

논문 2012-49-9-4

IP Network에서 Energy-aware QoS Routing에 의한 에너지 감소 방법 및 특성

(Energy Reduction Methods using Energy-aware QoS Routing Scheme and Its Characteristics in IP Networks)

한 치 문*

(Chimoon Han)

요 약

오늘날 ICT 네트워크에서 에너지 소모는 전체 에너지 소모의 10% 내외로 가까운 미래에 에너지가 현저하게 증가 할 것이다. 그러한 이유로 ICT 네트워크에서 에너지를 절약하려는 연구가 상당히 활발하게 이루어지고 있다. 본 논문에서 네트워크 레벨에서 네트워크 품질을 보장하면서 에너지 절약이 가능한 방법을 검토한다. 네트워크를 구성하는 노드와 링크는 에너지 프로파일에 따라 에너지가 소모된다고 가정하였다. 특히 IP 네트워크에서, 다양한 에너지 프로파일 모델을 기본으로 하여 네트워크가 소모하는 에너지 모델을 정식화하고, IP 네트워크 품질을 만족하면서 에너지 절약이 가능한 energy-aware QoS 라우팅 방안을 제시하고 검토한다. 본 논문에서 시뮬레이션을 이용하여, 에너지 프로파일에 따라 IP 네트워크가 소모하는 에너지의 차이가 크며, 적절한 에너지 프로파일 모델을 개발한다면 에너지 절약이 가능함을 보여 준다. 또 IP 네트워크의 품질을 유지하면서 에너지 절약이 가능한 energy-aware QoS 라우팅 중 min_used_path(MP) heuristic을 이용한 방법이 네트워크의 노드 및 링크의 감소율이 다른 방법에 비해 우수하고, 에너지 절약 효과가 다른 방법에 비해 우수함을 분명히 한다. 따라서 결론적으로 본 논문에서는 energy-aware QoS 라우팅의 한 방법인 min_used_path(MP) heuristic을 적용하여 네트워크 품질 유지하면서 에너지를 절약 할 수 있음을 확인 하였다.

Abstract

Today the energy consumption of ICT networks is about 10% of the worldwide power consumption and will be remarkably increased in the near future. For that reason, the energy saving topics of ICT networks are actually studying in various research institutes. This paper studies the possible energy saving methods assuring the QoS of networks on network level. This paper assumed the energy consumption models according to energy profiles of node and link in IP networks. Especially it formulates the energy problem of a minimum energy consumption with various energy profile models and suggests the methods of energy-aware QoS routing under energy saving and network QoS sustaining condition. It shows the large difference of energy saving according to energy profiles and the possibility of energy saving by using the appropriate energy profile model in the simulation experiment. This paper shows that min_used_path(MP) heuristic of energy-aware QoS routing is the excellent method compared with other heuristic methods as view of reduction ratio of nodes and links and energy saving effect under network QoS sustaining condition. As a result, this paper confirms that the min_used_path(MP) heuristic of energy-aware QoS routing can get energy saving and sustaining of network QoS in IP networks.

Keywords : Energy-aware QoS Routing, min_used_path(MP), Heuristic, Energy Profile, Energy reduction

* 정회원, 한국외국어대학교 전자공학과

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

※ 본 논문은 2012년도 한국외국어대학교 교내 학술연구비 지원에 의하여 수행되었습니다.

접수일자: 2012년7월24일, 수정완료일: 2012년9월19일

I. 서 론

최근, ICT(Information and Communications Technology) 분야에서 에너지 소모에 대한 관심이 고조되어 있고, 네트워크에서 에너지 소모는 에너지 전체 소모의 10% 내외이며, 가까운 미래에 현저하게 증가 할 것으로 예측하고 있다^[1~2]. 특히 ICT 탄소 방출의 20%는 제조과정에서 발생하고, 나머지 80%는 장비 사용으로 인해 발생한다고 한다^[1~2]. 특히 전체 ICT 탄소 방출의 37%는 네트워크 인프라 구조와 소자에 기인하고, 나머지는 데이터 센터 및 사용자 터미널에서 기인하는 것으로 분석하고 있다^[1~2]. 그래서 IP 네트워크에서 에너지 소모를 가능한 줄이는 연구가 대학, 연구소 등 다양한 기관에서 진행되고 있다.

오늘날 IP 네트워크는 폭주(congestion)를 방지하고, 가능한 모든 링크에 트래픽이 균등하게 흐르도록 제어하며, 최대 peak 시의 트래픽을 기준으로 설계하여 주어진 성능을 만족 시키고 있다. 그러므로 IP 네트워크에서 트래픽 레벨이 시, 요일, 월 및 계절 등에 따라 변동하므로, 주변 트래픽 환경에 따라 네트워크 소자를 적절히 제어하여 에너지 소모를 상당히 줄일 수 있다^[3~4, 6~7, 9].

