

EcoAI 랩세미나

2025년 한 해를 돌아보며...

○ 2025.11.27 ○

Presenter: 박범도 | 소속: EcoAI Lab | E-mail: pbeomdo@gmail.com

EcoAI 랩세미나 - 양자배터리 팀 논문리뷰

Contents

1 2025년 정리

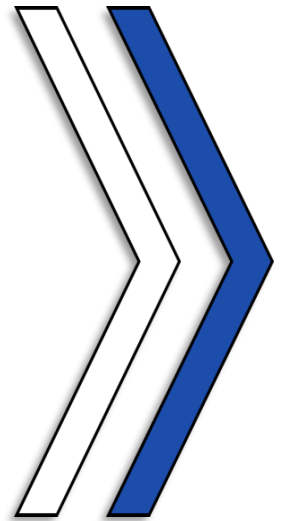
2 2026년 계획

3 Github 활동내역

01

EcoAI 랩세미나

2025년 정리





통신학회 우수논문상(학부생)-(🏆 장려상 수상)
단계적 강화학습 프레임워크를 통한 강건한 양자 배터리 충전

그래프 신경망 기반 강화학습을 통한
양자 배터리 초흡수 이득 활용

팀장: 박준성 / 팀원: 장현석, 박범도
국립한밭대학교

KICS
한국통신학회

제안 목적

다중 환경에 양자 배터리는 NP 스케일의 초흡수(Superabsorption) 획득으로 양자 유동성을 향상하는 핵심 기술임. 그러나 N이 증가할수록 상태공간이 2^N 으로 폭증하여 강력한 학습 수단을 한계 존재.

- 본 제안은 입력 순서에 무관한 구조적 정책 네트워크가 순서 의존적 MLP에서 학습 시간, 메모리 리소스 등에서 우월함을 증명적 입증
- 핵심목표: 그래프 신경망(GNN)의 메시지 전달(Message passing) 구조가 Tavis-Cummings Hamiltonian의 순서와 무관한 특성과 일치하며, 더 효율적으로 초흡수 제어 정책을 학습
- 기대효과: 물리 시스템의 구조적 특성을 AI 모델에 내재화하는 통한 기반 강화학습 프레임워크 제시

문제 정의

- 상대론적인 학습적 복잡도**
 - N이 커질수록 배터리를 충전 가능한 양자 상태의 개수
 - $N=2$ 4개 상태
 - $N=4$ 16개 상태
 - $N=8$ 256개 상태
 - $N=16$ 65536개 상태
 - 강화학습이 학습해야 할 상태 조합이 커져도 증가
- Tavis-Cummings Hamiltonian의 학습 복잡도**
 - $H = \sum_{i=1}^N \omega_i \sigma_i^z + \sum_{i=1}^{N-1} g_{i,i+1} (\sigma_i^- \sigma_{i+1}^+ + \sigma_i^+ \sigma_{i+1}^-)$
 - 모든 파라미터가 2, 연산으로 대체가 용이해 지며,
 - 파라미터의 배치를 순서는 독립적으로 무관하며, 학습 순서 무관성 특성이 존재,
 - 학습이 신경망은 이 순서 무관한 특성을 무시하고 순서 정보를 명시적으로 반영되어야 함.

Tavis-cummings 양자 배터리 환경

- Tavis-Cummings(TC)모델: N개의 큐비트가 단일 모드 공진기의 공명기에 상호작용 하는 시스템
- 그라프 1 단일 공진기에 여러 개의 큐비트가 들어있는 TC 모델 구조
 - 모든 큐비트는 동일한 결합 상수 g 로 공진기에 결합되며, 결합력이 상수적임
 - 핵스피닝만은 공진기에 큐비트의 배열과 관계없이, 모든 큐비트는 동일하게 유지.
- 일반적인 다중 큐비트 시스템(MQ) 모델은 큐비트의 순서를 고려하는 연산으로 인해 불필요한 계산 수행
- 배터리를 전 단계로 학습을 할때는 배터리를 고려한 신경망 모델로 학습해야 하며, 효율적으로 연산 가능

