

해양 애드혹 네트워크에서의 계층간 최적화를 통한 전력 효율 향상에 관한 연구

변일무, 전기준, 김광순, *김정욱, *양준철, *박진관, **송익호, *이성로
연세대, *목포대, **한국과학기술원

{dlfan puco201}@dcl.yonsei.ac.kr, ks.kim@yonsei.ac.kr

A study on the cross-layer optimization of over-water ad-hoc networks for improving the power efficiency

Byun Ilmu, Jeon Kijun, Kim Kwang Soon, *Jung Wook Kim, *Jun Cheol Yang, *Jin Kwan Park, **Ickho Song, *Seong Ro Lee
Yonsei Univ., *Mokpo National Univ., **KAIST

요약

본 논문에서는 각 단말이 제한된 전력을 갖고 각 송수신단의 전송률이 최소 전송률을 만족시켜야 하는 해양의 센서 네트워크를 고려한다. 단말의 전력이 제한된 네트워크에서는 에너지 효율 향상을 통해 네트워크의 동작 시간을 늘리는 것이 중요하므로, 에너지 효율을 성능 척도로 사용한다. 에너지 효율은 MAC(media access control) 계층의 간섭제어기법 또는 물리계층의 전송률 조정 기법을 통해 향상 될 수 있으며, 두 기법을 동시에 사용하여 연대최적화를 수행하면 에너지 효율이 더욱 향상 됨을 보인다.

I. 서론

해양 통신 등에서 사용되는 센서네트워크의 단말들은 제한된 에너지를 가지므로 전력 효율을 높임으로써 단말의 동작 시간을 늘릴 수 있다. 그러므로 센서 네트워크의 송수신단 짝이 QoS(quality of service)를 만족 시키면서 패킷 전송당 전력효율을 높이는 것에 대해 많은 연구가 있어왔다[1]-[3]. 논문 [1]에서는 전력 효율 향상을 위해 재전송 프로토콜을 고려하여 전력 분배 및 전송률 최적화 기법을 연구하였다. 논문 [2]에서는 다중 안테나를 사용하는 재전송 프로토콜에 다중화(multiplexing)기법을 사용하면 전력효율을 향상시킬 수 있음을 보였다. 논문 [3]에서는 전력 효율을 높이기 위해 재전송시의 백오프(back-off) 시간을 최적화하였다.

센서 네트워크는 여러 단말들의 신호를 보내기 위해 MAC(media access control)프로토콜을 사용하므로 MAC 프로토콜의 특성에 따라 수신단이 받는 간섭의 특성이 변화한다. 기존 연구에는 다중 접속에 의해 발생한 간섭을 고려하지 않고 최적화를 수행하였으므로 간섭을 고려한 계층간 최적화 기법을 통해 전력 효율을 보다 향상시킬 수 있다. 그러므로 본 논문에서는 임의접속 (random access) 프로토콜이 S-ALOHA (slotted ALOHA) 프로토콜일 때 간섭 특성을 고려한 계층간 최적화 기법을 제안한다. 모의실험을 통해 전송률과 간섭을 모두 제어하는 S-ALOHA 프로토콜(SA-RI)이 전송률 제어를 하는 S-ALOHA 프로토콜(SA-R)과 간섭 제어를 하는 S-ALOHA 프로토콜보다 좋은 성능을 갖는 것을 보였다.

II. 시스템 모형 및 문제의 공식화

본 논문에서는 단말의 위치 분포가 밀도 λ_n 의 균일 PPP(homogeneous Poisson point process) Φ_n 인

무한히 큰 해양 무선 네트워크를 가정한다. 네트워크에서 한 단말은 ρ_s 의 확률로 소스단말이 될 수 있고, 소스단말이 아닌 단말 중에 임의로 하나의 목적단말을 선택하며, 소스-목적단말의 짝은 소스단말과 목적단말이 아닌 단말 중에 임의로 중계기를 선택한다. 본 논문에서는 소스단말, 목적단말, 중계기들로 이루어진 링크를 끝간 링크(e2e link)라고 한다. $N-1$ 개의 중계기로 이루어진 끝간 링크는 N 개의 홉으로 이루어지며 각 홉은 하나의 송신단과 수신단을 갖는다.

모든 송신단의 송신 전력은 P 로 동일하다. 네트워크에서 i 번째 끝간 링크의 패킷당 전송률은 r_i 이고 전송률이 최소 전송률 $R_{i,min}$ 보다 높아야 한다. MAC 프로토콜은 S-ALOHA 프로토콜이고, 송신단은 신호를 송신할 수 있는 접속권(access right)을 매 슬롯에서 q 의 확률로 얻는다. 패킷은 복호후 전달 기법을 사용하여 한 홉씩 목적단말로 전송된다. 매 홉에서는 최대 전송 횟수에 제한을 두지 않고 재전송 프로토콜을 사용한다.

