

센서 네트워크 환경에서 라우팅 프로토콜에 관한 연구

서유화⁰, 성수련, 진진영, 신용태
 숭실대학교

{zzarara⁰, ssl, nurnadly, shin}@cherry.ssu.ac.kr

A Study on the Routing Protocols in Sensor Networks

Yuhaw Seo⁰, Sulyun Sung, Jinyoung Jeon, Youngtae Shin
 Dept. of Computing, Soongsil University

요 약

센서 네트워크는 정밀한 데이터를 생성하고 이동과 설치에 있어 자유롭기 때문에 미래의 네트워크 기술로 주목 받고 있으며 다양한 응용분야에서 연구되고 있다. 본 논문에서는 환경적인 영향과 비용, 전력 소모에 대해서 민감한 센서 네트워크의 특성을 고려한 라우팅 프로토콜들을 그 특성에 따라 분류하고 앞으로 요구되는 센서 네트워크 라우팅 기술의 발전방향을 예측한다.

1. 서 론

하드웨어의 발전과 무선 네트워크 기술은 적은 비용과 낮은 전력, 작은 크기의 장비를 만들 수 있게 하였고 작은 센싱 장비들 간의 무선 통신을 통해 정밀하고 반복적인 데이터를 얻을 수 있는 센서 네트워크를 등장시켰다. 본 논문에서는 현재 활발한 연구가 진행 중인 센서 네트워크의 라우팅 프로토콜들을 그 특성에 따라 분류하고 그 발전 방향을 예측한다.

센서 네트워크는 정밀한 데이터를 감지하기 위해 많은 센서 노드들로 구성되며 이러한 노드들은 일정 범위의 지역에 뿌려지거나 인간에 의해 배치된다. 어떤 지역의 센서 노드가 감지한 데이터는 센서 노드들 간의 통신을 통해 통합되거나 외부 네트워크로 전송한다. 센서 노드는 크기와 계산 능력, 가용메모리, 전원부의 크기 및 그 용량에 대해서도 큰 제약을 받는 것이 일반적이다. 따라서 센서 네트워크의 라우팅 메커니즘은 이러한 센서 네트워크 고유의 특성이 고려되어야 하며 이 요소들에 의해 그 구조가 다양해 된다.

본 논문의 2장에서는 센서 네트워크의 특성을 고려한 몇 가지 라우팅 프로토콜들을 소개한다. 3장에서는 센서 네트워크의 중요한 요구사항인 메시지의 부하의 최소화 문제를 중심으로 라우팅 프로토콜을 비교하며 그 발전 방향을 예측한다. 4장은 결론 및 향후 연구방향으로 구성되어 있다.

2. 기존의 센서 네트워크 라우팅 프로토콜

2.1 플러딩 (Flooding)

플러딩(flooding)은 패킷의 최대 홉 수에 도달하거나 패킷의 종착지 노드가 아니면 각 노드는 데이터를 수신하거나 브로드캐스팅을 반복한다. 플러딩은 간단하며 고비용의 토폴로지 기술이나 복잡한 경로 발견 프로토콜을 요구하지 않는다. 그러나 한 노드를 이웃으로 하는 다수의 노드에 의해서 중복 메시지가 수신되어질 경우 폭주에 대한 문제를 가지고 있다. 또한 두 개의 노드가 같은 센싱 영역을 갖는다면 동시에 같은 자극을 감지한 센서는 이웃 노드에게 중복(overlap) 메시지를 보내게 되는 문제를 가진다. 따라서 이러한 부하는 에너지 자원에 민감한 센서 네트워크의 비효율적인 에너지 소비로 네트워크의 생존기간을 단축시킬 수 있다.

2.2 온 디맨드 플러딩 (On-Demand Flooding)

온 디맨드 플러딩 방식의 라우팅 프로토콜로는 AODV(ad hoc network on-demand distance vector)와 DSR(dynamic source routing)이 있다. AODV는 제한된 범위의 플러딩으로써 TTL 값을 설정하여 패킷을 TTL값이 경계점에 도달하거나 목적지 노드를 발견할 때까지 플러딩 한다. 목적지 노드를 발견하면 소스 노드까지의 완전한 역 경로를 소스에게 보고하며, 어떤 시간까지 목적지 노드를 발견하지 못하면 소스는 TTL 값을 증가하여 전체 네트워크로 플러딩을 반복한다. 패킷의 중복 문제는 패킷 식별자를 통해 중복 패킷을 제거한다. DSR은 소스가 한 홉에서 목적지까지 경로를 발견할 수 없다면 네트워크 전체로 플러딩을 하는 방식이다. 이 방식은 루프와 끝없는 중복을 피하기 위해 플러딩 패킷이 중간에 거치는 노드의 식별자 목록을 운반하며 식별자 목록과의 비교를 통해 중복된 패킷을 버린다.

