

# 무선 환경을 고려한 OSPF 라우팅 비용함수 연구

신 동욱\*, 이승환\*, 이승형<sup>o</sup>, 이형주\*\*, 허미정\*\*, 최증원\*\*, 신상현\*\*,  
김태완\*\*\*, 문호원\*\*\*

## Study on OSPF Routing Cost Functions for Wireless Environments

Dong Wook Shin\*, Seung Hwan Lee\*, Seung Hyong Rhee<sup>o</sup>, Hyung-Joo Lee\*\*,  
Mi-Jeong Hoh\*\*, Jeung-Won Choi\*\*, Sang-heon Shin\*\*\*, Tae-Wan Kim\*\*\*, Ho-Won Moon\*\*\*

### 요약

최근의 통신환경은 유선환경에서 무선 환경으로 빠르게 변화하고 있다. Open Shortest Path First (OSPF)는 유선 통신망에서 주로 사용되는 링크 상태 라우팅 프로토콜로, 주변 라우터의 링크 상태를 파악하여 트래픽 경로를 결정하는 라우팅 방법이다. 기존의 OSPF의 비용함수는 라우터의 링크를 변경하지 않으면 처음 설정한 비용으로 운용된다. 그러나 무선 환경에서는 링크의 성능이 다른 환경적 요인에 의해 큰 차이를 보이게 된다. 무선 환경에서 Bit Error Rate (BER)은 링크 상태에 큰 영향을 주는 파라미터로, 기존의 OSPF 비용함수에서는 링크의 BER을 고려하지 않고 단지 링크의 대역폭만을 고려한다. 본 논문에서는 링크 성능에 영향을 줄 수 있는 다양한 파라미터를 분석하여 비용함수에 적용 가능여부를 검증하였다. 새로운 비용함수를 제안하기 위해 Effective 대역폭을 사용하였다. Effective 대역폭은 링크의 BER과 대역폭을 고려하여 새롭게 제안한 방식으로 계산된다. 계산된 Effective 대역폭은 제안하는 Triggering 조건에 의해 적용됨에 따라, 링크의 상태가 수시로 변경되는 무선 환경에서도 상대적으로 적은 Link State Update (LSU)가 발생하여 네트워크의 불안정성을 줄인다. 실험 결과를 통하여 제안하는 비용함수가 무선 환경에서 기존의 OSPF 비용함수를 사용한 경우보다 음성 서비스와 데이터 전송 서비스에서 좋은 성능을 나타내는 것을 확인하였다.

**Key Words** : OSPF, Link State Routing Protocol, BER, Effective Bandwidth, Cost Functions, Triggering Condition, LSU

### ABSTRACT

Recently, in network communication environments, it is changing very fast from wired to wireless. The open shortest path first (OSPF), one of link state routing protocols, mainly used in wired networks, is the routing method to select optimal traffic path as identifying the link state of neighbor routers. The traditional OSPF cost functions performs with first fixed cost permanently, unless the router link is changed. However, in wireless networks, the performance of links show big difference by other environment factors. The bit error rate (BER), a parameter which can quite affect link state in wireless networks, is

※ 본 연구는 삼성탈레스(주) 지원으로 수행되었습니다.

※ 본 연구는 2012년도 광운대학교 우수논문지원금의 지원으로 수행되었습니다.

◆ 주저자 : 광운대학교 전자융합공학과, shindwook@kw.ac.kr, 준회원

◦ 교신저자 : 광운대학교 전자융합공학과, rhee@kw.ac.kr, 종신회원

\* 광운대학교 전자융합공학과, shmj@kw.ac.kr, 정회원

\*\* 국방과학연구소, hyungjoo.lee@add.re.kr, mijjeong@add.re.kr, jwchoi@add.re.kr, 정회원

\*\*\* 삼성탈레스(주), sangheon.shin@samsung.com, tw0213.kim@samsung.com, moon1000@samsung.com

논문번호 : KICS2012-09-420, 접수일자 : 2012년 9월 4일, 최종논문접수일자 : 2012년 9월 21일

not considered in the traditional OSPF cost functions. Only a link bandwidth is considered in the traditional OSPF cost functions. In this paper, we verify the various parameters which can affect link performance, whether it is permissible to use as the parameter of proposed cost functions. To propose new cost functions, we use the effective bandwidth. This bandwidth is calculated by proposed formula using the BER of the network link and link bandwidth. As applied by the proposed triggering condition, the calculated effective bandwidth decrease the unstable of network by generating less link state update messages in wireless networks that frequently changes the link state. Simulation results show that the proposed cost functions significantly outperforms the traditional cost functions in wireless networks in terms of the services of VoIP and data transmission.

## I. 서 론

최근의 통신환경은 유선환경에서 무선 환경으로 빠르게 변화하고 있다. 기존의 유선환경에서의 통신은 고정된 노드 사이에서의 통신이기 때문에 유선으로 이루어진 전송매체의 대역폭과 각 노드의 성능이 통신의 품질을 결정한다. 하지만 무선 환경 통신에서는 노드의 이동 및 전파간섭 등과 같은 환경적인 요인에 의해 통신품질이 저하되거나 통신장애가 발생할 수 있다. 이처럼 기존의 유선환경에 쓰이던 네트워크 환경을 무선 환경에 그대로 적용하기 위해서는 고려해야 하는 파라미터들이 존재하며, 이러한 파라미터를 고려하여 무선 환경에 적용이 가능한 새로운 알고리즘이 필요하다.

본 논문에서 우리가 연구한 내용은 네트워크 환경을 이루는 장비 중 하나인 라우터에서 사용하는 라우팅 프로토콜의 비용함수 변경에 관한 것이다. 라우터는 통신이 일어나는 과정인 Open Systems Interconnection (OSI) 7 계층 중 3계층인 네트워크 계층의 대표적인 장비로써 데이터를 목적지까지 가장 안전하고 빠르게 전달하는 라우팅 기능을 수행한다. 이를 위해 라우터를 통한 경로를 선택하고 이 경로에 따라 패킷을 전달하는데 이것이 OSPF와 같은 라우팅 프로토콜의 일이다.

모든 네트워크 라우터는 OSPF 와 같은 Interior Gateway Protocol (IGP)을 이용하여 네트워크 토폴로지 정보를 서로 주고받게 된다. 이 토폴로지 정보를 토대로 Shortest Path Tree를 만들게 되는데 이러한 최단 경로 설정을 위해 필요한 것이 경로 비용이다. 경로 비용은 각 링크로 패킷을 전달하는데 드는 소요 비용으로써 상대적으로 비용이 적은 링크로 패킷을 보내게 된다. 이러한 비용은 라우팅 프로토콜이 가지고 있는 비용함수에 의해 계산되며 무선 환경을 표현할 수 있는 파라미터의 개념을 비용함수 식에 적용한다면 기존 라우팅 프로토콜의 변형 없이 비용함수 변경만으로 무선 네트워크에서 해당 라우팅 프로토콜을 운용할 수 있다<sup>[1]</sup>.

