

CSMA/CA 기반 애드혹 네트워크에서 S-MPR을 이용한 효율적인 중계 노드 선택 알고리즘

박종호*, 오창영*, 안지형*, 서명환**, 조형원**, 이태진^o

Efficient Relay Selection Algorithm Using S-MPR for Ad-Hoc Networks Based on CSMA/CA

Jongho Park*, Chang-Yeong Oh*, Ji Hyoung Ahn*, Myunghwan Seo**, Hyung-Weon Cho**,
Tae-Jin Lee^o

요 약

본 논문에서는 OLSR의 MPR 선택방법을 개선함으로써 애드혹(ad hoc) 네트워크의 처리율(throughput), 지연 시간(delay) 등의 성능을 향상시킬 수 있는 S-MPR 선택 방법을 제안한다. OLSR의 MPR 선택 방법은 각 노드가 독립적으로 MPR을 선택하기 때문에 대부분의 노드가 MPR로 선택되는 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 기존에 제안되었던 MPR 후보(candidate) 선택 방법은 MPR의 수는 감소시킬 수 있지만 그로 인해 경로의 효율성과 네트워크의 연결성(connectivity)이 저하되는 문제를 갖고 있다. 본 논문에서 제안하는 S-MPR 방법은 이러한 문제를 해결하기 위해 각 노드 입장에서 가장 중요한 노드를 S-MPR로 선택하고 나머지 MPR은 MPR 후보를 이용하여 선택하는 방법을 사용한다. 따라서 제안 방법은 경로 효율성의 저하를 최소화하면서 MPR로 선택되는 노드의 수를 줄임으로써 TC 메시지로 인한 오버헤드를 최소화하고 MPR간의 충돌을 감소시킴으로써 처리율, 지연 시간 성능을 향상시킬 수 있다. 본 논문에서 제안한 S-MPR의 성능을 알아보기 위해 OPNET을 활용하여 시뮬레이션을 수행하고 제안 S-MPR의 성능이 가장 우수함을 보인다.

Key Words : ad hoc networks, flooding, multipoint relay, MPR candidate, OLSR.

ABSTRACT

In the MPR selection algorithm of Optimized Link State Routing (OLSR), each node selects own MPRs independently, so most of nodes are selected to MPR at least once. To cope with this problem, the MPR candidate selection algorithm was proposed. The MPR candidate selection algorithm can reduce the number of MPRs, but the efficiencies of route and connectivity decline due to decreased number of MPRs. So, in this paper, we propose the Significant Multi-Point Relay (S-MPR) selection algorithm which can enhance the performance of ad hoc network by improving the MPR selection algorithm of OLSR. In proposed S-MPR selection algorithm, each node selects the most important node to S-MPR to guarantee the connectivity then selects remaining MPRs in MPR candidates. So proposed S-MPR selection algorithm can reduce the overhead of many MPRs without decline of routing performance. To show the performance gain of proposed S-MPR selection algorithm, we simulate the proposed S-MPR selection algorithm by using OPNET.

* 본 연구는 2011년도 삼성탈레스(주)의 재원을 지원받아 수행된 연구임.

** 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 육성지원 사업의 연구결과로 수행되었음. (NIPA-2012-(H0301-12-1005))

^o 주저자: 성균관대학교 정보통신대학 네트워크시스템 연구실, tamalove@ece.skku.ac.kr, 정희원

^o 교신저자: 성균관대학교 정보통신대학 네트워크시스템 연구실, tjlee@skku.edu

* 성균관대학교 정보통신대학 네트워크시스템 연구실

** 삼성탈레스 무선통신그룹

논문번호: KICS2012-04-206, 접수일자: 2012년 4월 17일, 최종논문접수일자: 2012년 7월 4일

I. 서 론

무선 애드혹(ad hoc) 네트워크는 일반적인 상용 네트워크와는 달리 BS(Base Station)나 AP(Access Point) 등 통신 기반 시설에 의존하지 않고 단말들만으로 손쉽게 네트워크를 구성할 수 있으며, 멀티홉 라우팅을 통해 피어-투-피어(peer-to-peer) 통신을 하는 것이 가능하다. 무선 애드혹 네트워크에서는 BS나 AP가 없으므로 각 노드에서 매체 제어나 라우팅 경로 탐색이 분산적으로 수행되어야 하는 어려움이 있다. 무선 애드혹 네트워크에서 사용되는 라우팅 프로토콜 중 테이블 기반 라우팅 프로토콜은 유선 네트워크에서 사용되는 라우팅 프로토콜을 무선으로 확장한 것으로, 모든 노드들이 라우팅 테이블을 유지 및 관리하기 위해 주기적인 제어 메시지 송수신이 필요하며, 여기서 비롯되는 제어 메시지 오버헤드가 프로토콜 성능에 큰 영향을 미친다. 특히 경쟁 방식 MAC을 사용하는 IEEE 802.11 무선랜의 경우, 브로드캐스트(broadcast) 및 재전송을 통해 전파되는 제어 메시지는 RTS-CTS 제어 프레임 사용되지 않기 때문에 히든 노드(hidden node)에 의한 프레임 충돌이 자주 일어나는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해 [1]에서는 제어 메시지를 네트워크 전체에 브로드캐스트 할 때 MAC 계층 유니캐스트(unicast)를 사용함으로써 MAC 프레임 충돌로 인한 제어 메시지 손실을 최소화하는 라우팅 프로토콜을 제안하였다.

OLSR은 테이블 기반 라우팅 프로토콜로써, 라우팅 테이블 생성에 사용되는 TC (Topology Control) 메시지를 네트워크 전체에 전달하는 데 플러딩(flooding) 방법 대신 MPR (Multipoint Relay) 노드만이 재전송에 참여하도록 제한함으로써 전달에 필요한 오버헤드를 감소시킨 것이 특징이다. 각 노드는 자신의 모든 2홉 이웃 노드들에게 자신의 패킷을 전달할 수 있도록 1홉 이웃 노드들 중 일부를 MPR노드로 선택한다. 2홉 이웃노드를 연결할 수 있는 최소 개수의 1홉 노드 집합을 구하는 문제는 NP-hard 문제^[2]로 알려져 있으며, 이 때문에 같은 목적을 달성하기 위한 다양한 heuristic 알고리즘이 제안되어 왔다. 그 중 가장 대표적인 것은 IETF RFC^[3]에 언급된 방법으로써, 가장 많은 2홉 이웃노드를 연결할 수 있는 1홉 이웃 노드를 MPR 노드로 추가하고, 이렇게 추가된 MPR 노드에 의해 연결되는 2홉 이웃 노드를 제거하는 과정을 모든 2홉 이웃 노드가 제거될 때 까지 반복한다. 이보다

더 MPR 노드의 개수를 더 줄이기 위한 여러 가지 방법들이 논의되어 왔는데, [4]에서는 MPR 노드를 선택할 때 이웃 노드들에 의해 이미 MPR 로 선택된 노드들을 그렇지 않은 노드보다 우선적으로 선택하는 방법을 제안하였다. 한편 [5]에서는 기존 방법을 통해 MPR 로 선택된 노드들 중 노드의 밀도(node density)를 기준으로 불필요한 MPR 노드를 제거하는 방법을 제안하였다. [6]에서는 전체 노드들 중에서 MPR 노드로 선택될 수 있는 노드들을 MPR 후보(candidate) 노드로 정의하고, 이 MPR 후보 노드들 중에서 MPR을 선택하도록 함으로써 네트워크 전체에서 MPR 노드의 개수를 감소시키는 방법을 제안하였다.

