

불완전한 신뢰도 기반 정보 처리율 최대화 협력통신 기법

류종열¹ · 홍준표^{2*}

Imperfect Trust Degree based Throughput Maximization for Cooperative Communications

Jong Yeol Ryu¹ · Jun-Pyo Hong^{2*}

¹Assistant Professor, Department of Information and Communications Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong, 53064 Korea

^{2*}Assistant Professor, Department of Information and Communications Engineering, Pukyong National University, Busan, 48513 Korea

요 약

최근 친밀도와 신뢰도 같은 사용자들의 사회적 관계와 모바일 통신 네트워크를 동시에 고려한 모바일 소셜 네트워크가 차세대 이동통신 네트워크 모델로 큰 관심을 받고 있다. 본 논문에서는 사회적 관계 중 신뢰도 정보를 기반으로 하는 협력통신 네트워크를 고려한다. 완벽한 신뢰도 정보를 고려했던 기존 연구들과 다르게 송신단에서 불완전한 신뢰도 정보 기반 정보 처리율 최대화 협력 통신 기법을 제안한다. 본 논문에서는 먼저 불완전한 신뢰도 정보를 확률적인 분포로 모델링하고, 신뢰도의 확률 분포를 이용하여 아웃티지 확률을 유도한다. 마지막으로 송신단에서 아웃티지 확률과 정보 전송율을 동시에 고려한 정보 처리율을 최대화하는 전송 기법을 제안한다. 시뮬레이션 결과를 통해 정보 처리율 관점에서 기존 기법들과의 비교를 통해서 제안한 협력통신 기법의 우수성을 증명한다.

ABSTRACT

Recently, the mobile social networks, which consider both social relationship between users and mobile communication networks, have been received great attention. In this paper, we consider the trust degree of node as the social relationship for the cooperative communication networks. In contrast to the existing works that consider the case of the perfect trust degree information, for the case that transmitter has an imperfect trust degree information, we propose an imperfect trust degree based cooperative communication technique that maximizes a throughput. We first model the imperfect trust degree information as a probability distribution and derive the outage probability using the probability distribution. Then, we propose the transmission scheme that maximizes the throughput, which consider both outage probability and transmission rate. The simulation results show that the proposed cooperative transmission scheme outperforms the conventional scheme in terms of the throughput.

키워드 : 협력통신, 불완전한 신뢰도, 정보 처리율 최적화, 신뢰도 모델링

Keywords : Cooperative communications, imperfect trust degree, throughput optimization, trust degree modelling

Received 25 March 2019, Revised 25 March 2019, Accepted 9 April 2019

* Corresponding Author Jun-Pyo Hong(E-mail:jp_hong@pknu.ac.kr, Tel:+82-51-629-6227)

Assistant Professor, Department of Information and Communications Engineering, Pukyong National University, Busan, 48513 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2019.23.5.589>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

최근 사용자들의 사회적 관계를 고려한 이동통신 네트워크인 모바일 소셜 네트워크 네트워크에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 [1-7]. 기존 이동통신 기술은 통신의 효율성을 향상시키기 위해 무선채널의 상태와 간섭 환경 등의 물리적인 통신 요소만을 고려해서 설계되었다. 그러나 사용자들 간의 협력 통신, 단말간의 직접 통신(device-to-device, D2D) 등으로 구성된 차세대 이동통신 네트워크에서는 물리적인 통신 요소뿐만 아니라 사용자들의 친밀도, 신뢰도와 같은 사회적 요소를 고려하여 통신 기법을 설계해야한다 [2].

