소규모 이더넷 스위치에서 개선된 적응적 전력 제어 메커니즘

김영현* · 이성근** · 고진광*

An Enhanced Adaptive Power Control Mechanism for Small Ethernet Switch

Young-Hyeon Kim* · Sung-Keun Lee** · Jin-Gwang Koh*

요 약

이더넷은 전 세계적으로 가장 널리 배치되어 사용되는 가입자망 네트워킹 기술이다. 이더넷의 에너지 효율성을 향상시키기 위해 IEEE 802.3az WG에서 LPI 기반의 EEE 규격을 확정하였다. 본 논문은 소규모 이더넷 스위치에서 EEE 를 기반으로 에너지 효율을 향상시킬 수 있는 개선된 적응적 전력 제어 메커니즘을 제안한다. 본 메커니즘의 특징은 일정기간 유입되는 트래픽 양을 측정하여 다음 주기의 트래픽 특성을 예측하고, 해당 트래픽 부하에 최적의 threshold 값을 조정한다. 성능분석 결과는 본 논문에서 제안한 메커니즘이 기존 방법에 비해서 평균 패킷 지연은 약간 증가시키지만 에너지 소비율을 상당히 감소시키므로 전반적으로 성능을 향상시키는 것으로 나타났다.

ABSTRACT

Ethernet is the most widely deployed access network protocol around the world. IEEE 802.3az WG released the EEE standard based on LPI mode to improve the energy efficiency of Ethernet. This paper proposes improved adaptive power control mechanism that can enhance energy-efficiency based on EEE from small Ethernet switch. The feature of this mechanism is that it predicts the traffic characteristic of next cycle by measuring the amount of traffic flowing in during certain period and adjusts the optimal threshold value to relevant traffic load. Performance evaluation results indicate that the proposed mechanism improves overall performance compared to traditional mechanism, since it significantly reduces energy consumption rate, even though average packet delay increases a little bit

키워드

Small Ethernet Switch, Adaptive Power Control Mechanism, IEEE 802.3az. Energy Efficient Ethernet
소규모 이더넷 스위치, 적응적 전력 제어 메커니즘, IEEE 802.3az, 에너지 효율적 이더넷

Ⅰ. 서 론

최근 인터넷 코어 네트워크 장비를 포함하여 이더넷 스위치, 네트워크 인터페이스 카드 등 액세스 네트워크 장비의 전송률은 지속적으로 증가하고 있으며, 네트워크 장비의 에너지 소비 또한 크게 증가하는 추세이다. 따라서 코어 네트워크 및 액세스 네트워크 장비에 대한 에너지 소비를 줄일 수 있는 통신 시스템 및 프로토콜에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 인터넷에서 에너지 효율적 이용과 에너지 효율적인

* 순천대학교 컴퓨터공학과(wando57@nate.com)
** 교신저자, 순천대 멀티미디어공학과(sklee@sunchon.ac.kr)
접수일자 : 2012. 11. 20 심사(수정)일자 : 2012. 02. 20 게재확정일자 : 2013. 03. 22

통신 시스템 설계에 대한 각 국가 정부 및 산업체의 관심이 크게 증대되고 있다[1][2][3]. 인터넷 코어 네트워크는 연간 6TWh 이상의 전력을 소비하며, 미국 내의 네트워크 장비 사용으로 인한 에너지 소모량은 전체 에너지 소모량의 2% 정도를 차지하고 있고 이는 연간 74 TWh 이상의 전력을 소모하는 것으로 분석된다[4]. 이더넷은 전 세계적으로 가장 널리 배치되어 사용되는 가입자망 네트워킹 기술로서, 이에 대한 에너지 효율적인 프로토콜을 개발하면 연간 최대 3 TWh 의 에너지를 절감할 수 있고, 미국에서만 연간 4억 달러, 전 세계적으로 연간 10억 달러가 넘는 에너지 비용을 절감할 것으로 전망된다[5].

