

# Link-K 초기 네트워크 자원 할당을 위한 AI 기반 예측 모델 검증

송대영\*, 최신욱, 육현준, 전가산, 이윤규, 김경택

\*국방과학연구소, 중앙대학교, 링크나인시스템

\*daeyoungsong@add.re.kr, schoi@add.re.kr, hyunjun6@cau.ac.kr, bonuspoint@cau.ac.kr, younkyul@cau.ac.kr, kkim610@lnsystem.co.kr

## Verification of AI-based Prediction Model for Link-K Initial Network Resource Allocation

Daeyoung Song\*, Sinuk Choi, Hyun Jun Yook, Ga San Jhun, Youn Kyu Lee, Kyeongtaek Kim

\*Agency for Defense Development, Chung Ang University, Link Nine System

### 요약

본 논문에서는 Link-K 네트워크 시뮬레이터와 실제 하드웨어 테스트베드를 활용하여, 초기 네트워크 자원 할당량을 예측하는 AI 모델의 실효성을 검증하였다. AI 모델은 시뮬레이터에서 생성된 데이터를 학습하였으며, 학습된 AI 모델을 테스트베드 검증에 활용하였다. 검증 결과, AI 모델은 시뮬레이터 테스트베드에서 필요한 타임 슬롯 요구량을 일부 예측하였다. 또한, 실제 Link-K 하드웨어 테스트베드에서도, 합동 작전 시나리오가 정상 수행됨을 확인하였다. 이를 통해, AI 모델의 실질적인 적용 가능성을 입증하였다.

### I. 서론

무기체계 간 네트워크 연결을 통하여 정보 우위를 확보하는 네트워크 중심전(NCW: Network Centric Warfare) 개념에서, 전술데이터링크(Tactical Data Link)는 근 실시간 전술 정보 교환을 보장하기 위한 핵심 통신 기술이다 [1]. 한국군 합동작전을 수행 능력을 보유하기 위하여 한국형 합동 전술데이터링크 체계(JTDLS, Joint Tactical Data Link System)가 고도화됨에 따라, Link-K 네트워크에 참여하는 무기체계(플랫폼) 수가 지속적으로 증가하고 있다. 그러나 Link-K 네트워크는 한정된 네트워크 자원을 보유하므로, 이를 다수의 플랫폼에 효율적으로 할당하기 위한 연구가 요구된다.

Link-K 전술데이터링크는 시분할 다중 접속(TDMA: Time Division Multiple Access) 방식을 적용하여, 네트워크 통신 자원인 타임 슬롯을 각 플랫폼에 할당한다. Link-K 네트워크 설계자는 플랫폼 요구사항, 작전 시나리오 특성, Link-K 네트워크 및 메시지 특성 등 다양한 요인을 종합적으로 고려하여 타임 슬롯을 할당해야 한다. 그러나 다양한 요인을 고려하여 최적의 타임 슬롯 할당량을 예측하는 것은 현실적으로 어려우므로, 현재는 네트워크 설계자의 경험과 규칙 기반 모델을 활용하여 타임 슬롯 할당량을 예측하고 있다. 특정 플랫폼에 타임 슬롯이 부족하게 할당되는 경우, 전술 정보 송신이 지연되어 임무 수행에 차질이 발생할 수 있다. 반면 타임 슬롯을 과도하게 할당하는 경우, 가용 타임 슬롯이 부족하여 신규 플랫폼의 네트워크에 가입이 제한되거나 전술정보의 실시간성이 저하된다. 따라서 Link-K 의 한정된 타임 슬롯을 효율적으로 할당하기 위한 방안이 필요하다.

이러한 한계를 극복하기 위해, 전술데이터링크 네트워크 시뮬레이터와 AI 모델을 활용하여 타임 슬롯 할당량을 예측하는 연구가 수행되었다. 전술데이터링크에

참여하는 플랫폼에 타임 슬롯을 할당하고 작전 시나리오를 모의하는 시뮬레이터를 개발하여, 할당된 타임 슬롯 자원의 적절성과 네트워크 핵심 성능 지표를 정량적으로 측정할 수 있는 시뮬레이터를 개발하였다[1, 2]. 또한, 시뮬레이터에서 작전 시나리오를 수행하면서 생성된 모의 데이터와 합동 작전 시나리오에 참여하는 플랫폼 특성을 AI 모델에 학습시킴으로써, 전장 상황에서 각 플랫폼의 타임 슬롯 할당량을 예측하는 연구가 진행되었다 [3].