사용자들의 사회적 관계를 고려한 무선 통신 기술 연구는 다양한 통신 네트워크에 대해 진행되고 있다 [3-7]. [3]에서는 사용자들의 사회적 관계를 고려하여 구성원들의 유틸리티를 최대화하는 사회적 그룹 유틸리티 최대화(social group utility maximization, SGUM) 게임 구조를 제시하였다. SGUM 게임 구조를 이용하여 사용자들은 각자 자신의 이익뿐만 아니라 친밀도에 비례한 다른 사용자들의 이익의 합을 최대화하도록 전력과 주파수를 할당하는 기법을 제안하였다. 협력통신 환경에서 신뢰도를 기반으로 효율적으로 정보를 전송하는 기법들이 제안되었다 [4-6]. 보안 통신 시스템에서 다른 사용자들의 신뢰도 정보를 이용하여 통신의 보안성과 전송의 효율성을 모두 향상시키는 협력 전송 기법이 [4]에서 제안되었다. 제안된 기법에서 신뢰도가 낮은 사용자의 경우 정보의 보안성을 높이는 기법으로, 반면에 신뢰도가 높은 사용자의 경우 적극적으로 협력하여 정보 전송의 효율을 향상시키는 기법을 통해 정보를 전송한다. 다중안테나 협력 통신 환경에서 사용자의 신뢰도 정보를 고려한 빔형성(beamforming) 기법이 [5]에서 제안되었다. 릴레이 사용자와 수신 사용자들의 신뢰도 정도를 고려하여 신뢰도와 무선 채널의 상태의 함수로 전송 빔을 설계하였다. 반이중(half-duplex)과 전이중(full-duplex) 릴레이 환경에서 신뢰도 정보를 고려한 빔형성 기법이 [6]에서 제안되었고, [5]에서 제안된 기법의 성능을 향상시켰다. 그러나 대부분의 기존 연구에서는 사용자들의 완벽한 사회적 정보를 알고 있는 환경을 고려하고 있다. 본 논문에서는 기존 연구와는 다르게 보다 현실적으로 불완전한 신뢰도 정보를 기반의 협력통신 기법을 제안한다.

본 연구에서는 사용자들의 신뢰도 정보가 불완전한 환경에서 효과적으로 정보를 전달하는 협력 통신 기법을 제안한다. 송신단과 수신단 그리고 한 개의 릴레이 노드가 존재하는 환경에서 송신단이 릴레이의 신뢰도에 대한 완벽한 정보 대신 확률적인 분포 정보만을 이용하여 협력 전송하는 경우를 고려한다. 송신단에서 신뢰도의 확률 분포를 이용하여 아웃티지를 최소화하면서 정보 처리율(throughput)을 최대화하도록 정보 전송율(transmission rate)을 결정하는 기법을 제안한다.

본 논문의 2장은 시스템 모델에 대해서 설명하고 3장에서는 불완전한 신뢰도 정보 기반의 협력 통신 기법을 제안한다. 4장에서는 제안된 기법의 성능을 시뮬레이션을 통해 검증하고, 마지막으로 5장에서는 논문을 마무리한다.

II. 시스템 모델

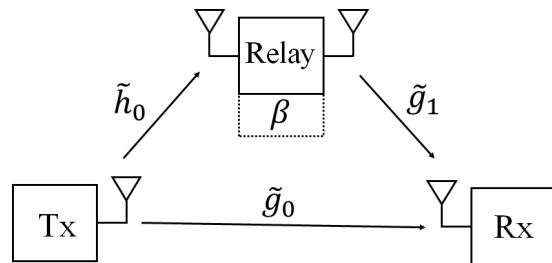


Fig. 1 Cooperative communication system with trust degree information

본 논문에서는 그림 1과 같이 한 개의 송신단(Tx)과 수신단(Rx) 그리고 한 개의 릴레이 노드가 존재하는 협력 통신 환경을 고려한다. 송신단은 송신단과 수신단사이의 무선 채널 \tilde{g}_0 를 통해 수신단에 정보를 전송한다. 이 때 무선 채널 \tilde{g}_0 의 채널 이득은 $g_0 = |\tilde{g}_0|^2$ 이다. 송신단과 수신단 사이의 전송률을 향상시키기 위해 릴레이 노드와 협력통신을 통해 정보를 전송한다. 릴레이 노드는 반이중 DF(decode-and-forward) 방식을 통해 송신단으로부터 받은 정보를 수신단에게 전달한다. 릴레이 노드는 송신단과 릴레이 노드 사이의 채널 \tilde{h}_0 을 통해 정보를 수신하고, 수신한 정보를 디코딩하여 릴레이 노드와 수신단 사이의 채널 \tilde{g}_1 을 통해 정보를 전달한다. 송신단

