

(52) CPC특허분류

H04L 41/0836 (2013.01)

H04L 41/145 (2013.01)

H04L 43/10 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711017650

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원

연구사업명 전자정보디바이스산업원천기술개발사업(시스템반도체)

연구과제명 사물인터넷 기반 영상보안용 초전력 SoC 핵심 IP 기술 개발

기 여 율 1/1

주관기관 서경대학교 산학협력단

연구기간 2014.06.01 ~ 2017.05.31

명세서

청구범위

청구항 1

센서 네트워크 시스템의 최소 에너지 데이터 집계 (minimum energy data aggregation) 방법으로서,

헤더 노드가, 복수의 센서 노드들로 제 1 프리앰블 및 상기 제 1 프리앰블에 후속하는 제 1 요청 패킷을 송신하는 단계로서, 상기 제 1 요청 패킷은 저전력 실시간 스케줄링 정보를 포함하는, 상기 송신하는 단계;

상기 복수의 센서 노드들 중 적어도 하나가, 상기 제 1 프리앰블의 센싱에 응답하여 활성 모드를 유지함으로써, 상기 제 1 요청 패킷을 수신하는 단계;

상기 복수의 센서 노드들 중 적어도 하나가, 상기 저전력 실시간 스케줄링 정보를 기반으로 상기 헤더 노드로 응답 패킷을 송신하는 단계; 및

상기 헤더 노드가, 상기 응답 패킷에 포함된 데이터를 집계하는 단계를 포함하는, 센서 네트워크 시스템의 최소 에너지 데이터 집계 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 저전력 실시간 스케줄링 정보는 스케줄링 시간, 요청 태스크 및 전력 모드에 관한 정보를 포함하고,

상기 응답 패킷을 송신하는 단계는, 상기 스케줄링 시간 동안 상기 전력 모드를 유지한 후, 상기 요청 태스크를 수행하는 단계를 포함하는, 센서 네트워크 시스템의 최소 에너지 데이터 집계 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 프리앰블의 센싱은 비동기식으로 수행되고,

상기 제 1 요청 패킷의 수신에 응답하여 상기 헤더 노드와 상기 복수의 센서 노드들 중 적어도 하나 간의 시간 동기화가 수행되는, 센서 네트워크 시스템의 최소 에너지 데이터 집계 방법.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 시간 동기화는 상기 제 1 요청 패킷에 대응하는 시간 구간 동안에만 유지되는, 센서 네트워크 시스템의 최소 에너지 데이터 집계 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 요청 패킷은 상기 복수의 센서 노드들 중 단일 노드, 선택적 노드 또는 모든 노드에 대한 요청 패킷인, 센서 네트워크 시스템의 최소 에너지 데이터 집계 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 요청 패킷은 타겟 센서 노드에 대한 정보를 나타내는 참가 리스트를 포함하는, 센서 네트워크 시스템의 최소 에너지 데이터 집계 방법.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 참가 리스트는 적어도 하나 이상의 타겟 센서 노드의 ID 및 상기 ID 의 인덱스 넘버를 포함하는, 센서 네트워크 시스템의 최소 에너지 데이터 집성 방법.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 응답 패킷을 송신하는 단계는,

상기 타겟 센서 노드의 ID 의 개수를 기반으로, 복수의 동적 할당 슬롯 (dynamic assigned slot, DAS) 을 포함하는 가변 응답 프레임 (variable response frames, VRF) 을 형성하는 단계; 및

상기 복수의 센서 노드들 중 어느 하나가, 해당 센서 노드의 ID 가 상기 참가 리스트에 포함되었다는 결정에 응답하여, 상기 참가 리스트에 포함된 상기 ID 의 인덱스 넘버에 대응하는 DAS 에서는 활성 모드를 유지하여 상기 응답 패킷을 송신하고, 상기 VRF 의 나머지 DAS 에서는 슬립 모드를 유지하는 단계를 포함하는, 센서 네트워크 시스템의 최소 에너지 데이터 집성 방법.

청구항 9

제 7 항에 있어서,

상기 응답 패킷을 송신하는 단계는,

상기 타겟 센서 노드의 ID 의 개수를 기반으로, 복수의 동적 할당 슬롯 (dynamic assigned slot, DAS) 을 포함하는 가변 응답 프레임 (variable response frames, VRF) 을 형성하는 단계; 및

상기 복수의 센서 노드들 중 어느 하나가, 해당 센서 노드의 ID 가 상기 참가 리스트에 포함되지 않았다는 결정에 응답하여, 상기 VRF 의 모든 DAS 에서 슬립 모드를 유지하는 단계를 포함하는, 센서 네트워크 시스템의 최소 에너지 데이터 집성 방법.

청구항 10

제 7 항에 있어서,

상기 응답 패킷에 포함된 데이터를 집성하는 단계는, 상기 참가 리스트에 포함된 적어도 하나 이상의 타겟 센서 노드의 ID 중에서, 응답 패킷을 송신한 센서 노드의 ID 를 삭제함으로써 상기 참가 리스트를 갱신하는 단계를 포함하고,

상기 방법은,

상기 헤더 노드가, 상기 복수의 센서 노드들로 제 2 프리앰블 및 상기 제 2 프리앰블에 후속하는 제 2 요청 패킷을 송신하는 단계로서, 상기 제 2 요청 패킷은 저전력 실시간 스케줄링 정보 및 상기 갱신된 참가 리스트를 포함하는, 상기 송신하는 단계를 더 포함하는, 센서 네트워크 시스템의 최소 에너지 데이터 집성 방법.

청구항 11

최소 에너지 데이터 집성 (minimum energy data aggregation) 을 수행하는 센서 네트워크 시스템으로서,

복수의 센서 노드들로 제 1 프리앰블 및 상기 제 1 프리앰블에 후속하는 제 1 요청 패킷을 송신하고, 상기 복수의 센서 노드들 중 적어도 하나로부터의 응답 패킷에 포함된 데이터를 집성하는 헤더 노드로서, 상기 제 1 요청 패킷은 저전력 실시간 스케줄링 정보를 포함하는, 상기 헤더 노드; 및

상기 제 1 프리앰블의 센싱에 응답하여 활성 모드를 유지함으로써, 상기 제 1 요청 패킷을 수신하고, 상기 저전력 실시간 스케줄링 정보를 기반으로 상기 헤더 노드로 응답 패킷을 송신하는 복수의 센서 노드들을 포함하는, 센서 네트워크 시스템.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 저전력 실시간 스케줄링 정보는 스케줄링 시간, 요청 태스크 및 전력 모드에 관한 정보를 포함하고,

상기 복수의 센서 노드들 중 적어도 하나는, 상기 스케줄링 시간 동안 상기 전력 모드를 유지한 후, 상기 요청 태스크를 수행하는, 센서 네트워크 시스템.

청구항 13

제 11 항에 있어서,

상기 제 1 프리앰블의 센싱은 비동기식으로 수행되고,

상기 제 1 요청 패킷의 수신에 응답하여 상기 헤더 노드와 상기 복수의 센서 노드들 중 적어도 하나 간의 시간 동기화가 수행되는, 센서 네트워크 시스템.

청구항 14

제 13 항에 있어서,

상기 시간 동기화는 상기 제 1 요청 패킷에 대응하는 시간 구간 동안에만 유지되는, 센서 네트워크 시스템.

청구항 15

제 11 항에 있어서,

상기 제 1 요청 패킷은 상기 복수의 센서 노드들 중 단일 노드, 선택적 노드 또는 모든 노드에 대한 요청 패킷인, 센서 네트워크 시스템.

청구항 16

제 11 항에 있어서,

상기 제 1 요청 패킷은 타겟 센서 노드에 대한 정보를 나타내는 참가 리스트를 포함하는, 센서 네트워크 시스템.

청구항 17

제 16 항에 있어서,

상기 참가 리스트는 적어도 하나 이상의 타겟 센서 노드의 ID 및 상기 ID 의 인덱스 번호를 포함하는, 센서 네트워크 시스템.

청구항 18

제 17 항에 있어서,

상기 복수의 센서 노드들 중 어느 하나는, 상기 타겟 센서 노드의 ID 의 개수를 기반으로, 복수의 동적 할당 슬롯 (dynamic assigned slot, DAS) 을 포함하는 가변 응답 프레임 (variable response frames, VRF) 을 형성하고, 해당 센서 노드의 ID 가 상기 참가 리스트에 포함되었다는 결정에 응답하여, 상기 참가 리스트에 포함된 상기 ID 의 인덱스 번호에 대응하는 DAS 에서는 활성 모드를 유지하여 상기 응답 패킷을 송신하고, 상기 VRF 의 나머지 DAS 에서는 슬립 모드를 유지하는, 센서 네트워크 시스템.

청구항 19

제 17 항에 있어서,

상기 복수의 센서 노드들 중 어느 하나는, 상기 타겟 센서 노드의 ID 의 개수를 기반으로, 복수의 동적 할당 슬롯 (dynamic assigned slot, DAS) 을 포함하는 가변 응답 프레임 (variable response frames, VRF) 을 형성하고, 해당 센서 노드의 ID 가 상기 참가 리스트에 포함되지 않았다는 결정에 응답하여, 상기 VRF 의 모든 DAS 에서 슬립 모드를 유지하는, 센서 네트워크 시스템.

청구항 20

제 17 항에 있어서,

상기 헤더 노드는, 상기 데이터의 집성에 수반하여 상기 참가 리스트에 포함된 적어도 하나 이상의 타겟 센서 노드의 ID 중에서, 응답 패킷을 송신한 센서 노드의 ID 를 삭제함으로써 상기 참가 리스트를 갱신하고, 상기 데이터 집성의 완료 후에 상기 복수의 센서 노드들로 제 2 프리앰블 및 상기 제 2 프리앰블에 후속하는 제 2 요청 패킷을 더 송신하며, 상기 제 2 요청 패킷은 저전력 실시간 스케줄링 정보 및 상기 갱신된 참가 리스트를 포함하는, 센서 네트워크 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 센서 네트워크 시스템의 데이터 집성 방법 및 그 센서 네트워크 시스템에 관한 것으로서, 보다 구체적으로는 요청 지향적 센서 네트워크 모델을 수행할 수 있는 센서 네트워크 시스템의 최소 에너지 데이터 집성 방법 및 그 센서 네트워크 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 10년 동안, 무선 센서 네트워크의 급격한 발전이 다양한 센서 네트워크 어플리케이션의 발전을 가능하게 해왔다. 그러나 이러한 다양성에도 불구하고, 대부분의 센서 네트워크 어플리케이션은 이벤트 구동형 (event-driven) 또는 주기적 보고 (periodic report) 모델을 기반으로 설계되었다.

[0003] 이벤트 구동형 모델은 주기적인 센싱 작용을 수행한다. 또한, 센싱 타겟이 감지되거나 센싱된 값이 지정된 한계치를 초과하는 경우에만, 각각의 센서는 센싱된 데이터를 센서 네트워크를 통해 서버에 전송할 것이다. 상기 모델은 주로 군사, 보안 또는 감시 용도에 사용된다.

[0004] 다른 한편으로는, 주기적 보고 모델에서, 각각의 센서 노드는 센싱된 데이터를 지정된 간격으로 서버에 전송한다. 특정 지역에서의 환경적인 변화를 모니터링하기 위한 많은 어플리케이션들이 주로 주기적 보고 모델을 사용하고 있다. 그러나 상기 두 개의 대표적인 센서 네트워크 모델이 단방향 데이터 전송 모델을 기반으로 하기 때문에, 서버로부터의 다양한 문의 또는 실시간 요청을 처리하기 어렵다. 최근, 양방향 통신을 기반으로 하는 보다 유연하고 확장 가능한 센서 네트워크 어플리케이션, 예컨대 다양한 태스크 (서비스) 가 서버로부터의 다양한 서비스 요청 또는 임무에 따라 협동적으로 실행되는 서비스-중심 센서 네트워크 모델 (비특허문헌 1 참조) 에 대한 요구가 증가하고 있다. 이러한 어플리케이션을 지원하기 위하여, 이벤트 구동형 또는 주기적 보고 모델 대신에, 요청 지향적 센서 네트워크 모델 (request oriented sensor network model) 이 요구된다.

선행기술문헌

비특허문헌

[0005] (비특허문헌 0001) D. Gracanin et al., "A service-centric model for wireless sensor networks," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 23, no. 6, pp. 1159-1166, Jun. 2005.

(비특허문헌 0002) Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs), IEEE Std 802.15.4, IEEE Standard for Information Technology, 2006.

(비특허문헌 0003) Amendment 5: Amendment to the MAC Sub-layer for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs) Amendment 5, IEEE P802.15.4e Draft, IEEE Standard for Information Technology, 2011.

(비특허문헌 0004) C. Schurgers et al., "Optimizing sensor networks in the energy-latency-density design space," IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 1, no. 1, pp. 70-80, Jan. 2002.

