

방향성 안테나를 이용하는 애드 혹 네트워크에서의 저비용 브로드캐스팅을 위한 메시지 전달 노드 선정

박정운[†], 차영환^{**}

요 약

애드 혹 네트워크 상에서 브로드캐스팅 시에 전달 메시지가 과중하게 중복 발생하는 것을 줄이기 위해 수신된 브로드캐스트 메시지를 전달하는 노드들을 일정한 노드들에게만 허용하도록 하는 기법 중 가장 실용적인 것으로는 PDP(Partial Dominant Pruning) 기법을 들 수 있다. 본 논문에서는 PDP를 확장하여 방향성 안테나를 이용하는 애드 혹 네트워크에 있어서 전달 노드들의 수는 물론, 이때 수반되는 안테나 요소 수도 줄이도록 하는 확장된 DPDP (Directional PDP) 기법을 제안한다. 시뮬레이션을 통해 사용 안테나 요소 수가 증가함에 따라 선정되는 전달 노드의 수는 PDP를 사용하는 경우에 비해 다소 증가하지만 수반되는 안테나 요소 수와 노드당 메시지 중복 수신 수에 있어서 기존의 PDP 기법을 적용하는 경우에 비해 언제나 우수함을 확인하였다.

A Selecting Message Forwarding Nodes for Low-Cost Broadcasting in Ad Hoc Networks using Directional Antennas

Jeong-Woon Park[†], Yeong-Hwan Tscha^{**}

ABSTRACT

Partial dominant pruning(PDP) is regarded as the most practical scheme, reducing redundant messages arisen in broadcasting over ad hoc networks, in such a way that only part of nodes are allowed to forward the received broadcast message. In this paper we propose an extend PDP version called DPDP(directional PDP) such that it reduces not only the number of selected forward nodes, but also the number of antenna elements deployed by the forward nodes. It turns out through simulation that as the number of antenna elements increases, the number of selected forward nodes by DPDP slightly outnumbers that obtained using PDP but both the number of antenna elements deployed by the forward nodes and the redundancy ratio of the received message per node always outperform respectively those given by PDP.

Key words: Ad Hoc Routing(애드 혹 라우팅), Directional Antennas(방향성 안테나), Pruning(프루닝)

1. 서 론

모든 노드가 호스트와 라우터의 역할을 모두 수행해야 하는 이동 애드 혹 네트워크에서는 존재가 알려져 있지 않은 특정 노드의 위치정보나 노드로의 경로

를 알아내기 위해 브로드캐스팅의 사용이 불가피하다. 일반적으로 애드 혹 네트워크에서의 브로드캐스트를 시행하는 경우에는 브로드캐스트 메시지가 과중하게 중복하여 생성되는 브로드캐스트 폭풍(broadcast storm) 문제[6]가 발생된다. 이에 대처하

※ 교신저자(Corresponding Author): 박정운, 주소: 인천시 남구 용현3동(402-751), 전화: 032)860-7442, FAX: 032)874-1435, E-mail: xpark00@gmail.com

접수일: 2006년 9월 11일, 완료일: 2006년 11월 3일

[†]준회원, 인하대학교 정보공학과

^{**}정회원, 상지대학교 컴퓨터정보공학과
(E-mail: yhtscha@mail.sangji.ac.kr)

※본 연구는 '05 정통부 IT기초기술연구사업 연구과제(05-기초-027)' 지원으로 수행되었음

기 위해서는 네트워크 내의 일정한 노드들에 대해서만 브로드캐스트 메시지를 전달하도록 제한하는 방법이 이용된다[1,4,5]. 메시지 전달 노드들로 선정된 노드들은 주어진 네트워크의 CDS(connected dominant set)에 해당되는데, 최소 비용의(예를 들면, 최소한의 노드들의 수로 구성되는) CDS를 구하는 문제는 NP-complete로 알려져 있다.

가능한 최소 비용의 CDS를 구하기 위해 제안된 휴리스틱(heuristic)에는 주어진 네트워크에 대해 단일 CDS를 구성하는 근원지무관(source-independent) 브로드캐스팅[10,11] 접근법과 브로드캐스트를 시작하는 노드를 기준으로 in-fly 형태로 개별적인 CDS를 구성하는 근원지별(source-dependent) 브로드캐스팅 접근법(이웃 노드 지정(neighbor-designating) 방법 또는 전달 노드 집합 기반 방법이라고도 함)[4,5]으로 구별되며, 이들을 혼용하는 방법[11]도 있다. 일반적으로 전자의 방법은 사용되는 노드 수에 있어 보다 적은 수를 보장하나 후자의 방법은 소스 노드와 이웃 노드에 따라 가변적으로 CDS를 구성하므로 네트워크 동적 상황이 고려된다는 점에서 바람직한 것으로 알려져 있다[11].