과 릴레이 노드 그리고 릴레이 노드와 수신단 사이의 채널 이득은 $h_0 = |\tilde{h}_0|^2$ 과 $g_1 = |\tilde{g}_1|^2$ 이다. 마지막으로 $N_0 \sim CN(0,1)$ 의 AWGN(Additive White Gaussian Noise)이 존재한다고 가정한다.

본 논문에서는 협력 통신에 참여하는 릴레이 노드가 신뢰도를 가지고 있다고 가정한다 [4-6]. 통신 시스템에서 신뢰도는 ‘어떤 노드가 시스템에서 사전에 약속된 대로 동작할 것이라고 믿는 정도’라고 정의된다 [1]. 이러한 특정 노드의 신뢰도는 그 노드의 과거 행동들에 대한 직접 또는 간접적으로 관찰한 정보를 바탕으로 정량화될 수 있다 [2]. 본 논문에서는 릴레이 노드가 정보를 전달할 때 신뢰도에 비례하여 송신 전력을 사용한다고 가정한다 [5][8]. 따라서 릴레이 노드의 신뢰도가 높을수록 많은 양의 송신전력을 사용하여 정보를 전달하고, 반대로 신뢰도가 낮을수록 적은 양의 송신 전력을 사용한다. 릴레이 노드가 정보 전달에 사용하는 전력 P_1 은 릴레이 노드의 신뢰도 β 에 비례하도록 $P_1 = \beta P_t$ 로 정의한다. 여기에서 P_t 는 릴레이 노드의 최대 사용 가능한 전력을 의미한다. 릴레이 노드가 사용 가능한 전력의 범위가 $0 \leq P_1 \leq P_t$ 이므로 릴레이 노드의 신뢰도는 $0 \leq \beta \leq 1$ 의 범위를 가진다. 릴레이 노드의 신뢰도가 최대 $\beta=1$ 인 경우는 릴레이 노드는 사용 가능한 최대 전력 P_t 를 사용하여 정보를 전달하고, 신뢰도가 $\beta=0$ 인 경우, 릴레이 노드는 정보를 전달하지 않는다.

기존 연구 [3-8]에서는 송신단에서 릴레이 노드의 신뢰도에 대한 정보를 완벽히 알고 있다고 가정하였다. 그러나 본 논문에서는 보다 현실적으로 송신단에서 릴레이 노드의 불완전한 신뢰도 정보를 가지고 있는 환경을 고려한다. 송신단에서 릴레이 노드의 완벽한 신뢰도의 값을 모르고, 신뢰도의 분포를 알고 있는 환경을 가정한다. 본 논문에서는 송신단에서 릴레이 노드의 불완전한 신뢰도 정보를 기반으로 정보 처리율을 최대화하는 정보 전송율을 결정하는 기법을 제안한다.

III. 불완전한 신뢰도 정보 기반의 협력통신 기법

릴레이를 이용한 협력통신 시스템에서 반이중 DF방식으로 정보를 전송하는 경우 정보 전송은 두 개의 페이즈(phase)를 통해 이루어진다. 첫 번째 페이즈에서 송신

단이 릴레이와 수신단에 정보를 전송하고, 두 번째 페이즈에서 릴레이가 수신단에 정보를 전달한다. 마지막으로 수신단에서는 첫 번째 페이즈에서 송신단으로부터 수신한 신호와 두 번째 페이즈에서 릴레이로부터 전달 받은 신호를 모두 이용하여 정보를 디코딩한다.

