



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년12월31일

(11) 등록번호 10-2061184

(24) 등록일자 2019년12월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H04W 24/02 (2009.01) H04L 1/00 (2006.01)

H04L 1/20 (2006.01) H04L 5/00 (2006.01)

H04W 24/10 (2009.01) H04W 28/04 (2009.01)

H04W 72/12 (2009.01)

(52) CPC특허분류

H04W 24/02 (2013.01)

H04L 1/0026 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2018-0162169

(22) 출원일자 2018년12월14일

심사청구일자 2018년12월14일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020140115130 A

(뒷면에 계속)

전체 청구항 수 : 총 13 항

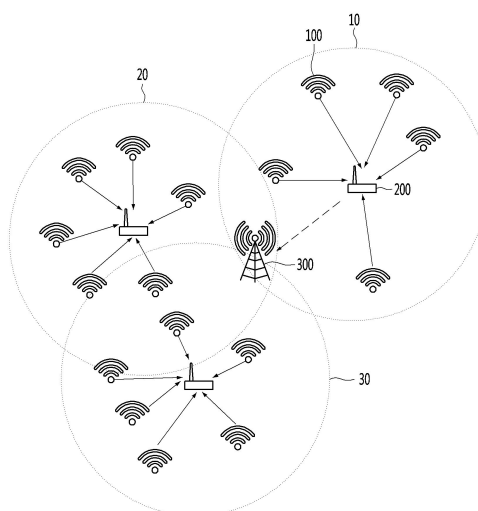
심사관 : 황유진

(54) 발명의 명칭 IOT 장치를 이용한 환경정보 모니터링 시스템

(57) 요약

IOT 장치를 이용한 환경정보 모니터링 시스템이 개시된다. 본 발명의 실시 예에 따른 IOT 장치를 이용한 환경정보 모니터링 시스템은, 환경정보를 감지하여 관독값을 생성하는 복수의 IOT 장치, 액세스 포인트, 상기 복수의 IOT 장치 중 활성화된 IOT 장치로부터 관독값 들을 수신하고, 상기 수신된 관독값 들을 이용하여 보고를 생성하여 상기 액세스 포인트로 전송하는 퓨전 센터, 및, 상기 환경정보 모니터링 시스템의 파라미터, 상기 환경정보 시스템에 요구되는 요구 사항 및 상기 복수의 IOT 장치의 충전 에너지 잔여량 중 적어도 하나에 기초하여, 활성화되는 IOT 장치를 스케줄링 하는 스케줄링 장치를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H04L 1/0027 (2013.01)
H04L 1/20 (2013.01)
H04L 5/0057 (2013.01)
H04W 24/10 (2013.01)
H04W 28/04 (2018.01)
H04W 72/1231 (2013.01)
H04W 72/1278 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

KR1020150117600 A
 KR1020100105130 A
 Mohammed S. Al-kahtani, "Efficient Cluster-Based Sleep Scheduling for M2M Communication Network"
 Subha P Eswaran et al., "Service Centric Markov based Spectrum Sharing for Internet of Things (IoT)"

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711072322
부처명	과학기술정보통신부
연구관리전문기관	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)(R&D)(13111015015512001234301)
연구과제명	위성 통신을 위한 다중 안테나 기반 전이중 무선 네트워크 기술 연구 및 연구환경 구축
기 여 율	1/1
주관기관	조선대학교
연구기간	2018.04.01 ~ 2019.02.28
공지예외적용 : 있음	

명세서

청구범위

청구항 1

IOT 장치를 이용한 환경정보 모니터링 시스템에 있어서,
환경정보를 감지하여 판독값을 생성하는 복수의 IOT 장치;
엑세스 포인트;

상기 복수의 IOT 장치 중 활성화된 IOT 장치로부터 판독값 들을 수신하고, 상기 수신된 판독값 들을 이용하여 보고를 생성하여 상기 엑세스 포인트로 전송하는 퓨전 센터; 및

상기 환경정보 모니터링 시스템의 파라미터, 상기 환경정보 모니터링 시스템에 요구되는 요구 사항 및 상기 복수의 IOT 장치의 충전 에너지 잔여량 중 적어도 하나에 기초하여, 활성화되는 IOT 장치를 스케줄링 하는 스케줄링 장치를 포함하고,

상기 스케줄링 장치는,

상기 환경 정보 모니터링 시스템의 파라미터 및 상기 요구 사항에 기초하여 IOT 장치의 최소 활성화 개수 및 상기 보고의 속도를 결정하는

IOT 장치를 이용한 환경정보 모니터링 시스템.

청구항 2

삭제

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 파라미터는,

상기 퓨전 센터가 속하는 클러스터 내 IOT 장치들의 개수, 상기 클러스터 내 IOT 장치들의 총 데이터 속도, 상기 클러스터 내 IOT 장치들의 측정 오차 및 상기 퓨전 센터 내 버퍼의 사이즈를 포함하는

IOT 장치를 이용한 환경정보 모니터링 시스템.

청구항 4

제 3항에 있어서,

상기 판독값 들의 수신 및 상기 보고의 전송은 연속 시간 확률 과정이고,

상기 스케줄링 장치는,

상기 연속 시간 확률 과정에 상응하는 연속 시간 마르코프 체인을 이용하여 상기 최소 활성화 개수 및 상기 보고의 속도를 스케줄링하는

IOT 장치를 이용한 환경정보 모니터링 시스템.

청구항 5

제 4항에 있어서,

상기 스케줄링 장치는,

상기 연속 시간 확률 과정이 기약 및 재발하는 특성에 따라, 상기 연속 시간 마르코프 체인의 천이 속도 행렬을 이용하여 상태에 대한 고정 분포를 획득하는

IOT 장치를 이용한 환경정보 모니터링 시스템.

청구항 6

제 5항에 있어서,

상기 요구 사항은,

상기 보고의 최대 에러인 제1 요구 사항 및 상기 보고를 전송하는 최대 간격인 제2 요구 사항을 포함하고,

상기 스케줄링 장치는,

상기 고정 분포에 기초하여 보고 간격에 대한 표본 평균 오차의 기대값 및 상기 보고 간격의 기대값을 산출하고,

상기 보고 간격에 대한 표본 평균 오차의 기대값 및 상기 보고 간격의 기대값에 기초하여, 상기 제1 요구 사항 및 상기 제2 요구 사항을 만족하는 상기 최소 활성화 개수를 산출하는

IOT 장치를 이용한 환경정보 모니터링 시스템.

청구항 7

제 6항에 있어서,

상기 스케줄링 장치는,

상기 최소 활성화 개수가 산출되는 보고 속도가 복수인 경우, 가장 작은 속도를 최적의 보고 속도로 결정하는

IOT 장치를 이용한 환경정보 모니터링 시스템.

청구항 8

제 1항에 있어서,

상기 퓨전 센터는,

상기 결정된 보고의 속도가 상기 스케줄링 장치로부터 수신되면 상기 결정된 보고의 속도에 따라 상기 보고를 상기 액세스 포인트에 전송하고,

상기 스케줄링 장치는,

클러스터의 수명을 최대화 하기 위하여, 상기 최소 활성화 개수 및 상기 복수의 IOT 장치의 충전 에너지 잔여량에 기초하여 상기 복수의 IOT 장치 중 활성화 되는 IOT 장치를 선별하는

IOT 장치를 이용한 환경정보 모니터링 시스템.

청구항 9

제 8항에 있어서,

상기 스케줄링 장치는,

상기 복수의 IOT 장치 중 상기 최소 활성화 개수의 IOT 장치를 선별하여 하나의 활성화 그룹을 생성하는

IOT 장치를 이용한 환경정보 모니터링 시스템.

청구항 10

제 9항에 있어서,

상기 스케줄링 장치는,

상기 복수의 IOT 장치 중 상기 최소 활성화 개수의 IOT 장치들을 선택하는 제1 과정 및 상기 선택된 IOT 장치들 중 일부 장치의 잔여 에너지가 임계 값보다 작은 경우 상기 일부 장치를 비활성화 하고 상기 제1 과정으로 돌아가는 제2 과정을 수행하여, 상기 하나의 활성화 그룹을 생성하는

IOT 장치를 이용한 환경정보 모니터링 시스템.

청구항 11

제 9항에 있어서,

상기 스케줄링 장치는,

클러스터 내에서 에너지 잔여량이 많은 상기 최소 활성화 개수의 IOT 장치를 선별하여 상기 하나의 활성화 그룹을 생성하는

IOT 장치를 이용한 환경정보 모니터링 시스템.

청구항 12

제 11항에 있어서,

상기 스케줄링 장치는,

클러스터 내에서 에너지 잔여량이 가장 많은 IOT 장치를 상기 최소 활성화 개수와 동일한 횟수만큼 검색하는

IOT 장치를 이용한 환경정보 모니터링 시스템.

청구항 13

제 12항에 있어서,

상기 스케줄링 장치는,

상기 생성된 하나의 그룹에 포함되는 IOT 장치들을 활성화 하고, 나머지 IOT 장치들을 비활성화 하는

IOT 장치를 이용한 환경정보 모니터링 시스템.

청구항 14

제 13항에 있어서,

상기 스케줄링 장치는,

상기 활성화된 IOT 장치 중 어느 하나의 장치가 탈락하는 경우, 상기 클러스터 내에서 에너지 잔여량이 많은 상기 최소 활성화 개수의 IOT 장치를 상기 하나의 그룹으로 재 선별하고, 상기 재 선별된 그룹에 포함되는 IOT 장치들을 활성화 하는

IOT 장치를 이용한 환경정보 모니터링 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은, 시스템 요구 사항, 클러스터의 상태, IOT 장치 내 충전 에너지 잔여량에 기초하여, IOT 장치의 최소 활성화 개수, 보고의 속도, 활성화 되는 IOT 장치를 결정하는, IOT 장치를 이용한 환경정보 모니터링 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] IoT (Internet of Things) 장치는 관심 분야의 물리적 장치를 연결하여 환경 모니터링과 같은 다양한 활동을 지원하고 자동화하기 위해 제안되었다.

[0003] IoT (Internet of Things) 장치의 에너지 효율은 IOT 애플리케이션에 있어서 가장 큰 문제 중 하나이다. 이는 IoT (Internet of Things) 장치가 배터리로 동작하기 때문이며, 배터리를 재충전 또는 교체하는 것이 비용 및 노력 면에서 비효율 적이거나, 심지어는 가능하지 않기 때문이다(예를 들어, 접근하기 어려운 지형의 환경 모니터링).

[0004] IoT (Internet of Things) 장치는, 장치의 고장에 대한 대응 및 원하는 모니터링 품질을 제공하기 위하여 일반

적으로 조밀하게 배치된다.