PPO 기반 정책 신경망 구조 비교

강화학습 알고리즘 Proximal Policy Optimization (PPO)

PPO는 근사치에서 널리 사용되는 정책 그라데이션 계열 알고리즘

학습 시 급격한 정책 변화 방지를 임계값 κ 를 사용하여 정책 업데이트 크기를 제한하여 학습 안정성을 증대

전통적인 정책 그라데이션 알고리즘은 학습과 추론을 독립적으로 고려하여, 본 연구의 학습과 추론을 일체화하여 해결

- MLP, MLP-GCN, GCN, GAT 4개의 정책모델 PPO 알고리즘 상에서 학습 시간과 그 성능을 비교 분석

그라프 1. MLP (Multi-Layer Perceptron)

다중 피어슨로 구성된 기본 모델

- 입력, 은닉, 출력 레이어에 각각 노드와 가중치
- 레이어의 배열이 바뀌면 다른 모델로 인식하며, 상이한 결과 출력

그라프 2. GCN (Graph Convolutional Network)

유니버설로 노드들 상호작용 가능으로 학습 가능한 모델

- 인접 그래프 기반 구조
- 노드들 학습을 통해 노드들 학습 가능
- 인접 노드와 인접 노드를 학습하는 과정이 동일하며, 학습 가능
- 노드들 학습을 통해 노드들 학습 가능
- 노드들 학습을 통해 노드들 학습 가능

그라프 3. GAT (Graph Attention Network)

각 노드의 중요도를 학습하여 노드들 학습 가능

- 노드들 학습을 통해 노드들 학습 가능
- 노드들 학습을 통해 노드들 학습 가능
- 노드들 학습을 통해 노드들 학습 가능

실험 결과 및 서비스 구현

성능 비교

(a) 최종 저장 에너지

순서 무관 정책은 큐비트 수(N)가 증가해도 이론적 최대치에 근접하는 99%의 높은 충전율을 달성

MLP 정책은 N=8에서 최대 에너지의 약 73% 수준에 그치며, 그라프 기반 정책은 초흡수 현상 유무에 불관함

GCN은 순서 무관 모델에 고차원 양자 시스템 제어에서 더 안전하고도 우수한 성능을 보임을 시사

(b) 학습 시간

GCN은 N=8에서 GAT 모델 대비 약 10배 빠른 학습 속도

MLP-GCN 모델은 N=8을 초과하면 학습 시간이 지수적으로 급증하며, 학습 속도에 현저한 차이를 보임

MLP는 가장 학습 시간이 길었으나, N=8에서 학습 속도 급증하는 급한 성능을 달성하지 못함

(c) 모델 파라미터 수

GCN은 다른 순서 무관 정책과 동일한 에너지 값을 달성하며, 학습 속도에 현저한 차이를 보임

MLP는 큐비트 수가 증가함에 따라 파라미터 수가 가파르게 증가하며 학습이 불안정

GCN은 파라미터 대비 학습 성능이 우수한 모델 구조로, 계산 리소스와 대용량 시스템에서의 확장 가능성 있음

서비스 구현

시뮬레이션 결과

시뮬레이션 결과

시뮬레이션 결과

기대효과 및 상업화 가능성

기대효과

- GNN을 통해 N 큐비트 시스템의 2^n 복잡성을 극복하고, 고차원 양자 제어의 새로운 프레임워크 제시
- 물리적 특성인 순서 무관성을 반영한 모델이 초흡수 현상을 안정적으로 구현할 수 있음
- 양자 노이즈를 고려한 실제 양자 기기의 안전한 제어 및 대용량 다입자 시스템에서의 확장 가능성 확보