반이중 DF방식의 경우 수신단과 릴레이에서 모두 정보를 디코딩해야하므로 릴레이와 수신단에서 각각 달성 가능한 전송율의 최소값으로 다음과 같이 주어진다 [9].

$$R^{DF} = \frac{1}{2} \min [R^{(f)}, R^{(s)}] \quad (1)$$

수식 (1)에서 $R^{(f)}$ 와 $R^{(s)}$ 는 각각 릴레이와 수신단에서 달성 가능한 전송율을 의미한다. 첫 번째 페이즈에서 송신단에서 송신전력 P_0 를 사용하여 정보를 전송하면 릴레이에서 달성 가능한 전송율은 다음과 같이 얻어진다.

$$R^{(f)} = \log \left(1 + \frac{P_0 h_0}{N_0} \right) = \log(1 + \rho_0 h_0) \quad (2)$$

수식 (2)에서 $\rho_0 = P_0/N_0$ 는 송신단에서의 송신 신호 대잡음비를 의미한다. 두 번째 페이즈에서 릴레이는 수신한 정보를 디코딩 후 신뢰도 β 에 비례하여 전송전력을 결정하고 정보를 전달한다. 수신단에서는 송신단으로부터 수신한 신호와 릴레이로부터 전달 받은 신호를 모두 이용하여 정보를 디코딩한다. 따라서 최종 수신단에서 달성 가능한 전송율은 다음과 같이 얻어진다.

$$\begin{aligned} R^{(s)} &= \log \left(1 + \frac{P_0 g_0}{N_0} + \frac{P_1 g_1}{N_0} \right) \\ &= \log(1 + \rho_0 g_0 + \beta \rho_t g_1) \end{aligned} \quad (3)$$

수식 (3)에서 릴레이의 송신전력 P_1 은 신뢰도에 비례하여 $P_1 = \beta P_t$ 으로 결정되고, $\rho_t = P_t/N_0$ 는 릴레이에서의 송신 신호대잡음비를 의미한다. 본 논문에서는 송신단에서 릴레이의 정확한 신뢰도 정보 β 를 모르는 환경을 고려하기 때문에 송신단에서 실제 전송에 사용한 전송율 보다 수신단에서 달성 가능한 전송율이 더 낮은 경우 아웃티지가 발생한다. 다음과 같이 아웃티지(outage) 확률을 정의한다.

$$P_{out}(R_{tran}) = \Pr(R_{tran} > R^{DF}) \quad (4)$$

수식 (4)에서 R_{tran} 은 송신단에서 실제 정보 전송에 사용하는 정보 전송율을 의미한다. 수신단에서는 아웃티지가 발생하지 않은 경우에만 성공적으로 정보를 수신할 수 있기 때문에 아웃티지 확률과 정보 전송율을 고려한 최종 정보 처리율은 다음과 같이 결정된다 [10].

$$R(R_{tran}) = (1 - P_{out}(R_{tran})) \cdot R_{tran} \quad (5)$$

송신단에서 정확한 신뢰도 정보 β 를 알고 있는 경우 정보 전송율을 아웃티지가 발생하지 않고 최대 정보 처리율을 달성할 수 있도록 정보 전송율을 $R_{tran} = R^{DF}$ 로 결정할 수 있다. 그러나 정확한 β 를 모르는 경우에는 아웃티지와 정보 처리율을 모두 고려하여 적절한 정보 전송율을 선택해야 한다. 정보 전송율 R_{tran} 을 작으면 결정하는 경우 아웃티지 확률을 낮출 수 있지만 너무 낮은 전송율로 정보를 전송하여 전체 정보 처리율 $R(R_{tran})$ 이 낮아진다. 반면에 높은 정보 전송율로 정보를 보내면 아웃티지가 발생하는 확률이 증가한다. 따라서 본 논문에서는 송신단에서 정확한 신뢰도를 모르는 경우에 최대 정보 처리율을 달성할 수 있도록 다음수식 (6)과 같이 정보 전송율을 결정하는 문제를 다룬다.

