

시분할 다중접속 기반 다중 홉 릴레이 네트워크 구현 및 성능 분석

오영우, 최우열*

조선대학교

duddn1022@naver.com, wyc@chosun.ac.kr

Implementation and Performance Analysis of Multi-Hop Relay Network based on Time Division Multiple Access

Youngwoo Oh, Wooyeol Choi*

Chosun University

요약

본 논문은 무선통신 환경에서 발생하는 노이즈로 인한 패킷 손실 및 다중 경로 페이딩 현상을 최소화하기 위한 Time Division Multiplexing Access(TDMA) 기반 릴레이 네트워크 설계 및 구현을 수행한다. Software-defined radio 기반 NI-USRP2921, 2932를 활용하여 실제 환경의 네트워크를 구성한다. 시분할 다중접속 기반 다중 홉을 이용한 릴레이 성능은 노드 간 소모된 타임 슬롯 대 패킷 수신 응답을 비롯한 신호 대 잡음 비, 노드 지연시간 등을 기준으로 평가된다. 단말 간 측정된 평가 지표를 클러스터링 처리 후, 비교·분석을 통해 감쇠 환경에 적합한 최적 링크 경로를 제공한다. 실험 결과를 통해, 작은 크기의 슬롯을 할당할수록 TDMA 기반 릴레이 방식의 지연 처리 및 데이터 신뢰성 측면의 성능이 향상된 것을 확인하였다.

I. 서론

최근 산업인터넷(Industrial Internet of Things, IIoT)기술과 무선통신 기술의 발전으로 인해 시간·공간 제약이 적고, 기존 유·무선 설비와 결합 가능한 무선 통신망 기반 스마트 공장(Smart Factory) 도입을 추진하고 있다. 그러나 실제 터널, 지하와 같은 산업 현장에서의 무선 네트워크 도입은 각종 장애물로 인한 셀 커버리지(Cell Coverage) 감소 및 무선 장비 간 간섭 및 잡음으로 인한 감쇠 문제가 발생하며, 안정적인 데이터 신뢰성을 제공하기 어렵다. 이러한 문제 해결을 위해 최근 신호 증폭·중계를 지원하는 RF(Radio Frequency) 중계기술에 주목하고 있다 [1]. 이에, 본 논문에서는 신호 감쇠가 발생하는 무선통신 환경 개선을 위한 시분할 다중접속 기반 다중 홉 릴레이 네트워크를 구현하고, 성능을 평가 및 분석하는 과정을 수행한다.

II. 본론

2.1 시분할 다중접속 기반 다중 홉 네트워크 분석 및 설계

본 논문에서는 시분할 다중접속 기반의 다중 홉을 설계하여 신호 감쇠가 발생하는 무선 환경에서의 신호를 증폭·전달하는 방식의 셀 영역 확장 및 패킷 신뢰성 보장 연구를 진행한다. 노이즈 강도에 따른 패킷 손실률 및 전송률 보장을 위한 M-QAM 방식의 선택적 변조·복조를 수행한다 [2]. 부정 확인응답(Negative Acknowledgment, NACK) 메커니즘 통해 각각의 패킷 응답 횟수를 줄임과 동시에 데이터 신뢰성을 보장한다. 산업용 2.4GHz 대역의 다중 사용자 접속으로 인한 트래픽 제어를 위해 TDMA 방식을 활용한다. 할당된 타임 슬롯 대 정상 패킷 수신 응답을 기준으로 채널 품질에 적합한 최적의 릴레이 단말을 결정한다.

2.2 신호 중계 프로세스 설계 및 구현

신호 감쇠가 발생하는 무선통신 환경에서 여러 사용자 접속으로 인한 트

래픽 증가 및 지연시간을 처리하기 위해, 각 릴레이 단말은 그림 1과 같은 프로세스 흐름을 지닌다. Kernel system 기반 클록과 도터 보드(Daughter Board) 내부 클록을 통해 단말 간 동기화를 처리한다. Time slot 기반의 Run/Idle 상태를 통해, 동일 채널 간섭 및 트래픽 제어를 수행한다. 패킷 신뢰성 보장을 위해 NACK 기반의 재요청 메시지를 생성하고, 지정된 헤더 비트의 패킷만을 재전송하는 방식을 통해 중복응답 및 지연 시간을 최소화한다. 프로세싱 간 발생하는 타임아웃, 미응답, 슬롯 초과를 Sleep 상태로 정의하여, 지연 발생에 따른 추가 및 반복 작업을 최소화한다.

