

# 무선 센서 네트워크의 수명 향상을 위한 브로드캐스트 중복 제거 알고리즘

## Broadcast Redundancy Reduction Algorithm for Enhanced Wireless Sensor Network Lifetime

박철민\*      김영찬\*\*  
Cheol-Min Park    Young-Chan Kim

### 요약

무선 센서 네트워크에서 통신 행위는 라우팅과 브로드캐스팅의 두 가지 형태로 특징지어질 수 있으며, 이중 브로드캐스팅은 효과적인 경로 탐색 및 패킷 전달을 위해 사용된다. 그러나 브로드캐스팅은 패킷의 중복 전달로 인한 에너지의 과소비로 네트워크의 수명을 단축시킨다. 본 논문에서는 2-hop 이웃노드 정보를 이용하는 Dominant Pruning 방식을 기반으로 중복된 포워드 노드를 제거하는 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘이 포워드 노드 수 및 네트워크 수명 면에서 우수한 성능을 나타냄을 시뮬레이션을 통해 입증하였다.

### Abstract

The communicative behaviors in Wireless Sensor Networks(WSNs) can be characterized by two different types: routing and broadcasting. The broadcasting is used for effective route discoveries and packet delivery. However, broadcasting shorten the network lifetime due to the energy overconsumption by redundant transmissions. In this paper, we proposed a algorithm that remove redundant forward nodes based on Dominant Pruning method using 2-hop neighbors knowledge. Simulation results show that the proposed algorithm appears superior performance in respect of the number of forward nodes and the network lifetime.

☞ Keywords : Broadcast, Dominant Pruning, Wireless sensor network

## 1. 서론

센서 네트워크는 사람들이 근접하기 어려운 곳에 배치되는 네트워크로 센서노드가 위치한 곳의 환경 정보를 센싱하여 무선으로 싱크노드(sink node)까지 전달하여 준다. 무선 센서 네트워크에서는 많은 수의 센서노드가 조밀하게 분포되어 다중 홉(multi-hop) 환경을 이루며, 각 센서노드는 배터리 기반의 제한된 에너지로 동작된다. 또한

각 센서노드들은 네트워크에서 단말노드와 중계노드의 역할을 동시에 수행하므로 한 노드가 에너지를 모두 소비하면 더 이상 네트워크에 참여하지 못하게 되며, 이러한 노드가 증가하면 결국 네트워크 파티션이 발생하여 정상적인 통신이 불가능하게 된다. 따라서 무선 센서 네트워크에서는 한정된 에너지의 효율적인 관리를 통해 네트워크 수명을 연장하는 것이 중요한 연구과제이다.[1][2][3]

센서 네트워크의 통신 기법 중 하나인 질의 기반 통신[4]에서는 “모든 노드 중 현재 어떤 상태에 있는 노드만 응답하라”와 같이 싱크 노드가 질의를 모든 센서노드들에게 브로드캐스트 해야 할 경우가 있으며, 각 센서노드 또한 발생한 데이

\* 정 회 원 : 중앙대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사과정  
raphael66@hanafos.com

\*\* 종신회원 : 중앙대학교 컴퓨터공학부 교수  
yckim1@cau.ac.kr

[2007/07/12 투고 - 2007/07/16 심사 - 2007/08/02 심사완료]

☆ 본 논문은 2005학년도 중앙대학교의 연구비 지원에 의해 연구되었음

터 여러 싱크노드들로 전달해야 한다. 또한 관리자가 센서 필드의 모든 센서노드들에게 어떤 프로그램을 입력하거나 중요한 정보를 전달할 때에도 브로드캐스트 통신이 사용될 수 있다.[5]

이처럼 브로드캐스트 통신의 경우 많이 사용될 수 있고 꼭 필요하긴 하지만 모든 노드가 메시지를 전달 받아야 하기 때문에 네트워크 전체로 봤을 때 에너지 소모가 매우 심할 수 밖에 없어서 전원 공급 장치의 교체가 힘든 센서 네트워크에서는 매우 치명적일 수 있다. 그러므로 센서 네트워크에서의 브로드캐스트 통신은 중복 전송을 최대한 줄여서 불필요한 통신 메시지를 줄임으로써 에너지를 절약해야만 센서 노드들이 더 오랫동안 살아 있을 수 있을 것이다.

