

# 무선 센서 네트워크 상에서 에너지 효율적인 제한된 영역 조절 플러딩 (Energy Efficient Restricted Angle-Control Flooding in Wireless Sensor Networks)

박은령<sup>†</sup>                      박명순<sup>\*\*</sup>  
(Eunryung Park)              (Myongssoon Park)

**요약** 본 논문에서는 네트워크에 분포된 센서 노드의 밀도와 노드의 제한된 에너지를 고려하여 데이터를 전송하는 Restricted Angle-control Flooding 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 특히 목적지에 가까워질수록 데이터 전송에 참여하는 노드의 수를 효율적으로 줄임으로써 불필요한 Broadcast 메시지를 제한하여 에너지 효율성을 높일 수 있으며, 노드의 Failure나 네트워크의 장애로 인한 Hole 발생 시 Hole의 판단 기준에 따라 기존의 Flooding 방식 혹은 Forwarding area를 넓히는 Hole-Detection을 통하여 메시지 전송의 효율성을 높인다. 성능 평가를 통하여 노드 수가 증가할수록 기존의 Flooding에 비하여 메시지 전송시 소비되는 노드의 에너지와 전송률, 네트워크의 Lifetime면에서 우수하다는 것을 보여준다.

**키워드** : 무선 센서 네트워크, 제한된 플러딩, 에너지 효율적

**Abstract** In this paper, we propose Restricted Angle-control Flooding considered density network of sensor nodes and node's limit energy. Restricted Angle-control Flooding, increase energy efficiency by reducing unnecessary candidate nodes involved in forwarding closer to

· 이 논문은 제36회 추계학술발표회에서 '무선 센서 네트워크상에서 에너지 효율적인 제한된 영역 조절 Flooding'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

<sup>†</sup> 학생회원 : 고려대학교 컴퓨터정보통신대학원

ryung@korea.ac.kr

<sup>\*\*</sup> 종신회원 : 고려대학교 정보통신대학 교수

myongsp@ilab.korea.ac.kr

논문접수 : 2009년 12월 24일

심사완료 : 2010년 3월 29일

Copyright©2010 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적의 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지 : 컴퓨팅의 실제 및 레터 제16권 제7호(2010.7)

the destination. And The Hole when faced with our proposal to raise rates data through Hole Detection which is sender's forwarding area is extended or broadcast to the entire network. Compared to the traditional flooding, we show the superiority at the node's energy consumption, data rate and network lifetime through the performance.

**Key words** : Wireless sensor network, Restricted flooding, Energy-efficient

## 1. 서론

무선 센서네트워크는 광범위하게 설치되어 있는 유무선 네트워크 인프라에 상황인지를 위한 다양한 센서 디바이스를 결합하여 감지된 환경데이터를 응용서비스 서버와 연동하는 기술이다[1]. 네트워크에 속한 센서 노드들은 유기적으로 동작하며, 감지 기능을 통하여 주변 환경의 변화된 정보를 수집, 전송 및 처리하거나 전송된 정보를 다른 노드에게 라우팅하는 역할을 수행한다. 이러한 센서 노드들로 구성되어 있는 무선 센서 네트워크에서 가장 우선적으로 고려되어야 할 사항은 노드가 가진 제한된 에너지 자원에 대한 에너지 효율성(Energy-Efficient)이다. 센서 노드들의 에너지 소모는 네트워크의 Lifetime과 관련하여 매우 중요한 문제이다. 노드들의 전력 소모를 기능별로 분석해 보면 무선 통신 시 사용되는 에너지 소비가 센싱이나 데이터 처리에 소비되는 에너지보다 크기 때문에, 노드의 제한된 에너지를 효율적으로 사용할 수 있는 라우팅 알고리즘 개발은 무엇보다 중요한 이슈가 된다. 이를 위해 현재까지 다양한 라우팅 알고리즘들이 개발되었으며, 이들은 노드의 위치 정보를 활용하여 메시지를 전송하는 Location-based(위치 기반) 방식과 노드의 위치 정보 없이(Stateless) 메시지를 전송하는 Flooding 방식으로 분류할 수 있다 [2-5]. Flooding은 이웃 노드들의 위치를 알 수 없기 때문에 Interest 메시지를 Broadcasting 후 재전송을 반복하며 목적지까지 메시지를 전달하게 된다. 하지만 Flooding 방식은 이웃 노드에 대한 정보 없이 대규모 숫자의 노드들이 메시지를 source 노드까지 전송하기 때문에 네트워크 전체의 오버헤드가 클 뿐만 아니라 상태 정보를 유지하기 위해 메시지를 받은 주변 노드들의 불필요한 에너지 소비와 메모리 낭비가 발생하게 된다. 따라서 본 논문에서는 위와 같은 Flooding의 비효율적인 면을 고려하여 네트워크에 분포된 센서 노드들의 밀도와 제한된 에너지를 효율적으로 활용하면서 메시지를 전송하는 Restricted Angle-control Flooding을 제안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 Flooding의 단점을 보완한 Stateless Restricted Flooding과 Restricted Forward Flooding에 대해 살펴본다. 3장