(비특허문헌 0005) Y. Sun et al., "RI-MAC: a receiver-initiated asynchronous duty cycle MAC protocol for dynamic traffic loads in wireless sensor networks," in Proceedings of the 6th ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems, Raleigh, NC, November 4-7, 2008, pp. 1-14.

(비특허문헌 0006) M. J. Miller and N. F. Vaidya, "A MAC protocol to reduce sensor network energy consumption using a wakeup radio," IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 4, no. 3, pp. 228-242, May 2005.

- (비특허문헌 0007) Y. Wei et al., "An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks," in Proceedings of the 21st Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, New York, NY, June 23-27, 2002, pp. 1567-1576.
- (비특허문헌 0008) Y. Wei et al., "Medium access control with coordinated adaptive sleeping for wireless sensor networks," IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 12, no. 3, pp. 493-506, Jun. 2004.
- (비특허문헌 0009) G. Lu et al., "An adaptive energy-efficient and low-latency MAC for data gathering in wireless sensor networks," in Proceedings of the 18th International Parallel and Distributed Processing Symposium, Santa Fe, NM, April 26-30, 2004, p. 224.
- (비특허문헌 0010) W. Ye et al., "Ultra-low duty cycle MAC with scheduled channel polling," in Proceedings of the 4th International Conference on Embedded Networked Sensor Systems, Boulder, CO, November 1-3, 2006, pp. 321-334.
- (비특허문헌 0011) L. F. M. van Hoesel and P. J. M. Havinga, "A lightweight medium access protocol (LMAC) for wireless sensor networks: reducing preamble transmissions and transceiver state switches," in 1st International Workshop on Networked Sensing Systems, Tokyo, Japan, June 22-23, 2004.
- (비특허문헌 0012) S. Chatterjea et al., "AI-LMAC: an adaptive, informationcentric and lightweight MAC protocol for wireless sensor networks," in Proceedings of the Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing Conference, Melbourne, Australia, December 4-17, 2004, pp. 381-388.
- (비특허문헌 0013) V. Rajendran et al., "Energy-efficient, collision-free medium access control for wireless sensor networks," Wireless Networks, vol. 12, no. 1, pp. 63-78, Feb. 2006.
- (비특허문헌 0014) H. Adam et al., "CoRe-MAC: a MAC-protocol for cooperative relaying in wireless networks," in Proceedings of the IEEE Global Telecommunications Conference, Honolulu, HI, November 30-December 4, 2009, pp. 1-6.
- (비특허문헌 0015) I. Rhee et al., "Z-MAC: a hybrid MAC for wireless sensor networks," in Proceedings of the 3rd International Conference on Embedded Networked Sensor Systems, San Diego, CA, November 2-4, 2005, pp. 90-101.
- (비특허문헌 0016) T. Zheng et al., "PMAC: an adaptive energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks," in Proceedings of the 19th IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium, Denver, CO, April 4-8, 2005.
- (비특허문헌 0017) J. Polastre et al., "Versatile low power media access for wireless sensor networks," in Proceedings of the 2nd International Conference on Embedded Networked Sensor Systems, Baltimore, MD, November 3-5, 2004, pp. 95-107.
- (비특허문헌 0018) M. Buettner et al., "X-MAC: a short preamble MAC protocol for duty-cycled wireless sensor networks," in Proceedings of the 4th International Conference on Embedded Networked Sensor Systems, Boulder, CO, November 1-3, 2006, pp. 307-320.
- (비특허문헌 0019) A. El-Hoiydi and J. D. Decotignie, "WiseMAC: an ultra low power MAC protocol for the downlink of infrastructure wireless sensor networks," in Proceedings of the 9th International Symposium on Computers and Communications, Alexandria, Egypt, June 28-July 1, 2004, pp. 244-251.
- (비특허문헌 0020) A. B. Nacef et al., "A cooperative low power Mac protocol for wireless sensor networks," in Proceedings of the IEEE International Conference on Communications, Kyoto, Japan, June 5-9, 2011, pp. 1-6.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0006] 요청 지향적 센서 네트워크 모델은 이벤트 구동형 및 주기적 모델에 대한 일반적인 요건에 더불어 하기와 같은 특정 요건을 갖는다.
- [0007] **1) 최소 에너지 작동**
- [0008] 에너지 효율은 센서 네트워크에서 가장 중요한 요건 중 하나이다. 특히, 요청 지향적 모델은, 이벤트 구동형 또는 주기적 모델을 이용하는 것보다, 센서 노드가 에너지 효율적인 방식으로 작동하는 것을 더욱 어렵게 한다.
- [0009] **2) 양방향 통신**
- [0010] 요청 지향적 모델에 대하여, 서버 및 센서 노드 사이의 양방향 통신은 기본적인 요건이다. 또한, 서버로부터의 요청은 큰 실시간으로 센서 네트워크에 전파될 수 있어야 한다.
- [0011] **3) 신뢰성 있는 데이터 집계**
- [0012] 헤더 노드 (예를 들어, 코디네이터) 는 정확하게 설계된 노드로부터 데이터를 집계할 수 있어야 한다. 또한, 집계 방법은 엄격한 환경에서, 설계된 노드로부터 모든 응답을 신뢰성 있게 집계할 수 있는 기능을 포함해야 한다.
- [0013] **4) 결정적 응답 시간**
- [0014] 서비스 또는 문의 요청이 이루어진 순간으로부터 모든 응답이 도달할 때까지 걸리는 총 응답 시간은 결정적이어야 한다. 비결정적 응답 시간은 모든 응답에 대한 대기 시간을 측정하는 것을 불가능하게 할 수 있다.
- [0015] **5) 다양한 요청 또는 서비스에 대한 지원**
- [0016] 센서 네트워크는 다양한 요청 또는 서비스를 처리할 수 있어야 한다. 이를 달성하기 위하여, 가변적인 타겟 노드 선택 (단일 노드, 선택적 노드 또는 모든 노드) 이 지원되어야 하며, 또한 선택된 노드들 사이의 통신이 그 순간에 통신에 참여하고 있지 않은 다른 노드에 거의 영향을 주지 않아야 한다.
- [0017] 상기와 같은 엄격한 요건은 기존의 네트워크 모델을 요청 지향적 센서 네트워크에 적용하는 것을 어렵게 한다. 이에 따라, 저전력 센서 네트워크 프로토콜 설계, 보다 구체적으로는 매체 접근 제어 (medium access control, MAC) 프로토콜에 대해 수행된 수많은 연구가 있었지만 (비특허문헌 1 내지 비특허문헌 20 참조), 이벤트 구동형 또는 주기적 모델을 기반으로 하는 이들 중 어느 것도 요청 지향적 센서 네트워크에 대한 요건을 만족시키지 않았다.
- [0018] 따라서, 전술한 문제점을 해결하기 위한 본 발명의 제 1 목적은, 요청 지향적 센서 네트워크 모델에 대한 상기 특정 요건을 만족시킬 수 있고, 최소 에너지 작동을 달성할 수 있는, 센서 네트워크 시스템의 최소 에너지 데이터 집계 (minimum energy data aggregation) 방법을 제공하는 것이다.
- [0019] 또한, 전술한 문제점을 해결하기 위한 본 발명의 제 2 목적은, 요청 지향적 센서 네트워크 모델에 대한 상기 특정 요건을 만족시킬 수 있고, 최소 에너지 작동을 달성할 수 있는, 최소 에너지 데이터 집계 (minimum energy data aggregation) 을 수행하는 센서 네트워크 시스템을 제공하는 것이다.
- [0020] 다만, 본 발명의 해결하고자 하는 과제는 이에 한정되는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위에서 다양하게 확장될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0021] 전술한 문제점을 해결하기 위하여, 본 발명은 최소 에너지 데이터 집계 (minimum energy data aggregation, MEDA) 방법을 수행할 수 있다. 제안된 발명은 아이들 리스닝 (idle listening) 을 최소화하기 위해 기본적으로 저전력 리스닝 (low power listening, LPL) 을 사용한다. 그러나 다른 LPL 프로토콜과 달리, 본 발명에 따른 MEDA 는 온디맨드 시간 동기화 (on-demand time synchronization), 가변 응답 프레임 (variable response frame, VRF) 및 적응적 재전송 (adaptive retransmission) 과 같은 기술적 특징을 포함할 수 있다. 또한, 최소 에너지 작동을 달성하기 위하여, 본 발명에 따른 MEDA 는 저전력 실시간 스케줄러를 사용할 수 있다.
- [0022] 보다 구체적으로, 본 발명의 일 실시예에 따른 센서 네트워크 시스템의 최소 에너지 데이터 집계 (minimum energy data aggregation) 방법은, 헤더 노드가, 복수의 센서 노드들로 제 1 프리앰블 및 상기 제 1 프리앰블에

후속하는 제 1 요청 패킷을 송신하는 단계로서, 상기 제 1 요청 패킷은 저전력 실시간 스케줄링 정보를 포함하는, 상기 송신하는 단계; 상기 복수의 센서 노드들 중 적어도 하나가, 상기 제 1 프리앰블의 센싱에 응답하여 활성 모드를 유지함으로써, 상기 제 1 요청 패킷을 수신하는 단계; 상기 복수의 센서 노드들 중 적어도 하나가, 상기 저전력 실시간 스케줄링 정보를 기반으로 상기 헤더 노드로 응답 패킷을 송신하는 단계; 및 상기 헤더 노드가, 상기 응답 패킷에 포함된 데이터를 집성하는 단계를 포함할 수 있다.

- [0023] 일 실시예에 따르면, 상기 저전력 실시간 스케줄링 정보는 스케줄링 시간, 요청 태스크 및 전력 모드에 관한 정보를 포함하고, 상기 응답 패킷을 송신하는 단계는, 상기 스케줄링 시간 동안 상기 전력 모드를 유지한 후, 상기 요청 태스크를 수행하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0024] 일 실시예에 따르면, 상기 제 1 프리앰블의 센싱은 비동기식으로 수행되고, 상기 제 1 요청 패킷의 수신에 응답하여 상기 헤더 노드와 상기 복수의 센서 노드들 중 적어도 하나 간의 시간 동기화가 수행될 수 있다.
- [0025] 일 실시예에 따르면, 상기 시간 동기화는 상기 제 1 요청 패킷에 대응하는 시간 구간 동안에만 유지될 수 있다.
- [0026] 일 실시예에 따르면, 상기 제 1 요청 패킷은 상기 복수의 센서 노드들 중 단일 노드, 선택적 노드 또는 모든 노드에 대한 요청 패킷일 수 있다.
- [0027] 일 실시예에 따르면, 상기 제 1 요청 패킷은 타겟 센서 노드에 대한 정보를 나타내는 참가 리스트를 포함할 수 있다.
- [0028] 일 실시예에 따르면, 상기 참가 리스트는 적어도 하나 이상의 타겟 센서 노드의 ID 및 상기 ID의 인덱스 번호를 포함할 수 있다.
- [0029] 일 실시예에 따르면, 상기 응답 패킷을 송신하는 단계는, 상기 타겟 센서 노드의 ID의 개수를 기반으로, 복수의 동적 할당 슬롯 (dynamic assigned slot, DAS)을 포함하는 가변 응답 프레임 (variable response frames, VRF)을 형성하는 단계; 및 상기 복수의 센서 노드들 중 어느 하나가, 해당 센서 노드의 ID가 상기 참가 리스트에 포함되었다는 결정에 응답하여, 상기 참가 리스트에 포함된 상기 ID의 인덱스 번호에 대응하는 DAS에서는 활성 모드를 유지하여 상기 응답 패킷을 송신하고, 상기 VRF의 나머지 DAS에서는 슬립 모드를 유지하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0030] 일 실시예에 따르면, 상기 응답 패킷을 송신하는 단계는, 상기 타겟 센서 노드의 ID의 개수를 기반으로, 복수의 동적 할당 슬롯 (dynamic assigned slot, DAS)을 포함하는 가변 응답 프레임 (variable response frames, VRF)을 형성하는 단계; 및 상기 복수의 센서 노드들 중 어느 하나가, 해당 센서 노드의 ID가 상기 참가 리스트에 포함되지 않았다는 결정에 응답하여, 상기 VRF의 모든 DAS에서 슬립 모드를 유지하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0031] 일 실시예에 따르면, 상기 응답 패킷에 포함된 데이터를 집성하는 단계는, 상기 참가 리스트에 포함된 적어도 하나 이상의 타겟 센서 노드의 ID 중에서, 응답 패킷을 송신한 센서 노드의 ID를 삭제함으로써 상기 참가 리스트를 갱신하는 단계를 포함하고, 상기 방법은, 상기 헤더 노드가, 상기 복수의 센서 노드들로 제 2 프리앰블 및 상기 제 2 프리앰블에 후속하는 제 2 요청 패킷을 송신하는 단계로서, 상기 제 2 요청 패킷은 저전력 실시간 스케줄링 정보 및 상기 갱신된 참가 리스트를 포함하는, 상기 송신하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0032] 한편, 본 발명의 다른 실시예에 따른 최소 에너지 데이터 집성 (minimum energy data aggregation)을 수행하는 센서 네트워크 시스템은 복수의 센서 노드들로 제 1 프리앰블 및 상기 제 1 프리앰블에 후속하는 제 1 요청 패킷을 송신하고, 상기 복수의 센서 노드들 중 적어도 하나로부터의 응답 패킷에 포함된 데이터를 집성하는 헤더 노드로서, 상기 제 1 요청 패킷은 저전력 실시간 스케줄링 정보를 포함하는, 상기 헤더 노드; 및 상기 제 1 프리앰블의 센싱에 응답하여 활성 모드를 유지함으로써, 상기 제 1 요청 패킷을 수신하고, 상기 저전력 실시간 스케줄링 정보를 기반으로 상기 헤더 노드로 응답 패킷을 송신하는 복수의 센서 노드들을 포함할 수 있다.
- [0033] 일 실시예에 따르면, 상기 저전력 실시간 스케줄링 정보는 스케줄링 시간, 요청 태스크 및 전력 모드에 관한 정보를 포함하고, 상기 복수의 센서 노드들 중 적어도 하나는, 상기 스케줄링 시간 동안 상기 전력 모드를 유지한 후, 상기 요청 태스크를 수행할 수 있다.
- [0034] 일 실시예에 따르면, 상기 제 1 프리앰블의 센싱은 비동기식으로 수행되고, 상기 제 1 요청 패킷의 수신에 응답하여 상기 헤더 노드와 상기 복수의 센서 노드들 중 적어도 하나 간의 시간 동기화가 수행될 수 있다.
- [0035] 일 실시예에 따르면, 상기 시간 동기화는 상기 제 1 요청 패킷에 대응하는 시간 구간 동안에만 유지될 수 있다.