IP 네트워크에서 에너지 절약의 기본 개념은 주로 네트워크 리소스를 합병(consolidation)하여, 어떤 주어진 시간 동안에 사용하지 않은 소자(device)를 이용하여, 에너지를 감소시키는 전략을 사용하고 있다. 이러한 방식은 IP 네트워크에서 흐르는 트래픽을 행위에 따라 네트워크 소자 및 링크의 subset으로 모우고, 다른 소자 및 링크의 전원을 off 시키는 방식을 취하고 있다^[4~5]. 특히 IP 네트워크 내에서 이용되는 소자의 에너지 프로파일을 이용하여 에너지 소모를 감소시키려는 연구가 여러 곳에서 다양하게 이루어지고 있다^[6~9].

본 논문에서는 이러한 문제에 대해 구체적이고, 체계적으로 접근하여 문제를 일반화 시키고, 에너지 소모 최적화 방안 제시 및 그 특성에 대해 서술한다. 오늘날 IP 네트워크에서 각 flow에 사용되는 경로는 link weight에 기초를 둔 IGP (Internet Gateway Protocol)에 의해 결정된다. 따라서 IP 네트워크에서 에너지 소모를 최소화하기 위한 energy profile aware routing을 네트워크 레벨에 적용하기 위해 다음과 같은 조건을 가정한다. ①물리적 네트워크 토폴로지는 라우터와 링크

로 구성되며, 노드 및 링크의 용량은 이미 알고 있다. ②임의의 source와 destination node 사이에서 교환될 평균 트래픽 량은 이미 알고 있다. ③각 링크 및 노드의 에너지 소모량, 즉 부하에 따른 energy profile을 이미 알고 있다.

상기의 가정에서 flow conservation 및 QoS을 고려한 최대 노드 및 링크 이용율의 제한 조건에서 전 에너지 소모가 최소화 되도록 IP 네트워크에서 링크 및 라우터의 집합을 구하는 것이다.

따라서 본 논문의 구성은 서론에 이어, 제II장에서는 IP 네트워크에서 사용 가능한 에너지 프로파일 모델에 대해 서술하고, 제III장에서는 에너지모델의 정식화를 통해 에너지 최소화 방법을 제시한다. 제IV장에서는 3장에서 정식화한 식을 이용하여 core IP 네트워크에서 energy-aware QoS 라우팅에 의한 에너지 소비 최소화 알고리즘에 대해 가능한 heuristic 방법을 검토하고, 제V장에서는 임의의 IP 네트워크에서 시뮬레이션을 통해 QoS 라우팅에 의한 에너지 소모 최소화 방법에 대한 성능 분석 및 평가를 통해 최적 방안을 제시하고, VI장에서 결론을 맺는다.

II. 에너지 모델

에너지 모델은 여러 형태로 생각 할 수 있으나, 이용율의 함수로 소자의 에너지 소모를 표현하는 것이 일반적인 모델이다. 이러한 모델은 parametric 형태로 표현되며, 쉽게 다른 모델로 확장이 가능하다. 그 예로 그림 1에 나타내었으며, 가능한 에너지 프로파일의 모델

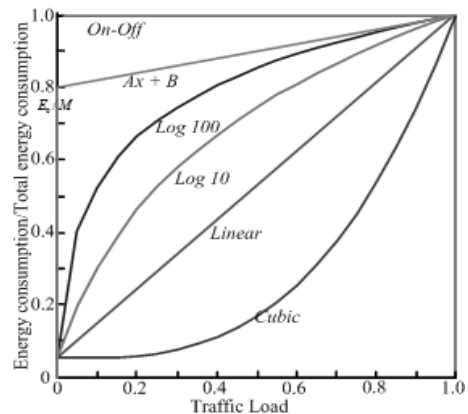


그림 1. 에너지 프로파일 모델^[6]
Fig. 1. Models of energy profile^[6].

표 1. 에너지 소비 관련 파라미터^[9]
Table 1. Energy consumption related parameter^[9].

Network Element	E_0 [Watt]	M [Watt]
Nodes	$0.85 C^{3/2}$	$C^{3/2}$
(0~100)Mbps links	0.48	0.48
(100~600)Mbps links	0.90	1.00
(600~1000)Mbps links	1.70	2.00

은 6종류이다.

그림 1의 Ax+B 모델에서 보면, 네트워크 소자의 에너지 소모는 idle 상태인 E_0 와 최대 이용율에 해당하는 에너지 소모량 M 사이에서 선형적으로 증가함을 볼 수 있다. 소자의 이용율이 0일 때, null 에너지 소모량 E_0 이며, 이 상태에서는 네트워크 소자가 sleep 상태에 있다고 생각 할 수 있다. 실제 파라미터 E_0 , M 값은 표 1과 같이 요약되고 있다^[9].

