

미국 에너지부(DOE)의 AI 개발전략 : AI컴퓨팅 분야를 중심으로

ETRI 지능화융합연구소 기술정책연구본부 지능화정책연구실

김현진 UST학생연구원 • azurestar@etri.re.kr

민수진 UST학생연구원 • sjmin@etri.re.kr

미국 에너지부(DOE)는 '20년 2월 과학분야의 인공지능(AI) 활용 및 개발전략이 담긴 보고서 「AI for Science」를 발간하였다. 물리학, 화학, 생물학, 공학 등 16개의 다양한 분야를 다루고 있으나, 본 브리프는 기초·응용과학연구에 지능화된 인프라를 제공하는 AI컴퓨팅 분야(에지AI, 고성능컴퓨팅)를 중심으로 핵심내용을 간략히 소개하고자 한다.

* 본 보고서의 내용은 연구자의 견해이며 ETRI의 공식 의견이 아님을 알려드립니다.

October 2020



미국 에너지부(DOE)의 AI 개발전략 : AI컴퓨팅 분야를 중심으로

들어가며

인공지능(AI)은
기초·응용과학분야의
연구생산성을 제고할
뿐만 아니라
불가능했을 연구를
가능하게 할 도구로
주목받고 있다.

- 과학분야에서 데이터 크기 및 발생 속도가 폭증함에 따라 이를 효과적으로 처리할 수 있는 방법론 개발 및 활용의 필요성 대두
 - 현대 과학은 LHC(강입자충돌기), VLA(극대배열전파망원경), IceCube(중성미자 관측기)와 같은 거대한 연구장치 혹은 지구 전역에 분산된 센서와 계측기에서 생성되는 방대한 데이터를 연구에 활용하는 추세
- 인공지능(AI)은 지리적으로 분산된 빅데이터를 신속하고 효율적으로 처리함으로써 연구생산성을 향상시킬 뿐만 아니라 기존의 방식으로는 불가능했던 획기적인 연구를 가능하게 할 기술로 주목
 - 미국 오크릿지 국립연구소는 COVID-19 치료물질을 찾는 프로젝트에 AI를 활용하여 작업시간을 크게 단축시키는 등 과학연구에 있어 AI의 유용성을 입증
 - 또한, 새로운 약물반응 예측법, 유기 태양전지 개발, 대규모의 우주 시뮬레이션 등 다양한 과학분야에서 AI를 활용할 계획
- AI 기술을 선도하고 있는 미국의 경우, 에너지부(DOE)가 산하의 국립연구소들과 함께 과학분야별 AI 개발전략을 수립하며 대응에 나서는 중

※ 참고 : 미국 에너지부 (Department of Energy : DOE)

- 미국 연방정부의 행정기관 중 하나로 에너지, 환경, 핵안보에 관한 업무를 담당할 뿐만 아니라 미국 전역에 과학연구소를 설치·운영하며 기초 및 응용과학 분야를 지원하고 있음
- 에너지부는 산하에 가장 오래된 국립연구소인 로렌스버클리 국립연구소, 기초과학과 에너지자원을 연구하는 아르곤 국립연구소, 고성능컴퓨팅 및 생물학에 중점을 둔 오크릿지 국립연구소 등의 과학 연구기관을 두고 있음

미국 에너지부(DOE)의 AI 개발전략 : 「AI for Science」

DOE는 과학분야별로
AI 개발·활용전략을
수립하였고, 이들 중
AI컴퓨팅은 지능화된
인프라를 제공하는
핵심영역이다.