OLSR 프로토콜에서 각 노드는 자신의 1홉 이웃 노드 중에서 MPR을 독립적으로 선택한다. 다른 노드들이 MPR을 어떻게 선택하는지와 상관없이 각각의 노드가 자신만의 MPR을 선택하기 때문에 네트워크 전체 관점에서는 과도한 수의 MPR들이 존재할 수 있다. 이렇게 선택된 각 MPR이 자신의 브로드캐스트 메시지를 전송하게 되면 CSMA/CA 기반으로 동작하는 매체접근제어 방식에서는 과도한 경쟁과 히든 노드 문제(hidden node problem) 등으로 인한 프레임 충돌로 플러딩이 불가능하거나 네트워크 성능이 크게 저하될 수 있다. 따라서 전체 네트워크 관점에서 MPR들의 수를 적당하게 조절할 필요가 있다. MPR 수를 적절하게 조절하는 데 있어서, 네트워크 내의 과도한 MPR과 이로 인한 MPR 플러딩 시 충돌문제 뿐만 아니라 너무 적은 수의 MPR을 선택하여 네트워크 성능이 저하되는 것 또한 고려할 필요가 있다. 기존 OLSR 프로토콜의 장점 중 하나는 충분한 수의 MPR을 이용하여 플러딩을 하기 때문에 최적의 라우팅 경로를 통해 브로드캐스트 메시지를 네트워크의 모든 노드에게 전달할 수 있다는 데 있다. 하지만 임의로 MPR의 수를 줄이게 되면 최소 홉으로 라우팅 경로가 형성되지 못하고 전송 홉 수가 증가되어 라우팅 성능이 저하될 수 있다. 이는 전체 노드 수에 대한 MPR 노드 수의 비율이 MAC 계층에서의 충돌로 인한 성능과 네트워크 계층의 라우팅 성능에 영향을 미치게 될 수 있으며 전체 네트워크 성능에 복합적으로 영향을 미칠 수 있음을 보여준다.

이런 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 애드혹 네트워크 환경에 적합하도록 적응적으로 MPR 비율을 적절하게 유지할 수 있도록 하는 MPR 후보 노드 선택 방법인 S-MPR (Significant MPR)을 제

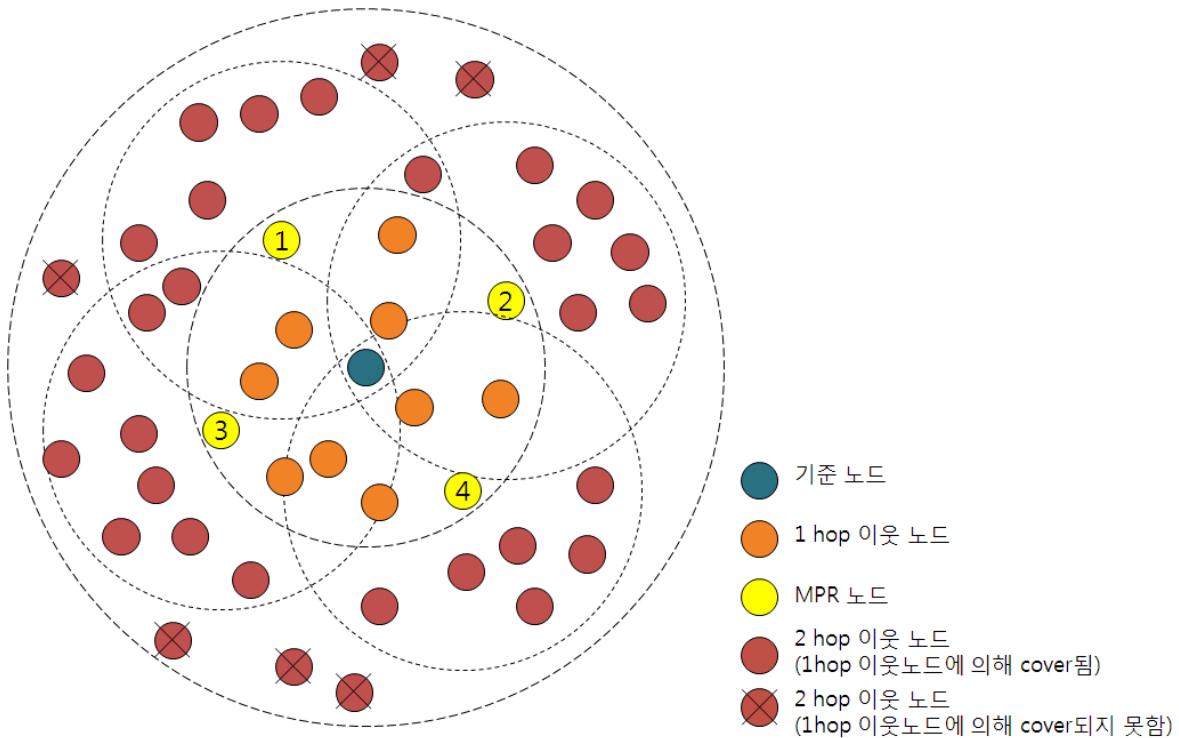


그림 1. OLSR 프로토콜의 MPR 선택 예
 Fig. 1. An example of MPR selection in OLSR protocol

안한다. 제안하는 방법에서 각 노드는 1홉 이웃 노드들의 수와 MPR 비율, OLSR 프로토콜의 주요 파라미터 중 하나인 1홉 이웃 노드들의 MPR_willingness 값을 이용해서 MPR 후보 노드들의 수를 조절하고, 그 중에서 S-MPR이 포함되도록 하는 MPR 후보 노드 선택 알고리즘을 제안한다. S-MPR은 각 노드를 기준으로 각 노드의 1홉 이웃 노드 중 자신의 가장 많은 2홉 이웃 노드들에게 브로드캐스트 메시지를 전달해 줄 수 있는 중계노드를 의미한다. 제안하는 MPR 후보 노드 선택 방법에서는 S-MPR이 반드시 MPR로 동작할 수 있도록 MPR 후보 노드로 선택하여 기존 MPR 플러딩에 비해 MPR 비율을 줄이더라도 라우팅 성능을 유지할 수 있다.