상업화 가능성

현재의 제어 방식은 SaaS를 활용하는 SaaS 및 클라우드 기반 양자 제어 시스템을 구축

- 양자 초흡수 이득을 극대화하는 GNN 모델을 양자 배터리(Battery Management System)에 탑재하여 초고차원 양자 시스템 상용화
- R&D 시간과 인력적 시뮬레이션 플랫폼을 제공하고, 양자 소자 기업에 맞춤형 제어 AI 모델을 공급함

통신학회 학부생 캡스톤 경진대회 - (🏆 우수상 수상)
양자배터리초흡수이득 극대화를 위한
그래프 기반 강화학습 충전 제어[박준성, 박범도, 장현석]

관인생략

출원번호통지서

출원일자 2025.10.31
 특기사항 심사청구(유) 공개신청(무) [REDACTED]
 출원번호 [REDACTED]
 출원인명칭 국립한밭대학교 산학협력단 [REDACTED]
 대리인성명 [REDACTED]
 발명자성명 이상금 박범도 장현석 박준성 허태욱 정훈
 발명의명칭 커리큘럼 강화학습을 이용한 양자 배터리의 강건한 충전 시스템

지식재산처장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 이용하여 특허로 홈페이지(www.patent.go.kr)에서 확인하실 수 있습니다.
 2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 은행 또는 우체국에 납부하여야 합니다.
 ※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
 3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
 4. 기타 심사 절차(제도)에 관한 사항은 지식재산처 홈페이지를 참고하시거나 특허고객상담센터(☎ 1544-8080)에 문의하여 주시기 바랍니다.
 ※ 심사제도 안내 : <https://www.mipo.go.kr>-지식재산제도

양자배터리 특허출원

커리큘럼 강화학습을 이용한 양자배터리의 강건한 충전 시스템



LOG OUT

PAPER #SA78 - AAAI-26 STUDENT
 ABSTRACT AND POSTER
 PROGRAM

Under revision

Welcome

Dear Beomdo Park,

Congratulations on having your publication accepted!

You have worked hard on your paper(s) and the reward is very close. Now it is time to honor it with the best possible editorial work. This is an important step to ensure that your work looks great today and for posterity, on anyone's screen and when printed anywhere.

This website and the editors operating it will guide you on that endeavor. We understand that this process may be tedious at times, but please bear with us and keep in mind that this work will ultimately benefit you as an author.

Editorial process overview

The steps to follow for each of your accepted papers are outlined below. You can freely jump between steps 1-4, but all of them must be completed to proceed to step 5.

1. Copyright assignment
2. Camera-ready PDF upload
3. Paper's sources upload
4. Paper metadata
5. Submit for editorial review

After the editorial review, your paper is ready to appear in the proceedings!

Please select a publication on the menu to get started or continue with its editorial process.

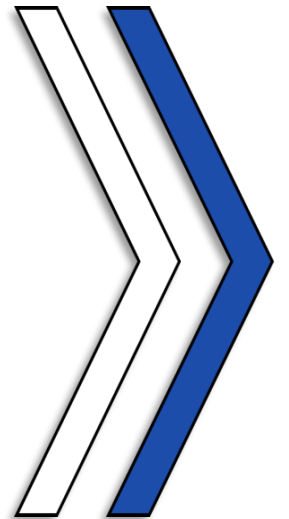
AAAI-26 Student Abstract and Poster Program 제출

Multi-Stage Reinforcement Learning for Robust Charging of Quantum Batteries

02

EcoAI 랩세미나

2026년 계획



랩실 목표

- 풀페이퍼 2건 작성
- 공모전 수상 2건
- 과제 참여, 인턴 경험 등으로 실무경험 취득

개인 공부 목표

- 기사자격증 2건 (정보처리기사, 빅데이터분석기사)
- 공인 영어자격증 공부 (토익, 토플)
- Github관리 및 블로그 작성

방학 이후 예상 성과

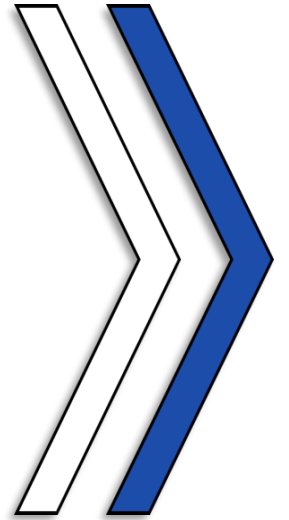
연구 및 논문 작성 경험 / 인턴십, 공모전 경험 /
강화학습 등 관련 지식 고도화

