

무선 전술 통신망을 위한 OSPF 적용 방안

(A Study on OSPF for Wireless Tactical Communication Networks)

국 성 숙 [†] 장 문 정 [†] 이 미 정 ^{**} 전 제 현 ^{***}
 (Sung Sook Kook) (Moon Jeong Chang) (Mee Jeong Lee) (Je Hyun Jun)

김 태 완 ^{***} 최 증 원 ^{****} 노 봉 수 ^{****}
 (Tae Wan Kim) (Jeung Won Choi) (Bong Soo Roh)

요 약 최근, 우리 군에서는 무선망을 기반으로 하는 차세대 전술통신체계인 전술종합정보통신체계(TICN: Tactical Information Communication Network) 구축 사업을 진행하고 있다. TICN 시스템 전체의 백본 역할을 수행하는 TICN 전달망에서는 경로의 생존성과 신뢰성 및 무선링크의 안정성을 고려하는 라우팅과 플로우 병 최소 서비스 품질을 보장하면서도 가능한 한 많은 플로우들을 서비스할 수 있는 라우팅이 요구된다. 그러나 군에서 도입하고자 하는 상용 OSPF(Open Short Path First)는 TICN 전달망에서의 라우팅 요구사항을 만족하기 어렵기 때문에 군에서는 라인접속장치라고 하는 새로운 장치를 도입하여 상용 OSPF를 TICN 전달망 라우팅 프로토콜로 사용할 수 있도록 하고자 한다. 이에 본 논문에서는 이 장치에서 계산될 OSPF 비용함수를 제안하고, 제안하는 비용함수를 적용한 OSPF에서 프로토콜 파라미터들의 값을 TICN 전달망 환경에 적합하도록 튜닝하고자 한다. 시뮬레이션을 통하여 제안하는 비용함수를 사용하는 OSPF가 기존 OSPF에 비해 응용 서비스의 통신성능과 네트워크 자원 활용률 측면에서 더 좋은 성능을 보임을 알 수 있었다.

키워드 : 군 전술 통신망, TICN, OSPF, 비용함수, 전술용 라우팅

Abstract Recently, the military of Korea has been establishing the next generation wireless tactical communication system so called Tactical Information Communication Network (TICN). A routing protocol for TICN transport networks has to be able to select a path with high survivability, reliability, and stability while accommodating as many flows as possible with minimum QoS guarantees. The OSPF(Open Short Path First) used widely is determined to be the routing protocol for TICN. With the typical deployment practices OSPF, however, it cannot satisfy the requirements of TICN. In this paper, we propose a cost function for OSPF and a way to tune the OSPF protocol parameters for the TICN transport networks. Through simulations, it is shown that the OSPF with the proposed cost function provides better performance than the OSPF in terms of both the services provided to the applications and the network resources utilization.

Key words : Military tactical communication networks, TICN, OSPF, Cost function, Tactical routing

* 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2009-(C1090-0902-0036))

논문접수 : 2009년 3월 5일
 심사완료 : 2010년 1월 6일

[†] 학생회원 : 이화여자대학교 컴퓨터학과
 sskook@ewhain.net
 mjchang@ewhain.net
^{**} 정 회원 : 이화여자대학교 컴퓨터학과 교수
 lmj@ewha.ac.kr
^{***} 비 회원 : 삼성 탈레스 (주)
 jehyun.jun@samsung.com
 taewan.kim@samsung.com
^{****} 비 회원 : 국방과학연구소
 jwchoi@chol.com
 saintroh@add.re.kr

Copyright©2010 한국정보과학회: 개인 목적이거나 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: 정보통신 제37권 제2호(2010.4)

1. 서론

전술 통신 환경은 기존의 상용 통신 환경과 달리 지형 제한이 있는 다양한 통신 환경에서 생존성, 안정성, 신뢰성 있는 통신을 요구한다. 또한 고정된 기간 시설이 없는 전장의 통신 환경을 극복할 수 있도록 무선 통신 체계와 전송노드¹⁾ 체계의 구축이 필요하다[1].

최근, 우리 군에서는 차세대 전술통신체계인 전술종합 정보통신체계(TICN: Tactical Information Communication Network) 구축 사업을 진행하고 있다. TICN 사업은 현재 육군에서 운영 중인 SPIDER 전술통신체계와 전투무선망을 2013년부터 대체해 고속, 대용량, 원거리, 무선 중계 전송으로 발전시키기 위한 사업으로 다원화된 군 통신망을 일원화하고 다양한 전장 전보를 적시 적소에 실시간으로 전달해 정확한 지휘통제 및 의사결정을 가능하게 하는 미래형 군 전술 종합 정보 통신 체계이다. TICN에서는 기존의 응용서비스²⁾는 물론 각종 멀티미디어 데이터 자료들에 대한 서비스³⁾를 제공한다.

이 시스템의 백본 역할을 수행하는 TICN 전달망은 44Mbps의 가시거리 무선 전송링크를 사용하는 전술 라우터들로 구성된다. TICN 전달망은 대부대 및 소부대의 부대노드 간의 장·단거리 연결을 제공하며, 기본적으로는 사단 단위이나, 전시 상황에 따라 사단끼리 상호 연결함으로써 군단 단위까지 망을 확장할 수 있다[2]. 이러한 TICN 전달망을 신뢰적·효율적으로 운영하기 위해서는 망 성능에 큰 영향을 미치는 중요한 요소 중 하나인 라우팅에 대한 연구가 반드시 필요하다[3]. TICN 전달망에서는 무선 전송 링크의 특성과 재밍 등의 영향으로 링크 상태가 불안정한 상황에서도 지속적인 통신이 가능해야 하므로 경로의 생존성과 신뢰성 및 무선링크의 안정성을 고려한 라우팅이 요구된다. 또한 백본망 역할을 수행해야 하므로 플로우 별 최소 서비스 품질을 보장하면서도 가능한 한 많은 플로우들이 서비스될 수 있는 라우팅이 필요하다.

현재 군의 TICN 전달망을 위한 라우팅 프로토콜 개발 전략은 새로운 프로토콜을 디자인하기보다 기존의 인터넷 표준 라우팅 프로토콜을 활용하여 낮은 비용으로 빠른 도입이 가능하도록 하는 것에 있다. 대표적인 인터넷 표준 라우팅 프로토콜로는 RIP(Routing Information Protocol)[4]와 OSPF(Open Short Path First)[5]가 있다. RIP는 거리벡터 알고리즘을 사용하며, 요청

과 응답 메시지를 사용하여 경로 테이블을 관리한다. 요청 메시지는 라우터가 처음으로 부팅되었을 때, 혹은 어떤 특정 목적지 정보가 더 이상 유효하지 않을 때 전송되며, 응답 메시지는 주기적으로 전송(30초에 한 번씩 자기의 목적지 정보 전체를 이웃 라우터에게 전송)하거나 상대의 요청 메시지에 의한 응답으로 전송된다. 응답 메시지를 수신한 라우터는 수신된 정보를 통해 최단 경로를 결정하는데, 최단 경로는 목적지까지 갈 수 있는 여러 경로 중에서 홉 수가 가장 작은 경로가 된다. 한편 RIP는 느린 수렴 현상으로 인해 라우터 간 무한루프가 발생하여 라우팅 정보가 전달되지 않는 라우팅 루프 현상 문제를 해결하기 위해 최대 홉 수(15 홉)를 제한하고 있으며, Split Horizen, Hold down, Poison Reverse Update 등의 방법을 사용한다. 그러므로 RIP는 경로 선택 방법이 홉 수뿐이기 때문에 응용 서비스 별 QoS 요구사항에 따른 다양한 메트릭을 적용하기 어렵고, 최대 홉 수 제약으로 인해 대규모 망에 적용하는 것이 어렵기 때문에 전술용 라우팅 알고리즘으로는 부적합하다. 그러므로 군에서는 현재 가장 널리 사용되고 있는 상용 OSPF를 TICN 전달망 환경을 위한 라우팅 프로토콜로 도입하고자 한다. OSPF는 링크-상태 알고리즘을 사용하는 라우팅 프로토콜로, 네트워크 토폴로지 변경을 감지할 때마다 OSPF 라우터는 자신에게 연결되어 있는 각 링크의 비용을 계산하여 자신의 경로 테이블을 갱신한다. 각 링크의 비용은 비용합수를 통해 계산되며, OSPF 표준 문서에서는 비용합수를 구성할 수 있는 파라미터로 링크 원래 대역폭, 지연, 처리율을 정의하고 있으나 실제 상용에서는 링크의 원래 대역폭만으로 비용합수를 구성하고 있다[6]. 따라서 OSPF는 네트워크의 물리적인 토폴로지가 변경되지 않는 한 데이터 경로를 변경하지 않기 때문에 동적으로 변화하는 무선링크의 상태에 적응적인 라우팅을 수행할 수 없고, 군 전술망 환경에서의 라우팅 요구사항인 경로의 생존성과 신뢰성 및 무선링크의 안정성을 고려한 라우팅을 수행할 수 없으며, 비용합수 파라미터로 링크의 원래 대역폭만을 반영함으로써 백본망으로써의 라우팅 요구사항을 만족하기 어렵다. 즉 군 전술망 환경인 TICN 전달망에 OSPF를 사용하면, 데이터 경로 상의 무선링크가 불안정하거나 적의 공격으로 인해 그 링크의 데이터 전송률이 매우 낮아지더라도 데이터 경로를 변경하지 못하므로 통신 성능이 저하되거나 극단적으로는 통신이 끊어지는 문제가 발생한다.