이러한 불필요한 중복 전송을 줄이기 위해 사용되었던 기존 브로드캐스팅 알고리즘 방식에는 각 노드가 브로드캐스트 패킷을 받았을 때 고정된 확률이나, 카운터를 사용하여 브로드캐스팅을 하는 확률기반 방법, GPS 등을 통해 정확한 위치를 알 수 있다고 가정하고 거리나 위치 정보를 이용하여 브로드캐스팅 하는 방법, 그리고 이웃노드 정보를 이용하여 브로드캐스팅 하는 방법 등이 있다.[5][6]

본 논문에서는 다양한 브로드캐스팅 방식 중에서 2-hop 이웃노드 정보를 바탕으로 리브로드캐스팅(rebroadcasting) 할 노드를 지정하는 Dominant Pruning(DP) 방식[7]을 기반으로 포워드 노드 선정시 최대한 중복을 제거하여 센서노드의 불필요한 에너지 소모를 줄임으로써 네트워크의 수명을 연장할 수 있는 알고리즘을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 DP 기반 브로드캐스팅 알고리즘에 대해 기술하고, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 포워드 노드 선정 알고리즘을 제시한다. 4장에서는 시뮬레이션을 통한 성능의 비교 분석을 하고, 마지막으로 5장에서 결론을 기술한다.

## 2. 관련 연구 및 문제 분석

DP 알고리즘은 2-hop 이웃노드 정보를 이용하여 패킷의 중복 전송을 줄인 브로드캐스트 알고리즘이다. 이웃노드 정보는 주기적으로 주고 받는 "Hello" 메시지를 통해서 획득하며, 이 정보를 바탕으로 중복 전송을 줄일 수 있는 포워드 노드(forward node)를 찾아 해당 노드만 재전송하게 하는 것이 이 알고리즘의 핵심이다.[7] 여기서 포워드 노드란 수신한 패킷을 브로드캐스트 해야 하는 노드를 말한다.

DP 방식에서 송신노드는 어느 이웃노드가 패킷을 중계할지를 결정한다. 중계노드는 분산 CDS(connected dominating set) 알고리즘을 사용하여 결정되며, 선택된 노드들의 ID가 포워드 노드 리스트로서 패킷 내에 추가된다. 패킷을 전송할 것을 요청받은 수신노드는 다시 포워드 노드들을 결정한다. 이 과정은 더 이상 중계노드가 존재하지 않을 때 종료한다.

이상적으로, 포워드 노드(forwarding node)의 수는 전송 횟수를 줄이기 위해 최소가 될 수 있다. 하지만, 최적 해결책은 NP-complete이며, 노드가 네트워크의 전체 구성을 알 것을 요구한다. DP는 네트워크 구성의 부분 정보만을 근거로 패킷의 포워드 노드 리스트를 결정하기 위해 greedy set cover(GSC) 알고리즘을 사용한다. GSC는 가장 많은 2-hop 이웃노드에게 패킷을 보낼 수 있는 1-hop 이웃노드를 선정하며, 이 프로세스는 모든 2-hop 이웃노드에게 패킷을 보낼 수 있을 때까지 반복적으로 되풀이된다.

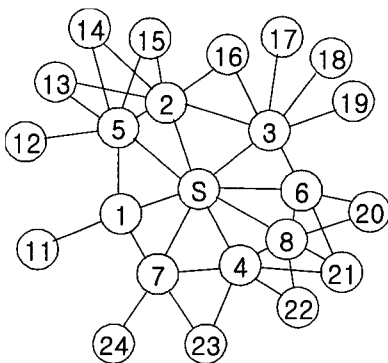
노드  $i$ 의 2-hop 내의 노드들의 집합은  $N(N(i))$ 로, 1-hop 이웃노드들의 집합은  $N(i)$ 로 표시한다. 노드  $i$ 가 브로드캐스트의 소스이면,  $U_i = N(N(i)) - N(i)$  내의 모든 노드가 패킷을 수신하도록 포워드 노드 리스트를 결정한다. 포워드 노드의 집합은  $F_i = f_1, f_2, \dots, f_m \subseteq N(i)$ 로 표시된다. 포워드 노드  $k \in F_i$ 는 패킷을 전송하기 전에 자신의 포워드 노드 리스트를 결정한다.

노드  $k$ 는 이전의 브로드캐스트에 의해 이미 패킷을 수신한 노드  $i$ 의 이웃노드들(즉  $N(i)$ )에게 패킷을 보낼 필요는 없다.