표 1에서 C는 노드 스위치의 용량을 나타내며, 그림 1에서 보면, E_0 가 0에 가까운 에너지 프로파일 모델도 있다. M은 부하가 최대일 때, 최대 소모하는 에너지 값을 나타낸다. 이 모델은 에너지 소모가 부하에 따라 선형적으로 변하는 가장 이상적인 모델로, 네트워크 소자에 DVS(Dynamic Voltage Scaling), DFS(Dynamic Frequency Scaling) 기술을 적용하면 가능하다고 한다. 그림 1과 같이 다양한 energy profile model을 적용한 EAR(energy aware routing) 알고리즘을 연구하기 위해, 우선 IP 네트워크 모델에서 정식화하기로 한다.

III. 에너지 모델의 정식화

IP 네트워크를 방향 그래프, $G=(N,L)$ 로 표시한다. 여기서 N 은 노드의 집합이며, L 은 노드간을 연결하는 통신 링크의 집합을 나타낸다. 임의의 네트워크 소자 a (노드 및 링크)에 대해, 소자 a 의 부하와 최대 용량은 l_a, C_a 로 표시한다. 본 논문은 모든 노드 및 링크가 소모하는 전 네트워크 에너지가 최소인 네트워크 구조를 찾는 것이다. 이때 부하에 따른 에너지 모델은 II에서 정의한 그림 1의 모델을 사용하여 일반화 한다. 그림 1의 에너지 모델에서, 각 소자의 에너지 소모는 부하/용량의 비율에 대한 함수를 가지며, 식(1-a)과 같이 된다.

$$P_{tot} = \sum_{n \in N} f_{En} \left(\frac{l_n}{C_n} \right) + \frac{1}{2} \sum_{(i,j) \in L} \left(f_{EI(ij)} \left(\frac{l_{ij}}{C_{ij}} \right) + f_{EI(ji)} \left(\frac{l_{ji}}{C_{ji}} \right) \right) \quad (1-a)$$

첫째항은 노드 n에서 소모되는 에너지가 가해지는 부하에 따라 변하며, 둘째 항은 링크 (i,j) 및 링크 (j,i) 에서 소모하는 에너지를 나타내고 있다. 통신에서 링크는 full duplex 방식이므로 한 방향으로 트래픽 전달이 일어나도 양방향 모두 전원이 on 상태이다. 따라서 양 방향 분리하여 모델링되므로, 링크의 부하는 양 방향 합으로 주어지므로 1/2로 나눈다.

상기 식을 약간 수정하여 Ax+B 모델에 적용 할 경우, 함수의 상수의 표현은 스위치가 on일 때 E_0 이고, 그 이외는 null 상태이다. 여기서 소자 a 의 상태를 표현하기 위해 변수 x_a 을 도입한다. 소자 a 가 on일 때, $x_a=1$,그 이외는 $x_a=0$ 이다. 소자 a 에 대한 함수 기울기는 E_{fa} 로 표시한다. 그러므로 $G=(N,L)$ 에서 전 에너지 소모량은 식 (1-b)와 같이 표현 할 수 있다.

$$P_{tot} = \sum_{n \in N} \left(\frac{E_{fn} l_n}{C_n} + x_n E_{on} \right) + \frac{1}{2} \sum_{(i,j) \in L} \left(\left(\frac{E_{fij} l_{ij}}{C_{ij}} + x_{ij} E_{0ij} \right) + \left(\frac{E_{fji} l_{ji}}{C_{ji}} + x_{ji} E_{0ji} \right) \right) \quad (1-b)$$

식(1)에서 첫 번째 항은 노드에 의해 소모되는 에너지를 표시하며, 두 번째 항은 링크에 의해 소모되는 에너지를 표현 한 것이다. 일반적으로 한 개의 노드에 의해 소모되는 에너지가 한 개의 링크에 의해 소모되는 에너지보다 훨씬 크다. 여기서 네트워크에 부가된 트래픽 부하는 ingress와 egress 라우터 (s, d)쌍에서 노드 s와 노드 d 사이에 흐르는 트래픽을 r_{sd} 로 정의한다. 이러한 트래픽은 임의의 링크 (i,j) 을 통해 트래픽 f_{ij}^{sd} 을 발생시키면서 네트워크를 통해 소스 노드(s)에서 목적지 노드(d)로 전달된다. 이러한 트래픽은 식(2)와 같은 조건을 만족한다.

$$\sum_{(i,s,d) \in N^3} f_{ij}^{sd} - \sum_{(i,s,d) \in N^3} f_{ji}^{sd} = \begin{cases} r_{sd} & \forall (s,d) \in N^2, i = s \\ -r_{sd} & \forall (s,d) \in N^2, i = d \\ 0 & \forall (s,d) \in N^2, i \neq s, d \end{cases} \quad (2)$$

식(2)에서 링크로 흐르는 트래픽 량을 제한할 필요가 있다. IP 네트워크에서 end-to-end 지연과 패킷 손실 특성을 고려하여 링크 이용율을 일정 값 이하로 제한할 필요가 있다. 따라서 식(3)에서 α 을 이용하여 제한

한다.

$$\sum_{(s,d) \in N^2} f_{ij}^{sd} = l_{ij} \leq \alpha C_{ij} \quad \forall (i,j) \in L \quad (3)$$