2.3 효율적인 플러딩 (Efficient Flooding)

효율적인 플러딩(Efficient Flooding)에서 노드는 두 홉의 이웃 노드의 완전한 집합으로 패킷을 포워딩(forwarding)하기 위해 한 홉의 이웃노드의 최소 집합을 선택한다. 이 프로토콜은 패킷을 전달하기 위한 계속적인 헬로우 메시지와 여분의 신호를 필요로 하지 않는다. 효율적 플러딩은 클러스터링(clustering) 방식과 클러스터링을 하지 않는 방식(nonclustering) 두 가지로 나뉜다.

2.3.1 비클러스터링 (Nonclustering)

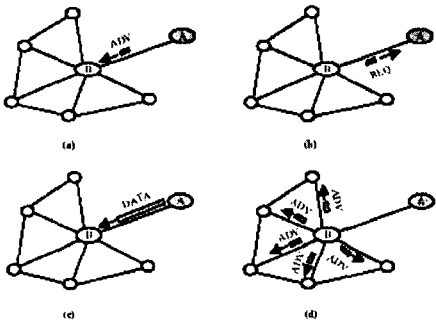
클러스터링(clustering)을 이용하지 않는 경우 각 노드는 최대 중단 노드를 갖는 소스 트리를 만든다. 이 트리에서 임 노드를 제외할 모든 노드는 포워딩에 참여하며, 트리를 만들기 위해 최소한 두 홉의 연결 정보가 필요하다. 이를 위해 소스로부터 최소 두 번의 플러딩이 요구되는데 처음 플러딩은 한 홉의 이웃을 알기 위한 것이고 두 번째 플러딩은 바로 이웃의 목록을 보고하기 위한 플러딩이다. 이 목록을 통해 두 홉 연결성을 가진 한 홉의 이웃 집합을 선택한다. 소스로부터 시작하여 반복적으로 중단 노드가 아닌 노드는 최소의 플러딩 트리를 생성한다. 이러한 방식은 이웃을 알기위한 절차로 인해 높은 밀집도와 이동성을 가진 센서 네트워크의 경우 매우 많은 부하를 가질 수 있다.

2.3.2 PC (Passive clustering)

PC(Passive clustering)는 클러스터 상태 정보를 피기백(piggyback)한 사용자 데이터 패킷을 모니터링 함으로써 이동 무선 네트워크를 위해 사전 준비 없이 클러스터를 만들 수 있다. 각 노드는 들어온 패킷의 MAC 송신 주소로부터 이웃 정보를 모아서 완전한 이웃 목록을 모으지 않고 클러스터링을 수행할 수 있다. 송신자의 식별자는 기존의 모든 MAC 프로토콜에 의해 운반되며 다른 제어 정보의 추가 없이 MAC 헤더로 검색된다. 이 프로토콜의 동작은 먼저 노드가 클러스터 헤드(cluster head)가 될 준비가 되고 보낼 패킷이 있을 때 패킷에 클러스터링 상태임을 주장하는 표기를 하여 자신이 클러스터 헤드임을 선언하며 클러스터 헤드가 되고자 처음으로 주장한 노드가 클러스터 헤드가 된다. 클러스터 헤드만이 자신의 영역 내에 노드에게 데이터를 전달하고 클러스터 영역에 남은 노드를 관리한다. 클러스터 헤드로부터의 성공적인 전송 이후에 그 영역 내에 모든 노드는 받은 패킷의 클러스터 상태를 모니터링함으로써 클러스터의 존재를 알게 된다. PC의 각 노드는 Initial, Gateway, Ordinary 상태를 유지하는데 Gateway 상태는 하나 이상의 클러스터 헤드를 갖는 노드의 상태이고 ordinary 상태는 클러스터헤드도 gateway도 아닌 상태이다.