본 연구는 선행 연구에서 개발한 Link-K 네트워크 시뮬레이터와 실제 Link-K 네트워크 운용이 가능한 하드웨어 테스트베드를 활용하여 AI 모델의 실효성을 검증하였다. 검증 결과, AI 모델은 시뮬레이터 테스트베드에서 필요한 타임 슬롯 요구량을 일부 예측하였다. 또한, 실제 Link-K 네트워크 운용 환경에서 초기 타임 슬롯 할당량 예측 AI 모델의 실질적인 적용 가능성을 확인하였다.

### II. 본론

본 장에서는 시뮬레이터에서 생성된 모의 데이터를 활용한 AI 모델의 학습 과정을 기술한다. 그리고 시뮬레이터 및 실제 Link-K 하드웨어 테스트베드 환경에서 수행된 AI 모델의 검증 절차와 검증 결과를 설명한다.

#### 1. 모의 데이터 생성 및 AI 모델 학습

실제 플랫폼의 임무 수행 시, 네트워크 자원 사용률과 시간 민감도(Time Sensitivity)에 영향을 미치는 주요 입력 변수를 도출하였다. 개발된 시뮬레이터에 주요 입력 변수를 설정하고 시뮬레이션을 수행하여 모의 데이터를 생성하였다. 이 때, 작전 시나리오 수행 중 발생하는 메시지 송신 지연 시간을 학습 데이터 선별에 필요한

핵심 성능 지표로 활용하였다. 작전 시나리오에 참여하는 모든 플랫폼의 메시지 송신 지연 시간이 각 6 초와 12 초를 초과하지 않도록 보장하는 최소 타임 슬롯 요구량을 정답데이터 기준(Reference Ground Truth) 1 안과 2 안으로 정의하였다.

생성된 전체 모의 데이터 중, 앞서 정의한 정답데이터 기준을 충족하는 데이터를 학습 데이터 셋으로 선정하였다. 선별된 학습 데이터는 전처리를 통해, 11 개 회귀 모델(Regression Model)의 학습에 활용하였다. 회귀 모델의 성능 평가지표로 평균 제곱 오차(MSE: Mean Squared Error)를 활용하여, AI 모델 별 성능을 도출하였다.

## 2. AI 모델 검증 결과

학습된 모델 중 가장 우수한 성능을 보인 단일 최적 모델(Single Best Model)과 11 개 모델의 타임 슬롯 예측 결과에 대한 평균값을 적용한 양상블 모델(Ensemble Averaged Model)을 검증 대상 모델로 선정하였다. 두 개의 AI 모델을 시뮬레이터 및 실제 하드웨어 테스트베드에 적용하여 성능을 평가하였다. 또한, AI 모델의 실무적 실효성을 입증하기 위해 전술데이터링크 연구원의 경험적 판단에 근거한 지식 기반 모델(Knowledge-based Model)을 비교군으로 설정하였다. 공중 적군을 탐지 후 타격하는 단일 작전 시나리오를 활용하였다. 해당 작전 시나리오는 총 6 개의 플랫폼이 참여하고 이 중 2 개의 플랫폼(A, B)이 무선 Link-K 네트워크로 연결된다. 각 플랫폼은 66 개, 14 개의 트랙을 송신하도록 설정하였다. 정답데이터 기준별, AI 모델의 타임 슬롯 예측량과 시뮬레이터 테스트베이스에서 도출된 타임 슬롯양을 비교하여 MSE 를 산출하였다.

표 1 은 모델의 타임 슬롯 예측량과 시뮬레이터 테스트베이스에서 요구하는 타임 슬롯양을 도출한 결과다. 정답데이터 기준 1 안에서, 플랫폼 A 와 B 에 대해 단일 최적 모델은 각 24 개, 7 개의 타임 슬롯을 예측하였으며, 양상블 평균 모델은 각 26 개, 10 개 예측하였다. 검증 결과, 각 플랫폼은 32 개, 10 개의 타임 슬롯이 필요하였다. MSE 는 단일 모델이 36.5, 양상블 모델이 18 로 높게 측정되어, AI 모델이 시뮬레이터의 타임 슬롯 요구량보다 적게 예측함을 확인하였다.

