클 내에서 깨운 기간에 일괄 처리하도록 한다.

본 논문에서 제안하는 기법이 적용되는 무선 센

서 네트워크의 예는 <그림 3>에서 보이는 바와 같다.

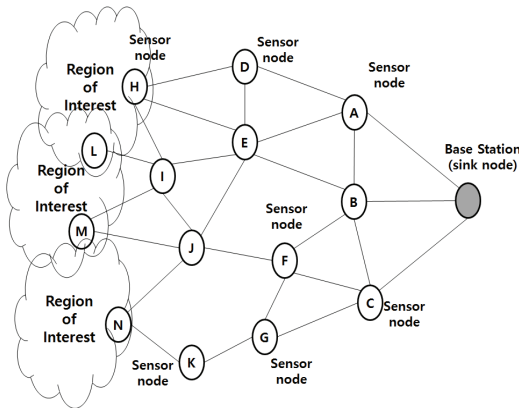


그림 3. 무선 센서 네트워크를 위한 다중 경로 그래프
Figure 3. Multipath Graph for Wireless Sensor Network

<그림 3>에서 보이는 바와 같이, 본 논문에서 제안하는 기법은 관심영역 내의 노드(H, L, M, N)가 싱크 노드로 데이터를 전송하는 환경을 가정한다. 무선 센서 네트워크 환경의 특성상 숨겨진 터미널(hidden terminal) 및 노출된 터미널(exposed terminal) 등의 문제점이 발생할 수 있다[16]. 노드 E와 노드 A, 노드 F와 노드 B가 동시에 통신할 경우에 숨겨진 터미널 문제가 발생된다. 본 논문에서는 노드 A와 노드 B가 TDMA 프레임 나누어 노드 E와 노드 F의 프레임을 각각 할당함으로써 숨겨진 터미널 문제를 해결할 수 있다. 또한, 노드 D와 노드 A, 노드 F와 노드 B가 동시에 통신할 때 노출된 터미널 문제가 발생된다. 이는 다른 데이터 전송 주기에서 데이터를 전송해야 한다.

3.3 동작 과정

본 논문의 제안 기법은 다중 경로를 이용하여 관심 영역내의 센서 노드에서 싱크 노드로 패킷을 전송한다. 패킷 전송 과정에서 MAC 계층과 네트워

크 계층의 계층 교차적 기법을 사용한다. 경로에 있는 모든 노드들은 깨우기 스케줄링 기법을 수행한다. TDMA 기법을 통해 데이터를 송수신하는 인접노드 간 동기화가 수행된다. 데이터를 송신하는 노드는 자신의 TDMA 프레임에 RTS(Ready to Send)를 보내며 데이터를 수신하는 노드는 TDMA 프레임이 끝나면 받은 메시지를 종합하여 CTSS(Clear To Send Sequentially) 메시지를 RTS 메시지를 보낸 노드들에게 보낸다. CTSS 메시지는 TDMA 프레임에 RTS 메시지가 한 개 이상이 발생했을 때 브로드캐스트하며 순서대로 데이터를 전송하라는 확인 메시지이다.

<그림 3>에서 보이는 네트워크 환경에서 다중 경로를 위한 타이밍 다이어그램은 <그림 4>에서 보이는 바와 같다.

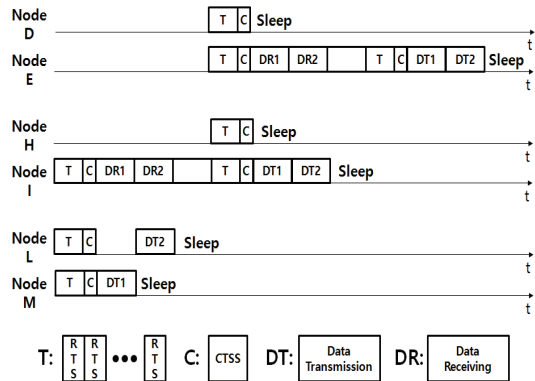


그림 4. 깨우기 스케줄링 기법을 위한 타이밍 다이어그램
Figure 4. Timing Diagram of our wakeup scheduling scheme

<그림 4>에서 보이는 바와 같이, 관심 영역 내의 노드 L과 노드 M이 데이터 전송을 원할 때, 싱크 노드로 가는 경로에 있는 인접 노드 I에게 자신의 TDMA 프레임에 RTS 메시지를 보낸다. 노드 L과 노드 M보다 싱크 노드에 한 레벨 앞에 있는 노드 H는 노드 L과 노드 M보다는 조금 늦게 깨우기를 수행한다. 이 시간은 현재 노드의 TDMA 프레임의

크기와 현재 노드에게 한꺼번에 보낼 수 있는 데이터의 수에 의해 정확하게 결정된다.

