
관심 대상 모니터링 네트워크에서의 중복된 감지-보고 패킷들의 발생 억제에 관한 연구

차영환*

On Suppressing the Occurrence of Redundant Sensing-Reporting Packets in Assets Monitoring Networks

Yeong-hwan Tscha*

이 논문은 2008년도 상지대학교 연구비 지원에 의한 것임

요 약

무선 센서 네트워크를 이용하여 관심 대상의 출현을 모니터링 하는 응용에서는 동일 사실에 대해 여러 노드로부터 중복된 보고가 이루어져 네트워크 대역폭의 낭비와 관련 노드들의 전력 소모를 야기할 수 있다. 이 논문에서는 대상을 감지한 각각의 노드로 하여금 일정 기간 동안 대기하면서 보고 제한을 알리는 **DRP(Don't Report Packet)** 패킷을 수신하지 않는 경우에만 싱크(기지국)로 감지 사실을 보고하는 기법을 제시한다. 제한 깊이가 2인 경우 **DRP** 전파 비용은 물론, 감지 사실을 알리는 보고 비용 역시 최소가 되어 가장 경제적인 통신이 가능하였다. **DRP** 전파 깊이를 1로 제한하면 최소 2개의 서로 다른 경로를 경유하는 감지 보고가 가능하여 전달의 신뢰성을 높일 수 있다.

ABSTRACT

In the application of wireless sensor networks to monitor valuable assets under concern, the appearance of a certain asset can be identified and reported simultaneously by several adjacent nodes, and this may dissipate the power of related nodes and network bandwidth as well. In the proposed method, a node that senses the appearance of some asset is allowed to send the sensing-reporting packet only after it has been being idle for a certain period without receiving any **DRP(Don't Report Packet)** from neighbors. It turns out that not only the cost of propagating **DRPs** but also that of reporting the events to the sink becomes minimal when depth of each **DRP** propagation is 2. In case of depth 1, at least, two routes are set up for the delivery of the sensing-reporting packet hence, reliable transfer to the sink is provided.

키워드

관심대상 모니터링 네트워크, 중복보고 패킷 억제, 통신 프로토콜 설계, 통신 비용
Asset monitoring network, Suppressing redundant sensing-report, Communication protocol design, Communication cost

I. 서론

센서 기술과 무선통신 기술의 발전으로 저전력, 저비용의 소형 센서들로 구성되는 대규모 무선 센서 네트워크의 구축이 가능하게 되었고, 국방, 교통, 환경 등과 같이 데이터의 수집과 제어가 실시간으로 처리되어야 하는 응용 등에 이용되고 있다. 일반적으로 센서 노드들은 통신 대역폭이나 컴퓨팅 능력이 제한적이고 배터리를 이용하므로 프로토콜의 설계나 시스템의 구현 시 이러한 제약사항을 고려함은 물론, 동작 기간이나 컴퓨팅 능력에 대한 제한성을 이유로 센서 노드들은 밀도가 매우 높게 설치된다[1]. 따라서 모니터링 대상의 출현과 같이 어떤 이벤트가 발생하게 되면 동시에 여러 개의 이웃 노드들로부터 감지되어 싱크(sink) 노드 즉, 기지국(base station)으로 동일 이벤트에 대한 중복 보고가 초래되기도 한다. 중복 보고에 따른 문제점으로는 중복 메시지(또는 패킷)가 전달되는 경로 상의 노드들의 전력이 불필요하게 낭비되어 네트워크 전체의 생존 시간을 단축한다는 점이다. 또한 싱크 노드는 중복된 메시지들에 불필요하게 대응하여야 하는 부담을 갖는다. 아울러 회귀 동물이나 전장의 군인과 같이 위치 보호가 필요한 보호 대상의 출현을 알리는 이벤트인 경우에는 여러 노드들로부터의 중복된 보고가 추적자나 적군으로 하여금 그 위치 파악을 용이하게 하는 요인이 되기도 한다[2].

이 논문은 이와 같이 무선 센서 네트워크에서의 중복된 감지-통보 패킷들의 발생을 줄이기 위한 방법에 관한 것이다. 편의상, 어떤 이벤트를 감지한 노드를 “근원지(source) 노드”라 칭하고, 감지된 내용을 싱크로 전달하는 근원지 노드를 “보고(reporting) 노드”로 구분한다. 센서 네트워크가 언제나 연결되어 있다고 가정할 때, 어떤 대상 a에 대해 이의 출현을 알게 된 근원지 노드들의 집합을 S_a 라고 하면 $|S_a| \geq 1$ 이다(단, $|S_a|$ 는 집합 S_a 내의 원소의 개수를 나타낸다). 이에 S_a 에 속하며 싱크로 감지 정보를 전달하는 보고 노드들의 집합 R_a 에 대해 $|S_a| > |R_a| \geq 1$ 을 만족하는 R_a 을 최소의 관리 비용으로 S_a 에서 선정하는 문제를 다룬다. S_a 에서 R_a 를 선정하기 위해서는 추가적인 제어 패킷들이 발생되는 데, 편의상 이들의 개수를 “관리 비용”으로 정의한다. 그리고 R_a 내의 노드들이 싱크로 보고하는데 수반되는 네

트워크 내의 패킷들의 수를 “보고 비용”이라고 하면, 관리 비용과 보고 비용을 모두 최소화하는 방안을 찾는다.