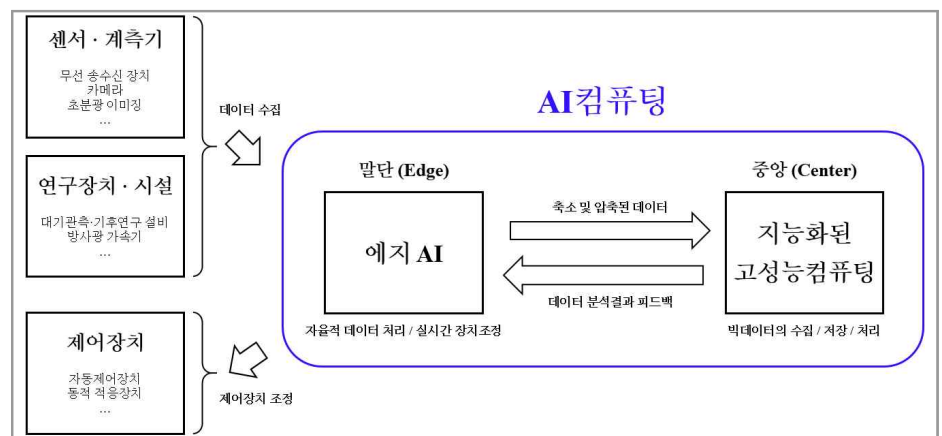
- 미국은 '19년 2월 연방정부 차원의 AI 전략인 「American AI Initiative」를 발표하고 연방기관들이 AI 연구개발에 최우선 투자할 것을 지시
- DOE는 로렌스버클리, 아르곤, 오크릿지 국립연구소 등과 타운홀 미팅을 통해 보텀업(bottom-up) 방식으로 과학분야별 AI 개발 및 활용 전략을 도출하고, 이를 정리한 보고서 「AI for Science(과학을 위한 AI)」 발간('20년 2월)
 - 보고서는 총 16개 하위분야로 구성되어 있으며, 해당 분야별로 기술현황, 극복해야 할 주요과제, 해결방향, 기대결과 등을 제시



* 화학소재·나노과학, 지구환경과학, 생물·생명과학, 입자물리학, 핵물리학, 퓨전에너지, 엔지니어링·제조, 스마트에너지인프라, 컴퓨터과학, AI 기반 및 개방형 문제, SW환경 및 연구, 데이터 라이프 사이클 및 인프라, 하드웨어 아키텍처, 시이미징, 에지AI, 시설통합과 AI생태계

- 본 브리프는 보고서의 하위분야 중 AI컴퓨팅의 말단(edge)과 중앙(center)을 구성하는 ‘에지AI’와 ‘시설통합과 AI생태계’의 핵심내용을 간략히 소개
- DOE는 지능화된 인프라를 제공함으로써 기초·응용과학의 연구생산성을 제고하고 획기적인 연구를 지원하는 AI컴퓨팅 분야에 대해 높은 기대와 관심을 보임
- 에지AI(Edge AI)는 말단에서 자율적인 데이터 처리와 실시간 장비조정을 통해 트래픽을 관리하고, 고성능컴퓨팅(HPC) 및 네트워크(HPN)는 빅데이터의 수집, 저장, 처리과정에 개입하여 지능화된 인프라를 운영하는 핵심역할 수행

【 AI컴퓨팅 개념도 】



※ 출처: U.S. Department of Energy (2020) 재구성

DOE의 AI 전략: 에지AI 및 고성능컴퓨팅 분야

AI 활용을 위한 주요과제

에지AI

- DOE는 에지AI를 활용하는 과정에서 극복해야 할 4가지 과제를 제시
- (과제 1) 제약된 조건하에서 고속의 대용량 데이터 처리
 - 과학분야 활용을 위한 과제는 센서와 계측기에서 생산되는 데이터의 특성과 연관
 - * 초당 100TB의 데이터 생산하는 계측기는 극저온 전자현미경, 전자현미경, 광원들을 사용한 연구시설에 활용되고 있으며, 에지AI는 이러한 데이터 트래픽을 감당해야 하는 상황
 - 불안정한 조건하에서 발생하는 데이터 품질저하 문제도 고려해야 할 사항
- (과제 2) 다양한 출처에서 수집된 데이터의 통합
 - 과학연구는 개별적인 데이터 분석뿐만 아니라 다양한 이종(heterogeneous) 센서로부터 수집된 정보를 효과적으로 통합할 수 있는 성능을 요구

에지AI의 핵심과제는 제한된 조건하에서 다양한 출처의 분산된 데이터를 자율적으로 처리하고, 시스템 단위의 통합을 실현할 수 있는 성능의 확보이다.



