

# 센서네트워크에서 생존시간 보장 에너지 모델<sup>1)</sup>

장기영\*, 김창화\*\*

\*강릉대학교 컴퓨터공학과

\*\*강릉대학교 컴퓨터공학과

e-mail:yican1@gw.ac.kr, kch@kangnung.ac.kr

## An Energy Model for Lifetime Assurance in Sensor Network

Gi-Yeong Jang\*, Changhwa Kim\*\*

\*Dept of Computer Science & Engineering, Kangnung National University

\*\*Dept of Computer Science & Engineering, Kangnung National University

### 요 약

센서네트워크에서 센서노드는 제한된 에너지를 가지고 있다. 제한된 센서노드의 에너지를 절약하기 위한 여러 가지 연구가 진행되고 있으나, 센서노드의 에너지를 일정한 기간동안 유지하기 연구는 아직까지 미흡한 실정이다. 센서노드가 일정한 생존시간까지 에너지를 유지하기 위해서는 별도의 에너지 모델이 필요하다. 이를 위해 본 연구는 쿼리(응용)에 따른 센서노드의 에너지 소비를 5가지 상태로 나누고, 쿼리를 수행하기 위하여 각 상태별로 소비되는 에너지를 식별하여 센서노드가 생존시간까지 생존하기 위한 에너지모델을 제시하였다.

### 1. 서론

센서 네트워크에서 센서 노드의 크기가 극소형이기 때문에 추가적 에너지 공급의 제한에 문제가 발생한다. 이를 위해 제한된 센서노드의 에너지를 절약하기 위한 여러 가지 연구들이 진행되고 있다. 센서노드의 에너지를 모두 소비되면 센서네트워크에서 정상적인 네트워크가 어려워지게 된다.[1,2]

만약 센서네트워크가 일정한 기간동안 유지되어야 한다면 센서노드의 에너지는 일정한 기간동안 에너지를 유지하고 있어야 한다. 이를 위하여 센서네트워크에서 일정기간동안 각 센서노드의 남아있는 에너지가 생존시간까지 생존할 수 있도록, 센서노드의 에너지 소비를 조절하여야 한다.

이를 위해 본 연구는 센서노드의 에너지가 생존시간까지 생존할 수 있도록 쿼리(응용)의 송수신 주기를 조절하여 생존시간까지 센서네트워크가 유지되도록 하는데 그 목적이 있다. 에너지가 생존시간까지 존재하도록 하기위해, 먼저 각 센서노드에서 쿼리상태를 분류하고, 각 상태별로 센서노드에서 소비되는 에너지를 측정한다. 센서노드에서 각 상태에서 측정된 에너지를 기초로 하여 남아있는 에너지를 확인하고, 생존시간까지 센서노드가 존재하기 위한 에너지 추정 모델을 제시한다.

추정된 에너지 모델을 기초로 생존시간까지 센서노

드가 생존하도록 하기 위하여, 센서노드에서 각 상태별로 소비되는 에너지를 기초로 하여 에너지 예측모델을 제시하고 센서노드의 송수신 주기를 변경하여 센서노드의 생존시간을 보장하도록 한다.

이를 위해 쿼리가 각 센서노드에서 소비하는 에너지를 5가지 상태로 나누었고, 각 상태별로 소비되는 되는 에너지 모델을 제안하였다.

본 연구에서는 2장에서 현재 연구 중인 센서노드의 에너지 절약에 관한 부분을 소개하고, 3장에서 센서노드에서 쿼리의 상태를 5가지로 분류하며, 4장에서 각 상태분류에 따른 에너지 모델을 제시하고 마지막장은 결론 및 향후계획을 다룬다.

### 2. 관련연구

센서네트워크에서 센서노드의 에너지는 한정되어 있기 때문에 센서노드의 에너지를 절약하기 위한 여러 가지 방법이 제시 되고 있다.

#### 1) 수명연장을 위한 에너지 균형적인 데이터 전송

무선센서 네트워크의 센서노드는 한정된 에너지 자원, 적은 처리능력, 작은 고장 등의 한계를 가지고 있다. 센서노드의 유한한 수명을 최대한 증가시키기 위하여 에너지 균형적 데이터 전송기법에서는 네트워크의 수명을 단축시키는 에너지 불균형을 해결하기 위하여, 에너지 불균형을 <같은 레벨간 에너지 불균형>과 <다른 레벨간 에너지 불균형>으로 구분하고, 각각에 대하

1) 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 2008년도 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음. (IITA-2008-C1090-0801-0044)

여 적응적 보고 지연기법과 패킷통합 기술을 적용한다.[3]

2) 센서노드의 에너지 mode 분류

기존의 센서 네트워크에서의 센서노드의 에너지 모드는 Snoozing mode, Processing mode, Processing and Receiving mode, Transmitting mode로 구분하고 있다.