이 논문에서는 센서 네트워크가 보호 동물의 출현을 모니터링하거나 전장에서의 적의 출현을 감지하는 응용과 같이 어떤 관심 대상들의 돌발적 출현을 감지하는 목적의 “관심 대상 모니터링 네트워크”인 경우를 가정한다. 제안된 방안은 MAC(Medium Access Control) 계층의 프로토콜을 확장하거나 네트워크 계층의 라우팅 프로토콜을 확장하는 기존의 접근 방식들과는 달리 어떠한 MAC 계층이나 라우팅 프로토콜에서도 수용할 수 있는 독립적인 프로토콜로 설계하였다.

다음 장에서는 관련 연구를 소개한다. 제3장에서는 제안된 프로토콜의 절차와 특성을 제시한다. 4장에서는 시뮬레이션 결과를 소개하며, 이 논문의 결론은 5장에서 맺는다.

II. 관련 연구

무선 센서 네트워크에서의 중복된 이벤트들을 줄이기 위한 접근법은 크게 MAC 계층의 기능을 확장하는 방법들[3,4,5,6]과 네트워크 계층에서의 라우팅 프로토콜을 확장하는 방법들[7,8,9]로 구분할 수 있다.

[6]에서는 협동 라우팅과 근원지 코딩 방식을 이용하여 전송 정보의 량을 줄이기 위한 방안을 제시하였지만 발생 패킷의 수를 줄이지는 못하였다. 한편, [3,4]에서는 중복 발생하는 패킷의 수를 줄이고자 CC-MAC(spatial Correlation-based Collaborative Medium Access Control)이란 새로운 매체 접근 프로토콜을 제시하였다. 이는 어떤 이벤트가 발생하면 공간적으로 그 발생 지역의 인근에 있는 노드들에게 다시 발생될 확률이 높게 된다는 “공간적 상관성(spatial correlation)”과 일단 감지-보고가 있게 된 노드는 시간적으로 곧 이어서 다시 보고할 확률이 높다는 “시간적 상관성(temporal correlation)”을 이용한다. 하지만 기지국에 의해 네트워크 전반에 걸쳐 보고할 대표 노드들이 선정되고 이들에 관한 정보가 사전에 네트워크 전체에 걸쳐 브로드캐스트가 되어야 하는 제약점이 있다. 따라서 네트워크의 연결 관계가 동적으로 바뀌거나 대규모일 경우 적용하기 어렵다. 또한, 무선 인

터페이스로 많이 이용되고 있는 IEEE 802.11이나 IEEE 802.15(ZeegBee)와 같은 표준 MAC[10,11]을 이용하는 시스템과의 호환성도 보장할 수 없다.

[5]에서는 감지된 정보를 보고하는 근원지 노드들의 수를 일정한도 내에서 중복되도록 하여 기지국으로의 라우팅 경로 상에 변화(노드의 이동과 같은)가 발생하더라도 전송 패킷이 성공적으로 도착할 수 있도록 [3,4]의 연구를 확장하였다. 아울러 관련 노드들의 전력 소모를 줄이며 라우팅 경로의 신뢰성과 전달 패킷의 지연 관계를 분석하였다.

한편, 센서 노드로부터 감지되는 원시정보를 싱크로 그대로 전달하기보다는 일정 지역이나 관련 이벤트를 감지한 노드들 간의 정보 전달 과정에서 가공처리(예를 들면, 평균, 분산, 최대, 최소 구하기 등)되어 정보의 양은 물론 패킷의 수를 줄이면 전력 소모나 통신 비용을 줄일 수 있다. 즉, "Data Aggregation"을 통한 라우팅 과정에서의 중복 정보를 제거하는 접근방안이다. 여기에는 [9]와 같은 최소 비용의 트리 유형의 경로를 구축하는 방법과 [12]와 같이 그리디(greedy) 알고리즘을 이용한 점진적 구축법 등으로 구분될 수 있다. 하지만 최소 비용의 경로 구축은 "Steiner 트리" 를 구하는 NP-complete 문제로 알려져 있어[13], 수많은 변형된 휴리스틱들이 개발되었다. 보다 상세한 방법들에 대해서는 최신 연구[5,7,14]를 참조하면 된다. 이러한 접근법들은 네트워크 계층의 라우팅 프로토콜을 변형하게 되므로 Mobile IP[15]와 같이 표준화된 프로토콜을 사용하는 경우에는 호환성을 보장하지 못한다.

III. 제안 프로토콜

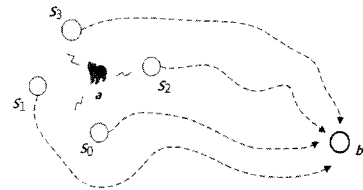
이 장에서는 제안 프로토콜의 접근방안을 소개한 다음, 프로토콜의 상세 절차를 설명하고 프로토콜의 특성을 제시한다.

