

# Dual Radio Wireless Sensor Network 를 위한 하이브리드 라우팅 프로토콜

안원빈, 이승국, 박은우, 임상민, 문수훈, 한승재  
연세대학교 컴퓨터과학과

e-mail : fsignx@gmail.com, losari8@nate.com, silverained@yonsei.ac.kr, daum-lsm@hanmail.net,  
nisti@cs.yonsei.ac.kr, sjhan@cs.yonsei.ac.kr

## Hybrid Routing Protocol for Dual Radio Wireless Sensor Network

Won-bin Ahn, Seung-kook Lee, Eun-woo Park, Sang-min Lim, Soo-hoon Moon, Seung-jae Han  
Dept. of Computer Science, Yonsei University

### 요 약

무선 센서 네트워크의 규모가 커짐에 따라 대규모의 센서 네트워크의 활용에 대한 기대가 커지고 있다. 기존 IEEE 802.15.4 를 이용한 네트워크의 규모에 따른 한계를 극복하기 위해 듀얼 라디오 센서 네트워크에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 듀얼 라디오 센서 네트워크는 단일 라디오를 내장한 전통적인 센서 노드(싱글 라디오 노드)에 듀얼 라디오 인터페이스(IEEE 802.11g, IEEE 802.15.4)를 내장한 센서(듀얼 라디오 노드)를 포함하여 클러스터를 구성한다. 본 논문에서는 이러한 듀얼 라디오 환경에서 효과적으로 동작하는 라우팅 프로토콜을 제안한다. 듀얼 라디오 노드는 네트워크 상에서 클러스터 헤드 역할을 하고 상위 계층을 이루며, 일반 노드는 클러스터 멤버 역할을 하는 하위 계층을 이룬다. 본 논문에서는 각 계층의 네트워크가 나타내는 특징을 이동성이 적거나 높은 네트워크의 특징으로 대입하여, 상위 계층에는 Pro-Active 프로토콜, 하위 계층에는 Re-active 프로토콜이 효과적임을 설명한다. 이를 바탕으로 듀얼 라디오 센서 네트워크에 적합한 라우팅 프로토콜로써 Pro-Active 프로토콜을 대표하는 DSDV 와 Re-Active 프로토콜을 대표하는 AODV 를 조합한 하이브리드 라우팅 프로토콜을 제안한다. 제안한 프로토콜의 성능을 확인하기 위해 센서네트워크 테스트베드를 구성하여 라우팅 복구 시간과 패킷 전송 안정성에 대한 성능을 입증한다.

### 1. 서론

센서 및 통신 네트워크 기술의 발전과 함께 다양한 목적을 위한 무선 센서 네트워크와 관련된 연구들이 활발히 진행 되어 왔다. 특히 최근에는 센서들의 크기가 점점 작아지고, 생산 비용이 낮아지면서 센서 네트워크에 많은 수의 센서 노드를 활용하기 용이해졌다. 이에 따라 광범위한 자연 환경에서의 다양한 현상을 감시하는 등 규모가 극대화 된 센서 네트워크의 이용과 수요도 점차 증가하고 있다.

이렇게 큰 규모의 센서 네트워크에서는 경우에 따라 수천에서 수만 개 규모의 센서 노드를 운용하게 된다. 센서 네트워크의 규모가 커질 경우 센서 노드에서 싱크 노드로의 거리가 멀어지고, 운용되는 센서 노드의 숫자가 많아져 에너지 소모의 불균형으로 인한 네트워크 수명의 단축과 효율적인 라우팅의 복잡성이 증가하는 등 많은 문제가 발생된다. 이에 대한 해결 방안으로, 각 센서들을 서로 다른 클러스터로 나누고 클러스터 외부와의 통신은 각 클러스터에 유일하게 존재하는 클러스터 헤드간에만 통신을 하도록

만든 클러스터 구조가 제시되어 많은 연구가 진행되어왔다. 특히 최근에는 각 클러스터간 통신의 효율성을 높이기 위해 클러스터 헤드간의 통신에는 IEEE 802.11g 와 같은 고속 및 광범위 통신이 가능한 무선 인터페이스를 사용하는 듀얼 라디오 무선 센서 네트워크에 대한 관심도가 높아지고 있다.