Snoozing mode는 프로세서나 전파가 idle하는데 대부분 시간을 보내며 외부 이벤트에 의해 장치가 깨어나거나 타이머가 끝나기를 기다린다. Processing mode는 장치가 깨어날 때 프로세싱 모드로 전환되며, snooze mode보다 에너지 소비가 많다. Processing and Receiving mode는 이웃한 노드들로부터 자료를 수집하기 위해 데이터를 수신하고 처리하는 모드이다. Transmitting mode는 쿼리에 대한 결과들을 센터로 전송하는 mode이다.[4,5]

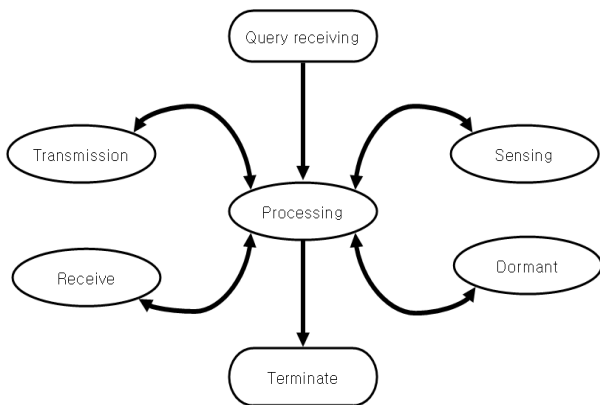
센서노드의 에너지 절약을 위한 여러 가지 연구가 진행되고 있으나 센서노드가 생존시간까지 에너지를 유지하고 있지 않기 때문에 생존시간 에너지 소비에 대한 연구가 필요하다.

3. 에너지 모델을 위한 상태별 분류

센서노드에서 쿼리(응용)를 수행하기 위하여 소비되는 에너지를 측정하기 위하여 각 상태를 5가지로 구분한다.

1) 에너지 모델을 위한 5가지 상태 분류

쿼리 수행을 위해 센서노드의 상태 5가지는 Transmission, Sensing, Receive, Processing, Dormant 단계로 구분한다.



(그림 1) 에너지 측정을 위한 상태전이도

센서노드에서 쿼리를 수신하여 분석하고(Query receiving), 분석한 쿼리를 실행하는 부분에서는 쿼리가 단순 데이터를 수신하는 경우인지(Receive), 센서에서 데이터를 센싱하는 것인지(Sensing), 메시지를 전송하는 것인지(Transmission), 질의를 처리하는 것인지

(Processing)를 구분하여 쿼리를 실행한다. 쿼리 수행이 더 이상 없을 경우엔 쿼리를 종료(Terminate)한다. 또한, 센싱이 완료되어 더 이상의 센서노드에서의 활동이 없을 경우에는 “수면상태(Dormant)”로 전환된다.

센서노드에서 소비되는 에너지의 각 상태에 대한 설명은 아래 <표 1>과 같다.

< 표 1> 쿼리 수행을 위해 소비되는 에너지 상태

상태	설명
Transmission	센싱된 데이터를 다른 센서노드에게 메시지를 보내는 상태
Sensing	쿼리에 의해 센서가 데이터를 샘플링하는 상태
Receive	다른 센서로부터 데이터를 수신하는 상태
Processing	질의를 처리하는 상태로서 전송, 수신, 센싱을 제외한 계산(연산)이나 명령어를 수행하는 상태
Dormant	센서노드의 sleeping 상태, 위의 상태들이 아닌 상태(active 상태가 아님)

2) 상태별 분류에 따른 에너지

생존시간까지 센서네트워크가 존재하기 위하여 현재 사용되는 센서노드는 센싱 에너지와 송신 에너지 및 수신에너지에 대한 표준에너지 데이터 제공되며, 초기에는 이 표준에너지를 기초로 하여 에너지 예측 모델을 산출한다. 실제 다수의 에너지 측정을 통한 데이터를 기초로 하여 보다 안정적인 예측 에너지 모델을 만들어 낸다. 쿼리에 의한 송수신 데이터가 많을수록 보다 안정적인 에너지 예측 모델을 만들어 낼 수 있으며, 이를 기초로 하여 생존시간까지 센서를 생존하기 위한 센싱 및 송수신 주기를 조절할 수 있다.

