

논문 2011-6-5

재난현장에서 신속한 애드혹 백본망 형성과 통신권역 최적화를 위한 중계장치 배치기법

A Scheme of Relay Device Deployment for Rapid Formed the Ad hoc Backbone Network and Optimization of Communication Coverage in Disaster Scene

이순화*, 윤재선**, 김장복***, 임승각****

Soon-Hwa Lee, Jae-Sun Yoon, Chang-Bock Kim, Seung-Gag Lim

요약 재난현장에서 신속한 애드혹 무선 백본망을 형성하기 위해서는 사전계획 없이 초동 대응요원들에 의하여 무선 애드혹 중계장치를 실시간으로 배치하는 기법이 필요하다. 그러나 이를 실현하기 위해서는 중계장치의 중복배치 최소화뿐만 아니라 통신권역 확장을 위한 중계장치의 최적 위치를 선정할 수 있어야 한다. 따라서 본 논문에서는 통신권역을 최적화하기 위한 새로운 중계장치 배치기법을 제안하고 모의실험을 통하여 알고리즘의 성능이 향상되었음을 보였다.

Abstract For rapid formed the ad hoc wireless backbone network in disaster scene, It is necessary for real-time deployment scheme of wireless ad hoc relay devices by first responders without pre-planning. However, in order to realize this scheme, redundant deployment should be minimized, as well as optimal location of relay devices should be selected to expand communication coverage. Therefore, in this paper, we propose a new deployment scheme of relay devices to optimize communication coverage and then through simulations showed that improved performance of algorithm.

Key Words : Ad hoc, PPDR, Relay Device Deployment

1. 서 론

재난현장과 같은 긴급한 상황에서 효과적인 재난대응을 펼치기 위해서는 신뢰성과 생존성이 높은 재난통신망을 요구하고 있다. 특히 무선통신망 인프라가 없는 재난현장에서 비상통신망 구성을 위해서는 신뢰성과 생존성

이 높은 애드혹(ad hoc)적용이 가장 합리적이라는 평가를 받고 있다^{[1][6][7]}. 애드혹망의 신뢰성과 생존성을 강화하기 위해서는 무엇보다도 노드간 심리스(seamless)한 연결성이 중요하며 전송 경로상에 이웃 노드들이 많이 산재되어 있어야 한다^{[1][4]}. 그러나 애드혹 네트워크는 고정된 중계장치가 없으므로 네트워크 경로 상태와 이웃노드들이 자주 변경되는 특성이 있다. 이로 인해 재난현장에서는 ‘지휘관↔현장대응요원’, ‘현장대응요원↔현장대응요원’간 트래픽 전송경로의 연결성이 저하되어 신뢰성을 유지하는데 어려움이 있다^[5].

이와 같은 문제점을 개선하기 위하여 美 국토안보부

*정회원, 행정안전부 재난안전통신망구축기획단

**준회원, 공주대학교 정보통신공학과

***정회원, 홍익대학교 전자전기공학부

****정회원, 공주대학교 정보통신공학부(교신저자)

접수일자 2011.9.28, 수정완료 2011.10.27

게재확정일자 2011.12.16

에서는 애드혹의 연결성을 안정적으로 유지할 수 있도록 고정형 중계장치(relay device)를 실시간으로 배치하여 애드혹 백본 토폴로지(topology)를 형성하는 것을 권고하고 있다. 그림 1은 지휘본부(command center)를 기준으로 애드혹 백본 형성의 예를 보인다^{[1][2][3]}.

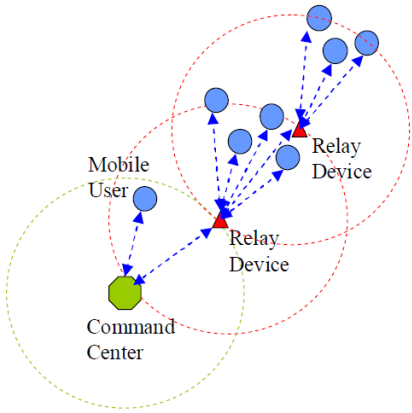


그림 1. 재난사고현장에서 애드혹 중계장치 백본
Fig. 1. Ad-hoc relay node backbone at disaster incident scene

애드혹 백본 토폴로지를 형성하기 위하여 실시간 중계장치 배치를 초동대응요원들의 판단에만 의존한다는 것은 비효율적이다. 예컨대 화재진압 혹은 인명구조와 같은 긴박한 재난대응에 최우선순위가 있는 초동대응요원에게 중계장치를 최적위치에 배치를 기대한다는 것은 현실상 무리일 것이다. 한편 사전 배치 계획을 수립하여 초동대응요원들에게 이를 준수하도록 하는 방안도 고려해 볼 수 있으나 예측 불가능한 재난진행 특성을 감안한다면 현실성이 없는 방안이다.

