# Algorytmy równoległe

Równoległe rozwiązane iteracyjne równania Laplace'a przy pomocy MPI

Oscar Teeninga

Wyniki czasowe

| S | P | Czas [s] | P | E |
|---|---|---|---|---|
| **56** | 1 | 0,557267 | 1,00 | 1,00 |
| **56** | 2 | 0,282835 | 1,97 | 0,99 |
| **56** | 3 | 0,184304 | 3,02 | 1,01 |
| **56** | 4 | 0,144745 | 3,85 | 0,96 |
| **56** | 5 | 0,115554 | 4,82 | 0,96 |
| **56** | 6 | 0,099753 | 5,59 | 0,93 |
| **56** | 7 | 0,095302 | 5,85 | 0,84 |
| **56** | 8 | 0,085508 | 6,52 | 0,81 |
| **112** | 1 | 2,206515 | 1,00 | 1,00 |
| **112** | 2 | 1,145891 | 1,93 | 0,96 |
| **112** | 3 | 0,806341 | 2,74 | 0,91 |
| **112** | 4 | 0,600359 | 3,68 | 0,92 |
| **112** | 5 | 0,511358 | 4,32 | 0,86 |
| **112** | 6 | 0,442882 | 4,98 | 0,83 |
| **112** | 7 | 0,430616 | 5,12 | 0,73 |
| **112** | 8 | 0,383425 | 5,75 | 0,72 |
| **168** | 1 | 4,91636 | 1,00 | 1,00 |
| **168** | 2 | 2,49422 | 1,97 | 0,99 |
| **168** | 3 | 1,88061 | 2,61 | 0,87 |
| **168** | 4 | 1,46345 | 3,36 | 0,84 |
| **168** | 5 | 1,12505 | 4,37 | 0,87 |
| **168** | 6 | 1,03001 | 4,77 | 0,80 |
| **168** | 7 | 0,91085 | 5,40 | 0,77 |
| **168** | 8 | 0,85330 | 5,76 | 0,72 |
| **224** | 1 | 9,07588 | 1,00 | 1,00 |
| **224** | 2 | 4,45207 | 2,04 | 1,02 |
| **224** | 3 | 2,95591 | 3,07 | 1,02 |
| **224** | 4 | 2,41401 | 3,76 | 0,94 |
| **224** | 5 | 2,06465 | 4,40 | 0,88 |
| **224** | 6 | 1,83650 | 4,94 | 0,82 |
| **224** | 7 | 1,75302 | 5,18 | 0,74 |
| **224** | 8 | 1,70635 | 5,32 | 0,66 |
| **280** | 1 | 13,98542 | 1,00 | 1,00 |
| **280** | 2 | 7,02880 | 1,99 | 0,99 |
| **280** | 3 | 4,97012 | 2,81 | 0,94 |
| **280** | 4 | 4,08135 | 3,43 | 0,86 |
| **280** | 5 | 3,56007 | 3,93 | 0,79 |
| **280** | 6 | 3,29856 | 4,24 | 0,71 |
| **280** | 7 | 3,09588 | 4,52 | 0,65 |
| **280** | 8 | 2,91356 | 4,80 | 0,60 |

## Implementacja

Pomimo wcześniejszej chęci wykonania obliczeń na GPU, zdecydowałem się na wykorzystanie CPU oraz biblioteki MPI. Implementacja w Python 3.9 przy pomocy mpi4py.

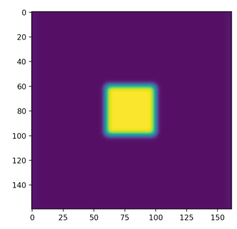
## Algorytm

1. Podziel zadanie (macierz NxN) na P równych części, gdzie N - bok kwadratu, P - liczba procesorów.
2. Każdy procesor jest odpowiedzialny za swoją część.
3. Każdy procesor wysyła swoją części do sąsiadów.
4. Każdy procesor po skompletowaniu wszystkich potrzebnych danych, wykonuje obliczenie.
5. Powtarzaj 2-5 dopóki liczba iteracji nie osiągnie I - liczby iteracji.
6. Połącz części w jedną macierz (na pierwszym procesorze)

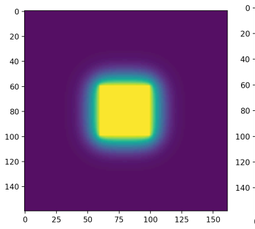
Newralgicznym miejscem jest wysyłka swoich części do sąsiadów. Pierwszy i ostatni procesor wysyła tylko jednemu procesorowi swoją część, natomiast środkowe do obu sąsiadów. Obliczenia są wykonywane na kopii części, a po obliczeniach wartości są przepisywane do bazowej macierzy. Nie ma potrzeby tworzenia bariery pod koniec iteracji, ponieważ jeżeli jakiś procesor wykona obliczenia szybciej - i tak będzie musiał oczekiwać na otrzymanie części od sąsiada.

