

선형회귀를 이용한 Wi-SUN의 하위 노드 수 최적화 시뮬레이션

전동현, 김성현*, 김동균*, 이성원
대구한의대학교, *경북대학교

jd0830@dhu.ac.kr, *sunghyunkim@knu.ac.kr, *dongkyun@knu.ac.kr, lsw5359@dhu.ac.kr

Optimize number of child nodes for constrained Wi-SUN with Linear Regression

Jeon Dong Hyun, Kim Sung Hyun*, Kim Dong Kyun*, Lee Sung Won
Daegu Haany Univ., *Kyungpook National Univ.

요약

Wi-SUN Alliance가 제안한 스마트그리드 특화 무선통신표준 Wi-SUN이 많은 관심을 받고 있다. 그 중에서 Wi-SUN FAN은 RPL을 라우팅 프로토콜로 사용한다. 이때 RPL의 특성상 자식 노드들은 라우팅 메트릭 값이 좋은 노드를 부모 노드로 가지려 하기 때문에 특정 부모 노드에 네트워크 부하가 집중돼 통신이 제대로 이뤄지지 않을 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 기존 연구에서는 하나의 부모 노드가 가질 수 있는 최대치의 자식 노드의 수를 제한하는 N_{max} 파라미터를 제안했다. 그러나 기존연구는 네트워크의 환경변화, 응용의 요구사항에 따른 QoS의 차이를 고려하지 않았다. 이때 부모 노드의 불필요한 에너지소모, 패킷 충돌로 인한 손실과 지연이 발생할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 고정된 N_{max} 수 문제에 대한 개선 방안으로 선형회귀를 이용한 N_{max} 수 최적화 시뮬레이션을 진행한다.

I. 서론

낮은 구축비용과 저전력으로 넓은 영역의 응용을 요구하는 IoT서비스를 안정적으로 커버할 수 있는 물리, 데이터링크 및 네트워크 프로토콜에 대한 연구가 활발히 이뤄지고 있다. 그 중 Wi-SUN (Wireless Smart Utility Network) Alliance가 제안한 스마트그리드 특화 무선통신표준 Wi-SUN이 많은 관심을 받고 있으며, 스마트그리드 외에 다른 IoT서비스에도 Wi-SUN을 확대 적용하기 위한 연구를 진행하고 있다.[1][2]

	HAN WG	FAN WG
Application	HAN(ECHONE1)	FAN
Interface (Network, Transport layers, Authentication)	PANA	802.1x
	UDP	UDP
	IPv6	RPL
	6LoWPAN	IPv6
	802.15.10	6LoWPAN
MAC Layer	IEEE 802.15.4/4e	
PHY Layer	IEEE 802.15.4g based PHY	

그림 1. Wi-SUN 프로토콜 스택

그림1은 Wi-SUN 프로토콜 스택을 보여준다. 이 중 Wi-SUN FAN(Field Area Network)은 RPL(IPv6 Routing Protocol for Low-power Lossy Networks) [3]을 라우팅 프로토콜로 사용한다. 이때 RPL의 특성 상 자식 노드들은 라우팅 메트릭 값이 좋은 노드를 부모 노드로 가지려 하기 때문에 한 부모 노드에 부모 노드 자신이 감당하기 힘든 수의 자식 노드들이 집중되는 상황이 발생할 수 있다. 이때 많은 자식 노드가 동일한 채널 스케줄을 가진 부모 노드를 가지기 때문에 각 채널당 경쟁 노드의 수가 증가해 패킷 충돌이 증가하고 주파수 호핑(Frequency Hopping)으로도 피할 수 없는 부하 집중으로 전송성공률이 감소할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 기존 연구에서는 하나의 부모 노드가 가질 수 있는 최대치의 자식 노드 수를 제한할 수 있는 새로운 N_{max} 파라미터를

제안하고 실험을 통하여 네트워크 성능을 가장 많이 향상시킬 수 있는 N_{max} 값을 찾았다. 저자들은 실험을 통해 N_{max} 의 값이 11일 때 평균 전송 성공률이 4.7% 상승하였고, 지연이 9.2% 감소하였음을 보여주었다.[4] 그러나 [4]는 네트워크의 환경변화, 응용의 요구사항에 따른 QoS의 차이를 고려하지 않았다. 이때, 다음과 같은 시나리오에서 추가적으로 문제가 발생할 수 있다.

