

포화 경로선정 알고리즘의 성능 평가

박영철*

*백석대학교 정보통신학부
e-mail:ycpark@bu.ac.kr

Performance evaluation of saturation routing algorithms

Young Chul Park*

*Dept. of Information and Communication Engineering
Baekseok University

요약

본 논문에서는 격자형태의 무선 Ad-hoc 통신망에서 사용하는 포화경로 선정 알고리즘의 성능을 분석하였다. 대체경로 라우팅을 함으로써 좀 더 낮은 차단확률을 기대할 수 있어, 포화경로 선정 알고리즘을 사용의 타당성을 확인할 수 있었다. 또한 기존의 Flood search 알고리즘, Restricted flooding, Hybrid routing의 성능을 모의시험을 통하여 분석한 결과 통신망 효율면에서 Flood search 알고리즘이 우수한 것으로 나타났다.

1. 서론

디지털 전장 환경에서 정확한 정보를 적시에 수신하는 것은 매우 중요하며, 특히 이동 통신망에서 고속 데이터 및 음성 통신은 지휘관에게 필수적인 통신 수단이 되고 있다. 현대 군은 조직, 교리, 그리고 기술적인 측면에서 지속적이며 대대적인 변화가 요구된다. 이러한 조건을 충족시키기 위하여 통신시스템은 총체적이며, 생존성 있고, 유연성이 요구된다. 지난 이십년 간 많은 나토(NATO)국가는 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 [1]. 또한 미국의 CECOM (Communications Electronics Command) 연구소는 MOSAIC (Multi-functional On-the-move Secure Adaptive Integrated Communications) 개발을 위하여 AMPS

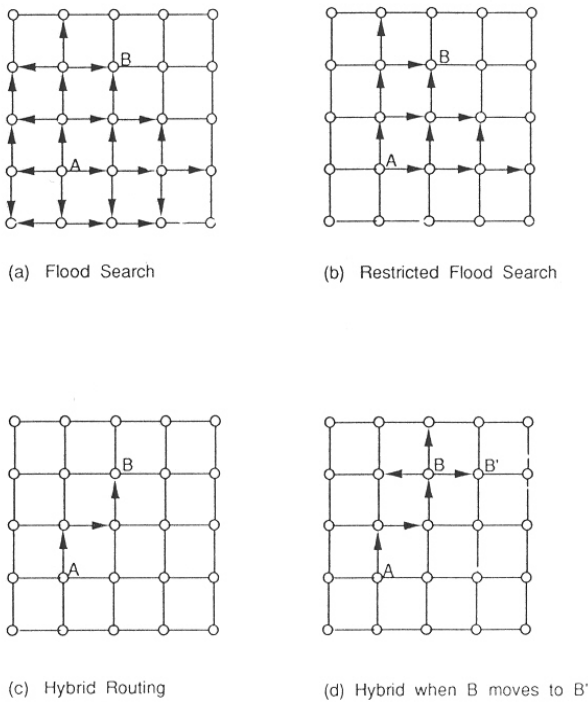
(Ad Hoc Mobility Protocol Suite)를 제안하고 있다 [2]. 일반적으로 통신망을 설계할 때에 통신망의 성능에 영향을 미치는 요소, 즉, 망구성, 망에 제공되는 트래픽 양, 경로 설정 방법 등을 고려해 주어야 한다. 이들 중에서 망을 신뢰성 있고 효율적으로 운영하기 위해서는 망 성능에 큰 영향을 미치는 중요한 요소인 경로 선정 방법을 통신망 설정 단계에서 신중히 선택하여야 한다. 특별히 전술통신망들은 높은 생존성을 갖도록 설계되어야 하며, 기동성이 높아야 한다. 통신망 상태에 따라 경로를 선정하기 위하여 통신망 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(CCS: common channel signaling 또는 out-of-band)방식이 있다 [3-5].

본 논문에서는 서론에 이어 2장에서는 Ad-hoc 네트워크 및 포화경로 선정 알고리즘, 3장에서는 성능 분석, 4장에서 결론의 순으로 기술한다.

