

수중 사물인터넷 환경에서 패킷 에러율 예측 및 네트워크 파라미터 최적화를 위한 기계학습 모델

김진홍¹, 이성원², 임길택¹ 김동균³

¹ 한국전자통신연구원, ² 대구한의대학교 스마트 IT 융합학부,

³ 경북대학교 IT 대학 컴퓨터학부

jinhong@etri.re.kr, ls5359@dhu.ac.kr, ktl@etri.re.kr, dongkyun@knu.ac.kr

A Machine Learning Model for Prediction of Packet Error Rate and Network Parameter Optimization in Internet of Underwater Things

Jinhong Kim¹, Sungwon Lee², Kil-Taek Lim¹ and Dongkyun Kim³

¹Electronics and Telecommunications Research Institute, ²Deagu Hanny Univ.,

³Kyungpook Nat. Univ.

요 약

본 논문은 수중 사물인터넷(Internet of Underwater Things)환경을 구축함에 있어 수중환경의 특성으로 인한 낮은 전송 신뢰성을 극복하기 위해 주변환경의 변화에 맞춰 네트워크 프로토콜의 동작에 영향을 미치는 파라미터를 최적화하는 기계학습 프로세스 모델을 제시한다. 제안하는 프로세스 모델에서는 실측된 패킷의 전송로그 데이터를 바탕으로 전송 에러를 예측하는 함수모델을 기계학습을 통해 생성하며, 생성된 함수모델을 검증하는 과정을 통해 발생하는 오차를 일정한 임계값 이하로 유지할 수 있도록 인자들을 제어한다. 그리고 함수모델을 통해 예측된 에러율을 기반으로 최적의 네트워크 파라미터를 선정하고 프로토콜에 적용함으로써 패킷의 전송 신뢰성을 향상시킨다.

I. 서 론

최근 수중 센서 네트워크는 오염도 측정, 전략 감시, 항만 트래픽 관리 등 다양한 응용이 수행되고 있으며, 이에 따라 센서 노드뿐만 아니라 수중 드론, 경량형 잠수함, 고래 등 수중동물에 부착한 생체 센서 등 다양한 통신장비들이 사용되고 있는 수중 사물인터넷(Internet of Underwater Things, 이하 수중 IoT) 환경을 구축하고 있다. 또한 인공지능 등 다양한 최신 기술을 수중 IoT 환경에 적용하여 새로운 응용의 신뢰성 있는 동작을 지원하려는 연구가 진행되고 있다. 이러한 연구들은 주로 라우팅 계층과 데이터 링크 계층의 프로토콜을 중심으로 진행되고 있는 추세이다[1][2].

특히, 라우팅과 데이터 링크 계층에서는 수중 통신의 낮은 전송 신뢰성을 극복하기 위해 주변 노드들과의 링크 품질을 측정하고, 측정된 링크 품질에 따라 프로토콜의 동작을 변화시키는 기법이 많이 적용되고 있다. 예를 들어, 대표적인 라우팅 프로토콜인 DFR(Directed Flooding based Routing) 프로토콜에서는 각 노드가 주변 노드들과의 평균 에러율을 측정하고, 측정된 에러율에 따라 다중 경로의 숫자를 조절하는 방법을 사용하고 있다[3]. 이러한 프로토콜들에서는 주변 노드들과의 링크 에러율을 측정하는 방식으로 ETX(Expected Transmission Count)를 사용하고 있다. 현재 사용되고 있는 ETX는 각 노드들이 주기적인 hello 메시지를 교환하고, 이 메시지들의 수신 확률을 통해 ETX를 계산한다.

하지만, 이러한 주기적인 hello 메시지를 활용한 ETX 측정 방식은 네트워크의 에러율이 급격하게 변화하는 환경에서는 현재 에러율을 즉시 반영할 수 없는 단점이 있다. 특히, 대역폭이 충분한 육상 네트워크와는 달리, 대역폭이 부족한 수중 네트워크에서는 hello 메시지의 전송 주기가 몇 십초 수준으로 설정된다. 이에 링크 품질의 변화에 따라 ETX가 유의미하게 변화하기 위해서는 분단위 이상의 시간이 소모된다.

