

논문 2016-53-1-2

IP 네트워크에서 QoS-Aware Energy Saving(QAES)을 위한 Energy Profile 기반 OSPF 라우팅 방식 및 특성

(A OSPF Routing Scheme based on Energy Profiles and Its Characteristics for QoS-Aware Energy Saving(QAES) in IP Core Networks)

서 유 식*, 한 치 문**

(Yusik Seo and Chimoon Han[©])

요 약

IP 네트워크에서 에너지 소모를 줄이기 위해 다양한 방법이 연구 되어 왔다. 본 논문에서는 다양한 에너지 프로파일을 갖는 IP 네트워크에서 2단계 라우팅 방식을 제시하고, 그 특성을 분석한다. 단계1의 라우팅 방식에서는 에너지 절약을 위해 기존 코스트 외에 에너지 코스트를 고려한 OSPF 라우팅이고, 단계2에서는 가능한 많은 코어 노드를 sleep 상태로 만든 후, sleep 노드로 영향을 받는 경로만 재 라우팅 하는 방식을 적용한다. 이때 단계2에서 에너지 절약 특성과 네트워크 레벨의 QoS 보장을 위한 방법으로, 재 라우팅 시 허용 가능한 증가 홉 수와 링크 및 노드의 이용률을 제한함으로써 에너지 효율 개선 및 네트워크 레벨의 지연 특성을 동시에 만족시킬 수 있다는 것을 확인한다. 또 sleep 모드로 둘 코어 노드를 선정하는 방법에 따라 에너지 절약 효율 및 지연 특성이 다르며, MP (minimum_path)에 기초하여 sleep 상태로 만들 코어 노드를 선정하는 방식이 우수함을 나타낸다.

Abstract

Nowadays various methods for energy saving have been studied in IP networks. This paper suggests a 2-phase OSPF routing method for energy saving on IP networks having various energy profiles and analyzes its characteristics. The phase-1 of the routing is an OSPF routing method considering the energy cost of devices besides existing metrics to minimize energy consumption. In the phase-2 of the routing, it makes core nodes go into sleep state for energy saving and reroutes the paths affected by sleeping core nodes. At this time, we confirm that the characteristics of mean delay and energy efficiency can be satisfied by limiting an allowable hop number in the reroute paths, and utilization rate of nodes and links for assuring energy saving and network-level QoS. Since the efficiency of energy saving and delay characteristics differ according to selection methods of core nodes to go into sleep state, it is that the a method of core node selection based on MP(minimum_path) is more excellent than others in terms of network-level QoS and energy saving in IP networks.

Keywords : Energy Saving, QoS-Aware Energy Saving, Energy Profile, Energy Profile based OSPF Routing

* 학생회원, ** 평생회원, 한국외국어대학교 전자공학과

(Department of Electronics Engineering, Hankuk University of Foreign Studies)

© Corresponding Author(E-mail: cmhan@hufs.ac.kr)

※ 본 논문은 2011년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업업 (NRF-2011-0010070)

※ 2015년도 한국외국어대학교 교내 연구비 지원에 의해 수행되었음.

Received ; November 10, 2015 Revised ; December 16, 2015 Accepted ; December 30, 2015

I. 서 론

최근 에너지 소비에 대한 관심이 IT 분야에서도 집중적으로 부각되어, 에너지 감소를 위한 연구가 세계 도처에서 이루어져 왔다. 또 전 세계적으로 에너지 사용 절감 및 온실가스 배출 감소는 중요한 문제로 강조되고 있으며, 온실가스 배출 절감을 목표로 다양한 노력을 기울이고 있다. ICT(Information and Communications Technology) 산업은 세계 온실가스 배출량의 2%를 차지하고 있으며, 지속적으로 증가할 것으로 예측되고 있다^[1]. 그리고 ICT 산업에서 배출되는 온실 가스는 최대 30%를 절감할 수 있는 가능성을 내재하고 있는 것으로 파악됨에 따라, 네트워크 분야의 에너지 절감을 위한 노력의 필요성이 크게 대두되고 있다^[2,3]. 그런 네트워크 기술은 기존 네트워크 기술과 거의 동일한 성능을 가지며, 사용 에너지를 절감시키는 네트워크 기술을 개발하는 것을 목표로 하고 있다^[4~7].

네트워크 레벨에서 에너지 절약을 하기 위한 기본 개념은 낮은 트래픽 기간 동안에, 네트워크 내 라우터 간에 서로 협력하여 에너지 소모를 최소화 되도록 네트워크의 일부분만을 이용하고, 사용하지 않은 네트워크 부분은 sleep 상태로 만드는 유형이다. 이와 같은 방법으로는 네트워크 내의 edge 라우터에서 입력 트래픽을 집중시켜 버스트 형태로 만들어 출력시키는 방법을 적용하고 있다. 이 경우, 코어 라우터는 트래픽 on 구간에서 동작하고, 트래픽 off 구간에서 sleep 상태가 되도록 제어하는 Buffer and Burst(B&B) 방식이 연구되었다^[8]. 다른 방법으로는 네트워크가 처리하는 총 트래픽량이 일정 값 이하이면, 네트워크에서 사용하는 링크 절약을 위해 가능한 최대로 일부 링크를 sleep 상태로 두도록 제어하는 방식도 있다^[9].

다른 방법으로, 네트워크를 구성하는 라우터의 에너지 프로파일을 이용하여 네트워크가 소모하는 에너지가 최소가 되도록 라우팅 하는 방법이 제안되었다^[4~6]. 한 단계 진보한 에너지 절약 방법으로, 참고 문헌^[10]에서 기존의 OSPF 라우팅 프로토콜에 라우터의 부분별 에너지 프로파일을 적용하여 최소 에너지 소모가 되도록 라우팅하고 있다.

본 논문은 참고 문헌^[10]에서 제시한 에너지 프로파일 기반 OSPF 라우팅 방식에서 네트워크의 QoS (Quality of Service) 즉, 패킷 손실 및 지연 특성이 보장 가능한 방안을 제시하고, 에너지 절약 효과 및 QoS 특성을 분석한다.

본 논문의 구성은 서론에 이어, 제 II장에 기존의 OSPF 프로토콜에 에너지 요소를 더해 에너지 소모량을 고려한 라우팅 방식을 나타낸 문헌^[10]의 내용을 기초로 하여 네트워크 레벨의 QoS를 보장하기 위해 필요한 지연 특성 분석 방법을 나타낸다. 그리고 IP 네트워크가 처리하는 총 트래픽 량에 따라 라우팅 방식에 차이를 두는 2단계 라우팅 방식을 도입하여 에너지 절약 효과를 나타낸다. 제 III장에서는 EP(Energy Profile) 기반 OSPF 라우팅 방식의 홉 증가에 따른 지연 특성과 2단계 라우팅 방식의 에너지 절약 특성을 시뮬레이션을 통해 나타내고, 에너지 절약 및 QoS 관점에서 성능을 분석 평가한다. 제 IV장에서는 결론을 맺는다.

II. EP 기반 Routing 방식

1. EP 기반 OSPF 라우팅 알고리즘^[10]

IP 네트워크는 방향 그래프 $G(N;L)$ 로 나타낼 수 있으며, N 은 노드의 집합, L 은 링크의 집합이다. IP 네트워크에서 라우팅 방식은 AS(Autonomous System) 내에서 노드 간 SPT(Shortest Path Tree) 설정을 위해 Dijkstra 알고리즘을 이용하는 OSPF 프로토콜을 사용하고 있다. 이때 네트워크에 입력된 트래픽 부하는 ingress 라우터와 egress 라우터의 (s,d) 쌍에서, 노드 s 와 노드 d 사이에 흐르는 트래픽을 r_{sd} 로 정의한다. 트래픽 r_{sd} 는 임의의 링크 (i,j) 을 통해 트래픽을 발생시키면서 네트워크를 통해 소스 노드(s)에서 목적지 노드(d)로 전달된다.

EP 기반 OSPF 라우팅에서 최소 에너지 소모량과 OSPF 라우팅을 동시에 고려하기 위해, SPT 설정 시에 두 노드 간의 링크 코스트 외에 에너지 코스트 요소를 추가하고 있다. 그리고 네트워크를 구성하는 라우터에 각 기능별로 고유한 에너지 프로파일을 갖고 있으며, 각 노드는 LSA(Link State Advertisement) 메시지를 이용하여 이웃 노드의 각 부분의 에너지 프로파일을 주기적으로 파악할 수 있다. 에너지 프로파일은 소자(모듈 혹은 블록)에 가해지는 입력 부하에 따라 소모하는 에너지 량을 나타내는 것이 일반적이며, 입력 부하의 함수로 표현하고 있다. 그러므로 각 노드에서 입/출력 단(NIC 카드 부분), 스위치 및 제어부의 부분별 소모하는 에너지가 서로 다르며, 각 부분별 처리하는 부하의 함수인 에너지 프로파일을 가지고 있다. 그러므로 각 부분별 에너지 가중치를 이용하여 총 소모하는 에너지가 최소인 경로로 라우팅하여 에너지를 절약할 수 있다.