본 논문에서 라우팅 프로토콜의 비용함수 변경을 위해 고려한 파라미터는 총 세 가지로써, 첫 번째는 평균 BER이다. 무선 환경의 경우에는 유선환경에 비해 BER이 빈번하게 발생한다. 통신 시스템에서 BER과 같은 비트 오류는 통신 품질저하의 원인이 되며 데이터 서비스의 경우 정보 전송 손실을 가져오게 된다. 또한 음성 서비스의 경우 음성 왜곡을 초래하여 정상적인 통신을 어렵게 한다. 두 번째로 고려한 파라미터는 BER 편차이다. 예를 들어 두 개의 BER환경이 있다고 가정했을 때 평균 BER은 같지만 BER의 변화가 상대적으로 크거나 작은 것처럼 편차가 다양할 수 있다. 시뮬레이션을 통해 이 편차의 크기가 비용함수의 파라미터로 고려될 수 있는지 확인한다. 마지막으로 고려한 파라미터는 Available 대역폭이다. Available 대역폭은 링크에서 이용 가능한 대역폭으로, 전체 링크 대역폭에서 전송되는 트래픽을 제외한 나머지 대역폭을 일컫는다. 이 Available 대역폭이 클수록 더 많은 양의 데이터 전송이 가능하며 네트워크 부하를 분산시키는 효과를 기대할 수 있다. 위에 언급한 세 가지 파라미터가 새롭게 제시할 비용함수의 파라미터로 사용가능한지의 여부는 본문의 시뮬레이션 결과를 통해 확인하였다.

기존의 네트워크 라우터에서는 비용함수를 이용하여 직접 링크 비용을 계산하여 라우팅을 수행한다. 하지만 우리가 제안하는 비용함수는 기존의 네트워크 라우터에서 비용을 계산하는 것이 아니라 라우터에 연결된 비용계산유닛에 의해 비용이 계산되어 전달된다. 즉, 무선 네트워크 토폴로지에서 각 라우터는 주변 라우터와의 링크를 위해 데이터 송수신부가 포함된 비용계산유닛을 링크별로 가지게 되는 것이다. 이 유닛을 사용하게 되면 변화가 심한 무선링크 상태를 파악하고 계산된 비용을 네트워크 라우터에 전달함으로써, 비용함수 계산으로 인한 라우터의 부하를 완화시킬 수 있으며 무선링크상태를 효과적으로 파악할 수 있다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 논문을 제안하기 위한 관련 연구로써, 라우팅 프로토콜의 종류를 소개하며 제안하는 비용함수를 적용하는 OSPF 라우팅 프로토콜에 대해 자세히 설명한다. 3장에서는 OSPF 라우팅 프로토콜을 무선 네트워크에 적용하기 위한 비용계산유닛에 대한 설명과 제안하는 비용함수에 적용할 파라미터 구성여부를 위한 각 파라미터의 시뮬레이션 결과를 보여준다. 또한 파라미터 적용으로 새롭게 제안하는 비용함수의 도출 과정에 대해 자세하게 설명한다. 4장에서는 무선 네트워크 환경에서 기존 비용함수와 제안한 비용함수를 이용한 시뮬레이션 결과를 비교 및 분석하여 어느 정도의 성능 향상을 보였는지 살펴보고, 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 관련 연구

### 2.1. 상용 라우팅 프로토콜

라우팅 프로토콜은 목적지까지의 최적의 경로를 결정하기 위한 알고리즘이다. 라우팅 프로토콜의 분류는 라우터끼리 공유하는 정보에 따라 거리 벡터 라우팅 프로토콜과 링크 상태 라우팅 프로토콜로 나눌 수 있다. 거리 벡터 라우팅 프로토콜은 경로 선택을 거리 정보에 의존하는 라우팅 방식으로 Routing Information Protocol (RIP), Interior Gateway Routing Protocol (IGRP), Enhanced Interior Gateway Routing Protocol (EIGRP)로 나눌 수 있고 링크 상태 라우팅 프로토콜은 동일한 목적지까지의 여러 경로의 링크 비용을 계산하여 최소의 비용 값을 기준으로 경로를 설정하는 라우팅 방식으로 OSPF, Intermediate System-Intermediate System (IS-IS)으로 나눌 수 있다.

RIP 라우팅 프로토콜은 경로의 비용을 단순히 홑 수로 판단하여 경로를 설정하는 라우팅 프로토콜로써 가장 구성이 쉬우면서도 단순한 라우팅 프로토콜이다. RIP 라우터는 이웃 라우터에게 라우팅 테이블을 30초 마다 전송하여 네트워크의 모든 라우터들이 경로 정보를 가질 때까지 계속되며 라우터들은 패킷을 전달할 다음 라우터를 결정하기 위해 라우팅 정보를 사용한다. 라우팅 정보는 홑 카운터 정보를 기준으로 링크의 상태는 고려하지 않고 가장 가까운 거리로 갈 수 있는 경로를 선택하게 된다. RIP 라우팅 프로토콜의 단점은 홑 카운터, 즉 거리만을 경로 결정에 고려하기 때문에 링크의 상태를 반영하지

못한다. 그리고 30초마다 라우팅 테이블을 인접 라우터에게 전송하므로 대역폭의 오버헤드가 발생하며 만약 라우터가 잘못된 정보를 받게 되면 루프현상이 발생할 수 있다. RIP는 최대 홑 수를 15로 제한함에 따라 규모가 작은 네트워크에서만 사용이 가능하며 규모가 큰 네트워크에는 사용하기 어렵다<sup>2)</sup>.

IGRP 라우팅 프로토콜은 RIP의 단점을 보완하기 위해 개발된 라우팅 프로토콜이다. IGRP는 RIP와 다르게 라우팅 경로의 설정을 대역폭, 지연 시간, 신뢰성, 링크의 사용률, 최대전송유닛과 같은 다양한 값을 통해 최적의 경로를 선택한다. RIP와 다르게 매 90초마다 정기적으로 라우팅 테이블을 전송하지만 변화가 발생한 라우터는 즉각적으로 정보를 전송하게 된다. IGRP는 RIP의 제약을 완화하기 위해서 최대 홑 카운트를 255로 늘려 규모가 큰 네트워크에서 사용이 가능하도록 했다. 그러나 Variable Length Subnet Mask (VLSM)을 지원하지 못하는 단점이 있어 현재의 라우팅 환경에서는 잘 사용되지 않는 라우팅 프로토콜이다<sup>3)</sup>.

EIGRP은 IGRP의 업데이트 버전으로 거리 벡터 기법을 사용하며 링크상태 알고리즘의 장점을 포함하는 라우팅 프로토콜이다. 링크의 비용을 결정하는 요소인 라우팅 메트릭은 IGRP의 메트릭과 같은 5가지의 메트릭을 사용하고 IPv6를 지원한다. EIGRP는 주기적인 업데이트 방식을 사용하지 않고 변화가 일어난 경우에만 업데이트를 실시하는 특징이 있다. 사용하는 패킷은 Hello, Update, Query, Reply, Ack를 사용한다. Hello 패킷은 이웃 라우터를 찾고 관계를 유지하는데 사용한다. Hello interval은 5초를 기준으로 사용하고 Dead interval은 15초로 이 시간 안에 Hello 패킷을 수신하지 못하면 이웃 리스트에서 삭제한다. Update 패킷은 라우팅 업데이트 정보를 포함하는 패킷으로 토폴로지 테이블을 생성하는데 사용한다. Query 패킷은 토폴로지에 대한 변경이 발생하는 경우에 대체 경로를 파악하기 위해 이웃 라우터에게 전송하는 패킷이다. Reply 패킷은 Query에 대한 응답에 사용하는 패킷으로 유니캐스트 전송방식을 사용한다. Ack 패킷은 Update, Query, Reply에 대한 수신확인 메시지로 사용되는 패킷이다. EIGRP는 시스코 라우터에서만 동작하고 Stuck in Active (SIA) 현상으로 인해 대규모 네트워크에서는 사용이 힘들며 네트워크 장애 발생 시 원인규명이 어려운 단점이 있다<sup>4)</sup>.