정답데이터 기준 2 안에서, AI 모델의 각 플랫폼 타임 슬롯 예측량은 1 안과 동일하였다. 검증 결과, 각 플랫폼은 25 개, 6 개의 타임 슬롯이 필요하였다. MSE 는 단일 모델이 1.0, 양상블 모델이 8.5 로 1 안 보다 낮게 측정되었다. 이는, AI 모델이 정답데이터 기준 1 안과 2 안의 특징 차이를 효과적으로 학습하지 못한 것으로 고찰되며, 양상블 모델이 단일 최적 모델보다 낮은 성능을 나타내어 양상블 방법의 재설계가 요구된다.

지식 기반 모델은 38 개, 4 개의 타임 슬롯을 예측하였다. 해당 모델은 작전 수행 시, 명시적인 메시지 송신 지연 시간이 정의되어 있지 않다. MSE 는 정답데이터 기준 1 안에서 36.0, 2 안에서 86.5 로 높게 측정되었다. 이는 경험 기반으로는 복잡한 네트워크 자원을 요구량을 예측하는 데 한계가 있음을 시사한다.

실제 Link-K 하드웨어 기반의 테스트베드 환경에서는 트랙 삭제(Track Purge) 발생 여부를 핵심 성능 지표로 활용하였다. 시뮬레이터 환경과 다르게, 하드웨어 기반의 테스트베드에서는 메시지 송수신 이력 로깅의 제약으로, 메시지 송신 지연 시간 측정이 제한된다. 만약, 플랫폼에 할당된 타임 슬롯이 부족하여 트랙 송신 지연이 임계치를 초과하는 경우, 수신 측 플랫폼은 트랙 관리 목록에서 해당 트랙을 삭제한다. 정답데이터 기준 1 안과

Table 1. Model Prediction Verification Results in Simulator Testbed

Reference Ground Truth	Prediction Type	Platform Type		MSE
		A	B	
1st	Single Best Model	24	7	36.5
	Ensemble Averaged Model	26	10	18
	Simulator Testbed Result	32	10	-
2nd	Single Best Model	24	7	1.0
	Ensemble Averaged Model	26	10	8.5
	Simulator Testbed Result	25	6	-
Knowledge-based Model		38	4	1st: 36.0 2nd: 86.5

2 안의 단일 최적 모델 타임 슬롯 예측량으로 작전 시나리오를 수행한 결과, 무선 모뎀에 최대 60 개의 메시지가 대기하였지만 최종적으로 수신 플랫폼의 트랙 삭제가 발생하지 않았고 교전정보 지연 시간이 정답데이터 기준을 충족하였다. AI 모델을 활용하여 타임 슬롯을 할당하는 경우, 일부 메시지의 송신 지연이 발생하나 정상적으로 작전 시나리오 운용이 가능함을 확인하였다. 이를 통해, AI 모델이 실제 합동 작전 수행을 위한 Link-K 네트워크 운용 환경에서도 적용할 수 있음을 입증하였다.

## III. 결론

본 연구에서는 Link-K 네트워크 시뮬레이터에서 생성된 모의 데이터를 학습한 AI 모델을 활용하여, 시뮬레이터와 실제 Link-K 네트워크 운용이 가능한 하드웨어 테스트베드에서 이를 검증하였다. 검증 결과, AI 모델은 Link-K 운용 환경을 비롯한 다양한 전장 환경 특성을 반영하여 타임 슬롯을 일부 예측하였다. 이는 기존에 네트워크 설계자가 경험과 규칙에 의존하여 타임 슬롯을 할당하는 한계를 극복하고, 효율적으로 타임 슬롯을 관리할 수 있음을 시사한다.

## ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2026년 정부의 재원으로 수행된 연구 결과임

## 참 고 문 헌

- [1] S. Kim, et. al, "Characteristic Analysis and Simulation Data Generation for Optimizing TDMA Resource Allocation in Tactical Data Link," KMIST Annual Conference Proceedings, pp. 1040-1041, 2025
- [2] D. Song, et. al, "A SimPy-based Simulator for Verification of TDMA Resource Allocation in Tactical Data Links", Vol. 48, No. 4, pp. 34-43, 2025
- [3] S. Kim et al., "Simulation-Driven Link-K Data Generation Framework to Optimize Resource Allocation," IEEE Access, Vol. 13, pp. 211215-211234, 2025