

Projekt zaliczeniowy

Raport końcowy

Zespół Projektowy nr 1
Adrian Rybaczuk 318483
Bartek Cylwik 325457

11 czerwca 2025

Streszczenie

Niniejszy raport przedstawia podsumowanie projektu grupowego, systemu do równoległego przetwarzania obrazów satelitarnych Sentinel-2, umożliwiającego efektywną analizę zmian roślinności z wykorzystaniem wskaźników NDVI i NDMI oraz przyjaznego interfejsu graficznego.

Spis treści

1	Wprowadzenie	2
2	Kroki podjęte na początku pracy	3
2.1	Research wskaźników NDVI i NDMI	3
2.2	RED, NIR, SWIR czyli B4, B8, B11	4
2.3	Przeskalowanie NIR do rozdzielczości SWIR	4
2.4	Zrównoleglenie / rozproszenie obliczeń	5
2.5	Następnym krokiem będzie uzyskanie dostępu do danych z Sentinel-2	5
2.6	Wybór technologii	5
3	Przebieg procesu w aplikacji	6
4	Równoległe przetwarzanie	6
4.1	Które obliczenia i dlaczego postanowiliśmy zrównoleglic / rozproszyc	6
4.2	Jak dokonaliśmy zrównoleglenia obliczeń	6
4.3	Jakie wyniki uzyskaliśmy	6
4.4	Kiedy przyspieszenie ma sens, a kiedy nie ma	6
4.5	Jakie wnioski można wyciągnąć z uzyskanych wyników	6
5	Interpretacja i wnioski	6
	Bibliografia	6

1 Wprowadzenie

Celem projektu była implementacja (wraz z GUI) systemu równoległego / rozproszonego mechanizmu wyliczania indeksów wilgotności (NDMI) i wegetacji (NDVI) roślin na zobrażowaniach satelitarnych Sentinel-2 do stwierdzenia występowania lub zaniku roślinności na wskazanym obszarze. Na podstawie tak zdefiniowanego zadania mogliśmy wyznaczyć poszczególne elementy projektu do realizacji:

- Uzyskanie wskaźników NDVI i NDMI
 - Research na temat wskaźników NDVI i NDMI
 - Pobranie niezbędnych wskaźników z zobrażenia satelitarnego Sentinel-2
 - Zapisanie danych pobranych z API jako "cache" w celu uniknięcia ponownego pobierania danych
 - Identyfikacja potencjalnych problemów związanych z przetwarzaniem danych
 - Przeprowadzenie obliczeń wskaźników
- Interfejs graficzny
 - Ekran uwierzytelniania z API Sentinel-Hub
 - Ekran pozwalający na wybór zakresu czasowego oraz obszaru analizy
 - Ekran z wynikami analizy w postaci mapy z zaznaczonymi obszarami roślinności
- Równoległe przetwarzanie
 - Wybranie obszarów programu wymagających przetworzenia równoległego / rozproszonego
 - Wybranie pomiędzy przetwarzaniem na CPU a GPU
 - Implementacja mechanizmu równoległego / rozproszonego przetwarzania
- Wybranie technologii do realizacji projektu

2 Kroki podjęte na początku pracy

2.1 Research wskaźników NDVI i NDMI

Aby uzyskać wskaźniki NDVI i NDMI, rozpoczęliśmy od analizy literatury i dokumentacji dotyczącej tych indeksów, przechodząc od ogólnych informacji do szczegółowych aspektów ich wyznaczania.

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) [1] jest prostym wskaźnikiem ilościowym służącym do klasyfikacji wegetacji roślin. Jego wartość mieści się w przedziale od -1 do 1 :

- Wartości ujemne (zblizone do 0) wskazują na obecność wody.
- Zakres -0.1 do 0.1 odpowiada obszarom jałowym (skały, piasek, śnieg).
- Przedział 0.2 do 0.4 oznacza niską roślinność (zarośla, łąki).
- Wysokie wartości (bliskie 1) wskazują na bujną roślinność (np. lasy deszczowe).

Dzięki temu NDVI jest dobrym wskaźnikiem obecności i kondycji roślinności na danym obszarze.

Wskaźnik NDVI definiuje się wzorem:

$$\text{NDVI} = \text{Index}(\text{NIR}, \text{RED}) = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}}$$

W przypadku danych Sentinel-2, indeks ten wyznaczamy na podstawie kanałów B8 (NIR) i B4 (RED):

$$\text{NDVI} = \text{Index}(\text{B8}, \text{B4}) = \frac{\text{B8} - \text{B4}}{\text{B8} + \text{B4}}$$

NDMI (Normalized Difference Moisture Index) [2] jest znormalizowanym wskaźnikiem wilgotności który do wyznaczenia wilgotności wykorzystuje pasma NIR i SWIR.

