

지중배전선 열화진단을 위한 무선센서네트워크 시뮬레이션 (II) - 클러스터헤드 라우팅 중심으로 -

정경열, 이후락 | 한국기계연구원

1. 서 론

현재 우리나라에서 지중선에 사용되고 있는 지중배전선의 경우 설치 후 설치환경 및 사용조건에 따라 다르지만 6-8년이 경과하면 열화가 발생하며 사고가 발생한다는 많은 절연파괴사고 사례가 보고되어 지고 있다. 근래에 포설한 케이블이라고 할지라도 시공불량 및 기타 열악한 환경에 놓여 있게 되면 단시간에도 사고에 이를 수가 있어 설비 및 수용가의 원활한 전력공급 및 사고의 미연방지를 위해 케이블의 열화상태를 지속적으로 감시할 필요성이 높아지고 있다.

최근 세계적으로 많은 관심과 연구가 진행되고 있는 무선센서네트워크기술과 관련하여 핀란드 헬싱키 대학에서 발표한 논문에서도 배전선의 상태감시를 위해 무선센서를 이용하여 배전시스템을 감시하여 고장신호검출과 고장위치파악에 사용하는 방안을 제시하였다.^[1] 그러나, 전체배전망을 상시감시하기 위해서는 멀티홉 네트워크를 구축해야만 원격지에서 저렴한 비용으로 손쉽게 감시를 할 수 있다. 이 가운데 가장 중요시 여겨지는 것이 라우팅 프로토콜이라고 할 수 있다. 각 응용별로 적합한 라우팅 프로토콜을 찾는 것은 중요하지만 매우 어려운 일이다. 라우팅 프로토콜이 중요시 여겨지는 이유는 전체 네트워크의 QoS에 중대한 영향을 미치기 때문이다. 그러므로 가장 간결하고 강인한 라우팅 알고리즘을 기반으로 하는 응용대상에 맞는 기존 라우팅 프로토콜을 적용하거나 개발해야 한다.

본 연구는 지중배전선을 감시하기 위한 여러 제약조건 내에서 효과적인 무선센서네트워크를 적용하는 단계이다. 최종목표는 지중배전지도를 기반으로 적용 가능한 토폴로지에 기존의 라우팅프로토콜을 분석하고 동일한 적용조건에 따른 실험을 통해 가장 적합한 라우팅프로토콜을 도출하는데 있다. 따라서 본 연구에서는 최근 무선센서네트워크에 제안된 라우팅알고리즘 가운데 가장 많이 보급된 TinyOS^[2] 기반의 응용모델인 Surge에 사용되는 멀티홉 엔진을 기반으로 기존알고리즘과 sink/cluster head 기반 broadcast알고리즘을 TOSSIM^[3]과 분산이벤트 기반의 Ptolemy II^[4]를 연동한 VIPTOS(Visual Ptolemy and TinyOS)^[5]환경에서 시뮬레이션을 수행하고 비교·분석하고자 하였다.

2. 관련연구동향

2.1 무선센서네트워크 라우팅알고리즘 연구동향

대부분의 WSN(Wireless Sensor Network)은 라우팅 알고리즘은 table-driven(proactive), on-demand(reactive) 및 hybrid 방식으로 분류할 수 있다. 전통적인 네트워크 라우팅 알고리즘은 table-driven 방식으로 고정된 네트워크에 주로 사용되고 있다.^[6] 이 방식은 주기적으로 라우팅 테이블을 갱신해줘야 하는 단점이 있지만, 가장 신뢰성이 보장되고 정적인 라우팅 알고리즘에 적합하다.