2. 무선 Ad-hoc 네트워크

미국의 통신망인 mobile subscriber equipment (MSE)는 일반적으로 회선 교환 방식에 패킷교환 방식이 연동 운용 (overlay) 되는 무선 Ad-hoc 네트워크이다. 영국, 프랑스, 한국의 전술 통신망도 유사한 방식을 사용한다. 미국의 MSE 망은 56개의 NC (node center)들과 224개의 SEN(small extension node), 9개의 LEN(large extension node), 그리고 121개의 RAU(radio access unit)들로 구성된다. 각각의 NC는 격자형으로 배치되며, 각 구역마다 4개의 NC가 있다. 각 NC는 3개의 EN과 2개의 RAU에 대한 서비스를 하고 있으며, 각 RAU들은 25개의 MSRT (mobile subscriber radio telephone)를 서비스 한다. 각 구역의 4개의 NC들 중 2개의 NC는 망 관리 역할을 분담하는데, 이 NC들은 SCC(system control center)라 부른다. SCC는 통신망 계획, 주파수 계획 및 관리, MSE 팀의 배치 및 재배치, 장비 및 운용병 관리, NC 및 LEN 데이터 베이스 관리 및 최신화 유지, 시스템 연결도 도시 및 링크 상태 표시, 통신보안 기능을 담당한다. SCC들 중 한 개를 MSC(Message Center)라 부르는데 이것은 통신망의 데이터 베이스와 간선(trunk)관리, NC와 EN들의 배치에 관한 일을 취급한다. 망 내의 각각의 링크는 16kbps의 선로 전송 속도를 갖는 디지털 트링크 그룹들로 구성되며, 각각의 트링크 그룹은 64개의 양방향 전송 선로들로 구성되고, 그 중 2개 선로는 공통선 신호(CCS)용이다. 이 CCS용 선로들 중 하나는 모든 경로 설정 기능을 위해, 다른 하나는 경로가 발견된 후의 통화 개설을 위한 것이다. 그 나머지 62개 선로들은 탠덤교환(tandem switching)을 위한 것으로서 망의 통화 봉쇄 확률(blocking probability)을 0.3%이하로 유지시켜 준다 [6]. MSE 망에서는 통화 경로 설정을 하기 위해 flood search 알고리즘을 쓰고 있는데, 이 알고리즘의 통화 경로 설정 절차는 다음과 같다 (그림 1 참조). 통신망 내의 어느 노드의 가입자가 다른 노드에 있는 어떤 가입자와의 통화를 요청하면 현재 자신이 있는 노드로부터 이웃한 노드들로 RFR (request for routing) 메시지가 보내진다. 이웃 노드들은 이 메시지를 받게 되면 그것의 이웃 노드들 중에서 RFR 메시지가 looping을 일으키지 않는 노드들로 전송한 다음 자신의 국부가입자 전화번호를 검색하여 통화에 대한 착신 측 가입자가 자신의 국부 가입자이면 이 RFR 메시지가 지나온 경로