이 경우에,  $U_k = N(N(k)) - N(k) - N(i)$ 가 패킷을 보내야 되는 집합이 된다.

이러한 DP 알고리즘만으로는 중복 전송을 완전히 제거할 수 없으며, DP 알고리즘을 개선하여 좀 더 많은 중복 전송을 제거한 알고리즘들이 제안되었다. PDP(Partial Dominant Pruning)[8]는 송신 노드  $i$ 와 수신노드(포워드 노드)  $k$ 가 공유하는 1-hop 이웃노드에 의해 패킷을 수신했을 것으로 판단되는 2-hop 이웃노드를  $U_k$ 에서 제거함으로써 중복 전송의 수를 줄이는 방식이고, EDP(Enhanced Dominant Pruning)[9]는 수신노드  $k$ 가 받은  $F_i$ 를 이용하여  $U_k$ 의 크기를 줄이고  $F_k$ 를 구한 후,  $F_i$ 와 노드  $i$ 가 수신한 포워드 노드 리스트를 이용하여  $F_k$ 를 좀 더 줄여주는 방식이다. 이 방식은 송신노드가 자신이 수신한 포워드 노드 리스트까지 전송해야 하는 오버헤드를 감안 하더라도 PDP 보다 좋은 성능을 나타낸다.

PDP와 EDP는 모두 패킷을 보내야 하는 대상 ( $U$ )을 줄임으로써 DP 알고리즘을 개선한 것으로, 포워드 노드를 선정하는 프로세스는 모두 DP와 동일한 방법을 사용하고 있기 때문에 그림 1과 같은 네트워크에서는 중복 전송이 효율적으로 제거되지 못하는 문제점을 가지고 있다.



(그림 1) DP 방식의 문제점을 보여주는 예

그림 1에서  $S$ 는 패킷이 발생한 소스 노드이고, ID 1~8번까지의 노드는  $S$ 의 1-hop 이웃노드이며, ID 11~24번까지의 노드는  $S$ 의 2-hop 이웃노드들이다.  $S$ 가 모든 2-hop 이웃노드에게 패킷을 브로드캐스트하기 위해  $F_S$ 를 구하면, PDP와 EDP 모두  $F_S = \{2, 3, 4, 1, 5, 6, 7\}$ 로 결정된다.

여기서 살펴보아야 할 부분이 2번 노드와 4번, 6번 노드이다. 2번 노드의 이웃노드는 포워드 노드로 선정된 3번과 5번 노드에 의해 모두 패킷을 받을 수 있으며, 4번과 6번 노드의 이웃노드는 7번 노드와 8번 노드를 통해 패킷을 받을 수 있다. 따라서 2번 노드가 포워드 노드로 선택되지 않고, 4번과 6번 노드 대신에 8번 노드가 포워드 노드로 선택되었다면 불필요한 패킷 송·수신을 방지함으로써 노드의 에너지 소비와 네트워크 혼잡을 줄일 수 있다.

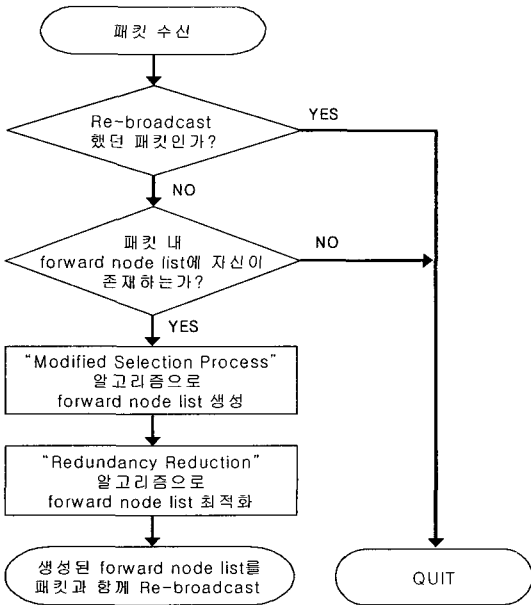
### 3. 제안한 브로드캐스팅 알고리즘

#### 3.1 Improved Dominant Pruning 알고리즘

본 논문에서 제안한 알고리즘은 앞서 설명한 문제점을 개선한 알고리즘으로써 궁극적으로는 무선 센서 네트워크 환경에서 가장 중요한 에너지를 최대한 효율적으로 사용하여 네트워크의 수명을 늘리는 등의 성능을 개선하기 위해 고안된 알고리즘이다.