에서는 제안하는 Restricted Angle-control Flooding에 대하여 상세하게 설명한다. 4장에서는 제안하는 Flooding의 성능을 평가하고 결과를 분석하며, 5장에서 결론과 향후 연구 과제를 제시하면서 논문을 마무리한다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 Stateless Restricted Flooding[6]

Stateless Restricted(SR) Flooding은 서론에서 언급한 Flooding의 문제점을 데이터의 목적지 방향에 있는 가까운 노드들만 Forwarding에 참여시킴으로써 보완하고자 하였다. 그림 1은 SR Flooding의 간단한 개념도이다.

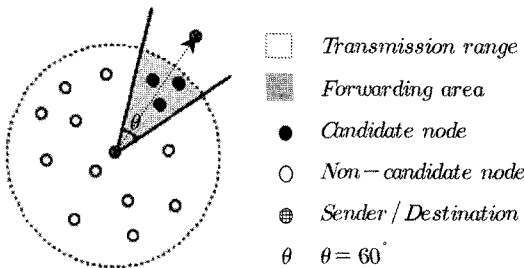


그림 1 Stateless Restricted Flooding

Sender가 데이터를 고정된  $\theta$ 값의 forwarding area를 가지고 Broadcast하면 영역 내의 노드들만이 메시지를 처리하고 재전송할 수 있는 자격을 가지는 Candidate node가 되어 Forwarding에 참여하게 된다. 그림 1을 살펴보면 다수의 Candidate node가 존재하게 되는데 거리, 남아있는 에너지를 고려한 wait\_time을 이용하여 오직 하나의 Forwarding 노드가 선출된다.

선출된 Forwarding 노드는 다시 SR Flooding을 수행하게 된다. 즉, 고정된 크기의 Forwarding area를 설정하여 Forwarding에 참여하는 노드를 제한하고 wait\_time이 가장 작은 노드를 선출하여 메시지 전송의 에너지 효율성을 높이고자 하였다. 하지만 특성상 노드의 밀도가 높은 대부분의 센서 네트워크에서는 고정된  $\theta$ 값을 가진 Forwarding area를 사용하기 때문에 목적지에 가까워질수록 다수의 불필요한 Candidate 노드들이 증가하게 된다. 이로 인해 메시지 전송을 위한 불필요한 Candidate 노드들의 Broadcast는 오버헤드와 에너지 낭비라는 문제를 발생시키게 된다. 아울러 노드의 밀도가 낮은 네트워크에서는 Hole을 만날 가능성이 커져 데이터 전송에 지연이 발생할 수 있는 문제점을 가지고 있다.