- Wartości ujemne (zblizone do -1) wskazują na bardzo suche obszary (brak roślinności, pustynia, obszary zabudowane)
- Wartości od -0.2 do 0.2 wskazują na glebę wysychającą (rzadka trawa, trawy wysychające, krzewy w stanie stresu wodnego)
- Wartości poniżej 0.2 do 0.4 odpowiadają umiarkowanemu nawodnieniu (trawy, pastwiska)
- Wartości od 0.4 Wskazują na obszary o zdrowy stan nawodnienia (uprawy w pełni sezonu wegetacyjnego, lasy liściaste w strefie umiarkowanej)
- Wartości powyżej 0.4 wskazują na obszary o wysokiej wilgotności (las deszczowy, obszary podmokłe)

Wskaźnik NDMI definiujemy wzorem:

$$\text{NDMI} = \text{Index}(\text{NIR}, \text{SWIR}) = \frac{\text{NIR} - \text{SWIR}}{\text{NIR} + \text{SWIR}}$$

W przypadku danych Sentinel-2, indeks ten wyznaczamy na podstawie kanałów B8 (NIR) i B11 (SWIR):

$$\text{NDMI} = \text{Index}(\text{B8}, \text{B11}) = \frac{\text{B8} - \text{B11}}{\text{B8} + \text{B11}}$$

2.2 RED, NIR, SWIR czyli B4, B8, B11

RED to czerwony kanał światła, silnie odbijany przez martwe liście. Wykorzystuje się go do identyfikacji typów roślinności, gleb oraz obszarów zabudowanych. Charakteryzuje się ograniczoną penetracją w wodzie i słabym odbiciem od liści zawierających chlorofil (żywe liście).

W satelitach Sentinel-2 kanał RED odpowiada pasmu B4: [3]

- Rozdzielczość: 10 m/px
- Centralna długość fali: 665 nm
- Szerokość pasma: 30 nm

NIR (Near Infrared) to bliska podczerwień, która dobrze obrazuje linie brzegowe oraz zawartość biomasy.

W Sentinel-2 kanał NIR odpowiada pasmu B8: [4]

- Rozdzielczość: 10 m/px
- Centralna długość fali: 842 nm
- Szerokość pasma: 115 nm

SWIR (Short-Wave Infrared) jest to fala wysokowrażliwa na zawartość wody w obiektach. Dlatego jest dobrym wskaźnikiem wilgotności w

W Sentinel-2 kanał SWIR odpowiada pasmu B11: [5]

- Rozdzielczość: 20 m/px
- Centralna długość fali: 1610 nm
- Szerokość pasma: 130 nm

Istotną dla nas informacją na temat pasm dostarczanych przez Sentinel-2 jest rozdzielczość. Możemy zauważyć różnice w rozdzielczości między kanałami NIR i SWIR. W związku z tym musimy dokończyć przeskalowania jednej z tych rozdzielczości do rozdzielczości drugiej.

2.3 Przeskalowanie NIR do rozdzielczości SWIR

Ponieważ kanały NIR i SWIR w Sentinel-2 mają różne rozdzielczości przestrzenne, przed obliczeniem wskaźnika NDMI konieczne jest dopasowanie ich do wspólnej siatki. Aby uzyskać jak najlepszą jakość wynikowego wskaźnika, zdecydowaliśmy się przeskalować kanał NIR (B8, 10 m/px) do rozdzielczości kanału SWIR (B11, 20 m/px). Wybraliśmy NIR ponieważ przy jego downscalingu uzyskamy dokładniejsze wyniki. Do tego celu zastosowaliśmy metodę "area-based resampling" [6], która pozwala na bezpieczne zmniejszenie rozdzielczości obrazu przy zachowaniu reprezentatywności wartości pikseli.

Metoda ta polega na uśrednianiu wartości pikseli z obrazu o wyższej rozdzielczości, aby uzyskać odpowiadający im piksel w obrazie o niższej rozdzielczości. Matematycznie można to zapisać następująco:

$$D_{i,j} = \frac{1}{4} \sum_{m=0}^1 \sum_{n=0}^1 I_{2i+m, 2j+n}$$

gdzie $D_{i,j}$ oznacza piksel w obrazie o niższej rozdzielczości, a $I_{2i+m, 2j+n}$ to odpowiadające mu piksele w obrazie o wyższej rozdzielczości.