- [0036] 일 실시예에 따르면, 상기 제 1 요청 패킷은 상기 복수의 센서 노드들 중 단일 노드, 선택적 노드 또는 모든 노드에 대한 요청 패킷일 수 있다.
- [0037] 일 실시예에 따르면, 상기 제 1 요청 패킷은 타겟 센서 노드에 대한 정보를 나타내는 참가 리스트를 포함할 수 있다.
- [0038] 일 실시예에 따르면, 상기 참가 리스트는 적어도 하나 이상의 타겟 센서 노드의 ID 및 상기 ID의 인덱스 번호를 포함할 수 있다.
- [0039] 일 실시예에 따르면, 상기 복수의 센서 노드들 중 어느 하나는, 상기 타겟 센서 노드의 ID의 개수를 기반으로, 복수의 동적 할당 슬롯 (dynamic assigned slot, DAS)을 포함하는 가변 응답 프레임 (variable response frames, VRF)을 형성하고, 해당 센서 노드의 ID가 상기 참가 리스트에 포함되었다는 결정에 응답하여, 상기 참가 리스트에 포함된 상기 ID의 인덱스 번호에 대응하는 DAS에서는 활성 모드를 유지하여 상기 응답 패킷을 송신하고, 상기 VRF의 나머지 DAS에서는 슬립 모드를 유지할 수 있다.
- [0040] 일 실시예에 따르면, 상기 복수의 센서 노드들 중 어느 하나는, 상기 타겟 센서 노드의 ID의 개수를 기반으로, 복수의 동적 할당 슬롯 (dynamic assigned slot, DAS)을 포함하는 가변 응답 프레임 (variable response frames, VRF)을 형성하고, 해당 센서 노드의 ID가 상기 참가 리스트에 포함되지 않았다는 결정에 응답하여, 상기 VRF의 모든 DAS에서 슬립 모드를 유지할 수 있다.
- [0041] 일 실시예에 따르면, 상기 헤더 노드는, 상기 데이터의 집성에 수반하여 상기 참가 리스트에 포함된 적어도 하나 이상의 타겟 센서 노드의 ID 중에서, 응답 패킷을 송신한 센서 노드의 ID를 삭제함으로써 상기 참가 리스트를 갱신하고, 상기 데이터 집성의 완료 후에 상기 복수의 센서 노드들로 제 2 프리앰블 및 상기 제 2 프리앰블에 후속하는 제 2 요청 패킷을 더 송신하며, 상기 제 2 요청 패킷은 저전력 실시간 스케줄링 정보 및 상기 갱신된 참가 리스트를 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0042] 본 발명의 일 실시예에 따른 최소 에너지 데이터 집성 방법 및 그 센서 네트워크 시스템은 기존의 이벤트 구동형 또는 주기적 보고 모델과 상이한 요청 지향적 센서 네트워크를 수행할 수 있다. 특히, 이벤트 구동형 또는 주기적 모델을 기반으로 하는 기존의 저전력 프로토콜이 최소 에너지 작동, 양방향 통신, 신뢰성 있는 데이터 집성, 결정적 집성 시간 및 다양한 요청 지원과 같은 특정 요건들을 만족하지 못한 문제를 해결하기 위해, 본 발명은 저전력 실시간 스케줄러, 온디맨드 시간 동기화, VRF 구조 및 적응적 재전송으로 구성된 MEDA 방법을 수행할 수 있다.
- [0043] 따라서, 본 발명의 일 실시예에 따른 최소 에너지 데이터 집성 방법 및 그 센서 네트워크 시스템은 결정적 집성 시간을 보장하고, 최소 에너지 작동을 가능하게 하고, 신뢰성 있는 데이터 집성 서비스를 제공할 수 있으며, 최종적으로, 요청 지향적 모델을 기반으로 하는 신규한 센서 네트워크의 설계 및 시행에 기여할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0044] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 최소 에너지 데이터 집성을 수행하는 센서 네트워크 시스템의 구성을 나타내는 블록도이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 센서 네트워크 시스템의 최소 에너지 데이터 집성 방법의 흐름도이다.
- 도 3은 도 2의 응답 패킷을 송신하는 단계의 제 1 상세 흐름도이다.
- 도 4는 도 2의 응답 패킷을 송신하는 단계의 제 2 상세 흐름도이다.
- 도 5는 저전력 실시간 스케줄러의 예시도이다.
- 도 6은 프리앰블 센싱 기간을 나타낸다.
- 도 7은 최소 에너지 데이터 집성의 구조 및 작동 예를 나타낸다.
- 도 8은 가변 응답 프레임 작동에 대한 pseudo-code (pseudo-code)를 나타낸다 (DAS는 동적 할당 슬롯 (dynamic assigned slot)).
- 도 9는 최소 에너지 데이터 집성의 프로토 타입을 나타낸다.

도 10 은 최소 에너지 데이터 집성의 테스트 베드를 나타낸다.

도 11 은 집성 시간 vs 노드의 개수를 나타내며, (a) PPSI = 1, (b) PPSI = 2, (c) PPSI = 3 및 (d) PPSI = 4 를 나타낸다 (PPSI 는 주기적 프리앰블 센싱 간격, MEDA 는 최소 에너지 데이터 집성, LPL 은 저전력 리스닝).

도 12 는 센서 노드 수명 (a, LPL, b, MEDA) 및 코디네이터 수명 (c, LPL, d, MEDA) 분석을 나타낸다 (LPL 은 저전력 리스닝, MEDA 는 최소 에너지 데이터 집성, PPSI 는 주기적 프리앰블 센싱 간격).

도 13 은 평균 출력을 나타낸다 (LPL 은 저전력 리스닝, MEDA 는 최소 에너지 데이터 집성).

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0045] 본문에 개시되어 있는 본 발명의 실시예들에 대해서, 특정한 구조적 내지 기능적 설명들은 단지 본 발명의 실시예를 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로, 본 발명의 실시예들은 다양한 형태로 실시될 수 있으며 본문에 설명된 실시예들에 한정되는 것으로 해석되어서는 아니 된다.

[0046] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 형태를 가질 수 있는바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 본문에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나 이는 본 발명을 특정한 개시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0047] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 실시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0048] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미이다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미인 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

[0049] 이하, 첨부한 도면들을 참조하여, 본 발명의 바람직한 실시예를 보다 상세하게 설명하고자 한다. 도면상의 동일한 구성요소에 대해서는 동일한 참조부호를 사용하고 동일한 구성요소에 대해서 중복된 설명은 생략한다.

관련 연구

[0052] 저전력 또는 에너지 효율적 프로토콜 설계는 센서 네트워크에서 중요한 문제 중 하나로 고려된다. 특히, 전력 관리와 결부된 MAC 프로토콜은, 모든 상부층 프로토콜이 MAC 층 서비스를 사용해야 한다는 점에서, 가장 중요하다. 지금까지 저전력 MAC 프로토콜에 대한 수많은 연구가 수행되어 왔다. 저전력 MAC 프로토콜에 대한 연구는 크게 802.15.4 를 기반으로 하는 표준 접근법 및 전통적인 센서 네트워크를 기반으로 하는 비표준 접근법으로 분류될 수 있다.

[0053] IEEE802.15.4 (비특허문헌 2 참조) 는 대표적인 표준 기반 저전력 MAC 프로토콜이며, 이는 코디네이터의 비콘 프레임을 기반으로 하는 슈퍼프레임을 유지시킴으로써 저전력 무선 개인 영역 네트워크 (wireless personal area network, WPAN) 를 구성하는 것을 목적으로 한다. 그럼에도 불구하고, 현장에 이미 배치된 WPAN 장치의 수명은 본 발명자들이 예상한 것 만큼 보장되지 않는다. 이는 슈퍼프레임 내에서 CSMA/CA (carrier sense multiple access/collision avoidance) 랜덤 접근을 이용하는 고유의 특성 때문이다. 802.15.4 의 한계를 극복함으로써 에너지 효율을 개선시키기 위하여, 최근 TG4e (비특허문헌 3 참조) 는 코디네이트되고 샘플링된 리스닝 및 리시버에 의해 개시된 전송의 2 가지 상이한 접근법을 제안하였다. 전자 접근법은 송신자 (sender) 가 채널 샘플링을 주기적으로 수행하고 있는 리시버를 웨이크업한 후 데이터 통신을 수행하는 방법이다. 이는 긴 웨이크업 시퀀스를 리시버에게 송신함으로써 수행된다. 후자 접근법은 송신자가 전송할 데이터를 가지고 있는지의 여부를 리시버가 주기적으로 확인하는 방법이다.

[0054] 비표준 기반 저전력 MAC 프로토콜은 또한 랜덤 기반, 슬롯 기반 (slot-based), 시분할다중접속 (time division multiple access, TDMA) 기반, 및 랜덤/TDMA 하이브리드, 및 LPL 로 분류될 수 있다. 각각의 프로토콜의 간략

한 특성이 하기의 표 1에 명확히 기재되어 있다. 랜덤 기반 프로토콜 (비특허문헌 4 내지 비특허문헌 7 참조)은 IEEE802.15.4 에서 볼 수 있는 바와 같이, 컨텐션 기반 (contention-based) MAC 프로토콜을 이용한다. 슬롯 기반 접근법 (비특허문헌 8 내지 비특허문헌 10 참조)은 전용 슬롯에서의 리스닝을 수행하기 위한 다양한 스케줄 알고리즘을 제안한다. TDMA 기반 접근법 (비특허문헌 11 내지 비특허문헌 14 참조)은 글로벌 동기화를 기반으로 하는 마스터 및 슬레이브 사이의 반복적인 프레임 구조를 이용한다. 하이브리드 접근법 (비특허문헌 15 및 비특허문헌 16 참조)은 랜덤 접근법 및 TDMA MAC를 결합하는 몇몇의 하이브리드 방법을 제안한다. 특히, 리시버에서의 아이들 리스닝을 최소화하기 위하여 프리앰블 (preamble) 센싱을 기반으로 하는 LPL 접근법 (비특허문헌 17 내지 비특허문헌 20 참조)이 에너지 효율 및 알고리즘 복잡성의 관점에서, 다른 접근법들에 비해 우수한 성능을 나타낸다.

