

D2D 기반 PTT 서비스에서 통화시간을 최대화 하기 위한 릴레이 선택 방안

박재현, 김덕경*

인하대학교 정보통신공학과

pakjjae@gmail.com, *kdk@inha.ac.kr

Relay selection method to maximize talk time in D2D based PTT service

Park Jae Hyun, Duk Kyung Kim*

Department of Information and Communication Engineering, Inha University

요 약

본 논문은 재난 상황에서 D2D(Device-to-Device) 기반의 PTT(Push-to-Talk) 서비스에서 릴레이 단말 선택 방안에 따른 서비스 영역의 크기와 통화시간과의 관계를 분석하고 이를 통해 통화시간을 최대화 하기 위한 릴레이 단말의 선택 방안에 대해서 제시한다.

1. 서 론

기지국이 제대로 동작 하지 않는 재난환경에서의 통신 방법으로 D2D 간 직접 통신이 고려된다. 특히 재난상황에서 구조자에게 필요한 Emergency 메시지를 다수의 사용자에게 전달하는 PTT 서비스(MCVoice, MCVideo)에서 그룹 내의 모든 단말이 sender 가 송신하는 신호를 수신하는 것이 중요하다. PTT 서비스를 위해서 D2D 그룹통신이 고려되며, 그룹 내 모든 단말에 신호를 전달하기 위한 가장 간단한 방법으로 blind flooding 방식을 고려한다. 이는 sender 가 특정 메시지를 발신할 때 broadcast 방식으로 destination 을 지정하지 않고 근처에 있는 모든 단말에 전송하고 해당 메시지를 받은 수신자도 해당 메시지를 주변의 모든 단말에게 재전송하여 모든 단말에 전달하는 방식이다. 이처럼 blind flooding 방식은 PTT 서비스에서 모든 단말에게 메시지를 전달하는 가장 간단한 방식이지만 불필요한 재전송 때문에 중복 패킷, 패킷 충돌 등에 의한 불필요한 에너지 낭비를 초래한다[1].

이러한 불필요한 재전송을 줄이기 위해서 수신 단말이 가지고 있거나 측정가능한 정보를 이용하여 재전송 여부를 결정하는 heuristic 기반의 flooding 알고리즘들이 연구되었다[2]. heuristic 기반 알고리즘은 크게 확률 기반과 영역 기반으로 구분된다. 먼저, 확률 기반의 경우, 수신 단말이 기준 확률 P 에 기반하여 재전송을 결정하는 probabilistic 방식과 각 수신 단말이 일정 시간동안 중복하여 수신한 broadcast 패킷 수를 count 하여 threshold 값보다 작을 때만 재전송하는 counter 기반 방식이 있다. 이러한 방식들은 수신 단말이 자신이 가지고 있는 정보를 가지고 재전송 여부를 결정하기 때문에 간단하게 적용가능한 알고리즘이지만 기준 확률과 threshold 값의 결정이 성능에 중요한 요소로 작용한다. 그리고 영역 기반의 경우, 각 단말이 이웃 단말과의 거리 정보를 이용하여 수신한 broadcast 패킷을 수신한 단말사이의 거리가 threshold 값 이상일 때만 재전송하는 거리 기반 방식과 모든 단말의 위치정보를 이용하여 자신이 재전송하였을 때 새로 커버되는 영역의 크기가 threshold 값 이상이 되었을 때만 재전송하는 위치 기반 방식이 있다. 이러한 방식은 정확한 위치나 거리정보가 필요하기 때문에 위치정보가 정확하지 않는 실내 나 재난환경에서는 동작하지 않을 수 있다.

한편, topology 기반의 flooding 알고리즘들도 연구되었다[1, 2]. topology 기반 알고리즘은 크게 neighbor topology 기반과 클러스터 기반으로 구분된다. 먼저, neighbor topology 기반의 경우, 1 hop 거리의 이웃 단말의 리스트를 broadcast 패킷에 포함시켜 전송하고, 이를 수신한 이웃 단말이 자신의 이웃 단말의 list 와 비교하여 재전송이 필요한 단말이 있는 경우에만 재전송을 하는 Self-Pruning 과 송신 단말이 자신과 2-hop 거리 내 이웃 단말 리스트와 이웃 단말이 전송한 1-hop 거리 내 이웃 단말 리스트를 이용하여 재전송 단말을 결정하는 Dominant-Pruning 방식이 가장 대표적이다. 그리고 클러스터 기반의 경우, 그룹 내의 모든 단말을 클러스터 단위로 구분하고, 메시지를 클러스터 멤버에게 전달하는 클러스터 헤드와 클러스터 간의 메시지를 전달하는 게이트웨이 멤버를 통해서 메시지를 모든 단말에게 전달한다. 이때 클러스터 멤버와 게이트웨이 멤버는 클러스터 헤드에 의해서 결정되기 때문에 클러스터 헤드를 결정하면 클러스터의 구성이 결정된다.

