

방향성 안테나에 기반을 둔 이동 애드 혹 네트워크에서의 대체 경로 설정

차 영 환^{*}

요 약

본 논문에서는 방향성 안테나를 이용하는 애드 혹 네트워크에 있어서 노드의 고장이나 이동에 따라 라우팅 경로가 이용 불가능하게 되는 경우 해당 노드의 braid라 명명된 이웃 노드로 우회하도록 함으로서 신속하게 경로를 복구하도록 하는 다중 경로 라우팅 기법을 제안 한다. 1,000m × 1,000m의 영역에 50개의 노드가 균등하게 분포되며 10m/s 이하의 노드 이동 환경에서 전방향 안테나를 사용하는 경우(사용 안테나 요소 수 $K=1$)와 비교하여 방향성 안테나를 사용하는 경우($K>1$), 제안 방식은 패킷 전송률과 라우팅 홉 수 등의 측정 항목에 있어 우수하였다. 개선점으로 경로 설정 시 수반되는 지연시간을 단축하는 것이 필요하다.

On Alternative Path Setup for Directional Antenna Based Mobile Ad Hoc Networks

Yeonghwan Tscha[†]

ABSTRACT

Mobile ad hoc networks suffer from the re-construction of the routing path as a node on the path moves away and/or fails. In this paper we propose a multipath routing scheme, designed for the network based on the directional antennas, in which a new path is quickly recovered by de-touring to an alternative neighbor called braid. Simulations are conducted in random networks with 50 nodes uniformly deployed in a 1,000m × 1,000m area where, all nodes have a transmission range of 250m and the average node moving speed varies from 0 to 10m/s. The proposed approach under the ideal antenna with $K(>1)$ directional sectors achieves better results compared with the case of $K=1$, the omnidirectional antenna model, in terms of the metrics: packet delivery ratio and average number of hops for the routing paths. As further study, a scheme to alleviate the heavy amount of latency accompanied by the rout setup is urgently required.

Key words: Ad Hoc Network(애드 혹 네트워크), Directional Antenna(방향성 안테나), Multipath Routing(다중경로 라우팅), Route Recovery(경로 복구)

1. 서 론

이동 애드 혹 네트워크(mobile ad hoc network)에서 무선 인터페이스를 사용하는 노드(node)들 간에

는 신호도달 거리에 대한 물리적 제약으로 인해 직접 통신이 불가능한 노드로는 다른 노드를 경유하는 다중-홉(multi-hop) 형태로 정보가 전달될 수밖에 없다. 노드들은 배터리를 이용하므로 전원 절약 대책

^{*} 교신저자(Corresponding Author): 차영환, 주소: 강원도 원주시 우산동 산660(220-702), 전화: 033)730-0484, FAX: 033)745-2433, E-mail: yhtscha@sangji.ac.kr
접수일: 2007년 3월 21일, 완료일: 2007년 8월 24일

[†] 정회원, 상지대학교 IT공학부 교수

^{*} 본 논문은 2006년도 상지대학교 교내 연구비 지원에 의한 것임. 본 연구의 일부 내용은 2005년도 정통부 IT기초기술연구사업 연구과제(05-기초-027)의 후속 연구 결과임

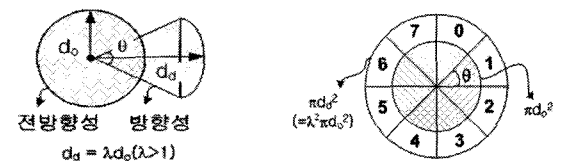
역시 절실히 요구되며, 노드 이동에 따른 네트워크 위상(topology)의 변화가 동적으로 변하는 특징이 있어 효과적/효율적 매체접근방식(MAC, Medium Access Control)과 라우팅 프로토콜(routing protocol)의 개발이 중요하다[1,2]. 라우팅에 관해서는 도착지(destination) 노드로의 정보 전달 요구가 있을 경우에 한해 이용될 라우팅 경로를 탐색/구축하는 on-demand(reactive) 방식의 라우팅 프로토콜인 DSR(Dynamic Source Routing)[3]과 AODV(Ad-hoc On-demand Distance Vector Routing)[4] 등이 우수한 것으로 알려져 있다. 그러나 이러한 프로토콜에서는 경로 탐색과정에서 발생하는 브로드캐스트 메시지의 중복 생성 문제 즉, 브로드캐스트 폭풍(broadcast storm) 문제[5]가 발생하며, 구축된 경로상의 노드 이동 또는 고장에 따른 단절 경로를 복구하기 위해서는 복잡한 처리과정이 수반된다. 대안으로 다중경로(multipath)를 구축하고 대체 경로를 신속하게 확보하도록 하는 MDSR(Multipath Dynamic source Routing), AOMDV(Ad-hoc On-demand Multipath Distance Vector), SMR(Split Multipath Routing) 등이 제안되었다[6-12]. 하지만 이러한 프로토콜들은 전방향(omnidirectional) 안테나를 사용하는 경우를 가정하였기에 지향성(directional) 통신이 가능한 여러 개의 안테나 요소들을 이용하는 애드혹 네트워크에는 그대로 적용할 수 없다. 또한, 아직까지 방향성 안테나를 고려한 다중경로 프로토콜들에 대한 구체적 연구결과를 접할 수 없었다.

