

무선 네트워크에서의 에너지 효율적인 전송 방법

최원준*, Ramneek*, 석우진*

*과학기술연합대학원대학교 그리드및슈퍼컴퓨팅학과

*한국과학기술정보연구원 첨단연구망개발팀

e-mail : wonjunchoi001@gmail.com, ramneeksekhon@gmail.com, wjseok@kisti.re.kr

The Transmission method for Energy Efficiency in Wireless Network

Won-Jun Choi*, Ramneek Sekhon*, Won-Jin Seok*

*Dept. of Grid and Super Computing, Korea University of Science and Technology

*Dept. of Networking Service Development Team, Korea Institute of Science and Technology Information

요 약

네트워크의 급속한 발전에 따라 무선 네트워크 상에서 모바일 장치를 사용한 데이터의 전송 요구가 확대되고 있다. 한정된 배터리를 기반으로 동작하는 모바일 장치에서 데이터의 전송량 증가는 많은 에너지 소비를 초래하게 되고 에너지 효율적 전송의 연구가 필요하게 되었다. 본 논문에서는 이러한 문제를 전송 계층에서 해결하는 새로운 TCP 혼잡제어 방법을 제안하고자 한다.

1. 서론

초고속 인터넷의 급속한 발전으로 인하여 무선 네트워크 또한 발전을 거듭해왔고 무선 네트워크 상에서 모바일 장치를 사용한 데이터의 전송 요구가 확대됨에 따라 한정된 에너지로 유지되는 모바일 장치에서 데이터 전송으로 인한 에너지 소비와 관련한 연구가 과거로부터 지금까지 지속되고 있다. 그중에서도 모바일 장치에서 에너지 소비와 관련하여 빼놓을 수 없는 부분이 신뢰적인 전송 프로토콜인 TCP 로써 유선에서 뿐만 아니라 무선에서도 많이 사용되고 있어 TCP 를 이용한 연구들이 진행되고 있다. 그 대표적인 예로 무선 네트워크 상에서 SACK, Newreno, Reno 의 에너지 효율을 휴면 상태 구간에서 소비되는 에너지와 전체 에너지 면에서 비교한 연구[1]와 헤더 크기를 압축하여 전송하고 선택적 ACK 를 추가하여 버스트 에러에 대처하고 수정된 타이머를 사용하여 불필요한 재전송을 하지 않도록 설계된 E2TCP 프로토콜 연구[8]가 있다. 또한, 송신자에서 계산되는 체크섬 비용 계산과 데이터 복사 에 필요한 수행의 축소와 TO(TimeOut), TD(Triple Duplicate) 수행의 축소 그리고 MTU(Maximum Transmission Unit) 크기를 증가시켜 계산 비용을 감소시킴으로 에너지 소모를 감축시키고자 한 연구[2] 등이 있다.

하지만 이러한 논문들은 TCP 에서 가지고 있는 혼잡제어 방법을 사용하여 페이징이나 간섭 등의 다양한 원인으로 발생하는 무선 망에서 패킷 손실이 발생하면 CWND(Congestion Window)를 감소시켜

전송률이 저하되고 전송 지연의 원인으로 핸드폰 배터리의 사용량이 증가하여 에너지의 효율적 사용에 제약을 주게 된다.[4][5][6]

따라서 본 논문에서는 여유 대역폭을 확보하여 오류 확률을 감소시키면서 재전송을 방지하고 혼잡 상태나 간섭으로 인한 패킷 손실 이 발생할 때에 전송을 보류하여 혼잡 구간을 피함으로써 효율을 높이는 Yellow-Light TCP 를 제안한다. 전송 중 손실이 발생할 경우에는 여유 대역폭을 100% 사용하지 않고 여유 대역폭을 남겨둠으로써 혼잡이나 간섭 등 기타 원인으로 인한 패킷 손실률을 줄이면서 안정적인 CWND 를 전송하도록 한다. 하지만 네트워크 상황이 일정시간이 지나도록 좋아지지 않으면 CWND 의 양을 전송하지 않음으로써 전송을 보류하여 수면 모드[3]로 전환하게 된다. 전송 모듈을 정지시키는 방법도 있지만 갑작스런 전송 모듈의 정지는 도중에 큐에 저장된 패킷들의 손실을 유발하게 되고 재전송을 증가시켜 에너지 소모를 더 불러올 수 있다.

