

## 멀티홉 셀룰러 네트워크에서 억제 및 우선순위 접속 제어기반의 이웃노드 탐색 프로토콜

최현호\*

### Neighbor Discovery Protocol Based on Inhibited and Priority Access Controls for Multihop Cellular Networks

Hyun-Ho Choi\*

Department of Electrical, Electronic and Control Engineering, Hankyong National University, Anseong  
456-749, Korea

#### 요 약

멀티홉 셀룰러 네트워크 환경에서 노드의 이동성은 이동 노드와 액세스 노드 사이에 안정적인 경로를 찾고 유지하는데 악영향을 미친다. 따라서 본 논문에서는 멀티홉 셀룰러 네트워크 환경에서 단말의 이동성을 고려하여 빠르고 신뢰할 수 있는 이웃노드 탐색 프로토콜을 제안한다. 제안하는 이웃노드 탐색 프로토콜은 적합한 이웃노드를 신속하게 찾기 위해 각 링크 간 품질을 비교하여 불필요한 제어 메시지의 송수신을 막고, 선택 가능성이 높은 이웃노드 순으로 충돌 없이 제어 메시지를 전달할 수 있도록 우선순위 기반 접속 제어를 수행한다. 시뮬레이션 결과, 제안한 이웃노드 탐색 프로토콜은 기존 방식보다 빠른 시간 내에 이웃노드를 찾을 수 있으며, 검색해야 하는 이웃노드 수가 증가하거나 노드의 이동성이 증가함에도 불구하고 더 좋은 중계 노드를 선택할 수 있다.

#### ABSTRACT

In multihop cellular network environments, the mobility of nodes is a major obstacle to find a reliable routing path between a mobile node (MN) and the access node (AN). Therefore, in this paper, we propose a fast and reliable neighbor discovery protocol that enables the fast and reliable neighbor discovery by considering the node mobility in the multihop cellular network. The proposed neighbor discovery protocol inhibits the transmission of unnecessary control messages to quickly find a suitable neighbor node (NN) and performs a priority-based access control to transmit control messages without collision in the order of NN desirable to be selected. Simulation results show that the proposed neighbor discovery protocol can discover the NNs faster than the conventional scheme and select a more reliable relay node although the number of neighbor nodes increases and the node mobility increases.

**키워드** : 접속 제어, 이동성, 멀티홉 셀룰러 네트워크, 이웃노드 탐색, 라우팅

**Key word** : Access Control, Mobility, Multihop Cellular Network, Neighbor Discovery, Routing

접수일자 : 2013. 09. 25 심사완료일자 : 2013. 10. 14 게재확정일자 : 2013. 10. 30

\* **Corresponding Author** Hyun-Ho Choi(E-mail:hhchoi@hknu.ac.kr, Tel:+82-31-670-5297)

Department of Electrical, Electronic and Control Engineering, Hankyong National University, Anseong 456-749, Korea

**Open Access** <http://dx.doi.org/10.6109/jkice.2013.17.11.2533>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서 론

멀티홉 셀룰러 네트워크에서는 시스템 용량을 증대시키기 위해 통신 반경 밖에 있거나 전송률이 낮은 이동 노드(mobile node; MN)에게 하나 이상의 이웃노드(neighbor node; NN)를 통해 액세스 노드(access node; AN)로 접속할 수 있게 한다 [1-3]. 이러한 사용자 단말간 협력을 통한 릴레이 통신 방식은 최근 단말간 직접 통신 서비스 시나리오가 발굴되고 관련 표준화가 진행됨에 따라 더욱 주목을 받고 있다 [4-6]. 이때 MN은 NN을 통해 AN과 통신하게 되므로 NN의 빠른 탐색 및 정확한 선택은 시스템 성능에 큰 영향을 미치는 중요한 연구 이슈가 된다. 이웃노드를 찾는데 가장 악영향을 끼치는 요인은 노드의 이동성으로 MN과 NN 모두가 움직이는 동적 네트워크 환경은 경로 탐색, 유지, 보수에 어려움을 준다 [7-9]. 이러한 노드 이동성의 영향을 최소화하기 위해서는 빠른 이웃노드 탐색 프로토콜이 요구되는데, 이는 이웃노드 탐색 기간 동안 링크 변화를 최소화하여 최적의 라우팅 경로를 찾을 수 있게 해주며 노드의 이동으로 인해 연결이 끊긴 경우에도 신속하게 경로를 재설정 할 수 있게 해주기 때문이다.