따라서 노드 i 와 노드 j 사이의 코스트, $Cost_{ij}$ 는 에너지 함수에 가중치를 포함시켜 식(1)과 같이 표현할 수 있다. 노드 i 와 노드 j 는 인접 노드를 의미한다.

$$Cost_{ij} = K_{li}f_{nic}(x_{ij(o)} + r_{sd}) + K_{ij}dist_{ij} + K_{lj}f_{nic}(x_{ij(i)} + r_{sd}) + K_{CNj}f_{sw}(x_j + r_{sd}) \quad (1)$$

여기서 $dist_{ij}$ 는 기존의 Dijkstra 알고리즘에서 노드 i 와 노드 j 사이의 거리 백터에 의한 코스트를 의미한다. $f_{nic}(x_{ij(o)})$ 는 노드 i 에서 노드 j 로 향하는 노드 i 의 NIC 카드의 출력 부하가 x 일 때, 그리고 $f_{nic}(x_{ij(i)})$ 는 노드 i 에서 노드 j 로 향하는 노드 j 의 NIC 카드의 입력 부하가 x 일 때 단방향 NIC 카드의 에너지 소모량이다. $f_{sw}(x_j)$ 는 노드 j 의 부하가 x 일 때 노드의 스위치 및 제어 부분의 에너지 소비량을 나타낸다. K_{ij} , K_{li} , K_{lj} , K_{CNj} 는 각각 링크 ij , 노드 i 및 노드 j 에 접속된 각 NIC 카드, 노드 j 의 스위치 및 제어 부분에서의 에너지 소모량에 따른 가중치를 나타낸다.

x_j 는 노드 j 에서 처리하고 있는 트래픽 부하 ($x_j + r_{sd} < 1$)이며, r_{sd} 는 새로운 경로로 전달될 트래픽 량이다. 식(1)에서 가중치 $K_{ij} = 1, K_{li} = 0, K_{lj} = 0, K_{CNj} = 0$ 로 두면, 식(2)와 같이 되어 기존의 OSPF 라우팅 방법과 같다.

$$Cost_{ij} = dist_{ij} \quad (2)$$

식(1)은 ingress 라우터와 egress 라우터 사이에 새로운 부하 r_{sd} 에 의해 경로를 설정하려고 할 때, 에너지를 고려한 코스트가 최소가 되도록 노드 i 에서 다음 노드 j 를 찾기 위해 사용한다. 이 방법은 기존의 $dist_{ij}$ 외에 노드 i 의 출력 NIC에서 소모하고 있는 에너지와 새로운 트래픽 r_{sd} 에 의해 소모될 에너지를 고려한 에너지 $f_{nic}(x_{ij(o)} + r_{sd})$ 와 노드 j 의 입력 NIC에서 새로운 트래픽 r_{sd} 에 의해 소모될 에너지 $f_{nic}(x_{ij(i)} + r_{sd})$, 그리고 노드 j 의 스위치 및 제어 부분에서 소모될 에너지 $f_{sw}(x_j + r_{sd})$ 의 각 가중치를 고려하여, $Cost_{ij}$ 가 최소인 노드 j 를 선택하여 경로를 설정한다.

본 방식에서 네트워크 링크 및 노드가 처리하는 트래픽 량을 적당한 값으로 제한함으로써 end-to-end 지연과 패킷 손실을 요구 특성에 맞게 조절이 가능하다. 이 문제는 다음 절에서 설명한다.

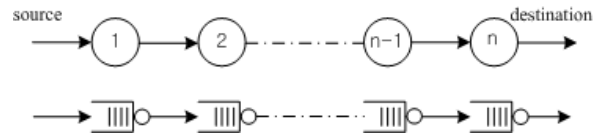


그림 1. IP 네트워크에서 한 flow의 모델화
Fig. 1. Modelling of a flow in IP networks.

2. EP 기반 OSPF 라우팅의 QoS의 분석

네트워크 레벨의 QoS는 ingress/egress 라우터 간에 형성된 flow 들의 특성에 주목하면, 각 flow의 지연과 패킷의 손실에 관련된 사항으로 볼 수 있다. EP 기반 OSPF 알고리즘 수행에 따라, 기존 OSPF 알고리즘 수행 결과와 비교하여 변경되는 것은 입출력간의 경로 및 각 링크에 흐르는 부하이다. 이와 같이 경로 및 각 링크의 부하의 변경에 의해, 각 flow의 지연 및 손실 특성이 변화 된다. 이러한 문제점에 대해 구체적으로 검토한다.

IP 네트워크에서 특정 flow의 흐름에 초점을 맞추면, 이 flow의 경로 상에 있는 노드(라우터)는 입력 및 출력 NIC에서 프로세싱 지연만 있고, queuing 지연은 스위칭 단에서 발생한다고 가정하면, 그림 1과 같이 모델링할 수 있다. 그림 1에서 노드 1과 노드 n은 ingress와 egress 노드이고, 그 외의 노드는 flow의 경로 상에 있는 중계(transit) 노드이다. 따라서 임의의 한 flow는 OSPF 라우팅에 의해 ingress/egress 노드 사이에 임의의 SPT 경로가 설정된다. EP 기반 OSPF 알고리즘 수행은 최소 에너지 소모 형태로 경로가 설정되므로, 기존 OSPF 방식에 비해 경로의 증가 및 경로 상의 링크의 용량이 증가 혹은 감소된다.

그러므로 EP 기반 OSPF 알고리즘에 의해 경로를 설정할 경우, 노드(라우터)의 입력 부하와 경로상의 링크 부하를 노드 및 링크가 처리할 수 있는 최대 용량 이하로 제한하고, 노드 내의 메모리 용량을 충분히 크게 설계하고 광 링크를 사용하면 경로상의 패킷 손실은 발생하지 않는다. 그러면 네트워크 QoS는 각 flow에 대한 지연 관점에서 검토하면 충분하다.

Source 노드와 destination 노드 사이의 각 flow에 의해 식(1)과 같이 EP 기반 Dijkstra 알고리즘에 의해 경로가 형성되고, 이러한 경로에 의해 각 링크는 일정량의 트래픽을 운반한다. 이때 링크 l 에 흐르는 트래픽 량 ρ_l 은 식(3)과 같이 표현할 수 있다.

$$\rho_l = \sum_{(s,d)} r_{sd} \quad \forall (s,d) \quad s.t. l \in P(s,d) \quad (3)$$

여기서 r_{sd} 는 source 노드 s 에서 destination 노드 d 로 흐르는 flow의 트래픽 량이며, $P(s,d)$ 는 식(1)에 의해 형성된 각 flow의 경로이다.

본 논문 2.3에서 설명할 2단계 라우팅 방식에서, 특정 노드를 차례로 감소시켜 가면서 EP 기반 OSPF 알고리즘을 수행하여 새로운 경로를 설정할 때, 특정 노드가 sleep 상태가 되면 이에 관련된 링크도 sleep 상태가 되어 네트워크내의 각 링크에 흐르는 트래픽 용량(부하)도 변하게 된다.

이때 노드 i 의 sleep 상태가 되어 영향을 받는 네트워크 내의 모든 링크의 변화량 $\Delta\rho_i$ 은 식(4)와 같이 표현 된다.

$$\Delta\rho_i = \{ \Delta\rho_{i1}, \Delta\rho_{i2}, \dots, \Delta\rho_{iL} \} \quad (4)$$

여기서 $\Delta\rho_{ik}$ 는 링크 k 의 트래픽 량이 노드 i 가 sleep 되기 전 트래픽 량에 대해, 노드 i 가 sleep 상태로 된 후 링크 k 의 트래픽 량의 변화량을 나타낸다. 이 경우 노드 i 가 sleep 되면, 노드 i 가 fault 상태와 같으므로 식(1)을 적용하여 경로 재설정이 일어난다. 따라서 네트워크 내의 모든 노드에 대해, sleep 상태가 가능한가를 조사할 때 마다 식(5)을 이용하고 있다. 여기서 C_k 는 링크의 용량이며, α_{\max} 는 링크의 최대 사용률을 나타낸다.

$$\rho_k + \sum_{i \in N} \Delta\rho_{ik} \leq \beta_{\max} C_k \quad \forall k \in L \quad (5)$$

식(4), (5)에서 sleep된 노드에 관련된 링크의 트래픽 용량은 0이다. 본 논문에서 각 경로 $p(s,d)$ 의 지연 특성을 적절한 값 이하로 유지하기 위해, 각 경로상의 노드 및 링크의 최대 사용 용량을 α_{\max} , β_{\max} 로 제한함과 동시에 2단계 라우팅에 의한 홉 수의 증가도 일정 홉(K 홉)이하로 제한시키면 된다. 일반적으로 노드의 처리 용량은 크게 설계하므로 α_{\max} 는 제한하지 않아도 된다.