3.1 중복 감지-보고 문제

[그림 1]과 같이 관리 대상이 "곰"인 경우, 이의 출현을 보고하는 센서 네트워크를 가정하자. 곰을 a 로 표기하고 이의 출현에 따라(즉, 굴로부터 나왔다던가 아니면 다른 곳으로부터 이동해 온 경우) a 로부터 감지 거리 r

이내에 존재하는 센서 노드 s_0, s_1, s_2, s_3 로부터 " a 의 출현이 감지되었다"는 감지-보고 패킷 4개가 생성되어 기지국(싱크 노드) b 로 전달된다. 만일 s_0, s_1, s_2, s_3 로부터 b 로 설정된 경로상의 노드들이 중복되지 않거나 또는 중복되더라도 동일 대상에 대한 감지-보고 패킷인지를 구분하는 기능이 없다면 감지 노드 즉, 근원지 노드 수만큼의 감지-보고가 중복 전달됨은 물론, 이러한 중복 패킷들이 전달되는 경로 상의 노드들의 불필요한 전력 소모를 초래한다.

만일 감지-보고 패킷에 1) 감지 대상의 id와 2) 그로부터 거리 r 이내에 존재하는 센서 노드들의 id들 그리고 3) 감지 대상의 위치나 좌표 등을 담아서 보낸다면 오직 하나의 감지-보고 패킷만을 전달하는 것만으로도 충분할 것이다(여기서, 일단 생성된 감지-보고 패킷은 오류 없이 안전하게 라우팅 프로토콜에 의해 목적지 b 로 전달됨을 가정한다). 이 논문에서는 라우팅 프로토콜과 관계없이 관리 대상의 출현을 감지한 노드들 간의 일정한 조정 절차를 통해 중복된 감지-보고 패킷이 적게 발생하도록 한다. 이상적으로는 대상마다 오직 하나의 감지-보고 패킷이 발생되면 된다.



a 관리(감시) 대상 b 기지국(싱크 노드) -----> 감지-보고

그림 1. 감지-보고 패킷들의 중복 발생
Fig. 1 Redundant sensing-reporting packets

3.2 접근 방안

제안된 접근방안은 관리 대상 a 가 출현한 곳으로부터 감지 반경 r 내의 노드들로 하여금 다음과 같은 3단계 과정을 거치도록 하여 중복 보고 패킷의 발생을 줄인다. 편의상, [그림 2]에서와 같이 관리 대상 a 로부터 가장 가까운 센서 노드 s_2 가 a 의 출현을 알게 됨을 가정하자. 그러면 s_2 는 다음 과정을 수행한다.

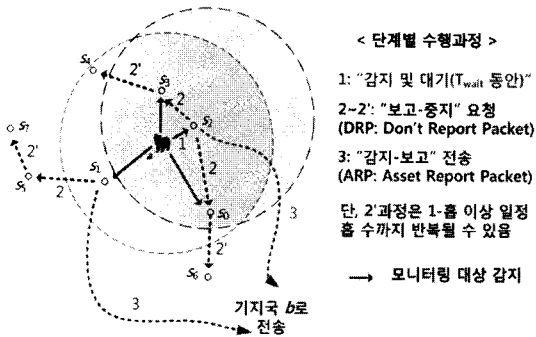


그림 2. 관리 대상 감지에 따른 이벤트 처리 과정
Fig.2 Event handling on sensing an asset

① “감지 및 대기” 단계

감시 대상 a 의 발견과 함께 $T_{wait}(>2T_r)$ 시간동안 대기 모드로 들어간다(단, T_r 은 최대 감지 거리 r 까지 신호가 전파되는데 소요되는 시간).

② “보고-중지” 요청 단계

T_{wait} 시간이 종료되기 전에 다른 노드로부터 보고-중지 패킷을 수신하면 전원 절약 모드로 전환하면서 수행을 종료한다. 만일 T_{wait} 가 종료되면 즉시 보고-중지 패킷을 만들어 이웃 노드들로 브로드캐스트 하여 대상 a 에 대한 감지-보고를 하하지 말 것을 요청한다.

③ “감지-보고” 전송 단계

관리 대상 a 의 감지 사실을 보고하는 패킷을 만들어 라우팅 프로토콜(예를 들면, GPSR(Greedy Perimeter Stateless Routing)[16])을 이용하여 싱크로 전송한다.

관리 대상을 감지한 다른 노드들(즉, 모니터링 대상 a 로부터 거리 r 이내에 있는 다른 센서 노드들 s_0, s_1, s_3, s_4)들도 마찬가지로 위와 같은 과정을 수행한다. 이들의 동작을 정리하면 [표 1]과 같다.

[그림 2]에서 s_0 와 s_3 가 a 에 근접하나 가장 가까운 노드가 아닌 노드는 위의 ①에서와 같이 이미 감지 및 대기 과정에 진입한 s_2 와 같은 노드에서 전송한 보고-중지 패킷을 수신하면 아무런 역할도 수행하지 않고 전원 절약 모드로 바로 전환한다.