통신 대역폭과 전력 사용에 있어 효과적이며 이웃 노드 간의 상호 신호 간섭을 줄일 수 있는 방향성 안테나를 이용한 애드 혹 네트워크에서의 효과적인 브로드캐스트에 관한 연구 역시 최근에 주목을 받고 있다. 대표적인 연구로는 근원지 무관 CDS를 구하는 연구[10]와 방향성 안테나의 방향성을 고려한 중복 브로드캐스트 메시지의 발생을 줄이도록 시도한 연구[2]를 들 수 있다. 하지만 본 연구와 같이 브로드캐스트를 시행하는 노드를 기점으로 별도의 브로드캐스트 메시지 전달 노드들의 집합을 구하는 근원지별 CDS를 구성하는 연구는 아직까지 확인된 바 없다.

본 논문에서는 PDP(Partial Dominant Pruning) [5]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 전방향 안테나를 사용하는 경우에 비해 다소 증가하나 안테나 요소별 평균 전달 노드 수와 이들이 사용하는 안테나 요소 수 그리고 노드별 메시

지 중복 수신 수에서는 모두 기존의 PDP 기법을 적용하는 경우에 비해 우수함을 확인하였다.

2. 네트워크 모델

이동 애드 혹 네트워크는 기하 그래프(geometric graph) 모델인 'unit disk graph'를 이용하여 모델링하는 것이 일반적이다[1,13]. 본 연구에서도 이에 준하여 아래와 같은 사항을 따른다.

1) 그래프 $G = (V, E)$ 는 이동 애드 혹 네트워크를 나타낸다. V 는 무선 이동 노드(node)들의 집합이고, E 는 노드들간의 간선(edge)의 집합이다. 간선 $(u, v) \in E$ 는 노드 u 와 노드 v 사이의 물리적인 거리가 무선 신호의 전송 범위 내에 있음을 나타낸다.

2) 무선 링크 (u, v) 는 대칭성을 만족한다. 즉, u 에서 v 로 통신이 가능하다면 역시, v 에서 u 로도 통신이 가능하다.

3) 임의의 한 노드 u 를 중심으로 무선 신호의 도달 범위를 원으로 나타내며, 그 안에 존재하는 모든 노드들을 이웃 노드들이라고 하고, 이들의 집합을 $N(u)$ 로 표기한다. 단, 정의에 의해 $u \in N(u)$ 이다.

4) 노드 u 의 2-홉까지 이웃한 노드들의 집합을 $N(N(u))$ 또는 $N_2(u)$ 로 표기한다. 단, $u \in N(u)$ 이고, $N(u) \in N_2(u)$ 이므로 $u \in N_2(u)$ 이며, $\{u\} \subseteq N(u) \subseteq N_2(u)$ 이다.

5) 일반적으로 $N_h(u)$ 를 u 로부터 h -홉 이내까지 이웃한 노드들의 집합을 나타내고, $H_h(u)$ 를 u 로부터 정확히 h -홉 떨어져 존재하는 노드들의 집합이라고 하면 $N_h(u) = N_{h-1}(u) \cup H_h(u)$ 인 관계가 성립한다. 단, $h \geq 1$ 이고, $N_0(u) = H_0(u) = \{u\}$ 이다. 논의의 편의를 위해 $h=1$ 인 경우 첨자를 생략하기도 한다.

6) $\{u\} \subseteq N(u) \subseteq N_2(u)$ 이고, $v \in N(u)$ 이면 $N(v) \subseteq N_2(u)$ 이다.

7) [그림 1]에서 $N_1(B)$ (또는 $N(B)$) = $N_0(B) \cup H_1(B) = \{B\} \cup \{A, C, D, E\} = \{A, B, C, D, E\}$, $N_2(B) = N_1(B) \cup H_2(B) = \{A, B, C, D, E\} \cup \{H, G, F\} = \{A, B, C, D, E, F, G, H\}$, $N_3(B) = N_2(B) \cup H_3(B) = \{A, B, C, D, E, F, G, H\} \cup \{I\} = \{A, B, C, D, E, F, G, H, I\}$ 로 주어진다.

8) 각 노드 u 는 이웃 노드에 관한 정보를 얻기 위해 주기적으로(예, 15초 간격으로) 특정 메시지 "HELLO"를 전송한다. 본 연구에서는 각 노드 u 에 대해 2-홉(hop)까지 떨어져 존재하는 노드들까지의 연결 정보

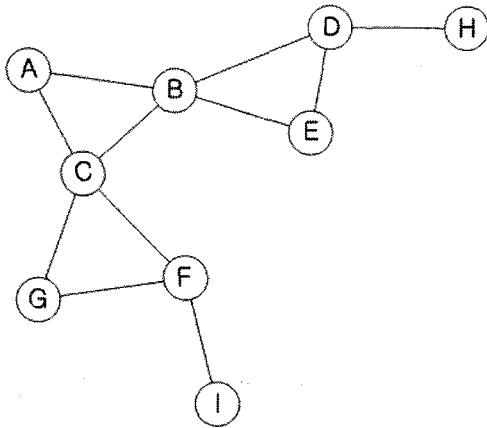


그림 1. 애드 혹 네트워크를 그래프로 표현한 예

를 수집하는 경우를 고려한다. 이를 위해 노드 u 로부터 "HELLO" 메시지를 수신한 노드 v 는 자신의 1-홉 이내의 이웃 노드 $N(v)$ 를 "HELLO" 메시지 내에 piggyback하여 u 로 전달한다. 이를 수신한 v 는 자신으로부터 2-홉 떨어져 존재하는 노드들까지의 연결 관계와 이들 간에 사용된 안테나 id 등에 관한 정보를 얻게 된다.

