

무선 센서 네트워크에서의 적응적 재전송 노드 선택에 의한 효율적인 Flooding 알고리즘

준회원 최 승 준*, 정회원 유 상 조**,

An Efficient Flooding Algorithm with Adaptive Retransmission Node Selection for Wireless Sensor Networks

Seung Joon Choi* Associate Member, Sang-Jo Yoo** Regular Member

요 약

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 노드의 simple flooding에 의해 발생하는 broadcast storm problem을 해결하기 위한 크로스 레이어 기반의 효율적인 flooding 기법인 FARNS (Flooding algorithm with Adaptive Retransmission Nodes Selection)를 제안한다. FARNS는 MAC과 PHY에서 각각 이웃노드의 식별 정보와 수신신호 강도 정보를 수집하여 패킷의 재전송에 사용될 재전송 후보 노드를 선택하여 모든 노드가 수신 패킷의 재전송을 시도하여 발생하는 불필요한 에너지의 낭비를 방지한다. 성능평가를 위한 모의 실험에서는 패킷의 수신비율과 전송비율, 평균중복패킷의 수와 오버헤드 등의 평가기준에서 FARNS가 다른 flooding 기법들보다 우수한 성능을 보인다. 또한, 재전송 동작에서 사용되는 노드들의 비율을 조절함으로써 다양한 네트워크 환경에서의 요구사항을 만족시키는 동시에 broadcast storm problem을 해결한다.

Key Words : Flooding, Wireless Sensor Networks, Broadcast, Cross-layer, WSN

ABSTRACT

In this paper, we introduce an FARNS (Flooding algorithm with Adaptive Retransmission Nodes Selection). It is an efficient cross layer-based flooding technique to solve broadcast storm problem that is produced by simple flooding of nodes in wireless sensor network. FARNS can decrease waste of unnecessary energy by preventing retransmission action of whole network node by deciding retransmission candidate nodes that are selected by identification in MAC and distance with neighborhood node through received signal strength information in PHY. In simulation part, we show the results that FARNS has excellent performance than the other flooding schemes in terms of broadcast forwarding ratio, broadcast delivery ratio, number of redundancy packets and overhead. And FARNS can adjust of node ratio for retransmission operation, it can solve broadcast storm problem as well as meet the requirements of various network environments.

I. 서 론

무선 센서 네트워크는 일반적으로 배터리를 이용

하여 운용되는 에너지 제약적인 시스템이기 때문에 효율적인 에너지 사용을 위한 동작 및 연산이 중요한 이슈가 되며 이에 대한 많은 연구가 이루어지고

※ 이 논문은 2003년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (KRF-2003-041-D20378)

* 인하대학교 정보통신대학원 멀티미디어 통신망연구실 (joon-819@korea.com)

** 인하대학교 정보통신대학원 교수 (sjyoo@inha.ac.kr)

논문번호 : KICS2007-05-234, 접수일자 : 2007년 5월 28일, 최종논문접수일자 : 2007년 10월 16일

있다^{[1][2][3]}. 이러한 특성을 가진 센서 네트워크에서는 routing 정보 혹은 소프트웨어적인 업데이트 등, 모든 노드들에게 정보를 전달해야 하는 경우가 자주 발생하며 이런 경우 가장 간단하게는 simple flooding 기법을 사용한다.

Simple flooding은 모든 네트워크 노드가 처음 수신한 패킷에 대해서 자신의 전파 반경 내에 있는 모든 이웃노드들에게 패킷을 전송하며 중복 패킷을 수신한 경우에는 해당 패킷을 단순히 폐기하기 때문에 모든 노드들에게 패킷을 전달할 수 있는 가장 확실한 방법이다. 그러나 모든 네트워크 노드들이 수신패킷의 재전송을 시도하기 때문에 중복패킷, 노드간 패킷 전송을 위한 경쟁, 패킷 충돌 등에 의한 불필요한 에너지의 소비가 야기되고, 노드 및 네트워크 자체의 lifetime이 줄어들게 되는 원인이 되기도 한다. 또한, 무선 센서 네트워크에서는 에너지 사용 효율을 중요시 하기 때문에 각각의 네트워크 노드에 구현되는 프로토콜은 기존의 계층구조가 아닌 네트워크 응용 목적에 맞도록 구현된 크로스 레이어 형태를 갖는 것이 에너지 사용에 효율적이다.

이러한 사실들을 바탕으로 본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 에너지 효율을 위한 크로스 레이어 기반의 flooding 기법인 FARNs (Flooding algorithm with Adaptive Retransmission Nodes Selection)를 제안한다. FARNs는 PHY와 MAC에서 이웃노드들의 정보를 수집하고 이 정보를 이용하여 수신한 패킷의 재전송 노드를 결정한다. 또한, 각기 다른 패킷전송비율 및 수신비율 등의 요구사항을 갖는 다양한 네트워크 환경을 고려하여 flooding 동작에서 선택된 재전송 노드들의 사용 비율을 네트워크 환경에 대해 적응적으로 조절함으로써 요구사항을 만족시키는 것과 동시에 broadcast storm problem을 해결할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 flooding 방법들과 그 문제점에 대해서 논의하며 3장에서는 본 논문에서 제안하고자 하는 FARNs에 대해서 설명한다. 4장에서는 FARNs의 성능을 모의 실험하고 그 결과에 대해서 논의하며, 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

2.1 거리 기반 Flooding 기법

EFS-C (Efficient Flooding Scheme with Cross-layer Design)^[4]에서는 전송노드와의 거리에

의해 노드 스스로가 수신패킷의 재전송 여부를 결정한다. 이와 같은 거리정보를 기반으로 하는 flooding 기법은 네트워크 노드의 전파 반경을 기반으로 하는 flooding 기법인 area based flooding scheme^[5] 중 하나로서 전송 노드는 자신과 자신의 전파 반경 내에 있는 모든 노드들과의 거리를 계산한다. 전송노드와의 거리에 의해서 수신노드가 패킷을 재전송 했을 때, 패킷이 전송되는 영역의 크기가 미리 결정된 특정 값보다 크다고 판단되면 재전송 동작을 수행한다. 그러나 이러한 동작방식의 문제점은 단순히 새로 전달되는 전송 영역의 크기만을 고려했을 뿐, 실제 그 영역에 동일한 패킷을 수신하지 못한 다수의 이웃노드들이 존재한다는 것을 보장하지 못한다^[6]는 것이며 그림 1에서 이러한 상황을 보여주고 있다. 그림 1에서 노드 A가 미리 결정된 전송 영역의 크기 기준에 만족되어 노드 S로부터 재전송 노드가 되면, 넓은 전파 영역으로 패킷을 전송할 수 있으나, 노드 B가 재전송 노드가 되는 것보다 더 작은 수의 노드들에게만 패킷이 전달된다.

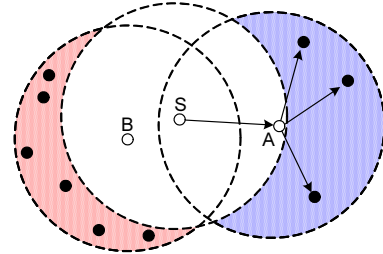


그림 1. Distance based flooding의 문제점.