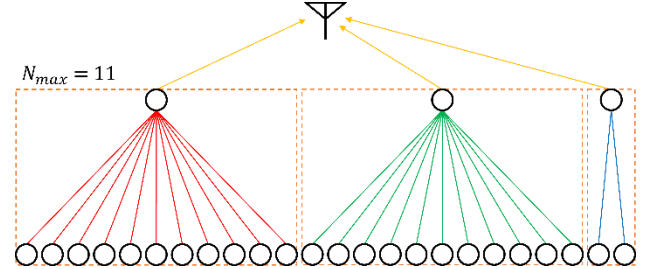


그림 2는 부모 노드의 개수가 3개, 자식 노드의 개수가 24개이고 N_{max} 값이 11일 때를 가정한 시나리오이다. 이때 평균적으로 하나의 부모 노드가 8개의 자식 노드를 가지면 전체적으로 균형적인 네트워크를 이룰 수 있음에도 불구하고 두 부모 노드는 N_{max} 값만큼의 최대치의 자식 노드 수를 가지게 돼 불균형한 네트워크를 이루며 자식 노드를 적게 가진 부모 노드 보다 자식 노드들을 위해 에너지를 불필요하게 많이 소비하게 된다. 또한, 하나의 부모 노드가 N_{max} 의 한계수치의 자식 노드를 가지는 경우, 자식 노드는 부모 노드에게 데이터 전송을 위해 경쟁을 시도하며, 이때 패킷 충돌로 인한 손실과 지연이 발생할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 이러한 고정된 N_{max} 수 문제에 대한 해결 방안으로 선형회귀를 이용한 N_{max} 수 최적화 시뮬레이션을 진행한다.

II. 본론

본 장에서는 기존의 N_{max} 수의 최적화를 위해 구현한

N_{max} 최적화 결정 모델과 모델 구현을 위한 데이터 획득 과정에 대해 설명한다.

2.1 데이터 획득

N_{max} 최적화 결정 모델을 위한 구현 방법으로 선형 회귀 방식을 사용하였다. 선형 회귀 학습 모델링에 사용할 학습 데이터는 NS-3 네트워크 시뮬레이션을 통해 RPL을 구현 및 데이터 획득하였다. 획득 데이터는 N_{max} 가 증가함에 따라 노드에서 싱크까지의 패킷 유실율과 왕복 지연시간의 표준편차를 출력 파라미터로 하는 텍스트로 그를 반복 출력하여 선형 회귀 방식의 학습 모델링 데이터로 사용하였다. 시뮬레이션 파라미터는 아래와 같다.

파라미터	값
전송 속도	50 kbps
시간	50s
노드	50개
MAC protocol	IEEE 802.15.4
Packet buffer size	8

표1. 시뮬레이션 파라미터

2.2 N_{max} 최적화 결정 모델

NS-3 네트워크 시뮬레이션을 통해 획득한 데이터를 이용하여 선형회귀 방식 학습 모델링의 입력 데이터로 사용하여 기울기, 절편, 결정계수, 최적화된 N_{max} 값을 구하였다. N_{max} 수에 따른 패킷 유실율과 왕복 지연시간의 표준편차가 선형을 이룰 것으로 예상되어 선형 회귀 방식을 이용하였으며, 학습 모델링의 입력 데이터 클래스 중 결과값에 영향을 미칠 클래스는 없는 것으로 판단하여 릿지 선형회귀 방식은 N_{max} 최적화 결정 모델에 제외하였다.

III. 실험결과

3.1 데이터 획득

NS-3 네트워크 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 50m x 50m에 50개의 노드를 가운데 싱크 노드를 중심으로 랜덤하게 분포하고 100s 동안 데이터 패킷을 싱크에게 전달하도록 설정 및 1000회 반복 시뮬레이션 진행하였다. 그 결과 로그 출력 값으로 송수신 패킷 수, 패킷 유실율, 왕복 지연시간의 최소, 최대, 평균, 표준편차를 기록 및 획득하였으며, 이중 패킷 손실율과 왕복 지연시간의 표준편차를 선형 회귀 방식 모델의 입력 데이터로 사용하였다.