본 연구에서는 방향성 안테나를 이용하는 애드혹 네트워크에서의 매체접근 및 라우팅 프로토콜의 연구가 절실하다는 점[1]과 브로드캐스트 폭풍 문제를 해결하기 위해 2-홉까지의 이웃 노드들의 연결정보의 이용이 불가피하다는 점[13-15]을 반영한 새로운 다중 경로 라우팅 기법을 제안한다. 제안된 라우팅에서는 노드의 고장이나 이동에 따라 기존의 루팅 경로가 이용 불가능하게 되는 경우 해당 노드의 predecessor 노드로 하여금 문제 노드의 braid로 정의된 대체 노드로 경로를 우회하도록 함으로서 신속하게 복구하도록 한다. 전원 절약을 고려하여 다중경로를 구축시 이용되는 안테나 수를 가능한 줄이도록 하면서 국소적인 대체 경로의 보완을 통해 전체 경로를 복구하는 특징을 갖는다. 원래 braid란 용어는 Estrin 등[6]에 의해 센서 네트워크에서의 다중경로

라우팅을 위한 위상으로 제안된 것이나 이를 이용한 구체적인 라우팅 프로토콜이 제시되지 않았고, 방향성 안테나를 이용하는 애드혹 네트워크에 적용한 연구에 대해서도 발표된바 없다. 본 논문에서는 안테나 요소 수(K)에 따른 신호 전송 거리, 경로의 평균 홉 수, 라우팅 경로 설정시의 지연시간(latency), 데이터 패킷 전달률(delivery ratio)을 측정하여 평가한다. 현재, 방향성 안테나를 이용하는 경우를 위한 별도의 다중경로 프로토콜이 없는 점을 고려하여, K=1인 전방향 안테나 모델의 경우와 상대적인 비교를 실시하고 편의상, 시뮬레이션에서는 경로 설정 프로토콜로 DSR[3]과 같은 소오스(source) 라우팅을 변형하여 이용한다.

2. 시스템 모델

그림 1의 a)와 같이 전방향 안테나를 사용하는 임의의 노드로부터 전방향으로 전송된 신호가 도달되는 물리적인 거리를 d_0 그리고 방향성 안테나를 사용하는 경우의 거리를 d_a 라고 하면 $d_a > d_0$ 이다. 예를 들어 전력 10dBm을 이용하는 전 방향 안테나의 경우 신호의 도달거리는 250m이지만 빔 폭을 60° 로 하여 신호를 송출하는 경우 450m까지 가능하다[16]. 이에, $d_a = \lambda d_0$ 라 하면 ($\lambda > 1$) 방향성 안테나를 이용하여 어떤 노드로부터의 전송 신호가 미치는 면적은 그림 b)에서 알 수 있듯이 전 방향안테나를 사용하는 경우에 비해 약 λ^2 배 증가 하게 되어 마치 노드 당 이웃 노드 수가 λ^2 배 증가 하는 네트워크 모델로 간주할 수 있다. 참고로, 그림 b)는 $\pi/4$ radian의 각을 갖는 8개의 안테나 요소로 구성된 방향성 안테나 모델을 나타낸다. 방향성 안테나를 사용하면 신호 전송 거리가 늘어나므로 목적지까지의 라우팅 경로의 길이 즉, 홉 수를 줄일 수 있다. 또한, 특정 방향으로의 신호전송이 가능하므로 주파수 공간의 효과적 이용과 이웃 노드들과의 신호 간섭도 줄일 수 있다.



a) 전방향성과 방향성 b) 교환식 빔 안테나(K=8)

그림 1. 안테나 모델

네트워크는 단위 디스크 그래프(unit disk graph) $G = (V,E)$ 로 표현한다[1]. V 는 무선 이동 노드들의 집합이고 E 는 노드들 간의 간선(edge)의 집합이다. 간선 $(u,v) \in E$ 는 노드 u 와 노드 v 사이의 무선 링크를 나타내며 물리적으로 상호 통신이 가능한 신호 범위 내에 있음을 의미한다. 모든 (u,v) 는 대칭성을 만족하여 u 에서 v 로 통신이 가능하면 v 에서 u 로도 통신이 가능하다고 가정한다. 임의의 u 를 중심으로 무선 신호의 도달 범위 내에 존재하는 모든 노드들을 u 의 이웃 노드들이라고 하고 이들의 집합을 $N(u)$ 로 표기한다. 단, 정의에 의해 $u \in N(u)$ 이다. $N_h(u)$ 는 u 로부터 h -홉 이내의 노드들의 집합을, $H_h(u)$ 는 u 로부터 정확히 h -홉 거리에 떨어져 존재하는 노드들의 집합을 나타내면 $N_h(u) = N_{h-1}(u) \cup H_h(u)$ 이다. 단, $h \geq 1$ 이고, $N_0(u) = H_0(u) = \{u\}$ 이다. 논의의 편의를 위해 $h=1$ 인 경우 첨자를 생략한다. 그림 2에서 노드 당 4개의 안테나 요소를 사용하는 네트워크의 예로서, 노드 F 는 노드 E 로 안테나 요소 0을 이용하여, 역으로 E 는 F 로 안테나 요소 2를 이용하여 통신가능하다. 노드 C 의 2-홉까지에 존재하는 노드들의 집합 $N_2(C) = N(C) \cup H_2(C) = \{A,B,C,G,F,E\} \cup \{D,I,J\} = \{A,B,C,D,E,F,G,I,J\}$ 이다. 본 논문에서는 브로드캐스트 폭풍 문제에 관한 다른 연구[1,13-15]에서와 같이 모든 노드 u 는 자신으로부터 2-홉까지의 노드들 즉, $N_2(u)$ 내의 노드들의 상태 정보를 유지 관리함을 가정한다.