2.2 중복패킷 수 기반의 flooding 기법

Counter based flooding 기법을 사용하는 노드는 처음 패킷을 수신했을 때, 미리 결정된 시간 동안 대기하며 중복패킷의 수신을 기대한다. 특정 시간 동안 미리 결정된 n개의 중복패킷을 수신하지 못하면, 해당 노드는 자신의 패킷전송영역 내에 있는 이웃노드들 중 패킷을 수신하지 못한 노드가 있는 것으로 간주하고 패킷을 재전송한다. 그러나 이 방법은 모든 노드에게 패킷이 전달된다는 것을 보장하지 못한다^[7]는 단점이 있으며, n을 증가시켜 전체 네트워크 노드에 대한 패킷의 수신비율을 높일 수는 있으나 그로 인해 불필요한 중복패킷과 패킷 충돌이 증가하게 된다. 또한 다수의 중복패킷 수신 후의 재전송은 해당 노드의 이웃노드들이 이미 다른 노드들에 의해 동일한 패킷을 수신했을 확률이 높기 때문에 무의미한 동작이 될 수 있다.

2.3 이웃노드 정보에 기반한 flooding 기법

FONIAH (Flooding based on One-hop Neighbor Information and Adaptive Holding)¹⁸⁾는 모든 네트워크 노드가 1-hop에 속하는 이웃노드들의 위치를 알고 있다고 가정하며, 위치 정보를 이용하여 이웃노드들과의 거리를 계산하고 패킷을 수신했을 때 전송노드와 수신노드 사이의 거리에 따라서 수신패킷에 대한 재전송 전 대기시간을 결정한다. 대기시간은 최초 패킷을 전송한 노드에서 멀리 떨어져 있을수록 짧게 계산되기 때문에 가장 멀리 있는 노드가 가장 먼저 패킷의 재전송을 시도한다. 또한 대기시간 동안 중복된 패킷을 수신 했을 경우에는 이미 최초 전송 노드에서 자신보다 더 멀리 있는 노드가 패킷을 전송했다고 간주하고 재전송을 포기한다.

FONIAH와 같은 동작을 하기 위해서는 모든 네트워크 노드들이 자신과 이웃노드들의 정확한 위치 정보를 얻기 위한 GPS(Global Positioning System)와 같은 별도의 장치가 필요하다. 그러나 이와 같은 별도의 장치는 작은 센서 노드를 사용하는 무선 센서 네트워크에서는 사용하기 어렵다는 단점이 있다.

이웃노드 정보에 기반한 또 다른 flooding 기법인 MPR (Multipoint Relaying)¹⁹⁾은 2-hop까지의 이웃노드 정보를 모두 수집하여 1-hop의 이웃노드들 중 2-hop의 노드들을 이웃노드로 포함하는 노드를 재전송 노드로 선택하는 flooding 기법이다. MPR의 단점은 2-hop에 속하는 모든 이웃노드 정보를 수집하고 저장해야 하며, 에너지 사용 효율을 위한 노드의 sleep / wakeup 주기 중에 재전송 노드로 선택되더라도 sleep 상태에서는 패킷을 전송할 수 없다는 단점이 있다.

III. FARNS 알고리즘

이 장에서는 본 논문에서 제안하고자 하는 FARNS에 대해서 설명하며, 다음과 같은 가정의 하에 알고리즘이 동작한다.

- (1) FARNS는 고정된 위치를 갖거나 천천히 움직이는 센서노드로 구성된 homogeneous wireless sensor network를 대상으로 한다.
- (2) MAC에서는 센서노드의 에너지 효율을 높이기 위한 sleep / wakeup 주기가 이웃노드들과 동기화 된다.

3.1 패킷 재전송을 위한 노드 선정 기준

FARNS에서는 노드의 수신신호강도에 의해서 전

송노드와 수신노드 사이의 거리를 예측한다. 이전 전송노드의 전송영역은 현재 전송노드의 전송영역과 일부가 겹치게 되며 현재 전송노드에 의해서 새롭게 패킷이 전달되는 영역의 크기는 수식 (1)²¹⁾에 의해서 구해질 수 있다. 그림 1에서 이와 같은 상황을 보여 주며 수식 (1)에서 r 은 노드의 전파반경이고 d 는 전송노드와 수신노드 사이의 거리를 의미한다.

$$\pi r^2 - 4 \times \int_{d/2}^r \sqrt{r^2 - x^2} dx \quad (1)$$

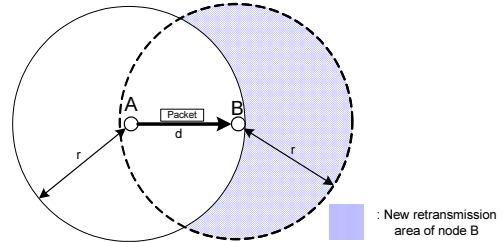


그림 2. 재전송 동작에 의한 새로운 전송영역.

그림 2에서 노드 A는 flooding 되어야 하는 패킷을 전송하는 전송노드이며, 노드 A의 이웃 노드들은 모두 패킷을 수신하는 수신노드가 된다. 위와 같이 패킷을 전송하는 노드를 전송노드라 하며 해당 패킷을 수신하는 노드를 수신노드라고 정의하고 이와 같은 정의를 본 논문에서 전체적으로 사용하도록 한다.

전송노드에 의해서 새롭게 패킷이 전달되는 영역이 최대가 되는 경우는 전송노드와 수신노드 사이의 거리가 노드의 전파반경과 같을 때이다. 이전 전송노드의 전송영역과 겹치지 않는 현재 전송노드의 전송영역의 크기는 이전 전송노드의 전송영역 대비 최대 61%가 되며, 평균적으로는 41%의 크기를 갖는다²¹⁾. 네트워크 노드가 균일하게 분포하는 경우, 수신노드가 이전 전송노드에서 멀리 떨어져 있을수록 이전 전송노드의 전송영역에서 벗어나 있기 때문에 패킷을 수신하지 않은 이웃노드를 많이 가지고 있을 수 있다. 따라서 본 논문에서는 이전 전송노드와 멀리 떨어져 있기 때문에 이전 전송노드의 전송영역과 현재 전송노드 자신이 데이터를 전송하는 영역이 서로 적게 겹치는 노드를 수신패킷을 재전송할 수 있는 노드로 결정한다. 그러나 전송노드에서 멀리 떨어져 있다 하더라도 패킷을 수신하지 못한 이웃노드를 많이 가지고 있다고 보장할 수 없기 때문에 영역크기의 평균값이라고 할 수 있는

41% 이상의 새로운 전송영역을 가질 수 있을 만큼 전송노드와의 거리가 있는 이웃노드들을 재전송 후보 노드 (RCN: Retransmission Candidate Node)로 정의한다.