현재 제안된 알고리즘 중 대표적인 것은 AODV(Ad-hoc On-Demand Distance Vector)^[7], DSR(Dynamic Source Routing)^[8], DSDV(Destination Sequenced Distance Vector)^[9] 및 Direct Diffusion^[10] 등을 들 수 있다. 진술한 알고리즘을 기반으로 무선센서네트워크 환경에 적합하도록 다양한 측면의 연구가 진행되어 오고 있다. AODV와 DSDV는 특정지점으로서의 유니캐스트 라우팅을 위한 디자인으로 TinyOS에 맞게끔 Intel Oregon에서 구현하였고^[11] Direct Diffusion은 UCLA CENS에서 구현하여 Tiny Diffusion 2.0버전으로 공개하고 있다^[12]. 그러나 아직까지 대규모 네트워크를 효율적으로 운영하기 위한 방안으로 cluster 네트워크에 적합한 알고리즘과 프로토콜의 연구가 미진한 상태이다.

본 연구에서는 오픈소스 기반의 플랫폼인 TinyOS를 기반으로 구현된 코드인 Surge응용 프로그램을 이용하여 cluster 네트워크 토폴로지를 이용하여 시뮬레이션 환경을 구축하고 모델을 생성하여 시뮬레이션을 수행하였다.

2.2 센서네트워크 모델링과 시뮬레이션 기술동향

기술적 성숙단계에 접어들고 있는 센서네트워크 분야에 최근 들어 이기종간의 시뮬레이션을 수행할 수 있는 시뮬레이터들이 속속 개발되고 있는 시점이다. TinyOS기반에서 가장 많이 사용되는 시뮬레이터는 TOSSIM이다. TOSSIM은 nesC기반의 언어로 작성된 Mote target코드를 PC상에서 단일네트워크의 인터럽트레벨 분산이벤트 기반 시뮬레이션 수행을 가능하게끔 해준다^{[4],[5]}. 그러나 동일한 프로그램(또는 플랫폼)만을 수행할 수 있으므로 다양한 환경을 구축하여 시뮬레이션을 수행하기에는 부족하다.

그러므로 단일기종 또는 단일네트워크 시뮬레이션의 제한을 해결하기 위해 SensorSim, OPNET, OMNET++, J-Sim, Prowler, Em*, EmTOS, TinyViz 등 무선센서네트워크를 위한 시뮬레이션플랫폼 개발이 다양하게 수행되고 있으나, 각각 제한적인 이용으로 폭넓은 응용에 적용하기는 어려운 실정이다^{[5],[13]}. 상기한 여러 제한사항을 해결하면서 확장성이 용이한 시뮬레이터로 조사한 것은 Ptolemy II기반의 VIPTOS이다. 오픈소스기반의 시뮬레이터로 임베디드 시스템개발 플랫폼을 포함한 각종 프로그래밍 언어지원과 다양한 도메인을 내포하고 관련 연구기관이 산재해 있으므로 많은 발전을 거듭해왔으며, 리눅스 형태와 같이 향후 발전 가능성이 높은 플랫폼이다^{[5],[14]}. 현재까지 버전 1.02까지 릴리즈 되어 멀티홉 라우팅환경을 완벽히 지원해준다.

3. 패킷레벨 라우팅 시뮬레이션

3.1 시뮬레이션 환경구축

TOSSIM과 VIPTOS를 이용하여 무선센서네트워크 시뮬레이션을 위한 환경을 구축하기 위해서는 기본적으로

UNIX계열의 운영체제가 가장 안정적으로 동작할 수 있는 환경을 제공한다. 새로 개발된 도메인인 VIPTOS(version 1.02)는 리눅스환경에서 실행하는 것을 기반으로 개발되었다^[6]. VIPTOS를 이용하여 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 Ptolemy II(version 6.0-develop)를 설치하고 TinyOS-1.x 최신버전을 설치해야한다. 설치 후 CVS업데이트를 통해 최신버전으로 유지해야 한다. 기본적으로 테스트된 리눅스 커널은 레드햇9 기준의 커널에 TinyOS의 TOSSIM과 VIPTOS 구동환경에 필요한 요소들을 설치하여야 한다.