$$\max_{R_{tran}} R(R_{tran}) \quad (6)$$

3.1. 불완전한 신뢰도 모델링

본 논문에서는 릴레이의 신뢰도 정보가 Gaussian 분포를 따르는 모델을 가정한다. Gaussian 분포의 평균과 분산은 $\bar{\beta}$ 와 σ_β^2 를 가진다. 신뢰도 β 는 $0 \leq \beta \leq 1$ 범위 안에서만 존재하므로 다음과 같은 확률밀도함수(probability density function, PDF)를 가지는 truncated Gaussian 분포로 모델링될 수 있다 [11].

$$f_\beta(x) = \begin{cases} \frac{2}{K} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_\beta^2}} \exp\left(-\frac{(x-\bar{\beta})^2}{2\sigma_\beta^2}\right), & \text{if } 0 \leq \beta \leq 1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

수식 (7)에서 K 는 다음과 같이 주어지고, 오차함수는

$$erf(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \text{로 정의된다.}$$

$$K = erf\left(\frac{\bar{\beta}}{\sqrt{2\sigma_\beta^2}}\right) + erf\left(\frac{1-\bar{\beta}}{\sqrt{2\sigma_\beta^2}}\right) \quad (8)$$

수식 (7)의 PDF를 이용하여 누적분포함수(Cumulated distribution function, CDF)를 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$F_\beta(x) = \begin{cases} 0, & \text{if } \beta < 0 \\ \frac{1}{K} \left\{ erf\left(\frac{x-\bar{\beta}}{\sqrt{2\sigma_\beta^2}}\right) + erf\left(\frac{\bar{\beta}}{\sqrt{2\sigma_\beta^2}}\right) \right\}, & \text{if } 0 \leq \beta \leq 1 \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

3.2. 불완전한 신뢰도 기반의 정보 전송율 최적화

본 절에서는 송신단에서 릴레이의 신뢰도 정보의 분포 CDF(또는 PDF)를 알고 있는 경우 수식 (6)의 최적화 문제에 주어진 것처럼 송신단에서 정보 처리율 $R(R_{tran})$ 을 최대화하도록 정보 전송율 R_{tran} 을 결정하는 기법을 제안한다. 먼저 수식 (1)과 (2)에서 정보전송율을 $R_{tran} > 1/2\log(1 + \rho_0 h_0)$ 이 되도록 결정하면 무조건 아웃티지가 발생하는 것을 알 수 있다. 따라서 정보전송율은 $0 \leq R_{tran} \leq 1/2\log(1 + \rho_0 h_0)$ 의 범위를 가진다. 그리고 이 범위 안에서는 $R^{DF} = 1/2R^{(f)}$ 인 경우에는 항상 아웃티지가 발생하지 않게 된다. 따라서 정보전송율을 결정하는 문제에서는 $R^{DF} = 1/2R^{(s)}$ 인 경우만을 고려한다. 수식 (4)에 $R^{DF} = 1/2R^{(s)}$ 를 대입하여 아웃티지 확률을 다음과 같이 신뢰도 β 의 CDF 형태로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{out}(R_{tran}) &= \Pr\left(R_{tran} > \frac{1}{2}R^{(s)}\right) \\ &= \Pr\left(\frac{2^{2R_{tran}} - \rho_0 g_0 - 1}{\rho_t g_1} < \beta\right) \\ &= F_\beta\left(\frac{2^{2R_{tran}} - \rho_0 g_0 - 1}{\rho_t g_1}\right) \end{aligned} \quad (10)$$

수식 (9)와 (10)을 이용하여 정보 전송율 최적화 문제는 다음과 같이 얻어진다.

$$\max_{R_{tran}} \left\{ 1 - F_{\beta} \left(\frac{2^{2R_{tran}} - \rho_0 g_0 - 1}{\rho_t g_1} \right) \right\} R_{tran} \quad (11)$$

subject to $0 \leq R_{tran} \leq \frac{1}{2} \log(1 + \rho_0 h_0)$

수식 (11)에서 $F_{\beta} \left(\frac{2^{2R_{tran}} - \rho_0 g_0 - 1}{\rho_t g_1} \right)$ 은 다음과 같이 주어진다.