센서 노드의 종류마다 각기 다른 전파반경을 갖는 등의 다양한 네트워크 상황을 고려했을 때, 전송노드와 수신노드 사이의 거리에 의해 해당 수신노드가 RCN에 속하는지를 알기 위해서는 41%의 새로운 전송영역을 갖는 노드와 전송노드 사이의 거리를 계산할 수 있는 일반적인 방법이 요구된다. 네트워크 영역 내에 노드가 고르게 분포하고 있다고 가정하여 수식 (1)을 이용하면 새로운 전송영역이 41%인 노드와 전송노드 사이의 거리 d 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\pi r^2 - 4 \times \int_{d/2}^r \sqrt{r^2 - x^2} dx = 0.41\pi r^2$$

위의 식을 d 에 관해서 풀면 수식 (2)와 같이 정리된다.

$$d = 0.65r \tag{2}$$

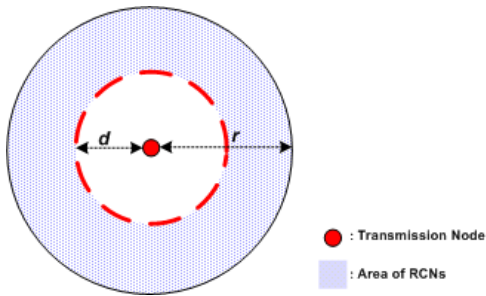


그림 3. 전파반경 내에서의 RCN 분포 영역.

네트워크 노드들이 균일하게 분포되어 있는 상황에서, 전체 이웃노드 중 몇 %가 RCN에 속하는지 알기 위해서는 전체 이웃노드 중 RCN의 비율을 계산해야 하며, 그림 3에서 유도된 수식 (3)에 의해 이를 계산할 수 있다.

$$\frac{\pi r^2 - \pi d^2}{\pi r^2} \tag{3}$$

수식 (2)와 (3)에 의해서 계산된 전체 네트워크 노드 중 RCN의 비율은 다음과 같다.

$$\frac{\pi r^2 - \pi (0.65r)^2}{\pi r^2} = 0.58$$

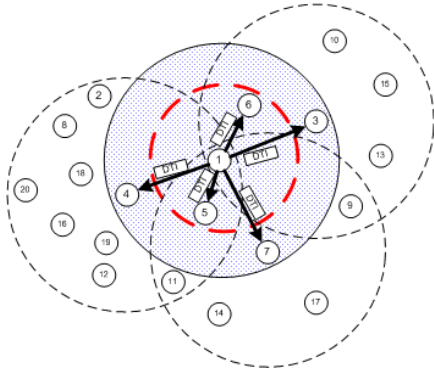
위의 계산에서 전체 이웃노드 중 평균적으로 58%가 RCN이라는 결론을 얻을 수 있다.

3.2 FARNs 동작방식과 노드 선정 방법

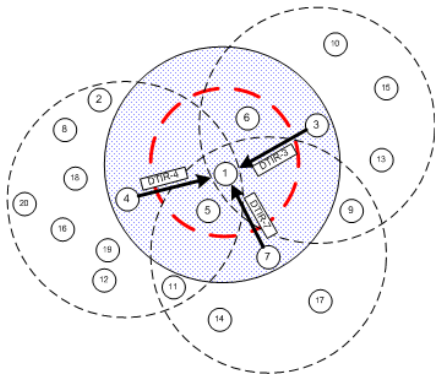
FARNs는 MAC에서 주기적인 ‘hello’ 메시지를 통해 이웃노드들의 식별자 정보와 PHY에서 해당 이웃노드들로부터의 수신신호강도(RSS: Received Signal Strength) 정보를 수집하고 RSS가 작은 값을 기준으로 이웃노드들의 식별자를 정렬하여 저장하는 테이블을 관리한다.

FRANS를 사용하는 노드는 3.1에서 논의된 것과 같이 센서 노드 전파반경의 65% 이상의 거리를 갖는 이웃 노드들을 RCN으로 결정하고 RCN들로부터 이웃노드들의 주소와 같은 식별 목록인 이웃노드 리스트를 전송 받아 자신의 이웃노드 리스트와의 비교를 통해 전송노드와 겹치지 않는 이웃노드 (NON: Non Overlapping Neighbor Node)를 많이 가진 노드의 순으로 순위를 결정한다. 각 노드는 실제 패킷을 재전송하는 재전송 노드 (RN: Retransmission Node)의 식별자를 저장하는 테이블 (RN 테이블)을 관리하며, 비교와 정렬 연산을 통해 선정된 1순위 RCN의 식별자를 RN 테이블에 삽입한다. 이와 같은 동작을 위해 전송노드는 DTI (Data Transmission Indication) 패킷을 자신의 이웃노드들에게 브로드캐스트한다. DTI 패킷에는 전송노드의 식별자와 전송하고자 하는 패킷의 순서번호 그리고 가변길이를 갖는 RSS 필드로 구성되어 있으며, RSS 필드에 RCN 기준이 되는 거리를 나타내는 신호강도 값이 포함된다. 위와 같이 DTI와 DTIR 메시지를 교환하는 과정을 그림 4에서 보여준다.

DTI 패킷을 수신한 이웃노드들 중에서 RCN에 속하는 노드들은 DTIR (Data Transmission Indication Response) 패킷을 전송노드에게 unicast 방식으로 전송한다. DTIR 패킷에는 전송노드의 식별자 정보와 목적지 노드의 식별자 정보 그리고 DTIR 패킷을 전송하는 노드의 이웃노드 리스트가 포함된다. 그림 5에서는 DTI와 DTIR 패킷의 형식을 보여준다.



(a) DTI 패킷의 전송.



(b) DTIR 패킷의 전송.

그림 4. FARNs의 제어패킷 교환.

Source Identification	Flooding Packet Seq. Num	RSS value (Variable Length)
-----------------------	--------------------------	-----------------------------

(a) DTI 패킷.

Source Identification	Destination Identificaton	Neighbor List (Variable Length)
-----------------------	---------------------------	---------------------------------

(b) DTIR 패킷.

그림 5. FARNs의 제어패킷 형식.

FARNs는 위와 같은 동작방식에 의해 RN 테이블을 구성하고 실제 패킷을 전송할 때는 구성된 RN 테이블의 노드들을 패킷의 flooding 동작에서 모두 사용한다면 네트워크 응용 목적에 맞는, 혹은 그 이상의 패킷 수신 비율을 달성할 수 있다. 이와 반대로 RN 테이블 내의 재전송 후보노드들의 사용 비율을 줄일수록 노드들이 수신하게 되는 중복 패킷 및 그로 인해 발생하게 되는 인터럽트 등의 오

버헤드 역시 줄어들게 된다. 즉, 패킷의 flooding 동작에서 많은 노드를 사용할수록 패킷의 수신비율은 높일 수 있으나, 그로 인한 에너지의 낭비 및 패킷 수신에서의 지연은 증가하게 되는 trade off가 발생하게 된다. 따라서 구성된 RN 테이블에서 재전송에 사용되는 RCN의 비율(RCN_FR: RCN Forwarding Ratio)을 조절하여 다양한 네트워크 상황에서 최적의 성능과 감당할 수 있는 만큼의 오버헤드가 발생되도록 해야 한다.