를 통해 역방향 경로 설정 메시지를 보낸다. 이때 모든 방향으로 전송된 RFR 메시지들은 자신의 망 경계에 까지 가서 없어진다. 역방향 경로 설정 메시지를 받은 발신 측 노드는 통화 통제 메시지를 경로를 통해 보냄으로써 통화가 개설된다. 이러한 경로선정 방식을 포화 경로선정 (saturation 또는 flooding) 알고리즘이라 한다. 이 포화 경로선정 알고리즘은 각 NC에 그 NC의 국부 가입자에 대한 가입자 테이블만 필요하고 별도의 경로 테이블이 필요하지 않으므로 경로 테이블을 갱신하기 위한 메시지를 매번 전송하지 않아도 되므로 크기가 20x20 이하인 망에서 통화 요청에 대한 경로 설정 시간 지연이 짧고, 통신망의 상태를 잘 반영한다는 장점을 가지고 있는 반면, 망의 크기가 큰 경우 발생하는 순방향 RFR메시지들의 수가 매우 많아지므로 망에의 통화 개설 요구가 빈번하면 할수록 통화 개설 시간 지연이 발생할 위험이 있다는 단점을 지니고 있다. 이 알고리즘의 변형된 형태로는 Restricted flooding과 Hybrid routing이 있다. Restricted flooding 알고리즘은 각 NC에 주기적으로 갱신되는 QLT(quadrant location table)가 있어서 통화 개설 요청 시 그림 1과 같이 호출된 착신 측 가입자의 예상 위치 방향(quadrant)로만 flood search 함으로써 RFR메시지의 수를 줄이고자 하는 것이다. Hybrid routing에서는 각 노드는 망의 모든 가입자와 각 노드에 대한 전체 가입자 번호(global directory)를 가지고 있어서 순방향 추적 시 그 정보를 가지고 착신측 가입자가 있는 노드까지의 통신로를 구하여 그 통신로를 따라 RFR 메시지를 보낸다. RFR메시지가 그 노드에 도착하여 착신 측 가입자가 없으면 그 도착한 노드에서부터 flooding하는 것이다. 이 알고리즘은 각 NC에 SAT(subscriber affiliation table)를 필요로 한다. 각 SAT에는 망의 모든 가입자들에 대한 전화번호와 각각의 pseudo-code를 기록하며 경로 테이블이 있어서 각 pseudo-code에 대한 다음 가용한 노드 번호를 기록한다. 이 알고리즘의 성능은 SAT를 갱신하는 주기에 의해 좌우되므로 통신망 형태의 변화가 빈번하지 않는 망에서 유용하다.

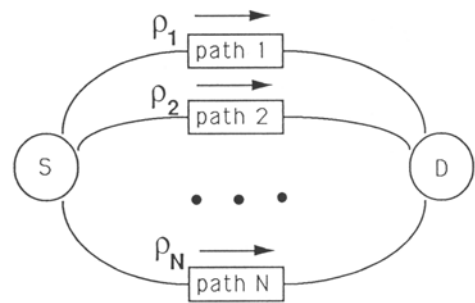


[그림 1] 포화 경로 선정 알고리즘 종류

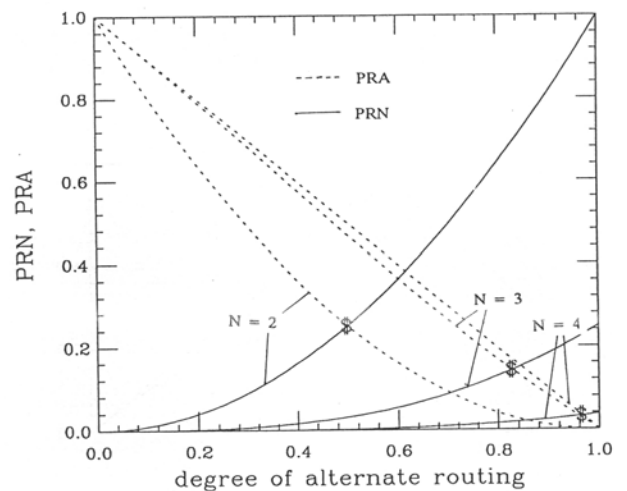
3. 포화 경로 선정 알고리즘 성능 분석

낮은 봉쇄 확률을 갖는 격자형 ad-hoc망에서 대체 경로 선정과 비 대체경로 선정 알고리즘의 적합도에 대해 분석한다. 그림 2에서 노드 S와 노드 D 사이에 N개의 가능한 경로들이 존재한다고 가정하고 직사각형들은 각 통신로의 가상채널을 나타낸다. 우선 현재 통신로 1에 $\rho_1 = 1$ 의 트래픽이 흐르고 나머지 N-1개 경로들에는 트래픽이 전혀 할당되지 않은 경우를 생각하자. 경로 선정 알고리즘이 트래픽을 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, 경로 1은 idle하고 나머지 경로들은 busy일 확률, 즉 PRN (preference of non-alternate routing)은 $(1 - \rho_1) \cdot \rho_2^{N-1}$ 이다. 또한 경로 1은 busy이고 나머지 경로들 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 트래픽 부하가 분산되는 경우이다. 통신망에서 대체경로 라우팅의 적합성을 분석하기 위하여 PRA를 N개 경로에 대하여 모의 시험한 결과가 그림 3에 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,

