

# 무선 애드 혹 네트워크에서 효과적인 메시지 전달을 위한 Directional Partial Dominant Pruning 알고리즘

(The directional partial dominant pruning algorithm for efficient message forwarding in an wireless ad-hoc network)

한 인 구\*, 임 기 욱\*\*, 이 정 현\*\*\*

(In-Gu Han, Kee-Wook Rim, Jung-Hyun Lee)

**요 약** 이동 애드 혹 네트워크에 있어서 브로드캐스팅을 실현할 때에 전달 메시지가 과중하게 중복 발생하는 것을 줄이기 위해 메시지를 수신하고 전달하는 역할을 맡는 전달 노드들을 in-fly 형태로 지정하도록 하는 기법 중 가장 실용적인 것으로는 PDP(Partial Dominant Pruning) 기법[1]을 들 수 있다. 본 논문에서는 PDP를 확장하여 방향성 안테나를 이용하는 애드 혹 네트워크에 있어서 전달 노드들의 수는 물론, 이때 수반되는 안테나 요소 수를 동시에 줄이도록 하는 확장된 DPDP (Directional PDP) 기법을 제안한다. 시뮬레이션을 통해 사용 안테나 요소 수(K)가 증가함에 따라 선정되는 전달 노드의 수는 전 방향 안테나를 사용하는 경우에 비해 다소 증가하지만 안테나 요소 별 평균 전달 노드 수와 노드 별 메시지 중복 수신 수에서는 모두 PDP 기법에 비해 우수함을 보였다.

**핵심주제어** : Directional Partial Dominant Pruning, 무선 애드 혹 네트워크

**Abstract** The most efficient method to reduce duplicated messages is a partial dominant pruning for receiving and forwarding messages by in-fly format on the mobile ad hoc network. In this paper, we propose directional partial dominant pruning method by expanding partial dominant pruning for reducing not only number of forwarding nodes but number of antenna elements on the ad hoc network with directional antennas. by simulation, we prove superiority that average number of forwarding nodes for each antenna element and the ratio of duplicated messages for each nodes rather than existing partial dominant pruning method though the number of antenna elements are increasing rather than in case of using omni antennas.

**Key Words** : Directional Partial Dominant Pruning, Wireless Ad-hoc Network

## 1. 서 론

모든 노드가 호스트와 라우터의 역할을 모두 수

행하여야 하는 이동 애드 혹(Ad-hoc) 네트워크에서는 특정 노드로의 도달 경로나 해당 노드의 위치 정보를 알아내기 위해 브로드캐스팅의 사용이 필수 불가결하다. 일반적으로 애드 혹 네트워크에서의 브로드캐스트를 시행 시 중복하여 발생하는 브로드캐스트 스톱 문제[2]에 대처하기 위해 네트

\* (주) 켄온 바이오 인포매틱스

\*\* 선문대학교 컴퓨터정보학부 교수

\*\*\* 인하대학교 컴퓨터공학부 교수

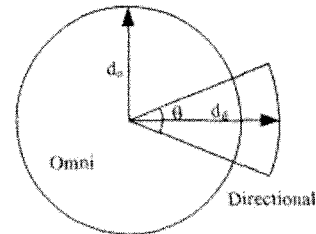
워크 내의 일정한 노드들에 대해서만 메시지를 전달하도록 하는 방법이 이용된다[3, 1, 4]. 이러한 전달 노드들은 주어진 네트워크의 CDS(Connected Dominant Set)에 해당되는데, 최소 비용의 CDS를 구하는 문제는 NP-Complete로 알려져 있다. CDS를 구하기 위해 제안된 휴리스틱(heuristic)은 주어진 네트워크에 대해 단일 CDS를 구성하는 Source-Independent 브로드캐스팅 [5, 6]과 브로드캐스트를 시작하는 노드를 기준으로 in-fly 형태로 개별적인 CDS를 구성하는 Source-Dependent 브로드캐스팅(이웃 노드 지정(neighbor-designating) 방법(또는 전달 노드 집합 기반 방법이라 함)[3, 1]으로 구별되며, 이들을 혼용하는 방법[5]도 있다. 일반적으로 전자의 방법들은 사용되는 노드 수에 있어 보다 적은 수를 보장하나 네트워크 내의 노드의 이동성과 트래픽의 변화 등의 동적 상황에 대처하는 점에서는 후자의 방법이 유리하다.