또한, 구성된 RN 테이블은 네트워크 환경을 고려한 특정 시간 동안 저장되며, 이 시간 동안 또 다시 패킷을 전송해야 하는 경우 또 다시 RN 테이블을 구성하지 않고 즉시 패킷을 전송할 수 있다. 이와 같은 aging에 의해서 DTI와 DTIR 패킷 오버헤드와 지연 및 노드의 프로세서와 메모리 부하를 방지하여 불필요한 에너지의 소비를 방지한다.

3.2.1 재전송 노드의 선정 방법

FARNs에서는 전체 이웃노드 중 58% 이상의 RCN을 가진 노드에 대해서 다음과 같은 방법으로 RN 테이블을 구성한다.

- (1) 패킷을 전송하고자 하는 노드는 자신의 전송영역 내에 있는 이웃노드들에게 DTI 패킷을 브로드캐스트 한다. 이 때, 각 노드는 자신의 전파반경에 의해 RCN에 속하는 노드가 수신하게 되는 RSS를 알 수 있기 때문에 RSS 필드를 사용하지 않는다.
- (2) DTI 패킷을 수신한 노드들 중 RCN에 속하는 노드들은 DTIR 패킷을 unicast 방식으로 전송함으로써 DTI를 전송한 노드에게 응답한다.
- (3) 전송노드는 DTIR 패킷을 통해 수신한 RCN들의 이웃노드 리스트와 자신의 이웃노드 리스트를 수식(4)에 의해서 비교하여 NON을 가장 많이 가진 RCN 순으로 정렬하고 1순위 노드를 RN 테이블에 삽입한다.

$$f_c(N(RCN_i)) - f_c(N(s) \cap N(RCN_i)) = X_i \quad (4)$$

위의 비교연산에서 N 은 이웃노드의 집합이고, s 와 RCN_i 는 각각 전송노드와 RCN 노드 i 를 의미하며 f_c 는 집합의 원소 개수를 카운트하는 함수이다.

또한 위와 같은 비교연산의 결과가 NON이다. NON이 0인 RCN은 전송노드의 이웃노드에 자신의 이웃노드가 모두 포함되는 경우이므로 RCN에서 제외되고, 가장 큰 NON 값을 가진 RCN의 식별자 정보가 RN 테이블에 삽입된다.

(4) 나머지 RCN들의 이웃노드 식별자 리스트와 전송노드 및 RN 테이블에 삽입되어 있는 노드의 이웃노드 리스트를 수식 (5)에 의해서 비교한다. 비교연산결과 NON을 가장 많이 가진 RCN 순으로 정렬하여 1순위 노드를 RN 테이블에 삽입하며 마지막 RCN이 RN 테이블에 삽입될 때까지 이 과정을 반복하여 RN 테이블을 구성하고, aging을 위해 구성된 RN 테이블을 특정 시간 동안 저장한다.

$$f_c(N(RCN_j)) - f_c(N(s) \cup N(RN_1) \cup N(RN_2) \dots N(RN_{k-1}) \cap N(RCN_i)) = Y_j \quad (5)$$

수식 (5)에서 RN_j 는 RN 테이블에 저장되어 있는 노드 j 를 의미한다.

(5) RN 테이블이 구성되면 전송노드는 RN 테이블에서 재전송을 해야 하는 노드의 식별자를 첫 번째 노드부터 RCN_FR 만큼 전송패킷에 포함하여 전송하고 패킷을 수신한 노드들 중 RN으로 선택된 노드는 (1)의 과정부터 반복하여 패킷을 재전송한다.

또한, 과정 (3)에서 최초의 이웃노드 리스트를 비교할 때는 전송노드와 RCN들의 이웃노드 리스트를 비교하지만 과정 (4)에서는 RN 테이블에 삽입된 노드와 전송노드의 이웃노드 리스트와 나머지 RCN들의 이웃노드 리스트를 비교한다. 그 이유는 최초 비교에서 전송노드와 NON이 가장 많은 노드를 선정하기 위함이며, 두 번째 비교부터는 RN 테이블에 삽입되어 있는 노드와 전송영역이 가장 적게 겹치는 동시에 전송노드와의 이웃노드 관계에서 NON이 가장 많은 노드를 찾기 위해 전송노드 및 RN 테이블의 노드 모두의 이웃노드 리스트를 RN 테이블에 포함되지 않은 RCN들의 이웃노드 리스트와 비교한다.

과정 (5)에서는 전송 패킷에 RN 테이블의 노드 리스트를 포함해서 전송하게 되는데, 이것은 모든 이웃노드가 패킷을 전송함으로써 RN으로 선정된 노드들만이 패킷을 전송하도록 하기 위함이며, 이와 같은 동작 방식을 통해 RCN_FR 또한 조절이 가능하다. 그림 6에서는 RN 테이블 구성과정을 보여준다.

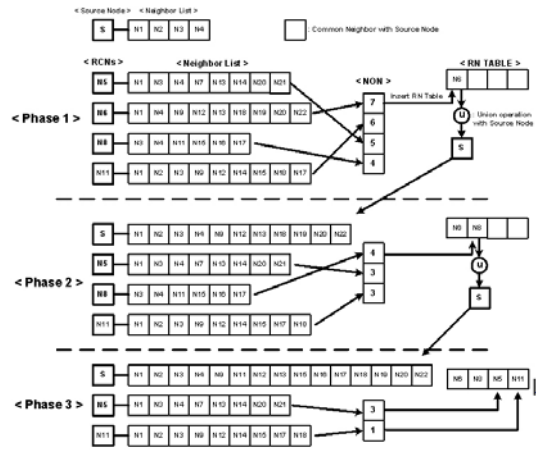


그림 6. 재전송 노드의 선정 과정.

그림 6에는 위에서 설명된 재전송 노드 선정 과정 중 (3)의 과정 이후를 보여준다. Phase 1은 RCN들의 이웃 노드들을 서로 비교하여 NON을 추출하고 비교한다. 수식(4)를 통해 결정된 NON을 다시 비교하고 순서를 정렬하여 가장 많은 NON을 가진 RCN을 RN 테이블에 삽입한다.

Phase 2는 RN 테이블에 포함되어 있는 노드의 이웃 노드와 현재 전송 노드의 이웃 노드들의 식별 정보를 통합하고, 이와 RN 테이블에 포함되지 않은 RCN들의 이웃 노드를 비교하여 NON을 결정한 후 가장 많은 NON을 가진 RCN을 다시 RN 테이블에 삽입하며, Phase 3은 마지막 RCN이 RN 테이블에 삽입될 때까지 Phase 2와 같은 동작 방식으로 RN 테이블을 구성한다.