$$F_{\beta} \left(\frac{2^{2R_{tran}} - \rho_0 g_0 - 1}{\rho_t g_1} \right) = \frac{1}{K} \left\{ \operatorname{erf} \left(\frac{2^{2R_{tran}} - \rho_0 g_0 - 1}{\rho_t g_1 \sqrt{2\sigma_{\beta}^2}} - \frac{\bar{\beta}}{\sqrt{2\sigma_{\beta}^2}} \right) + \operatorname{erf} \left(\frac{\bar{\beta}}{\sqrt{2\sigma_{\beta}^2}} \right) \right\} \quad (12)$$

수식 (11)에서 얻어진 최적화 문제는 R_{tran} 이 제한된 $0 \leq R_{tran} \leq \frac{1}{2} \log(1 + \rho_0 h_0)$ 범위에서만 값을 가지기 때문에 bisection 기법 같은 1차원 탐색 기법을 적용하여 최적의 R_{tran} 을 구할 수 있다.

IV. 시뮬레이션 결과

본 장에서는 신뢰도 기반의 협력통신 환경에서 제안한 방식의 성능을 분석하기 위한 시뮬레이션을 수행하였다. 실제 릴레이를 이용한 협력통신은 직접 채널의 상태가 열악하여 직접 통신이 어려운 환경에서 통신의 질을 향상시키기 위한 기법이므로, 본 시뮬레이션에서는 송신단과 수신단 사이의 직접 채널의 상태가 열악한 환경을 고려하였다. 따라서 송신단과 수신단 사이의 직접 채널의 평균 채널 이득은 약한 채널을 고려하여 $\sigma_{g_0}^2 = -10\text{dB}$ 로 설정하였고, 송신단-릴레이 그리고 릴레이-수신단 사이의 평균 채널 이득은 직접채널 상태보다 우수한 $\sigma_{h_0}^2 = \sigma_{g_1}^2 = 0\text{dB}$ 로 설정하였다. 또한 릴레이의 신뢰도 β 는 주어진 평균값과 $\sigma_{\beta}^2 = 0.01$ 으로 수식 (7)의 확률 분포를 통해 생성되었다. 본 시뮬레이션에서는 신뢰도가 높은 경우 ($\bar{\beta} = 0.7$)와 낮은 경우 ($\bar{\beta} = 0.3$) 두 경우를 모두 고려하였다. 본 장에서 공통적으로 사용된 시뮬레이션 파라미터는 표 1에 정리되어있다.

Table. 1 Simulation Configuration

Tx-Rx channel gain	$\sigma_{g_0}^2 = -10\text{dB}$
Tx-Relay channel gain	$\sigma_{h_0}^2 = 0\text{dB}$
Relay-Rx channel gain	$\sigma_{g_1}^2 = 0\text{dB}$
Variance of trust degree	$\sigma_{\beta}^2 = 0.01$

본 시뮬레이션에서는 제안된 기법의 성능을 평가하기 위해 송신단에서 완벽한 신뢰도 정보를 알고 있는 경우(cooperative transmission with perfect trust degree)와 송신단에서 신뢰도 정보가 없어 직접 통신을 하는 기법(direct transmission)과 비교하였다 [12].

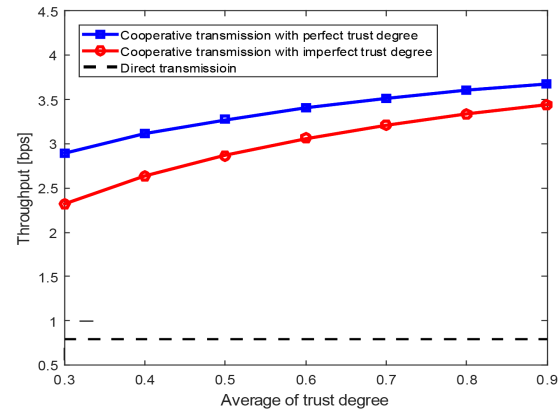


Fig. 2 Achievable rate versus average of trust degree ($SNR = 20\text{dB}$)