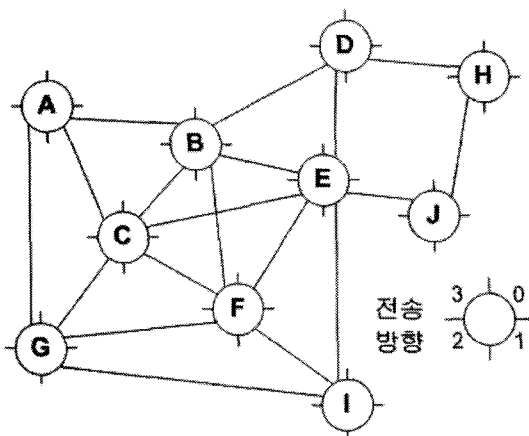


그림 2. 4개의 안테나 요소를 사용하는 애드 혹 네트워크의 예

3. 제안된 다중경로 구성법

3.1 기본 개념

근원지(source) s 와 도착지 t 사이에서 DSR[3]이나 AODV[4]와 같은 기존의 라우팅 프로토콜을 이용하여 설정되는 단일 경로를 우선 경로(primary path)라고 정의하자. 그리고 우선 경로 상의 임의의 노드 a 가 이웃한 노드 b 를 거쳐 2-홉 거리의 노드 c 에 연결된다고 하자. 즉, 우선 경로 상의 노드 a, b, c 에 대해 $a, c \in N(b), a \notin N(c)$ 인 경우 b 를 a 의 1-홉 우선 노드(1-hop away primary node), c 를 a 의 2-홉 우선 노드(2-hop away primary node)라고 한다. 이때 a 로부터 우선 경로 상의 노드가 아닌 임의의 다른 노드 b' 를 경유하여 c 에 도달 가능할 때 즉, $b' \in N(a), c \in N(b')$ 이고 $b' \notin N(c)$ 일 때 b' 를 b 의 perfect braid라고 하고, $PB_a^c(b) = \{b'\}$ 로 표기한다. 예를 들면 그림 3에서 $PB_s^b(a) = \{a', a''\}$ 이다. 이러한 정의에 의거 아래와 같은 braid 노드 선정 규칙에 의거한 경로 구성을 통해 자신의 1-홉 이웃 노드가 다른 곳으로 이동하거나 혹은 고장 등의 장애가 발생 시 braid로 우회하는 1-홉 우회(one-hop bypassing) 라우팅을 적용할 수 있다.

<규칙 1> : braid를 선정할 때 우선 경로 상의 노드와 가능한 동일한 안테나 요소를 이용하는 노드들을 먼저 선정하여 전체적으로 사용되는 안테나 요소 수를 줄여 전원 절약을 도모한다. 그림 3에서 $PB_a^c(b) = \{b', b''\}$ 이며, $\{b, b', b''\}$ 는 모두 노드 a 의 동일한 안테나 요소 0로부터 도달가능하다.

<규칙 2> : 노드당 고려되는 braid 수는 3개까지로 한다. 일반적으로 다중경로에 관한 연구[11,12]에 의하면 관리 부담과 효율성을 고려할 때 경로의 수는 3개 이하이면 충분한 것으로 조사되었다.

<규칙 3> : 만일 $PB_a^c(b) = \{\}$ 이면 a 에서 b 로의 통신을 위해 사용된 안테나 요소 i 와 함께 고려되는 전 방향 진전(forward progress) 안테나 집합 $FP_{i \rightarrow}(a) = \{i+j|j=0,1, \dots, (K/2)-1\}$ 로 도달 가능한 노드들 중에서 임의의 하나를 imperfect braid $IB_a^c(b)$ 로 선정한다. 그림 3에서 $PB_c^t(d) = \{\}$ 이나 $IB_c^t(d) = \{d', d''\}$ 이므로 d' 나 d'' 를 경유하면 우선 경로 상의 노드 t 와 직접 또는 간접적으로 연결되어있는지 확인할 수 없지만(가정에 의해, 모든 v 는 $N_2(v)$ 의 연결 정보만

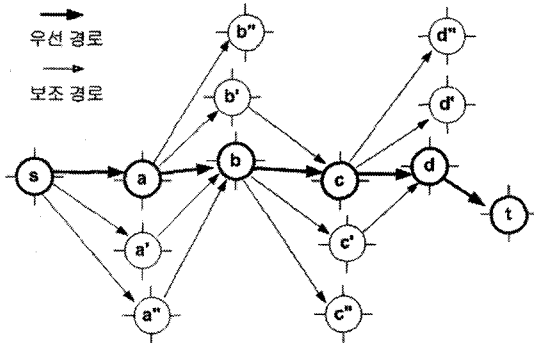


그림 3. Braid를 이용한 다중경로 구성

을 알고 있기)에 $FP_{0..}(c) = \{0,1\}$ 이므로 안테나 요소 0이나 1을 이용하여 최선시도(best-effort) 라우팅을 적용한다. 즉, 목적지로의 방향에 존재하는 임의의 노드로 하여금 경로 복구에 참여하도록 한다.

저자의 선행 연구[17]에 의하면 홑 수가 $h(>1)$ 인 임의의 경로 상에서 근원지와 도착지를 제외한 모든 노드에 대해 단지 하나의 perfect braid 노드만을 고려하는 다중경로를 고려하더라도 h 에 관한 Fibonacci 수에 해당하는 경로들이 존재하여, 서로 다른 독립적인 노드들로 경로를 구성하는 다중경로 [11,12]에 비해 노드의 이동이나 고장이 발생에 따른 경로 유지 확률이 보다 우수함이 밝혀졌다. 이에 본 논문에서는 비교적 셀당 밀도가 높은 방향성 안테나를 사용하는 애드 혹 네트워크에서의 적용에 관해 그 효과와 문제점을 제시하고자 한다.