통신 대역폭과 전력 사용에 있어 효과적이며 이웃 노드 간의 상호 신호 간섭을 줄일 수 있는 방향성 안테나를 이용한 애드 혹 네트워크에서의 효과적인 브로드캐스트에 관한 연구는 최근에 들어서야 활발하게 되었다. 대표적인 연구로는 source-independent CDS를 구하는 연구[6]와 방향성 안테나의 방향성을 고려한 중복 브로드캐스트 메시지의 발생을 줄이도록 시도한 연구[7]를 들 수 있다. 하지만 본 논문과 같이 브로드캐스트를 시행하는 노드를 기점으로 별도의 브로드캐스트 메시지 전달 노드들의 집합을 구하는 연구는 발표된 바 없다.

본 논문에서는 PDP(Partial Dominant Pruning) [1]을 확장하여 방향성 안테나를 이용하는 애드 혹 네트워크에 있어서 브로드캐스트에 참여하는 전달 노드들의 수와 이들이 사용하는 안테나 요소들의 수를 모두 줄이도록 하는 확장된 기법인 DPDP (Directional PDP) 기법을 제안한다. 시뮬레이션을 통해 사용 안테나 요소 수가 증가함에 따라 전달 노드들의 수는 전 방향 안테나를 사용하는 경우에 비해 다소 증가하나 안테나 요소 별 평균 전달 노드 수와 노드 별 메시지 중복 수신 수에서는 모두 PDP 기법에 비해 우수함을 보였다.

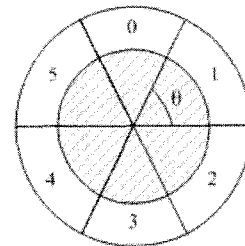
## 2. 네트워크 모델 및 용어 정의

그림 1은 전방향 안테나와 방향성 안테나를, 그림 2는 360° 전방향을 K개의 중복되지 않는 부채꼴 모양의 섹터(sector)들로 나누고 각 섹터를 담당하는 안테나 요소가 배치되는 switched beam 안테나 모델을 나타낸다[8, 9].



$$d_d = \lambda d_o (\lambda > 1)$$

(그림 1) 전방향 안테나와 방향성 안테나



$$\pi d_d^2 = \lambda^2 \pi d_o^2$$

(그림 2) 6개의 요소로 이루어진 방향성 안테나(K=6)

전력 10dBm을 이용하는 전 방향 안테나의 경우 신호의 도달거리  $d_o$ 는 250m이지만, 빔 폭을 60°로 하여 특정 방향으로 신호를 송출하는 경우의 신호 도달 거리  $d_d$ 는 450m 정도이다[9]. 단위 시각에 오직 하나의 안테나 요소만을 이용한 전송이 가능한 switched beam 안테나에서는 예를 들면, 시계 방향의 안테나 요소 0, 1, 2, .. K-1의 순으로 안테나 요소별로 메시지를 전송하는 sequential sweeping[8]을 통해 브로드캐스트를 수행한다.

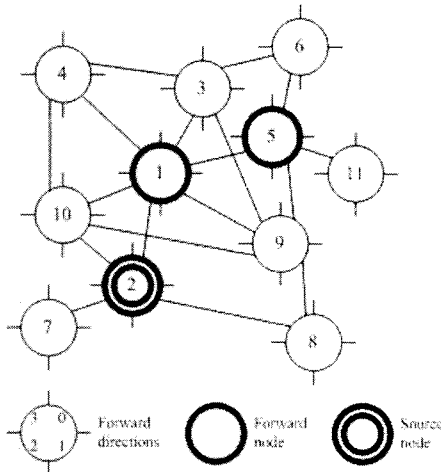
임의의 노드  $u$ 를 중심으로 무선 신호의 도달 범위 내에 존재하는 모든 노드들을  $u$ 의 이웃 노드들이라고 하고 이들의 집합을  $N(u)$ 로 표기한다. 정의에 의해  $u \in N(u)$ 이다.  $N_h(u)$ 는  $u$ 로부터  $h$ -홉(hop) 이내까지의 노드들의 집합이고,  $H_h(u)$ 는  $u$ 로부터 정확히  $h$ -홉 떨어져 존재하는 노드들의 집합이라고 하면