II장에서는 기존 OLSR 프로토콜 및 MPR 플러딩에 대한 관련 연구를 소개한다. III장에서는 제안하는 S-MPR을 이용한 MPR 선택 방법을 설명한다, IV장에서 시뮬레이션을 위한 네트워크 환경을 서술하고 제안하는 MPR 선택 방법과 기존 MPR 선택 방법의 성능을 비교한다. 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

2.1. OLSR(Optimized Link State Routing) 프로토콜 및 MPR(Multi-Point Relay) 플러딩 링크 상태(link state) 알고리즘 기반의 대표적인 유니캐스트 라우팅 방식으로 OLSR 프로토콜이 있다^[1]. OLSR 프로토콜에서는 전체 네트워크 상 모든 노드의 상태 정보를 각 노드가 모두 공유하여 라우팅 경로를 결정하는데 사용한다. 이 때 사용하는 제어 메시지를 TC(Topology Control) 메시지라고 하며, TC 메시지는 전체 네트워크에 전달되어야 하는 브로드캐스트 메시지가기 때문에 플러딩 과정이 필요하다. OLSR 프로토콜에서는 플러딩 오버헤드를 줄이기 위해 MPR 플러딩 알고리즘을 사용하고 있다. 각 노드는 독립적으로 자신의 MPR을 선택하며, MPR 선택을 위해 주기적인 제어 메시지 (Hello 메시지)를 교환하여 이웃 노드 정보를 테이블 형태로 관리 및 유지한다. 구체적으로, OLSR 프로토콜에서는 동일 지역 내에서 TC 메시지의 중복 전송을 방지하기 위해 MPR 플러딩이 제안되었다. 각 노드는 Hello 메시지 교환으로 2홉 반경 내의 이웃 노드 정보를 얻을 수 있으며 가장 많은 2홉 이웃 노드들을 커버할 수 있는 1홉 이웃 노드들을 MPR로 선택한다. 선택된 MPR은 TC 메시지 전송을 위한 중간 전달노드의 역할을 한다. 그림 1에서 중심

의 기준 노드가 선택한 MPR ①, ②, ③, ④는 송신 노드로부터 2홉 반경 내에 있는 노드들을 가장 많이 커버할 수 있는 1홉 반경 내의 이웃 노드들 중에서 선택되었다.

각 노드는 Hello 메시지 교환을 통해 자신이 선택한 MPR 정보를 이웃 노드들에게 알려주게 되며, 자신을 MPR로 선택한 이웃노드의 정보도 얻게 된다. MPR 플러딩은 브로드캐스트 메시지의 효과적인 전달을 가능하게 해주며 네트워크 내의 과도한 트래픽 생성 및 전송을 막아준다는 장점이 있다. 뿐만 아니라, 네트워크 전체 노드에 메시지를 전달하기 위한 홉 수나 중간 전달 노드의 전송 횟수를 줄여 준다는 측면에서 효과가 크다.

2.2. 기존 MPR 플러딩의 문제점

MPR 플러딩은 라우팅 관점에서 브로드캐스트 메시지를 전달하는데 있어서 효율적인 것으로 알려져 있지만 네트워크 성능은 라우팅 계층 뿐만 아니라 MAC(Medium Access Control) 계층의 매체접근 방식에 따라 영향을 받을 수 있다. [1]에서는 CSMA/CA 기반 애드혹 네트워크에서 브로드캐스트 메시지를 전체 노드들에게 전달하는 데 있어서 모든 노드들이 각자 브로드캐스트 메시지를 전송하는 기본 플러딩 방식과 MPR 플러딩 방식의 성능을 비교하고 있으며, CSMA/CA 기반 애드혹 네트워크에서는 충돌 문제로 인해 네트워크 성능이 저하될 수 있음을 보이고 있다. 따라서 [1]에는 계층 간 연동(cross-layer) 접근방식인 MAC 프레임 오버히어링(overhearing) 및 재전송을 통해 네트워크 성능 저하 문제를 해결하고 있으나, CSMA/CA를 사용하고 있는 대표적인 IEEE 802.11 프로토콜을 일부 변경해야 하는 문제가 있다. 또 다른 접근방식으로 [6]에서는 각 노드가 독립적으로 자신의 MPR을 선택함에 따라 네트워크 내 과도한 MPR이 선택될 수 있고 이로 인한 MAC 계층 충돌문제가 발생하는 것을 해결하기 위해 필요 MPR 비율을 유지할 수 있도록 하는 MPR 후보 선택 방법을 제안하고 있다. 하지만 이 경우 MPR 후보로 선택된 노드 중에서만 MPR을 선택하기 때문에 MPR 선택의 효율성이 저하 될 수 있으며, OLSR 프로토콜에서 사용하고 있는 MPR 선택 방법에 비해 적은 MPR을 선택하게 되기 때문에 최소 홉으로 라우팅 경로가 형성되지 못 하여 라우팅 성능이 저하될 수 있다.

본 논문에서는 [6]에서 제안하고 있는 MPR 후보 선택 방법의 문제를 해결하기 위해서 S-MPR을 이

용한 MPR 선택 방법을 적용함으로써 MAC 계층 프레임 충돌 문제를 완화하는 동시에 기존 OLSR 프로토콜의 장점인 최적 라우팅 경로를 유지할 수 있도록 하는 MPR 선택 방법을 제안한다.

III. 제안 방법 : S-MPR을 이용한 중계 노드 선택 방법

제안하는 MPR 노드 선택 방법은 세 단계로 구분할 수 있다. 첫 번째 단계에서는 MPR 후보 선택이 이루어지고, 두 번째 단계에서는 첫 번째 단계에서 S-MPR이 MPR 후보로 선택되었는지 확인하고 포함되지 않았을 때 S-MPR을 추가시키는 단계, 마지막으로 앞의 두 단계를 반복하면서 S-MPR을 포함하면서 1홉 네트워크 범위에서 필요 MPR 비율이 유지되도록 하는 단계이다.

- 1) 첫 번째 단계인 MPR 후보 노드 선택 알고리즘은 다음과 같다.
 - (1) 1홉 이웃 노드들로부터 Hello 메시지를 수신한다.
 - (2) 수신한 Hello 메시지에서부터 1홉 이웃 노드의 수(N)를 계산하고, 1홉 범위 내에서 충분한 MPR을 선택할 수 있도록 하는 목표 MPR 후보 노드 비율($k, 0 \leq k \leq 1$)에 이웃 노드의 수를 곱하여 1홉 이웃 노드들 중 필요한 MPR 후보 노드의 수 ($N_{minMPR} \leq N_{req} \leq N_{maxMPR}$)를 결정한다. 여기서 N_{minMPR} 과 N_{maxMPR} 은 각각 MPR 후보 노드의 최소, 최대 개수를 나타낸다. (는 1홉 범위에 따라 다르게 설정할 수 있다.) 여기서 N_{req} 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$N_{req} = \lceil kN \rceil \quad (1)$$

여기서, $\lceil x \rceil$ 는 x 보다 크거나 같은 정수 중 가장 작은 정수를 의미한다.