3.2 Braid 노드 수의 산출

임의의 노드 e 를 전송 노드로 하여 반경 r 의 무선 셀과 수신자 노드 g 그리고 e 와 g 사이의 거리 x 의 중간에 위치하는 노드 f 를 생각하자. 그림 4는 $x=r+\epsilon$ ($\epsilon \approx 0$), $x=r/2+\epsilon$ 및 $x < r/2$ 인 경우에 대해 이들 세 노드들과 이웃한 노드들(특히, w)이 그래프 상에서 어떻게 이웃하여 연결되는지를 보여준다. 그림 a)와 b)에서 알 수 있듯이 $r/2 \leq x < r$ 인 경우에 전송 노드 e 를 중심으로 형성되는 셀과 수신자 노드 g 를 중심으로 생성되는 셀이 서로 교차하는(즉, e, f, g 를 중심으로 형성되는 세 셀들이 교차하는) 영역을 구한 후, 이 영역 내에 존재하는 노드들을 구하면 이들은 모두 w 처럼 $PB_e^g(f)$ 에 속하는 노드들이 된다. 따라서 셀당 노드 밀도가 주어지면 $PB_e^g(f)$ 내의 노드 수 즉,

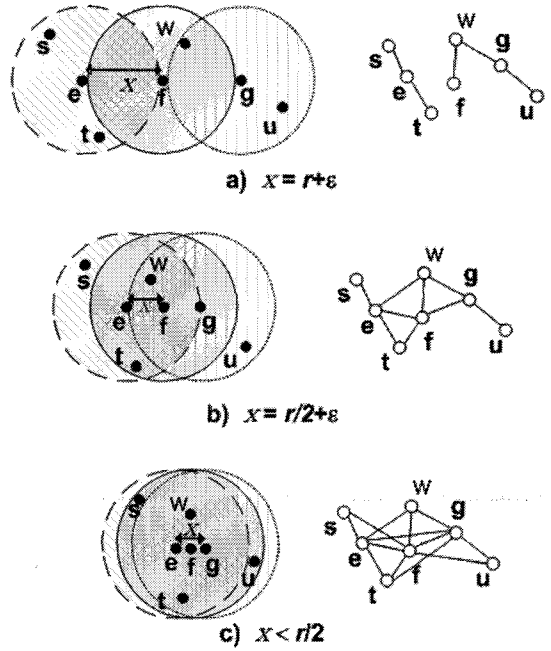


그림 4. 송수신자 노드와 상호간의 거리에 따른 그래프에서의 표현관계

$|PB_e^g(f)|$ 이 얻어진다.

편의상 $m(=1,2,3)$ 개의 셀들이 공통적으로 겹치는 공간을 S_m 으로 표기할 때, S_3 의 평균 면적 \hat{S}_3 를 구하기 위해 Takagi-Klienrock[18]가 제시한 S_2 를 구하는 식(1)을 이용한다.

$$S_2 = 2r^2q(x/(2r)) \tag{1}$$

여기서, $0 < x < r$ 이며, $q(t) = \arccos(t) - \sqrt{1-t^2}$ 이다. X 를 송신자 e 와 수신자 f 사이의 거리를 나타내는 확률 변수라 하면 $\text{Prob}(X < x) = (\pi x^2)/(\pi r^2) = (x/r)^2$ 을 얻고, 확률 밀도 함수 $pdf_X(x) = \frac{d}{dx} \text{Prob}(X < x) = 2x/r^2$ 이 되어 다음의 식(2)를 얻는다.

$$\hat{S}_3 = \int_{r/2}^r pdf_X(x) S_2 dx = \int_{r/2}^r \frac{2x}{r^2} \cdot 2r^2 q\left(\frac{x}{2r}\right) dx \tag{2}$$

단위 그래프 모델을 고려하므로 $r=1$ 로 놓으면 결국 아래의 식(3)을 얻는다.

$$\hat{S}_3 \approx 1.28 \tag{3}$$

마찬가지 방법에 의해 S_2 의 평균 면적 $\hat{S}_2 \approx 1.9$ 와

S_1 의 평균 면적 $\hat{S}_1 = \pi$ 을 구할 수 있다. 따라서 셀 당 노드 개수를 ρ 라 하면 어떤 노드 e 의 $|PB_e^R(f)|$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$|PB_e^R(f)| \approx (\hat{S}_e/\hat{S}_1) \cdot \rho - 1 = 0.41\rho - 1 \quad (4)$$

그런데 $|IB_e^R(f)|$ 는 임의의 안테나 요소 i 에 대한 $FP_{i \rightarrow}(e)$ 를 고려해야 하므로 \hat{S}_i 의 정확히 반을 고려하여 계산한 후, 이로부터 $|PB_e^R(f)|$ 를 빼면 된다.

$$|IB_e^R(f)| \approx ((\pi/2)/\pi) \cdot \rho - |PB_e^R(f)| = 0.09\rho \quad (5)$$

그림 5는 ρ 가 [1, 2, 4, ..., 18]일 때 위의 식 (4)과 (5)의 값을 나타낸 것이다. 노드별 루팅용 이웃 노드 수가 3인 다중경로를 만족하기 위한 셀당 노드 개수 (즉, braid 수가 2개이기 위해서는) $\rho=4$ 이면 됨을 알 수 있다. 이는 셀 당 노드 수가 낮은 경우에도 braid를 고려한 다중경로 구성이 가능함을 의미한다. 그리고 $|IB_e^R(f)|$ 는 $|PB_e^R(f)|$ 에 비해 아주 미미함을 알 수 있다. 이는 perfect node 들의 수가 충분하여 braid를 이용한 경로 복구 기법이 매우 고무적임을 의미한다.

4. Braid를 이용한 다중 경로 라우팅

Braid를 이용하는 제안된 다중경로 라우팅을 설명하기 위해 다음과 같은 기호를 사용한다. 지면관계상 RREQ(Route REQuest)나 RREP(Route REPLY) 메시지를 이용하는 경로구축 단계의 정상적인 경우만 설명한다. 보다 자세한 내용은 참고문헌[19]에 나와 있다.

s: 메시지(또는 패킷) $M(\in\{RREQ, RREP\})$ 을 생성한 근원지 노드.

d: M의 최종 도착지 노드.

p: 메시지 M을 수신한 현재 노드.

q: p에게 M을 전달해준 p의 이웃 노드(1-홉 predecessor).

r: M을 q에게 전달해준 노드 즉, p의 2-홉 이웃 노드(2-홉 predecessor).