그러나 이와 같은 듀얼 라디오 센서 네트워크를 위한 라우팅 프로토콜은 아직 제안된 바 없으며, 기존의 MANET(Mobile Ad-hoc Network) 및 싱글 라디오 센서 네트워크에서 쓰이던 라우팅 프로토콜을 그대로 차용하는 경우가 대부분이다. 기존의 싱글 라디오 인터페이스만을 이용하였던 네트워크 환경과 듀얼 라디오를 이용한 네트워크 환경은 네트워크 인터페이스의 에너지 소모율과 전송 거리 등 많은 차이가 존재하기 때문에 기존 프로토콜을 그대로 사용할 경우 듀얼 라디오의 성능을 극대화 시킬 수 없다. 따라서 듀얼 라디오 무선 센서 네트워크 환경의 특징을 잘 활용할 수 있는 새로운 라우팅 프로토콜을 개발할 필요가 있다.

듀얼 라디오 무선 센서 네트워크는 일반적인 클러스터 구조를 이용한 싱글 라디오 무선 센서 네트워크와 같이, 클러스터 내부에서의 통신이 이루어지는 하위 계층에서는 기존의 센서 라디오 인터페이스를 활용한다. 그러나 클러스터간 통신이 이루어지는 상위 계층에서는 고성능의 라디오 인터페이스를 이용하여 클러스터 간의 긴 전송 거리와 많은 데이터 양을 효율적으로 전송한다. 이러한 각 계층에서 이루어지는 데이터 전송 특성의 차이점에 착안하여, 상위 계층에는 DSDV를 적용하고, 하위 계층에는 AODV를 적용하는 하이브리드 방식의 프로토콜을 제안한다. 이 논문에서는 제안한 하이브리드 프로토콜이 구체적으로 어떤 이점이 있는지 분석하고, 실제 테스트베드 구현 및 실험을 통하여 그 성능을 증명한다.

## 2. 본론

### 2.1 듀얼 라디오 센서 네트워크 환경

본 논문에서 제안하는 라우팅 프로토콜을 위한 듀얼 라디오 센서 네트워크의 환경은 다음과 같다. 네트워크는 클러스터 내부에서 데이터를 수집하는 하위 계층과, 클러스터간 데이터 전송을 통하여 최종적으로 싱크 노드로 도달하게 하는 상위 계층으로 이루어진 전통적인 2 계층 클러스터 구조를 갖는다. 센서 네트워크에서 클러스터 구조는 에너지 효율성과 센서 노드 관리의 용이성을 위하여 전통적으로 널리 사용되어온 구조이다. 각 클러스터는 1 개의 클러스터 헤드와 나머지 클러스터 멤버로 이루어진다. 클러스터 멤버를 이루는 센서 노드는 IEEE 802.15.4와 같은 저속 라디오 인터페이스를 내장한 싱글 라디오 노드이며, 클러스터 헤드는 여기에 IEEE 802.11g와 같은 고속 라디오 인터페이스가 추가된 듀얼 라디오 노드이다. 각 센서는 주기적으로 데이터가 발생하여 클러스터 헤드로 데이터를 전송하며, 클러스터 헤드는 받은 데이터를 싱크로 전송하기 위해 클러스터간 통신을 수행한다. 이때, 각 센서에서 클러스터 헤드로의 전송은 클러스터 멤버가 가진 저속 라디오 인터페이스를 통해 이루어지며, 클러스터간 통신은 클러스터 헤드가 가진 고속 라디오 인터페이스를 통해 이루어진다.

### 2.2 클러스터 계층별 특성

고속의 라디오 인터페이스로 통신하는 상위 계층의 클러스터 헤드는 인접한 클러스터로부터의 데이터를 싱크 노드 혹은 싱크 노드와 가까운 클러스터에게 전송하므로 네트워크 상에서 일종의 인프라 역할을 수행한다. 상위 계층의 노드는 많은 양의 데이터를 상대적으로 먼 거리 사이를 전송하며 이에 따라 소모되는 전력의 양이 하위 계층의 노드보다 훨씬 많게 된다. 또한 상위 계층의 노드는 각각 많은 하위 계층의 노드를 관리하는 클러스터 헤드 역할을 수행하므로, 에너지가 소진되어 동작하지 못할 경우 전체 네트워

크의 통신 성능에 막대한 영향을 끼칠 수 있다. 따라서 본 논문에서는 네트워크의 상위 계층 노드에 대한 전력 공급이 충분하여 전력 문제로 인한 노드 실패가 거의 없다고 가정한다. 또한 네트워크에서 새로운 클러스터의 추가 및 삭제는 이루어지지 않는다고 가정한다. 이러한 특징에서 볼 때, 듀얼 라디오 센서 네트워크의 상위 계층은 일반적인 MANET 환경에서 각 노드의 이동성이 극단적으로 작은 상태의 네트워크로 간주할 수 있다.