- (3) 각 노드는 계산한 N_{req} 를 기준으로 자신이 1홉 네트워크에서 충분한 MPR 후보 노드 비율을 유지하기 위해 자신이 MPR 후보 노드가 될 지 일반 노드가 될지 확률적으로 결정한다. 일반 노드가 MPR 후보 노드로 변경될 확률은

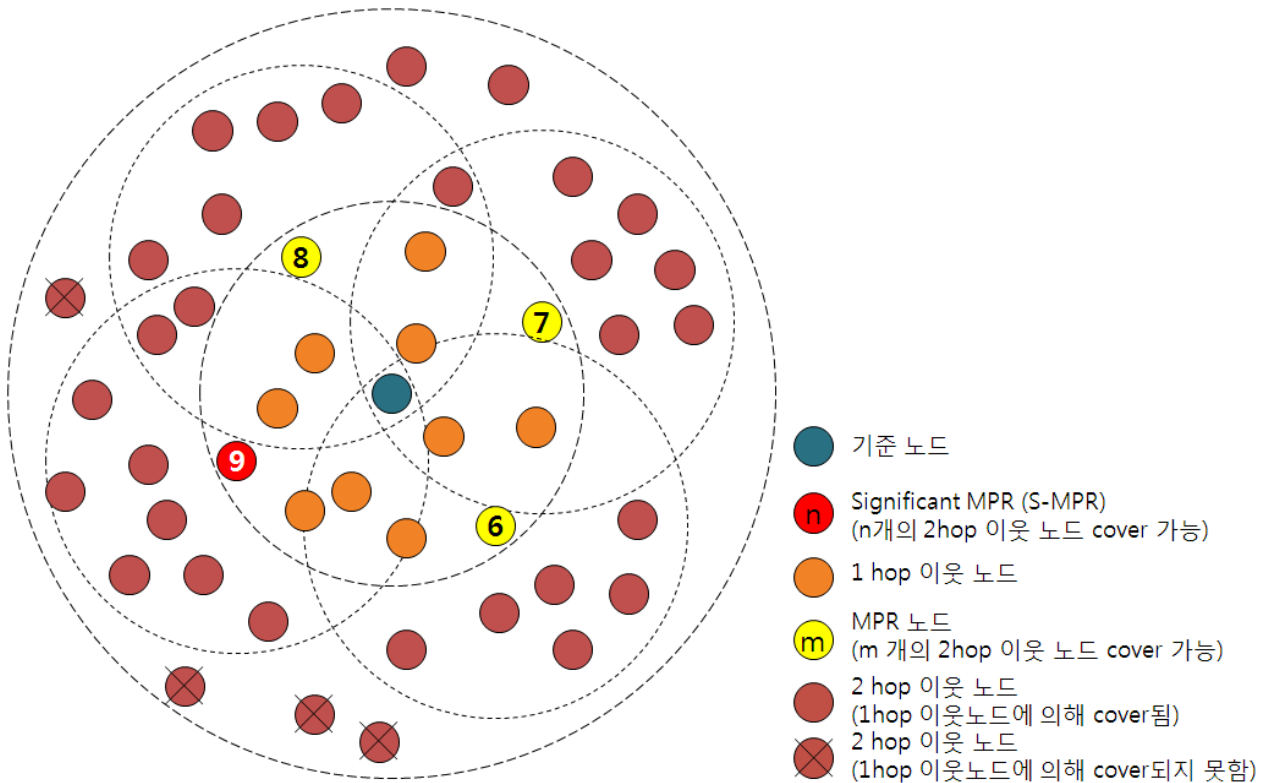


그림 2. S-MPR의 개념
Fig. 2. The concept of the proposed S-MPR

$$P_{Norm \rightarrow MPR} = \max\left(\frac{N_{MPR} - \max(\min(N_{max MPR}, N_{req}), N_{min MPR}, N)}{N_{MPR}}, 0\right) \quad (2)$$

이고, MPR 후보 노드가 일반 노드로 변경될 확률은

$$P_{MPR \rightarrow Norm} = \max\left(\frac{\min(\max(N_{min MPR}, N_{req}), N_{max MPR}, N) - N_{MPR}}{N - N_{MPR}}, 0\right) \quad (3)$$

이다. 여기서 N_{MPR} 은 현재 MPR 후보의 수를 나타낸다. 이에 따라 자신의 MPR_willingness (W) 값이 달라진다. ($W=1$: MPR 후보 노드, $W=0$: 일반 노드)

2) S-MPR을 결정하고 MPR 후보 노드 집합에 포함시켜 MPR 노드로 선택하는 두 번째 단계는 다음과 같다.

- (1) 수신한 Hello 메시지를 통해서 가장 많은 2홉 이웃 노드에 도달할 수 있는 1홉 이웃 노드를 파악한다. 해당 노드는 S-MPR 노드가 된다(그림 2 참고). 수신한 Hello 메시지

를 통해서 $W=1$ 인 1홉 이웃 노드들을 자신의 MPR 후보 노드 집합에 포함시키고, S-MPR 노드 또한 W 값에 상관없이 MPR 후보 노드 집합에 포함시킨다.

- (2) MPR 후보 노드 집합에서 기존 OLSR의 방법대로 MPR을 선택한다. MPR을 선택하는 방법은 MPR 후보 노드 집합에 포함된 1홉 이웃 노드들 중에서 많은 2홉 이웃 노드들을 커버할 수 있는 MPR 노드를 선택하고, 이미 커버된 2홉 노드들은 2홉 이웃 노드 리스트에서 제거한다. 이런 방법으로 MPR을 선택하면, MPR 후보 노드 집합에 포함된 S-MPR 노드는 항상 MPR로 선택된다.
- (3) 이런 방식으로 자신이 선택한 MPR 노드들의 정보와 자신의 W 값을 포함한 Hello 메시지를 1홉 이웃 노드에게 브로드캐스트 한다. 그리고 Hello 메시지 수신 시 자신을 MPR로 선택한 노드가 있을 경우 자신의 W 값에 관계없이 W 를 1로 변경한다.

