



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년12월02일
(11) 등록번호 10-1467537
(24) 등록일자 2014년11월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H04L 12/28 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2013-0063682

(22) 출원일자 2013년06월03일

심사청구일자 2013년06월03일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020120072224 A*

JP2012080622 A

KR1020110069264 A

KR1020120128916 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

세종대학교산학협력단

서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)

(72) 발명자

김형석

서울 광진구 능동로 209, 층무관 204A호 (군자동, 세종대학교)

이상훈

서울 서대문구 연세로 50, 제3공학관 716호 (신촌동, 연세대학교)

권범

서울 서대문구 연세로 50, 제3공학관 703호 (신촌동, 연세대학교)

(74) 대리인

특허법인엠에이피에스

전체 청구항 수 : 총 6 항

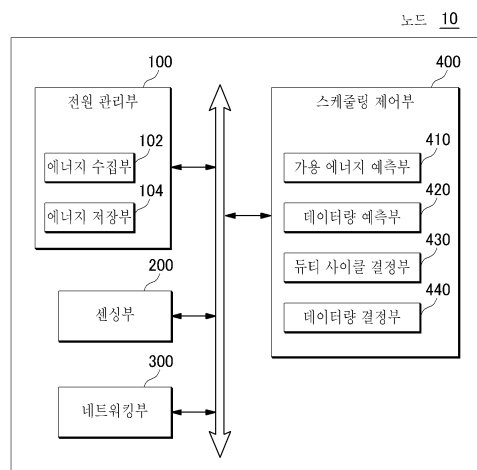
심사관 : 강철수

(54) 발명의 명칭 태양광 수집 센서 노드 및 그 운영 방법

(57) 요약

본 발명은 센서를 통해 센싱 데이터를 생성하는 센서; 환경으로부터 에너지를 수집하고 저장하여, 상기 센서 노드에 에너지를 공급하는 에너지 공급부; 상기 에너지 공급부로부터 공급받을 수 있는 에너지의 양을 예측하는 가용 에너지 예측부; 상기 센서 또는 상기 센서 노드의 이웃 센서 노드로부터 수집되는 데이터의 양을 예측하는 데이터량 예측부; 상기 가용 에너지 예측부에 의해 산출된 가용 에너지 예측량 및 상기 데이터량 예측부에 의해 예측된 데이터 예측량에 기초하여 상기 센서 노드의 듀티 사이클을 결정하는 듀티 사이클 결정부; 및 상기 센서 노드의 실제 가용 에너지, 상기 센서 노드의 이웃 센서 노드들의 가용 에너지, 및 상기 데이터 예측량에 기초하여 토큰량을 결정하는 데이터량 결정부;를 포함하는 센서 노드를 제공한다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1415123241
 부처명 미래창조과학부
 연구관리전문기관 정보통신산업진흥원
 연구사업명 IT융합 고급인력과정 지원사업
 연구과제명 스마트빌딩 관리 시스템 개발
 기 여 율 1/2
 주관기관 세종대학교 산학협력단
 연구기간 2010.06.01 ~ 2013.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 SS110012C0214831
 부처명 서울시
 연구관리전문기관 서울산업통상진흥원
 연구사업명 서울전략산업 지원사업
 연구과제명 스마트그리드용 고정밀 파워 미터링 SOP 및 홈 에너지 플랫폼 개발
 기 여 율 1/2
 주관기관 비즈로시스
 연구기간 2011.11.01 ~ 2015.10.31

특허청구의 범위

청구항 1

센서 노드에 있어서,

하나 이상의 센서;

수집한 태양 에너지를 상기 센서 노드에 공급하는 전원 관리부;

상기 전원 관리부로부터 공급받을 수 있는 에너지의 양을 예측하는 가용 에너지 예측부;

상기 센서 또는 상기 센서 노드의 이웃 센서 노드로부터 수집되는 데이터의 양을 예측하는 데이터량 예측부;

상기 가용 에너지 예측부에 의해 산출된 가용 에너지 예측량 및 상기 데이터량 예측부에 의해 예측된 데이터 예측량에 기초하여 상기 센서 노드의 듀티 사이클을 결정하는 듀티 사이클 결정부; 및

상기 센서 노드의 실제 가용 에너지, 상기 센서 노드의 이웃 센서 노드들의 가용 에너지, 및 상기 데이터 예측량 중 적어도 하나에 기초하여 토큰량을 결정하는 데이터량 결정부;를 포함하고,

상기 토큰량은 단위 처리량(processing unit)의 개수로 산출되어 일 처리 시점에서 상기 센서 노드에 의해 처리될 수 있는 데이터량의 상한을 정의하는 것이되,

상기 토큰량 중 상기 처리 시점에서 소진되지 않은 잔여 토큰량은 다음 처리 시점에서 사용되는 센서 노드.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 토큰량은

상기 센서 노드가 생성하는 데이터량(source rate) 및 상기 센서 노드가 이웃 센서 노드로 전송하는 데이터량(flow rate)을 제어하는 데 사용되는 센서 노드.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 센서 노드는

상기 센서 노드의 실제 가용 에너지, 상기 센서 노드의 이웃 센서 노드들의 가용 에너지, 및 상기 데이터 예측량에 기초하여 상기 센서 노드가 데이터를 전송할 이웃 센서 노드를 결정하는 센서 노드.

청구항 4

삭제

청구항 5

에너지를 수집하여 저장하는 센서 노드의 운영 방법에 있어서,

상기 센서 노드의 가용 에너지의 양을 예측하는 단계;

상기 센서 노드 또는 상기 센서 노드의 이웃 센서 노드로부터 수집되는 데이터의 양을 예측하는 단계;

상기 가용 에너지 예측 단계에 의해 산출된 가용 에너지 예측량 및 상기 데이터량 예측 단계에 의해 예측된 데이터 예측량에 기초하여 상기 센서 노드의 듀티 사이클을 결정하는 단계; 및

상기 센서 노드의 실제 가용 에너지, 상기 센서 노드의 이웃 센서 노드들의 가용 에너지, 및 상기 데이터 예측량에 기초하여 토큰량을 결정하는 단계;를 포함하고,

상기 토큰량은 단위 처리량(processing unit)의 개수로 산출되어 처리 시점에서 상기 센서 노드에 의해 처리될 수 있는 데이터량의 상한을 정의하는 것이되,

상기 토큰량 중 상기 처리 시점에서 소진되지 않은 잔여 토큰량은 다음 처리 시점에서 사용되는 센서 노드 운영 방법.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 토큰량은

상기 센서 노드가 생성하는 데이터량(source rate) 및 상기 센서 노드가 이웃 센서 노드로 전송하는 데이터량(flow rate)을 제어하는 데 사용되는 센서 노드 운영 방법.

청구항 7

제 5 항에 있어서,

상기 센서 노드의 실제 가용 에너지, 상기 센서 노드의 이웃 센서 노드들의 가용 에너지, 및 상기 데이터 예측량에 기초하여 상기 센서 노드가 데이터를 전송할 이웃 센서 노드를 결정하는 단계를 더 포함하는 센서 노드 운영 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 센서 노드 및 그 운영 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 공업과 산업의 빠른 발전에 따른 환경 오염으로 인해 친환경 기술에 대한 관심이 나날이 커져가고 있다. 그 중에서도 재생가능하며, 별다른 환경오염 문제를 일으키지 않는 태양 에너지를 이용하는 기술에 대한 관심이 급속도로 커져가고 있다. 이에 따라 최근 태양 에너지를 이용한 시스템을 무선 센서 네트워크에 적용하는 사례가 다수 보고되고 있다.

[0003] 기존 무선 센서 네트워크에서는 센서 노드의 남은 배터리 양에 따른 센서 노드의 유한한 수명이 문제로 지적되곤 하였는데, 기존 센서 노드를 태양 에너지 등을 이용한 자가 충전 센서 노드로 교체할 경우 센서 노드의 유한한 수명 문제가 해결된다는 장점이 있다.