3.2.2 평균 RCN 비율을 갖지 못한 노드의 재전송 노드 선정 방법

노드가 균일하게 분포되어 있다 하더라도 전체 이웃노드 중 58%의 RCN을 갖지 못하는 경우가 발생할 수 있으며, 이러한 노드가 재전송을 해야 하는 경우에 대해서는 다음과 같은 과정을 거쳐 RN 테이블을 구성한다.

- (1) 첫 번째 패킷을 전송하는 경우에는 3.2.1의 재전송 노드 선정과정 중 (1)과 (2)를 실행하여 RCN을 선정한다.
- (2) RCN_RF와 현재 이웃노드 중 RCN 비율을 고려하여 수식 (6)에 의해 부족한 만큼의 RCN 수를 구한다.

$$(N_N \times 0.58 \times FRCN_R) - (N_N \times CRCN_R) \quad (6)$$

수식 (6)에서 N_N 은 전체 이웃노드의 수이고 $FRCN_R$ 은 flooding 동작에 사용될 RCN의 비율이며, $CRCN_R$ 은 현재 이웃노드 대비 RCN의 비율이다. $FRCN_R$ 의 경우 현재 네트워크 응용에 따라 만족될 수 있는 오버헤드와 알고리즘의 성능 사이의 trade off에 의해서 조절될 수 있으며, 네트워크 운영자에 의해서 결정될 수 있다. 또한, $CRCN_R$ 의 경우는 DTI와 DTIR 메시지의 교환에 의해서 현재 전송노드의 이웃 노드 중 재전송 후보 노드에 속하는 노드의 수를 알 수 있기 때문에 간단한 계산을 통해서 구해질 수 있다.

- (3) 전송노드가 관리하고 있는 RSS 테이블에서 최초 DTI 패킷에 응답하지 않은 1순위 노드부터 RN 테이블에 삽입하여 RCN_RF를 만족시킨 후 flooding 동작을 실행한다.
- (4) 두 번째 패킷의 전송부터는 이미 부족한 RCN의 수를 알고 있기 때문에 RSS 테이블을 이용하여 최초 DTI에 응답하지 않은 노드들 중 부족한 RCN의 수를 채울 수 있는 최소의 RSS값을 RCN 선정기준으로 변경하고, DTI 패킷에 변경된 RSS 값을 포함하여 전송한다.
- (5) 3.2.1의 재전송 노드 선정과정 (3)부터 반복하여 RN 테이블을 구성한다.

전체 이웃노드 중 58% 미만의 RCN을 가진 노드는 첫 번째 패킷의 전송에서 RSS 값에 따라 RSS 테이블을 이용하여 최초 DTI 패킷에 응답하지 않은 1순위 노드부터 부족한 RCN의 개수를 채워 flooding 동작을 수행하며, 두 번째 패킷 전송부터는 부족한 RCN을 추가할 수 있는 최소한의 RSS 값을 RCN 선정 기준으로 선택하여 사용한다. 이때 예측치 이상의 노드가 DTIR 패킷으로 응답할 수 있으며 2.2.1의 재전송 노드 선정과정 (3)과 (4)에 의한 비교와 정렬 연산에 의해 현재 상태에서 최적의 RCN을 flooding 동작에 사용할 수 있다.

3.2.3 Aging 기간의 결정

무선 센서 네트워크에서는 작은 크기의 센서 노드를 사용하기 때문에 노드가 이동하기 위해서는

별도의 이동 장치에 의존하는 수 밖에 없다. 따라서 대부분의 경우 노드의 이동성을 지원하지 않으며 이와 같은 단점을 극복하기 위해 네트워크 영역 내에 다수의 센서 노드를 분포시키게 되며, 노드는 고정된 위치를 갖거나 별도의 장치를 이용하여 천천히 이동하게 된다^{[11][12]}.

FARNS는 DTI와 DITR 패킷을 사용하기 때문에 이로 인해 지연과 패킷 오버헤드가 발생하게 된다. 이와 같은 오버헤드를 줄이기 위한 방법으로 최초 패킷 전송에서는 DTI와 DTIR 패킷을 이용해서 RN 테이블을 구성하고, 구성된 RN 테이블을 일정 시간 동안 저장하여 두 번째 패킷의 전송에서부터 사용한다.

이와 같은 aging 기법에서는 DTI와 DTIR 패킷을 사용하지 않고 저장된 정보를 이용해서 패킷을 전송하기 때문에 노드의 알고리즘 연산에 의한 메모리와 프로세서의 부하를 줄이고 DTI와 DTIR 패킷에 의한 패킷 오버헤드와 지연까지 줄일 수 있다. 뿐만 아니라 센서 노드는 고정된 위치를 갖거나 천천히 움직이기 때문에 aging에 의한 에너지 효율이 높아질 수 있다.

FARNS에서는 패킷 전송에서 발생하는 오버헤드를 줄이기 위해 aging 기법을 사용하며 이 시간의 길이를 수식 (7)과 같이 정의한다. 전송노드는 수식 (7)에 의해서 결정된 시간 동안 RN 테이블을 단 한 번 구성하고 이 시간이 종료되면, 이후 패킷의 재전송 동작을 할 때 다시 RN 테이블을 구성한다.

$$AT = \frac{(R - d_i)}{CS} \quad (7)$$

수식 (7)에서 AT는 aging 기간을 의미하고 R은 노드의 전파반경, d_i 는 전송노드와 RCN들중 가장 멀리 있는 RCN 노드 i 사이의 거리를 의미하며 CS는 현재 노드의 이동 속도를 의미한다. 결국 수식 (7)이 의미하는 것은 가장 멀리 있는 RCN이 전송노드의 이동 속도에 의해 전파반경을 벗어날 때까지 걸리는 시간이다. 물론, 전송노드는 노드들의 방향은 알 수 없기 때문에 가장 멀리 있는 RCN이 수식 (7)에 의해서 구해진 시간 후에 전송노드의 전파반경을 벗어난다고는 할 수 없다. 그러나 가장 멀리 있는 RCN을 대상으로 했기 때문에 해당 RCN과의 거리가 전송노드의 이동방향에 의해 가까워져도 이와 유사한 거리에 있는 노드는 전송노드의 전파반경을 벗어 날 수 있으며, 이와 같은 경우 수

식 (7)에 의해 결정된 시간 이후에 RN 테이블을 구성하면 된다.

Flooding은 기본적으로 모든 네트워크 노드에게 동일한 패킷을 전달하는 것이 목적이며 에너지 효율적인 flooding 동작을 위한 절대적인 재전송 노드의 수를 구하는 것은 NP-Complete 라는 것이^[9]에서 증명되었다. 따라서 본 논문에서는 flooding 동작에서 사용되는 RCN의 비율과 네트워크 노드 수의 조절 및 다양한 크기의 전송패킷을 가정하여 모의 실험을 통해 제안된 알고리즘의 성능을 평가한다.