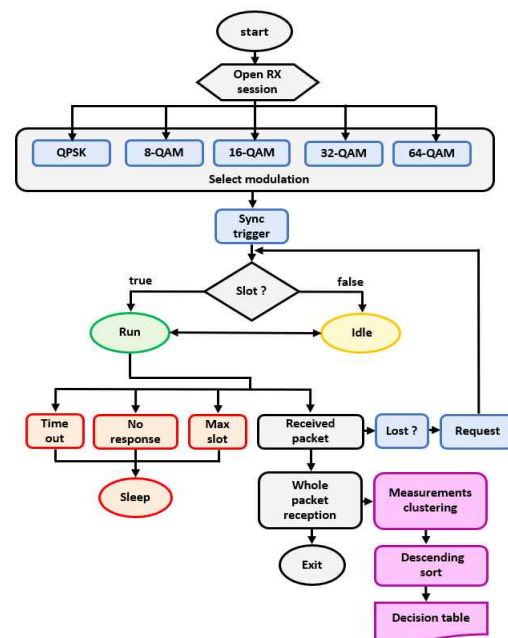


그림 1. TDMA 기반 다중 홉 최적 경로 결정 흐름도

2.3 평가 요소 및 최적 링크 결정 방안

본 논문은 Time slot 대비 패킷의 정상 수신 비율 측정을 통해 품질 평가를 수행한다. 정상 수신 비율은 타임아웃, 미응답, 슬롯 초과를 포함하는 Sleep 상태와 패킷의 정상 수신을 모두 슬롯 대비 패킷의 정상 수신 비율을 의미한다. 또한, 클러스터링(Clustering) 및 소팅(Sorting) 처리를 통해, 신호 감쇠 환경 간 최적 링크 경로를 산출한다. 신호 대 잡음 비, 변조 오류율 등을 측정하여 링크 품질뿐만 아니라, 단말 간 발생하는 감쇠 정도를 판단한다.

2.4 테스트베드 환경 구성

본 연구는 NI-USRP 하드웨어 장치와 LabVIEW를 이용한 TDMA 기반 다중 홉 릴레이 네트워크를 구성하였다. RF 파라미터는 표 1과 같이 설정하였으며, -30 dB 신호감쇠기 부착과 AWGN(Additive White Gaussian Noise)채널을 통해 신호 감쇠가 충분히 발생할 수 있는 실험환경을 구성하였다.

RF parameters	TX	RX
IQ rate	4 M	4 M
Symbol rate	500 k	500 k
Carrier frequency	2.4 GHz	2.4 GHz
ISI filter	None	Root raised cosine
Modulation scheme	16-QAM	16-QAM

표 1. RF 파라미터 구성

2.5 Slot size에 따른 멀티 홉 릴레이 성능 비교 분석

그림 2는 할당된 슬롯 크기에 따른 멀티 홉 릴레이 성능을 비교한 결과를 보여 준다. 슬롯 크기를 500 μ s로 처리한 결과, 위상 동기화 문제 및 산발 오류가 적게 발생하는 반면, 5 ms 단위로 처리한 경우, 신호 감쇠 및 AWGN 채널에 쉽게 영향을 받는 것을 아래 그림을 통해 확인할 수 있다.

