



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년07월06일  
(11) 등록번호 10-2130509  
(24) 등록일자 2020년06월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H04W 52/02 (2009.01) H04W 4/38 (2018.01)  
(52) CPC특허분류  
H04W 52/0258 (2013.01)  
H04W 4/38 (2020.05)  
(21) 출원번호 10-2019-0079828  
(22) 출원일자 2019년07월03일  
심사청구일자 2019년07월03일  
(56) 선행기술조사문헌  
JP2019022090A\*  
논문 1\*  
JP2019022090 A\*  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
남서울대학교 산학협력단  
충청남도 천안시 서북구 성환읍 대학로 91, 남서울대학교내  
(72) 발명자  
임성화  
충청남도 천안시 서북구 성환1로 54-45, 103동 1005호(성환E편한세상)  
이세원  
부산광역시 남구 용소로 45, 부경대학교 EC관 603호  
(74) 대리인  
김견수

전체 청구항 수 : 총 6 항

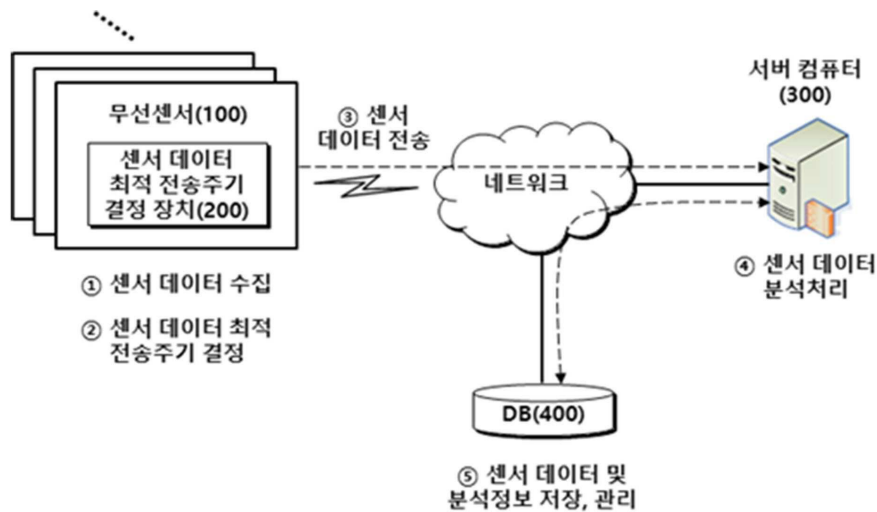
심사관 : 진상범

(54) 발명의 명칭 **센서 데이터의 최적 전송주기 결정 방법 및 그 장치**

(57) 요약

본 발명은 센서 데이터의 최적 전송주기 결정 방법 및 그 장치에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 적어도 하나 이상의 센서에서 일정 기간 동안 센서 데이터를 수집(accumulation)하고, 상기 수집한 센서 데이터를 원격지의 서버 컴퓨터로 전송하는 센서 네트워크에서, 마코프 체인(Markov chain)과 재생 보상 이론(renewal reward theory)을 사용하여 생성한 확률 이론 기반의 에너지 소비 모델을 통해 센서 데이터 전송주기를 결정함으로써, 센서에서 사용되는 에너지 소비량을 줄여 전력효율을 향상시킬 수 있는 방법 및 그 장치에 관한 것이다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류  
Y02D 70/22 (2018.01)

공지예외적용 : 있음

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

센서 데이터를 수집한 시간( $t$ ) 동안 소비되는 총 에너지( $F$ )를 계산하는 단계;

상기 센서 데이터를 수집한 시간( $t$ ) 동안 불필요하게 소비된 에너지의 비율( $f$ )을 재생보상정리에 의해 계산하는 단계;

상기 불필요하게 소비된 에너지의 비율( $f$ )이 최소화되는 센서 데이터 전송주기( $I$ )를 계산하는 단계; 및

상기 계산한 센서 데이터 전송주기( $I$ )를 센서 데이터 최적 전송주기( $I^*$ )로 결정하는 단계;를 포함하며,

상기 센서 데이터 최적 전송주기( $I^*$ )는,

프로덕트 로그 함수(Product Log function)를 계산하고, 상기 계산한 프로덕트 로그 함수에 대한 결함 발생률( $\lambda$ )의 비율을 포함하도록 계산하여 구하는 것을 특징으로 하는 센서 데이터의 최적 전송주기 결정 방법.

#### 청구항 2

삭제

#### 청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 센서 데이터의 최적 전송주기 결정 방법은,

상기 불필요하게 소비된 에너지의 비율( $f$ )이,

상기 센서 데이터 전송주기( $I$ ) 동안 소비되는 평균 에너지( $\Gamma$ )를 상기 센서 데이터 전송주기( $I$ )로 나눈 값을 산출하고;

상기 센서 데이터 전송주기( $I$ )를 확률변수로 한 단위 시간당 소모된 예측 에너지( $\gamma_I$ )를 산출하여;

상기 산출한 나눈 값에 상기 산출한 단위 시간당 소모된 예측 에너지( $\gamma_I$ )를 차감한 값이 되도록 하는 상기 센서 데이터 전송주기( $I$ )를 최적해로 산출함으로써;

상기 산출한 최적해를 상기 센서 데이터 최적 전송주기( $I^*$ )로 하는 것을 특징으로 하는 센서 데이터의 최적 전송주기 결정 방법.

#### 청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 센서 데이터의 최적 전송주기 결정 방법은,

이산시간 마코프 체인을 사용하여, 사이클의 시작, 사이클의 종료 및 사이클 동안 발생하는 센서 결함의 각 상태 간의 전이확률행렬( $P$ )과 상기 각 상태 간의 전이에 사용되는 에너지 소비량( $E$ )을 계산하고, 상기 계산한 전이확률행렬( $P$ )과 상기 각 상태 간의 전이에 사용되는 에너지 소비량( $E$ )을 참조하여, 평균 에너지( $\Gamma$ )를 계산하는 단계;를 더 포함하며,

상기 사이클은,

상기 센서 데이터 전송주기( $I$ )와 센서 데이터 전송완료에 필요한 시간( $U$ )을 더한 시간 길이이며,

상기 사이클 동안 발생하는 센서 결함은,

데이터 수집 중에 발생하는 결함인 상태 1, 데이터 전송 중에서 발생하는 결함인 상태 2, 및 결함이 발생하여 복구 중에 발생하는 결함인 상태 3을 포함하는 것을 특징으로 하는 센서 데이터의 최적 전송주기 결정 방법.

**청구항 5**

센서 데이터를 수집하는 수집부; 및

상기 센서 데이터를 수집한 시간(t) 동안 소비되는 총 에너지(F)를 계산하고, 상기 센서 데이터를 수집한 시간(t) 동안 불필요하게 소비된 에너지의 비율(f)을 재생보상정리에 의해 계산하고, 상기 불필요하게 소비된 에너지의 비율(f)이 최소화되는 센서 데이터 전송주기(I)를 계산하고, 상기 계산한 센서 데이터 전송주기(I)를 센서 데이터 최적 전송주기(I\*)로 결정하는 최적 전송주기 결정부;를 포함하며,

상기 센서 데이터 최적 전송주기(I\*)는,

프로덕트 로그 함수(Product Log function)를 계산하고, 상기 계산한 프로덕트 로그 함수에 대한 결함 발생률( $\lambda$ )의 비율을 포함하도록 계산하여 구하는 것을 특징으로 하는 센서 데이터의 최적 전송주기 결정 장치.

**청구항 6**

청구항 5에 있어서,

상기 최적 전송주기 결정부는,

이산시간 마코프 체인을 사용하여, 사이클의 시작, 사이클의 종료 및 사이클 동안 발생하는 센서 결함의 각 상태 간의 전이확률행렬(P)과 상기 각 상태 간의 전이에 사용되는 에너지 소비량(E)을 계산하고, 상기 계산한 전이확률행렬(P)과 상기 각 상태 간의 전이에 사용되는 에너지 소비량(E)을 참조하여, 평균 에너지( $\Gamma$ )를 계산하는 단계;를 더 포함하며,

상기 사이클은,

상기 센서 데이터 전송주기(I)와 센서 데이터 전송완료에 필요한 시간(U)을 더한 시간 길이이며,

상기 사이클 동안 발생하는 센서 결함은,

데이터 수집 중에 발생하는 결함인 상태 1, 데이터 전송 중에서 발생하는 결함인 상태 2, 및 결함이 발생하여 복구 중에 발생하는 결함인 상태 3을 포함하는 것을 특징으로 하는 센서 데이터의 최적 전송주기 결정 장치.

**청구항 7**

청구항 5에 있어서,

상기 센서 데이터의 최적 전송주기 결정 장치는,

새로운 사이클이 시작되면 경과시간을 확인하여 상기 최적 전송주기 결정부에서 산출한 상기 센서 데이터 최적 전송주기(I\*)를 초과하는지의 여부를 판단하고, 상기 판단한 결과 상기 경과시간이 상기 센서 데이터 최적 전송주기(I\*) 이내이면, 상기 수집부를 통해 센서 데이터를 계속 수집하도록 하고, 상기 경과시간이 상기 센서 데이터 최적 전송주기(I\*)를 초과하면, 상기 수집부에서 현재까지 수집한 상기 센서 데이터를 통신부를 통해 서버 컴퓨터로 전송하도록 하고, 상기 센서 데이터의 전송이 완료되면 상기 사이클을 종료하는 전송 처리부;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 센서 데이터의 최적 전송주기 결정 장치.

**발명의 설명**

**기술 분야**

본 발명은 센서 데이터의 최적 전송주기 결정 방법 및 그 장치 및 그 장치에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 적어도 하나 이상의 센서에서 일정 기간 동안 센서 데이터를 수집(agggregation)하고, 상기 수집한 센서 데이터를 원격지의 서버 컴퓨터로 전송하는 센서 네트워크에서, 마코프 체인(markov chain)과 재생 보상 이론(renewal reward theory)을 사용하여 생성한 확률 이론 기반의 에너지 소비 모델을 통해 센서 데이터 최적 전송주기를 결정함으로써, 센서에서 사용되는 에너지 소비량을 줄여 전력효율을 향상시킬 수 있는 방법 및 그 장치에 관한 것

[0001]

이다.