- [0005] 따라서 모든 IoT (Internet of Things) 장치를 활성화 하여 사용하는 것은, 중복된 관독값의 생성, 채널 경쟁 등의 비효율을 야기하고 네트워크 수명을 단축시킬 수 있다.
- [0006] 한편 IoT 네트워크의 수명을 연장시키는 효과적인 방법 중 하나는, 모든 IOT 장치를 활성화 하는 대신, 일부 IOT 장치는 활성화 하고 다른 IOT 장치는 비활성화 한 후 나중에 활성화 되도록 스케줄링 하는 것이다.
- [0007] 다만 활성화 되는 IOT 장치가 감소하는 경우, 애플리케이션에 요구되는 요구 사항(예를 들어 보고 정확도, 보고 간격 등)을 위반하여, 시스템의 성능이 저하되는 문제가 발생할 수 있다.
- [0008] 따라서, 애플리케이션에 대한 요구 사항을 만족시키면서 네트워크의 수명을 최대한 연장할 수 있는, 효율적인 IOT 장치의 스케줄링이 요구된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0009] 본 발명은 상술한 문제점을 해결하기 위한 것으로, 본 발명의 목적은, 시스템 요구 사항, 클러스터의 상태, IOT 장치 내 충전 에너지 잔여량에 기초하여, IOT 장치의 최소 활성화 개수, 보고의 속도, 활성화 되는 IOT 장치를 결정하는, IOT 장치를 이용한 환경정보 모니터링 시스템을 제공하기 위함이다.

과제의 해결 수단

- [0010] 본 발명의 실시 예에 따른 IOT 장치를 이용한 환경정보 모니터링 시스템은, 환경정보를 감지하여 관독값을 생성 하는 복수의 IOT 장치, 액세스 포인트, 상기 복수의 IOT 장치 중 활성화된 IOT 장치로부터 관독값 들을 수신하고, 상기 수신된 관독값 들을 이용하여 보고를 생성하여 상기 액세스 포인트로 전송하는 퓨전 센터, 및 상기 환경정보 모니터링 시스템의 파라미터, 상기 환경정보 시스템에 요구되는 요구 사항 및 상기 복수의 IOT 장치의 충전 에너지 잔여량 중 적어도 하나에 기초하여, 활성화되는 IOT 장치를 스케줄링 하는 스케줄링 장치를 포함한다.

도면의 간단한 설명

- [0011] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른, IOT 장치를 이용한 환경정보 모니터링 시스템을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 2는 본 발명의 동작을 종합적으로 개관한 도면이다.
- 도 3a 내지 도 3c에서는, IOT 장치의 최소 활성화 개수 및 보고의 속도를 결정하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 4는, 최적의 노드 스케줄링 (ONS) 알고리즘과 그리디 노드 스케줄링(Greedy Node Scheduling, GNS)을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 5는 활성화 노드의 개수에 대한 보고 간격 및 보고 에러의 기대치를 도시한 도면이다.
- 도 6는 보고 속도에 대하여 활성화할 최적의 노드 수를 도시한 도면이다.
- 도 7은, 클러스터의 노드 수에 대한 분석 결과와 시뮬레이션 결과의 비교 그래프이다.
- 도 8은 다섯 가지 노드 스케줄링 방법과 클러스터의 수명을 비교한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0012] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 명세서에 개시된 실시 예를 상세히 설명하되, 도면 부호에 관계없이 동일하거나 유사한 구성요소는 동일한 참조 번호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다. 이하의 설명에서 사용되는 구성요소에 대한 접미사 "모듈" 및 "부"는 명세서 작성의 용이함만이 고려되어 부여되거나 혼용되는 것으로서, 그 자체로 서로 구별되는 의미 또는 역할을 갖는 것은 아니다. 또한, 본 명세서에 개시된 실시 예를 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 명세서에 개시된 실시 예의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다. 또한, 첨부된 도면은 본 명세서에 개시된 실시 예를 쉽게 이해할 수 있도록 하기 위한 것일 뿐, 첨부된 도면에 의해 본 명세서에 개시된 기술적 사상이 제한되지 않으며,

본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

- [0013] 제1, 제2 등과 같이 서수를 포함하는 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되지는 않는다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.
- [0014] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다.
- [0015] 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함한다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0016] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른, IOT 장치를 이용한 환경정보 모니터링 시스템을 설명하기 위한 도면이다.
- [0017] 본 발명의 실시 예에 따른 IOT 장치를 이용한 환경정보 모니터링 시스템은, IOT 장치, 퓨전 센터(200) 및 액세스 포인트(300)를 포함할 수 있다.
- [0018] IOT 장치를 이용한 환경정보 모니터링 시스템은 복수의 클러스터(10, 20, 30)를 포함할 수 있다.
- [0019] 여기서 하나의 클러스터는, 액세스 포인트(300), 퓨전 센터(200) 및 복수의 IOT 장치를 포함할 수 있다.
- [0020] 이하에서는 제1 클러스터(10)에 대해서 설명하나, 제1 클러스터(10)에 대한 설명은 제2 클러스터(20) 및 제3 클러스터(30)에도 그대로 적용될 수 있다.
- [0021] 제1 클러스터(10)는 복수의 IOT 장치(100), 퓨전 센터(200) 및 액세스 포인트(300)를 포함하여 하나의 네트워크를 구성할 수 있다.
- [0022] 이 경우 복수의 IOT 장치(100) 각각은 퓨전 센터(200)와 유선 또는 무선 통신을 수행할 수 있다. 또한 퓨전 센터(200)는 액세스 포인트(300)와 통신할 수 있다.
- [0023] 본 명세서에서 용어 "IOT 장치"는 용어 "노드"와 혼용되어 사용될 수 있다.
- [0024] IOT 장치는 활성화 또는 비활성화 될 수 있다. IOT 장치가 활성화 되는 경우 활성화된 IOT 장치는 환경 정보를 감지하여 판독값을 생성하고, 생성된 판독값을 퓨전 센터로 전송할 수 있다.
- [0025] 여기서 환경 정보는 온도, 소리, 빛, 진동 등을 포함할 수 있고, 판독값은 환경 정보를 데이터화 한 정보를 의미할 수 있다.
- [0026] 퓨전 센터는 복수의 IOT 장치 중 활성화된 IOT 장치로부터 판독값 들을 수신하고, 수신된 판독값을 이용하여 보고를 생성하여 액세스 포인트로 전송할 수 있다.
- [0027] 여기서 보고는, 복수의 IOT 장치로부터 수신된 판독값 들을 종합하여 하나의 클러스터 내 환경을 나타내는 것일 수 있다. 예를 들어 퓨전 센터는 활성화 된 IOT 장치로부터 수신된 판독값에 평균을 취한 평균 값을 보고로써 생성하고, 보고를 액세스 포인트에 전송할 수 있다.
- [0028] 한편 IOT 장치를 이용한 환경정보 모니터링 시스템은, 스케줄링 장치(미도시)를 더 포함할 수 있다.
- [0029] 스케줄링 장치는, 환경 정보 모니터링 시스템의 파라미터, 환경 정보 시스템에 요구되는 요구 사항을 저장할 수 있다. 또한 스케줄링 장치는 복수의 IOT 장치의 충전 에너지 잔여량을 복수의 IOT 장치로부터 수신할 수 있다.
- [0030] 스케줄링 장치는, 환경 정보 모니터링 시스템의 파라미터, 환경 정보 시스템에 요구되는 요구 사항 및 복수의 IOT 장치의 충전 에너지 잔여량 중 적어도 하나에 기초하여, 활성화 되는 IOT 장치를 스케줄링 할 수 있다.
- [0031] 도 2는 본 발명의 동작을 종합적으로 개관한 도면이다.
- [0032] 구체적으로 스케줄링 장치는 네트워크 파라미터를 마르코프 프로세스(Markov process)로 모델링 및 분석하고, 환경 정보 모니터링 시스템의 파라미터 및 요구 사항을 충족하도록 IOT 장치의 최소 활성화 개수(η^*) 및 보고

의 속도(μ^*)를 결정할 수 있다.

- [0033] 여기서 결정되는 최소 활성화 개수(η^*) 및 보고의 속도(μ^*)는, 클러스터(10)의 수명을 최대화 시키는, IOT 장치의 활성화 개수 및 퓨전 센터의 보고 속도를 의미할 수 있다.
- [0034] 여기서 클러스터(10)의 수명이란, 클러스터(10)가 시스템에 요구되는 요구 사항을 만족시키면서 동작하는 시간을 의미할 수 있다.
- [0035] 한편 보고의 속도(μ^*)가 결정되는 경우, 스케줄링 장치는 퓨전 센터에 결정된 보고의 속도(μ^*)를 전송할 수 있다. 이 경우 스케줄링 장치는 결정된 보고의 속도(μ^*)에 따라 보고를 생성하여 액세스 포인트에 전송할 수 있다.
- [0036] 한편 스케줄링 장치는, 클러스터의 수명을 최대화 하기 위하여, 결정된 최소 활성화 개수(η^*) 및 복수의 IOT 장치의 충전 에너지 잔여량에 기초하여 복수의 IOT 장치 중 활성화 되는 IOT 장치를 선별할 수 있다.
- [0037] 도 3a 내지 도 3c에서는, IOT 장치의 최소 활성화 개수 및 보고의 속도를 결정하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.
- [0038] 한편 동일한 클러스터(10) 내 복수의 IOT 장치에서 생성된 관측값에는 다음과 같은 사항들이 가정될 수 있다.
- [0039] 먼저 관측값 들은 관측 값들을 제1 속도(λ)로 포아송 분포에 따라 생성될 수 있다. 여기서 제1 속도(λ)는 클러스터 내 모든 노드들의 집합($\mathcal{W}$)의 총 데이터 속도(aggregate data rate)를 의미할 수 있다.
- [0040] 또한 관측값은 평균($\overline{D^i}$)과 분산(σ^2)을 가지는, 독립적이고 균일하게 분포되는 랜덤 변수일 수 있다.
- [0041] 여기서 분산(σ^2)은, 감지 오차 또는 측정 오차로 간주될 수 있다.
- [0042] 한편 클러스터에 포함되는 복수의 노드는 균일하다고 가정되어, 복수의 노드의 관측값은 동일한 측정 오차(=분산(σ^2))를 가지고, 고정된 데이터 생산 속도($\lambda/|\mathcal{W}|$)를 가질 수 있다.
- [0043] 또한 노드에는 에너지 공급이 추가로 되지 않는다고 가정될 수 있다, 예를 들어 IOT 장치는 자가 충전을 하지 않고 배터리에 의해 동작 할 수 있다.
- [0044] 한편 퓨전 센터는 특정 개수(B)의 데이터(관측값)을 저장할 수 있는 유한 크기의 버퍼를 포함할 수 있다.
- [0045] IOT 장치로부터 수신된 관측값은 버퍼에 저장될 수 있다. 그리고 버퍼가 가득 차면, 퓨전 센터는 버퍼에 저장된 관측값 들을 이용하여 보고를 생성하고 버퍼를 비울 수 있다. 한편 버퍼가 저장할 수 있는 관측값의 개수를 버퍼의 사이즈(B)고 지칭할 수 있다.
- [0046] 한편 보고는 제2 속도(μ)를 가지고 포아송 분포를 따를 수 있다.
- [0047] IOT 장치와는 달리, 퓨전 센터는 제2 속도(μ)를 동적으로 조절할 수 있다. 여기서 제2 속도(μ)는 보고가 AP에 전송되는 속도를 의미할 수 있다.
- [0048] 즉 제1 속도는 고정되고, 제2 속도는 동적으로 조절될 수 있다.
- [0049] 또한 보고 속도는 이산(discrete)하는 것으로, 최소값과 최대값 사이에서 조절될 수 있다.
- [0050] 한편 환경정보 모니터링 시스템의 파라미터는, 특정 클러스터의 파라미터를 의미할 수 있다.
- [0051] 여기서 특정 클러스터(10)의 파라미터는, 클러스터(10) 내 노드들의 집합($\mathcal{W} = \{w_1, w_2, \dots, w_{|\mathcal{W}|}\}$)(즉 클

러스터 내 노드의 개수), 관독값의 총 데이터 속도(λ), 클러스터 내 IOT 장치들의 측정 오차(σ^2) 및 퓨전 센터 내 버퍼의 사이즈(B)를 포함할 수 있다.