노드의 부하는 노드에 입력 및 출력되는 트래픽에 비례하고, 입출력 트래픽이 같다고 보면, 식 (4)와 같이 표현 할 수 있다. β 는 노드의 용량을 제한시키는 요소이며, 1 이하의 값이다.

$$l_n = \sum_{(i,n) \in L} l_{in} + \sum_{(n,i) \in L} l_{ni} \leq \beta C_n \quad \forall n \in N \quad (4)$$

일반적으로 네트워크 내의 임의의 소자(노드 및 링크)에 용량은 식(5) 및 식(6)으로 제한된다. 여기서 M은 노드 및 링크 최대 용량의 2배 이상의 값이다.

$$Mx_{ij} \geq l_{ij} + l_{ji} \quad \forall i, j \in L \quad (5)$$

$$Mx_n \geq l_n \quad \forall n \in N \quad (6)$$

IP 네트워크에서 에너지 소모를 최소화하기 위해서는 식(2)에서 식(6)까지의 조건을 만족시키면서, 식(1)의 에너지 소모량을 최소화 하여야 한다. 이 문제의 해는 NP-hard 문제로 잘 알려져 있다. 따라서 네트워크에서 이 문제를 풀기 위해서 heuristic 방법을 이용하고 있다. 그리고 식(1)에서 노드와 링크의 에너지 소모량을 정확히 파악한다는 것도 매우 어려우며, 이 값은 주로 소자에 적용한 기술에 의존하고 있다. 일반적으로 노드의 에너지 소모량이 링크의 에너지 소모량보다 매우 크므로, 가능한 많은 노드가 sleep 상태가 되도록 하는 것이 본 연구의 목적이다. 이러한 목적에 기초를 두고서, 네트워크의 QoS를 보장하면서 식(1)에서 소모되는 에너지가 최소화하는 방법을 찾는다. 따라서 식(3), (4)의 α, β 의 값을 조정하여 지연의 증가 및 버퍼 overflow에 의한 패킷 손실 특성을 제어 하여야 한다. 본 논문에서는 이러한 방법을 energy aware QoS 라우팅 알고리즘이라 한다. 그러므로 제 IV장에서 노드 및 링크의 최적화 시에 과부하가 일어나지 않도록 알고리즘에서 설정하여야 한다.

또 다른 특징은 식(1-b)에서 $E_{fa}(E_{fij}, E_{fn})$ 항은 소자 a 가 소모하는 다양한 에너지 profile에 따른 기율기를 나타내고 있으므로 다양한 energy profile을 갖는 소자에 대해서도 수정하여 표현 할 수 있다.

IV. Energy-aware QoS 라우팅에 의한 에너지 최소화 알고리즘

본 논문에서는 ingress와 egress 라우터로 구성되는 core IP 네트워크를 고려하고, 적용하는 heuristic 방법은 최초 네트워크 내의 모든 소자가 power on 상태 즉 $x_{ij} = 1 \forall i, j$ 및 $x_n = 1 \forall n$ 라고 가정한다. IP 네트워크가 취급하는 트래픽이 일정 값 이하이면, 에너지가 최소화되도록 heuristic 알고리즘이 동작하도록 설계 할 수 있다. 이러한 내용은 본 논문의 범위에서 벗어나고 있다.

Heuristic 알고리즘은 반복적으로 수행하여 각 단계에서 switch off될 target 노드와 링크를 찾는 방법이 필요하다. 정상적인 네트워크 상태에서 노드와 링크가 처리하는 파라미터 즉 경로의 수, flow량 등에 초점을 두면, target 노드와 target 링크를 결정 할 수 있다. 임의의 노드와 링크가 switch off 되면, 노드와 링크가 처리하는 트래픽의 경로는 변경되어야 하므로, 네트워크 품질에 가장 적은 영향을 주는 방법은 가장 적은 경로의 수 및 flow량을 갖는 소자를 선택하면 된다.

그러면 가능한 방법으로 min_used_path(MP), min_used_flow(MF), random(R) 중 하나를 선택하면 된다. Random heuristic(R)은 임의로 노드 및 링크를 선택, min_used_path(MP) 방식은 소자(노드 및 링크)에서 입출력하는 경로(path)의 수가 적은 순서로 선택, min_used_flow(MF) 방식은 소자(노드 및 링크)에서 입출력하는 flow량이 적은 순서로 선택하여 heuristic 알고리즘이 수행되도록 한다.

Min_used_path(MP) 및 min_used_flow(MF) 방식에서 path 정보 및 flow량 정보는 OSPF 프로토콜의 LSA 메시지 정보에 의해 얻을 수 있다.

그리고 노드가 링크보다 소모 전력이 훨씬 크므로, 노드의 수의 최적화가 먼저 이루어지고, 다음에 링크의 수의 최적화가 이루어지도록 한다.