임의 flow의 source에서 패킷이 random하게 발생하고 그 길이도 random하며, flow의 경로 상에 있는 노드(라우터)는 서로 독립으로 동작한다고 가정한다. 그러면 각 노드의 출력 단에서 트래픽 처리 모델을 M/M/1으로 모델링할 수 있다. 특정 경로 p 의 source와 destination 사이의 평균 지연 $D_{mean}(p)$ 을 정규화 된 패킷 길이로 나타내면 식(6)과 같다.

여기서 n 은 경로 p 상에 있는 노드의 출력단 링크 수

$$D_{mean}(p) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\rho_i}{1-\rho_i} \right) \quad (6)$$

를 나타내며, 이는 최대 링크 용량 경로 β_{\max} 로 제한된다. 본 논문의 2.3에서 제시할 2단계 알고리즘은 sleep 될 노드를 결정할 때, 기존 경로 보다 최대 K 홉 이내로 증가가 가능한 새로운 경로가 존재할 경우 노드를 sleep 시키고, 링크의 최대 평균 용량을 β_{\max} 로 제한하고 있다. 따라서 2.3에서 제시한 알고리즘에 의한 새로운 경로 p' 의 평균 지연 $D_{mean}(p')$ 은 식(7)과 같다. 여기서 $n' \leq n+K$ 이다.

$$D_{mean}(p') = \sum_{i=1}^{n'} \left(\frac{\rho_i}{1-\rho_i} \right) \quad (7)$$

식(7)에서 보면, 새로운 경로 p' 상의 각 링크 최대 부하 β_{\max} , K 값을 적절히 조절하면, 2.3에서 제시할 2단계 알고리즘에 의해 발생하는 지연을 적절한 값 이하로 조절할 수 있다. 따라서 EP 기반 OSPF 라우팅 방식에서 에너지 절약 효율을 극대화시킴과 동시에 이로 인한 지연 증가를 최소화할 수 있다.

3. 2단계 OSPF 라우팅 방식에 의한 에너지 절약

IP 네트워크는 일일 대비 최대 이용률에 초점을 맞춰 QoS를 보장할 수 있도록 설계되어 있으므로, 상대적으로 트래픽이 적은 시간대에서는 필요 이상의 에너지를 소모하고 있다. 그러므로 네트워크 내의 특정 라우가 처리하는 트래픽을 우회시켜, 최소한의 대기전력만 사용하는 sleep 상태로 뚫으로써 에너지를 절약할 수 있다.

EP 기반 OSPF 방식은 SPT 설정시 Dijkstra 알고리즘을 적용한 OSPF 프로토콜을 이용하여, 두 노드 간의 링크 코스트 외에 에너지 소모 요소를 추가하여 적용한다. 네트워크가 처리하는 총 트래픽 량이 일정 값 이하가 되면, 이미 적용하고 있는 링크의 최대 이용률 제한 외에 특정 노드의 sleep 상태에 의한 새로운 경로 설정시의 홉 수 증가를 제한하여 QoS를 보장하는 것을 EPAQ(Energy Profile Aware QoS) 라우팅 방식이다. 본 논문에서 EAR 기반 2단계 OSPF 라우팅 방식의 기본 동작의 흐름은 그림 2와 같다.

IP 네트워크에서는 네트워크가 처리하는 총 트래픽 량을 측정 및 감시하는 총괄 라우터가 있으며, 이 라우터의 명령 신호에 의해 라우팅 단계(단계1↔ 단계2)가

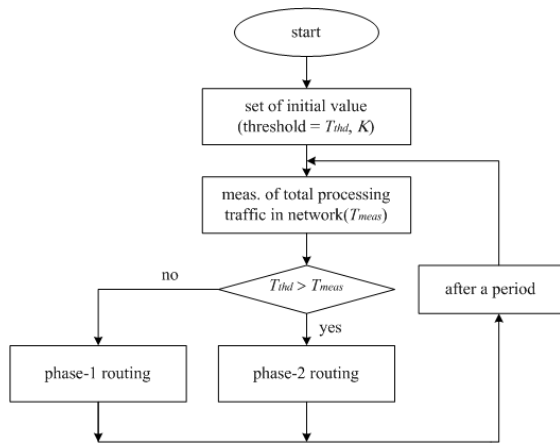


그림 2. 2 단계 EP 기반 OSPF 라우팅 기본 개념도
Fig. 2. Basic block diagram of 2-phase EP based OSPF routing strategy.

변경된다고 가정한다. 그림 2의 라우팅 과정은 2단계가 있으며, 단계1은 논문^[10]에서 제시한 EP 기반 OSPF 라우팅이며, 단계2는 네트워크 내 특정 노드를 sleep 상태로 두기 위한 EP 기반 OSPF 라우팅 단계이다. 단계2에서 네트워크 내 특정 노드를 sleep 모드로 두는 첫 번째 이유는 라우터에 의한 에너지 소모가 링크에 의한 에너지 소모보다 크기 때문이다.

IP 네트워크가 초기 동작 시 운영자가 초기 값 T_{thd} , K 를 입력한다. 여기서 T_{thd} 는 라우팅 모드가 변경되는 점의 총 트래픽 량이며, K 는 단계 2 라우팅에서 허용하는 최대 증가 홉 수를 의미한다. 그림 2에서 T_{meas} 는 현재 처리하고 있는 총 트래픽 량이며, 총괄 라우터가 항상 주기적으로 측정하고 있다. T_{meas} 가 T_{thd} 보다 적으면 단계2의 라우팅이 수행되어, 네트워크에서 sleep 상태로 만들 라우터를 특정 한다. 이때 sleep 상태로 둘 특정 라우터에 의해, 재구성된 SPT 경로의 홉 수는 단계1에서 구성된 경로의 홉 수 보다 최대 K 홉 이하로 증가하여야 한다. 단계 2에서 T_{meas} 가 T_{thd} 보다 크면 단계1의 라우팅으로 변환되어 수행되며, 일정 시간 후 네트워크가 처리하는 트래픽 량에 따라 라우팅 과정이 변화되는 방식이다.

단계 2의 라우팅 과정에서 sleep 모드로 둘 특정 라우터의 선정은 식(8)과 식(9)의 2가지 조건을 모두 만족하는 경로가 존재할 경우에만 sleep 상태로 둔다.

여기서 N' 는 sleep 상태에 있는 노드 및 sleep 상태로 둘 특정 노드를 제외한 노드의 집합이며, m 은 단계

$$\text{Minimize } \sum_{m \in N'} EP_{m,L(m)} \quad (8)$$

$$(h' - h) \text{ of path}(p) \leq K \quad \forall p \in P(s,d) \quad (9)$$

2에서 구성되는 모든 라우터이다. $EP_{m,L(m)}$ 은 노드 m 이 부하가 $L(m)$ 일 때 소모하는 에너지를 나타낸다. h' 은 단계2에서 구성되는 새로운 경로의 홉 수이며, h 은 단계1에서 구성되는 경로의 홉 수를 나타낸다. 단계2의 라우팅은 식(8)과 식(9)을 만족하는 sleep될 특정 라우터를 찾는 알고리즘이 요구된다. 이는 NP hard 문제로 알려져 있으므로, 본 논문에서는 heuristic 방법으로 접근하고자 한다. IP 네트워크에서 코아 라우터만 sleep 모드로 특성이 가능하다. 따라서 코아 라우터의 특성에 초점을 두면, 코아 라우터가 처리하는 트래픽 량과 경로의 수를 생각할 수 있다. 이 두 가지 점을 이용하여 sleep 모드로 만들 코아 라우터를 특정화하는 방법을 다음과 같이 고려한다.