그림 2는 센서노드가 패킷을 수신한 후 포워드 노드 선정 과정을 거쳐 다시 패킷을 전송하기까지의 전체적인 흐름을 보여준다.

먼저 다른 이웃노드로부터 패킷을 받게 되면, 이미 이전에 재전송 했던 패킷인지를 확인하여 맞으면 재전송을 중단하고 그렇지 않으면 다음 단계로 넘어간다. 다음 단계에서는 받은 패킷 내의 포워드 노드 리스트를 보고 자신의 ID가 존재하는지 확인하여 존재한다면 패킷을 브로드캐스트 하기 위한 준비를 하게 되고, 존재하지 않는다



(그림 2) 센서노드의 브로드캐스트 작업 흐름

면 작업을 종료한다. 브로드캐스팅이 결정된 노드는 *ModifiedSelectionProcess* 알고리즘을 이용하여 임시의 포워드 노드 리스트  $F_M$ 를 생성하고, *RedundancyReduction* 알고리즘을 이용하여 불필요하게 선택된 노드를 제거한 후 최종  $F$ 를 결정하여 패킷과 함께 전송한다.

그림 3은 포워드 노드 선정을 위한 제안 알고리즘의 pseudo code를 보여준다.

이 알고리즘을 수행하기 위해 필요한 정보는 송신자  $u$ 의 1-hop 이웃노드  $N(u)$ , 수신자  $v$ 의 1-hop 이웃노드  $N(v)$ 과 2-hop 이웃노드  $N(N(v))$ 이다. 이 정보들은 기본적으로 DP 알고리즘에서 사용되는 정보로써 EDP에서처럼 이전 노드의 포워드 노드 리스트와 같은 추가적인 정보는 필요하지 않다.

*ModifiedSelectionProcess* 알고리즘의 기본 원리는 DP 알고리즘의 *SelectionProcess*와 동일하다. 다만 다음 단계의 *RedundancyReduction* 알고리즘을 위해 필요한 정보를 저장하고, 더 많은 불필요한 포워드 노드를 제거하기 위한 부분이 추가되어 있다. 먼저  $K$ 에 앞으로 패킷을 보내야할 노

드를 모두 저장한다(라인 1). 그리고  $K$ 를 가장 많이 커버할 수 있는 노드  $v_k$ 를 찾고(라인 3), 만약  $v_k$ 를 찾을 수 없다면 알고리즘을 끝낸다(라인 4-6). 찾은  $v_k$ 를 포워드 노드 리스트  $F_M$ 에 저장하고,  $Z$ 에 패킷을 수신할 노드를 추가하며,  $K$ 에서  $v_k$ 로 커버된 노드를 제거한다(라인 7-9). 이 과정을 더 이상 패킷을 수신해야 하는 노드가 없을 때까지 즉,  $Z$ 와  $U$ 가 같을 때까지 반복하여  $F_M$ 을 구한다.

이처럼 기본적으로 가장 많은 노드에게 패킷을 보낼 수 있는 노드를 포워드 노드로 선택하는 것은 동일하지만, 중요한 차이점은 패킷을 보낼 수 있는 노드의 수가 같을 때 가장 작은 ID를 가진 노드를 선택하는 것이 아니고, " $N(v_k) \cap U$ "의 수가 가장 큰 노드를 선택하는 것이다. 즉, 이전의 커버 여부에 관계없이 가장 많은 노드에게 패킷을 송신하는 노드가 먼저 선정되는 것으로, 이는 *RedundancyReduction* 알고리즘에서 더 많은 중복 전송노드를 찾아내어 포워드 노드의 줄이기 위해서이다. 또한, 라인 8에서  $Z$ 에 지금까지 커버된 노드뿐만 아니라 찾은  $v_k$ 가  $U$  내에서 패킷을 보낼 수 있는 모든 노드를 저장하게 되는데, 이는 *RedundancyReduction* 알고리즘에서 불필요한 중복 노드를 찾을 수 있게 하는 정보를 제공한다.

