Tomasz Łaz, Ignacy Migas
dr inż. Dydejczyk
6 maja 2018

# Parallel sorting by regular sampling

SRIR

## 1. Opis algorytmu

Algorytm „Równoległego sortowania przez regularne dzielenie” został wymyślony przez Li.

Oryginalnie algorytm składa się z czterech faz:

1. Faza I

   Sortowanie swojego zestawu danych przez każdy proces

2. Faza II

   Jeden z procesów zbiera od innych procesów i siebie wartości równe liczbie procesów, które są wybierane w sposób regularny w każdym z procesów. Kolejno sortuje te elementy i wybiera „liczba procesów - 1” elementów, które przesyłane są do kolejnych procesów. Następnie każdy proces partycjonuje swój zbiór danych na odpowiednią liczbę podzbiorów w oparciu o otrzymane *pivoty* od serwera.

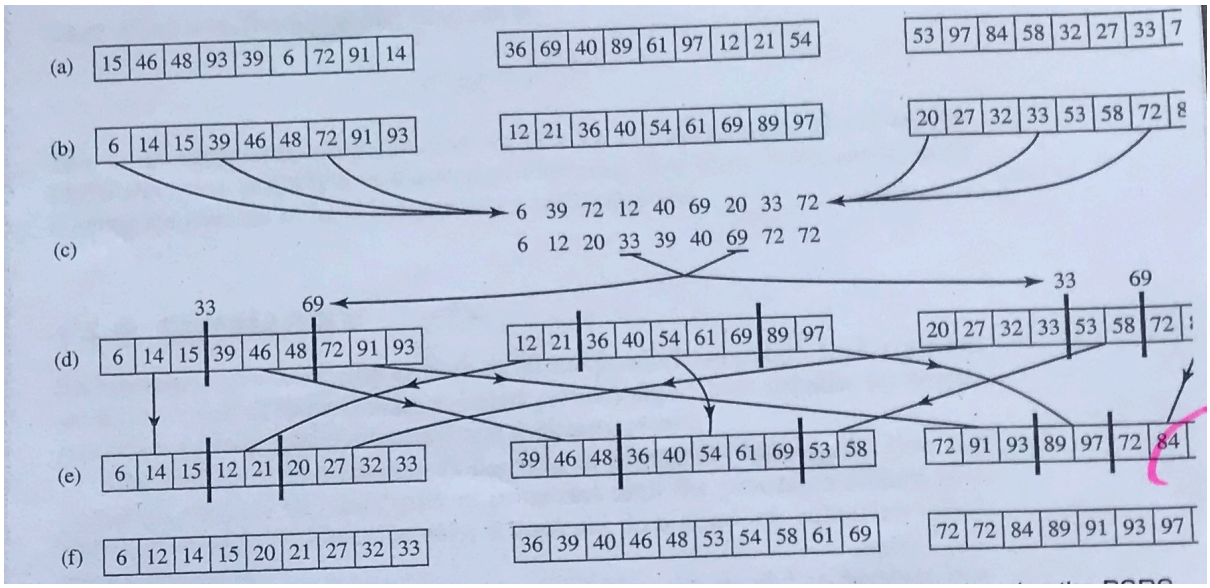
3. Faza III

W tej fazie, każdy z procesów zachowuje „swoją” (przypisaną do danego procesu) porcję danych i przesyła pozostałe dane do reszty procesów.

4. Faza IV

Każdy z procesów łączy zebrane dane z każdego procesu w jedną listę i je sortuje (*multimerge*).

W fazie tej maksymalna liczba elementów, które dany proces musi złączyć wynosi 2 * liczba elementów / liczba procesów




Wydajność algorytmu:

p - liczba procesów

n - liczba elementów

Dla obliczeń

O[(n/p) * log(n/p) + p^2 * log℗ + (n/p) * log(p)]

Dla n >> p: O[(n/p) * (log(n) + log(p)]

Dla komunikacji:

O(log(p) + n/p)

Dla n >> p: O(n/p)

Funkcja skalowalności:

p^C / p = p^(C-1)

Algorytm ten posiada trzy zalety względem algorytmu *hyperquicksort:*

- Przechowuje listę rozmiarów w bardziej zbalansowany sposób pomiędzy procesami
- Pomija niepotrzebną komunikację pomiędzy kluczami
- Nie wymaga, aby liczba procesów była potęgą liczby 2

Ponadto algorytm umożliwia wprowadzenie prostej komunikacji *all-to-all*, która może być zaimplementowana w taki sposób, aby każdy element był przenoszony tylko raz.

