

[제주·AWS 글로벌 스페이스 챌린지 해커톤]

AWS HPC 기반 실시간 지구 자기권 3D 디지털 트윈

| 동동색똥침(DDCAS)
| 김동건, 김우진, 서동주, 홍정우

문제 탐색 및 기존 솔루션 분석

지구 자기장 예측의 필요

현재 지구는 수많은 전력망과 통신에 기반
태양풍에 의해 한순간에 무너질 위험성 존재
태양풍은 지구의 자기장을 찌그러트리고, 이러한 변화에 의해 전력망을 손상시킨다.

기존의 솔루션

태양풍과 지구 자기장의 상호작용 확인용 고해상도 3차원 시뮬레이션 모델 존재
NASA, NOAA 등의 기관이 슈퍼컴퓨터로 구현
물리적으로 정확한 해를 구하는 것이 목적

기존 솔루션의 문제점

일반 연구자나 스타트업에게 데이터 접근 차단
전문가만 이해 가능한 복잡한 데이터로 제공
정확한 해를 구하는 데에 오랜 시간이 걸리며 실시간 대응에 불리

실시간 지구 자기권 3D 디지털 트윈

태양풍의 실시간 데이터 기반으로 지구 자기장의 변화를 3D 모델로 시각화하여 제공하는 서비스

| 핵심 기능

자기권 계면 3D 랜더링

구현 목적

태양풍에 의해 찌그러지는 지구 자기권을 어려운 수치 데이터가 아닌 직관적인 3 차원 시각 데이터로 확인하고자 하는 니즈 충족을 위한 기능이다.

구현 방법

태양풍의 동압과 지구 자기압의 평형을 계산하는 압력 균형 모델을 이용
계산 결과와 Three.js를 이용하여 자기권계면을 시각화
압축되고 늘어지는 자기장 모양을 정밀 묘사

| 핵심 기능

위험 구역 시각화

구현 목적

스타트업 종사자의 경우 어느 지역이 위험한지를 아는 것이 중요하다. 하지만 자기권계면의 3D 모델만을 가지고 판단하기 어려울 수도 있기에 이를 바로 알려주는 기능이다.

구현 방법

앞의 계산을 바탕으로 자가장의 크게 변화하는 위치를 계산
이를 바탕으로 특정 시간을 입력하였을 때 위험 구역을 붉은색 쉘을 이용하여 표시
또한 특정 시간, 특정 구역을 검색하였을 때 위험도를 퍼센트로 표시

실시간 물리 엔진

Chapman-Ferraro

모델 동적 구현

실시간 위성

데이터 동기화

자기장 변형

시뮬레이션

Data Ingestion: NASA DSCOVR 위성에서 태양풍의 실시간 밀도, 속도 값 수신.

Calculation: 위 수식을 AWS EC2에서 연산하여 r_0 (자기권 코 부분 거리) 산출.

Mesh Generation: 산출된 r_0 를 기준으로 자기권의 3차원 곡면 좌표 생성 (Ellipsoid Model 적용).

Visualization: Three.js를 통해 웹 클라이언트에 렌더링.

데이터 소스: NASA Deep Space Satellites, 지구로부터 약 150만 km 떨어진 라그랑주 점(L1)에 위치하여, 태양풍이 지구에 도달하기 약 15~60분 전 데이터 수집

수집 데이터 및 주기: 1분 단위의 초정밀 실시간 스트리밍. 밀도, 속도 값 수집

데이터 파이프라인: NASA Open API 요청 → AWS Lambda → Physics Engine.

실시간 압력 반응 연산: 실시간으로 변동하는 태양풍의 동압데이터를 입력받아 물리 엔진을 통해 지구가 받는 압력의 총량을 계산하고, 평형 상태가 깨지는 순간을 감지.

동적 형상 변화: 태양풍의 강약에 따라 변화하는 자기권의 형태를 정밀 묘사함(day-side 압축, night-side 늘어짐).