표 1. 노드별 동작
Table 1. Action at Nodes

		감지 및 대기 상태에서 T_{wait} 동안 “보고-중지” 요청 패킷의 수신 여부	
		예	아니오
관리 대상 “감지” 여부	예	[그림 2]의 s_0, s_2 와 같이 “보고-중지” 요청 패킷의 추가적 전달이 필요한 조건이면 이웃 노드들로 브로드캐스트 수행	[그림 2]의 s_1 나 s_4 처럼 “보고-중지” 요청 패킷을 수신하지 않았으면 “보고-중지” 패킷을 생성하여 이웃 노드로 브로드캐스트 수행 후, “감지-보고” 패킷을 생성하여 싱크로 전송(“보고 노드”)
	아니오	[그림 2]의 s_0, s_1, s_3, s_4 처럼 “보고-중지” 요청 패킷의 전달 여부에 따라 이웃 노드들로 브로드캐스트 수행	-

$s_4 \sim s_7$ 처럼 a 의 출현을 감지하지는 못하였지만 이를 감지한 노드가 전해준 보고-중지 패킷을 수신한 노드는 수신 패킷 내의 브로드캐스트 필드 값에 따라(아래의 3.3 프로토콜 참조) 재차 브로드캐스트 하거나 아니면, 삭제한다. 즉, 다른 노드로 보고-중지 요청 패킷을 중계한다. 따라서 [그림 2]의 s_2 와 같이 관리 대상 a 를 가장 먼저 감지한 노드와 s_1 처럼 a 를 인지하였으나 보고-중지 패킷을 수신하지 않은 노드들만이 최종적으로 보고 노드가 되어 감지-보고 패킷을 싱크로 전송할 자격을 갖는다.

3.3 프로토콜

프로토콜의 핵심을 간결하게 나타내기 위해 모든 노드 v 는 자신의 좌표 $L_v=(x_v, y_v)$ 를 알고 있다고 가정한다. 임의의 두 노드 v 와 u 에 대해 전송 거리 r 을 고려할 때 $|L_v - L_u| \leq r$ 이면 v 와 u 는 이웃하다고 한다. 각 노드 v 는 자신으로부터 i -홉 거리 이내의 이웃 노드들의 집합을 $N_i(v)$ 로 나타낼 때, $u \in N_2(v)$ 인 모든 u 의 좌표 값을 알고 있다고 가정한다(이는 neighbor discovery protocol[17] 등과 같은 프로토콜을 이용하여 이웃 노드들과의 자신의 이웃 노드들의 리스트를 서로 교환함으로써 가능하다). 즉, 각각의 노드 v 는 자신으로부터 물리적으로 거리가 $2r$ 이내인 모든 노드들의 좌표 값을 알고 있다고 가정한다. $N_i(v)$ 의 기호를 사용하되 $i=1$ 인 경우에는 편의상 첨자 1을 생략하여 $N_1(v)$ 대신 $N(v)$ 을 사용한다.

모든 패킷에는 발행 순서 번호가 있어 중복 수신 여부를 가림할 수 있어 동일 패킷은 한번만 수신함을 가정한다. 기호 a 는 감시 대상을, 기호 b 는 기지국 즉, 싱크 노드를 나타내며, 대상 a 의 출현을 발견한 노드는 기호 o 로 나타낸다. 패킷에는 보고-증지 요청 패킷 **DRP**(Don't Report Packet)과 감지-보고 패킷 **ARP**(Asset Report Packet)가 있다. **DRP**는 $\langle \text{AssetId}, \text{SourceCoordinate}, \text{SinkCoordinate}, \text{HopLimit} \rangle$ 등의 필드로, **ARP**는 $\langle \text{AssetId}, \text{SourceCoordinate}, \text{SinkCoordinate}, \text{HopLimit}, N(\text{AssetId}) \rangle$ 등으로 구성된다. 여기서, **AssetId**는 감지한 관리 대상의 **Id**, **SourceCoordinate**는 감지한 센서 노드의 좌표, **SinkCoordinate**는 기지국 좌표, **HopLimit**는 **DRP**의 전파 범위(즉, 깊이)를 나타내는 홉 수이다. $N(\text{AssetId})$ 는 감지 대상으로부터 r 거리 이내에 존재하는 센서 노드들의 집합을 나타낸다. 즉, 감시 대상을 감지한 근원지 노드들의 집합으로 이를 싱크로 알려 줌으로써 싱크는 어느 노드가 중복 보고에 참여하였는지를 알 수 있게 한다. 한편, 앞에서 모든 v 는 자신의 $N_2(v)$ 를 알고 있다고 가정하였으므로 모든 노드는 자신이 감지한 관리 대상 a 의 $N(a)$ 를 계산할 수 있다. 제안된 프로토콜의 절차는 [그림 3]과 같다.

```
// Let every node v know the sink coordinate L_b.
Case 1: when the node o identifies the appearance of some asset a
Step 1. create the packet DRP such that AssetId=a,
        SourceCoordinate=L_o, SinkCoordinate=L_b,
        HopLimit=k, and goes into the await state for T_wait.
Step 2. if the timer T_wait expires then, go to Step 3. Otherwise,
        commit the next step.
        2.1 if HopLimit=0 then, exit. Otherwise,
            HopLimit=HopLimit-1, send(i.e., broadcast
            locally) DRP to N(o), and exit.
Step 3. if HopLimit>0 then, HopLimit=HopLimit-1, and send
        DRP to N(o). create the packet ARP such that
        AssetId=a, SourceCoordinate=L_o, SinkCoordinate=L_b,
        N(a) and deliver it to the sink b and exit.

Case 2: when the node o such that o ∈ N(a) receives DRP
Step 4. if HopLimit=0 then exit. Otherwise,
        HopLimit=HopLimit-1, and send DRP to N(o), and exit.
```

그림 3. 제안된 프로토콜의 절차
Fig. 3 Description of the proposed protocol

3.4 프로토콜 특성

특성 1: **HopLimit**의 초기 값 k 가 0이면 **DRP**는 이웃 노드로 전송되지 않으며, 이때의 관리 대상 a 에 대한 감지 노드 수 $|S_a| =$ 보고 노드 수 $|R_a| = |N(a)|$ 가 된다.