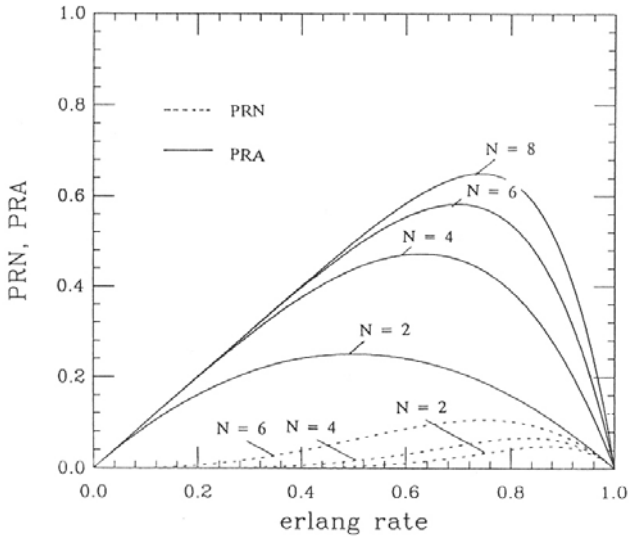
DOA= $2(\sqrt{2} - 1) = 0.8284$ 이다. 즉, DOA가 평형점보다 낮은 구간에서는 대체경로 라우팅을 더 선택하게 되어서 전술 통신망의 트래픽이 분산되는 효과가 나타나게 된다. 그림 3로부터 낮은 차단 확률을 갖는 시스템에서는 N이 클수록 대체경로 라우팅의 적합도가 비 대체경로 라우팅의 경우보다 커짐을 알 수 있다. 두 번째로, 그림 2에서 $\rho_2 = \rho_3 = \dots = \rho_N$ 인 부하가 잘 분산된 경우를 생각하자. 이 때 경로 1은 idle하고 나머지 경로들은 모두 busy일 확률, PRN은 $(1 - \rho) \cdot \rho^{N-1}$ 이고, 경로 1은 busy이고 나머지 경로들 중 적어도 하나는 idle할 확률, PRA,는 $\rho \cdot (1 - \rho^{N-1})$ 이다. 그림 4는 ρ 의 변화에 따른 PRN, PRA의 변화를 나타낸 것이다. 이 그림으로부터 현재 부하가 잘 분산된 망의 특정 path로 외부 트래픽이 도착할 때 낮은 트래픽율을 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 전술 통신망에서 대체경로 라우팅을 함으로써 좀 더 낮은 차단확률을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.



[그림 2] 간단한 대체경로 선정 모델



[그림 3] DOA에 대한 preference of alternate



[그림 4] 트래픽에 따른 preference of alternate routing

이제 통신망의 성능 평가 지표 중 통신망 효율 (throughput)을 모의시험을 통하여 분석하기로 한다. γ_{ij} 를 노드 i 에서 노드 j 까지 성공한 경로 선정 확률로 정의하고, λ_i 를 가입자로부터 노드 i 까지 1 초당 발생하는 RFR 메시지의 개수로 정의하면, 통신망 효율 η 는 다음 식으로 표현된다.