이에 군에서는 상용 OSPF를 TICN 전달망에 사용하는 경우에 발생하는 위와 같은 문제점들을 해결하면서도 상용 OSPF를 거의 수정하지 않으므로써 디플로이를 용이하도록 하기 위해 라인접속장치라고 하는 새로운

1) 상용 통신의 중계기에 해당하는 것으로 전장 환경에서 통신의 사각지역을 해결하는 역할을 수행한다.
2) 기존의 음성, VoIP의 유무선 음성통화, 실시간 및 비실시간의 유무선 IP 데이터 전송과 보안 서비스 등
3) 회의 통화 무선방송, 각종 응용 체계들의 데이터 전송 및 위치보고 시스템, SMS, 화상통신, 화상회의, E-mail, 정치화상, 동영상 등

장치를 도입하고자 한다. 이 장치의 목적은 OSPF에서 수행하던 각 링크의 비용 계산을 이 장치에서 수행하도록 함으로써 기존 OSPF 모듈을 거의 수정하지 않고도 비용함수를 변경함에 따라 목적이 다른 라우팅을 수행할 수 있도록 하는데 있다.

본 논문에서는 라인접속장치에서 계산될 OSPF 비용함수를 동적으로 변화하는 무선링크의 상태에 적용적으로 데이터 경로를 변경할 뿐만 아니라 경로의 생존성 및 신뢰성, 무선링크의 안정성이 높은 경로를 선택할 수 있도록 정의함으로써 TICN 전달망 환경에서의 라우팅 요구사항을 만족할 수 있도록 하고, 제안하는 비용함수를 적용한 OSPF를 무선 전송 통신망 환경인 TICN 전달망 환경에 적합하도록 튜닝할 필요가 있는 OSPF 프로토콜 파라미터들을 추출하고 그 값들을 최적화한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장의 서론에 이어 2장에서는 무선 전송 통신망인 TICN 전달망 환경을 위한 OSPF 적용 방안에 대하여 자세히 설명하며, 3장에서는 시뮬레이션을 통해 제안하는 비용함수를 사용하는 OSPF의 성능을 기존 OSPF의 성능과 종합적으로 비교·분석한다. 마지막으로 4장에서는 결론을 맺는다.

2. 무선 전송 통신망을 위한 OSPF 적용 방안

OSPF를 사용하는 TICN 전달망에서의 기반 전송라우터는 그림 1과 같은 구조를 가진다. 각 라우터에 논리적으로 연결되어 있는 무선링크들은 실제 무선전송장치와 물리적으로 연결되어 있으며, 이 장비는 각 링크의 이용 가능한 대역폭과 BER 값을 주기적으로 혹은 실시간으로 체크하여 링크상태정보시그널을 통해 라인접속장치에 전달하는 역할을 수행한다. 라인접속장치는 제안하는 비용함수를 계산해야 하는 시점을 판단하고, 각 링크 별 비용함수를 계산하며 그 결과 값을 경로 테이블 갱신 시그널을 통해 OSPF 모듈로 전달하는 역할을 수행한다. 마지막으로 OSPF 모듈은 상용 OSPF 프로토콜이 수행되는 부분으로, 네트워크의 물리적인 토폴로지 변경과 같이 경로 테이블을 갱신해야 하는 상황을 인지하면 현재 연결되어 있는 링크정보와 각 링크의 비용값을 포함하는 LSU 메시지를 생성하여 플래딩한 후, 자신의 경로 테이블을 갱신하는 역할을 수행한다. 기존 OSPF 동작과정과의 차이점은 라인접속장치로부터 경로 테이블 갱신 시그널을 받는다는 점이다. OSPF 모듈은 이 시그널을 수신하면, 경로 테이블을 갱신해야 하는 상황을 인지하고 이 시그널을 통해 받은 정보인 각 링크 별 비용값을 반영한 LSU 메시지를 생성하여 플래딩한 후, 자신의 경로 테이블을 갱신한다. 이와 같이 함으로써 상용 OSPF 모듈은 거의 수정되지 않고 사용될 수 있다.

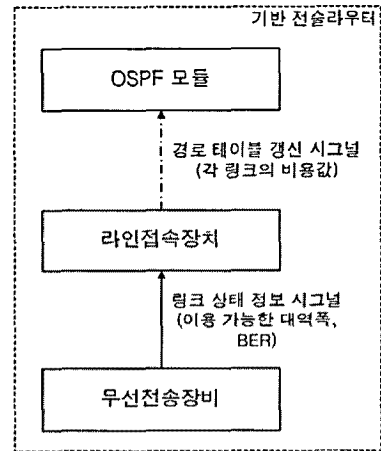


그림 1 TICN 전달망에서의 기반 전송라우터 구조

먼저 2.1절에서는 라인접속장치에서 계산될 비용함수를 정의하고, 제안하는 비용함수를 사용하는 OSPF를 운용하는 기반 전송라우터에서의 동작방식에 대해서 설명한다. 2.2절에서는 제안하는 비용함수를 사용하는 OSPF를 TICN 전달망 환경에서 사용할 경우 튜닝해야 할 필요가 있는 OSPF 프로토콜 파라미터들을 추출하고 그 값들을 최적화한다.

2.1 비용함수 정의 및 정의한 비용함수를 사용하는 OSPF

먼저, 본 논문에서는 라인접속장치에서 수행될 비용함수를 정의한다. 제안하는 비용함수를 구성하는 파라미터들은 라인접속장치가 무선전송장치로부터 획득할 수 있는 정보에 기반 해야 하며, 이 정보를 활용함으로써 파라미터 값들을 획득할 수 있어야 한다. 현재 TICN 시스템에서는 무선전송장치로부터 획득할 수 있는 정보로 이용 가능한 대역폭 값과 현재 BER 값이 있으므로 본 논문에서는 이들을 활용할 수 있는 파라미터들로만 비용함수를 구성한다. 따라서 본 논문에서는 이용 가능한 대역폭, 평균 BER, 평균 BER 편차, 그리고 링크전파지연을 비용함수의 파라미터로 선택한다.

이용 가능한 대역폭은 무선전송장치로부터 수신하는 링크상태정보시그널을 통해 획득할 수 있는 값으로, 링크의 이용 가능한 대역폭이 클수록 더 많은 양의 데이터 플로우들을 서비스할 수 있고, 네트워크상에 부하를 분산시키는 효과를 얻을 수 있기 때문에 제안하는 비용함수의 파라미터로 선택한다. 따라서 이용 가능한 대역폭이 클수록 비용값은 낮아져야 하므로 '44Mbps⁴⁾/이용 가능한 대역폭'으로 비용함수에 반영된다.

무선망을 포함하는 근 전송 전달망 환경에서는 재밍

4) TICN 전달망 환경에서 기반 전송라우터 간 무선링크 대역폭

등으로 인한 무선링크의 높은 전송 오류율로 인해 안정적이고 신뢰성 있는 데이터 통신이 지속적으로 이루어지기 어렵기 때문에 무선링크의 평균 BER과 평균 BER 편차를 제안하는 비용함수의 파라미터로 선택한다. 제안하는 비용함수에서는 평균 BER과 평균 BER 편차 파라미터 값이 낮은 경로를 선택함으로써 안정하고 신뢰성 높은 경로를 선택할 수 있다. 본 논문에서 평균 BER과 평균 BER 편차는 다음과 같이 계산되며, 현재 BER 값은 무선전송장비로부터 링크상태정보시그널을 통해 획득한다.

$$\text{평균 BER}[t] = 10^6 \{ (1-\alpha) \times \text{평균 BER}[t-1] + \alpha \times \text{현재 BER}[t] \}$$

$$\text{평균 BER 편차}[t] = 10^6 \{ (1-\beta) \times \text{평균 BER 편차}[t-1] + \beta \times | \text{현재 BER}[t] - \text{평균 BER}[t] | \}$$

(가중치: $0 < \alpha, \beta < 1, t$: 시간슬롯)

무선링크의 BER 값은 매우 동적으로 변화하는 불규칙한 값을 가진다. 그러므로 본 논문에서는 BER 값을 제대로 추정하기 위해 평균값을 사용하되, 앞서 수식에서 보듯이 최근 BER 값이 현재 무선링크의 상태를 더 잘 반영하기 때문에 EWMA(Exponential Weighted Moving Average)를 사용한다. 또한 본 논문에서의 평균 BER 편차는 현재 측정된 BER 값이 평균 BER 값으로부터 얼마나 벗어나는지에 대한 예측으로, 현재 측정된 BER 값이 어떠한 변화도 없다면 평균 BER의 편차는 작게 될 것이며, 그렇지 않다면 평균 BER의 편차는 커지게 될 것이다. 그러므로 앞서 수식에서 보듯이 현재 BER 값과 평균 BER 값 차이의 EWMA를 사용한다. 참고로, 평균 BER 값과 평균 BER 편차 값에 각각 10^6 을 곱한 이유는 이용 가능한 대역폭과 동일한 정수범위의 값으로 환산하기 위한 것이다.

