

해양 애드혹 센서 네트워크에서의 채널 귀환 정보를 이용한 전송률 최대화

전기준, 변일무, 김광순, *방종대, *조용옥, *정민아, **송익호, *이성로
연세대, *목포대, **한국과학기술원

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

A Study on the rate maximization via channel side information for the overwater ad-hoc network system

Jeon Kijun, Byun Ilmu, Kim Kwang Soon, *Jong Dae Bang, *Yong Ok Cho, *Min A Jeong, **Ickho Song, *Seong Ro Lee
Yonsei Univ., *Mokpo National Univ., **KAIST

요약

본 논문에서 우리는 해양 애드혹 네트워크 상에서 각 송신단 노드가 수신단 노드로 정보 전달 시 전송률 최대화를 달성하기 위해서 다른 송신단 노드들로부터 들어오는 간섭을 고려한 채널 양자화 방법을 제안하였다. 또한 모의 실험을 통해서 이에 대한 성능을 보였다.

I. 서론

무선 통신 시스템에서 가장 중요한 성능 척도 중 하나는 전송률이다. 이에 따라 과거부터 현재까지 무선 통신 시스템에서의 전송률에 관한 연구들이 활발히 진행되어왔다. 기존의 페이딩 채널에서 점간 통신에서의 달성 가능한 전송률에 대한 연구는 [1]과 [2]에서 진행되었다. [1]에서는 송신단 노드에서 완벽한 채널 상태 정보를 (CSI) 이용 가능한 상황에서 파워 조건에 따른 달성 전송률에 대해서 보여주고 있다. 그러나 완벽한 채널 상태 정보를 송신단 노드가 알고 있다는 가정은 비현실적이기 때문에 [2]에서는 송신단 노드에서 부분 채널 상태 정보가 이용 가능한 상황, 즉 양자화된 채널 상태 정보의 귀환을 통해서 주어진 파워에 따른 달성 가능한 전송률을 최대화 할 수 있는 부분 채널 상태 정보 귀환 기법을 제안하고 있다. 하지만 기존의 이러한 연구들은 애드혹 네트워크 상에서 여러 송신단 노드들이 동시에 정보를 전달하는 상황에는 적합하지 않다. 여러 송신단 노드들의 동시 전송에 따른 간섭에 대한 고려가 필요하기 때문이다. 본 논문에서는 이러한 간섭을 고려하여 해양 애드혹 네트워크 환경에서 적합한 부분 채널 상태 정보 귀환 방법을 제안하고 이때의 달성 가능한 전송률을 최대화하였다. 모의 실험을 통해서 주어진 네트워크 환경에서 달성 가능한 최대 전송률을 보였고 네트워크 환경이 좋을수록 완벽한 채널 상태 정보를 사용하는 것 대비 부분 채널 상태 정보의 귀환을 통해 얻을 수 있는 성능 갭이 감소함을 보였다.

프로세스 (PPP) 형태로 존재한다고 가정하도록 하겠다. 또한 송신단 노드들은 각 수신단 노드를 중심으로 해서 R 이란 커버리지 안에 다수가 존재하고 시간 분할 방식과 라운드 로빈 스케줄링을 병합한 맥 프로토콜을 통해서 자신의 수신단 노드에 정보를 전달하는 네트워크 환경을 가정한다. 그림 1 은 앞서 설명한 네트워크 모형을 간략하게 나타낸 것이다.

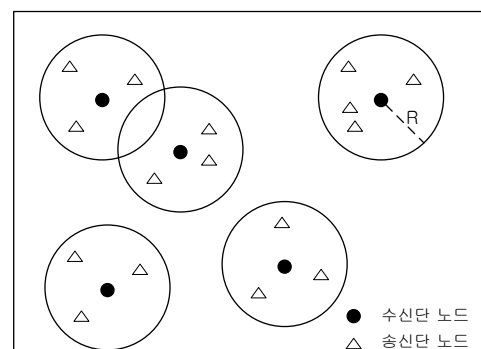


그림 1. 해양 애드혹 네트워크의 간략한 모형

II. 본론

A. 시스템 모델

본 논문에서는 수신단 노드들이 큰 무선 애드혹 네트워크 내에 λ 의 밀도로 2 차원의 포아송 포인트

B. 해양 애드혹 네트워크에서의 간섭을 고려한 양자화 방법 및 달성 전송률

본 논문에서 양자화 대상은 거리와 경로 손실을 고려한 자기 채널 파워 대비 간섭으로 들어오는 채널 파워를 대상으로 한다. 이를 신호 대비 간섭 비율 (SIR)로 정의하도록 하겠다. 독립 동일 분포 레일리 페이딩 (i.i.d rayleigh fading)을 갖는 채널 파워 확률 변수 χ 가 $\exp(1)$ 을 따르고 경로손실을 α 로 정의하였을 때 거리 d 에 따른 SIR 인 γ 은 식 (1)과 같이 정의되고 [3]을 이용하면 식 (2)와 식 (3)같은 누적 분포 함수와 확률 분포 함수를 갖는다.

$$\gamma = \frac{\chi_0 d^{-\alpha}}{\sum_{j \in \Pi} \chi_j |D_j|^{-\alpha}} \quad (1)$$

$$F(\gamma) = 1 - \frac{(1 - e^{-\lambda K_\alpha R^2 \gamma^{2\alpha}}) \gamma^{-2/\alpha}}{\lambda K_\alpha R^2} \quad (2)$$

$$f(\gamma) = -\frac{2e^{-\lambda K_\alpha R^2 \gamma^{2\alpha}}}{\alpha \gamma} + \frac{2(1 - e^{-\lambda K_\alpha R^2 \gamma^{2\alpha}}) \gamma^{-1-2/\alpha}}{\alpha \lambda K_\alpha R^2} \quad (3)$$

