

유비쿼터스센서네트워크에서 DUAL BAND 를 활용한 에너지효율적 실시간데이터수집 기법

최병태*, 인호**

*고려대학교 소프트웨어공학과

**고려대학교 컴퓨터공학과

e-mail : {billchoi*, hoh_in**}@korea.ac.kr

An Energy-Efficient Real-Time Data Gathering Method Using Dual Band in Ubiquitous Sensor Networks

Byung-Tai Choi*, Hoh In**

*Dept. of Software Engineering, Korea University

**Dept. of Computer Engineering, Korea University

요 약

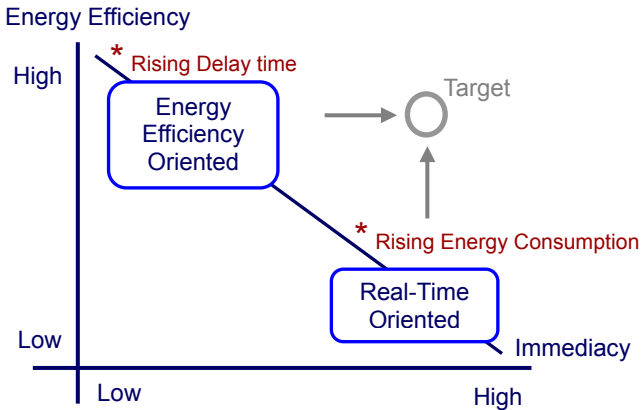
유비쿼터스 센서 네트워크의 성능을 판단하는 중요한 지표로 감지된 정보를 실시간으로 전송하는 능력과 네트워크의 최대 생존시간을 들 수 있다. 하지만 대부분의 무선센서 에너지원은 배터리로 구성되어 있으므로 인해 실시간 정보전송을 위해 통신모듈의 전원을 자주 사용하게 되면 조기에 네트워크의 생존력을 잃게 되는 문제가 발생할 수 있으며 그와 반대로 에너지소모를 낮추기 위해 전송 주기를 길게 하면 전송지연이 발생되어 위급한 상황에서 시스템이 즉시 대응하지 못하는 문제가 발생할 수 있다. 본 논문에서는 통신모듈을 DUAL BAND 로 이중화하고 송수신모드를 세분화하여 각 모듈에 공급되는 에너지를 상황에 맞게 제어하는 방법을 제안하며 제안한 방법을 적용하여 에너지 소모량과 전송지연시간을 계산한 결과, 중요한 군사적 목적이나 위험방지를 위한 실시간 감시 목적으로 사용할 경우 실시간전송과 효율적 에너지사용을 동시에 만족시킴을 확인할 수 있었다.

1. 서론

최근 유비쿼터스 컴퓨팅 환경을 구축하기 위한 기반기술로써 각종 통신기술, 통신망기술, IPv6 관련기술과 더불어 유비쿼터스 센서 네트워크 기술이 중요하게 대두되고 있다. 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서 유비쿼터스 센서 네트워크 기술이 중요한 부분을 차지하는 이유는 활용도면에서 중요한 군사적인 목적뿐만 아니라 민간 분야에서도 가정, 학교, 공장, 환경, 생태, 구조물, 건강 등을 모니터링하고 관리 혹은 상황에 맞는 편의를 제공하기 위하여 온도, 습도, 충격, 인체감지 등의 각종 센서가 감지하는 현실에서의 감지데이터를 네트워크를 통해 정보처리기능을 갖춘 관리시스템으로 전송해주는 기반역할을 하기때문이다[1][2]. 또한 이처럼 다양한 어플리케이션 분야만큼이나 다양한 기술적 이슈가 거론되고 있으며 센서 네트워크의 하드웨어적인 특징과 센서배열의 복잡성을 해결하기

