

전술 네트워크에서 QoS 보장을 위한 TSCH 분산 스케줄링 기법

위광진^o

박형석

박경준

대구경북과학기술원 정보통신융합전공

TSCH scheduling method for QoS guarantee in tactical network

Gwangjin Wi^o

Hyung-Seok Park

Kyung-Joon Park

Dept. of Information and Communication Engineering, DGIST

{wgj2050, hyungseok, kjp}@dgist.ac.kr

요 약

전술 네트워크에서는 임무 성공을 위해 전술 트래픽의 QoS 요구사항을 보장해주는 것이 매우 중요하다. 본 논문에서는 여러 종류의 트래픽을 발생시키는 전술 노드의 QoS 를 만족시키기 위해 TSCH 프로토콜에 기반한 분산 스케줄링 기법을 제안한다. 전술 트래픽의 QoS 요구사항을 만족시키기 위해 슬롯 프레임 내 많은 슬롯을 할당하는 것과 그에 따른 에너지 소모에 대한 trade-off 가 존재한다. 이 문제를 해결하기 위해 강화학습 기반의 분산 스케줄링 기법을 제안한다. Q-learning 을 사용하여 전술 트래픽의 QoS 요구사항을 보장해주고 전술 노드의 에너지 소모를 최소화하는 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘의 우수성을 입증하기 위해 기존의 알고리즘과 비교하는 시뮬레이션을 수행했다. 제안하는 알고리즘이 높은 QoS 보장률과 에너지 효율성을 제공한다.

1. 서론

전술 네트워크에서 QoS 요구사항은 크게 2 가지로 신뢰성 보장, 저 지연 전송이 있다. 신뢰성 보장은 전술 트래픽의 손실이 발생되지 않은 것이 중요하기 때문에 TDMA, TSCH[1] 등의 비경쟁 기반 MAC 프로토콜을 적용하는 것이 매우 유리하다. 저 지연 전송은 전술 데이터의 임무 중요도에 따라서 지연시간 요구사항이 다르기 때문에 이를 고려하여 전술 노드들이 스케줄링 되어야 한다. 기존의 Orchestra[2], TESLA[3] 등의 스케줄링 연구가 진행됐지만 트래픽 부하가 높은 경우 QoS 를 보장해주지 못하고, 여러 종류의 트래픽이 발생하는 상황을 고려하지 않았다. 본 논문에서는 전술 네트워크에서 QoS 보장을 위해 강화학습 기반의 TSCH 프로토콜 내 분산 스케줄링 알고리즘을 제안한다.

2. 본론

본 논문에서 다루는 전술 네트워크는 TSCH 프로토콜을 사용하는 멀티 홉 무선 애드혹 네트워크 환경이다. TSCH 프로토콜 내 슬롯 프레임을 스케줄링 하는 연구를 진행했다. 전술 네트워크에서 다양한 임무를 수행하는 전술 노드들은 여러 종류의 패킷을 생성하고 중앙 노드로 전송한다. 본 논문에서는 전술 노드들이 short message, voice, video 세가지 트래픽을 발생한다. 전술 트래픽 유형 별 지연시간 요구사항을 보장하고 전술 노드의 에너지 소모량을 최소화하는 TSCH 프로토콜 내 분산 스케줄링 알고리

즘을 개발했다. QoS 를 보장하기 위해서 슬롯 프레임 내 많은 슬롯을 배정하는 것과 에너지 효율성을 위해 슬롯 개수를 줄이는 것 사이의 trade-off 문제를 해결하기 위해 강화학습 알고리즘을 사용했다. 본 논문에서 사용한 MDP 모델은 (S, A, R)로 구성되어 있고 S는 전술 노드의 상태, A는 전술 노드의 행동들의 집합, R은 보상함수이다. 강화학습 모델에서 사용한 state space (S), action space (A), rewards (R)는 다음과 같다.

1) State space

전술 트래픽의 지연시간 요구사항을 보장하기 위해 전술 노드의 트래픽 부하를 고려해서 수식 1 과 같이 state space 를 정의했다.

$$S = (n_{buf}, P_{type1}, P_{type2}, P_{type3}). \quad (1)$$

n_{buf} 는 큐에 존재하는 패킷 개수, $P_{type1}, P_{type2}, P_{type3}$ 는 자식 노드에서 단위시간 동안 전송한 패킷 종류 별 확률 값을 의미한다. 각 노드는 자식 노드로부터 패킷을 수신할 때마다 패킷 종류를 확인하고 확률 테이블을 업데이트 한다. 상태 공간의 크기를 줄이기 위해서 확률 값을 구간 별로 나눠서 상태 값을 부여한다. 표 1 은 전술 트래픽 종류 별 확률 테이블에 따른 state 값을 결정하는 예이다.