지금까지 이웃노드 탐색 프로토콜은 주로 이동 애드혹 네트워크 환경에서 최적의 경로를 찾기 위한 라우팅을 목적으로 연구되어 왔다 [10-12]. 라우팅을 위해 이웃노드를 찾는 과정에서는 관련 제어 메시지의 빈번한 방송(broadcasting)과 플러딩(flooding)이 발생한다. 이러한 기존의 탐색 프로토콜은 높은 전송 오버헤드와 긴 검색 시간을 유발하여 네트워크 토폴로지가 자주 변경되는 환경에서는 적합하지 않다. 아울러 멀티홉 셀룰러 네트워크 환경에서 이웃노드를 활용한 심리스 핸드오버 기법들이 제안되었다 [13, 14]. 이웃노드의 도움을 이용한 핸드 오버 기법은 주로 이웃노드를 통해 어떻게 핸드오버 절차를 줄일 지에 초점을 맞추고 있어 이웃노드 검색을 위한 자세한 동작 프로토콜은 제공하지 않고 있다. 그럼에도 불구하고 멀티홉 셀룰러 네트워크 환경에서 이웃노드의 협력을 통해 전체 핸드오버 지연을 줄이기 위해서는 무엇보다 빠른 이웃노드 탐색이 요구된다.

멀티홉 셀룰러 네트워크에서의 사용자 MN과 중앙의 AN(즉, 기지국) 간의 연결을 위한 라우팅 알고리즘은 중앙 AN의 존재로 인해 순수 애드혹 네트워크에서

의 라우팅 알고리즘 보다 더 많은 정보를 이용하여 더 효과적인 라우팅을 수행 할 수 있다 [15, 16]. 예를 들어, 중앙의 AN은 셀 내에 주기적으로 파일럿 신호를 전송하므로 각 노드들은 AN으로부터 수신된 파일럿 신호의 수신 전력 값을 알 수 있다. 이 수신 전력 값은 MN과 NN 간의 직접 링크 품질과 함께 유용한 NN을 구분하는데 사용 될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 멀티홉 셀룰러 네트워크 환경에서 보다 빠르게 주변 NN을 탐색하고 최적의 NN을 선택하기 위하여 MN과 AN, NN과 AN, MN과 NN 사이의 링크 품질을 모두 고려한다.

본 논문에서는 멀티홉 셀룰러 네트워크 환경에서 단말의 이동성을 고려하여 빠르고 신뢰할 수 있는 이웃노드를 찾기 위한 탐색 프로토콜을 제안한다. 제안하는 이웃노드 탐색 프로토콜은 적합한 이웃노드를 빨리 찾기 위해 각 링크 간 품질을 비교하여 불필요한 제어 메시지의 송수신을 막고, 선택 가능성이 높은 이웃노드 순으로 충돌 없이 제어 메시지를 전달 할 수 있도록 우선순위 기반 접속 제어를 수행한다.

논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 기존 이웃노드 탐색 방법에 대해서 설명하고, III 장에서는 제안하는 이웃노드 탐색 프로토콜의 동작 절차를 자세히 설명한다. IV 장에서는 기존 방식과 제안 방식의 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 보여주고 성능을 비교 설명한다. 마지막으로 V 장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 관련 연구

그림 1은 고려하는 멀티홉 셀룰러 네트워크 환경을 보여준다. 각 노드는 주변 노드로부터 수신된 신호의 세기를 측정하여 해당 링크의 경로 손실(path loss) 값을 알 수 있다. 이 경로 손실 값을 활용하여 각 MN은 자신의 통신 가능 범위 내에서 중계 노드(relay node; RN)로 동작 가능한 NN을 찾을 수 있다. 여기에서  $NN_i$ 는 MN과 AN을 연결하는  $i$ 번째 경로 상에 존재하는 이웃노드를 나타내고,  $PL_{1,i}$ 는  $NN_i$ 와 MN 사이의 dB 단위의 경로 손실 값을 나타낸다. 또한  $PL_{2,i}$ 는 연결 가능한  $i$ 번째 경로에 대해서  $NN_i$ 와 AN 사이의 경로 손실 값을 나타낸다. 마지막으로 AN과 MN 사이의 직접적인 경로 손실 값은  $PL_{2,0}$ 으로 나타낸다. 일반적으로 기존 방식에서는 NN들 중 하나를 RN으로 결정할 때 각 연결 경로에서

발생하는 총 경로 손실 값 중 가장 작은 값을 갖는 경로를 선택한다 [10-12]. 즉, 모든 NN 중에서 총 경로 손실 값( $PL_{1,i}$ 와  $PL_{2,i}$ 의 합)이 가장 작은 NN이 RN으로 선택된다.