위에서 설명한 MPR 노드 선택 과정을 아래와 같이 알고리즘으로 정리하였다. N_1, N_2 는 각각 1홉, 2홉 이웃노드의 집합이며 $coverable(u \text{ in } N)$ 는 N 집

Algorithm 1 Proposed MPR Candidate Selection with significant MPR

- 1: **procedure** SigMPRCandidate($k, N_{minMPR}, N_{maxMPR}$)
- 2: Compute N_1 and N_2
- 3: Make N and N_{MPR}
- 4: Calculate $N_{req} = \lceil kN \rceil$
- 5: **if** willingness is 0 **then**
- 6: Change W to 1 with probability $P_{Norm \rightarrow MPR}$ using (2)
- 7: **else**
- 8: Change W to 0 with probability $P_{MPR \rightarrow Norm}$ using (3)
- 9: **end if**
- 10: // significant MPR selection begin
- 11: Find u^* such that u^* has the largest coverable(u^* in N_1) of for all N_1 elements
- 12: Select u^* as significant MPR
- 13: Remove the nodes covered by u^* from N_2
- 14: // Significant MPR selection end
- 15: Select MPRs from current MPR candidates
- 16: **end procedure**

합에 속하는 노드 u 가 cover할 수 있는 2홉 이웃 노드의 개수를 나타낸다.

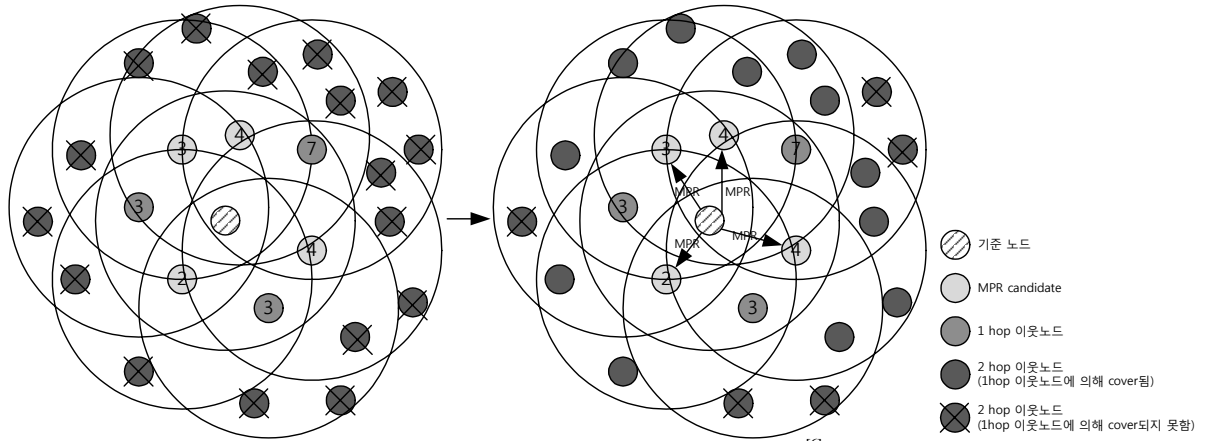
MPR을 선택하는 데 있어서 기존 OLSR에서는 1홉 이웃 노드 전체를 대상으로 하지만 제안하는 MPR 선택 방법에서는 W 값을 기반으로 한 MPR 후보 노드 집합에서 MPR을 선택하게 되며, W 값은 각 노드에서 필요 MPR 비율을 만족시킬 수 있도록 확률적으로 선택하게 함으로써 전체 네트워크 관점에서 과도한 MPR이 선택되지 않게 조절할 수 있다. 이는 TC 메시지로 인한 라우팅 오버헤드를 감소시키고 CSMA/CA 기반에서 발생할 수 있는 MAC 프레임 충돌로 인한 네트워크 성능 저하를 방지하기 위함이다. 또한, MPR 수를 임의적으로 줄임으로써 발생하는 있는 라우팅 성능 저하를 방지하기 위해 2홉 이웃 노드에 가장 많이 도달할 수 있는 S-MPR을 항상 MPR 집합에 포함시켜서 가장 중요한 S-MPR이 MPR 집합에서 제외되는 것을 방지하였다. 제안하는 MPR 선택 방법은 네트워크 상에 노드들이 조밀하게 분포한 환경에서 우수한 성능을 보일 수 있는데 S-MPR에 의한 중계가 2홉 이웃 노드들에 대한 브로드캐스트 메시지 전달률을 크게 향상시킬 수 있기 때문이다. 그림 3에서는 [6]에서 제안된 MPR 후보 노드 집합을 이용한 MPR 선택 방법과 본 논문에서 제안하는 S-MPR을 포함한 MPR 선택 방법을 적용한 경우 같은 애드혹 네트워크 환경에서 동일한 비율의 MPR 수를 유지하면서 다른 전달률 성능을 보여주는 예를 보여주고

있다. 각각의 경우 MPR은 4개가 선택이 되었지만 도달할 수 있는 2홉 노드의 수가 다름을 확인할 수 있다.