증명: 프로토콜의 Step 3이나 Step 4에서 **HopLimit**>0 인 경우에만 **DRP**를 이웃노드로 브로드캐스트 하므로 **HopLimit**의 초기 값이 0이면 **ARP**만 생성되어 감지-보고가 바로 이루어진다. 이는 중복 감지-보고가 통제되지 않는 경우에 해당되며 노드의 차수(degree)와 동일하다.

특성 2: **HopLimit**의 초기 값이 0보다 큰 경우를 가정하면, 관리 대상 a 를 가장 먼저 인식한 노드는 언제나 **DRP**를 생성한다.

증명: a 를 가장 먼저 감지한 노드가 역시 T_{wait} 시간동안 가장 먼저 대기하므로 프로토콜의 Step 2를 수행 후, Step 3을 가장 먼저 수행한다. 따라서 **DRP**를 생성한다.

특성 3: $u \in N(a)$ 인 u 는 **ARP**를 오직 한번 생성하거나 또는 **DRP**를 오직 한번 전달한다.

증명: $u \in N(a)$ 인 모든 u 는 Case 1의 Step 1에서부터 Step 3을 수행한다. 그리고 **DRP**를 수신하지 않은 노드는 항상 **ARP**를 생성한다. 따라서 특성 1과 2에 의해 성립한다.

특성 4: **DRP**를 생성한 노드 o 로부터 이를 중계 받아 최종적으로 수신한 노드가 p 라고 하자. 그리고 이때 이용된 경로가 $v_1, v_2, \dots, v_{m-1}, v_m$ 이라고 하자(단, $v_1=o, v_m=p$). 그러면, $m = \text{HopLimit}+1$ 이다.

증명: **HopLimit** 길이만큼 **DRP**가 전파되므로 이 특성은 성립한다.

결론적으로 다음과 같이 제안 프로토콜의 정확성을 증명할 수 있다.

정리 1: 제안 프로토콜은 **ARP**를 반드시 생성하며 즉, 감지-보고를 수행하고, 결국 종료된다.

증명: 위의 특성 2에 의해 적어도 하나는 반드시 **ARP**가 생성되어 감지-보고가 수행된다. 그리고 관리 대상 a 를 감지한 노드는 Step 3을 수행하면서 종료한다. a 를 감지하지 못한 노드는 즉, a 로부터 거리 r 이상 존재하는 노

드는 DRP를 증계하게 되는데(Case 2) 이러한 노드들의 수는 HopLimit를 넘지 않는다. 결국 DRP는 더 이상 존재하지 않게 되며 프로토콜은 종료한다.

IV. 평가

이 장에서는 시뮬레이션에서 고려된 평가 요소, 시뮬레이션 환경 그리고 시뮬레이션 결과를 기술한다.

4.1 평가 요소

아래와 같이 4가지 평가 항목을 고려한다.

- 보고 노드 수
동일 보호 대상에 대해 출현 사실을 ARP를 이용하여 싱크로 보고한 노드 수를 나타내며, 이 값이 클수록 중복된 감지-보고 패킷이 많이 발생함을 의미한다. 보고 노드 수는 근원지 노드 수를 넘지 않는다.
- 관리 비용(중복억제 비용)
DRP 패킷을 전파하는데 소요된 홉 수(발생된 총 패킷 수)로서 통보 자체를 요청하는데 소요되는 비용이다.
- 데이터전달 비용(보고 비용)
보호 대상이 발견되었음을 ARP를 이용하여 싱크로 전달하는데 사용된 경로의 홉 수(발생된 총 패킷 수)로 순수한 전달 비용을 나타낸다.
- 통신 비용
관리비용과 데이터전달비용을 합한 총 비용으로 프로토콜을 사용하는 경우 발생하는 패킷의 총 수이다.

4.2 시뮬레이션 환경

시뮬레이션은 Java 언어로 제안 프로토콜과 GPSR[16]을 구현하여 자체 개발한 시뮬레이터를 이용하였다. 시뮬레이션 동안의 트래픽으로 인한 큐잉 문제나 손실 등은 전혀 없음을 가정하였다. 사용된 주요 파라미터들과 그 값은 [표 2]와 같다.

관리 대상들의 위치는 무작위로 균등하게 분포되도록 선정하였고, 노드의 평균 차수는 [6, 8, 10, 12]의 범위에서 고려하였다. 관리 대상 역시 무작위로 생성하였고 관리 대상으로부터 가장 근접한 노드가 제일 먼저 출현 사실을 감지함을 가정하였다. 기지국(싱크 노드)와 관리 대상을 발견한 근원지 사이의 평균 길이는 기본적으로

60 홉을 가정하였다. 측정 결과는 모두 1,000번의 시뮬레이션 측정치에 대한 평균을 취하였다.