$$N_h(u) = N_{h-1}(u) \cup H_h(u) \quad (1)$$

이다. 단,

$$h \geq 1, N_0(u) = H_0(u) = \{u\} \quad (2)$$

이다. 편의상  $h=1$ 인 경우 첨자는 생략한다. 이웃한 두 노드  $u$ 와  $v$ 에 대해  $u$ (또는  $v$ )는  $v(u)$ 에 의해 커버된다.



(그림 3) 네 개의 안테나 요소를 사용하는 네트워크

노드  $u$ 가 안테나 요소  $i$ 를 이용하여 직접 통신이 가능한 이웃 노드들의 집합을  $N_{i \rightarrow}(u)$ 로 표기하면

$$N_{i \rightarrow}(u) \subseteq N(u) \quad (3)$$

이고

$$N(u) = N_{0 \rightarrow}(u) \cup N_{2 \rightarrow}(u) \cup \dots \cup N_{K-1 \rightarrow}(u) \cup \{u\} \quad (4)$$

이다.  $u \in N(v)$ 인  $u$ 와  $v$ 가 서로 통신을 위해 사용하는 안테나 요소들 간에는 전송 신호의 직진성에 의해 대각관계가 성립한다. 즉,  $u$ 에서  $v$ 로 정보를 전송할 때 사용한 안테나가  $j$  ( $0 \leq j \leq K-1$ )라면  $v$ 가 수신 시 사용한 안테나는  $(j+(K/2)) \bmod K$ 이다. 편의상 안테나 요소 수  $K$ 는 짝수라 가정한다. 그림 3에서 노드 2가 노드 8에게 전송 시 안테나 1을 노드 8은 안테나 3을 사용한다. 임의의  $v$ 와  $N(v)$ 에 대해

$$D_{v \rightarrow u} = \{i | u \in N_{i \rightarrow}(v)\} \quad (5)$$

로 정의하고,  $V \subseteq N(v)$ 인 노드들의 집합  $V$ 에 대해

$$D_{v \rightarrow V} = \bigcup_{w \in V} D_{v \rightarrow w} \quad (6)$$

이다. 그림 3에서  $D_{8 \rightarrow 2} = \{3\}$ ,  $N(10) = \{1, 2, 4, 9\}$ ,  $D_{10 \rightarrow N(10)} = D_{10 \rightarrow 1} \cup D_{10 \rightarrow 2} \cup D_{10 \rightarrow 4} \cup D_{10 \rightarrow 9} = \{0\} \cup \{1\} \cup \{0\} \cup \{1\} = \{0, 1\}$ 이다.

임의의 노드  $u$ 는 이웃 노드에 관한 정보를 얻기 위해 주기적으로 자신의  $H(u)$ 의 정보를 포함하는 HELLO 메시지를 각각의 안테나 요소를 통하여 주고받음으로써 자신의  $N_2(u)$ 에 해당하는 노드들 간의 연결성과 이용 안테나 정보를 수집, 관리함을 가정한다.

### 3. 제안 알고리즘 DPDP

전 방향 안테나 모델에서 고안된 PDP[1]를 방향성 안테나 모델에서 적용하기 위해 다음을 고려한다.

1)  $B(u,v) = (N(v) - N(u))$  내에 속하는 노드로서  $U(u,v) = (H_2(v) - N(u) - N(N(u) \cap N(v)))$ 내의 노드를 커버하는 노드를 선정하는 기준을 수정한다. 즉, 전달 노드의 수를 줄이는 것은 물론 이때 사용되는 안테나 수를 줄이기 위해서  $q \in U(u,v)$ 인 어떤  $q$ 를 커버하는  $p \in B(u,v)$ 인  $p$ 에 대해  $|N_{i \rightarrow}(p) \cap U(u,v)|$ 가 최대인  $p$ 를  $F(v)$ 의 노드로 우선적으로 선정한다. 만일 우선순위가 같은 노드가 발생하면  $|N(p) \cap U(u,v)|$ 가 최대인  $p$ 를, 그리고 다시 같은 우선순위의 노드가 발생하면  $|H(p)|$ 가 최대인  $p$ 를, 그리고 다시 같은 우선순위의 노드가 발생하면 임의의 노드를 선정하는 순으로 한다.