[표 1] 저전력 MAC 프로토콜의 요약

카테고리	표제	간략한 특성
랜덤 기반	STEM[4]	- 웨이크업 플레인(wake up plane) 및 데이터 플레인(data plane)에 대하여 별도의 RF를 이용한다. - 웨이크업 플레인만이 리시버를 웨이크업 하는데에 사용된다.
	RI-MAC[5]	- 리시버가 통신을 개시한다. - 리시버가 주기적 비콘을 전송하고, 센더가 비콘을 리스닝하자마자 데이터를 전송하기 시작한다.
	RATE-EST[6]	- STEM과 마찬가지로, 리시버를 웨이크업 하는데에 추가적인 RF를 이용한다. - 통신에 참가되지 않은 노드들을 웨이크업 하는 것을 방지하기 위하여, 웨이크업 시퀀스를 스케줄링한다.
	SMAC[7]	- 전형적인 CSMA 스타일 MAC 프로토콜. - 가상 클러스터 내에서 노드들을 스케줄링하고, 에너지 소비를 감소시키기 위하여 고정된 듀티 사이클을 이용한다.
슬롯 기반 (스케줄링됨)	SMAC/AL[8]	- 적응 리스닝을 포함하는 향상된 버전의 SMAC - T-MAC 에서와 같이, 적응 듀티 사이클을 이용하여 활성 구간을 확장시킨다.
	DMAC[9]	- 데이터 수집 MAC 프로토콜 - 컨버지캐스트(convergecast)를 적용함으로써 지연 오버헤드를 감소시킨다. - 메시지가 수신되자마자 자손들(descendants) 사이에 슬롯을 스케줄링한다.
	SCP-MAC[10]	- 스케줄링된 채널 폴링(polling) MAC - SMAC/AL에 효율적인 채널 폴링 방법을 적용한다. - 모든 노드들은 통상적인 슬롯에서 동기화되고, 센더는 비지톤(busy tone)을 전송함으로써 다른 노드들과 경쟁하고, 슬롯의 시작에서 리시버를 웨이크업 하는 데이터를 전송한다.

TDMA 기반	LMAC[11]	- 경량 MAC - 자기조직 TDMA - 모든 노드들은 고정된 길이의 프레임 내에 그 자신의 슬롯을 보유한다. - 점유된 슬롯 내에 브로드캐스팅하고, 새로운 노드는 고유한 2 개의 홉 스톱을 선택하여, 상기 노드가 충돌 없이 데이터를 전송할 수 있도록 한다.
	AI-MAC[12]	- 적응 정보-중심 및 경량 MAC - 향상된 버전의 LMAC - 각각의 노드가 복수의 슬롯을 점유하도록 한다.
	TRAMA[13]	- 트래픽 적응 매체 접속 - 분산형 슬롯 선택 알고리즘을 기반으로 하는 TDMA MAC - 다중-홉 통신을 지원하기 위하여, 2 개의 홉 이웃의 정보를 교환한다.
	CoRe-MAC[14]	- 협동적 릴레이 MAC - 채널 예약을 위해 RTS/CTS를 이용하고, 채널을 통해 릴레이 섹션을 수행한다.
랜덤/TDMA 하이브리드	ZMAC[15]	- Zebra-MAC - CSMA로부터 시작하나, 통신 부하가 증가하는 경우, TDMA로 변한다. - 분산형 슬롯 선택 알고리즘을 수행한다.
	PMAC[16]	- Pattern MAC - 분산형 및 적응 TDMA - 노드 웨이크업 시간을 확인하기 위하여 트래픽 정보를 교환하고, 상응하는 슬롯에서 CSMA/CA 통신을 수행한다.

저전력 리스닝/프리앰블 센싱 기반	BMAC[17]	- Berkeley MAC - 어플리케이션 레벨 저전력 리스닝을 수행하고, 확인 시간, 백-오프(back-off) 윈도우 크기, 슬립 정책을 이용한다. - 랜덤 노이즈를 제거하기 위하여, 진보된 명확한 채널 평가를 수행한다.
	XMAC[18]	- 향상된 버전의 B-MAC - 긴 프리앰블은 하기의 2 개의 구간으로 나뉜다: 마이크로 프리앰블 구간 및 리시버 어드레스 구간. - 프리앰블 센싱으로 인한 모든 노드의 불필요한 웨이크업을 해결한다.
	WiseMAC[19]	- 이웃 노드들의 폴링 스케줄을 기억함으로써 저전력 리스닝을 개선시킨다. - 정확한 시간에 짧은 프리앰블을 전송한다.
	CL-MAC[20]	- 협동적 저전력 MAC - 사전적(proactive) 및 반응적(reactive) 방법을 제안한다. - 프리앰블 충돌을 방지하기 위하여, 프리앰블간(inter-preamble) 및 랜덤 백오프를 이용한다.

MAC=medium access control, TDMA=time division multiple access, CSMA=carrier sense multiple access, CA=collision avoidance

상기 프로토콜들이 에너지 효율적인 센서 네트워크를 구성하는데에 기여해왔지만, 이들 중 대부분은 이벤트 구동형 또는 주기적 모델을 기반으로 설계된다. 따라서, 이들은 요청 지향적 모델에 대한 요건을 만족시킬 수 없다. 따라서, 요청 지향적 센서 네트워크에 대한 엄격한 요건을 만족시킬 수 있는 신규한 MAC 프로토콜이 요구된다.

[0061] 요청 지향적 센서 네트워크에 대한 최소 에너지 데이터 집성 (MEDA)

[0062] 도 1 은 본 발명의 일 실시예에 따른 최소 에너지 데이터 집성을 수행하는 센서 네트워크 시스템의 구성을 나타내는 블록도이고, 도 2 는 본 발명의 일 실시예에 따른 센서 네트워크 시스템의 최소 에너지 데이터 집성 방법의 흐름도이다. 또한, 도 7 은 최소 에너지 데이터 집성의 구조 및 작동 예를 나타내는 도면이다. 이하, 도 1, 도 2 및 도 7 을 참조하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 최소 에너지 데이터 집성 (minimum energy data aggregation, MEDA) 방법 및 그 센서 네트워크 시스템을 보다 상세히 설명한다.

[0063] 먼저, 도 1 에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 센서 네트워크 시스템은, 하나의 헤더 노드 (10) 가 적어도 하나 이상의 센서 노드 (20-1, 20-2, 20-3) 들을 관리하는 스타 토폴로지 (star topology) 로서 구성될 수 있다. 여기서, 헤더 노드 (10) 는 마스터 노드, 마스터 디바이스, 센터 (sender) 또는 코디네이터 등으로 지칭될 수도 있으며, 센서 노드 (20-1, 20-2, 20-3) 는 슬레이브 노드, 슬레이브 디바이스, 리시버 (receiver) 등으로 지칭될 수도 있다.

[0064] 본 발명의 일 실시예에 따른 센서 네트워크 시스템은, 요청 지향적 센서 네트워크에 대한 엄격한 요건을 만족시키는 최소 에너지 데이터 집성 (minimum energy data aggregation, MEDA) 방법을 수행할 수 있다. MEDA는 본질적으로 프리앰블 전송 및 프리앰플 센싱을 기반으로 하는 LPL을 이용한다. 그러나, MEDA는 완전한 양방향 통신을 가능하게 하고, 작동하도록 하기 위해 최소의 에너지 양을 요구한다. 이는 저전력 실시간 스케줄러를 기반으로 하는 비동기 소스 트리거, 가변 응답 프레임 (variable response frame, VRF) 구조 및 적응적 재전송을 활용함으로써 수행될 수 있다.

[0065] 보다 구체적으로, 도 2 를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른, 센서 네트워크 시스템의 최소 에너지 데이터 집성 (minimum energy data aggregation) 방법은 먼저, 헤더 노드 (10) 가, 복수의 센서 노드들 (20) 로 제 1 프리앰블 및 제 1 프리앰블에 후속하는 제 1 요청 패킷을 송신한다 (S210). 여기서, 제 1 요청 패킷은 저전력 실시간 스케줄링 정보를 포함할 수 있다.

[0066] 이어서, 복수의 센서 노드들 (20) 중 적어도 하나가, 제 1 프리앰블의 센싱에 응답하여 활성 모드를 유지함으로써, 상기 제 1 요청 패킷을 수신한다 (S220).

[0067] 제 1 요청 패킷의 수신에 응답하여, 복수의 센서 노드들 (20) 중 적어도 하나는 제 1 요청 패킷에 포함된 저전력 실시간 스케줄링 정보를 기반으로 헤더 노드 (10) 로 응답 패킷을 송신할 수 있다 (S230).

[0068] 헤더 노드 (10) 는, 복수의 센서 노드들 (20) 중 적어도 하나가 송신한 응답 패킷을 수신하고, 상기 응답 패킷에 포함된 데이터를 집성할 수 있다 (S240). 선택적으로, 상기 헤더 노드 (10) 는 상기 데이터의 집성에 수반하여 요청 패킷의 대상이 되는 센서 노드 (20) 에 대한 정보를 포함하는 참가 리스트를 업데이트 할 수 있고, 상기 업데이트된 정보를 포함하여 제 2 프리앰블 및 이에 후속하는 제 2 요청 패킷을 복수의 센서 노드들로 송신할 수 있다 (S250).

[0069] 이하, 본 발명의 일 실시예에 따른 MEDA 방법의 각 단계들을 보다 구체적으로 설명한다.

[0071] 저전력 실시간 스케줄러

[0072] LPL 기반 MAC 프로토콜에 대하여, 저전력 스케줄링과 연관된 절전은 가장 필수적인 능력 중 하나이다. 본 발명의 일 실시예에 따른 MEDA 는 온디맨드 소스 트리거 기능을 기반으로 하는 동적 슬롯 관리를 이용함으로써 공격적인 절전을 수행하며, 이는 저전력 실시간 스케줄러에 의해서도 가능해진다.

[0073] 일반적으로, 임베디드 시스템 (embedded system) 내의 태스크 스케줄러는 메인 클럭 (main clock)으로부터 공급되는 일반 목적 타이머를 이용한다. 이러한 유형의 스케줄러는 활성 구간 동안 정확하고 탄력적인 스케줄 작동을 제공할 수 있다. 그러나 마이크로 컨트롤러 유닛 (microcontroller unit, MCU) 의 슬립 모드 (sleep mode) 동안, 메인 클럭이 멈추기 때문에 MCU 타이머는 실행되지 않는다. 따라서, 스케줄러가 실행 시간뿐만 아니라 슬립 모드에서도 연속적으로 실행되는 저전력 스케줄링은 가능하지 않다. 다른 한편으로는, 별도의 크리스탈 발진기 (crystal oscillator) (32.768 kHz) 로부터 공급되는 실시간 클럭 (real-time clock, RTC) 은 심지어 MCU의 슬립 모드 동안에도 최소 전력량만을 소비하면서 계속해서 실행될 수 있다. 현재, 대부분의 상용화된 MCU 들은 빌트인 (built-in) RTC를 갖고, 이들은 알람 기능을 포함하는 캘린더 모드 (calendar mode) 및 간격 타이머 모드를 제공한다. 그러나 캘린더 및 타이머 모드의 상기 2 개의 모드는 동시에 사용될 수 없기 때문에, 일반적으로 빌트인 RTC는 캘린더 모드에서의 실시간 위치로서 사용된다. 간격 타이머의 사용이 요구되는 경우, 외부 RTC

가 시스템에 추가되어야 하지만, 추가적인 컴포넌트의 사용은 비용 및 에너지의 증가를 야기한다.

[0074] 따라서, 본 발명자들은 캘린더 모드 및 간격 RTC의 작동 모두를 동시에 가능하게 하는 저전력 실시간 스케줄러를 개발하였다. 이는 추가적인 컴포넌트의 사용을 요구하지 않는다. 본 발명자들은 먼저 1 Hz 출력으로의 클럭 정확도 시험을 위해 제공된 RTC 출력 핀을 설정하였고, 상기 출력 핀을 다시 타이머의 클럭 소스의 입력에 연결하였다. 결국, 이는 타이머를 실시간 간격 타이머처럼 이용하는 결과를 야기한다. 발전된 저전력 실시간 스케줄러 (*Lpscheduler*) 는, 센서 노드 (20) 가 메인 클럭 작동과 무관하게, 실행 시간 동안 뿐만 아니라 슬립 모드 동안에도 연속적으로 실행되는 것을 가능하게 한다. 스케줄러는 기본적으로 하기의 3 개의 변수를 가질 수 있다.

[0075] *Lpschedule* (*time*, *handler*, *p_state*)

[0076] 여기서, 시간 (*time*) 은 스케줄링 시간을 나타내고, 시간의 단위는 예를 들어 1 초일 수 있으며, 핸들러 (*handler*) 는 스케줄링된 시간에 실행될 요청 태스크 (기능) 를 나타내고, 전력 상태 (*p_state*) 는 스케줄링된 시간까지의 MCU 전력 관리 모드 (Active, GOTO_PWDN) 를 결정할 수 있다.