[그림 2]는 360° 전방향을 K 개의 중복되지 않는 부채꼴 모양의 섹터(sector)들로 나누고 각 섹터를 담당하는 안테나 요소가 배치되는 교환식 빔 안테나 (switched beam antenna) 모델을 나타낸다[8,9]. 전방향 안테나를 이용하는 경우의 전송 이득(gain)을 G^o , 특정 방향으로의 안테나만을 이용하는 경우의 전송 이득을 G^d 라 하면 $G^d > G^o$ 인 관계가 성립한다. 그리고 전송 거리 측면에서도 전방향 안테나의 경우 신호의 도달거리 d_o 와 특정 방향으로 신호를 송출하는 경우의 신호 도달 거리 d_d 사이에 $d_d > d_o$ 이다. 예를 들어 전력 10dBm을 이용하는 경우 d_o 는 250m이지만, 빔 폭을 60° 로 하여 신호를 송출하는 d_d 는 450m까지 가능하다[12]. 임의 순간에 오직 하나의 안테나 요소만을 이용한 전송이 가능한 교환식 빔 안테나에서는 전방향으로의 브로드캐스팅을 시행하기 위해 안테나 요소 별로 순차적 스위핑(sequential sweeping)[12] 과정을 통해 이를 실현할 수 있다. 즉, 시계 방향의 안테나 요소 0, 1, 2, .. $K-1$ 의 순으로 일정한 전송지연을 수반하면서 해당 안테나별로 메시지를 전송한다. 만일 일부 특정한 안테나 요소들을 이용한 전송이 가능하다면 선택적 플러딩(flooding)도 지원 될 수 있다.

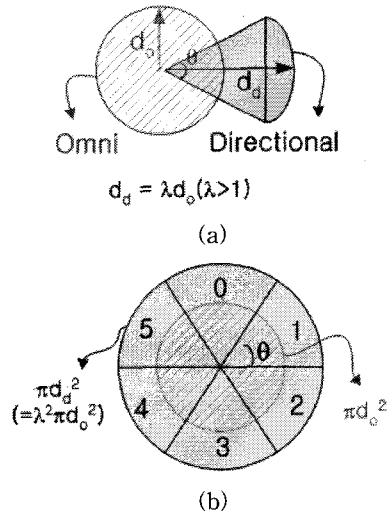


그림 2. 방향성 안테나 모델: a) 전방향 대 방향성(지향성) 전송 b) 방향성 안테나($K=6$)

일반적으로 $d_d = \lambda d_o$ 라 놓으면 ($\lambda > 1$) 방향성 안테나를 이용하여 어떤 노드로부터의 전송 신호가 미치는 면적은 전방향안테나를 사용하는 경우에 비해 약 λ^2 배 증가 하게 되어 노드 당 이웃 노드 수가 λ^2 배 증가 하는 네트워크 모델로 간주할 수 있다. 따라서 방향성 안테나를 사용하는 경우에는 전방향 안테나를 사용하는 경우에 비해 전송 경로 상의 홉(hop) 수를 줄일 수 있고, 통신 시에 요구되는 필요한 방향의 안테나 요소들만을 사용하게 되면 이웃 노드들 간의 신호 간섭도 줄일 수 있다. 아울러, 방향성 안테나를 사용하는 애드 혹 네트워크의 경우에는 노드 밀도가 높은 네트워크라고 가정 할 수 있게 된다.

임의의 한 노드 u 를 중심으로 무선 신호의 도달 범위 내에 존재하는 모든 노드들을 u 의 이웃 노드들 이라고 하고, 이러한 노드들의 집합을 $N(u)$ 로 표기한다. 그러면, 정의에 의해 $u \in N(u)$ 이다. $N_h(u)$ 를 u 로부터 h -홉(hop) 이내까지의 노드들의 집합을 나타내고, $h \geq 1$ 인 h 에 대하여 $N_h(u)$ 를 u 로부터 정확히 h -홉 떨어져 존재하는 노드들의 집합으로 표기 하면 $N_h(u) = N_{h-1}(u) \cup N_h(u)$ 인 관계가 성립한다. 단, $N_0(u) = N_0(u) = \{u\}$ 이다. 편의상 $h=1$ 인 경우에는 첨자는 생략하고 $N_1(u)$ 대신 $N(u)$ 를 표기하기로 한다. 예를 들면 [그림 3]에서 $N_2(10) = N(10) \cup N_2(10) = \{1,2,4,9,10\} \cup \{3,5,7,8\} = \{1,2,3,4,5,7,8,9,10\}$ 이다. 한편, $u \in N(v)$ 인 이웃한 두 노드 u 와 v 에 대해서 u 는 v 에 의해(마찬가지로 v 는 u 에 의해) cover 또는