*RedundancyReduction* 알고리즘의 목표는 앞에서 구한  $F_M$ 에서 불필요한 전송 노드를 찾아 제거하는 것이다. 먼저  $F_M$  내의 노드  $n_f$ 에 대해, 꺼낸  $n_f$ 에 대해 " $Z - N(n_f)$ "를 수행한다. 여기서  $Z$ 에는 포워드 노드로 선정된 노드가 패킷을 보낼 수 있는 모든 노드가 중복되어 존재하며(이전 단계의 덧셈 연산), 뺄셈 연산 시에도 해당되는 모든 노드가 아니라 하나의 노드만 삭제된다. 따라서 " $Z - N(n_f)$ " 연산 후 중복된 노드를 제외시킨 노드 집합이 연산 전의  $Z$ 에서 중복을 제거시킨 노드 집합과 일치하면, 노드  $n_f$ 는 포워드 노드에서 제거해도 모든 2-hop 노드가 패킷을 수신

```

Input :  $N(N(v)), N(v), N(u)$ 
Output :  $F$ 
begin
1   $U \leftarrow N(N(v)) - N(u) - N(v) - N(u \cap v)$ 
2   $B \leftarrow N(v) - N(u)$ 
3   $(F_M, Z) \leftarrow \text{ModifiedSelectionProcess}(U, B)$ 
4   $F \leftarrow \text{RedundancyReduction}(F_M, Z, U)$ 
end
    
```

```

procedure ModifiedSelectionProcess( $U, B$ )
begin
1   $K \leftarrow \cup S_i$  where  $S_i = N(v_i) \cap U$  for  $v_i \in B$ 
2  while  $\text{Distinct}(Z) \neq U$  do
3      Find set  $S_i$  whose size is maximum in  $K$ 
        /* in case of a tie, the one with the biggest number of
            $N(v_k) \cap U$  and the smallest of ID is selected */
4      if  $\exists v_k$  then
5          break
6      endif
7       $F_M \leftarrow F_M \parallel v_k$ 
8       $Z \leftarrow Z + (N(v_k) \cap U)$ 
9       $K \leftarrow K - S_i$ 
10  endwhile
11  return( $F_M, Z$ )
end
    
```

```

procedure RedundancyReduction( $F_M, Z, U$ )
begin
1   $F \leftarrow F_M$ 
2  for  $n_f \in F_M$  do
3      if  $\text{Distinct}(Z) \equiv \text{Distinct}(Z - N(n_f))$  then
4           $Z \leftarrow Z - N(n_f)$ 
5           $F \leftarrow F - n_f$ 
6      endif
7  endfor
8  return( $F$ )
end
    
```

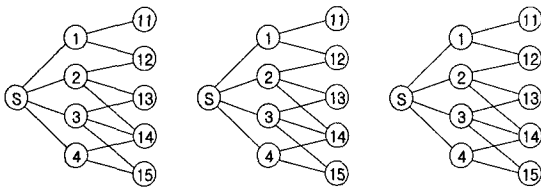
(그림 3) Improved Dominant Pruning 알고리즘

할 수 있다는 것을 의미하므로  $F$ 에서는  $n_f$ 를,  $Z$ 에서는  $N(n_f)$ 를 제거한다. 이 과정을  $F_M$  내의 모든 노드에 적용하면, 중복이 제거되어 최적화된

포워드 노드 리스트  $F$ 를 구할 수 있다.

그림 4는 제안 알고리즘의 원리를 설명하는 간단한 예이다. 이 네트워크에서 기존의 *SelectionProcess*를 실행하면 (a)에서 보는 것처럼

차례로 2, 1, 4번의 노드가 포워드 노드로 선택된다. 반면에 제안 알고리즘의 경우에는 첫 번째 단계에서 2, 3, 1번 노드가 포워드 노드로 선택된 후, 다음 단계에서 2번 노드가 불필요한 전송을 유발하는 노드로 선정되어 리스트에서 제거됨으로써 3번과 1번 총 2개의 노드가 포워드 노드로 결정된다.



Selection Process Modified Selection Process Redundancy Reduction  
 (a) 기존 알고리즘 (DP) (b) 제안 알고리즘 (IDP)

(그림 4) 제안 알고리즘(IDP 알고리즘)의 원리

### 3.2 적용 예

앞에서 예로 들었던 그림 1의 네트워크에 알고리즘을 적용해보겠다.

송신 노드가 없는 소스 노드  $S$ 가 1-hop 이웃 노드를 통해 패킷을 보내야 하는 노드 집합  $U$ 와 포워드 노드로 선정될 수 있는 노드 집합  $B$ 는 각각  $U = \{11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24\}$ 와  $B = \{1,2,3,4,5,6,7,8\}$ 이며, 이를 이용하여 *ModifiedSelectionProcess*를 수행하면 표 1과 같은 결과를 얻게 된다.