### 2.2 Restricted Forward Flooding[7]

Restricted Forward(RF) Flooding은 Forwarding 받

는 이웃 노드 선점을 모티브로 두고 설계되었다. Forwarding에 참여하는 노드는 되도록 많은 노드를 선점하도록 동작하고 Forwarding이 필요하지 않은 노드는 Forwarding을 스스로 포기하도록 하는 것이다. 그림 2는 RF Flooding의 동작 원리를 나타낸 것이다.

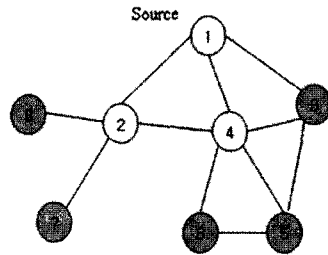


그림 2 Restricted Forward Flooding

노드①은 노드②,③,④의 이웃 노드 수를 고려하여 결합도가 높은 순서 즉 ④,②,③과 같은 순서 리스트를 만들고 이를 주변 노드에 전송한다. 전송받은 노드는 리스트의 순서로 주변 노드를 Forwarding할 노드로 선점하게 된다. 따라서 노드④는 노드⑤,⑥을 노드②는 노드⑦,⑧을 Forwarding할 노드로 선택한다. 이때 노드③은 Forwarding할 노드를 선점하지 못했기 때문에 Forwarding을 하지 않는다. 이처럼 RF Flooding은 Forwarding 받는 노드가 오직 하나의 노드로부터만 Forwarding을 받도록 함으로써 불필요한 Forwarding을 제한하고자 하였다. 하지만 RF Flooding은 전반적으로 네트워크 전체에 Broadcast를 하기에 SR Flooding에 비해 Forwarding에 사용되는 전체 노드의 개수와 에너지 사용량, 네트워크의 Lifetime면에서 오히려 비효율적일 가능성이 있다. 또한 이웃을 선점하여 목적지까지 메시지를 전송하는 도중 Hole을 만나게 될 경우 이에 대한 데이터 전송 지연이 크게 발생할 수 있다.

## 3. 제안하는 Restricted Angle-control Flooding

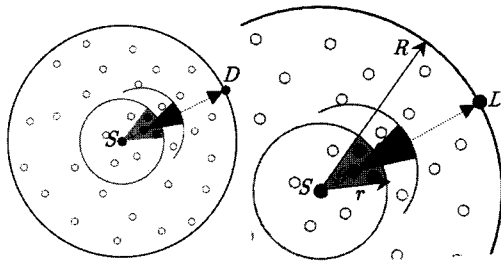
### 3.1 가정

- 각각의 센서 노드들은 자신의 위치와 남아있는 에너지의 양, 그리고 자신을 기준으로 단위 면적당 분포된 노드들의 밀도와 Base Station의 위치를 알고 있다. 이때 위치와 에너지양, 밀도를 측정하는데 필요한 비용은 고려하지 않는다.
- 모든 센서 노드들은 초기에 보유하고 있는 에너지량이 같다. 센서 노드들은 대부분 동일한 기기로 광범위한 지역에 분포되므로 기기들간에 존재하는 약간의 오차는 크게 고려할만한 부분이 아니다.
- 센서 노드들의 이동은 없다.

**3.2 Restricted Angle-control Flooding**

제안하는 Restricted Angle-control Flooding(RAC Flooding)은 SR Flooding 수행시에 생겨나는 불필요한 Candidate 노드들의 수를 효율적으로 줄여감으로써 메시지 전송에 소모되는 노드들의 에너지 사용의 효율성을 높이고 전체 네트워크의 Lifetime을 늘릴 수 있는 데이터 전송 방식에 모티브를 두었다.

그림 3은 RAC Flooding의 간단한 개념도이다.



