

전기설비 코로나방전 감시 무선센서네트워크 최적화 연구

정경열 | 한국기계연구원

[요약문]

본 연구는 현재 전기설비 가운데 주요부위의 절연상태를 지속적으로 감시하기 위한 여러 제약조건 내에서 효과적인 무선센서네트워크를 적용하는 것이다. 따라서 본 연구에서는 전기설비에서 발생하는 여러 환경인자 가운데 일정량의 노화(열화)가 진행되었을 때 발생할 수 있는 공기 중 전기 코로나방전을 감시하고 그와 관련된 환경인자를 지속적으로 감시하기 위한 네트워크로 무선센서네트워크를 조사하고 적용대상에 맞는 네트워크 알고리즘을 분석하였다. 선정된 방식의 라우팅 알고리즘을 유사한 방식을 사용하는 알고리즘과 동일한 조건에서 시뮬레이션을 수행한 결과 가장 적합하다고 판단되는 LEACH-C 라우팅 알고리즘을 확인할 수 있었다.

1. 머리말

오늘날 전력시스템 감시/진단기술에 있어서 사고예방효과는 높이면서 비용과 노력은 적게 들 수 있는 방법으로 알람기능을 수행할 수 있는 저가의 소형 센서를 다량으로 배치하여 운용하며 수집된 데이터를 중앙 또는 분산 시스템으로 전송하여 감시할 수 있도록 시스템을 구축하는 방안들이 고려되고 있다. 저비용으로 소형센서를 다량배치/운용하기에 가장 적합한 방안으로 무선센서네트워크에 대한 연구·개발이 다양한 측면에서 이루어지고 있다. 무선센서네트워크는 사람이 접근하기 힘든 장소에서의 상시 모니터링을 효과적으로 수행할 수 있도록 해준다. 그러나 효율적인 이용을 하기 위해서 단순한 점대점(Point-to-Point)네트워크는 많은 이점을 가져다주지 못한다. 네트워크의 유연성과 토폴로지구성 등의 제약이 따르며 통신확장을 위한 추가배선은 여러 측면에서 부가비용이 많이 발생하기 때문이다.

점대점 통신방식의 제약을 줄이기 위해 다중홉(Multi-hop)방식의 네트워크 프로토콜이 수많은 연구를 통해 개발되고 개선되어지고 있다. 기존에 수행되는 대부분의 무선네트워크 연구는 이동단말기나 무선랜을 대상으로 하는 MANET(Mobile Ad-hoc NETWORKS)워킹그룹에서 다양한 라우팅알고리즘에 대한 연구결과를 표준으로 제안하고 있다. 다만, 무선센서네트워크에 바로 적용시키는 것은 적합하지 않으므로 적용대상의 조건을 고려하여 다양한 실험을 통해 적합성 여부를 판단해야한다¹⁾.

본 연구는 현재 전기설비 가운데 주요부위의 절연상태를 지속적으로 감시하기 위한 여러 제약조건 내에서 효과적인 무선센서네트워크를 적용하는 것이다. 대부분의 무선센서네트워크는 배선설치가 어렵거나 임시적으로 일정기간 동안 사용하기 위한 목적으로 이용된다. 그러한 목적에 맞도록 사용전원은 주로 배터리를 이용하여 전력소모를 최소화 하면서 동시에 노드간 데이터의 신뢰성을 높여야 한다. 두가지 목표를 동시에 만족하려면 감시대상에 최적화된 노드배치와 노드간의 효율적인 통신경로를 확보해야한다. 특정 전기설비의 단위 감시에 있어서 효율적인 통신경로 확보를 위한 노드구성 형태는 클러스터 단위 구성으로 조사되었다.

따라서 클러스터 단위로 구성된 네트워크에 적합한 라우팅알고리즘을 조사하고 적용대상 환경에 적합한 알고리즘들을 대상으로 시뮬레이션을 수행하고 특징을 분석하고자 하였다.



2. 관련연구동향

2.1 무선센서네트워크 라우팅프로토콜 개발동향

많은 제약사항과 특징을 가지는 무선센서네트워크에 적합한 라우팅 알고리즘의 개발은 최근 들어 활발히 진행되고 있다. 현재 제안된 알고리즘 중 대표적인 것은 AODV(Ad-hoc On-Demand Distance Vector)^[2], DSR(Dynamic Source Routing)^[3], DSDV(Destination Sequenced Distance Vector)^[4] 및 Direct Diffusion^[5]을 들 수 있다.