반면 저속 라디오 인터페이스로 데이터를 전송하는 하위 계층 노드는 노드의 에너지가 소진되어도 네트워크에 주는 영향이 상위 계층의 노드에 비해 상대적으로 적으므로 내장된 배터리에서 전력을 공급받으며, 노드의 에너지가 소진될 경우 해당 노드와의 통신은 일어날 수 없게 된다. 또한 하위 계층의 노드는 상위 계층에 비해 상대적으로 높은 노드 밀도를 보이며, 이는 노드간 전송이 이루어질 때의 간섭이 심해질 수 있음을 나타낸다. 위와 같은 특성은 상위 계층의 노드와 비교할 때 하위 계층의 노드가 더 잦은 라우팅 경로 수정을 필요로 함을 의미한다. 이는 듀얼 라디오 센서 네트워크의 하위 계층은 MANET 환경에서 각 노드의 이동성이 높은 상태의 네트워크와 매우 유사하다고 볼 수 있다.

### 2.3 하이브리드 라우팅 프로토콜

기존의 MANET 환경에서 쓰이고 있는 라우팅 프로토콜 중 가장 대표적인 것으로 DSDV(Destination Sequenced Distance Vector)와 AODV(Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing)를 들 수 있다[1][2]. DSDV는 각 노드에 대한 경로 정보를 능동적으로 관리하여 현재 상태에서 데이터를 전송할 다음 경로에 대한 정보를 항상 가지고 있으므로, 데이터 전송 요청이 들어올 때 라우팅 경로 탐색 시간이 없다는 장점이 있다. 그러나 모든 노드가 항상 작동 중이어야 하므로 지속적으로 전원이 공급되어야 하고, 테이블 갱신 메시지가 주기적으로 발생함으로 직접적인 데이터 송신과 관련 없는 오버헤드가 발생할 가능성이 높다. 이는 전체 네트워크 망의 송신 효율성을 떨어뜨리고, 배터리의 소모를 크게 한다. AODV는 On-Demand 방식이면서, 목적지까지의 최단경로를 테이블을 이용해 유지한다. 또한 경로 탐색을 요청하는 패킷 안에 경로의 전체 리스트를 포함하지 않는다. 따라서 라우팅과 관련 되는 패킷 오버헤드를 크게 줄일 수 있는 장점이 있지만, 네트워크의 규모가 커질수록 데이터를 보내기 위해 라우팅 경로를 찾는 지연시간이 매우 길어진다는 단점이 있다.

우리는 위에서 설명한 기존의 라우팅 프로토콜이 듀얼 라디오 센서 네트워크의 각 계층이 갖는 특성에 효과적으로 적용될 수 있는 경우를 판별하고, 각 계층별로 효과적으로 동작되는 라우팅 프로토콜을 조합한 하이브리드 라우팅 프로토콜을 제안한다. 먼저 이



(그림 1) 듀얼 라디오 센서 네트워크 구성

동성에 따른 여러 라우팅 프로토콜의 성능을 확인 해 보았을 때, 이동성이 낮을 때의 평균 전송 지연 시간은 DSDV 를 이용할 때 가장 짧았다. 또한 전송하는 패킷의 양이 많고, 이동성이 낮을 때 DSDV 에서 가장 우수한 처리량을 보여주었다[3]. 듀얼 라디오 센서 네트워크의 상위 계층은 하위 계층에서 전송하는 데이터를 모아 보내는 역할을 하므로 각 노드가 전송하는 패킷의 양이 많다. 따라서 DSDV 의 이 같은 특징들은 듀얼 라디오 센서네트워크의 상위 계층에 적합한 라우팅 프로토콜이라 볼 수 있다.

반면 이동성이 높아질수록 평균 전송 지연시간은 AODV 가 앞선다[3]. 또한 대부분의 경우에서 AODV 는 DSDV 보다 적은 전력소모를 유발한다[4]. 일반적인 MANET 환경에서는 이동성이 높아짐에 따라 패킷 손실이 많아지는 현상이 있다[3]. 그러나 센서 네트워크에서는 실제 노드가 움직이는 것은 아니므로 이러한 현상이 발생하지는 않을 것이다. 이와 같은 사실을 종합하여 보았을 때, 듀얼 라디오 센서 네트워크의 하위 계층에서는 AODV 가 적합한 라우팅 프로토콜이라 할 수 있다.