관리 대상을 발견한 노드가 DRP 패킷을 이웃 노드에게 전달하는 깊이(길이) 즉, 홉 수는 각각 [0, 1, 2, 3, 4, 5] 일 때를 고려하였다. 패킷 전달을 위한 라우팅 프로토콜로는 좌표를 이용하는 GPSR[16]을 이용하였다.

표 2. 파라메타 및 설정 값
Table 2. Parameters and setting values

파라미터	값 또는 범위
네트워크 내 노드 수	50,000
노드의 평균 차수	6, 8, 10, 12
싱크(기지국)와 근원지간의 평균 거리(홉 수)	60
DRP 전달 깊이	0, 1, 2, 3, 4, 5
실험 횟수	1,000
라우팅 프로토콜	GPSR[16]

[그림 4]는 시뮬레이션 과정에서 관리 대상의 출현을 감지한 근원지 노드들사이의 DRP의 생성과 전파 그리고 보고 노드들에 의한 ARP의 전송과정의 하나의 스크린 샷이다. 그림에서의 작은 점들은 센서 노드들에 해당되며, 동시 다발적으로 여러 개의 관리 대상들이 별도의 기지국(큰 원 중앙의 점)으로 감지-보고되는 경우이다. 여기서, DRP 깊이가 5인 경우에서 관리 대상을 중심으로 이웃 노드들로 전파될 때마다 트리 모양으로 밖으로 분기되고 있다.

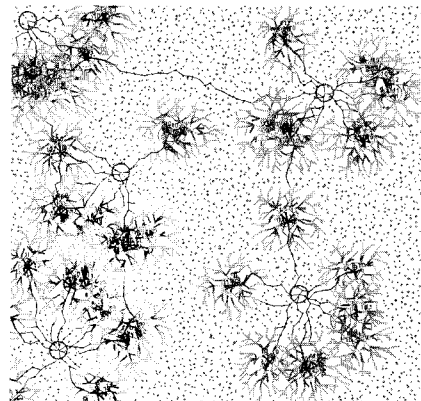


그림 4. 시뮬레이션 스크린 샷(DRP 깊이=5)
Fig. 4 Simulation screen shot(DRP depth=5)

4.3 결과

먼저, 보고-정지 요청 패킷 **DRP**의 전달 깊이 즉, 전달 홉 수와 이에 따른 보고 노드들의 발생 관계를 알아보았다. 일반적으로 관리 대상을 감지한 근원지 노드가 **DRP**를 더 많은 이웃들에게 전달하면 할수록 감지-보고 노드들의 수는 감소하게 된다. 하지만 [그림 5]에서 나타나듯이 전달 깊이가 2 즉, 관리 대상 a 를 감지한 노드 v 에 대해 $N_2(v)$ 에 속하는 노드들까지만 알려주는 경우에 보고 노드들의 수는 1에 근접하여 사실상 최소가 됨을 보였다. 따라서 전달 깊이를 2 또는 그 이상으로 늘리더라도 보고자(감시-보고 패킷 **ARP**를 생성한 노드들)의 수는 더 이상 감축되지 않고 오히려 **DRP**의 생성 수만 증가하였다([그림 6] 참조). 그리고 **DRP**가 1-홉 이웃한 노드들 $N(v)$ 로 **DRP**를 전파할 경우(즉, **DRP** 전달 깊이가 1인 경우)에는 최소 2개의 보고 노드가 존재하므로 전달 신뢰성을 높일 수 있다.

한편, **DRP**를 전혀 생성하지 않는 즉, **DRP** 전달 깊이가 0인 경우에는 각 노드의 차수(노드의 이웃 노드들의 수)에 해당하는 보고 노드들이 존재하여, 차수가 증가할수록 보고 노드 수도 증가하였다. 다만, 그림에서는 평균 차수를 나타낸 것으로 시뮬레이션에서 측정된 보고자 수는 이보다 약 1정도 더 크게 나타났다. 예를 들어 차수가 6인 경우 실제 측정된 보고자 수는 7.03이었고, 차수가 12일 때는 13.74였다. 결론적으로 **DRP** 전달 깊이가 2이면 차수에 거의 관계없이 **ARP** 보고자의 수는 1이 되어 최소한의 감지-보고 패킷을 전달한다.

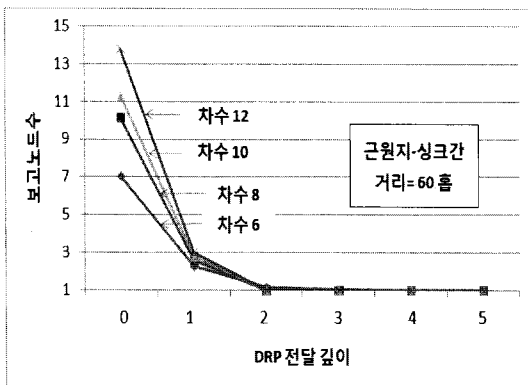


그림 5. 보고 노드 수
Fig. 5 The number of reporting nodes

다음으로는 **DRP** 패킷의 발생 수를 고려하였다. 즉, 중복-보고를 억제하는데 소요되는 **DRP** 패킷의 수를 측정하여 관리 부담의 정도를 알아보았다. [그림 6]에 나타난 것처럼 관리 비용은 **DRP** 깊이가 증가할수록 그리고 노드의 평균 차수가 증가할수록 급격히 증가하였다. 다만, **DRP** 깊이가 1 또는 2이하인 경우에는 상대적으로 관리 비용들 간의 차이도 비교적 적으면서도 비용 자체도 낮은 편이었다.

