

미래 전술 네트워크를 위한 연속중계네트워크 연구 동향

김태욱¹, 김유빈¹, 이예린¹, 정방철², 이호원¹
아주대학교¹, 충남대학교²{ktw98, youbin1323, yerin1205, howon}@ajou.ac.kr¹, bcjung@cnu.ac.kr²

Research Trends on Barrage Relay Networks for Future Tactical Environments

Taewook Kim¹, Youbin Kim¹, Yerin Lee¹, Bang Chul Jung², Howon Lee¹Ajou University¹, Chungnam National University²

요약

전술 MANET(mobile ad-hoc network)을 위해 제안된 연속중계네트워크(barrage relay network, BRN)는 TDMA(time division multiple access)와 자율협력통신체계를 기반으로 플러딩에서 발생하는 브로드캐스트 스톰 문제(broadcast storm problem, BSP)를 해결하고 미래 전술통신 네트워크를 위한 새로운 통신 환경을 제공한다. 본 논문에서는 이와 관련하여, BRN의 주요 요소 기술과 연구 동향을 소개한다.

I. 서론

최근 기존 전술 MANET(mobile ad-hoc network)을 위해 연속중계네트워크(barrage relay network, BRN)가 제안되었다 [1-4]. 이는 TDMA(time division multiple access)와 자율협력통신체계를 기반으로 플러딩에서 발생하는 브로드캐스트 스톰 문제(broadcast storm problem, BSP)를 완화한다. 또한, 라우팅 테이블의 유지 및 관리 필요성이 없어 낮은 전송 오버헤드를 통해 빠르고 강건한 네트워크 구축이 가능하다. 본 논문에서는 미래 전술 환경을 위한 핵심 기술 중 하나인 BRN의 주요 기술과 연구 동향을 조명한다.

II. 기존연구 조사 및 문제점 분석

II.1. 브로드캐스트 스톰 문제와 BRN의 프레임 구조

MANET과 같이 이동성을 가지는 네트워크에서는 동기화 가능성이 낮고 글로벌 네트워크 토폴로지 정보를 브로드캐스트 스케줄링에 활용하기 매우 어렵다. 따라서, 플러딩 방식에 기반한 브로드캐스트 방법이 사용된다. 하지만, 플러딩은 대량의 패킷 포워딩을 유발하여 인접 노드 간의 심한 경쟁 발생, 패킷 간 충돌을 야기하며, 이러한 문제들이 복합적으로 발생하는 현상을 BSP라 부른다 [5].

BRN에서 1개의 TDMA 프레임은 M 개의 타임 슬롯(A, B, C, ...)으로 분할된다. 소스 노드는 첫 번째 TDMA 프레임의 타임 슬롯 A에서 1-홉 노드에게 패킷을 전송하며, 타임 슬롯 B에서 1-홉 노드들은 2-홉 노드들에게 동일한 패킷을 중계한다. 패킷이 소스 노드를 향해 다시 전파되는 것을 방지하기 위해 각 노드는 주어진 패킷 중계를 한 번만 수행한다. 또한, 1-홉 노드들은 두 번째 TDMA 프레임의 타임 슬롯 A에서 3-홉 노드들에게 패킷을 수신하지 않아 소스 노드는 2번째 패킷을 충돌 없이 전송 가능하다. 이를 위해서는 $M \geq 3$ 조건이 만족 되어야 한다. 또한, BRN의 노드는 협력적 전송을 수행함으로써 신뢰성 향상과 에너지 효율성 개선을 통해 재전송이나 중복 수신을 최소화한다. 이처럼, BRN은 TDMA와 자율협력통신체계를 기반으로 BSP를 효과적으로 회피할 수 있다.

II.2 BRN에서의 CBR 설정 기법

BRN은 통제된 중계 영역(controlled barrage region, CBR)을 설정하여 유니캐스트 전송 지원이 가능하고, CBR을 통해 노드 간 중계 영역을 제어하여 전체 네트워크의 용량을 향상시킬 수 있다. 구체적으로, CBR은 소스, 목적지, 중계, 버퍼 노드로 구성된다. 버퍼 노드는 외부에서 들어오는 패킷이 내부로 전송되지 않도록 하고, 내부의 패킷 또한, 외부로 전송되지 않게 하는 역할을 하여 CBR의 견고성 및 신뢰성을 높인다. 버퍼 노드는 RTS(request-to-send), CTS(clear-to-send) 메시지 교환을 통해 설정된다. 구체적으로, 소스 노드는 중계 노드를 통해 목적지 노드로 소스 노드 식별자, 목적지 노드 식별자, RTS 홉 카운터를 포함하여 RTS를 송신한다. 중계 노드들은 RTS를 수신하고 홉 카운터를 증가시키며 중계하고, 목적지 노드 도착 시 목적지 노드는 소스, 목적지 노드의 식별자, CTS 홉 카운터, 최소 홉 거리를 포함하여 CTS를 송신한다. 이때 각 노드들은 최단 협력 경로 길이(S)를 알 수 있게 되고, RTS 메시지를 수신한 노드는 소스로부터 자신의 홉 수(A), 목적지로부터 자신의 홉 수(B)를 계산하여 $A+B \leq N$ 일 경우엔 중계 노드로 선정되어 CTS 메시지를 송신하고, $A+B > N$ 을 만족하고, 중계 노드로부터 1-홉 노드들은 버퍼 노드로 선정되어 CTS 메시지를 송신하지 않는다.