대표적인 클러스터 헤드의 결정 방식들은 다음과 같다. 단말에 임의로 할당된 ID 를 공유 및 비교하여 통신거리 내에서 가장 작은 ID 를 가진 단말이 클러스터 헤드 되는 Lowest ID 방식[3]. 통신 거리 내에 이웃 단말의 수를 공유 및 비교하여 가장 많은 이웃 단말이 클러스터 헤드 되는 Highest Connectivity 방식[4]. 각 단말이 이웃 단말과의 상대속도 차이를 공유 및 비교하여 가장 작은 상대속도 차이를 갖는 단말이 클러스터 헤드 되는 relative mobility 방식[5]이 있다. 이러한 topology 기반의 방식들은 heuristic 기반의 방식들과는 다르게 이웃 단말과의 정보교환이나 측정신호의 전송을 통해서 얻은 정보를 이용하여 재전송 여부를 선택함으로써 그룹 내 모든 단말이 sender 가 송신한 메시지를 수신하는 것을 보장할 수 있다. 하지만 이러한 추가적인 정보교환이나 측정신호의 전송은 signaling overhead 의 유발과 추가적인 에너지 소비를 야기하기 때문에 통화시간의 감소를 가지고 올 수 있다.

본 논문의 기여도는 다음과 같다.

- 본 논문에서는 각 단말이 가지고 있는 정보만을 이용하여 서비스의 outage 확률 조건을 만족하는 동시에 통화시간을 최대화하는 릴레이 선택 방안들을 제안하였다. 제안하는 방식에서는 이웃 단말과의 정보교환을 위한 추가적인 signaling 이 없고, 일부 단말만 재전송을 하기 때문에 불필요한 에너지 소비를 줄임으로써 통화시간을 높일 수 있게 될 것이다.
- 제안된 방식들과 기존의 blind flood 방식을 통화시간 및 서비스 영역의 크기 측면에서 비교 분석하였다. 해당 분석을 통해서 각 방식의 통화시간과 서비스 영역의 크기의 관계를 분석할 수 있었다.

II. 본론

본 논문에서는 기지국 도움없이, PTT 서비스를 제공하는 D2D 그룹통신 네트워크를 고려한다. 네트워크의 서비스 영역은 반지름이 R_m 이고, 서비스 영역 내에는 D2D 단말 M 개가 랜덤하게 분포되어 있다. D2D 단말 중 하나의 단말이 sender 이고, 나머지 $M-1$ 개의 단말이 destination 인 상황을 고려한다. 이때, 서비스 영역 내의 $M-1$ 개 단말 중에서 수신 SINR 이 threshold 값보다 작은 단말이 하나라도 발생하면, 해당 broadcast 전송은 outage가 된다. 이때, outage 확률이 5% 미만일 때 서비스가 가능하다고 가정한다. D2D 그룹통신의 서비스 영역의 크기가 1 hop 통신으로 서비스가 불가능하여 복호 후 전달 릴레이 통신(decode-and-forward, DF)을 하는 2 hop 통신 상황을 고려한다. 이때, destination 단말들은 sender 가 전송한 신호와 릴레이 단말들이 전송한 신호를 combine 할 수 있다고 가정한다. 이에 릴레이 단말의 수가 많을수록 combined SINR 이 증가하여 서비스가 가능한 영역이 증가한다. 반면, 릴레이로 동작하는 단말은 다른 단말들보다 에너지 소비량이 커서 에너지 고갈이 빨라진다. 네트워크 내의 단말 중에서 에너지가 고갈된 단말이 최초로 발생될 때까지 걸린 시간을 통화시간이라고 한다면, 릴레이로 동작하는 단말이 많을수록 통화시간이 짧아진다. 특히, 특정 단말이 릴레이로 전송하는 빈도수가 많다면, 통화시간은 급격히 짧아질 것으로 예상된다. 이에 본 논문에서는 주어진 서비스 영역에서 outage probability threshold 를 만족하면서 통화시간을 최대화 할 수 있는 릴레이 선택 방안을 제시하고자 한다.