* AR1K 스마트팜 컨소시엄은 토양상태를 파악하기 위해 위성, 센서장치 드론, 지상국 및 임베디드 센서의 데이터를 통합할 계획이며, 이 과정에서 에지AI는 수천 대의 디바이스를 운영하고, 로봇을 이용한 샘플수집 및 데이터 분석체제를 지원할 예정

● (과제 3) 스마트한 과학 인프라 구축 및 운영 지원

- 대규모의 분산된 연구장치를 운영하기 위해 조정된 결정을 내릴 수 있는 인프라 구축과 운영이 필수적이며, 에지AI는 이를 지원해야 하는 상황

* DOE의 자원(컴퓨팅 자원, 센서, 제어장치)과 인근의 실험시설(광원 및 입자가속기 등)을 연결하고 통합된 인프라를 구축하기 위해 에지AI를 활용할 예정

● (과제 4) 시스템 단위의 통합을 보조

- 다수 분산된 시스템의 상호작용 및 통합을 보조할 수 있는 기술 수준 요구

* 자율주행 시스템은 보행자 웨어러블, 스마트운송, 자율항공과 상호작용할 것이며 더 나아가 스마트 시티에 통합되어가는 단계로 발전 중이며, 에지AI는 이러한 통합에 기반을 제공

- 에지AI는 여러 분산된 시스템의 통합을 보조하고, 데이터 교환 및 개인정보보호의 균형을 유지하면서 시스템 최적화 및 고장감지 등의 역할도 담당

고성능컴퓨팅

고성능컴퓨팅에서
가장 중요한 것은
데이터의 관리이며,
데이터의 복잡성이
증가할수록 장비운용
측면에서 AI도입의
필요성도 증대한다.

● (과제 1) 데이터의 체계적 관리와 접근성 확보

- 데이터 관리는 AI의 과학연구 활용의 시작점으로서, 데이터의 출처를 추적하고 저장, 교환하기 위한 데이터관리시스템이 필요

* 데이터관리시스템은 서로 다른 컴퓨팅시설에서 수집된 데이터에 대한 접근성을 제공해야 하며, 데이터의 검색, 구성, 공유, 이동, 라벨링 등 반복적인 작업을 단순화할 수 있어야 함

- 중앙데이터관리시스템의 경우 페타바이트(petabyte) 규모의 데이터셋을 장기적으로 저장하고 송수신할 수 있는 구조를 염두에 두고 설계되어야 함

* 데이터 생성방법이 서로 다른 시설들에서 모이는 수백만~수십억 데이터레코드를 체계화하는 기능 필요

- 과학 영역(domain) 별로 AI 훈련을 위한 데이터셋 및 학습모델의 공유를 위한 생태계 구축

* 과학분야별로 합의된 데이터 표준이 요구되며, 데이터 교환을 위해 오픈소스 파일형식의 사용이 권장

* 데이터 탐색과 시학습자동화 인터페이스를 갖춘 메타데이터 카탈로그가 필요

● (과제 2) AI 특화 컴퓨팅 하드웨어 개발

- 미래의 HPC센터의 아키텍처는 센터 내부 및 외부의 모든 장비에서 복잡한 데이터 트래픽을 처리하는데 최적화되어야 함

* AI 컴퓨팅 워크로드는 비구조화된 대규모 데이터에 반복적으로 접근하는 등 입력규모가 큰 반면 출력 규모는 이에 비해 작은 경우가 빈번하므로, 이러한 특성을 반영할 수 있는 하드웨어가 요구됨