현재 노드에게 한꺼번에 보낼 수 있는 데이터의 수는 현재 노드에게 데이터를 보낼 수 있는 관심 영역에 있는 노드의 수이며, 이는 그래프를 현재 노드를 루트 노드로 하는 DAG(Directed Acyclic Graph)으로 변환했을 때 DAG의 단말 노드(leaf node)의 수이다. 예를 들어 노드 I가 갖는 단말 노드의 수는 노드 L과 노드 M으로 2가 되며, 노드 E의 갖는 단말 노드의 수는 노드 H, 노드 L, 노드 M과 노드 N으로 4가 된다.

노드 I가 노드 J와 협력할 경우 숨겨진 터미널 문제를 해결하기 위해 노드 I와 노드 J는 세 개의 TDMA 프레임을 가져야 한다. 노드 D와 노드 E는 노드 H와 노드 I보다 조금 늦게 깨우기를 수행하며 노드 E인 경우에는 데이터를 수신하고 상위 레벨로 데이터를 전송한다. 이 과정은 싱크 노드에 도달할 때까지 반복한다.

무선 센서 네트워크의 트래픽은 싱크 노드로 집중되기 때문에 싱크 노드의 근접 노드들이 많은 에너지를 소비하게 된다. 또한 패킷을 전달하는 중간 노드들은 소스 노드보다 많은 에너지를 소비하게 된다.

본 논문의 제안 기법에서는 여러 번 깨어나서 처리해야 할 송수신 작업을 한 번에 처리함으로써 에너지를 효율화할 수 있다. 제안 기법에서는 싱크 노드의 근접 노드들의 에너지 효율화를 위해 다중 경로를 이용하여 깨우는 횟수를 줄이는 기법을 제안한다. 패킷의 전송 경로를 제어하여 트래픽을 한 쪽으로 몰아서 처리하도록 하여 깨우기 횟수를 줄이는 것이다. <그림 3>에서, 다중 경로를 이용하여 관심 영역에서 오는 모든 트래픽을 싱크 노드의 근접 노드 A, 노드 B, 또는 노드 C로 한꺼번에 보내도록 라우팅을 스케줄하여 노드 A, 노드 B, 노드 C를 깨우는 횟수를 1/3로 줄일 수 있다.

4. 성능 분석

무선 센서 네트워크에서 에너지 소비를 효율화하기 위해서는 센서 노드들의 전체 에너지 소비 줄여야 하며 전체 에너지 소비 E_c 는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$E_c = \sum_{v \in V} f_v * C_v \tag{1}$$

V 는 무선 센서 네트워크의 노드들의 집합이며 f_v 는 깨어나는 주기이며 C_v 는 깨어난 시간동안 평균 에너지 소비량이다. C_v 는 동일한 응용에 대해서는 거의 일정한 값이 된다. 따라서 f_v 를 최소화하는 것이 필요하다.

$$\frac{1}{f_v} = D_s + D_w \tag{2}$$

또한, f_v 는 지연시간과 관련이 있어서 응용에 따라 최대 허용되는 지연시간을 고려해야 한다. 제안 기법의 지연시간을 평가하면 평균 지연시간 D_{avg} 는 다음과 같다.

$$D_{avg} = \frac{1}{2}(D_s + D_w) + (h-1)D_w \tag{3}$$

슬리핑 시간인 D_s 가 작업기간인 D_w 보다 상당히 크기 때문에 전송 지연시간은 주로 D_s 에 의해 결정되지만, 임의의 센서 노드의 D_w 를 분석하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$D_w = T_{TF} * N_{TF} + T_D * N_{DAGLN} \tag{4}$$

T_{TF} 은 TDMA의 한 프레임이 갖는 시간이며 N_{TF} 는 현재 센서 노드가 갖는 TDMA의 프레임 수이다. T_D 는 패킷의 전송 시간이며 N_{DAGLN} 는 현재 노드를

루트로 하는 DAG에 있는 단말노드의 수이다.