위해 에너지를 효율적으로 사용하기 위한 프로토콜 [3][4] 및 라우팅기법[5][6] 등이 제안되고 있다. 하지만 일반적인 센서 네트워크의 특성은 아래 (그림 1)에 서처럼 에너지 효율을 위해 데이터 전송주기를 길게 늘이게 되면 데이터 전송의 신속성이 결여되어 특정 분야에서는 센서로부터 감지된 긴급한 정보를 즉시 처리하지 못하는 문제가 발생할 수 있으며 그와 반대로 데이터 전송의 신속성을 높이기 위해 데이터 전송을 자주하게 되면 에너지 소모가 많아져 상대적으로 조기에 네트워크의 생존력을 잃게 되거나 배터리가 소진된 센서가 위치한 곳의 감지능력을 잃게 되는 문제가 발생할 수 있다.

본 논문에서는 위에서 언급한 문제를 해결하기 위하여 에너지의 효율적인 사용과 데이터전송의 긴급한 데이터의 신속한 전송을 동시에 가능하도록 개선한 에너지 효율적 실시간 데이터 수집 기법을 제안한다.



(그림 1) 전송의 즉시성과 에너지 효율성의 상관관계

2. 관련 연구

무선 센서 네트워크의 에너지 효율과 데이터 전송의 지연시간 최소화를 위해 여러 연구기관과 학교에서 진행 중인 연구 및 연구 결과를 살펴 보면 아래와 내용과 같다.

MAC 프로토콜[3]은 무선 센서 네트워크 구성의 단말에 위치한 각 센서노드의 에너지 소모를 최소화하기 위해 제안된 프로토콜로써 기존 MAC 프로토콜이 가지는 문제점을 해결하기 위하여 duty cycle 을 적용한 S-MAC, idle listening 을 최소화한 T-MAC, active 구간을 두 개로 늘여 delay 를 최소화한 D-MAC, 남은 에너지와 패킷 전송률을 감안한 ER-MAC, 전송할 데이터가 있을 때만 전원을 공급하는 BMA-MAC, TDMA 방식을 적용한 ECCA-MAC 등이 제안되어 연구되고 있다.

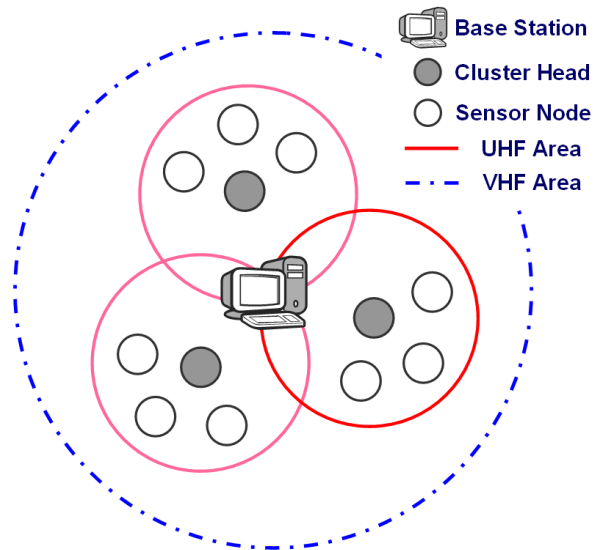
MAC 프로토콜이 센서노드의 특성을 기준으로 제안되었다면 이와 함께 제안되고 있는 라우팅 기법은 네트워크의 특성을 기준으로 제안되었다고 할 수 있는데 통신을 위한 에너지 소모가 가장 크고 수 많은 센서들의 집합인 무선 센서 네트워크의 특성상 각 센서노드와 센서노드의 묶음인 클러스터 그리고 베이스 스테이션간의 네트워크를 효과적으로 연결해야 하기 때문이다[5][6]. 이러한 네트워크 연결 및 데이터 전송의 효율성을 위해 제안되는 라우팅 기법으로는 대표적으로 필요 데이터를 알리고 해당 데이터만 전송하는 Data-Centric 방식인 SPIN, Directed Diffusion, Rumor Routing 가 있고 센서노드의 위치 정보를 이용한 위치기반 방식인 LAR, GPSR 가 있으며 센서노드를 클러스터 단위로 묶은 LEACH[4], 또 위치기반과 클러스터 방식을 함께 사용하는 TTDD 등이 있다[7].