[0004] 하지만 태양 에너지를 이용한 자가 충전 센서 노드는 날씨, 계절의 변화를 비롯한 각종 외부적 요인이 태양 에너지 획득에 큰 영향을 주고, 결과적으로 태양 에너지 획득 패턴을 예측하기 어렵다는 문제가 있다. 태양 에너지 획득 패턴을 잘못 예측할 경우 태양 기관으로부터 획득한 에너지보다 더 적게 에너지를 사용해서 에너지를 과도하게 남긴다거나, 반대로 획득한 에너지보다 더 많은 에너지를 사용해서 동작을 못하게 되는 문제를 일으킬 수 있다.

[0005] 따라서 태양광 등 환경으로부터 수집되는 에너지를 고려하여 무선 센서 네트워크를 효율적으로 운영하는 방법이 필요하다.

[0006] 무선 센서 네트워크에서의 에너지 관리와 관련하여 한국공개특허 10-2008-0064227호("센서 네트워크 환경에서의 에너지 관리 방법 및 시스템")에는 센서 네트워크 환경에서의 에너지 관리 방법 및 시스템이 개시되어 있다.

[0007] 또한, 한국등록특허 10-0881112호("에너지 효율성을 고려한 무선센서네트워크 운영방법")는 에너지 효율성을 고려한 무선센서네트워크 운영방법이 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 전술한 문제를 해결하기 위한 것으로서, 그 목적은 환경으로부터 에너지를 수집하여 저장할 수 있는 센서 노드를 가용 에너지를 고려하여 실시간 스케줄링할 수 있는 운영 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 제 1 측면에 따른 센서 노드는, 센서를 통해 센싱 데이터를 생성하는 센싱부; 환경으로부터 에너지를 수집하고 저장하여, 상기 센서 노드에 에너지를 공급하는 전원 관리부; 상기 전원 관리부로부터 공급받을 수 있는 에너지의 양을 예측하는 가용 에너지 예측부; 상기 센싱부 또는 상기 센서 노드의 이웃 센서 노드로부터 수집되는 데이터의 양을 예측하는 데이터량 예측부; 상기 가용 에너지 예측부에 의해 산출된 가용 에너지 예측량 및 상기 데이터량 예측부에 의해 예측된 데이터 예측량에 기초하여 상기 센서 노드의 듀티 사이클을 결정하는 듀티 사이클 결정부; 및 상기 센서 노드의 실제 가용 에너지, 상기 센서 노드의 이웃 센서 노드들의 가용 에너지, 및 상기 데이터 예측량에 기초하여 처리 데이터량을 결정하는 데이터량 결정부;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0010] 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 제 2 측면에 따른 환경으로부터 에너지를 수집하여 저장하는 센서 노드의 운영 방법은, 상기 센서 노드의 가용 에너지의 양을 예측하는 단계; 상기 센서 노드 또는 상기 센서 노드의 이웃 센서 노드로부터 수집되는 데이터의 양을 예측하는 단계; 상기 가용 에너지 예측 단계에 의해 산출된 가용 에너지 예측량 및 상기 데이터량 예측 단계에 의해 예측된 데이터 예측량에 기초하여 상기 센서 노드의 듀티 사이클을 결정하는 단계; 및 상기 센서 노드의 실제 가용 에너지, 상기 센서 노드의 이웃 센서 노드들의 가용 에너지, 및 상기 데이터 예측량에 기초하여 처리 데이터량 또는 상기 센서 노드가 데이터를 전송할 이웃 센서 노드를 결정하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0011] 본 발명은 센서 노드 및 그 운영 방법에 있어, 가용 에너지를 고려하여 실시간 스케줄링할 수 있다는 효과를 얻는다.

[0012] 특히 가용 에너지의 예측량 및 자신이 생성하거나 이웃 노드로부터 수신하는 데이터의 예측량에 기초하여, 센서 노드의 듀티 사이클을 결정할 수 있다.

[0013] 또한 센서 노드의 실제 가용 에너지, 이웃 센서 노드들의 가용 에너지, 및 데이터 예측량에 기초하여 처리 데이터량을 결정할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0014] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 센서 노드의 구조를 도시함.

도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 센서 노드의 구조를 네트워크 계층의 관점에서 도시함.

도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 센서 노드를 라우팅 경로상의 이웃 노드의 관점에서 도시함.

도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 센서 노드의 듀티 사이클에 따른 소비 에너지의 실시예를 도시함.

도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 센서 노드의 에너지 수집 실시예를 도시함.

도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 센서 노드의 처리 데이터량 실시예를 도시함.

도 7은 본 발명의 일실시예에 따른 센서 노드 운영 방법의 흐름을 도시함.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0015] 아래에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.

- [0016] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, 그 중간에 다른 소자를 사이에 두고 "전기적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다. 또한 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.
- [0017] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 센서 노드의 구조를 도시하고 있다.
- [0018] 센서 노드(10)는 무선 센서 네트워크를 구성하며, 전원 관리부(100), 센싱부(200), 네트워킹부(300), 및 스케줄링 제어부(400)를 포함한다.
- [0019] 센서 노드(10)에 에너지를 공급하는 전원 관리부(100)는 환경으로부터 에너지를 수집하는 에너지 수집부(102) 및 에너지를 비축해두는 에너지 저장부(104)를 포함한다. 예를 들어, 에너지 수집부(102)는 태양 에너지를 수집하기 위한 태양 기관(solar panel)을 포함할 수 있으며, 에너지 저장부(104)는 충전이 가능한 배터리(battery)를 포함할 수 있다.
- [0020] 센싱부(200)는 하나 이상의 센서를 통해 센싱 데이터를 생성하며, 네트워킹부(300)는 센서 노드 자신이 생성한 데이터를 다른 노드로 전송하거나, 다른 노드로부터 수신한 데이터를 또다른 노드로 전송한다. 자신이 생성한 센싱 데이터를 이웃 노드로 전송하는 센서 노드를 센싱 노드, 이웃 노드로부터 수신한 센싱 데이터를 다른 이웃 노드로 전송하는 센서 노드를 릴레이 노드라고 부르기도 하며, 하나의 센서 노드가 동시에 센싱 노드이면서 릴레이 노드로 동작할 수 있다.
- [0021] 센서 노드(10)를 가용 에너지를 고려하여 실시간으로 스케줄링하는 스케줄링 제어부(400)는 가용 에너지 예측부(410), 데이터량 예측부(420), 듀티 사이클 결정부(430), 및 데이터량 결정부(440)를 포함하며, 노드간(inter-node) 최적화 및 노드내(intra-node) 최적화를 수행한다.
- [0022] 가용 에너지 예측부(410)는 전원 관리부(100)로부터 공급받을 수 있는 에너지의 양을 예측하며, 데이터량 예측부(420)는 센싱부(200) 또는 이웃 센서 노드(10)로부터 수집되는 데이터의 양을 예측한다.
- [0023] 듀티 사이클 결정부(430)는 가용 에너지 예측부(410)에 의해 산출된 가용 에너지 예측량 및 데이터량 예측부(420)에 의해 예측된 데이터 예측량에 기초하여 센서 노드(10)의 듀티 사이클을 결정한다.
- [0024] 데이터량 결정부(440)는 센서 노드(10)의 실제 가용 에너지, 이웃 센서 노드들(10)의 가용 에너지, 및 데이터 예측량에 기초하여 처리 데이터량 및/또는 라우팅 경로, 즉, 데이터를 전송할 이웃 센서 노드(10)를 결정한다.
- [0025] 처리 데이터량은 센서 노드(10)가 생성하는 데이터량, 즉, 데이터 생성량(source rate) 및 센서 노드(10)가 이웃 센서 노드(10)로 전송하는 데이터량, 즉, 데이터 흐름량(flow rate)을 포함하는 개념이다.
- [0026] 처리 데이터량은 단위 처리량(processing unit)의 개수로 산출된다. 이는 어떤 처리 시점에서 센서 노드(10)에 의해 처리될 수 있는 데이터량의 상한을 정의하는 것이며, 해당 처리 시점에서 소진되지 않은 처리 데이터량은 다음 처리 시점에서 사용될 수 있다. 자세한 내용은 후술한다.
- [0027] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 센서 노드의 구조를 OSI 네트워크 계층의 관점에서 도시하고 있다.
- [0028] 전술한 바와 같이 센서 노드(10)는 노드간 최적화 및 노드내 최적화를 모두 수행할 수 있는데, 이는 OSI 네트워크 계층 간 협력을 통해 이루어진다.
- [0029] 응용 계층(application layer)은 데이터량을 조절한다. 즉, 센싱 데이터의 압축 및 필터링을 수행한다. 네트워크 계층 및 전송 계층은 노드간 최적화를 담당한다. 즉, 라우팅 경로 및 처리 데이터량을 결정한다. MAC 계층은 센서 노드(10)의 듀티 사이클을 결정하는 등 노드내 최적화를 담당한다. 물리 계층은 가용 에너지를 추적하여 에너지 데이터를 상위 계층에 제공한다.
- [0030] 태양 에너지를 예로 들어 좀더 자세히 설명하면, 응용 계층은 멀티 홉 토폴로지에 있어서 전송할 데이터의 압축 레벨을 결정하는 데이터 필터 함수를 정의하고, 이를 동작시키는데 필요한 에너지를 분석한다. 트래픽 형태로는 전술한 바와 같이 센서 노드(10) 자신이 센싱을 통해 얻은 트래픽 및 다른 센서 노드(10)로부터 릴레이된 트래픽이라는 두가지 유형이 존재한다.
- [0031] 응용 계층은 데이터의 중복성을 줄이기 위해서 데이터의 일부분을 필터링하여 드롭시키거나 데이터를 압축할 수 있다. 이를 통해 전송할 데이터의 양을 감소시키면, 데이터 전송시 소비되는 에너지를 줄일 수 있다. 따라서 단위 시간당 전송할 데이터 트래픽의 총량은 응용 계층에서 계산되며, 해당 트래픽은 하위 계층들로 보내진다.