이러한 문제를 해결하기 위해, 육상 센서 네트워크에서는 잡음 대비 신호의 세기(SNR, Signal-to-Noise Ratio)를 사용한다. 그러나, 자연적인 신호가 거의 발생하지 않는 전파 대역과는 달리, 음파 대역을 사용하는 수중 통신은 SNR만으로 링크 에러율을 예측할 수 없다. 또한 현재까지의 여러 실험결과에 따라 수중 통신의 링크 에러율은 수심, 염분도, 조류 등 다양한 요소들이 복합적으로 관여한다는 사실이 알려져 있다.

뿐만 아니라, 링크 품질에 따라 프로토콜의 동작 또는 네트워크 파라미터를 변화시키는 프로토콜이 다수 사용되면서, 다른 계층의 동작에 의해 자신의 파라미터가 영향을 받는 경우도 발생한다. 예를 들어, 링크 품질이 낮을 때 전송 성공률을 향상시킬 수 있는 데이터 링크 계층 프로토콜이 적용되더라도, DFR 프로토콜은 측정된 에러율만을 사용하여 플러딩 영역을 설정하여 불필요한 네트워크 리소스를 소모하게 된다. 따라서 다수의 외부 요소와 다른 계층의 네트워크 파라미터 등 복합적 요소를 한꺼번에 고려하여 전송 성공률을 예측하고 최적의 파라미터를 결정할 수 있는 통합 수식을 만들어 내는 연구는 매우 어려운 일로 알려져 있었다.

그러나 최근 인공지능 기술의 발전에 따라 다양한 제어 불가능 인자들을 고려하여 최적의 제어가능 인자를 결정하는 새로운 방법론들이 개발되고 있다. 본 논문에서는 다양한 요소들을 활용하여 모델링/기계학습을 수행하는 알고리즘과 기계학습 모델을 제안한다.

II. 본론

본 논문에서 제안하는 기계학습 프로세스는 다수의 제어가능 인자와 제어불가능 인자를 기계학습 모델의 입력 인자로 사용한다. 본 논문에서 사용하는 제어 가능 인자와 제어불가능 인자는 다음과 같다.

- 제어가능 인자: 노드의 이동방향, 노드의 속도, 전송 신호의 크기, 신호간 간격(interval), 해당 계층의 네트워크 파라미터
- 제어불가능 인자: 수집, 염분도, 조류방향, 타 계층의 네트워크 파라미터

제어 불가능 인자는 센서 노드에 부착된 센서 장비를 통해 수집할 수 있음을 가정한다. 또한, 다수의 6LoWPAN (IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Network)에서 사용되는 서비스 계층(Service Layer)의 개념을 도입하여 각 계층간 네트워크 파라미터를 공유하도록 설계한다.

- 1) 에러율 측정 및 네트워크 파라미터 설정 통합 프로세스 모델: 다음 그림 1 과 같이, 각 노드들은 이전 시점에서 측정된 패킷 전송 성공률과 함께 제어 불가능 인자와 제어가능 인자들을 입력값으로 하여 에러율 예측 프로세스를 실행한다. 이후 예측된 에러율을 사용하여 현재 에러율에 맞는 프로토콜의 동작을 설정한 후, 해당 동작에 알맞게 네트워크 파라미터를 설정하는 과정을 거친다.

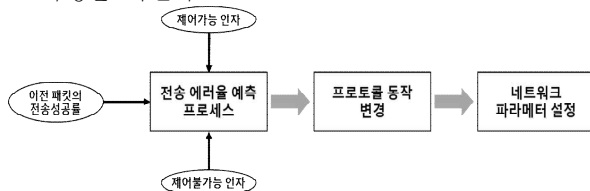


그림 1 제안된 통합 프로세스 모델

- 2) 에러율 예측 프로세스: 위 통합 프로세스 모델의 성능을 향상시키기 위해서는 에러율 예측 프로세스의 정확도의 향상이 중요하다. 본 논문에서는 기계학습을 사용하여 그림 2 의 과정을 거쳐 전송 에러율 예측 프로세스의 성능을 향상시킨다.