또한 위의 프로토콜과 라우팅 기법을 사용하는 환경에서 센서노드의 에너지효율을 높이기 위해 개별 센서의 특성 및 현재상황을 고려한 스케줄링 기법[8]이 제안되고 있으며 본 논문에서 중점적으로 다루게 될 에너지 효율과 전송지연의 최소화를 동시에 고려하여 제안된 기법[9]도 있는데 이는 MAC 프로토콜에 관한 것으로 S-MAC의 특징과 T-MAC의 특징을 기반으로 동기화를 적용하고 동기화를 위한 CTS 신호의 carrier 를 감지하여 duty cycle 을 증가시키는 방법을 사

용하고 있다.

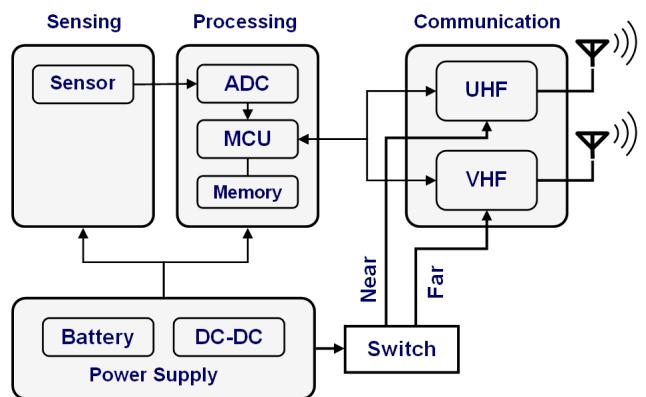
3. 제안 기법 (UDB, Using Dual Band)

일반적으로 무선 센서 네트워크에서 사용되는 주파수 대역은 UHF 를 사용하고 있으며 이는 (그림 2)에서 표시한 것처럼 근접한 센서노드들의 고속 통신에는 적합하지만 원거리 떨어진 베이스 스테이션과의 통신은 통신거리가 미치지 못해 불가능하다. 따라서 베이스 스테이션과 센서노드 혹은 클러스터 헤드를 Topology 로 묶어 네트워크를 형성하고 있다. 반면 장거리 통신이 가능하면서도 에너지 소모가 적은 VHF 를 사용하면 충돌 문제 발생 등 통신의 제약이 많지만 특히 고속 통신이 불가능하여 사용이 어렵다.



(그림 2) 주파수 대역의 전송범위

제안하는 기법, UDB(Using Dual Band)에서는 이러한 주파수 특성을 이용하여 센서노드의 하드웨어[10]에서 통신부의 구성을 (그림 3)과 같이 이중화하였으며 UHF Band 는 근접 센서노드 사이의 통신, 혹은 센서노드와 해당 클러스터 노드와의 통신, 클러스터 노드와 베이스 스테이션과의 데이터 전송용으로 사용하고 VHF Band 는 각 센서노드와 베이스 스테이션과의



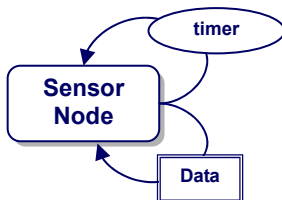
(그림 3) 센서노드의 하드웨어 구성

원거리 통신용에 사용하며 <표 1>과 같이 송수신 모드를 세분화하여 운영된다.