따라서 본 논문에서는 무선통신망 인프라가 없는 재난현장에서 초동대응요원들이 사전 중계장치 배치 계획 없이 실시간으로 애드혹 백본망을 형성하며 통신권역 최적화도 함께 기대할 수 있는 배치 알고리즘을 제안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 실시간 중계장치 배치와 관련된 기존 연구들에 대하여 논하고, III장에서는 본 논문에서 제안하는 새로운 배치 알고리즘에 대하여 논하며, IV장에서는 제안 알고리즘의 성능평가와 분석을 한 후, V장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 관련연구

1. 링크품질 임계값 비교 알고리즘

가장 간단한 알고리즘으로 애드혹에 참여하는 이웃노드들의 품질을 측정하여 정해진 임계값 이하의 링크품질이 측정되었을 때마다 중계장치를 배치하는 알고리즘을 고려해볼 수 있다^[1].

링크품질 임계값 비교 알고리즘은 모든 이웃노드의 링크품질을 측정하는 제1안, 클러스터(중계장치별 단위 통신권역)내에 있는 이웃노드들의 링크품질만을 측정하는 제2안의 알고리즘으로 구분하며 각 방안이 가지는 한계점은 다음과 같다.

제1안의 경우 모든 이웃노드들을 대상으로 링크 품질을 측정하므로 알고리즘이 매우 단순하고 구현이 가장 용이하다. 그러나 클러스터를 구분하지 않으므로 그림 2와 같은 ‘고립된 클러스터 문제’가 발생할 수 있다^[1].

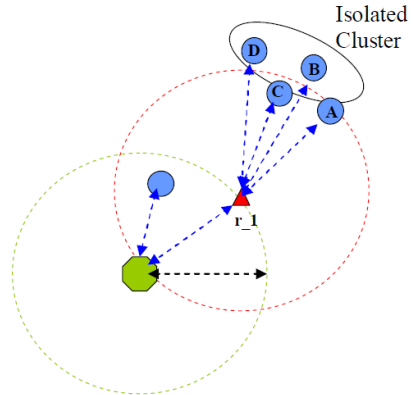


그림 2. 고립된 클러스터 문제
Fig. 2. Isolated cluster problem

그림 2에서 보이는바와 같이 중계장치 ‘r₁’의 클러스터 영역 내에 인접해 있는 이동노드 A, C는 백본과의 연결성이 유지된다. 하지만 ‘r₁’의 클러스터 영역밖에 있는 이동노드 B, D는 자신이 백본과의 연결성을 잃고 있는지를 알 수 없다. 왜냐하면 이동노드 B, D는 이동노드 A, C로 인하여 강한 링크품질이 측정될 수 있기 때문에 클러스터 영역 내에 인접한 것으로 오판하여 중계장치 배치 결정을 하지 않기 때문이다. 이와 같은 현상이 지속될 경우 이동노드 B, D는 ‘고립된 클러스터 문제’로 인하여 애드혹 백본과의 연결성을 잃어버리고 만다^[1].

제2안의 경우 클러스터 내에 있는 이웃노드들만이 링크품질을 측정하므로 제1안의 문제인 ‘고립된 클러스터 문제’를 해결(B, D를 링크품질 측정 대상에 제외)할 수 있는 장점이 있다. 그러나 그림 3과 같은 이웃노드들로부터 상호협조가 부족한 문제와 그림 4와 같은 중계장치의 중복배치 문제가 발생할 수 있다^[1].

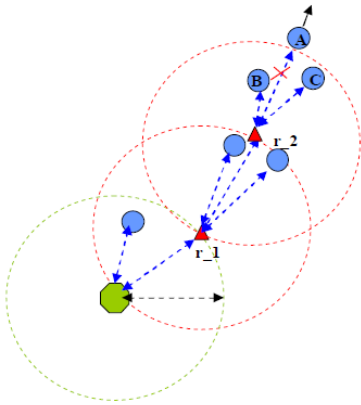


그림 3. 상호 도움의 결핍 문제
Fig. 3. Lack of mutual help problem

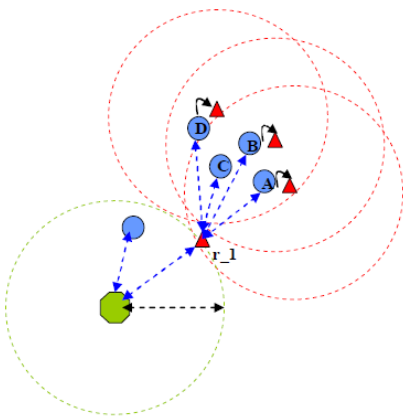


그림 4. 중계장치의 중복배치 문제
Fig. 4. Redundant deployment problem of relay devices

그림 3은 배치할 수 있는 중계장치를 보유하고 있지 않은 이동노드 A가 당초 ‘r_2’ 클러스터 영역에 있다가 점점 멀리 이동하여 영역 밖으로 위치되고, 이때 ‘r_2’ 클러스터 영역에 있는 이동노드 B, C는 배치할 수 있는 여분의 중계기가 있다고 가정한 상황이다. 이 경우 이동노

드 B, C는 배치할 수 있는 중계장치가 없는 이동노드 A를 위해 이동노드 B, C가 보유하고 있는 중계장치를 대신 배치해 주는 등의 도움을 줄 수 없다^[1]. 왜냐하면 이동노드 A가 ‘r_2’ 클러스터 영역에 속해 있지 않을 뿐만 아니라, 링크품질 정보만을 공유하므로 상대측의 중계장치 보유 및 여분수를 확인할 수 있는 제어 메시지가 없는 ‘링크품질 임계값 비교 알고리즘’ 자체 특성 때문이다.