**배경 기술**

- [0002] 무선 센서 네트워크(WSN, Wireless Sensor Network)는 환경 및 기후 데이터와 같은 광범위 지역의 대용량 데이터 수집 등 다양한 응용분야에 사용되고 있으며, 최근에 들어서는 사물 인터넷(Internet of Things) 환경에 적용되면서 개인 심박 측정 센서 등과 같은 웨어러블(wearable) 분야까지 확대되어 우리 생활과 더욱 밀접해지고 있다.
- [0003] 특히, 사물 인터넷 환경의 무선 센서 네트워크는 무선 센서에서 특정 데이터를 수집하여 무선 인터넷 또는 무선 전용망을 통해 서버 컴퓨터 측으로 데이터를 주기적으로 전송하도록 작동한다. 이렇게 전송된 데이터들은 서버 컴퓨터에서 축적된 후, 덤퍼닝, 빅데이터 분석 기법 등을 통하여 다양한 용도로 활용된다.
- [0004] 그러나 상기 무선 센서들은 전력자원의 한계를 가지고 있으며, 무선 통신과 같은 전력소모가 큰 작업들을 원만히 수행하기 위해서는 운영에 있어 에너지 효율적 접근방식이 필요하다.
- [0005] 이를 위해서 다양한 기법들이 제안되고 있는데, 각각의 무선 센서에서 센서 데이터를 수집하자마자 즉각적으로 무선 통신을 통해서 원격지의 서버 컴퓨터나 센서 싱크(sink)로 보내는 것은 에너지 소비 측면에서 매우 비효율적이기 때문에, 수집된 센서 데이터를 일정 기간 동안 모아서 보내는 방식(aggregation)이 일반적으로 적용되고 있다.
- [0006] 이때 상기 센서 데이터를 모아서 서버 컴퓨터나 센서 싱크로 보낼 때, 일정 기간 동안 수집된 센서 데이터를 전송하는 주기를 센서 데이터 전송주기라 하며, 전력 소비를 최소화하는 최적의 센서 데이터 전송주기를 구하는 것은 센서 기기의 효율적 운영을 위해 필수적이다.
- [0007] 왜냐하면 상기 센서 데이터 전송주기가 너무 짧으면 잦은 무선 통신으로 인해 추가적인 전력소비를 초래할 수 있고, 상기 센서 데이터 전송주기를 너무 길게 잡으면 중간에 결함(예를 들어 오작동이나 고장)이 발생하는 경우 미전송된 센서 데이터의 유실량을 더욱 크게 만들기 때문이다.
- [0008] 한편 이러한 문제를 해결하기 위해서, 지금까지 효율적인 센서 데이터 전송주기에 대한 연구들이 많이 이루어져 왔으나, 센서 데이터의 수집 기법에 대한 실험적 접근방식(empirical approach)이 주를 이루고 있을 뿐, 정량적인 성능예측(즉 전력 소비량)을 수행하지 못하고 있는 실정이다.
- [0009] 따라서 본 발명에서는 센서에서 일정 기간 동안 센서 데이터를 수집하고, 수집한 센서 데이터를 원격지의 서버 컴퓨터로 전송하는 센서 네트워크 환경에서, 에너지 효율적인 센서 데이터 최적 전송주기를 결정할 수 있도록 함으로써, 센서에서 사용되는 에너지 소비량을 줄여 전력효율을 크게 향상시킬 수 있는 방안을 제시하고자 한다.
- [0010] 특히, 본 발명은 확률과정(stochastic process) 중 하나인 마코프 체인과 재생 보상 이론을 사용하여 확률 이론 기반의 최적화된 에너지 소비 모델을 생성하고, 상기 생성한 에너지 소비 모델을 통해 센서 데이터 최적 전송주기를 결정하여 센서의 전력소비를 최소화함으로써, 추가적인 비용 없이 센서의 작동 수명을 획기적으로 늘릴 수 있는 방안을 제시하고자 한다.
- [0011] 다음으로 본 발명의 기술분야에 존재하는 선행기술에 대하여 간단하게 설명하고, 이어서 본 발명이 상기 선행기술에 비해서 차별적으로 이루고자 하는 기술적 사항에 대해서 기술하고자 한다.
- [0012] 먼저 한국공개특허 제2012-0056421호(2012.06.04.)는 무선 센서 네트워크에서의 전력 절감 방법에 관한 것으로, 서로 간에 무선 통신을 하는 허브와 태그를 포함하여 이루어지는 무선 센서 네트워크에서 태그의 전력 소모를 절감하는 방법으로서, 상기 허브는 일정 주기로 싱크 데이터를 전송하는 단계와; 상기 태그는 상기 허브로부터 싱크 데이터를 수신하여 허브와 동기화 하는 단계와; 상기 허브는 상기 태그의 전원 절감 모드인 아이들 모드를 설정하기 위한 웨이크 업 시간 정보를 포함하는 명령 데이터를 전송하는 단계와; 상기 태그는 상기 허브로부터 수신한 명령 데이터에 포함되어 있는 웨이크 업 시간 주기로 아이들 모드와 수신 대기 모드인 웨이크 업 모드를 반복함과 아울러 명령 데이터 수신에 따른 확인 응답 데이터를 상기 허브로 전송하여 링크를 완료하는 단계;를 포함하여 이루어지고, 상기 허브와 태그는 태그의 웨이크 업 모드시에 데이터를 송수신하는 것을 기술적 특징으로 한다.
- [0013] 즉 상기 선행기술은 무선 센서 네트워크에서 태그가 웨이크 업 시간 사이에 전원 절감 모드인 아이들 모드 상태에 있다가 웨이크 업 시간이 되면 수신 대기 모드 상태로 전환하여 데이터를 송수신함으로써 태그의 소모 전력

을 효과적으로 절감할 수 있는 방법에 대해 기재하고 있다.

- [0014] 또한 한국등록특허 제0683848호(2007.02.16.)는 상황정보에 근거한 무선 센서 네트워크에서의 센서 소비전력 절감방법 및 그 시스템에 관한 것으로, 적어도 하나의 센서를 포함하는 네트워크 시스템상에서, 내/외부로부터의 상황정보를 전송받는 단계, 상황정보에 대응되는 서비스를 결정하는 단계, 결정된 서비스에 따라, 센서의 동작 방식을 결정하는 단계, 및 결정된 동작 방식에 따라, 센서에 제어신호를 전송하는 단계를 포함하는 것을 기술적 특징으로 한다.
- [0015] 즉 상기 선행기술은 상황정보의 변화에 따라 적응적으로 센서의 동작 방식을 결정함으로써 센서에서의 전력소모를 절감할 수 있는 방법을 기재하고 있다.
- [0016] 이상에서 선행기술들을 검토한 결과, 상기 선행기술들은 태그가 전원 절감 모드인 아이들 모드 상태에 있다가 웨이크 업 시간이 되면 수신 대기 모드 상태로 전환하여 데이터를 송수신하는 구성, 상황정보의 변화에 따라 적응적으로 센서의 동작 방식을 결정하여 센서의 전력소모를 절감하는 구성에 대하여 기재하고 있을 뿐이다.
- [0017] 이에 반하여 본 발명은 센서에서 일정 기간 동안 센서 데이터를 수집한 후 원격지의 서버 컴퓨터로 전송하는 센서 네트워크 환경에서, 마코프 체인과 재생 보상 이론을 사용한 확률 이론 기반의 에너지 소비 모델을 생성하고, 상기 생성한 에너지 소비 모델을 통해 센서 데이터 최적 전송주기를 결정하여 센서의 전력소비를 최소화함으로써, 센서의 전력효율을 크게 향상시키고, 추가적인 비용 없이 작동 수명을 획기적으로 늘릴 수 있도록 하는 것이다. 따라서 상기 선행기술들은 본 발명의 이러한 기술적 특징을 기재하거나 시사하고 있지 않다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

- [0018] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해 창작된 것으로서, 센서에서 사용되는 에너지 소비량을 줄여 전력효율을 향상시킬 수 있는 방법 및 장치를 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0019] 또한 본 발명은 센서에서 일정 기간 동안 센서 데이터를 수집하고, 수집한 센서 데이터를 원격지의 서버 컴퓨터로 전송하는 센서 네트워크 환경에서, 에너지 효율적인 센서 데이터 최적 전송주기를 결정할 수 있는 방법 및 장치를 제공하는 것을 다른 목적으로 한다.
- [0020] 또한 본 발명은 마코프 체인을 사용하여 센서 네트워크의 시스템을 분석한 후 재생 보상 이론을 사용하여 최적화된 에너지 소비 모델을 생성하고, 상기 생성한 에너지 소비 모델을 통해 전력소비를 최소화하는 센서 데이터 최적 전송주기를 결정할 수 있는 방법 및 장치를 제공하는 것을 또 다른 목적으로 한다.
- [0021] 또한 본 발명은 확률 이론에 기반한 에너지 소비 모델을 제안함으로써, 정량적인 전력 소비량을 다양한 시스템 파라미터를 통해 예측할 수 있는 방법 및 장치를 제공하는 것을 또 다른 목적으로 한다.

**과제의 해결 수단**

- [0022] 본 발명의 일 실시예에 따른 센서 데이터의 최적 전송주기 결정 방법은, 센서 데이터를 수집한 시간(t) 동안 소비되는 총 에너지(F)를 계산하는 단계; 상기 시간(t) 동안 불필요하게 소비된 에너지의 비율(f)을 재생보상정리에 의해 계산하는 단계; 상기 불필요하게 소비된 에너지의 비율(f)이 최소화되는 센서 데이터 전송주기(I)를 계산하는 단계; 및 상기 계산한 센서 데이터 전송주기(I)를 센서 데이터 최적 전송주기(I\*)로 결정하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0023] 또한 상기 센서 데이터 전송주기(I)는, Product Log function을 계산하는 단계; 및 상기 계산한 Product Log function에 대한 결함 발생률( $\lambda$ )의 비율을 포함하도록 계산하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0024] 또한 상기 센서 데이터의 최적 전송주기 결정 방법은, 상기 불필요하게 소비된 에너지의 비율(f)이, 상기 센서 데이터 전송주기(I) 동안 소비되는 평균 에너지( $\Gamma$ )를 상기 센서 데이터 전송주기(I)로 나눈 값을 산출하고; 상기 센서 데이터 전송주기(I)를 확률변수로 한 단위 시간당 소모된 예측 에너지( $\gamma_I$ )를 산출하여; 상기 산출한 나눈 값에 상기 산출한 단위 시간당 소모된 예측 에너지( $\gamma_I$ )를 차감한 값이 되도록 하는 상기 센서 데이터 전송주기(I)를 최적해로 산출하여; 상기 산출한 최적해를 상기 센서 데이터 최적 전송주기(I\*)로 하는 것을 특징으로 한다.