# 2. Opis struktury projektu

Projekt składa się z 5 plików:

- utilities.h + utilities.c
- profiles.h + profiles.c
- PSRC.c

W plikach utilities mamy metody wykorzystywane w algorytmie do wypisywania macierzy, porównywania oraz łączenia tablic (multimerge).

W plikach profiles mamy metody nadpisane, tak aby zrealizować profilowanie.

Plik PSRC.c to właściwy kod realizujący algorytm, w komentarzach w kodzie mamy wydzielone fazy, które są opisane w punkcie 3.

Ponadto w projekcie umieszczono katalog z przykładowymi danymi: *sample,* gdzie input to dane wejściowe do posortowania, a output wynik oczekiwany

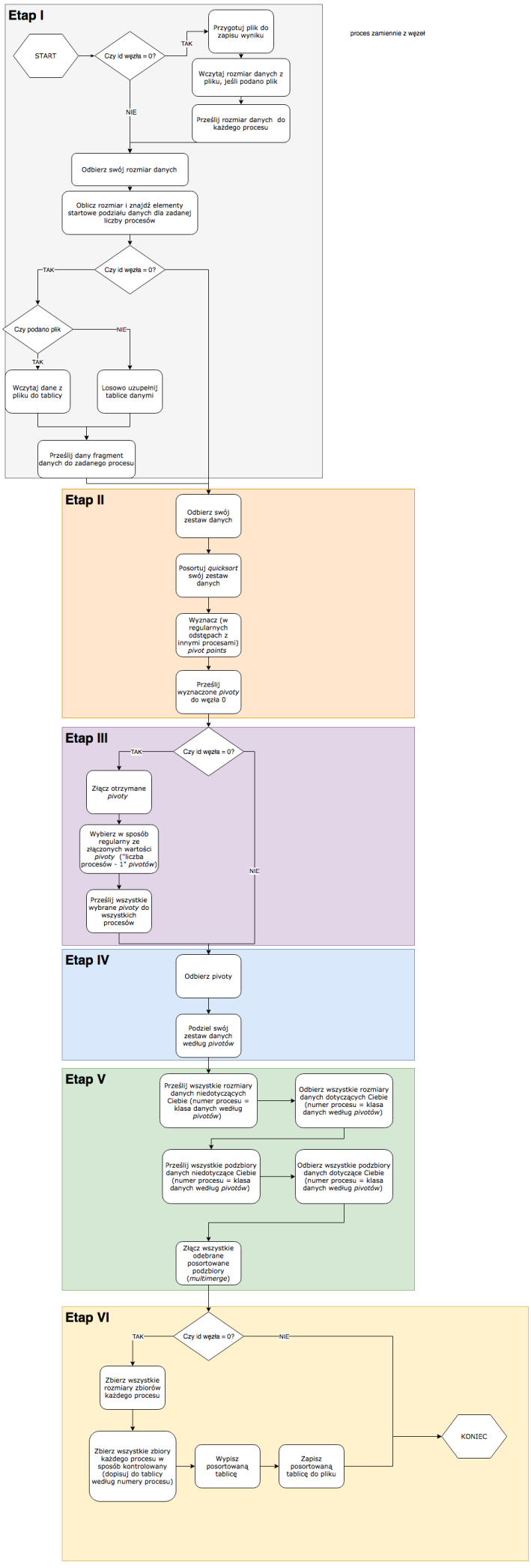
W projekcie znajduje się również katalog doc z dokumentacją.