<표 2> 생존시간 에너지를 위한 파라미터

파라미터	설명
$T_{life}$	목표로 하는 생존 시간
$E_{con}, E_{rem}$	현재 시간까지 소비된 에너지( $E_{con}$ ), 남아있는 에너지( $E_{rem}$ )
$E_{pro}, RE_{pro}$	현재까지 processing 하는데 소비된 에너지( $E_{pro}$ ), 남아있는 에너지( $RE_{pro}$ )
$E_{trs}, RE_{trs}$	현재까지 샘플자료를 송신하는데 소비된 에너지( $E_{trs}$ ), 남아있는 에너지( $RE_{trs}$ )
$E_{rcv}, RE_{rcv}$	현재까지 데이터를 수신하는데 소비된 에너지( $E_{rcv}$ ), 남아있는 에너지( $RE_{rcv}$ )
$E_{sen}, RE_{sen}$	현재까지 샘플링하는데 소비된 에너지( $E_{sen}$ ), 남아있는 에너지( $RE_{sen}$ )
$E_{dor}, RE_{dor}$	현재까지 sleeping 상태에서 소비된 에너지( $E_{dor}$ ), 남아있는 에너지( $RE_{dor}$ )
$T_{con}, T_{rem}$	현재 시간까지 소요된 에너지( $T_{con}$ ), 남아있는 시간( $T_{rem}$ )
$T_{pro}, RT_{pro}$	현재까지 processing 하는데 소요된 에너지( $T_{pro}$ ), 남아있는 시간( $RT_{pro}$ )
$T_{trs}, RT_{trs}$	현재까지 샘플자료를 송신하는데 소요된

	시간( $T_{trs}$ ), 남아있는 시간( $RT_{trs}$ )
$T_{rcv}, RT_{rcv}$	현재까지 데이터를 수신하는데 소요된 시간( $T_{rcv}$ ), 남아있는 시간( $RT_{rcv}$ )
$T_{sen}, RT_{sen}$	현재까지 샘플링하는데 소요된 시간( $T_{sen}$ ), 남아있는 시간( $RT_{dor}$ )
$T_{dor}, RT_{dor}$	현재까지 sleeping 상태에서 소요된 시간( $T_{dor}$ ), 남아있는 시간( $RT_{dor}$ )
$P, RP$	현재까지 수행한 Processing 횟수( $P$ ), 남아있는 횟수( $RP$ )
$R, RR$	현재까지 수행한 Receive 횟수( $R$ ), 남아있는 횟수( $RR$ )
$T, RT$	현재까지 수행한 Transmission 횟수( $T$ ), 남아있는 횟수( $RT$ )
$S, RS$	현재까지 수행한 Sensing 횟수( $S$ ), 남아있는 횟수( $RS$ )
$D, RD$	현재까지 수행한 Dormant 횟수( $D$ ), 남아있는 횟수( $RD$ )
$\overline{E}_{pro}$	평균 Processing
$\overline{E}_{rcv}$	평균 Receive
$\overline{E}_{tr}$	평균 Transmission
$\overline{E}_{sen}$	평균 Sensing
$\overline{E}_{dor}$	평균 Dormant

3) 각 상태별 평균에너지 기반 모델

각 상태별 평균에너지를 미리 알고 있을 경우로서 Transmission, Receive, Sensing, Processing, Dormant 등에 대한 평균 에너지가 미리 제공되는 경우로서, 이 경우 각 주기별 상태 횟수만 알고 있으면 에너지의 소비를 미리 알 수 있고, 현재시점에서 남아 있는 에너지를 측정하여, 각 주기에서 실행될 수 있는 상태들의 횟수를 구할 수 있다.

각 상태를 1회 실행하기 하는데 소비되는 평균 에너지(AE)라고 한다.

가) Processing 상태의 에너지 모델

Processing 상태를 1회 수행하는데 소비되는 평균에너지(AEp)를 가지고 현재까지 소비된 Processing 에너지( $E_{pro}$ ) 구한다. 또한, 잔여에너지 대한 Processing 횟수(RP)를 구하여 잔여에너지 중에 Processing 소비되는 에너지( $RE_{pro}$ )를 구할 수 있다.

$$E_{pro} = AEp * P(\text{Processing 횟수})$$

$$RP = (P * E_{rem}) / E_{com}$$

$$RE_{pro} = RP * AEp$$

나) Receive 상태의 에너지 모델

Receive 상태를 1회 수행하는데 소비되는 평균에너지(AEr)를 가지고 현재까지 소비된 Receive에너지( $E_{rcv}$ ) 구한다. 또한, 잔여에너지 대한 Receive횟수(RR)를 구하여 잔여에너지 중에 Receive소비되는 에너지( $RE_{rcv}$ )를 구할 수 있다.