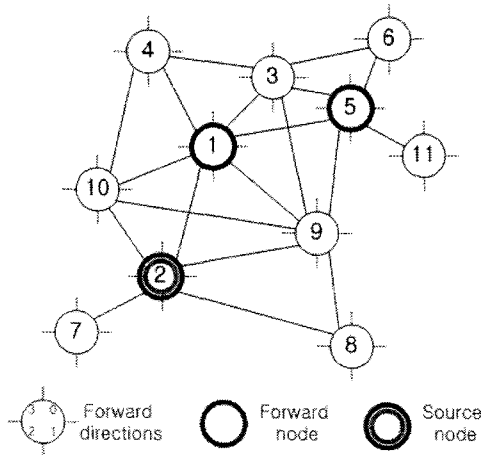


그림 3. 4개의 안테나 요소를 사용하는 네트워크

dominate된다고 정의한다. [그림 3]에서 노드 1과 10은 서로 이웃한 노드들로서 1은 10에 의해 또는 10은 1에 의해 dominate된다.

임의의 노드 u 가 안테나 요소 $i(0 \leq i \leq K-1)$ 를 이용하여 직접 통신이 가능한 이웃 노드들의 집합을 $N_{i \rightarrow}(u)$ 로 표기하면 $N_{i \rightarrow}(u) \subseteq N(u)$ 이고 $N(u) = N_{0 \rightarrow}(u) \cup N_{1 \rightarrow}(u) \cup \dots \cup N_{K-1 \rightarrow}(u) \cup \{u\}$ 이다. 편의상 안테나 요소 수 K 가 짝수라고 가정하면, $u \in N(v)$ 인 u 와 v 가 상호 통신을 위해 사용하는 안테나 요소들 간에는 전송 신호의 직진성에 의해 대각관계가 성립한다. 즉, u 에서 v 로 정보를 전송할 때 사용한 안테나가 i 라면 v 가 수신 시 사용한 안테나는 $(i + (K/2)) \bmod K$ 이다. 예로서 [그림 3]에서 노드 2가 노드 8에게 전송 시 사용하는 안테나 요소가 1이므로 노드 8에서 노드 2로부터의 신호를 수신 시, 사용하는 안테나 요소는 $(1 + (4/2)) \bmod 4 = 3$, 안테나 요소 3이다. 이러한 대각 관계에 의해 자신이 이웃한 노드와 사용하는 안테나 요소만을 알면 상대방이 어떤 안테나 요소를 사용하는지 쉽게 알 수 있다. 임의의 노드 v 가 자신의 이웃 노드 u 로의 신호 전송을 위해 사용하는 안테나 요소들의 집합을 $D_{v \rightarrow u} = \{i | u \in N_{i \rightarrow}(v)\}$ 로 표기하면, $V \subseteq N(v)$ 인 노드들의 집합 V 에 대해 $D_{v \rightarrow V} = \bigcup_{w \in V} D_{v \rightarrow w}$ 이 된다. [그림 3]에서 $D_{8 \rightarrow 2} = \{3\}$, $N(10) = \{1, 2, 4, 9\}$ 이므로 $D_{10 \rightarrow N(10)} = D_{10 \rightarrow 1} \cup D_{10 \rightarrow 2} \cup D_{10 \rightarrow 4} \cup D_{10 \rightarrow 9} = \{0\} \cup \{1\} \cup \{0\} \cup \{1\} = \{0, 1\}$ 이다.

본 연구에서는 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 $N_2(u)$ 내의 노드간의 연결성과 이용 안테나 정보를 언제나 정확히 알고 있다고 가정한다.

3. 제안 알고리즘

전방향 안테나에 기반을 둔 애드 홀 네트워크에서 동적으로 메시지 전달 노드들을 구하는 대표적인 기법에는 DP(Dominant Pruning)[4], PDP(Partial DP)와 TDP(Total DP)[5]가 있다. 이러한 방법들은 메시지 전달 노드 v 로 하여금 $N_2(v)$ 의 모든 노드들을 cover, 즉 dominate하는 $N(v)$ 내의 최소한의 수의 노드들을 선정하는 방법으로 선정된 노드들을 v 의 브로드캐스트 메시지 전달 노드 집합이라 하고 $F(v)$ 로 표기한다. 임의의 v 에 대해 $F(v)$ 를 구하기 위해서 DP와 PDP는 2-hop까지의 노드들, 즉 $N_2(v)$ 의 정보를 이용하는 반면 TDP는 3-hop까지의 정보 $N_3(v)$ 를 필요로 한다. TDP가 PDP에 비해 근소한 차이로 더 작은 크기의 $F(v)$ 를 제공하는 것으로 알려져 있지만 TDP의 경우 모든 노드가 3-hop까지의 정보를 유지하여야 하는 부담이 있어 실용성에 있어 뒤쳐진다 [5]. 본 연구의 목적은 PDP 기법을 방향성 안테나를 고려하는 경우로 확장하는 것이다.