Github, 블로그 등 포트폴리오 구체화 / 자격증 취득

03

EcoAI 랩세미나

Github 활동내역



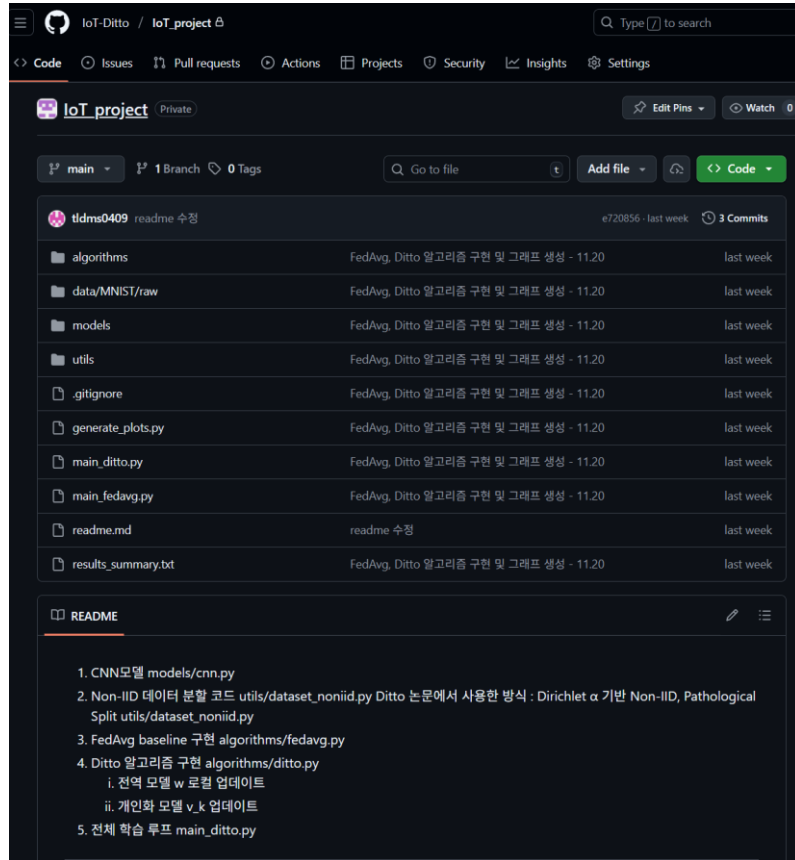
<https://github.com/beomdo-park>

Activities

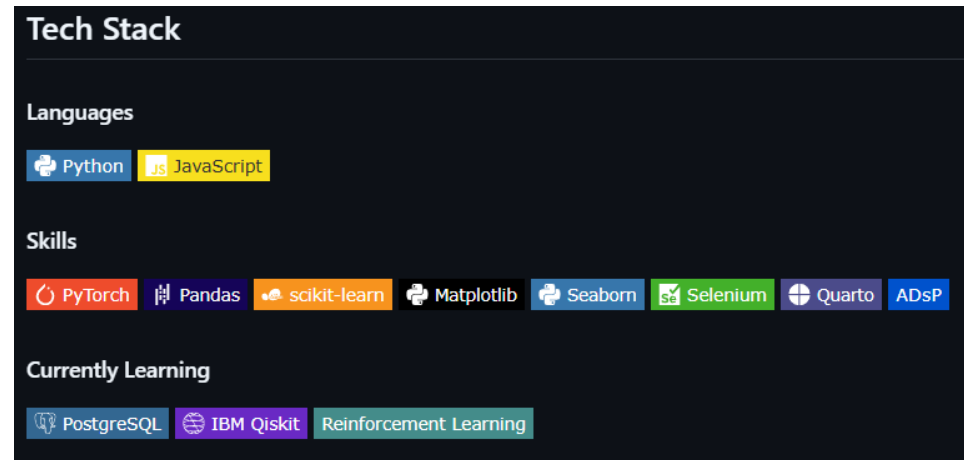
기간	활동명	내용	기관(장소)
2026.01.20 ~ 01.27	AAAI-26 Student Abstract and Poster Program (Accept)	Multi-Stage Reinforcement Learning for Robust Charging of Quantum Batteries	AAAI-26 (Singapore EXPO, Singapore)
2025.11.20	한국통신학회 추계종합학술발표회 학부생 캡스톤 경진대회	(🏆 우수상 수상) 양자배터리 초흡수 이득 극대화를 위한 그래프 기반 강화학습 충전 제어 [박준성, 박범도, 장현석]	라한셀렉트 경주
2025.11.19 ~ 11.21	한국통신학회 추계종합학술발표회 에너지소사이어티1	(🏆 장려상 수상) 그래프 신경망 기반 강화학습을 통한 양자 배터리 초흡수 이득 활용	라한셀렉트 경주
2025.10.31	특허 출원	커리큘럼 강화학습을 이용한 양자 배터리의 강건한 충전 시스템 / 기여도 15% (출원/심사중)	국립한밭대학교 산학협력단
25.10.30	컴퓨터공학과 포트폴리오경진대회	🏆 우수상	국립한밭대학교 컴퓨터공학과

2025.07.14	A Comparative Study of Customized Algorithms for Anomaly Detection in Industry-Specific Power Data(SCIE)	DBA K-Means 모델 부분(공저자)	MDPI journal energies