그림 4는 배치할 수 있는 중계장치를 보유한 이동노드 A, B, C, D는 서로 밀접하게 근접되어 있고 중계장치 ‘r_1’의 클러스터 영역에 있다가 점점 멀리 이동한다고 가정한 상황이다^[1]. 이러한 가정에서는 모든 이동노드에서 거의 동시에 ‘r_1’의 신호 강도가 매우 약하게 검출될 수 있으므로 중계장치가 중복 배치될 확률이 높다. 물론 물리적으로 모든 이동노드가 같은 시간에 정확히 배치될 수는 없겠지만 새로운 중계장치의 배치시간과 이웃노드들에 의한 중계장치 발견시간 사이에는 전형적인 지연이 발생한다. 따라서 이와 같은 상황에서는 중계장치 중복배치가 충분히 발생될 수 있다.

2. 협력적 중계장치 배치 알고리즘

Bao와 Lee는 ‘링크품질 임계값 비교 알고리즘’의 문제인 ‘고립된 클러스터’, ‘상호 도움의 결핍’, ‘중계장치의 중복배치’ 문제들을 해결하기 위하여 링크품질 임계값 비교 알고리즘의 제2안에 추가적으로 그림 5와 같이 배치 제어 메시지를 정의하고 이를 통해 이웃노드간 링크품질 및 다양한 배치 정보를 통지하거나 공유하도록 하였다^[1].

Header	Requesting Mobile ID	# of Mobile Device Neighbors of Requesting Mobile	Sequence Number
--------	----------------------	---	-----------------

[DEP_REQ]

Header	Announcing Mobile ID	Requesting Mobile ID
--------	----------------------	----------------------

[DEP_ANN]

그림 5. 배치 제어 메시지
Fig. 5. Deployment control messages

‘DEP_REQ’ 메시지는 ‘고립된 클러스터’ 및 ‘상호 도움의 결핍’ 문제를 해결할 수 있는 배치 제어 정보로서 링크품질이 임계값 이하로 떨어질 때, 중계장치 배치를 이웃노드들에게 요청하는 기능을 담당한다^[1].

'DEP_ANN' 메시지는 '중계장치의 중복배치' 문제를 해결할 수 있는 배치 제어 정보로서 중계장치 배치를 결정하고 그 사실을 이웃들에게 알리는 기능을 담당한다^[1].

그림 6은 배치 제어 메시지 'DEP_REQ'와 'DEP_ANN'를 이용하여 중계장치의 배치를 결정하는 '협력적 중계장치 배치 알고리즘'의 수행절차이다.

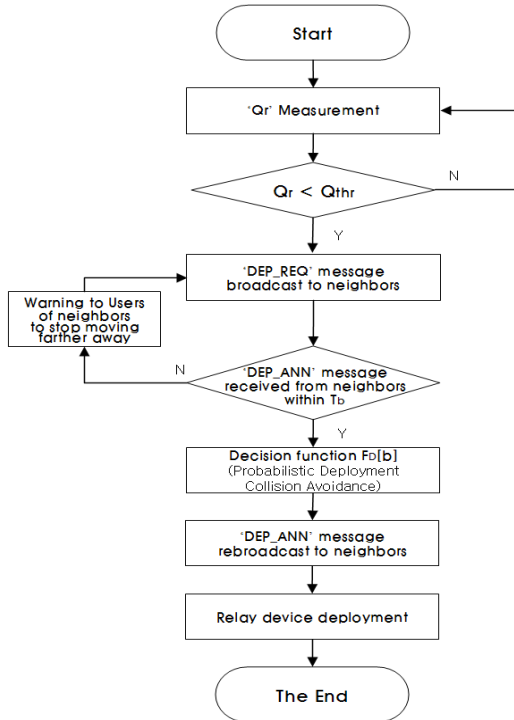


그림 6. 협력적 중계장치 배치 알고리즘 절차도
Fig. 6. Procedures of collaborative deployment algorithm

먼저 이동노드는 '수신링크품질(Q_r)'을 지속적으로 측정하다가, 정해진 '임계값(Q_{thr})' 이하의 링크품질이 측정된다면 이웃노드들에게 'DEP_REQ' 메시지를 방송(broadcast)한다. 만일 'DEP_ANN' 메시지가 사전에 규정한 '타임아웃 주기(T_b)' 이내로 수신되지 못한다면 애드혹 백본과의 연결을 잃어버릴 수 있다고 판단하고 이웃에 있는 초동대응요원들에게 더 멀리 이동하지 말 것을 경고한다. 이와 반대로 이웃노드들로부터 T_b 까지 이웃들의 응답인 'DEP_ANN' 메시지를 수신하면 식 (1)의 '확률적 배치 결정 함수(F_D[b])'에 따라 중계장치를 배치할 이웃노드를 결정한 뒤 그 결과를 'DEP_ANN' 메시지

를 재방송하여 중계장치를 배치하도록 요청한다.