임의의 센서 노드를 기준으로 구성된 DAG의 단말 노드의 수는 DAG의 높이가 h 인 경우 2^{h-1} 에 비례한다[17]. 싱크 노드에 가까운 센서 노드일수록 DAG의 높이가 커지므로 이 값은 지수적으로 증가할 수 있다. 이로 인해 지연시간도 크게 증가할 수 있으므로 줄이는 작업이 필요하다. 이는 TDMA의 최대 프레임을 제한함으로써 가능하다. 동일한 관심 영역에서 오는 데이터인 경우에는 동일한 데이터를 전송하는 가능성이 높으므로 응용계층에서 중복되는 데이터를 축약하여 줄일 수 있다. 따라서 (3)번 식에 표현된 전송 지연 시간은 D_s 에 의해 결정되며 슬리핑 시간의 $1/2$ 이 전송 시간에 가장 큰 영향을 갖는다. 즉, 노드의 깨어나는 주기 f_r 가 $1/10$ 인 경우 싱크 노드까지의 전송 지연시간은 약 5초의 지연 시간을 갖는다.

제안 기법의 에너지 효율성을 분석해 보면 다음과 같다. 센서 노드의 에너지는 f_r 에 영향을 받므로 f_r 가 커질수록 더 많은 에너지를 소비하게 된다. 제안 기법은 전송 지연시간이 약 $2/f_r$ 이므로 즉, 응용이 요구하는 전송 지연시간에 맞춰서 f_r 를 더 작게 하여 슬리핑 기간을 늘림으로써 에너지 소비를 줄일 수 있다. 예를 들어, f_r 를 2배 작게 하면 에너지 소비도 2배 줄일 수 있다. 제안 기법의 에너지 효율성은 동일한 정보를 전송하는 트래픽이 있는 경우 축약 기법을 통해 하나의 트래픽으로 처리함으로써 가능하다. 동일한 트래픽의 비율이 R_{st} 인 경우, 제안 기법은 트래픽을 통합하는 축약 기법을 통해 최대 R_{st} 만큼의 트래픽을 감소시킬 수 있다. 예를 들어, R_{st} 가 $1/4$ 인 경우, 제안 기법은 전송 트래픽을 최대 $1/4$ 정도 줄일 수 있으며 에너지 소비도 효율화할 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구 과제

본 논문에서는 무선 센서 네트워크 환경에서 전체 네트워크의 생존 시간을 늘리기 위해 에너지 소비를 효율화하는 기법을 제안하였다. 이를 위해 MAC 계층과 네트워크 계층을 활용하는 계층 교차적 기법을 제안하였다. 제안 기법은 다중 경로를 이용하여 깨우기 스케줄링을 효과적으로 수행하여 전체 에너지 소비를 줄이고 싱크 노드의 근접 노드들에 대해 에너지 소비를 줄일 수 있다. 싱크 노드로 집중되는 트래픽으로 싱크 노드의 근접 노드들의 에너지 소비를 줄임으로써 전체 센서 노드들의 에너지 소비를 균형화할 수 있다.

본 논문에서는 센서 네트워크의 전송 지연 시간과 에너지 효율성을 수식을 통해 성능을 분석하였다. 하지만, 실제 센서 네트워크는 센서 노드의 특성과 센서 네트워크의 위상에 따라 성능의 변화가 심하여 수식보다는 시뮬레이터를 통한 성능 분석이 필요하다. 따라서 향후 연구 과제로 네트워크 시뮬레이터를 이용하여 제안기법의 성능을 평가하는 것이 필요하다.

References

- [1] J-Y. Kim, *The study on routing protocol for the prolongation of sensor network survivability*, Journal of The Korea Knowledge Information Technology and Society, Vol. 3, No. 4. 2008.
- [2] H. M. Ammari, *The art of wireless sensor networks volume 1: Fundamentals*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2014.
- [3] N-S. Yun, M. S. Ummiee, Y-Y. Park, and S. Y. Cho, *Energy-efficient chain-cluster Routing protocol based on level model for wireless sensor network*, Journal of The Korea Knowledge Information Technology and Society, Vol. 6, No. 4. 2011.