- [0032] 전송 계층(transport layer)은 예측한 태양 에너지 획득 패턴을 이용하여 다른 센서 노드(10)들간 최적화를 수행하며, 네트워크 계층(network layer)은 획득 가능한 태양 에너지의 제한이 존재하는 상황에서 네트워크 스루풋(throughput)의 최대화를 위해 멀티 패스(multi-path) 라우팅의 최적화를 수행하며 각 멀티 패스 라우트에 대해 최적의 데이터 흐름량(flow rate)을 계산한다.
- [0033] 맥 계층(MAC layer)은 응용 계층로부터 전달받은 전송할 트래픽 총량과 단위 시간 주기 동안 전원 관리부(100)가 획득한 태양 에너지를 고려하여 최적의 듀티 사이클(duty cycle)을 결정한다.
- [0034] 물리 계층(physical layer)은 전원 관리부(100)와 함께, 단위 시간당 얻을 수 있는 태양 에너지 획득량을 분석하고, 이 정보를 맥 계층에게 보낸다.
- [0035] 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 센서 노드를 라우팅 경로상의 이웃 노드의 관점에서 도시하고 있다.
- [0036] 1, i, j, k, n는 라우팅 경로상의 각 센서 노드(10)를 의미한다.
- [0037] 각 노드에서 D는 듀티 사이클(duty cycle), E_p 는 가용 에너지, E_c 는 소비 에너지, g는 데이터 생성량(source rate)을 의미하며, $f(i, j)$ 는 노드 i에서 노드 j로 전송되는 데이터 흐름량(flow rate)을 의미한다.
- [0038] 도면을 통해 데이터 생성량과 데이터 흐름량과의 관계를 알 수 있다. 노드 j를 예를 들어 설명하면, 노드 j가 수신하는 데이터량(incoming flow rate)과 노드 j의 데이터 생성량을 합하면 노드 j가 전송하는 데이터량(outgoing flow rate)을 산출할 수 있다.
- [0039] 데이터 생성량은 전송한 바와 같이 필터링 및 압축에 의해 감소되며, 처리 데이터량 nk를 통해 제어될 수 있다. 예를 들어, 도 6에서 설명하는 바와 같이, 처리 데이터량은 데이터 생성량의 상한을 정의할 수 있다. 데이터 생성량은 전송한 바와 같이 데이터 흐름량에 영향을 미치므로, 따라서, 처리 데이터량을 최적화하면 데이터 생성량뿐 아니라 데이터 흐름량, 즉, 이웃 노드로 전송할 데이터량을 최적화할 수 있다.
- [0040] 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 센서 노드의 듀티 사이클에 따른 소비 에너지의 실시예를 도시하고 있다.
- [0041] 듀티 사이클은 활성 모드(active mode) 및 수면 모드(sleep mode)로 이루어진다. 예를 들어 하나의 타임 슬롯(time slot)은 하나 이상의 활성 모드 및 하나 이상의 수면 모드를 포함할 수 있다. 수면 모드는 소비 에너지를 최소화하기 위하여 최소한의 동작만이 이루어지는 모드로, 수면 모드에서의 소비 에너지는 0이라고 가정할 수 있다. 따라서 본 명세서에서는 센서 노드(10)의 소비 에너지 E_c 는 활성 모드에서 소비된 에너지의 총합이라고 가정한다. 활성 모드에서 소비되는 에너지는 센싱, 코딩, 디코딩, 송신, 수신 등의 작업(task)을 수행하면서 소비한 에너지를 포함할 수 있다.
- [0042] 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 센서 노드의 에너지 수집 실시예를 도시하고 있다.
- [0043] 가용 에너지(E_p)는 수집된 에너지의 양에 따라 달라지므로, 수집 에너지량을 예측하는 것이 필요하다.
- [0044] 태양 에너지를 예를 들면, 도시되어 있는 바와 같이, 태양광의 태양 기관으로의 입사 각도는 일정하지 않으므로, 태양 에너지 획득량을 예측할 때 이를 고려해야 한다.
- [0045] 태양 기관 표면에 입사되는 태양 강도는 램버트의 코사인 법칙(Lambert's cosine Law)에 의해서 결정되며, 비어의 법칙(Beer's Law)을 따르는 대기(atmosphere) 상태에 따라, 그 강도가 지수적으로 감소한다.
- [0046] 따라서 태양 에너지 획득 패턴은 단기적으로는 하루를 주기로 변하며, 장기적으로는 계절적인 영향을 받는다.
- [0047] 예를 들어, $\tilde{P}_h(t) = P_p \cdot \cos \left[\frac{\pi}{12h}(t - 12h) \right] \cdot e^{-\frac{S_t}{v}}, 6h \leq t \leq 18h$, $\tilde{P}_h(t) = 0, \text{ otherwise.}$ 를 24시간을 주기로 한 태양 에너지 수집 패턴을 예측하는 데 사용할 수 있다.
- [0048] 여기서 좌변은 t 시점에 획득되는 태양 에너지에 대한 예측값이며, P_p 는 태양 에너지 획득량의 최대값(자오선 고도에 따라 변화됨)을 의미한다. h는 시간을 의미하며, 일례로 6h는 오전 6시를 의미한다. S_t 는 TOD(total optical depth)를 의미하며, v는 상대적인 광학적 기단(relative optical air mass)을 의미한다.
- [0049] 태양 에너지 획득량을 예측하는 기술은 널리 알려져 있으므로, 자세한 내용은 생략한다.
- [0050] 도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 센서 노드의 처리 데이터량 실시예를 도시하고 있다.
- [0051] 노드 i의 스케줄링 시점 t에서의 처리 데이터량을 작업 큐(task queue)의 관점에서 살펴보자. na를 도착 데이터

량(arrival rate), ns를 서비스 데이터량(service rate)이라고 하면, 노드의 에너지 가용성(availability)에 따라 서비스 데이터량은 도착 데이터량보다 작거나 같게 된다.