- [0025] 또한 상기 센서 데이터의 최적 전송주기 결정 방법은, 사이클의 시작, 사이클의 종료 및 사이클 동안 발생하는 센서 결합의 각 상태 간의 전이확률행렬(P)과 상기 각 상태 간의 전이에 사용되는 에너지 소비량(E)을 계산하고, 상기 계산한 전이확률행렬(P)과 상기 각 상태 간의 전이에 사용되는 에너지 소비량(E)을 참조하여, 평균 에너지( $\Gamma$ )를 계산하는 단계;를 더 포함하며, 상기 사이클은, 상기 센서 데이터 전송주기(I)와 센서 데이터 전송완료에 필요한 시간(U)을 더한 시간 길이며, 상기 사이클 동안 발생하는 센서 결합은, 데이터 수집 중에 발생하는 결합인 상태 1, 데이터 전송 중에서 발생하는 결합인 상태 2, 및 결합이 발생하여 복구 중에 발생하는 결합인 상태 3을 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0026] 아울러, 본 발명의 일 실시예에 따른 센서 데이터의 최적 전송주기 결정 장치는, 센서 데이터를 수집하는 수집부; 및 상기 센서 데이터를 수집한 시간(t) 동안 소비되는 총 에너지(F)를 계산하고, 상기 시간(t) 동안 불필요하게 소비된 에너지의 비율(f)을 재생보상정리에 의해 계산하고, 상기 불필요하게 소비된 에너지의 비율(f)이 최소화되는 센서 데이터 전송주기(I)를 계산하고, 상기 계산한 센서 데이터 전송주기(I)를 센서 데이터 최적 전송주기( $I^*$ )로 결정하는 최적 전송주기 결정부;를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0027] 또한 상기 최적 전송주기 결정부는, 사이클의 시작, 사이클의 종료 및 사이클 동안 발생하는 센서 결합의 각 상태 간의 전이확률행렬(P)과 상기 각 상태 간의 전이에 사용되는 에너지 소비량(E)을 계산하고, 상기 계산한 전이확률행렬(P)과 상기 각 상태 간의 전이에 사용되는 에너지 소비량(E)을 참조하여, 평균 에너지( $\Gamma$ )를 계산하는 것을 더 포함하며, 상기 사이클은, 상기 센서 데이터 전송주기(I)와 센서 데이터 전송완료에 필요한 시간(U)을 더한 시간 길이며, 상기 사이클 동안 발생하는 센서 결합은, 데이터 수집 중에 발생하는 결합인 상태 1, 데이터 전송 중에서 발생하는 결합인 상태 2, 및 결합이 발생하여 복구 중에 발생하는 결합인 상태 3을 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0028] 또한 상기 센서 데이터의 최적 전송주기 결정 장치는, 새로운 사이클이 시작되면 경과시간을 확인하여 상기 최적 전송주기 결정부에서 산출한 센서 데이터 최적 전송주기( $I^*$ )를 초과하는지의 여부를 판단하고, 상기 경과시간이 상기 센서 데이터 최적 전송주기( $I^*$ ) 이내이면 상기 수집부를 통해 센서 데이터를 계속 수집하도록 하고, 상기 경과시간이 상기 센서 데이터 최적 전송주기( $I^*$ )를 초과하면 상기 수집부에서 현재까지 수집한 상기 센서 데이터를 통신부를 통해 서버 컴퓨터로 전송하도록 하고, 상기 센서 데이터의 전송이 완료되면 상기 사이클을 종료하는 전송 처리부;를 더 포함하는 것을 특징으로 한다.

**발명의 효과**

- [0029] 이상에서와 같이 본 발명의 센서 데이터의 최적 전송주기 결정 방법 및 그 장치에 따르면, 마코프 체인과 재생보상 이론을 사용하여 확률 이론에 기반한 최적화된 에너지 소비 모델을 생성하고, 상기 생성한 에너지 소비 모델을 통해 센서 데이터 최적 전송주기를 결정함으로써, 센서에서 사용되는 에너지 소비량을 줄여 전력효율을 크게 향상시킬 수 있는 효과가 있다.
- [0030] 또한 본 발명은 확률 이론 기반의 에너지 소비 모델을 개발함으로써, 실제 센서 네트워크 시스템의 개발과 적용에서 센서 데이터의 전송주기에 따른 전력소비의 정량적인 예측이 가능한 효과가 있다.
- [0031] 또한 본 발명은 전력소비를 최소화하는 센서 데이터 최적 전송주기를 구하는 방법을 제안함으로써, 에너지 보존성이 높게 요구되는 센서의 전력소비를 최소화시킬 수 있으므로 추가적인 비용 없이 센서의 작동 수명을 획기적으로 늘릴 수 있는 효과가 있다.
- [0032] 또한 본 발명은 실제 센서 네트워크 시스템의 개발, 적용에 정량적인 예측을 통한 가이드라인을 제공할 수 있는 효과가 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0033] 도 1은 본 발명에 적용되는 무선 센서 네트워크의 구조를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 센서 데이터 최적 전송주기 결정 장치의 구성을 상세하게 나타낸 도면이다.
- 도 3은 본 발명에 적용된 센서 데이터를 전송하는 시스템 모델에서 센서 데이터 전송주기, 센서 데이터 전송완료에 필요한 시간, 복구에 필요한 시간 등에 따른 작동 예를 나타낸 도면이다.
- 도 4는 본 발명에 적용되는 이산시간(discrete-time) 마코프 체인의 상태 전이를 설명하기 위한 도면이다.

도 5는 본 발명에 적용된 센서 데이터 최적 전송주기 결정의 동작과정을 상세하게 나타낸 순서도이다.

도 6은 본 발명에 적용된 센서 데이터 전송처리의 동작과정을 상세하게 나타낸 순서도이다.

도 7은 본 발명에 적용된 센서 데이터 전송 알고리즘과 변수의 정의를 나타낸 도면이다.

도 8은 본 발명에 적용된 결합 발생률( $\lambda$ )에 따른 센서 데이터 최적 전송주기( $I^*$ )를 나타낸 도면이다.

도 9는 본 발명에 적용된 결합 발생률( $\lambda$ )과 센서 데이터 전송주기( $I$ )에 따른 불필요하게 소비된 에너지의 비율( $f$ )의 변화를 나타낸 도면이다.

도 10은 본 발명에 적용된  $\gamma_I$ 에 대한  $\gamma_U$ 의 비율( $k$ )에 따른 센서 데이터 최적 전송주기( $I^*$ )를 나타낸 도면이다.

도 11은 본 발명에 적용된  $\gamma_I$ 에 대한  $\gamma_U$ 의 비율( $k$ )과 센서 데이터 전송주기( $I$ )에 따른 불필요하게 소비된 에너지의 비율( $f$ )의 변화를 나타낸 도면이다.

도 12는 본 발명에 적용된  $\gamma_I$ 에 대한  $\gamma_R$ 의 비율( $n$ )에 따른 센서 데이터 최적 전송주기( $I^*$ )를 나타낸 도면이다.

도 13은 본 발명에 적용된  $\gamma_I$ 에 대한  $\gamma_R$ 의 비율( $n$ )과 센서 데이터 전송주기( $I$ )에 따른 불필요하게 소비된 에너지의 비율( $f$ )의 변화를 나타낸 도면이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0034] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 센서 데이터의 최적 전송주기 결정 방법 및 그 장치에 대한 바람직한 실시 예를 상세히 설명한다. 각 도면에 제시된 동일한 참조부호는 동일한 부재를 나타낸다. 또한 본 발명의 실시 예들에 대해서 특정한 구조적 내지 기능적 설명들은 단지 본 발명에 따른 실시 예를 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로, 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 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 명세서에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는 것이 바람직하다.
- [0035] 도 1은 본 발명에 적용되는 무선 센서 네트워크의 구조를 설명하기 위한 도면이다.
- [0036] 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명에 적용되는 무선 센서 네트워크는 적어도 하나 이상의 무선 센서(100), 상기 무선 센서(100)에 구비된 센서 데이터 최적 전송주기 결정 장치(200), 서버 컴퓨터(300), 데이터베이스(400) 등을 포함하여 구성된다.
- [0037] 상기 무선 센서(100)는 환경, 기후, 생체 등과 관련된 정보를 측정하는 기기로서, 내부 배터리를 사용하여 운영되며, 네트워크를 통해 무선으로 상기 측정한 센서 데이터를 원격지의 서버 컴퓨터(300)로 전송한다.
- [0038] 이때 상기 무선 센서(100)는 상기 서버 컴퓨터(300)로 상기 센서 데이터를 일정 기간 동안 수집하여 주기적으로 전송하는 것이 바람직하다. 그 이유는 상기 센서 데이터를 수집하자마자 보내는 것은 에너지 소비 측면에서 매우 비효율적이기 때문이다. 그러므로 상기 무선 센서(100)는 수집한 센서 데이터의 전력소모를 최소화하는 최적의 센서 데이터 전송주기를 구하는 것이 필요하다.
- [0039] 이를 위해서, 본 발명에서는 상기 무선 센서(100)에 센서 데이터 최적 전송주기 결정 장치(200)를 일체형으로 구비하고 있다. 상기 센서 데이터 최적 전송주기 결정 장치(200)는 별도의 독립적인 장치로 구현되어, 상기 무선 센서(100)와 전기적으로 접속하여 사용할 수 있음을 밝혀둔다.
- [0040] 상기 센서 데이터 최적 전송주기 결정 장치(200)는 상기 무선 센서(100)에서 측정한 센서 데이터를 일정 기간 동안 수집한 후(①), 전력 소비를 최소화하는 센서 데이터 최적 전송주기를 결정하고(②), 상기 결정한 센서 데이터 최적 전송주기에 따라 상기 수집한 센서 데이터를 상기 서버 컴퓨터(300)로 전송한다(③).
- [0041] 특히, 상기 센서 데이터 최적 전송주기 결정 장치(200)는 마코프 체인(markov chain)과 재생 보상 이론(renewal



reward theory)을 사용하여 확률 이론에 기반한 최적화된 에너지 소비 모델을 생성하고, 상기 생성한 에너지 소비 모델을 토대로 센서 데이터 최적 전송주기를 결정한다.