상기한 알고리즘은 각기 다른 특징을 가지고 있다. 각각의 특징에 따른 적합한 환경의 특정 토폴로지 및 센서동작 특성에서는 최적의 효율을 가져올 수 있다. 예를 들면 센서네트워크가 Proactive로 동작하는지 Reactive로 동작하는 지에 따라서 많은 차이를 보일 수 있다. 적용대상에 효과적인 프로토콜을 개발하기 위해서는 각 라우팅알고리즘의 특징을 여전에 맞게 고려하여 다양한 조건의 모델링과 시뮬레이션, 에뮬레이션이 필요하다.

상기한 알고리즘을 기반으로 무선센서네트워크 환경에 적합하도록 다양한 측면의 연구가 진행되고 있다. AODV와 DSDV는 특정지점으로서의 유니캐스트 라우팅을 위한 디자인으로 TinyOS에 맞게끔 Intel Oregon에서 구현하였고^[6] Direct Diffusion은 UCLA CENS에서 구현하여 Tiny Diffusion 2.0버전으로 공개하고 있다^[7]. 계층기반 라우팅(hierarchical based routing) 기법인 LEACH^[8](Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)는 미국 MIT에서 uAMPS(u-Adaptive Multi-domain Power aware Sensors) 프로젝트를 통해 개발하였다.

본 연구에서는 확장성이 뛰어나고 에너지 효율면에서 우수한 계층적 라우팅 알고리즘 가운데 가장 대표적인 LEACH 알고리즘을 대상으로 유사한 알고리즘과 동일한 조건으로 비교 시뮬레이션을 통해 적합성을 파악하고자 시뮬레이션 환경을 구축하고 모델을 생성하여 시뮬레이션을 수행하였다.

2.2 센서네트워크 모델링과 시뮬레이션 기술동향

센서네트워크뿐만 아니라 대부분의 산업기술개발에 있어서 그 가치와 효율을 판명하는데 필요한 비용을 최소화하고자 많은 사람들이 현실과 유사한 가상공간시스템을 구축하여 개발하고자 하는 목표기술의 시뮬레이션을 수행하고 직·간접적으로 분석 및 평가하여 개선사항을 도출한 후 현장에 적용한다.

시뮬레이션을 위한 모델링 기술은 상당히 오래전부터 연구되어왔으며 학문적 위치를 갖추고 있다. 이는 현실세계를 수학적으로 변형하여 많은 과학기술개발에 이용되어왔기 때문일 것이다. 이를 토대로 센서네트워크에서의 환경인자나 하드웨어 및 소프트웨어 모델을 추출하여 다양한 방법으로 시뮬레이션을 수행하고 있다.

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^{[9], [10]}. 상기한 여러 제한사항을 해결하면서 현실세계와 가장 가깝게 복잡한 조건을 설정하고 실제 구동되는 메커니즘을 확인할 수 있는 시뮬레이터로 ns-2^[11]를 사용할 수 있다.

네트워크 시뮬레이터인 ns-2는 UNIX 및 LINUX 환경에서 최적으로 구동되고 유무선 네트워크 모두 가능하다. ns-2는 LBNL(Lawrence Berkeley National Laboratory), Xerox PARC, UCB 및 USC/ISI 등의 기관들이 VINT(Virtual InterNetwork Testbed)라는 프로젝트를 통하여 지속적인 연구개발 작업이 추진되고 있다^[12]. VINT는 기존 네트워크 프로토콜 및 미래의 네트워크 프로토콜에 대한 연구개발을 도울 수 있는 새로운 네트워크 시뮬레이터를 개발하는 것을 목표로 하고 있다.

3. ns-2를 이용한 라우팅 시뮬레이션

3.1 시뮬레이션 환경구축

ns-2를 이용하여 무선센서네트워크 시뮬레이션을 위한 환경을 구축하기 위해서는 기본적으로 UNIX기반의 플랫폼이 필요하다. 본 연구에서는 LINUX 커널 기반의 ubuntu 9.04 운영체제 기반으로 ns-2.27버전과 uAMPS에서 제공하는 LEACH를 설치하였다. 설치한 시뮬레이터는 그림 1에 나타난 구조와 같은 형태로 설치되며 LEACH 코드와 관련 실행 파일은 ns-2 디렉토리 하위에 설치된다.