- [0052] 도착 데이터량, 예를 들어, 필요한 센싱 데이터량을 정확하게 예측할 수 있다면, 노드의 에너지 가용성을 고려하여 서비스 데이터량을 결정하는 것이 가능하지만, 도착 데이터량을 정확하게 예측하기란 매우 어려운 일이며, 잘못 예측할 경우 에너지를 적절하게 할당하기가 어려워진다. 따라서 센서 노드(10)는 도착 데이터량의 예측 에러를 감소시키기 위하여 토큰 버킷(token bucket)이라는 개념을 도입하였다. 이후 기술에서 단위 처리량의 개수를 토큰량 또는 처리 데이터량 nk으로 표기한다.
- [0053] 각 센서 노드(10)는 사용하고 남은 에너지와 도착 데이터량의 예측값을 사용해서 처리 데이터량, 즉, 토큰량을 결정하며, 이를 바탕으로 생성된 작업 집합(task set)에 대한 스케줄링을 수행한다. 여기서 사용하고 남은 에너지, 예를 들어, 배터리 잔여량은 에너지 수집량, 예를 들어, 태양 에너지 획득량에 대한 예측을 바탕으로 산출될 수 있다.
- [0054] 예측 기반이므로 이전 스케줄링 시점에서 사용하고 남은 이전 토큰들 nr이 존재할 수 있다. 따라서 스케줄링 시점에서 새롭게 결정된 토큰과 이전 스케줄링 시점에서의 이전 토큰들을 합한 것이 해당 스케줄링 시점에서 사용할 수 있는 토큰량이 될 것이다.
- [0055] 도면을 통해 살펴보면, 도면 (a)는 도착 데이터량(na)이 처리 데이터량(nk)보다 크거나 같을 경우, 즉, 처리할 수 있는 양보다 많은 데이터가 작업 큐에 도착하였을 경우, 처리 데이터량(nk)만큼만 처리되므로 서비스 데이터량(ns)은 처리 데이터량(nk)과 같고, 잔여 처리 데이터량(nr)은 없게 됨을 도시하고 있다.
- [0056] 도면 (b)는 도착 데이터량(na)이 처리 데이터량(nk)보다 적을 경우, 즉, 처리할 수 있는 양보다 적은 데이터가 작업 큐에 도착하였을 경우, 서비스 데이터량(ns)은 도착 데이터량(na)과 같고, 그 나머지만 잔여 처리 데이터량(nr)이 다음 스케줄링 시점에서의 처리 데이터량(nk)에 추가됨을 도시하고 있다.
- [0057] 이러한 관계를 노드 i의 활성 모드일 때의 스케줄링 시점 t에서 이루어짐을 명확하게 하여 나타내면, $n_k\langle i, t \rangle = \dot{n}_k\langle i, t \rangle + [n_k\langle i, t - \Delta t \rangle - n_a\langle i, t - \Delta t \rangle]^+$ 이다.
- [0058] 여기서 []+는 [] 안의 값이 0보다 크면 그 값을 유지하고, 그 이외에는 0이 됨을 나타내는 표기이며, $[n_k\langle i, t - \Delta t \rangle - n_a\langle i, t - \Delta t \rangle]^+$ 은 이전 스케줄링 시점에서 사용하고 남은 잔여 토큰량이고, $\dot{n}_k\langle i, t \rangle$ 은 스케줄링 시점 t에서 새롭게 결정된 토큰량이다.
- [0059] 도 7은 본 발명의 일실시예에 따른 센서 노드 운영 방법의 흐름을 도시하고 있다.
- [0060] 매 스케줄링 시점마다(S100), 다음의 단계들을 수행한다. 다음의 단계들은 순서대로 수행될 수도 있고 병렬로 수행될 수도 있다. 먼저 전체적으로 살펴본 후 구체적으로 설명하도록 한다.
- [0061] 센서 노드가 사용할 수 있는 가용 에너지량을 예측한다(S200).
- [0062] 센서 노드의 센싱부가 생성하는 데이터량 또는 이웃 노드로부터 전송받을 데이터량을 예측한다(S300).
- [0063] 노드간(inter-node) 최적화 및 노드내(intra-node) 최적화를 수행한다(S400 및 S500). 특히, 가용 에너지 예측량 및 데이터 예측량에 기초하여 센서 노드의 듀티 사이클을 결정하고, 센서 노드의 실제 가용 에너지, 센서 노드의 이웃 센서 노드들의 가용 에너지, 및 데이터 예측량에 기초하여 처리 데이터량 및/또는 라우팅 경로를 결정한다. 여기에서 처리 데이터량이란 전송한 바와 같이, 센서 노드(10)가 생성하는 데이터량, 즉, 데이터 생성량(source rate) 및 센서 노드(10)가 이웃 센서 노드(10)로 전송하는 데이터량, 즉, 데이터 흐름량(flow rate)을 포함하는 개념이다.
- [0064] 이제 상기 단계들(S300 내지 S500)에 대해 좀더 구체적으로 살펴본다(가용 에너지량 예측 단계(S200)는 도 5 참조).
- [0065] 먼저, 데이터량 예측 단계(S300)을 살펴본다.
- [0066] 특정 시간 구간 동안의 도착 데이터량은 도착 데이터량의 PMF (Probability Mass Function)와 CMF (Cumulative Mass Function)를 이용하여 예측할 수 있다.
- [0067] 도착 데이터량의 예측값을 $\tilde{n}_a\langle i, t \rangle$, 예측 에러를 $\Delta n_a\langle i, t \rangle$ 라고 하면, 도착 데이터량 벡터는

$n_a\langle i, t \rangle = \tilde{n}_a\langle i, t \rangle + \Delta n_a\langle i, t \rangle$ 로 나타낼 수 있다.

[0068] 관측한 날의 집합 K에 속하는 이전 k번째 날 시간 t에서 노드 집합 V에 포함된 노드 j의 도착 데이터량에 대해 발생 빈도수를 분석하면, 도착 데이터량의 PMF f와 CMF F는 아래의 수식을 통해서 예측할 수 있다.

[0069] <수식>

$$\begin{aligned} f_{n_a\langle i, t \rangle}(x) &= \Pr[n_a\langle i, t \rangle = x] \approx \lim_{|K| \rightarrow \infty} \frac{N(n_a\langle j, t, k \rangle = x)}{|K| \cdot |V|}, \\ F_{n_a\langle i, t \rangle}(x) &= \Pr[n_a\langle i, t \rangle \leq x] \approx \lim_{|K| \rightarrow \infty} \frac{N(n_a\langle j, t, k \rangle \leq x)}{|K| \cdot |V|}, \\ \forall x \in \mathbb{Z}_+, \forall k \in K, \forall j \in V, \end{aligned}$$

[0070]

[0071] 여기서 z+는 음이 아닌 정수를 의미하며, N은 임의의 j, k에 대해서 괄호 안의 조건을 만족하는 도착 데이터량의 개수를 카운팅하는 함수이다.

[0072] $n_a\langle i, t \rangle$ 은 발생 횟수에 대한 확률 변수이기 때문에, PMF f의 도메인은 음이 아닌 정수의 이산 도메인이 된다. 즉, V에 속하는 임의의 i, j에 대해서 $f_{n_a\langle i, t \rangle}(x) = f_{n_a\langle j, t \rangle}(x)$ 이다.

[0073] 따라서 도착 데이터량의 예측값 $\tilde{n}_a\langle i, t \rangle$ 는 PMF f로부터 얻어 낼 수 있고, 그 기대값은 $E[\tilde{n}_a\langle i, t \rangle] = \sum_{x \in \mathbb{Z}_+} x \cdot f_{n_a\langle i, t \rangle}(x) \approx \frac{1}{|K||V|} \sum_{j \in V} \sum_{k \in K} n_a\langle j, t, k \rangle$ 로 산출될 수 있다.

[0074]

다음, 노드간 최적화 단계(S400)를 살펴본다.

[0075]

각 센서 노드(10)에서 주어진 가용 에너지량에 대해 유틸리티 총합을 최대화하는 방향으로 라우팅을 결정하고, 데이터 흐름량 및 데이터 생성량을 제어하는 과정을 설명한다. 특히, 노드간 최적화를 통해서 새로 생성된 토큰량의 초기값을 얻어내는 과정을 설명한다. 간결함을 위해 노드 인덱스 i 및 시간 인덱스 t는 생략하여 설명하도록 하겠다.

