

생존성있는 대체 경로 라우팅 알고리즘 연구

(A Study of Survivable Alternate Routing Algorithm)

박 영 철[†]

(Young Chul Park)

요약 이동 ad-hoc 전술통신망에서 대체경로 라우팅 알고리즘의 적합성 및 생존성(survivability) 연구를 수행하였다. 이 통신망의 신호 방식은 공통선 신호 방식을 사용하며, 경로선정 방식은 Flood search routing을 사용하였으며, Restricted flooding과 Hybrid routing에 대해 연결 성능을 분석하였다. 분석 결과 대체경로 라우팅을 함으로써 좀 더 낮은 차단확률(Blocking Probability)을 기대할 수 있었으며, 기존의 Flood search routing의 연결 성능이 우수하여 생존성이 높은 것으로 판단되었다.

키워드 : 경로선정알고리즘, 포화경로선정, 공통선 신호방식

Abstract We study a degree of alternativeness and a survivability of alternate routing algorithm in mobile ad-hoc tactical communication networks. The common channel signaling scheme is used and flood search routing algorithm is used for analysis. We also study a connectivity performance for flood search routing, restricted flooding and hybrid routing. From the results we expect low blocking probabilities with alternate routing and the conventional flood search routing shows better connectivity performance which results in high survivability.

Key words : Routing Algorithm, Flood search, Common channel signaling

1. 서론

이동 ad-hoc 네트워크는 다수의 홉(hop)과 무선 통

신 노드들로 구성되며, 군통신, 재난 시스템 및 학교 강의실 등 많은 응용 분야가 있다. 라우터(router)들은 자유롭게 움직이며 네트워크를 구성하며, 따라서 통신망의 형태는 매우 빠르게 변화하며, 통신망의 형태도 예측하기가 어렵다[1]. 지난 십년간 많은 나토(NATO)국가들은 전술통신 시스템을 개발하고 있으며, 이러한 시스템은 지휘 통제 체계의 사용자 요구 조건을 충족시킨다. 이들 프로젝트의 예로 나토의 TACOMS-Post 2000(TP2K: Tactical Communications Systems for the Land Combat Zone Post-2000), 미국의 WIN-T(Warfighter Information Network-Tactical), 프랑스의 RITA 2000, 영국의 FALCON/CORMORANT 등이 있다. TP2K는 국가 간에 기술적 독립성을 유지하는 원칙하에 13개국의 통신체계들 간의 상호연동성, 접속점, 서비스, 번호체계, 주소 등을 고려하여 개발 중이다. WIN-T는 특별히 전술통신망 내에서 C2OTM(Command and Control On-the-Move) 개념, 즉, 이동 중 지휘통제를 위한 요구 조건을 충족시키려한다[2,3]. 또한 미국의 CECOM(Communications Electronics Command) 연구소는 MOSAIC(Multi-functional On-the-move Secure Adaptive Integrated Communications)개발을 위하여 AMPS(Ad Hoc Mobility Protocol Suite)를 제안하고 있다[4]. 일반적으로 통신망을 설계할 때에 통신망의 성능에 영향을 미치는 요소, 즉, 망구성, 망에 제공되는 트래픽 양, 경로 설정 방법 등을 고려해 주어야 한다. 이들 중에서 망을 신뢰성 있고 효율적으로 운영하기 위해서는 망 성능에 큰 영향을 미치는 중요한 요소인 경로 설정 방법을 망 설정 단계에서 신중히 선택하여야 한다. 특별히 전술통신망들은 높은 생존성을 갖도록 설계되어야 하며, 기동성이 높아야한다. 통신망 상태에 따라 경로를 설정하기 위하여 통신망 상태와 호(call)에 대한 정보를 인접한 이웃 노드로 전송해주는 기능과 더불어 통신망에 대한 관리 기능을 수행하는 신호 방식이 필요하다. 신호 방식으로는 정보를 노드 간에 전송하기 위하여 사용자가 이용하는 채널을 이용하는 in-band 방식과 별도의 채널을 이용하는 공통선 신호(common channel signaling 또는 out-of-band)방식이 있다. in-band 방식은 호 설정 시간이 길고, 사용자가 이용하는 채널의 일부분을 이용하여 정보를 전송함으로써 사용자가 이용할 수 있는 통신망의 경로 용량이 제한되는 단점이 있어 공통선 신호 방식을 주로 이용하고 있다. 또한 공통선 신호방식은 높은 처리율을 보이고, 통신망의 변화에 신뢰성이 높으며, 호에 대한 실시간 처리가 용이한 장점이 있다[5]. 한편 격자(mesh) 구조망은 높은 신뢰성과 효율성이 요구되므로, Manhattan street network 또는 PCN(personal communication network) 등과 같이 널

