

Politechnika Warszawska

Wydział Mechaniczny energetyki i Lotnictwa

Obliczenia inżynierskie w chmurze

Projekt

Zrównoleglenie symulacji inżynierskich metodą Monte Carlo w środowisku kontenerowym na przykładzie deorbitacji asteroid.

Wykonał: Bartłomiej Sobieraj

321301

1.Cel projektu

Celem projektu było zaprojektowanie i wdrożenie systemu rozproszonych obliczeń inżynierskich w środowisku chmury publicznej.

Praktycznym zastosowaniem systemu była analiza ryzyka uderzenia obiektów kosmicznych (asteroid) w Ziemię przy użyciu metody Monte Carlo. Projekt miał na celu zbadanie wpływu materiału budulcowego asteroidy na prawdopodobieństwo jej przetrwania podczas przejścia przez atmosferę, wykorzystując konteneryzację do zrównoleglenia procesu obliczeniowego.

2. Wykorzystane technologie i środowisko

Do realizacji zadania wykorzystano następujące programy:

- **Chmura:** Microsoft Azure, maszyna wirtualna
- **System operacyjny:** Linux Ubuntu 24.04
- **Jednostka obliczeniowa:** Standard D2s v3
- **Konteneryzacja:** Docker
- **Język programowania:** Python 3.9 + biblioteka NumPy
- **Transfer plików:** Filezilla