2) 선정된  $F(v)$ 를 포함하여 메시지를 수신해야 할  $v$ 의 1-홉 노드들에 해당하는  $B(u,v)$ 에 속하는 노드들로 메시지를 전달하기 위해 사용하여야 할 안테나들의 집합  $D_{v \rightarrow B(u,v)}$ 를 구한다. 전 방향 안테나와 달리 방향성 안테나를 사용하는 경우에는 해당 메시지를 수신해야 할 노드가 존재하는 곳으로만 안테나 요소를 이용하여 전송해야 신호 간섭과 충돌을 줄일 수 있고, 대역폭 낭비를 줄일 수 있기 때문이다. 이런 알고리즘을 수식의 형태로 표현하면 다음과 같다.

알고리즘 DPDP(Directional Partial Dominant Pruning)

입력:  $N(v)$ ,  $N_2(v)$ ,  $F(u)$

출력:  $F(v)$ ,  $D_{v \rightarrow B(u,v)}$  // 초기조건:  $F(v) = D_{v \rightarrow B(u,v)} = \emptyset$

1.  $B(u,v) = N(v) - N(u)$ ;  $U(u,v) = H_2(v) - N(u) - N(N(u) \cap N(v))$
2.  $t \in U(u,v)$ 인  $t$ 가  $s \in B(u,v)$ 인  $s$ 에 의해서만 커버된다면 다음을 수행함
  - 2.1  $F(v) = F(v) \cup \{s\}$ ;  $D_{v \rightarrow B(u,v)} = D_{v \rightarrow B(u,v)} \cup D_{v \rightarrow s} D_{v \rightarrow s}$ ;
  - 2.2  $B(u,v) = B(u,v) - s$ ;  $U(u,v) = U(u,v) - \{N(s) \cap U(u,v)\}$ ;
3.  $U(u,v) = \emptyset$ 일 때까지 다음 과정을 반복하여 수행함
  - 3.1  $|N_i \rightarrow (p) \cap U(u,v)|$ 가 최대인  $p$ 에 대해  $D_{v \rightarrow B(u,v)} = D_{v \rightarrow B(u,v)} \cup \{i\}$ 를 구하고, 같은 우선순위의 노드가 발생 시 3.2로, 그렇지 않으면 3.3으로 이동
  - 3.2 같은 우선순위의 노드가 발생한 노드  $p$  중  $|N(p) \cap U(u,v)|$ 가 최대인  $p$ 를 선정하고, 만일 동일한 우선순위의 노드가 다시 발생하면  $|H(p)|$ 가 최대인  $p$ 를, 또 다시 같은 우선순위의 노드가 발생 시에는 임의의 노드  $p$ 를 선정하여  $D_{v \rightarrow B(u,v)} = D_{v \rightarrow B(u,v)} \cup D_{v \rightarrow p}$ 를 구함
  - 3.3  $F(v) = F(v) \cup \{p\}$ ;  $B(u,v) = B(u,v) - p$ ;  $U(u,v) = U(u,v) - \{N(p) \cap U(u,v)\}$ ;

그림 3에서는 노드 2가 브로드캐스트 소스인 경우의  $F(v)$ 를 구한 것이다. 노드 2에서  $B(\phi, 2) = N(2) - \{\phi\} = \{1, 2, 7, 8, 9, 10\}$ ,  $U(\phi, 2) = H_2(2) - N(\phi) - N(N(2) \cap N(\phi)) = \{3, 4, 5\}$ 이다.  $B(\phi, 2)$ 내에 속하는 노드로서 단일 안테나 요소를 이용하여  $U(\phi, 2)$  내의 가장 많은 노드들을 커버하는 노드를 선정한다.  $|N_{\phi \rightarrow}(1) \cap U(\phi, 2)| = |\{3, 5\}| = 2$ 이고  $N(1) \cap U(\phi, 2) = U(\phi, 2)$ 이므로  $F(2) = \{1\}$ 과  $D_{2 \rightarrow B(\phi, 2)} = \{0, 1, 2, 3\}$ 을 얻는다. 노드 1에서는  $B(2, 1) = N(1) - N(2) = \{1, 2, 3, 4, 5, 9, 10\} - \{1, 2, 7, 8, 9, 10\} = \{3, 4, 5\}$ ,  $U(2, 1) = H_2(1) - N(2) - N(N(2) \cap N(1)) = \{6, 7, 8, 11\} - \{1, 2, 7, 8, 9, 10\} - \{3, 4, 5, 7, 8\} = \{6, 11\}$ 을 얻는다. 그런데,  $|N(5) \cap U(2, 1)| = |\{6, 11\}| = 2$ 이고,  $|N(3) \cap U(2, 1)| = |\{6\}| = 1$ 이므로  $F(1) = \{5\}$ ,  $D(1) =$