Ponadto do projektu dołączono makefile, którego metody opisane zostały w punkcie 4

# 3. Opis działania

Opis działania przedstawiony został na poniższym diagramie:

Diagram został również umieszczony w folderze doc/


Etap I
START
Czy id węzła = 0?
TAK
Przygotuj plik do zapisu wyniku
Wczytaj rozmiar danych z pliku, jeśli podano plik
Prześlij rozmiar danych do każdego procesu
NIE
Odbierz swój rozmiar danych
Oblicz rozmiar i znajdź elementy startowe podziału danych dla zadanej liczby procesów
Czy id węzła = 0?
TAK
Czy podano plik
NIE
TAK
Wczytaj dane z pliku do tablicy
Losowo uzupełnij tablice danymi
Prześlij dany fragment danych do zadanego procesu
proces zamiennie z węzeł
Etap II
Odbierz swój zestaw danych
Posortuj quicksort swój zestaw danych
Wyznacz (w regularnych odstępach z innymi procesami) pivot points
Prześlij wyznaczone pivoty do węzła 0
Etap III
Czy id węzła = 0?
TAK
Złącz otrzymane pivoty
Wybierz w sposób regularny ze złączonych wartości pivoty ("liczba procesów - 1" pivotów)
Prześlij wszystkie wybrane pivoty do wszystkich procesów
NIE
Etap IV
Odbierz pivoty
Podziel swój zestaw danych według pivotów
Etap V
Prześlij wszystkie rozmiary danych niedotyczących Ciebie (numer procesu = klasa danych według pivotów)
Odbierz wszystkie rozmiary danych dotyczących Ciebie (numer procesu = klasa danych według pivotów)
Prześlij wszystkie podzbiory danych niedotyczące Ciebie (numer procesu = klasa danych według pivotów)
Odbierz wszystkie podzbiory danych dotyczące Ciebie (numer procesu = klasa danych według pivotów)
Złącz wszystkie odebrane posortowane podzbiory (multimerge)
Etap VI
Czy id węzła = 0?
TAK
NIE
Zbierz wszystkie rozmiary zbiorów każdego procesu
Zbierz wszystkie zbiory każdego procesu w sposób kontrolowany (dopisuj do tablicy według numery procesu)
Wypisz posortowaną tablicę
Zapisz posortowaną tablicę do pliku
KONIEC

Aplikacja składa się z 6 etapów, które pokrywają się z etapami algorytmu przedstawionymi w punkcie 1.

Początkowo aplikacja przygotowuje dane do posortowania

W kolejnej fazie, dane są rozdzielane na procesu i wybierane są wartości, będące *pivotami*

Następnie pivoty są przesłane do servera, który je łączy i wybiera liczba procesów - 1 pivotów. Pivoty te są przesyłane

Kolejno pivoty te są wykorzystywane przez każdy proces to podziału swoich danych na partycje

W następnym kroku każdy proces pozyskuje tylko dane z zadanej przez identyfikator partycji od każdego procesu i je łączy.

Na końcu dane te są przesyłane do serwera, który je łączy i wypisuje do pliku

# 4. Opis obsługi programu

Kompilacja programu i jego uruchomienie odbywa się przy wykorzystaniu makefile'a.

Udostępnia on 4 reguły:

- *make all* zbudowanie projektu
- *make clean* przywrócenie folderu do stanu początkowego (usunięcie plików .o oraz .out)
- *make rebuild* wyczyszczenie i zbudowanie projektu
- *make run N=<liczba procesów> FILE==<sciezka do pliku> NODES=<nodes>*

- uruchomienie aplikacji podając odpowiednio parametry: N oraz opcjonalnie FILE i NODES, gdzie

N - liczba procesów (domyślnie 4),

FILE to nazwa pliku do wczytania do procesowania,

NODES to wskazanie na plik z adresami węzłów

np: *make run N=4 FILE==sample/input_50.data NODES=nodes*

- uruchomi program na 4 procesach i na tylu węzłach ile w pliku nodes, wczytując dane z pliku o scieżce sample/input_50.data