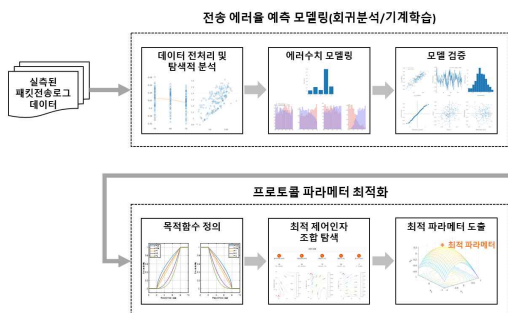


그림 2 전송에러율 예측 및 파라미터 최적화 모델

위 모델에서는 각 노드가 예측한 에러 수치와 함께 패킷 전송과정에서 실측된 로그 데이터를 활용하여 탐색적 데이터 분석을 수행한다. 이후 예측된 수치와 실측 수치 간의 오차를 최소화할

수 있는 2 차원 함수를 기계학습함으로써 제어가능 S 인자와 제어 불가능 인자간 반영 비율의 모델을 완성한다. 이후 기계학습 과정에서 해당 모델을 검증하되, 이 때 발생하는 일정 임계점 이상의 오차가 발생하는 경우 해당오차가 임계점 이하가 될 수 있도록 노드가 제어가능 인자의 값을 수정하도록 함으로써 에러율의 예측 성공률을 일정 임계값 이상으로 유지하도록 한다.

- 3) 프로토콜 파라미터 최적화 프로세스: 위 1,2 에서 제안된 프로세스를 통해 기계학습된 모델을 적용할 경우 각 노드는 일정 수준 이하의 오차율로 전송 에러율을 예측할 수 있다. 이후 노드는 예측된 에러율을 기반으로 하여 최적의 네트워크 파라미터를 선정하는 프로세스를 수행한다. 이 과정에서 각 노드들은 기계학습을 통해 각 파라미터에 따른 전송 성공률 향상을 위한 목적함수를 계산한다. 이후 새로운 에러율이 예측될 때 마다 해당 목적함수에 따른 최적의 네트워크 파라미터를 조합하여 각 프로토콜에 적용한다.

III. 결론

본 논문에서는 수중 센서 네트워크에서 발생하는 에러율 반영 딜레이 문제와 에러율을 고려하여 설정되는 네트워크 파라미터간 상호 의존성 이슈를 해결할 수 있는 기계학습 프로세스 모델을 제시하였다. 제시된 모델에서는 패킷 전송률에 영향을 미치는 요소들을 제어 가능인자와 제어불가능 인자로 구분하고, 해당 인자들에 따라 기계학습된 2 차원 수식 모델을 생성한다. 이후 모델을 통해 예측된 결과와 실측된 패킷 전송 로그데이터를 사용하여 파라미터 최적화 모델 함수를 디자인하고, 현재 예측된 에러율에 따라 각 계층별 최적의 파라미터를 설정할 수 있는 조합을 탐색하여 사용한다. 이 과정에서 에러율이 일정 임계값 이상일 경우 노드가 제어 가능 인자를 수정함으로써 예측 에러율과 실측 에러율의 오차를 일정 수준 이하로 유지할 수 있도록 한다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 한국전자통신연구원 주요사업의 일환으로 수행되었음[20ZD1120, 대경권 지역산업 기반 ICT 융합기술고도화 지원사업]

참 고 문 헌

- [1] En-Cheng Liou, Chien-Chi Kao, Ching-Hao Chang, Yi-Shan Lin and Chun-Ju Huang. "Internet of underwater things: Challenges and routing protocols," in *2018 IEEE International Conference on Applied System Invention (ICASI)*, April 2018, pp. 129-132.
- [2] Mohamed Ammar, Khalil Ibrahim, Mohammed Jouhari and Jalel Ben-Othman. "MAC Protocol-Based Depth Adjustment and Splitting Mechanism for UnderWater Sensor Network (UWSN)," in *2018 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, Dec. 2018, pp. 1-6.
- [3] Daeyoung Hwang and Dongkyun Kim. "DFR: Directional flooding-based routing protocol for underwater sensor networks," in *2008 IEEE OCEANS*, Sept. 2008, pp. 1-7.