· 이 논문은 2007 한국컴퓨터종합학술대회에서 '생존성있는 Alternate Routing 알고리즘 연구'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

† 정 회 원 : 백석대학교 정보통신학부 교수

ycpark@bu.ac.kr

논문접수 : 2007년 9월 27일

심사완료 : 2007년 12월 4일

: 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 컴퓨터의 실제 및 레터 제13권 제7호(2007.12)

Copyright©2007 한국정보과학회

리 사용되며, 특별히 군 통신망에 널리 사용되고 있다[6,7].

본 연구를 위하여 회선 및 패킷 교환망으로 구성된 전술통신망을 고려하였으며, 이망은 ad hoc 망과 같이 노드들이 격자 구조를 이루며, 공통선 신호 방식을 이용하고 Flood Search Routing 알고리즘을 사용한다. 전술통신망에서의 생존성(survivability)을 확보하기 위하여, 대체 경로(alternate routing) 및 연결성(connectivity)에 대한 연구를 수행하였다. 1장 서론에 이어 2장에서는 전술통신망에서의 경로선정, 3장에서는 시스템 모델링 및 성능 분석, 그리고 4장에서 결론의 순으로 기술한다.

2. 전술통신망에서의 경로선정

현 전술통신망은, 미국의 mobile subscriber equipment (MSE)의 경우, 회선 및 패킷 교환 방식으로 운용되는데 그 구성은 다음과 같다. MSE 망은 56개의 NC(Node Center)들과 224개의 소 NC, 9개의 대 EN(Extension Node), 그리고 121개의 RAU(Radio Access Unit)들로 구성된다. 각각의 NC는 격자형으로 분포하며 각 구역마다 4개의 NC가 있다. 각 NC는 3개의 EN과 2개의 RAU에 대한 서비스를 하며, 각 RAU들은 25개의 MSRT(Mobile Service Radio Telephone Terminal)를 서비스한다. 각 구역의 4개의 NC들 중 2개의 NC는 망 관리 역할을 분담하는데, 이 NC들은 SCC(System Control Center)라 부른다. 이 SCC들 중 한 개를 NMC(Network Management Center)라 부르는데 이것은 망의 데이터 베이스와 트렁크 관리, NC와 EN들의 배치에 관한 일을 취급한다. 망 안의 각각의 링크는 16kbps의 선로 전송 속도를 갖는 디지털 트렁크 그룹들로 구성된다. 각각의 트렁크 그룹은 64개의 양방향 전송 선로들로 구성되며, 그 중 2개 선로는 공통선 신호용이다. 이 공통선 선로들 중 하나는 모든 경로 설정 기능을 위해, 다른 하나는 경로가 발견된 후의 통화 개선을 위한 것이다. 그 나머지 62개 선로들은 tandem switching을 위한 것으로서 망의 통화 차단 확률을 0.3%이하로 하기에 충분한 것이다. 전술통신망에서 통화 경로 설정을 하기 위해 flood search 알고리즘을 쓰고 있다. 즉, 가입자의 위치에 상관없이, 통신량 폭주 또는 차단된 링크 또는 일부 통신망 파괴 시에도 이 알고리즘은 가입자를 찾아내는데 매우 유효하다. 발신자 교환기의 프로세서는 통화 요구자에 의해 전화번호를 입력받으면 상대방 전화번호를 포함한 CIR(Call Initiate Request) 메시지를 라우팅 프로세서에게 전송한다. Flood search 알고리즘의 통화 경로 설정 절차는 search, return, end 단계로 나누어서 진다. 우선 라우팅 프로세서는 Search 단계로 들어가며, 이때 현재 자신이 있는 노드로부터 인접한 노드들에게 search 메시