IS-IS 라우팅 프로토콜은 링크 상태 라우팅 프로

토콜로써 링크의 상태 정보를 교환하여 경로를 선택하는 알고리즘이다. 최적의 경로를 계산하기 위한 Shortest Path First (SPF) 알고리즘과 Area를 사용하는 구조는 OSPF와 동일하다. IS-IS의 Area는 OSPF처럼 복잡하지 않은 2개의 레벨로 구성된다. 레벨 1은 동일 Area에 존재하는 라우터로 구성된 구역을 의미하며, 레벨 2는 레벨 1에 있는 라우터들이 외부 Area를 연결하는 통로를 위한 게이트웨이 역할을 수행한다. IS-IS 라우터는 자기 자신이 포함된 Area의 모든 라우터와 인접관계를 가지고 동일한 데이터베이스를 유지하며 각각의 라우터는 자신의 데이터베이스 정보를 Area의 모든 라우터에게 플러딩한다. 플러딩을 통해 얻은 정보를 바탕으로 각 라우터는 자기 자신을 기준으로 모든 목적지로 가는 최적의 경로를 SPF 알고리즘을 통하여 찾는다. IS-IS 프로토콜에서 사용되는 패킷은 이웃 라우터와 인접관계를 형성하고 유지하기 위한 Hello PDU 패킷과 링크 상태 정보를 교환하기 위해 사용되는 Link State PDU (LSP), 링크 상태 데이터베이스를 동기화시키기 위한 Sequence Number PDU (SNP)으로 구성된다<sup>5,6)</sup>.

**2.2. OSPF 라우팅 프로토콜**

OSPF는 가장 보편적으로 사용되는 링크 상태 라우팅 프로토콜이다. 1980년대 중반, RIP의 단점을 극복하고자 Internet Engineering Task Force (IETF)에서는 SPF 알고리즘에 기초한 OSPF 라우팅 알고리즘을 개발하게 되었다. OSPF는 규모가 큰 유선 네트워크 환경에 최적화된 라우팅 프로토콜로써 라우터 업데이트 정보의 빠른 전달이 가장 큰 특징이다. 하나의 라우터는 주위에 있는 OSPF 라우터들을 찾아 자신의 데이터베이스 안에 이웃으로 저장하게 된다. 이웃 라우터 정보를 찾기 위해 OSPF 라우터는 주위에 Hello 패킷을 보낸다. Hello 패킷에는 라우터 ID, Designated Router (DR), 그리고 Backup Designated Router (BDR) 정보가 있으며 10초마다 한 번씩 패킷을 내보내어 주변 이웃을 관리한다. Hello 패킷을 통하여 라우터들은 자신과의 인접관계를 형성하고 자신의 링크 상태 정보를 Link State Advertisement (LSA) 패킷을 통하여 인접 라우터들에게 전송한다. OSPF 라우터들은 LSA를 자신이 속한 Area의 모든 라우터에게 전송하여 Link State Database (LSDB)를 구축하고 이를 토대로 자기 자신으로부터 모든 노드들까지의 최적의 경로를 SPF 알고리즘을 이용하여 찾게 된다. 또한 라우터들은 링

크의 상태가 변화되면 이웃 라우터들에게 LSA 패킷을 전송하여 자신의 변경된 링크 상태를 알린다. OSPF는 목적지 노드까지의 최적 경로 선택을 위해 라우팅 메트릭으로 링크 비용 (Cost)을 사용한다. 비용은 다음과 같은 식 (1)으로 구할 수 있다. Reference 대역폭은 보통 100Mbps를 사용하고 여기서 계산된 비용 값이 작을수록 성능이 좋은 링크를 나타낸다.

$$Cost = \frac{Reference\ 대역폭}{링크의\ 대역폭} \quad (1)$$

네트워크의 크기가 증가함에 따라 데이터베이스의 크기가 커지게 되며 네트워크에 부하로 작용할 수 있다<sup>7)</sup>. OSPF에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 링크 상태에 대한 동기와 인접관계를 관리할 DR을 선출하고 라우터들은 오직 DR과 인접관계를 형성한다. DR이 문제가 발생할 경우를 대비하여 BDR도 선출하여 인접관계를 형성한다. 그리고 Area 사이에 존재하는 Area Border Router (ABR)를 설정하여 해당 Area의 정보를 요약하여 다른 Area의 라우터에게 알려주게 된다<sup>8,9)</sup>.

이러한 OSPF는 유선환경에 적합하게 설계되었다. 유선환경의 경우 링크의 비용은 네트워크가 설정된 후에 또다시 변경되는 경우가 발생하지 않는다. 그러나 무선 환경에서는 BER과 같은 외부 요인에 의해서 링크에서 사용할 수 있는 대역폭의 크기가 달라질 수 있다. 따라서 기존의 OSPF를 무선 환경에서 사용하게 되면 변화가 많은 무선 링크에 적응적인 라우팅을 수행할 수 없게 된다. 이러한 점을 보완하기 위해 본 논문에서는 무선 환경에 적합한 비용함수를 제안하고 시뮬레이션을 통하여 성능을 검증하였다.

**III. 무선 네트워크를 위한 OSPF 라우팅 프로토콜**

무선 네트워크 환경에 OSPF 라우팅 프로토콜 적용을 위한 새로운 비용함수를 제안하기 위해서는 무선링크 성능을 나타낼 수 있는 파라미터들을 분석하여 비용함수의 파라미터로 적용이 가능한지 확인하여야 한다. 무선링크에서 고려해볼 수 있는 비용함수 파라미터는 Available 대역폭, BER 편차, 평균 BER이다. 각 파라미터가 링크 성능에 미치는 영향을 분석하기 위해 시뮬레이션을 수행하고 여러 관점에서 결과를 비교 및 분석하면 새로운 비용함수의 파라미터로 이용할

수 있는 적절한 파라미터를 알 수 있다. 본 논문의 모든 시뮬레이션은 OPNET 16.1로 수행되었고 OSPF 라우팅 프로토콜은 OSPF v2를 적용하였다.

### 3.1. 무선 링크의 성능 판단 기준

새로운 비용함수 파라미터로의 적용을 확인하고자 하는 파라미터의 조건을 다양하게 변경하면서 시뮬레이션을 하거나 해당 파라미터를 직접 비용함수에 적용하여 기존 비용함수를 이용했을 때의 결과와 비교함으로써 파라미터 적용여부를 결정할 수 있다. OPNET으로 작성된 네트워크 토폴로지에 FTP, VoIP 트래픽을 발생시켰을 때 여러 관점에서 네트워크 성능을 비교 및 분석했으며 네트워크 성능에 크게 영향을 미치지 않는 파라미터는 새로운 비용함수에 적용하지 않는다.