[0077] 도 5 는 저전력 실시간 스케줄러의 예시도이다. 즉, 도 5 는 *Lpschedule* 사용의 간단한 예를 나타낸다. 첫 번째 태스크를 스케줄링한 직후, 센서 노드 (20) 는 슬립 모드에 들어가고, 10 초 동안 슬립 상태를 유지한다. 10 초 후, 센서 노드 (20) 는 웨이크업 되고, 스케줄링된 태스크 (*Preamble_sensing_task*) 를 실행한 후, 다음 태스크 (*Report_task*) 를 스케줄링 하자마자 다시 슬립 모드에 들어갈 수 있다. 5 초 후, 노드는 *Report_task* 를 실행하기 위해 웨이크업 된 후, 다시 다음 태스크 (*Preamble_sensing_task*) 를 스케줄링할 수 있다. 이전의 태스크가 GOTO_PWDN 로 스케줄링된 것과 달리, 상기 태스크의 *p_state* 가 ACTIVE 로 스케줄링된 것을 주목해야 한다. 따라서, 센서 노드 (20) 는 도 5 에 도시된 바와 같이, 5 초 동안 활성 상태를 유지할 수 있다. 상기 예에 개시된 바와 같이, *Lpschedule* 은 단순히 작동함에도, RTC 클럭 및 체인 기반 스케줄링 (chain-based scheduling) 방법을 이용함으로써 강력한 저전력 실시간 스케줄링을 제공할 수 있다.

[0078] 다시 도 2 를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 센서 네트워크 시스템의 최소 에너지 데이터 집성 방법은, 헤더 노드 (10) 가, 복수의 센서 노드들 (20) 로 제 1 프리앰블 및 제 1 프리앰블에 후속하는 제 1 요청 패킷을 송신함 (S210) 에 있어서, 상기 제 1 요청 패킷이 전송한 저전력 실시간 스케줄러를 사용하기 위한 저전력 실시간 스케줄링 정보를 포함할 수 있다.

[0079] 여기서, 저전력 실시간 스케줄링 정보는 스케줄링 시간, 요청 태스크 및 전력 모드에 관한 정보를 포함할 수 있으며, 상기과 같은 정보를 포함하는 제 1 요청 패킷을 수신한 복수의 센서 노드들 (20) 중 적어도 하나는, 상기 스케줄링 시간 동안 상기 전력 모드를 유지한 후, 상기 요청 태스크를 수행할 수 있다.

[0081] 주기적 프리앰블 센싱

[0082] 프리앰블 센싱은 아이들 리스닝 오버헤드를 최소화하기 위한 LPL 기반 프로토콜에 대한 필수적인 기능이다. 도 2 를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 MEDA 방법은 예를 들어, 복수의 센서 노드들 (20) 중 적어도 하나가, 제 1 프리앰블의 센싱에 응답하여 활성 모드를 유지함으로써, 제 1 요청 패킷을 수신 (S220) 하기 전에, 주기적 프리앰블 센싱을 수행할 수 있다. 또한, 복수의 센서 노드들 (20) 중 적어도 하나가, 저전력 실시간 스케줄링 정보를 기반으로 헤더 노드 (10) 로 응답 패킷을 송신 (S230) 한 이후에, 또는 제 1 요청 정보에 대응하는 소정 시간의 경과 후에, 복수의 센서 노드들 (20) 은 다시 주기적 프리앰블 센싱을 수행할 수도 있다.

[0083] 한편, 상기과 같은 LPL 기반 프로토콜에 대하여, 중요한 성능 인자 중 하나는 프리앰블 감지 및 센싱 기간 (sensing duration) 에 대한 정확도이다. 따라서, 정확한 프리앰블 감지를 제공하고 센싱 기간을 최소화하기 위하여, 본 발명자들은 실험을 통해 최적화된 프리앰블 센싱 기간 및 프리앰블 품질 한계 (preamble quality threshold, PQT) 값을 찾았다. 도 6 은 MEDA에서 사용된 프리앰블 센싱 기간의 측정된 값을 나타낸다. 최적화된 프리앰블 센싱 기간이 매우 작다는 것 (단지 1.6 ms) 을 주목하는 것이 중요하다. 따라서, 예시적인 주기적 프리앰블 센싱 간격 (periodic preamble sensing interval, PPSI)이 3 초인 것을 고려하여, 0.0005% 듀티 사이클이 수득된다. 즉, MEDA는 센서 노드가 초저 (ultra low) PPS를 수행하는 것을 가능하게 하고, 이는 또한 최소 에너지 작동을 야기할 수 있다.

[0085] **비동기 소스 트리거**

[0086] 주기적 프리앰블 센싱 (periodic preamble sensing, PPS) 을 수행하고 있는 센서 노드 (20) 를 트리거하기 위하여, 센터 (10) 는 데이터 전송 전에 프리앰블을 전송해야 한다. MEDA 는 PPSI 보다 긴 길이 (예를 들어, PPSI +1의 길이) 를 갖는 프리앰블을 전송함으로써, 비동기식으로 PPS 를 수행하고 있는 모든 노드들을 효율적으로 트리거하는 능력을 갖는다 (도 7 에 도시된 바와 같음). 구성된 PPSI에서 PPS를 수행하는 노드를 트리거하기 위하여, 프리앰블 길이는 PPSI 값보다 커야한다. 또한, RTC 클럭 드리프트 및 발진기 에러를 고려할 때, 예시적인 프리앰블 길이는 PPSI+1 (초)로 적용할 수 있다.

[0088] **온디맨드 시간 동기화**

[0089] PPS 동안 프리앰블을 감지하는 센서 노드 (20) 는 프리앰블에 후속하는 요청 패킷 (packet) 을 수신할 때까지 활성 상태를 유지해야 한다. 그러나, 각각의 센서 노드들 (20) 은 상이한 시각에 프리앰블을 감지할 수 있고, 이에 따라 각각의 센서 노드들 (20) 의 대기 시간 지연이 상이할 수 있다. 즉, 각각의 센서 노드 (20) 는 프리앰블의 감지 순간에, 센서 노드 (20) 들 서로 간에, 또한 코디네이터 (10) 와 동기화되지 않을 수 있다. 그러나 이는 문제되지 않는다. 왜냐하면, MEDA가 온디맨드 시간 동기화를 할 수 있기 때문이다.

[0090] 프리앰블의 송신에 후속하여, 요청 패킷이 브로드캐스팅 (broadcast) 되고, 센터 (10) 의 프리앰블에 의해 트리거되는 센서 노드 (20) 가 요청 패킷을 수신하자마자 센터 (10) 와 상기 센서 노드 (20) 간의 시간 동기화가 수행될 수 있다. 모든 센서 노드 (20) 들은 추가적인 통신을 위해 현재의 동기화를 유지하려고 노력할 필요가 없다는 점을 주목하는 것이 중요하다. 해당 라운드에서의 동기화는 오직 해당 라운드에서만 효과가 있다. 따라서, MEDA 의 온디맨드 동기화는 시간 동기화를 유지하기 위한 오버헤드를 제거할 수 있다. 또한, MEDA의 슬롯 관리는 TDMA에서만 정확하게 동기화를 요구하지 않는다. 이에 따라, 저전력 실시간 스케줄링은 온디맨드 동기화를 가능하게 한다.

[0091] 다시 도 2 를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 MEDA 방법은, 제 1 프리앰블의 센싱 (S220) 이 비동기식으로 수행되도록 할 수 있고 (도 7 의 AST 구간 참조), 복수의 센서 노드들 (20) 중 적어도 하나가 제 1 프리앰블의 센싱에 응답하여 활성 모드를 유지함으로써, 제 1 요청 패킷을 수신하는 것 (S220) 에 응답하여, 헤더 노드 (10) 와 복수의 센서 노드들 (20) 중 적어도 하나 간의 시간 동기화가 수행되도록 할 수 있다 (도 7 의 온 디맨드 시간 동기화 지점 참조).

[0092] 한편, 시간 동기화는 제 1 요청 패킷에 대응하는 시간 구간 동안에만 유지되도록 할 수 있다. 예를 들어, 센서 노드 (20) 가 제 1 요청 패킷에 응답하여 응답 패킷을 송신한 이후에는 시간 동기화를 유지하지 않을 수 있으며, 헤더 노드 (10) 가 제 1 요청 패킷에 대응하는 응답 패킷의 데이터를 집성하는 것을 완료한 이후에 시간 동기화를 유지하지 않을 수도 있다.

[0094] **가변 응답 프레임**

[0095] 도 3 은 도 2 의 응답 패킷을 송신하는 단계의 제 1 상세 흐름도이고, 도 4 는 도 2 의 응답 패킷을 송신하는 단계의 제 2 상세 흐름도이다. 이하, 도 3, 도 4 및 도 7 을 참조하여, 본 발명의 실시예에 따른 MEDA 의 응답 패킷을 송신하는 단계 (S230) 및 가변 응답 프레임에 관하여 보다 상세히 설명한다.

[0096] MEDA 의 뛰어난 특징 중 하나는, 서버 또는 코디네이터 (10) 로부터 유래하는 다양한 유형의 요청을 수용할 수 있다는 것이다. 이는 또한 단일 요청에 대한 선택적인 타겟 노드로부터의 다양한 응답들을 집성할 수 있다. 즉, 복수의 센서 노드들 (20) 중에서, 단일 노드, 선택적 노드 또는 모든 노드는 단일 데이터 집성 라운드 내에서의 단일 요청 패킷에 응답할 수 있다.

[0097] 요청 패킷은, 복수의 센서 노드들 (20) 중에서 상기 요청의 대상이 되는 타겟 센서 노드에 대한 정보를 나타내는 참가 리스트를 포함할 수 있다. 즉, 상기 요청 패킷 내의 참가 리스트 필드는 타겟 센서 노드에 대한 정보를 나타낸다. 아울러, 참가 리스트는 적어도 하나 이상의 타겟 센서 노드의 ID 및 상기 타겟이 된 센서 노드에 대한 ID 의 인덱스 넘버를 포함할 수 있다.

[0098] 도 7 에 도시된 바와 같이, 프리앰블 감지 후 요청 패킷을 수신하는 모든 센서 노드들 (20) 은 먼저 코디네이터와 동기화한다 (도 7 의 온 디맨드 시간 동기화 지점 참조). 이후, 센서 노드들 (20) 은 요청 패킷 내의 참가

리스트 및 참가자의 총수로부터의 정보를 기반으로 하는 가변 응답 프레임 (variable response frame, VRF) 을 형성할 수 있다. VRF 는 복수의 동일한 크기의 동적 할당 슬롯 (dynamic assigned slot, DAS) 들로 구성되고, DAS 들의 개수는 참가자 및 타겟이 되는 센서 노드의 개수에 따라 결정될 수 있다.

[0099] 센서 노드들 (20) 이 새로운 요청에 대한 VRF 내에서 그 자신의 DAS를 결정하는 절차는 다음과 같다. 먼저, 요청 패킷을 수신하는 즉시, 각각의 센서 노드 (예를 들어, 센서 노드 (20-1)) 는 먼저 요청 패킷 내의 참가 리스트에 해당 센서 노드 각각의 ID 가 존재하는지를 확인한다. 해당 센서 노드 (20-1) 의 ID 가 참가 리스트에 포함된 경우, 센서 노드 (20-1) 는 참가 리스트에 포함된 상기 센서 노드 (20-1) 의 ID 에 대응하는 인덱스 넘버를 저장할 수 있고, 이러한 인덱스 넘버가 결국 해당 센서 노드 (20-1) 의 DAS 넘버로서 활용될 수 있다. VRF 의 형성을 종료한 후, 모든 센서 노드들 (20) 은 슬립 모드에 들어갈 수도 있으며, 그들 자신의 DAS 를 수득한 노드들은 그들 자신의 DAS에서 웨이크업 되어, 그들 자신의 응답 패킷을 자신의 DAS 를 통해 전송할 수 있다. 이후, 센서 노드들 (20) 은 다시 슬립 모드로 들어가고, 해당 라운드의 VRF 에 후속하여 다시 PPS를 수행할 수도 있다.

[0100] 관련하여, 도 2 의 응답 패킷을 송신하는 단계 (S230) 에 대한 도 3 의 제 1 상세 흐름도를 참조하면, 상기 응답 패킷을 송신하는 단계 (S230) 는, 먼저 참가 리스트에 포함된 타겟 센서 노드의 ID 들의 개수를 참조하여, 복수의 동적 할당 슬롯 (dynamic assigned slot, DAS) 을 포함하는 가변 응답 프레임 (variable response frames, VRF) 을 형성할 수 있다 (S231). 즉, 타겟 센서 노드의 ID 들의 개수를 기반으로, 복수의 DAS 들의 개수를 결정할 수도 있다.

[0101] 이후, 복수의 센서 노드들 (20) 중 어느 하나가, 해당 센서 노드 (예를 들어, 센서 노드 (20-1)) 의 ID 가 참가 리스트에 포함되어 있는지 여부를 결정할 수 있다. 해당 센서 노드 (20-1) 의 ID 가 참가 리스트에 포함되었다는 결정에 응답하여, 센서 노드 (20-1) 는 참가 리스트에 포함된 상기 ID 의 인덱스 넘버에 대응하는 DAS 에서 활성 모드를 유지함으로써 헤더 노드 (10) 로 응답 패킷을 송신하고, VRF 에 포함된 나머지 DAS 에서는 슬립 모드를 유지할 수 있다(S233-1).