Yellow-Light TCP 는 실시간으로 대역폭을 예측하게 되는데 예측의 기준은 무선 망에서 성능이 좋은 프로토콜로 알려진 TCP Westwood[7][9]의 대역폭의 측정 방법을 수정한 방법이다. 현재까지 무선 네트워크 상에서 TCP Westwood 예측방법을 수정한 논문도 연구되어졌다.[9] TCP Westwood 의 대역폭 예측 방법은 송신자에서 수신자로 보내진 패킷에 대한 ACK 의 도착 시간의 차이를 통해서 대역폭을 예측하게 되는데 네트워크 상황이 수시로 변하는 무선 망에서 지연된 ACK 가 발생할 수도 있고[5]

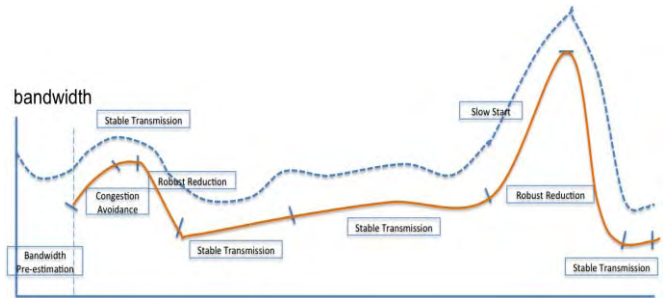
※본 연구는 KISTI 연구과제(사용자 기반 연구망 플랫폼 서비스 개발 및 적용: K-14-L01-C03-S03) 지원으로 수행되었습니다.

◆ Corresponding Author : 한국과학기술정보연구원 첨단연구망센터, cwj@kisti.re.kr

패킷 손실이 발생했을 경우에 원인에 대한 판단이 불분명하여 손실이 발생할 때마다 전송률을 조절한다는 단점을 가지고 있다.[4][9] 따라서 대역폭을 예측하고 난 후 바로 전송 CWND를 조절하는 것이 아니라 일정 시간 동안에 수신된 ACK 시간의 차이를 보고 CWND 조절을 결정하게 된다. 이렇게 함으로써, 전송 속도는 조금 더디지만 혼잡을 피하며 패킷 손실률을 줄여서 재전송을 감소하는 방법으로 전력 소모량을 감축시킬 수 있다. 연속적으로 3 Dup Ack(Triple Duplicate Acknowledgement)가 빈번하게 일어나는 경우와 RTO(Retransmission TimeOut)가 발생할 경우에는 CWND의 양을 전송하지 않음으로써 네트워크 상태는 살아 있지만 패킷을 전송하고 수신하는데 필요한 에너지 소모를 줄인다. 이렇게 함으로써 유휴 구간에 소비되는 에너지를 보내는 패킷의 양으로 조절하게 된다. 그리고 3 Dup Ack와 RTO가 빈번하게 발생하는 구간에 대해서는 네트워크 상황이 좋지 않음을 판단하여 여유 대역폭을 남겨두고 CWND를 전송하게 된다. 이와 같이 전송 보류 방식과 여유폭 확보의 방법을 사용하는 방식으로 돌아가는 Yellow-Light TCP는 에너지 효율이 많이 떨어지는 무선 네트워크 환경에서 효과적인 프로토콜로써 기여할 것으로 보인다.