먼저 첫 번째 포워드 노드를 선택하기 위해 각각의  $B$  노드가 어떤  $U$  노드들에게 패킷을 보낼 수 있는지 알아보면 표 1(a)와 같다. 여기서 2, 3, 5번 노드가 같은 개수의  $U$  노드에게 패킷을 보낼 수 있으며, " $N(v_k) \cap U$ "의 크기도 같으므로 가장 낮은 ID를 가진 2번 노드가 먼저 포워드 노드로 선택된다.

다음 단계에서는 2번 노드에 의해 패킷을 받는 노드를  $S_i$ 에서 제외하고 계산을 하게 되고, 여기서 3번과 4번 노드가 같은 크기를 갖지만 " $N(v_k) \cap U$ "의 크기가 더 큰 3번 노드가 포워드 노드로 선택된다. 이때  $Z$ 에는 17, 18, 19번 노드만 추가하는 것이 아니라 3번 노드가 패킷을 보낼 수 있는 16, 17, 18, 19번 노드를 모두  $Z$ 에

(표 1) 알고리즘 계산 결과

(a) 단계 1		(b) 단계 2		(c) 단계 3		(d) 단계 4	
$v_k$	$S_i$	$v_k$	$S_i$	$v_k$	$S_i$	$v_k$	$S_i$
1	11	1	11	1	11	1	11
2	13,14,15,16	2	-	2	-	2	-
3	16,17,18,19	3	(16) 17,18,19	3	-	3	-
4	21,22,23	4	21,22,23	4	21,22,23	4	-
5	12,13,14,15	5	12 (13,14,15)	5	12 (13,14,15)	5	12 (13,14,15)
6	20,21	6	20,21	6	20,21	6	(21) 20
7	23,24	7	23,24	7	23,24	7	(23) 24
8	20,21,22	8	20,21,22	8	20,21,22	8	20 (21,22)
$Z$	-	$Z$	13,14,15,16	$Z$	13,14,15,16,16,17,18,19	$Z$	13,14,15,16,16,17,18,19,21,22,23
$F_M$	-	$F_M$	2	$F_M$	2,3	$F_M$	2,3,4

추가시켜 준다.

세 번째 단계에서는 앞서 선택된 2번 및 3번 노드가 패킷을 보내는 노드를 제외한 나머지 노드를 대상으로 작업을 수행하면 4번과 8번 노드가 대상이 되고 이중에서 4번 노드가 선택된다.

마지막 네 번째 단계에서는 1, 5, 6, 7, 8번 노드의  $S_i$  크기가 동일하므로, " $N(v_k) \cap U$ "의 크기가 크면서 ID가 작은 순서대로 선택하면 5, 8, 7, 1번 노드가 포워드 노드로 선택되어  $F_M = \{2,3,4,5,8,1,7\}$ 를 얻게 된다.

이 과정이 끝나게 되면  $Z = \{13,14,15,16,16,17,18,19,21,22,23,12,13,14,15,20,21,22,23,24,11\}$ 이 되고, *RedundancyExclusion*을 통해 포워드 노드 리스트  $F_M$ 에서 하나씩 꺼내어  $Z$ 에서 빼 보았을 때 2번과 4번 노드는 포워드 노드에서 제외해도  $U$ 의 모든 노드에게 패킷을 보낼 수 있기 때문에 최종 포워드 노드 리스트는  $F = \{3, 5, 8, 1, 7\}$ 로 결정된다.

#### 4. 성능평가

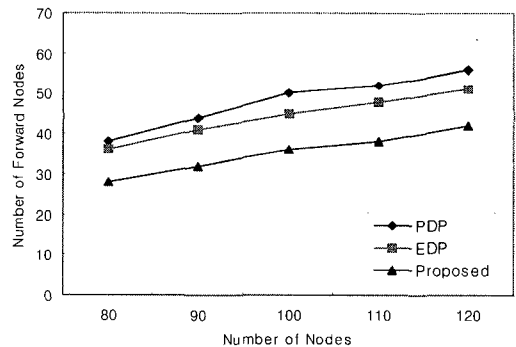
본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 J-SIM[10] 시뮬레이터를 사용하여 기존의 PDP 및 EDP 알고리즘과 성능을 비교·분석하였다.