방식① : 코아 라우터가 처리하는 트래픽 량

트래픽 량에 따라 sleep 상태로 둘 target 노드를 특정화하는 방법을 검토해보자. 이때, 트래픽을 많이 처리하는 라우터를 target 노드로 정할 수도 있고, 트래픽을 적게 처리하는 라우터를 target 노드로 정할 수 있다. 트래픽이 많이 처리하는 라우터를 target 노드로 정한다면 상대적으로 많은 트래픽을 우회시켜야 한다. 따라서 주변에 다른 라우터에 가해지는 부하가 커지게 된다. 반대로 트래픽이 적게 처리하는 라우터를 target 노드로 정한다면 링크의 최대 이용률을 만족시키면서 상대적으로 많은 수의 라우터를 sleep 상태로 만들 수 있다. 그러므로 처리하는 트래픽 량이 적은 라우터를 우선으로 target 노드로 정하는 방법을 minimum_traffic(MT) 처리 방법이라 한다.

방식② : 코아 라우터가 처리하는 경로의 수

IP 네트워크 내의 코아 라우터가 처리하는 경로의 수에 따른 방법에 대해 검토해 보자. 코아 라우터가 처리하는 경로의 수가 많고 혹은 적은 순으로 target 노드를 정할 수 있다. 처리하는 경로의 수가 많은 노드를 target 노드로 정하면, 많은 경로를 우회시켜야 하므로 경로의 홉 수 증가가 클 가능성이 있다. 반대로 경로의 수가 적은 순으로 target 노드를 정하면, 상대적으로 경로의 홉 수는 적게 증가할 것이다. 그러므로 처리하는 경로의 수가 적은 노드를 우선적으로 target 노드를 정하는 방법을 minimum_path(MP) 처리 방법이라 한다.

Initial condition : $G(N,L), L_{ij}(T) = 0, N_j(T) = 0,$ $N_j(E) = 0, O_{sd}(h) = 0, N_{sd}(h) = 0,$ $Cost_{ij} = \gamma, T_{thd}$	
Input : constant= $\alpha_{max}, \beta_{max}, K$, input load ρ_{in}	
1. Calculate each r_{sd} from input load ρ_{in} at each IR(ingress router)	
2. if($T_{meas} \geq T_{thd}$) { //phase-1 routing	
3. repeat for each IR	
4. for each r_{sd} {	
5. run Dijkstra's algorithm between s and d	
6. if($L_{sd}(T) + r_{sd} \leq \beta_{max}$ & $N_{sd}(T) + r_{sd} \leq \alpha_{max}$) {	
7. save to $O_{sd}(h)$, up date $L_{sd}(T), N_{sd}(T), N_{sd}(E)$	
8. else {	
9. rerouting r_{sd} (after freezing L_{ij} on $L_{sd}(T)$, go to line 5)	
10. until \forall IR(ingress router)	
11. $\sum_{j=1}^N N_j(E)$	
12. else { //phase-2 routing	
13. repeat	
14. select a target node	
15. search for r_{sd} passing the target node	
16. $r'_{sd} \leftarrow r_{sd}$, reconstruct $G'(N,L)$	
17. for each r'_{sd} {	
18. run Dijkstra's algorithm between s and d	
19. if ($L_{sd}(T) + r'_{sd} \leq \beta_{max}$ & $N_{sd}(T) + r'_{sd} \leq \alpha_{max}$) {	
20. if ($O_{sd}(h) + K \geq N_{sd}(h)$) {	
21. save to $N_{sd}(h)$, up date $L_{sd}(T), N_{sd}(T), N_{sd}(E)$	
22. else {	
23. release the target node, go to 14	
24. else {	
25. rerouting r'_{sd} (after freezing L_{ij} on $L_{sd}(T)$, go to line 17)	
26. if (found $\forall r'_{sd}$) {	
27. operating target node to sleep mode	
28. until \forall core router	
29. $\sum_{j=1}^M N_j(E)$	

그림 3. 2단계 EP기반 라우팅 알고리즘의 pseudo code
 Fig. 3. Pseudo code of 2-phase EP based OSPF routing algorithm.

표 1. Pseudo code에서 사용되는 기호
 Table 1. Signals on pseudo code of Fig.3.

기호	의미
$L_{ij}(T)$	링크 ij 의 트래픽 처리량
$N_j(T)$	노드 j 의 트래픽 처리량
$N_j(E)$	노드 j 의 에너지 소모량
$O_{sd}(h)$	Phase I에서 source-destination path 상의 홉 수
$N_{sd}(h)$	Phase II에서 source-destination path 상의 홉 수
$Cost_{ij}$	링크 ij 의 적정 초기 코스트
T_{thd}	Phase II의 라우팅 동작을 결정하기 위한 threshold 트래픽 량
T_{meas}	네트워크에서 처리하는 트래픽 량의 주기적 측정 값
α_{max}	노드의 최대 사용량의 제한 값
β_{max}	링크의 최대 사용량의 제한 값
K	Phase II에서 증가 가능한 최대 허용 홉 수
ρ_{in}	ingress 라우터의 입력 부하
r_{sd}	특정 source router와 destination router 사이의 flow 량
r'_{sd}	Phase II에서 재 routing 할 flow 량

방식③ : 랜덤한 방법으로 특정

Target 노드를 정하는 특별한 방법이 없이 임의의 순으로 정하는 heuristic 방법을 고려할 수 있다. 이 방식은 경우에 따라 더 좋은 특성을 가질 수 있고, 그렇지 않을 수 있으므로, 일관성은 없다고 할 수 있다. 이와 같은 방법으로 target 노드를 정하는 방법을 random_selection(RS)이라 한다.

4. EP 기반 2단계 OSPF 라우팅 알고리즘 및 코아 노드 감소 전략

EP 기반 2단계 OSPF 라우팅에서 에너지 소모가 최소화하기 위해 sleep 상태로 만들 중계 노드를 특정화 하여 요구 조건을 만족하는지 검사하여야 한다. 이때 특정화 대상이 되는 중계 노드를 target 노드라 부른다. 먼저, heuristic 방법에 의해 타겟 노드를 찾은 후, 타겟 노드를 fault로 인식하여 새로운 IP 네트워크를 구성하고, 링크 및 노드의 최대 이용률 β_{max} 및 α_{max} 와 최대 허용 증가 홉 수 K 을 만족하는 SPT를 식(1)을 이용하여 재구성한다. 이와 같은 EP 기반 2단계 OSPF 라우팅 알고리즘의 pseudo code를 그림 3에 나타냈다.

그림 3에서 각 기호의 의미는 표 1과 같다. 먼저 초기 조건을 설정하고, 입력 $\alpha_{max}, \beta_{max}, K, \rho_{in}$ 값을 기초로 하여 각 ingress router(IR)에서 모든 egress router(ER)

로 향하는 flow 량 r_{sd} 을 계산한다. r_{sd} 계산은 편향 혹은 random 하게 계산되어 진다(라인 1). 네트워크가 처리하는 총 트래픽이 측정되며, 측정값(T_{meas})이 기준 값(T_{thd})이상이면 단계1의 방식(phase-I routing)으로 동작하고(라인 2-11), 기준 값 이하이면 단계2의 방식(phase-II routing)으로 동작하게 된다(라인 12-29).

단계 1의 동작을 설명하면, 라인 1에서 계산된 r_{sd} 를 이용하여, 각 IR 라우터에서 식(1)을 이용하여 Dijkstra 알고리즘을 동작시킨다(라인 5). 이때 r_{sd} 경로 상의 모든 링크 및 노드의 트래픽 제한 용량을 초과하지 않는다면(라인 6), r_{sd} 의 source와 destination 사이의 홉 수를 $O_{sd}(h)$ 에 저장하고, r_{sd} 경로 상의 모든 링크 및 노드가 처리하는 트래픽 량을 업데이트 하고, 각 노드가 소모한 에너지 량을 계산하여 저장한다(라인 7). 만약, 경로상의 링크 또는 노드의 트래픽 제한 용량을 초과하면(라인 8), 그 링크를 제외하고 재 라우팅 하기 위해 line 5로 돌아가 반복한다(라인 9). 라인 3-10까지 모든 IR 라우터에 대해 동일한 방법을 수행하고, 네트워크가 소모한 총에너지를 계산하여 저장한다(라인 11).