F_D[b]의 역할은 다음과 같다. 이동노드들이 'DEP_REQ' 메시지를 방송하면 여러 이웃노드들은 거의 같은 시간에 동일한 메시지를 수신하게 된다. 이때 이웃노드들 중 아직 배치되지 않은 여분의 중계장치가 있을 경우에 중복되어 배치될 수 있다(이를 '배치 충돌'이라고 정의). 이와 같은 배치 충돌의 가능성을 최소화하고자 이웃들이 응답해온 'DEP_ANN' 공유 정보를 바탕으로 식 (1)의 F_D[b] 함수의 결과에 따라 중계장치 배치를 결정한다.

$$F_D[b] = \min\left\{\frac{R(t)2^b}{R_0N}, 1\right\}, \text{ for } b=0,1,\dots,K \quad (1)$$

'b'는 백오프 사이클 수이고, 'R(t)'는 'DEP_REQ'를 수신 받은 시점인 't'에서 호스트 모바일 사용자가 보유하고 있는 중계장치 수이며, 'R₀'는 호스트 모바일 사용자가 최초 보유하고 있었던 중계장치 수를 나타낸다. 또한 'K'는 최대 백오프 사이클 수이고, 'N'은 중계장치 배치를 요청한 노드의 전체 이웃 수이다. 확률적인 결정에 따른 배치가 아니라면 'b'는 '1'씩 증가하고 'T_b' 후에 다음의 사이클에서 계산되며 정합된 'DEP_ANN' 메시지를 수신 받지 못한다. 만약 정합된 'DEP_ANN' 메시지를 수신한다면 절차를 종료한다. 'K' 사이클 수까지 확률적 결정으로 배치되지 않을 경우에 확률 '1'로 정하여 적어도 하나의 중계장치를 배치할 것을 보장한다. 단, 자신이 배치할 수 있는 여분의 중계장치를 보유하고 있어야 한다^[1].

III. 제안하는 중계장치 배치 알고리즘

1. 기존 협력적 중계장치 배치 알고리즘 한계

Bao와 Lee는 '배치 제어 메시지'와 F_D[b] 함수를 통해 '고립된 클러스터', '상호 도움의 결핍', '중계장치의 중복 배치' 문제를 개선할 수 있는 배치 알고리즘을 제시하였으나 통신권역의 확장성을 보장하지 않는 한계가 있다.

즉, Bao와 Lee의 F_D[b] 함수는 배치 결정에 중계장치의 초기 보유수대 실제 보유수의 비율과 이웃노드들의 전체수를 고려하여 중계장치를 배치할 응답노드를 결정하므로 최대한 넓은 지역을 통신권역으로 확보할 수 있는 위치에 중계장치를 배치하는 것을 보장할 수 없다는 의미이다. 따라서 본 논문에서는 통신권역 확장성을 보

장하기 위하여 Bao와 Lee의 $F_D[b]$ 함수에 거리 팩터(factor)를 추가한 $F_D[b]'$ 함수를 수정 제안한다.

2. 제안하는 확률적 배치 충돌 회피 함수

본 논문에서 수정 제안한 $F_D[b]'$ 는 Bao와 Lee가 제안한 $F_D[b]$ 함수에 통신권역 확장성을 보장하기 위하여 '거리 팩터(D)'를 추가 고려하는 것이 큰 차이점이며 식(2)와 같다.

$$F_D[b]' = \min \left\{ \frac{D_n}{D_r} \frac{R(t)2^b}{R_0N}, 1 \right\}, \text{ for } b=0,1,\dots,K \quad (2)$$

무선 애드혹 환경에서는 전파 도달거리의 한계로 인하여 이웃노드와의 거리가 가까울수록 트래픽 성능이 높다. 따라서 최적화된 중계장치 배치 위치는 기 배치된 중계장치와 가장 멀리 떨어져 있는 이웃노드를 선택하는 것이 합리적이다. 따라서 $F_D[b]'$ 함수에 적용한 거리 팩터를 ' D_n/D_r '로 정의한다. ' D_n '은 중계장치 배치를 요청하는 노드와 응답한 이웃노드간 거리를 의미하며 ' D_r '은 응답한 이웃노드와 기 배치된 중계장치(응답한 이웃노드의 클러스터 영역을 형성하는 중계장치)간 거리를 의미한다.