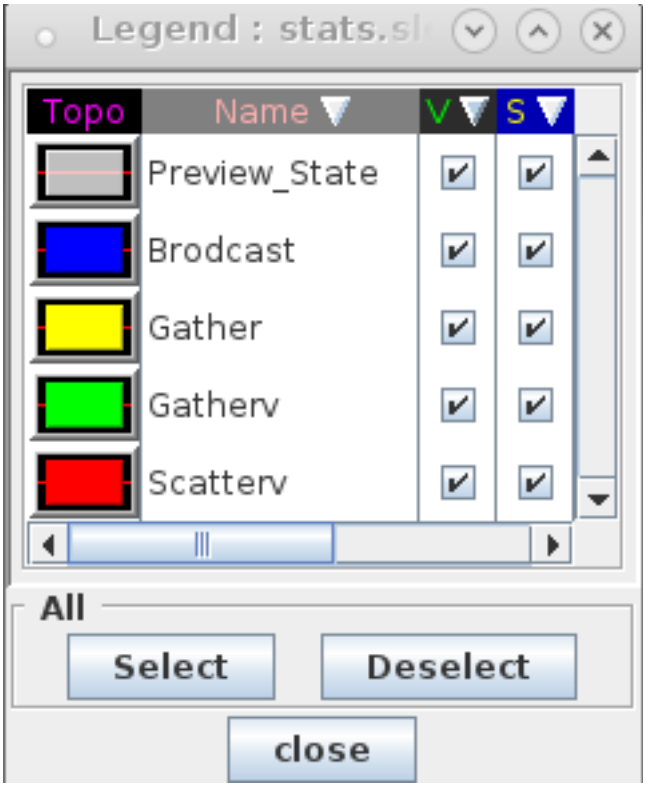
Kroki do skompilowania i uruchomienia na jednym węźle:

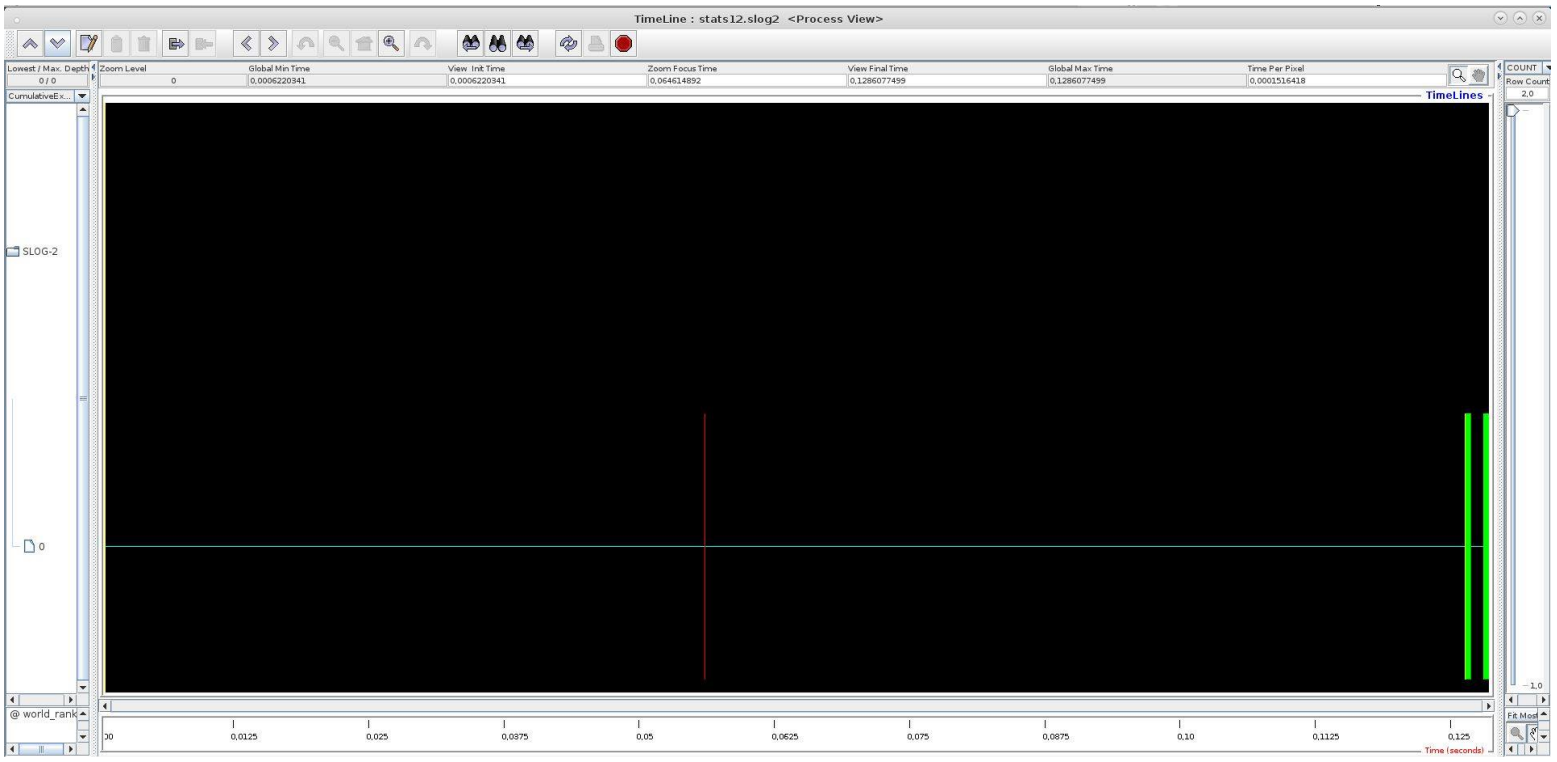
1. Przejdź do katalogu z projektem i plikiem make: MPI_PSRS
2. Wykonaj *make clean*
3. Wykonaj *make run N=<liczba procesów> FILE=<sciezka do pliku>*