보고 노드와 싱크 간의 길이(홉 수)를 달리하면서 **DRP** 깊이의 변화에 따른 보고 노드들과 싱크 노드(기지국) 간의 경로의 길이를 관찰하였다. 여기서 경로의 길이는 네트워크 내의 **ARP** 패킷이 싱크에 도착하기까지 거치게 된 경로의 홉 수이다. 보고 노드와 싱크 간의 길이를 40, 60, 80 홉 등으로 증가함에 따라 비례하여 증가하였다([그림 7]은 60 홉인 경우의 결과임). 그러나 **DRP** 깊이가 2가 되면 거의 차이가 없어지면서 각기 보고 노드와 싱크 간의 길이인 40, 60, 80에 근접하게 되어 **DRP** 깊이가 2부터 이후까지 최소가 되었다.

[그림 8]은 보고 노드와 싱크 간의 평균 거리가 60인 경우의 총 통신 비용이다. 즉, **DRP**의 전달 깊이 변화에 따른 **DRP** 패킷의 발생 수(관리 비용)와 이때의 보고 노드들로부터 싱크로의 **ARP** 전달 경로의 길이를 합한 것이다. 그림에 나타나듯이 **DRP** 깊이가 2인 경우 최소 비용을 보였는데 이러한 특징은 보고 노드와 싱크 간의 평균 거리가 40 또는 80인 경우에도 **DRP** 깊이가 2인 경우 최소 비용을 나타내었다.

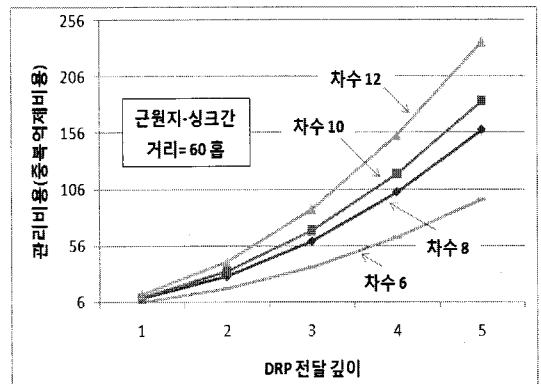


그림 6. 관리 비용
Fig. 6 The management cost

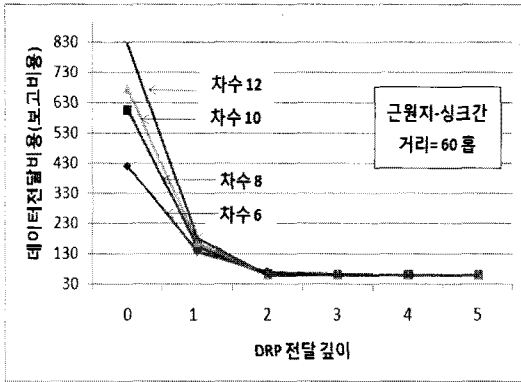


그림 7. 데이터전달 비용
Fig. 7 The data delivery cost

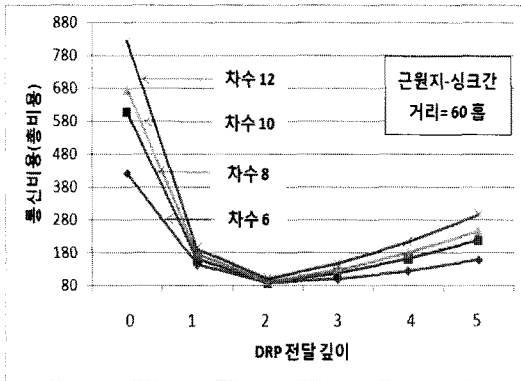


그림 8. 전체 통신 비용
Fig. 8 The total communication cost

V. 결론

이 논문에서는 무선 센서 네트워크에 있어서 관리 대상의 출현에 따라 여러 개의 노드들로부터 중복된 감지-보고를 감축하는 제어 방법을 제안하였다. 대상을 감지한 노드로 하여금 일정 기간 동안 대기하면서 보고 제한을 알리는 패킷 DRP를 수신하지 않는 경우에 한하여 DRP를 생성하여 이웃 노드들로 전송하고 싱크(기지국)로 감지 사실을 알리는 패킷 ARP를 보고하도록 하였다. 시뮬레이션을 통해 DRP의 전달 깊이가 2인 경우 관리 비용(중복억제 비용)이 최소가 되었고 보고 비용(데이

터 비용)은 깊이가 2부터 이후 최소가 됨을 확인하였다. 따라서 DRP의 전달 깊이가 2인 경우 전체적으로는 가장 경제적인 통신이 가능하여 네트워크 대역폭의 낭비와 관련 노드들의 전력 소모를 줄일 수 있을 것으로 기대된다. 제한 깊이가 1이면 2개의 서로 다른 경로를 이용하여 보고함으로써 싱크 노드로의 ARP 패킷의 전달 가능성을 보다 높일 수 있게 된다.