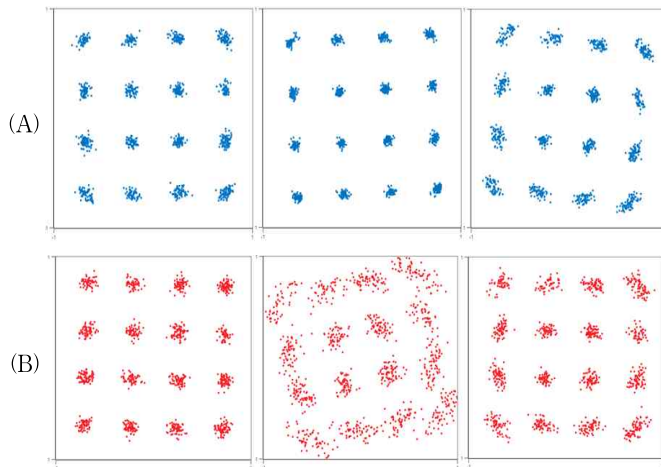
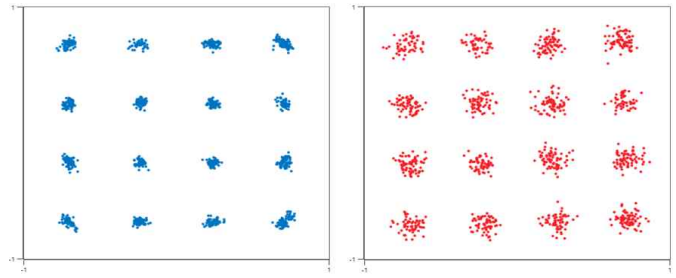


그림 2. Slot size에 따른 relay의 수신 신호

(A) slot size = 500 μ s (B) slot size = 5 ms

그림 3은 슬롯 크기에 따른 종단 수신 신호를 비교한 결과를 보여 준다. 슬롯 크기가 500 μ s인 경우, 심볼 군집이 잘 진해졌음을 확인할 수 있는 반면, 5 ms 크기의 경우, 종단 단말에서 발생하는 산발 오류가 종단에서도 동일하게 발생함을 확인할 수 있다.



(A) slot size = 500 μ s

(B) slot size = 5 ms

그림 3. slot size에 따른 다중 홉 전송 시 수신 신호

표 2는 최종 수신 단말의 평가 지표를 비교·분석한 결과를 보여 준다. 아래 표를 통해 신호 감쇠가 높은 무선통신 환경에서 슬롯 크기를 분할 할수록 패킷 손실 여부에 따른 재요청·전송 처리 지연을 비롯한 패킷 신뢰성 측면에서 강인한 성능을 가지는 것을 확인할 수 있다.

Measurements	Slot size	
	500 μ s	5 ms
Link per-delay	120 ms	370 ms
End-to-end delay	540 ms	1560 ms
RSSI	-23 dBm	-22 dBm
SNR	27 dB	29 dB
BER	0.127436	0.311259
MER	19 dB	11 dB
Prob. of packet reception	92%	58%

표 2. Slot size에 따른 성능 결과 테이블

III. 결론

본 논문에서는 SDR 기반의 테스트베드를 구성하기 위해 NI-USRP2921, 2932와 LabVIEW NXG를 이용하여, 신호 감쇠에 따른 패킷 신뢰성 보장 연구를 수행하였다. 실험 결과를 통해, 신호 감쇠가 심한 환경에서의 시분할 다중접속 기반의 릴레이 네트워크의 성능은 슬롯 크기를 분할 할수록, 지연시간을 비롯한 패킷 신뢰성 측면에서 우수한 성능을 보이는 것으로 확인하였다. 추후 후속연구에서는 PLL(Phase Locked Loop)을 추가하여, 감쇠 환경 간 전송효율을 고려한 고차원의 QAM 변·복조를 수행할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the project titled 'Development of ICT-based PSC countermeasure technology and core equipment for implementation of IMO ballast water management convention', funded by the Ministry of Oceans and Fisheries, Korea.

참 고 문 헌

- [1] 이상준, MFG “데이터 기반 스마트공장 접근 방법 연재 ⑤ - 네트워크 구축 시 고려 사항”, 2020.10.1.
(<http://www.mfgkr.com/archives/14594>)
- [2] A. Shaha, D. H. N. Nguyen and S. Kumar, "Implementing directional Tx-Rx of high modulation QAM signaling with SDR testbed," UEMCON, pp. 484-490. Oct. 2017.