- [0042] 이때 상기 마코프 체인은 마코프 성질을 갖는 이산 확률 과정(discrete-time stochastic process)을 의미하며, 상기 마코프 성질은  $n+1$ 회의 상태는 오직  $n$ 회에서의 상태, 혹은 그 이전 일정 기간의 상태에만 영향을 받는 것을 의미한다.
- [0043] 또한 상기 재생 보상 이론은 임의의 유지시간동안 복합 포아송 과정(compound Poisson process)을 일반화하는 확률 이론의 한 부분이며, 상기 복합 포아송 과정은 주어진 구간에서 발생한 어떤 사건의 발생횟수가 포아송 분포를 따르며 겹치지 않는 구간에서 그 사건의 발생횟수가 독립일 때의 확률과정이다.
- [0044] 즉 상기 센서 데이터 최적 전송주기 결정 장치(200)는 이산시간 마코프 체인을 사용하여, 사이클의 시작, 사이클의 종료 및 임의의 사이클 동안 발생하는 센서 결함의 각 상태 간의 전이확률행렬과 상기 각 상태 간의 전이에 사용되는 에너지 소비량을 계산한 다음, 상기 계산한 상기 전이확률행렬과 상기 각 상태의 전이에 사용되는 에너지 소비량을 참조하여, 사이클의 시작에서 종료까지 소비되는 평균 에너지를 계산하는 무선 센서 네트워크의 시스템 분석을 처리한다.
- [0045] 상기 사이클은 상기 센서 데이터 전송주기와 센서 데이터 전송완료에 필요한 시간을 더한 시간 길이이며, 상기 사이클 동안 발생하는 센서 결함은 데이터 수집 중에 발생하는 결함(도 4의 상태 1), 데이터 전송 중에 발생하는 결함(도 4의 상태 2), 및 결함이 발생하여 복구 중에 발생하는 결함(도 4의 상태 3)을 포함한다.
- [0046] 또한 상기 센서 데이터 최적 전송주기 결정 장치(200)는 재생 보상 정리에 의해, 상기 계산한 사이클의 시작에서 종료까지 소비되는 평균 에너지에서 불필요하게 소비된 에너지의 비율을 계산하고, 상기 계산한 불필요하게 소비된 에너지의 비율로부터 센서 데이터 최적 전송주기를 결정하기 위한 최적화 모형을 산출한다.
- [0047] 이때 상기 무선 센서 네트워크의 시스템 분석과 센서 데이터 최적 전송주기를 결정하기 위한 최적화 모형 산출 과정은 도 3 및 도 4에서 보다 상세하게 설명하기로 한다.
- [0048] 이처럼, 상기 센서 데이터 최적 전송주기 결정 장치(200)는 상기 결정한 센서 데이터 최적 전송주기를 토대로 주기적으로 수집한 상기 센서 데이터를 상기 서버 컴퓨터(300)로 전송함으로써, 상기 센서 데이터의 전송시 사용되는 에너지 소비량을 크게 줄일 수 있으며, 센서 데이터의 전송주기에 따른 전력소비의 정량적인 예측이 가능해진다.
- [0049] 상기 서버 컴퓨터(300)는 네트워크를 통해 각각의 무선 센서(100)로부터 각종 센서 데이터를 전송받아 분석을 수행하고(④), 상기 분석한 결과를 상기 데이터베이스(400)에 저장한다. 즉 상기 서버 컴퓨터(300)는 상기 무선 센서(100)로부터 상기 센서 데이터를 상기 데이터베이스(400)에 축적하여 저장하고, 상기 센서 데이터를 덤핑, 빅데이터 분석 기법 등을 사용하여 분석하는 것이다.
- [0050] 또한 상기 서버 컴퓨터(300)는 상기 무선 센서(100)의 동작을 원격에서 제어 및 관리할 수 있다.
- [0051] 상기 데이터베이스(400)는 각 무선 센서(100)로부터 제공받은 센서 데이터를 저장하여 관리하며, 상기 서버 컴퓨터(300)에서 상기 센서 데이터를 사용하여 분석한 결과정보를 저장하여 관리한다(⑤).
- [0052] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 센서 데이터 최적 전송주기 결정 장치의 구성을 상세하게 나타낸 도면이다.
- [0053] 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명의 센서 데이터 최적 전송주기 결정 장치(200)는 전원부(210), 수집부(220), 최적 전송주기 결정부(230), 전송 처리부(240), 통신부(250), 저장부(260) 등을 포함하여 구성된다.
- [0054] 또한 상기 센서 데이터 최적 전송주기 결정 장치(200)는 도면에 도시하지는 않았지만, 각종 기능에 대한 데이터 입력을 위한 입력부, 동작상태를 표시하기 위한 표시부, 각종 동작프로그램의 업데이트를 관리하는 업데이트 관리부 등을 추가로 포함할 수 있다.
- [0055] 상기 전원부(210)는 내장 배터리를 사용하며, 각 구성 부분에 동작전원을 공급한다.
- [0056] 상기 수집부(220)는 상기 무선 센서(100)에서 측정된 센서 데이터를 수집하여 저장한다.
- [0057] 즉 상기 수집부(220)는 상기 무선 센서(100)에서 측정된 센서 데이터를 지속적으로 수집하고, 상기 최적 전송주기 결정부(230)에서 결정한 센서 데이터 최적 전송주기가 되면 상기 전송 처리부(240)의 제어를 토대로 지금까지 수집한 센서 데이터를 상기 통신부(250)를 통해 상기 서버 컴퓨터(300)로 전송하도록 한다.

- [0058] 상기 최적 전송주기 결정부(230)는 상태 분석부(231)와 최적해 산출부(232)로 구성된다.
- [0059] 상기 상태 분석부(231)는 도 4에서 설명되는 이산시간 마코프 체인을 사용하여, 사이클의 시작, 종료 및 사이클 동안 발생하는 센서 결합의 각 상태 간의 전이확률행렬과 상기 각 상태 간의 전이에 사용되는 에너지 소비량을 계산한다.
- [0060] 또한 상기 상태 분석부(231)는 상기 계산한 상기 전이확률행렬과 상기 각 상태 간의 전이에 사용되는 에너지 소비량을 참조하여, 상기 사이클의 시작에서 사이클의 종료까지 소비되는 평균 에너지를 계산한다.
- [0061] 상기 최적해 산출부(232)는 상기 센서 데이터를 수집한 시간 동안 소비되는 총 에너지를 계산하고, 상기 시간 동안 불필요하게 소비된 에너지의 비율을 재생 보상 정리에 의해 계산하고, 상기 불필요하게 소비된 에너지의 비율이 최소화되는 센서 데이터 전송주기를 계산하고, 상기 계산한 센서 데이터 전송주기를 센서 데이터 최적 전송주기로 결정하며, 상기 결정한 센서 데이터 최적 전송주기의 최적해를 상기 전송 처리부(240)로 출력한다.
- [0062] 이때 상기 최적해 산출부(232)는 센서 데이터 최적 전송주기를 구할 때, Product Log function(또는 Lambert W function)을 계산하고, 상기 계산한 Product Log function에 대한 결합 발생률( $\lambda$ )의 비율을 포함하도록 계산한다(수학식 22 참조).
- [0063] 또한 상기 최적해 산출부(232)는 상기 불필요하게 소비된 에너지의 비율이, 상기 센서 데이터 전송주기 동안 소비되는 평균 에너지를 상기 센서 데이터 전송주기로 나눈 값을 산출하고, 상기 센서 데이터 전송주기를 확률변수로 한 단위 시간당 소모된 예측 에너지를 산출하여, 상기 산출한 나눈 값에 상기 산출한 단위 시간당 소모된 예측 에너지를 차감한 값이 되도록 하는 상기 센서 데이터 전송주기를 최적해로 산출함으로써, 상기 산출한 최적해를 상기 센서 데이터 최적 전송주기로 한다(수학식 21 참조).
- [0064] 상기 전송 처리부(240)는 새로운 사이클이 시작되면 경과시간을 확인하여 상기 최적해 산출부(232)에서 산출한 센서 데이터 최적 전송주기를 초과하는지의 여부를 판단한다.
- [0065] 또한 상기 전송 처리부(240)는 판단결과 상기 경과시간이 상기 최적해 산출부(232)에서 산출한 센서 데이터 최적 전송주기 이내이면, 상기 수집부(220)를 통해 상기 무선 센서(100)에서 측정하는 센서 데이터를 계속 수집하도록 제어한다.
- [0066] 또한 상기 전송 처리부(240)는 판단결과 상기 경과시간이 상기 최적해 산출부(232)에서 산출한 센서 데이터 최적 전송주기를 초과하면, 상기 수집부(220)에서 현재까지 수집한 상기 센서 데이터를 상기 통신부(250)를 통해 상기 서버 컴퓨터(300)로 전송하도록 제어하며, 상기 센서 데이터의 전송이 완료되면 현재의 사이클을 종료하고 새로운 사이클을 시작한다.
- [0067] 상기 통신부(250)는 상기 전송 처리부(240)의 제어를 토대로 상기 수집부(220)에서 일정 기간 동안 수집한 상기 센서 데이터를 네트워크를 통해 상기 서버 컴퓨터(300)로 전송하고, 전송결과를 상기 전송 처리부(240)로 출력한다. 이에 따라 상기 전송 처리부(240)에서 상기 전송결과를 토대로 새로운 사이클을 시작할 수 있도록 한다.
- [0068] 또한 상기 통신부(250)는 상기 서버 컴퓨터(300)로부터 상기 무선 센서(100)의 구동을 제어하는 제어명령, 상기 센서 데이터 최적 전송주기 결정 장치(200)에서 사용되는 각종 동작 프로그램이나 업데이트 정보 등을 전송받아 상기 전송 처리부(240)로 출력한다.
- [0069] 상기 저장부(260)는 상기 센서 데이터 최적 전송주기 결정 장치(200)에서 사용되는 각종 동작 프로그램 및 업데이트 정보를 저장하고 있으며, 상기 수집부(220)를 통해 수집되는 센서 데이터를 일시 저장하는 기능을 수행한다.
- [0070] 도 3은 본 발명에 적용된 센서 데이터를 전송하는 시스템 모델에서 센서 데이터 전송주기, 센서 데이터 전송완료에 필요한 시간, 복구에 필요한 시간 등에 따른 작동 예를 나타낸 도면이다.
- [0071] 도 3에 도시된 바와 같이, 상기 센서 데이터 최적 전송주기 결정 장치(200)는 상기 무선 센서(100)에서 측정된 센서 데이터를 지속적으로 수집하며, 상기 수집한 데이터를 주기적으로 상기 서버 컴퓨터(300)로 전송하는데, 이때 센서 데이터 전송주기를 I라 하며, 센서 데이터 전송완료에 필요한 시간을 U라 한다.
- [0072] 또한 상기 센서 데이터 최적 전송주기 결정 장치(200)는 상기 무선 센서(100)의 결합을 즉시 복구가 가능한 일시적 결합(transient fault)으로 가정하고, 결합이 발생하였을 때 재부팅(reboot) 또는 수리(repair)가 이루어지며, 이때 복구에 필요한 시간을 R이라 한다. 여기서 상기 무선 센서(100)에 결합이 발생되면 상기 센서 데이

터 최적 전송주기 결정 장치(200)에서 지금까지 수집된 센서 데이터는 유실된다.

[0073] 또한 X는 결함이 발생된 것을 나타내고, 0는 상기 센서 데이터의 전송이 성공적으로 완료된 시점을 나타내며, 바 표시는 결함 발생으로 인해 해당 작업이 완료되지 않았음을 나타낸다.

[0074] 본 발명에 적용되는 작동 예는 다음의 4가지 경우가 있다.

[0075] 도 3의 (a)는 센서 데이터 전송주기 I와 센서 데이터 전송완료에 필요한 시간 U 동안 어떠한 결함도 발생하지 않은 상태를 나타낸다.

[0076] 또한 도 3의 (b)는 상기 센서 데이터의 전송이 성공적으로 종료된 후, 새로운 임의의 사이클을 시작하여 상기 센서 데이터를 수집하는 도중에 결함이 발생된 상태를 나타낸다.

[0077] 또한 도 3의 (c)는 상기 센서 데이터의 전송주기 I 동안에는 결함이 발생하지 않았다가 상기 센서 데이터 전송 중에 결함이 발생된 상태를 나타낸다.