2. Yellow-Light TCP

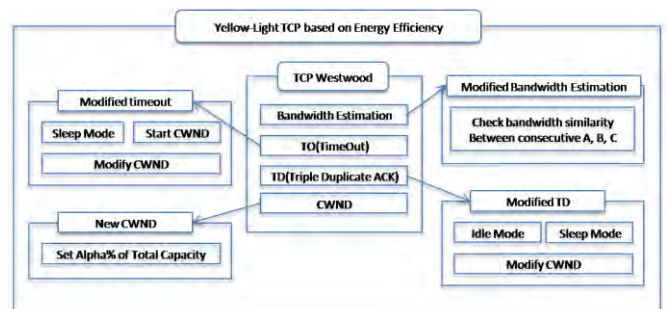
무선 네트워크 상태에서는 대역폭의 상황이 수시로 변하기 때문에 그때마다 CWND를 적절하게 조절해주는 방법이 전송 효율에 도움이 된다. 그래서 Yellow-Light TCP는 전송 초기에 빈 윈도우로 대역폭을 미리 예측하여 CWND를 결정하게 된다. 대역폭의 값을 계산할 경우 연속적으로 수신된 패킷의 시간의 차로 구하게 되는데 대역폭 예측 구간의 신뢰성을 높이기 위해 대역폭을 예측 할 때마다 CWND를 바꾸지 않고 일정 구간에서의 대역폭의 변화량을 관찰하여 CWND의 값을 변경한다. 이렇게 하기 위해 연속된 ACK에 대한 도착 시간의 차이를 비교하여 변화가 있을 경우에는 감소를 수행하고 대역폭 상태가 다시 높아졌을 때에는 슬로우 스타트를 다시 수행하여 여유 대역폭까지 증가시킨다. 유휴 구간에서의 에너지 소모를 감소시키기 위해 3 Dup Ack와 RTO 상황시에는 CWND의 양을 전송하지 않고 일정 구간 네트워크 상황을 관찰하여 대역폭 상태가 좋아지기 시작하면 다시 CWND를 늘리는 방식을 사용한다. 대역폭의 상황이 아주 나빠지는 않은데 어느 정도 보낼 수 있는 상황이 되면 대역폭의 100%를 사용하여 전송하는 것이 아니라 현재 전송하고 있는 데이터 Flow의 손실률을 감소시키고 다른 Flow와의 간섭을 줄이면서 전송하기 위해 여유 대역폭을 확보하여 전송하게 된다.



(그림 1) Yellow-Light TCP의 대역폭 예측

3. Yellow-Light TCP 구조

제안된 방법은 연속된 ACK의 시간차이가 비슷할 경우에만 CWND를 올리는 방식인 수정된 대역폭 예측 방법을 사용하게 된다. 타임아웃이 발생하였을 경우에는 CWND를 전송하지 않음으로써 유휴 구간에서의 에너지 소비를 줄인다. 중복 ACK를 수신하게 되면 휴면 상태 모드로 전환하고 전송 중인 CWND의 양을 대역폭의 Alpha%만을 사용하여 전송하게 되며, 계속 네트워크 상황이 좋지 않으면 다시 CWND의 양을 전송하지 않음으로써 에너지를 절약한다. 주어진 ACK 도착 시간의 차이를 통해서 대역폭을 예측하는 방법은 신뢰성이 다소 떨어질 수 있다. 왜냐하면 수시로 변하는 무선 네트워크 환경에서 지연된 ACK 수신과 간섭으로 인한 패킷 손실률이 많이 발생하기 때문이다. 따라서 신뢰성을 높이기 위해서 일정 시간동안 수신되는 ACK 시간차이의 변화량을 확인해서 CWND의 증가량을 결정하게 된다. 또한, 네트워크 상황이 혼잡이 발생하는 상황이라면 대역폭의 알파%만 사용하여 여유를 남겨둌으로써 패킷 손실률을 줄이고 다른 Flow와의 간섭을 줄여서 모바일 장치에서의 에너지 소모를 방지한다.



(그림 2) Yellow-Light TCP의 원리

4. 네트워크 에너지 모델

모바일 장치에서 소모되는 에너지의 양을 계산하기 위해 다음과 같은 공식을 사용하였다.