[0076]

V를 노드들의 집합, E를 링크들의 집합이라고 하면, 도 3을 통해 전술한 바와 같이, 각 노드가 수신하는 데이터량(incoming flow rate)과 데이터 생성량(source rate)을 합하면 해당 노드가 전송하는 데이터량(outgoing flow rate)을 산출할 수 있다. 이러한 데이터 흐름량 보존은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \sum_{j \in \mathcal{P}\langle i \rangle \setminus \{i\}} \dot{n}_k^{(0)}\langle j \rangle \cdot D_s\langle j \rangle + \dot{n}_k^{(0)}\langle i \rangle \cdot D_s\langle i \rangle \\ = \sum_{j \in \mathcal{P}\langle i \rangle} \dot{n}_k^{(0)}\langle j \rangle \cdot D_s\langle j \rangle, \\ \sum_{j \in \mathcal{I}(i)} f_{(j, i)} + g\langle i \rangle = \sum_{j \in \mathcal{O}(i)} f_{(i, j)}, i, j \in V, (i, j) \in E \end{aligned}$$

[0077]

[0078]

Ds는 작업 집합에 대해 노드가 센싱한 단위 소스 데이터의 총량을 의미한다. 0는 노드가 데이터를 송신하는 이웃 노드들의 집합, I는 노드가 데이터를 수신하는 이웃 노드들의 집합을 의미한다. 그리고 g는 토큰량($\dot{n}_k\langle i \rangle$)이 결정되었을 때, 최대 가용 데이터 생성량을 의미한다.

[0079]

노드의 수신 데이터 흐름량과 송신 데이터 흐름량은 할당된 활성 모드에서의 소비 에너지 $E_{act}(\dot{n}_k^{(0)}\langle i \rangle)$ 에 의해 제한되므로, 데이터 흐름량을 아래의 수식을 통해서 결정할 수 있다.

$$\left(\frac{P_r}{R_{bw}} + \frac{P_d}{R_{filt}} \right) \cdot \sum_{j \in \mathcal{I}(i)} f_{(j,i)} + \left(\frac{P_t}{R_{bw}} + \frac{P_c}{\vartheta R_{filt}} \right) \cdot \sum_{j \in \mathcal{O}(i)} f_{(i,j)} + \varepsilon \leq E_{act}(\dot{n}_k^{(0)} \langle i \rangle),$$

$$\sum_{j \in \mathcal{I}(i)} f_{(j,i)} + \gamma \sum_{j \in \mathcal{O}(i)} f_{(i,j)} \leq \mathcal{R} \langle i \rangle,$$

[0080]

[0081]

P는 소비 전력을 의미한다. 즉, Ps, Pc, Pd, Pr, Pt, 및 Psp는 각각 센싱, 인코딩, 디코딩, 수신, 전송 및 수면 모드에서 소비되는 전력을 의미한다. Rfilt는 인코딩 및 디코딩율을 의미하며, 예를 들어, 2.5Kbps를 값으로 가질 수 있다.

[0082]

$$\text{또한, } \gamma = \left(\frac{P_t R_{filt} \vartheta \langle i \rangle + P_c R_{bw}}{\vartheta \langle i \rangle (P_r R_{filt} + P_d R_{bw})} \right), \quad \mathcal{R} \langle i \rangle = (E_{act}(\dot{n}_k^{(0)} \langle i \rangle) - \varepsilon) \cdot \frac{R_{bw} R_{filt}}{P_r R_{filt} + P_d R_{bw}},$$

$$\epsilon = N_{sen} \cdot P_s \cdot \delta \tau_s (D_s \langle i \rangle) + P_t \cdot (t_{ST} + t_{IR} + t_{STFS}) + P_r \cdot (t_{ST} + t) \text{ 이다.}$$

[0083]

네트워크 유틸리티를 최대화하는 문제는 다음과 같이 세울 수 있다.

$$\begin{aligned} & \max_{\mathbf{F}, \mathbf{G}} \sum_{i \in V} \log(g \langle i \rangle) \\ & \text{subject to} \quad \sum_{j \in \mathcal{I}(i)} f_{(j,i)} + g \langle i \rangle = \sum_{j \in \mathcal{O}(i)} f_{(i,j)}, \\ & \quad \sum_{j \in \mathcal{I}(i)} f_{(j,i)} + \gamma \sum_{j \in \mathcal{O}(i)} f_{(i,j)} \leq \mathcal{R} \langle i \rangle, \\ & \quad g \langle i \rangle, f_{(i,j)}, f_{(j,i)} \geq 0, \\ & \quad i, j \in V, f_{(i,j)} \in \mathbf{F}, g \langle i \rangle \in \mathbf{G}. \end{aligned}$$

[0084]

[0085]

F는 데이터 흐름량에 대한 벡터 표현이고, G는 소스 데이터량에 대한 벡터 표현이다. 이는 쌍대 문제(dual problem)로, F에 관하여 오목 함수(strictly concave function)가 아니기 때문에, 수식에 $\epsilon \sum_{(i,j) \in V} (f_{(i,j)})^2$ 를 추가할 수 있다.

[0086]

라그랑주 승수(Lagrange multipliers) $\lambda, \mu = [\lambda \langle i \rangle], [\mu \langle i \rangle]$ 를 정의하면, 상기 수식의 라그랑주 함수(Lagrangian function)는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} L(\mathbf{F}, \mathbf{G}, \lambda, \mu) &= \sum_{i \in V} \log(g \langle i \rangle) - \epsilon \sum_{(i,j) \in E} (f_{(i,j)})^2 \\ & - \sum_{i \in V} \lambda \langle i \rangle \left[\sum_{j \in \mathcal{I}(i)} f_{(j,i)} - \sum_{j \in \mathcal{O}(i)} f_{(i,j)} + g \langle i \rangle \right] \\ & - \sum_{i \in V} \mu \langle i \rangle \left[\sum_{j \in \mathcal{I}(i)} f_{(j,i)} + \gamma \sum_{j \in \mathcal{O}(i)} f_{(i,j)} - \mathcal{R} \langle i \rangle \right]. \end{aligned}$$

[0087]

[0088]

이때 쌍대 문제는 $\min D(\lambda, \mu), \text{ subject to } \mu \succeq 0$ 이며, 목적 함수(objective function)는 $D(\lambda, \mu) = \max_{\mathbf{F}, \mathbf{G}} L(\mathbf{F}, \mathbf{G}, \lambda, \mu)$ 로 표현된다.

[0089]

라그랑주 함수는 두 개의 원시 변수(primal value) F, G와 $\dot{n}_k \langle i \rangle$ 로 이루어진 함수이다. 그리고 쌍대 함수는 아래와 같이 세 개의 부속 문제로 분해된다.

[0090] $D(\lambda, \mu) = D_{\text{tra}}(\lambda) + D_{\text{net}}(\lambda, \mu) + D_{\text{mac}}(\mu),$

$$\begin{aligned} \mathcal{P}1 : D_{\text{tra}}(\lambda) &= \max \left\{ \sum_{i \in V} \log(g\langle i \rangle) - \sum_{i \in V} \lambda \langle i \rangle g\langle i \rangle \right\}, \\ \mathcal{P}2 : D_{\text{net}}(\lambda, \mu) &= \max \left\{ -\epsilon \sum_{(i,j) \in E} (f_{(i,j)})^2 \right. \\ &\quad - \sum_{i \in V} \lambda \left[\sum_{j \in \mathcal{I}(i)} f_{(j,i)} - \sum_{j \in \mathcal{O}(i)} f_{(i,j)} \right] \\ &\quad \left. - \sum_{i \in V} \mu \langle i \rangle \left[\sum_{j \in \mathcal{I}(i)} f_{(j,i)} + \gamma \sum_{j \in \mathcal{O}(i)} f_{(i,j)} \right] \right\}, \\ \mathcal{P}3 : D_{\text{mac}}(\mu) &= \max \left\{ \sum_{i \in V} \mu \langle i \rangle \mathcal{R} \langle i \rangle \right\}. \end{aligned}$$

[0091]

[0092] P1, P2, P3는 각각 전송, 네트워크, 및 MAC 계층의 동작을 보여준다. P1, P2는 네트워크 혼잡제어와 흐름 제어에 관련이 있다.

[0093] P1, P2에 대해 라그랑주 쌍대 문제의 해를 찾기 위해서 서브그래디언트 기법(subgradient method)를 이용하면, 다음과 같은 단계들에 따라 동작한다.