<표 1> 송수신 모드

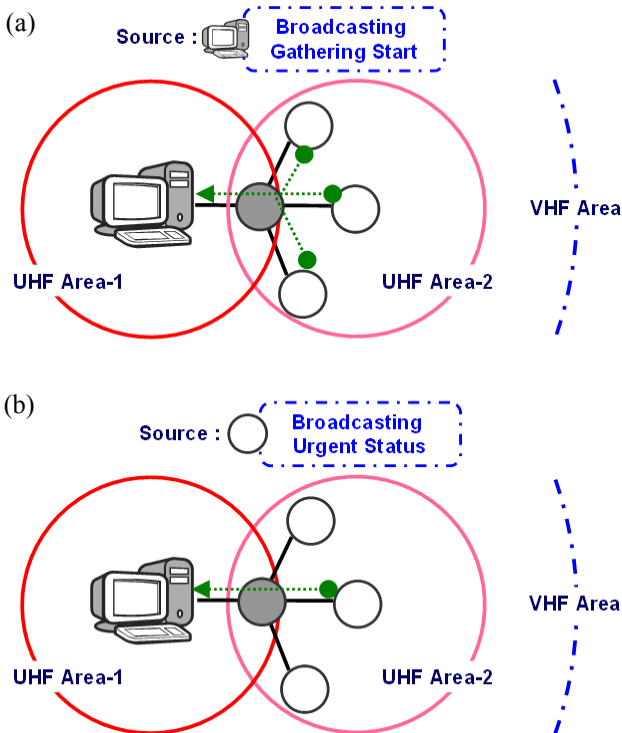
Name	Event Source	Description
Gather Mode	Base Station	Sensor Data 수집
Urgent Mode	Sensor Node	긴급 상태 발생
Install Mode	Sensor Node	신규 Sensor 설치
Wait Mode	-	대기상태

Gather Mode 는 일반적인 데이터수집시에 사용되는 모드로써 베이스 스테이션이 VHF Band 를 사용하여 Broadcast 방식으로 Event 를 발생시키고 센서노드의 UHF Band 사용을 준비시키게 된다. 센서노드는 이때까지는 Wait Mode 에 대기하면서 (그림 4)와 같이 주기적으로 센서의 감지만 수행함으로써 불필요한 데이터 전송 혹은 전송요구 확인을 위해 UHF Band 를 사용하기 위해 에너지를 소모할 필요가 없어진다.



(그림 4) Wait Mode 에서의 Sensing

또한 (그림 5)의 (a)와 같이 UHF Band 를 사용하여 각 센서의 데이터를 전송경로를 수집함으로써 Gather Mode 는 완료되고 전송이 완료된 센서노드는 UHF Band 의 전원을 차단하여 에너지소모를 최소화시킨다.



(그림 5) 송수신 모드별 데이터 전송 흐름도

Urgent Mode 는 Wait Mode 에서 센서노드가 데이터를 주기적으로 감지하다가 긴급한 감지정보 발생시 사용하는 Mode 로써 이 때는 (그림 5)의 (b)와 같이 센서노드가 VHF Band 를 사용하여 Event 를 발생시켜 베이스 스테이션에 긴급 감지정보가 있음을 알리고 UHF Band 를 사용 정해진 통신경로를 통해 신속하게 정보를 전송하게 된다.

함께 제안된 Install Mode 는 센서노드의 신규설치에 관한 Mode 로써 센서노드가 설치되면 VHF Band 를 사용하여 베이스 스테이션으로 신규 센서노드가 설치되었음을 알리게 되고 UHF Band 로는 근접한 센서노드에 이를 알려 베이스 스테이션이 전체 네트워크에서 신규설치된 센서노드의 경로 설정 용이성과 에너지 소진으로 인해 빈번하게 이루어지는 센서교체를 위한 효과적인 운영을 위함을 목적으로 한다.

또한 제안된 방식에서 각 모드에서 UHF Band 를 사용하는 통신에는 기존에 제안된 각종 프로토콜과 라우팅기법이 적용될 수 있으며 본 제안은 기존 기법에서 얻게 되는 에너지 효율성과 신속성에 더하여 성능을 극대화하는 데에 목적을 가진다.