환경구축 확인은 우선 TOSSIM이 정상동작하는 것을 확인하고 Ptolemy내의 JNI(Java Native Interface) test 프로그램을 구동시켜 이상 유·무를 확인해야 한다. 다만, 현재 제공되는 VIPTOS 시뮬레이션 환경은 개발버전이기에 때문에 모든 시뮬레이션 환경을 충족할 만큼 지원되지 않을 수 있으며, 시뮬레이션 가능범위도 제한적일 수 있다. VIPTOS 개발팀에서도 라우팅 시뮬레이션을 좀 더 완벽하게 지원하기 위해서 개발 진행 중으로 알려져 있다^[6].

3.2 멀티홉 라우팅 프로토콜

3.2.1 Surge 응용의 프로토콜 분석

TinyOS를 이용한 가장 보편적인 응용프로그램인 Surge를 이용하여 기초 시뮬레이션을 수행하고자 하였다. Surge 응용은 기본센서를 포함한 mote플랫폼에서 수집할 수 있는 센싱정보와 여러 인자를 포함하여 멀티홉 라우팅을 구성하고 데이터를 수집하는 좋은 예로 들 수 있다. TinyOS 설치 후 별도의 수정 없이 Surge 응용을 컴파일하면 가장 기초적인 멀티홉 라우팅 프로토콜을 이용하여 망을 구성하고 데이터를 송수신한다.

라우팅 방식은 모든 노드들이 랜덤함수를 이용한 시간딜레이를 통해 단순 broadcast를 이용하여 route discovery를 수행하고 Link Estimation and Parent Selection (LEPS) mechanism을 이용해 Sink까지 짧은 거리를 선택하여 라우팅 테이블을 형성하는 방식이다. 메시지는 Tos msg를 기반으로 Multihop 메시지 내에 Surge, RoutePacket, SurgeCmd와 Ident, Bcast 및 SimpleCmd 메시지를 지원한다. Surge에서 사용하는 멀티홉 라우터의 컴포넌트구조는 그림 1과 같다.

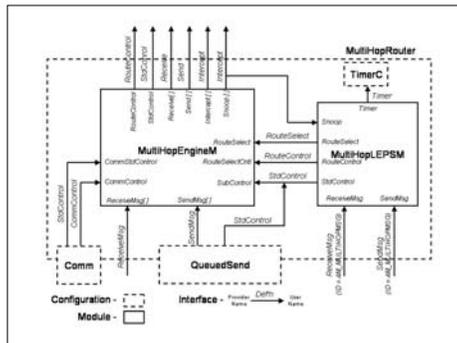


그림 1. TinyOS basic multihop router engine^[15]

3.2.2 제안하는 알고리즘 분석

현재까지 구현되어있는 기본전송 알고리즘은 모든 노드가 라우팅 메시지를 생성하여 각 노드들이 멀티홉 메시지를 통해 라우팅 테이블을 구축하는 형태이다. 반면, directed diffusion의 경우 싱크(Sink)/소스(Source)에서 라우팅 메시지를 보내어 각 노드들이 경로를 구축하여 가장 좋은 경로로 데이터를 송수신하는 방식을 사용하고 있

다. 이 경우 주소 혹은 위치 기준이 아닌 contents 기준 데이터 전송방식에 적합하다. 따라서, 지중배전선의 상태감시와 고장점파악을 위해서는 특정신호를 대상으로하며 주소 혹은 위치기준의 멀티홉 데이터 전송이 이뤄져야한다. 가장 적합한 방안으로는 경로확정을 위한 네트워크 route discovery 메커니즘에는 그 토폴로지에서 가장 빠르고 적은 패킷으로 경로탐색을 마칠 수 있는 알고리즘이 필요하다.

본 연구에서는 적용대상이 cluster구조를 적용하기 좋은 토폴로지의 네트워크 형태로 가정하고 cluster 헤드기반의 broadcast 라우팅 메시지를 생성하여 각 노드의 route discovery를 수행하고 cluster 내의 라우팅 테이블을 생성하여 싱크로 데이터를 송수신하는 알고리즘을 제안하고 기존의 각기 다른 방식과 비교하고자 하였다.