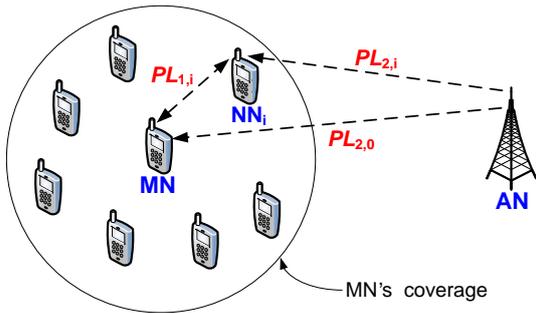


그림 1. 고려하는 멀티홉 셀룰러 네트워크 환경  
 Fig. 1 Considered multihop cellular network environment

그림 2는 기존의 이웃노드 탐색 프로토콜의 동작 예를 보여준다 [9, 17]. 여기에서는 애드혹 네트워크에서 사용하는 대표적인 매체 접속 프로토콜인 Carrier Sensing Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA)의 사용을 가정한다. 이웃노드 탐색 과정에서 필요한 제어 메시지는 Relay Request (RREQ)와 Relay Reply (RREP)로 MN은 주변에 누가 있는지 확인하기 위해 RREQ 메시지를 방송하고, 주변 NN은 RREQ를 수신하면 이에 대한 응답으로 RREP 메시지

를 송신하게 된다. 최종적으로 RREP를 받은 MN은 ACK(acknowledgement) 메시지로 응답함으로써 three-way handshake 방식으로 동작한다. 이러한 요청-응답-확인 형태의 메시지 송수신은 토폴로지의 변동을 고려하여 각 노드마다 주기적으로 발생하여 전체적인 라우팅 정보를 얻게 된다. 이때 적합한 NN을 선택하기 위해서 MN은 RREP 메시지에  $PL_{2,i}$  값을 포함하여 응답하도록 요구할 수 있다. 동작 과정에서 여러 NN이 함께 응답하여 메시지가 충돌되는 것을 방지하기 위해 CSMA/CA 프로토콜은 RREP 전송 전에 랜덤 시간 동안 기다리며, 만약 충돌이 발생하여 NN이 ACK 메시지를 수신하지 못하는 경우에는 이진 지수형(binary exponential) 백오프 알고리즘에 따라 임의의 시간을 더 기다렸다가 RREP 메시지를 재전송한다.

아울러 RREQ를 방송했던 MN은 주변 NN으로부터 RREP를 수신하는 동시에 경로 손실  $PL_{1,i}$ 를 측정함으로써 각 NN<sub>i</sub>에 해당하는 두 개의 경로 손실 값( $PL_{1,i}$ 와  $PL_{2,i}$ )을 얻을 수 있다. 이들 값을 기반으로 MN은 총 경로 손실 값이 가장 작은 NN을 RN으로 최종 선택한다. 이러한 기존 이웃노드 탐색 프로토콜은 NN의 수가 적은 경우에는 관련 제어 메시지들의 충돌 없이 원활하게 동작하지만, NN의 수가 증가하는 경우에는 응답 메시지의 충돌 및 재전송으로 인하여 전송 오버헤드 및 이웃노드의 탐색 시간이 급격히 증가하게 되는 단점이 존재한다.

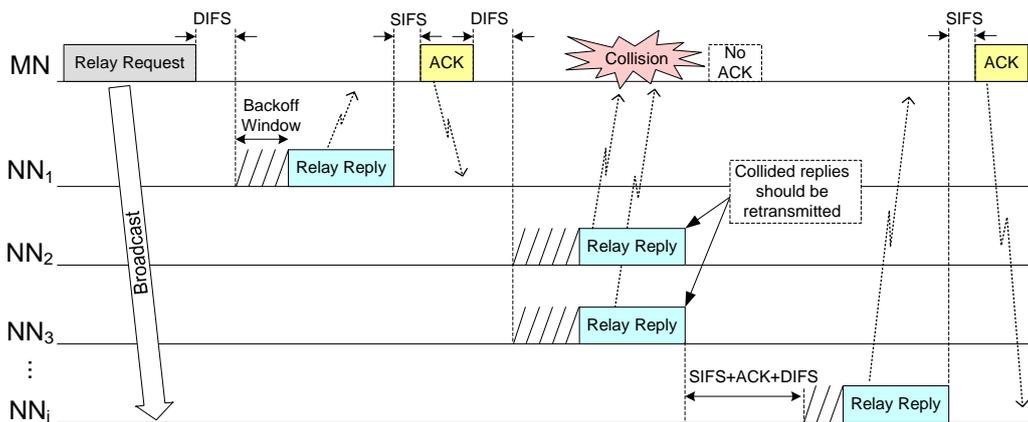


그림 2. 기존 이웃노드 탐색 프로토콜의 동작 예  
 Fig. 2 An example of operation of conventional route discovery protocol