[0052] 이 밖에도 클러스터(10)의 파라미터는, 노드의 잔여 충전 에너지($\phi(w_a)$)를 포함할 수 있다.

[0053] 한편 IOT 장치를 이용한 환경 정보 모니터링 시스템에는, 요구 사항이 주어질 수 있다. 요구 사항은 제1 요구 사항 및 제2 요구 사항을 포함할 수 있다.

[0054] 제1 요구 사항은 퓨전 센터가 액세스 포인트에 전송하는 보고의 최대 에러(σ_{req})로써, 이는 보고의 정확도에 관련된 요구일 수 있다.

[0055] 제2 요구 사항은 퓨전 센터가 액세스 포인트에 전송하는 보고의 최대 시간 간격으로써, 이는 보고의 적시 업데이트에 관련된 요구일 수 있다.

[0056] 한편 스케줄링 장치는 환경 정보 모니터링 시스템의 파라미터 및 요구 사항에 기초하여 IOT 장치의 최소 활성화 개수(=최적의 활성화 노드의 개수, η^*) 및 보고의 속도(= 최적의 보고 속도, μ^*)를 결정할 수 있다.

[0057] 한편 본 발명의 동작은, 동작을 위한 최소한의 잔여 에너지를 가진 노드의 개수가, 최소 활성화 개수(η^*)보다 작아지는 경우 종료될 수 있다.

[0058] 한편 관독값 들의 수신 및 보고의 전송은 연속 시간 확률 과정이고, 스케줄링 장치는 연속 시간 확률 과정에 상응하는 연속 시간 마르코프 체인을 이용하여 최소 활성화 개수 및 보고의 속도를 스케줄링할 수 있다.

[0059] 구체적으로, 시간(t)이 0보다 크거나 같을 때 버퍼의 집합($B = \{0, 1, 2, \dots, b, \dots, B\}$)으로부터 값을 취하는 연속 시간 확률 과정(a continuous-time stochastic process)은 아래와 같은 수식으로 나타낼 수 있다.

수학적 1

[0060] $\{X_t\}_{t \geq 0}$

[0061] 한편 버퍼가 가득 차면 새로운 관독값의 도착을 무시하기 때문에, 버퍼의 집합($B = \{0, 1, 2, \dots, b, \dots, B\}$)은 유한 집합일 수 있다.

[0062] 한편 b는 X_t 의 상태이므로, 시간 t에서 퓨전 센터의 버퍼는 b개의 관독값을 가질 수 있다.

[0063] 한편 X_t 가 버퍼의 사이즈보다 작은 경우, 활성화 노드로부터 새로운 관독값이 전송되면 연속 시간 확률 과정(a continuous-time stochastic process)의 상태는 1씩 증가할 수 있다.

[0064] 또한 퓨전 센터가 보고를 액세스 포인트에 전송하는 경우, 연속 시간 확률 과정(a continuous-time stochastic process)의 상태는 0으로 돌아갈 수 있다.

[0065] 한편 현재 상태에서 소비된 시간의 양(지속 시간)은 연속적이고, 현재 상태에서 다음 상태로 천이하는 것은 과거와 독립적이다.

[0066] 이와 같이 $\{X_t\}_{t \geq 0}$ 는, 각 상태의 지속 시간이 지수적으로 분산되어 있는 연속 시간 확률 과정(a continuous-time stochastic process)일 수 있다.

[0067] 이에 상응하는 연속 시간 마르코프 체인(Continuous-Time Markov Chain, CTMC)은 도 3c에서 도시하고 있다.

[0068] 한편 클러스터 내 노드의 집합($\mathcal{W}$)은 아래의 식으로 나타낼 수 있다.

수학식 2

$$W = \{w_1, w_2, \dots\}$$

[0069]

[0070] 활성화 노드에서 퓨전 센터로 관독값이 전송되는 것은 각 노드마다 독립적일 수 있다. 또한 현재 상태가 버퍼가 가득 찬 상태가 아닌 경우, 연속 시간 마르코프 체인(Continuous-Time Markov Chain, CTMC)의 천이가 우측으로 이루어 지는 총 속도는 제1 속도(λ)일 수 있다.

[0071] 한편 현재 상태가 0이 아닌 경우, 연속 시간 마르코프 체인(Continuous-Time Markov Chain, CTMC)은 제2 속도(μ)로 상태 0으로 천이할 수 있다.

[0072] 한편 버퍼에 관독값이 없는 경우, 퓨전 센터는 액세스 포인트(Access Point, AP)에 보고를 전송하지 않을 수 있다.

[0073] 한편 천이 속도 행렬(또는 미소 생성기)은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 3

$$Q = [q_{ij}]_{(i,j) \in B \times B}$$

[0074]

[0075] 여기서 q_{ij} 는 상태 i에서 상태 j로 천이하는 속도를 의미할 수 있다.

[0076] 한편 천이 속도 행렬을 다시 표현하면 다음과 같다.

수학식 4

$$Q = \begin{bmatrix} -q_{01} & q_{01} & 0 & \dots & 0 \\ q_{10} & -(q_{10} + q_{12}) & q_{12} & \dots & 0 \\ q_{20} & 0 & -(q_{20} + q_{23}) & \dots & 0 \\ \vdots & 0 & 0 & \ddots & \vdots \\ q_{M0} & 0 & 0 & \dots & -q_{M0} \end{bmatrix}$$

[0077]

[0078] 여기서 $q_{ii} = -q_i$ 일 수 있으며,

[0079] q_i 는 상태 i로부터 총 나가는 속도로 아래의 식으로 표현될 수 있다.

수학식 5

$$q_i = \sum_{\forall j \neq i} q_{ij}$$

[0080]

[0081] 한편 스케줄링 장치는, 천이 속도 행렬을 가지는 연속 시간 마르코프 체인으로부터 지수적인 지속 시간을 가지는 등가의 이산 시간 마르코프 체인을 획득할 수 있다.

[0082] 이산 시간 마르코프 체인(Discrete-Time Markov Chain, DTMC)에서, 모든 상태는 서로 소통하고(communicate), 서로 소통하는 모든 상태들은 하나의 소통 클래스를 형성한다. 이와 같이 연속 시간 마르코프 체인과 이산 시간

마르코프 체인은 모두 기약(irreducible)할 수 있다.

[0083] 또한 연속 시간 마르코프 체인 및 이산 시간 마르코프 체인은 기약(irreducible) 및 재발(recurrent)할 수 있다.

[0084] 구체적으로 유한한 상태 공간을 가지고 기약(irreducible)하는 이산 시간 마르코프 체인은 항상 재발(recurrent)하고(예를 들어 모든 상태가 재발하고), 이산 시간 마르코프 체인과 등가의 연속 시간 마르코프 체인도 마찬가지로 일 수 있다.

[0085] 또한 상태 공간이 유한하기 때문에 연속 시간 마르코프 체인(CTMC)은 규칙적(regular)일 수 있다.

[0086] 한편 스케줄링 장치는, 연속 시간 확률 과정이 기약 및 재발하는 특성에 따라, 연속 시간 마르코프 체인의 천이 속도 행렬을 이용하여 상태에 대한 고정 분포를 획득할 수 있다.

[0087] 구체적으로 연속 시간 확률 과정(a continuous-time stochastic process)($\{X_t\}_{t \geq 0}$)이 기약(irreducible) 및 재발(recurrent)하기 때문에, 고정 분포($\pi = \{\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_B\}$)는 수학식 6과 같은 글로벌 균형 방정식과 수학식 7에 의해 산출될 수 있다.

수학식 6

[0088]
$$\sum_{j \neq i} \pi_i \times q_{ij} = \sum_{j \neq i} \pi_j \times q_{ji}$$

수학식 7

[0089]
$$\sum_{i \in B} \pi_i = 1$$

[0090] 한편 $\rho = \frac{\lambda}{\lambda + \mu}$ 라 한다.

[0091] 그리고 나서 모든 상태 i에 대한 고정 분포(π_i)를 획득할 수 있다.

[0092] 여기서 모든 상태 i에 대한 고정 분포(π_i)는 오랜 기간 동안 상태 i에서 소비된 시간의 비율을 의미할 수 있다.

[0093] 모든 상태 i에 대한 고정 분포(π_i)는 아래와 같은 식으로 나타낼 수 있다.