2.4 Zrównoleglenie / rozproszenie obliczeń

W związku z tym że chcielibyśmy by aplikacja działała na jednym komputerze wybraliśmy scierzkę zrównoleglenia obliczeń. Następnym wyborem jest obliczenia wykonywane na CPU czy GPU. Zadanie polega głównie na wykonywaniu prostych obliczeń arytmetycznych dla poszczególnych pikseli. Operacje są powtarzalne oraz wykonywane niezależnie od siebie. W związku z tym lepszą opcją będzie wykonanie obliczeń przy użyciu GPU.

2.5 Następnym krokiem będzie uzyskanie dostępu do danych z Sentinel-2

Do tego celu skorzystaliśmy z API Sentinel-Hub. [7] Udostępnia on dane z satelity poprzez API dopiero po uwierzytelnieniu. W tym celu musieliśmy przejść przez process opisany tutaj [8]. Po jego przejściu mamy dostęp do Client ID oraz Client Secret które wykorzystamy do połączenia się z API.

API posiada reate limiting które są w miarę restrykcyjne. [9] Z tego też powodu zamierzamy wykorzystać cache do przechowywania pobranych już danych. Z natury projektu i dania sobie możliwości testowania wyników zamierzamy przechowywać nieprzetworzone dane zamiast obliczonych już wyników. Pomoże nam to przeprowadzić testy i wprowadzić poprawki w przyszłości.

2.6 Wybór technologii

Jako że określiliśmy już dokładniej ramy projektu możemy potwierdzić wybrane przez nas technologie. Ogólny język implementacji to Python. Do pobierania danych z api wykorzystaliśmy bibliotekę SentinelHub. Która udostępnia już gotowe funkcje pozwalające zautoryzować się z api oraz pobrać dane. Do gui wykorzystaliśmy Tkinter podstawową i dosyć prostą bibliotekę do tworzenia interfejsu graficznego. Do prezentacji mapy wykorzystaliśmy TkinterMapView. Do zrównoleglenia obliczeń skorzystamy z Taichi Lang [10] którego zaembedujemy w pythonie. Jest to język programowania osadzony w pythonnie stworzony do wysokowydajnych obliczeń. Jego zaletą jest to że kod napisany raz przekąpiluje się na wiele różnych platform.

3 Przebieg procesu w aplikacji

4 Równoległe przetwarzanie

4.1 Które obliczenia i dlaczego postanowiliśmy zrownoleglic / rozproszyc

4.2 Jak dokonaliśmy zrownoleglenia obliczeń

4.3 Jakie wyniki uzyskaliśmy

4.4 Kiedy przyspieszenie ma sens, a kiedy nie ma

4.5 Jakie wnioski można wyciągnąć z uzyskanych wyników

5 Interpretacja i wnioski

Bibliografia

- [1] Sentinel Hub. *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*. URL: <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/ndvi/> (term. wiz. 11.06.2024).
- [2] Sentinel Hub. *Normalized Difference Moisture Index (NDMI)*. URL: <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/ndmi/> (term. wiz. 11.06.2024).
- [3] Sentinel Hub. *Sentinel-2 Band Documentation B4*. URL: <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/bands/#band-4> (term. wiz. 11.06.2024).
- [4] Sentinel Hub. *Sentinel-2 Band Documentation B8*. URL: <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/bands/#band-8> (term. wiz. 11.06.2024).
- [5] Sentinel Hub. *Sentinel-2 Band Documentation B11*. URL: <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/bands/#band-11> (term. wiz. 11.06.2024).
- [6] Rasterio. *Area-based resampling*. URL: <https://rasterio.readthedocs.io/en/stable/topics/resampling.html> (term. wiz. 11.06.2024).
- [7] Sentinel Hub. *Sentinel-2 API Documentation*. URL: <https://docs.sentinel-hub.com/api/latest/data/sentinel-2-l2a/> (term. wiz. 11.06.2024).
- [8] Sentinel Hub. *Sentinel-2 API Documentation Authentication*. URL: <https://docs.sentinel-hub.com/api/latest/api/overview/authentication/> (term. wiz. 11.06.2024).
- [9] Sentinel Hub. *Sentinel-2 API Documentation Rate Limiting*. URL: <https://docs.sentinel-hub.com/api/latest/api/overview/rate-limiting/> (term. wiz. 11.06.2024).
- [10] Taichi Lang. *Taichi Lang Documentation*. URL: <https://www.taichi-lang.org/> (term. wiz. 11.06.2024).