IV. 모의 실험

이 장에서는 본 논문에서 제안하는 FARNs의 성능을 다른 flooding 기법들과 비교하고자 한다. 이를 위해 NS2 (Network Simulator 2)에서 FARNs를 크로스 레이어 프로토콜 방식으로 구현 했으며, 평균패킷수신비율, 평균패킷전송비율, 평균중복패킷의 수, 평균패킷전송지연과 오버헤드를 성능평가 기준으로 결정했다.

평균패킷수신비율은 전체 네트워크 노드 중 패킷을 수신한 노드의 평균적인 비율을 의미하며, 이는 사용한 flooding 기법의 신뢰성을 나타낸다고 할 수 있다. 또한 평균패킷전송비율은 전체 네트워크 노드 중 재전송을 시도한 노드의 평균적인 비율을 의미하며 패킷수신비율, 중복패킷의 수와 지연 및 오버헤드에 영향을 미치게 된다. 평균중복패킷의 수는 전체 네트워크 노드가 수신한 중복 패킷의 평균 개수를 의미하며 이 크기가 작을수록 패킷의 송수신과 메모리 및 프로세서에서의 불필요한 에너지 소비가 줄어들게 된다. 평균패킷전송지연은 패킷을 최초로 전송한 시점부터 마지막 노드가 패킷을 수신한 시점까지의 평균적인 지연을 의미하는 것으로 모의 실험 상에서 모든 네트워크 노드가 동일한 패킷을 수신하는데 필요한 평균적인 시간이다. 마지막으로 오버헤드는 flooding 동작을 위해 발생하는 데이터의 양으로서 데이터 패킷 자체에 의한 데이터 양과 flooding 동작을 위한 제어 패킷의 사용에 의해 발생하는 데이터 양의 합이다.

모의 실험을 위한 네트워크의 환경 파라미터는 표 1과 같으며 본 논문에서 제시하고 있는 모든 모의 실험결과는 10회 반복 실험의 평균이다.

표 1. 모의 실험을 위한 파라미터.

Simulation Parameter	Value
Simulator	NS2 Version 2.30
Number of Nodes	250 ~ 400
Simulation Area	1000m x 1000m
Transmission Range	100m
Node Speed	0 ~ 1km/h
Trial Number	10
MAC	Sensor MAC ^[12]
Signal Propagation Model	Free Space Path loss
Data Packet Size	300 bytes ~ 600 bytes
Forwarding Ration of RCN	100% ~ 80%

성능평가를 위한 비교 대상이 되는 flooding 기법은 simple flooding과 MPR^[9]이다. MPR은 FARNs와 같이 2-hop의 이웃노드 정보를 이용하기 때문에 비교대상으로 선정한다. Simple flooding의 경우 모든 네트워크 노드가 처음 수신한 패킷에 대해서 재전송을 시도하기 때문에 패킷수신비율과 패킷전송지연 측면에서는 최상의 경우가 된다. 따라서 flooding 기법의 패킷수신비율과 패킷전송지연 측면에서의 성능이 simple flooding의 성능에 근접할수록 좋은 성능을 가졌다고 할 수 있다.

패킷을 전송하는 노드의 수는 패킷수신비율, 중복패킷의 수와 지연 등에 영향을 미친다. 또한 flooding은 네트워크 상의 모든 노드들에게 패킷을 전달하기 위한 동작이기 때문에 FARNs의 모의 실험 결과에서는 flooding 동작에서 RCN_FR을 100%에서 80%까지 사용했을 때 평균패킷전송비율과 전송비율, 중복패킷 수와 지연 등의 성능과 다른 flooding 기법들의 성능을 비교하고 오버헤드에 대해서 고찰한다.

모의 실험을 위한 네트워크 환경은 장애물이 없는 넓은 지역에서 수백 개의 노드가 분포되어 있는 상황을 가정했으며, 네트워크 노드의 신호강도 및 주파수 대역은 NS2의 기본값^[13]을 사용했다. 또한, MAC 프로토콜의 경우 노드의 에너지 소비를 줄이기 위해 주기적으로 sleep과 wakeup을 하며 이 주기를 다른 노드들과 동기화 하는 sensor-MAC (SMAC)을 사용했고, 노드의 이동 속도는 고정된 위치를 갖거나 천천히 이동한다는 일반적인 무선 센서 네트워크의 특성에 의해 0에서 1km/h의 속도를 갖도록 했다.

4.1 성능 평가

그림 7은 FARNs와 Simple flooding 그리고 MPR의 평균패킷수신비율을 나타낸다. 그림 7의 범례에서 FARNs(100)은 flooding 동작에서 RCN_FR이 100%인 경우이다

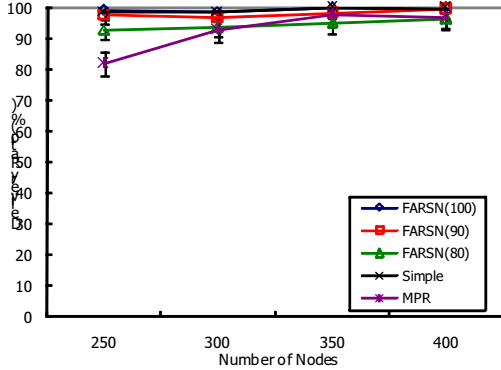


그림 7. 각 flooding 기법의 평균패킷수신비율.

평균패킷수신비율에서의 성능은 simple flooding이 최상의 성능을 나타낸다. 결과적으로 simple flooding에 근접하는 성능일수록 좋은 성능을 나타낸다고 할 수 있으며, FARNs의 경우 100%와 90%의 RCN을 사용했을 때의 성능이 simple flooding의 성능에 근접하며 MPR 보다 우수한 수신비율 성능을 보여준다.

평균패킷전송비율에서는 모든 노드가 전송노드가 되는 simple flooding이 가장 낮은 성능을 갖게 된다. 따라서 simple flooding의 성능결과 보다 작은 값을 가질수록 좋은 성능을 가졌다고 할 수 있으며, 그림 8에서 알 수 있듯이 FARNs는 RCN_FR이 100%부터 80%까지 일 때 simple flooding과 MPR 보다 좋은 평균패킷전송비율을 보인다. 수신비율과 종합해보면 100%의 RCN을 사용했을 경우 평균적으로 전체 네트워크 노드의 60% 사용으로 99% 이상의 네트워크가 노드가 패킷을 수신할 수 있으며, 90%의 RCN을 사용했을 경우에는 50% 이하의 노드를 사용하여 97% 이상의 평균패킷수신비율을 나타낸다.

평균중복패킷에서는 전파를 이용한 패킷 전송의 특성상 전송노드가 단 한번 패킷을 전달하더라도 전체 네트워크의 노드수가 증가할수록 패킷을 수신하는 노드의 수가 증가하게 되며, simple flooding과 같이 모든 노드가 수신패킷에 대한 전송을 시도하는 경우에 대해서는 최악의 성능을 갖게 된다. 뿐만 아니라 FARNs와 MPR 같은 flooding 기법에서

는 비효율적인 전송노드를 선택할수록 이미 수신한 패킷에 대해서 중복패킷을 수신할 확률이 높아지게 된다. 그림 9에서도 알 수 있듯이 FARNs는 simple flooding과 MPR보다 우수한 성능을 보인다. 100%의 RCN_FR을 사용한 경우보다 낮은 RCN_FR을 사용한 경우가 평균중복패킷의 수가 작은 이유는 전송노드의 수가 줄었기 때문이다.