지를 방송한다. 인접한 각 노드들이 search 메시지를 받게 되면 자신의 local subscriber directory table을 검색하여 통화에 대한 착신 측 가입자가 자신의 local 가입자에 포함되었는지를 조회하고, 포함 되어 있지 않으면 그search 메시지를 인접한 노드로 전달한다. 이때 search 메시지를 보낸 노드로는 전송하지 않으며, search message가 looping을 일으키지 않도록 하며, 노드들로 전송된 Flood search 메시지들은 자신의 망 경계에까지 가서 없어진다. 목적지가 탐색된 후에는 목적지 노드는 return 단계로 들어가는데, search 메시지가 처음 수신된 경로를 따라서 return 메시지를 발신지 노드로 전송한다. 각 tandem 노드는 통화로 설정을 위해 형성된 경로를 따라 점차적으로 return 메시지를 발신지 노드 (또는 교환기)까지 도달하도록 동일한 작업을 수행한다. 다음에 발신지 노드는 return 메시지를 받는 즉시 EOR (End of Routing) 메시지를 방송한다. 이 메시지는 통화에 관련 되지 않은 모든 노드에 있는 search 메시지를 취소하고, return 단계에 있는 모든 tandem 노드의 라우팅 프로세서들에게 관련된 교환기 프로세서로부터 RFR(Request for Routing) 메시지를 받을 때 까지 통화에 관련된 정보(수신자까지 형성된 경로 정보)를 그대로 유지토록 주지시킨다. 이러한 End 단계에서 발신지 교환기의라우팅 프로세서는 CIA(Call Initiate Answer) 메시지를 발송하는데, 이것은 라우팅 링크를 교환기 프로세서에게 알려주는 역할을 한다. 이로써 교환기는 발신지에서 목적지까지 형성된 경로를 따라 정상적인 통화로 설정을 수행하게 된다(그림 1 참조).

이 flooding 알고리즘은 각 NC에 local 가입자에 대한 directory table 만이 필요하고 별도의 라우팅 table 이 필요하지 않으므로 라우팅 table을 갱신하기 위한 메시지를 전송하지 않아도 되므로 크기가 20×20 이하인 망에서 통화 요청에 대한 경로 설정 시간 지연이 짧고 현재의 망의 상태를 잘 반영한다는 장점을 가지고 있는 반면, 망의 크기가 큰 경우 발생하는 순방향 search 메시지들의 수가 매우 많아지므로 망에의 통화 개설 요구가 빈번하면 할수록 통화 개설 시간 지연이 발생할 위험이 있다는 단점을 지니고 있다. 따라서 이 알고리즘의 변형된 형태로 Restricted flooding과 Hybrid routing이 제시되었다. Restricted flood search 알고리즘은 각 NC에 주기적으로 갱신되는 QLT(Quadrant Location Table)가 있어서 통화 개설 요청시 그림 2(b)와 같이 호출된 착신측 가입자가 위치하고 있을 만한 상한(quadrant)으로만 flood search함으로써 search message의 수를 줄이고자 하는 것이다. Hybrid routing에서 각 노드는 망의 모든 가입자와 각 노드에 대한 global directory를 가지고 있어서 순방향 search시 그 정보를