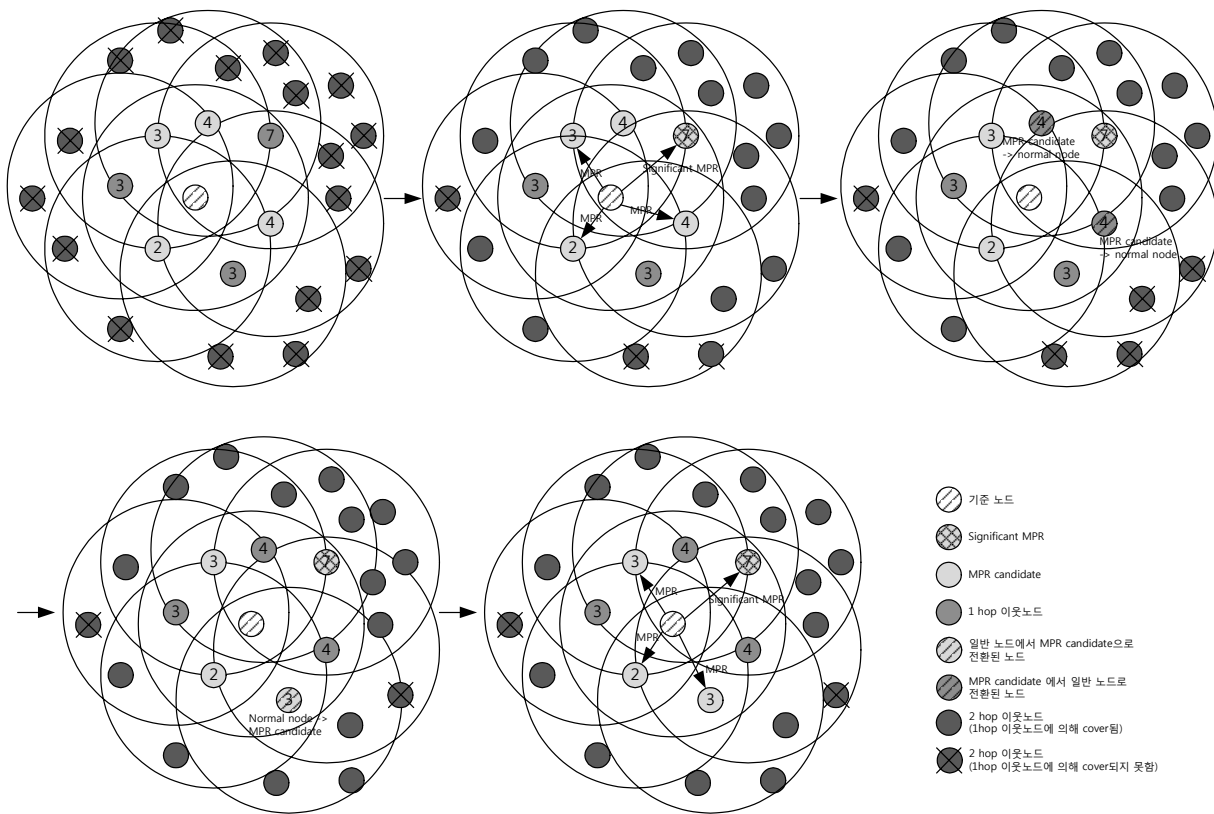
IV. 성능 평가

본 논문에서 제안한 S-MPR의 성능을 평가하기 위해 OPNET을 이용한 시뮬레이션을 수행하였다. MAC 계층 프로토콜로 OPNET에서 제공되는 IEEE 802.11g를 사용하였으며 전송률은 54Mbps로 설정하였다. 제안 방법의 성능 향상 정도를 알아보기 위해 제안 S-MPR 방법과 OLSR 기본 MPR 선택 방법, MPR 후보 선택 방법[6]을 비교하였다. 세 가지 방법 모두 Hello 메시지 전송 주기는 2초 이고 TC 메시지 전송 주기는 6초이다. 네트워크의 규모에 따른 MPR의 수를 알아보기 위해 격자(grid) 토폴로지에서 시뮬레이션을 수행하였으며 노드의 수는 16, 25, 36, 49, 64, 81, 100 개로 설정하였다. 각 노드의 전송범위는 100m이며 노드간의 거리는 90m이다. 전체 노드의 1/4개의 노드가 임의의 목적지 노드에게 CBR(Constant Bit Rate) 트래픽을 전송하며 CBR 트래픽의 전송률은 2.5Mbps 이다.

그림 4는 각 MPR 선택 방법을 적용했을 때 MPR로 선택되는 노드의 수를 나타낸다. 기존 OLSR의 경우 대부분의 노드가 MPR로 선택되어 MPR의 수가 상대적으로 많은 것을 알 수 있다. 제안 S-MPR 선택 방법과 MPR 후보 선택 방법은 기존 OLSR의 MPR 수에



(a) MPR 후보 노드 집합을 이용한 MPR 선택^[6] 예
 (a) An example of MPR selection using MPR candidate node set^[6]



(b) 제안하는 S-MPR을 포함한 MPR 선택 예
 (b) An example of MPR selection with the proposed S-MPR

그림 3. MPR 후보 노드 집합을 이용한 선택 방법과 제안하는 S-MPR을 포함한 MPR 선택 방법의 예
 Fig. 3. An example of MPR selection using MPR candidate node set and the proposed S-MPR

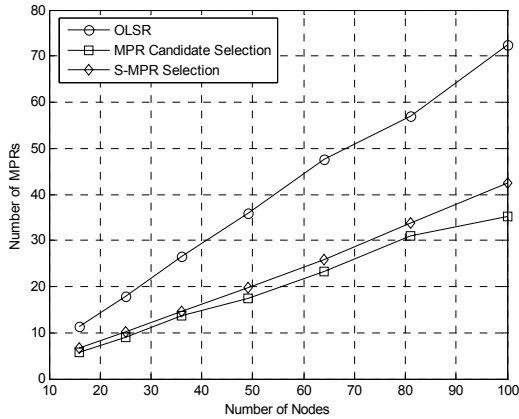


그림 4. MPR로 선택된 노드의 수 (격자 토폴로지)
Fig. 4. The number of nodes selected as MPR (grid network topology)

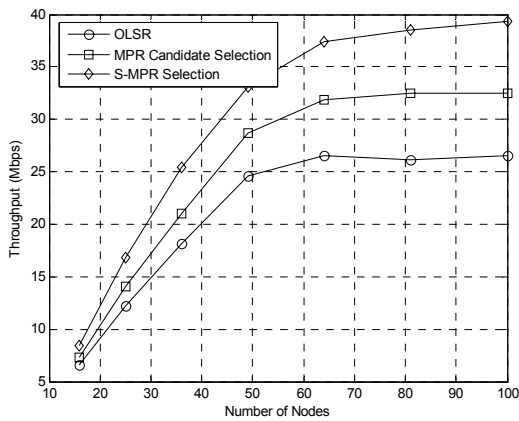


그림 5. 처리율 (격자 토폴로지)
Fig. 5. Throughput (grid network topology)

비해 약 60% 정도의 MPR이 선택되었으며 이로 인해 TC 메시지를 전송하는 노드의 수가 감소하게 되어 TC 메시지로 인한 성능 저하를 막을 수 있다. 또한 MPR로 선택된 노드들만 경로에 포함되기 때문에 경로 상에 포함될 수 있는 노드의 수가 감소하여 실제 데이터 전송시 채널 경쟁을 감소시켜 네트워크 전체의 성능이 향상될 수 있다.

제안 S-MPR과 기존 MPR 후보 선택 방법을 비교했을 때 기존 MPR 후보 선택 방법이 MPR의 수가 약간 더 적은 것을 확인할 수 있는데 이는 기존 MPR 후보 선택 방법에 비해 S-MPR 방법에서 꼭 필요한 MPR을 무조건 선택하도록 했기 때문이다.