본 연구의 시뮬레이션에서는 T_{wait} 값이 $2T_r$ 보다 크게 적절하게 설정되어 있음을 가정하였다. 실제로 이 값은 어떻게 정하느냐에 따라 DRP 패킷은 물론 ARP 패킷의 수가 달라질 수 있다. 극단적인 경우로, T_{wait} 값이 너무 작아 0에 가깝다면 DRP를 수신하는 노드들의 수 역시 0에 가까워 보고자 수는 노드의 차수와 동일하게 되어 관리 비용과 보고 비용 모두 상승하게 된다. 반대로 T_{wait} 값이 너무 커진다면 DRP의 발생 수나 ARP의 발생 수 모두 줄어들지만 대부분의 시간이 대기 상태에 머물러 네트워크의 성능은 오히려 낮아지게 될 것이다. T_{wait} 값에 따른 네트워크의 지연 분석과 최적의 T_{wait} 값 결정 등에 관한 추후 연구가 별도로 필요하다. 본 연구에서는 비교적 대규모 네트워크를 가정하여 노드 수를 50,000개로 고정하였으나 노드 수가 수십 또는 수백의 비교적 적은 규모의 네트워크에서의 성능평가도 필요하다. 그리고 data aggregation 방법과 본 논문에서 제안한 프로토콜과의 통신비용 비교는 물론 혼잡과 지연 등에 대한 확장된 비교 연구가 기대된다.

참고문헌

- [1] J. Yick, B. Mukherjee, and D. Ghosal, "Wireless sensor network survey," *Computer Networks*, Vol. 52, No.12, pp.2292-2330, 2008.
- [2] P. Kamat, Y. Zhang, W. Trappe, and C.I Ozturk, "Enhancing source-location privacy in sensor network routing," *Proc. of the 25th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems*, pp.599-608, 2005.
- [3] M.C. Vuran, O.B. Akan, and I.F. Akyildiz, "Spatio-temporal correlation: theory and applications for wireless sensor networks," *Computer Networks*,

- Vol.45, No.3, pp.245-259, 2004.
- [4] M.C. Vuran and I.F. Akyildiz, "Spatial correlation-based collaborative medium access control in wireless sensor networks," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vo.14, No.2, pp.316-329, 2006.
- [5] F. Bouabdallah, N. Bouabdallah, and R. Boutaba, "Toward reliable and efficient reporting in wireless sensor networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Vol.7, No.8, pp.978-994, 2008.
- [6] L. Zhong, R. Shah, C. Guo, and J. Rabaey, "An ultra-low power and distributed access protocol for broadband wireless sensor networks," *IEEE Broadband Wireless Summit*, 2001.
- [7] L. Chitnis, A. Dobra, and S. Ranka "Aggregation methods for large-scale sensor networks," *ACM Transactions on Sensor Networks*, Vol. 4, No. 2, 9:1-9:32, 2008.
- [8] K.-W. Fan, S. Liu, P. Sinha, "Scalable data aggregation for dynamic events in sensor networks," *Proc. of the 4th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems(SenSys'06)*, pp.181-194, 2006.
- [9] C. Intanagonwinwat, R. Govindan, and D. Estrin, "Directed diffusion: a scalable and robust communication paradigm for sensor networks," *Proc. of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp.56-67, 2000.
- [10] The Working Group for WLAN Standards (<http://www.ieee802.org/11/>).
- [11] IEEE 802.15 Working Group for WPAN (<http://www.ieee802.org/15/>).
- [12] C. Intanagonwinwat, D. Estrin, R. Govindan, and J. Heidemann, "Impact of network density on data aggregation in wireless sensor networks," *Proc. of the 22nd International Conference on Distributed Computing Systems*, pp.457, 2002.
- [13] M. Garey, D. Johnson, *Computers and intractability: a guide to the theory of NP-completeness*, Freeman, San Francisco, CA, 1979.
- [14] A.-F. Harris III, Robin Kravets, Indranil Gupta, "Building trees based on aggregation efficiency in sensor networks," *Ad Hoc Networks*, Vol.5, No.8, pp.1317-1328, 2007.
- [15] IETF RFC 3344(Mobile IPv4) and RFC 3775(Mobile IPv6) (<http://www.ietf.org/rfc.html>).
- [16] B. Karp and H.-T. Kung, "Greedy perimeter stateless routing for wireless networks," *Proc. of the 6th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 243-254, 2000.
- [17] S.-A. Borbash, A. Ephremides, and M.-J. McGlynn, "An asynchronous neighbor discovery algorithm for wireless sensor networks," *Ad Hoc Networks*, Vol.5, pp.998-1016, 2007.

저자소개

차영환(Yeong-hwan Tscha)



1983년 인하대학교 전자계산학과 (학사)
1985년 한국과학기술원 전산학과 (석사)

1993년 인하대학교 대학원 전자계산학과(박사)
1985~2000: 한국전자통신연구원 선임연구원
1986~1987.: 미국 NIST 객원과학자
2004~2005.: 터어키 보스포러스 대 방문교수
1994~현재: 상지대 컴퓨터정보공학부 교수
※ 관심 분야: 네트워크 구조, 통신 프로토콜, 이동 및 센서 네트워크, 네트워크 보안