# 4. Profilowanie

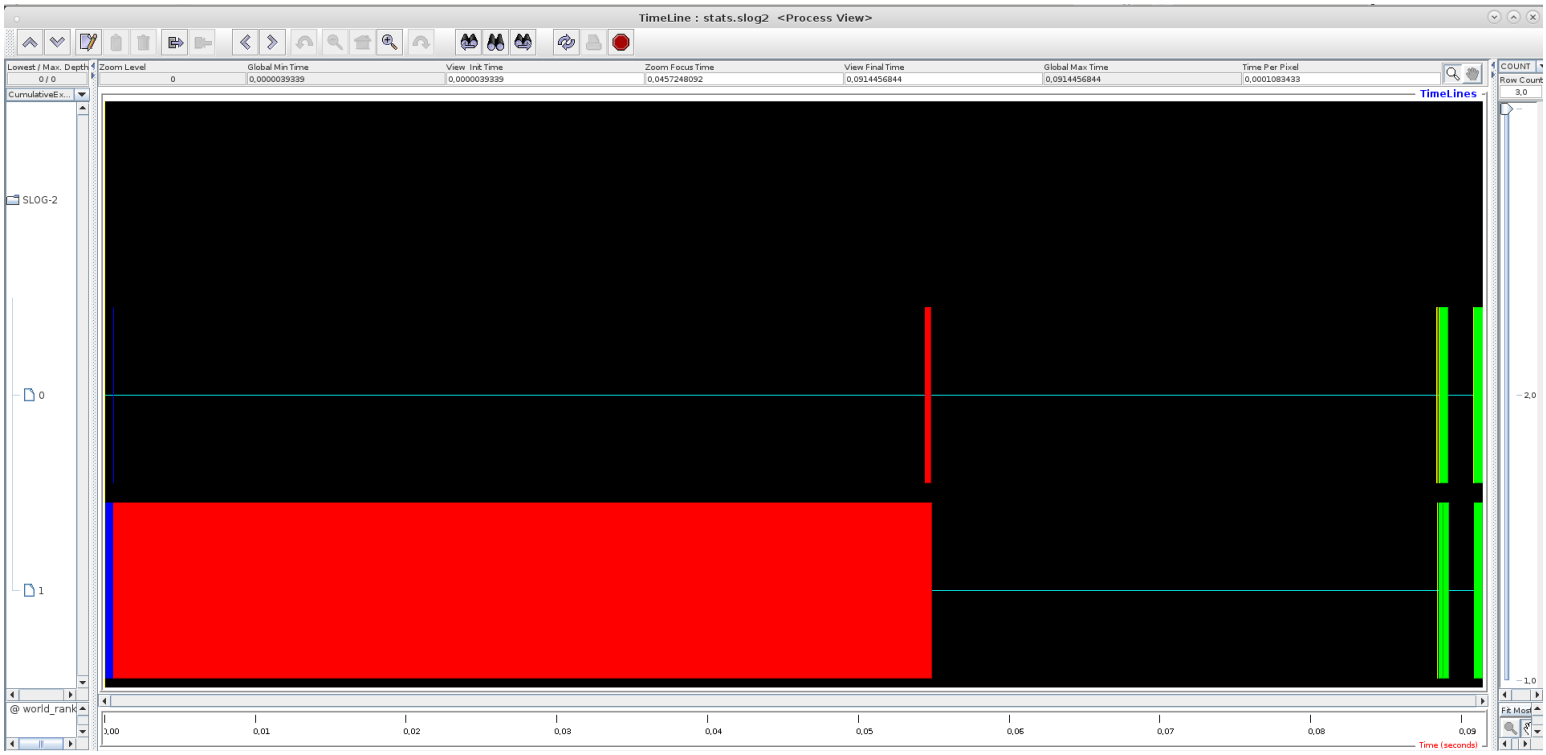
W ramach projektu zrealizowano profilowanie