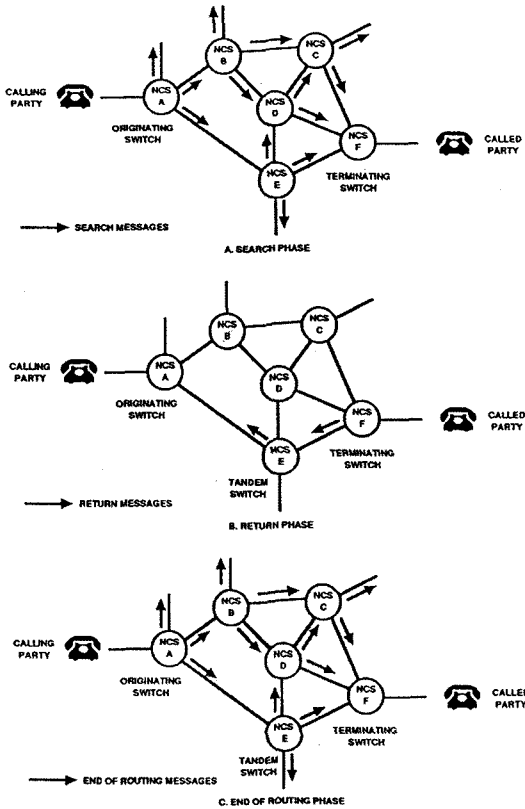


그림 1 Flood Search Routing Diagram

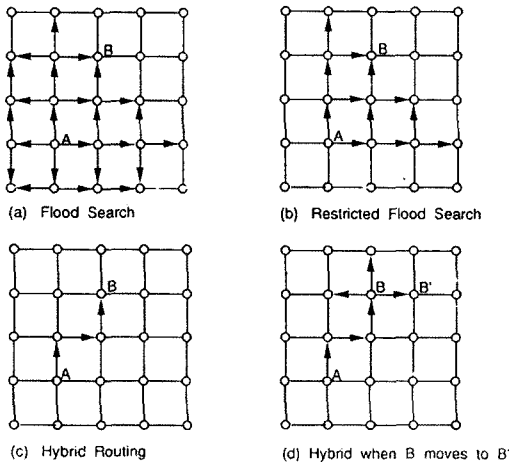


그림 2 각 알고리즘에 대한 경로선정 메시지 흐름

가지고 착신측 가입자가 있는 노드까지의 path를 구하여 그 path를 따라 search message를 보낸다. Search message가 그 노드에 도착하여 착신측 가입자가 없으면 그 도착한 노드에서부터 flooding하는 것이다. 이 알

고리즘은 각 NC에 SAT(Subscriber Affiliation Table)를 필요로 한다. 각 SAT에는 망의 모든 가입자들에 대한 directory와 각각의 pseudo-code를 기록하며 라우팅 table이 있어서 각 pseudo-code에 대한 가용한 다음 노드 번호를 기록한다. 이 알고리즘의 성능은 SAT를 갱신하는 주기에 의해 좌우되므로 configuration의 변화가 빈번하지 않는 망에서 유용하다[8].

3. 시스템 모델링 및 성능분석

Flood Search Routing 알고리즘으로 경로선정을 하는 격자형 ad-hoc 전술통신망에서 대체경로 라우팅과 비 대체경로 라우팅의 적합성(Compatibility)에 대해 분석하고자 한다. 그림 3에서 노드 S와 노드 D 사이에 N개의 가능한 path들이 존재한다고 가정하고 직사각형들은 각 path의 가상채널을 나타낸다.

첫 번째로, 현재 path 1에 $\rho_1 = 1$ 의 traffic이 흐르고 나머지 N-1개 path 들에는 traffic이 전혀 할당되지 않은 경우를 생각하자. 경로 설정 알고리즘이 traffic을 대체경로 라우팅하는 정도를 degree of alternativeness (DOA)라 정의하면 DOA는 $1 - \rho$ 와 같다. 대체경로 라우팅 함에 따라 $\rho_2 = \rho_3 = \dots = \rho_N$ 이 된다고 가정하면, path 1은 idle하고 나머지 path들은 busy일 확률, 즉 PRN(preference of non-alternate routing)은 $(1 - \rho_1) \cdot \rho_2^{N-1}$ 이다. 또한 path 1은 busy이고 나머지 path들 중 idle한 경우가 하나라도 존재할 확률, 즉 preference of alternate routing(PRA)은 $\rho_1 \cdot (1 - \rho_2^{N-1})$ 이다. 여기서 PRN은 통신망 내의 특정 경로에 traffic 부하가 걸리는 경우이며, PRA는 여러 개의 대체 경로에 traffic 부하가 분산되는 경우이다.

전술통신 망에서 대체경로 라우팅의 적합성을 분석하기 위하여 PRA를 N개 path에 대하여 모의 시험한 결과가 그림 4에 나와 있다. 그림에서 '\$'표시는 N=2, N=3, N=4일 때 각각의 경우 PRN과 PRA가 같게 되는 DOA를 나타낸다. 이들 평형 점들은 N=2일 때, DOA=0.5, N=4일 때, DOA= $2(\sqrt{2} - 1) = 0.8284$ 이다. 즉, DOA가 평형점보다 낮은 구간에서는 alternat 라우팅을 더 선택하게 되어서 전술 통신망의 traffic이 분산되는 효과가 나타나게 된다.