그림 5에서 각 MPR 선택방법을 사용했을 때의 처리율 성능을 나타내었다. OLSR의 경우 약 27Mbps 정도에서 최대 처리율을 보이며 MPR 후보 선택 방법은 약 32Mbps에서 최대 처리율을 나타낸다. 제안 S-MPR 방법은 최대 약 39Mbps의 처리율 성능을 보

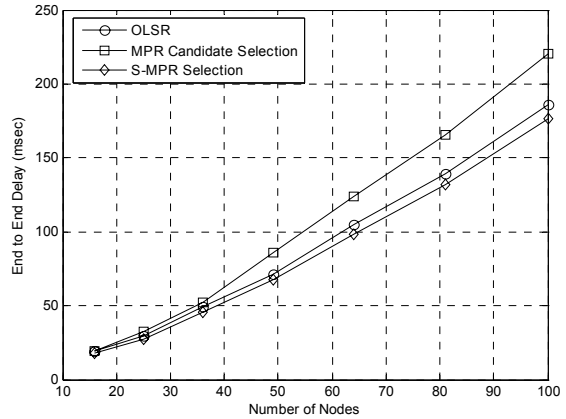


그림 6. End to end 지연 시간 (격자 토폴로지)
Fig. 6. End to end delay (grid network topology)

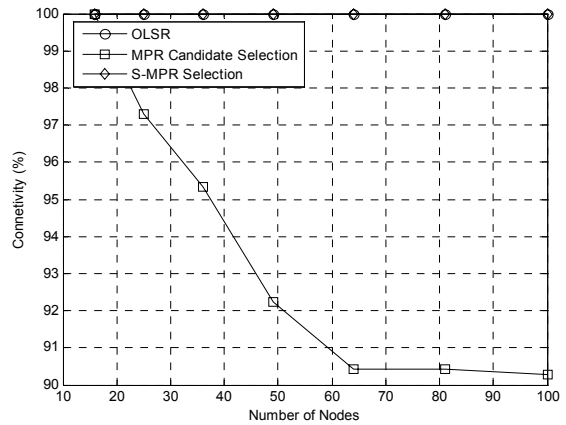


그림 7. 연결성 (격자 토폴로지)
Fig. 7. Connectivity (grid network topology)

이며 이는 MPR 선택 효율성이 향상되었고 TC 메시지로 인한 오버헤드가 감소한 결과이다. MPR 후보 선택 방법에 비해 약간 많은 MPR을 선택했음에도 불구하고 높은 처리율을 보이는 이유는 MPR 후보 선택 방법에 비해 효율적인 MPR을 선택하였기 때문에 라우팅 경로가 짧아지게 되어 처리율 성능이 향상된 것으로 볼 수 있다. 기존 OLSR의 경우 경로 효율성은 뛰어나지만 MPR의 수가 많아짐으로써 TC 메시지로 인한 오버헤드가 커지고 MPR간의 채널 경쟁이 심하여 처리율 성능이 저하된다.

그림 6은 지연 시간 성능을 나타내는 결과 그래프로서, OLSR이 가장 큰 지연 시간을 보이며 제안 S-MPR과 MPR 후보 선택 방법이 유사한 성능을 보이나 제안 S-MPR 방식이 조금 더 좋은 성능을 보인다. 제안 S-MPR과 MPR 후보 선택 방법은 노드수가 100개 일때 각각 약 170ms, 180ms의 지연 시간을 보이며 OLSR은 약 220ms의 지연 시간을 보인다. 이는

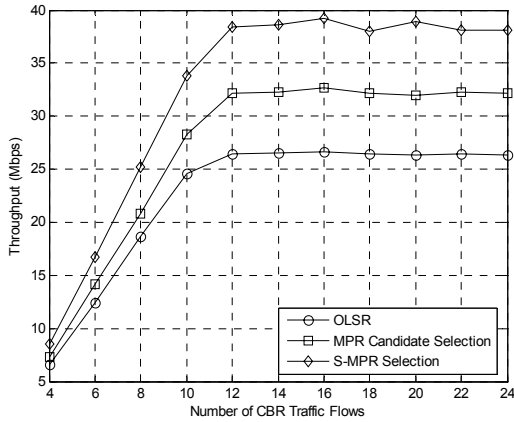


그림 8. 처리율 (랜덤 토폴로지)
Fig. 8. Throughput (random network topology)

제안 S-MPR의 경우 MPR 선택 효율성이 향상되었고 TC 메시지로 인한 오버헤드가 감소한 결과이다. MPR 후보 선택 방법에 비해 약간 많은 MPR을 선택했음에도 불구하고 낮은 지연 시간을 보이는 이유는 MPR 후보 선택 방법에 비해 효율적인 MPR을 선택하였기 때문에 라우팅 경로가 짧아지게 되어 지연 시간 성능이 향상된 것으로 볼 수 있다. 기존 OLSR의 경우 경로 효율성은 뛰어나지만 MPR의 수가 많아짐으로써 TC 메시지로 인한 오버헤드가 커지고 MPR간의 채널 경쟁이 심하여 지연 시간이 커지게 된다.

그림 7에서는 경로의 존재 유무를 비율로 나타낸 연결성 성능을 알아보았다. 제안 S-MPR 방법과 OLSR의 경우 100%의 연결성을 보이는 반면 MPR 후보 선택의 경우 노드수가 100개 일 때 약 90%의 연결성을 갖는다. 이는 전체 네트워크의 90%의 노드에 게만 경로가 형성되고 나머지 노드에게는 경로가 형성되지 않아 데이터를 전송할 수 없다는 의미로써 MPR 후보 선택 시 주변 MPR 후보의 비율만을 반영하여 확률적으로 선택하였기 때문에 반드시 필요한 MPR을 MPR로 선택하지 못하여 연결성이 떨어지게 된다. 제안 S-MPR에서는 적어도 하나의 노드는 항상 MPR로 선택하기 때문에 이러한 연결성 저하 문제가 발생하지 않는다.

그리고 랜덤한 토폴로지에서 제안 S-MPR의 전송 성능을 알아보기 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 500mX500m의 시뮬레이션 공간에 100개의 노드를 랜덤하게 배치하고 CBR 트래픽의 수를 늘려가면서 처리율, 지연시간 성능을 알아보았다. 그림 8을 보면 OLSR의 경우 CBR 트래픽의 수가 12개 이상일 때 약 27Mbps 정도에서 최대 처리율을 보이며 MPR 후

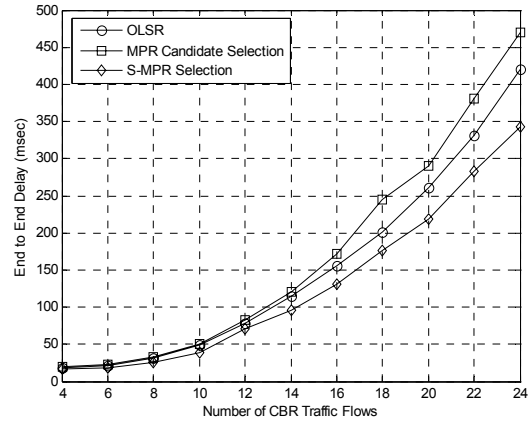


그림 9. End to end 지연 시간 (랜덤 토폴로지)
Fig. 9. End to end delay (random network topology)

보 선택 방법은 약 32Mbps에서 최대 처리율을 나타낸다. 제안 S-MPR 방법은 최대 약 39Mbps의 처리율 성능을 보이며 이는 MPR 선택 효율성이 향상되었고 TC 메시지로 인한 오버헤드가 감소했기 때문이다.