기존 토폴로지와 비교하여 cluster 네트워크의 전제조건은 cluster head는 end node보다 성능 및 에너지 자원 면에서 풍부한 플랫폼으로 가정할 경우에 좀더 효과적인 구조를 가질 수 있다. 제안하는 방식의 경로확정을 위한 각 노드의 동작 흐름도는 그림 2, 그림 3 및 그림 4에 나타내었다.

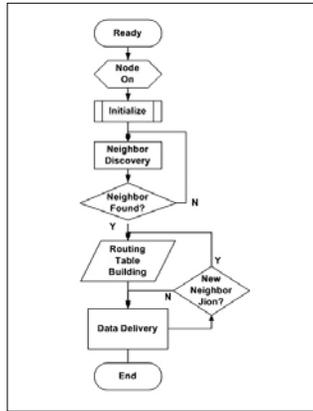


그림 2. Flowchart of sink node based on cluster head broadcast algorithm

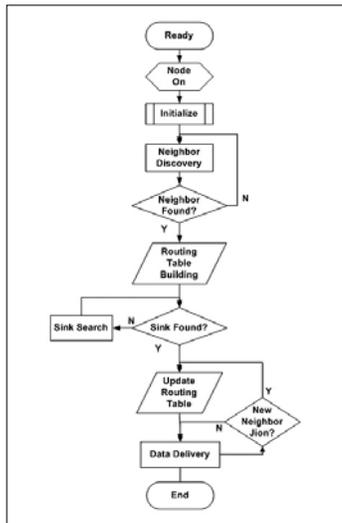


그림 3. Flowchart of cluster head node based on cluster head broadcast algorithm

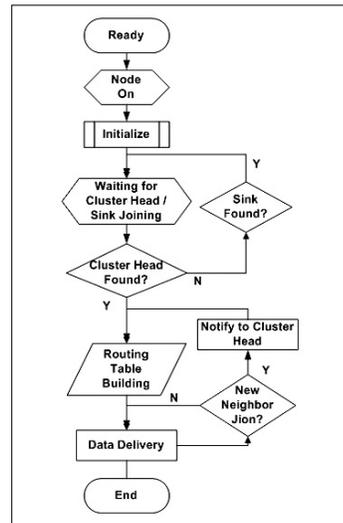


그림 4. Flowchart of end node based on cluster head broadcast algorithm

자세한 동작은 흐름도를 보면 알 수 있듯이 cluster head/sink node가 우선적으로 broadcast 멀티홉 메시지를 이용하여 주변 노드들을 join 시키고 end node는 sink를 발견하면 cluster head에 알리고 데이터를 전송하기 시작한다. 그 전에 cluster는 전체 노드들이 모두 join하여 언제든지 데이터를 전송할 준비를 마치고 있어야 한다.

즉, 모든 노드들이 멀티홉 메시지를 송출하여 발생할 수 있는 혼잡과 패킷손실을 최대한 줄이고 네트워크의 QoS확보에 좀더 가까이 갈 수 있는 방안이라고 할 수 있다. 또한, 각 cluster단위 네트워크는 새로운 sink/end node를 언제든지 받아들여서 유연한 네트워크의 성질을 가질 수 있는 형태로 되어있다.

3.3 패킷레벨 시뮬레이션수행

3.3.1 시뮬레이션 모델생성

패킷레벨의 라우팅 시뮬레이션을 위한 Surge를 VIPTOS모델로 생성하였다. 기본 모델은 그대로 유지하지만, 각 broadcast 주최별로 routing 처리 엔진을 다르게 수정하여 시뮬레이션을 진행하였다. 생성한 Surge의 컴포넌트 연결다이아그램은 그림 5에 나타내었고 시뮬레이션 모델은 그림 6에 나타내었다. 시뮬레이션 모델은 VIPTOS에서 제공하는 MoML(Modeling Markup Language)컨버터 유틸을 이용하여 자동생성된 것이다. 변환과정은 기본 nesC코드를 인식하여 사용할 수 있는 모델로 변환해주는 과정이며 각 모델을 그림 6과 같은 형태로 연결하여 시뮬레이션을 수행하기 위해선 ncapp2muml 유틸을 이용하여 변환해야한다. ncapp2muml과정 또한 ncc컴파일러로 문법과 각기 필요한 컴포넌트 및 라이브러리의 점검이 수행된다.