[0094] 초기화 단계에서는 $\lambda_k \langle i \rangle$ 과 $\mu_k \langle i \rangle$ 의 초기값을 각각 $\lambda_1 \langle i \rangle$ 와 $\mu_1 \langle i \rangle$ 라고 했을 때, 임의의 포인트 $\mathbb{R}_+^n$, $\mu_1 \langle i \rangle \in \mathbb{R}_+^n$, $\lambda_1 \langle i \rangle \in \mathbb{R}_+^n$ 에서 반복 알고리즘을 시작한다. 그리고 $\mu_k \langle i \rangle$ 과 $\lambda_k \langle i \rangle$ 의 각 단계폭 값(step-size value) $\{a_k\}_{k=1}^\infty$, $\{b_k\}_{k=1}^\infty$ 를 양수의 무한한 시퀀스로 잡는다.

[0095] 서브그래디언트 단계에서는 다음 수식을 통해서 최적해 (F^* , G^*)를 찾는다.

$$\begin{aligned} \mathbf{F}^*, \mathbf{G}^* &= \arg \max_{\mathbf{F}, \mathbf{G}} \left\{ \sum_{i \in V} \log(g\langle i \rangle) - \epsilon \sum_{(i,j) \in E} (f_{(i,j)})^2 \right. \\ &\quad \left. - \sum_{i \in V} \lambda_k \langle i \rangle \nu(\mathbf{F}, \mathbf{G}) - \sum_{i \in V} \mu_k \langle i \rangle \omega(\mathbf{F}) \right\}, \\ \text{where } \nu(\mathbf{F}, \mathbf{G}) &= \sum_{j \in \mathcal{I}(i)} f_{(j,i)} - \sum_{j \in \mathcal{O}(i)} f_{(i,j)} + g\langle i \rangle, \\ \omega(\mathbf{F}) &= \sum_{j \in \mathcal{I}(i)} f_{(j,i)} + \gamma \sum_{j \in \mathcal{O}(i)} f_{(i,j)} - \mathcal{R} \langle i \rangle. \end{aligned}$$

[0096]

[0097] F^* , G^* 는 $D_{\text{tra}}(\lambda)$ 과 $D_{\text{net}}(\lambda, \mu)$ 의 최적해이기도 하기 때문에, 다음의 수식을 통해서 갱신한다.

$$\begin{aligned} g^* \langle i \rangle &= \left[\frac{1}{\lambda_k \langle i \rangle} \right]^+, \\ f_{(i,j)}^* &= \left[\frac{\lambda_k \langle j \rangle - \lambda_k \langle i \rangle + \gamma \cdot \mu_k \langle i \rangle + \mu_k \langle j \rangle}{-2\epsilon} \right]^+ \end{aligned}$$

[0098]

[0099] $\nu^* := \nu(\mathbf{F}^*, \mathbf{G}^*)$ $\omega^* := \omega(\mathbf{F}^*)$,

[0100] 다음, 단계폭 a_k , b_k 를 결정한 후, 다음의 수식에 따라 $\lambda_k \langle i \rangle$ 과 $\mu_k \langle i \rangle$ 를 갱신한다.

$$\begin{aligned} \lambda_{k+1} \langle i \rangle &\leftarrow \left[\lambda_k \langle i \rangle + a_k \frac{\nu}{\|\nu\|} \right], \\ \mu_{k+1} \langle i \rangle &\leftarrow \left[\mu_k \langle i \rangle + b_k \frac{\omega}{\|\omega\|} \right]^+, \quad k \leftarrow k + 1. \end{aligned}$$

[0101]

[0102] δ^{th} 가 중지 임계(stopping threshold)일 때, $\|\nu\| \leq \delta^{th}$ 및 $\|\omega\| \leq \delta^{th}$ 을 만족한다면, 알고리즘을 멈추고, 이때 계산되었던 F* 및 G*를 최적해로 한다. 만족하지 않는다면, 반복을 계속한다.

[0103] 상기 과정을 통한 노드들간의 (λ, μ) 교환을 통해서 각 노드는 최적의 데이터 생성량과 데이터 흐름량을 산출한다.

그러면 $\dot{n}_k^{(0)} \langle i \rangle^* = \frac{g^* \langle i \rangle}{D_s \langle i \rangle}$ 에 의해 각 노드는 최적의 토큰량 즉, 처리 데이터 처리량 초기값을 구할 수 있다.

[0104] 다음, 노드내 최적화 단계(S500)를 살펴본다.

[0105] 상기 단계에서 구한 토큰량 초기값에 대해서, 에너지 할당을 위해 필요로 하는 에너지의 가용성 비율을 $\Gamma \langle i, t \rangle$ 라고 하면, 각 노드는 서로 다른 가용 에너지를 갖고 있기 때문에, 모든 노드들의 가용성 비율들 중에서 최소값에 의해서 병목이 발생하게 된다. 예를 들어, 일반적으로 싱크 노드 주변에 있는 노드들은 그렇지 않은 노드들에 비해 상대적으로 많은 작업을 수행하기 때문에 병목은 싱크 노드 주변에서 발생하게 된다.

[0106] 특정 스케줄링 시점에 너무 많은 에너지가 할당되는 것을 방지하기 위해, 최적의 최소 토큰량 값을 작업 집합의 통계를 바탕으로 하는 가용성 비율의 최소값으로 결정한다.

[0107]
$$\begin{aligned} \dot{n}_{k0} \langle i, t \rangle &= \Gamma_{k0} \langle t \rangle \cdot \dot{n}_k^{(0)} \langle i \rangle^* \\ &= \min\{\Gamma_{k0} \langle i, t \rangle\} \cdot \dot{n}_k^{(0)} \langle i \rangle^*, \quad \forall i \in V. \end{aligned}$$

[0108] 추가 토큰량은 오목 최적화(convex optimization)를 통해서 얻어지는 잔여 에너지의 편차를 기초로 아래와 같이 결정된다.

[0109]
$$\begin{aligned} \dot{n}_{k+} \langle i, t \rangle &= \Gamma_{k+} \langle t \rangle \cdot \dot{n}_k^{(0)} \langle i \rangle^* \\ &= \min\{\Gamma_{k+} \langle i, t \rangle\} \cdot \dot{n}_k^{(0)} \langle i \rangle^*, \quad \forall i \in V. \end{aligned}$$

[0110] 결국, 최적 토큰량은 노드 간 최적화 및 노드 내 최적화를 통해서 다음과 같이 구해진다.

[0111]
$$\begin{aligned} \dot{n}_k \langle i, t \rangle &= \dot{n}_{k0} \langle i, t \rangle + \dot{n}_{k+} \langle i, t \rangle = \Gamma \langle t \rangle \cdot \dot{n}_k^{(0)} \langle i \rangle^* \\ &= (\Gamma_{k0} \langle t \rangle + \Gamma_{k+} \langle t \rangle) \cdot \dot{n}_k^{(0)} \langle i \rangle^*, \quad \forall i \in V. \end{aligned}$$

[0112] 최소 토큰량을 보장하기 위해서, 총 필요 센싱량(total required sensing quantity)에 임계율(threshold ratio) $\theta_m \langle i, t \rangle$ 이 할당되어야 하므로, 임계율의 CMF (Cumulative Mass Function)를 사용하여, 최소 도착 데이터량은 다음과 같이 정의한다.

[0113]
$$\begin{aligned} \dot{n}_{k0} \langle i, t \rangle^* &= \left\lfloor F_{n_a \langle i, t \rangle}^{-1} \left(\theta_m \langle i, t \rangle \right) \right\rfloor, \\ \text{subject to } \Delta E_{res} \left(\frac{\dot{n}_{k0} \langle i, t \rangle^*}{\dot{n}_k^{(0)} \langle i, t \rangle^*} \right) &\geq M_h, \quad \forall t \in [t_0, t_{N_s}], \end{aligned}$$

[0114] 여기서 ΔE_{res} 은 잔여 에너지에 대한 제한(constraint)이고, $F_{n_a \langle i, t \rangle}^{-1}$ 은 $F_{n_a \langle i, t \rangle}$ 의 역함수이다. 그리고 M_h 은 예측 에러의 마진이다.