## Sprzęt testowy, metodologia, parametry

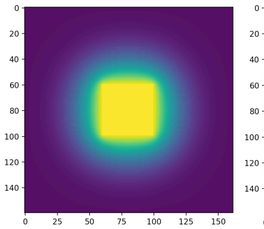
Do testów posłużył mi prywatny komputer wyposażony w 8 rdzeniowy procesor i9 9880H.
Wynik czasowy jest średnią arytmetyczną z 10 pomiarów. Każdy pomiar ma 100 iteracji algorytmu.
Przeprowadziłem testowe pomiary dla różnej liczby iteracji. Wynik jest następujący:



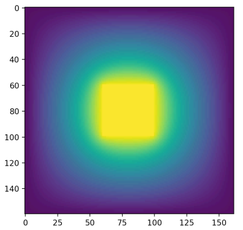
Liczba iteracji: 10



Liczba iteracji: 100



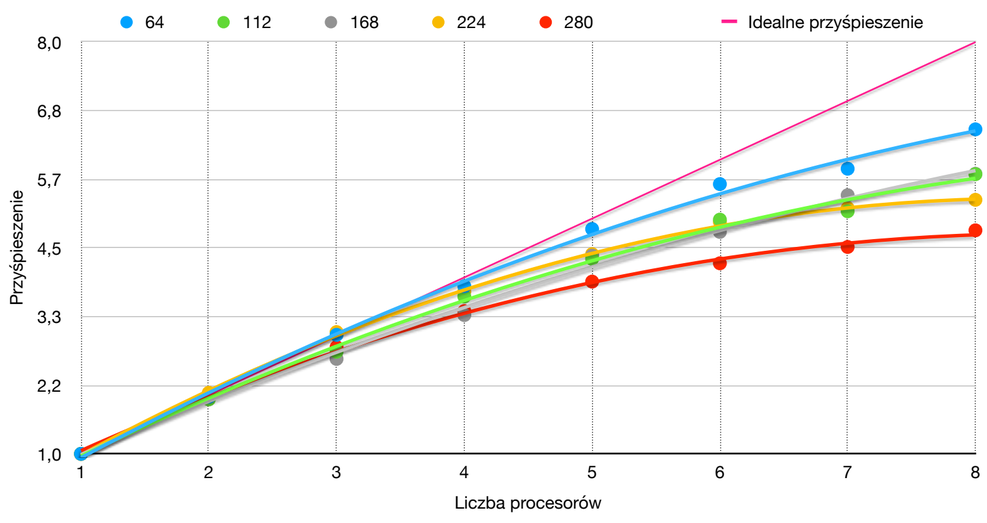
Liczba iteracji: 1000



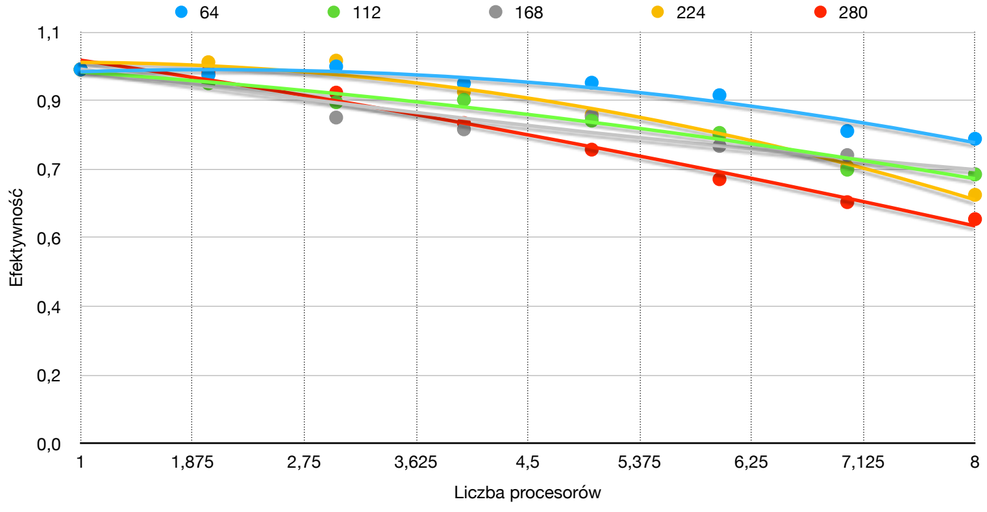
Liczba iteracji: 10000

## Wykresy przyśpieszenia i efektywności

Na postawie wyników obok wygenerowałem wykresy przedstawiające przyśpieszenie i efektywność w zależności od liczby procesorów dla różnego rozmiaru problemów.




Wykres przyśpieszenia




Wykres efektywności

## Wnioski

Zgodnie z oczekiwaniami, otrzymana efektywność jest mniejsza niż idealna. Jest to spowodowane narzutem komunikacji.
Kolejnym ciekawym zjawiskiem jest to, że przyśpieszenie dla 8 procesorów jest mniejsze niż dla 7. Przyczyną takiego stanu rzeczy jest komunikacja oraz fakt, że procesor ogranicza taktowanie dla operacji wielowątkowych - w przeciwieństwie do operacji wykonywanych na jednym rdzeniu, gdzie wykorzystywany jest Turbo Boost.
Warto wspomnieć o pewnym interesującym zjawisku, mianowicie najlepsze przyśpieszenie osiągnąłem dla najmniejszego problemu. Podejrzewam, że może to być kwestia throttlingu. Pierwszy test jest uruchamiany na chłodnym procesorze, co chwilowo pozwala mu pracować w pełnym zakresie taktowania. Możliwe, że komunikacja nie rośnie liniowo wraz z rozmiarem przesyłanych danych.
Nie bez znaczenia jest fakt, że każda iteracja wymaga synchronizacji między wątkami. Oznacza to, że wraz ze wzrostem problemu, rośnie również prawdopodobieństwo anomalii i jeden wątek zagłodzi resztę.