- $N$  : 센서의 전체개수       $R$  : 전체 센서 분포 반경
- $r$  : Transmission range 반경       $\theta$  : radian
- $\square$  : Transmission range       $\blacksquare$  : Forwarding area
- $\bullet$  : Sender       $\bullet$  : Candidate node       $\circ$  : Non-candidate node

그림 3 Restricted Angle-control Flooding

RAC Flooding은 다음과 같이 수행된다. Sender 노드는 메시지 전송시 목적지를 기준으로 중심각이  $\theta$ 크기인 Forwarding area를 가지게 되는데 주의할 점은 Forwarding area의 크기를 결정하는  $\theta$ 값이 고정된 값이 아니라는 것이다. 이때 결정되는  $\theta$ 의 크기는 노드가 가진 단위 면적당 분포된 밀도의 정보를 고려하여 최종 결정된다. 정해지는  $\theta$ 값이 클수록 Forwarding area에 포함되어 Broadcast 메시지를 받는 Candidate 노드의 수가 많아진다.  $\theta$ 값을 가진 전송 영역안의 Candidate 노드들의 수와  $\theta$ 와의 관계는 식 (1)과 같이 표현된다.

$$\cdot \text{Forwarding area내 Candidate의 수: } N \times \frac{r^2 \theta}{2\pi R^2} \quad (1)$$

만약 식 (1)에 의한 값이 1이 된다면 single-path로 Broadcast되어 Hole을 만날 가능성이 매우 높아진다. 따라서 Forwarding Area에 속한 노드들의 수가 2이상 이 되도록 식 (2)를 만족하는  $\theta$ 값을 정해야한다.

$$N \times \frac{r^2 \theta}{2\pi R^2} > 1 \quad (2)$$

식 (2)를 만족하는  $\theta$ 값이 결정되면 Sender는 Forwarding Area로 Broadcast하며, 이후 Forwarding area에 포함된 다수의 Candidate 노드들은 Node selection을 수행한다.

**3.3 Node selection**

받은 메시지를 누가 재전송할 것인지 결정하기 위해 다수의 Candidate 노드들은 Node Selection을 수행하게 된다[6]. 다수의 Candidate 노드들은 자신의 wait\_time 동안 대기하다가 wait\_time이 종료됨과 동시에 Forwarding 노드가 되어 Interest 메시지를 전송하게 된다. 이때 자신의 wait\_time이 종료되기 전에 다른 Candidate 노드로부터 Interest 메시지를 받게 된다면 자신이 아닌 다른 Candidate 노드가 Forwarding 노드가 되었다고 판단하여 이전의 Sender 노드로부터 받은 Interest 메시지를 버린다. Interest 메시지를 전송하기 위해 선택된 Forwarding 노드는 목적지인 Base Station방향으로 Forwarding area를 결정하기 위한  $\theta'$  값을 정하는 RAC Flooding을 다시 수행한다. 여기서 주의할 점은 만약  $\theta'$ 의 값이 SR Flooding과 같이  $\theta = \theta'$ 의 값을 가진다면 메시지를 받는 불필요한 Candidate 노드들이 많아져 데이터 전송의 에너지 효율적인 면이 떨어지게 된다. 선출된 Forwarding 노드는 이전의 Sender보다 목적지에 더 가까워져 있기 때문에 새롭게 결정되는 Forwarding area는 그림 3과 같이 이전 Sender의  $\theta$ 보다 작은 값을 가진  $\theta'$ 만으로도 충분히 Base Station까지 데이터 전송이 가능하다.

RAC Flooding은 이러한 면을 고려하여 목적지인 Base Station에 가까워질수록  $\theta$ 값을 줄여감으로써 Forwarding에 최소한의 Candidate 노드들만을 참여시킨다. 이로 인해 메시지 전송을 수행하는 동안 소모되는 노드들의 에너지 소비를 최소화할 수 있다.

**3.4 Hole Detection**

RAC Flooding은 노드들의 밀도를 고려한 Forwarding area내에 하나의 Forwarding 노드를 선출하여 데이터를 전송하는 기법이다. 그러나 Forwarding area에 데이터를 전달받아야 할 노드가 분포되지 않을 경우 혹은 노드의 에너지 고갈로 인한 일종의 Hole이 생겼을 때, 제안하는 Flooding만으로는 데이터를 목적지까지 전송할 수 없게 된다. 이와 같이 Hole이 발견될 경우, 우회해서 데이터를 전송하는 일종의 Hole-Detection 알고리즘을 사용한다. Hole의 판단 기준은 다음과 같다.