1) 송수신 에너지 소비량

통화시간을 계산하기 위해서는 먼저 각 단말의 송수신의 에너지 소비량의 추정이 필요하며, 이는 다음의 전력 소비 모델을 통해서 가능하다.

표 1. 단말의 전력 소비 모델 [6]

| Part | Polynomial | Comment |
|-----------------|-------------------------------|-------------------|
| $P_{TxRF}(P_t)$ | $853, 29.9, 25.1$ | system, Tx, Rx |
| $P_{RxRF}(P_r)$ | $5.9P_r^2 - 118S_{Tx} + 1195$ | $P_r > 11.4dBm$ |
| $P_{TxBB}(R)$ | $-0.11P_r + 7.86$ | $P_r > -52.5dBm$ |
| $P_{RxBB}(R)$ | 0.62 | - |
| $P_{TxBB}(R)$ | $0.97R + 8.16$ | $R = 0.01256Mbps$ |

본 논문에서는 재난상황에서의 MCVoice 서비스를 고려하기 때문에 모든 단말의 송신전력이 23dBm, 데이터 전송률은 12.56kbps로 가정한다. 표 1의 전력 소비 모델을 통해서, 송신 소비 전력은 약 2.49W, 수신 소비 전력은 약 0.908W임을 추정할 수 있다. 이때, 송수신 시간을 10 초로 가정하면, 송수신시 소비되는 에너지량은 각각 24.86J, 9.08J 이 된다.

2) 릴레이 전송 동작과 릴레이 단말 선택 방안들

본 논문에서는 모든 D2D 단말은 round 마다 한번씩 sender 로 동작하며, sender 는 자신의 신호를 broadcast 방식으로 그룹 내 단말들에게 전송한다고 가정한다. 이때, 각 round 는 2 개의 phase 로 이루어져 있으며, phase1 에서는 sender 가 그룹 내의 D2D 단말들에게 자신의 신호를 전송하고, phase2 에서는 릴레이 단말이 sender 로부터 수신한 신호를 broadcast 방식으로 재전송한다. 본 논문에서는 다음의 릴레이 단말 선택 방안 3 가지를 비교한다.

- **A1:** sender 를 제외한 모든 단말이 릴레이 후보군이 되고, 이중 복호(decode)에 성공한 단말이 릴레이 단말로 동작하는 방안
- **A2:** phase 1 에서 수신 SINR 이 $[Y_{min} \sim Y_{max}]$ 에 속하는 모든 단말이 릴레이 후보군이 되고, 이중 복호에 성공한 단말이 릴레이 단말로 동작하는 방안
- **A3:** phase 1 에서 복호에 성공한 단말들 중에서 수신 SINR 과 에너지 잔량에 따라 확률적으로 릴레이 단말로 동작하는 방안

A1 은 기존의 blind flooding 방식이고, A2 와 A3 는 제안하는 릴레이 단말 선택방안이다. A2 는 heuristic 기반의 flooding 방식으로 주어진 서비스 영역과 단말 수에 적합한 수신 SINR 의 범위의 결정이 필요하다. 반면에, A3 방식은 sender 와의 거리가 멀고 복호에 실패한 단말과의 거리는 가까운 단말이 릴레이 단말로 동작할 확률이 높아지도록 낮은 수신 SNR 을 갖는 단말이 릴레이로 동작할 확률이 높게 설정한다. 이를 통해서 sender 와의 거리가 가까운 단말들의 재전송을 줄이는 동시에 서비스 영역의 크기는 증가시키는 효과를 기대할 수 있다. 또한, 에너지 잔량이 낮은 단말이 낮은 확률로 릴레이 단말로 동작하도록 확률을 결정하여 특정 단말이 계속해서 릴레이 단말로 동작하여 통화시간을 줄이는 것을 막는 효과도 기대할 수 있다.

3) 시뮬레이션 파라미터

본 논문에서는 3GPP 표준이 반영된 시뮬레이터를 구현하여 A1, A2, A3 방안의 성능을 분석하였다. 시뮬레이션에 사용된 파라미터는 표 2 에 제시되었다.