수학식 8

[0094]
$$\pi_i = \begin{cases} \left\{ \frac{1-\rho^B}{1-\rho} + \frac{\lambda}{\mu} \rho^{B-1} \right\}^{-1}, & \text{for } i = 0. \\ \rho^i \left\{ \frac{1-\rho^B}{1-\rho} + \frac{\lambda}{\mu} \rho^{B-1} \right\}^{-1}, & \text{for } 0 < i < B. \\ \frac{\lambda}{\mu} \rho^{B-1} \left\{ \frac{1-\rho^B}{1-\rho} + \frac{\lambda}{\mu} \rho^{B-1} \right\}^{-1}, & \text{for } i = B. \end{cases}$$

- [0096] 한편 연속 시간 확률 과정(a continuous-time stochastic process)($\{X_t\}_{t \geq 0}$)이 고유한, 1씩 증가하는 고정 분포를 가지기 때문에, 연속 시간 확률 과정(a continuous-time stochastic process)은 양재발(positive recurrent)할 수 있다.
- [0097] 이 경우 스케줄링 장치는 고정 분포에 기초하여 보고 간격에 대한 표본 평균 오차의 기대 값 및 보고 간격의 기대값을 산출할 수 있다.
- [0098] 또한 스케줄링 장치는, 보고 간격에 대한 표본 평균 오차의 기대값 및 보고 간격의 기대값에 기초하여, 제1 요구 사항 및 제2 요구 사항을 만족하는 최소 활성화 개수를 산출할 수 있다.
- [0099] 구체적으로, 확률 변수(U^l)는, 퓨전 센터가 보고 간격(l) 내에서 표본 평균을 계산하기 위하여 사용하는 버퍼된 판독값의 숫자에 대한 확률 변수를 의미할 수 있다.
- [0100] 예를 들어 $U^l = b \in \mathcal{B}$ 인 경우, b 판독값을 가지는 표본 평균을 계산하여 보고했으므로, 연속 시간 마르코프 체인이 상태 b 에서 상태 0으로 천이했다는 것을 의미할 수 있다.
- [0101] 한편 합산 기간은, 상태 0으로부터 자신으로의 천이가 없었으므로 $1 - \pi_0$ 에 의해 표준화 될 수 있다.
- [0102] 이는 아래와 같은 식으로 나타낼 수 있다.

수학식 9

[0103]
$$E[U^l] = \frac{1}{1-\pi_0} \sum_{i=1}^B i \times \pi_i$$

- [0104] 한편 확률 변수(D_m^l)은, 보고 간격(l)내에서 퓨전 센터에 도달한 m 번째(m^{th}) 판독 값의 값에 대한 확률 변수를 의미할 수 있다.
- [0105] 확률 변수(D_m^l)가 가정에 의해 독립적이고 균일하게 분포되기 때문에, 보고 간격(l)에 대한 표본 평균은 확률 변수 S^l 로 나타낼 수 있다. 이는 다음과 같은 수식으로 표현할 수 있다.

수학식 10

[0106]
$$S^l = \frac{1}{U^l} \sum_{m=1}^{U^l} D_m^l$$

- [0107] 중심 극한 정리에 의해, 보고 간격(l)에 대응하는 확률 변수(S^l)는 $\overline{D^l}$ 의 평균과 σ^2/U^l 의 분산을 가지는 정규 분포를 따를 수 있다.
- [0108] 따라서 보고 간격(l)에 대한 표본 평균 오차의 기대값은 $\sigma/\sqrt{E[U^l]}$ 으로 나타낼 수 있다.
- [0109] 한편 보고 간격(l)에 대한 표본 평균 오차의 기대값($\sigma/\sqrt{E[U^l]}$)이 최대 기대 에러(σ_{req})보다 작으면, 보고 정확도 요구 사항을 만족할 수 있다.
- [0110] 이는 아래와 같은 수식으로 나타낼 수 있다.

수학식 11

$$\sigma / \sqrt{E[U^i]} \leq \sigma_{req}$$

보고 간격은 연속 시간 마르코프 체인이 상태 0에서 시작한 다음 다시 처음으로 상태 0으로 돌아가는 시간 간격이다. 상태 0에서는 그 자신으로 직접 천이가 이루어 지지 않는다.

τ_{ii} 는 상태 i로부터 상태 i로 돌아가는 최소 시간일 수 있다.

예를 들어 τ_{ii} 는 아래와 같은 수식으로 나타낼 수 있다.

수학식 12

$$\tau_{ii} = \inf\{t \geq 0 : X_t = i, X_{t-} \neq i | X_0 = i\}$$

여기서 연속 시간 확률 과정(a continuous-time stochastic process)이 양재발(positive recurrent.) 하기 때문에, $E[\tau_{ii}] = \frac{1}{\pi_i \times q_i} < \infty$ 일 수 있다.

따라서 τ_{00} 은 보고 간격의 기대값일 수 있다.

또한 적시 업데이트 요구 사항으로, 보고 간격의 기대값(τ_{00})이 최대 기대 에러보다 작을 것($\tau_{00} \leq \tau_{req}$) 이 요구될 수 있다.

한편, 주어진 제2 속도(μ)에 대하여, 활성화 노드의 숫자가 증가함으로써 퓨전 센터가 각각의 보고 간격 동안 더 많은 데이터를 버퍼할 수 있기 때문에, 각 표본 평균의 기대 에러는 감소할 수 있다.

한편 상태 0에서는 더 짧은 지속 시간 때문에, 기대되는 보고 간격이 감소할 수 있다.

주어진 제2 속도(μ)에 대하여, 보고 정확도 및 적시 업데이트 요구 사항을 각각 만족하기 위해서, 활성화 되어야 하는 노드의 최소 숫자를 각각 제1 개수($\eta_{ERR}^*(\mu)$) 및 제2 개수($\eta_{RI}^*(\mu)$)라고 한다.

이 경우 두 요구 사항을 만족하는 활성화 노드의 최소 개수는 아래의 수식으로 표현될 수 있다.

수학식 13

$$\eta^*(\mu) = \max\{\eta_{ERR}^*(\mu), \eta_{RI}^*(\mu)\}$$

한편 제2 속도(μ)가 증가하는 경우 기대 보고 간격은 감소한다.

따라서 퓨전 센터가 짧은 시간 내에 충분한 데이터를 버퍼하기 위하여, 위하여 $\eta_{ERR}^*(\mu)$ 가 증가하여야 한다.

반면에 제2 속도(μ)가 감소하는 경우 기대 보고 간격은 증가한다.

따라서 최대 보고 간격 요구 사항을 만족하기 위하여, 상태 0에서 퓨전 센터가 지속 시간을 줄이기 위하여 더 많은 노드를 활성화 하도록 제2 개수($\eta_{RI}^*(\mu)$)가 증가하여야 한다.

- [0128] 요약하면, 제1 개수($\eta_{ERR}^*(\mu)$)는 제2 개수($\eta_{RI}^*(\mu)$)가 증가하지 않는 동안 감소하지 않는 함수이다.
- [0129] 그러므로 활성화 노드의 최소 수를 산출할 수 있는 적어도 하나의 제2 속도(μ)가 존재할 수 있다.
- [0130] μ^* 는 최적의 제2 속도를 나타내고, η^* 는 최적의 제2 속도(μ^*)에 대한 노드의 최소 활성화 개수일 수 있다.
- [0131] 그리고 노드의 최소 활성화 개수(η^*)가 산출되는 최적의 제2 속도가 복수인 경우, 스케줄링 장치는 복수의 제2 속도 중 가장 작은 제2 속도를 최적의 보고 속도(μ^*)로써 결정할 수 있다.
- [0132] 한편 최적의 보고 속도(μ^*)가 결정된 경우, 스케줄링 장치는 퓨전 센터에 최적의 보고 속도(μ^*)를 전송할 수 있다.
- [0133] 이 경우 퓨전 센터는 최적의 보고 속도(μ^*)에 따라 보고를 액세스 포인트에 전송할 수 있다.
- [0134] 상술한 과정을 통하여, 배터리로 구동되는 IOT 장치의 에너지 소비량을 최소화 하면서, 동시에 네트워크 요구조건을 만족 시키는 최적의 성능을 보장할 수 있다.
- [0135] 한편 동일한 최소 활성화 개수(η^*)의 노드를 활성화 하더라도, 노드의 활성화를 스케줄링 하는 기법에 따라 네트워크의 수명(life time)이 달라질 수 있다.
- [0136] 따라서 스케줄링 장치는, 클러스터의 수명을 최대화 하기 위하여, 최소 활성화 개수 및 복수의 노드의 충전 에너지 잔여량에 기초하여 복수의 노드 중 활성화 되는 노드를 선별할 수 있다.
- [0137] 이하에서는 활성화 되는 노드를 선별하는 과정에 대하여 설명한다.
- [0138] 먼저 최적의 노드 스케줄(optimal node scheduling)을 찾기 위한 최적화 기법에 대하여 설명한다.
- [0139] 스케줄링 장치는, 복수의 IOT 장치를 복수의 그룹으로 구분하고, 하나의 그룹에 포함되는 IOT 장치를 함께 활성화 할 수 있다. 이 경우 복수의 그룹은 최소 활성화 개수의 IOT 장치를 각각 포함할 수 있다.
- [0140] 구체적으로 복수의 노드는 복수의 그룹($G = \{g_1, g_2, \dots\}$)으로 구분될 수 있으며, 한번에 하나의 그룹이 활성화 될 수 있다.
- [0141] 즉 에너지 절약을 극대화 하기 위하여, 최소 개수(η^*)의 노드를 활성화 할 수 있다.
- [0142] 한편 하나의 클러스터에는 W개의 노드가 있으므로 G개의 그룹을 생성할 수 있다. 이는 아래의 식으로 나타낼 수 있다.

수학적식 14

[0143] $|\mathcal{G}| = G = \lfloor W/\eta^* \rfloor$, where $W = |\mathcal{W}|$

- [0144] 여기서 그룹이란, 동시에 활성화 되어야 하는 노드의 집합을 의미할 수 있다. 그리고 에너지의 절약을 위하여 하나의 그룹에는 최소 개수(η^*)의 노드만이 포함될 수 있다.
- [0145] 예를 들어 클러스터 내에 10개의 단말이 있고(1,2,3,...10), $\eta^* = 4$ 라면, $g_1 = \{1,2,3,4\}$, $g_2 = \{5,6,7,8\}$ 과 같이 두개의 그룹을 만들 수 있다.

[0146] 한편 복수의 그룹의 최대 수명은, 복수의 그룹에 각각 포함되는 IOT 장치들 중 잔여 에너지가 가장 작은 IOT 장치의 에너지 잔여량에 따라 결정될 수 있다.

[0147] 이는 에너지 소비를 줄이기 위해 하나의 그룹에는 η^* 개의 노드만 포함되어 있으므로, 하나의 노드라도 배터리가 바닥나면 해당 그룹은 네트워크 요구조건을 만족시킬 수 없기 때문이다.

[0148] 즉 에너지 잔여량이 가장 작은 노드가 가장 빨리 에너지가 바닥나므로, 그룹의 최대 수명은 해당 그룹 내의 노드가 가진 에너지 잔량 중 가장 작은 에너지 잔량에 비례할 수 있으며, 이를 그룹별 예상 최대 수명이라 지칭할 수 있다.

[0149] 즉 그룹(g_b)의 수명은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 15

[0150]
$$\min\{\phi(w_a) : \forall w_a \in g_b\}$$

[0151] 여기서 $\phi(w_a)$ 는 노드 w_a 의 잔여 에너지를 변환하는 함수일 수 있다.

[0152] 스케줄링 장치는 복수의 그룹의 최소 에너지 잔여량의 합이 최대화 되도록 복수의 그룹 중 하나의 그룹을 선택할 수 있다.