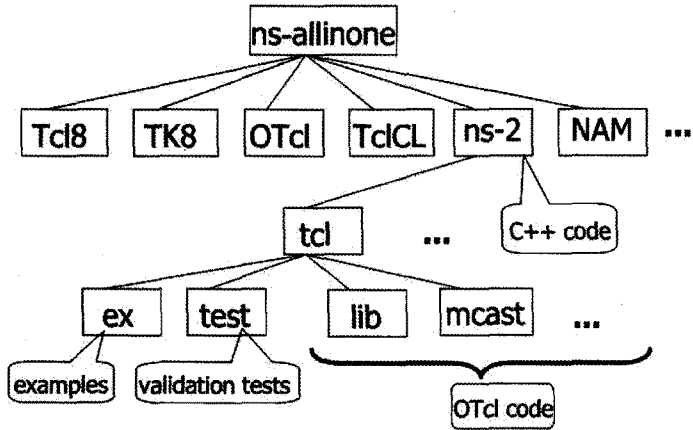


그림 1. ns-2 디렉토리 구조

ns-2 시뮬레이터는 이벤트 기반 방식의 시뮬레이터로 사용자가 미리 지정한 시뮬레이션 시간 동안만 스케줄러가 특정 이벤트를 실행한다. 다만 ns-2 시뮬레이터는 단일 스레드로 구현되었기 때문에 미리 설정된 시간 동안 하나의 이벤트만을 처리하므로 동시에 이벤트가 발생하도록 설정한 이벤트는 먼저 스케줄링된 이벤트를 우선 처리한다. 이벤트 스케줄러는 그림 2와 같은 구성요소 구조다이어그램과 같이 각각의 요소들과 결합되어 운영된다.

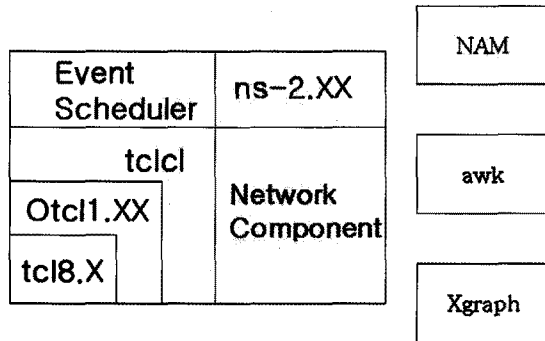


그림 2. ns-2 elements structure diagram

3.2 대상 라우팅 프로토콜 분석

무선센서네트워크 어플리케이션에 있어서 군사목적 또는 특수한 상황에 긴급히 랜덤하게 배치하여 사용하는 경



우를 제외하고는 대부분의 노드 배치는 감시대상의 상태를 감지하는데 최적화된 위치를 고려하여 설치한다. 설치된 노드들은 각 노드 간 수집된 정보를 전달하여 목적 노드인 싱크노드에 최종전달하는 기본적인 메커니즘을 가진다.

본 연구의 어플리케이션은 특정 전기설비에 대한 단위 감시를 목적과 광역감시 목적을 모두 수용할 수 있어야 하므로 클러스터 단위의 계층적 라우팅 구조가 적합하다. 클러스터 단위 계층적 라우팅 구조의 기본 구조는 그림 3에 나타내었다. 그림에서 CH는 클러스터헤드를 의미하고 S는 싱크노드를 의미한다.

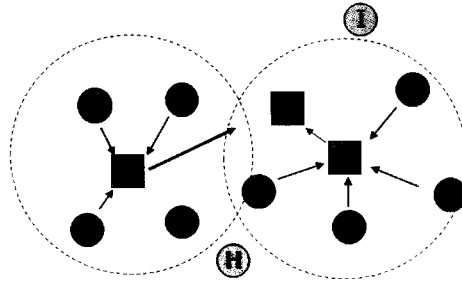


그림 3. 클러스터 단위 계층적 라우팅 구조 다이어그램

클러스터 구조로 동작하는 저전력 라우팅 알고리즘인 LEACH의 동작은 그림 4와 같다. 클러스터 헤드를 선출하고 클러스터링을 하는 구간이 Set-up이고 이후에 Steady-state에서 수집된 메시지 전송을 실시한다. 이러한 전체 과정을 하나의 라운드로 정의하고 각 라운드 종료시 클러스터 헤드를 다시 선출하고 클러스터링을 실시한다. 각 프레임은 해당 노드별 전송스케줄을 의미한다. 클러스터 헤드를 선출하는 방법은 노드가운데 몇가지 특성변수를 가지고 판별하는데 가장 큰 변수가 잔량에너지이며, 클러스터링 구성은 클러스터 헤드의 라디오 신호 범위가 닿는 노드까지이다.