### III. 제안 이웃노드 탐색 프로토콜

본 논문에서는 이웃노드의 수 및 노드의 이동성이 증가함에 따라 성능이 감소되는 기존 이웃노드 탐색 프로토콜의 단점을 극복하기 위한 목적으로 새로운 이웃노드 탐색 프로토콜을 제안한다. 제안 방식은 억제 접속 제어(inhibited access control; IAC), 우선순위 접속 제어(priority access control; PAC), 하이브리드 접속 제어(hybrid access control; HAC)의 세 가지 접속 제어 방식을 결합하여 이웃노드를 탐색한다. 제안 탐색 프로토콜에서 사용되는 제어 메시지는 세 가지로 RREQ와 RREP 메시지는 기존 프로토콜에서 사용하는 용도와 동일하지만 동작을 위해 구체적인 필드 값이 다음과 같이 정의되며, Early Stop (ESTOP) 메시지가 제안 방안을 위해 새롭게 추가된다.

- Relay Request (RREQ): MN이 NN<sub>i</sub>로부터 PL<sub>2,i</sub> 값을 요청하기 위해 방송되는 메시지로 다음 필드를 포함한다. <메시지 타입, 소스 주소, 브로드캐스트 주소, AN 주소, 경로 손실 값 (PL<sub>2,0</sub> 값은 선택사항)>.
- Relay Reply (RREP): 각 NN<sub>i</sub>가 MN에게 PL<sub>2,i</sub> 값을 전달하기 위한 응답 메시지로 다음 필드를 포함한다. <메시지 타입, 소스 주소, 목적지 주소, 경로 손실 값 (PL<sub>2,i</sub>)>.
- Early Stop (ESTOP): NN에게 RREP의 송신을 중단 시키기 위한 방송 메시지로 다음과 같은 필드를 포함한다. <메시지 타입, 소스 주소, 브로드캐스트 주소, AN 주소>.

그림 3은 제안하는 이웃노드 탐색 프로토콜의 동작 알고리즘을 보여준다. 먼저 IAC 방식에서는 MN이 RREQ 메시지를 통해 PL<sub>2,0</sub> 값을 NN에게 알려주고 NN은 자신이 측정한 PL<sub>2,i</sub>의 값이 PL<sub>2,0</sub> 보다 작은 경우에만 RREP 메시지로 응답한다. 이와 같이 동작하는 이유는 PL<sub>2,i</sub>가 PL<sub>2,0</sub> 보다 큰 NN은 RN이 되기에 적합하지 않으므로 응답할 필요가 없기 때문이다. 이러한 IAC의 정책은 간단하지만 NN을 찾는데 있어 불필요한 응답을 효과적으로 막음으로써 접속 충돌과 노드 탐색 시간을 현저히 줄일 수 있다.

```

1: Receive RREQ;
2: n = 0; /* number of retransmissions */
3: switch(scheme)
4: case: IAC
5:   if (PL2,i < PL2,0) then
6:     while(1)
7:       Random backoff using CW = CWmin × 2n;
8:       Send RREP;
9:       n = n + 1;
10:      if (receive ACK) break;
11:    end while
12:  end if
13: case: PAC
14:   P1 = C1 ×  $\frac{PL_{1,i}}{PL_{max}}$ ;
15:   while(1)
16:     Random backoff using CW1 = P1 × CWmin × 2n;
17:     Send RREP;
18:     n = n + 1;
19:     if (receive ACK or ESTOP) break;
20:   end while
21: case: HAC
22:   if (PL2,i < PL2,0) then
23:     P2 = C2 ×  $\frac{PL_{1,i}}{PL_{max}} \times \frac{PL_{2,i}}{PL_{2,0}}$ ;
24:     while(1)
25:       Random backoff using CW2 = P2 × CWmin × 2n;
26:       Send RREP;
27:       n = n + 1;
28:       if (receive ACK or ESTOP) break;
29:     end while
30:   end if
31: end switch
    
```

그림 3. 제안 이웃노드 탐색 프로토콜의 의사코드  
 Fig. 3 Pseudo code of proposed neighbor discovery protocol

PAC 방식은 경로 손실 값에 따라 NN의 RREP 전송 시점을 차별화 한다. NN이 RREQ를 수신하면 다음 식과 같이 MN과 NN 사이의 경로 손실 값을 이용하여 우선순위 P<sub>1</sub> 값을 계산한다.

