

MIT 컴퓨터 과학 및 분자생물학 통합과정

3학년 1학기 (가을학기): 딥러닝과 시스템 생물학

고급 AI 기법과 복잡한 생물학적 시스템 모델링

1주차: Foundation Models와 유전체학

월요일: Transformer 아키텍처 심화

오전 (4시간):

- Transformer 구조 상세 분석
- 셀프 어텐션 메커니즘 수학적 기초
- 멀티헤드 어텐션과 병렬화
- 위치 인코딩과 시퀀스 모델링

오후 (4시간):

- 생물학적 서열에 Transformer 적용
- 단백질 언어 모델 (ProtTrans, ESM)
- DNA 서열 분석을 위한 Transformer
- 실습: BERT 기반 단백질 기능 예측

화요일: 유전체학과 후성유전학 심화

오전 (4시간):

- 후성유전학적 마크와 조절
- DNA 메틸화와 히스톤 수정
- 크로마틴 구조와 3D 게놈
- 후성유전학적 유전과 가소성

오후 (4시간):

- 실습: ChIP-seq, ATAC-seq 데이터 분석
- Hi-C 데이터를 이용한 3D 구조 분석
- 후성유전학적 시계 분석
- 질병에서의 후성유전학적 변화

수요일: Vision Transformer와 이미징

오전 (4시간):

- Vision Transformer (ViT) 구조
- 패치 임베딩과 이미지 토큰화
- DETR과 객체 검출
- 이미지 분할을 위한 Transformer

오후 (4시간):

- 현미경 이미지 분석에 ViT 적용
- 세포 형태 분류와 분할
- 병리 이미지 자동 분석
- 실습: 의료 영상 ViT 시스템

목요일: 컴퓨터 시스템과 분산 컴퓨팅

오전 (4시간):

- 컴퓨터 아키텍처와 메모리 계층
- 병렬 처리와 분산 시스템
- 클라우드 컴퓨팅 아키텍처
- 마이크로서비스와 컨테이너

오후 (4시간):

- 생물정보학 클라우드 플랫폼
- AWS, GCP 생명과학 서비스
- 스케일링과 자동화
- 실습: 클라우드 기반 분석 파이프라인

금요일: 그래프 Transformer와 1주차 평가

오전 (4시간):

- 그래프 Transformer 구조
- 분자 그래프에 Transformer 적용
- 약물-표적 상호작용 예측
- AlphaFold와 구조 예측 AI

오후 (4시간):

- 1주차 종합 평가 (2시간)
 - Transformer 구현 테스트
 - 유전체학 분석 과제
 - ViT 이미지 분석 평가
- 분자 AI 모델 개발 실습 (2시간)
- 주간 피드백 및 2주차 준비

2주차: 시스템 생물학과 네트워크 분석

월요일: 생물학적 네트워크 모델링

오전 (4시간):

- 시스템 생물학 개념과 원리
- 네트워크 이론과 복잡계
- 척도 없는 네트워크와 작은 세상
- 네트워크 동역학과 안정성

오후 (4시간):

- 유전자 조절 네트워크 모델링
- 불린 네트워크와 베이지 네트워크
- 미분방정식 기반 모델
- 실습: 네트워크 시뮬레이션 도구

화요일: 대사 네트워크와 플렉스 분석

오전 (4시간):

- 대사 네트워크 구조와 특성
- 플렉스 균형 분석 (FBA) 심화
- 제약 기반 모델링
- ¹³C 대사 플렉스 분석

오후 (4시간):

- 실습: COBRApy 활용 고급 분석
- 대사 모델 재구성
- 녹아웃 효과 예측
- 대사공학 설계 최적화

수요일: 신호전달 네트워크

오전 (4시간):

- 세포 신호전달 시스템 복잡성
- 신호전달 cascade와 증폭
- 피드백과 피드포워드 루프
- 크로스토크와 신호 통합

오후 (4시간):

- 실습: 신호전달 모델링
- SBML과 시뮬레이션 도구
- 약물 작용 메커니즘 분석
- 네트워크 기반 약물 표적 발견

목요일: 단일세포 오믹스 궤적 분석

오전 (4시간):

- 단일세포 분석 기술 발전
- scRNA-seq 데이터 특성과 도전
- 의사시간 (Pseudotime) 개념
- 궤적 추론 알고리즘

오후 (4시간):

- 실습: Monocle, PAGA 활용
- 발달 궤적과 분기점 분석
- 세포 운명 결정 모델링
- RNA 속도 분석 (RNA Velocity)

금요일: 멀티스케일 모델링과 2주차 평가

오전 (4시간):

- 멀티스케일 생물학적 시스템
- 분자-세포-조직-개체 통합
- 스케일 간 연결과 상호작용
- 계층적 모델링 접근법

오후 (4시간):