각 알고리즘은 반복적으로 target 노드 및 target 링크를 switch off 시키도록 시도한다. 각 단계에서 switch off 될 network 소자를 제외한 새로운 network topology에서, dijkstra 알고리즘에 의해 각 ingress와 egress 라우터 (s, d)간의 경로(shortest path)를 재구성한다. 새로 구성된 경로에서 식(2), 식(3), 식(4)의 조건을 만족하면, 경로를 switch off 시키고, 그렇지 않으면

active 상태로 두고 다음 target 소자에 대해 반복 수행한다. 모든 target 소자가 수행되면 알고리즘은 종료한다. 식(3), 식(4)가 노드 및 링크가 처리하는 용량을 제한하고 있다. 따라서 경로 재 라우팅시에 노드 및 링크의 용량이 어떤 경계치를 초과하면 경로 설정을 중지한다.

따라서 일정 네트워크 품질(예, 손실 및 지연 등)을 유지하도록 식(3), 식(4)의 α, β 값을 설정하여, 원하는 네트워크 품질을 유지 할 수 있다. 그러므로 α, β 의 값을 조정하여 지연의 증가 및 버퍼 overflow에 의한 패킷 손실 특성을 제어 할 수 있다.

이와 같은 개념을 알고리즘을 노드 및 링크의 최적화로 pseudo code로 나타내면 그림 2와 같으며, 본 논문에서 이를 energy-aware QoS 라우팅에 의한 에너지 최소화하는 heuristic 해법이라 한다.

```

-----
*** IP network에서 node의 최적화 ***
-----
1. compute normal all_shortest_path( )for each(s,d)
   pair in network
2. target nodes_sorting(node-array, heuristic method);
3. for (i=0; i < N; i++) {
4.     node_disable (node_array [i]);
   // configure new network without node(i) and
   related links. compute the shortest path. for
   each(s,d) pair in new network //
5.     paths = compute all_shortest_path( );
6.     compute all_link_flow(paths);
7.     compute all_node_flow(paths);
   // check available network and the QoS of
   network //
8.     if ((check paths(paths)==false) ||
           (check flows(paths)==false) ||
           (check flows(nodes)==false))
9.         node_enable(node_array[i]);
10.    else
11.        confirm node_disable(node_array [i])
12. }
-----

```

```

*** IP network에서 link의 최적화 ***
-----
1. compute normal all_shortest_path( )for each(s,d)
   pair in network
2. target links_sorting(link-array, heuristic method);
3. for (i=0; j < L; j++) {
4.     link_disable (link_array [j]);
   // configure new network without link(j).
   compute the shortest path for each(s,d) pair
   in new network //
5.     paths = compute all_shortest_path( );
6.     compute all_link_flow(paths);
7.     compute all_node_flow(paths);
   // check available network and the QoS of
   network //
8.     if ((check paths(paths)==false) ||
           (check flows(paths)==false)||
           (check flows(nodes)==false))
9.         link_enable(link_array[j]);
10.    else
11.        confirm link_disable(link_array [j])
12. }
-----

```

그림 2. Heuristic 알고리즘의 Pseudo-code
Fig. 2. Pseudo-code of heuristic algorithm.

V. 특성 평가 및 분석

1. 시뮬레이션 네트워크 모델

IP 네트워크에서 소자(노드 및 링크)의 에너지 프로파일을 이미 알고 있으며, heuristic 방법에 의해 에너지 최소화 알고리즘의 특성을 파악하기 위해 시뮬레이션 네트워크 모델을 그림 3과 같이 구성하였다. 그림3은 ingress/egress 라우터가 9개, transit 라우터가 10개, 그리고 양방향 링크가 32개(링크 총 64개)로 구성되어 있으며, 각 라우터 및 링크는 입력 부하의 함수로 에너지를 소모하는 에너지 프로파일을 가지고 있다.

링크의 최대 용량은 150Mbit/s, 노드의 최대 용량은 150Mbit/s x 노드의 링크 수로 가정하였다. 그림 3에서 보면, 노드는 각각 서로 다른 개수의 입출력 링크를 갖고 있으므로, 노드(라우터)의 에너지 소모는 C3/2(C:용

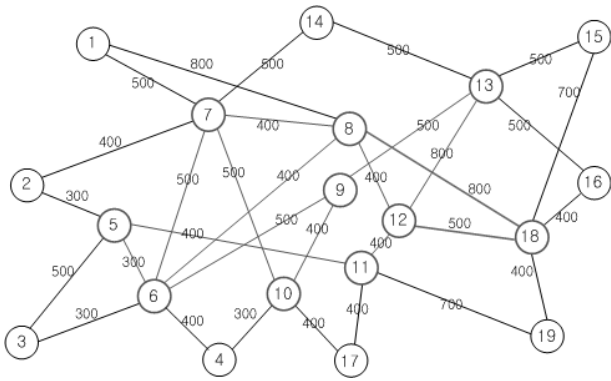


그림 3. 시뮬레이션 네트워크 모델
Fig. 3. Simulation Network Model.