[0115] 추가 토큰량을 결정하기 위해서 다음과 같은 유틸리티 함수(utility function)를 정의한다.

[0116]
$$\begin{aligned} U \langle i, t \rangle &= \log (1 + e_a \dot{n}_{k+} \langle i, t \rangle) \\ &= \log \left(1 + e_a \Gamma_{k+} \langle i, t \rangle \dot{n}_k^{(0)} \langle i \rangle^* \right) \end{aligned}$$

$$e_a = \frac{E_{act}(\dot{n}_{up}\langle i, \mathbf{t} \rangle) - E_{act}(\dot{n}_{k0}\langle i, \mathbf{t} \rangle^*)}{\sum_{\mathbf{t} \in [t_0, t_{Ns}]} E_{act}(\dot{n}_{up}\langle i, \mathbf{t} \rangle) - E_{act}(\dot{n}_{k0}\langle i, \mathbf{t} \rangle^*)}$$

이는 사전 측정을 통해서 알고 있는 도착 데이터량과 태양 에너지 획득량을 통해서 얻어질 수 있다고 가정한다.

그러므로 유틸리티 함수는 $\Gamma_{k+}\langle i, \mathbf{t} \rangle$ 의 함수로 표현될 수 있다. $\Gamma\langle i, \mathbf{t} \rangle^* = \Gamma_{k0}\langle i, \mathbf{t} \rangle^* + \Gamma_{k+}\langle i, \mathbf{t} \rangle^*$ 을 이용하여, 임의의 $\mathbf{t}$ 에 대해서 $\Delta E_{res}(\Gamma\langle i, \mathbf{t} \rangle) = \Gamma_{k0}\langle i, \mathbf{t} \rangle^* + \Gamma_{k+}\langle i, \mathbf{t} \rangle = M_h$ 로 설정한다. 그러면 잔여 에너지의 편차에 대한 제한은 아래와 같다.

$$\Delta E_{res}(\Gamma\langle i, \mathbf{t} \rangle) = \Gamma_{k0}\langle i, \mathbf{t} \rangle^* + \Gamma_{k+}\langle i, \mathbf{t} \rangle$$

그러므로 노드 내 최적화는 $\Delta E_{res}(\Gamma\langle i, \mathbf{t} \rangle) = \Gamma_{k0}\langle i, \mathbf{t} \rangle^* + \Gamma_{k+}\langle i, \mathbf{t} \rangle$ 를 최대 이득을 달성할 수 있게 제어함으로써 달성할 수 있게 된다. 그 최적값은 다음의 최적화 문제를 통해서 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} & \max \sum_{\mathbf{t} \in [t_0, t_{Ns}]} U_i(\Gamma_{k+}\langle \mathbf{t} \rangle) \\ \text{subject to } & \Delta E_{res}(\Gamma\langle \mathbf{t} \rangle) = \Gamma_{k0}\langle \mathbf{t} \rangle^* + \Gamma_{k+}\langle \mathbf{t} \rangle = M_h, \\ & \forall \Gamma\langle \mathbf{t} \rangle, \forall \Gamma_{k+}\langle \mathbf{t} \rangle \geq 0 \end{aligned}$$

이는 볼록 최적화(convex optimization) 문제로, 다음과 같은 KKT (Karush-Kuhn-Tucker) 조건을 이용하여 풀 수 있다.

$$\begin{aligned} 1. & \Delta E_{res}(\Gamma_{k0}\langle \mathbf{t} \rangle^* + \Gamma_{k+}\langle \mathbf{t} \rangle^*) - M_h = 0, \quad -\dot{\mathbf{n}}_a^* \leq 0, \\ 2. & \lambda^* \geq 0, \quad \lambda^*(-\Gamma_{k+}\langle \mathbf{t} \rangle^*) = -\lambda^* \Gamma_{k+}\langle \mathbf{t} \rangle^* = 0, \\ 3. & \nu^* \cdot \{\Delta E_{res}(\Gamma_{k0}\langle \mathbf{t} \rangle^* + \Gamma_{k+}\langle \mathbf{t} \rangle^*) - M_h\} = 0, \\ 4. & \frac{\partial L(\Gamma_{k+}\langle \mathbf{t} \rangle^*, \lambda^*)}{\partial \Gamma_{k+}\langle \mathbf{t} \rangle^*} = -\frac{\partial U_i(\Gamma_{k+}\langle \mathbf{t} \rangle^*)}{\partial \Gamma_{k+}\langle \mathbf{t} \rangle^*} - \lambda^* + \rho(\mathbf{t})\nu^* = 0, \end{aligned}$$

여기서 λ^* 는 최적 라그랑주 승수이고,

$$\rho\langle \mathbf{t} \rangle = \begin{cases} -\eta\mathcal{B} - \eta \cdot \mathcal{D} \cdot \mathcal{G}, & \text{if } \mathcal{A} - \mathcal{B} \cdot \Gamma\langle i, \mathbf{t} \rangle^* \geq 0, \forall \mathbf{t} \in T_D, \\ -\mathcal{B} - \eta \cdot \mathcal{D} \cdot \mathcal{G}, & \text{if } \mathcal{B} \cdot \Gamma\langle i, \mathbf{t} \rangle^* - \mathcal{A} < 0, \forall \mathbf{t} \in T_D, \\ \mathcal{F}, & \text{if } \forall \mathbf{t} \in T_N \end{cases} \text{이며,}$$

$\mathcal{A}, \mathcal{B}, \mathcal{C}, \mathcal{D}, \mathcal{E}, \mathcal{F}, \mathcal{G}$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \mathcal{A} &= N_{sen} \cdot \tilde{P}_h\langle \mathbf{t} \rangle \cdot \delta\tau_s(D_s\langle i \rangle) - N_{sen} \cdot P_s\langle i \rangle \cdot \delta\tau_s(D_s\langle i \rangle), \\ \mathcal{B} &= E_{act}(n_s\langle i, \mathbf{t} \rangle) - N_{sen} \cdot P_s\langle i \rangle \cdot \delta\tau_s(D_s\langle i \rangle), \\ \mathcal{C} &= \Delta\mathbf{t} - N_{sen}\delta\tau_s(D_s\langle i \rangle), \\ \mathcal{D} &= t_{act}(n_s\langle i, \mathbf{t} \rangle) - N_{sen} \cdot \delta\tau_s(D_s\langle i \rangle), \\ \mathcal{E} &= P_{sp} \cdot (\Delta\mathbf{t} - N_{sen} \cdot \delta\tau_s(D_s\langle i \rangle)) + N_{sen} \cdot P_s\langle i \rangle \cdot \delta\tau_s(D_s\langle i \rangle), \\ \mathcal{F} &= \mathcal{D}P_{sp} + \mathcal{B}, \quad \mathcal{G} = \tilde{P}_h\langle \mathbf{t} \rangle - P_{sp}, \quad \mathbf{t} \in [t_0, t_{Ns}] \end{aligned}$$

결과적으로 KKT 조건을 이용하여 최적해는 $\Gamma_{k+}\langle \mathbf{t} \rangle^* = \left[\frac{1}{\rho(\mathbf{t})\nu^*} - \frac{1}{e_a \cdot \dot{n}_k^{(0)}\langle \mathbf{t} \rangle^*} \right]^+$ 로 구해진다.