- 2주차 종합 평가 (2시간)
 - 네트워크 모델링 프로젝트
 - 대사 네트워크 분석 과제
 - 단일세포 분석 테스트
 - 멀티스케일 모델 구축 실습 (2시간)
 - 주간 성찰 및 다음 주 준비
-

3주차: 합성생물학과 회로 설계

월요일: 합성생물학 개념과 설계

오전 (4시간):

- 합성생물학의 역사와 발전
- 표준화된 생물학적 부품 (BioBricks)
- 생물학적 회로 설계 원리
- 모듈화와 추상화 개념

오후 (4시간):

- 합성 유전자 회로 예제
- 토글 스위치와 진동자

- 논리 게이트 구현
- 실습: TinkerCell 회로 설계

화요일: 유전자 조절 회로 모델링

오전 (4시간):

- 전사 조절의 수학적 모델
- Hill 함수와 협동성
- 프로모터 강도와 RBS 최적화
- 노이즈와 확률성 효과

오후 (4시간):

- 실습: 유전자 회로 시뮬레이션
- SBOL (Synthetic Biology Open Language)
- 회로 성능 예측과 최적화
- 진화적 안정성 분석

수요일: CRISPR와 유전자 편집

오전 (4시간):

- CRISPR-Cas 시스템의 다양성
- 가이드 RNA 설계와 특이성
- 베이스 에디팅과 프라임 에디팅
- 후성유전학적 편집 (dCas9)

오후 (4시간):

- 실습: CRISPR 설계 도구 활용
- 오프타겟 효과 예측과 최소화
- 멀티플렉스 편집 전략
- CRISPR 스크리닝 분석

목요일: 바이오센서와 액추에이터

오전 (4시간):

- 생물학적 센서 설계 원리
- 리보스위치와 단백질 센서
- 형광 리포터와 광학 센서
- 바이오센서 성능 지표

오후 (4시간):

- 실습: 바이오센서 모델링
- 환경 모니터링 센서 설계
- 치료용 바이오센서

- 산업 응용 센서 개발

금요일: 합성생물학 **CAD**와 3주차 평가

오전 (4시간):

- 생물학적 설계 자동화
- CAD 도구와 설계 플로우
- 부품 라이브러리와 데이터베이스
- 설계-구축-테스트-학습 사이클

오후 (4시간):

- 3주차 종합 평가 (2시간)
 - 합성 회로 설계 과제
 - CRISPR 시스템 설계 테스트
 - 바이오센서 개발 평가
 - CAD 플랫폼 활용 실습 (2시간)
 - 중간고사 준비 안내
-

4주차: 고성능 컴퓨팅과 빅데이터

월요일: 병렬 프로그래밍과 **GPU**

오전 (4시간):

- 병렬 컴퓨팅 아키텍처
- CUDA 프로그래밍 모델 심화
- 메모리 계층과 최적화
- 병렬 알고리즘 설계 패턴

오후 (4시간):

- 생물정보학 GPU 가속 심화
- 서열 정렬 GPU 최적화
- 분자 동역학 시뮬레이션 가속
- 실습: 고성능 CUDA 프로그램

화요일: 빅데이터 처리 플랫폼

오전 (4시간):

- 하둡 생태계와 HDFS
- Spark 아키텍처와 RDD
- 스트림 처리와 실시간 분석
- NoSQL 데이터베이스 설계

오후 (4시간):

- 생물정보학 빅데이터 처리
- 대용량 시퀀싱 데이터 분석
- 실시간 데이터 파이프라인
- 실습: **Spark** 기반 유전체 분석

수요일: 클라우드와 컨테이너 기술

오전 (4시간):

- 클라우드 서비스 아키텍처
- 마이크로서비스와 **API** 설계
- **Docker** 고급 기능
- **Kubernetes** 오케스트레이션

오후 (4시간):

- 생물정보학 클라우드 최적화
- 서버리스 컴퓨팅 활용
- 자동 확장과 비용 관리
- 실습: 클라우드 네이티브 파이프라인

목요일: 데이터 관리와 스토리지

오전 (4시간):

- 대용량 데이터 저장 전략
- 분산 파일 시스템
- 데이터 압축과 인덱싱
- 메타데이터 관리

오후 (4시간):

- **FAIR** 데이터 원칙 구현
- 데이터 거버넌스와 보안
- 백업과 재해 복구
- 실습: 생물정보학 데이터 플랫폼

금요일: 시각화와 4주차 평가

오전 (4시간):

- 대화형 데이터 시각화
- **D3.js**와 웹 기반 시각화
- 대시보드 설계와 **UX**
- 실시간 모니터링 시스템

오후 (4시간):

- 4주차 종합 평가 (2시간)
 - GPU 프로그래밍 성능 테스트
 - 빅데이터 처리 과제
 - 클라우드 시스템 설계 평가
 - 인터랙티브 시각화 개발 (2시간)
 - 중간고사 최종 준비
-