#### 3.1.1. Available 대역폭이 링크에 미치는 영향

서론에서 다루었듯이 Available 대역폭은 링크 대역폭에서 전송되는 트래픽을 뺀 나머지 대역폭을 말한다. Available 대역폭은 비용함수 식에 바로 적용하여 비용을 계산할 수 있다.

Available 대역폭이 링크에 미치는 영향을 분석하기 위해 시뮬레이션을 수행한다. 시뮬레이션 토폴로지와 환경설정은 그림 1, 표 1과 같다.

표 1. Available 대역폭 시뮬레이션 환경설정  
Table 1. Simulation Configuration for Available bandwidth

Node configuration	Router node 50ea / FTP node 30ea / VoIP node 30ea
FTP traffic	Inter-Request Time(sec) : uniform(0,3) File Size : 1, 2, 3Mbytes (Three kinds of background traffic)
VoIP traffic	Codec : G.729 Coding rate : 8Kbps
Triggering condition	Transmit LSU message by calculating Cost Functions if Available Bandwidth is below 10Mbps
Simulation time	200sec

그림 2는 기존 비용함수를 적용했을 때와 Available 대역폭을 이용한 비용함수를 적용한 경우에서 VoIP Mean Opinion Score (MOS) 값을 비교한 결과이다. VoIP 성능을 평가하는 수단으로 MOS가 가장 널리 사용되며 음성통화 품질을 평가하기 위한 품질 만족도를 1~5 사이의 값으로 표현되며 5가 가장 좋은 값을 나타낸다<sup>[10]</sup>. Available 대역폭의 크기에 따른 시뮬레이션 결과를 알아보기 위해 FTP 트래픽을 1~3 Mbytes로 설정하였다.

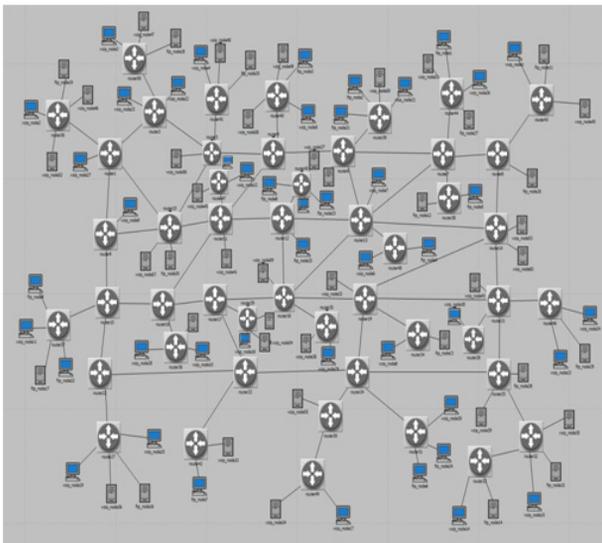


그림 1. Available 대역폭 시뮬레이션 네트워크 토폴로지  
Fig. 1. Network topology for Available bandwidth simulation

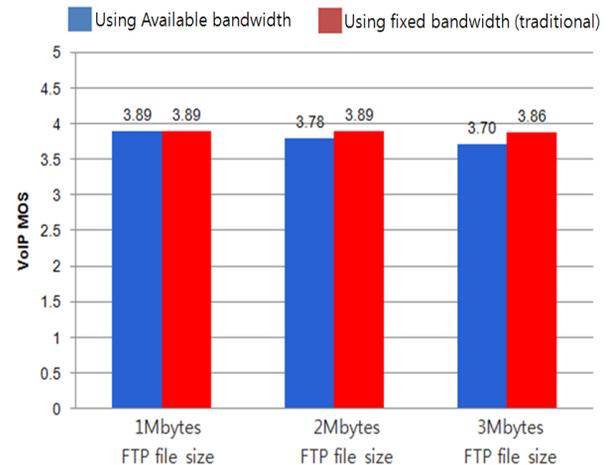


그림 2. Available 대역폭의 링크 영향 분석을 위한 MOS 비교  
Fig. 2. Comparison of MOS value for Available bandwidth link effect

VoIP 노드 30개의 MOS 결과를 비교했을 때 Available 대역폭을 비용함수에 적용한 경우보다 기존의 OSPF 비용함수를 적용한 방식이 더 좋은 성능을 나타낸다. Available 대역폭을 사용하게 되면 기존의 방식보다 더 많은 LSU가 발생하기 때문

에 네트워크에 불안정성이 높아지기 때문에 기존의 방식보다 성능의 떨어짐을 확인하였다.

그림 3은 FTP 서비스의 성능을 기존 비용함수를 적용했을 때와 Available 대역폭을 이용한 비용함수를 적용한 경우에서 비교한 결과이다.

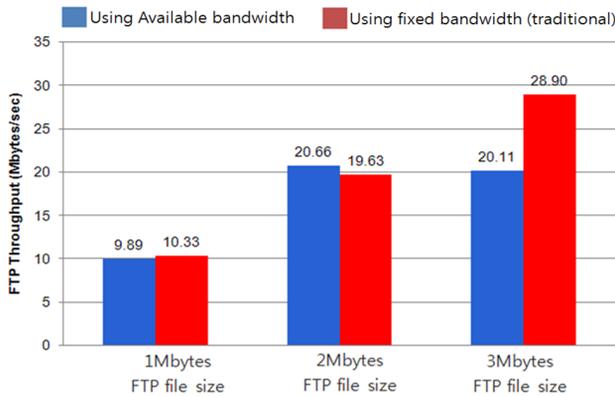


그림 3. Available 대역폭의 링크 영향 분석을 위한 FTP throughput 비교  
Fig. 3. Comparison of FTP throughput for Available bandwidth link effect

FTP 노드 30개의 FTP Throughput 결과를 비교했을 때 Available 대역폭을 비용함수에 적용한 경우, 트래픽 분산효과로 인해 예상되었던 Throughput 성능 향상이 보이지 않았다. Available 대역폭을 적용한 비용함수의 경우에 예상했던 성능 향상이 없었으며 오히려 빈번한 루트 변경으로 인해 네트워크 성능이 저하됨을 확인하였다. 또한 File Size가 커짐에 따라 트래픽을 처리하는 양이 줄어드는 것을 통해 해당 네트워크에 부하를 일으키는 것을 알 수 있다.

VoIP 및 FTP 서비스의 비교 결과를 통해 Available 대역폭을 적용한 비용함수의 경우가 기존 비용함수를 이용했을 때보다 성능이 저하됨을 확인할 수 있었다. 따라서 제안할 비용함수에는 Available 대역폭을 고려하지 않는다.

### 3.1.2. BER 편차가 링크에 미치는 영향

BER 편차는 현재 측정된 BER 수치와 이전에 측정된 BER 수치의 차이를 말한다. 평균 BER은 같지만 BER의 큰 편차로 인해 BER이 변동을 거듭한다면 무선망에 좋지 않은 영향을 줄 수 있다고 판단할 수 있다. BER 편차가 링크 성능에 미치는 영향을 알아보기 위해 시뮬레이션을 수행한다. 시뮬레이션 토폴로지와 환경은 다음과 같다.