거리 팩터를 고려한 $F_D[b]'$ 함수는 기존 Bao와 Lee의 $F_D[b]$ 함수보다 통신권역 확장성의 성능 개선을 기대할 수 있다.

IV. 모의실험 및 성능평가

1. 모의실험의 가정 및 조건

본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위한 기본적인 환경적 시나리오는 그림 7과 같으며 모의실험의 가정 및 조건에 대한 세부 정의는 다음과 같다.

초동대응요원들은 지휘부(command center)를 시발점으로 하여 X와 Y의 두개의 방향 중 하나의 양(positive) 방향으로만 진행하며 'D meters'는 하나의 클러스터가 갖는 최대 전파도달거리로서 '50 m'로 정의하되 전파의 가시경로에 장애물은 없다고 가정한다. 초동대응요원은 총 30명으로 초기 보유한 중계장치 수는 2개이고 이동속도의 평균값은 '1.39 m/s(5km/h)'의 정규확률분포를 갖

되 표준편차는 '0.283 m/s(1 km/h)'인 것으로 가정한다. 또한 배치 알고리즘은 애드혹 라우팅 알고리즘과는 독립적으로 운용되나 이웃노드들의 수와 같은 정보를 얻기 위해 상호작용 할 수 있으며 장치 식별자와 메시지 정보를 기반으로 하여 장치 유형(이동노드 혹은 중계장치)을 구분할 수 있다고 가정한다.

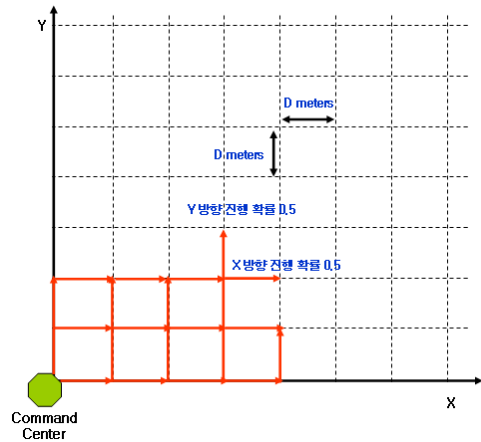


그림 7. 애드혹 중계장치 배치 시나리오
Fig. 7. A ad hoc relay deployment scenario

2. 초동대응요원이 모두 항상 이동 (경우 1)

경우 1은 초동대응요원들이 자신의 위치 상태를 유지하지 않고 매회 이동하는 것을 가정(stay=0)하는 경우로 이동성이 높은 환경이다.

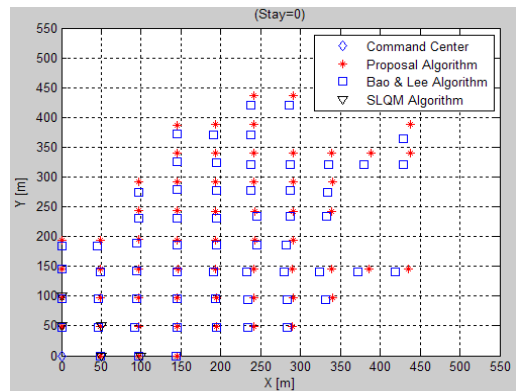


그림 8. 알고리즘별 중계장치 배치 좌표(stay=0)
Fig. 8. Deployment coordinates to each algorithm (stay=0)

그림 8은 'stay=0'일 경우에 알고리즘별 중계장치 배치 결과를 도식화한 것으로 좌표 값의 변화에서 볼 수 있는 바와 같이 다음의 두 가지를 확인할 수 있다.

첫째, '배치충돌회피 함수($F_D[b]$ 혹은 $F_D[b']$)' 기반인 'Proposal'과 'Bao & Lee' 알고리즘은 'SLQM(simple link quality measurement)' 알고리즘의 문제점인 중계장치 중복배치가 발생하지 않는다. 'Proposal'과 'Bao & Lee' 알고리즘은 중복배치 없이 '60'개의 중계장치를 배치하였으나 'SLQM' 알고리즘은 '5'개의 중계장치가 배치되었으므로 평균 한 지점에 '12'개의 중복이 발생되고 있음을 그림 8을 통해 알 수 있다. 또한 'SLQM'은 배치 제어메시지를 사용하지 않으므로 이웃노드에 '상호 도움' 요청이나 요구를 할 수 없다. 따라서 하나의 클러스터가 갖는 최대 전파 도달거리인 50m 단위로 중계장치가 배치되고 있음을 확인할 수 있다.

둘째, 'Proposal' 알고리즘은 'Bao & Lee' 알고리즘에 비해 중계장치 배치를 요구하는 이동 노드에 가장 근접한 이웃 노드를 선택할 수 있는 확률을 가짐으로써 통신권역이 확장되었음을 확인할 수 있다. 그림 9와 표 1은 통신권역의 확장성을 보다 정량화시킨 모의실험 결과이다.