량)이므로^[9], 에너지 소모량을 링크의 에너지 소모로 정규화 하였다. 또 본 시뮬레이션에서 power off 될 수 있는 노드는 중계 노드 10개 중에서 일어난다. 그리고 링크는 ingress/egress 라우터의 입출력 링크를 제외한 64 중에서 일어난다. 그림 3의 각 링크에는 거리의 가중치가 부여되어 있다.

2. Heuristic 해법에 의한 에너지 특성 분석

Ingress 라우터에 입력된 트래픽은 균등하게 모든 egress 라우터로 향한다고 가정한다. 우선 입력 트래픽 부하에 따라 네트워크의 노드 및 링크의 최적화를 위해, 그림 2의 heuristic 알고리즘 중에 min_used_path(MP) 방법을 노드 및 링크에 적용하고 에너지 소모 특성을 파악하고자 하였다. 그림 4는 링크의 처리 용량을 $\alpha = 0.7$, 노드의 처리 용량을 $\beta = 0.7$ 이하로 제한하고, 그림 1에서 제시한 노드 및 링크의 에너지 프로파일을 적용한 경우, 네트워크의 총

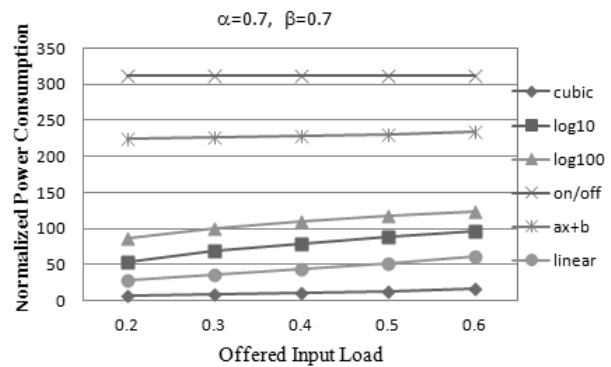


그림 4. 에너지 프로파일에 따른 에너지 소모 특성
Fig. 4. Energy consumption characteristics according to energy profile.

에너지 소모 특성을 나타냈다. 가로축은 각 ingress 노드에 입력되는 부하이고, 세로축은 링크가 소모하는 에너지로 정규화한 네트워크 전체의 총 에너지 소모량을 나타내고 있다.

그림 5는 그림 4와 동일한 에너지 프로파일 모델을 그림 3에 적용하고, 노드 및 링크의 최대 처리 용량을 0.7 이하로 제한한 상태에서 노드 및 링크에 min_used_path(MP) heuristic을 적용하여 얻는 최적화된 네트워크에서 얻는 총 에너지 소모량의 결과이다. 그림 4에서 보면, 에너지 프로파일에 따라 네트워크의 에너지 소모량이 다름을 알 수 있다. 당연한 결과이지만, 오늘 날 주로 이용되는 on/off 프로파일 모델보다 현실적인 $y=ax+b$ 프로파일 모델을 적용하면, 입력 부하 $\rho = 0.4$ 일 때 에너지 소모를 25% 정도 절약 할 수 있다. 여기서 E0 값을 줄일 수 있다면 에너지 절약이 더 가능하다. 또 다른 에너지 프로파일 적용하면 더 개선됨을 알 수 있다.

그림 5에서 보면, 에너지 소모량은 최적화 알고리즘에 의해 노드 및 링크의 수가 감소한 만큼 에너지가 절약됨을 알 수 있다. $\rho = 0.4$ 일 때, on/off 프로파일 모델에서도 75% 정도 절약이 되며, $y=ax+b$ 프로파일 모델에서도 75% 정도 절약된다. 이유는 min_used_path(MP) heuristic에 의해 감소된 노드 및 링크의 전력 소모량이 75% 정도임을 의미한다. 그림 5에서 보면, 입력 부하가 적으면 에너지 소모량이 상대적으로 감소한다. 이는 에너지 프로파일이 부하의 함수로, 낮은 부하에서는 에너지 소모가 적지만, min_used_path(MP) heuristic에 의해 노드 및 링크의 감소 효과가 에너지

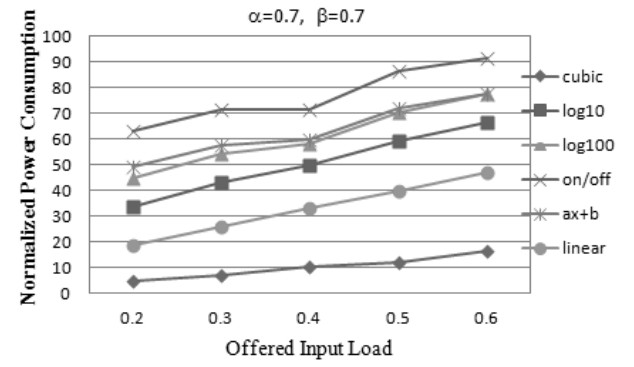


그림 5. 에너지 소모 특성(MP heuristic)
Fig. 5. Energy consumption characteristics(by MP heuristic).