* 빠른 읽기속도를 갖춘 파일시스템, 컴퓨팅 노드에서 순간적으로 높은 대역폭을 요구하는 입출력을 처리할 수 있는 고성능 스토리지의 활용, 빠르고 주기적인 AI 훈련 데이터의 교환을 위한 고속인터넷 커넥트, TPU/뉴로모픽칩 등의 차세대 액셀러레이터 등

- HPN의 데이터포털, 네트워크, 에지컴퓨팅, HPC, 입출력(I/O)시스템 등 모든 연결 고리는 AI 애플리케이션과 분산컴퓨팅 성능극대화를 고려하여 설계해야 함



- * AI 훈련에 요구되는 페타데이터 규모의 데이터셋을 주기적으로 교환하기 위한 HPN 성능이 확보되어야 함
- * 에지컴퓨팅은 네트워크에 분산된 장치, 컴퓨팅센터 등 HPN의 여러 단계에서 적용될 수 있음

● (과제 3) AI와 컴퓨팅의 융합을 통한 컴퓨팅센터의 지능화

- HPC 및 HPN에서 처리하는 데이터의 복잡성이 증가함에 따라 장비운영 측면에서 AI를 도입할 필요성이 증대
- HPC생태계에 분산된 데이터 및 컴퓨팅자원의 공유/배분을 자동화할 수 있는 운영체계의 개발이 필요
 - * HPC생태계의 생산성을 확보하기 위해서는 AI 워크플로우를 구성하는 데이터, 저장소, 로컬/비로컬 컴퓨팅 플랫폼, LAN/WAN 등 다양한 자원들을 원활하게 배정할 수 있는 설비 정책을 수립해야 함
- AI컴퓨팅 자원의 배정시스템은 각 컴퓨팅 자원 요청의 긴급성을 평가하고 이를 배정의 우선순위에 고려할 수 있어야 함
 - * 실시간 데이터분석에 요구되는 컴퓨팅 자원의 긴급성은 수일 이상의 시간이 요구되는 AI 훈련에 요구되는 컴퓨팅 자원의 긴급성보다 높을 것임
- AI컴퓨팅 자원 배정시스템은 하드웨어 가용성, 전력 에너지 소비량, 해당 컴퓨팅 자원을 사용하는 과학/실험 애플리케이션을 모두 고려하여 최적의 경로 및 위치를 기반으로 자원을 배정/감독할 수 있어야 함
 - * 또한 HPC 및 HPN의 효율성과 성능개선에 대한 피드백을 시스템이 자율적으로 제공할 수 있어야 함
- AI가 스스로 AI 애플리케이션을 위한 효과적인 HPC/HPN 환경을 조성하는 완전히 자동화되고 최적화된 시스템의 구축이 필요
 - * HPC가 스스로 사용 패턴을 예측하고, 자원사용 추세를 식별하고, 향후 컴퓨팅 아키텍처에 대한 의사 결정을 제안하는 등 성능기반 컴퓨팅 환경을 제공
 - * AI시스템이 HPC의 결함 및 성능저하를 예측/감지하고 이에 따라 컴퓨팅 처리량을 자율적으로 조정
 - * 또는 데이터셋의 입력 자동화, 수행한 컴퓨팅/실험 결과의 검증, 새로운 파라미터의 추천, 탐구되지 않은 미지의 현상 조사 등에 AI 시스템을 활용할 수 있음
 - * 이를 구현하기 위해서는 HPC 시설에서 매일 실시간으로 생성되는 테라바이트 규모의 시설운영 데이터의 식별과 수집, 분석, 공유가 필수적