마지막으로 TICN 전달망 환경은 위성망을 포함한 유·무선망으로 구성되는데, 군 응용 서비스들 중에서 가장 중요한 서비스가 종단 간 지연시간이 서비스 품질의 척도가 되는 VoIP 서비스이다. 그러므로 가능한 한 유선망을 통해 VoIP 서비스를 제공하는 것이 상대적으로 링크전파지연이 긴 위성망이나 무선망보다 종단 간 지연시간 요구사항을 만족할 수 있는 확률이 높다. 이에 제안하는 비용함수에서는 링크전파지연을 파라미터로 선택하며, 망 유형 별로 링크전파지연 값을 설정한다. 즉, 링크전파지연 값의 크기는 유선망>무선망>위성망 순으로 설정된다. 참고로, 라인접속장치는 자신이 연결된 장비의 유형을 통해 망 유형을 판단한다.

결론적으로, 제안하는 비용함수는 다음과 같이 정의된다.

$$\text{비용 함수}(l) = \log_a(44\text{Mbps}/\text{이용 가능한 대역폭}(l))$$

$$+ \log_b(\text{평균 BER}(l))$$

$$+ \log_c(\text{평균 BER 편차}(l))$$

$$+ \text{링크전파지연}(l)$$

($a, b, c > 0$ 이고 $a, b, c \neq 1$ 인 정수, l : 링크)

이용 가능한 대역폭, 평균 BER, 그리고 평균 BER 편차는 매우 동적으로 변화하는 값을 가지는 파라미터들이다. 이들 파라미터 값을 측정된 그 값 그대로 비용 함수에 반영하게 되면, 비용함수를 계산할 때마다 이들 파라미터 값이 변화하여 각 링크의 비용 값이 변경된다. 이는 데이터 경로가 플래핑(Flapping)되는 현상을 초래하여 통신성능을 저하시킨다. 이러한 문제를 해결하기 위해 제안하는 비용함수에서는 이용 가능한 대역폭, 평균 BER, 그리고 평균 BER 편차 파라미터에 대해서 각각 로그함수를 통한 정규화를 수행한다. 이때 로그함수의 밑 값을 조절함으로써 각 파라미터 값 변화에 따라 비용함수에 반영되는 값을 결정할 수 있다. 특히, 제안하는 비용함수에 있어서 중요한 영향을 미치는 파라미터의 밑 값을 다른 파라미터들 보다 상대적으로 작게 설정함으로써 그 파라미터 값의 변화가 비용함수에 민감하게 반영되도록 할 수 있다.

한편 TICN 전달망의 기반 전송라우터는 동적으로 변화하는 무선링크의 상태에 따라 데이터 경로를 변경할 수 있어야 하므로 라인접속장치에서는 무선링크의 상태 변화에 따라 비용함수를 계산해야 하는 시점을 판단할 수 있는 기준이 요구된다. 데이터 경로로 사용 중인 임의의 무선링크의 상태가 통신 불가능한 상태가 되었음에도 불구하고 그 링크를 계속 사용하게 될 경우 그 링크를 통해 전송된 데이터들은 거의 손실되어 통신성능이 낮아지게 된다. 본 논문에서는 데이터 경로로 사용 중인 임의의 무선링크의 상태가 통신 불가능한 상태가 됨을 감지하여 해당 링크로 데이터가 더 이상 전송되지 않도록 데이터 경로를 변경함으로써 통신성능을 향상시키고자 한다. 그러므로 본 논문에서는 데이터 경로로 사용 중인 임의의 무선링크가 통신 불가능한 상태가 되거나 혹은 통신이 불가능한 상태를 가진 무선링크가 다시 통신이 가능한 상태로 변경되는 경우에 제안하는 비용 함수를 계산하는 전략을 사용한다. 이를 위해 라인접속 장치는 사용자가 인지하는 통신 품질을 기준으로 사용자 간 정상적인 통신이 불가능해지는 무선링크의 평균 BER 값을 임계치(이후, T_TH(Triggering Threshold)로 부름)로 가진다. 또한 라인접속장치가 비용함수를 계산하는 경우, 임의의 한 링크에 대해서 그 링크의 평균 BER 값이 T_TH보다 높아진 경우 이 링크의 비용값은 무한대로 설정하도록 한다. 결론적으로 본 논문에서 라인접속장치는 데이터 경로로 사용 중인 임의의 무

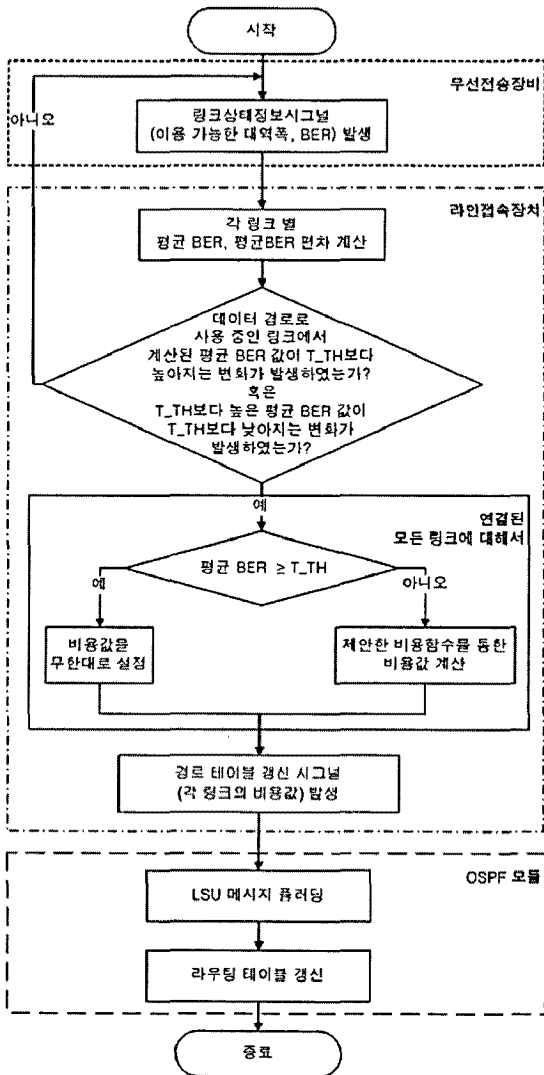


그림 2 제안하는 비용함수를 사용하는 OSPF를 운영하는 기반 전송라우터에서의 동작방식

선링크 평균 BER 값이 T_{TH} 보다 높아지는 경우 혹은 T_{TH} 보다 높은 평균 BER 값을 가지는 무선링크의 평균 BER 값이 T_{TH} 보다 낮아지는 경우에 비용함수를 계산한다.

그림 2는 제안하는 비용함수를 사용하는 OSPF를 운영하는 기반 전송라우터에서의 동작방식을 보여준다. 그림 2에서 보는 것처럼 무선전송장비는 라인접속장치에게 각 링크 별 이용 가능한 대역폭 정보와 현재 BER 값을 링크상태정보시그널을 통해 전달한다. 라인접속장치는 수신한 링크상태정보시그널로부터 획득한 BER 값을 가지고 평균 BER과 평균 BER 편차 값을 계산하고, 평균 BER 값이 T_{TH} 를 기준으로 높아지거나 혹은 낮

아지는 변화의 발생여부를 판단한다. 이와 같은 변화가 있다면, 기반 전송라우터에게 연결된 모든 링크에 대해 제안하는 비용함수를 통해 각 링크의 비용을 계산한다. 단, 평균 BER 값이 T_{TH} 보다 높아진 링크에 대해서는 비용값을 항상 무한대로 설정한다. 라인접속장치는 각 링크의 갱신된 비용값을 경로테이블 갱신 시그널을 통해 OSPF 모듈에게 전달한다. OSPF 모듈은 이 시그널을 수신하면, 각 링크의 갱신된 비용값을 포함하는 LSU(Link State Update) 메시지를 플러딩함으로써 변경된 각 링크의 비용값을 네트워크 내 모든 라우터들에게 전달하고, 자신의 경로 테이블을 갱신한다.

2.2 OSPF 프로토콜 파라미터 튜닝

본 절에서는 OSPF가 운용되는 대상 네트워크가 유선망에서 TICN 전달망으로 변경됨에 따라 튜닝해야 할 필요가 있는 프로토콜 파라미터들을 추출하고 그 값들을 최적화하고자 한다. 단, 본 논문에서는 현재 상용 OSPF 모듈에서 관리자가 설정 가능한 파라미터들 중에서 튜닝할 파라미터들을 추출한다.

OSPF가 운용되는 네트워크의 특성은 네트워크 토폴로지 변경이 발생하는 경우 네트워크 내 모든 OSPF 라우터들이 수렴⁵⁾되는 데까지 걸리는 시간과 관련이 깊다. OSPF 네트워크 수렴시간은 다음 세 경우의 시간 합으로 계산된다.