4. 분석 결과

무선 센서 네트워크 분석 도구 ns-2[11]를 사용하여 <표 2>의 조건으로 제안된 기법, UDB 를 분석하였으

<표 2> 실험조건

Parameter	Value	Parameter	Value
W _{TXnear}	660 mW	W _{sens}	60 mW
W _{RXnear}	395 mW	W _{sleep}	180 μW
W _{TXfar}	480 mW	N _{TX : NRX}	1 : 10
W _{RXfar}	45 mW	N _{TX : N_{sens}}	1 : 100

며 해당 조건 중 센서노드의 에너지 소모는 식(1)과 같이 송신전력(W_{TX}), 수신전력(W_{RX}), 감지전력(W_{sens}), 대기전력(W_{sleep})의 합 E로 나타낼 수 있는데 여기서 대기전력(W_{sleep})은 나머지 전력에 비해서 매우 크기가 작아 무시될 수 있으므로 분석시에 고려하지 않았다.

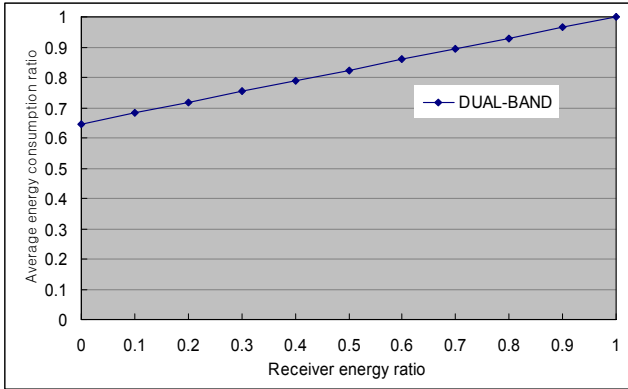
$$E = \sum_{k=1}^n (W_{TX} + W_{RX} + W_{sens} + W_{sleep}) \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^n (W_{TX} + W_{RX} + W_{sens}) \gg \sum_{k=1}^n W_{sleep} \quad (2)$$

$$\therefore \sum_{k=1}^n W_{sleep} = 0$$

분석 결과 기존방식을 사용할 경우 10,610[mW]를 소모한데 비해 제안한 방식에서는 7,110[mW]를 소모해 기존방식의 67%(33% 절약)의 에너지로 데이터 수집이 가능하다는 결과를 얻었는데 이는 UHF Band 의 수신전력(W_{RXnear})과 VHF Band의 수신전력(W_{RXfar})의 비율에 관련된 것으로써 데이터 송신시에는 두 방식 공히 UHF Band의 송신전력(W_{TXnear})을 사용하므로 송신시의 전력에는 차이가 없었으나 (그림 6)에서 볼 수 있듯이 Wait Mode에서 주로 소모하는 수

신전력(W_{RX})의 영향만을 받음을 알 수 있다.



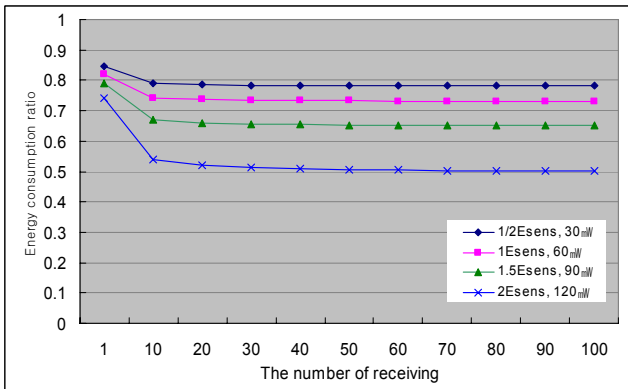
(그림 6) BAND 별 수신전력비와 에너지소모의 관계
이는 아래의 식(3)에 의한 전력비에 따라 식(4)와

$$E_{pro} = \sum_{k=1}^n (W_{TX} + mW_{RXpro} + lW_{sens}) \quad (3)$$

$$E_{pro} = \sum_{k=1}^n (W_{TX} + m \frac{W_{RXpro}}{W_{RXpast}} W_{RXpast} + lW_{sens})$$