[0078] 또한 도 3의 (d)는 결함 발생으로 인해 복구되는 동안에 또 다시 결함이 발생된 상태를 나타낸다.

[0079] 이처럼, 본 발명은 상기 도 3에 나타낸 시스템 모델의 작동 예를 참조하여 상기 센서 데이터의 성공적인 전송완료 시점 간의 전력소모를 최소로 만드는 센서 데이터 전송주기의 길이(즉 센서 데이터 최적 전송주기)를 결정하기 위한 것으로서, 상기 무선 센서(100)의 작동과 전력 소비에 대한 수리적 모형(mathematical model) 구축과, 이를 통한 센서 데이터 최적 전송주기를 구하는 과정을 도 4를 참조하여 설명하면 다음과 같다. 여기서, 상기 센서 데이터 전송주기의 길이와 전력 소비 사이에는 상충관계(trade-off)가 존재하는데, 본 발명에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 확률과정(stochastic process) 중 하나인 마코프 체인(Markov chain)을 사용하여 시스템을 전반적으로 분석한 후, 재생 보상 이론(renewal reward theory)을 사용하여 최적화 모형을 만들고 수치 해를 구한다.

[0080] 상기 센서 데이터의 데이터 전송완료시점들은 재생과정을 이루고, 상기 무선 센서(100)에서 발생하는 결함은 파라미터  $\lambda$ 의 포아송 과정(Poisson process)을 따른다고 가정하였으므로, n번째 결함발생시점  $X_n$ 들로 이루어진 확률과정  $\{X_n, n=0,1,2,\dots\}$ 은 이산시간 마코프 체인(DTMC, discrete-time Markov chain)으로 모델링이 가능하다.

[0081] 도 4는 본 발명에 적용되는 이산시간(discrete-time) 마코프 체인의 상태 전이를 설명하기 위한 도면으로서, S와 T는 임의의 사이클의 시작(start)과 종료(termination)를 각각 나타낸다. 상기 사이클은 상기 센서 데이터 전송주기와 센서 데이터 전송완료에 필요한 시간을 더한 시간 길이이다.

[0082] 또한 F는 임의의 한 사이클 동안 발생한 결함(failure)으로서, 다음의 3가지 상태로 구분된다.

[0083] 상태 1은 결함이 센서 데이터 수집(aggregation) 중에 발생한 것을 나타내며, 상태 2는 센서 데이터 전송(즉 서버 컴퓨터(300)로의 업로드) 중에 발생한 결함을 나타내며, 상태 3은 결함이 발생하여 복구(reboot 또는 repair)하는 중에 다시 결함이 발생한 것을 나타낸다.

[0084] 직전 상태가 i라는 가정 하에 다음 상태가 j일 조건부 확률을  $P_{i,j}(i, j \in \{S, T, 1, 2, 3\})$ 라고 정의할 때, 조건부 확률들로 이루어진 전이확률행렬(transition probability matrix) P는 다음과 같다.

[0085] [수학식 1]

$$P = \begin{pmatrix} 0 & p_{S1} & p_{S2} & 0 & p_{ST} \\ 0 & p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{1T} \\ 0 & p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{2T} \\ 0 & p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{3T} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

[0086] 여기서,  $p_{S1} = 1 - e^{-\lambda I}$ ,  $p_{S2} = e^{-\lambda I} - e^{-\lambda(I+U)}$ ,  $p_{ST} = e^{-\lambda(I+U)}$ ,  $p_{i1} = e^{-\lambda R} - e^{-\lambda(R+I)}$ ,  $p_{i2} = e^{-\lambda(R+I)} - e^{-\lambda(R+I+U)}$ ,  $p_{i3} = 1 - e^{-\lambda R}$ ,  $p_{iT} = e^{-\lambda(R+I+U)}$ ,  $\{i=1,2,3\}$ 이다.

[0088] 상기 수학식 1의 각 원소(entry)에 해당하는 확률들은 다음과 같이 구할 수 있다,

[0089] 상태 S에서 상태 1로의 전이확률  $P_{S1}$ 은 상기 도 3의 (b)에 해당하는 경우로서, 센서 데이터 전송이 성공적으로 끝난 후 임의의 사이클을 시작하여 센서 데이터 수집 중에 결함이 발생할 확률을 의미한다. 이는 결함 발생률  $\lambda$ 의 지수분포(exponential distribution)를 따르는 확률변수  $X$ 가 센서 데이터 전송주기  $I$ 보다 작을 확률과 같으며, 다음의 수학적 식 2와 같다.

[0090] [수학적 식 2]

[0091] 
$$p_{S1} = \Pr(X \leq I) = \int_0^I \lambda e^{-\lambda x} dx = 1 - e^{-\lambda I}$$

[0092] 상태 S에서 상태 2로의 전이확률  $P_{S2}$ 는 도 3의 (c)에 해당하는 경우로서, 결함이 센서 데이터 전송주기  $I$  동안에는 발생하지 않았다가 데이터 전송 중에 발생할 확률이며, 다음의 수학적 식 3과 같다.

[0093] [수학적 식 3]

[0094] 
$$p_{S2} = \Pr(X \leq I + U) - \Pr(X \leq I) = e^{-\lambda I} - e^{-\lambda(I+U)}$$

[0095] 상태 S에서 상태 T로의 전이확률  $P_{ST}$ 는 도 3의 (a)에 해당하는 경우로서, 센서 데이터 전송주기  $I$ 와 센서 데이터 전송완료에 필요한 시간  $U$  동안 어떠한 결함도 발생하지 않을 확률이며, 다음의 수학적 식 4와 같다.

[0096] [수학적 식 4]

[0097] 
$$p_{ST} = \Pr(X \geq I + U) = e^{-\lambda(I+U)}$$

[0098] 상태 I( $i=1,2,3$ )에서 상태 1로의 전이확률  $P_{i1}$ 은 이미 결함이 발생하여 기존의 센서 데이터들이 손실되고, 복구 후에 센서 데이터 전송주기  $I$ 가 진행되는 동안 결함이 발생할 확률이며, 다음의 수학적 식 5와 같다.

[0099] [수학적 식 5]

[0100] 
$$p_{i1} = \Pr(X \leq R + I) - \Pr(X \leq R) = e^{-\lambda R} - e^{-\lambda(R+I)}$$

[0101] 상태 I( $i=1,2,3$ )에서 상태 2로의 전이확률  $P_{i2}$ 는 결함 발생으로 복구된 후에 센서 데이터 전송주기  $I$  동안에는 결함이 발생하지 않았으나 센서 데이터 전송( $U$ ) 중에 결함이 발생할 확률이며, 다음의 수학적 식 6과 같다.

[0102] [수학적 식 6]

[0103] 
$$p_{i2} = \Pr(X \leq R + I + U) - \Pr(X \leq R + I) = e^{-\lambda(R+I)} - e^{-\lambda(R+I+U)}$$

[0104] 상태 I( $i=1,2,3$ )에서 상태 3으로의 전이확률  $P_{i3}$ 은 결함 발생으로 복구되는 동안에 또 다시 결함이 발생할 확률로서 도 3의 (d)에 해당하며, 다음의 수학적 식 7과 같다.

[0105] [수학적 식 7]

[0106] 
$$p_{i3} = \Pr(X \leq R) = 1 - e^{-\lambda R}$$

[0107] 마지막으로, 상태 I( $i=1,2,3$ )에서 상태 T로의 전이확률  $P_{iT}$ 는 결함이 발생하여 복구된 후 센서 데이터 전송주기 ( $I$ ), 데이터 전송( $U$ )이 연달아 진행되는 동안 결함이 발생하지 않을 확률로서, 다음의 수학적 식 8과 같다.

[0108] [수학적 식 8]

[0109] 
$$p_{iT} = \Pr(X \geq R + I + U) = e^{-\lambda(R+I+U)}$$

[0110] 상기 이산시간 마코프 체인의 전이확률행렬에서 행의 총합은 1이며, 앞에서 유도한 확률들은 이 조건을 만족함을 확인할 수 있다.

[0111] 한편, 본 발명의 주요 특징은 전력소비를 최소화하는 데이터 전송주기를 구하는 것이므로 마코프 체인의 상태 전이확률뿐만 아니라 각각의 전이에 소비되는 에너지의 양들을 따로 계산해야 한다.

[0112] 마코프 체인이 상태 i에서 상태 j로 전이할 때 소비되는 조건부 에너지의 기댓값(expectation)을  $E_{ij}$ 라고 정의하자. 상기 무선 센서(100)가 L을 확률변수로 한 단위 시간당 소모된 예측 에너지를  $\gamma_L$ 이라고 하면  $E_{ij}$ 는 다음과 같이 유도할 수 있다. 상태 S에서 상태 1로의 전이에 사용되는 에너지 소비량은 다음의 수학적 식 9와 같다.

[0113] [수학적 식 9]

$$E_{S1} = \gamma_I \int_0^I \left( x \cdot \frac{\lambda e^{-\lambda x}}{p_{S1}} \right) dx = \gamma_I \left( \frac{1}{\lambda} - \frac{I e^{-\lambda I}}{1 - e^{-\lambda I}} \right)$$

[0115] 수학적 식 9에서 적분값은 임의의 사이클이 시작된 후 결함이 발생할 때까지의 시간이 I보다 작은 경우의 조건부 평균을 의미한다. 상태 S에서 상태 2로의 전이에 사용되는 에너지 소비량은 다음의 수학적 식 10과 같다.

[0116] [수학적 식 10]

$$E_{S2} = \int_I^{I+U} \left( (\gamma_I I + \gamma_U (x - I)) \cdot \frac{\lambda e^{-\lambda x}}{p_{S2}} \right) dx = \gamma_I I + \gamma_U \left( \frac{1}{\lambda} - \frac{U e^{-\lambda U}}{1 - e^{-\lambda U}} \right)$$

[0118] 상태 S에서 상태 T로의 전이에 사용되는 에너지 소비량은 수학적 식 11과 같이 간단히 구할 수 있다. 도 3의 (a)를 살펴보면 이는 자명하다.

[0119] [수학적 식 11]

$$E_{ST} = \gamma_I I + \gamma_U U$$

[0121] 같은 논리로 상태 I(i=1,2,3)에서 상태 T로의 전이에 사용되는 각각의 에너지 소비량을 구하면 다음의 수학적 식 12와 같다.

[0122] [수학적 식 12]

$$E_{iT} = \gamma_R R + \gamma_I I + \gamma_U U$$

[0124] 같은 논리로 상태 I(i=1,2,3)에서 상태 1,2,3으로의 전이에 사용되는 각각의 에너지 소비량을 구하면 다음의 수학적 식 13 내지 수학적 식 15와 같다.