위와 같은 모형에서 시간슬롯 t 에서 신호를 송신하고 있는 송신단의 집합은 Φ_t 이고, 이는 밀도가 $\lambda = q\lambda_s$ 인 균일 PPP 이다[4]. 여기서 $\lambda_s = \rho_s\lambda_n$ 는 단위 면적당 소스단말의 수이다. 네트워크의 i 번째 끝간 링크의 j 번째 홉의 거리가 $d_{i,j}$ 일 때 큰 단위 페이딩이 $d_{i,j}^{-\alpha}$ 이고, 매 슬롯의 작은 단위 페이딩이 $\text{Exp}(1)$ 이면, 한 홉의 수신단에서 전송률이 r_i 인 패킷을 복호할 확률은

$$p(r_i, q) = \exp\left(-\frac{2r_i - 1}{d_{i,j}P/N_0} - q\lambda_s(2r_i - 1)^{\frac{2}{\alpha}}K_\alpha d_{i,j}\right) \quad (1)$$

이다. 여기서 N_0 는 정규 가우시안 잡음의 전력 스펙트럼 밀도(power spectral density)이고 $\alpha > 2$ 는 경로감쇠지수(path loss exponent)이며 $K_\alpha = 2\pi^2/(\alpha \sin(2\pi/\alpha))$ 이다[Weber]. 각 홉에서 q 의 확률로 패킷을 송신하기 때문에, 한 슬롯에서 복호에 성공할 확률은 $qp(r_i, q)$ 가 되고 홉이 N 일 때 패킷을 목적단말에 송신하기 위한 평균 슬롯 수 $E[S]$ 는

$N/(qp(r_i, q))$ 이다. 평균 전송횟수로부터 끝간 링크의 전송률은

$$R_i(r_i, q) = \frac{r_i}{E[S]} = \frac{r_i}{N/qp(r_i, q)} \quad (2)$$

이다. 재전송 프로토콜에서는 수신단이 복호에 성공할 때까지 송신을 반복하므로, 에너지 효율을 향상 시키는 것은 패킷의 복호에 필요한 평균 전송 횟수 $E[T] = N/p(r_i, q)$ 를 감소시키는 것을 의미한다. 전송률을 조정하는 S-ALOHA 프로토콜을 SA-R 프로토콜, 접속확률 q 를 조정하여 간섭제어를 하는 S-ALOHA 프로토콜을 SA-I 프로토콜, 둘 모두를 조정하는 프로토콜을 SA-RI 프로토콜이라고 하자. SA- φ , $\varphi \in \{R, I, RI\}$, 프로토콜의 전력 효율 최적화 문제는 다음과 같다.

$$\min_{s^\varphi} N/p(r_i, q) \quad \text{s.t. } R_i(r_i, q) \geq R_{i,min} \quad (3)$$

여기서 $s^R = r_i$, $s^I = q$, $s^{RI} = (r_i, q)$ 이다.

III. 모의실험

본 단원에서는 모의실험을 통해 SA-R, SA-I, SA-RI 프로토콜에서의 에너지 효율에 대해서 비교해본다. 모의 실험에서는 λ_s 는 0.2, 끝간 링크의 거리는 1, 홉수는 2, 송신전력이 20dB, 경로감쇠지수는 2.5, 인 경우에 대해서 살펴보고 증계기가 소스단말과 수신단말의 정중앙에 위치한다고 가정하였다. 편의를 위해 r_i 는 r 로 $R_{i,min}$ 은 R_{min} 으로 간략히 나타내었다. 그림 1은 프로토콜들의 전력효율을 최소전송률요건 R_{min} 의 변화에 따라 나타낸 그림이다. 모든 프로토콜들에 대해서 R_{min} 이 특정 임계값 이상이면 전력효율이 0으로 수렴하는 것을 볼 수 있는데, 이는 최적화 파라미터 s^φ 를 최적화해도 끝간 링크의 전송률이 R_{min} 보다 작기 때문이다. SA-RI 프로토콜의 성능이 SA-R과 SA-I보다 좋으며, SA-R과 SA-I의 상대적 성능은 R_{min} 의 값과 주어진 파라미터의 값에 따라 변화한다. 그림 2는 R_{min} 에 따른 최적 q 값인 q_{opt} 와 최적 r 값인 r_{opt} 의 변화를 나타낸 값이다. R_{min} 의 값이 작은 경우에는 q_{opt} 의 증가량보다 r_{opt} 의 증가량이 크지만 R_{min} 이 증가하면 q_{opt} 는 증가하지만 r_{opt} 는 거의 일정한 값을 갖는 것을 알 수 있다. 이는 r 값이 작은 경우에는 r 의 증가에 의한 수신단의 복호 성공 확률 $p(r, q)$ 의 감소가 q 에 의한 감소보다 작지만 r 값이 큰 경우에는 q 의 증가에 의한 $p(r, q)$ 의 감소가 r 에 의한 감소보다 작기 때문이다. 하지만 q 는 1보다 큰 값을 가질 수 없기 때문에 q_{opt} 가 1에 도달한 이후에는 r 의 증가를 통해 R_{min} 을 만족시킬 수 있다. 그림 2는 R_{min} 에 따라 q_{opt} 의 변화가 크다는 것을 보이지만 그림 1을 통해 $q=1$ 로 설정한 SA-R 프로토콜의 성능과 SA-RI의 성능 차이가 최대 2%라는 것을 알 수 있다. 즉, 시스템의 복잡도가 중요한 경우에는 각 단말의 접속확률을 1로 정하고 전송률을 조정해도 상당한 수준의 에너지 효율향상을 기대할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 각 단말의 에너지가 제한된 센서 네트워크의 동작 시간을 늘리기 위해 계층간 최적화 기법을 사용한 에너지 효율 향상 기법에 대해서 알아보았다. 본 연구는 네트워크의 간섭 제어와 단말의 전송률제어를 통해 에너지 효율을 향상시킬 수 있음을 보였다.