[0153] 모든 그룹에 걸쳐 최소 잔여 에너지의 합을 최대화 함으로써, 최적의 노드 스케줄링 문제는 다음과 같이 나타낼 수 있다. 이를 최적의 노드 스케줄(optimal node scheduling)을 찾기 위한 최적화 기법인 P1 과정이라 지칭한다.

수학식 16

[0154]
$$\begin{aligned} \max_Z \quad & \sum_{b=1}^G \min\{\phi(w_a) : \forall w_a \in g_b\} \quad (1a) \\ \text{subject to: } \forall b : \quad & \sum_{a=1}^W z_{ab} = \eta^* \quad (1b) \\ \forall a : \quad & \sum_{b=1}^G z_{ab} \leq 1 \quad (1c) \\ \forall a, b : \quad & z_{ab} \in \{0, 1\}, \quad (1d) \end{aligned}$$

[0155] 여기서 Z는 아래의 수학식으로 표현될 수 있다.

수학식 17

[0156]
$$\mathbf{Z} = [z_{ab}]_{(a,b) \in \{1,2,\dots,W\} \times \{1,2,\dots,G\}}$$

[0157] 또한 $w_a \in g_b$ 인 경우 z_{ab} 는 1이며, 그렇지 않은 경우 z_{ab} 는 0일 수 있다.

[0158] 한편 각각의 그룹(g_b)은 최소의 노드(η^*)로 구성되고, 각각의 노드(w_a)는 최대 하나의 그룹에 속할 수 있다.

[0159] 식 1a는, 각 그룹별 예상 최대 수명의 합을 최대화 하는 것을 목표로 하는 것을 나타내며, 식 1b는 각 그룹은

η^* 개의 노드로 구성되는 것을 나타낸다.

[0160] 또한 식 1c는 각 노드는 0개 또는 1개의 그룹에 포함되는 것을 나타내며, 식 1d는 하나의 노드가 그룹에 속하거나(=1) 아무 그룹에도 속하지 않는 것(=0)을 나타내고 있다.

[0161] 다음은 P1 과정을 컴퓨터 프로그램으로 풀 수 있도록 MILP(mixed-integer linear program) 형식으로 변형하는 P2 과정을 설명한다.

[0162] P2 과정은 아래와 같은 식으로 나타낼 수 있다.

수학식 18

$$\max_{\mathbf{Z}, \bar{\mathbf{Z}}, \mathbf{v}} \sum_{b=1}^G v_b \quad (2a)$$

subject to: constraints in (1b), (1c), (1d)

$$\forall a, b: v_b \leq \phi(w_a) \times z_{ab} + \phi_{max} \times \bar{z}_{ab} \quad (2b)$$

$$\forall a, b: z_{ab} + \bar{z}_{ab} = 1, \quad (2c)$$

[0164] 여기서 $\bar{\mathbf{Z}} = \mathbf{1}_{W \times G} - \mathbf{Z}$ 의 관계가 성립할 수 있으며, ϕ_{max} 는 노드의 최대 에너지 용량을 의미할 수 있다.

[0165] 식 2a 및 식 2b으로부터, 아래와 같은 식이 도출될 수 있다.

수학식 19

$$v_b = \min\{\min\{\phi(w_a) : \forall w_a \in g_b\}, \phi_{max}\}$$

[0167] 새로운 목적 함수(식 2a)는 각각의 그룹이 적어도 하나의 노드를 가지는 한, 식 1a과 등가일 수 있다.

[0168] 최적 해답($\mathbf{Z}^*$)와 $\mathbf{v}^* \in \mathbb{R}^G$ 는 각각 어떤 노드가 어떤 그룹에 속하는지 및 그룹 별 최소 잔여 에너지의 집합을 의미할 수 있다.

[0169] 식 2a, 2b, 2c에서 2진 변수의 개수는 $W \times G \approx W^2/\eta^*$ 이므로, 노드의 숫자가 증가함에 따라 최적의 솔루션을 찾는 데 걸리는 시간이 지수적으로 증가할 수 있다.

[0170] 따라서, 실제 사물인터넷 환경에서 사용하게 되면 응답시간이 너무 길어지는 문제가 발생할 수 있다. 따라서 식 2a, 2b, 2c에서의 복잡도를 낮추어 응답 시간을 줄일 수 있다. 즉 P2 과정을 분석하여 이진 변수의 개수를 줄일 수 있다.

[0171] 구체적으로, $\phi(w_a)$ 에서 $a = 1, 2, \dots, W$ 를 만족하도록 순서가 매겨진 목록을 $\Phi = \{\phi_{[1]}, \phi_{[2]}, \phi_{[3]}, \dots, \phi_{[W]}\}$ 라 한다.

[0172] 또한 그룹 내의 노드들 중 최소 잔여 에너지가 모든 그룹의 값 중 k 번째로 작은 그룹을 $g[k]$ 라고 가정한다.

[0173] $g[k]$ 에 대하여, 그룹 내의 노드들의 잔여 에너지의 세트는 $\Phi^{[k]} = \{\phi_{[1]}^k, \phi_{[2]}^k, \dots, \phi_{[n^*]}^k\}$ 와 같이 표시된다.

[0174] 한편 식 2a가 $\max \sum_{b=1}^G \phi_{[1]}^b$ 와 같으면, ϕ 값을 최적으로 파티셔닝 한다고 할 수 있다.

[0175] 이는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 20

$$\begin{aligned} \hat{\Phi}^{[1]} &= \{\phi_{[k+1]}, \phi_{[k+2]}, \dots, \phi_{[k+\eta^*]}\}, \hat{\Phi}^{[2]} = \{\phi_{[k+\eta^*+1]}, \\ &\phi_{[k+\eta^*+2]}, \dots, \phi_{[k+2\eta^*]}\}, \dots, \hat{\Phi}^{[G]} = \{\phi_{[k+(G-1)\eta^*+1]}, \\ &\phi_{[k+(G-1)\eta^*+2]}, \dots, \phi_{[k+G\eta^*]}\}, \end{aligned}$$

$$\text{where } k = W - \eta^* \times \lfloor \frac{W}{\eta^*} \rfloor$$

한편 상응하는 최적의 벡터 $\hat{\mathbf{V}}$ 는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 21

$$[\hat{\phi}_{[1]}^1 (= \phi_{[k+1]}), \hat{\phi}_{[1]}^2 (= \phi_{[k+\eta^*+1]}), \dots, \hat{\phi}_{[1]}^G (= \phi_{[k+(G-1)\eta^*+1])}]^T$$

또한, $\hat{\mathbf{V}}$ 는 다른 어떤 $\mathbf{v} = \{\phi_{[1]}^1, \phi_{[1]}^2, \dots, \phi_{[1]}^G\}$ 보다 크거나 같은 엘리먼트 와이즈(element-wise) 이므로, 아래와 같은 식이 도출될 수 있다.

수학식 22

$$\sum_{b=1}^G \hat{\phi}_{[1]}^b \geq \sum_{b=1}^G \phi_{[1]}^b$$

노드의 최적의 파티셔닝에 있어서, 한번에 하나의 그룹을 스케줄링 함으로써 P2 과정을 더욱 간단히 하고 이진 변수를 줄일 수 있다. 이를 P3 과정이라 지칭할 수 있다.

P3 과정에서, η^* 개 노드를 선택하여 잔여 에너지가 $\hat{\Phi}^{[G]}$ 인 노드 세트 인 그룹 $\hat{g}^{[G]}$ 을 형성할 수 있다.

이는 아래와 같은 식으로 나타낼 수 있다.

수학식 23

$$\max_{\mathbf{z}, \bar{\mathbf{z}}, v} v \quad (3a)$$

$$\text{subject to: } \sum_{a=1}^W z_a = \eta^* \quad (3b)$$

$$\forall a : z_a \in \{0, 1\} \quad (3c)$$

$$\forall a : v \leq \phi(w_a) \times z_a + \phi_{max} \times \bar{z}_a, \quad (3d)$$

$$\forall a : z_a + \bar{z}_a = 1, \quad (3e)$$

식 3a 내지 3d에 따르면, P3 과정에서 이진 변수의 수는 W 이고, 이러한 이진 변수의 수는 큰 W 와 작은 η^* 에 대한 W^2/η^* 보다 훨씬 작아질 수 있다

요약하면, P1 과정에서는 클러스터 내 모든 노드를 G 그룹으로 분할하는 노드 스케줄링 문제를 다뤘으며, P2 과정에서는 이를 MILP 공식으로 변환했고, P3에서는, 복잡성을 줄이기 위하여 활성화 할 η^* 개의 노드만을 선택 하는 최적 노드 스케줄링 문제를 다뤘다.