이더넷에 대한 에너지 효율을 높이고자 하는 추세에 맞추어 2007년 초부터 IEEE 802.3az 워킹 그룹에서 EEE(Energy Efficient Ethernet)에 대한 표준화 작업을 추진하였고, 2010년 9월 LPI(Low Power Idle) 모드를 근간으로 하는 표준안을 채택하고, 이를 지원하기 위한 물리계층의 세부 동작에 대해 규격을 확정하였다[6]. LPI는 이더넷 링크를 통해 전송할 패킷이 없을 때, 링크 상태를 저전력 모드로 전환함으로써 에너지 소모를 줄일 수 있는 메커니즘이다[7][8]. EEE는 이더넷 네트워크 인터페이스 카드 뿐 만 아니라 이더넷 스위치에 적용되어 낮은 부하의 트래픽 특성을 나타내는 액세스 네트워크 환경에서 불필요한 에너지 낭비를 줄일 수 있다[9][10]. 본 논문은 소규모 이더넷 스위치에서 에너지 효율을 향상시키기 위하여 유입되는 트래픽 특성을 분석하여 threshold 값을 적응적으로 조정하는 개선된 적응적 전력 제어 메커니즘을 제안한다. 본 메커니즘은 일정기간 유입되는 트래픽 양을 측정하여 다음 주기의 트래픽 특성을 예측하고, 해당 트래픽 부하에 최적의 threshold 값을 조정한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 EEE(Energy Efficient Ethernet)에 대한 관련 연구를 분석하고, 3장에서는 동기식 결합 메커니즘의 문제점을 분석하고, 이를 토대로 소규모 이더넷 스위치의 적응적 전력 제어 메커니즘을 제안한다. 4장에서 시뮬레이션 방법을 통해 성능 분석을 수행하며, 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

소규모 이더넷 스위치의 에너지 효율을 향상시키기 위해서 일정한 주기에 따라 이더넷 스위치의 모든 포트 상태를 동시에 ON, OFF 상태로 교번하여 천이하는 동기식 결합(synchronized coalescing) 메커니즘이 제안되었다[9]. 이 방법은 duty cycle, ON 상태 및 OFF 상태 기간 등 파라미터를 적절히 설정하고, 일정 이하의 트래픽 부하가 유입되는 환경에서는 허용 범위내의 패킷 지연을 나타내면서 에너지를 효과적으로 줄일 수 있다. 그러나 트래픽 부하가 일정량 이상으로 증가하게 되면, 평균 패킷 지연이 매우 큰 값으로 급증하기 때문에 실시간 멀티미디어 서비스를 지원하기 어려운 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 적응적 동기식 결합 메커니즘이 제안되었다.

적응적 동기식 결합 메커니즘은 고정된 ON, OFF 주기를 항상 교번하지 않고, 이전 주기 ON 상태에서 수신되는 트래픽 양에 따라 ON 상태를 계속 유지할 것인지, OFF 상태로 천이할 것인지를 결정한다[9]. 그림 1은 적응적 동기식 결합 메커니즘의 유한 상태 기계를 나타내었다. ON 상태에서 수신한 패킷의 개수(pktCount)가 한계치를 초과하면, OFF 상태로 천이하지 않고 계속해서 ON 상태를 유지하여 패킷을 전송함으로써 트래픽 부하가 높을 경우에도 평균 패킷 지연을 일정 값 이하로 유지할 수 있다. 만일 pktCount가 한계치 이하일 경우에는 트래픽 부하가 낮은 것으로 판단하여 OFF 상태로 천이하여 일정기간 전원을 차단함으로써 에너지 소비를 줄일 수 있다.

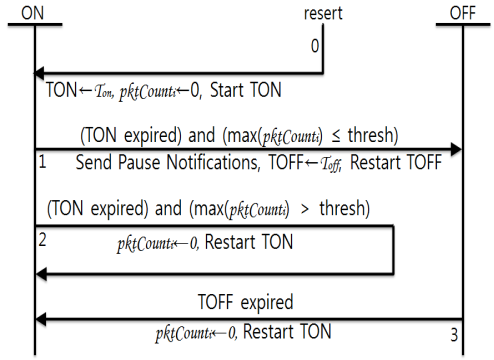

그림 1. 동기식 결합 메커니즘의 유한상태기계동작
Fig. 1 FSM of synchronized coalescing Mechanism

III. 적응적 전력 제어 메커니즘 제안

본 장에서는 적응적 동기식 결합 메커니즘의 문제점을 분석하고, 이를 토대로 소규모 이더넷 스위치의 에너지 효율성을 향상시킬 수 있는 적응적 전력 제어 메커니즘을 제안한다.

3.1 기존 동기식 결합 메커니즘의 문제점 분석

적응적 동기식 결합 메커니즘에 대한 선행연구 [9]의 시뮬레이션 결과를 분석하면 다음과 같은 문제점과 고려해야 할 사항이 있다.