$$E_{rcv} = AEr * R(\text{Receive 횟수})$$

$$RR = (R * E_{rem}) / E_{com}$$

$$RE_{rcv} = RR * AEr$$

다) Transmission 상태의 에너지 모델

Transmission 상태를 1회 수행하는데 소비되는 평균에너지(AEt)를 가지고 현재까지 소비된 Transmission 에너지( $E_{trs}$ ) 구한다. 또한, 잔여에너지 대한 Transmission 횟수(RT)를 구하여 잔여에너지 중에 Transmission소비되는 에너지( $RE_{trs}$ )를 구할 수 있다.

$$E_{trs} = AEt * T(\text{Transmission 횟수})$$

$$RT = (T * E_{rem}) / E_{com}$$

$$RE_{trs} = RT * AEt$$

라) Sensing 상태의 에너지 모델

Sensing 상태를 1회 수행하는데 소비되는 평균에너지(AEs)를 가지고 현재까지 소비된 Sensing에너지( $E_{sen}$ ) 구한다. 또한, 잔여에너지 대한 Sensing횟수(RS)를 구하여 잔여에너지 중에 Sensing소비되는 에너지( $RE_{sen}$ )를 구할 수 있다.

$$E_{sen} = AEs * S(\text{Sensing 횟수})$$

$$RS = (S * E_{rem}) / E_{com}$$

$$RE_{sen} = RS * AEs$$

마) Dormant 상태의 에너지 모델

Dormant 상태를 1회 수행하는데 소비되는 평균에너지(AEd)를 가지고 현재까지 소비된 Dormant에너지( $E_{dor}$ ) 구한다. 또한, 잔여에너지 대한 Dormant횟수(RD)를 구하여 잔여에너지 중에 Dormant소비되는 에너지( $RE_{dor}$ )를 구할 수 있다

$$E_{dor} = AEd * D(\text{Dormant 횟수})$$

$$RD = (D * E_{rem}) / E_{com}$$

$$RE_{dor} = RD * AEd$$

바) 에너지 모델

각 상태를 1회 수행하는데 소비되는 평균에너지(AEx)를 가지고 현재까지 소비된 상태에너지( $E_x$ ) 구한다. 또한, 잔여에너지 대한 상태별 횟수(RX)를 구하여 잔여에너지 중에 상태별 소비되는 에너지( $RE_x$ )를 구하면 평균에너지를 미리 알고 있을 경우의 에너지 모델이 된다.

$$E_x = AEx * X(\text{횟수})$$

$$RX = (X * E_{rem}) / E_{com}$$

$$RE_x = RX * AEx$$

4. 상태별 횟수기반 에너지 모델

쿼리 수행을 위하여 각 센서노드에서 각 상태별 평균 에너지를 미리 알고 있지 않을 경우로서 현재시점에서 에너지를 측정하여 지금까지 소비된 에너지와 남아 있는 에너지를 분석하는 것이다.

현재시점까지 소비된 에너지는 각 상태의 횟수를 알고 있다고 가정하며, 각 상태별 횟수는 미들웨어에서 파악한다. 이를 기초로 하여 각 상태별 횟수를 파악하

여 현재 소비된 에너지 비교하여 각 상태별 평균에너지를 구하고, 남아있는 에너지를 분석하여 각 상태별로 소비되는 에너지를 예측하여 상태별로 수행될 수 있는 동작 횟수를 예측한다.

전체에너지(E) 현재까지 소비된 에너지( $E_{com}$ )와 남아있는 에너지( $E_{rem}$ )의 합계이다. ( $E = E_{com} + E_{rem}$ )

5가지의 각 상태들을 X라고 표시한다.

$$X = \{ trs, rcv, pro, sen, dor \}$$

$$= \{ x \mid x \text{는 센서노드 5가지 상태} \}$$

**가) 현재까지 소비된 에너지( $E_{con}$ )**

$$E_{com} = E_{trs} + E_{rcv} + E_{pro} + E_{sen} + E_{dor}$$

지금까지 소비된 에너지는 아래의 식으로 표현할 수 있다. (k는 횟수)

$$E_{trs} = \sum_{k=1}^T E_{trs,k}, \quad E_{rcv} = \sum_{k=1}^R E_{rcv,k}, \quad E_{pro} = \sum_{k=1}^P E_{run,k}$$

$$E_{sen} = \sum_{k=1}^S E_{sen,k}, \quad E_{dor} = \sum_{k=1}^D E_{dor,k} \Rightarrow E_X = \sum_{k=1}^X E_{x,k}$$