단계 2의 동작을 설명하면, 타겟 노드의 선정하여, 순차적으로 정렬시킨다. 이때 타겟 노드 선정 방법은 앞서 설명한 3가지 heuristic 방법 중 하나를 이용한다. 한 개의 타겟 노드가 선정되면(라인 14), 타겟 노드가 처리하고 있는 모든 r_{sd} 를 찾고(line 14), 타겟 노드와 타겟 노드가 처리하였던 r_{sd} 를 제외한 새로운 네트워크 $G'(N,L)$ 를 구성하고(라인 15), 타겟 노드가 처리하고 있는 모든 flow r_{sd} 를 r'_{sd} 로 변경한다(라인 16). Target 노드를 fault로 간주하고 식(1)을 이용하여 Dijkstra 알고리즘을 동작시켜 r'_{sd} 에 대한 새로운 경로를 찾는다(라인 18). 이때 r'_{sd} 의 경로 상에 있는 링크 및 노드의 제한용량을 초과하지 않도록 최적 경로를 찾는데(라인 19), 기존 r_{sd} 의 경로 홉 수 $O_{sd}(h)$ 에 K 를 더한 값이 r'_{sd} 의 경로 홉 수 $N_{sd}(h)$ 보다 크거나 같은 경우(라인 20), 새로운 r'_{sd} 경로의 홉 수를 $N_{sd}(h)$ 에 저장하고, 각 경로 및 노드가 처리하는 트래픽 양을 업데이트 하고, 각 노드가 소모한 에너지 량을 계산한다(라인 21). 라인 19의 조건을 만족하면서 라인 20의 조건을 만족하지 않는 경우에는(라인 22), 해당 노드는 타겟 노드가 될 수 없으므로 타겟 노드를 해지하고, 다음 타겟 노드를 찾아서 다시 수행한다(라인 23). 만약 r_{sd} 의 경로 상의 링크 또는 노드의 제한 사용량을 초과한다면(라인 24), 초과 링크 및 노드를 freezing 시키고 r_{sd}' 에 대해 다시

표 2. 실험에 적용한 네트워크의 에너지 프로파일
Table 2. Applied energy profiles of in simulation experiment

router \ profile	cubic	linear	on/off	$y=0.3x+0.7$
NIC part	25%	25%	25%	25%
SW 및 제어 part	25%	25%	25%	25%

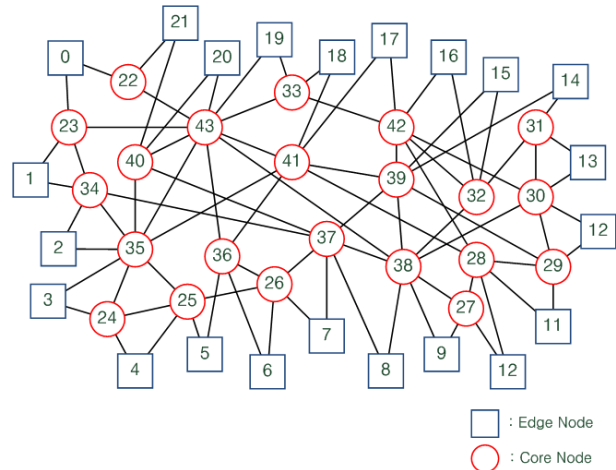


그림 4. 네트워크 시뮬레이션 모델
Fig. 4. Simulation model of network.

라우팅을 한다(라인 25). 라인 15에 의해 찾은 모든 r_{sd} 가 r_{sd}' 로 변경되어 새로운 경로를 찾은 경우(라인 26), 해당 타겟 노드는 sleep 상태로 동작 시킨다(경로 27). 모든 타겟 노드에 라인 13~27을 반복하여 sleep 노드를 찾는 후, 네트워크가 소모한 총에너지를 계산하여 저장한다(라인 29).

III. 특성 평가 및 분석

1. 시뮬레이션 네트워크 모델 및 방법

본 논문에서 제시한 에너지 절약 특성의 분석 및 평가하기 위해 그림 4와 같이 22개의 edge 라우터(0번~21번)와 22개의 코어 라우터(22번~43번)로 네트워크 모델을 구성하여, 시뮬레이션 실험을 수행하였다. 각 라우터의 구조는 참고문헌^[10]과 같이 구성되고, 라우터의 코어 부분(스위치 및 제어부분) 및 NIC 카드 별로 각각 상이한 에너지 프로파일을 가질 수 있으며, 그리고 각각 상이한 에너지 소모량을 가진다. 본 실험에서는 식(1)의 가중치 $K_{ij}, K_{ii}, K_{ij}, K_{CNj}$ 를 1:1:4:1의 비율로 하고, 라우터의 코어 부분(스위치 및 제어부분)과 NIC 부분의 에너지 프로파일은 4종류가 동일 비율(25%)이 되도록

표 3. 실험에 적용한 입력 트래픽 패턴
Table 3. Applied input traffic patterns in simulation experiment.

트래픽 패턴	traffic 비율	path 평균 부하	출력패턴
random pattern(rp)	random	random	random
biased pattern(bp)	high bandwidth : 50%	24% of paths : uniform	random
	low bandwidth : 50%	76% of paths : uniform	

표 2와 같이 랜덤하게 설정하고^[10], 네트워크 QoS를 고려하여 모든 노드와 링크의 이용률 $\alpha_{max}, \beta_{max}$ 값을 0.7로 제한하였다.

그리고 네트워크 내의 모든 링크의 속도는 동일하며, 각 에지 노드에 가해지는 입력 트래픽의 형태는 랜덤(random pattern: rp) 또는 편향 패턴(biased pattern: bp)이며, 적용 형태를 표 3에 나타냈다. 본 실험에서 편향 패턴의 입력은 입력 부하의 50%는 광대역 입력으로 24%의 ER 라우터로 균등하게 분배되며, ER 라우터는 랜덤하게 선택하였다. 나머지 입력 부하의 50%는 협대역 입력으로 76%의 ER 라우터에 균등하게 분배하여 랜덤하게 선택되도록 하였다. 그리고 랜덤 패턴은 입력 부하의 랜덤한 비율로 ER 라우터를 랜덤하게 선택하도록 하였다.

본 논문에서의 에너지 절약 특성은 기존의 on/off 에너지 프로파일 모델에 비해 에너지 절약 효율을 식(10)과 같이 나타냈고, 본 알고리즘 적용에 따라 달라지는 경로의 특성은 기존 방식(OSPF 라우팅)과 비교하여 증가한 평균 홉 수와 평균 지연으로 나타냈다^[10].

$$ES_{eff}(\%) = \frac{\sum_i On/off_{ep} - \sum_i Applied_{ep}}{\sum_i On/off_{ep}} \times 100 \quad (10)$$

여기서 On/off_{ep} 는 ON/OFF 모델의 에너지 프로파일을 이용하였을 때 총에너지 소모량이며, $Applied_{ep}$ 는 비교하고자 하는 다른 에너지 프로파일을 사용하였을 때 총에너지 소모량을 말한다.

본 시뮬레이션은 C 언어를 이용하여 구현하였으며, 각 출력 데이터는 10회 수행한 결과의 평균값을 나타냈다.

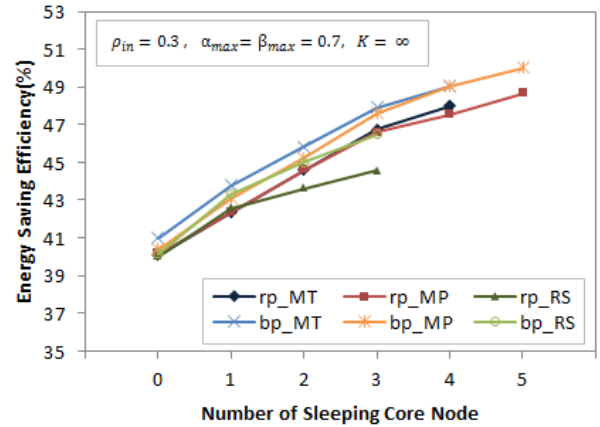


그림 5. 입력트래픽 유형에 따른 방식별 에너지 절약특성
Fig. 5. Energy saving characteristics of heuristic methods according to input traffic pattern.

2. 성능 분석 및 평가

가. 입력 트래픽 유형에 따른 에너지 절약 및 QoS 특성
입력 트래픽 유형을 표 3과 같이 구성하고, 코어 노드 감소에 따른 에너지 절약 특성을 그림 5에 나타냈다.

그림 5는 입력 부하 $\rho_{in} = 0.3$, 최대 허용 가능 홉 수 $K = \infty$ 로 설정 한 후, 3가지 heuristic 방법으로 코어 노드 감소에 따른 에너지 절약 특성을 보여 주고 있다. 가로축은 감소가 가능한 코어 노드의 수이며, 세로축은 식(10)으로 표현되는 에너지 절약 효율을 나타냈다.