$$P_1 = C_1 \times \frac{PL_{1,i}}{PL_{max}} \tag{1}$$

여기에서 PL<sub>1,i</sub>는 각 NN<sub>i</sub>가 RREQ 메시지를 수신하면서 측정하는 MN과 NN<sub>i</sub> 사이의 경로 손실 값이며, PL<sub>max</sub>는 MN의 통신 반경에 의해 결정되는 최대 경로 손실 값이며, C<sub>1</sub>은 우선순위 값의 평균이 1이 되도록 만드는 상수 값이다. 계산된 우선순위 P<sub>1</sub> 값은 다음과 같이 최소 경쟁 윈도우(contention window; CW)의 크기에 곱해짐으로써 랜덤 백오프 시간을 각 NN 마다 차별화하는데 사용된다.

$$CW_1 = P_1 \times CW_{\min} \times 2^n \quad (2)$$

이와 같이 CW 값을 차별화함에 따라  $PL_{1,i}$  값이 작은 NN일 수록 RREP를 더 일찍 전송하게 되고, 따라서 MN은  $PL_{1,i}$  값이 작은 더 적합한 NN 순으로 RREP를 수신할 확률이 높아진다. 이와 같은 상황에서 MN이 RN을 결정하기에 충분한 RREP 메시지를 수신 했다고 판단할 경우 다른 NN으로부터 오는 지속적인 응답 메시지의 전송을 그만 두게 하기 위해 ESTOP 메시지를 방송한다. 여기에서 ESTOP 메시지가 전송되는 시점은 NN의 수에 비례하여 결정할 수 있다. 이러한 우선순위에 기반을 둔 접속 제어와 이른 정지(early stop) 메커니즘은 주변 NN들 중 적합한 NN으로 부터의 RREP 응답만을 먼저 수신하고 불필요한 것들의 전송은 멈추게 함으로써 빠른 이웃노드 탐색을 가능하게 한다. 또한 PAC 방식은 IAC 방식과는 다르게 RREQ에  $PL_{2,0}$  값을 포함할 필요가 없기 때문에 순수 애드혹 네트워크에서와 같이 MN 또는 NN이 AN으로부터 신호를 수신 할 수 없는 경우에 활용 가능하다.

HAC 방식은 앞의 두 방식의 장점을 모두 취한 것으로, NN은  $PL_{2,i}$ 가  $PL_{2,0}$ 보다 작은 경우에만 두 경로 손실 값인  $PL_{1,i}$ 와  $PL_{2,i}$ 를 모두 사용하여 우선순위를 계산한다. 우선순위  $P_2$  값은 다음과 같이 우선순위의 분산을 크게 만들기 위해 두 경로 손실 값의 곱으로 정의되며, 계산된 우선순위  $P_2$  값이 PAC와 마찬가지로 CW 값에 곱해짐으로써 랜덤 백오프 시간이 각 NN 마다 차별화된다.

$$P_2 = \begin{cases} C_2 \times \frac{PL_{1,i}}{PL_{\max}} \times \frac{PL_{2,i}}{PL_{2,0}}, & \text{if } PL_{2,i} < PL_{2,0} \\ \infty, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

$$CW_2 = P_2 \times CW_{\min} \times 2^n \quad (4)$$

따라서 HAC 방식은 처음부터 불필요한 응답 메시지의 전송을 억제하여 액세스 충돌과 채널 오버 헤드를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 효과적인 우선순위 기반 접속 및 정지 메커니즘을 사용하여 유용한 이웃노드를 찾는 데 걸리는 시간을 줄일 수 있다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Table. 1 Simulation Parameters

Name	Value
Radius of MN	100 m
Radius of AN	500 m
Distance between MN and AN	500 m
Number of simulation trials	10,000
Node's velocity (v)	5~100 km/h
Node's position update duration	0.001 second
Node's direction update duration	1 second
Path loss model	$37.6 \times \log_{10} d + 16.62$ (d in meter)
Transmitted power of AN	43 dB (20 W)
Transmitted power of MN	23 dB (200 mW)
Constants for priority (C <sub>1</sub> , C <sub>2</sub> )	2, 2.5 (respectively)
Data transmission rate	2 Mbps
CW <sub>min</sub> (size of minimum CW)	31
CW <sub>max</sub> (size of maximum CW)	1023
Size of relay request message	26 or 27 (with power field) bytes
Size of relay reply message	21 bytes
Size of early stop message	26 bytes
Size of acknowledgement message	14 bytes
Backoff slot time	20 μs