F(p): p에서 전송하는 M를 수신하여야 하는 이웃 노드들의 집합 즉, $F(p) \subset N(p)$.

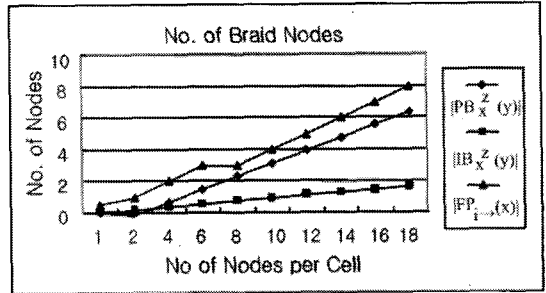


그림 5. Braid 수와 셀 내의 노드 밀도

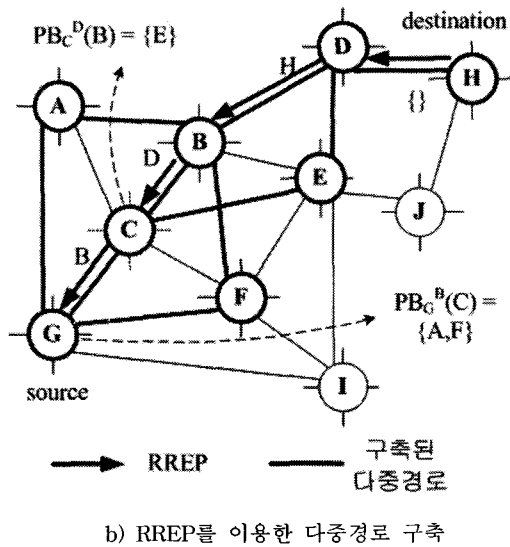
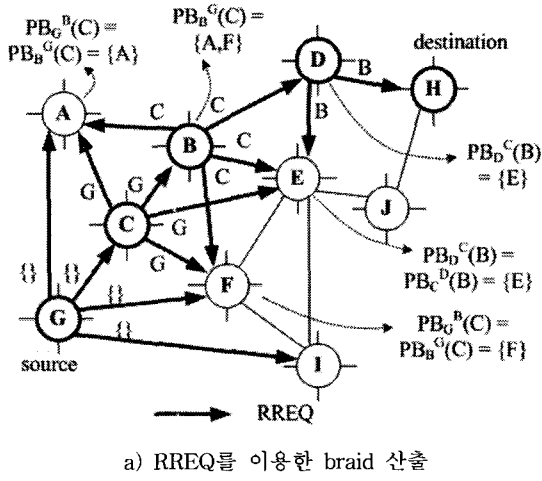
알고리즘 SPN(M) // 다음 홉 선정 및 $PB_p^r(q)$, $IB_p^r(q)$ 를 구함

1. M내의 q, r 및 자신의 $N_2(p)$ 로부터 본문 3.1의 정의에 의해 $PB_p^r(q)$, $IB_p^r(q)$ 를 산출.
2. M가 RREQ인 경우 // Route REQuest
 - 2.1 $p=d$ 이면 RREP를 생성하고 $CBM(p,q,r)$ 수행 후 종료.
 - 2.2 아니면 $CBM(p,q,r)$ 를 수행 후, $f \in F(p)$ 인 모든 f로 RREQ를 전달하고 종료.
3. M가 RREP인 경우 // Route REPLY
 - 3.1 $p=s$ 이면 $CBM(p,q,r)$ 수행.
 - 3.2 아니면 $CBM(p,q,r)$ 를 수행 후, d를 도착지로 하는 다음 홉 노드 f를 구하여 $CBM(p,q,r)$ 를 f로 전달하고 종료.

알고리즘 CBM(p,q,r) // 노드별로 최대 h개의 braid를 선정하여 다중 경로를 구성

1. // perfect braid를 이용하는 보조(대체) 경로 $IB_p^r(q)=\{w\}$ 인 w를 q의 대체 노드로 라우팅 테이블에 추가. 만일 이러한 w가 h개가 되지 않으면 다음을 수행.
2. // imperfect braid를 경유하는 보조(대체) 경로 $IB_p^r(q)=\{w\}$ 인 w'를 q의 대체 노드로 라우팅 테이블에 추가하되 앞서의 {w}를 포함하여 최대 h개까지 확보.

우선 경로의 설정은 편의상 기존의 라우팅 프로토콜 DSR[3]이나 AODV[4]를 이용하는 것을 변형하여 사용할 수 있다. 다만, 노드별로 본문 3.1의 braid 선정 규칙에 의거한 대체용 노드들의 선정과 (다음의 그림6 c)와 같이) 안테나 요소별 도달 가능한 이웃 노드들의 관리가 추가된다. 그리고 RREQ/RREP 메시지를 발송하는 경우 이 메시지를 가장 먼저 전해준 이웃 노드의 id를 넣어서 이웃 노드들에게 전송하도록



도착지	안테나 id	1-홉 노드	상태	우선순위
H	0	C	OK	0
		F	OK	1
	3	A	OK	2

c) G에서의 도착 H로의 라우팅 테이블 구성 예
 그림 6. Braid 산출을 통한 다중경로 구축

록 확장한다. 이렇게 함으로써 도착된 RREQ가 어느 2-홉 노드와 1-홉 노드를 거쳐 도착하였는지를 알 수 있어 추가적인 경로 설정 메시지 없이 braid를 구할 수 있다. RREQ가 도착함에 따라 아래와 같이 우

선 경로 상의 각 노드에 대한 braid들 구한 다음, 도착지 노드로부터 근원지 노드로 RREP의 전달과 함께 braid들 중 특정 개수의 braid들(예를 들면 3개)을 선정하여 d에서 s에 이르는 다중경로를 구성한다.