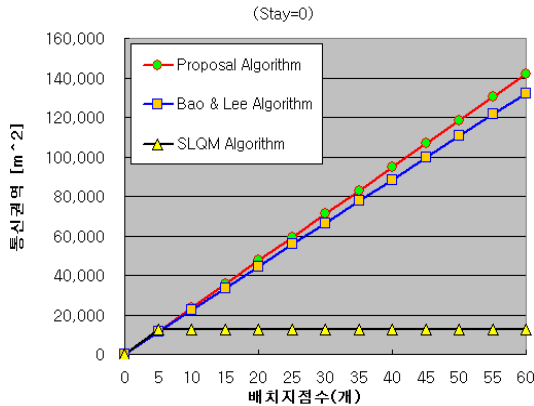


그림 9. 알고리즘별 통신권역(stay=0)
Fig. 9. Communication coverages to each algorithm (stay=0)

그림 9는 'stay=0'인 환경에서 중계장치가 개별적으로 배치되는 시점마다 통신권역의 변화를 도식화한 것이다. 특이한 점은 'SLQM' 알고리즘이 중계기 배치지점이 '5'개가 될 때 통화권역이 더 이상 증가되지 않고 수렴되는

현상을 보인다는 점이다. 이는 중계기 배치지점이 '5'개가 될 때, 배치할 수 있는 중계장치가 없기 때문이다. 이에 반하여 'Proposal'과 'Bao & Lee' 알고리즘은 '60'개의 중계장치를 '60'개의 지점에 중복 없이 배치하고 있다 ('60'개의 배치지점까지 통신권역의 변화가 수렴하지 않고 계속적으로 증가하고 있기 때문). 구체적인 통화권역의 수치 값은 표 1과 같다.

표 1. 알고리즘별 통신권역 수치 값(stay=0)
Table 1. Numerical values of communication coverages to each algorithm(stay=0)

배치 지점 수 (개)	통신 권역 (m ²)		
	Proposal	Bao & Lee	SLQM
5	11,763	11,413	12,500
10	23,659	22,414	12,500
15	35,455	33,376	12,500
20	47,512	44,651	12,500
25	59,404	55,980	12,500
30	71,046	66,441	12,500
35	82,937	77,607	12,500
40	94,735	88,192	12,500
45	106,580	99,625	12,500
50	118,532	110,549	12,500
55	130,350	121,411	12,500
60	141,976	135,057	12,500

표 1의 결과와 같이 'Proposal' 알고리즘은 통신권역 최적화 성능 관점에서 'Bao & Lee' 알고리즘 대비 '5.12%', 'SLQM' 알고리즘 대비 '1,035.81%'의 성능개선이 있음을 확인할 수 있다.

3. 초동대응요원의 절반은 이동, 절반은 유지 (경우 2)

경우 2는 초동대응요원들 중 이동자와 정지자가 혼재 (stay=0.5)된 환경으로 그림 10을 통하여 다음과 같은 결과를 확인할 수 있다.

이웃노드들과 거리 편차가 큰 'stay=0.5'의 환경에서 'Proposal' 알고리즘의 성능개선이 더욱 높다. 초동대응요원들이 단위 클러스터내에서 이동자와 정지자가 혼재된 'stay=0.5'의 환경은 모두 이동자인 'stay=0'보다 이웃노드들과의 거리 편차가 다소 클 것으로 기대할 수 있다.

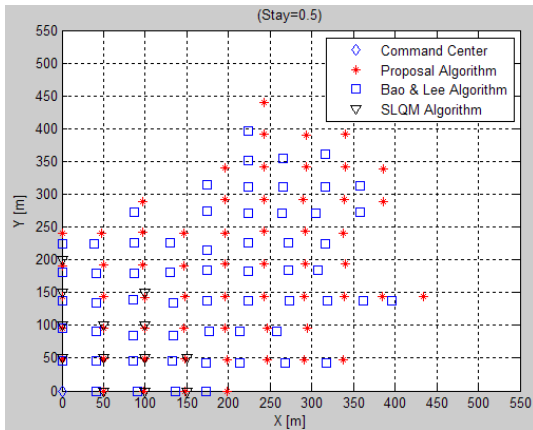


그림 10. 알고리즘별 중계장치 배치 좌표(stay=0.5)
Fig. 10. Deployment coordinates to each algorithm (stay=0.5)

‘Proposal’ 알고리즘은 거리 팩터로 인하여 ‘stay=0’인 환경보다 통신권역 확장 성능이 더욱 개선됨을 확인할 수 있다. 그림 11과 표 2는 통신권역의 확장성을 보다 정량화시킨 모의실험 결과이다.