그림 4. 시간 흐름에 따른 LEACH 동작 구조

3.3 계층적 클러스터 구조 라우팅 알고리즘 비교 시뮬레이션

계층적인 클러스터 구조를 갖는 정적클러스터 알고리즘 Stat-cluster, 싱크노드에서 클러스터링을 조절하는 LEACH-C와 각 클러스터 헤드가 조절하는 LEACH를 비교실험 하였다. 시뮬레이션을 위한 네트워크 토폴로지는 그림 5와 같다. 구성된 토폴로지는 특정 지형이나 시설을 대상으로 설정한 것이 아니고 랜덤하게 생성해주는 토폴로지 생성기를 통해 추출된 것이며 싱크노드인 BS노드만 (Y : 5, X : 17.5) 위치하도록 설정하였다. 클러스터헤드는 설치대상 설비에 태양전지 모듈 등을 이용한 전원공급장치를 고려하여 10개의 클러스터에 클러스터헤드 역할을 담당할 수 있도록 표 1과 같이 초기 에너지 값을 일반노드의 100 배인 200

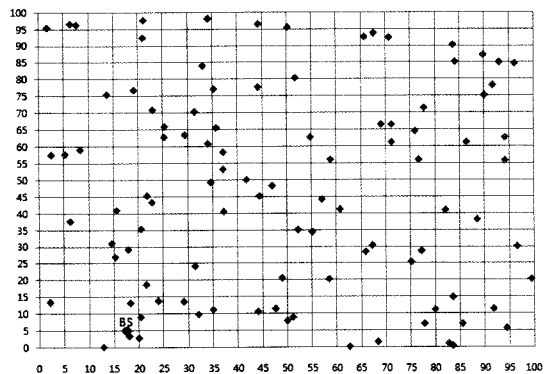


그림 5. 싱크노드인 BS와 100개 노드 구성 토폴로지

으로 설정하여 구성하였다. 싱크노드인 BS는 상시전원을 이용하는 것으로 가정하여 에너지 소모를 별도로 측정하지 않았다. 전체 시뮬레이션 시간은 시뮬레이터 시간으로 3,600 time으로 수행하였다.

표 1. 클러스터헤드 역할용 고레벨 에너지 노드 배치

노드 번호	X 좌표	Y 좌표
8	94.45503554	5.782328968
12	94.22042262	62.64305355
19	94.18431800	55.83255675
22	67.29520074	30.43875319
34	68.35257372	1.706558513
55	13.70116585	75.49438061
72	91.76998743	78.17880394
83	86.43787014	61.28338695
87	71.18858270	66.50942828
97	5.245300338	57.76278500

배치된 고레벨 에너지 노드는 클러스터 헤드 선출시에 헤드로 선출되어 종료시까지 동작하게 된다. 각 알고리즘별 시뮬레이션의 에너지 모델은 아래와 같은 변수를 동일하게 사용하여 동작하게 된다.

- RXThresh = $6e-9$
- CSThresh = $1e-9$
- Rb = $1e6$
- Excvr = $50e-9$
- Efriss_amp = $9.6741659015025702e-12$
- Etwo_ray_amp = $1.3037037037037037e-15$
- Ebf = $5e-9$

시뮬레이션 결과는 그림 6, 그림 7과 그림 8에 나타내었다.