#### IV. 시뮬레이션 결과

성능 평가를 위해 그림 1과 같은 멀티홉 셀룰러 네트워크 환경을 고려하였으며 표 1에 정리된 시스템 파라미터들을 사용하였다 [2, 15]. MN은 100 m의 통신 반경을 가지고 있으며 MN과 AN은 초기에 500 m 떨어져서 위치한다고 가정한다. NN은 MN의 통신 반경 내에서 균일하게 무작위로 분포되며, 이러한 구성에 대해서 10,000번의 Monte-Carlo 시뮬레이션을 수행하여 도출된 결과를 평균하였다. 노드의 이동성 모델링을 위해 각 노드는 5~100 km/h의 일정한 속도를 가지며 위치와 방향은 각각 1 ms와 1초 마다 무작위로 변경됨을 가정하였다 [14]. 기본 MAC 방식은 IEEE 802.11의 CSMA/CA + ACK 방식을 사용하며 자세한 메시지 형식과 MAC 파라미터는 IEEE 802.11 표준을 따른다 [18]. 메시지 전송 속도는 2 Mbps로 고정되며 AN과 MN의 송

신 파워는 각각 43 dBm과 23 dBm으로 설정된다. 경로 손실 모델은 ITU-R 권고에 근거하여  $37.6 \times \log_{10} d + 16.62$ 를 사용하였다 [19]. 본 시뮬레이션에서는 수신된 RREP의 수가 총 NN 수의 사분의 일을 넘어섰을 때 ESTOP가 전송된다고 가정하였고, 우선순위 계산에 사용되는 상수  $C_1$ 과  $C_2$ 는 실험을 통해 결정 가능한데 각각 2와 2.5로 설정하였다.

그림 4는 노드의 이동 속도가 30 km/h 일 때 이웃노드 수에 따른 평균 이웃노드 탐색 시간을 보여준다. 이웃노드 수가 증가함에 따라 전체적으로 이웃노드의 발견에 필요한 시그널링이 증가하여 탐색 시간이 증가한다. 하지만 제안하는 이웃노드 탐색 기법들은 불필요한 응답 메시지의 전송을 막고 우선순위 기반으로 응답하여 메시지간 충돌을 막으므로 기존 방식보다 더 빠른 검색 시간을 보여준다. IAC와 PAC 방식은 서로 유사한 성능을 가짐을 볼 수 있고, 이 두 방식의 장점을 모두 취한 HAC 방식이 가장 짧은 검색 시간을 갖는다.

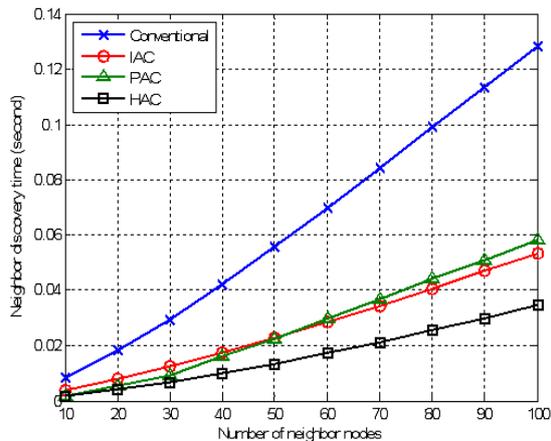


그림 4. 이웃노드 수에 따른 이웃노드 탐색 시간 (v=30 km/h 일 때)

Fig. 4 Neighbor discovery time vs. number of NNs (v=30 km/h)

그림 5는 이웃노드의 수에 따라 각 탐색 프로토콜에 의해 선택된 NN (즉, RN)에서 MN과 AN으로부터 수신되는 총 신호 전력의 합을 보여준다. 결정된 RN에서 측정되는 총 수신 전력의 합이 클수록 MN 입장에서 더 좋은 RN을 선택한 셈이 된다. 모든 방식에서 NN의 수가 증가함에 따라 MN은 더 좋은 링크 품질을 갖는 NN을

찾을 수 있으므로 총 수신 전력이 증가된다. 탐색 기간 동안 노드의 이동성으로 인해 링크 품질이 바뀌기 때문에 이웃 탐색 과정이 완료되는 시점에서 선택된 NN이 수신하는 총 수신 전력 값이 줄어들 수 있다. 따라서 긴 탐색 시간을 갖는 기존 방식은 단말의 이동성으로 인해 총 수신 전력이 큰 RN을 찾는 데 어려움을 겪으므로 제안하는 IAC와 HAC 방식 대비 더 낮은 수신 전력을 보여준다. 총 수신 전력 측면에서는 IAC 방식이 가장 좋은 성능을 갖는데, 이는 IAC 방식이 짧은 이웃노드 탐색 시간을 가지면서도 RN이 될 수 있는 기준을 충족하는 모든 NN으로 부터의 응답 메시지를 받아 최적의 NN을 선택하기 때문이다. 반면 응답 메시지의 억제 메커니즘 없이 단지  $PL_{i,j}$  값을 가지고 간단한 우선순위 기반으로 액세스 제어를 수행하는 PAC 방식은 가장 낮은 총 수신 전력 성능을 보여준다.