- [4] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, *An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks*, Proceedings of the 21st Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications societies, 2002.
- [5] T. Van Dam, and K. Langendoen, *An adaptive energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks*, Proceedings of the 1st ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, 2003.
- [6] T. Zheng, S. Radhakrishnan, and V. Sarangan, *PMAC: An adaptive energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks*, Proceedings of the 19th IEEE International Parallel and Distributed processing Symposium, 2005.
- [7] G-J. Choi, D-G. Kim, and S-B. Kim, *Improved routing techniques using hop information on MANET*, Journal of Knowledge Information Technology and Systems, Vol. 9, No. 4. 2014.
- [8] O. Yang, and W. Heinzelman, *A better choice for sensor sleeping*, 6th European Conference on Wireless Sensor Networks, 2008.
- [9] H. Wang, W. Wang, D. Peng, and H. Sharif, *A route-oriented sleep approach in wireless sensor network*, The 10th IEEE Singapore International Conference on Communication Systems, 2006.
- [10] L. He, *Efficient multi-path routing in wireless sensor networks*, The 6th International Conference on Wireless Communications Networking and Mobile Computing, 2010.
- [11] O. Yang and W. Heinzelman, *Sleeping multipath routing: A trade-off between reliability and lifetime in wireless sensor networks*, Proceedings of the 54th Annual IEEE Global Communication Conference, 2011.
- [12] C. Zhu, L. Yang, L. Shu, L. Wang, and T. Hara, *Sleep scheduling towards geographic routing in duty-cycled Sensor networks with a mobile sink*, The 8th Annual IEEE Communication Society Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks, 2011.
- [13] S. Liu, Y. Bai, M. O. Sha, Q. Deng, and D. Quen, *CLEEP: A novel cross-layer energy efficient protocol for wireless sensor networks*, 4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2008.
- [14] R. Cohen, and B. Kapchits, *An optimal wake-up scheduling algorithm for minimizing energy consumption while limiting maximum delay in a mesh sensor network*, IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 17, No. 2, pp. 570-581, 2009.
- [15] A. Keshavarzian, H. Lee, and L. Venkatraman, *Wake-up scheduling in wireless sensor networks*, Proceeding of 7th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing, 2006.
- [16] S. Chakraborty, S. Nandi, and S. Chattopadhyay, *Alleviating hidden and exposed nodes in high-throughput wireless mesh networks*, IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 15, No. 2, pp. 928-937, 2015.
- [17] E. Horowitz, S. Sahni, and D. P. Mehta, *Fundamentals of data structures in C++*, Silicon Press, 2007.

무선 센서 네트워크에서 다중 경로를 이용한 에너지 효율적인 계층 교차적 깨우기 스케줄링 기법

강용혁¹, 김문정², 한문석³

¹국동대학교 글로벌경영학과

²UI대학교 스마트IT학과

³국립강릉원주대학교 소프트웨어학과

요 약

무선 센서 네트워크는 많은 무선 센서 노드를 구성 되어 있으며 많은 응용 분야를 가지고 있다. 센서 노드는 메모리 공간, CPU 연산, 에너지 용량에서 자원 제약적이어서 센서 네트워크의 응용 분야 확장을 제한한다. 이러한 네트워크에는 많은 깨우기 스케줄링을 통한 에너지 효율화 기법이 제안되었다. 깨우기 스케줄링 기법은 동기적 또는 비동기적으로 슬리핑하고 있는 센서 노드를 깨워서 활동 상태로 만든다. 이 논문에서는 에너지 효율적이고 에너지 소비가 균형적인 깨우기 스케줄링 기법을 제안한다. 제안 기법은 관심 영역에 있는 센서 노드들에서 수집한 정보를 싱크 노드까지 다중 경로를 이용하여 전송할 때 중간에 있는 노드들을 동기적이며 순차적으로 깨우며 계층 교차적 기법을 써서 에너지 효율화한다. 제안 기법은 다중 경로를 사용하여 여러 패킷들의 전송을 한꺼번에 전송 및 처리할 수 있어서 예측 가능한 전송 지연 시간을 가지며 에너지 소비가 효율화되고 균형화될 수 있다.



Yong-Hyeog Kang received the bachelor's degree and M.S. degree in the Department of Information Engineering from the Sungkyunkwan University in 1996 and 1998, respectively. He received the Ph.D. degree in the Department of Electrical and Computer Engineering from Sungkyunkwan University in 2003. He has been a professor in the Department of Global Business

Administration at Far East University since 2003. His current research interests include cloud computing, Internet of things, and secure computing.

E-mail address: yhkang@kdu.ac.kr



Moon Jeong Kim received the bachelor's degree in the Department of Information Engineering from the Sungkyunkwan University in 1998. She received the M.S. degree and Ph.D. degree in the Dept. of Electrical and Computer Engineering from Sungkyunkwan University in 2000 and 2005, respectively. She has been a professor in the Department of Smart-IT at UI University since 2009. Her current research interests include mobile computing, wireless ad-hoc network, and ubiquitous computing.

E-mail address: tops@yd.ac.kr



Moonseog Han received his B.S., M.S. degrees from ChungAng University, Seoul, Korea, in 1986, 1988, and his Ph.D. degrees from SungKyunKwan University, Seoul, Korea, in 2003, respectively. At present, he is a professor in the Department of Software at Gangneung-Wonju National University, since 1996. His research interests include Mobile Computing and Distributed Systems.

E-mail address: mshan@gwnu.ac.kr