그림 5에서, 감소 노드 수가 0인 의미는 단계1의 라우팅 상태이고, 감소 노드 수가 1 이상은 단계2의 라우팅 상태에 있음을 말한다. 단계2의 라우팅의 전제 조건이 네트워크가 처리하는 총 트래픽량이 특정 값 이하인 상태이다. 이 상태에서는 target 노드 선정 방법 및 입력 트래픽 유형에 따라 sleep 노드의 수가 동일한 경우의 에너지 절약 특성의 차이가 확실하게 있음을 알 수 있다. 입력 트래픽은 bp트래픽 유형이 rp트래픽 유형이 에너지 절약 효율이 약간 우수하며, sleep 노드의 수가 증가할수록 에너지 절약 특성이 개선된다. 그리고 target 노드 선정을 MP방식으로 적용하면, sleep 노드 수가 최대가 되고, 에너지 절약 효율도 다른 2방식에 비해 우수함을 알 수 있다. 즉 단계2의 라우팅에서 MP 기반 방식을 적용하면 에너지 절약 효율이 검토한 3 방식 중 가장 우수함을 알 수 있다.

또 입력 트래픽 패턴에서는 bp트래픽 유형이 rp트래픽 유형보다 우수한 에너지 절약 특성을 보이고 있다. 이는 단계2의 라우팅은 네트워크가 처리하는 총 부하량이 일정 값 이하 일 때 동작하고, 각 ingress 라우터

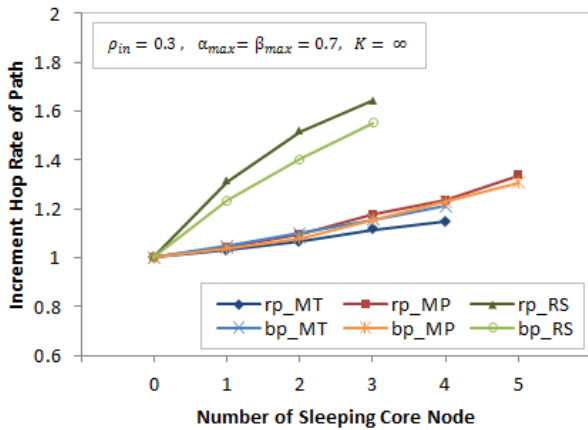


그림 6. 타겟노드 선택방식에 따른 평균홉 수 증가 특성
Fig. 6. Mean increment hop rate according to target node selection methods.

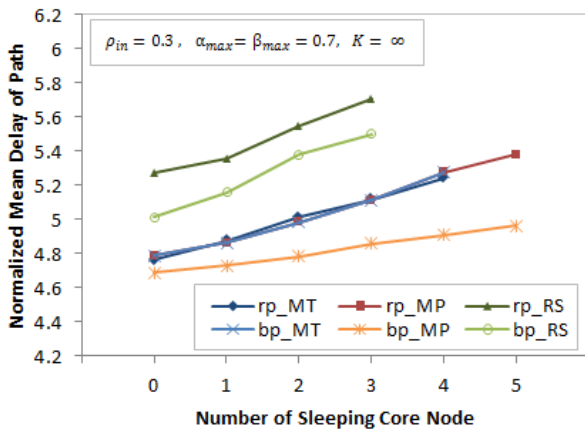


그림 7. 타겟노드 선택방식에 따른 평균 지연 특성
Fig. 7. Mean delay characteristics according to target node selection methods.

에 가해지는 입력 부하 중 적은 대역의 트래픽이 많을 수록 에너지 효율이 높은 링크를 선택할 기회가 많다는 것을 의미한다. 본 논문에서 적용한 에너지 프로파일 패턴도 적은 부하에서 상대적으로 에너지 소모량이 적기 때문에, 입력 트래픽 패턴에 의한 에너지 절약 특성에 미치는 영향이 크다고 본다.

네트워크 레벨의 QoS 특성을 검토하기 위해, 단계2의 라우팅으로 인한 경로(path)의 평균 홉 증가율과 평균 지연 특성을 그림 6 및 그림 7에 나타냈다.

그림 6은 에너지 절약을 위해 sleep 가능한 코어 노드의 수에 따른 경로의 홉 평균 증가율을 나타냈다. sleep 가능한 코어 노드의 수가 0인 의미는 단계1의 라우팅에서 단계2의 라우팅으로 변환되는 시점을 말하며, 이를 기준으로 하고, sleep 중계 노드로 인한 경로 증가율을 나타냈다. RS 방식에 의해 타겟 노드를 선택하면, sleep 코어 노드 증가에 따라 경로의 홉 증가 비율도 높

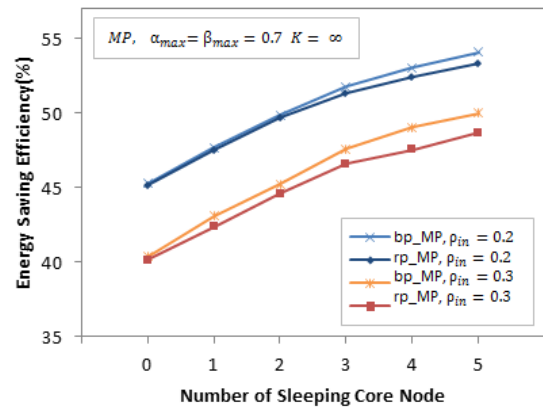


그림 8. 입력 부하에 따른 에너지 절약 특성
Fig. 8. Energy saving characteristics according to input load.

다. 그러나 MP와 MT의 두 방식에서의 평균 홉 증가율은 MP 방식이 약간 크지만, 그림 7에서 평균 지연은 MP 방식이 약간 우수하다.

그림 7에 홉 증가에 따른 경로의 평균 지연 특성을 나타냈다. 그림 7의 세로축은 평균 패킷 길이로 정규화된 경로의 평균 지연을 나타냈다. sleep 노드의 수가 증가하면, 지연 특성이 증가하고 있다. 이는 sleep 노드의 영향으로 sleep 노드에 관계되는 링크가 shutdown 되어, 네트워크가 제한된 링크로 트래픽을 분산시켜 이전보다 링크에 많은 부하가 가해지기 때문에 평균 지연 특성이 증가하고 있음을 알 수 있다. 그러나 타겟 링크를 선정하는 3가지 방법 중 경로에 기반을 둔 MP 방식이 홉 증가율 및 평균 지연 증가율이 가장 적은 사실을 그림 7을 통해 알 수 있다. 평균 지연 특성은 랜덤 입력 트래픽 패턴보다 편향 입력 트래픽 패턴인 경우, 지연 특성이 우수함을 알 수 있다.

이상의 결과를 종합하여, 다음 절에서는 네트워크 QoS를 고려하기 위해, sleep 코어 노드를 결정하는 MP 방식에서 허용 가능한 증가 홉 수 및 링크 사용률을 제한한 경우에 대해 특성을 분석한다.

나. 2 단계 OSPF 라우팅 방식의 QoS 특성 분석

(1) 입력 부하(ρ_{in})에 따른 특성

MP(Minimum_Path) 방식으로 타겟 노드를 선정하여 sleep 가능한 코어 노드를 결정하고, 입력 트래픽 패턴에 대해 에너지 절약 효율, 경로당 평균 증가 홉 수 및 평균 지연 특성을 그림 8, 그림 9 및 그림 10에 나타냈다. 이때 단계 2의 라우팅에서 최대 홉 수의 증가에는 제한하지 않았다.

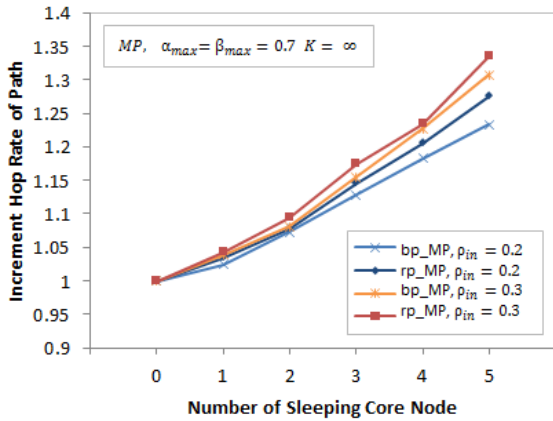


그림 9. 입력 부하에 따른 평균 홉 수 증가 특성
Fig. 9. Mean increment hop rate according to input load

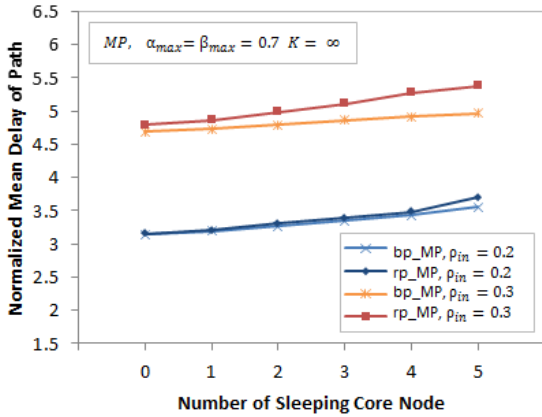


그림 10. 입력 부하에 따른 평균 지연 특성
Fig. 10. Mean delay characteristics according to input load.