II.3 BRN 관련 기존연구 분석

[3]에서는 BRN을 위한 정밀한 시간 동기화 기법을 제안하였다. 구체

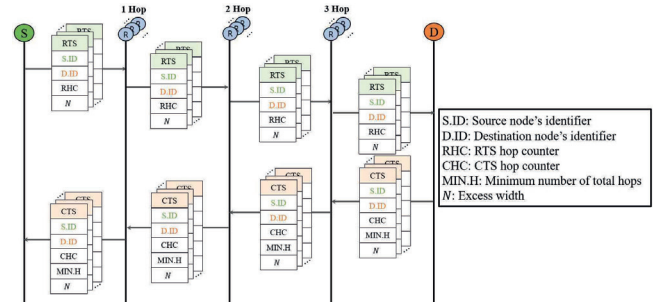


그림 1. BRN에서의 CBR 설정 과정

적으로 협력 전송 기반 홉 카운팅, 협력 네트워크 시간 기준(network time reference, NTR) 노드 선택, 동기화 및 데이터 전송의 세 단계를 거쳐 시간 동기화를 진행한다. 협력 전송 기반 홉 카운팅 단계는 BRN 내에 존재하는 각 노드들이 모든 노드들의 UID(user identifier)와 홉 카운터 및 1-홉 거리의 이웃 노드의 수를 파악하기 위한 단계이고, 협력 NTR 노드 선택 단계에서는 각 노드들이 가지고 있는 자신의 UID, 최대 홉 수, network degree 정보를 전송하여 BRN 내의 모든 노드들과 공유한 후, 최대 홉 수가 가장 적은 노드를 선정한다. 동기화 및 데이터 전송 단계에서는 NTR 노드를 기준으로 네트워크의 시간을 동기화하고 데이터를 전송한다. [3]에서는 시뮬레이션을 통해 제안된 시간 동기화 알고리즘이 다른 벤치마크 기법에 비해 평균 시간 오차가 작음을 검증하였다.

BRN의 기존 PR(phase rotation)기반 협력 방식은 공간 다이버시티 이득을 얻기가 어렵다. 따라서, [4]에서는 BRN에서 공간 다이버시티 이득을 얻기 위해 FD-STBC(fully distributed-space-time block code)를 제안하였다. 각 협력 노드는 패킷을 미리 정의된 STBC 행렬에 매핑한 후 동일한 분포에서 독립적이고 랜덤하게 무작위 벡터와 선형 조합 후 전송한다. 4개의 노드로 구성된 하나의 CBR에서 시뮬레이션을 통해 제안 방안이 PR 기반 협력 방식보다 에너지 효율성, 신뢰성에서 우수한 성능을 보이는 것을 검증하였다.

III. 결론

본 논문에서는 미래 전술 네트워크의 핵심 중 하나인 BRN에 대해서 살펴 보았다. BRN TDMA 프레임 구조, BRN의 CBR 설정 방법을 다루었고, BRN을 위한 정밀한 시간 동기화 기법, 공간 다이버시티 활용 기법을 소개하였다. BRN은 향후 전술 통신 네트워크에서 강건하고 높은 데이터 전송률을 갖는 전술통신 환경 조성에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 BK21 4단계 프로그램 지원(NRF5199991514504, 50%)과 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(No. 2022R1A2C1010602, 50%)을 받아 수행된 연구임.

참고 문헌

- [1] <https://www.trellisware.com/advanced-capabilities/barrage-relay/>
- [2] Hayoung Seong et al., "FiFo: Fishbone Forwarding in Massive IoT Networks," IEEE Internet of Things Journal, vol. 10, no. 5, pp. 4339-4352, Mar. 2023.
- [3] W. Son, et al., "A Time Synchronization Protocol for Barrage Relay Networks," Sensors, 2023, 23, 2447.
- [4] K.-H. Lee et al., "Distributed Space-Time Block Coding for Barrage Relay Networks," MILCOM 2023 - 2023 IEEE Military Communications Conference (MILCOM), Boston, MA, USA, 2023, pp. 292-297.
- [5] Min Sheng et al., "Relative degree adaptive flooding broadcast algorithm for ad hoc networks," in IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 51, no. 2, pp. 216-222, June. 2005.