[0125] [수학적 식 13]

$$E_{i1} = \int_R^{R+I} \left( (\gamma_R R + \gamma_U (x - R)) \cdot \frac{\lambda e^{-\lambda x}}{p_{i1}} \right) dx = \gamma_R R + \gamma_I \left( \frac{1}{\lambda} - \frac{I e^{-\lambda I}}{1 - e^{-\lambda I}} \right)$$

[0127] [수학적 식 14]

$$E_{i2} = \int_{R+I}^{R+I+U} \left( (\gamma_R R + \gamma_I I + \gamma_U (x - R - I)) \cdot \frac{\lambda e^{-\lambda x}}{p_{i2}} \right) dx = \gamma_R R + \gamma_I I + \gamma_U \left( \frac{1}{\lambda} - \frac{U e^{-\lambda U}}{1 - e^{-\lambda U}} \right)$$

[0129] [수학적 식 15]

$$E_{i3} = \int_0^R \left( \gamma_R x \cdot \frac{\lambda e^{-\lambda x}}{p_{i3}} \right) dx = \gamma_R \left( \frac{1}{\lambda} - \frac{R e^{-\lambda R}}{1 - e^{-\lambda R}} \right)$$

[0131] 이제  $\Gamma_{iT}$ 를 상태 i에서 상태 T에 흡수될 때까지 평균 에너지 소비량이라 정의하면, 임의의 사이클 동안에 소비되는 평균 에너지는 상태 S에서 시작하여 흡수상태 T에 들어가기까지 소비되는 평균에너지  $\Gamma_{ST}$ 로 다음의 수학적 식 16과 같이 표현이 가능하다.

[0132] [수학적 식 16]

$$\Gamma_{ST} = p_{ST} \cdot E_{ST} + p_{S1} (E_{S1} + \Gamma_{1T}) + p_{S2} (E_{S2} + \Gamma_{2T})$$

[0134] 수학적 식 16은 총합평균(total expectation)의 개념을 사용한 것으로서 재귀적으로 구할 수 있는데, 이와 같은 논리로  $\Gamma_{1T}$ ,  $\Gamma_{2T}$ ,  $\Gamma_{3T}$ 를 구하여 정리하면 각각 다음의 수학적 식 17 내지 19와 같다. 수학적 식 16에는  $\Gamma_{3T}$ 가 없지만

$\Gamma_{1T}$ 와  $\Gamma_{2T}$ 를 완벽하게 구하기 위해서는 수학적 19가 반드시 필요하다.

[0135] [수학적 17]

$$\Gamma_{1T} = \frac{p_{1T}E_{1T} + p_{11}E_{11} + p_{12}E_{12} + p_{13}E_{13} + p_{12}\Gamma_{2T} + p_{13}\Gamma_{3T}}{1 - p_{11}}$$

[0137] [수학적 18]

$$\Gamma_{2T} = \frac{p_{2T}E_{2T} + p_{21}E_{21} + p_{22}E_{22} + p_{23}E_{23} + p_{21}\Gamma_{1T} + p_{23}\Gamma_{3T}}{1 - p_{22}}$$

[0139] [수학적 19]

$$\Gamma_{3T} = \frac{p_{3T}E_{3T} + p_{31}E_{31} + p_{32}E_{32} + p_{33}E_{33} + p_{31}\Gamma_{1T} + p_{32}\Gamma_{2T}}{1 - p_{33}}$$

[0141] 이제 상기 수학적 2 내지 수학적 15의 결과들과 상기 수학적 17 내지 수학적 19를 바탕으로 하여 최종적으로 수학적 16을 정리하면 다음의 수학적 20과 같다.

[0142] [수학적 20]

$$\Gamma_{ST} = \frac{1}{\lambda} \left[ (\gamma_R - \gamma_U) + e^{\lambda U}(\gamma_U - \gamma_I) - e^{\lambda R}\gamma_R + e^{\lambda I} \{ e^{\lambda U}(\gamma_I - \gamma_R + e^{\lambda R}\gamma_R) \} \right]$$

[0144] 이상에서와 같이, 센서의 작동과 전력 소비에 대한 확률 이론 기반의 에너지 소비 모델의 전반적인 분석은 상기 센서 데이터 최적 전송주기 결정 장치(200)의 상태 분석부(231)에서 수행된다.

[0145] 한편, 상기 설명에서는 여러 가지 확률 값들과 전이에 필요한 에너지 소비량들로부터 한 사이클 동안 에너지 소비량의 평균값( $\Gamma_{ST}$ )을 유도하였다. 그러나  $\Gamma_{ST}$ 에는 데이터 전송에 필요한 전력뿐만 아니라 불필요한 전력소모까지 모두 포함된다. 그러므로 본 발명에서는 상기 센서 데이터 최적 전송주기 결정 장치(200)의 최적해 산출부(232)를 통해 상기 센서 데이터의 전송을 성공적으로 마칠 때까지 불필요한 전력소모를 최소화하는데 초점을 두고 이를 달성할 수 있는 센서 데이터 최적 전송주기  $I^*$ 를 결정하여야 한다. 즉 확률 이론 기반의 에너지 소비 모델을 통해 센서 데이터 최적 전송주기  $I^*$ 를 결정하여야 한다.

[0146] 실제로 데이터를 수집한  $(0, t)$ 의 시간 동안 소비되는 총 에너지를  $F(t)$ 라고 하면, 그동안 불필요하게 소비된 에너지의 비율  $f$ 는 재생 보상 정리(renewal reward theorem)에 의해 다음의 수학적 21과 같이 표현 가능하다.

[0147] [수학적 21]

$$f = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{F(t) - \gamma_I t}{t} = \frac{\Gamma_{ST} - \gamma_I I}{I} = \frac{\Gamma_{ST}}{I} - \gamma_I$$

[0149] 수학적 20의 결과를 적용하면, 수학적 21은  $R, I, \gamma_R, \gamma_I, \gamma_U$ 를 변수로 갖는 함수가 된다. 결국 본 발명에서 다루는 최적화 문제는  $\partial f / \partial I = 0$ 인  $I$ 를 구하는 문제로 귀착된다. 그러나 수학적 20으로 미루어 짐작할 수 있듯이 자연상수  $e$ 의 지수 자리에 변수  $I$ 가 위치하고 있어 본 발명에서는 계산 소프트웨어를 이용하여 이 문제의 해를 구하였다. 계산결과를 보다 간단히 보이기 위해서,  $\gamma_U = k\gamma_I, \gamma_R = n\gamma_I, (k, n \geq 1)$ 로 가정하여 센서 데이터 최적 전송주기  $I^*$ 를 구하고 정리하면 다음의 수학적 22와 같다.

[0150] [수학적 22]

$$I^* = \frac{1}{\lambda} [1 + W(x)]$$

[0152] 여기서,  $x = e^{-1 - \lambda U} \left( \frac{(k-1)(e^{\lambda U} - 1)}{1 + n(e^{\lambda R} - 1)} - 1 \right)$  이고,  $W(x)$ 는 Product Log function(또는 Lambert W function)이

다

- [0153] 이와 같이 구성된 본 발명에 따른 무선 센서 네트워크에서의 센서 데이터 최적 전송주기 결정 방법의 일 실시예를 도 5 내지 도 7을 참조하여 상세하게 설명하면 다음과 같다. 이때 본 발명의 방법에 따른 각 단계는 사용 환경이나 당업자에 의해 순서가 변경될 수 있다.
- [0154] 도 5는 본 발명에 적용된 센서 데이터 최적 전송주기 결정의 동작과정을 상세하게 나타낸 순서도이다.
- [0155] 도 5에 도시된 바와 같이, 상기 센서 데이터 최적 전송주기 결정 장치(200)는 이산시간 마코프 체인을 사용하여 사이클의 시작(S), 사이클의 종료(T) 및 임의의 사이클 동안 발생하는 센서 결함(F)의 각 상태 간의 전이확률행렬(P)을 계산한다.
- [0156] 또한 상기 센서 데이터 최적 전송주기 결정 장치(200)는 상기 각 상태 간의 전이에 사용되는 에너지 소비량(E)을 계산한다.
- [0157] 이후 상기 센서 데이터 최적 전송주기 결정 장치(200)는 상기 전이확률행렬(P)과 상기 각 상태의 전이에 사용되는 에너지 소비량(E)을 참조하여, 평균 에너지( $\Gamma_{ST}$ )를 계산하여 센서 네트워크의 시스템을 분석한다.
- [0158] 이처럼 센서 네트워크의 시스템을 분석한 이후, 상기 센서 데이터 최적 전송주기 결정 장치(200)는 센서 데이터를 수집한 시간(t) 동안 소비되는 총 에너지(F)를 계산한다(S110).
- [0159] 상기 S110 단계를 통해 총 에너지(F)를 계산한 이후, 상기 센서 데이터 최적 전송주기 결정 장치(200)는 상기 시간(t) 동안 불필요하게 소비된 에너지의 비율(f)을 재생보상정리에 의해 계산한다(S120).
- [0160] 또한 상기 센서 데이터 최적 전송주기 결정 장치(200)는 상기 불필요하게 소비된 에너지의 비율(f)이 최소화되는 센서 데이터 전송주기(I)를 계산하고(S130), 상기 계산한 센서 데이터 전송주기(I)를 센서 데이터 최적 전송주기( $I^*$ )로 결정한다(S140).
- [0161] 도 6은 본 발명에 적용된 센서 데이터 전송처리의 동작과정을 상세하게 나타낸 순서도이다.
- [0162] 도 6에 도시된 바와 같이, 상기 도 5를 통해 센서 데이터 최적 전송주기( $I^*$ )의 최적해가 산출된 이후, 상기 센서 데이터 최적 전송주기 결정 장치(200)는 상기 무선 센서(100)에서 측정된 상기 센서 데이터의 상기 서버 컴퓨터(300)로의 전송이 완료되어 새로운 사이클이 시작되면(S210), 경과시간을 확인하고(S220), 상기 경과시간이 상기 도 5에서 산출한 센서 데이터 최적 전송주기( $I^*$ )를 초과하는지를 판단한다(S230).
- [0163] 상기 S230 단계의 판단결과 상기 경과시간이 상기 산출한 센서 데이터 최적 전송주기( $I^*$ ) 이내이면, 상기 센서 데이터 최적 전송주기 결정 장치(200)는 상기 무선 센서(100)에서 측정하는 센서 데이터를 지속적으로 수집하여 저장하고(S240), 상기 S220 단계 이후를 반복하여 수행한다.
- [0164] 그러나 상기 S230 단계의 판단결과 상기 결정한 센서 데이터 최적 전송주기( $I^*$ )를 초과하면, 상기 센서 데이터 최적 전송주기 결정 장치(200)는 현재까지 수집된 상기 센서 데이터를 상기 서버 컴퓨터(300)로 전송하고(S250), 상기 센서 데이터의 전송이 완료되면 현재의 사이클을 종료한다(S260).
- [0165] 도 7은 본 발명에 적용된 센서 데이터 전송 알고리즘과 변수의 정의를 나타낸 도면이다.
- [0166] 도 7의 (a)는 본 발명에 적용되는 센서 데이터 전송 알고리즘이며, 도 7의 (b)는 상기 센서 데이터 전송 알고리즘에서 사용되는 주요 변수들에 대한 설명을 나타낸 표이다.
- [0167] 즉  $\lambda$ 는 결함 발생률이고, U는 센서 데이터 전송완료에 필요한 시간이고, R은 복구에 필요한 시간이고,  $\gamma_U$ 는 L을 확률변수로 한 단위 시간당 소모된 예측 에너지이고, k는  $\gamma_U / \gamma_I$ 이며, n은  $\gamma_R / \gamma_I$ 이다.
- [0168] 다음에는, 본 발명에 적용된 에너지 소모를 최소화하기 위해 결정된 센서 데이터 최적 전송주기를 활용한 시뮬레이션에 의한 성능평가에 대하여 도 8 내지 도 13을 참조하여 상세하게 설명한다.
- [0169] 즉 다양한 파라미터들로 이루어진 환경 하에서 최적의 센서 데이터 전송주기는 어떠한 경향을 보이는지 살펴보기 위한 것이다. 실측 데이터를 기반으로 하기 위하여 상용 무선 통신 모듈과 모바일 DRAM의 전력 값을 파라미터로 활용하여  $\gamma_I$ 는 0.02와트(watt),  $\gamma_U$ 는 0.4와트(watt)로 설정하였다.