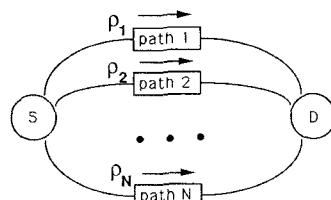


그림 3 간단한 Alternating 라우팅 모델

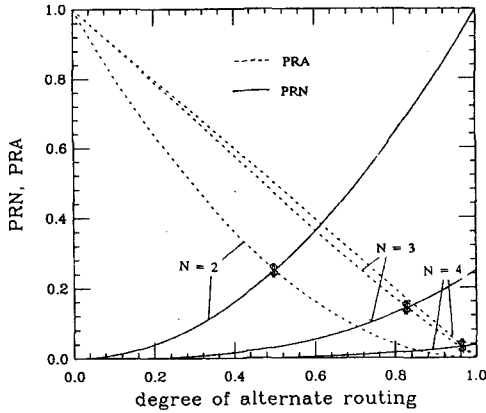


그림 4 DOA에 대한 preference of alternate routing

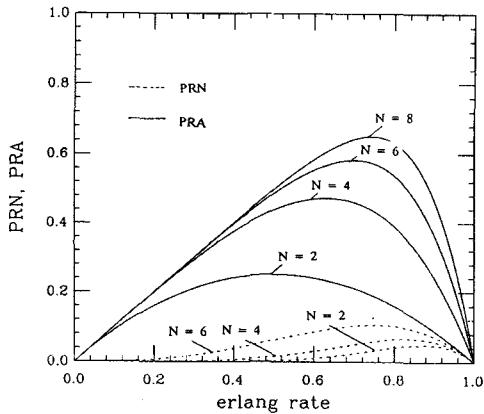


그림 5 Traffic에 따른 preference of alternate routing

그림 4로부터 낮은 차단 확률을 갖는 시스템에서는 N 이 클수록 대체경로 라우팅의 적합도가 비 대체경로 라우팅의 경우보다 커짐을 알 수 있다.

두 번째로, 그림 3에서 $\rho_2 = \rho_3 = \dots = \rho_N$ 인 부하가 잘 분산된 경우를 생각하자. 이 때 path 1은 idle하고 나머지 path들은 모두 busy일 확률, PRN은 $(1-\rho) \cdot \rho^{N-1}$ 이고, path 1은 busy이고 나머지 path들 중 적어도 하나는 idle할 확률, PRA,는 $\rho \cdot (1-\rho^{N-1})$ 이다. 그림 5는 ρ 의 변화에 따른 PRN, PRA의 변화를 나타낸 것이다. 이 그림으로부터 현재 부하가 잘 분산된 망의 특정 path로 외부 traffic이 도착할 때 낮은 traffic rate를 갖는 ρ 의 모든 구간 즉, $\rho \in [0,1]$ 에서 대체경로 라우팅을 하여 망에 가해진 부하를 분산시키는 것이 바람직함을 알 수 있다. 따라서 큰 링크 용량이 조건이 되어 있는 군 전송 통신망에서 대체경로 라우팅을 함으로써 좀 더 낮은 차단확률을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

이제 Flood search routing algorithm의 생존성을 알

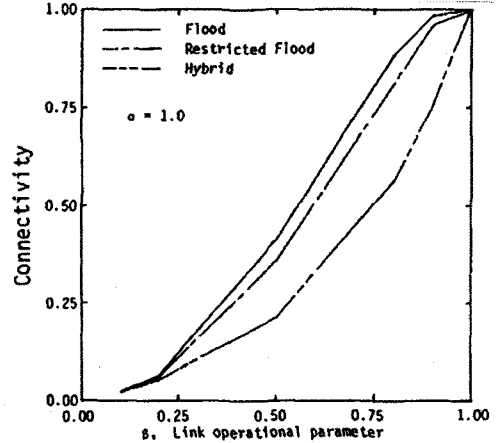


그림 6 링크 운용지표에 대한 연결 성능 비교

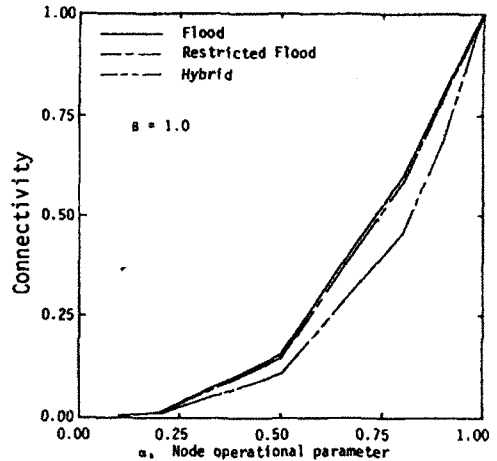


그림 7 노드 운용지표에 대한 연결 성능 비교

아보기 위하여 2장에서 제시된 3가지 알고리즘(그림 2 참조)에 대하여 연결 성능을 분석한다. 이를 위해 노드 운용 지표인 a_n 을 노드 n 의 가능한 준비상태 (readiness)로 정의한다. 이때 a_n 은 각 노드마다 서로 다른 값을 갖게 된다. 또한 링크 운용 지표인 β_l 을 전송 노드가 운용중이며 통화로가 형성되었을 때 링크 l 에서 성공적인 전송이 일어날 확률로 정의한다. 연결성 성능 지표 C 는 다음 식으로 표현된다.