$$\frac{W_{RXpro}}{W_{RXpast}} \quad (4)$$

같은 기울기를 가짐을 확인할 수 있다. 또한 함께 분석된 실제 데이터 수집과 데이터 수집 요청을 확인하기 위한 회수와의 비율을 기준으로 한 에너지 소모율 (그림 7)을 확인한 결과 10 회 이상의 수신확인에 1 회 송신이 이루어졌을 경우부터 급격한 에너지 소모량 감소가 이루어졌음을 알 수 있었다.



(그림 7) 수신회수 대비 송신회수에 따른 에너지소모

데이터 전송의 신속성에 대해서도 전송경로가 설정된 경우를 조건으로 확인한 결과 어떠한 지연도 일어나지 않고 즉시 전송 되는 것을 확인할 수 있었다.

5. 결론

본 논문에서 제안된 UDB 기법은 통신 모듈을 이중화하기 위하여 비용이 추가된다는 문제를 가지고 있으나 지금까지 유비쿼터스 센서 네트워크에서 중요하

게 다뤄지고 있는 이슈 중 에너지의 효율적인 사용과 데이터 전송의 신속성을 동시에 만족시킴으로써 제안된 UDB 기법과 더불어 지금까지의 관련 연구에서 제안되고 있는 기법을 동시에 사용할 경우, 비용에 대한 부담보다는 에너지 효율과 실시간 데이터 수집의 중요도가 높은 군사적인 목적이나 위험방지를 위한 감시 목적에서 사용될 경우 그 파급효과가 매우 클 것으로 판단한다.

본 연구에서의 분석은 단일 패턴에 대한 파라미터만 사용하여 이루어졌기 때문에 실제 상황에서 일어날 수 있는 여러가지 조건을 적용하여 실험해 봄으로써 적합한 사용분야를 찾는 연구가 추가적으로 이루어져야 하겠다.

또한 지금까지 제안된 기법 중 어떤 기법이 본 논문에서 제안한 UDB 와 적합한 기법인 지 연구할 예정이다.

참고문헌

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks", IEEE Communications Magazine, August 2002.
- [2] I. Khemapech, I. Duncan, and A. Miller, "A survey of wireless sensor networks technology", in PGNET, Proceedings of the 6th Annual PostGraduate Symposium on the Convergence of Telecommunications, Networking & Broadcasting, EPSRC, June 2005.
- [3] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks", IEEE INFOCOM 2002, 2002.
- [4] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks", Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences - 2000, 2000.
- [5] A. Cerpa, D. Estrin, "ASCENT: Adaptive Self-Configuring Sensor Networks Topologies", IEEE INFOCOM 2002, 2002.
- [6] B. Chen, K. Jamieson, H. Balakrishnan, and R. Morris, "Span: An Energy-Efficient Coordination Algorithm for Topology Maintenance in Ad Hoc Wireless Networks", In Proceedings of ACM/IEEE Mobicom 2001, 2001.
- [7] 김재현, 김석규, 이재용, "무선 센서 네트워크에서의 에너지 효율성을 고려한 MAC/라우팅 프로토콜", 전자공학회지 제 32 권 제 7 호, 2005 년 7 월.
- [8] J. Lu, T. Suda, "Coverage-aware Self-scheduling in Sensor Networks", IEEE Computer Communications Workshop (CCW 2003), 2003.
- [9] 송영미, 서창수, 고영배, "무선 센서 네트워크에서 에너지 효율성과 전송 지연 최소화를 동시에 고려한 MAC 프로토콜", 한국컴퓨터종합학술대회 2005 논문집, 2005.
- [10] M. A. M. Veiral, C. N. Coelho Jr., D. C. Silva Jr., and J. M. Mata, "Survey on wireless sensor network devices", ETFA '03. IEEE Conference, 2003.
- [11] The Network Simulator, ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>, 2006.