그림 6에 braid에 의한 다중경로 구축 예를 나타내었다. a)와 b)에서 간선 상의 기호는 전송 메시지 내에 포함되어 전송되는 해당 메시지의 전송 노드 이전의 전송 노드 id이고, 이를 이용한 각 노드에서의 braid의 선정과 다음 홉 노드로의 전달과정을 보여주고 있다. 예를 들어 a)에서 C에서 B로 전송되는 RREQ 내에 노드 id G를 포함하는데 이는 B로 RREQ를 전송해준 노드 C의 predecessor 노드가 G임을 나타낸다. B는 이러한 정보와 자신의 $N_2(B)$ 를 이용하여 $PB_B^G(C) = \{A, F\}$ 임을 얻는다. 다른 노드들도 이처럼 2-홉 이내의 우선 경로상의 노드들의 연결 정보를 알 수 있어 braid를 구할 수 있다. 그림 b)는 RREP의 전송과 함께 구축된 다중경로를 보여주며, c)는 G에서의 도착 H로의 라우팅 테이블을 나타낸다. G가 H로의 메시지 전송을 위해 사용하는 우선 경로는 $G \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow H$ 이다. G는 우선적으로 C를 이용하며, 그림 c)의 라우팅 테이블에 의거 문제가 있는 경우는 F를, 그리고 그 다음으로 A를 사용한다. 여기서, F가 A에 우선하는 것은 F가 C와 동일한 안테나 요소 0로 도달 가능한 노드이기 때문이다.

5. 평가

5.1 시뮬레이션 환경

시뮬레이션은 ns-2를 사용하여 표 1과 같은 조건과 기준에 의해 시행하였다. 고려한 네트워크는

표 1. 시뮬레이션을 위한 주요 변수 및 설정치

Simulator	NS-2
Terrain dimension	1000m × 1000m
# of nodes	50
Communication range	250m(omni)
# of antenna sectors	1, 4, 6, 8
MAC protocol	IEEE 802.11 DCF
Mobility	0-10m/sec (Random way point)
Message size	512 Bytes

1,000m × 1,000m = 1,000,000m²이며, K=1인 전방향의 단일 셀의 경우 면적은 $\pi r^2 = 3.14 \times (250m)^2 = 196,250m^2$ 이므로 셀 당 노드 수는 $\rho = \text{네트워크 내의 전체 노드 수} \times (\text{셀 면적}/\text{네트워크 면적}) = 50 \times (196250/1,000,000) = 9.8125$ 이다. 이는 다른 연구(예를 들면 [9,16])에서와 유사한 실험 환경 조건으로, 비교적 노드 밀도는 높은 편이라 할 수 있다. 균등한 노드들의 분포를 가정하면 K=1인 경우, 임의의 우선 경로 상의 노드 e의 perfect braid 노드 수는 $|PB_e^g(f)| = 0.41\rho - 1 = 3.023$ 이다. 즉, 평균적으로 3개의 braid 노드를 경유하는 보조 경로가 우선 경로 상의 모든 노드에 존재한다고 볼 수 있고, K>1인 경우에는 이보다 증가하게 된다. 노드의 이동성을 고려하기 위해 각 노드는 다른 곳으로의 이동하기 전에 각기 [0, 100, 200, 300] sec의 대기 시간(pause time)을 갖도록 설정하였다. 실험에서는 임의의 근원지와 도착지를 연결하는 하나의 우선 경로에 대해 우선 경로 상의 모든 노드가 2개의 우회용 braid 노드를 갖으며, braid 노드를 경유하더라도 동일한 홉 수의 대체 경로를 형성하는 perfect braid를 고려하였다. 측정 항목은 제안 프로토콜의 안테나 요소 수(K)에 따른 신호 전송 거리, 경로의 평균 홉 수, 라우팅 경로 설정시의 지연시간(latency), 데이터 패킷 전달률(delivery ratio)이다. 현재, 방향성 안테나를 이용하는 경우를 위한 별도의 다중경로 프로토콜이 없는 점을 고려하여, K=1인 전방향 안테나 모델의 경우와 상대적인 비교를 실시하였고 편의상 경로 설정은 DSR과 유사한 소오스 라우팅[3]을 이용하는 경우를 가정하였다.

5.2 결과 및 분석

먼저 안테나 요소 수(K)에 신호의 전송거리를 참고문헌[20]의 식을 이용하여 구하여 보았다. 전송전력 10dBm로 설정한 결과, 그림 7과 같이 K = 1, 4, 6, 8에 대해 각기 250, 350, 450, 660m를 얻었다. 또한 이에 따른 경로의 홉 수를 구하여 본 결과 그림 8과 같이 K가 증가함에 따라 경로 상의 홉 수는 줄어들었는데, 노드의 이동에 따른 커다란 변화는 없었다. K=8인 경우 신호 전송거리는 660m로 네트워크의 크기가 1,000m × 1,000m이므로 라우팅 경로의 홉 수는 평균 2 이내가 되었다. K=4인 경우에는 K=1인 경우에 비해 최소 20% 정도 홉 수가 단축되었고, K≥6인