$$C = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N \gamma_{ij}$$

여기서 N 은 노드 수이며, γ_{ij} 는 노드 i 에서 노드 j 까지 성공적인 경로선택이 수행될 확률이다. 연결성 성능 지표 C 는 a_n 과 β_l 의 영향을 받는 지표가 된다. 그림 6과 7에 β 및 a 에 따른 세 가지 알고리즘의 연결성을 도

시하였다. 두 경우 모두 (1) Flood search (2) Restricted Flood (3) Hybrid routing의 순으로 연결 성능이 좋은 순으로 나타났다. 그 이유는 Flood search 및 Restricted Flood routing 경우에 대체 경로가 잘 형성되지만, Hybrid routing 경우는 그렇지 못하기 때문이다.

Restricted flood routing 경우 목적지 노드가 다른 상한(quadrant)으로 이동하게 되면 연결에 어려움이 있어서 Flood search routing 보다 연결 성능이 좋지 않음을 보여준다. 결국 기존의 Flood search routing 알고리즘이 생존성 측면에서 가장 우수한 것으로 판단된다.

4. 결론

군 전술 디지털통신망은 통신 노드의 손상 또는 과부하 상황 하에서의 생존성이 필요하며, 급변하는 통신부하(Traffic Load) pattern 하에서의 자기 적응성(Self Adjusting)과 가입자들의 빈번한 이동이 예상되며, 망 configuration의 비밀 보장이 요구되는 등 상용 통신망과 크게 다른 점이 있다. 특별히 높은 기동성 및 생존성이 요구되는 점에서 요즈음 많은 연구가 이루어지고 있는 ad-hoc 망으로 생각할 수 있을 것이다.

본 논문에서는 Flood Search Routing을 사용하는 격자형 전술통신망에서 대체경로 라우팅과 비 대체경로 라우팅의 적합성에 대해 연구하였다. 대체경로 라우팅을 degree of alternativeness(DOA) 및 Traffic 양에 대하여 분석한 결과 대체경로 라우팅을 함으로써 격자형 전술통신망에서 좀 더 낮은 차단확률을 기대할 수 있는 것으로 판단되었다. 또한 통신망의 생존성을 분석하기 위하여 세 가지 경로 선정 방식, 즉, Flood search routing, Restricted flooding, Hybrid routing에 대해 연결 성능을 분석하였다. 분석 결과 기존의 Flood search routing의 연결 성능이 우수하여 생존성이 높은 것으로 판단되었다.

참고 문헌

- [1] Reza Purtoosi, et. al., "A High performance cluster-based flooding algorithm for wireless ad hoc networks," The fifth International Conference on Computer and Information Technology (CIT'05), pp. 417-421, 2005.
- [2] Young C. Park, "A Study of survivable routing in tactical networks," International Conference on computing, Communications and Control Technologies (CCCT) 2007, pp. 246-249, 2007.
- [3] Emil Kubera, et. al., "Usage of OPNET simulation tool for validation of routing in ATM backbone networks of tactical communication systems," IEEE MILCOM 2004, pp. 586-592.
- [4] Kenneth C. Young, et al., "Ad hoc mobility protocol suite for the MOSAIC ATD," IEEE MILCOM 2003, pp. 1348-1352.
- [5] Marco M. Mostrel, "Issues on the design of survivable common channel signaling networks," IEEE Journal on selected areas in communications, Vol.12, No.3, April, 1994, pp. 526-532.
- [6] N.F. Maxemchuk and R. Krishnan, "A Comparison of linear and mesh topologies-DQDB and the manhattan street network," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, pp. 1278-1289, 1993.
- [7] Chiu-Ching Tuan and Chen-Chau Yang, "A new normal walk model for mesh PCS networks," 18th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA) 2004, Vol.1, pp. 493-498, 2004.
- [8] Victor O.K. Lee and Rong Feng Chang, "Proposed routing algorithms for the U.S. Army Mobile subscriber Equipment (MSE) network," IEEE MILCOM, 1986, pp. 39.4.1-39.4.7.