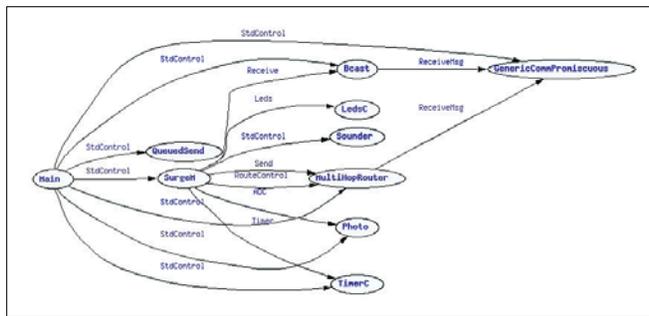


그림 5. Created Surge component wiring diagram

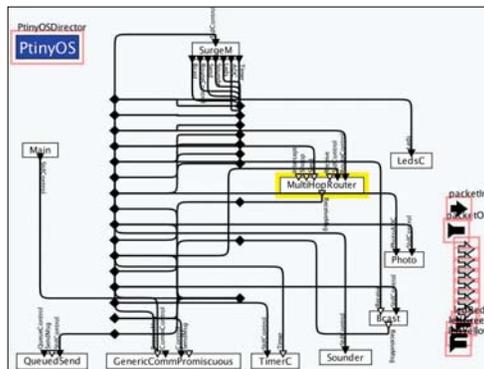


그림 6. Created Surge simulation model

3.3.2 시뮬레이션 수행 및 결과

수행한 시뮬레이션은 트리구조 토폴로지의 시뮬레이션을 수행해 보았다. 시뮬레이션 시간은 시뮬레이터 자체 clock으로 2000time 동안이며 Time Resolution은 1E-6으로 수행하였다. 이는 시뮬레이션을 수행하는 컴퓨터의 하드웨어에 독립적인 결과를 도출 할 수 있게끔 하기 위한 판단으로 설정한 것이다. 시뮬레이션을 위한 메인프로그램 화면은 그림 7에 나타내었다.

시뮬레이션 환경에 있어서 통신채널은 거리제한이 있는 채널을 이용하였다. 거리는 시뮬레이터 상 100이란 값으로 가운데 우측상단의 변수인 range값과 일치한다. 즉, 둥근 원형선이 그 각 노드의 통신가능 범위이다. 그 외에 각 radio 채널은 Surge Visualizer를 통해 각 노드간 패킷을 전달할 수 있도록 되어있다. 이 외의 제약조건은 설정하지 않았으며, 각 모델 모두 동일한 토폴로지로 시뮬레이션을 수행하였다.

성능분석은 정해진 시간 내에 각기 기본적으로 구현된 Broadcast와 데이터 전송주기를 그대로 사용하여 송신하는 패킷을 분석하였다.