PDP에서는 $F(v)$ 를 구하여야 하는 현재의 노드 v 와 앞서서 v 를 전달 노드로 선정하였던 어떤 노드 u 에 대해 $v \in N(u)$ 인 관계를 고려하여 $F(v)$ 를 구하는 과정에서 중복하여 고려되는 노드들을 제거하고자 [5]에서 제안된 $B(u, v) = N(v) - N(u)$ 와 $U(u, v) = H_2(v) - N(u) - N(N(u) \cap N(v))$ 인 두 관계식을 이용한다. 따라서 $B(u, v)$ 내의 노드로서 $U(u, v)$ 내의 노드들을 cover하는 노드들의 집합을 v 의 메시지 전달 노드 집합 $F(v)$ 로 정의한다. 이러한 전방향 안테나 모델에서 고안된 PDP를 방향성 안테나 모델에서 적용하도록 확장하기 위해 다음 사항을 고려한다.

① $F(v)$ 를 선정하는 경우 선정되는 노드들의 수만을 줄이도록 하는 것이 아니라 이들이 사용하는 안테나 요소 수도 줄이도록 고려한다. 즉, $B(u, v)$ 내에 속하는 노드로서 $U(u, v)$ 내의 노드를 cover하는 노드를 선정하는 기준을 전달 노드의 수를 줄이는 것은 물론 이때 사용되는 안테나 수도 줄인다. $q \in U(u, v)$ 인 어떤 노드 q 를 cover하는 $p \in B(u, v)$ 인 노드 p 에 대해 $|N_{i \rightarrow}(p) \cap U(u, v)|$ 가 최대인 p 를 $F(v)$ 의 구성 원

소로 최우선적으로 선정한다. 만일 tie가 발생하면 $|N(p) \cap U(u,v)|$ 가 최대인 p 를 고려하고, 다시 tie가 발생하면 $|H(p)|$ 가 최대인 p 를, 그리고 다시 tie가 발생하면 임의의 노드를 선정한다.

② 선정된 $F(v)$ 를 포함하여 브로드캐스트 메시지를 수신해야 할 노드들로 메시지를 전달하기 위해 사용되어야 할 안테나들의 집합 $D_{v \rightarrow B(u,v)}$ 를 구하도록 확장한다. 전방향 안테나와 달리 방향성 안테나를 사용하는 경우에는 해당 메시지를 수신해야 할 노드가 존재하는 곳으로만 신호 전송이 가능하도록 제한하여야만 신호의 간섭과 충돌, 대역폭 낭비를 줄여 네트워크 차원의 성능 향상이 가능하기 때문이다.

[그림 4]에서 과정 1은 현재 노드 v 의 $F(v)$ 를 구하기 위해 바로 이웃한 노드들과 2홉 거리의 노드들과 관련된 관계식 $B(u,v)$ 와 $U(u,v)$ 를 정의하는 것이다. 과정 2는 v 의 2홉 거리의 노드 t 가 특정 1홉 거리의 노드 s 에 의해서만 cover된다면 s 를 $F(v)$ 에 반드시 넣도록 하는 과정이다[7]. 예를 들어 [그림 3]에서 브로드캐스트를 시작하는 소스(또는 근원지라고도 함) 노드가 10이라고 가정하면 노드 10의 2홉 거리의 노드 7은 오직 노드 2에 의해서만 cover되므로 노드

2는 $F(10)$ 에 포함되어야 한다.

[그림 3]에서 이중 원과 굵은 원으로 나타낸 노드들은 노드 2가 브로드캐스트 소스인 경우에 대해 구한 $F(2)$ 와 후속과정에서 선정된 메시지 전달 노드들을 나타낸다. 소스 노드는 이중 원으로, 메시지 전달 노드로 선정된 노드들은 굵은 단일 선으로 나타내었다. [그림 4]의 알고리즘을 이용하여 선정되는 과정을 설명하면 다음과 같다. 노드 2에서 $B(\phi,2) = N(2) - \{\} = \{1,2,7,8,9,10\}$, $U(\phi,2) = H_2(2) - N(\phi) - N(N(2) \cap N(\phi)) = \{3,4,5\}$ 이다. [그림 4]의 과정 3에 의해 $B(\phi,2)$ 내에 속하는 노드로서 하나의 안테나 요소를 이용하여 $U(\phi,2)$ 내의 가장 많은 노드들을 cover하는 노드를 선정한다. $|N_0 - (1) \cap U(\phi,2)| = |\{3,5\}| = 2$ 이고 $N(1) \cap U(\phi,2) = U(\phi,2)$ 이므로 $F(2) = \{\}$ 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 $F(1) = \{5\}$, $D(1) = \{3,4\}$ 가 된다.

4. 평 가

제안 알고리즘의 평가를 위해 1000×1000 크기의 네트워크 내에 노드의 수가 [20, 40, 60, 80, 100]으로 고르게 분포되는 경우에 대해 시뮬레이션 프로그램으로 MAC 계층 및 물리 계층의 프로토콜을 고려하지 않고 [그림 4]의 DPDP와 전방향 안테나를 위해 고려된 PDP[5]의 기본 기능을 C 언어로 구현하였다. 여기서, 노드별 안테나 수 K 는 [1, 4, 8]인 경우로 제한하였고 노드의 이동성은 고려하지 않았다. 측정을 위해 고려된 항목들은 다음과 같다.