그림 8은 입력부하의 변화($\rho_{in} = 0.2, 0.3$)에 따른 에너지 절약 특성을 나타냈다. 입력 부하가 크면 에너지 절약 효율이 낮고, 적으면 에너지 절약 효율이 높다. 또 sleep 노드의 수가 많을수록 에너지 절약 효율이 높다. 따라서 단계 2의 라우팅에서는 가능한 많은 sleep 노드를 갖는 라우팅 알고리즘이 에너지 효율 절약 측면에서 우수하다.

그림 9 및 그림 10에서 보면, 입력 부하가 적을수록 경로당 평균 홉 증가율 및 정규화된 평균 지연 특성이 우수함을 알 수 있다. 이는 본 실험에 적용한 4 종류의 에너지 프로파일 중 ON/OFF 모델을 제외하고 나머지 3개 모델은 입력 부하가 적을수록 에너지 소모량이 적은 모델이므로 당연한 결과로 볼 수 있다. 따라서 본 논문에서는 최소 에너지 소모를 위해 경로를 분산시키는 방법으로 라우팅을 수행하며, 경로 분산에 의한 홉 수의 증가는 동반하지만 링크의 부하가 적기 때문에 실제 지연 증가는 크지 않음을 알 수 있다.

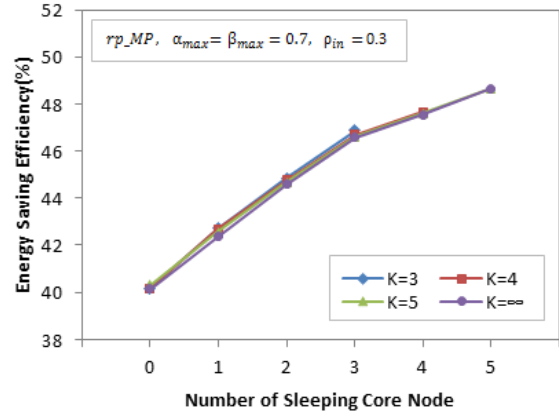


그림 11. 증가 홉 수 제한에 따른 에너지 절약 특성
Fig. 11. Energy saving characteristics according to allowable hop number (K).

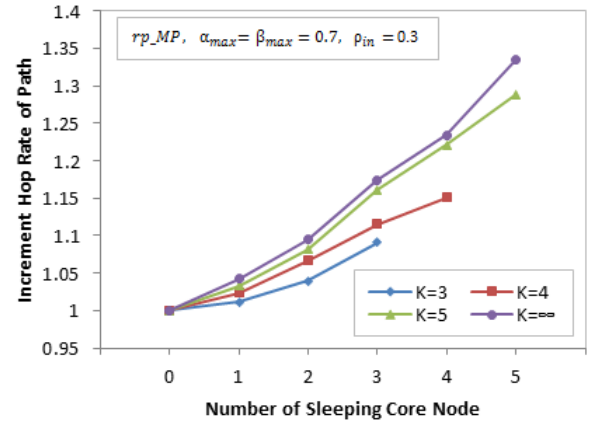


그림 12. 증가 홉 수 제한에 따른 평균 홉 수 증가 특성
Fig. 12. Mean increment hop rate according to allowable hop number (K).

그리고 입력 트래픽 유형은 랜덤형 보다 편향 트래픽 유형에서 에너지 효율, 지연 특성이 우수함을 알 수 있다. 이는 EP 기반 알고리즘에서 각 ingress 라우터에 가해지는 입력 부하 중 적은 대역의 트래픽이 많을수록 에너지 효율이 높은 링크를 선택할 기회가 많다는 것을 말한다.

(2) 최대 증가 홉 수(K) 제한에 따른 특성

단계 2의 라우팅에서 MP 방식으로 sleep 가능한 라우터를 선택하고, 허용 가능한 최대 홉 수(K)를 변수로 하여 에너지 효율과 경로당 홉 수의 증가율 및 정규화된 지연 특성을 조사하였다. 이때 입력 부하 $\rho_{in} = 0.3$, $\alpha_{max} = \beta_{max} = 0.7$ 로 하였다.

그림 11은 최대 허용 가능한 홉 수에 따른 에너지 효율을 나타냈고, 그림 12는 경로당 평균 증가 홉 율과 그림 13에는 평균 지연 특성을 나타냈다. 경로당 허용 가

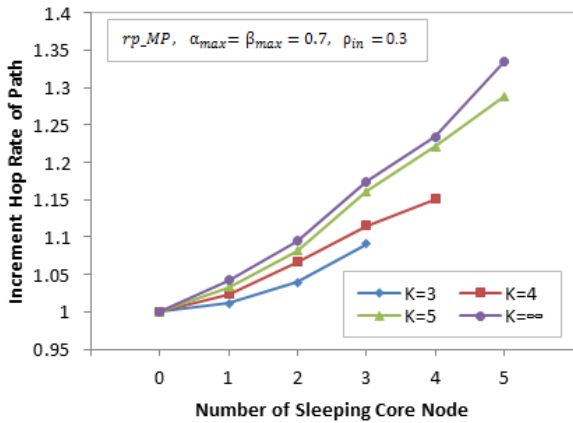


그림 13. 증가 홉 수 제한에 따른 평균 지연 특성
Fig. 13. Mean delay characteristics according to allowable hop number (K).

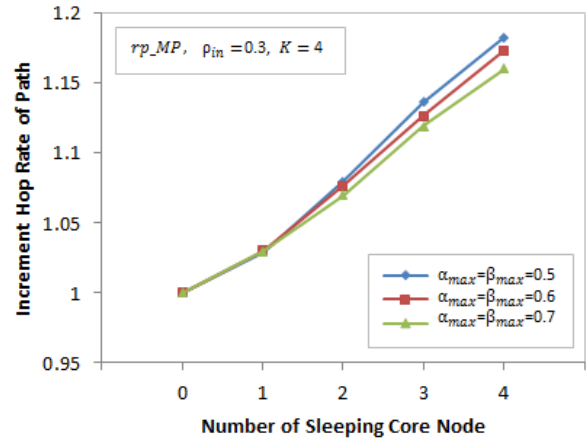


그림 15. $\alpha_{max} = \beta_{max}$ 제한에 따른 홉 수 증가 특성
Fig. 15. Mean increment hop rate according to allowable link and node capacity($\alpha_{max} = \beta_{max}$).

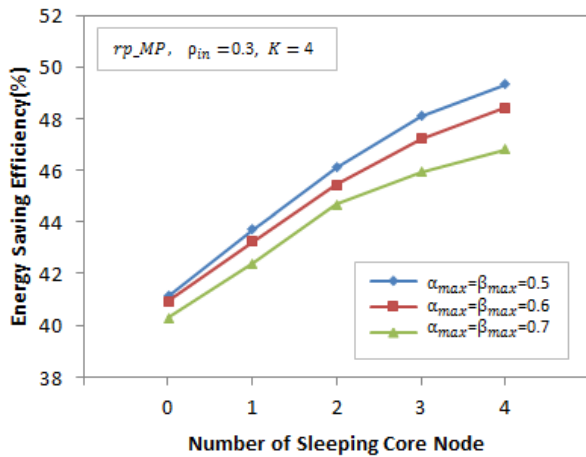


그림 14. $\alpha_{max} = \beta_{max}$ 제한에 따른 에너지 절약 특성
Fig. 14. Energy saving characteristics according to allowable link and node capacity($\alpha_{max} = \beta_{max}$).