첫째, Forwarding area를 결정하는  $\theta$ 가  $180^\circ$ 를 넘는 경우이다. 그림 4의 (a)와 같이  $\theta$ 가  $180^\circ$ 를 넘는다는 것은 그만큼 네트워크에 속한 노드들의 Failure가 크다는 것을 의미하므로, 이 경우에는 네트워크 전체에 메시지를 Broadcast하는 기존의 Flooding을 사용하여 데이터 전송 효율을 높이도록 한다. 둘째, Sender의 결정된 Forwarding area안의 Candidate 노드들이 더 이상 메시지를 Forwarding 할 수 없을 때이다. 그림 4의 (b)와 같이 Sender가 결정된 Forwarding area로 메시지를 전

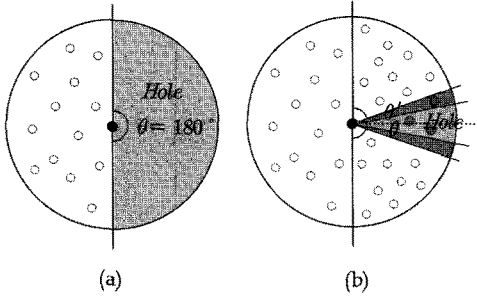


그림 4 Hole의 판단 기준: (a)  $\theta$ 가  $180^\circ$ 를 넘는 경우와 (b) Sender의 Forwarding area가 Hole인 경우

송한 후 Forwarding area의 임의의 노드로부터 최대 wait\_time내에 확인 메시지를 받지 못하게 되면 자신의 Forwarding area를 Hole이라 판단한다. Hole로 판단한 Sender는 계속해서 메시지를 전송하기 위해 자신의 Forwarding area를 넓히게 되는데 방법은 Hole이 일어난 Forwarding area에 속한 Candidate 노드의 수를 1 증가시키는 것이다. 예를 들어 센서가 분포된 전체 네트워크의 반경  $R = 4r$ 이라 가정할 때, 식 (1)과 식 (2)의 해 최소  $\theta = \frac{64\pi}{N}$ 가 구해진다. 이때의 Forwarding area는 2개의 Candidate 노드를 가지게 된다. 만약 이 Forwarding area가 Hole이라면 Sender 노드는 메시지 전송을 계속 진행하기 위해 Candidate 노드수를 2개에서 3개로 증가시킨 새로운  $\theta' = \frac{96\pi}{N}$  값을 구하여 그림 4의 (b)와 같이 Forwarding area를 넓히는 것이다.

#### 4. 성능 평가 및 결과 분석

본 장에서는 기존의 SR Flooding과 제안하는 RAC Flooding에서 각각의 메시지 전송에 필요한 Total Candidate 노드의 개수를 간략하게 식으로써 비교해본다. 또한 전체 노드 개수를 증가시켜 네트워크내 센서 노드들의 밀도를 높임으로써 SR Flooding과 제안하는 RAC Flooding의  $\theta$ 값 그리고 메시지 전송에서 필요한 Total Candidate 노드의 수를 그래프로 비교 분석하여 메시지 전송의 에너지 효율성 측면에서 차이점을 기술한다.

##### 4.1 실험 환경

Flooding 단계의 비교를 위해 다음과 같은 가정을 한다.

- 전체 센서 노드들은 균일하게 분포되어 있다.
- Forwarding 노드는 이전 노드 Transmission range의 경계에 중심을 두고 존재한다.

이 때 두 Flooding이 메시지 전송에 필요한 각 단계의 Candidate 노드수와 Total Candidate 노드수는 그림 5와 같이 구해진다.