- (1) 네트워크 토폴로지 변경(예, 다운된 라우터 혹은 물리적으로 끊어진 링크 등)을 인지하기까지 걸린 시간
- (2) 변경된 네트워크 토폴로지 정보를 네트워크 전체에 전파하는데 걸리는 시간
- (3) 변경된 네트워크 토폴로지 정보를 수신한 직후부터 경로 테이블을 갱신할 때까지 걸리는 시간

이 수렴시간은 OSPF를 사용하는 응용 서비스의 품질과 OSPF를 사용함으로써 발생하는 제어패킷 오버헤드에 영향을 끼친다. 그러므로 본 논문에서는 '네트워크 수렴시간'을 기준으로 튜닝해야 할 프로토콜 파라미터를 추출한다.

먼저, (1)은 Hello 주기와 Router dead 주기에 영향을 받는다. OSPF에서 Hello 메시지는 인접 라우터를 발견하고 그 라우터들과 연결을 수립·유지하는 역할을 수행한다. 각 라우터는 Hello 주기마다 Hello 메시지를 이웃 라우터들에게 전송하고, Router dead 주기 동안 임의의 한 이웃 라우터로부터 Hello 메시지를 수신하지 못하면 그 이웃 라우터가 다운된 것으로 간주한다. 그러므로 다운된 라우터 혹은 물리적으로 끊어진 링크를 발

5) 네트워크 내 모든 OSPF 라우터들이 동일한 라우팅 정보를 가지고 있는 상태

견하는데 걸리는 시간을 최소화하기 위해서는 Hello 주기와 Router dead 주기를 최대한 짧게 설정하는 것이 좋다. 그러나 이 두 주기가 짧아질수록 제어패킷 오버헤드는 증가한다. 한편 무선링크로 구성된 TICN 전달망 환경에서는 실제 라우터가 다운되지 않았음에도 불구하고, 무선링크의 오류율로 인해 Hello 메시지가 연속적으로 손실되어 라우터가 다운된 것으로 인식되는 경우(이후, False router down이라 부름)가 발생할 수 있다. False router down을 감지한 라우터는 자신의 이웃 라우터들에게 LSU 메시지를 플래딩하게 되므로 불필요한 제어패킷 오버헤드가 발생한다. 따라서 TICN 전달망 환경에서는 Hello 주기와 Router dead 주기를 짧게 설정할수록 False router down 발생 확률이 높아지며, 불필요한 LSU 메시지 플래딩으로 인해 제어패킷 오버헤드도 증가하게 된다. 그러므로 본 논문에서는 시뮬레이션을 통해 이 두 파라미터 값을 튜닝하고자 한다. 이에 대한 내용은 본 논문 3장에서 자세히 설명한다.

(2)는 LSU 메시지 재전송 주기에 영향을 받는다. OSPF의 각 라우터는 자신의 링크 혹은 이웃 라우터의 상태 변화를 감지하면, 이를 LSU 메시지를 통해 자신이 속한 네트워크의 다른 라우터들에게 전달한다. OSPF에서는 LSU 메시지에 대하여 신뢰성 있는 전송을 보장하기 때문에 이 메시지를 전송한 라우터는 전송한 메시지에 대해 일정 시간 동안 응답을 기다리며, 응답을 받지 못하면 전송했던 LSU 메시지를 재전송한다. 그러므로 LSU 메시지 재전송 주기가 짧아질수록 손실된 LSU 메시지의 재전송 성공률이 높아지기 때문에 네트워크 내 발생한 토폴로지 변경을 네트워크 전체에 전파하는데 걸리는 시간을 최소화할 수 있다. 네트워크 내의 한 라우터가 네트워크 토폴로지 변경을 감지하고 LSU 메시지를 플래딩하게 되면, 이 메시지들은 네트워크 전체에 전파되는데 TICN 전달망이 격자 네트워크로 구성되어 있으므로 그림 3에서 보는 바와 같이 대부분 TICN 전달망 내의 기반 전송라우터들은 동일한 LSU 메시지를 최대 4번까지 수신할 수 있어 LSU 메시지 재전송 의미가 거의 없다. 예를 들어, 그림 3에서 보듯이 R1과 R2 사이의 링크에서 ①번 LSU 메시지가 손실된 다할지라도 R1에 연결된 다른 라우터들로부터 동일한 LSU 메시지인 ②~④번 LSU 메시지를 수신할 수 있다.

단, TICN 전달망 환경에서 각 기반 전송라우터가 자신의 이웃 라우터로부터 수신해야 할 LSU 메시지들을 모두 수신하지 못하는 경우 LSU 메시지 재전송은 반드시 필요하다. 그러나 이와 같이 이웃 기반 전송라우터로부터 전파되는 LSU 메시지가 모두 손실되는 경우는 TICN 전달망 환경에서는 거의 발생하지 않는다. 그러므로 TICN 전달망 환경에서는 격자 네트워크의 특성으

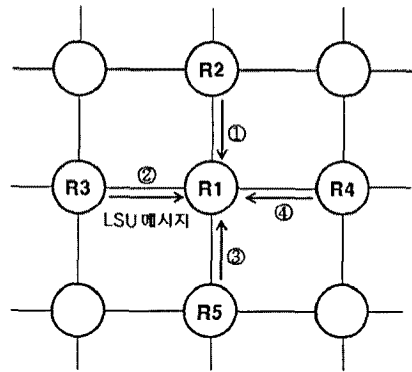


그림 3 TICN 전달망에서의 LSU 메시지 전송

로 인해 LSU 메시지 재전송 주기가 제어패킷 오버헤드나 응용 서비스의 품질에 큰 영향을 미치지 않는다.

마지막으로 (3)은 SPF(Shortest Path First) 지연시간과 SPF 유지시간에 영향을 받는다. OSPF에서 SPF 지연시간은 LSU 메시지를 처음으로 수신한 후 경로 테이블을 계산하기까지의 지연시간을 의미하며, SPF 유지시간은 성공적으로 경로 테이블을 계산한 후, 다음 경로 테이블을 계산할 때까지의 시간을 의미한다. 즉 OSPF 라우터는 LSU 메시지를 처음으로 수신한 후 SPF 지연시간만큼 기다린 후 경로 테이블을 계산하며, 이 이후로는 SPF 유지시간의 주기를 가지고 경로 테이블을 계산한다. 한편 격자 네트워크로 구성되는 TICN 전달망 환경에서 SPF 지연시간과 유지시간을 기존 OSPF의 기본값인 5초와 10초로 설정하면, route flapping이 발생하게 되어 응용 서비스의 성능이 저하되는 문제가 발생한다. 예를 들어, 그림 4에서 보는 것처럼 라우터 R1과 라우터 R3 사이의 링크가 끊어지기 전, 수신자 A로의 데이터 경로는 (1)과 같다. R1과 R3 사이의 링크가 끊어지게 되면 R1은 이를 감지하고 LSU 메시지를 플래딩한 후, 자신의 라우팅 테이블을 갱신한다. 그 결과 R1에서 수신자 A로 데이터 전송을 위한 다음 홉은 라우터 R2가 된다. 한편, R2는 R1로부터 LSU 메시지를 수신하고 SPF 지연시간/유지시간만큼 기다린 후, 자신의 라우팅 테이블을 갱신한다. 그 결과 R2에서 수신자 A로 데이터 전송을 위한 다음 홉은 라우터 R4가 되고, 그림 4의 (3) 경로를 통해 데이터가 전달된다. 그런데 R2가 자신의 라우팅 테이블을 갱신하기 전까지는 수신자 A로 데이터 전송을 위한 다음 홉을 R1로 인식하고 있어, R2는 R1로부터 받은 데이터들을 다시 R1로 전송한다. 즉 R1과 R2 사이에 SPF 지연시간/유지시간만큼 route flapping이 발생하게 된다.

그러므로 본 논문에서는 SPF 지연시간/유지시간을 최소화하여 route flapping이 유지되는 시간을 최소화함

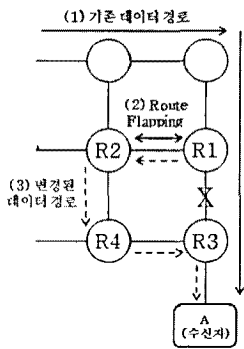


그림 4 Route Flapping의 예

으로써 응용 서비스의 품질을 향상시키고자 한다. 즉 route flapping이 발생하는 경우 VoIP 서비스에서는 SPF 지연시간/유지시간만큼 패킷 손실이 발생하게 되는데, SPF 지연시간이 길어질수록 VoIP 서비스가 허용하는 패킷 손실량을 초과할 확률이 높아지므로 서비스 품질이 낮아진다. FTP 서비스에서는 SPF 지연시간/유지시간이 1초를 초과하게 되면 송신자 측에서 전송한 데이터 패킷에 대한 재전송 타임아웃이 발생하여 데이터 패킷을 재전송하는데, SPF 지연시간/유지시간이 길어질수록

송신자 측에서 발생하는 재전송 타임아웃 횟수는 증가하므로 처리율이 낮아진다. 그러므로 본 논문에서는 SPF 지연시간과 유지시간을 모두 0초로 설정한다.