2.4 SPIN (Sensor Protocols for Information via Negotiation)

스핀(SPIN)은 리소스 적음과 협상에 의해 플러딩의 결정을 보완한 프로토콜이다. 스핀은 센서 노드가 모든 데이터를 보내는 대신 센서 데이터를 설명하는 메타 데이터를 보내어 데이터 송수신을 결정하고 에너지를 절약한다. SPIN은 3가지 타입의 메시지를 가지는데 ADV, REQ, DATA이다.

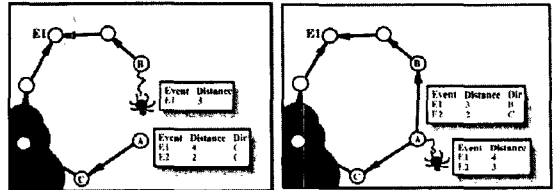


[그림-1] (a)A는 B에게 데이터에 대한 ADV 메시지를 보냄. (b)B는 A에게 REQ 메시지를 보냄. (c) B는 요구한 데이터를 받고 (d)이웃에게 ADV 를 보냄

2.5 RR (Roumor Routing) [3]

RR의 각 노드는 이벤트 테이블과 이웃 목록 테이블을 유지하며 다른 노드의 브로드캐스팅을 통해 이웃 노드의 정보를 얻을 수 있다. 어떤 노드가 이벤트를 발생하면 이벤트 테이블에 이벤트까지의 거리를 0으로 하고 확률적으로 에이전트(agent)를 생성한다.

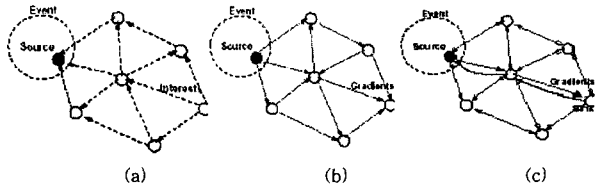
에이전트는 오래 살아 있는 패킷으로 노드와 유사한 테이블을 가진다. 에이전트는 네트워크를 돌아다니며 이벤트 정보를 전파시켜 각 노드의 이벤트 테이블을 업데이트 시키고 이벤트 지역으로 향하는 경로를 설정한다. 에이전트는 루프를 막기 위해 최근에 본 노드 리스트를 유지하며 에이전트가 어떤 이벤트와 만나면 만난 모든 이벤트 목록을 운반한다. 어떤 노드가 질의(query)를 생성하면 질의는 에이전트가 만들어 놓은 목적지 이벤트 노드 경로를 발견할 때까지 네트워크를 돌아다닌다. 질의가 목적지로 전송되지 못했음을 발견하면 재 전송하거나 포기하거나 플러딩을 한다. [그림-3]은 에이전트가 네트워크 전역을 순회하며 노드의 테이블을 업데이트 하는 과정이다.



[그림-2] 테이블 업데이트 과정

2.6 DD (Direct Diffusion) [2]

DD는 데이터 중심의 라우팅 프로토콜이며 속성-값(attribute-value)쌍의 네이밍 개념을 사용한다. 이 네이밍 개념으로 구성된 인터레스트(interest)는 어떤 노드에 의해 네트워크로 보내진다. 이 노드를 싱크(sink)라고 한다. DD 프로토콜은 먼저 네이밍 개념에 따라 테스크를 기록한다. 그 다음 3단계의 과정을 거치는데 ①관심의 전파와 그레디언트(gradient)의 확립 ②,데이터 전파의 ③강화이다. 첫 번째 단계에서 싱크는 주기적으로 인터레스트 메시지를 이웃에게 브로드캐스트 한다. 각 노드는 관심 캐시를 유지하는데 이 캐시에는 관심 메시지를 받은 이웃 노드들의 그레디언트도 저장된다. 여기서 그레디언트란 이벤트가 보내질 방향을 나타낸다. 관심 메시지를 받은 후 노드는 이웃의 부분집합으로 관심 메시지를 다시 보낼 것을 결정한다. 두 번째 단계에서는 싱크가 낮은 이벤트들의 관심 캐시에서 일치하는 관심을 찾는다. 일치하는 목록을 발견하면 모든 나가는 방향(outgoing) 그레디언트들 중에 가장 높은 이벤트 율로 데이터를 요구받은 그레디언트로 유니캐스트한다. 만약 목록에서 관심이 일치하는 항목이 없다면 노드는 데이터를 버린다. 세 번째 단계에서는 싱크가 낮은 이벤트들의 데이터를 받기 시작하면 그 중에서 가장 빠르고 많은 빈도로 도착하는 이벤트를 받은 이웃으로의 경로를 강화시킨다. 초기 설정을 제외하고는 이들 단계는 순차적이지 않으며 프로토콜의 수행과정에 있어서 데이터의 전파나 강화에 있어서 하나의 경로만을 선택하는가 여러 경로를 선택하는가 등의 문제는 디자이너의 선택사항이다. [그림-5]는 DD의 경로 설정 과정이다.