2025.06.30 ~ 07.11	기업 인턴십	자율주행 로봇 시뮬레이션 및 경로 최적화 (Gazebo 이용)	(주) 아군
2025.06.24 ~ 06.27	대한전자공학회 하계 종합학술대회	고속 푸리에 변환(FFT) 기반 주기 추출 및 윈도우 구성을 활용한 GELU CNN-GRU AE 모델의 산업 전력 시계열 이상치 탐지	롯데호텔 제주(주문)
2025.05.20 ~ 06.30	ABC 프로젝트 멘토링	산업 전력 소비량 이상치 검출 및 최적화	유클리드 소프트
2025.06.13	데이터분석 준전문가(ADsP) 자격증 취득	데이터 분석 기획 및 수행 실무자 자격	한국데이터산업진흥원
2025.05.01 ~	Eco AI Lab 랩장	커뮤니케이션 지원, 일정 조율, 행정 업무 등	국립한밭대학교 EcoAI Lab
2025.04.07 ~	산학협력 프로젝트	자율주행 주차로봇 운영 소프트웨어 성능 테스트 및 최적화	국립한밭대학교 SW 중심대학사업단
2025.03.24 ~	소중한 JUMP-UP Labs	AI(인공지능)를 활용한 산업체 전력 사용량 이상치 탐지	국립한밭대학교 SW 중심대학사업단
2025.03.04 ~ 06.13	데이터사이언스(이상금 교수님) 실습조교 25-1학기	실습자료 제작 및 질의응답 관리	국립한밭대학교 컴퓨터공학과
2025.02.05 ~ 02.07	한국통신학회 동계종합학술발표회	DBA K-Means 군집화 알고리즘 기반 화공산업 전력 사용량 이상치 탐지	강원도 용평리조트
2025.01.16 ~ 01.21	IROC 2024/25 세계대회	대회 진행요원	부산 벡스코

GitHub메인 페이지 활동 요약
(왼쪽: 2학기 / 오른쪽 1학기)



25-2학기 사물인터넷 수업
팀 프로젝트 관리



Tech Stack 업데이트

감사합니다

○ 2025.11.27 ○

Presenter: 박범도 | 소속: EcoAI Lab | E-mail: pbeomdo@gmail.com