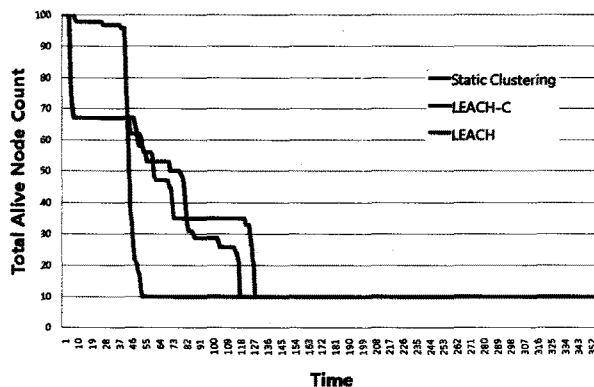


그림 6. 시간경과에 따른 총 동작 노드 개수

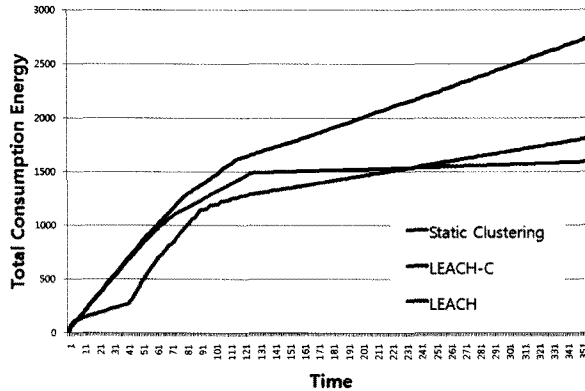


그림 7. 시간경과에 따른 총 소비 에너지

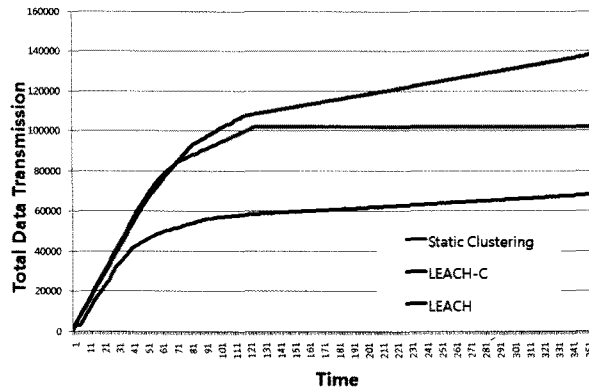


그림 8. 시간경과에 따른 총 전송 데이터 량

시뮬레이션 결과로 우선 시뮬레이션이 진행되는 동안 클러스터 헤드 역할을 하게 되는 10개의 고레벨 에너지 노드를 제외한 나머지 노드들이 동작 가능한 시점을 확인하였다. 일반적인 LEACH 알고리즘으로는 대부분의 노드가 55시간을(시뮬레이션 상 550 Second) 넘지 못하고 에너지가 고갈되었으며, 그 다음으로 LEACH-C가 118시간이고 Static Clustering이 약 130시간까지 동작하는 것을 알 수 있었다.

따라서 나머지 결과를 확인할 때 이 시점을 기준으로 비교한 결과 LEACH-C가 전반적인 성능의 우수함을 나타낼 수 있었다.

4. 결론 및 향후 연구방향

전기설비를 비롯한 사회 기반시설의 안전확보와 품질향상을 위해 여러 방법의 기술개발이 이루어지고 있으며, 개발한 신제품의 제작한 부품과 설비가 올바르게 동작되는지의 여부와 설치에서 정비시점까지 전반적인 이력관리와 상태감시를 위해 다양한 방식의 온·오프라인 감시가 이루어지고 있다. 중요한 설비의 경우 여러 위치에서 다양한 환경인자를 감시하고 환경인자의 변화와 상태를 감시하는데 무선센서네트워크 기술이 점차 확대 적용되어 가고 있는 추세이다.

따라서 본 연구에서는 전기설비에서 발생하는 여러 환경인자 가운데 일정량의 노화(열화)가 진행되었을 때 발생할 수 있는 공기 중 전기 코로나방전을 감시하고 그와 관련된 환경인자를 지속적으로 감시하기 위한 네트워크로 무선센서네트워크를 조사하고 적용대상에 맞는 네트워크 알고리즘을 분석하였다. 선정된 방식의 라우팅 알고리즘을 유사한 방식을 사용하는 알고리즘과 동일한 조건에서 시뮬레이션을 수행한 결과 가장 적합하다고 판단되는 LEACH-C 라우팅 알고리즘을 확인할 수 있었다.

향후 좀 더 성능향상을 위한 세부 프로토콜과 확장성이 용이한 알고리즘으로 개선하여 지속적인 현장 시험을 수행해 그 성능과 신뢰성을 확보해야 할 것이다.

❖ 참고 문헌

- [1] 배정숙, 김성희, “무선 센서 네트워크에서의 라우팅 프로토콜”, <http://kidbs.itfind.or.kr/WZIN/jugidong/1140/114001.htm>, 2004.
- [2] 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.
- [3] D.B. Johnson et al., “Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks,” *Mobile Computing*, 1996, pp.153-181.
- [4] 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.
- [5] Chalermek Intanagonwiwat et al., “Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking”, *IEEE/ACM TRANSACTIONS ON NETWORKING*, VOL. 11, NO. 1, FEBRUARY 2003, pp.2-16.
- [6] 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.
- [7] <http://www.cens.ucla.edu/~eoster/tinydiff/>
- [8] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, “An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks,” *Proc. of the IEEE Wireless Communications*, vol. 1, pp. 660-670, Oct. 2002.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] UCB/LBNL/VINT Network Simulator -- ns. <http://www--mash.cs.berkeley.edu/ns/>
- [12] Virtual InterNetwork Testbed (VINT), <http://netweb.usc.edu/vint/>



정 경 열

- 한국기계연구원 그린환경에너지계연구본부
플랜트안전신뢰성연구실 책임연구원
- 관심분야 : IT융합기술, 에너지플랜트
- E-mail : kychung@kimm.re.kr

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로
한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.
(No. R-2007-1-156)