**나) 현재까지 소비된 에너지에서 각 상태별로 차지하는 소비된 에너지 비율**

$$E_{trs}/E_{con} : E_{rcv}/E_{con} : E_{pro}/E_{con} : E_{sen}/E_{con} : E_{dor}/E_{con}$$

$$= Pt : Pr : Pp : Ps : Pd$$

**다) 상태별 평균에너지**

각 상태별 평균에너지는 아래와 같다

$$\overline{E_{trs}} = E_{trs}/T, \quad \overline{E_{rcv}} = E_{rcv}/R, \quad \overline{E_{pro}} = E_{pro}/P$$

$$\overline{E_{sen}} = E_{sen}/S, \quad \overline{E_{dor}} = E_{dor}/D \Rightarrow \overline{E_x} = E_x/X$$

**라) 각 상태별로 남아있는 에너지**

현재까지 각 상태별로 남아있는 에너지는 아래와 같다

$$RE_{trs} = E_{rem} * Pt, \quad RE_{rcv} = E_{rem} * Pr, \quad RE_{pro} = E_{rem} * Pp$$

$$RE_{sen} = E_{rem} * Ps, \quad RE_{dor} = E_{rem} * Pd$$

$$RE_x = E_x * Px$$

$$E_{rem} = RE_{trs} + RE_{rcv} + RE_{pro} + RE_{sen} + RE_{dor}$$

**마) 남아있는 에너지를 기준으로 상태별 동작 횟수**

남아있는 에너지를 기준으로 각 상태별 동작횟수를 계산하면 아래와 같다

$$RT = RE_{trs} / \overline{E_{trs}}, \quad RR = RE_{rcv} / \overline{E_{rcv}}, \quad RP = RE_{pro} / \overline{E_{pro}}$$

$$RS = RE_{sen} / \overline{E_{sen}}, \quad RD = RE_{dor} / \overline{E_{dor}}$$

$$RX = RE_x / \overline{E_x}$$

**바) 생존시간까지 상태별 주기**

남아있는 생존시간( $T_{rem}$ )까지 존재하기 각 상태별 주기는 다음과 같이 구한다.

$$T_{trs} = \lfloor T_{rem}/RT \rfloor, \quad T_{rcv} = \lfloor T_{rem}/RR \rfloor$$

$$T_{pro} = \lfloor T_{rem}/RP \rfloor, \quad T_{sen} = \lfloor T_{rem}/RS \rfloor$$

$$T_{dor} = \lfloor T_{rem}/RD \rfloor, \quad \mathbf{T_x} = \lfloor \mathbf{T_{rem}/RX} \rfloor$$

**5. 결론 및 향후계획**

센서네트워크에서 센서노드는 제한된 에너지를 가지고 있다. 제한된 센서노드의 에너지를 절약하기 위한 여러 가지 연구가 진행되고 있으나, 센서노드의 에너지를 일정한 기간동안 유지하도록 하는 연구는 아직까지는 미흡한 실정이다. 센서노드가 일정한 생존시간까지 에너지를 유지하도록 하기 위해 본 연구는 쿼리(응용)에 따른 센서노드의 에너지 소비를 5가지 상태로 나누었으며, 쿼리를 수행하기 위하여 각 상태별로 소비되는 에너지를 파악하여 센서노드가 생존시간까지 존재하기 위한 에너지모델을 제시하였다.

센서네트워크에서 제한된 에너지를 가진 센서노드가 일정한 기간동안 생존할 수 있도록 보장해 줌으로써 사용자는 생존 시간동안 센서 노드로부터 원하는 자료를 얻을 수 있고, 센서노드의 에너지를 절약하는 효과도 있다.

본 논문의 향후과제는 제시된 에너지 모델을 시뮬레이션이나 실험결과를 평가하여 에너지 모델의 타당성을 검증하는 것이 요구된다.

**참고문헌**

[1] Johannes Gehrke, Samuel Madden, "Query Processing in Sensor Networks", pp.1536-1268, IEEE 2004

[2] Yong Yao, Johannes Gehrke, "Query Processing for Sensor Networks", Proceedings of the 2003 CIDR Conference

[3] 이동욱, "무선 센서네트워크의 수명 연장을 위한 에너지 균형적인 데이터 전송 기법에 대한 연구", 아주대 정보통신전문대학원, 2006

[4] Sael R, Madden 외3, "TinyDB : An Acquisitional Query Processing System for Sensor Networks", ACM Transactions on Database Systems, 2004

[5] J. Change, and L. Tassulas, "Maximum Lifetime Routing in Wireless Sensor Tnetwork", In Proceedings of Advanced Telecommunication and Information Distribution, 2000.