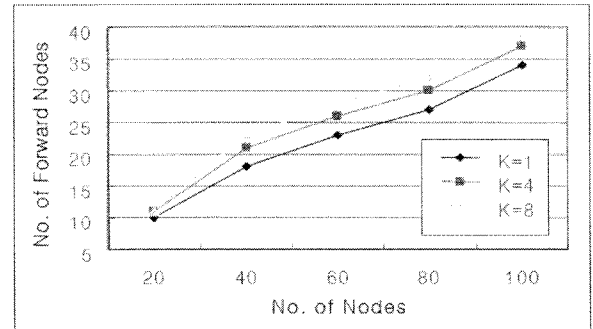
$\{3, 4\}$ 이다.

#### 4. 실험

제안 알고리즘의 평가를 위해  $1000 \times 1000$  크기의 네트워크 내에 노드의 수가  $[20, 40, 60, 80, 100]$ 으로 고르게 분포되는 경우에 대해 다음 사항을 측정하였다.

- 전달 노드 수
- 안테나 요소별 평균 전달 노드 수
- 노드별 중복 수신한 메시지 수

측정을 위한 시뮬레이션 프로그램은 MAC 계층 및 물리 계층의 프로토콜은 무시하고 PDP[1]과 본 논문에서 제안한 DPDP의 기본 기능을 C언어로 작성하였다. 여기서, 노드별 안테나 수  $K$ 는  $[1, 4, 8]$ 인 경우에 대해 실험하였고 노드의 이동성은 간편성을 위해 고려하지 않았다. 그림 4에 DPDP를 이용하여 선정된 전달 노드들의 수를 나타내었다.

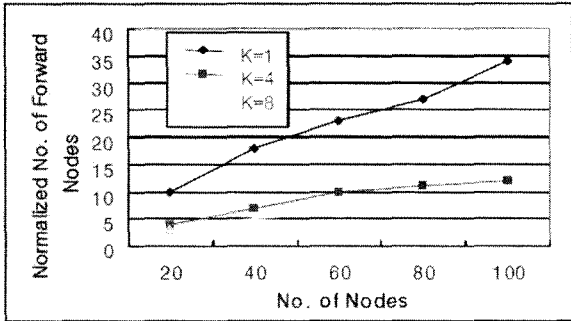


(그림 4) 노드 수와 전달 노드 수의 관계

$K=1$ 인 즉, 전 방향의 안테나를 사용하는 경우에 비해 방향성 안테나를 사용하는 경우에는 선정된 전달 노드들의 수가 증가하는 것으로 나타났다. 하지만 그 차이는 5이하로 측정되었다. 이는 본 논문에서 제안한 DPDP 알고리즘의 과정 3.1에 의한 것으로서 안테나 별로 가장 많은 이웃 노드를 커버하는 노드들을 선정하기 때문이다. 안테나 수가 증가 할 수록 전달 노드의 수는 증가하더라도 그 차이는 크지 않게 된다.