첫째, 동기식 결합 메커니즘은 유입되는 트래픽 특성에 따라 적응적으로 ON, OFF 상태 천이를 수행하므로 트래픽 부하가 높은 경우나 순간적으로 버스트 트래픽이 발생한 환경에서도 패킷 평균 지연을 크게 증가시키지 않고, 에너지 효율성을 제공할 수 있다. 그러나 스위치에 연결된 모든 포트 중에서 가장 트래픽 부하가 높은 특정 포트의 상태만을 고려하여 상태 천이를 조정하므로, 스위치를 통과하는 전체 트래픽 특성을 반영하지 못한다는 점이 문제점으로 지적된다. 즉, 하나의 링크의 pktCount 가 한계치를 초과하고, 나머지 링크들의 pktCount 값이 매우 낮을 때 모든 링크들을 계속해서 ON 상태를 유지하는 것이 타당한가에 대한 고려가 필요하다. 또한 모든 링크의 pktCount 가 한계치보다는 낮지만, 상당수 링크의 pktCount 값이 한계치에 근접할 때 OFF 상태로 천이하는 것이 올바른 판단인가에 대한 평가도 필요하다.

둘째, 고정된 듀티 사이클을 적용할 경우에 유입되는 트래픽 부하가 듀티 사이클을 초과하면, 에너지 소비율이 크게 증가하게 된다. 특히 낮은 threshold 값(1000 바이트)을 적용했을 때는 대부분의 ON 주기 동안 전송한 패킷 수가 threshold 를 초과한다. 따라서 OFF 상태로 천이하지 않고 ON 상태를 계속해서 유지하게 되므로 100%의 에너지 소비율을 나타낸다.

이 경우 포트 상태가 항상 ON 상태이며, 패킷들은 곧바로 전송되므로 평균 패킷 지연은 크게 낮아지지만 에너지 절감 효과는 거의 기대할 수 없다. 높은 threshold (5000 바이트)를 적용한 경우에도 트래픽 부하가 듀티 사이클을 초과하게 될 때 에너지 효율이 점진적으로 증가하게 된다. 그러나 패킷의 평균 지연은 ON 상태의 기간이 증가됨에도 불구하고 감소되지 않고 약간씩 증가하는 추이를 나타내었다. 액세스 네트워크 평균 트래픽 부하가 링크 용량의 10% 이내로서 코어 네트워크에서 비해서 상대적으로 낮은 편이지만, 트래픽 흐름이 일정하지 않고 매우 가변적이며, 버스트 속성을 가지고 있다[11][12]. 따라서 트래픽 부하가 평균보다 매우 높은 구간이 존재하고, 평균보다 낮은 부분도 존재하므로 각각의 경우에 대해서 듀티 사이클이나 threshold 값을 적응적으로 조절하는 제어 로직을 추가함으로써 평균 패킷 지연을 적절하게 유지하면서 균형적으로 에너지 효율성을 보장해야 한다.

3.2 개선된 적응적 전력 제어 메커니즘 설계

본 논문에서는 동기식 결합 메커니즘에서 제기된 문제점을 완화시키기 위해서 유입되는 트래픽 특성을 분석하여 threshold 값을 적응적으로 조정하는 개선된 적응적 전력 제어 메커니즘을 제안한다.

일정기간 유입되는 트래픽 양을 측정하고, 이를 토대로 다음 주기의 트래픽 특성을 예측하고, 해당 트래픽 부하에 최적의 threshold 값을 조정하여 에너지 효율성을 향상시킨다는 것이 본 알고리즘의 주된 특징이다.

동기식 결합 메커니즘에서 정의한 상태 변수들을 토대로 트래픽 특성을 판단하기 위해 다음과 같은 상태 변수들을 추가로 관리한다.

- upPktCount : 업 링크의 갯수에 대응되는 배열로서, ON 주기 동안에 해당 업 링크로 유입되는 트래픽 양
- downPktCount : ON 주기 동안에 다운 링크로 유입되는 트래픽 양
- totalCount : ON 주기 동안에 전체 링크를 통해 유입되는 트래픽 양
- threshold : ON 주기 동안 수신된 트래픽 양과 비교를 통해 OFF 상태로 천이 여부를 결정하는 한계값이다.
- Duty cycle (D) : 듀티 사이클은 스위치의 전체 동작 기간 중에서 ON 상태의 비율을 나타내는 값으로서 (식 1) 을 통해 결정된다.

$$D = T_{ON} / (T_{ON} + T_{OFF}) \quad (1)$$

T_{ON} 은 한 주기 동안의 ON 상태의 시간을 의미하

며, 스위치의 에너지 소비율과 밀접한 관계가 한다. T_{OFF} 는 OFF 상태의 지속시간을 나타내며, T_{OFF} 의 기본값은 100 msec 로 설정하였고, D 의 기본값은 10% 이다.