[0102] 다른 한편으로는, 예를 들어, 센서 노드 (20-2) 의 ID가 리스트에 존재하지 않는 경우, 이는 해당 센서 노드 (20-2) 가 해당 라운드에서 데이터 집성 처리에 참여할 필요가 없다는 것을 의미한다. 대신에, 해당 센서 노드 (20-2) 는 요청 패킷 내의 참가자 필드의 총수로부터 전체 프레임 길이를 계산할 수 있으며, 이후 해당 센서 노드 (20-2) 는 슬립 모드로 들어갈 수 있다. 이러한 딥 슬립 (deep sleep) 기능은 심지어 불필요한 PPS 를 제거함으로써 훨씬 많은 에너지를 절약할 수 있고, 또한 해당 라운드에서 VRF 처리 동안 다른 통신을 방해하지 않는다.

[0103] 관련하여, 도 2 의 응답 패킷을 송신하는 단계 (S230) 에 대한 도 4 의 제 2 상세 흐름도를 참조하면, 상기 응답 패킷을 송신하는 단계 (S230) 는, 먼저 참가 리스트에 포함된 타겟 센서 노드의 ID 들의 개수를 참조하여, 복수의 DAS 를 포함하는 VRF 를 형성할 수 있다 (S231). 즉, 타겟 센서 노드의 ID 들의 개수를 기반으로, 복수의 DAS 들의 개수를 결정할 수도 있다.

[0104] 이후, 복수의 센서 노드들 (20) 중 어느 하나가, 해당 센서 노드 (예를 들어, 센서 노드 (20-2)) 의 ID 가 참가 리스트에 포함되어 있는지 여부를 결정할 수 있다. 해당 센서 노드 (20-2) 의 ID 가 참가 리스트에 포함되지 않았다는 결정에 응답하여, 센서 노드 (20-2) 는 VRF 에 포함된 모든 DAS 에서 슬립 모드를 유지할 수 있다(S233-2).

[0105] VRF 가 TDMA 와 같이 작동하기 때문에, MEDA 를 수행할 수 있다. 그러나, 슬롯 구성 및 관리가 TDMA 보다 더 유연하며, 이들은 분배된 방식으로 수행된다. 또한, 요청된 노드들이 더 많을수록, 각각의 노드에서 더 많은 에너지가 절약된다. 이는, 노드가 PPS 를 수행하지 않고 슬립 모드로 들어가는 딥 슬립 기간이 길어지기 때문이다. 이는 참가자의 양이 증가함에 따라 발생한다.

[0106] 상기 VRF 처리는 전술한 저전력 실시간 스케줄링 (*Lpschedule*) 를 기반으로 하여 효율적으로 시행될 수 있다. 도 8 은 요청 패킷 수신 (reception) 및 DAS 슬롯 통지의 2 개의 주요 이벤트를 포함하는 VRF 처리에 대한 pseudo-code 를 도시한다. 먼저, 2-7번째 줄은 해당 라운드에 참가하는 노드에 대한 것이다. 3-5번째 줄은 요청 패킷에 대한 DAS 결정 처리를 나타낸다. 6번째 줄은, 노드가 슬립 모드로 들어가고 오직 미래의 딥 슬립 (forward deep sleep) 기간의 말미에 응답 태스크를 수행하기 위하여 웨이크업 되는 미래의 딥 슬립 기간을 계산하는 과정이다. 7번째 줄은 DAS를 스케줄링하는 과정이고, 8 및 9번째 줄은 해당 라운드에 참여하지 않는 노드에 대한 것이고, 이 경우에 노드는 *Lpschedule* 와 함께 PPS handler를 기록하여 VRF 처리의 말미에 다시

PPS 를 수행한다.

[0107] 스케줄링된 DAS 태스크는, 노드가 *Lpschedule* 로부터 웨이크업 되자마자 수행된다. 이는 DAS 내에서 요청자에게 응답한다. 응답에 후속하여, 노드는 슬립 모드에 들어가기 위해 PPS 태스크를 재스케줄링한다. 이는, 패킷 수신 처리에서 이미 계산된, 이전의 딥 슬립 (backward deep sleep) 기간을 이용함으로써 수행된다. 최종적으로, VRF 를 종료한 후, 모든 노드들은 PPS를 다시 수행하고, 새로운 요청을 위한 준비를 한다.

[0109] 적응적 재전송

[0110] 코디네이터 (10) 및 각각의 센서 노드들 (20) 사이의 신뢰성 있는 데이터 전송을 보장하기 위하여, 센서 노드들 (20) 로부터의 각각의 응답은 코디네이터 (10)에 의해 인지되어야 한다. 그러나, 일반적인 데이터 및 ACK 모델을 DAS 에 적용하는 것은 전체 VRF 처리 기간의 현저한 증가를 가져온다. 그 이유는, 그것이 수많은 재전송을 수용하기 위한 DAS 기간의 연장 뿐만 아니라, 코디네이터 (10) 로부터 ACK를 기다리기 위한 추가적인 타이머 처리를 요구하기 때문이다. 따라서, MEDA 는 그룹 ACK 접근법을 이용한 신규한 적응적 재전송 방법을 이용함으로써, 상기 문제를 해결할 수 있다. 적응적 재전송에 대하여, 코디네이터 (10) 는 VRF 동안 각각의 응답을 인지하지는 않고, 대신에 응답 패킷이 수신될 때마다 참가 리스트로부터 상응하는 ID를 제거할 수 있다. VRF 의 말미에, 코디네이터는 현재 참가 리스트를 확인하고, 리스트가 비어있는 경우, 이는 모든 응답이 완전히 수신되었음을 의미하므로 해당 라운드를 종료한다. 리스트가 비어있지 않는 경우, 이는 응답 중 일부가 종료되지 않았음을 의미하며, 코디네이터 (10) 는 업데이트된 현재 리스트를 원래의 참가 리스트로 대체한 후, 재요청에 대한 제 2 프리앰플 전송을 시작한다. 모든 센서 노드들 (20) 이 그 시점에 PPS 를 수행하고 있기 때문에, 센서 노드들 (20) 모두는 프리앰플에 의해 트리거될 수 있다. 그러나 요청 패킷 내의 참가 리스트 필드가 오직 이전 응답 전송이 실패된 노드의 ID 만을 함유하기 때문에, 프리앰플 감지 후 리스트에 관여되지 않은 모든 노드들은 (이는, 응답이 성공적으로 종료됨을 의미함) 딥 슬립 모드에 들어간다. 따라서, 오직 실패 노드들만이 재전송 라운드에 참여한다.

[0111] 도 7 에 도시된 바와 같이, 예를 들어, 코디네이터 (10) 가 원래의 VRF 의 센서 노드 3 으로부터 응답을 수신하는데 실패한 경우, 제 2 프리앰플 및 이에 후속하는 제 2 요청 패킷을 수신하는 즉시, 오직 센서 노드 3 만이 재전송 라운드에 참여하고 다른 센서 노드들은 슬립 모드에 들어갈 수 있다. 도 7 에 도시된 바와 같이, 노드 3 의 재전송이 성공적으로 종료되는 경우, 노드 3 을 포함하는 모든 노드들은 재전송 라운드에 후속하여 다시 PPS 를 수행할 수 있다.

[0112] 다시 도 2 를 참조하면, 헤더 노드 (10) 가 응답 패킷에 포함된 데이터를 집성하는 것 (S240) 에 수반하여, 참가 리스트에 포함된 적어도 하나 이상의 타겟 센서 노드의 ID 중에서, 응답 패킷을 송신한 센서 노드의 ID 를 삭제함으로써 참가 리스트를 갱신할 수 있으며, 헤더 노드 (20) 는 이어서, 복수의 센서 노드들 (20) 로 제 2 프리앰플 및 제 2 프리앰플에 후속하는 제 2 요청 패킷을 송신할 수 있다 (S250). 여기서, 상기 제 2 요청 패킷은 저전력 실시간 스케줄링 정보 및 상기 갱신된 참가 리스트를 포함할 수 있다.

[0113] 이러한 적응적 재전송의 주요 이점은, 일반적인 센서 노드 (20) 가 아닌 오직 코디네이터 (10) 만이 재전송 처리에 대해 책임이 있다는 것이다. 코디네이터 (10) 는 참가 리스트를 관리함으로써 수행한다. 다른 센서 노드들 (20) 은 재요청을, 임의의 추가적인 재전송 처리 없는 일반적인 요청으로 간주하기 때문에, MEDA는 간단하지만 강력한 작동을 통해 재전송 효율을 최대화시킬 수 있을 뿐만 아니라, 재전송을 함에 따른 오버헤드 또는 추가적인 지연을 최소화시킬 수 있다.

[0115] 실험 결과

[0116] 본 발명자들은 근 실시간 양방향 통신을 기반으로 하는 요청 지향적 센서 네트워크 테스트 베드 (test bed) 를 구성하였다. 여기서, 발전된 MEDA 프로토타입 및 MEDA 노드들로 이루어진 테스트 베드가 도입된다. 이후, 제안된 MEDA의 성능 평가를 나타낸다.

[0118] [실험 환경]

[0119] MEDA 프로토타입

[0120] 도 9 에 개시된 바와 같이, 본 발명자들은 MSP430F6736 (Texas Instruments, Dallas, TX, USA) 초저전력 16-비트 MCU 및 CC1120 RF 트랜스미버 (transceiver)(Texas Instruments) 를 기반으로 하는 MEDA 프로토타입을 개발하여, 큰 실시간 양방향 센서 네트워크를 구성하였다. 상기 프로토타입은 전력 소비를 최소화하기 위하여, 기본적으로 최소량의 하드웨어 컴포넌트로 구성된다. 하드웨어 추상 계층 (hardware abstract layer), 이벤트 구동형 태스크 관리 및 *Lpschedule* 를 함유하는 MEDA 의 완전한 기능이 또한 시행되었다. 프리앰블 작동을 보다 효율적으로 처리하기 위하여, 본 발명자들은 또한 RF 트랜스미버를 직접적으로 조절하였고, 최소 프리앰블 센싱 시간 (1.6 ms) 을 이용하였고, PQT 를 최적화하였다.

[0121] [표 2] 시스템 특성화

변수	값
공급 전원	3.3 V
전류 소비	
Tx	50.58 mA
Rx	21.04 mA
슬립	19.91 μ A
전지 용량	12,000 mAh
Tx 전력	15 dBm
주기적 프리앰블 센싱 간격	1-5 (설정가능)
프리앰블 기간	2-6 (설정가능)
재시도 횟수	3 (최대)
주기적 요청 속도	1 시간
센서	온도, 습도, CDS

CDS=카드뮴 셀파이드

[0122]

[0123] 상기 표 2는 본 발명자들이 개발한 MEDA 프로토타입의 기본적인 특성을 나타낸다. MEDA 노드는 코디네이터 및 센서 노드로 나누어진다. 특히, 코디네이터 노드는 센서 노드로부터 수집된 데이터를 서버로 전송할 수 있을 뿐만 아니라, 서버 요청을 센서 네트워크로 퍼뜨릴 수 있다.

[0125] MEDA 테스트 베드 환경

[0126] 도 10 은 본 발명자들의 대학 건물 3층에 설치된 MEDA 테스트 베드의 배치 지도를 나타낸다. 도 10 에 도시된 바와 같이, 하나의 코디네이터 노드는 본 발명자들의 연구실에 위치한 서버에 연결되었고, 28 개의 센서 노드가 배치되었다. 본 발명자들이 각각의 방에 설치한 각각의 센서 노드는, 도 10 의 (b) 에 도시된 바와 같이, 온도, 습도 및 조도와 같은 환경 데이터를 실시간으로 수집할 수 있다. 1 홉 통신 (one hop communication) 을 가능하게 하기 위하여, 본 발명자들은 전송 전력을 15 dBm으로 설정하였다. 이는, 코디네이터가 서버로부터의 요청에 의해 각각의 센서 노드의 가장 최근에 센싱된 데이터를 집성할 수 있도록 하였다.

[0128] [성능 평가]

[0129] 테스트 베드 외에도, 본 발명자들은 노트북에 연결된 1 개의 코디네이터 및 많은 센서 노드를 실험하였다. 본 발명자들은, 도 10 의 (c) 에 도시된 바와 같이, MEDA 프로토콜 및 시스템의 다양한 성능을 평가하기 위하여, 이를 수행하였다. 상기 실험은, 상이한 PPSI 값에서 노드의 개수를 5 에서 50 으로 변화시키는 것에 대한 집성 시간 및 평균 처리량을 측정하기 위한 것이었다. 또한, 다양한 시스템 변수 값의 측정 결과를 기준으로 하여, 노드의 수명이 분석되었다.