3. 성능평가

본 논문에서는 OPNET 14.5 버전[7] 시뮬레이터를 이용하여 제안하는 비용함수를 사용하는 OSPF의 타당성을 검증하고 성능을 평가하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 3.1절에서는 시뮬레이션 네트워크 모델 및 시뮬레이션 환경 설정에 대해서 설명하고, 3.2절에서는 2.2절에서 설명한 Hello 주기와 Router dead 주기값을 시뮬레이션을 통해 튜닝하며, 제안하는 비용함수를 구성하는 각 파라미터들에 대한 로그 밀 값을 최적화하고, 제안하는 비용함수의 타당성을 검증한다. 마지막으로 3.3절에서 군 전송 망 환경인 TICN 전달망에서 제안한 비용함수를 사용하는 OSPF(이후, Tactical OSPF라고 부름)와 SPF 유지시간과 지연시간을 0초로 튜닝한 OSPF를 종합적으로 성능을 비교·분석한다.

3.1 시뮬레이션 환경

본 실험에서의 시뮬레이션 네트워크 모델은 그림 5와 같다. TICN 전달망 환경은 기반 전송라우터 30개가 격

표 1 시뮬레이션 파라미터들 및 설정한 값

시뮬레이션 파라미터	설정 값
평균 BER값을 계산하기 위한 가중치 (α)	0.875
편차 BER값을 계산하기 위한 가중치 (β)	0.25
비용함수에서의 링크전파지연 파라미터	2 (TICN 전달망은 동일한 무선링크들로 구성됨.)
시뮬레이션 시간	200초

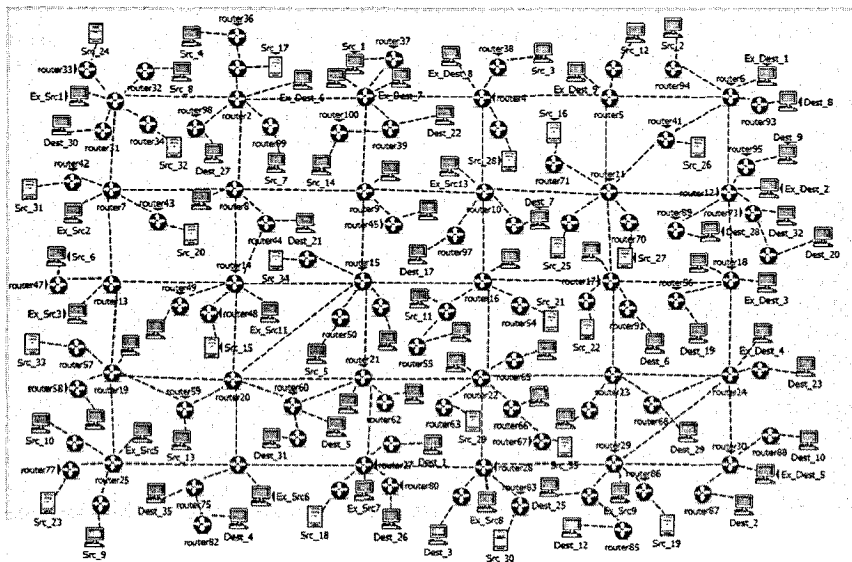


그림 5 시뮬레이션 네트워크 모델

자구조로 구성되며 point-to-point 링크를 통해 연결된다. 또한 기반 전술라우터에는 transit/bridge 형태인 70개의 부대 라우터가 연결되어 있으며 부대 라우터에는 통신을 위한 단말이 각각 연결되어 있다. Tactical OSPF는 기반 전술라우터에서 운용된다고 가정한다. 본 실험에서는 TICN 전달망을 구성하는 무선링크를 모델링하기 위해 대역폭은 44Mbps로, BER은 10^{-6} 으로 설정하였으며, 일반적으로 많이 사용하고 있는 2-State Markov 오류 모델[8]을 사용하였다. 이 때 Good 상태의 BER은 10^{-6} 으로, Bad 상태의 BER은 $10^{-6} \sim 10^{-2}$ 로 설정하였고, 지수분포를 따르는 상태주기는 5~50초로 설정하였다. 표 1은 본 실험에서 사용된 시뮬레이션 파라미터들 및 설정한 값을 보여준다.

3.2 Tactical OSPF 프로토콜 파라미터 튜닝 및 타당성 검증

3.2.1 Hello 주기와 Router 주기 튜닝

본 실험에서는 전장에서 전술 작전을 수행하는데 있어 가장 중요하게 고려되는⁶⁾ 대표적인 군용 응용 서비스인 VoIP 서비스를 고려하였으며, 성능측정치로서 MOS (Mean Opinion Score)[9], 제어패킷 오버헤드를 측정하였다. 또한 시뮬레이션 파라미터로는 Hello 주기와 Router dead 주기를 (10초, 40초), (30초, 120초), (50초, 200초), (70초, 280초)로 변경시켜 보았다. 이 때 다른 프로토콜 파라미터 값들은 모두 기존 OSPF에서의 기본 값(8)으로 설정하였다. 또한 본 논문에서 고려하는 TICN 전달망 환경에서는 무선링크가 물리적으로 끊어지거나 기반 전술라우터가 다운되는 현상이 발생하지 않으므로 본 실험에서는 네트워크 토폴로지 변화와 False router down은 발생하지 않는다.

그림 6과 그림 7은 (Hello 주기, Router dead 주기) 변경에 따른 VoIP 서비스의 MOS와 제어패킷 오버헤드를 측정된 결과를 보인 것이다. 2장에서 설명한 바와 같이 Hello 주기와 Router dead 주기는 기존 OSPF에서 네트워크 토폴로지 변경을 감지하기 위한 프로토콜 파라미터들이며, 본 실험은 네트워크 토폴로지 변화가 없는 환경에서 수행되었기 때문에 그림 6에서 보는 것처럼 Hello 주기에 관계없이 서비스의 품질에는 큰 차이가 없다. 또한 본 실험에서는 네트워크 토폴로지 변화로 인한 LSU 메시지가 발생하지 않기 때문에 그림 7의 Hello 주기에 따른 제어패킷 오버헤드의 변화는 Hello 메시지에 의한 것으로 볼 수 있다. 따라서 Hello 주기가 길어질수록 네트워크 내에서 발생하는 Hello 메시지 수가 줄어들기 때문에 그림 7에서 보는 것처럼 Hello 주

기가 길어질수록 제어패킷 오버헤드는 거의 선형적으로 줄어들음을 볼 수 있다. 한편 그림 7에서 Hello 주기가 10초일 때가 70초일 때보다 제어패킷 오버헤드가 약 7배 정도 더 크어도 불구하고 그림 6에서 보듯이 서비스의 품질은 비슷함을 볼 수 있다. 이는 Hello 메시지가 네트워크 상에 플러딩되는 LSU 메시지와는 달리 각 라우터가 오직 자신의 이웃 라우터들과만 주고받는 제어 메시지기 때문이다.

본 실험에서는 네트워크 토폴로지 구성 시에, 최소 2번의 Hello 주기를 거쳐야 OSPF 라우팅을 위한 네트워크 토폴로지를 구성할 수 있으므로 Hello 주기가 길어질수록 이 네트워크 토폴로지가 구성되는데 걸리는 시간이 길어진다. 본 실험의 경우 Hello 주기가 70초일 때, OSPF 라우팅을 위한 네트워크 토폴로지 구성이 완료되는데 90초, Hello 주기가 50초일 때 65초 정도가 소요된다. 그러므로 본 실험에서는 OSPF 라우팅을 위한 네트워크 토폴로지 구성에 걸리는 시간은 1분 정도가 적당하다고 보고 Tactical OSPF의 Hello 주기와 Router dead 주기를 각각 50초, 200초로 선택하였다. 표 2는 본 논문에서 튜닝한 Tactical OSPF 프로토콜 파라미터 값을 보여준다.

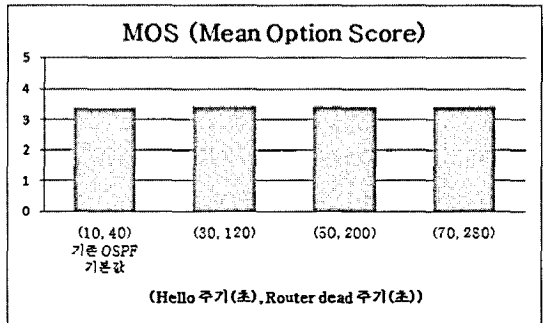


그림 6 Hello 주기 변화에 따른 MOS

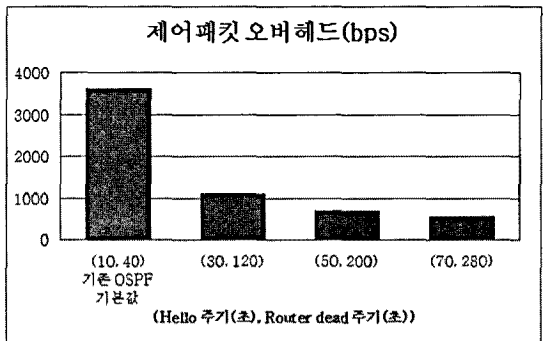


그림 7 Hello 주기 변화에 따른 제어패킷 오버헤드

6) 전장에서는 각 사단급 이상의 군 지휘소에서의 의사결정이나 상황보고가 모두 VoIP 서비스를 통해 이루어진다.
7) 일반적으로 OSPF에서 Router dead 주기는 Hello 주기의 4배이다.