- 전달 노드 수 : 네트워크 내의 전체 노드 수 가운데 전달 노드로 선정된 노드들의 수
 - 안테나 요소 수 : 선정된 전달 노드들 간에 이용되는 안테나 요소 수
 - 안테나 요소별 전달 노드 수 : 선정된 전달 노드 수를 노드 내 안테나 요소 수로 나눈 수
 - 노드별 메시지 중복 수신 비율 : 네트워크 내의 노드가 평균적으로 수신한 동일 메시지 비율
- [그림 5]에는 네트워크 내의 노드 수별 생성된 임의의 그래프에 대해 [그림 4]의 DPDP를 적용하여

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 cover된다면 다음을 수행함.
 - 2.1 $F(v) = F(v) \cup \{s\}$; $D_{v \rightarrow B(u,v)} = D_{v \rightarrow B(u,v)} \cup D_{v \rightarrow s}$;
 - 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 $|N_i - (p) \cap U(u,v)|$ 가 최대인 p 에 대해 $D_{v \rightarrow B(u,v)} = D_{v \rightarrow B(u,v)} \cup \{i\}$ 를 구하고, tie 발생 시 3.2로, 그렇지 않으면 3.3으로 이동. 단, $0 \leq i \leq K-1$ 임.
 - 3.2 tie가 발생한 노드 p 중 $|N(p) \cap U(u,v)|$ 가 최대인 p 를 선정하고, 만일 tie가 다시 발생하면 $|H(p)|$ 가 최대인 p 를, 또 다시 tie가 발생시에는 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 4. DPDP: 방향성 안테나를 이용하는 이동 애드 혹 네트워크를 위한 브로드캐스트 메시지 전달 노드 선정 알고리즘

선정된 전달 노드들의 수를 나타내었다. K=1인, 즉 전방향의 안테나를 사용하는 경우에 비해 방향성 안테나를 사용하는 경우에는 오히려 선정된 전달 노드들의 수가 증가하는 것으로 나타났고, 그 차이는 약 5이하로 추정되었다. 차이가 나는 주된 이유로는 K>1인 경우 노드 당 K개의 별도의 방향으로 전달 노드와의 관계를 고려하여 전달노드를 고려하기 때문에([그림 4]의 과정 3.1) 최적화면에서 불리한 것으로 추정된다. 즉, 안테나 별로 가장 많은 이웃 노드를 cover하는 노드들을 선정하기 때문인 것으로 해석된다.

알고리즘 DPDP를 이용하여 전달 노드 집합을 선정하는 경우에 선정된 전달 노드들이 사용하는 안테나 요소(방향)의 총 수를 나타내면 [그림 6]와 같다.

K=1인 경우에는 [그림 5]의 K=1인 경우와 같이 전달 노드 수와 사용안테나 수가 동일하다. 왜냐하면 전방향 안테나를 사용하므로 전달 노드별로 하나의 안테나를 사용하기 때문이다. 전체적으로 K가 증가할수록 사용되는 안테나 요소 수도 증가하는 데 K=1인 경우에 비해 K=4일 때 약 20% 정도, K=8일 경우 약 33% 정도 더 증가 하는 것으로 나타났다. 또한 [그림 5]와 비교 시, K>1인 경우 사용된 안테나 요소

수는 선정된 전달 노드 수 보다 약간 더 많게 사용되는 것으로 나타났다. 이는 사용 안테나 요소 수 K가 증가 할수록 전달 노드 수가 증가하게 되고 이를 cover하기 위한 안테나 요소도 비례하여 늘어남을 의미한다. 하지만 노드 100의 경우, 실험에서 고려된 가장 큰 K=8일 때 전체 안테나 요소 수를 편의상 $100 \times 8 = 800$ 개라고 가정하면 이 때 선정된 전달 노드의 수가 [그림 5]로부터 약 40이고 [그림 6]으로부터 이들에 의해 사용되는 안테나 요소 수는 46에 해당하므로 $(46/800) \times 100 = 5.75\%$ 에 해당하는 안테나 요소만 사용되는 것이기에 에너지 절약 측면이나 신호 간섭 배제 등을 고려 시 방향성 안테나를 이용하는 경우에 있어 전체적으로는 상당히 개선된 것이라고 할 수 있다.

[그림 7]은 본 연구에서 제안하는 전달 노드 및 사용 안테나 요소를 선정하는 알고리즘 DPDP와 기존의 전방향 안테나를 사용하는 애드 혹 네트워크를 위해 제안된 PDP[5]를 이용하는 경우에 선정되는 전달 노드들에 의해 사용되는 안테나 요소 수를 알아본 것이다. 즉, DPDP를 사용 할 경우 PDP에 비해 얼마나 더 적은 수의 안테나 요소들을 사용하는가를 알아본 것이다. 예를 들어 노드 수가 80이고 K=4인 경우 DPDP를 사용하면 약 33개의 안테나 요소가 사용되며, PDP를 사용하면 약 40개가 사용된다. 전체적으로는 K가 클수록 DPDP를 사용하는 것이 PDP를 사용하는 것 보다 더 큰 차이를 나타내는 것으로 보였는데 그 차이는 약 33% 정도의 안테나 요소 수를 절감할 수 있음으로 알 수 있었다.