- longTermRate : 장기적인 관점에서의 유입되는 트래픽 전송률로서, k * (TON + TOFF) 기간의 평균 전송률을 의미한다. k 값은 시뮬레이션 결과를 통해 최적화 된다.
- shortTermRate : 단기적인 관점에서의 유입되는 트래픽 전송률로서, 직전 (TON + TOFF) 주기 동안의 평균 전송률을 의미한다.

본 논문에서 제안한 개선된 적응적 전력 제어 메커니즘의 ON 주기에서의 세부 처리과정은 다음과 같다.

ON 주기에서 패킷을 수신하면 패킷을 목적지 포트로 전달하고, 수신된 링크의 트래픽 카운트와 전체 트래픽 카운트(totalCount)를 갱신한다. 다음 단계에서는 TSW (Time Sliding Window) 방법을 이용하여 유입되는 패킷들의 단기적, 장기적 평균 전송률을 계산한다[13]. TSW 는 Win_length, Avg_rate, T_front 등 3개의 상태변수를 가진다. Win_length 는 이전 트래픽의 히스토리를 반영하는 파라미터 값으로써, 이 값의 크기에 따라 유입되는 트래픽 측정값이 다르게 추론될 수 있다. Win_length 값이 적을 경우에는 짧은 기간의 전송률을 측정한 것으로서 급변하는 트래픽에 대한 정확한 값을 파악할 수 있지만, 상대적으로 연결 지속이 긴 TCP 트래픽에 대해서는 적절하지 않다. Win_length 값이 큰 경우에는 일정기간 동안의 평균 전송률을 측정하는데 비교적 정확한 값을 얻을 수 있으나, 순간적인 트래픽 변화에는 적절하게 대응하지 못할 수 있다. 따라서 2개의 윈도우를 설정하여, 하나는 짧은 기간 동안의 전송률의 변화 추이를 파악하고, 다른 하나는 상대적으로 긴 기간 동안의 안정된 전송률을 측정하여, 이 둘 간의 관계에 따라 유입되는 트래픽의 변화 추이를 정확하게 판단한다.

shortTermRate, longTermRate 및 현재 threshold 설정값의 관계에 따라 새로운 threshold 값을 재조정한다. 본 메커니즘에서는 shortTermRate를 기반으로 예측된 전송속도를 기준으로 α 퍼센트를 상향시킨 후, 이에 해당되는 전송 패킷의 개수를 threshold 값으로 재설정한다. α 값은 성능분석을 통해 조정된다. 또한 longTermRate 는 듀티 사이클 전송률(D * 링크 전송률)과의 관계에 따라 새로운 듀티 사이클 값을 결정하는데 이용될 수 있는데, 본 논문에서는 이에 대해서는 고려를 하지 않았다. Threshold 값을 조정하기 위한 구체적인 관계식과 관련 파라미터는 시뮬레이션 방법에 의한 성능분석을 통해 최적화가 이루어져야 한다. ON 주기에서 타이머가 만료되면, 먼저 upPktCount 와 downPktCount 의 최대값과 threshold 값과의 관계에 따라 OFF 상태로 천이 여부를 결정한다. 만일 최대값이 threshold 보다 크거나 같으면 OFF 주기를 천이하지 않고 ON 상태를 유지하도록 상태변수를 설정한다. 그렇지 않을 경우 OFF 주기로 천이하도록 상태변수를 설정한다. OFF 상태에서 타이머가 만료하면 상태변수를 초기화한 후 ON 상태로 천이하여 앞의 과정을 반복하여 수행한다.

Ⅳ. 적응적 전력 제어 메커니즘의 성능 분석

4.1 시뮬레이션 환경

본 논문에서 제안한 적응적 전력 제어 메커니즘의 성능 분석은 시뮬레이션 방법을 통해 수행하였고, 시뮬레이션 툴은 CSIM 20 시뮬레이터를 이용하였다[14]. 시뮬레이션 네트워크 구조는 그림 2와 같다.