시뮬레이션을 위한 센서 네트워크의 크기는 100x100m 이며, 센서 노드의 개수는 80~120개로 설정하여 네트워크 구역 내에 랜덤하게 배치하였다. 대부분의 무선 센서 네트워크 응용에서 노드들이 고정되어 있으므로 모든 노드의 이동성은 없는 것으로 가정하였다. 초기에 각 센서 노드는 모두 동일한 에너지를 가지고 있으며, 통신을 위한 송·수신 에너지 소비 모델은 [11]과 [12]에서 제시한 모델을 사용하였다.

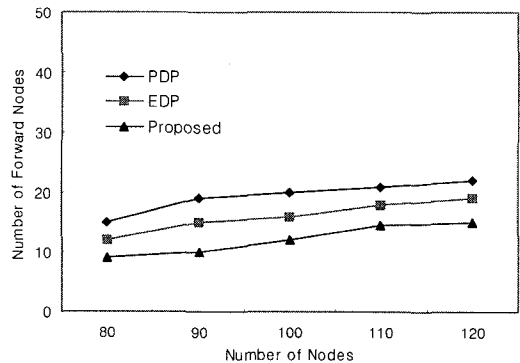
성능 평가는 전체 노드 중 패킷 전송을 결정된 노드의 수(즉, 포워드 노드의 수)와 시간에 따른 잔여 에너지가 남아 있는 노드의 수(network life

time)의 측정을 통해 이루어졌다.

첫 번째 분석으로 브로드캐스트 패킷이 모든 노드에게 전달되는 동안 패킷 전송이 결정된 노드 수의 평균을 구하였다. 그림 5 (a)는 노드의 전송 범위(transmitter range)가 25m일 때 포워드 노드의 평균 개수를 나타낸 것이고, 그림 5 (b)는 전송 범위가 40m일 때 평균 개수를 나타낸 것이다. 그 결과 노드의 개수에 따라 차이가 있기는 하지만 PDP나 EDP에 비해 제안한 알고리즘이 선정되는 포워드 노드의 개수에 있어서 20~30% 정도 더 적음을 볼 수 있다. 이것은 그만큼 패킷 전송이 불필요하게 됨으로써 노드의 에너지 소비를 줄일 수 있다는 것을 의미한다.



(a) 전송범위 25m



(b) 전송범위 40m

(그림 5) 전송범위별 평균 포워드 노드 수

두 번째 분석으로 각 모델의 네트워크 수명을 비교하기 위해 패킷을 브로드캐스트 하는 때 라운드마다 각 노드의 잔여 에너지를 조사하여 에너지가 남아 있는 노드들의 수를 측정하였다. 그림 6은 센서 노드 100개를 기준으로 전송 범위 25m와 40m에서 각 모델의 시간에 따른 잔여 에너지가 남아 있는 노드의 수를 나타낸 것으로 제안한 알고리즘의 수명이 기존의 PDP와 EDP 알고리즘에 비교해 상대적으로 오래 지속되는 것을 보여준다. 특히, 전송 범위가 늘어날 경우 송신에 소모되는 에너지가 거리의 제곱에 비례하므로 증가하기 때문에 포워드 노드 수의 감소가 네트워크 수명에 커다란 영향을 끼침을 볼 수 있다.

시뮬레이션 결과들을 통해 제안한 알고리즘이 DP 알고리즘의 SelectionProcess의 단점을 개선하여 중복 전송을 줄임으로써 센서 노드의 에너지 소모를 감소시키고 전체 네트워크의 수명을 연장시키는 것을 알 수 있다.

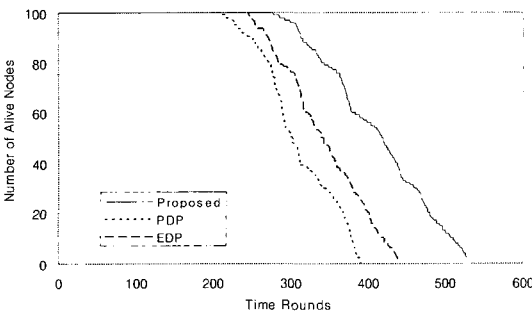
## 5. 결론

센서 네트워크에서 브로드캐스트 통신은 효과적인 경로 탐색과 전체 노드에게 질의를 보내는 등의 패킷 전달을 위해 사용된다. 그러나 이 방식의 문제점인 동일한 패킷의 중복 전송은 네트워크의 운용 성능에 커다란 영향을 끼치는 센서 노드의 과다 에너지 소모와 네트워크 혼잡을 증가시킨다.