$$E = V * I * T$$

E: 모바일 장치에서 사용된 전기 에너지

V: 모바일 장치에서 사용된 전압

I: IDLE, SLEEP, TX, RX 에 따른 전류

T: 하나의 패킷이 전송되는데 걸리는 지연 시간

$$Re = Ie - Ce$$

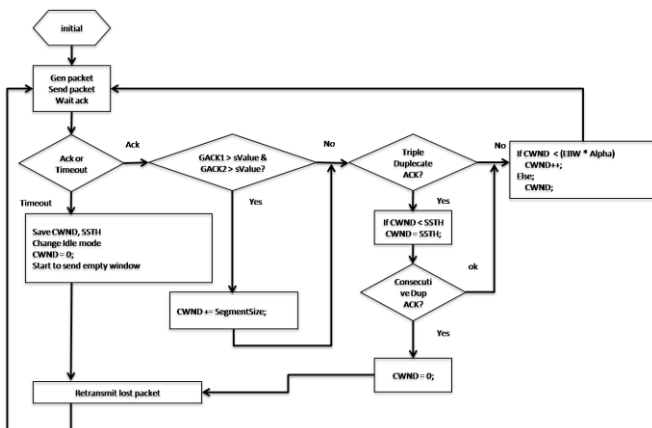
Re: 노드의 남은 에너지

Ie: 초기 에너지

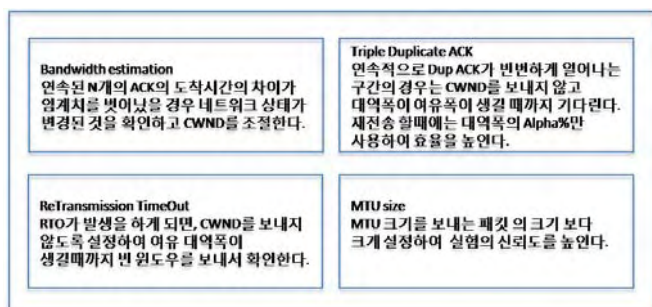
Ce: 네트워크 상태(Idle, Sleep, Tx, Rx)에 따른 소비 에너지(Ce)

5. 적용 알고리즘

대역폭 예측 알고리즘의 기존 방법은 도착한 ACK의 시간의 차이를 통해서 현재의 대역폭을 예측하고 임계치와 윈도우 값을 결정하게 된다. 이와 같은 메카니즘을 신뢰성을 높이기 위해 대역폭을 예측하고 난 후에 바로 윈도우 값을 올리지 않고 연속된 ACK 도착시간의 변화 경향을 확인하여 올리게 된다. 그리고 연속적으로 Dup ACK 가 3 번 일어날 경우 또는 RTO 가 발생할 경우에는 CWND 를 보내지 않고 빈 윈도우를 보내서 대역폭의 상황을 확인한다. 또한, Dup ACK 가 발생한 후에 CWND 를 재전송 할 경우 주어진 대역폭의 100%를 사용하지 않고 Alpha%만 사용한다.



(그림 3) 시뮬레이션 알고리즘

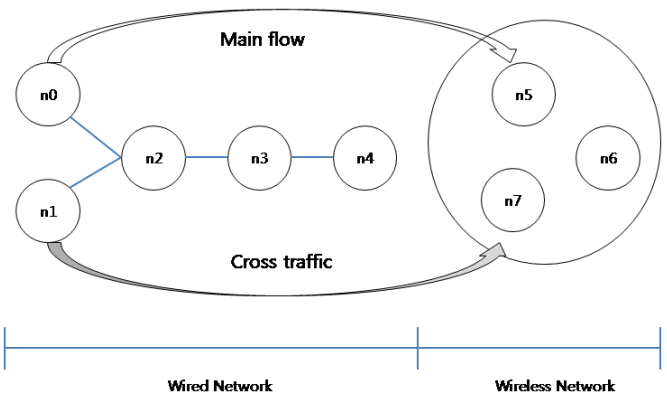


(그림 4) Yellow-Light TCP의 설계도

6. 성능 평가

시뮬레이션 테스트를 위해서 NS-3[10]를 사용하여 구성 토폴로지를 맵에서 구현하였으며, 패킷의 크기

는 1040byte 로 전송하고 MTU 는 이더넷의 최대 크기인 1500byte 를 적용하였다. 패킷의 개수는 1000 개로 설정하였으며, Cross Traffic 을 20 개 만들어 보내는 양을 10 만개 전송하였다. 모바일의 초기 에너지는 0.1mA 이고, 전송에 필요한 전류 값은 0.0002mA, 수신에 필요한 전류 값은 0.0001mA, 유휴 구간에서 소비되는 전류 값은 0.00001mA 로 설정하였다. 링크의 Data rate 는 500Kbps 이며 delay 는 2ms 로 설정하였다. 전체 시뮬레이션 시간은 100 초로 설정하여 테스트 하였다.. N0 - N4 는 유선 네트워크이며 N4 - N7 는 무선 네트워크이다. 무선 네트워크의 설정은 랜덤 워크 시뮬레이션을 사용하였다. Cross Traffic 은 N1->N7 으로 설정하고, N0 -> N5 로 Flow 를 보냈을 때의 결과를 비교해 보았다.