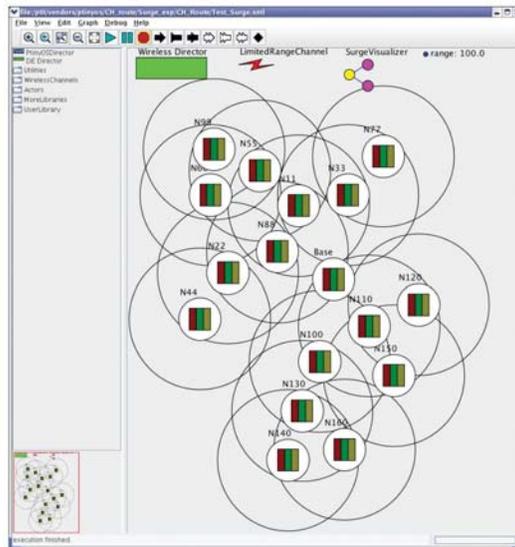


그림 7. Tree structure topology simulation

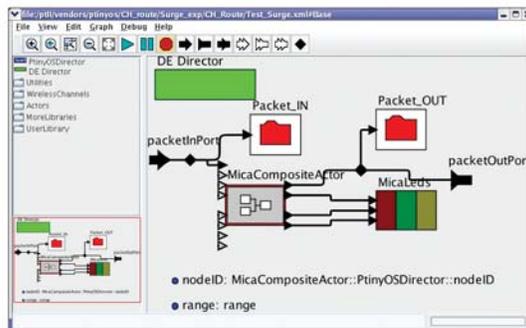


그림 8. Internal Mote Node Structure

그림 8에 나타난 노드내부구조와 마찬가지로 패킷의 데이터 분석 및 저장을 위해 각 통신포트에서 전달되는 패킷을 라인레코드 기능의 컴포넌트를 이용하여 수집하고 텍스트 파일로 저장하였다. 저장한 파일을 이용하여 Root는 수신한 패킷만 계산하고 그 외 노드들은 송신패킷만 계산하여 전체적인 통신량을 비교하였다. 비교한 결과 그 래프를 그림 9에 나타내었다. 기본적인 설정에서 모든 node가 broadcast하는 것이 당연히 많은 것을 알 수 있었으나 sink broadcast와 제안한 방식간 패킷전송 수는 유사하게 나타남을 알 수 있었다.

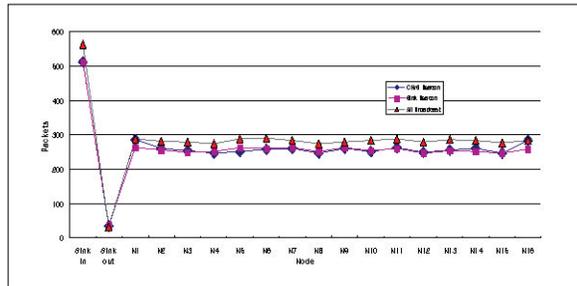


그림 9. Packet simulation results chart

정해진 시간 내에 node전체가 패킷을 송출하는 조건의 시뮬레이션 외에 노드들이 sink까지의 routing table을 확정짓는 시간을 측정하여 그 때 발생된 전체송신패킷과 함께 비교한 결과는 표 1에 나타내었다. 결과를 살펴보면 제안한 알고리즘이 좀더 빠른 시간과 적은 패킷량으로 경로를 확정짓는 것을 알 수 있었다.

표 1. Route determination time results

Broadcaster	Route determination time (Simulation time)	Total packets
All nodes	107.576	104
Sink node	126.216	130
Cluster head/sink node	101.359	103

4. 결론 및 향후 연구방향

특정 대상을 위한 무선센서네트워크 구축에 있어서 가장 중요하다고 여겨지는 라우팅 프로토콜을 살펴보고 구축하고자 하는 토폴로지에 적합한 알고리즘과 프로토콜을 결정하는 것은 매우 어려운 일이지만, 그 응용 대상에 따라 적합한 라우팅 알고리즘과 프로토콜이 있는 것은 알려진 사실이다.

본 연구에서는 지중배전선의 상태감시를 위한 센서네트워크 구축을 목표로 트리구조의 클러스터링 토폴로지 네트워크에 대하여 적용방안을 검토하고자 하였다. 효율적인 네트워크의 구축을 위해 각 프로토콜을 분석하고 효율적인 알고리즘을 적용하는 이진단계로 전력 및 효율에 영향을 가장 크게 미치는 라우팅 알고리즘/프로토콜을 개발하기 위해 기본적인 라우팅 프로토콜의 시뮬레이션 모델을 구현하고 분산이벤트 기반의 패킷레벨 시뮬레이터를 이용하여 제안하는 경로확정 알고리즘의 패킷 라우팅 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과 일반적인 라우팅 알고

리즘을 적용한 프로토콜과 무선센서네트워크에 적합하도록 고안된 라우팅 알고리즘의 성능 차이가 발생하는 것을 확인 할 수 있었다.