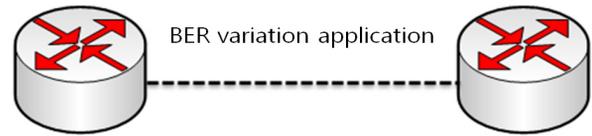


그림 4. BER 편차 시뮬레이션 토폴로지  
Fig. 4. Simulation topology for BER variation

표 2. BER 편차 시뮬레이션 환경설정  
Table 2. Simulation Configuration for BER variation

Node configuration	Router node 2ea (point to point)
FTP traffic	Inter-Request Time(sec) : constant(1) File Size : 3Mbytes
VoIP traffic	Codec : G.729 Coding rate : 8Kbps
Simulation time	200sec

먼저 BER 편차의 환경을 두 가지로 구분해서 VoIP 서비스와 FTP 서비스 시뮬레이션 결과를 확인한다. 첫 번째 편차 환경은 무선망의 BER 변동이 심한 경우로, BER 편차의 상하한 차이가 상대적으로 크고 평균 BER 값이 약 2.0E-05인 경우이다.

표 3. 편차환경 case1  
Table 3. BER variation case1

	Large BER variation	Small BER variation	Fixed BER
Maximum BER	$7.0 \times 10^{-5}$	$4.0 \times 10^{-5}$	2.08033E-05
Minimum BER	$1.0 \times 10^{-7}$	$1.0 \times 10^{-5}$	
Average BER	2.00798E-05	2.00712E-05	

두 번째 편차 환경은 BER 변동이 편차환경 case1보다는 약한 경우로, BER 편차의 상하한 차이가 상대적으로 작고 평균 BER 값이 약 4.2E-06인 경우이다.

표 4. 편차환경 case2  
Table 4. BER variation case2

	Large BER variation	Small BER variation	Fixed BER
Maximum BER	$1.0 \times 10^{-5}$	$7.0 \times 10^{-6}$	4.1353E-06
Minimum BER	$1.0 \times 10^{-7}$	$2.5 \times 10^{-6}$	
Average BER	4.2544E-06	4.2817E-06	

세 가지 BER 환경의 성능 비교를 VoIP서비스, FTP 서비스 관점에서 살펴본다. 그림에서 확인할

수 있듯이 BER 편차는 VoIP 및 FTP 성능에 큰 영향을 주지 않는다. 편차환경이 다른 경우(case1, case2)에도 고정 BER 인 경우의 시뮬레이션 결과와 거의 차이가 나지 않으므로, 제안하는 비용함수에 BER 편차는 적용하지 않는다.

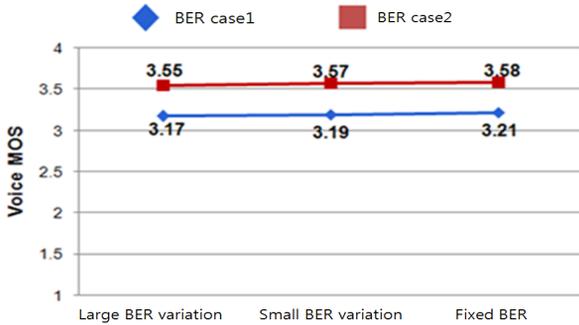


그림 5. BER 편차가 VoIP 서비스에 미치는 영향 비교  
Fig. 5. Comparison of VoIP service as BER variation

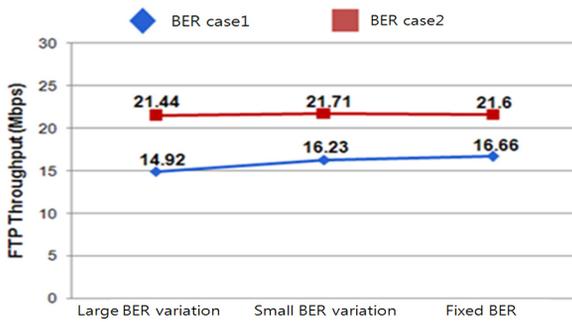


그림 6. BER 편차가 FTP 서비스에 미치는 영향 비교  
Fig. 6. Comparison of FTP service as BER variation

Available 대역폭과 BER 편차를 적용하는 것은 기존의 OSPF의 비용함수를 적용한 경우와 성능 차이가 없거나 오히려 성능이 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 제안하는 비용함수에서는 유선환경과 다르게 무선 환경이 가지는 가장 큰 특징인 평균 BER을 고려한다. 링크의 평균 BER은 통신서비스에서 품질 저하의 주요 원인으로 작용하며 음성 서비스의 경우에는 음성 왜곡을 가져오고 데이터 서비스에서는 전송되는 데이터의 부정확성이 높아져 손실을 야기한다. 제안하는 비용함수에서는 평균 BER과 기존의 비용함수에서 사용하는 링크의 대역폭을 사용한다. BER에 따른 Channel Capacity를 구하여 링크 대역폭을 기준으로 새롭게 제안하는 Effective 대역폭을 구한다. Channel Capacity는 전력제한, 대역제한과 같은 전송제약조건과 채널 모델이 주어진 상태에서 신뢰성 있는 통신이 가능한

최대 전송률을 말하며 제안하는 비용함수에서 Effective 대역폭을 구하는 기준으로 사용한다.

### 3.2. 새로운 비용함수

무선망의 특성인 BER을 새로운 비용함수에 적용하기 위해서 먼저 샤논의 공식을 이용하여 채널통신용량을 구한다. 적용하는 무선 링크의 대역폭이  $W_m$ 이고  $BER_n$ 에 따른 Signal to Noise Ratio (SNR) 값이  $SNR_n$ 일 때 채널통신용량은 식 (2)와 같다.

$$C_{[W_m][SNR_n]} = W_m \times \log_2(1 + SNR_n) \quad (2)$$

무선망에 적용할 BER 수치는 다음과 같다. BER(1)보다 큰 BER의 경우는 무선망의 성능이 좋지 않아 통신이 불가능한 상태로 가정하며 BER(5)와 같거나 BER(5)보다 적은 BER을 갖는 무선망은 유선망과 비슷한 성능을 낼 수 있다고 가정한다.

표 5. 무선망 적용 BER  
Table 5. Application BER of wireless link

BER[1]	$3.1622 \times 10^{-5}$
BER[2]	$10^{-5}$
BER[3]	$3.1622 \times 10^{-6}$
BER[4]	$10^{-6}$
BER[5]	$10^{-7}$

라우터 인터페이스에서 고려할 수 있는 무선 링크의 대역폭이 각각  $W_1, W_2, W_3, W_4, W_5$  라고 했을 때, 채널통신용량은 식 (2)에 의해 아래 테이블의 결과를 얻는다.