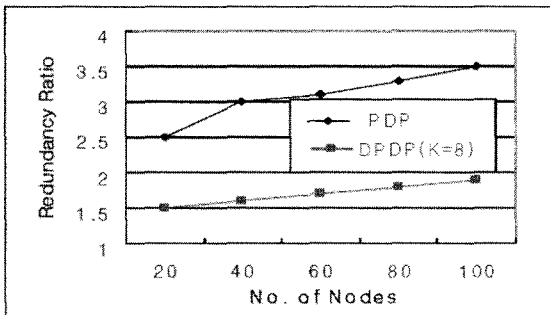
그림 5에서는 안테나 별로 커버하는 전달 노드

들의 수를 나타낸다. 즉, 전달 노드들의 수를 안테나 요소 수  $K$ 로 나눈 것으로써 이웃 노드와의 신호 간섭 정도나 전력 사용의 효율성 등을 간접적으로 나타낸다.



(그림 5) 안테나 요소 별 전달 노드 수

$K$ 가 클수록 대응되는 전달 노드 수가 줄어들게 되어 관련 부문에서 우수하게 된다. 이는 신뢰성 있는 브로드캐스트를 실현하기 위해 브로드캐스트 메시지를 수신한 전달 노드로부터 수신확인 메시지 ACK를 수신하는 기법을 이용하는 경우 ACK implosion 문제[10]를 완화시키는데도 고려될 수 있다.  $K$ 가 클수록 그리고 네트워크 내의 노드 수가 클수록 차이는 더 크게 되는데,  $K=1$ 에 비해  $K=4, 8$ 일 경우 최대 230%까지 벌어짐을 보여 방향성 안테나를 사용함이 유리함을 알 수 있다.



(그림 6) 노드별 메시지 중복 수신 비율

그림 6은 네트워크 내의 노드가 중복하여 수신한 메시지의 개수를 나타내는데,  $K=8$ 일 때 2개 이하의 메시지를 수신함을 보여준다. 이는  $K=1$ 인 전 방향성 안테나를 사용하는 경우에 비해  $K>1$ 인 경우에는 일정한 방향에서 전달되는 메시지에 한해 수신되므로  $K$ 가 클수록 중복 비율은 줄어들게 됨을

알 수 있다.  $K=8$ 인 경우 전체적으로 160%에서 190%의 중복 비율의 감소를 나타냈다. 이러한 관점에서 본 논문에서 제안한 방향성 안테나를 이용한 애드 hoc 네트워크에서의 브로드캐스트 전달 메시지의 선정 기법은 매우 유용한 것으로 평가된다.

## 5. 결론

본 논문에서는 PDP(Partial Dominant Pruning) [1]을 확장하여 방향성 안테나를 이용하는 애드 hoc 네트워크에 있어서 브로드캐스트에 참여하는 전달 노드들의 수와 이들이 사용하는 안테나 요소들의 수를 모두 줄이도록 하는 확장된 기법인 DPDP (Directional PDP) 기법을 제안하였다. 이를 위해  $q \in U(u,v)$ 인 어떤  $q$ 를 커버하는  $p \in B(u,v)$ 인  $p$ 에 대해  $|Ni \rightarrow (p) \cap U(u,v)|$ 가 최대인  $p$ 를 전달 노드 집합  $F(v)$ 의 노드로 우선적으로 선정하도록 하였다. 그리고 이웃한 노드에게 필요하게 메시지가 중복 전송되는 것을 완화하기 위해 선정된 전달 노드들이 존재하는 영역에 신호 전송이 가능한 안테나 요소들의 집합  $D_{v \rightarrow B(u,v)}$ 를 구하도록 하였다. 시뮬레이션 결과 사용 안테나 요소 수가 증가함에 따라 전달 노드들의 수는 전 방향성 안테나를 사용하는 경우에 비해 다소 증가함을 알 수 있었다. 하지만, 안테나 요소별 평균 전달 노드 수와 노드별 메시지 중복 수신 수에서는 모두 PDP 기법에 비해 우수함을 보였다.  $K=1$ 인 전 방향성 안테나를 사용하는 경우에 비해  $K=8$ 인 방향성 안테나를 사용하는 모든 경우에 대해 브로드캐스트 메시지의 수신 수에서 160%에서 190%까지 중복 비율의 감소됨을 확인 할 수 있었다. 이는 신호 간섭을 줄이고 전력 절약을 통해 네트워크 차원의 성능 향상에 방향성 안테나를 이용하는 것이 바람직함을 보여 준다. 노드의 이동성이 허용되고 MAC 계층 프로토콜을 사용하는 환경에서 제안 기법을 평가하는 추후 연구가 필요하다.