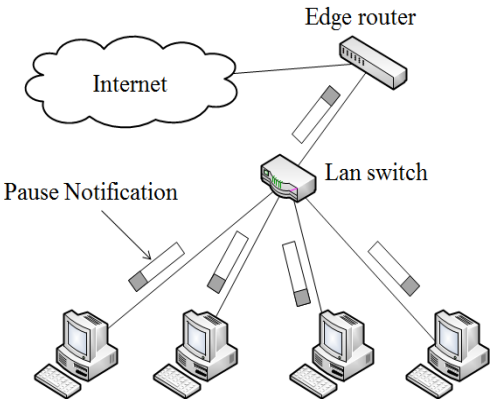

그림 2. 시뮬레이션 네트워크 구조
Fig. 2 Simulation network configuration

시뮬레이션을 위해 스위치에 연결된 모든 링크의 군집된 트래픽을 하나의 링크로 모델링하고, 군집된

링크의 패킷 크기를 통해 트래픽 전송률을 판단하고, 이를 통해 ON, OFF 상태 천이를 결정하도록 스크립트를 구현하였다. 성능 분석을 위한 파라미터는 표 1에 나타내었다. 유입되는 트래픽 패턴은 1500바이트의 고정된 패킷을 갖는 포아송 분포를 따른다고 가정하였으며, 설정된 부하에 따라 평균 도착률을 결정하도록 스크립트를 구현하였다. 성능평가 방법은 세 가지 threshold (1000 바이트 고정값, 5000 바이트 고정값, 예측 트래픽에 따른 가변값) 경우에 대하여 트래픽 부하를 1% 에서 30% 까지 변화시키면서, 에너지 소비율과 평균 패킷 지연에 대해 측정하여 이에 대한 성능 비교를 수행한다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation Parameter

파라미터	설정값
이더넷 링크 전송률	10 Gbps
Duty Cycle	10 %
Toff	100 msec
Ton	11.11 msec
α	10 %
Win_length	5 msec

에너지 소비율은 (식 2)를 통해 산출되며, ON 상태에서의 모든 장치가 동작하므로 100% 에너지가 소비되며, OFF 상태에서는 최소한의 컴포넌트가 동작하므로 10% 정도의 에너지가 소비되는 걸로 가정하였다. A_{ON} 은 시뮬레이션 동작 기간 동안에 스위치가 ON 상태에서 동작한 전체 시간을, A_{OFF} 는 OFF 상태에서 동작한 전체 시간을 각각 나타낸다.

$$Pa = 100\times(A_{ON} + 0.1\times A_{OFF})/(A_{ON} + A_{OFF}) \quad (2)$$

패킷 지연은 해당 패킷이 호스트 단말기의 네트워크 인터페이스 카드에 전달되는 시점부터 스위치를 통해 목적지 링크까지 전송되는데 소요되는 시간을 의미한다.

4.2 시뮬레이션 결과 분석

그림 3 은 에너지 소비율에 대한 시뮬레이션 결과로서, 이상적인 경우와 세 가지 threshold 값에 따른 에너지 소비율의 그래프를 나타내었다. 기존 스위치는 부하에 상관없이 항상 ON 상태를 유지하므로 에너지 소비율이 100% 이다. 에너지 효율적인 이더넷 환경에서 이상적인 경우는 네트워크 부하에 따라 에너지 소비율이 정확히 선형적으로 비례하는 경우를 의미한다. 낮은 Threshold, 높은 threshold 에 대한 성능분석 결과는 선행연구의 결과와 매우 유사한 추이를 나타내었다. 에너지 소비율은 선행연구보다 다소 높게 나타났는데, 그 원인은 선행연구의 경우 OFF 상태에서 에너지 소비가 전혀 없는 것으로 가정하였으나, 본 논문에서는 OFF 상태에서는 10% 에너지를 소비하는 것으로 고려하였기 때문이다. 본 논문에서 제안한 적응적인 threshold 값을 갖는 경우 대부분의 트래픽 부하에 대해 고정된 threshold에서 동작하는 경우 보다 에너지 소비율이 낮은 것으로 나타났다. 특히 액세스 네트워크의 평균 부하인 6~10% 구간에서 기존 방법의 에너지 소비율은 26.5 % 이지만 제안한 메커니즘의 에너지 소비율은 23% 로서, 에너지 효율이 상당히 향상된 결과를 나타내었다.