3.2 선형 회귀 모델 학습

N_{max} 최적화 결정 모델의 선형 회귀 학습 모델링은 구글의 Colab과 Python 언어를 사용하여 선형 회귀 모델을 구현 후 학습시킨 모델을 이용하여 최적의 N_{max} 수를 구하는 N_{max} 최적화 결정 모델을 구현하였다. 입력 파라미터로 데이터 획득 과정의 결과값 중 패킷 손실율과 왕복 지연시간의 표준편차 데이터를 CSV 파일로 변환하고 학습 모델링 데이터의 입력 값으로 이용하여 모델을 학습시켰다. 다만, 모델의 성능 평가를 위해 획득한 1000번의 데이터 중 70%인 700번의 출력 데이터를 모델링 학습 데이터의 입력 데이터로 사용하였으며, 그 외 나머지 30%인 300번의 시뮬레이션 출력 값을 성능평가를 위한 데이터로 활용하였다.

3.3 성능평가

학습 모델링을 통해 학습을 완료한 N_{max} 최적화 결정 모델의 네트워크 환경 변화에 따른 N_{max} 수 최적화 성능

평가전 학습 완료한 모델의 성능 및 정확성 판단을 위한 검증은 선 진행하였다. NS-3 네트워크 시뮬레이션을 이용하여 획득하였던 출력 데이터 중 성능검증을 위한 30%의 데이터를 이용하여 결정계수에 대한 성능 검증을 진행하였다. 모델의 성능 검증 결과 평균 0.81 이라는 결정계수를 확인할 수 있었다. 모델의 성능 검증 후 실제 네트워크 환경 변화와 응용에 따른 요구를 충족하기 위한 선형 회귀 모델의 성능 평가를 진행하였다. 성능 평가를 위해 선형 회귀 모델의 출력 값으로 나오는 N_{max} 수를 확인하였다. 입력 값으로 패킷 유실율과 왕복 지연시간의 표준편차를 입력하였으며 모델의 출력 값으로는 기울기, 절편, 결정계수, 최적화된 N_{max} 값을 출력한다. 패킷 유실률 50%, 왕복 지연시간의 표준편차를 300ms로 입력할 경우 결정계수는 0.89, N_{max} 는 5.88로 값이 출력 되었으며, 패킷 유실률 80%, 왕복 지연시간의 표준편차를 150ms를 입력할 경우 결정계수는 0.81, N_{max} 수는 4.12로 출력되는 걸 확인하였다. 기존 제안한 방법은 절대값의 N_{max} 를 제안하였지만 선형 회귀를 이용한 N_{max} 최적화 결정 모델은 입력 값인 패킷 손실율, 왕복지연시간의 표준편차에 따라 N_{max} 수가 변하는 것을 확인할 수 있었다. 네트워크 환경 및 응용에 요구에 따라 효율적인 N_{max} 값으로 설정 및 변경하여 네트워크에 적용하면 기존의 절대값 N_{max} 기법 보다 1) 에너지 소비 및 2) 패킷 손실과 3) 패킷 전송 지연이 개선될 것으로 예상된다.

IV. 결론 및 향후 연구 과제

본 논문에서는 Wi-SUN 네트워크의 라우팅 프로토콜인 RPL에서 자식 노드 수를 제한하는 기존의 N_{max} 파라미터에서 네트워크 환경 변화에 따른 최적의 N_{max} 값 설정을 선형 회귀 방법을 적용하여 모델링 하는 방법을 제안하였다. 선형 회귀를 적용한 N_{max} 최적화 결정 모델은 기존에 제안된 네트워크내에 임의의 N_{max} 값을 설정하여 자식 노드 수를 제한하는 기법보다 네트워크 환경 변화 및 응용의 요구에 따라 최적의 N_{max} 값을 선정할 수 있었다. 추후 네트워크 환경 파라미터 추가 선정 및 다양한 인공지능 방법을 적용하여 네트워크 환경에 보다 더 최적의 N_{max} 선정 방법에 대한 모델링 기법 및 연구가 필요하다.

ACKNOWLEDGMENT

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2021R1G1A10941001251582065930102).

참 고 문 헌

- [1] G. C. Heck, R. Hexsel, V. B. Gomes, L. Iantorno, L. L. Junior and T. Santana, "GRID-CITY: A Framework to Share Smart Grids Communication with Smart City Applications," 2021 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2), 2021, pp. 1-4
- [2] H. Harada and H. Masaki, "Development of Wireless Emulator for Large-Scale IoT Applications," 2022 IEEE 33rd Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2022, pp. 01-06,
- [3] T. Winter et al., "RPL: IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks," IETF RFC 6550, Mar. 2012.
- [4] R. Hirakawa, R. Okumura, K. Mizutani and H. Harada, "A Novel Routing Method with Load-Balancing in Wi-SUN FAN Network," 2021 IEEE 7th World Forum on Internet of Things (WF-IoT), 2021, pp. 362-367