[그림 8]은 안테나 별로 cover하는 전달 노드들의 수를 나타낸다. 즉, 전달 노드들의 수를 안테나 요소 수 K로 나눈 것으로써 이웃 노드와의 신호 간섭 정도나 전력 사용의 효율성 등을 간접적으로 나타낸다.

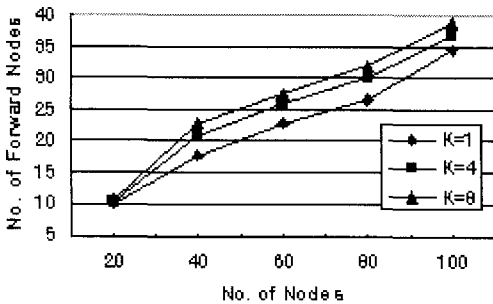


그림 5. 노드수와 전달 노드 수의 관계

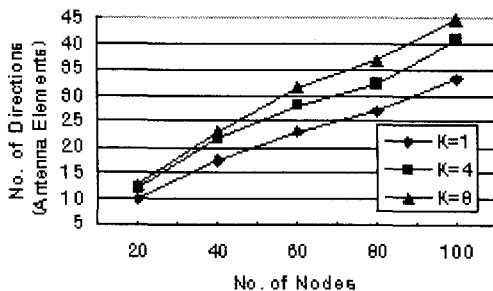


그림 6. 안테나 요소(방향) 수와 노드 수의 관계

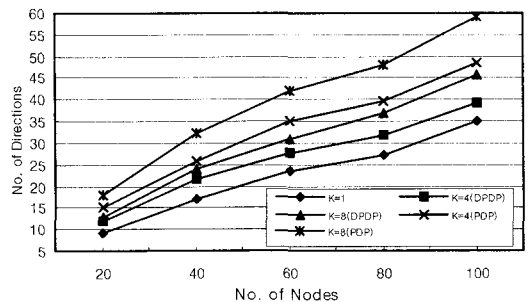


그림 7. DPDP와 PDP의 안테나 요소 수 비교

K가 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[3]를 완화시키는데도 고려될 수 있다. 즉, K가 클수록 그리고 네트워크 내의 노드 수가 클수록 그 차이는 더 커지게 되는데 K=1에 비해 K=4, 8일 경우 최대 230% 까지의 차이를 보여 방향성 안테나를 사용하는 것이 신호 간섭이나 대역폭 이용도 면에서는 유리함을 알 수 있다.

[그림 9]은 네트워크 내의 노드가 중복하여 수신한 메시지의 개수를 나타내는데, K=8일 때 평균 2개 이하의 메시지를 수신함을 보여준다. 이는 K=1인 전방향 안테나를 사용하는 경우에 비해 K>1인 경우에는 일정한 방향에서 전달되는 메시지에 한해 수신되므로 K가 클수록 중복 비율은 줄어들게 됨을 알 수 있다. 물론 이를 위해서는 [그림 5]와 [그림 6]에서 나타내듯이 전달 노드들의 수와 사용 안테나 요소 수의 증가가 불가피하다. K=8인 경우 전체적으로 160%에서 190%에 이르는 중복 비율의 감소를 나타냈다.