- [0170] 도 8은 본 발명에 적용된 결합 발생률( $\lambda$ )에 따른 센서 데이터 최적 전송주기( $I^*$ )를 나타낸 도면이며, 도 9는 본 발명에 적용된 결합 발생률( $\lambda$ )과 센서 데이터 전송주기( $I$ )에 따른 불필요하게 소비된 에너지의 비율( $f$ )의 변화를 나타낸 도면이다.
- [0171] 도 9는 결합 발생률  $\lambda$ 와 센서 데이터 전송주기  $I$ 에 따른 불필요하게 소비된 에너지의 비율  $f$ 의 변화를 나타낸다(수학식 21 참조). 또한 도 8에서는 도 9와 동일한 환경 하에서 수학식 22를 사용하여 구한 센서 데이터 최적 전송주기  $I^*$ 를 결합 발생률  $\lambda$ 에 따라 정리한 테이블이다. 도 9를 보면 도 8에 제시된 센서 데이터 최적 전송주기( $I^*$ ) 값에서 불필요하게 소비된 에너지의 비율  $f$ 가 최소가 되는 것을 확인할 수 있다.
- [0172] 도 10은 본 발명에 적용된  $\gamma_I$ 에 대한  $\gamma_U$ 의 비율( $k$ )에 따른 센서 데이터 최적 전송주기( $I^*$ )를 나타낸 도면이며, 도 11은 본 발명에 적용된  $\gamma_I$ 에 대한  $\gamma_U$ 의 비율( $k$ )과 센서 데이터 전송주기( $I$ )에 따른 불필요하게 소비된 에너지의 비율( $f$ )의 변화를 나타낸 도면이다.
- [0173] 도 11은 센서 데이터를 전송하는 동안 사용하는 에너지 소비량  $\gamma_U$ 와 센서 데이터를 수집하는 동안 사용하는 에너지 소비량  $\gamma_I$ 와의 비율  $k$ 에 따른  $f$ 의 변화를 나타낸 것이다. 무선 인터페이스마다 서로 다른  $k$ 값을 가지므로, 이 비율을 고려하는 것은 다양한 환경을 반영하는 데 큰 의미가 있다. 또한 도 10은 도 11과 동일한 환경 하에서 센서 데이터 최적 전송주기  $I^*$ 를  $k$ 에 따라 정리한 테이블이다. 도 11을 보면 도 10에 제시된 센서 데이터 최적 전송주기( $I^*$ ) 값에서 불필요하게 소비된 에너지의 비율  $f$ 가 최소가 되는 것을 확인할 수 있다.
- [0174] 도 12는 본 발명에 적용된  $\gamma_I$ 에 대한  $\gamma_R$ 의 비율( $n$ )에 따른 센서 데이터 최적 전송주기( $I^*$ )를 나타낸 도면이며, 도 13은 본 발명에 적용된  $\gamma_I$ 에 대한  $\gamma_R$ 의 비율( $n$ )과 센서 데이터 전송주기( $I$ )에 따른 불필요하게 소비된 에너지의 비율( $f$ )의 변화를 나타낸 도면이다.
- [0175] 도 13은 불필요하게 소비된 에너지의 비율( $f$ )의 변화를 나타낸다. 도 12는 도 13에 주어진 환경 하에서 구한 센서 데이터 최적 전송주기  $I^*$ 를  $n$ 에 따라 계산하여 정리한 것이다. 도 10 및 도 12로부터 센서 데이터를 전송하는 동안 사용하는 에너지 소비량  $\gamma_U$ 와 센서 데이터를 수집하는 동안 사용하는 에너지 소비량  $\gamma_I$ 의 비율  $k$ 의 값이 커질수록, 복구하는 동안 사용하는 에너지 소비량  $\gamma_R$ 과 센서 데이터를 수집하는 동안 사용하는 에너지 소비량  $\gamma_I$ 의 비율  $n$ 의 값이 작아질수록 더 긴 센서 데이터 최적 전송주기를 가진다는 것을 확인할 수 있다.
- [0176] 즉 여기에서는 시스템의 중요한 성능적도라 할 수 있는 결합 발생률과 다양한 무선 센서들의 사양에 맞추어 분석이 가능하도록  $\gamma_I$ 와  $\gamma_U$ ,  $\gamma_I$ 와  $\gamma_R$ 의 비율을 고려하여 수치예제를 보였다.
- [0177] 이처럼, 본 발명은 마코프 체인과 재생 보상 이론을 사용하여 생성한 에너지 소비 모델을 통해 센서 데이터 최적 전송주기를 결정하기 때문에, 무선 센서 등에서 사용되는 에너지 소비량을 줄여 전력효율을 크게 향상시킬 수 있다.
- [0178] 또한 본 발명은 실제 센서 네트워크 시스템의 개발과 적용에서 센서 데이터의 전송주기에 따른 전력소비의 정량적인 예측이 가능하며, 에너지 보존성이 높게 요구되는 센서의 전력소비를 최소화시킬 수 있으므로 추가적인 비용 없이 센서의 작동 수명을 획기적으로 늘릴 수 있다.
- [0179] 이상에서와 같이 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 하여 설명되었으나, 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 기술이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 기술적 보호범위는 아래의 특허청구범위에 의해서 판단되어야 할 것이다.

### 부호의 설명

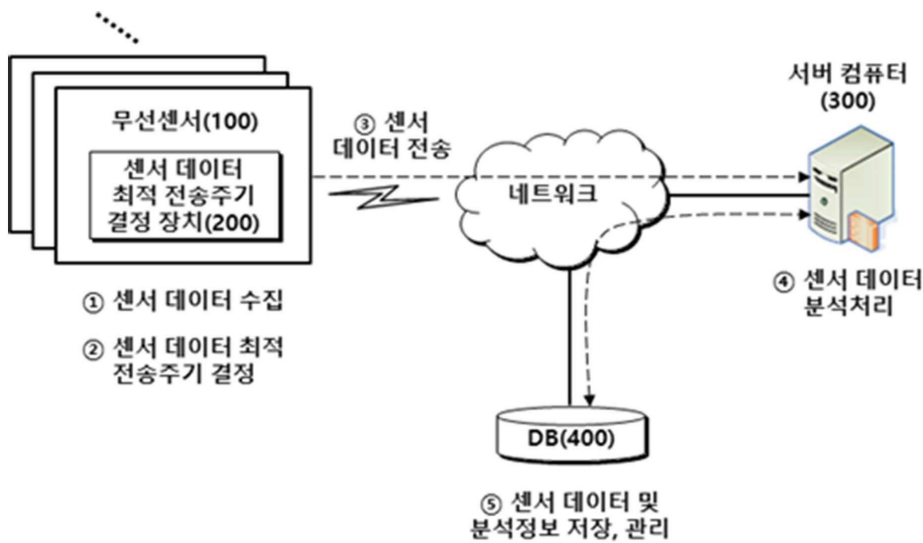
- [0180] 100 : 무선 센서



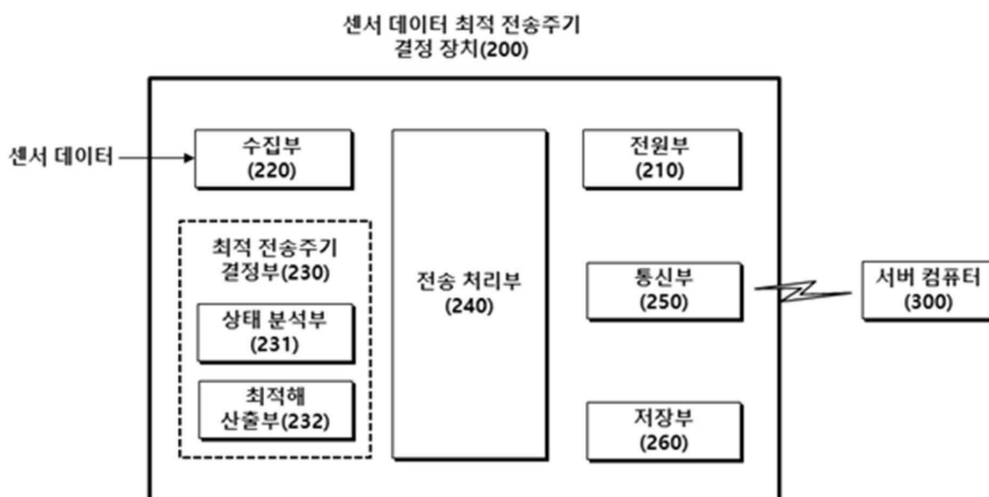
- 200 : 센서 데이터 최적 전송주기 결정 장치
- 210 : 전원부
- 220 : 수집부
- 230 : 최적 전송주기 결정부
- 231 : 상태 분석부
- 232 : 최적해 산출부
- 240 : 전송 처리부
- 250 : 통신부
- 260 : 저장부
- 300 : 서버 컴퓨터
- 400 : 데이터베이스