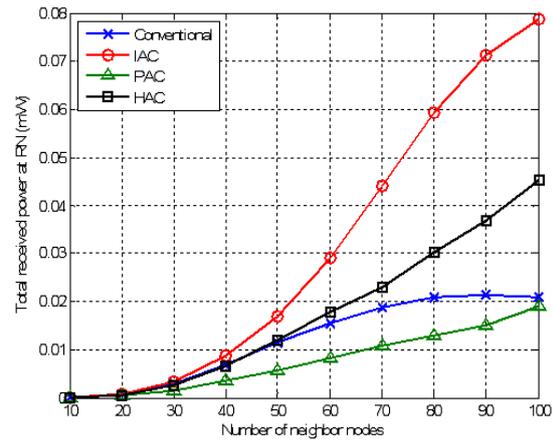


그림 5. 이웃노드 수에 따른 RN에서 수신하는 총 신호 전력 (v=30 km/h 일 때)

Fig. 5 Total received power at RN vs. number of NNs (v=30 km/h)

그림 6은 이웃노드의 수가 50 일 때 노드의 속도 변화에 따라 선택된 RN에서의 총 수신 전력 값을 보여준다. 노드 속도가 증가함에 따라 선택된 RN에서의 총 수신 전력은 이웃노드 탐색 시간에 비례하여 저하된다. 따라서 속도가 증가함에 따라 긴 탐색 시간을 갖는 기존 방식의 총 수신 전력은 제안 방식에 비해 크게 감소하게 된다. 이로 인해 제안하는 HAC와 PAC 방식은 노드 속도가 증가함에 따라 기존 방식보다 더 좋은 성능을 갖

게 된다. 반면 IAC 방식은 RN이 될 수 있는 조건을 만족하는 모든 NN으로 부터의 응답을 기반으로 RN을 최종 선택하므로 넓은 속도 구간에서 좋은 수신 전력 성능을 보여준다.

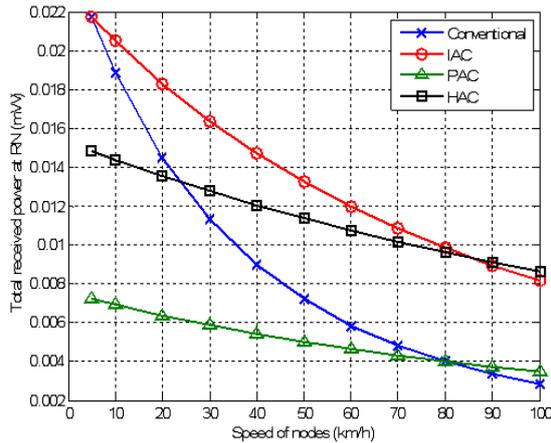


그림 6. 단말의 속도에 따른 RN에서 수신하는 총 신호 전력 (이웃노드의 수가 50일 때)

Fig. 6 Total received power at RN vs. speed of nodes when the number of NNs is 50

## V. 결론

본 논문은 멀티홉 셀룰러 네트워크 환경에서 노드의 이동성을 고려하여 효율적인 접속 제어를 통해 신속하고 안정적인 이웃노드 탐색을 가능케 하는 프로토콜을 제안하였다. 세 가지 접속 제어 방식을 이용하는 제안 탐색 프로토콜은 기존 방식보다 빠른 시간 내에 이웃노드를 검색할 수 있으며, 검색해야 하는 이웃노드 수가 증가하거나 노드의 이동성이 증가함에도 불구하고 더 적합한 중계 노드를 선택할 수 있다. 특히 HAC 방식은 가장 짧은 이웃노드 탐색 시간을 보여주며 IAC 방식은 중계 노드의 총 수신 전력과 관련하여 가장 안정적인 성능을 보여줌을 확인하였다. 제안 방식들은 노드의 이동성이 존재하는 다양한 환경에서 단말간 협력을 필요로 할 때 빠르고 효과적인 협력 노드 탐색 방법으로 사용되리라 예상된다.