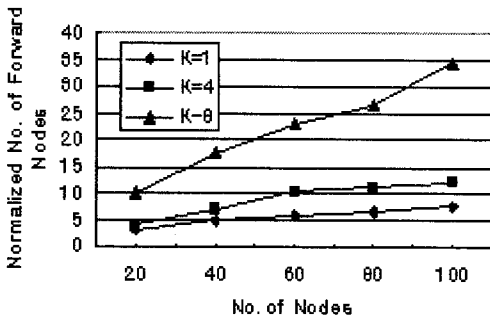


그림 8. 안테나 요소별 전달 노드 수

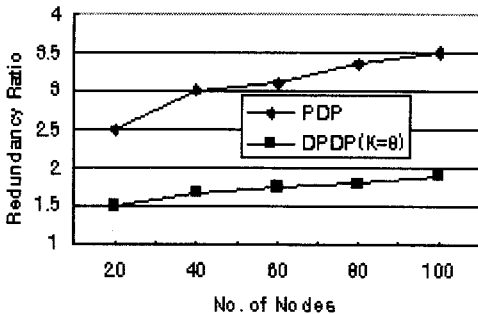


그림 9. 노드별 메시지 중복 수신 비율

5. 결 론

본 논문에서는 PDP(Partial Dominant Pruning) [5]를 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 제안하였다. 이를 위해 $q \in U(u,v)$ 인 어떤 q 를 cover하는 $p \in B(u,v)$ 인 p 에 대해 안테나 요소 $i(0 \leq i \leq K-1)$ 에 대해 $|N_{i \rightarrow}(p) \cap U(u,v)|$ 가 최대한 p 를 전달 노드 집합 $F(v)$ 의 노드로 우선적으로 선정하도록 하였다. 그리고 이웃한 노드에게 불필요하게 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 수와 사용되는 안테나 요소들의 수는 전방향 안테나를 사용하는 경우에 비해 다소 증가함을 알 수 있었다. 하지만, 안테나 요소별 평균 전달 노드 수와 노드별 메시지 중복 수신 수에서는 PDP 기법에 비해 우수함을 보였다. 사용되는 안테나 요소 수 $K > 1$ 에 대해 제안된 DPDP를 사용하면 PDP에 비해 약 33% 정도로 안테나 요소 수를 절감할 수 있었는데 이는 신호 간섭을 줄이고 전력 절약을 통해 네트워크 차원의 성능 향상에 방향성 안테나를 이용하는 것이 바람직함을 보여준다. 노드의 이동성이 허용되고 MAC 계층 프로토콜을 사용하는 환경에서 제안 기법을 평가하는 추후 연구가 요구된다.

참 고 문 헌

- [1] C. S. Basagni, M. Conti, S. Giordano, and I. Stojmenovic (Eds.), *Mobile Ad Hoc Networking*, IEEE/Wiley, 2004.
- [2] C. Hu, Y. Hong, and J. Hou, "On mitigating the broadcast storm problem with directional antennas," *Proc. IEEE ICC'03*, 2003.
- [3] M. Impett, M. S. Corson, and V. Park, "A receiver-oriented approach to reliable broadcast ad hoc networks," *Proc. WCNC'00*, pp. 117-122, 2000.

[4] H. Lim and C. Kim, "Flooding in wireless ad hoc networks," *Computer Communications*, Vol. 24, No. 3-4, pp. 353-363, 2001.

[5] W. Lou and J. Wu, "On reducing broadcast redundancy in ad hoc wireless networks," *IEEE Trans. Mobile Computing*, Vol. 1, No. 2, pp. 111-122, 2002.

[6] S. Ni, Y. Tseng, Y. Chen, and J. Sheu, "The broadcast storm problem in a mobile ad hoc network," *Proc. MOBICOM'99*, pp. 151-162, 1999.

[7] A. Qayyum, L. Viennot, and A. Laouiti, "Multipoint relaying for flooding broadcast message in mobile wireless networks," *Proc. 35th Hawaii Int'l Conf. System sciences (HICSS-35)*, pp. 3898-3907, Jan. 2002.

[8] R. Ramanathan, "On the performance of ad hoc networks with beamforming antennas," *Proc. MobiHOC'01*, pp. 95-105. 2001.

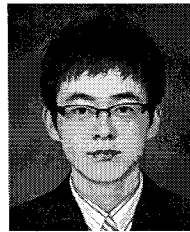
[9] R. Ramanathan, J. Redi, C. Santivanez, D. Wiggins, and S. Polit, "Ad hoc networking with directional antennas: a complete system solution," *IEEE JSAC*, Vol. 23, No. 3, Mar. 2005.

[10] F. Dai and J. Wu, "Efficient broadcasting in ad hoc networks using directional antennas," *IEEE Trans. Parallel and Distributed Systems*, Vol. 17, No. 4, pp. 1-13, 2006.

[11] J. Wu and F. Dai, "A generic distributed broadcast scheme in ad hoc wireless networks," *IEEE Trans. Computers*, Vol. 53, No. 10, pp. 1343-1354, Oct. 2004.

[12] R. Choudary and N. Vaidya, "Ad hoc routing using directional antennas," Technical Report, University of Illinois-Urbana Champaign, 2002 (<http://www.crhc.uiuc.edu/wireless/groupPubs.html>)

[13] A. Boukerche and I. Chlamtac (Eds.), *Handbook of Algorithms for Mobile and Wireless Networking and Computing*, CRC Press, 2005.



박 정 운

2000년 3월 ~ 2005년 2월 인하대학교 컴퓨터공학과(학사)
 2005년 3월 ~ 2007년 1월 현재 인하대학교 컴퓨터·정보공학과(석사과정)
 관심분야 : 통신 프로토콜, Ad-hoc Routing



차 영 환

1979년 3월 ~ 1983년 2월 인하대학교 전자계산학과(학사)
 1983년 3월 ~ 1985년 2월 KASIT 전산학과(석사)
 1989년 9월 ~ 1993년 2월 인하대학교 대학원 전자계산학과(박사)
 1985년 3월 ~ 1990년 2월 한국전자통신연구원 선임연구원
 1986년 3월 ~ 1997년 2월 미국 NIST(NBS) 객원과학자
 2004년 3월 ~ 2005년 2월 터키 Bogazici Univ. 객원교수
 1994년 3월 ~ 2007년 1월 현재 상지대학교 전임강사, 조교수, 부교수 및 교수
 관심분야 : 네트워크 구조, 통신 프로토콜, Layerless Switching/ Routing