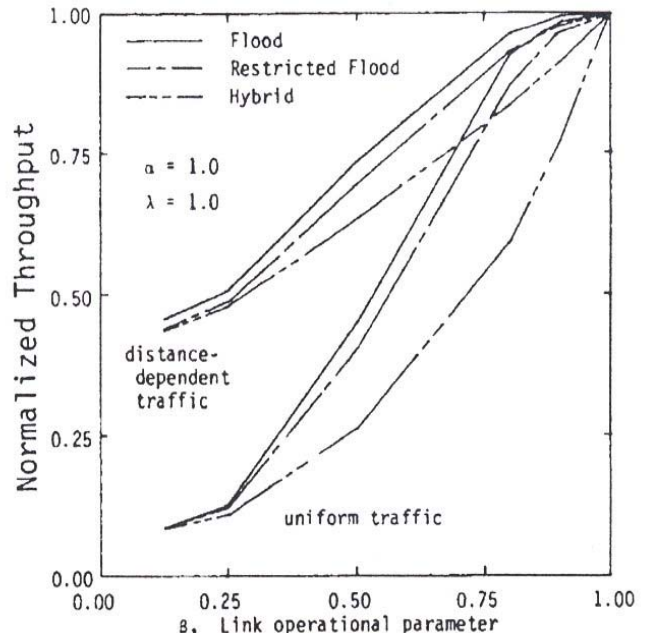
$$\eta = \eta = \sum_{i=1}^N \lambda_i \Pr(\text{성공한 연결} | i) \\ = \sum_{i=1}^N \lambda_i \sum_{j=1}^N \theta_{ij} \gamma_{ij}$$

여기서 θ_{ij} 는 한 메시지가 노드 i 로부터 전송되었을 때 노드 i 에서 노드 j 까지 시도된 메시지의 확률로써 노드에 부과된 메시지 트래픽의 양에 관련이 있는 파라미터이다. 여기서 정규화된 효율 (normalized throughput)은 λ_i 의 합으로 나누면 된다. 그림5에서 정규화된 효율은 트래픽 모델 θ_{ij} 에 민감한데, 이는 긴 경로 보다 짧은 경로가 성공할 확률이 높기 때문이다. 또한 균일한 트래픽(uniform traffic, $\theta_{ij} = 1/N$) 경우 보다 거리에 의존하는 트래픽(distant-dependent traffic, $\theta_{ij} \propto \alpha^{h(i,j)}$, 단, $h(i,j)$ 는 노드 i 와 j 사이의 홉 (hop) 거리) 경우 정규화 효율이 전반적으로 높은 것으로 나타나는데 이 경우도 역시 짧은 경로가 성공할 확률이 높기 때문인 것으로 분석된다. 한편 Flood, Restricted flooding과 Hybrid routing 알고리즘의 순으로 정규화 효율이 높은 것으로 나타났으며, 기존의 포화 경로선정 알고리즘이 효율 면에서 성능이 좋은 것을 확인할 수 있

었다.

3. 결론

본 논문에서는 Ad-hoc 네트워크에서의 포화 경로 선정 알고리즘에 대해 분석하였다. 포화 경로 선정 알고리즘을 사용하는 군 전술 통신망에서 대체경로 라우팅을 함으로써 좀 더 낮은 차단확률을 기대할 수 있어, 포화경로 선정 알고리즘 사용의 타당성을 확인할 수 있었다. 한편 기존의 Flood search 알고리즘의 단점인 순방향 RFR 메시지를 줄이기 위하여 제안된 Restricted flooding과 Hybrid routing과 함께 모의시험을 통하여 통신망 효율을 분석한 결과 Flood search 알고리즘이 우수한 것으로 나타났다.



[그림 5] 정규화된 효율 비교

참고문헌

- [1] Emil Kubera, Joanna Sliwa, Krzysztof Zubel, Adrian Mroczko, "Usage of OPNET simulation tool for validation of routing in ATM backbone networks of tactical communication systems," IEEE MILCOM 2004, pp, 586-592.
- [2] Kenneth C. Young, et. al, "Ad hoc mobility protocol suite for the MOSAIC ATD," IEEE MILCOM 2003, pp. 1348-1352.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] Duncombe C., Harrington E., "Tactical PCS deployment," IEEE MILCOM 1995, pp. 1248-1252.