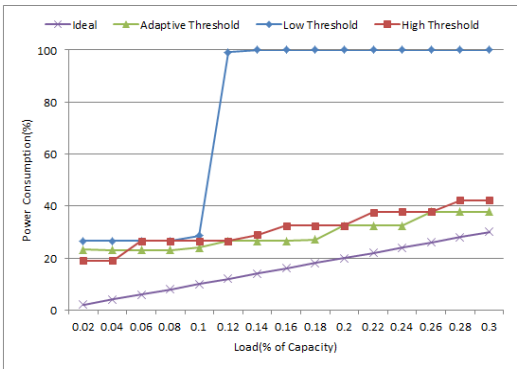

그림 3. 에너지 소비율(%)
Fig. 3 Power consumption(%)

그림 4는 평균 패킷 지연에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸 그래프이다. 낮은 threshold 의 경우가 평균 지연이 가장 낮게 났으며, 특히 트래픽 부하가 링크 용량의 12% 이상인 경우에는 링크가 항상 ON 상태를 유지하므로 평균 지연이 거의 0 으로 나타났다.

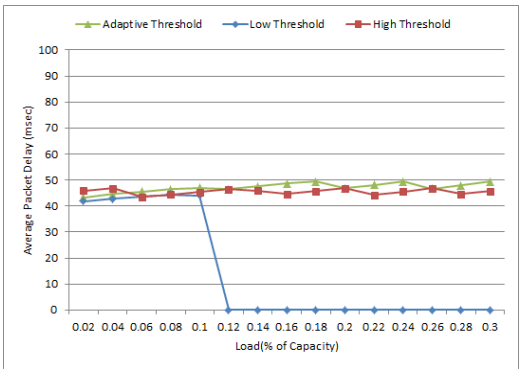

그림 4. 평균 패킷 지연(msec)
Fig. 4 Average packet delay(msec)

트래픽 부하가 5% 이하인 경우에는 제안한 메커니즘이 평균 패킷 지연은 44.8msec 로서 높은 threshold로 설정된 경우(45.8 msec)보다 평균 지연이 낮은 것으로 나타났다. 액세스 네트워크의 평균 부하인 6~10% 구간에서는 고정된 threshold를 설정한 경우에 비해 평균 패킷 지연이 더 높지만, 차이는 2msec 이하로 매우 미미한 것으로 분석된다. 트래픽 부하가 15%를 초과한 경우에는 평균 지연이 점진적으로 증가하는 추이를 나타났다. 그러나 전체적인 패킷 지연이 50msec 미만이기 때문에 실시간 응용의 서비스 품질을 보장하는 데 영향을 미치지 않을 것으로 분석된다.

따라서 본 논문에서 제안한 알고리즘이 기존 방법에 비해서 평균 패킷 지연은 약간 증가시키지만 에너지 소비율을 상당히 감소시키므로 전반적으로 성능을 향상시키는 것으로 나타났다.

Ⅵ. 결 론

인터넷을 기반으로 하는 실시간 멀티미디어 트래픽의 급증으로 인해 네트워크 장비의 전송속도가 고속화되는 추세에 따라 에너지의 소비도 크게 늘어나고 있는 추세이다. 따라서 코어 라우터 뿐만 아니라 이더넷 스위치, 네트워크 인터페이스 카드 등 액세스 네트워크 장비에 대한 에너지 소비를 줄일 수 있는 통신 프로토콜에 대한 연구가 필요하다. 본 논문은 소규모 이더넷 스위치에서 에너지 효율을 향상시키기 위하여 유입되는 트래픽 특성을 분석하여 threshold 값을 적응적으로 조정하는 개선된 적응적 전력 제어 메커니즘을 제안하였다.

본 메커니즘은 일정기간 유입되는 트래픽 양을 측정하여 다음 주기의 트래픽 특성을 예측하고, 해당 트래픽 부하에 최적의 threshold 값을 조정함으로써 에너지 효율성을 향상시킨다. 시뮬레이션 방법에 의한 성능분석 결과는 본 논문에서 제안한 알고리즘이 기존 방법에 비해서 평균 패킷 지연은 약간 증가시키지만 에너지 소비율을 상당히 감소시키므로 전반적으로 성능을 향상시키는 것으로 분석된다. 현재 인터넷 트래픽 특성을 반영하여 입력 트래픽 모델에 대해 시뮬레이션을 수행하고 있으며, 향후 본 메커니즘이 TCP 혼잡제어 메커니즘에 미치는 영향에 대한 분석이 필요하다.