5주차-8주차: 중간고사 기간 및 고급 주제

5주차: 진화 계산과 최적화

월요일: 유전 알고리즘과 진화 전략 화요일: 스웜 인텔리전스와 집단 지능 수요일: 다목적 최적화 (NSGA-II, MOEA/D) 목요일: 단백질 설계와 최적화 금요일: 네트워크 진화 분석 + 5주차 평가

6주차: 양자 컴퓨팅 기초

월요일: 양자 컴퓨팅 원리와 큐비트 화요일: 양자 알고리즘 (Shor, Grover) 수요일: 변분 양자 알고리즘 (VQE, QAOA) 목요일: 양자 기계학습 금요일: 분자 시뮬레이션과 양자 우위 + 6주차 평가

7주차: 개인정보보호와 보안

월요일: 생물정보학 프라이버시 문제 화요일: 동형 암호화와 보안 다자간 계산 수요일: 연합 학습과 차분 프라이버시 목요일: 블록체인과 분산 신뢰 금요일: 데이터 거버넌스와 윤리 + 7주차 평가

8주차: 중간고사 기간

월요일-화요일: 중간고사 준비 수요일: 중간고사 실시 (6시간) 목요일: 중간 연구 프로젝트 발표 금요일: 중간 평가 및 피드백

9주차-15주차: 후반기 최첨단 주제

9주차: 멀티모달 AI와 융합

월요일: 텍스트-이미지-분자 멀티모달 학습 화요일: 크로스 모달 검색과 생성 수요일: 지식 그래프와 멀티모달 임베딩 목요일: 통합된 생물의학 AI 시스템 금요일: 설명 가능한 멀티모달 AI + 9주차 평가

11주차: 계산 진화생물학

월요일: 분자 진화의 수학적 모델과 계통유전체학 화요일: 집단 유전학 시뮬레이션과 선택 압력 수요일: 종 분화와 적응 방사 모델링 목요일: 계통지리학과 기후 변화 영향 금요일: 고대 DNA와 진화 역사 재구성 + 11주차 평가

12주차: 바이오의료 데이터 사이언스

월요일: 실제 임상 데이터 특성과 EHR 마이닝 화요일: 의료 영상 AI와 딥러닝 진단 수요일: 임상 시험 설계와 적응형 시험 목요일: 의료 AI의 임상 검증과 규제 금요일: 인구 건강과 유행병학 모델링 + 12주차 평가

13주차: 윤리와 AI의 사회적 영향

월요일: AI 윤리의 핵심 원칙과 알고리즘 공정성 화요일: 의료 AI에서의 편향과 건강 형평성 수요일: 자율성과 인간의 역할, 의료진-AI 협업 목요일: 글로벌 AI 거버넌스와 국제 협력 금요일: 미래 사회 전망과 지속가능한 발전 + 13주차 평가

14주차: 캡스톤 프로젝트 개발

월요일: 연구 프로젝트 주제 확정과 가설 설정 화요일: 데이터 수집과 전처리, 품질 관리 수요일: 모델 개발과 구현, 알고리즘 최적화 목요일: 결과 분석과 해석, 통계적 검증 금요일: 발표 준비와 문서화, 재현성 확보

15주차: 기말고사 및 최종 평가

월요일: 최종 프로젝트 발표 (4시간) / 연구 성과 시연 화요일: 기말고사 준비 (8시간) / 종합 정리 수요일: 기말고사 실시 (6시간) 목요일: 포트폴리오 평가 (8시간) / 개별 면담 금요일: 학기 마무리 (8시간) / 우수 프로젝트 시상

매주 평가 시스템:

- 주간 평가 (매주 금요일, 2시간): 15%
- 중간고사: 15%
- 기말고사: 20%
- 연구 프로젝트: 35%
- 프로그래밍 과제: 10%
- 출석 및 참여도: 5%

참고 자료:

- "Attention Is All You Need" (Vaswani et al., Transformer 원본 논문)
- "Systems Biology: Properties of Reconstructed Networks" (MIT OCW)
- "Synthetic Biology: A Primer" (Imperial College London)
- "Programming Massively Parallel Processors" (Kirk & Hwu)
- "Quantum Computing: An Applied Approach" (Hidary)

학습 성과:

학생들은 최첨단 딥러닝 기법을 마스터하고 복잡한 생물학적 시스템을 모델링할 수 있게 됩니다. 시스템 생물학과 합성생물학의 핵심 개념을 이해하고, 고성능 컴퓨팅 환경에서 대규모 생물정보학 문제를 해결할 수 있는 능력을 기릅니다. 또한 윤리적 고려사항을 바탕으로 책임감 있는 AI 개발을 수행할 수 있는 전문가로 성장합니다.