- [0187] 즉 P1 과정 및 P2 과정은 정수형 변수 및 이진 변수를 사용하기 때문에 닐 컨벡스 문제(non-convex problem)이다.
- [0188] 따라서 최적의 솔루션을 찾는데 걸리는 시간이 지수적으로 증가한다. 따라서, 실제 사물인터넷 환경에서 사용하게 되면 응답시간이 길어질 수 있다.
- [0189] 따라서 P2 과정의 복잡도를 낮추어 응답시간을 줄이기 위한 P3 과정이 사용될 수 있다.
- [0190] P2 과정은 G개의 그룹을 모두 찾는 반면, P3 과정은 그 중 하나의 그룹만 최적으로 구성한다. 이는 한 순간에는 하나의 그룹만 활성화 되기 때문에 G 개의 모든 그룹을 구성할 필요가 없다는 것에서 착안한 것으로, P3 과정을 통해 얻은 최적의 그룹(gG^*)은 P2 과정을 통해 $g_1, g_2, \dots, g_G$ 의 gG 와 동일하고, P3 과정은 하나의 그룹만 최적으로 찾기 때문에 P2 과정에 비해 복잡도가 훨씬 작을 수 있다.
- [0191] 한편 최적의 노드 스케줄링(an Optimal Node Scheduling, ONS) 알고리즘에 대하여 설명한다.
- [0192] 스케줄링 장치는, 복수의 IOT 장치 중 최소 활성화 개수의 IOT 장치를 선별하여 하나의 활성화 그룹을 생성할 수 있다.
- [0193] 구체적으로 스케줄링 장치는, 복수의 IOT 장치 중 최소 활성화 개수의 IOT 장치들을 선택하는 제1 과정 및 선택된 IOT 장치들 중 일부 장치의 잔여 에너지가 임계 값보다 작은 경우 일부 장치를 비활성화 하고 제1 과정으로 돌아가는 제2 과정을 수행하여, 하나의 활성화 그룹을 생성할 수 있다.
- [0194] 더욱 구체적으로, P3 과정에서 최적의 노드 스케줄링이 주어지는 경우, 제1 단계 및 제2 단계로 실행되는 최적의 노드 스케줄링 (ONS) 알고리즘을 도출할 수 있다.
- [0195] 제1 단계에서 최적의 노드 스케줄링 (ONS) 알고리즘은, 알고리즘은 η^* 개의 노드를 활성화 하기 위하여 P3 과정을 실행할 수 있다.
- [0196] 그리고 제2 단계에서, 활성화 노드 중 어느 하나가, 동작하기 위한 에너지 잔여량을 가지고 있지 않은 경우, 그 노드를 제거/비활성화 하고 제1 단계로 돌아갈 수 있다.
- [0197] 작은 수의 이진 변수 (예를 들어 50보다 작은 수의 이진 변수)가있을 때, 최적의 솔루션은 무시할 수 있는 시간 내에 발견 될 수 있다. 다만 클러스터의 노드 수가 많거나 퓨전 센터의 처리 능력이 한정적인 경우 문제가 발생할 수 있다.
- [0198] 즉 최적의 노드 스케줄링 (ONS) 알고리즘의 경우 클러스터의 노드 수가 많은 경우 처리가 복잡해질 수 있기 때문에, 최적의 노드 스케줄링 (ONS) 알고리즘 보다 복잡도가 훨씬 낮은 그리디 노드 스케줄링(Greedy Node Scheduling, GNS) 알고리즘을 제안한다.
- [0199] $\hat{g}^{[G]}$ 에 대한 최적의 노드의 선택은 $\hat{\Phi}^{[G]} = \{\phi_{[k+(G-1)\eta^*+1]}, \phi_{[k+(G-1)\eta^*+2]}, \dots, \phi_{[k+G\eta^*]}\}$ 의 에너지 잔여량을 가지는 노드를 찾는다는 것과 동일하다는 것을 고려할 때, 이것은 가장 높은 에너지 잔여량을 가지는 최소 활성화 개수(η^*)의 노드를 선택하는 것일 수 있다.
- [0200] 즉 $\phi_{[k+(G-1)\eta^*+1]}, \phi_{[k+(G-1)\eta^*+2]}, \dots, \phi_{[k+G\eta^*]}$ 은 가장 높은 에너지 잔여량을 가지는 $(\eta^*)^{th}, (\eta^* - 1)^{st}, \dots, 1^{st}$ 에 각각 대응할 수 있다.
- [0201] 따라서 스케줄링 장치는 클러스터 내에서 에너지 잔여량이 많은 최소 활성화 개수의 IOT 장치를 하나의 그룹으로 선별할 수 있다. 즉 스케줄링 장치는 GNS 알고리즘을 사용하여, η^* 개의 노드를 활성화 하면서, 가장 높은 잔여 에너지를 가지는 η^* 개의 노드를 선택할 수 있다.
- [0202] 도 4는, 최적의 노드 스케줄링 (ONS) 알고리즘과 그리디 노드 스케줄링(Greedy Node Scheduling, GNS)을 설명하기 위한 도면이다.
- [0203] 도 4의 1행을 참고하면, 스케줄링 장치는 클러스터 내 노드의 개수가 최소 활성화 개수 이상인지 확인할 수 있

다.

- [0204] 그리고 2행을 참고하면, 스케줄링 장치는 클러스터 내 노드의 개수가 최소 활성화 개수보다 작은 경우, 절차를 종료할 수 있다.
- [0205] 한편 4행을 참고하면, 노드들의 집합은 빈 집합으로 초기화 될 수 있다.
- [0206] 한편 최적의 노드 스케줄링 (ONS) 알고리즘이 사용되는 경우 5행 내지 7행과 같이, P3 과정을 통하여 진행이 될 수 있다.
- [0207] 이에 반해 그리디 노드 스케줄링(Greedy Node Scheduling, GNS)이 사용되는 경우, 8행 내지 12행에서와 같이 스케줄링 장치는 가장 높은 에너지 잔여량을 가지는 노드를 반복적으로 검색하여 활성화 할 노드를 선택할 수 있다. 즉 스케줄링 장치는, 클러스터 내에서 에너지 잔여량이 가장 많은 IOT 장치를 최소 활성화 개수와 동일한 횟수만큼 검색할 수 있다.
- [0208] 그리고 15행을 참고하면, 노드들이 선택되어 그룹이 생성되면, 그룹 내 모든 노드가 활성화 되고, 에너지 소비를 최소화 하기 위해 다른 노드는 절전 모드가 유지될 수 있다. 즉 스케줄링 장치는 생성된 그룹에 포함되는 IOT 장치들을 활성화 하고, 나머지 IOT 장치들을 비활성화 할 수 있다.
- [0209] 그리고 16행을 참고하면, 노드의 에너지 잔여량이 잔류 에너지가 임계값 아래로 떨어지면, 그 노드는 더 이상 작동을 할 수 없다. 따라서 작동을 못하는 노드는 17행에서 제거되고, 알고리즘은 처음으로 돌아가서 다시 시작될 수 있다(20행). 즉 활성화된 IOT 장치 중 어느 하나의 장치가 탈락하는 경우, 스케줄링 장치는 클러스터 내에서 에너지 잔여량이 많은 최소 활성화 개수의 IOT 장치를 하나의 그룹으로 재 선별하고, 재 선별된 그룹에 포함되는 IOT 장치들을 활성화 할 수 있다.
- [0210] 도 5는 활성화 노드의 개수에 대한 보고 간격 및 보고 에러의 기대치를 도시한 도면이다.
- [0211] 도 6는 보고 속도에 대하여 활성화할 최적의 노드 수($\eta^*(\mu)$)를 도시한 도면이다.
- [0212] 다섯개의 다른 노드 활성화 스케줄링 알고리즘을 사용하여 실험을 수행하였다.
- [0213] 사용된 다섯개의 알고리즘은, ONS (Optimal Node Scheduling), GNS (Greedy Node Scheduling), RNS (Random Node Scheduling), SNS (Sequential Node Scheduling), and invGNS (inverse GNS)이다.
- [0214] RNS에서는 노드를 무작위로 균등하게 활성화 하였으며, SNS에서는 AID가 가장 작은 노드를 먼저 활성화 하였고, GNS에서는 GNS와는 정 반대로 노드의 잔여 에너지가 가장 적은 노드를 먼저 활성화 하였다.
- [0215] 다섯개의 알고리즘 모두, 한번에 최소 활성화 개수(η^*)의 노드를 활성화 하였다. 또한 시뮬레이터와 5 개의 알고리즘을 구현할뿐만 아니라 최적화 문제 P3 과정을 해결하기 위하여 메틀랩을 사용하였다.
- [0216] 또한 아래와 같은 시뮬레이션 구성을 사용하였다.
- [0217] 퓨전 센터는 50개의 노드와 연관되며($|W| = 50$), 버퍼 사이즈(B)는 최대 50개의 데이터까지 버퍼링 할 수 있다.
- [0218] 또한 각 노드의 고정 보고 속도는 $0.3(= \lambda/|W|)$ (노드에서 퓨전 센터로 전송되는 초당 데이터(data per second))이다.
- [0219] 관측값의 분산(σ^2)은 25, 제1 요구 사항인 보고의 최대 에러(σ_{req})는 $\frac{1}{3}\sigma$, 제2 요구 사항은 보고의 최대 시간 간격은 6초(예를 들어 액세스 포인트는 6초마다 적어도 하나의 보고를 수신할 것을 기재한다)이다.
- [0220] μ (퓨전 센터로부터 액세스 포인트로의 초당 보고)에 대하여, $\mu_{min} = 0.1$, $\mu_{max} = 0.5$ 이고, $\Delta\mu = 0.001$ 이다.
- [0221] 무선 모듈이 에너지 소비의 주 원인 중 하나임을 고려하여, 다음과 같이 단순화된 에너지 모델을 가정하였다.
- [0222] 즉 처음에는 각 노드가 일정한 분포에서 추출된 임의의 에너지 량을 갖는 것으로 가정한다. 이는 다음과 같은

식으로 나타낼 수 있다.

수학식 24

$U(0, \phi_{\max}]$, where $\phi_{\max} = 100$

각 노드는 하나의 판독값을 생성하거나 하나의 판독값을 퓨전 센터로 전송하기 위하여 하나의 전력 단위를 소비한다.

이와 관련하여 ϕ_{thr} 은 1로 설정될 수 있다.

또한 모든 결과는 50회의 시뮬레이션 실행 후 평균 처리 되었다.

먼저 최적의 보고 속도(μ^*)와 최적의 활성화 노드의 개수(η^*)를 찾는 방법을 설명한다.

도 3a를 참고하면, 각각의 보고 속도(μ)에 대하여 활성화 노드의 수가 증가함에 따라 보고 간격이 감소한다.

도 3b를 참고하면, 각각의 보고 속도(μ)에 대하여 활성화 노드의 수가 증가함에 따라 보고의 오차가 감소한다.

이는 총 수신 데이터 속도가 증가함에 따라 퓨전 센터가 상태 0에서 더 적은 시간을 소비하기 때문이다.

보고 간격 τ_{00} 는 상태 0(τ_0 로 표시)에서의 지속 시간의 합, 그리고 0이 아닌 상태(τ_{Σ} 으로 표시)에서 CTMC가 처음으로 0 상태로 돌아갈 때까지 지속 시간의 합이다.

한편 τ_{Σ} 는 μ 와 λ_{act} 의 함수이고, λ_{act} 는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 25

$\lambda_{act} = (\text{the number of active nodes}) \times \lambda / |\mathcal{W}|$

한편 상태 0으로부터 자신으로의 천이가 없기 때문에 τ_0 는 λ_{act} 에 종속적일 수 있다.

활성 노드의 수가 증가하면 노드에서 퓨전 센터로의 데이터 도착률이 증가할 수 있다. 따라서 첫 번째 데이터 도착까지의 대기 시간이 줄어들어 보고 간격이 감소할 수 있다.

한편 도 3a에서 도시하는 바와 같이 μ 가 너무 작으면(예를 들어 0.100), 보고 간격에 대한 요구 사항을 만족시킬 수 없다.

반면에 μ 가 커지면, 보고 간격에 대한 요구 사항을 항상 만족시킬 수 있는 최소 개수의 활성화 노드를 식별할 수 있다.

유사하게, 도 3b에 도시된 바와 같이, 활성화 노드들의 수가 증가함에 따라 보고 에러는 감소한다. 이것은 활성화 노드(λ_{act})가 증가함에 따라, 퓨전 센터가 각 보고 간격 동안 노드에서 더 많은 데이터를 수집하기 때문이다.

도 4에서는 보고 속도(μ)에 대하여 활성화할 최적의 노드 수($\eta^*(\mu)$)를 도시한다.