〈시사점〉

- 제한된 환경하에서 다양한 원천(센서, 디바이스, 장비)에서 생산되는 데이터를 체계적으로 관리하고 통합할 수 있어야 함
 - 에지AI의 성능향상과 AI기반 데이터관리의 경쟁력을 확보하기 위해 관련 연구 개발 및 표준화 기회를 발굴해야 함
- AI컴퓨팅을 위한 하드웨어 설계 시 모든 연결고리(센서, 디바이스, 컴퓨팅장비, 네트워크 등)의 성능 극대화가 고려되어야 함
 - R&D 기획단계부터 전체시스템(컴퓨팅생태계) 수준의 협업을 수행
- 대규모의 분산된 컴퓨팅자원을 실시간 통합·관리할 수 있는 인프라를 개발해야 함
 - 자율적 컴퓨팅자원 배정 및 최적화 관련 R&D 기회를 발굴할 필요가 있음

중·단기 개발전략

에지AI

에지AI 개발전략은 제한된 환경에서 데이터 불완전성을 극복하고 시스템 간 상호작용 및 통합을 위한 성능 확보에 초점을 맞추고 있다.

- (전략 1) 제한된 자원하에서 학습
 - 에지AI는 자원이 제한된 상황에서 작동하므로 새로운 알고리즘을 적용한 소규모 시스템을 구성하고 새로운 트렌드 수용을 위한 주기적인 업데이트 실시
- (전략 2) 오류, 고장, 정확성에 대한 이해도 향상
 - 데이터의 불완전성이 발생할 수 있으므로 데이터 분석 및 제어과정에서 노이즈, 오류, 고장의 영향을 정확히 파악하고, 폭넓은 신뢰성과 강건성, 해석가능성을 유지할 수 있도록 노력
- (전략 3) 컴퓨팅 연속성(continuum) 달성
 - 구성요소, 동작, 시스템, 목표, 의도를 포괄할 수 있는 컴퓨팅 연속성을 기술하고 모델링하는 발전된 방법을 연구
 - * 컴퓨팅 성능을 극대화하기 위해 에지(edge)와 코어(core) 간 원활한 연결뿐만 아니라 포그(fog), 클라우드(cloud)의 전 영역으로 확장되어 스토리지, 네트워킹, 컴퓨팅 리소스의 상호작용과 통합을 확보할 필요
- (전략 4) 상호작용 모델의 구축
 - 에지AI 시스템의 구성 및 운영을 위해 시스템 참여자가 원활히 정보를 교환하고 자신이 속한 AI 모델을 정확히 파악할 수 있는 상호작용 모델을 구축
 - * 개별 구성요소와 시스템을 바탕으로 더 큰 시스템을 구성하려면 상호작용 모델링이 중요하지만, 현재는 제한된 작업만이 가능한 상황
- (전략 5) 동적 리소스와 상호작용 관리시스템 구성
 - 멀티테넌시(multitenancy)를 확보하기 위해 에지 중심의 리소스 관리시스템을 구성하고 다양한 컴퓨팅 노드의 운영을 최적화하는 방안을 연구
 - * 현재의 에지 컴퓨팅 시스템은 단일 디바이스에 집중하고 있지만, 미래의 에지 노드는 샘플링 속도 또는 운영 요구사항에 부합하여 스케줄링된 다양한 AI 작업을 지원할 수 있어야 함

고성능컴퓨팅

미국은 데이터인프라 및 정책 개발에 많은 관심을 두고 있다. 향후, 엑사스케일급 슈퍼컴퓨터 및 자체 네트워크를 구축하여 공공 컴퓨팅서비스를 제공할 예정이다.

- DOE는 향후 3년간 미국 최초의 1세대 엑사스케일급 슈퍼컴퓨터 장치를 구축할 계획이며, 이를 지원하기 위한 차세대 HPN(ESNet 6)을 곧 출시한다고 밝힘
 - 새로 구축될 HPC는 NERSC-9의 슈퍼컴퓨터 Perlmutter, Aurora의 ALCF 및 OLCF의 Frontier 엑사스케일급 슈퍼컴퓨터
 - * 엑사스케일급 컴퓨터는 초당 100경(10의 18승) 단위의 계산 가능
- 장기적으로 AI의 효과성을 보장하기 위해, DOE는 HPC 중심의 AI 프레임워크의 개발을 지원하고 진보된 네트워크 및 컴퓨터시설 설계할 수 있는 환경조성
 - AI 가중치의 공유, 출판을 위한 플랫폼을 지원할 예정