향후에는 이를 기반으로 트리구조의 cluster 토폴로지에 알맞은 라우팅 테이블구축 알고리즘과 link estimation 알고리즘을 개발해야 할 것으로 판단된다. 최종적으로 H/W에 포팅하여 필드환경에서 QoS의 적정여부를 확인해야 할 것이다.

❁ 참고 문헌

- [1] Nordman, M.M., Lehtonen, M., "A wireless sensor concept for managing electrical distribution networks", Power Systems Conference and Exposition, 2004. IEEE PES10-13 vol.2, pp.1198-1206, Oct. 2004.
- [2] J. Hill, R. Szewczyk, A. Woo, S. Hollar, D. Culler, and K. Pister, "System architecture directions for networked sensors," in Proceedings of the Ninth International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems. ACM Press, 2000, pp.93?104.
- [3] P. Levis, N. Lee, M. Welsh, and D. Culler, "TOSSIM: accurate and scalable simulation of entire tinyos applications," in Proceedings of the 1st International Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys 2003). ACM Press, 2003, pp.126-137.
- [4] C. Brooks, E. A. Lee, X. Liu, S. Neuendorffer, Y. Zhao, and H. Z. (eds.), "Heterogeneous concurrent modeling and design in Java: Volume 3: Ptolemy II domains", University of California, Berkeley, Tech. Rep. Technical Memorandum UCB/ERL M05/23, July 2005.
- [5] Elaine Cheong, Edward A. Lee, Yang Zhao, "Viptos: A Graphical Development and Simulation Environment for TinyOS-based Wireless Sensor Networks", University of California, Berkeley, Tech. Rep. No. UCB/EECS-2006-15, February 2006.
- [6] Hyun-Seok Lee et al., "Load Balancing Route Discovery Method Based on AODV", Strategic Technology, The 1st International Forum, pp.374-377, Oct. 2006
- [7] C.E. Perkins et al., "Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing," in Proceedings of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, 1999.
- [8] D.B. Johnson et al., "Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks," Mobile Computing, pp.153-181, 1996.
- [9] C.E. Perkins, and P. Bhagwat, "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers", Comp. Comm. Rev., pp. 234-244, Oct. 1994.
- [10] Chalermek Intanagonwiwat et al., "Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking", IEEE/ACM TRANSACTIONS ON NETWORKING, VOL. 11, NO. 1, FEBRUARY 2003, pp.2-16.
- [11] Philip Levis et al., "The Emergence of Networking Abstractions and Techniques in TinyOS", First Symposium on Network Systems Design and Implementation, NSDI'04, Mar. 2004.
- [12] <http://www.cens.ucla.edu/~eoster/tinydiff/>

- [13] Lewis Girod et al., “A system for simulation, emulation, and deployment of heterogeneous sensor networks”, Conference On Embedded Networked Sensor Systems, Proceedings of the 2nd international conference on Embedded networked sensor systems, pp.201–213, 2004.
- [14] 김태호, “재설정 가능하며 이중성을 지원하는 Ptolemy 기반의 하드웨어 설계: 검증과 합성”, KOSEN Expert Review, <http://www.kosen21.org/>, 2005.
- [15] http://www.tinyos.net/tinyos-1.x/doc/multihop/multihop_routing.html



정 경 열

- 한국기계연구원 에너지기계연구센터 책임연구원
- 관심분야 : 초소형 무선에너지 전달, 센서네트워크, ppb level 계측 · 제어
- E-mail : kychung@kimm.re.kr



이 후 락

- 한국기계연구원 에너지기계연구센터 위촉연구원
- 관심분야 : N전기 · 전자 계측 및 제어, System on a chip
- E-mail : lhr@kimm.re.kr