[그림-3] (a)관심의 전파 (b)그레디언트의 설정 (c)경로의 강화

3. 라우팅 프로토콜의 비교와 향후 발전 방향

센서 네트워크의 중요한 요구사항은 에너지 소비의 최소화이다. 이를 위해서 센서 네트워크는 불필요한 메시지의 전송을 최소화해야하고 모든 프로토콜의 처리가 단순해야 한다. 기존의 순수 플러딩 방식은 프로토콜의 처리가 단순하지만 불필요한 메시지의 전송으로 네트워크에 많은 부하를 주기 때문에 에너지 소비에 있어 비효율적이다. 따라서 앞서 살펴본 센서 네트워크의 라우팅 프로토콜들은 프로토콜의 처리를 단순화하고 메시지 전송의 부하를 최소화하려는 방향으로 진화되었다. 이러한 연구는 플러딩의 단점을 수용하면서 플러딩을 최소화하려는 시도에서 목적지 노드까지의 경로를 설정하되 그에 있어 수반되는 메시지 전송을 최소화 하려는 방향으로 진행되었다.

기존의 플러딩 방식을 수용하면서 플러딩을 최소화 하려는

라우팅 프로토콜로는 온 디맨드 플러딩과, 효율적 플러딩, 스피닝 프로토콜이 있다. 이들 중에서 스피닝과 온 디맨드 플러딩은 데이터에 대해 수신해야 하는 목적지 노드를 파악하여 메시지의 부하를 줄이는 반면 효율적 플러딩은 플러딩하는 노드의 수를 최소화함으로써 메시지의 부하를 줄이고자 한다. 그러나 RR과 DD의 경우 목적지 노드까지의 지속적인 경로를 찾는 데 그 목적을 둔다. 이와 같은 경로를 탐색 프로토콜들은 경로를 찾는 데 있어 수반되는 메시지의 발생을 최소화하고 그 처리과정을 단순화하는 것이 그 과제이며 이를 해결하기 위해 파생되는 다양한 경로 탐색 프로토콜들이 제시되고 있다.

위에서 살펴본 바와 같이 프로토콜의 간결성과 메시지 전송의 최소화는 센서네트워크 라우팅 프로토콜에 있어 상쇄관계(trade-off)에 있다. 이 두 가지 문제의 균형을 위해 앞으로의 연구도 진행되어 질 것이며 향후 센서 네트워크의 연구는 보다 복잡하고 다양화된 기능이 센서 네트워크에 추가됨에 따라 이에 수반되는 부하의 최소화와 간결성, 확장성의 문제가 가장 큰 이슈가 되어질 것으로 보인다. [표-1]은 센서네트워크의 각 라우팅프로토콜에 대한 비교이며 [표-2]는 [표-1]의 내용에 기반한 각 라우팅 프로토콜의 장단점 및 그 부하량의 비교이다.