## 감사의 글

이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2011-0025424)

## REFERENCES

- [1] Long Le and E. Hossain, "Multihop Cellular Networks: Potential Gains, Research Challenges, and a Resource Allocation Framework," *IEEE Communications Magazine*, vol. 45, no. 9, pp. 66-73, Sep. 2007.
- [2] J. Gozalvez and B. Coll-Perales, "Experimental evaluation of multihop cellular networks using mobile relays," *IEEE Communications Magazine*, vol. 51, no. 7, July 2013.
- [3] Kan Zheng, Bin Fan, Zhangchao Ma, Guangyi Liu, Xiaodong Shen, and Wenbo Wang, "Multihop cellular networks toward LTE-advanced," *IEEE Vehicular Technology Magazine*, vol. 4, no. 3, pp. 40 - 47, Sep. 2009.
- [4] D. Camps-Mur, A. Garcia-Saavedra, and P. Serrano, "Device-to-device communications with Wi-Fi Direct: overview and experimentation," *IEEE Wireless Communications*, vol. 20, no. 3, June 2013.
- [5] Daquan Feng, Lu Lu, Yi Yuan-Wu, G. Y. Li, Gang Feng, and Shaoqian Li, "Device-to-Device Communications Underlying Cellular Networks," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 61, no. 8, pp. 3541-3551, Aug. 2013.
- [6] K. Doppler, M. Rinne, C. Wijting, C. B. Ribeiro, and K. Hugl, "Device-to-device communication as an underlay to LTE-advanced networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 47, no. 12, pp. 42-49, Dec. 2009.
- [7] P.P. Lam and S.C. Liew, "Nested Network Mobility on the Multihop Cellular Network," *IEEE Communications Magazine*, vol. 45, no. 9, pp. 100-104, Sep. 2007.
- [8] Tang Zhiyong and W. Dargie, "A mobility-aware medium access control protocol for wireless sensor networks," in *Proceeding of the IEEE GLOBECOM Workshops*, Miami, FL, pp. 109-114, 2010.
- [9] G. Jakllari, W. Luo, and S.V. Krishnamurthy, "An Integrated Neighbor Discovery and MAC Protocol for Ad Hoc Networks Using Directional Antennas," *IEEE*

- Transactions on Wireless Communications*, vol. 6, no. 3, pp. 1114-1024, March 2007.
- [10] L. Hanzo and R. Tafazolli, "A Survey of QoS Routing Solutions for Mobile Ad Hoc Networks," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 9, no. 2, pp. 50-70, July 2007.
- [11] S. Vasudevan, M. Adler, D. Goeckel, and D. Towsley, "Efficient Algorithms for Neighbor Discovery in Wireless Networks," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 21, no. 1, pp. 69-83, Feb. 2013.
- [12] Guobao Sun, Fan Wu, Xiaofeng Gao, Guihai Chen, and Wei Wang, "Time-Efficient Protocols for Neighbor Discovery in Wireless Ad Hoc Networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 62, no. 6, pp. 2780-2791, July 2013.
- [13] F. Buiati, L.J. Garcia Villalba, D. Corujo, J. Soares, S. Sargento, and Rui L. Aguiar, "Hierarchical Neighbor Discovery Scheme for Handover Optimization," *IEEE Communications Letters*, vol. 14, no. 11, pp. 1020-1022, Nov. 2010.
- [14] H. C. Chao, et al., "Micro-mobility mechanism for smooth handoffs in an integrated ad-hoc and cellular IPv6 network under high-speed movement," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 52, pp. 1576-1593, Nov. 2003.
- [15] W. Zirwas, E. Schulz, T. Weber, and Y. Liu, "Deployment Considerations for Cellular Multihop Networks," in *Proceeding of the 11th European Wireless Conference*, Nicosia, Cyprus, pp. 1-7, April 2005.
- [16] Jianhua He, Kun Yang, K. Guild, and Hsiao-Hwa Chen, "Application of IEEE 802.16 Mesh Networks as the Backhaul of Multihop Cellular Networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 45, no. 9, pp. 82-90, Sep. 2007.
- [17] Shanshan Lu, S. Shere, Yanliang Liu, and Yonghe Liu, "Device discovery and connection establishment approach using Ad-Hoc Wi-Fi for opportunistic networks," in *Proceeding of the IEEE Int. Conf. of Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops)*, Seattle, WA, pp. 461-466, March 2011.
- [18] IEEE Std 802.11-2012, *Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*, IEEE Computer Society, 29 March 2012.
- [19] Recommendation ITU-R M.1225, *Guidelines for evaluation of radion transmission technologies for IMT-2000*, ITU-R, 1997.



최현호(Hyun-Ho Choi)

2001년 2월: KAIST 전기및전자공학과 공학사  
2003년 2월: KAIST 전기및전자공학과 공학석사  
2007년 2월: KAIST 전기및전자공학과 공학박사  
2007년 3월 ~ 2011년 2월: 삼성중합기술원 전문연구원  
2011년 3월 ~ 현재: 국립한경대학교 전기전자제어공학과 조교수  
※ 관심분야 : 매체접속제어, 분산자원관리, 저전력 프로토콜, 생체모방 알고리즘, 차세대 이동통신 시스템