표 2 시뮬레이션 파라미터

| Parameters | Value |
|--|---------------------------------|
| Data Rate | 12.65 kbps (VoIP) |
| Transmit Power (P_{Tx}) | 23 dBm |
| Initial Energy (E_0) | 1.6kJ |
| Time Duration of a Round | 20s(Phase1 : 10s, Phase2 : 10s) |
| Dissipated Energy (E_{Tx}, E_{Rx}) | 24.86J, 9.08J |
| Noise Power Density (N_0) | -174dBm/Hz |
| Pathloss | $28 + 40 \log_{10}(d[m])$ |
| Fast Fading | Rayleigh |
| Outage Probability Threshold | 0.05 |

4) 시뮬레이션 결과

다음의 시뮬레이션 결과는 서비스 영역 내의 단말 수가 50 이고, A2 의 릴레이 후보군의 SNR 범위가 $[10 \sim 15]dB$, 그리고 A3 의 Y_{max} 가 20dB 일 때의 서비스 영역의 크기에 따른 통화시간(Lifetime) 및 Outage 확률 비교 결과이다.

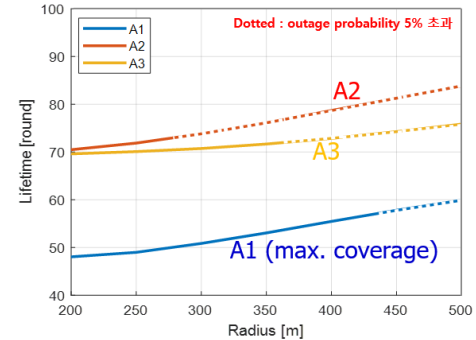


그림 1 서비스 영역 크기에 따른 통화시간 및 Outage 확률 비교

해당 결과에서 점선은 outage probability threshold 인 5%를 만족하지 못할 때의 통화시간을 나타내고 직선은 만족할 때를 나타낸다. 그러므로 각 방식의 최대 서비스 가능 영역은 직선이 끝나는 지점의 반지름을 갖고, A1 은 430m, A2 는 275 m, A3 는 360m 가 된다. 하지만 서비스 가능 영역의 크기가 가장 큰 A1 의 경우에는 릴레이로 동작하는 단말이 많아서 통화시간이 57 round 로 가장 짧고, 서비스 영역이 가장 작은 A2 의 경우는 73 round 로 통화시간이 가장 길다. 그리고 A3 의 통화시간은 72 round 으로부터 A2 에 근접한 것을 확인하였다. 3 가지 방식을 비교하였을 때, 통화시간이 긴 방식은 상대적으로 서비스 가능영역이 작고, 서비스 영역이 큰 방식은 통화시간이 짧았다. 이를 통해서, 통화시간과 서비스 영역의 크기는 tradeoff 관계를 갖는 것을 확인할 수 있다.

III. 결론

제안하는 A3 방식이 통화시간과 서비스 영역의 크기 측면에서 동시에 좋은 성능을 갖기 때문에 서비스 영역의 크기만 큰 A1 와 통화시간만 긴 A2 보다는 재난환경에 더 적합한 것을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2020 년도 정부(과학기술 정보통신부)의 재원으로 정보통신 기획평가원의 지원(2017-0-00316, 차세대 공공안전 통신 원천기술 연구)을 받아 수행된 연구임

참 고 문 헌

- [1] B.-J. Chang, Y.-H. Liang, and Y.-D. Huang, "Efficient emergency forwarding to prevent message broadcasting storm in mobile society via Vehicle-to-X communications for 5G LTE-V," in Proc. Int. Comput. Symp. (ICS), pp.479-484, 2016.
- [2] S. Najafzadeh, N. Binti Ithnin and S. Abd Razak, "Broadcasting in Connected and Fragmented Vehicular Ad Hoc Networks," Int. J. of Veh. Tech., Hindawi Publishing Corporation, pp.1-15, 2014.
- [3] A. Ephremides, J. E. Wieselthier, and D. J. Baker. "A design concept for reliable mobile radio networks with frequency hopping signaling," Proceedings of the IEEE, vol.75, no.1, pp. 56-73, 1987.
- [4] Y. Chen, M. Fang, S. Shi, and W. Guo. " Distributed multi-hop clustering algorithm for VANETs based on neighborhood follow," EURASIP J. on Wireless Comm. and Net., no.98, 2015.
- [5] S. Ucar, S. C. Ergen, and O. Ozkasap, "Multihop-cluster-based IEEE 802.11p and LTE hybrid architecture for VANET safety message dissemination," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 65, no. 4, pp. 2621-2636, Apr. 2016.
- [6] L. Shan, O. Zhao, K. Temma, K. Hattori, F. Kojima, and F. Adachi, "Evaluation of machine learnable bandwidth allocation strategy for user cooperative traffic forwarding," IEEE Access, vol. 7, pp. 85213-85225, 2019.