#### 4.2 실험 결과

SR Flooding은 고정된  $\theta$ 값을 사용하므로 각 단계마다 필요한 Forwarding area에 속하는 Candidate 노드수는 동일한 값을 얻을 수 있다. 하지만 제안하는 RAC Flooding의 경우,  $\theta$ 값을 결정함에 있어 3.2에서 언급한 식 (2)의 조건을 만족해야 한다.

메시지 전송에 필요한 Candidate 노드의 수		
Flooding	Stateless Restricted	Restricted Angle-control
1단계	$\frac{N}{96}$	$\frac{\theta}{32\pi}N$
2단계	$\frac{N}{96}$	$\frac{\theta'}{32\pi}N$
3단계	$\frac{N}{96}$	$\frac{\theta''}{32\pi}N$
<b>Total</b>	$\frac{N}{32}$	$\frac{(\theta + \theta' + \theta'')}{32\pi}N$

그림 5 각 Flooding에서 메시지 전송에 필요한 Candidate 노드의 수( $R = 4r$ )

Candidate 노드수 $\theta$ 값	$N \times \frac{r^2\theta}{2\pi R^2}$			
	2	3	4	5
$\theta$	$\frac{64\pi}{N}$	$\frac{96\pi}{N}$	$\frac{128\pi}{N}$	$\frac{160\pi}{N}$

그림 6 식 (2)을 만족하는 RAC Flooding의 최소 Candidate 노드수와  $\theta$ 값

그림 6은 RAC Flooding에서 전체 노드의 개수  $N$ 을 증가시켜 센서 노드의 밀도가 높아짐에 따라 식 (2)에 의해 구해진 최소 Candidate 노드수와 이를 만족하는  $\theta$  값을 구한 것이다. 아래 그림 7은 밀도를 증가시키면서 변화하는 그림 6의  $\theta$ 값들을 SR Flooding의  $\theta$ 값과 비교한 그래프이다. 노드들의 밀도가 높아짐에 따라 제안하는 RAC Flooding의  $\theta$ 값이 현저히 줄어드는 것을 볼 수 있다.

그림 8은 센서밀도와  $\theta$ 값 변화에 따른 RAC Flooding의 Total Candidate 노드수를 SR Flooding에서의 Total Candidate 노드수와 각각 비교한 것이다. 밀도가 낮을 경우 SR Flooding은 RAC Flooding이 소모하는 Total Candidate 노드수가 비슷하지만 밀도가 높아질수록 두 Flooding의  $\theta$ 값과 목적지까지 메시지 전송에 필요한 Total Candidate 노드의 수에 큰 차이가 나타남을 보여주고 있다. 메시지 전송의 단계가 많아질수록 이 차이는 더욱 커지게 된다. 이는 대규모 숫자의 노드들로 구성된 센서 네트워크에 적용했을 때, RAC Flooding이 기