[0130] 본 발명자들은 또한 동일한 프로토타입에 대하여 일반적인 LPL 알고리즘을 시행하였고, MEDA는 각각의 실험의 동일한 조건 및 환경 하에서 LPL과 비교되었다. 일반적인 LPL 방법에서, 코디네이터는 프리앰블 말미에 유니캐스트 요청을 요청된 노드에 전송한다. 응답이 전송하는 것을 실패한 경우, 응답자는 재전송을 3 회 수행하였다.

[0132] 집성 시간

[0133] 먼저, 본 발명자들은 집성 시간을 관찰하였으며, 이는 모든 응답이 집성될 때까지 서버의 요청으로부터 요구된 총 시간이다. 본 실험에서, 본 발명자들은 하기 3 개의 조건 하에서, MEDA 및 LPL의 집성 시간을 비교하였다: 1 재시도 (재전송), 2 재전송, 및 재전송 없음. 도 11 은 각각 PPSI=1, 2, 3 및 4에서의 집성 시간 측정의 결과를 나타낸다. 상기 결과는, MEDA 및 LPL의 집성 시간이 모두 PPSI 값에 의해 영향을 받는다는 것을 나타낸다. PPS를 수행하는 센서 노드를 트리거하기 위한 프리앰블 기간이 PPSI가 증가하는 만큼 길어지기 때문에, 이는 결국 집성 시간의 증가를 야기한다. 집성 시간은 또한 센서 노드의 개수의 증가에 비례하여 증가한다. 그러나, 도 11 에 도시된 바와 같이, LPL은 기울기의 크기가 상당히 크다는 것을 나타내는데 반해, MEDA는 LPL에 비해 보다 작은 증가율을 나타낸다는 것을 주목하는 것이 중요하다. 재시도 조건이 없는 LPL은, 2 재전송 조건의 경우, 심지어 MEDA 보다 컸다. 이는, LPL이 각각의 노드로 개별적인 요청을 만드는 것을 통해 데이터 집성을 수행하는데 반해, MEDA는 단일 요청을 만듦으로써 VRF 내에서 모든 요청된 데이터를 집성할 수 있기 때문이다. 결과는 또한, VRF 및 적응적 재전송 구조는 코디네이터가 요청된 노드의 개수에 비례하는 결정적 집성 시간을 가질 수 있도록 하며, 이는 온디맨드 시간 동기화에 의해 달성된다는 것을 입증한다.

[0135] 수명 분석

[0136] 에너지 효율은 센서 네트워크에서 가장 중요한 요건 중 하나이다. 따라서, 여기에서, 본 발명자들은 MEDA 센서 노드 및 코디네이터의 수명을 측정하고, LPL이 적용된 노드의 수명과 비교 분석하였다. 실제로, 시스템의 실제 수명을 관찰하는 것이 어렵기 때문에, 본 발명자들은 실험을 통해 측정된 다양한 변수를 이용하여 시스템의 기대 수명을 수치적으로 분석하였다. 표 3은 본 발명자들이 분석에서 사용한 변수 및 측정된 값을 나타낸다. 노드의 수명은 일반적으로 방정식 (1)에 의해 수득될 수 있으나, MEDA 및 LPL의 각각의 개별적인 수명은 상이한 활성 구간에 따라 변화한다. TA (MEDA) 및 TA (LPL) 는 각각 방정식 (3) 및 (4)에 의해 수득된다.

[0137] 도 12 의 (a) 및 (b)는 수명 분석의 결과를 나타낸다. 결과는, MEDA 센서 노드의 수명이, 모든 PPSI 값에서 요청된 노드의 개수에 무관하게 15 년 초과 동안 보장될 수 있다는 것을 나타낸다. 반면, LPL 센서 노드의 수명은, PPSI=1 에서의 7 년의 수명을 제외하고는, 5 년을 초과하지 않는다. 결과는 또한, 평균적으로 MEDA 센서 노드의 수명이 LPL 보다 8 배 길다는 것을 나타낸다. 이는, 데이터 요청을 개별적으로 수행하는 LPL과 달리, MEDA는 단일 집성 라운드에 대한 모든 요청된 노드들로부터 데이터를 집성하는 에너지뿐만 아니라 불필요한 프리앰블 감지를 제거하는 에너지를 최소화시킬 수 있다.

[0138] 센서 노드 수명에 더불어, 도 12 의 (c) 및 (d)는 각각 MEDA 및 LPL의 코디네이터 수명을 나타낸다. 코디네이터는 전체 데이터 집성 과정 동안 활성 상태를 유지해야 하므로, 센서 노드보다 더 많은 에너지를 소비한다. 그럼에도 불구하고, 이는 또한, MEDA 코디네이터의 수명이 5 년 초과 동안 보장될 수 있는 반면, LPL 코디네이터의 수명은 30 개의 노드 환경의 경우 4 년을 초과하지 않는다는 것을 나타낸다.

[0140] [표 3] 수명 분석에 대한 기호

기호	설명	값
C	전지 용량	12,000 mAh
T_A	활성 구간	
T_{PWDN}	슬립 구간	
T	구간	1 시간 (3600 초)
T_{AST}	최대 비동기 소스 트리거 구간	주기적 프리앰블 센싱 간격에 따라 다름
T_{resp}	응답 패킷의 전송 시간	8.6 ms
T_{req}	응답 패킷의 전송 시간	7.8 ms
T_{DAS}	동적 할당 슬롯 시간	1 초
T_{PSD}	프리앰블 센싱 시간	1.65 ms
I_A	전류 소비(활성 상태)	21.04 mA
I_{PD}	전류 소비(슬립 상태)	19.91 μ A
n	노드의 개수	5-50

[0141]

$$Lifetime = \frac{C}{T_A \times I_A + T_{PWDN} \times I_{PD}} \quad (1)$$

$$T_{PWDN} = T - T_A \quad (2)$$

$$T_{A(MEDA)} = T_{AST} + T_{resp} + \left(\frac{T - (T_{AST} + T_{req} + T_{DAS} \times n)}{PPSI + T_{PSD}} \right) \times T_{PSD} \quad (3)$$

$$T_{A(LPL)} = T_{AST} + T_{req} + T_{resp} + \{n \times (T_{AST} + T_{req})\} + \left(\frac{T - (T_{AST} + T_{req}) \times n + T_{rep}}{PPSI + T_{PSD}} \right) \times T_{PSD} \quad (4)$$

[0142]

[0144] 평균 처리량

[0145] 본 발명자들이 나타내고자 한 가장 최근의 관찰은 평균 처리량에 대한 것이며, 이는 다양한 에리 환경 하에서 신뢰성 있는 데이터 전송을 완료하는데 요구되는 시간을 측정하기 위해 사용된다. 본 발명자들은 70%, 80% 및 90%의 상이한 패킷 에러율 (packet error rates, PERs) 에서 128 바이트의 고정된 길이의 응답 패킷에 대하여, 각각 MEDA 및 LPL의 평균 처리량을 측정하였고, 최대 재전송은 5가 연장되었다. 도 13 은 총 1,000 요청에 대한 응답 패킷의 평균 처리량을 나타낸다. 결과는, MEDA가 심지어 70% PER 환경 하에서도 LPL 보다 높은 처리량을 유지한다는 것을 나타낸다. 그러나 노드의 개수가 평균 처리량에 거의 영향을 주지 않는 LPL과 달리, MEDA는 노드의 개수가 증가함에 따라 급격한 저하를 나타낸다는 것이 주목할만 하다. 이는, VRF의 길이가 노드의 개수에 비례하여 증가하기 때문이다. 또한 이는, VRF의 말미에 요청된 노드들로부터 수신된 응답을 확인한 후 시작하는 재전송으로 인해, 총 시간이 길어지기 때문이다. 그러나 MEDA가 개별적인 ACK를 사용하지 않는 대신에 그룹 ACK 기반 적응적 재전송을 사용하기 때문에, 문제가 없는 노드들의 일반적인 응답 전송은 재전송에 의해 영향받지 않는다. 따라서, 노드의 개수가 증가함에 따라 발생하는 처리량 저하에도 불구하고, MEDA는 평균 처리량의 관점에서 LPL을 능가한다.

[0147] 상기에서는 본 발명을 바람직한 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허청구범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 것이다.