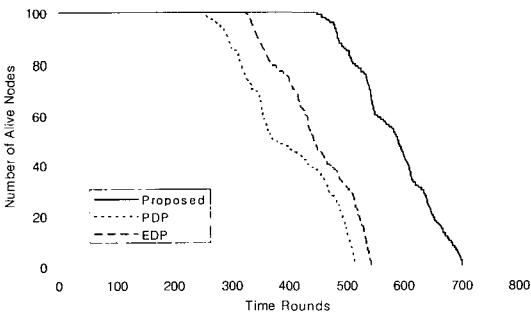
본 논문에서는 중복 전송을 감소시키는 여러 가지 방법 중 2-hop 이웃노드 정보를 이용하는 Dominant Pruning 알고리즘의 포워드 노드 선정 방법의 문제점을 제시하고, 파악된 패턴을 이용하여 중복 전송의 원인이 되는 포워드 노드의 수를 줄이는 알고리즘을 제안하였다. 시뮬레이션을 통해 제안한 알고리즘이 포워드 노드의 수를 줄여 에너지 소모를 감소시킴으로써 네트워크의 수명을 향상시킴을 증명하였다.

## 참고 문헌

- [1] Ian F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A survey on sensor networks", IEEE Communications Magazine, Vol. 40, Issue 8, pp. 102-114, August 2002.
- [2] K. Akkaya and M. Younis, "A survey of routing protocols in wireless sensor networks", Elsevier Ad Hoc Network Journal, Vol. 3/3, pp. 325-329, 2005.
- [3] Mohammad Ilyas and Imad Mahgoub, Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems, CRC Press LLC, 2005.
- [4] Akan O.B. and Akyildiz I.F., "Event-to-sink reliable transport in wireless sensor networks", IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 13, No. 5, pp. 1003-1017, October 2005.
- [5] Ivan Stojmenovic and Jie Wu, "Broadcasting



(a) 전송범위 25m일 때



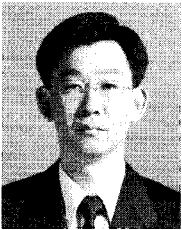
(b) 전송범위 40m일 때

(그림 6) 시간 경과에 따라 에너지가 남아 있는 노드의 수



- and activity-scheduling in ad hoc networks", in: Mobile Ad Hoc Networking, IEEE/Wiley, pp. 205-229, 2004.
- [6] Brad Williams and Tracy Camp, "Comparison of Broadcasting Techniques for Mobile Ad Hoc Networks", MOBIHOC'02, pp. 194-205, June 2002.
- [7] H. Lim and C. Kim, "Flooding in wireless ad hoc networks", Computer Communications, Vol. 24, No. 3-4, pp. 353-363, 2001.
- [8] Wei Lou and Jie Wu, "On reducing broadcast redundancy in ad hoc wireless networks", HICSS'03, 2003.
- [9] Spohn M.A. and Garcia-Luna-Aceves J.J., "Enhanced dominant pruning applied to the route discovery process of on-demand routing protocols", ICCCN'03, 2003.
- [10] J-Sim, <http://www.j-sim.org>
- [11] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks", HICSS'00, pp. 1-10, 2000.
- [12] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks", IEEE Trans. on Wireless Communications, Vol. 1, No. 4, pp. 660-670, 2002.

## ◎ 저 자 소 개 ◎



### 박 철 민(Cheol-Min Park)

1988년 중앙대학교 전자계산학과 졸업(학사)  
1990년 중앙대학교 대학원 전자계산학과 졸업(석사)  
2003년~현재 중앙대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사과정  
1990년~현재 국방과학연구소 선임연구원  
관심분야 : 분산시스템, 센서네트워크, 임베디드시스템 등  
E-mail : raphael66@hanafos.com



### 김 영 찬(Young-Chan Kim)

1965년 연세대학교 전기공학과 졸업(학사)  
1968년 연세대학교 대학원 전기공학과(전산학) 졸업(석사)  
1983년 연세대학교 대학원 전기공학과(전산학) 졸업(박사)  
2001년~2004년 한국교육학술정보원 원장  
1974년~현재 중앙대학교 컴퓨터공학부 교수  
관심분야 : 운영체제, 분산시스템, P2P시스템, 유비쿼터스컴퓨팅 등  
E-mail : yckim1@cau.ac.kr