감사의 글

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2012년도 산학연 공동기술개발사업(No. C0029530)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

참고 문헌

[1] M. Gupta and S. Singh, “Greening of the Internet,” in Proc. ACM SIGCOMM, pp. 19–26. 2003.

[2] 김성훈, 고선복, 정창렬, 이성근, “에너지 효율성과 서비스 품질 보장을 위한 MAC 프로토콜”, 한국전자통신학회논문지, 3권, 2호, pp. 74-78, 2008.

[3] 전동근, “Ad hoc 무선 센서네트워크에서의 효율 전력 매니지먼트에 관한 연구”, 한국전자통신학회논문지, 6권, 6호, pp. 809-814, 2011.

[4] K. W. Roth, F. Goldstein, and J. Kleinman, “Energy consumption by office and Telecommunications equipment in commercial buildings, Vol. 1,” 2002 NTIS, U. S. Department of Commerce.

[5] C. Gunaratne, K. Christensen, B. Nordman, and S. Suen, “Reducing the energy consumption in Ethernet with Adaptive Link Rate (ALR),” IEEE Trans. Computers, Vol. 57, No. 4, pp. 448–461, 2008.

[6] K. Christensen, P. Reviriego, et al., "IEEE 802. az: the road to energy efficient ethernet", Communications Magazine, IEEE 48(11) : 50-56, 2010
[7] IEEE P802.3az, Energy Efficient Ethernet Task Force, 2010.
[8] 이성근, 장용재, 유남현, “에너지 효율적인 이더넷에서 개선된 LPI 제어 메커니즘”, 한국전자통신학회논문지, 7권, 5호, pp. 983-989, 2012.
[9] M. Mostowfi, K. Christensen, "Saving energy in LAN switches: New methods of packet coalescing for Energy Efficient Ethernet", Green Computing Conference and Workshops (IGCC), pp. 1-8, 2011.
[10] 장용재, 이성근, “에너지 효율적인 이더넷에서 적응적 패킷 coalescing 알고리즘”, 한국전자통신학회추계학술대회, 3권, 2011.
[11] A. Odlyzko, “Data Networks are Lightly Utilized, and Will Stay That Way,” Review of Network Economics, Vol. 2, No. 3, pp. 210-237, 2003.
[12] 장용재, 이성근, “TCP를 이용한 에너지 효율적인 이더넷 상태전환 알고리즘”, 한국전자통신학회추계학술대회, 3권, 2011.
[13] D. Clark, W. Fang, “Explicit Allocation of Best Effort Packet Delivery Service”, ACM Transaction on Networking, 1998.
[14] H. Schwetman, “CSIM19: A Powerful Tool for Building System Models”, Proceedings of the 33rd Winter Simulation Conference, pp. 250-255, 2001.

저자 소개

김영현(Young-Hyeon Kim)

1985년 전남대학교 전산통계학과 졸업(이학사)
1993년 조선대학교 대학원 전산통계학과 졸업(이학석사)
1998년~현재 순천대학교 대학원 컴퓨터과학과(박사과정)
※ 관심분야 : 에너지 효율적인 이더넷, 무선 LAN, 컴퓨터 네트워크, 데이터베이스

이성근(Sung-Keun Lee)

1985년 고려대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1987년 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
1995년 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
2004년~2005년 : UC Davis 컴퓨터과학과 방문교수
1997년~현재 순천대학교 멀티미디어공학과 교수
※ 관심분야 : 에너지 효율적인 이더넷, WSN, 멀티미디어 통신, 인터넷 QoS

고진광(Jin-Gwang Koh)

1982년 홍익대학교 컴퓨터공학과 졸업(이학사)
1984년 홍익대학교 컴퓨터공학과 졸업(이학석사)
1997년 홍익대학교 컴퓨터공학과 졸업(이학박사)
1997년~1998년 Oregon State University. 컴퓨터공학과 방문 교수
2001년~2002년 순천대학교 정보전산원 원장
2005년~2007년 순천대학교 공과대학 학장, 산업대학원장
※ 관심분야 : RFID/USN, 데이터베이스, 전자상거래 보안, 인터넷 QoS.