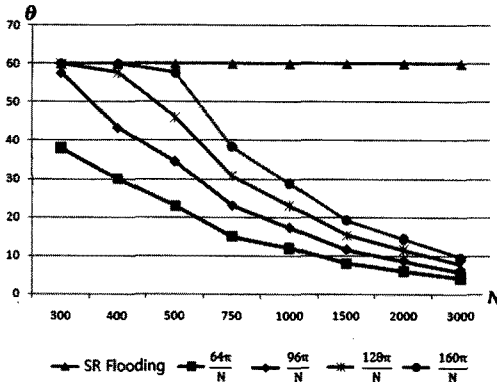


그림 7 노드들의 밀도 증가에 따른 각 Flooding의 θ값

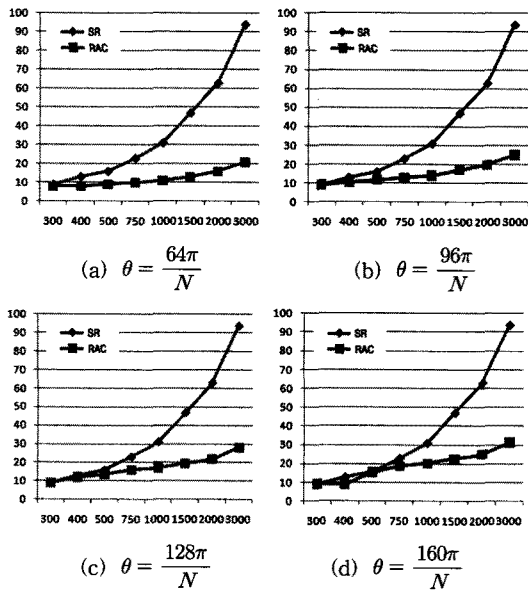


그림 8 센서 노드의 밀도 증가시 각 Flooding에 사용되는 Total Candidate 노드수의 비교

존의 SR Flooding보다 메시지를 전송할 때의 에너지 효율성이 훨씬 높다는 것을 보여줌과 동시에 네트워크의 Lifetime면에서도 우수하다는 것을 알려주는 결과이다. 뿐만 아니라 RAC Flooding 수행시 θ값에 따라 메시지 전송에 사용되는 Candidate 노드수에는 큰 차이가 나타나지 않는다. 그러므로 Forwarding area에 속한 최소한의 Candidate 노드, 즉 최소 θ값만으로도 충분히 목적지까지 메시지 전송이 가능하다는 것을 알 수 있다.

5. 결론

RAC Flooding은 기존 SR Flooding 이 일정크기의 forwarding area를 사용하기 때문에 발생하는 불필요한

candidate 노드수를 줄이기 위하여 제안되었다. 주어진 네트워크 환경에 분포된 노드들의 밀도에 따라 Forwarding area를 조절하므로 목적지에 가까워질수록 Forwarding에 참여하는 Candidate 노드의 수를 줄여 불필요한 메시지 Broadcast를 제한하고 최소한의 노드로 Forwarding을 완료한다.

하지만 제안하는 기법에서는 wait\_time이 작은 노드, 즉 Sender로부터 메시지를 먼저 받는 노드가 대부분 Forwarding 노드가 될 가능성이 크기 때문에 이 부분을 좀 더 고려하여 센서 노드들의 밀도에 따라 알고리즘을 달리 생각할 필요가 있다. 또한 초기의 θ값이 작아질수록 Hole을 만날 수 있는 가능성이 커져 목적지까지 데이터 전송에 걸리는 시간이 지연되는 문제가 발생할 때, 이를 효과적으로 해결할 수 있는 방안이 함께 연구되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] M. Wdiser, "Some Computer Science Issues in Ubiquitous computing," *Comm. ACM*, vol.36, no.7, pp.75-84, Jul. 1993.
- [2] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, "Wireless sensor networks: a survey," *Computer Networks*, vol.38, no.4, pp.393-422, Mar. 2002.
- [3] K. Akkaya, M. Younis, "A survey on routing protocols for wireless sensor networks," *Ad Hoc Networks*, vol.3, no.3, pp.325-349, May. 2005.
- [4] D. Estrin, D. Culler, K. Pister, and G. Sukhatme, "Connecting the Physical World with Pervasive Networks," *IEEE Pervasive Computing*, vol.1, no.1, pp.59-69, Jan.-Mar. 2002.
- [5] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, J. Heidemann, and F. Silva, "Direct Diffusion for wireless Sensor Networking," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol.11, no.1, pp.2-16, Feb. 2002.
- [6] H. S. Shim, W. J. Lee, "Stateless Restricted Flooding for Energy-Efficient Data Dissemination in Wireless Sensor Networks," *Proc. of JCCI The 14th Joint Conference on Communications & Information*, VII-E-1, Apr. 2004. (in Korean)
- [7] S. Ho. Kim, S. Hw. Kim, "Design of Modified Flooding Algorithm Application to Sensor Network," *Journal of KIIS*, vol.17, no.1, pp.32-38, Feb. 2007. (in Korean)