표 6. 채널통신용량 테이블  
Table 6. Channel capacity as BER and bandwidth

Bandwidth	$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$
BER[1]	$C_{[W_1][SNR_1]}$	$C_{[W_2][SNR_1]}$	$C_{[W_3][SNR_1]}$	$C_{[W_4][SNR_1]}$	$C_{[W_5][SNR_1]}$
BER[2]	$C_{[W_1][SNR_2]}$	$C_{[W_2][SNR_2]}$	$C_{[W_3][SNR_2]}$	$C_{[W_4][SNR_2]}$	$C_{[W_5][SNR_2]}$
BER[3]	$C_{[W_1][SNR_3]}$	$C_{[W_2][SNR_3]}$	$C_{[W_3][SNR_3]}$	$C_{[W_4][SNR_3]}$	$C_{[W_5][SNR_3]}$
BER[4]	$C_{[W_1][SNR_4]}$	$C_{[W_2][SNR_4]}$	$C_{[W_3][SNR_4]}$	$C_{[W_4][SNR_4]}$	$C_{[W_5][SNR_4]}$
BER[5]	$C_{[W_1][SNR_5]}$	$C_{[W_2][SNR_5]}$	$C_{[W_3][SNR_5]}$	$C_{[W_4][SNR_5]}$	$C_{[W_5][SNR_5]}$

위의 테이블에서 알 수 있듯이, 링크의 BER과 대역폭에 따라 다른 채널통신용량을 가짐을 알 수 있다. 위의 테이블에서는 성능이 가장 좋은 상태인  $C_{[W_5][SNR_5]}$

값이 가장 큰 값을 갖는다.

우리가 제안할 Effective 대역폭을 실제 시스템에 맞게 적용하기 위해서 실제 시뮬레이션 결과를 가지고 위의 채널통신용량 테이블과 결합시키는 작업이 필요하다. 즉, 1홉으로 이루어진 그림 4의 네트워크 토폴로지에서 BER과 대역폭의 변경에 따른 시뮬레이션을 통해 링크 Throughput 결과를 Effective 대역폭에 적용하는 것이다. 링크 Throughput은 FTP Throughput 결과를 그대로 이용했다.

라우터 인터페이스에서 고려할 수 있는 무선 링크의 대역폭이 각각  $W_1, W_2, W_3, W_4, W_5$  라고 했을 때, 링크 Throughput 테이블은 다음과 같다.

표 7. 링크 Throughput 테이블  
Table 7. Link throughput as BER and bandwidth

Bandwidth	$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$
$BER[1]$	$T_{[W_1][SNR_1]}$	$T_{[W_2][SNR_1]}$	$T_{[W_3][SNR_1]}$	$T_{[W_4][SNR_1]}$	$T_{[W_5][SNR_1]}$
$BER[2]$	$T_{[W_1][SNR_2]}$	$T_{[W_2][SNR_2]}$	$T_{[W_3][SNR_2]}$	$T_{[W_4][SNR_2]}$	$T_{[W_5][SNR_2]}$
$BER[3]$	$T_{[W_1][SNR_3]}$	$T_{[W_2][SNR_3]}$	$T_{[W_3][SNR_3]}$	$T_{[W_4][SNR_3]}$	$T_{[W_5][SNR_3]}$
$BER[4]$	$T_{[W_1][SNR_4]}$	$T_{[W_2][SNR_4]}$	$T_{[W_3][SNR_4]}$	$T_{[W_4][SNR_4]}$	$T_{[W_5][SNR_4]}$
$BER[5]$	$T_{[W_1][SNR_5]}$	$T_{[W_2][SNR_5]}$	$T_{[W_3][SNR_5]}$	$T_{[W_4][SNR_5]}$	$T_{[W_5][SNR_5]}$

무선링크의 상태가 가장 좋을 때인  $T_{[W_5][SNR_5]}$  경우의 비용을 기준 값 '1' 로 설정하기 위해 표 7의 모든 항목을  $T_{[W_5][SNR_5]}$  에서 나뉘준다. 이 값을 Effective 대역폭에 적용하기 위해서 모든 결과 항에 역수를 취해 상태가 좋은 링크일수록 상대적으로 큰 값을 가지게 한다. (예.  $BER[4]-W_5$ 의 경우  $\frac{T_{[W_5][SNR_4]}}{T_{[W_5][SNR_5]}}$  )

마찬가지로 표 6에서 링크상태가 최상일 때의 값을 해당 무선링크 대역폭으로 표준화시킨다. 이를 위해 표 6의 모든 항에 해당 대역폭  $W_m$ 에서 성능이 제일

좋은  $\frac{W_m}{C_{[W_m][SNR_5]}}$  을 곱한다. 이 결과에 표 7의 최종

결과인  $\frac{T_{[W_m][SNR_n]}}{T_{[W_5][SNR_5]}}$  값을 표 6의 같은 항 (m, n) 끼리

곱하여 링크의 Throughput 값이 반영된 Effective 대역폭을 산출한다. Effective 대역폭을 산출하는 식은 다음과 같다.

$$Effective_{[m][n]} = \frac{W_m \times C_{[W_m][SNR_n]} \times T_{[W_m][SNR_n]}}{C_{[W_m][SNR_5]} \times T_{[W_5][SNR_5]}} \quad (3)$$

기존 비용함수 식 (1)에서 분모항인 링크의 대역폭 대신 Effective 대역폭을 대입하여 새로운 비용함수 식을 완성한다. reference 대역폭은  $ref$ 이고 대역폭 항이 m, BER 항이 n 일 경우의 비용은 다음과 같다. 다음의 식 (4)가 새롭게 제안하는 비용함수이다.

$$Cost_{[m][n]} = \frac{ref}{Effective_{[m][n]}} \quad (4)$$

### 3.3 비용계산장치

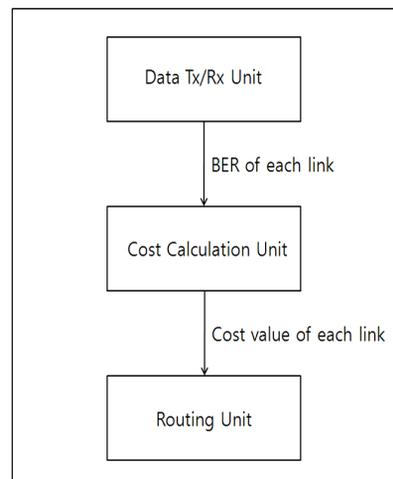


그림 7. 무선 네트워크에서의 비용 계산 유닛  
Fig. 7. Cost calculation unit in wireless network

본 논문에서 가정하는 무선 네트워크에서의 비용 계산 유닛은 그림 7과 같은 구조를 갖는다. 비용 계산 유닛은 무선으로 데이터를 전송하고 BER을 주기적으로 비용 계산 유닛에 전달하는 데이터 송수신 유닛과, 데이터 송수신 유닛에서 받은 BER 값으로 각 링크에 해당하는 비용을 계산하는 비용 계산 유닛과, 비용 계산 유닛에서 계산된 링크의 비용 값에 따라 라우팅을 수행하는 라우팅 유닛으로 구성된다. 비용 계산 유닛은 데이터 송수신 부에서 전달된 각 링크의 BER 값을 기준으로 링크의 Effective 대역폭을 계산하여 비용함수를 계산하고 비용 계산 유닛은 수시로 변경되는 무선 환경에서 링크 상태 업데이트의 수를 줄이기 위하여 Triggering 조건에 의해 비용함수 계산 여부를 판단한다. 데이터 송수

신 유닛으로부터 받은 BER 값이 통신 성능이 우수한 상한 Triggering보다 작거나 혹은 통신이 불가능해지는 하한 Triggering보다 큰 경우만 비용함수를 계산하여 라우팅 유닛으로 비용을 전달한다. 라우팅 유닛은 비용 계산 유닛으로부터 전달받은 링크의 비용에 따라 OSPF 라우팅 프로토콜을 이용하여 라우팅을 수행한다. 무선 환경에서 제안한 비용함수를 적용하게 되면 기존의 OSPF 보다 많은 LSA가 발생하게 된다. 이러한 경우 링크의 오버헤드로 작용될 수 있으며 라우터 장비에 부하를 줄 수 있기 때문에 본 논문에서는 Triggering 조건을 적용하여 무선 환경에 적합한 비용함수 적용 방안에 대하여 제안한다. 그림 8은 Triggering 조건 적용 방안이다.