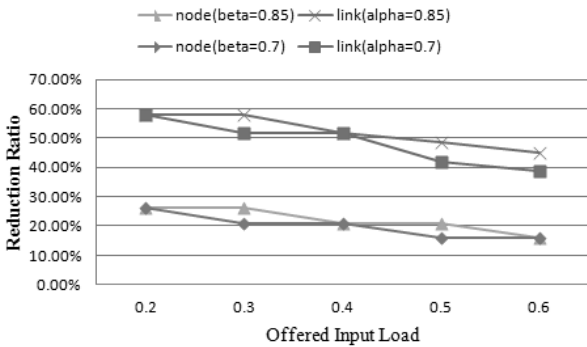


그림 6. 노드 및 링크 감소 특성(MP heuristic)
Fig. 6. Node and link reduction characteristics (by MP heuristic).

소비에 큰 영향을 끼침을 알 수 있다.

그리고 ingress 라우터의 입력부하의 변동에 의한 min_used_path(MP) heuristic의 특성을 그림 6에 나타냈다. 그림 6에서 보면, ingress 라우터의 입력 트래픽 부하에 따른 노드 및 링크를 줄 수 있는 감소율을 나타내었다. 입력 부하가 증가하면, 노드 및 링크의 감소율은 줄어들고 있다. 본 시뮬레이션 모델에서 보면, 감소가 가능한 라우터는 중계 라우터 10개 밖에 없다.

노드 및 링크의 최대 이용율을 0.7 이하로 제한하였으며, 이때 노드의 감소율은 15%~26% 정도이고, 링크의 감소율은 38~58% 정도이며, 부하가 적을수록 감소 효과가 큼을 알 수 있다. 또 노드 및 링크의 최대 이용율을 0.85 이하로 제한하면, 노드와 링크의 감소율이 증가함을 알 수 있다. 이 경우 노드 및 링크가 과부하가 상태가 되어 네트워크의 품질인 지연 및 에러율의 보장은 어렵다.

지금까지 결과를 통해, heuristic 방법에 의해, 적정의 네트워크 QoS를 유지하면서 노드 및 링크의 수를 감소시켜 에너지를 크게 절약 할 수 있음을 확인하였다. 따라서 heuristic 방법에 따른 에너지 감소 효과를 검토한다. 그 결과를 표 2에 나타냈다. 표 2의 P는 min_used_path(MP) heuristic을 나타내며, R은 random heuristic 방법을 나타낸다. 표 2의 방식에서 PR의 의미는 그림2의 알고리즘을 적용 할 때, 노드에 대해서는 min_used_path (MP) heuristic을 적용하고, 링크에 대해서는 random heuristic(R) 방법을 적용한 경우를 나타내고 있다.

표 2를 분석해 보면, PP 방식을 적용한 경우가 다른 조합을 적용한 heuristic 방법보다 사용한 노드 및 링크

표 2. Heuristic 방법에 의한 노드 및 링크 감소 특성
Table 2. Node and link reduction characteristics by heuristic combination method.

방식	사용 노드 수		사용 링크 수	
	$\rho=0.2$	$\rho=0.4$	$\rho=0.2$	$\rho=0.4$
P P	14(5)	15(4)	26(36)	30(32)
P R	14(5)	15(4)	27(35)	30(32)
R P	14(5)	16(3)	27(35)	32(30)
R R	14(5)	16(3)	27(35)	32(30)

의 수가 감소됨을 알 수 있다. 표 2의 x(y) 의미는 x가 전체 네트워크의 노드 및 링크의 수, y는 heuristic 방법 dp 의해 감소 가능한 노드 및 링크의 수를 나타낸다. 노드 및 링크에 적용한 각 방식의 조합별로 많은 차이가 나지 않은 이유는 시뮬레이션 모델이 소규모이기 때문이며, 실제 대규모 네트워크를 적용하면 확실한 차이가 나는 결과를 얻을 수 있다고 본다. 또 본 실험에서 min_used_flow(MF) heuristic 방식은 사용하지 않은 이유는 입력 트래픽이 모든 egress 라우터로 균등하게 분배 되도록 하였기 때문에, min_used_path (MP) heuristic 방식과 동일한 결과를 얻었다. 그러나 입력 트래픽 패턴을 달리하면 다른 결과도 예상된다.

이상의 결과에서 보면, energy profile aware routing 방식에 의해 IP 네트워크가 소모하는 에너지가 감소된다는 것은 분명하다. 그러나 네트워크의 품질을 유지하면서 에너지의 감소도 가능하며, 이 방법은 다양한 heuristic 해법에 의해 가능성을 나타내고 있다. 특히 그 중에서도 min_used_path(MP) 방식이 노드 및 링크의 감소율이 다른 방식에 비해 우수하므로, 에너지 절약 효과가 우수함을 확인 할 수 있다.