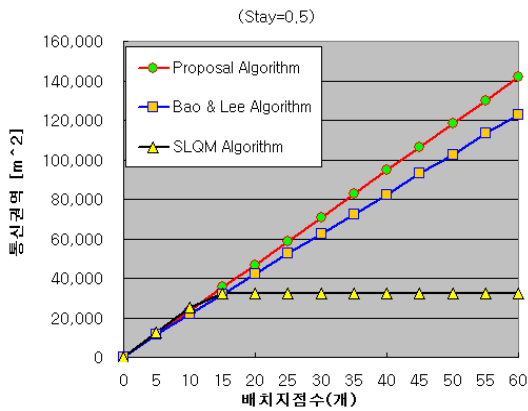


그림 11. 알고리즘별 통신권역(stay=0.5)
Fig. 11. Communication coverages to each algorithm (stay=0.5)

표 2의 결과와 같이 ‘Proposal’ 알고리즘은 통신권역 확장의 최적화 성능 관점에서 ‘Bao & Lee’ 알고리즘 대비 ‘15.35%’, ‘SLQM’ 알고리즘 대비 ‘335.98%’의 성능개선이 있음을 확인할 수 있다. 특히 ‘stay=0’인 환경에서 ‘Bao & Lee’ 알고리즘과의 성능차이는 약 ‘3배’ 만큼 개선됨을 확인할 수 있다.

표 2. 알고리즘별 통신권역 수치 값(stay=0.5)
Table 2. Numerical values of communication coverages to each algorithm (stay=0.5)

배치 지점 수 (개)	통신 권역 (m ²)		
	Proposal	Bao & Lee	SLQM
5	11,827	11,296	12,500
10	23,484	22,152	25,000
13	30,569	27,688	32,500
15	35,380	32,028	32,500
20	46,704	42,245	32,500
25	58,641	52,364	32,500
30	70,714	62,481	32,500
35	82,714	72,535	32,500
40	94,619	82,377	32,500
45	106,264	93,060	32,500
50	118,106	102,584	32,500
55	129,997	113,181	32,500
60	141,695	122,838	32,500

4. 이동성 환경(stay=0~1)의 변화에 따른 성능평가

그림 12는 이동성 환경변수인 ‘stay’의 확률 값을 변화시키면서 배치 알고리즘별 최대 통신권역을 측정하는 것이다.

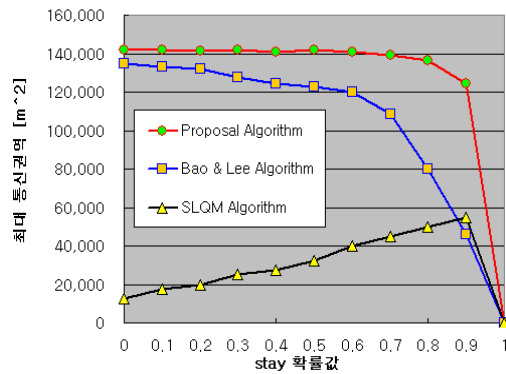


그림 12. 이동성 환경의 변화에 따른 최대 통신권역
Fig. 12. Maximum communication coverage based on mobility changes in the environment

그림 12에서 모든 배치 알고리즘은 ‘stay’ 확률 값이 ‘0’일 때 최대 통신권역도 ‘0’으로 수렴하는 결과를 보인다. 이는 모든 이동 단말이 이동하지 않고 자신의 상태를

유지하는 정지자만 존재하므로 통신권역 확장을 위한 중계장치 배치와 같은 사건(event)은 발생하지 않기 때문이다. 또한 'SLQM' 알고리즘은 'stay' 확률이 증가할수록 최대 통신권역도 함께 증가하고 있음을 확인할 수 있다. 이와 같은 결과는 'stay' 확률이 증가할수록 중계장치 배치를 요구하는 노드수도 줄어들게 되는 모의실험의 환경적 특성에 따른 성능변화 결과이다.

최대 통신권역의 성능변화 관점에서 'Proposal' 알고리즘은 'stay=0.7' 구간부터 점차 성능이 저하되다가 'stay=0.8' 구간부터 빠르게 성능이 저하되는 모습을 보인다. 이에 반하여 'Bao & Lee' 알고리즘은 'stay=0.0' 구간부터 점차 성능이 저하되다가 'stay=0.6' 구간부터 빠르게 성능이 저하되는 모습을 보인다. 이에 대한 구체적인 수치 값은 표 3을 통해 확인할 수 있다.