(그림 5) 시뮬레이션 토폴로지

Cross traffic 의 패킷의 양은 각 Flow 마다 1000 개씩 설정하였으며, 패킷 사이의 구간은 1 초로 정의하고 패킷 크기는 1024byte 로 설정하였다. 대역폭이 500Kbps 인 상태에서 실험 Flow 의 대역폭을 최대로 설정하면 패킷 오류의 확률이 있기 때문에 대역폭 사용률을 400Kbps 로 설정하고 cross traffic 이 없을 때에는 다음과 같았다.(표 1)

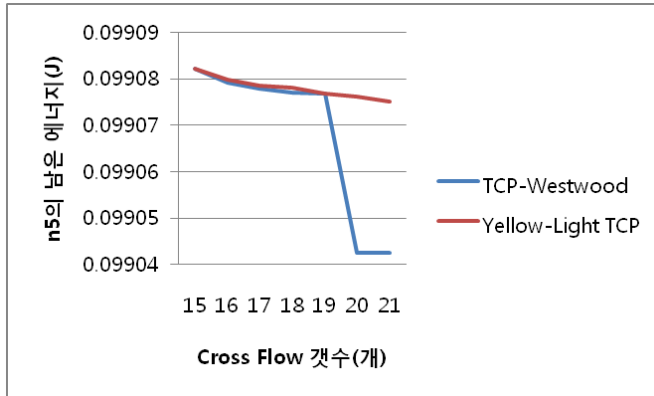
Variant	loss(%)	throughput(Mbps)	time(s)
TCP-Westwood	0	0.391248	22.0828
Yellow-Light TCP	0	0.386824	22.3239

(표 1) 프로토콜의 기본 설정 결과

기존의 방법과 Yellow-Light TCP 의 cross traffic 의 변화율에 따른 손실률을 알아보기 위해 손실률이 0%인 cross traffic Flow 의 개수 15 개부터 실험한 결과를 나타낸 그래프가 다음과 같다.

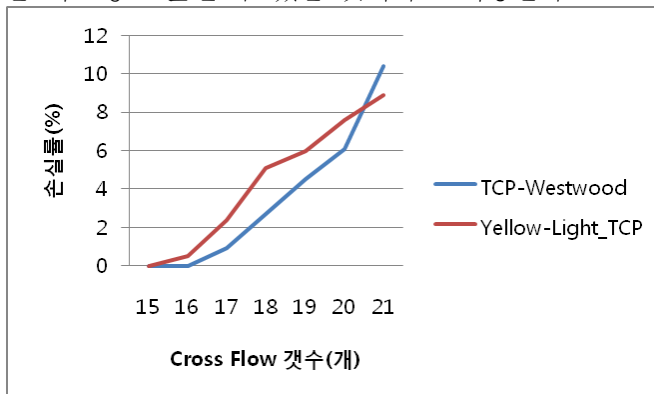
송신자인 n0 에서 모바일 장치 n5 로 1000 개의 패킷을 전송한 후에 n5 의 남은 에너지를 측정한 결과이다.(도표 1) 트래픽으로 인한 오류가 발생하기 시작할 때부터 남은 에너지가 기존의 방법보다 높음을 확인할 수 있고 기존의 방법은 트래픽이 일정 개수를 초과하게 되면 에너지가 많이 떨어지는 현상이 있음을 확인하였다. 사용자가 많은 네트워크 구간에서는 제안된 방법이 모바일 장치의 에너지 효율을 높이는데

효과적일 수 있다.