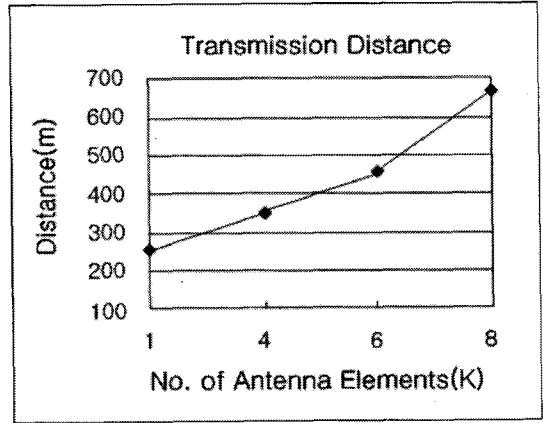


그림 7. 안테나 요소 수대 신호도달 거리

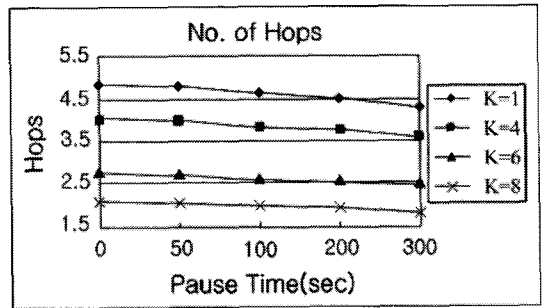


그림 8. 평균 홉 수

경우 k=1인 경우에 비해 50% 정도의 절감되는 양상을 보였다. 이에 방향성 안테나를 이용하는 경우 근원지와 도착지 노드간의 홉 수 단축에 의한 사용자 데이터의 전송 시간이 단축을 기대할 수 있다.

그림 9에서는 근원지 노드가 RREQ를 보내고

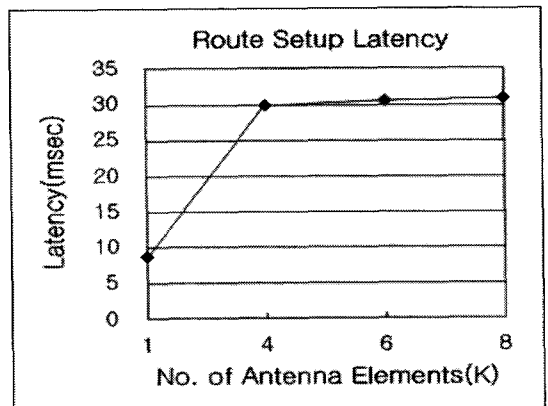


그림 9. 라우팅 경로 설정 지연시간

RREP를 받기까지 즉, braid를 이용한 다중경로를 구축하기 까지 소요된 평균 지연시간을 보여준다. 이는 프로토콜의 효율성을 측정하기 위한 것으로 하나의 안테나 요소를 구동하는데 1msec가 소요됨을 가정하였는데, 본문 4장의 경로설정기능을 수행하는 것 외에 $K(>1)$ 개의 안테나 요소별 구동 상태 확인과 도달 가능한 이웃 노드들의 소재를 파악하고 최종적으로 일정 수의 braid 노드를 선정하기까지의 시간을 포함하였다. 그림의 결과는 이동속도가 0-10m/sec 인 경우에 대해 얻어진 지연시간들의 평균값으로, $K=1$ 에서 9msec를 나타내었고 $K>4$ 에서부터 급격히 증가하여 $K=4, 6, 8$ 에 대해서는 모두 30msec 정도 안팎에서 근소한 차이를 나타내었다. 길이 h 홉의 경로에 대해 대략적으로 $(K \times (h+1))msec$ 에 비례하는 경로 구축 시간은 단일 경로의 구축에 비해 실제로 많은 부담이 된다. 제안된 방식이 외형적으로는 다중 경로를 구성하기 위해 DSR[3]과 같은 단일 경로 구축 프로토콜에 비해 추가적인 제어 메시지들을 수반하지는 않지만 노드 내부에서의 안테나 요소별 구동 제어와 안테나 요소별 라우팅 경로의 구성 등에 따른 추가적인 기능을 수행하여야 하므로 전방향 안테나 ($K=1$)에 비해 $K=8$ 인 경우 최고 약 3.4배까지 증가됨을 확인하였다. 따라서 제안된 라우팅 프로토콜은 초기 라우팅 경로 설정 시간에 대한 부담이 크므로 상대적으로 데이터의 전송량이 많은 경우 적용하거나 또는 노드의 이동성이 낮아 일단 구축된 경로의 재설정이 빈번하지 않은 경우에 적용하는 것이 유리하다. 그렇지 않은 경우에는 안테나 요소들의 구동 제어에 의한 부담으로 인해 다중경로를 이용하는 장점이 퇴색될 수 있다.

사용자 정보 전송의 효율성을 보기 위해서 노드의 이동성에 따라 패킷 전송률이 어떠한 지를 살펴보았다(그림 10). 안테나 요소 수 K 가 증가하고 노드의 이동 속도가 낮아짐에 따라 전송률은 기대하였던 대로 증가되었다. 이는 상대적으로 저속의 노드 이동 상황에서는 경로가 유지될 확률이 높음에다가 K 가 증가 할수록 그림7에서 보여주었던듯이 신호전송거리가 증가로 인한 경로의 홉 수는 감소되며 또한, 전송 거리가 s 배 증가하면 셀 당 노드 수가 s^2 배 증가하게 되므로 그만큼 braid 수 즉, 대체 경로 수도 증가되어(그림 5참조) 결국 근원지와 도착지 노드간의 경로 유지 확률의 증가에 밀접하기 때문이다.