표 2 튜닝된 Tactical OSPF 프로토콜 파라미터 값

Tactical OSPF 프로토콜 파라미터들	프로토콜 파라미터 값	
	튜닝값 (초)	OSPF 기본값 (초)
Hello 주기	50	10
Router dead 주기	200	40
SPF 지연시간	0	5
SPF 유지시간	0	10

3.2.2 로그 밑 값의 최적화

본 절에서는 2.1절에서 정의한 비용함수를 구성하는 각 파라미터들에 대한 로그 밑 값을 최적화하기 위하여 휴리스틱하게 실험을 수행하였다. 본 실험은 기반 전송 라우터를 연결하는 무선링크에 대하여 링크의 평균 BER 값이 T_TH보다 높은 무선링크의 비율(이후, B_BER이라고 부름)이 20%이고 네트워크 부하가 30% 일 때, 각 파라미터에 대한 로그 밑 값을 변경시켜 보면서 Tactical OSPF에서의 VoIP 서비스 데이터 통신 성공률을 측정한다. 본 논문에서의 데이터 통신 성공률이란 전체 통신 중인 송수신 단말페어들 중에서 수신 단말에서의 MOS가 2.6이상⁸⁾인 송수신 단말 페어의 비율을 의미한다.

그림 8, 그림 9, 그림 10에서 보듯이 이용 가능한 대역폭, 평균 BER, 평균 BER 편차 파라미터의 로그 밑 값은 각각 10, 5, 5일 때 가장 좋은 성능을 보임을 알 수 있다. 따라서 본 실험을 통해 본 논문에서는 Tactical OSPF의 비용함수를 구성하는 파라미터인 이용 가능한 대역폭, 평균 BER, 평균 BER 편차 파라미터의 로그 밑 값을 각각 10, 5, 5로 최적화한다. 결과적으로, 제안하는 비용함수에서의 각 파라미터에 대해 최적화된 로그 밑 값은 평균 BER과 평균 BER 편차 파라미터가 이용 가능한 대역폭 파라미터보다 비용함수에 더 중요한 영향을 미치는 파라미터임을 의미하며, 이는 Tactical OSPF가 TICN 전달망 환경에서 경로의 안정성, 신뢰성

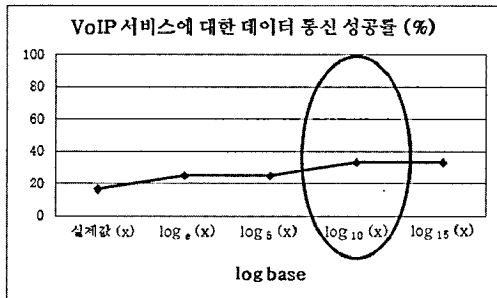


그림 8 이용 가능한 대역폭의 로그 밑 값 최적화

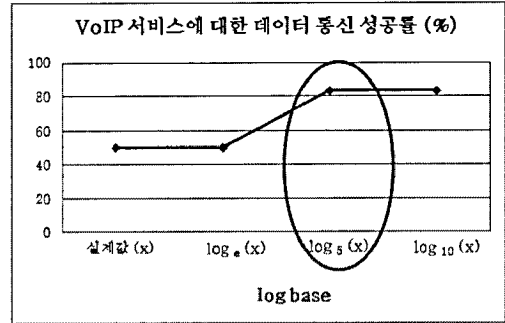


그림 9 평균 BER 편차의 로그 밑 값 최적화

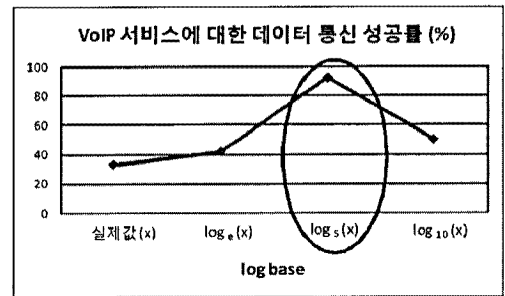


그림 10 평균 BER의 로그 밑 값 최적화

을 고려하는 라우팅을 수행할 수 있음을 의미한다.

3.2.3 비용함수 타당성 검증

2.1절에서 정의한 비용함수를 구성하는 각 파라미터들 중 이용 가능한 대역폭, 평균 BER, 그리고 평균 BER 편차 파라미터에 대한 타당성 검증을 위해 본 실험을 수행하였다. 본 실험은 B_BER이 20%일 때, 네트워크 부하를 10~30%로 변경시켜 보면서 VoIP 서비스의 데이터 통신 성공률을 측정하였다. 또한 성능비교 스킴으로 원래 대역폭만으로 비용함수를 계산하는 기존 OSPF와 이용 가능한 대역폭, 평균 BER, 평균 BER 편차 파라미터에 대하여 각 파라미터만으로 비용함수를 계산하는 제안하는 Tactical OSPF를 비교하였다.

표 3은 각 스킴 별로 VoIP 서비스의 데이터 통신 성공률을 보인 것이다. 표 3에서 보듯이 모든 스킴에 있어서 네트워크 부하가 커질수록 혼잡 발생 확률이 높아지기 때문에 데이터 통신 성공률이 낮아지는 것을 볼 수 있다. 또한 모든 실험 환경에서 데이터 통신 성공률은 Tactical OSPF의 비용함수를 구성하는 각 파라미터만으로 라우팅을 수행하는 스킴들이 기존 OSPF보다 같거나 높음을 알 수 있다. 데이터 경로로 사용되는 무선링크들의 BER 값이 T_TH보다 높아지는 경우, OSPF는 항상 링크의 원래 대역폭에 기반 한 최소비용경로로만 데이터를 전송하므로 데이터 경로를 변경할 수 없는 반면, Tactical OSPF를 사용하는 스킴들은 제안한 비용

8) 일반적으로, MOS가 2.6이상이면 군 전송 통신망의 사용자 입장에서는 통신품질이 양호한 것으로 간주한다.

표 3 비용합수 파라미터 타당성 검증 실험 결과

비용합수 구성파라미터 네트워크 부하(%)	링크의 원래 대역폭 (기존 OSPF)	이용 가능한 대역폭	평균 BER	평균 BER 편차
10	66.7	91.7	91.7	91.7
20	50.0	66.7	50.0	58.3
30	25.0	25.0	33.3	33.3

합수에 의해 데이터 경로를 변경할 수 있기 때문이다.

표 3에서 보듯이, 이용 가능한 대역폭 값만으로 비용합수를 계산하는 Tactical OSPF의 경우 데이터 경로로 사용 중인 무선링크들의 BER 값이 크거나 혹은 BER 변화폭이 큰 링크들일 수 있기 때문에 성능이 좋지 않을 수 있으며, 평균 BER 값만으로 비용합수를 계산하는 Tactical OSPF의 경우에는 데이터 경로로 사용 중인 무선링크들의 BER 변화폭이 극심하거나 이용 가능한 대역폭이 매우 작아 혼잡이 발생할 확률이 높아 성능이 좋지 않을 수 있다. 마지막으로 평균 BER 편차값만으로 비용합수를 계산하는 Tactical OSPF의 경우에도 데이터 경로로 사용 중인 무선링크들의 BER 값이 크거나 이용 가능한 대역폭이 매우 작을 수 있기 때문에 성능이 좋지 않을 수 있다. 그러므로 본 실험을 통해 위의 세 가지 파라미터들 중 하나의 파라미터로만은 TICN 전달망에 적합한 라우팅을 수행할 수 없음을 확인할 수 있었다.

3.3 성능평가

2장에서 설명한 것처럼 TICN 전달망 환경에서 기존 OSPF는 SPF 지연시간과 유지시간으로 인해 발생하는 route flapping 때문에 통신성능이 좋지 못한 반면, 제안하는 Tactical OSPF에서는 SPF 지연시간과 유지시간을 0초로 설정하였기 때문에 route flapping 현상이 발생하지 않아 이로 인한 통신성능의 저하가 발생하지 않는다. 따라서 본 논문에서는 SPF 지연시간/유지시간에 따른 route flapping 발생이 성능에 미치는 영향을 배제하기 위해서 SPF 지연시간/유지시간을 모두 0초로 설정한 OSPF와 성능을 비교한다.

본 실험의 시뮬레이션 파라미터로는 B_BER을 10%, 20%로, 네트워크 부하를 10%, 20%, 30%로 변경시켜 보았다. 성능평가를 위한 응용 서비스로는 대표적인 UDP 기반의 응용인 VoIP 서비스와 TCP 기반의 응용인 FTP 서비스에 대하여 실험을 수행하였다. 본 실험에서는 표 4에서 보는 바와 같이 네트워크 자원 활용률 측면, 응용 서비스 성능 측면, Tactical OSPF의 오버헤드 측면 등 크게 세 가지 측면에 대해서 성능을 평가하였다. 참고로, VoIP 서비스 품질을 판단하기 위한 중단 간 지연시간과 지터를 실험해 본 결과, 가장 성능이 좋지 않은 경우(중단 간 지연시간: 약 0.08초, 지터: 0.0007초)에도 VoIP를 고품질로 서비스하기 위해 요구되는 중단 간 지

표 4 성능 평가 요소 및 측정값

성능 평가 요소		성능 측정값
네트워크 자원 활용률 측면		데이터 통신 성공률
응용 서비스 성능 측면	VoIP 서비스	MOS, 패킷 손실률
	FTP 서비스	처리율
오버헤드 측면		제어패킷 오버헤드, 평균 흡수

연시간(0.15초)과 지터(0.001초)를 만족하기 때문에 본 논문에서는 이에 대한 성능분석은 포함하지 않았다[10,11].