- [0240] 여기서 $\eta_{RI}^*(\mu)$ 와 $\eta_{ERR}^*(\mu)$ 는 각각 보고 간격 요구 사항과 보고 오류 요구 사항을 충족시키기 위해 활성화 할 최소 노드 수이다.
- [0241] 한편 주어진 보고 속도(μ)에 대하여 보고 간격 요구 사항과 보고 에러 요구 사항을 동시에 만족해야 하기 때문에, 먼저 각 요구 사항으로부터 가장 적은 수의 활성화 노드를 선택하고, 다음에는 큰 μ 를 선택하여 선택된 μ 에 대한 $\eta^*(\mu)$ 를 찾을 수 있다.
- [0242] 예를 들어 $\eta^*(\mu) = \max\{\eta_{ERR}^*(\mu), \eta_{RI}^*(\mu)\}$ 일 수 있다.
- [0243] $\forall \mu \in [\mu_{\min}, \mu_{\max}]$ 에 대한 $\eta^*(\mu)$ 의 값이 도 6에 도시되어 있다.
- [0244] $\mu \in [\mu_{\min}, 0.168]$ 의 값에 대하여, 퓨전 센터는 보고 간격 요구 사항을 만족할 수 없으므로, 실행 불가능함을 나타내기 위해 η^* 가 0으로 설정될 수 있다.
- [0245] 한편 $\mu > 0.168$ 일 때, 각각의 μ 에 대하여 실현 가능한 $\eta^*(\mu)$ 가 존재하며, 결과적으로 가장 작은 E = 6 을 산출하기 위한 $\mu^* = 0.184$ 임을 알 수 있다.
- [0246] 보고 간격 요구 사항은 $\mu^* = 0.184$ 에 대하여 η^* 를 결정하는 주요 요인이다. 이는 도 5로부터 관찰될 수 있다.
- [0247] 도 7은, $\mu^* = 0.184$ 일때 클러스터의 노드 수에 대한 분석 결과와 시뮬레이션 결과의 비교 그래프이다.
- [0248] 한편 사용된 마르코프 모델을 검증하기 위해 도 7과 같이 분석 모델의 결과를 시뮬레이션 결과와 비교하였다.
- [0249] 도 7a는 보고 간격을 나타내며, 도 7b는 보고 에러를 나타낸다.
- [0250] 시뮬레이션 결과는 분석 결과에 가깝기 때문에 네트워크의 분석 모델이 검증될 수 있다.
- [0251] η^* 를 결정할 때 보고 간격 요구 사항이 지배적인 요소이기 때문에, 기대 보고 간격은 τ_{req} 에 매우 가깝고, 기대 보고 에러와 σ_{req} 사이의 갭이 존재하는 것을 알 수 있다.
- [0252] 도 8은 다섯 가지 노드 스케줄링 방법과 클러스터의 수명을 비교한 그래프이다.
- [0253] 도 8a에서는 클러스터내 노드의 개수에 대한 수명을 도시하였으며, 도 8b에서는 노드의 최대 배터리 용량에 대한 수명을 도시하였다.
- [0254] 도 8을 참고하면, ONS와 GNS가 모두 다른 방식보다 수명이 긴 것을 알 수 있다. 또한 GNS의 성능은 훨씬 낮은 복잡성에도 불구하고 ONS의 성능과 동일한 것을 알 수 있다.
- [0255] invGNS는 GNS와 정반대로 노드를 활성화 함으로써 최악의 성능을 나타낸다.
- [0256] RNS는 SNS보다 성능이 우수하여, 노드 활성화를 무작위로 수행하는 것이 SNS와 invGNS보다 더 좋은 성능을 나타냄을 보여준다.
- [0257] 추가적으로 W = 50 일 때 클러스터 수명을 다른 최대 배터리 용량과 비교했다.
- [0258] 즉, 각 노드의 초기 노드 에너지는 $(0, \phi_{\max}]$ 의 범위에서 무작위로 균일하게 그려진다.
- [0259] 도 8b를 참고하면, ONS와 GNS 모두 나머지의 성능을 능가하는 것을 알 수 있다.
- [0260] 본 발명에 따르면, 네트워크에 대한 두가지 요구 사항을 충족하면서도, 활성화 노드의 개수를 최소화 하여 네트

워크 수명을 연장하고, 보고의 속도는 최대화 할 수 있는 장점이 있다.

[0261] 또한 낮은 복잡도를 가지는 ONS와 더 낮은 복잡도를 가지는 GNS를 사용함으로써, 처리 시간을 줄이고 및 정보 처리 효율을 향상 시켰다.

[0262] 또한 본 발명에 따르면, 최적의 활성화 노드의 개수를 바탕으로 활성화 될 노드를 스케줄링 함으로써, 네트워크 수명을 최대화 할 수 있는 장점이 있다.

[0263] 전술한 본 발명은, 프로그램이 기록된 매체에 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로서 구현하는 것이 가능하다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 매체는, 컴퓨터 시스템에 의하여 읽혀질 수 있는 데이터가 저장되는 모든 종류의 기록장치를 포함한다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 매체의 예로는, HDD(Hard Disk Drive), SSD(Solid State Disk), SDD(Silicon Disk Drive), ROM, RAM, CD-ROM, 자기 테이프, 플로피 디스크, 광 데이터 저장 장치 등이 있다. 상기의 상세한 설명은 모든 면에서 제한적으로 해석되어서는 아니 되고 예시적인 것으로 고려되어야 한다. 본 발명의 범위는 첨부된 청구항의 합리적 해석에 의해 결정되어야 하고, 본 발명의 등가적 범위 내에서의 모든 변경은 본 발명의 범위에 포함된다.

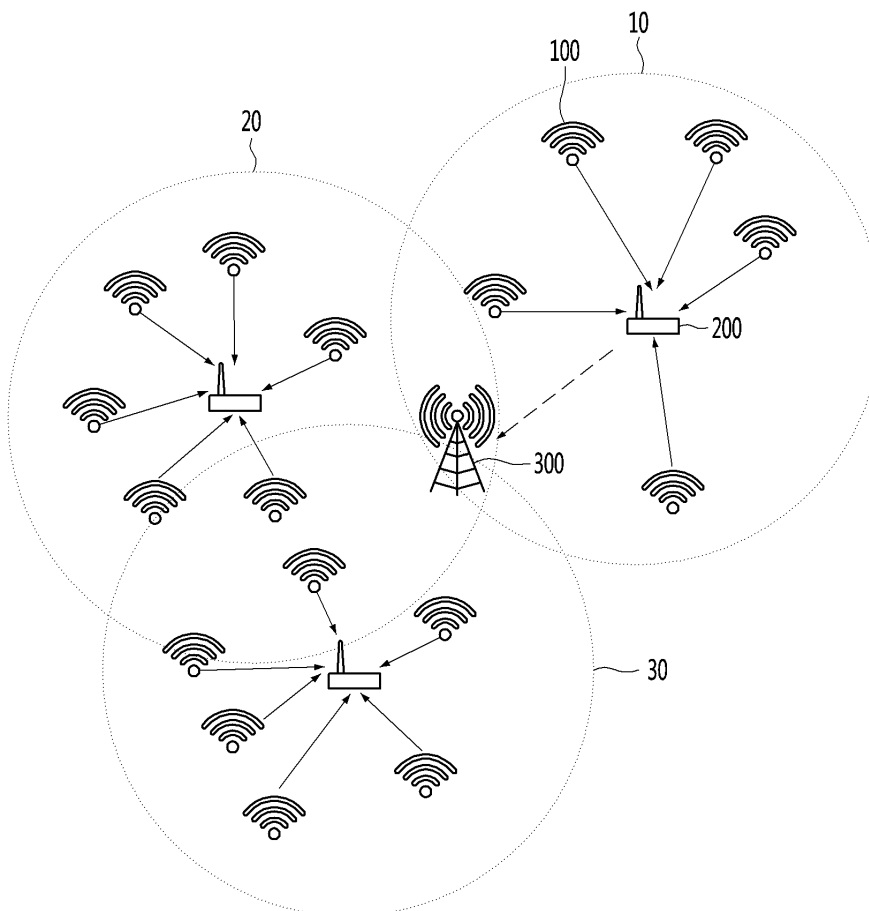
부호의 설명

[0265]

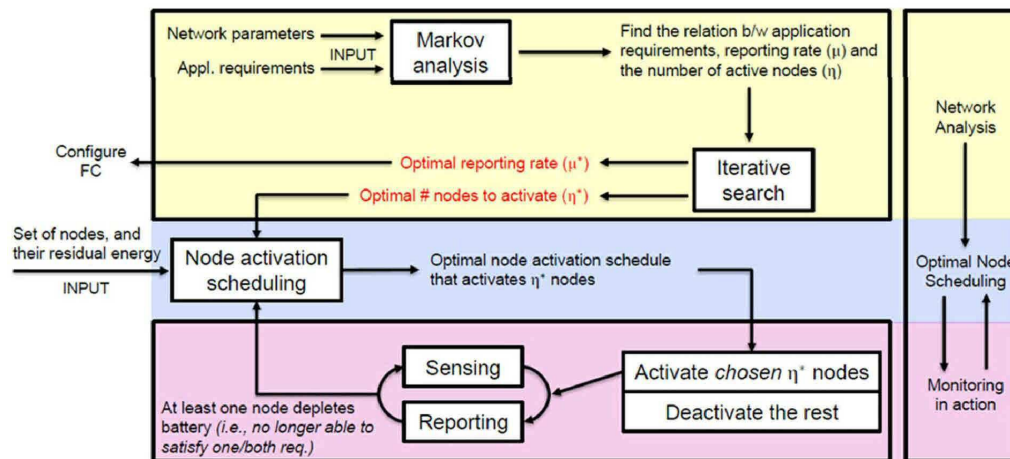
10: 클러스터	100: IOT 장치
200: 퓨전 센터	300: 액세스 포인트