표 1. 전술 트래픽 종류 별 확률 테이블

Traffic type	Child 1	Child 2	Child 3
Short Message	0.7	0.65	0.1
Video	0.15	0.2	0.7
Voice	0.15	0.15	0.2
State	3/1/1	2/1/1	1/3/1

2) Action space

전술 노드들은 스스로 자신의 슬롯 프레임에 할당되는 슬롯 개수를 결정한다. 할당되는 슬롯 개수의 상한은 총 슬롯 프레임 길이 (N_{frame})의 50%로 정의한다.

$$A = (0, 1, 2, \dots, \frac{N_{frame}}{2}). \quad (2)$$

3) Rewards

보상함수는 QoS 보장과 에너지 효율성 2 가지를 고려하여 식 3 과 같이 정의했다.

$$R = W_1 * \sum_i^K D_i - W_2 * e. \quad (3)$$

W_1 은 QoS 보장을 위한 가중치, $\sum_i^K D_i$ 은 패킷 큐에 존재하는 모든 패킷의 지연시간 데드라인 값의 총합, W_2 는 에너지 효율성을 위한 가중치, e 는 한 프레임에서 사용한 에너지 소모량을 나타낸다.

$$Q(s, a) = Q(s, a) + \alpha(R + \gamma \max_{a'} Q(s', a') - Q(s, a)). \quad (4)$$

각 노드들은 agent 가 되어 자신의 상태 값을 매 프레임이 시작하기 전에 관찰하고 수식 4 와 같이 Q-learning 알고리즘에 따라 해당 프레임에 몇 개의 슬롯을 할당할지를 결정한다. 슬롯 개수가 결정이 되면 부모 노드와 메시지 교환을 통해서 자신의 슬롯 개수를 알려주고, 부모 노드는 해당 시간에 Rx 를 한다. 충돌을 줄이기 위해 각 노드들이 할당될 수 있는 슬롯의 위치는 미리 정해져 있고 해당 범위 안에서 슬롯 개수를 연속적으로 할당한다.

3. 결론

본 논문에서 제안한 스케줄링 알고리즘의 성능 검증을 위해서 Orchestra, TESLA 알고리즘과 성능 비교를 진행했다. 시뮬레이션 환경은 MATLAB 에서 총 10 개의 노드로 이루어진 트리 구조의 멀티 홉 네트워크 환경에서 진행했다. 성능 평가를 위해 QoS 보장율, 에너지 소비량 두 가지 성능 지표를 사용했다. 성능 평가는 트래픽 발생율과 성능 간의 상관관계를 측정했고, 이를 위해 데이터 발생율은 포아송 분포를 따르고 λ 값을 변화시키면서 트래픽 부하에 따른 성능을 비교했다. Q-learning 알고리즘의 파라미터로 $\alpha = 0.05$, $\gamma = 0.95$ 로 설정했으며, 포아송 분포의 $\lambda = 0.65, 1, 2$ 로 설정했다. Orchestra 와 제안한 알고리즘의 슬롯 프레임 길이는 7로 설정했다. 전술 트래픽 유형 별 지연시간 요구사항은 500ms, 1000ms, 2000ms로 설정했다. 성능 평가 결과는 파라미터를

고정시켜 여러 번 반복 수행한 후 평균값을 구했다.

그림 2는 트래픽 발생율을 변화시키면서 QoS 보장율을 비교한 그래프이다. Orch-SB는 슬롯 프레임 당 1개의 슬롯만 배정되기 때문에 QoS 보장율이 낮고, 트래픽의 부하가 높은 상황에서 제안한 TESLA 알고리즘도 제안한 알고리즘보다 QoS 보장율이 낮다. 그림 3은 트래픽 발생율을 변화시키면서 에너지 소비량을 비교한 그래프이다. Orch-SB 에너지 소비량을 기준으로 TESLA, 제안한 알고리즘의 에너지 소비량을 나타냈다. Orch-SB가 가장 낮은 에너지 소비량을 보였고, 제안한 알고리즘은 TESLA 알고리즘보다 낮은 에너지 소비량을 보였다.



그림 2. 트래픽 발생율에 따른 QoS 보장율

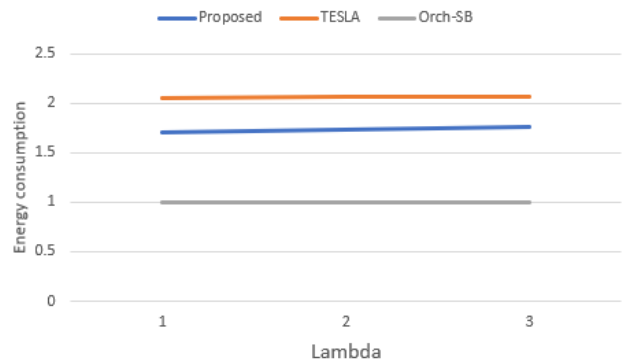


그림 3. 트래픽 발생율에 따른 에너지 소비량

4. 시사

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 미래전투체계 네트워크기술 특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다. (UD190033ED)

5. 참고 문헌

- [1] IEEE Std 802.15.4TM-2015: IEEE Standard for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs), Apr. 2016.
- [2] S. Duquenooy, B. Al Nahas, O. Landsiedel, and T. Watteyne. Orchestra: Robust mesh networks through autonomously scheduled TSCH. In Proc. of ACM SenSys, 2015.
- [3] Jeong, S., Paek, J., Kim, H. S., & Bahk, S. (2019). TESLA: Traffic-aware elastic slotframe adjustment in TSCH networks. *IEEE Access*, 7, 130468-130483.