	Data centric	위치정보지	유리	경로 설정		사용되는 메시지	메시지 흐름
				유리	방식		
Flooding	No	No	No	-	-	없음	1. 소스 노드 - 경로 탐색 질의 2. 목적지로 모든 노드에 데이터 전달
SPIN	No	No	No	-	ADV, REQ 메시지	1. Data 발생 2. ADV로 발생한 데이터 알림 3. Req로 요청 4. data로 데이터 전송	
On-Demand Routing	AODV	No	No	Yes	Flooding를 통한 목적지 위치를 먼저 찾은 뒤 목적지 위치를 전파한다	경로 탐색 질의 Scoped flooding	1. 경로 탐색 질의 2. 목적지로 전송 3. 데이터 전송
	DSR	No	No	Yes	complete flooding	complete flooding	
Efficient flooding	Non-clustering	No	No	No	two-hop 연결성을 가진 트리 생성을 위한 hello msg 이웃노드들 제외와 forwarding	1. 아웃파킷을 위한 hello msg 2. 이웃노드 리스트 전달 3. 데이터 전달	1. 소스 노드 - 경로 탐색 질의 2. 아웃파킷(노드의 hello msg 사용) 3. 목적지로 모든 노드에 데이터 전달
	clustering	No	No	No	cluster 상태 정보를 user data packet를 모니터링 하여 cluster 생성 clusterhead만 데이터 flooding	없음	없음
Rumor Routing Algorithm	Yes	No	Yes	Agent를 통하여 path 설정 및 유지	경로 설정을 위한 Agent와 query	1. 데이터 발생 2. Agent를 이용한 소스로부터 경로 설정	

				(각 노드가 event 테이블 유지)	msg flooding	3. query 발생
Directed Diffusion	Yes	No	Yes	Reinforcement 과정	Reinforcement를 위한 interest	1. Interest 전송 2. gradient 설정 3. reinforcement

[표-1] 각 라우팅 프로토콜의 비교

	각 노드 처리량	유지할 테이블	장점	단점
Flooding	- Forwarding	없음	- 노드의 부가적 처리가 필요 없음	- 데이터 중복 - 과도한 데이터 발생
SPIN	-ADV, REQ 메시지와 중복 테이블 유지	데이터 중복을 피하기 위해 테이블 유지	- 불필요한 메시지 전송을 감소	- 링크 주위에 빠른 소모 - 확장성 부족
On-Demand Flooding	- 경로 탐색 질의 처리	없음	- 불필요한 메시지 전송이 없음	- 네트워크의 전이로 인한 플러딩 요구
Efficient flooding	- forwarding subset 결정	- Subset 리스트 유지	- 네트워크 플러딩을 방지하며 패킷의 전송을 최소화한다 - 링크 상태 선택	- 플러딩의 제어 문제 존재
Rumor Routing Algorithm	- 테이블 유지 - agent 값을 이용하여 테이블 갱신 - query내	- 거처간 노드의 리스트 - Event 테이블	- 간결함 - 확장성 있는 메시지 전송 - 목적지 노드까지 전송을 발견	- 목적지 노드까지의 데이터를 정확히 전달
Directed Diffusion	- interest 처리 - gradient 관리 - outlink 결정	- interest 캐쉬 - gradient를 위한 테이블 - data 캐쉬	- 정확한 목적지 탐색 - 지속적인 경로 탐색	- 링크 상태 변경 시 부하량 증가

[표-2] 각 라우팅 프로토콜의 장단점 및 부하

4. 결론 및 향후 연구방향

본 논문에서는 센서 네트워크를 위해 고안된 네트워크 계층의 여러 프로토콜들을 조사하였다. 이 프로토콜들을 에너지 소비의 효율성을 개선하는 측면에서 그 진화 방향을 분석하였고 그 장단점들을 제시하였으며 프로토콜의 개별적인 특성을 파악하여 비교 분석 하였다. 이를 통해 센서 네트워크를 위한 네트워크 계층의 프로토콜의 가장 큰 요구사항은 운용의 간결성 및 에너지의 효율적인 활용이라는 점을 이끌어 내었다. 그러나 이 두 요구사항은 상쇄관계(Trade-off)에 있기 때문에 최대 효율을 이끌어 낼 수 있는 프로토콜에 대한 연구가 필요하다.

참고 문헌

[1] Wendi Rabiner Heinzelman, Joanna Kulik, Hari Balakrishnan "Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks" Fifth ACM/IEEE MOBICOM Conference, Seattle, WA, August 1999
 [2] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, J. Heidemann, and F. Silva, "Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking," IEEE/ACM Transactions on Networking, Feb 2003.
 [3] D. Braginsky and D. Estrin, "Rumor Routing Algorithm for Sensor Networks," in Proc. of the 1st ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications, Atlanta, Georgia, USA, 2002.