그림 9는 랜덤 토폴로지에서의 지연시간 성능을 나타낸다. 랜덤 토폴로지 상에서는 격자 토폴로지에 비해 평균적인 경로길이가 짧기 때문에 트래픽의 수가 적을 때에는 적은 지연시간을 보인다. 하지만 최대 처리율을 보이는 트래픽 12개 이상의 상황에서는 지연 시간이 급격하게 증가하는 특성을 보인다. 그림 9를 통해 제안 S-MPR 방식이 가장 좋은 성능을 보이는 것을 확인할 수 있으며 이는 MPR 선택 효율성이 향상되었고 TC 메시지로 인한 오버헤드가 감소한 결과이다.

V. 결 론

본 논문에서는 OLSR의 MPR 선택방법을 개선함으로써 애드혹 네트워크의 처리율, 지연 시간 등의 성능을 향상시킬 수 있는 S-MPR 선택 방법을 제안하였다. S-MPR 선택 방법은 기존 OLSR에 비해 적은 수의 MPR을 선택하면서도 경로의 효율성을 저하시키지 않도록 하는 방법이다. 기존에 제안되었던 MPR 후보 선택 방법은 MPR의 수는 감소시킬 수 있지만 그로 인해 경로의 효율성과 네트워크의 연결성이 떨어지는 문제를 갖고 있었다. S-MPR 방법에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 각 노드 입장에서 가장 중요한 노드 하나를 S-MPR로 선택하고 나머지 MPR은 MPR 후보 노드들 중에서 선택하는 방법을 사용한다. 따라서 제안 방법은 경로 효율성의 저하를 최소화하면서 MPR로 선택되는 노드

의 수를 줄임으로써 TC 메시지로 인한 오버헤드를 최소화하고 MPR간의 충돌을 감소시킴으로써 처리율, 지연 시간 성능을 향상시킬 수 있다. 본 논문에서 제안한 S-MPR의 성능을 알아보기 위해 OPNET을 활용하여 시뮬레이션을 수행하였으며 제안 S-MPR의 성능이 가장 우수함을 보였다.

References

[1] C.-Y. Oh, J. Park, J. Ahn, M. Lee, T.-J. Lee, W. Cha, and P. S. Mah, "Tree-based Multicast Protocol Using Multi-point Relays for Mobile Ad Hoc Networks," in *Proc. of ICUFN*, pp. 174-178, Jun. 2011.

[2] L. Viennot, "Complexity Results on Election of Multipoint Relays in Wireless Networks," *INRIA Technical Report Research Report 3898*, 1998.

[3] T. Clausen, and P. Jacquet, "Optimized Link State Routing Protocol," IETF RFC 3626, Oct. 2003.

[4] K. Yamada, T. Itokawa, T. Kitasuka, and M. Aritsugi, "Cooperative MPR Selection to Reduce Topology Control Packets in OLSR," in *Proc. of IEEE Region 10 Conference*, pp. 293-298, Nov. 2010.

[5] Y. Bai, Y. Liu, and D. Yuan, "An Optimized Method for Minimum MPRs Selection Based on Node Density," in *Proc. of WiCOM*, pp. 1-4, Sep. 2010.

[6] H.-W. Cho, J.-M. Chung, M. Seo, J. Park, J. Ahn, B. Choi, and T.-J. Lee, "Dynamic Multipoint Relay Candidate Selection for Broadcast Data Aggregation in Mobile Ad-Hoc Networks," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E94-B, no. 9, pp. 2629-2633, Sep. 2011.

[7] A. Busson, N. Mitton, and E. Fleury, "Analysis of the Multi-Point Relays selection in OLSR and Implications," in *Proc. of Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop*, pp. 387-396, Jun. 2005.

[8] S. Javed, Furqan-ul-Islam, and A. A. Pirzada, "Performance Analysis of OLSR Protocol in a Mobile Ad Hoc Wireless Network," in *Proc. of International Conference on*

Computer Control and Communication, pp. 1-5, Feb. 2009.

[9] P. Jacquet, A. Laouiti, P. Minet, and L. Viennot, "Performance analysis of OLSR Multipoint Relay Flooding in Two Ad Hoc Wireless Network Models," *INRIA Technical Report Research Report 4260*, Sep. 2001.

[10] O. Liang, Y. A. Sekercioglu, and N. Mami, "A Survey of Multipoint Relay Based Broadcast Schemes in Wireless Ad Hoc Networks," *IEEE Commun. Surv. & Tutor.*, vol. 8, no. 4, pp. 30-46, 2006.

박종호 (Jongho Park)



2004년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 졸업 (학사)
 2006년 2월 성균관대학교 전자전기공학과 졸업 (석사)
 2006년 3월~현재 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야> 통신 네트워크 성능 분석 및 설계, 무선 LAN/PAN, ad-hoc/센서/RFID 네트워크

오창영 (Chang-Yeong Oh)



2008년 2월 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부 졸업 (학사)
 2010년 2월 성균관대학교 휴대폰학과 졸업 (석사)
 2010년 3월~현재 성균관대학교 휴대폰학과 박사과정

<관심분야> 협력통신, 램프셀, 무선 LAN, ad-hoc 네트워크

안 지 형 (Ji Hyoung Ahn)



2010년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 졸업 (학사)
2012년 2월 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 졸업 (석사)
2012년 3월~현재 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야> 통신 네트워크 성능 분석 및 설계, 무선 LAN/PAN, ad-hoc/센서 네트워크

이 태 진 (Tae-Jin Lee)



1989년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업 (학사)
1991년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업 (석사)
1995년 12월 University of Michigan, Ann Arbor, EECS (M.S.E.)

1999년 5월 University of Texas, Austin, ECE (Ph.D.)

1999년 5월~2001년 2월 삼성전자 중앙연구소 책임 연구원

2001년 3월~현재 성균관대학교 정보통신공학부 부교수

<관심분야> 통신 네트워크 성능 분석 및 설계, 무선 LAN/PAN/MAN, ad-hoc/센서/RFID 네트워크, 무선 통신 시스템

서 명 환 (Myunghwan Seo)



2002년 2월 충남대학교 정보통신공학과 졸업 (학사)
2004년 2월 한국과학기술원 전자공학과 졸업 (석사)
2009년 2월 한국과학기술원 전자공학과 졸업 (박사)
2009년 1월~현재 삼성탈레스

전문연구원
<관심분야> Mobile Ad-hoc Network, Wireless Mesh Network, Network Synchronization, Military Wireless Communications

조 형 원 (Hyung-Weon Cho)



1992년 2월 광운대학교 전자재료공학과 졸업 (학사)
1994년 2월 광운대학교 전자재료공학과 졸업 (석사)
2012년 2월 연세대학교 전기전자공학과 졸업 (박사)
1997년 7월~현재 삼성탈레스

수석연구원
<관심분야> Military Communications, 통신 시스템 및 네트워크 설계 및 최적화