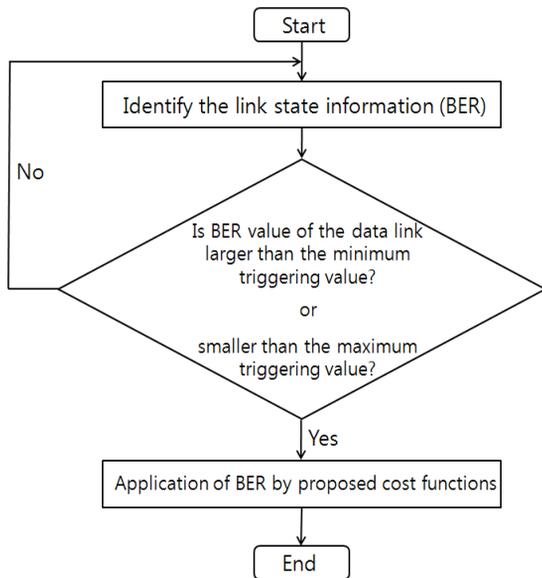


그림 8. Triggering 적용 방안  
Fig. 8. Triggering application method

상한 및 하한 Triggering BER은 제안 비용함수 적용 시점에 대한 기준이 되는 값으로, 상한 Triggering BER은 링크 BER이 링크의 성능에 크게 영향을 주지 않는 작은 값으로 설정하고 하한 Triggering BER은 BER에 의해 전송을 하지 못하는 BER 값으로 설정한다. 링크의 상태가 작은 비용 값으로 변경되는 경우에는 링크의 안정성을 위하여 기존의 비용을 그대로 사용하고 링크의 상태가 크게 변화되는 상태, 즉 Triggering 조건을 만족하는 경우에만 제안 비용 함수로 계산된 결과 값을 적용한다. 이러한 Triggering 조건을 사용하게 되면 상태 변화가 자주 발생하는 무선링크에서도 안정적으로 제안 비용함수를 적용할 수 있다.

#### IV. 제안 비용함수의 성능평가

본 장에서는 OPNET 시뮬레이터를 사용하여 제안하는 비용함수를 사용한 OSPF 라우팅 알고리즘의 성능을 평가한다. 시뮬레이션 토폴로지는 3장의 그림 1과 같고 시뮬레이션 파라미터는 표 8과 같다.

표 8. 시뮬레이션 파라미터  
Table 8. Simulation parameters

Node configuration	Router node 50ea / FTP node 30ea / VoIP node 30ea
FTP traffic	Inter-Request Time(sec) : uniform(0,3) File Size : 1, 2, 3Mbytes (Three kinds of background traffic)
VoIP traffic	Codec : G.729 Coding rate : 8Kbps
Triggering condition	Minimum triggering: BER $10^{-4}$ / $10^{-5}$ / $10^{-6}$ Maximum triggering: BER $10^{-7}$
Simulation time	300sec

링크의 에러 모델은 BER  $10^{-6}$ 을 사용하였고 2-State Markov 오류 모델을 사용하여 Good 상태 BER을  $10^{-7}$ , Bad 상태 BER을  $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 으로 설정하였다. 그림 9는 Triggering 판단 시점을 1~5초로 설정했을 때 하한 Triggering BER에 따른 VoIP의 MOS 성능이다. 그림 10은 위와 같은 조건에서 FTP Throughput의 성능을 나타낸 그림이다. Triggering 판단 시점을 다양하게 변경하였을 경우 가장 좋은 성능을 나타내는 값은 2초 간격 Triggering 판단 시점에서 하한 Triggering 조건이  $10^{-4}$  일 경우 이다.



그림 9. Triggering 시간에 따른 VoIP MOS 성능 비교  
Fig. 9. Comparison of VoIP MOS performance as triggering time interval

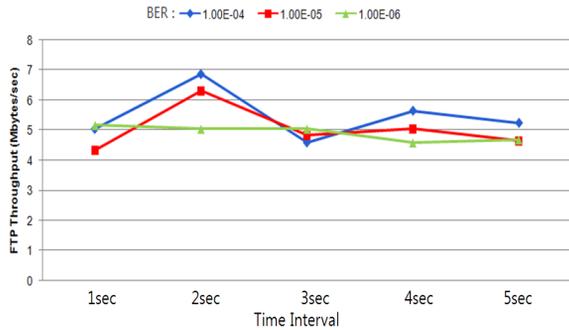


그림 10. Triggering 시간에 따른 FTP throughput 성능 비교  
Fig. 10. Comparison of FTP throughput performance as triggering time interval

그림 11은 가장 좋은 성능을 나타내는 Triggering 조건과 동일한 토폴로지에서 기존 OSPF 방식을 사용하여 VoIP의 성능을 평가한 결과이다. 그림 12는 동일 조건에서 FTP의 성능을 평가한 결과이다. 제안하는 비용함수를 적용한 경우가 기존의 OSPF 라우팅 프로토콜의 비용함수를 적용하였을 경우보다 좋은 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다. 이는 기존의 OSPF 라우팅 프로토콜에서는 고정된 비용함수 값을 사용하기 때문에 실시간으로 링크의 비용을 반영하지 못하기 때문이다. 우리가 제안한 비용함수는 대역폭과 BER의 특성에 따라 비용이 상대적으로 적은 좋은 경로로 데이터가 전송되기 때문에 기존의 OSPF 라우팅 프로토콜의 비용함수를 사용했을 때보다 더 좋은 성능을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

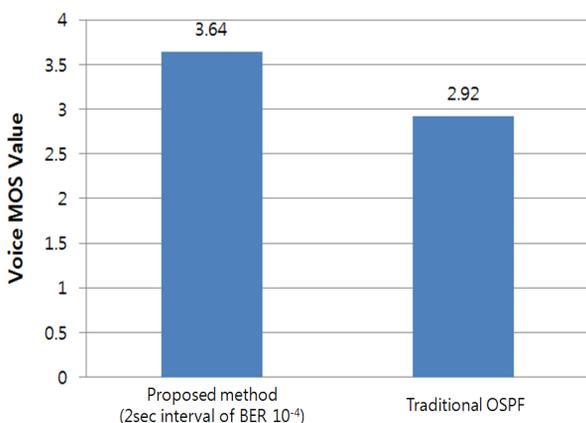


그림 11. 제안방식과 기존 OSPF 방식의 MOS 성능 비교  
Fig. 11. Comparison of MOS value between proposed method and tradition