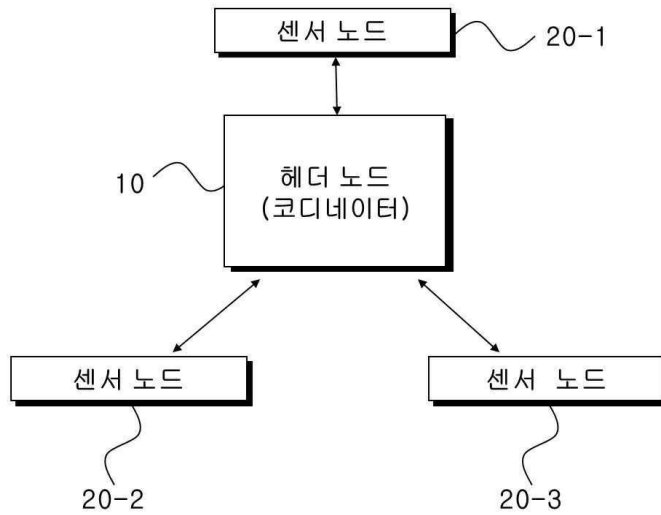
부호의 설명

10 : 헤더 노드

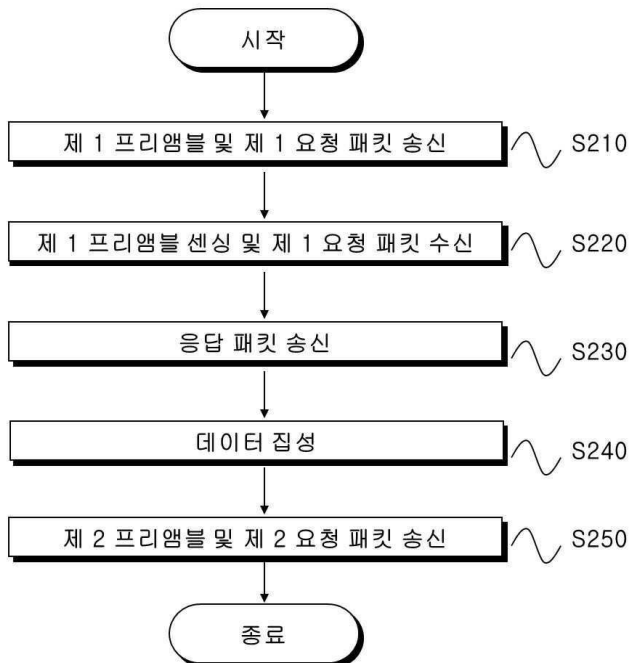
20 : 센서 노드

도면

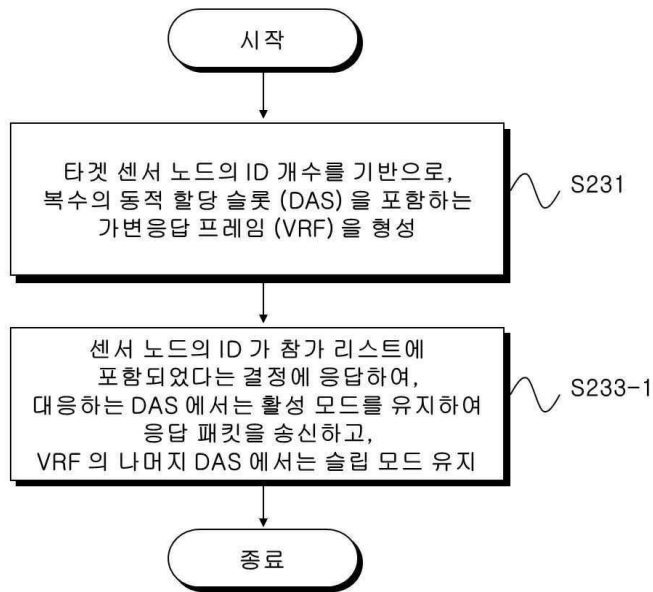
도면1



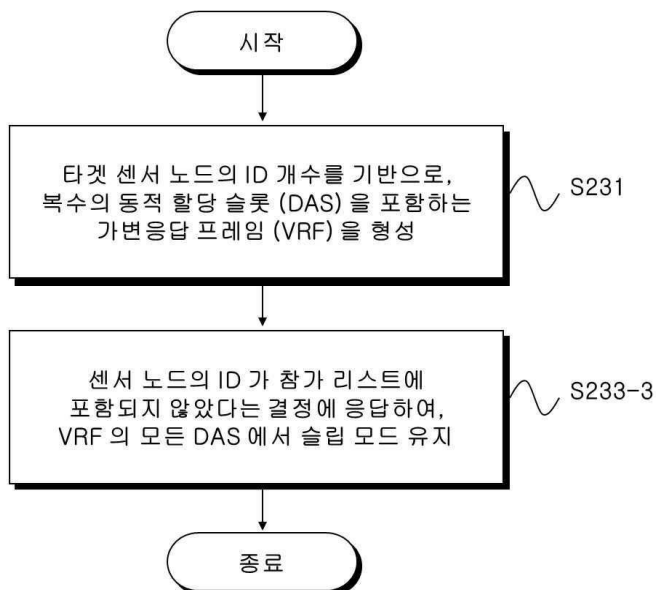
도면2



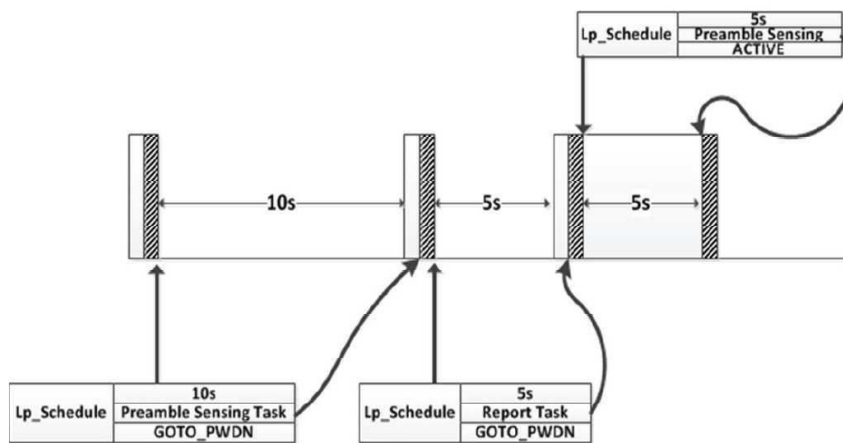
도면3



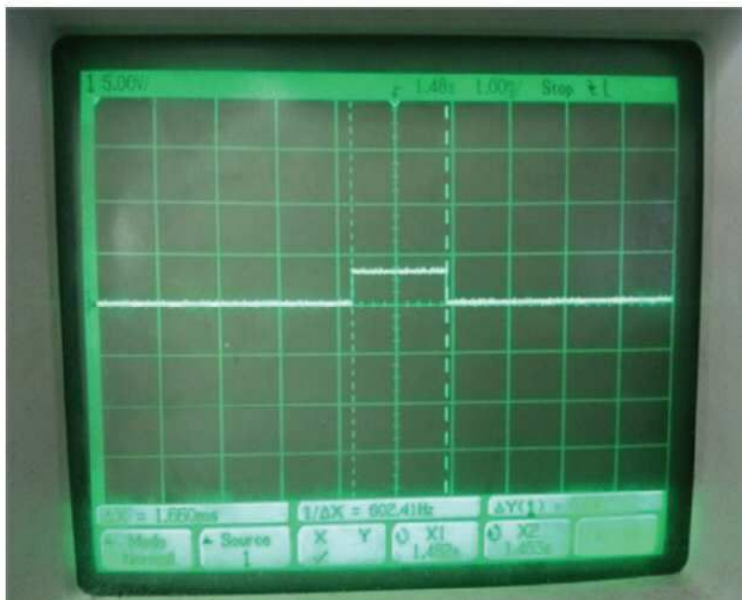
도면4



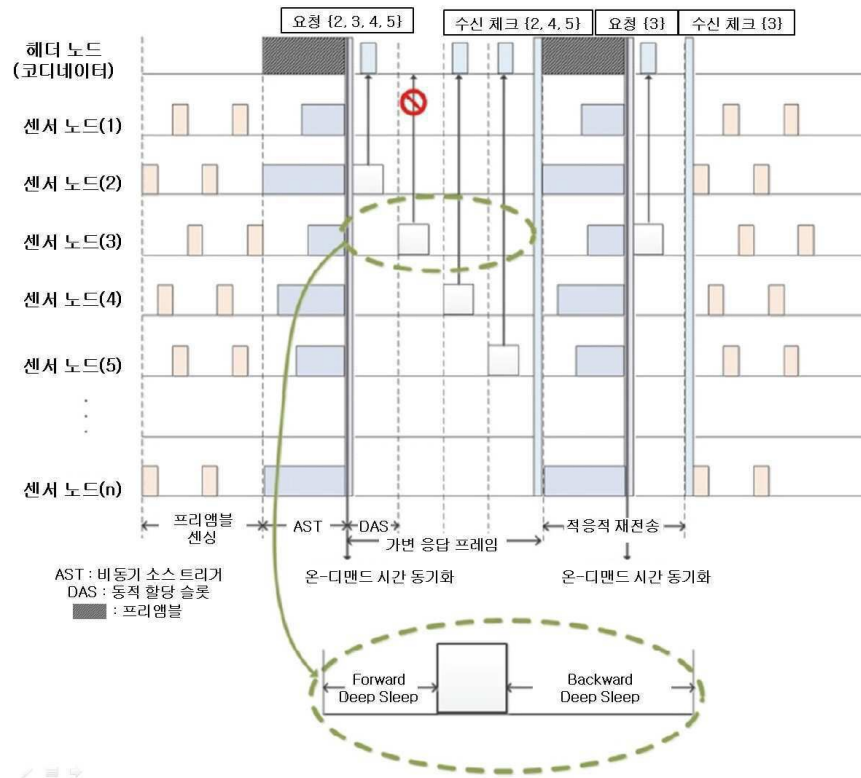
도면5



도면6



도면7



도면8

Event: Request packet Reception with <R>

<R> is a set of the nodes which should attend data aggregation this time.

(e.g., $R = \{2, 4, 5, 6, 10\}$)

```

1 NumofTotalDevice = length(R);
2 if(My id is in the <R>)
3   for (i = 0; i < NumofTotalDevice; i++)
4     if(R[i] == myId) break
5   MyDAS = i + 1 // Number of forward slots
6   NumofBackwardSlots = NumofTotalDevice - MySlotNum
7   LpSchedule(MySlotNum * BaseSlotDuration, DAS_handler, Goto_PWDN)
8 else
9   LpSchedule(NumofTotalDevice * BaseSlotDuration, PPS_handler, GoTo_PWDN)
  
```

Event: My DAS

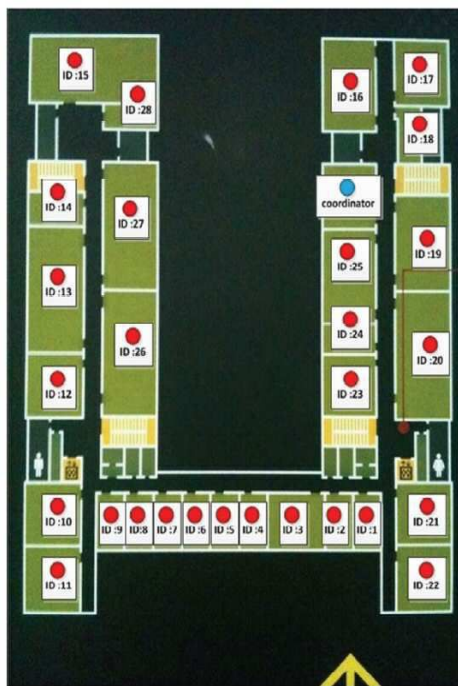
```

1 Response Task
2 MakePacket(Data)
3 Send(Response packet)
4 LpSchedule(NumofBackwardSlots * BaseSlotDuration, PPS_handler, GoTo_PWDN)
  
```

도면9



도면10



(a)

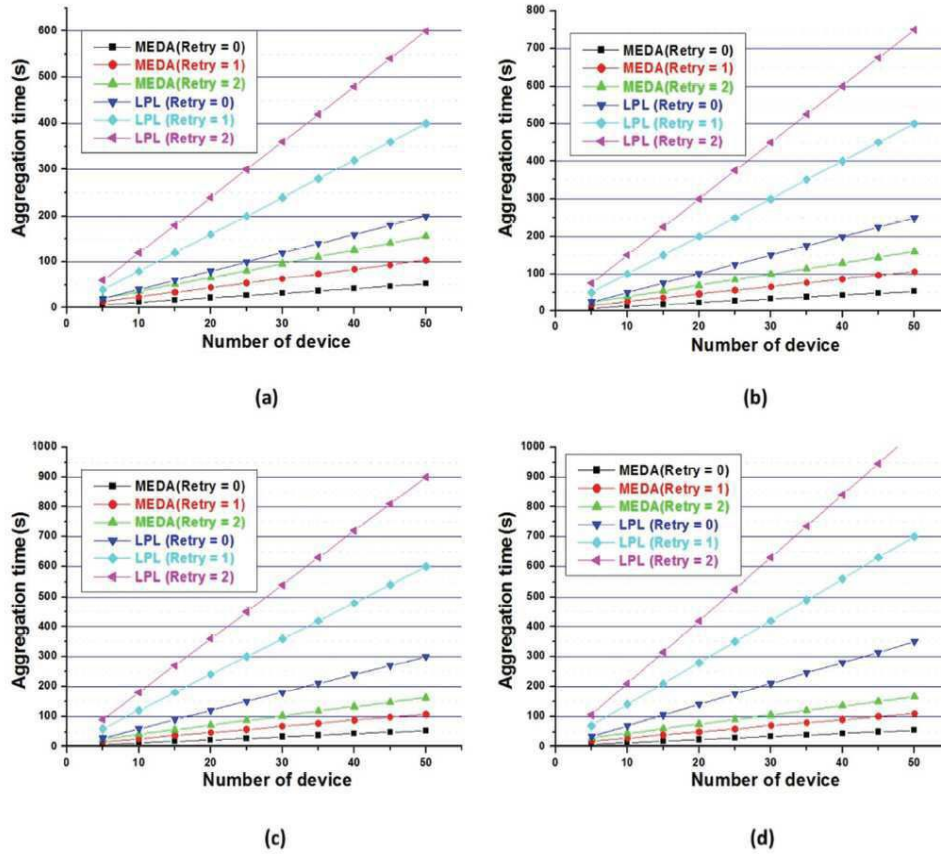


(b)

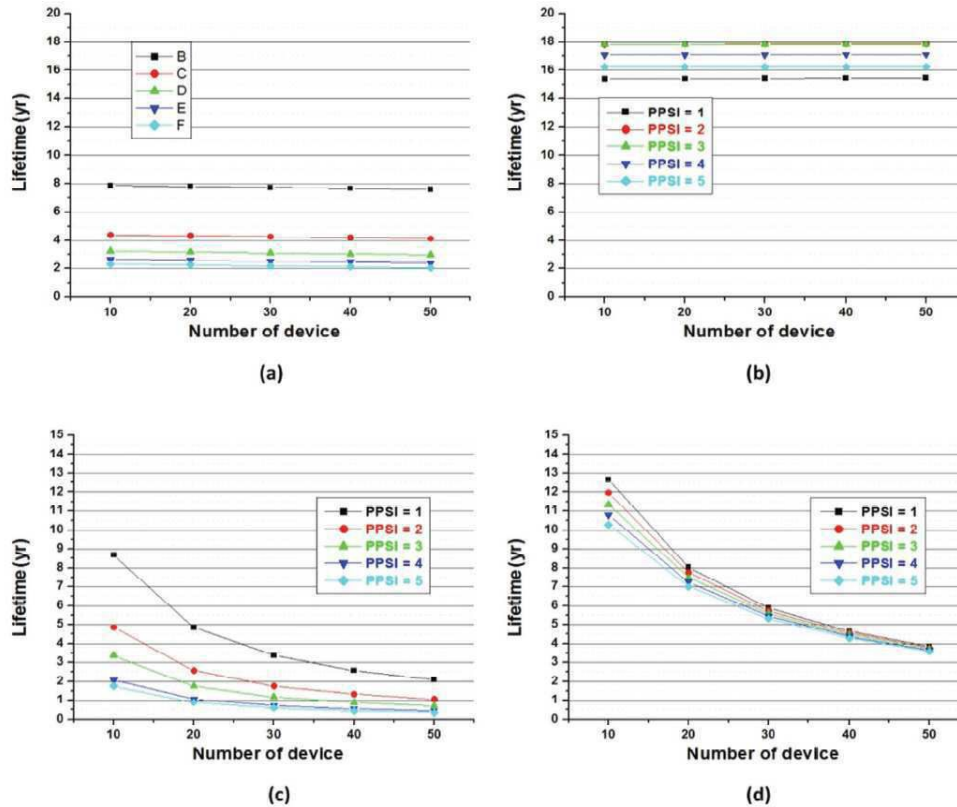


(c)

도면11



도면12



도면13