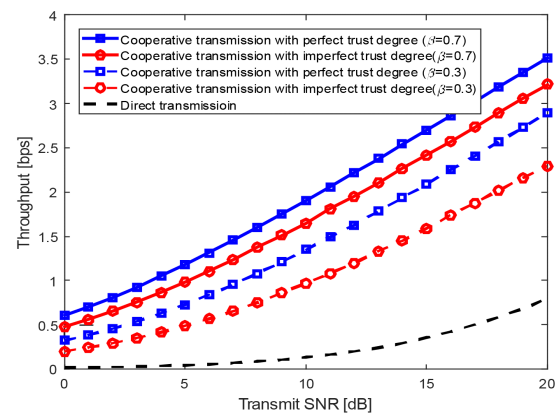


Fig. 3 Achievable rate versus transmit SNR ($\bar{\beta} = 0.3, 0.7$)

그림 2는 신뢰도의 평균값에 따른 제안된 기법과 비교 기법들의 정보 처리율을 보여준다. 모든 기법에서 송신 신호대 잡음비는 $SNR = 20dB$ 이다. 정보 처리율은 생성된 채널 환경에서 10^4 의 신뢰도를 생성하여 그 평균값으로 얻어진다. 먼저 완벽한 신뢰도를 알고 있는 경우에는 언제나 아웃티지가 발생하지 않는 최대의 정보 전송율로 정보를 전송하기 때문에 가장 좋은 성능을 나타낸다. 반면에 직접통신 기법에서는 릴레이를 사용하지 않기 때문에 신뢰도의 평균값과 상관없이 일정하게 낮은 성능을 나타낸다. 제안된 기법에서는 신뢰도의 확률 분포 정보를 이용하여 최적의 정보 전송율을 결정하여 아웃티지를 최소화하면서 효율적으로 정보를 전송한다. 제안된 기법은 직접통신 기법보다 신뢰도가 낮은 경우 ($\bar{\beta}=0.3$) 약 3배 그리고 신뢰도가 높은 경우 ($\bar{\beta} \geq 0.7$) 4배 이상 뛰어난 성능을 나타낸다. 또한 신뢰도 정보를 완벽히 알고 있는 경우와 비교하여 신뢰도가 낮은 경우 ($\bar{\beta}=0.3$) 약 20% 성능의 저하가 나타나지만, 신뢰도의 평균이 높을수록 그 차이가 줄어든다.

그림 3은 송신 신호대잡음비에 따른 전송 기법들의 정보 처리율을 보여준다. 신뢰도의 평균이 $\bar{\beta}=0.3$ 과 $\bar{\beta}=0.7$ 인 두 가지 경우를 고려한다. 먼저 두 가지 경우 모두 그림 2의 결과와 같이 제안된 기법의 성능이 직접통신 기법보다 $SNR = 10dB$ 기준으로 5배 이상의 우수한 성능을 나타내고, 완벽한 신뢰도 정보를 가지고 있는 경우와 비교하여 높은 신뢰도의 경우 약 10%, 낮은 신뢰도의 경우 약 25%의 성능 열화를 나타낸다. 또한 $\bar{\beta}=0.3$ 과 $\bar{\beta}=0.7$ 의 두 가지 경우를 비교하면 신뢰도의 평균값이 더 높은 경우, 제안된 기법과 완벽한 신뢰도 정보를 가지고 있는 경우의 성능 차이가 작다는 것을 볼 수 있다. 즉 릴레이의 신뢰도가 높아 평균적으로 큰 전력을 사용해서 협력하는 경우에 신뢰도의 분포정보를 이용하여 정보를 보다 효율적으로 전송할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 송신단에서 릴레이의 불완전한 신뢰도 정보를 가지고 있는 환경에서 정보 처리율을 최대화하는 전송 기법을 제안하였다. 먼저 릴레이의 신뢰도 정보를 truncated Gaussian 분포로 모델링하고, 송신단에

서 신뢰도의 확률적인 분포에 대한 정보를 이용하여 정보 처리율을 최대화하는 정보 전송율을 결정한다. 시뮬레이션을 통하여 신뢰도의 확률적인 분포를 이용하여 신뢰도 정보를 이용하지 않는 기법 대비 정보 처리율을 3배 이상 높일 수 있고, 완벽한 신뢰도 정보를 알고 있는 경우에 비해 약 10~25% 성능 저하만을 나타내는 것을 확인하였다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the project for Young researcher group, The Institute of Marine Industry, Gyeongsang National University, 2017.