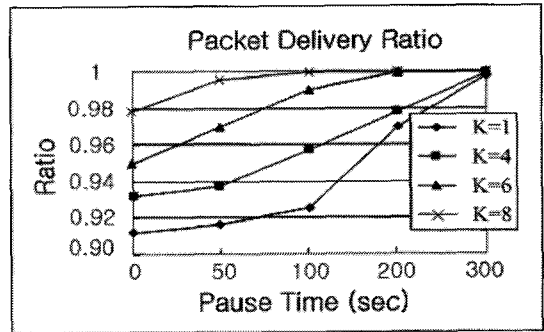


그림 10. 패킷 전송률

6. 결 론

본 연구에서는 방향성 안테나의 등장에 따른 새로운 다중 경로 프로토콜의 연구 필요성에 의거 braid를 이용하는 다중 경로 라우팅 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 라우팅 경로상의 어떤 노드의 고장이나 이동에 따라 이용 불가능하게 되는 경우 해당 노드의 predecessor 노드로 하여금 문제 노드의 대체 노드인 braid로 우회하도록 경로를 국소적으로 재구성함으로써 간단히 복구할 수 있다. ns-2 시뮬레이터를 이용한 패킷 전송률과 중단간 지연 실험을 통해서 방향성 안테나를 사용하는 경우에서의 제안된 기법은 전방향 안테나를 사용하는 경우에서 보다 더 높은 패킷 전달율과 작은 홉 수의 경로를 제공하는 것으로 나타났다. 하지만, 다중경로를 설정하는 경우의 지연 시간이 대폭 증가되는 문제점을 나타내어 이에 대한 해결책이 요구된다. 결론적으로, 제안된 다중경로 방식의 노드의 밀도가 높고 노드의 이동율이 낮아 일단 설정된 경로의 변화가 작은 네트워크에 있어서 경로의 홉 수 단축으로 인한 데이터 전송 시간의 감축과 데이터 전송률의 증진 등의 장점을 살릴 수 있으나 초기 경로 설정에 따른 지연부담을 감수해야 한다.

본 연구에서 다루지 못한 후속 연구로서는 설정된 경로(또는 세션) 수의 증감에 따른 성능 측정 그리고, 상대적으로 노드의 밀도가 낮은 경우 imperfect braid를 이용한 라우팅의 성능과 보완책 등의 연구를 들 수 있다. 또한, 2-홉까지의 이웃노드 상태관리를 위해 소요되는 메시지 수를 포함한 제어 메시지의 발생 부담 비용을 안테나 요소 수의 변화와 노드 이동속도에 따른 평가도 필요하다. 라우팅에서 사용되는 안테나 요소수와 휴면 안테나 수의 비율을 측정하

여 전방향 안테나를 사용하는 경우에 비해 얼마나 전원의 절약 또는 추가 부담이 발생하는지를 밝히는 것도 중요한 과제이다.

참 고 문 헌

[1] C. S. Basagni, M. Conti, S. Giordano, and I. Stojmenovic (Eds.), *Mobile Ad Hoc Networking*, IEEE/Wiley, 2004.

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

[3] D. B. Johnson and D. A. Maltz, "Dynamic source routing in ad hoc wireless networks," In *Mobile Computing*, edited by Tomasz Imielinski and Hank Korth, Kluwer Academic Publishers, pp. 153-181, 1996.

[4] C. E. Perkins and E. M. Royer, "Ad-hoc on demand distance vector routing," *Proc. WMCSA'99*, pp. 90-100, 1999.

[5] 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.

[6] D. Ganesan, R. Govindan, S. Shenker, and D. Estrin, "Highly-resilient, energy-efficient multipath routing in wireless sensor networks," *Mobile Computing and Communications Review*, Vol.1, No.2, pp. 1-13, 2002.

[7] I. Gojmerac, T. Ziegler, F. Ricciato, and P. Reichl, "Adaptive multipath routing for dynamic traffic engineering," *Proc. GLOBECOM'03*, 2003.

[8] S.-J. Lee and M. Gerla, "AODV-BR: backup routing in ad hoc networks," *Proc. WCNC'00*, pp. 1311-1316, 2000.

[9] S.-J. Lee and M. Gerla, "Split multi-path routing with maximally disjoint paths in ad hoc networks," *Proc. ICC'01*, pp. 3201-3205, 2001.

[10] M. K. Marina and S. R. Das, "On-demand multipath distance vector routing for ad hoc networks," *Proc. ICNP*, pp. 14-23, 2001.

[11] A. Nasipuri, R. Castaneda, and S. R. Das, "Performance of multipath routing for on-demand protocols in mobile ad hoc networks," *ACM/Kluwer Mobile Networks and Applications(MONET)*, Vol.6, No.4, pp. 339-349, 2001.

[12] A. Nasipuri and S. R. Das, "On-demand multipath routing for mobile ad hoc networks," *Proc. ICCCN'99*, pp. 64-90, 1999.

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

[14] 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, Apr.-Jun. 2002.

[15] 박정운, 차영환, "방향성 안테나를 이용하는 이동 애드 홀 네트워크에서의 저비용 브로드캐스팅을 위한 메시지 전달 노드 선정," 멀티미디어 학회논문지, 제10권, 제1호, pp. 94-101, 2007.

[16] R. R. Choudhury and N. H. Vaidya, "Performance of ad hoc routing using directional antennas," *Ad Hoc Networks*, Vol.3, No.2, pp. 157-173, 2005.

[17] 임화정, 차영환, "이동 애드 홀 네트워크를 위한 다중경로 동적 소오스 라우팅 프로토콜," 정보처리학회논문지, 제12권 1호, pp. 111-119, 2005.

[18] H. Takagi and L. Kleinrock, "Optimal transmission ranges for randomly distributed packet radio terminals," *IEEE Trans. Communications*, Vol.32, No.3, pp. 246-257, 1984.

[19] 차영환외, 이동 애드 홀 네트워크에서의 방향성 안테나를 이용한 다중경로 구성, 정보통신기술연구과제 05-기초-027, 2006.

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



차 영 환

1979년 3월~1983년 2월 인하대
학교 전자계산학과
(학사)

1983년 3월~1985년 2월 한국과
학기술원 전산학과
(석사)

1989년 9월~1993년 2월 인하대
학교 대학원 전자계
산학과(박사)

1985년 3월~1990년 3월 한국전자통신연구원(ETRI) 선
임연구원

1986년 3월~1987년 2월 미국 NIST(NBS) 객원과학자

1993년 3월~1994년 2월 서울대학교 컴퓨터신기술공동
연구소 특별연구원

1994년 3월~2007년 8월 현재 상지대학교 IT공학부 교수

2004년 3월~2005년 2월 터어키 Bogazici 대 객원교수

관심분야 : 네트워크 구조, 통신 프로토콜, 위치정보 보호
라우팅