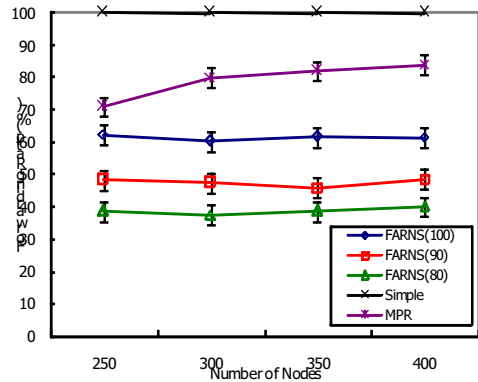


그림 8. 각 flooding 기법의 평균패킷전송비율.

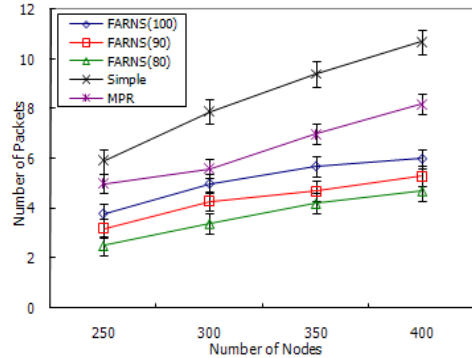


그림 9. 각 flooding 기법의 평균중복패킷의 수.

최초 전송노드가 패킷을 전송한 시점부터 마지막 노드가 패킷을 수신할 때까지의 지연시간을 나타내는 평가기준인 평균지연시간은 모든 노드가 패킷을 전송하는 경우인 simple flooding이 최상의 경우가 된다. 그림 10은 각 flooding 기법에서의 평균지연을 보여주며 FARNs의 경우 DTI와 DTIR을 사용한 reactive 방식의 flooding 기법이기 때문에 simple flooding의 성능에는 미치지 못하지만, 무선 센서 네트워크는 lifetime 동안 패킷의 전송 비율이 매우 낮기 때문에 패킷전송지연은 무선 센서 네트워크에서는 중요한 성능평가기준이 아닐 수 있다^[11].

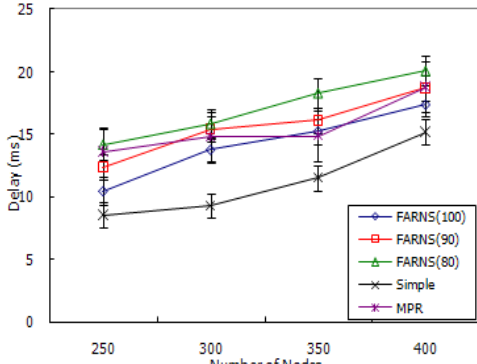


그림 10. 각 flooding 기법의 평균지연.

Flooding 동작을 위한 오버헤드는 하나의 데이터 패킷을 전송하기 위해 전송노드에 의해발생되는 DTI와 DTIR 패킷 그리고 데이터 패킷의 데이터양의 합이다. 이러한 오버헤드는 전송노드의 수에 따라 달라지기 때문에 비효율적인 노드의 전송이 많아질수록 그 양이 증가한다. 따라서 불필요한 에너지의 소비를 야기하기 때문에 네트워크와 노드의 lifetime에 영향을 줄 수 있는 오버헤드이다.

하나의 데이터 패킷을 전송하기 위해 발생하는 데이터 양은 수식 (8)에 의해서 계산될 수 있다.

$$S(data) + S(dti) + S(dtir) \times RCN_s \quad (8)$$

수식 (8)에서 S는 패킷의 크기를 나타내는 함수이며 data, dti, dtir은 각각 데이터 패킷, DTI와 DTIR 패킷을 의미하고, RCNs는 DTI 패킷에 응답한 RCN의 수를 나타낸다.

그림 11은 노드의 수가 300개이고 300bytes 에서 600bytes의 데이터 패킷을 사용했을 때 FARNs를 사용한 경우 각 노드에서 발생하는 오버헤드와 simple flooding과 MPR을 사용했을 때 각 노드에서 발생하게 되는 오버헤드의 크기를 보여준다. 이 실험에서 사용된 DTI와 DTIR 패킷의 크기는 가변길이를 갖는 RSS 필드와 전송노드의 식별자 그리고 전송패킷의 순서번호를 각각 2byte로 고정했으며, DTIR 패킷의 이웃노드 리스트 필드는 DTIR 패킷을 전송하는 노드의 이웃노드 수에 따라 달라지는 가변길이를 갖는다.

전송노드에 의해 발생하게 되는 데이터 발생량은 모든 노드가 수신한 패킷의 재전송을 시도하는 simple flooding이 최악의 성능을 나타낸다.

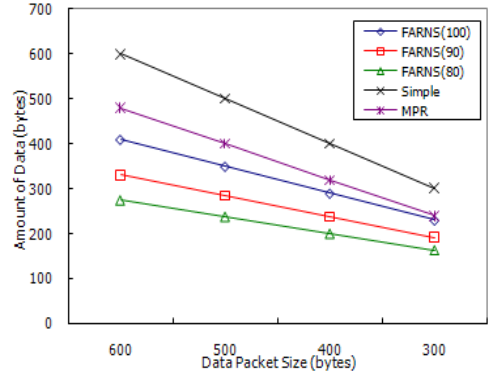


그림 11. 각 노드에서의 데이터 발생량.

FARNs는 DTI와 DTIR 패킷에 의해 최적의 전송노드를 선택하기 때문에 simple flooding이나 MPR보다 작은 수의 전송노드가 재전송을 시도한다. 따라서 전송노드에 의해 발생하게 되는 데이터 발생량이 적게 된다.

FARNs는 전송할 패킷이 있을 경우에만 DTI와 DTIR 패킷을 사용하여 RCN들을 선정한 후, 결정된 RCN_FR에 따라 패킷을 전송한다. 따라서 DTI와 DTIR 패킷에 의해 추가적인 오버헤드가 발생되지만, 최초 구성된 RN 테이블을 일정시간 동안 저장하여 계속 사용하는 aging에 의해서 이 오버헤드를 줄일 수 있다. Aging 기간 동안에 n개의 패킷을 전송하는 경우 RN 테이블 구성을 위해 전송노드와 RCN들 사이에 단 한번 DTI와 DTIR 패킷의 교환이 발생하기 때문에 각각의 전송노드와 RCN에서 발생하는 데이터 양은 수식 (9)에 의해서 계산될 수 있으며, 수식 (9)에서 N은 aging 기간 동안에 전송된 패킷의 수이다.

$$N \times (S(data) + S(dti) + S(dtir) \times RCN_s) \div N \quad (9)$$

그림 12는 위의 실험과 동일한 환경에서 노드가 천천히 이동하거나 정지해 있을 때, aging 기간 동안 1개에서 10개까지 패킷을 전달했을 경우에 발생하는 오버헤드에서 DTI와 DTIR 패킷의 비율을 보여준다. 실험에서 사용된 데이터 패킷은 현재 가장 작은 크기인 300bytes이며, 가장 작은 단위에서의 결과에 의해 더 큰 데이터 패킷을 사용했을 경우의 결과를 짐작할 수 있다. 결과에서도 알 수 있듯이 aging 기간에 전달되는 패킷의 수가 늘어날수록 DTI와 DTIR 패킷에 의한 오버헤드는 줄어들게 된다.