## 참고 문헌

- [1] W. Lou and J. Wu(2002), On reducing broadcast redundancy in ad hoc wireless

- networks, *IEEE Trans. Mobile Computing*, vol.1, no.2, pp.111-122.
- [2] S. Ni, Y. Tseng, Y. Chen, and J. Sheu(1999), The broadcast storm problem in a mobile ad hoc network, *Proc. MOBICOM'99*, pp.151-162.
  - [3] H. Lim and C. Kim(2001), Flooding in wireless ad hoc networks, *Computer Communications*, vol.24, no.3-4, pp.353-363.
  - [4] C. S. Basagni, M. Conti, S. Giordano, and I. Stojmenovic (Eds.)(2004), *Mobile Ad Hoc Networking*, IEEE/Wiley.
  - [5] J. Wu and F. Dai(2004), A generic distributed broadcast scheme in ad hoc wireless networks, *IEEE Trans. Computers*, vol.53, no.10, pp.1343-1354.
  - [6] F. Dai and J. Wu(2006), Efficient broadcasting in ad hoc networks using directional antennas, *IEEE Trans. Parallel & Distributed Systems*, vol.17, no.4, pp.1-13.
  - [7] C. Hu, Y. Hong, and J. Hou(2003), On mitigating the broadcast storm problem with directional antennas, *Proc. IEEE ICC'03*.
  - [8] R. Ramanathan, J. Redi, C. Santivanez, D. Wiggins, and S. Polit(2005), Ad hoc networking with directional antennas: a complete system solution, *IEEE JSAC*, vol.23, no.3.
  - [9] R. Ramanathan(2001), On the performance of ad hoc networks with beamforming antennas, *Proc. MobiHOC'01*, pp.95-105.
  - [10] M. Impett, M. S. Corson, and V. Park (2000), A receiver-oriented approach to reliable broadcast ad hoc networks, *Proc. WCNC'00*, pp.117-122.



한 인 구 (In-Gu Han)

- 1998년 2월 : 인하대학교 전자계산공학(공학사)
- 2001년 2월 : 인하대학교 전자계산공학(공학석사)
- 2004년 ~ 2006년 : 인하공업전문대학 겸임교수
- 2000년 12월 ~ 2007년 2월 : 인피니어 마이크로시스템 선임연구원
- 2007년 10월 ~ 2008년 12월 : (주) 캠온 바이오 인포매틱스 팀장
- 관심분야 : 이동통신 시스템, 바이오 인포매틱스



이 정 현 (Jung-Hyun Lee)

- 1977년 2월 : 인하대학교 전자과(공학사)
- 1980년 9월 : 인하대학교 전자공학(공학석사)
- 1988년 2월 : 인하대학교 전자공학(공학박사)
- 1979년 ~ 1981년 : 한국전자기술 연구소 시스템 연구원
- 1984년 ~ 1989년 : 경기대학교 전자계산학과 교수
- 1989년 1월 ~ 현재 : 인하대학교 컴퓨터공학부 교수
- 관심분야 : 자연어처리, HCI, 음성인식, 정보검색, 고성능 컴퓨터구조



임 기 욱 (Kee-Wook Rim)

- 1977년 2월 : 인하대학교 전자공학과(공학사)
- 1987년 2월 : 한양대학교 전자계산학(공학석사)
- 1994년 8월 : 인하대학교 전자계산학(공학박사)
- 1977년 ~ 1988년 : 한국전자통신연구소 시스템소프트웨어 연구실장
- 1989년 10월 ~ 1996년 12월 : 한국전자통신연구원 시스템연구부장, 주전산기(타이컴)Ⅲ,Ⅳ 개발사업 책임자
- 2001년 7월 ~ 1999년 12월 : 한국전자통신연구원 컴퓨터소프트웨어 연구소장
- 2000년 ~ 현재 : 선문대학교 컴퓨터정보학부 교수
- 관심분야 : 실시간데이터베이스시스템, 운영체제, 시스템구조

논문접수일 : 2009년 4월 13일  
 논문수정일 : 2009년 5월 4일  
 게재확정일 : 2009년 5월 18일