References

- [1] Y. Li, T. Wu, P. Hui, D. Jin, and S. Chen, "Social-aware D2D communications: qualitative insight and quantitative analysis," *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, no. 6, pp. 150-158, Jun. 2014.
- [2] J. P. Koon, "Modelling trust in random wireless networks," in *Proceeding of IEEE International Symposium on Wireless Communications Systems*, Barcelona, Spain, pp. 976-981, 2014.
- [3] X. Gong, X. Chen, X. Gong, X. Chen, and J. Zhang, "Social group utility maximization game with applications in mobile social networks," in *Proceedings of Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers*, Pacific Grove, CA., pp. 1496-1500, 2013.
- [4] J. Ryu, J. Lee, and T. Quek, "Confidential cooperative communication with trust degree of potential eavesdroppers," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 15 no. 6, pp. 3823-3836, Jun. 2016.
- [5] J. Ryu, J. Lee, and T. Quek, "Trust degree based beamforming for MISO cooperative communication system," *IEEE Communications Letters*, vol. 19, no. 11, pp. 1957-1960, Nov. 2015.
- [6] M. Vaezi, H. Inaltekin, W. Shin, H. V. Poor, and J. Zhang, "Social-aware user cooperation in full-duplex and half-duplex multi-antenna systems," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 66, no. 8, pp. 3309-3321, Aug. 2018.
- [7] S. Yang, "Design and implementation of cooperative context awareness inference system reflecting dynamic weight

- change,” *Journal of Security Engineering*, vol. 12, no. 1, pp. 75-84, Jan. 2015.
- [8] M. Zhang, X. Chen, and J. Zhang, “Social-aware relay selection for cooperative networking: An optimal stopping approach,” in *Proceedings of IEEE International Conference on Communication*, Sydney, Australia, 2014.
- [9] J. N. Laneman, D. N. C. Tse, and G. W. Wornell, “Cooperative diversity in wireless networks: Efficient protocols and outage behavior,” *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 50, no. 12, pp. 3062-3080, Dec. 2004.
- [10] J. -P. Hong, W. Choi, and B. D. Rao, “Sparsity controlled random multiple access with compressed sensing,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 14, no. 2, pp. 998-1010, Feb. 2015.
- [11] S. Kotz, N. Balakrishnan, and N. L. Johnson, *Continuous Multivariate Distributions*, vol. 1, New York, NY: Wiley, 2000.
- [12] J. Hong, “Distributed file placement and coverage expansion techniques for network throughput enhancement in small-cell network,” *Journal of The Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 22, no. 1, pp. 183-189, Jan. 2018.



류종열(Jong Yeol Ryu)

2008년 2월 충남대학교 전기정보통신공학부 학사
 2010년 2월 KAIST 전기및전자공학과 석사
 2014년 2월 KAIST 전기및전자공학과 박사
 2014년 4월~2016년 8월 싱가포르기술디자인대학교 박사후 연구원
 2016년 9월~국립경상대학교 정보통신공학과 조교수
 ※관심분야: 보안 통신 시스템, 차세대 이동통신 시스템, 사용자 릴레이 통신 등



홍준표(Jun-Pyo Hong)

2014년 KAIST 전기및전자공학과 박사
 2014년~2015년 KAIST 전자정보연구소 연수연구원
 2015년 ETRI 통신인터넷연구소 연구원
 2015년~현재 국립부경대학교 정보통신공학과 조교수
 ※관심분야: 정보통신 보안, 차세대 이동통신 시스템, wireless caching networks 등