표 3. 알고리즘별 최대 통신권역 수치 값
Table 3. Numerical values of maximum communication coverages to each algorithm

'stay' 확률값	통신 권역 (m ²)		
	Proposal	Bao & Lee	SLQM
0.0	141,975	135,057	12,500
0.1	141,764	133,118	17,500
0.2	141,615	132,209	20,000
0.3	142,005	127,587	25,000
0.4	140,826	124,482	27,500
0.5	141,695	122,838	32,500
0.6	140,967	120,174	40,000
0.7	138,983	108,547	45,000
0.8	136,427	80,049	50,000
0.9	124,478	46,197	55,000
1.0	0	0	0

'Proposal' 알고리즘은 통신권역 최적화 관점에서 'Bao & Lee' 알고리즘 대비 '5.12~169.45%'('stay=0.0~0.9' 구간)의 성능개선이 있음을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 실시간 애드혹 중계장치 배치 기법인 'Bao & Lee' 알고리즘의 한계점을 분석하고 통신권역의 확장성을 개선하기 위하여 Bao와 Lee의 '배치충돌회피

함수'인 $F_D[b]$ 에 거리 팩터를 적용한 $F_D[b]'$ 를 새로이 제안 하였다. 새로이 제안한 배치 알고리즘은 거리 팩터로 인해 기존 'Bao & Lee' 알고리즘보다 통신권역이 '5.12~169.45%' 확장됨을 보였다. 특히 새로이 제안한 배치 알고리즘은 이동성 환경 변수인 'stay' 확률 값이 증가할수록 성능이 더욱 개선됨을 알 수 있으며, 이는 정지자의 비율이 높아지더라도 전체 알고리즘 성능저하가 'Bao & Lee' 알고리즘에 비해 크지 않다는 것을 의미한다.

실제 재난대응시 진압요원은 정지자인 형태로, 전개요원은 이동자인 형태인 현실을 고려할 때 새로이 제안한 배치 알고리즘은 'Bao & Lee' 알고리즘에 비해 모의실험이 아닌 실제 환경에서도 통신권역 최적화 성능이 높을 것으로 기대할 수 있다.

본 논문의 결과는 재난환경에 적합한 애드혹 라우팅 프로토콜의 기능 정의 및 설계를 하고자 하는 연구자들에게 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 본 논문에서는 중계장치 배치 알고리즘이 애드혹 라우팅 프로토콜과 독립적으로 운용하는 것으로 가정하여 연구하였으므로, 향후에는 기존 애드혹 라우팅 프로토콜과 애드혹 중계장치 배치 알고리즘을 통합한 종합성능에 관하여 연구해보고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] Bao, Lee, "Rapid Deployment of Wireless Ad Hoc Backbone Networks for Public Safety Incident Management", IEEE Conference on Global Telecommunications, Nov. 2007
- [2] Department of Homeland Security, "Public Safety Statement of Requirements for Communications and Interoperability", SAFECOM Program Ver 1.2, Vol I, Oct. 2006
- [3] Department of Homeland Security, "Public Safety Statement of Requirements for Communications and Interoperability", SAFECOM Program Ver 1.2, Vol II, Aug. 2008
- [4] Zhu, Fang, "Connectivity Enhancement Mechanism Based Adaptive Modulation for Mobile Ad Hoc Networks", IEEE Conference on Information, Communications and Signal Processing, 2005

[5] 류대현, “재난 구조 통신망 구축을 위한 휴대형 메쉬 네트워크 게이트웨이의 개발”, 한국인터넷방송통신학회논문지, 제11권, 제3호, 99-105쪽, 2011년 6월

[6] Thomas M, “재난시 비상 시스템의 통신과 대응”, 한국화재소방학회논문지, 제4권, 제1호, 49-54쪽, 1990년 1월

[7] 하중우외 3인, “재난 상황에서 응급 구조사를 위한 모바일 애드혹 네트워크 통신 시스템의 설계 및 구현”, 한국정보기술학회논문지, 제7권 제1호, 131-140쪽, 2009년 2월

[8] 류석기, “이순흠 경제적인 보안 모니터링 시스템 설계 및 구현”, 한국산학기술학회논문지, 제11권, 제3호, pp.1101-1107, 2010.

저자 소개

이 순 화(정회원)



- 2001년 서울과학기술대학교 매체공학 학사
- 2003년 홍익대학교 전자공학 석사
- 2009년 홍익대학교 전자공학 박사
- 2006년~2009년 소방방재청
- 2009년~현재 행정안전부
- 정보통신기술사, 전산응용기술사

<주관심분야 : 재난통신, 이동통신, 센서네트워크 >

윤 재 선(준회원)



- 2002년 관동대학교 전자공학 학사
- 2006년 홍익대학교 전자공학 석사
- 2009년~현재 공주대학교 정보통신공학 박사과정

<주관심분야 : 적용필터, 이동통신, 재난통신>

김 장 복(정회원)



- 1974년 연세대학교 전자공학 학사
- 1976년 연세대학교 전자공학 석사
- 1983년 연세대학교 전자공학 박사
- 1979년~현재 홍익대학교 전자전기공학부 교수

<주관심분야 : 디지털통신, 통신네트워크, 컴퓨터회로망>

임 승 각(정회원)



- 1983년 숭실대학교 전자공학 학사
- 1985년 경희대학교 전자공학 석사
- 1997년 경희대학교 전자공학 박사
- 2003년~현재 공주대학교 정보통신공학부 교수

<주관심분야 : 통신/방송시스템, 이동통신>