Kolory wykorzystane w wykresach przedstawia poniższa grafika:

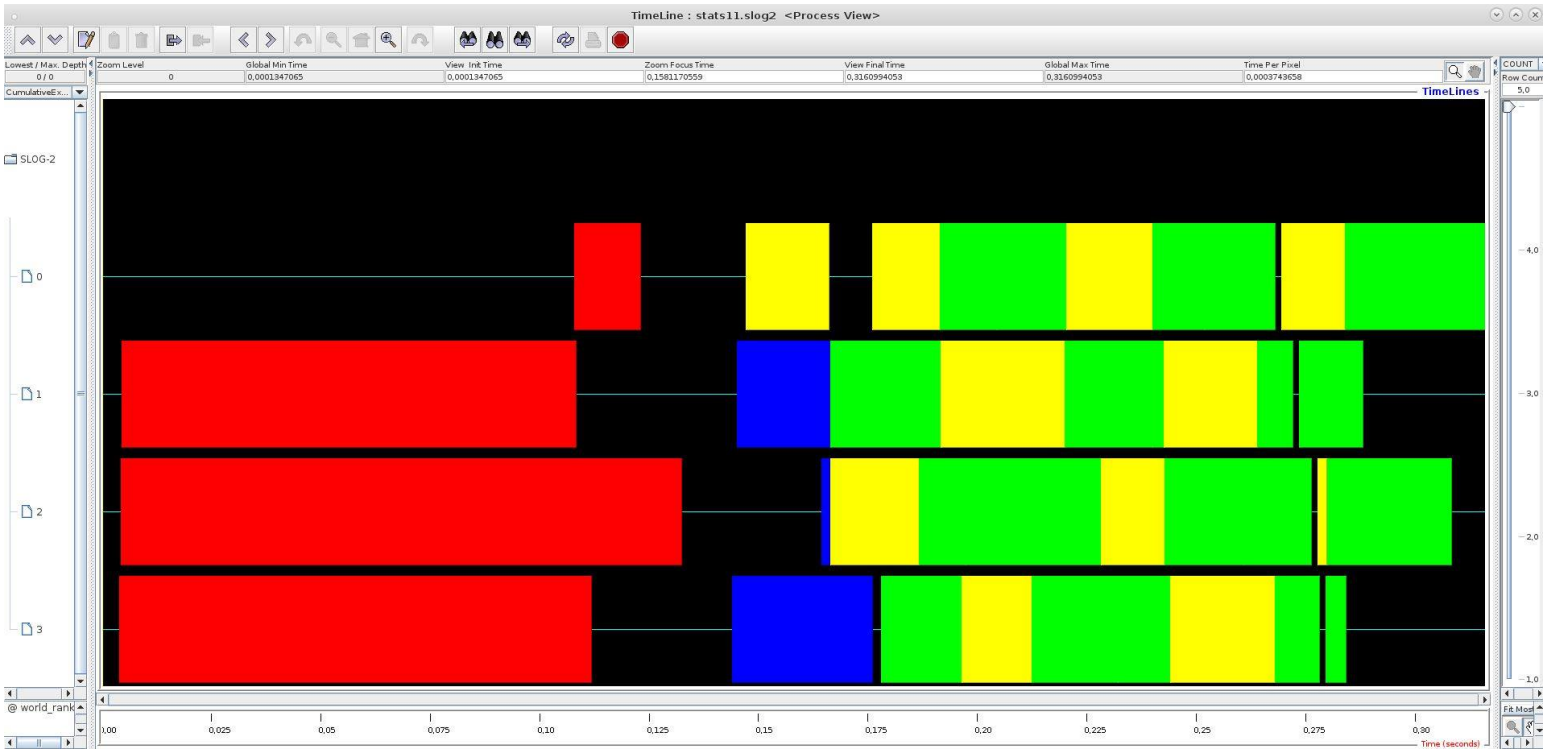




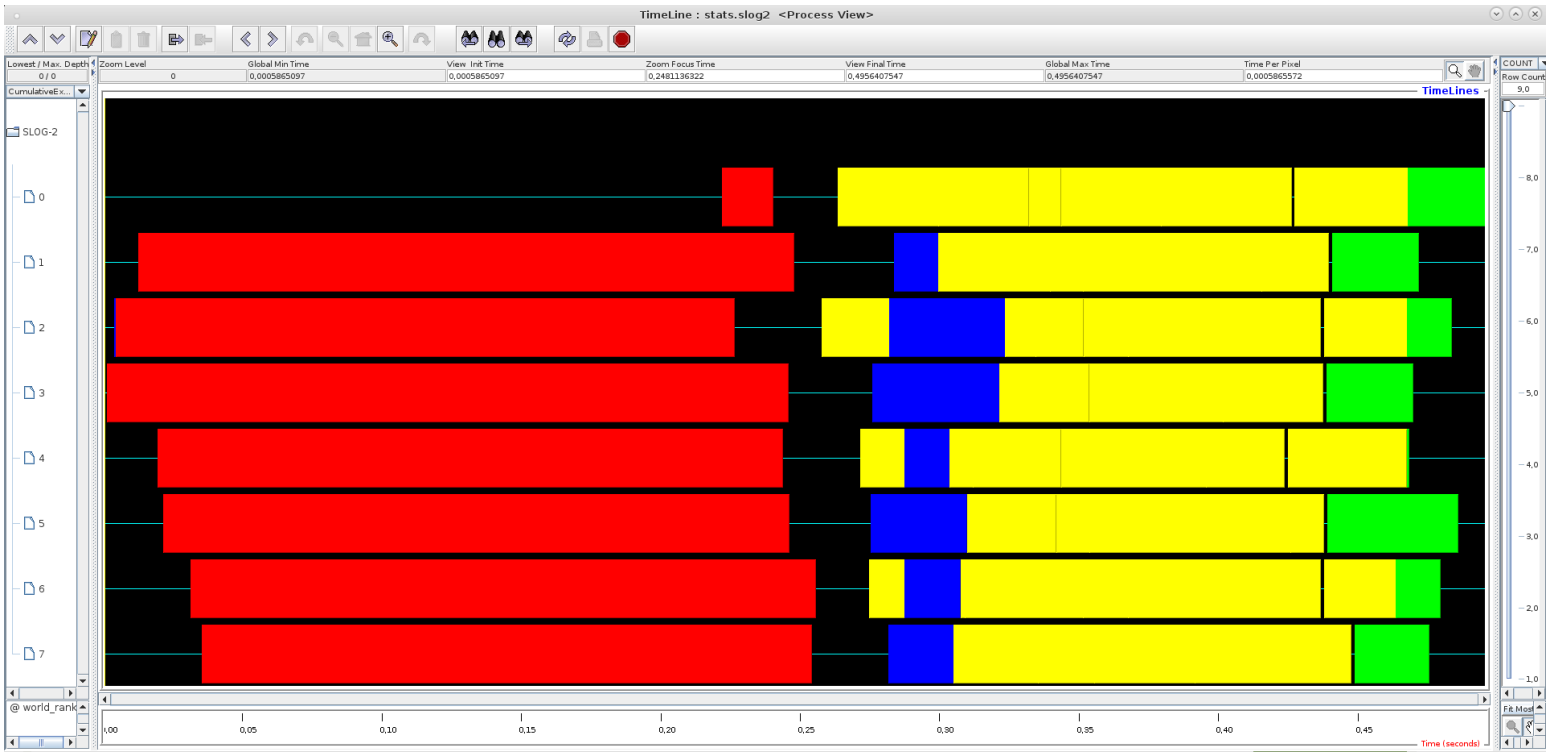

Wykres czasowy aplikacji dla 1 procesu




Wykres czasowy aplikacji dla 2 procesów




Wykres czasowy aplikacji dla 4 procesów




Wykres czasowy aplikacji dla 8 procesów

Profilowanie zrealizowano na tej samej ilości danych dla 1, 2, 4 i 8 procesów. Wyniki przedstawiono poniżej:

Powyżej można zaobserwować, że najlepszy wynik został osiągnięty dla liczby procesów równej 2. Wynika to z najbardziej optymalnego zestawu ilości przesyłań komunikatów pomiędzy procesami, a ilością rdzeni procesora.