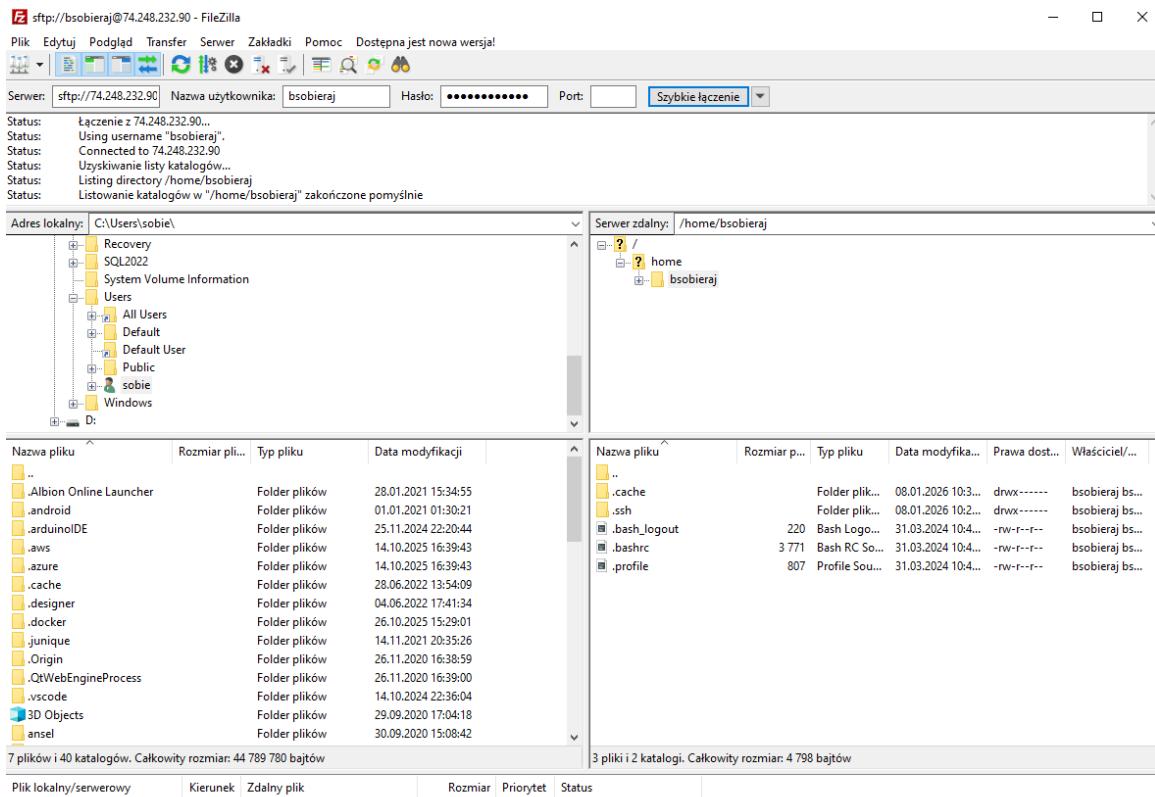
Podstawowe elementy

Grupa zasobów (przenieś)	: chmura	System operacyjny	: Linux (ubuntu 24.04)
Stan	: Uruchomione	Rozmiar	: Standard D2s v3 (2 procesory wirtualne vCPU, 8 GiB pamięci)
Lokalizacja	: Poland Central (Strefa 1)	Publiczny adres IP podst...	: 74.248.232.90 Liczba skojarzonych publicznych adresów IP: 1
Subskrypcja (przenieś)	: Azure for Students	Sieć/podsieć wirtualna	: chmura-vnet/default
Identyfikator subskrypcji	: ea6610f1-4b5a-4278-9d86-593d2dbc89d9	Nazwa DNS	: Nieskonfigurowane
Strefa dostępności	: 1	Stan kondycji	: —
		Godzina utworzenia	: 8.01.2026, 09:27 UTC

Tani [\(dla tani\)](#)

• [Działaj tani](#)

Rysunek 1.Maszyna wirtualna w Azure



Rysunek 2. Program Filezilla

3. Model inżynierski i algorytm

Zastosowano model fizyczny badający interakcję obiektu z atmosferą ziemską. Kluczowym parametrem decydującym o przetrwaniu asteroidy jest ciśnienie dynamiczne działające na jej czoło.

Wzory i założenia:

1. **Ciśnienie dynamiczne:** $P = \rho_{powietrza} \cdot v^2$

2. **Kryterium zniszczenia:**

- Jeśli $P > \sigma$ (wytrzymałość materiału na ściskanie) → fragmentacja asteroidy w atmosferze
- Jeśli $P < \sigma$ → uderzenie w ziemię

Symulacja została wykonana metodą Monte Carlo dla 100 000 prób w każdym wariancie, losując parametry wejściowe (prędkość, średnica, kąt wejścia) zgodnie z rozkładem normalnym.

4. Implementacja w chmurze

Aplikacja została skonteneryzowana, aby zapewnić izolację środowiska i łatwą skalowalność. Stworzono obraz asteroid-sim na bazie python:3.9-slim.

Kluczowym elementem implementacji było wykorzystanie zmiennych środowiskowych do sterowania logiką kontenera z zewnątrz, bez konieczności modyfikacji kodu źródłowego.

Zastosowane parametry uruchomieniowe:

- MATERIAL_TYPE: Definiuje badany materiał (1=Lód, 2=Kamień, 3=Żelazo).
- SIMULATIONS: Liczba iteracji Monte Carlo (ustawiono na 100 000).

5. Przebieg eksperymentu

W ramach maszyny wirtualnej Azure uruchomiono równolegle trzy instancje kontenera, symulujące różne scenariusze materiałowe. Pozwoliło to na trzykrotne skrócenie czasu potrzebnego na uzyskanie wyników w porównaniu do przetwarzania sekwencyjnego.

```
bsobiera@chmura:~/asteroida_projekt$ sudo docker run -d --name simulacja_lod -e MATERIAL_TYPE=1 -e SIMULATIONS=100000 -e SIM_ID="LOD" asteroid-sim
e3aaafbe97a0016cb9a23cee4a4667dd9a7cacbb43dd9ab4c060adfbfa51a9519
bsobiera@chmura:~/asteroida_projekt$ sudo docker run -d --name simulacja_kamien -e MATERIAL_TYPE=2 -e SIMULATIONS=100000 -e SIM_ID="KAMIEŃ" asteroid-sim
891c06a237e8900eb903eb93eba04e487dd8fc86364fa610e651ded830357e35
bsobiera@chmura:~/asteroida_projekt$ sudo docker run -d --name simulacja_zelazo -e MATERIAL_TYPE=3 -e SIMULATIONS=100000 -e SIM_ID="ZELAZO" asteroid-sim
57dec445f999def8e98b8436d045bd2df12d25b3ac5e6fcbb70ace64ef055b93b
bsobiera@chmura:~/asteroida_projekt$ sudo docker ps
CONTAINER ID IMAGE COMMAND CREATED STATUS PORTS NAMES
bsobiera@chmura:~/asteroida_projekt$ sudo docker ps -a
CONTAINER ID IMAGE COMMAND CREATED STATUS PORTS NAMES
57dec445f999 asteroid-sim "python main.py" About a minute ago Exited (0) About a minute ago
891c06a237e8 asteroid-sim "python main.py" About a minute ago Exited (0) About a minute ago
e3aaafbe97a0 asteroid-sim "python main.py" 2 minutes ago Exited (0) 2 minutes ago
bsobiera@chmura:~/asteroida_projekt$
```