여기서 $K_\alpha = 2\pi^2 / (\alpha \sin(2\pi / \alpha))$ 이다. [2]를 이용하여 달성 가능 전송률 목적 함수를 정리하면 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned} \max_{\{\gamma_i, \gamma_i^b\}} \sum_{i=0}^{K-1} [F(\gamma_{i+1}^b) - F(\gamma_i)] \log(1 + \gamma_i P) \\ \text{s.t. } \gamma_{i+1}^b - \gamma_i \geq 0, \text{ s.t. } \gamma_i - \gamma_i^b \geq 0 \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 γ_i, γ_i^b 는 스칼라 레벨로 채널 양자화한 구간 내의 대표 값과 구간의 끝 값들을 의미한다. 즉, $\gamma_i^b \leq \gamma < \gamma_i$ 일 경우 아웃티지가 발생하게 되고 달성 전송률을 최대화하기 위해서는 아웃티지 발생을 최소화시켜야 하기 때문에 $\gamma_i = \gamma_i^b$ 이 성립된다. Karush-Kuhn-Tucker (KKT) 조건에 의해서 식 (4)는 아래와 같이 정리된다.

$$\begin{aligned} F(\gamma_{i+1}) = F(\gamma_i) + f(\gamma_i) \frac{1 + \gamma_i P}{P} \log \frac{1 + \gamma_i P}{1 + \gamma_{i-1} P}, \\ i = 0, \dots, K-1 \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 $\gamma_{-1} = 0, \gamma_K = \infty$ 를 가진다. 식 (5)를 이용하여 $\{\gamma_i\}$ 는 γ_0 의 함수 형태로 표현 가능하게 된다. 이러한 특성을 이용하고 달성 전송률 함수 식 (4)가 최대화가 되도록 γ_0 의 값을 수치 조사를 통해서 찾게 된다.

C. 모의 실험 결과

본 논문에서 해양 애드혹 네트워크를 가정하였기 때문에 경로손실 α 를 2.5로 고정하였다. 또한 수신단 노드 밀도 λ 와 커버리지 R에 의해서 정의되는 애드혹 네트워크 환경을 가정하였다. 그림 2는 이와 같은 환경에서 달성 전송률 값을 완벽한 채널 상태 정보를 알 때와 귀환을 통한 부분 채널 상태 정보를 알 경우의 성능을 비교해놓았다. 귀환 정보 비트수가 증가할수록 완벽한 채널 상태 정보를 이용하여 얻을 수 있는 달성 전송률에 근접한 것을 확인할 수 있고 또한 그 갭이 네트워크 환경이 좋을수록 (수신단 노드 밀도 \downarrow , 커버리지 \downarrow) 감소함을 확인할 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 해양 애드혹 네트워크에서 다수의 수신단 노드와 송신단 노드가 존재할 때 서로간의 간섭을 고려한 채널 양자화 방법을 제안하였다. 또한 이를 통하여 최대 달성 가능한 전송률을 보였다.

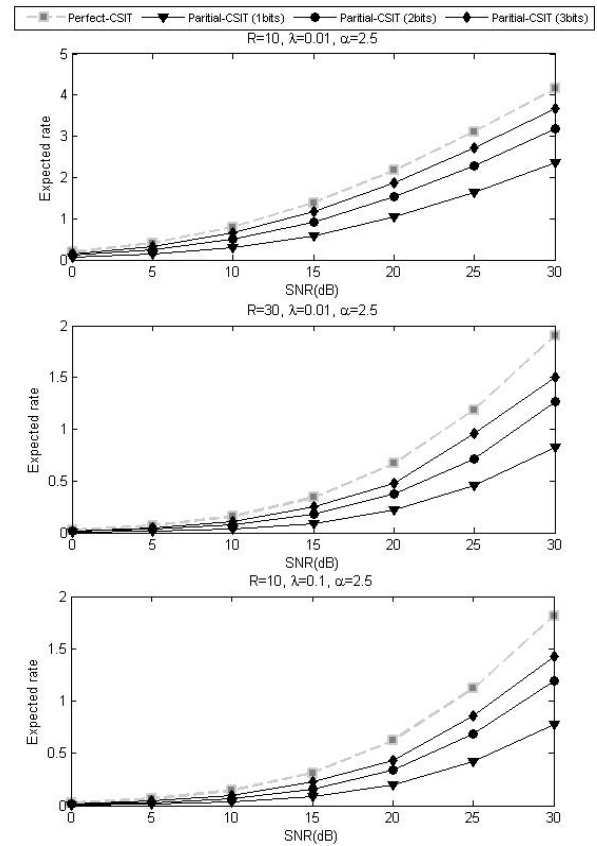


그림 2. 주어진 수신단 노드 밀도 λ 와 커버리지 R 을 갖는 해양 애드혹 네트워크 내에서 SNR에 따른 달성 전송률

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 지식 경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 지원 사업의 연구결과 수행되었음 (NIPA-2011-C1090-1121-0007).

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

이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.D00280).

참고 문헌

- [1] A. J. Goldsmith and p. P. Varaiya, "Capacity of fading channels with channel side information," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 43, no. 11, pp. 1986-1992, Nov. 1997.
- [2] T. T. Kim and M. Skoglund, "On the expected rate of slowly fading channels with quantized side information," *IEEE Trans. Comm*, vol. 55, no. 4, pp. 820-829, Apr. 2007.
- [3] J. G. Andrews, S. Weber, M. kountourism and M. Haenggi, "Random access transport capacity," *IEEE Trans. Wireless Comm*, vol. 9, no. 6, pp. 2101-2111, June. 2010.