실제 네트워크에서는 피크 값을 기준으로 설계 하고 있으나, 본 시뮬레이션에서 편의상 트래픽 부하는 평균 값을 이용하였다. 그러므로 트래픽 변동 특성에 대해서도 더 검토가 있어야 한다. 본 방식의 기본 개념은 네트워크 자원을 병합하기 위해 트래픽을 집약시켜 네트워크 자원을 절약하도록 하기 때문에, 이로 인해 end-to-end 지연은 증가 할 수 있다. 그러나 노드 및 링크의 처리 용량의 상한 값을 적절히 조절함으로써 지연 및 손실 특성을 제어 할 수 있다. 따라서 energy aware profile 기반 min_used_path(MP) heuristic 방식이 네트

워크 품질을 유지하면서 에너지 절역효과 우수한 방식임을 확인 할 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 에너지 절약을 위해 네트워크 레벨에서 네트워크 품질을 보장하면서 가능한 방법을 검토하였다. 특히 네트워크를 구성하는 노드와 링크는 에너지 프로파일을 가지고 있으며, 이 에너지 프로파일에 따라 에너지가 소모된다고 가정하였다. 또 앞으로 반도체 소자의 기술의 발전에 따라 다양한 에너지 프로파일의 나 타 날 수 있다. 이러한 개념에서 다양한 에너지 프로파일 모델을 기본으로 하여 네트워크가 소모하는 에너지 모델을 정식화하고, IP 네트워크 품질을 만족하면서 에너지 절약을 가능한 energy-aware QoS 라우팅의 한 방안을 제시 하였다.

결론적으로, 시뮬레이션을 이용하여, 에너지 프로파일 에 따라, IP 네트워크가 소모하는 에너지의 차이는 크며, 적절한 에너지 프로파일 모델을 개발하면 에너지 절약을 가능하다. IP 네트워크의 품질을 유지하면서 에너지 절약을 가능한 energy-aware QoS 라우팅의 한 방법인 min_used_path(MP) heuristic이 다른 heuristic 방법에 비해 네트워크의 노드 및 링크의 감소율과 에너지 절약 효과가 우수함을 분명히 하였다. 노드 및 링크의 처리 용량의 상한 값을 조절하여 지연 및 손실 특성을 제어 할 수 있으므로, energy aware profile 기반 min_used_path(MP) heuristic 방식이 네트워크 품질을 유지하면서 에너지 절역효과가 우수한 방식임을 확인 할 수 있었다.

금후, 실제 네트워크에서는 피크 값을 기준으로 설계 하고 있으나, 본 논문에서는 시뮬레이션 편의상 트래픽 부하는 평균값을 이용하였다. 그러므로 트래픽 변동 등의 특성에 대한 검토가 있어야 한다. 또한 트래픽 패턴을 변경하면서, 다양한 heuristic 방법 등의 검토가 필요 하다.

참 고 문 헌

- [1] Global Action Plan Report, An inefficient truth, <http://www.globalactionplan.org.uk/2007>.
- [2] SMART 2020 Report, Enabling the low carbon

economy in the informage age, <http://www.theclimategroup.org>.2008.

- [3] Luca Chiaraviglio, Marco Mellia, Alfio Lombardo, Carla Panarello, Giovanni Schembra, "Energy Saving and Network Performance: a Trade-off Approach," e- Energy 2010-First International Conference on Energy-Efficient Computing and Networking, Passau, Germany, April 2010.
- [4] Antonio Cianfrani, Vincenzo Eramo, et al., "An Energy Saving Routing Algorithm for a Green OSPF Protocol," IEEE INFOCOM 2010.
- [5] 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.
- [6] Juan Camilo Cardona Restrepo, Claus G. Gruber and Carmen Mas Machuca, "Energy Profile Aware Routing," IEEE ICCW 2009.
- [7] Luca Chiaraviglio, Marco Mellia, Fabio Neri, "Energy-aware Backbone Networks: a Case Study," GreenComm' 09 - First International Workshop on Green Comm., Dresden, Germany, June 2009.
- [8] Luca Chiaraviglio, Marco Mellia, and Fabio Neri, "Reducing Power Consumption in Backbone Networks," IEEE ICC'09, Dresden, Germany, June 2009.
- [9] Aruna Prem BIANZINO, Claude CHAUDET, Federico LARROCA, Dario ROSSI, Jean-Louis ROUGIER, "Energy-Aware Routing: a Reality Check", in 3rd International Workshop on Green Communications(GreenComm3), in conjunction with IEEE GLOBECOM 2010, Miami, USA, December 10 2010.

저 자 소 개



한 치 문(정회원)-교신저자
The University of Tokyo, 전기공학
전공, 공학박사
1977년 2월~1983년 3월 KIST 연구
원
1983년 4월~1997년 2월 ETRI 선임
및 책임연구원,

교환기술연구원 계통연구부장 역임

1997년~현재 한국외국어대학교 전자공학과 교수
<주관심분야 : 에너지 saving 네트워크, 차세대인터넷, 센서네트워크, 네트워크 보안, 네트워크 설계 및 성능 분석 등>