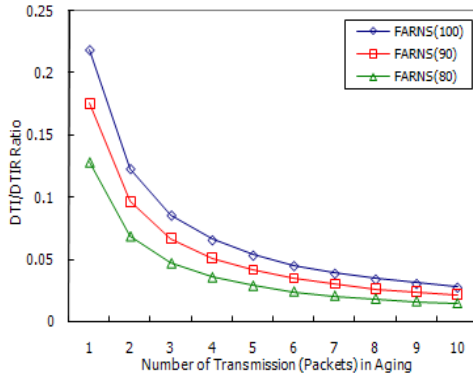


그림 12. Aging 사용시의 DTI와 DITR 패킷의 오버헤드 비율

V. 결론

본 논문에서는 broadcast storm problem과 기존 flooding 기법들의 문제점들을 해결하기 위해 크로스 레이어 기반의 flooding 기법인 FARNs를 제안했다. FARNs는 크로스 레이어 개념에 의해서 MAC과 PHY로부터 이웃노드의 식별 정보와 거리 정보를 추출하고 이를 이용하여 RCN을 결정한다. 또한, RCN들 간 및 전송노드와의 이웃노드 리스트를 비교하여 NON이 큰 순서대로 RN 테이블에 삽입하며, RCN_FR에 따라 패킷을 전송하는데 있어 순위가 높은 RCN부터 사용하도록 하여 패킷의 전송비율, 중복패킷과 오버헤드는 낮추고, 패킷의 수신비율은 높일 수 있도록 한다.

모의 실험에서는 무선 센서 네트워크의 가장 중요한 이슈인 에너지 효율적인 패킷 전송과 연산을 위해 크로스 레이어 프로토콜 측면에서 NS2를 이용하여 FARNs를 구현했으며, 성능평가를 위해 simple flooding과 Multipoint relaying flooding 기법을 비교모델로 선정하여 동일한 무선 센서 네트워크 상황에서 평균패킷수신비율, 평균패킷전송비율, 평균중복패킷의 수, 패킷전송지연 및 패킷을 전송하기 위해 발생하는 오버헤드를 정의하여 성능 평가를 했다.

모의실험을 통한 성능평가 결과, FARNs는 RCN_FR이 100%에서 80%일 때 평균패킷수신비율이 93% 이상 달성되었으며, 이 때의 평균전송비율은 전체 노드 중 62% 이하였고, 중복패킷의 수와 오버헤드 측면에서도 위에서 소개한 2가지 flooding 기법보다 우수한 성능을 보인다. 이와 같은 모의실험을 통해 FARNs에서는 RCN_FR을 100%에서 80% 사이에서 선택하는 것이 수신비율, 중복패킷의

발생 및 오버헤드의 측면에서 좋다는 것을 알 수 있었고 RCN_FR의 선택에 의해 다양한 네트워크 환경에서 사용자가 원하는 성능을 얻을 수 있으며, 전체 네트워크 노드의 전송을 방지하여 최적의 노드들만이 재전송 동작을 시도할 수 있도록 함으로써 broadcast storm problem을 해결한다.

참고 문헌

- [1] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci, "A survey on Sensor Networks", IEEE Communication Magazine, Vol. 40, pp 102-114, August, 2002
- [2] Dharma P. Agrawal and Q-A Zeng, "Introduction to wireless and Mobile Systems", Brooks/Cole Publishing, ISBN No. 0534-40851-6, 2003
- [3] C. Intanagonwiwat, R. Govindan and D. Estrin, "Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks", MobiCom 2000, pp 56-67, August 2000.
- [4] Xiaodong Wang, Jun Yin, Qi Zhang, and Dharma P. Agrawal, "A Cross-layer Approach for Efficient Flooding in Wireless Sensor Networks", WCNC 2005, Vol. 3, pp 1812-1817, 2005
- [5] Brad Williams, Tracy Camp, "Comparison of Broadcasting Techniques for Mobile Ad Hoc Networks", In Proceedings of the ACM international symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MOBIHOC), pp 194-205, Jun 2002
- [6] Min Sheng, Jiandong Li, "Relative Degree Adaptive Flooding Broadcast Algorithm for Ad Hoc Networks", IEEE Transactions on broadcasting, Vol. 51, pp 216-222, June 2005
- [7] Sze-Yao Ni, Yu-Chee Tseng, Yuh-Shyan Chen, and Jang-Ping Shen, "Broadcast storm Problem in a Mobile Ad hoc Network", Wireless Networks, Vol. 8, pp 153-167, May 2002
- [8] Sung-Hee Lee and Young-Bae Ko, "An Efficient Neighbor Knowledge Based Broadcasting for Mobile Ad Hoc Networks", ICCS 2006, Vol.3992, Part II, pp 1097-1100, 2006.

- [9] Amir Qayyum, Laurent Viennot, Anis Laouiti, "Multipoint Relaying for flooding Broadcast Messages in Mobile Wireless Networks", In Proceedings of the 35th Annual Hawaii International Conference, Vol. 9, pp 3866-3875, 2002
- [10] Min-Gu Lee, Sunggu Lee, "Data Dissemination for Wireless Sensor Networks,", 10th IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing, pp 172-180, 2007
- [11] Holger Karl, Andreas Willig, "Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks", John Wiley & Sons, Ltd, pp 22-23, 62, 2005
- [12] W. Ye, J. Heidemann and Estrin, "Medium Access Control with Coordinated, Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks", IEEE/ACM Transaction on Networking, Vol. 12, No 3, pp 493-506, 2004
- [13] <http://www.winlab.rutgers.edu>

최 승 준 (Seung Joon Choi)

준회원



2003년 2월 인하대학교 컴퓨터 공학과, 공학사
2005년 8월~2007년 8월 인하대학교 정보통신 대학원 석사
<관심분야> Mobile IP, Sensor networks, Cross-layer

유 상 조 (Sang-Jo Yoo)

정회원



1988년 2월 한양대학교 전자 통신학과(공학사)
1990년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과(공학석사)
2000년 8월 한국과학기술원 전자전산학과(공학박사)
1990년 3월~2001년 2월 KT

연구개발본부

2001년 3월~현재 인하대학교 정보통신대학원 부교수
<관심분야> 인터넷 QoS, 초고속 통신망 구조, 멀티미디어 네트워킹, 센서 네트워크, 모바일 컴퓨팅