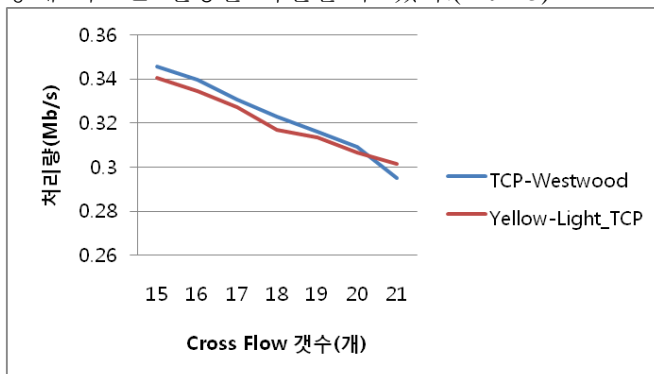
(도표 1) 크로스 트래픽 부하에 따른 n5 에너지

에너지 효율을 높이기 위해 혼잡 구간을 피하는 전송 보류의 방법과 대역폭을 100% 사용하지 않고 여유 대역폭을 확보하면서 전송하였기 때문에 손실률이 기존 방법보다 오류율이 적을 경우에는 높지만 오류율이 높을 경우에는 제안된 방법이 적게 나와서 네트워크의 사용자가 많은 경우에 핸드폰 배터리의 효율을 어느정도 높일 수 있을 것이라고 예상한다.



(도표 2) 크로스 트래픽 부하에 따른 손실률 비교

트래픽이 높은 구간에서는 오류율이 높게 나왔기 때문에 처리량도 기존 방법에 비해서 조금은 적게 나왔다. 대역폭의 상황에 바로 대처하기 보다 네트워크 상황을 판단하여 패킷을 전송하기 때문에 처리량은 적게 나온 것으로 보인다. 하지만, 트래픽이 많이 발생하는 구간에서는 제안된 방법이 오히려 처리량이 좋게 나오는 현상을 확인할 수 있다.(도표 3)



(도표 3) 크로스 트래픽 부하에 따른 처리량 비교

7. 결과 및 토의

무선 네트워크 환경에서의 사용자가 갈수록 급증하고 있고 그에 따른 모바일 장치의 사용과 대용량 데이터 전송 및 수신 요구가 증대됨에 따라 에너지와 관련한 다양한 이슈와 해결책이 제시되고 있는 시점에서 본 논문에서는 네트워크 전송 프로토콜인 TCP의 메커니즘을 사용해서 에너지 효율을 증대시키고자 Yellow-Light TCP 라는 새로운 프로토콜을 제안하였다. 네트워크 상황이 수시로 변하는 무선 네트워크 환경에서 네트워크 트래픽이 많이 발생하는 구간에서는 패킷 전송을 잠시 보류하고 대역폭이 호전되었을 경우에는 대역폭을 100% 사용하지 않고 여유 대역폭을 남겨두고 전송함으로써 다른 사용자와의 간섭과 패킷 손실을 줄이면서 재전송 증가를 방지함으로써 모바일 장치의 에너지를 절약하고자 하였다. 이러한 방법이 무선 네트워크 환경에서 사용자가 많은 경우에 에너지 효율을 어느 정도 높일 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

- [1] Harkirat Singh and Suresh Singh, "Energy Consumption of TCP Reno, Newreno, and SACK in Multi-Hop Wireless Networks," SIGMETRICS, ACM, 2002.
- [2] Bokyoung Wang and Suresh Singh, "Computational Energy Cost of TCP," IEEE INFOCOM, 2004.
- [3] Yong Jae Jang and Sung Keun Lee, "An Energy Efficient Transition Algorithm based on TCP," KIECS, Vol. 5, 2011.
- [4] Saejoon Hwang, Jungmin Lee and Kwangsue Chung, "A New Energy Saving Transport Protocol in Wireless Environments," Journal of KISS: Computer Systems and Theory, Vol. 32, 2005.
- [5] Saejoon Hwang and Sangdok Mo, "A Study on Efficient Energy Saving Transport Protocol in Wireless Environment," KIISE, Vol. 32, 2004.
- [6] Namho Cho and Kwangsue Chung, "Energy Efficient Congestion Control Scheme in Ad-hoc Networks," Journal of KISS : Information Networking, Vol. 33, 2006.
- [7] Mario Gerla, Ren Wang, and Andrea Zanella, "TCP Westwood: Congestion Window Control Using Bandwidth Estimation," IEEE Globecom, Vol. 3, 2001.
- [8] Gerard Smit and Paul Havinga, "Energy Efficient TCP," EEMCS, 2001.
- [9] Minu Park and Hyunseung Choo, "Analysis and Modified Algorithm Proposal of TCP Westwood in Next Generation Network," KSII, 2007.
- [10] NS-3 Simulator, <http://www.nsnam.org/>.