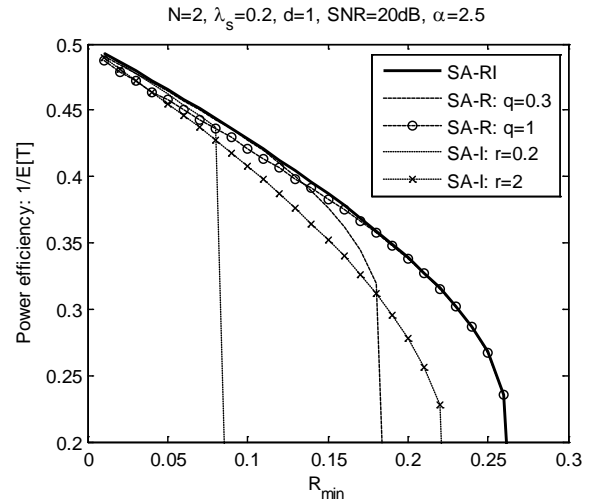


그림 1. R_{min} 에 따른 프로토콜들의 전력효율의 변화

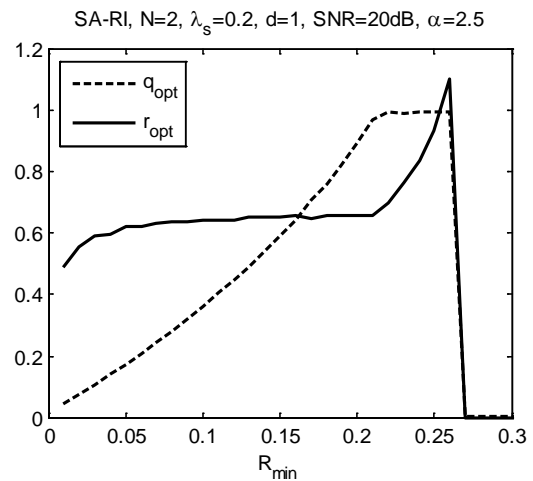


그림 2. R_{min} 에 따른 최적 q 값인 q_{opt} 와 최적 r 값인 r_{opt} 의 변화

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구 센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2011-C1090-1121-0007)

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국 연구 재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2011-0029321).

참고 문헌

- [1] N. Arulselvan and R. Berry " Efficient power allocations in wireless ARQ protocols," IEEE Proc. Wireless Personal Multimedia Comm. (WRMC), vol. 3, no. 1, pp. 976-980. Hawaii, U.S.A., October 2002.
- [2] R. Zhang and L. Hanzo " Multiplexed hybrid ARQ for energy efficient transmissions under delay constraints," IEEE Proc. Int. Conf. on Comm. (ICC), pp. 1-5. Cape Town, South Africa., May 2010.
- [3] A. Chockalingam and M. Zorzi, " Adaptive ARQ with energy efficient backoff on markov fading links," IEEE Trans. on Wireless Commun., vol. 7, no. 5, pp. 1445-1449. May 2008.
- [4] S. Weber, X. Yang, J.G. Andrews, and G. de. Veciana" Transmission capacity of wireless ad-hoc networks with outage constraints," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 51, no. 12, pp. 4091-4102, December 2005.