3D 메쉬 생성: 단순한 구 형태가 아닌, 압력 불균형에 의해 찌그러진 비대칭 형상을 3D로 정밀하게 렌더링. 사용자는 360도 회전을 통해 어느 부위가 가장 취약해졌는지 직관적으로 확인 가능.

AWS 기반 초고속 연산 시스템

HPC 클러스터

1. HPC Infrastructure

Amazon EC2 C5n 인스턴스 도입. C5n은 높은 네트워크 대역폭을 지원하여, 노드 간 데이터 전송이 빈번한 HPC 워크로드에 최적화된 모델.

2. MPI 기반 병렬 처리

MPI 프로토콜을 활용한 병렬 컴퓨팅 환경 구축.

3. 실시간 연산 파이프라인

- 목표: 위성 데이터 수신 즉시 지연 없는 3D 모델링.
- 결과: 단일 서버로는 불가능한 고해상도 벡터 연산을 클러스터링을 통해 실시간으로 처리 완료.

이벤트 기반 오토스케일링

1. 평상시: 비용 효율화

태양 활동이 평온한 시기에 최소한의 서버 인스턴스만을 유지하여 운영. 24시간 풀가동하는 슈퍼컴퓨터 대비 불필요한 유휴 자원을 제거하여 클라우드 비용 절감.

2. 비상시: AWS Lambda 트리거

태양 표면의 흑점 폭발, 플레어, 코로나 질량 방출 등 급격한 이벤트 발생 즉시 AWS Lambda가 트리거되어 컴퓨팅 노드 확장 명령 실행.

서비스 데이터 파이프라인

1. Amazon S3 기반 Data Lake 구축

NASA 위성에서 수신되는 데이터를 가공하지 않은 Raw Data 형태로 Amazon S3에 즉시 저장. 실시간 시뮬레이션에 사용되는 데이터와 과거 이력 데이터를 한곳에 통합 관리하여 데이터의 일관성 확보.

2. 확장성 및 데이터 영구 보존

- 무제한 확장: 태양 활동 급증으로 데이터 유입량이 폭증해도 용량 제한 없이 유연하게 저장 가능.

| 웹 3D 시각화

웹 3D 시각화

핵심 니즈 중 하나인 접근 가능성을 극대화 하는 서비스

WebGL

Three.js 기반 WebGL 렌더링으로 별도 설치 없이 웹에서 자기권 3D 형상을 실시간 생성·시각화하며, 클라이언트 GPU 가속을 통해 회전·확대 등 인터랙티브 분석을 지원한다.

위험 구역 시각화

강력한 태양풍으로 인한 자기권 압축 시 정지궤도 위성의 보호막 이탈과 고에너지 방사선 피폭 구역을 실시간으로 계산하고, 이를 붉은 볼륨과 단계별 색상으로 시각화해 즉각적인 위험 판단과 대응을 가능하게 한다.

맞춤형 API

항공사와 위성 운용사를 위한 맞춤형 RESTful API로, 비행 항로·궤도 데이터를 입력받아 3D 위험 구역과의 교차를 분석하고 지자기 교란 점수를 산출하며, 위험 시 우회 최적 경로를 자동 제안한다.

시장 도입



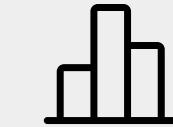
서비스 런칭 및 신뢰성 검증

1. 웹 기반 MVP 오픈 베타 런칭
2. 데이터 교차 검증 및 오차 보정
3. 서비스 인프라 최적화



B2B 전용 솔루션 및 맞춤형 경보

1. 기업용 Private API 개발
2. AWS ParallelCluster 기반 고해상도 연산
3. 시장 진입 전략: SaaS 모델 전환



AI 기반 기술 확장

1. AI 기반 우주 날씨 예보 시스템: 현재의 실시간 중계수준을 넘어, 미래를 내다보는 예보시스템으로 진화.
2. 차세대 행성 탐사 솔루션 확장

"실시간 지구 자기권 3D 디지털 트윈"의 시장 도입