Rysunek 3. Lista kontenerów po wykonaniu obliczeń

6. Wyniki i analiza

Po zakończeniu obliczeń pobrano logi z poszczególnych kontenerów. Uzyskano następujące wyniki ryzyka uderzenia w powierzchnię Ziemi.

```
bsobieraj@chmura:~/asteroida_projekt$ sudo docker logs symulacja_lod
[LOD] ROZPOCZYNAM ANALIZĘ INŻYNIERSKĄ...
[LOD] Model: Wytrzymałość na ciśnienie dynamiczne (Ram Pressure)
[LOD] Materiał: ŁÓD (Kometa) | Gęstość: 1000.0 | Wytrzymałość: 1.0 MPa
[LOD] --- WYNIKI ---
[LOD] Przetworzono przypadków: 100000 w czasie 0.05s
[LOD] -> Wybuchy w atmosferze (bezpieczne): 100000
[LOD] -> Uderzenia w Ziemię (KRATER): 0
[LOD] -> Średnia energia uderzenia: 2918.41 kT TNT
[LOD] RYZYKO UDERZENIA W GRUNT: 0.00%
```

Rysunek 4. Wyniki obliczeń dla Lodu

```
bsobieraj@chmura:~/asteroida_projekt$ sudo docker logs symulacja_kamien
[KAMIEN] ROZPOCZYNAM ANALIZĘ INŻYNIERSKĄ...
[KAMIEN] Model: Wytrzymałość na ciśnienie dynamiczne (Ram Pressure)
[KAMIEN] Materiał: KAMIEŃ (Asteroida) | Gęstość: 2600.0 | Wytrzymałość: 10.0 MPa
[KAMIEN] --- WYNIKI ---
[KAMIEN] Przetworzono przypadków: 100000 w czasie 0.03s
[KAMIEN] -> Wybuchy w atmosferze (bezpieczne): 100000
[KAMIEN] -> Uderzenia w Ziemię (KRATER): 0
[KAMIEN] -> Średnia energia uderzenia: 7618.76 kT TNT
[KAMIEN] RYZYKO UDERZENIA W GRUNT: 0.00%
```

Rysunek 5. Wyniki obliczeń dla kamienia

```
[ZELAZO] ROZPOCZYNAM ANALIZĘ INŻYNIERSKĄ...
[ZELAZO] Model: Wytrzymałość na ciśnienie dynamiczne (Ram Pressure)
[ZELAZO] Materiał: ŻELAZO (Meteoryt) | Gęstość: 7800.0 | Wytrzymałość: 200.0 MPa
[ZELAZO] --- WYNIKI ---
[ZELAZO] Przetworzono przypadków: 100000 w czasie 0.03s
[ZELAZO] -> Wybuchy w atmosferze (bezpieczne): 90191
[ZELAZO] -> Uderzenia w Ziemię (KRATER): 9809
[ZELAZO] -> Średnia energia uderzenia: 22780.57 kT TNT
[ZELAZO] RYZYKO UDERZENIA W GRUNT: 9.81%
```

Rysunek 6. Wyniki obliczeń dla żelaza

Scenariusz A: Lód (Kometa)

- Wytrzymałość: 1 MPa
- Wynik ryzyka: 0.00%
- Wniosek: Obiekty lodowe ulegają całkowitej sublimacji lub rozpadowi pod wpływem ciśnienia atmosferycznego.

Scenariusz B: Kamień (Asteroida)

- Wytrzymałość: 10 MPa
- Wynik ryzyka: 0.00%
- Wniosek: Przy średniej prędkości wejścia (18 km/s), ciśnienie dynamiczne przekracza wytrzymałość skały, powodując jej eksplozję w powietrzu.

Scenariusz C: Żelazo (Meteoryt żelazny)

- Wytrzymałość: 200 MPa
- Wynik ryzyka: ~10.00%
- Wniosek: Żelazo jest jedynym materiałem wykazującym odporność pozwalającą na dotarcie do gruntu. Mimo wysokiej wytrzymałości, aż 90% obiektów uległo zniszczeniu ze względu na ekstremalne prędkości wejścia generujące ciśnienia powyżej 200 MPa. Te 10%, które przetrwało, stanowiło obiekty o niższej prędkości początkowej.