## 2.4 구현

제안한 듀얼 라디오 센서 네트워크에서의 하이브리드 라우팅 프로토콜의 성능을 평가하기 위해 테스트베드를 구성하였다. 테스트베드 구성을 위해 4 개의 듀얼 라디오 노드와 16 개의 싱글 라디오 노드가 사용되었다. 상위 계층의 듀얼 라디오 노드는 HYBUS 사의 xhyper 320WN 을 사용하였으며, 장비의 구동을 위한 OS 는 리눅스가 사용되었다. 하위 계층의 싱글 라디오 노드는 Crossbow 사의 Telos rev.B(이하 tmote) 를 사용하였다. tmote 의 운용을 위한 OS 로써 한국 전자 통신 연구원 (Electronics and Telecommunications Research Institute, ETRI)에서 개발한 Nano Qplus 를 사용하였다[5].

듀얼 라디오 네트워크에서의 AODV 와 DSDV 구현은 기존 싱글 라디오 네트워크에서 구현된 사항과 대부분 동일하다. 그러나 기존에 AODV 와 DSDV 가

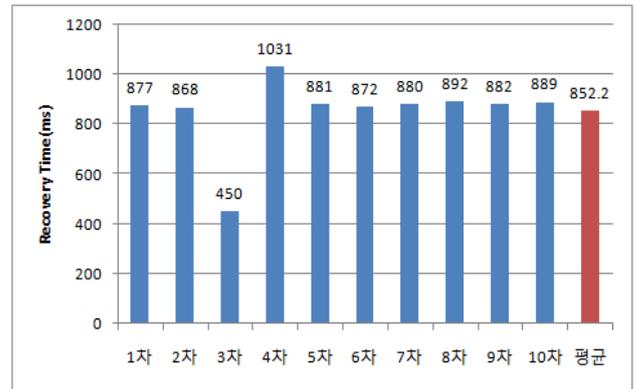


표 1) 네트워크 복구 시간 측정 결과

사용 되는 네트워크와 달리, 헤드와 멤버로 구성된 클러스터 구조를 사용하므로 기존 주소체계를 그대로 사용할 경우 계층간 구별을 지을 수 없는 문제가 발생 한다. 기존의 16bit 로 구성된 노드 ID 는 그대로 이용해야 하면서 이 문제를 해결하기 위해, 여기서는 상위 8bit 를 클러스터 헤드의 ID 로, 하위 8bit 를 클러스터 멤버의 ID 로 사용하도록 한다. 이 방식을 통하면 각 클러스터의 멤버 노드는 최대 256 개로 제한되나 계층적 클러스터 트리 기반 분산 주소 할당 기법으로 더 유연한 멤버 노드 수의 사용이 가능하다[6]. 이번 구현에서는 멤버 노드의 수가 작으므로 단순히 8bit 씩 나눠 쓰는 방식을 사용한다.

## 2.5 실험 및 결과

본 논문에서 제안한 하이브리드 라우팅 프로토콜의 성능을 확인하기 위하여 네트워크의 복구 시간 (Recovery Time)을 측정하는 실험을 수행하였다. 복구 시간을 실험하기 위해, 클러스터 멤버인 특정 센서 노드에서 클러스터 헤드까지의 라우팅 경로상에 있는 노드중 임의로 하나를 제거하였다. 이후, 제거된 노드로 인해 끊긴 경로를 복구 하여 센서 노드가 클러스터 헤드까지 가는 경로가 갱신되고, 다시 센서에서 발생된 데이터가 정상적으로 하위 계층을 통해 상위 계층의 클러스터 헤드들을 거쳐 싱크 노드까지 도착하기까지 소요된 시간을 측정하였다.

표 1 은 제안한 프로토콜의 복구 시간 측정 결과를 나타낸다. 끊어진 경로를 복구 하여 데이터를 전송하기 위해서는 평균적으로 약 852ms 가 소요되었다. 실험에서 측정된 시간은 클러스터 멤버인 하위 계층의 센서가 새로운 데이터를 발생시키는 주기인 200ms 가 포함된 시간이기 때문에 실제 복구 시간은 이보다 더 짧다고 볼 수 있다. 여기에 네트워크가 사용되는 상황에 따라 주기값과 같은 변수들을 조절해준다면 좀 더 최적화된 복구 시간을 얻을 수 있을 것이다. 10 번의 반복된 실험 결과, 각각의 복구 시간이 대부분 균일한 값을 유지하고 있음을 확인할 수 있다. 또한 4 차 실험 결과와 같이 복구 시간이 다른 결과값에 비해 지연된 경우에도 패킷 손실 없이 센서에서 싱크

노드까지 데이터 전송이 성공하였다. 이와 같은 결과를 통하여 볼 때, 제안한 하이브리드 라우팅 프로토콜은 수용 가능한 정도의 복구 시간과 함께 하위 계층에서의 노드 변경에 의한 경로 갱신을 안정적으로 이루어내고 있음을 확인할 수 있다.