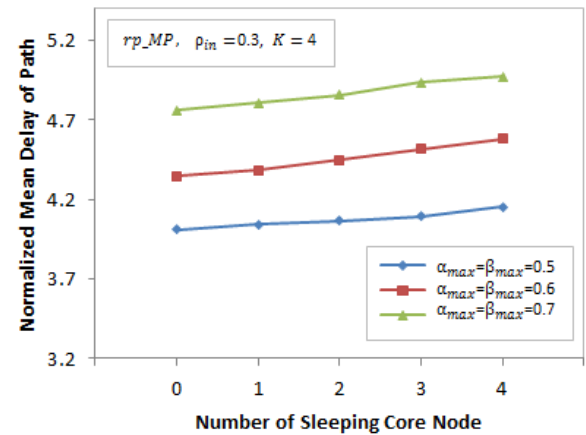


그림 16. $\alpha_{max} = \beta_{max}$ 제한에 따른 평균 지연 특성
Fig. 16. Mean delay characteristics according to allowable link and node capacity($\alpha_{max} = \beta_{max}$).

능한 홉 수를 작게 함으로 sleep 가능한 노드의 수도 줄어들고 에너지 절약 효율은 미미하게 감소하지만, 경로의 평균 지연 특성은 홉 수 제한에 의해 줄어들게 되어, 네트워크의 지연 특성은 만족 시킬 수 있음을 알 수 있다.

(3) $\alpha_{max}, \beta_{max}$ 제한에 따른 특성

네트워크의 QoS를 만족시키기 위해, 노드 및 링크의 최대 이용률($\alpha_{max} = \beta_{max}$)에 따른 특성을 조사하였다. 여기서 입력 트래픽 $\rho_{in} = 0.3$, $K=4$ 로 하고, 에너지 절약 및 지연 특성을 그림 14, 그림 15, 그림 16에 나타냈다. 노드 및 링크의 최대 이용률($\alpha_{max} = \beta_{max}$)을 제한하면 에너지 절약 효율과 지연 특성이 개선되고 있다. 이는 본 논문에서 사용한 소자의 에너지 프로파일은 부하의 함수이며, on/off 에너지 프로파일을 제외하고 부하가 적을수록 에너지 효율이 높은 프로파일이다. 그러므로

실험에서 75%가 입력 부하가 적을수록 에너지 효율이 높은 모델이므로, 이로 인한 영향이라고 볼 수 있다.

따라서 단계 2의 재 라우팅 시, 각 링크에 허용 가능한 홉 수 및 노드와 링크의 이용을 적절히 제한함으로써 에너지 절약 효율과 지연 특성을 제한할 수 있다. 그러므로 네트워크 QoS의 보장이 가능하고 할 수 있다.

이상의 결과를 종합하면, 에너지 프로파일 기반 라우팅 방식을 적용할 때, 각 링크의 허용 가능한 홉 수 (K) 및 노드 및 링크의 최대 이용률($\alpha_{max} = \beta_{max}$)을 적절한 값으로 제한하면, 에너지 효율 및 지연 특성을 만족 시킬 수 있다. 특히 IP 네트워크가 입출력 라우터 간 다양한 경로를 제공하도록 구성되면, 더 좋은 특성을 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

IV. 결 론

IP 네트워크에서 에너지 절약 문제가 큰 이슈로 등장하면서, 다양한 에너지 프로파일을 갖는 네트워크 장비의 출현이 기대되고 있다. 본 논문의 참고문헌^[10]의 내용을 연속하여 구성한 것으로써, 네트워크 레벨의 QoS 관점에서 에너지 효율 및 경로의 흡수 그리고 지연 특성 등을 검토하였다.

특히 본 논문은 에너지 프로파일 기반의 OSPF 라우팅에서 지연 특성을 간략하게 모델링하여 분석하고, 에너지 절약을 위해 2 단계 OSPF 라우팅 개념을 제시하고 제반 특성을 분석하였다. 2 단계 OSPF 라우팅은 단계1에서 참고문헌^[10]의 라우팅 방식을 적용하고, 단계2에서는 에너지 절약 효율을 높이기 위해 가능한 많은 중계 노드를 sleep 상태로 만든 후, sleep 노드로 영향을 받는 경로만 재 라우팅하는 방식을 적용하였다. 이때 단계2에서 에너지 절약 특성과 네트워크 레벨의 QoS 보장을 위한 방법으로, 재 라우팅 시 허용 가능한 증가 흡수와 링크 및 노드의 이용률을 제한하는 방법을 제안하였고, 이의 특성을 분석하였다.

특히 본 논문은 sleep 모드로 둘 코아 노드를 선정하는 방법 즉 코아 노드가 처리하는 경로 및 트래픽 량에 따라 MP(minimum_path), MT(mimimum_traffic)으로 나누고, 임의로 코아 노드를 선택하는 RS(random_selection)에 따라 에너지 절약 효율 및 지연 특성을 검토하였다. 그 결과 MP(minimum_path) 방식에 의해 sleep할 코아 노드를 결정하는 방법이 에너지 절약 효율 및 지연 특성이 우수하다는 것을 나타냈다.

결론적으로 IP 네트워크에서 EP 기반 2 단계 OSPF 라우팅 방식에서 sleep할 코아 노드 선정은 MP(minimum_path) 방식을 적용하고, 그리고 재 라우팅 시 허용 가능한 흡수 및 노드 및 링크의 사용률을 적절한 값으로 제한함으로써 에너지 효율 개선 및 네트워크 레벨의 지연 특성을 동시에 만족시킬 수 있다는 것을 확인하였다.

금후 본 논문은 EP 기반 OSPF 라우팅에서 2단계 라우팅 절차 및 구동 방식 등에 대해 좀 더 구체적으로 연구할 예정이다.

REFERENCES

- [1] C. Despina, et al., Leveraging Green Communications for Carbon Emission Reductions: Techniques, Testbeds, and Emerging Carbon Footprint Standards, *IEEE Comm. Mag.*, Vol.49, no.8, pp. 101-109, 2011.
- [2] Smart 2020, Enabling the Low-Carbon Economy in the Information Age, The Climate Group, London, U.K., 2008. (<http://www.smart2020.org>).
- [3] Diego Reforgiato Recupero, "Toward a green Internet," *Science*, vol. 339, no. 1533, March 2013.
- [4] J. Restrepo, C. Gruber, and C. Machuca, "Energy Profile Aware Routing," in First International Workshop on Green Communications, June 2009.
- [5] Rosario G. Garroppo, Stefano Giordano, Gianfranco Neucioni, and Michele Pagano, "Energy Aware Routing based on Energy Characterization of Devices: Solutions and Analysis," 2011 IEEE International Conference on Communications Workshops(ICC), June, 2011.
- [6] Bianzino A.P., Chaudet C., Larroca F., Rossi D. and Rougier J., "Energy-aware routing in IP networks: A reality check," *IEEE, GLOBECOM Workshops*, December, 2010.
- [7] Sergiu Nedeveschi, Lucian Popa, Gianluca Iannaccone, Sylvia Ratnasamy and David Wetherall, "Reducing Network Energy Consumption via Sleeping and Rate-Adaptation," *NSDI '08: 5th USENIX Symposium on Networked Systems Design USENIX Association and Implementation*, pp. 323-336, 2008.
- [8] Chimoon Han, "Adaptive Buffer and Burst Scheme and Its Characteristics for Energy Saving in Core IP Networks," *Jouranal of IEEK*, pp. 34-42, Vol. 49, No.10, October, 2012.
- [9] Antonio Cianfrani, Vincenzo Eramo, et al., "An OSPF - Integrated Routing Strategy for QoS-Aware Energy Saving in IP Backbone Networks," *IEEE Transactions on Network and Service Management*, March 2012.
- [10] Yusik Seo, Chimoon Han "Energy Saving Characteristics of OSPF Routing based on Energy Profiles," *Journal of KICS*, pp 1296-1308, vol.40, No.07, July, 2015.

— 저 자 소 개 —



서 유 식(학생회원)
2014년 2월 한국외국어대학교
전자공학과 졸업
2014년 3월~현재 한국외국어대학
교 전자공학과 석사과정
<주관심분야 : 컴퓨터통신, 에너
지 saving 네트워크, 센서네트워
크>



한 치 문(평생회원)-교신저자
The University of Tokyo, 전기공
학 전공, 공학박사
1977년 2월~1983년 3월 KIST 연
구원
1983년 4월~1997년 2월 ETRI 선임
및 책임 연구원, 교환 기술연
구 단 계통 연구부장역임
1997년 3월~현재 한국외국어대학교 전자공학과 교수
<주관심분야 : 에너지 saving 네트워크, 차세대
인터넷, 센서 네트워크, 네트워크 보안, 네트워크
설계 및 성능 분석 등>