- AI 에이전트의 능력은 훈련에 사용되는 데이터의 품질에 의해 결정되므로, 고품질의 데이터셋을 확보하기 위한 확장가능한 데이터관리시스템 배치 예정
- 향후의 발전된 AI 애플리케이션을 고려하여 유연성을 염두에 두고 컴퓨팅 시설을 설계할 계획

〈시사점〉

- 제한된 환경하에서 데이터의 불완전성을 파악하고 시스템 간 상호작용 및 통합을 위한 국가적 차원에서의 접근이 필요
 - 데이터의 신뢰성과 강건성을 유지하려는 노력과 함께 국내 국가슈퍼컴퓨팅센터, 연구기관, 대학, AI기업 등을 포함한 컴퓨팅생태계의 통합을 위한 국가적 차원의 명확한 기술개발 전략이 중요
- AI의 효과성을 확보하기 위한 데이터인프라 개발 및 정책 수립이 중요
 - 데이터 품질향상을 위한 AI기반 데이터관리 에이전트의 개발, 데이터를 생성하고 활용하는 과학자를 대상으로 한 교육 프로그램 실행

AI컴퓨팅 개발전략의 기대결과

- DOE는 에지AI와 고성능컴퓨팅의 발전을 통해 빅데이터를 분산된 환경에서 실시간으로 처리하고 지능화된 인프라에 의한 과학 연구생산성 향상을 예상
- 궁극적으로 연구자가 지능화된 과학인프라에 자유롭게 접근할 수 있는 환경을 구축함으로써 연구방식 자체를 근본적으로 혁신하고 놀라운 과학적 발견을 달성할 것으로 기대

결론

AI컴퓨팅이 지향하는
궁극적인 모습은
개별 연구자가
지능화된 인프라에
자유롭게 접근할 수
있는 환경을
구축하는 것이다.

- AI 기술은 산업·사회영역을 넘어 순수과학영역에 침투하고 있으며, 연구방식을 근본적으로 변화시키는 수준의 영향력을 발휘하고 있음
 - 특히, AI컴퓨팅 기술은 향후 과학기술의 지속적인 발전과 국가과학기술의 경쟁력을 담보하기 위해 필수적으로 역량확보가 필요한 영역으로 판단됨
- 각국이 미래변화에 분주히 대응하는 상황 속에서 미국은 국가차원의 AI전략을 수립하고 부문별 실행방안을 마련함으로써 체계적으로 AI 역량을 축적하고 있음
- 본 브리프는 AI컴퓨팅 분야에 대한 미국의 대응전략(도전과제·해결방안)을 살펴봄으로써 국내에서 관련 기술개발 및 정책·전략 수립 시 고려할만한 점을 정리

참고문헌

- [1] 관계부처합동 (2019), 인공지능 국가전략.
- [2] The White House, Accelerating America's Leadership in Artificial Intelligence, 2019. 2. 11.
- [3] Rick S. V. Taylor, Jeff N. A. B. Maccabe, & Katherine Y. D. Brown (2020), AI For Science, U.S. Department of Energy (DOE).
- [4] The Sience Times, 슈퍼컴퓨터로 '팬데믹' 끝내겠다: 미 정부, 슈퍼컴퓨터 총동원해 피료제 개발, 2020년 3월 25일자 기사.
- [5] AI hub 홈페이지, <https://www.aihub.or.kr/>

본 보고서는 ETRI 기술정책연구본부 주요사업인 "국가 지능화 기술정책 및 표준화 연구"를 통해 작성된 결과물입니다.

본 저작물은 공공누리 제4유형:

출처표시+상업적이용금지+변경금지 조건에 따라 이용할 수 있습니다.