Dla jednego węzła narzutu komunikacyjnego nie obserwujemy, ale samo sortowanie trwa długo. Z kolei dla węzłów 8 same obliczenia trwają krótko, jednak komunikacja pomiędzy wszystkimi procesami trwa na tyle długo, że wynik jest gorszy niż sortowanie lokalnie. Podobnie w przypadku 4 procesów.

Odpowiedni dobór ilości procesów/węzłów dla zadania zależy od ilości danych do posortowania, specyfikacji sprzętu i znajomości infrastruktury klastra.

Problem sortowania jest wrażliwy i wybierając odpowiednie parametry należy pamiętać o wszystkich elementach, które mogą opóźniać proces sortowania równoległego. Niejednokrotnie może okazać się korzystniej sortować dane lokalnie na jednym węźle niż próbować takie sortowanie zrównoleglać.

# 5. Przykład wykonania programu

```
Starting
Number of processes 4
Size of whole data to process: 50
Table values to sort:
7 16 3 84 20 17 47 40 3 69 92 96 74 32 53 43 81 73 31 13 91 88 21 98 54 52 36 67 49 78 95 84 75 46 88 41 76 2 83 4 8 77 49 93 40 80 97 18 26 36
Lengths of data to be send to processes...
[process-0] myDataLength=12, myDataStarts=0
[process-1] myDataLength=12, myDataStarts=12
[process-2] myDataLength=12, myDataStarts=24
[process-3] myDataLength=14, myDataStarts=36
[process-0][class-0] class start=0, class length=5
[process-0][class-1] class start=5, class length=3
[process-0][class-2] class start=8, class length=1
[process-0][class-3] class start=9, class length=3
[process-1][class-0] class start=0, class length=1
[process-1][class-1] class start=1, class length=4
[process-1][class-2] class start=5, class length=3
[process-1][class-3] class start=8, class length=4
[process-2][class-0] class start=0, class length=0
[process-2][class-1] class start=0, class length=4
[process-2][class-2] class start=4, class length=5
[process-2][class-3] class start=9, class length=3
[process-3][class-0] class start=0, class length=4
[process-3][class-1] class start=4, class length=4
[process-3][class-2] class start=8, class length=3
[process-3][class-3] class start=11, class length=3
Sorted data:
2 3 3 4 7 8 13 16 17 18 20 21 26 31 32 36 36 40 40 41 43 46 47 49 49 52 53 54 67 69 73 74 75 76 77 78 80 81 83 84 84 88 88 91 92 93 95 96 97 98
Clock time (seconds) = 0.000820

The end
```

```
ignacy@debian:~/MPI_PSRS$ make run N=1 ARGS="-f sample/input_500000.data"
mpicc PSRS.o utilities.o profiles.o -o PSRS.out -I/opt/nfs/mpe2-2.4.9b/include -L/opt/nfs/mpe2-2.4.9b/lib -std=c11 -lmpe -lm -lpthrea
d
/opt/nfs/mpich-3.2/bin/mpiexec -n 1 ./PSRS.out -f sample/input_500000.data
Starting
Number of processes 1
Size of whole data to process: 500000
Sorted data:

Clock time (seconds) = 0.071986


The end
Enabling the Default clock synchronization...
ignacy@debian:~/MPI_PSRS$ make run N=2 ARGS="-f sample/input_500000.data"
mpicc PSRS.o utilities.o profiles.o -o PSRS.out -I/opt/nfs/mpe2-2.4.9b/include -L/opt/nfs/mpe2-2.4.9b/lib -std=c11 -lmpe -lm -lpthrea
d
/opt/nfs/mpich-3.2/bin/mpiexec -n 2 ./PSRS.out -f sample/input_500000.data
Starting
Number of processes 2
Size of whole data to process: 500000
Sorted data:

Clock time (seconds) = 0.036937


The end
Enabling the Default clock synchronization...
ignacy@debian:~/MPI_PSRS$
```

# 6. Źródła

*Quinn, zad. 15.5, Grama, Gupta, rozdz. 13*
*http://csweb.cs.wfu.edu/bigiron/LittleFE-PSRS/build/html/PSRSalgorithm.html*
*http://csweb.cs.wfu.edu/bigiron/LittleFE-PSRS/build/html/PSRSAppendixI.html*