3.3.1 네트워크 자원 활용률 측면

표 5는 B_BER과 네트워크 부하 변화에 따른 Tactical OSPF와 OSPF의 응용 서비스 별 데이터 통신 성공률을 보인 것이다. VoIP 서비스의 경우 네트워크 부하가 커질수록 B_BER이 높아질수록, 혼잡 발생 확률이 높아지기 때문에 두 스킴 모두 데이터 통신 성공률이 줄어듦을 볼 수 있다. 그러나 모든 실험 환경에서 데이터 통신 성공률은 Tactical OSPF가 OSPF에 비해 더 높음을 알 수 있다. 즉, Tactical OSPF의 데이터 통신 성공률은 네트워크 부하가 30%인 경우 B_BER이 10%와 20%일 때, 각각 약 1.43배 정도, 약 2.67배 정도 향상되었다. Tactical OSPF는 이용 가능한 대역폭, 무선링크의 평균 BER과 평균 BER편차 파라미터로 구성된 비용합수를 통해 데이터 경로를 선택하고, 데이터 경로로 사용 중인 무선링크의 평균 BER 값이 통신 불가능한 상태가 되면 데이터 경로를 변경할 수 있는 반면, 오직 링크의 원래 대역폭만으로 데이터 경로를 선택하는 OSPF는 데이터 경로 상의 무선링크들의 BER 값 변화에 따른 데이터 경로를 변경하지 못하며, 이용 가능한 대역폭을 고려하지 않으므로 처음의 데이터 경로로 플로우들이 모두 편향되어 혼잡발생 확률이 증가하기 때문이다. 결론적으로 Tactical OSPF가 OSPF에 비해 혼잡발생확률이 상대적으로 낮고, 생존성이 높은 경로를 사용하기 때문에 네트워크 자원 활용률이 좋음을 알 수 있다.

한편 Tactical OSPF의 경우 표 3에서의 결과와 비교해 봤을 때, 파라미터 값 하나만으로 비용합수를 계산하는 스킴들에 비해 데이터 통신 성공률이 최대 약 2.67배 향상되었음을 확인할 수 있다. 이 결과를 통해 이용 가능한 대역폭, 평균 BER, 혹은 평균 BER 편차 등 세

가지 파라미터들 중 하나의 파라미터로만은 TICN 전달 망에 적합한 라우팅을 수행할 수 없으며, 제안하는 비용 함수를 사용하는 OSPF가 TICN 전달망 환경을 위한 전송용 라우팅 프로토콜로 타당함을 확인할 수 있었다.

FTP 서비스의 경우, 표 5에서 보듯이 모든 실험 환경에서 두 스킴 모두 데이터 통신 성공률이 100%임을 알 수 있다. 이는 FTP 서비스가 TCP 기반 응용서비스 이므로 제한된 재전송 타임아웃 횟수를 넘지 않는 한 TCP 연결은 끊어지지 않으며 혼잡 제어 및 오류 복구 메커니즘을 수행할 수 있기 때문이다.

3.3.2 응용 서비스 성능 측면

그림 11과 그림 12는 VoIP 서비스에 대해서 B_BER과 네트워크 부하 변화에 따른 Tactical OSPF와 OSPF의 MOS와 패킷손실률을 각각 보인 것이다. 그림 11과 그림 12에서 보듯이 두 스킴 모두 네트워크 부하가 커질수록, B_BER이 높을수록 혼잡 발생 확률이 높아지기 때문에 MOS가 낮아지고, 패킷손실률은 높아지는 것을 볼 수 있다. 그림 11에서 보듯이 MOS는 Tactical OSPF가 OSPF에 비해 B_BER이 10%, 20%일 때, 각각 최대 1.2배 정도, 1.4배 정도 향상되었으며, 그림 12에서 보듯이 패킷 손실률은 B_BER이 10%, 20%일 때, 각각 최대 2.4배 정도, 5.1배 정도 향상되었음을 볼 수 있었다. 이는 앞서 데이터 통신 성공률에서 설명한 것처럼 Tactical OSPF는 생존성, 안정성, 신뢰성이 높은 경로를 선택할 수 있을 뿐만 아니라 동적으로 변화하는 무선링크의 상태에 적응적으로 데이터 경로를 변경할 수 있기 때문이다.

그림 13은 FTP 서비스에 대해서 B_BER과 네트워크 부하 변화에 따른 Tactical OSPF와 OSPF의 처리율을 측정한 것이다. 전체적으로 앞서 살펴본 VoIP 서비스와 동일한 경향을 보인다. 처리율은 Tactical OSPF가 OSPF에 비해 B_BER이 10%, 20%일 때, 각각 최대 1.2배 정도, 1.4배 정도 향상됨을 알 수 있었다. Tactical OSPF는 데이터 경로로 사용 중인 무선링크의 평균 BER이 T_TH보다 높아지는 경우 데이터 경로를 변경할 수 있고, 이용 가능한 대역폭을 파라미터로 포함하는 비용함수를 통해 데이터 경로를 선택함으로써 링크의

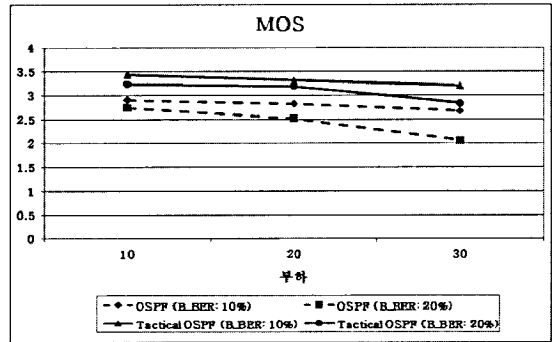


그림 11 B_BER과 네트워크 부하 변화에 따른 Tactical OSPF와 OSPF의 MOS

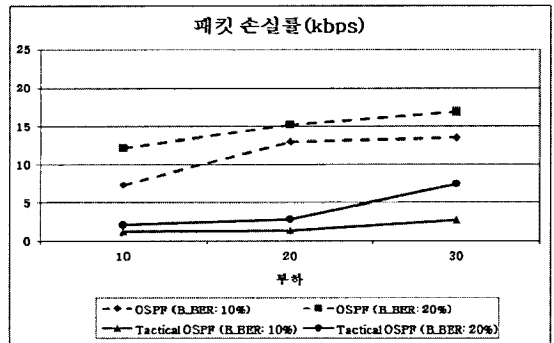


그림 12 B_BER과 네트워크 부하 변화에 따른 Tactical OSPF와 OSPF의 패킷손실률

원래 대역폭만으로 데이터 경로를 선택하는 OSPF에 비해 링크의 자원 활용률이 향상되기 때문이다.

3.3.3 오버헤드 측면

Tactical OSPF의 오버헤드를 분석하기 위해 표 6과 표 7에서 보듯이 B_BER과 네트워크 부하 변화에 따른 Tactical OSPF와 OSPF의 평균 홉 수 및 시뮬레이션 동안 측정된 네트워크 전체 제어패킷 오버헤드를 각각 측정하였다. 표 6에서 보듯이 Tactical OSPF는 B_BER이 증가할수록, 네트워크 부하가 커질수록 평균 홉 수가 증가하는 반면, OSPF는 모든 실험 환경에서 거의 일정한 평균 홉 수를 가짐을 볼 수 있다. OSPF는 네트워크

표 5 응용 서비스의 데이터 통신 성공률(%)

네트워크 부하(%)	VoIP 서비스				FTP 서비스			
	B_BER: 10%		B_BER: 20%		B_BER: 10%		B_BER: 20%	
	OSPF	Tactical OSPF	OSPF	Tactical OSPF	OSPF	Tactical OSPF	OSPF	Tactical OSPF
10	75	100	66.7	91.7	100	100	100	100
20	66.7	91.7	50	83.3	100	100	100	100
30	58.3	83.3	25	66.7	100	100	100	100

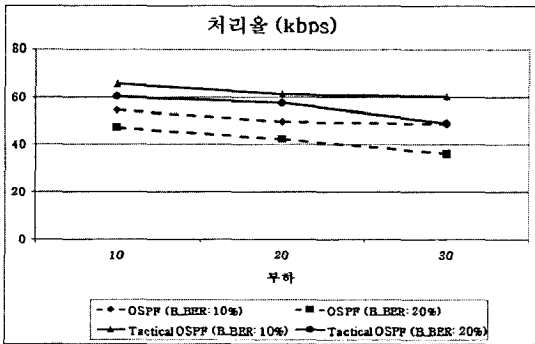


그림 13 B_BER과 네트워크 부하 변화에 따른 Tactical OSPF와 OSPF의 처리율

표 6 평균 홉 수(개)

네트워크 부하(%)	B_BER: 10%		B_BER: 20%	
	OSPF	Tactical OSPF	OSPF	Tactical OSPF
10	6.72	7.11	6.73	7.50
20	6.74	7.16	6.77	7.54
30	6.81	7.23	6.83	7.82

표 7 제어패킷 오버헤드(kbps)

네트워크 부하(%)	B_BER: 10%		B_BER: 20%	
	OSPF	Tactical OSPF	OSPF	Tactical OSPF
10	168.78	194.83	169.94	275.21
20	168.93	198.45	171.44	280.14
30	169.53	239.86	172.15	360.01

토폴로지가 변경되지 않는 한 데이터 경로의 변화 없이 응용 서비스를 제공하지만, Tactical OSPF는 네트워크 토폴로지의 변경 뿐 아니라 무선링크의 BER 값의 변화에 따라라도 데이터 경로를 변경하므로 B_BER이 증가할수록 데이터 경로로 사용할 수 있는 링크가 줄어들며, 네트워크 부하가 증가할수록 이용 가능한 대역폭 파라미터가 비용함수에 미치는 영향이 커지기 때문이다.