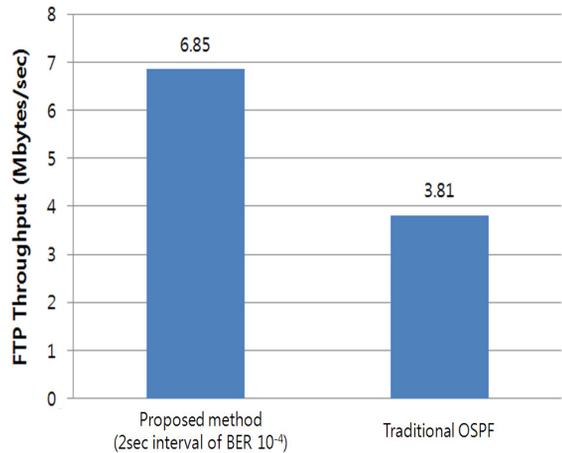


그림 12. 제안방식과 기존 OSPF 방식의 FTP 성능 비교  
Fig. 12. Comparison of FTP throughput between proposed method and tradition

### V. 결 론

본 논문에서는 유선환경에서 널리 사용되는 OSPF 라우팅 프로토콜을 무선 환경에서도 링크 상황에 따라 적응적으로 라우팅을 수행할 수 있는 새로운 비용함수를 제안하였다. 새로운 비용함수는 BER과 링크의 대역폭을 기준으로 계산된 Effective 대역폭을 사용하여 계산된다. Effective 대역폭을 사용한 비용함수는 기존의 비용함수보다 무선 링크의 성능을 더 잘 반영할 수 있다. 또한 Triggering 조건에 따라 링크의 상태가 수시로 변경되는 불안정한 무선 환경에서도 동작이 가능하도록 비용함수 적용 방안을 제안하였다. 그리고 시뮬레이션을 통해 최적의 Triggering 조건을 찾고 기존의 OSPF 방식과 성능을 비교하였다. 제안한 비용함수는 기존의 방식보다 VoIP, FTP에서 더 좋은 성능을 보였다. 제안한 비용함수는 적응적으로 링크의 성능을 파악할 수 있기 때문에 상태 변화가 많이 발생하는 무선 환경에서 좋은 성능을 나타내는 것을 확인 하였다.

### References

- [1] John T.moy, "OSPF: anatomy of an Internet routing protocol," Addison Wesley Longman, 1998.
- [2] C. Hedrick, "RFC 1058: The Routing Information Protocol (RIP)," Internet Engineering Task Force (IETF) Request For Comments, 1988.

[3] A. Zinin, "Cisco IP Routing," Addison-Wesley, 2002.

[4] Ivan Pepelnjak, "EIGRP network design solution," CISCO Press, 1999.

[5] D. McPherson. "Intermediate System to Intermediate System (IS-IS) Transient Blackhole Avoidance," RFC 3277 , 2002.

[6] R. White and A. Retana. "IS-IS: Deployment in IP networks," Addison-Wesley, 2003.

[7] A.V. Aho and D. Lee, "Hierarchical networks and the LSA N-squared problem in OSPF routing," Proceedings IEEE GlobeCom 2000, pp.397~403, 2000.

[8] John T.moy, "OSPF Version2," RFC 2328, April 1997.

[9] Baker, F and R. Coltun, "OSPF Version 2 Management Information Base," RFC 1850, Nov. 1995.

[10] Viswanathan, M. & Viswanathan, M, "Measuring speech quality for text-to-speech systems: development and assessment of a modified mean opinion score scale," Computer Speech and Language 19, pp.55~83, Jan. 2005.

이 승 형 (Seung Hyong Rhee)



1988년 2월 연세대학교 전자공학과 학사  
1990년 2월 연세대학교 전자공학과 석사  
1999년 5월 University of Texas at Austin Electrical & Computer Ph.D.

1990년~1995년 국방과학연구소 연구원  
1999년~2000년 삼성종합기술원 전문연구원  
2000년~현재 광운대학교 전자융합공학과 교수  
<관심분야> MAC 프로토콜, Cognitive Radio, 차세대 이동통신, 국방 전술 네트워크

이 형 주 (Hyung-Joo Lee)



1996년 2월 한서대학교 전산정보학과 학사 졸업  
2000년 2월 충남대학교 컴퓨터 과학교육 석사 졸업  
2011년 2월 충남대학교 전산학 박사 졸업  
2011년 6월~현재 국방과학연

구소 재직  
<관심분야> 전술정보통신, 무선 센서네트워크

신 동 욱 (Dong Wook Shin)



2010년 2월 광운대학교 전파공학과 학사  
2011년~현재 광운대학교 전자융합공학과 석사과정  
<관심분야> MAC 프로토콜, 라우팅 프로토콜

허 미 정 (Mi-Jeong Hoh)



1990년 2월 이화여자대학교 전자계산학과 학사 졸업  
2005년 8월 충남대학교 컴퓨터공학과 석사 졸업  
1990년 3월~현재 국방과학연구소 재직  
<관심분야> QoS, 국방 전술

네트워크

이 승 환 (Seung Hwan Lee)



2008년 2월 광운대학교 전파공학과 학사  
2010년 2월 광운대학교 전파공학과 석사  
2010년~현재 광운대학교 전자융합공학과 박사과정  
<관심분야> MAC 프로토콜,

라우팅 프로토콜, WLAN

**최 증 원 (Jeung-Won Choi)**



1989년 2월 충남대학교 계산통계학과 학사 졸업  
1993년 2월 충남대학교 전산학과 석사 졸업  
1997년 2월 충남대학교 전산학과 박사 졸업  
1997년~현재 국방과학연구소

책임연구원, PM

<관심분야> 전술정보통신, 위성통신, 바이오통신, 정보융합

**신 상 현 (Sang-heon Shin)**



1998년 2월 영남대학교 전자공학과 학사 졸업  
1998년~2004년 영남대학교 정보통신공학과 석/박사 졸업  
2004년~2005년 미국 NIST 초청연구원

2005년~2007년 인텔 코리아 R&D 센터 과장

2007년~2009년 POSDATA Flyvo 연구소 차장

2009년~현재 삼성탈레스(주) 통신연구소 전문연구원

<관심분야> WLAN, WiMAX, QoS, 군 전술통신망, 네트워크 M&S

**김 태 완 (Tae-Wan Kim)**



1998년 2월 광운대학교 전자공학과 학사 졸업  
2008년 2월 고려대학교 전파공학과 석사 졸업  
1998년~현재 삼성탈레스(주) 통신연구소 전문연구원  
<관심분야> 라우팅 알고리즘, QoS, VoIP, MAC 프로토콜, 군 전술통신망

**문 호 원 (Ho-Won Moon)**



2000년 2월 한양대학교 수학과 학사 졸업  
2001년~2011년 삼성전자 책임연구원  
2011년~현재 삼성탈레스(주) 통신연구소 전문연구원  
<관심분야> VoIP, IMS, 군

전술통신망