도면

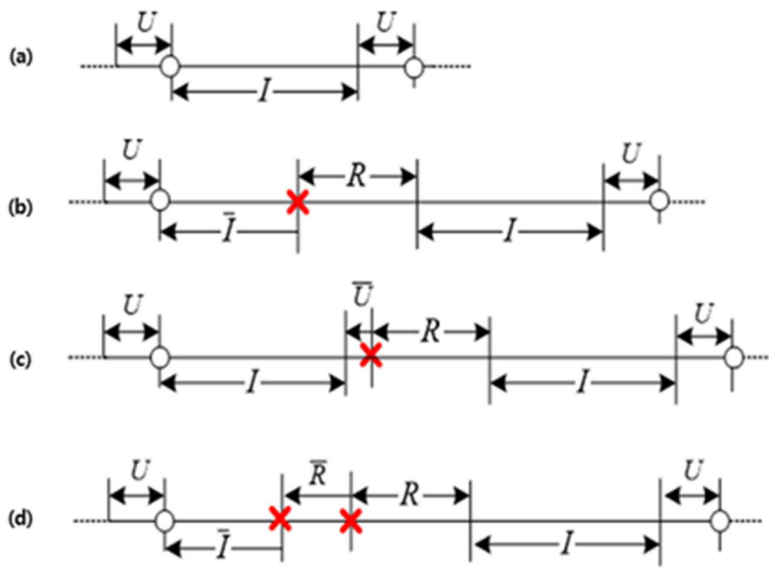
도면1



도면2

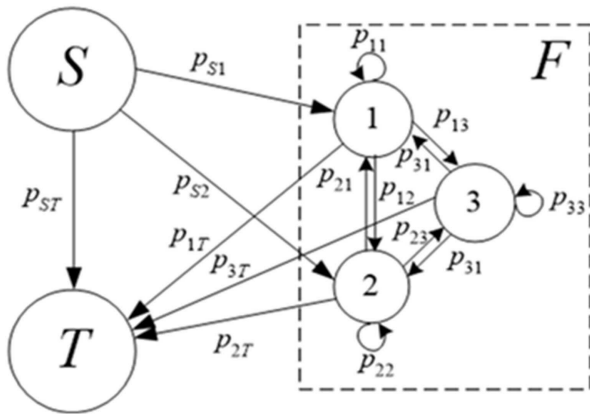


도면3

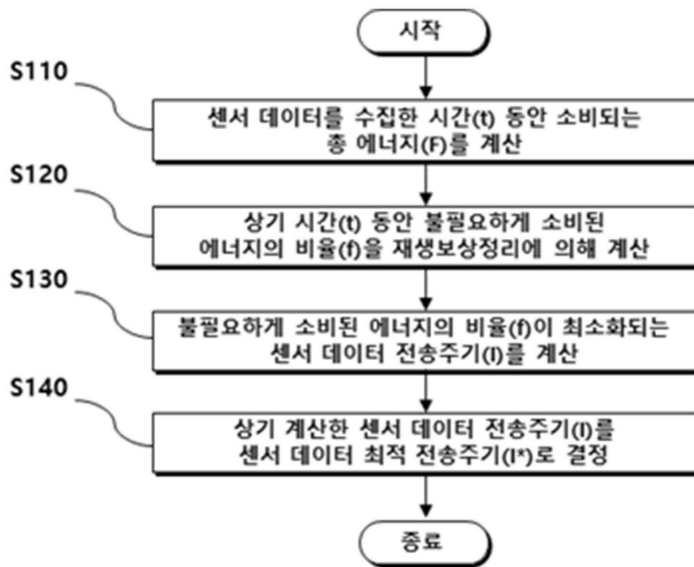


- I : 센서 데이터 전송주기
- U : 센서 데이터 전송완료에 필요한 시간
- R : 복구에 필요한 시간
- : 센서 데이터의 전송이 성공적으로 완료된 시점
- ✕ : 센서 데이터의 전송이 성공적으로 완료된 시점

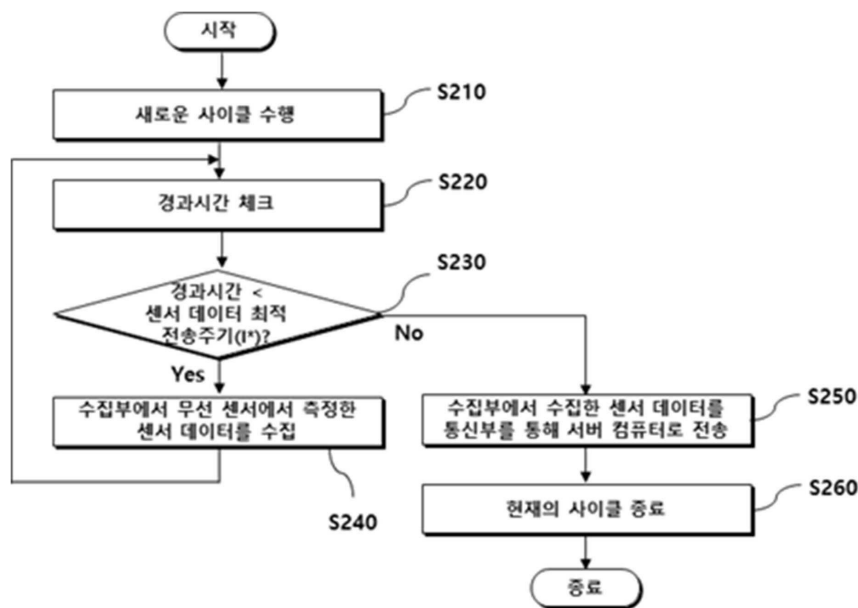
도면4



도면5



도면6



도면7

$I^*$ : energy optimal interval of sensor data transmission<sup>1)</sup>

$I^* = \frac{1}{\lambda} [1 + W(x)]$ , where

$W(x)$  is a product log function and

$$x = e^{-1-\lambda U} \left( \frac{(k-1)(e^{\lambda U} - 1)}{1+n(e^{\lambda R} - 1)} - 1 \right)$$

Repeat

- 1 *startTime* = obtain current time
- 2 **while** *elapsedTime* <  $I^*$
- 3     collect sensor data
- 4     *currentTime* = obtain current time
- 5     *elapsedTime* = *currentTime* - *startTime*
- 6 **end**
- 7     send out all collected sensor data items

(a) 에너지 보존적 센서 데이터 전송 알고리즘

Notations	Description
$\lambda$	failure rate of a sensor device
$U$	expected time to send out all collected sensor data items
$R$	required time to recover a failed sensor device
$\gamma_L$	expected energy expended per time-unit for probability variable L
$k$	$\frac{\gamma_U}{\gamma_I}$
$n$	$\frac{\gamma_R}{\gamma_I}$

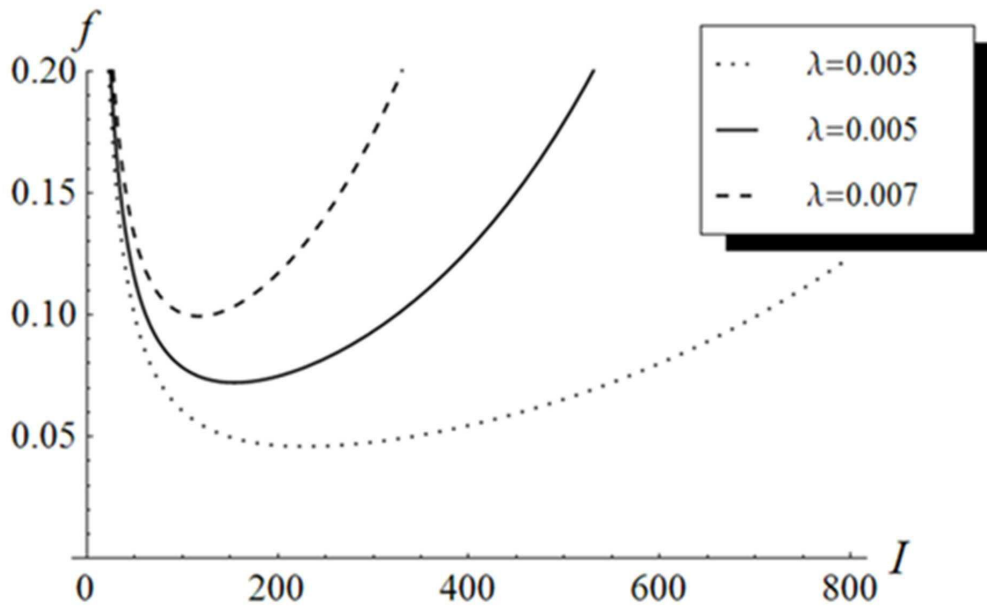
(b) 기호 정의

도면8

$\lambda$	Power-Optimal Data Transmission Interval ( $I^*$ )
0.003	229.169
0.005	154.363
0.007	117.185

$U = 10, R = 10, \gamma_I = 0.02, \gamma_U = 0.4 (k = 20), \gamma_R = 0.4 (n = 20)$

도면9

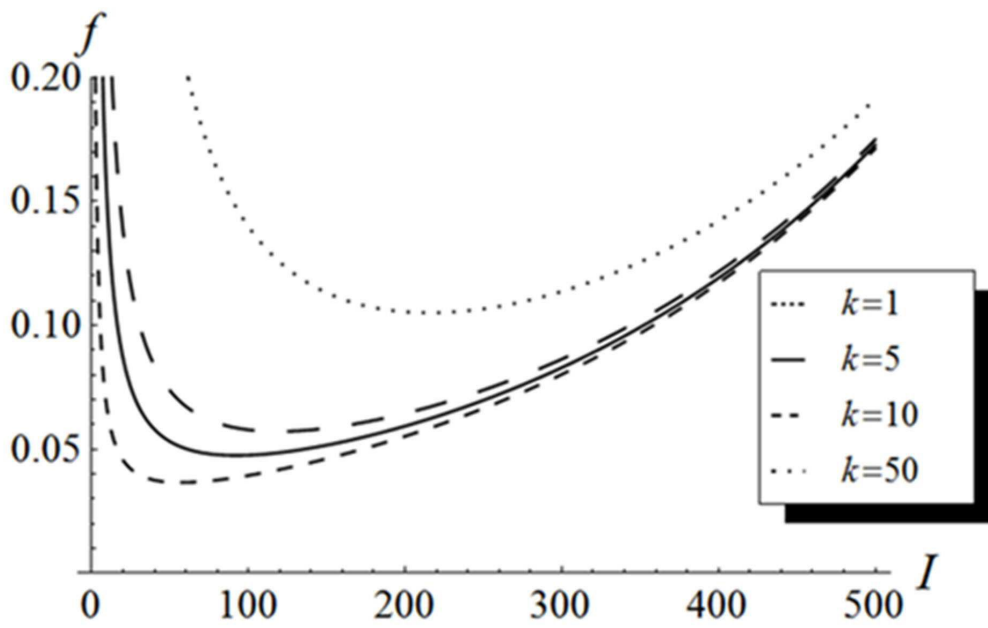


도면10

$k$	Power-Optimal Data Transmission Interval ( $I^*$ )
1	56.7621
5	92.1336
10	118.956
50	215.564

$\lambda = 0.005, U = 10, R = 10, \gamma_I = 0.02, \gamma_R = 0.4 (n = 20)$

도면11



도면12

$n$	Power-Optimal Data Transmission Interval ( $I^*$ )
1	194.729
5	182.874
10	171.227
50	126.593

$\lambda = 0.005, U = 10, R = 10, \gamma_I = 0.02, \gamma_U = 0.4 (k = 20)$

도면13