본 실험에서 가장 네트워크 상황이 좋지 않은 환경일 때(즉, B_BER: 20%, 네트워크 부하: 30%), Tactical OSPF의 평균 홉 수는 OSPF에 비해 한 홉 정도 차이가 난다. 앞서 설명한 네트워크 자원 활용률 측면과 응용 서비스의 성능 측면에서 향상된 성능을 고려하면, Tactical OSPF에서 한 홉 정도 데이터 경로가 더 길어지는 것은 허용할 수 있다.

표 7에서 보듯이 모든 실험 환경에서 Tactical OSPF가 OSPF에 비해 더 높은 제어패킷 오버헤드를 가짐을 알 수 있다. 네트워크 토폴로지 변화가 발생할 경우에만 LSU 메시지를 플러딩하는 OSPF에 비해 Tactical OSPF에서는 무선링크의 평균 BER 값의 변화에 따라 데이터

경로를 변경하기 위한 LSU 메시지 플러딩이 상대적으로 자주 발생하기 때문이다. Tactical OSPF에서 LSU 메시지 플러딩에 의한 제어패킷 오버헤드 증가는 필연적으로 발생하는 오버헤드이나 기반 전송라우터 간 연결링크가 44Mbps임을 고려하고 전장에서 특정 무선링크가 T_TH를 기준으로 매우 짧은 주기를 가지고 진동하는 경우는 거의 발생하지 않으므로 수십 kbps 정도의 LSU 메시지 플러딩에 의한 오버헤드는 허용할만한 수준이다.

4. 결론

우리 군에서는 최근 진행 중인 차세대 전송통신 체계인 TICN 시스템에서 백본 역할을 수행하는 TICN 전달망을 위한 라우팅 프로토콜로 현재 가장 널리 사용되고 있는 상용 OSPF를 도입하고자 한다. 이를 위해 군에서는 라인접속장치라고 하는 새로운 장치를 TICN 전달망에 도입함으로써 상용 OSPF를 수정하지 않고 디플로이가 용이하도록 한다. 이에 본 논문에서는 TICN 전달망 환경에 도입되는 라인접속장치에서 계산될 OSPF 비용함수를 이용 가능한 대역폭, 무선링크의 평균 BER 및 평균 BER 편차, 그리고 전파지연시간 파라미터로 정의함으로써 동적으로 변화하는 무선링크의 상태에 적응적으로 데이터 경로를 변경할 뿐만 아니라 경로의 생존성 및 신뢰성, 무선링크의 안정성이 높은 경로가 선택될 수 있도록 하였으며, 이용 가능한 대역폭, 무선링크의 평균 BER 및 평균 BER 편차 파라미터에는 로그함수를 취함으로써 플로우 별 최소 서비스 품질을 보장하면서도 가능한 한 많은 플로우들을 서비스할 수 있는 라우팅을 수행할 수 있도록 하였다. 또한 제안하는 비용함수를 적용한 OSPF를 TICN 전달망 환경에 적합하도록 튜닝이 요구되는 OSPF 프로토콜 파라미터들로 Hello 주기, Router dead 주기, SPF 지연시간, 그리고 SPF 유지시간을 추출하였다.

시뮬레이션을 통해, 비용함수를 구성하는 각 파라미터들에 대한 로그 및 값을 최적화하였으며, 각 파라미터들의 타당성을 검증하였다. 또한 추출한 프로토콜 파라미터들의 값을 TICN 전달망 환경에 최적화하였으며, TICN 전달망 환경 하에서 Tactical OSPF와 OSPF의 성능을 종합적으로 비교하였다. 시뮬레이션 결과, Tactical OSPF는 제안하는 비용함수를 통해 생존성, 안정성, 신뢰성이 높은 데이터 경로를 선택할 수 있고, 데이터 경로로 사용 중인 무선링크들 중 통신이 불가능한 무선링크를 감지하면 이 링크를 사용하지 않도록 함으로써 VoIP와 FTP 응용 서비스의 통신성능과 네트워크 자원 활용률 측면에서 기존 OSPF에 비해 더 좋은 성능을 보였다. 마지막으로 Tactical OSPF는 기존 OSPF에 비해 한 홉 정도 증가된 평균 홉 수와 동적으로 변화하는 무선링크

의 상태에 적응적으로 데이터 경로를 변경함으로써 추가적으로 발생하는 LSU 메시지로 인한 제어패킷 오버헤드 증가가 발생하지만, TICN 전달망 환경에서 이와 같은 오버헤드는 허용될 수 있는 수준임을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] D. Lee, B. Gho, K. Kim, "Anti-Jamming 기반 전송 통신 기술", *Proc. of the KICS Information and Communications*, vol.24, no.10, pp.24-33, Oct. 2007. (in Korean)

[2] "군 전송종합 정보통신체계 사업추진회의", 국방과학연구소, 2005.

[3] Y. Park, "A Study of Survivable Alternate Routing Algorithm," *Journal of KIISE : Computing Practices and Letters*, vol.13, no.7, pp.535-539, Dec. 2007. (in Korean)

[4] C. Hedrick, "Routing Information Protocol," IETF RFC 1058, 1988. 06.

[5] J. Moy, "OSPF Version 2," IETF RFC 2328, 1998. 04.

[6] V. Manral, R. White, and A. Shaikh, "OSPF Benchmarking Terminology and Concepts," IETF RFC 4062, 2005. 04.

[7] <http://www.opnet.com/>

[8] M. Zorzi, R. Rao, and L. Milstein, "On the accuracy of a first-order Markov model for data transmission on fading channels," *Universal Personal Communications*, Fourth IEEE International Conference on, 1995.

[9] "Methods for subjective determination of transmission quality," ITU-T Recommendation p.800, 1996. 08.

[10] "International telephone connections and circuits - General Recommendation on the transmission quality for an entire international telephone connection," ITU-T Recommendation G.114, 2005. 05.

[11] ITU G.1010, "Draft New Recommendation G.QoS - RQT - End-user Multimedia QoS Categories," ITU-T study group 12, contribution 37, 2001. 08.

원. 2009년~현재 Virginia Tech. 박사후연구원. 관심분야는 Mobility Management, Routing protocols for DTN



이 미 정

1987년 이화여자대학교 전자계산학과 졸업(학사). 1989년 University of North Carolina at Chapel Hill 컴퓨터학과(공학 석사). 1994년 North Carolina State University 컴퓨터공학과(공학 박사). 1994년~현재 이화여자대학교 공과대학 컴퓨터공학과 교수. 관심분야는 프로토콜 설계 및 성능분석, 멀티미디어 전송을 위한 트래픽 제어, 트래픽 엔지니어링, 무선 이동 네트워크, Ad-hoc 네트워크, VANETs



전 제 현

1990년 2월 인하대학교 전자계산학과 졸업. 1990년 1월~현재 삼성탈레스 종합연구소 수석연구원. 관심분야는 군 이동 무선 통신 시스템 및 프로토콜 설계/구현, QoS, Routing 알고리즘



김 태 완

1998년 2월 광운대학교 전자공학과 졸업 2008년 2월 고려대학교 전자공학과 석사 1998년 1월~현재 삼성탈레스 종합연구소 전문연구원. 관심분야 매체접근 제어 프로토콜 설계/구현, QoS, Routing 알고리즘



최 중 원

1989년 2월 충남대학교 계산통계학과 학사. 1993년 8월 충남대학교 계산통계학과 석사. 1997년 8월 충남대학교 전산학과 박사. 1997년 7월~현재 국방과학연구소 책임연구원. 관심분야는 전송통신망 설계, 전송 VoIP통화 및 라우팅, 정보융합, 그룹웨어



노 봉 수

2004년 2월 한양대학교 전자전기공학부 졸업. 2006년 2월 포항공과대학교 컴퓨터공학과 졸업. 2006년 4월~현재 국방과학연구소 연구원. 관심분야 Wireless Mesh Network, QoS, Routing Algorithm



국 성 숙

2007년 이화여자대학교 컴퓨터학과 졸업(학사). 2009년 이화여자대학교 컴퓨터정보통신학과 졸업(공학 석사). 관심분야는 Mobility Management, Routing protocols



장 문 정

2001년 이화여자대학교 컴퓨터학과 졸업(학사). 2003년 이화여자대학교 과학기술대학원 컴퓨터학과 졸업(공학석사). 2003년~2007년 이화여자대학교 과학기술대학원 컴퓨터학과 졸업(공학박사). 2007년~2009년 이화여자대학교 박사후연구