## 2.6 토론

제안한 하이브리드 라우팅 프로토콜은 각 계층이 보여주는 특징을 이동성의 관점에서 파악하여 각각의 이동성에서 가장 좋은 특성을 보인 DSDV 와 AODV 를 활용하였다. 그러나 각 계층별 네트워크의 특징이 이동성이 적거나 많은 네트워크의 특징과 완전히 동일한 것은 아니다. 즉 두 네트워크의 특징이 유사한 점이 있으나 그렇지 않은 부분이 존재한다. 예를 들면, 이동성이 높아짐에 따라 네트워크는 높은 패킷 손실을 발생시키지만, 듀얼 라디오 센서 네트워크의 하위 계층에서는 에너지가 모두 소진된 센서 노드가 대량으로 발생되지 않는 한 패킷 손실이 높게 일어나지 않는다. 이러한 불합치된 부분을 최대한 배제하기 위하여, 이동성에 따른 패킷 손실과 같은 두 네트워크의 특징 가운데 하나에만 해당되는 성능 지표는 활용하지 않았다.

이번 연구에서 고려한 프로토콜은 pro-active 방식에서 가장 기본이 되는 프로토콜인 DSDV 와 re-active 방식에서 가장 기본이 되는 프로토콜인 AODV 를 이용하였으나, 점차로 진보되는 라우팅 프로토콜에 따라 각각의 계층에 해당 계열(pro-active 혹은 re-active)의 프로토콜을 대체적으로 이용할 경우 성능의 향상을 기대할 수 있다. 예를 들어 PAODV[3]와 같은 프로토콜의 경우, 기존의 AODV 를 개선하여 다방면에서 성능을 향상시켰다. 본 논문에서는 각 계층에서 효과적으로 동작하는 프로토콜 방식에서 가장 대표적인 라우팅 프로토콜을 이용함으로써 프로토콜간의 비교보다는 하이브리드 라우팅 프로토콜 설계의 아이디어를 주는데 주안점을 두었다.

## 3. 결론

본 논문에서는 듀얼 라디오 무선 센서 네트워크를 위한 하이브리드 라우팅 프로토콜을 제안하였다. 듀얼 라디오 무선 센서 네트워크에서 상위 계층과 하위 계층은 각각 낮은 이동성과 높은 이동성을 갖는 네트워크로 대변될 수 있음을 확인하였다. 또한 이러한 상황에서, pro-active 프로토콜은 상위 계층의 특징을 대변하는 낮은 이동성의 상황에 적합하며, re-active 프로토콜은 하위 계층의 특징을 나타내는 높은 이동성의 상황에 적합함을 확인하였다. 이에 이 두 프로토콜을 대표하는 DSDV 와 AODV 를 각각의 계층에 적용함으로써 듀얼 라디오 환경에 적합한 하이브리드 라우팅 프로토콜을 제안하였다. 테스트베드에서의 실험을 통해 제안한 프로토콜이 경로가 손상되었을 때 빠른 복구 시간과 안정적인 복구 동작을 보여줌을 확인하여 그 안정성을 입증하였다. 다양한 프로토콜과

경로 복구 시나리오에서 실험을 하고 여러 성능 지표의 관점에서 성능을 끌어올리기 위한 새로운 라우팅 프로토콜의 제안이 앞으로의 연구 방향이다.

## 사 사

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2010-(C1090-1011-0004))

## 참고문헌

- [1] C. E. Perkins and P. Bhagwat, "Highly dynamic destination-sequenced distance- vector routing (DSDV) for mobile computers," ACM SIGCOMM: Computer Communications Review, vol. 24, no. 4, pp.234-244, Oct. 1994.
- [2] A Quick Guide to AODV Routing, Luke Klein-Berndt, Wireless Communications Technologies Group, National Institute of Standards and Technology
- [3] Scenario-based Performance Analysis of Routing Protocols for Mobile Ad-hoc Networks, Per Johansson, Ericsson Radio Systems AB
- [4] A Performance Comparison of Energy Consumption for Mobile Ad Hoc Networks Routing Protocols, Juan Carlos Cano
- [5] [http://qplus.or.kr/EMT/?ref=menu/view.emt&menu\\_table=m2\\_00&menu\\_idx=010400](http://qplus.or.kr/EMT/?ref=menu/view.emt&menu_table=m2_00&menu_idx=010400)
- [6] 대규모 무선 센서 네트워크를 위한 계층적 클러스터 트리 기반 분산 주소 할당 기법, 박종준, 한국통신학회논문지 '09-12 Vol.34 No.12