본 발명의 일 실시예는 컴퓨터에 의해 실행되는 프로그램 모듈과 같은 컴퓨터에 의해 실행가능한 명령어를 포함하는 기록 매체의 형태로도 구현될 수 있다. 컴퓨터 판독 가능 매체는 컴퓨터에 의해 액세스될 수 있는 임의의 가용 매체일 수 있고, 휘발성 및 비휘발성 매체, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함한다. 또한, 컴퓨터 판독 가능 매체는 컴퓨터 저장 매체 및 통신 매체를 모두 포함할 수 있다. 컴퓨터 저장 매체는 컴퓨터 판독가능 명령어, 데이터 구조, 프로그램 모듈 또는 기타 데이터와 같은 정보의 저장을 위한 임의의 방법 또는 기술로 구현된 휘발성 및 비휘발성, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함한다. 통신 매체는 전형적으로 컴퓨터 판독가능 명령

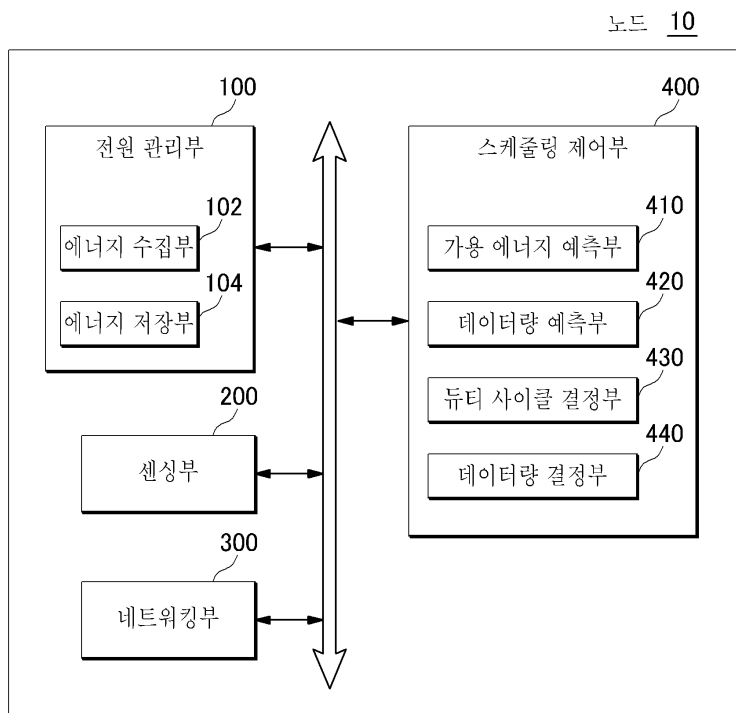
어, 데이터 구조, 프로그램 모듈, 또는 반송파와 같은 변조된 데이터 신호의 기타 데이터, 또는 기타 전송 매커니즘을 포함하며, 임의의 정보 전달 매체를 포함한다.

부호의 설명

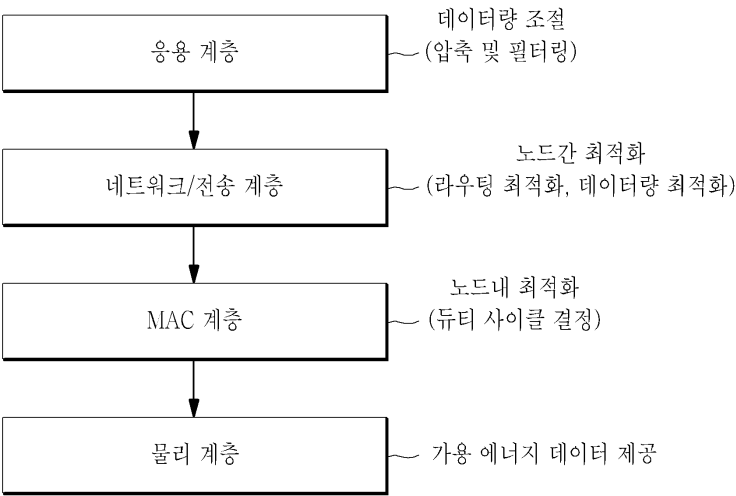
- 10: 센서 노드
- 100: 전원 관리부
- 102: 에너지 수집부
- 104: 에너지 저장부
- 200: 센싱부
- 300: 네트워킹부
- 400: 스케줄링 제어부
- 410: 가용 에너지 예측부
- 420: 데이터량 예측부
- 430: 듀티 사이클 결정부
- 440: 데이터량 결정부

도면

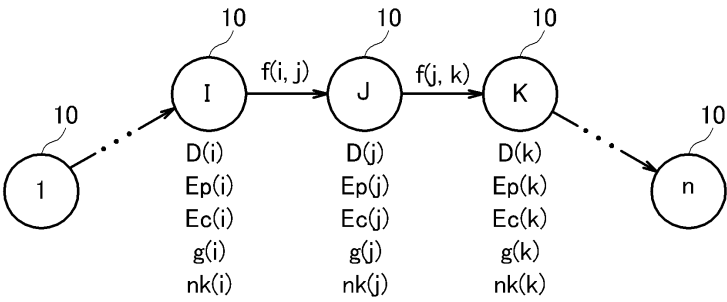
도면1



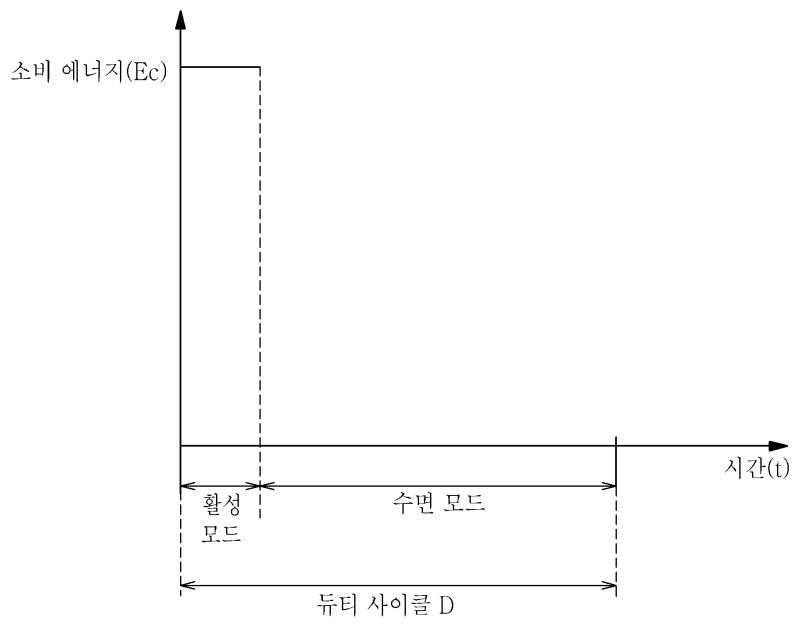
도면2



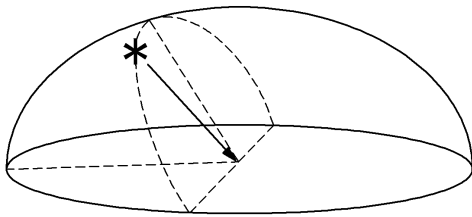
도면3



도면4

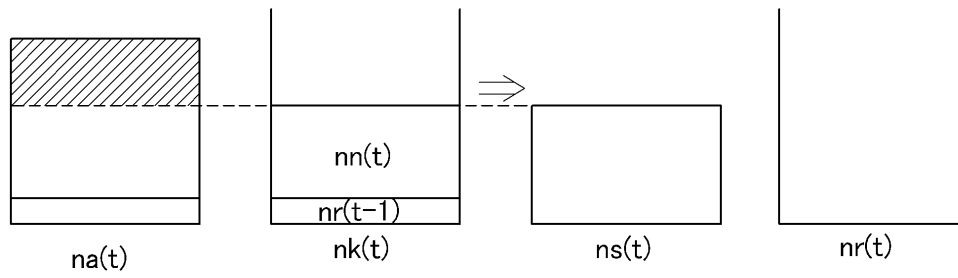


도면5

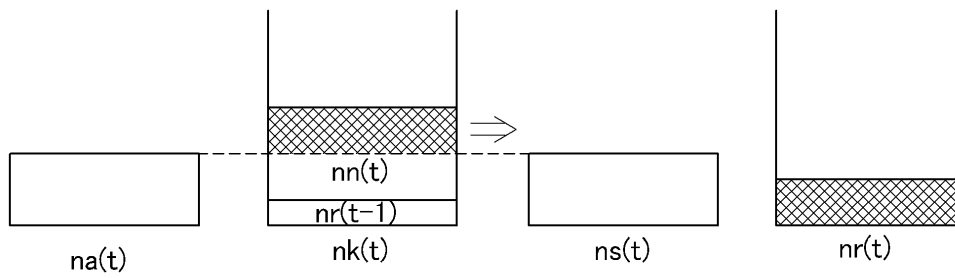


도면6

(a) $na \geq nk$



(b) $na < nk$



도면7