도면

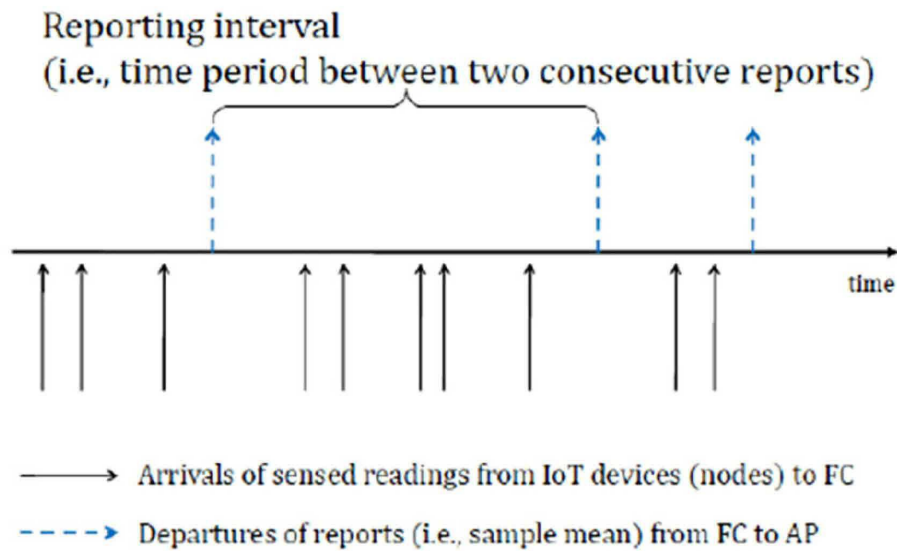
도면1



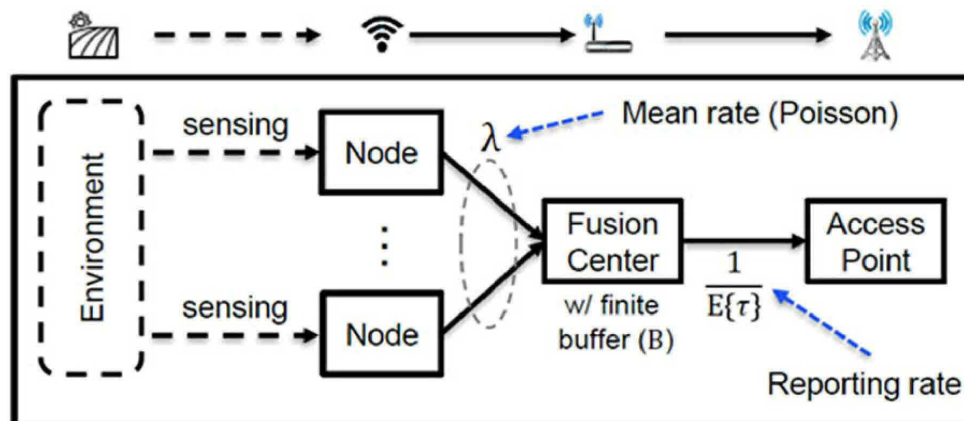
도면2



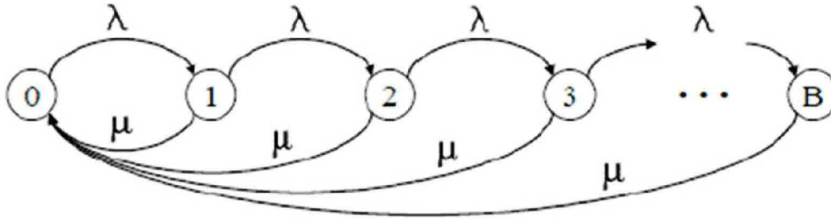
도면3a



도면3b



도면3c



도면4

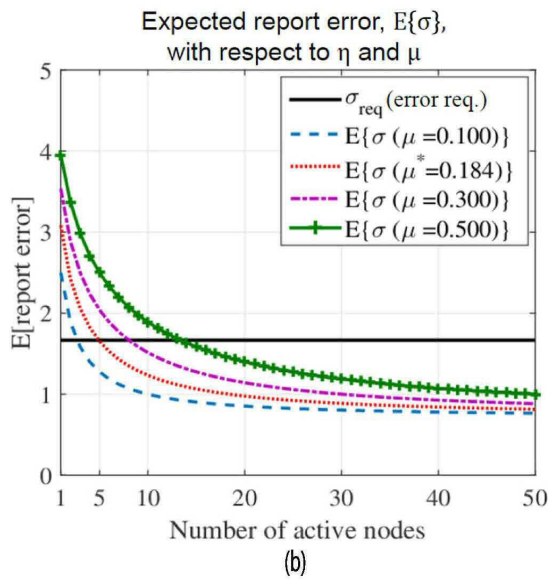
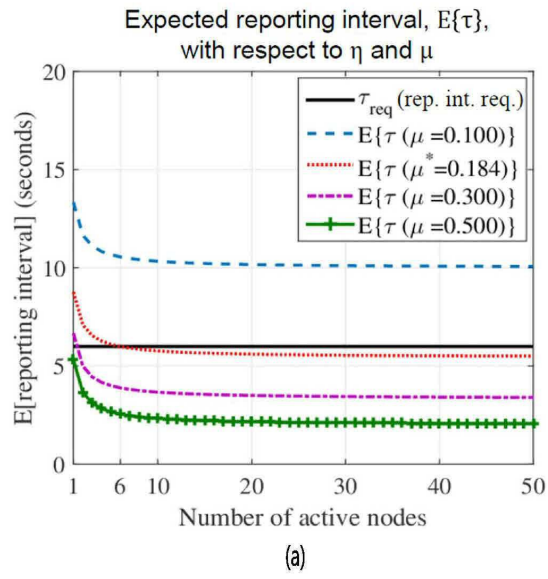
Algorithm 1 Optimal/Greedy Node Scheduling

```

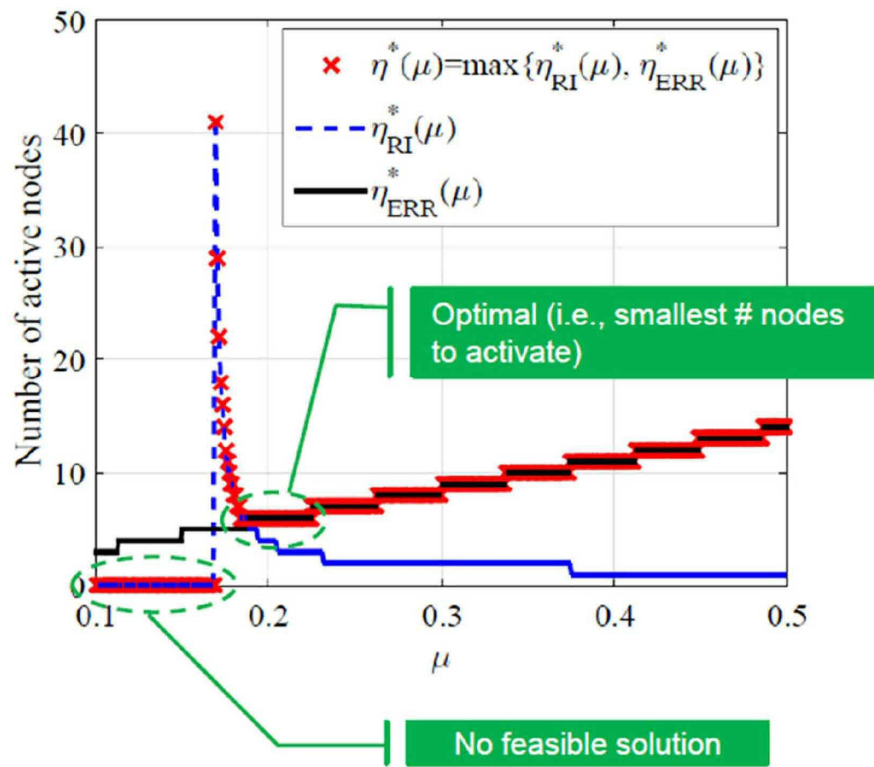
1: if  $|\mathcal{W}| < \eta^*$  then
2:   Terminate // infeasible, not enough nodes
3: end if
4:  $g \leftarrow \{\}$  // initialize to an empty set
5: if ONS is chosen then
6:    $\mathbf{z}^* \leftarrow \text{Solve P. 3}$ 
7:    $g \leftarrow g \cup \{w_a\}, \forall a \text{ such that } z_a^* = 1$ 
8: else if GNS is chosen then
9:   while  $|g| < \eta^*$  do
10:     $a^* \leftarrow \arg_a \max \{\phi(w_a) : \forall a \in \text{idx}(\mathcal{W} - g)\}$ 
11:     $g \leftarrow g \cup \{w_{a^*}\}$ 
12:   end while
13: end if
14: while  $|g| = \eta^*$  do
15:   Activate nodes in  $g$ 
16:   if  $\exists w_a \in g$  such that  $\phi(w_a) < \phi_{thr}$  then
17:     $g \leftarrow g - \{w_a\}, \mathcal{W} \leftarrow \mathcal{W} - \{w_a\}$ 
18:   end if
19: end while
20: Go to line:1

```

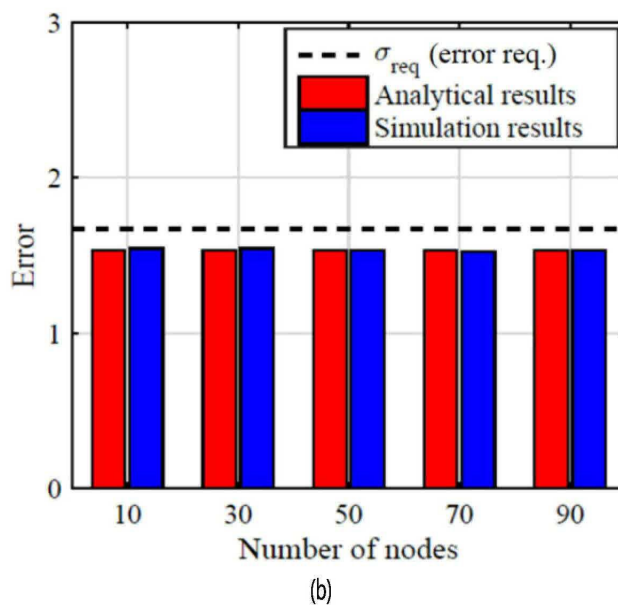
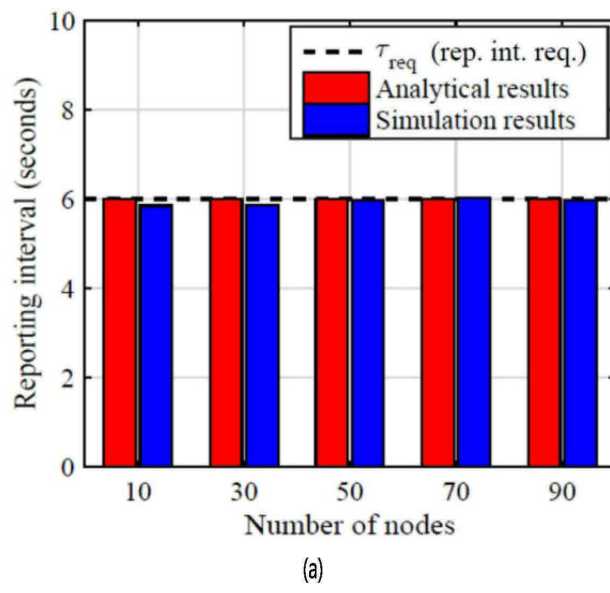
도면5



도면6



도면7



도면8

