Imię Nazwisko – nr albumu: Anna Dybel - 148901 Michał Janeczko - 148905 Tomasz Seruga	Przedmiot: Programowanie równoległe i rozproszone	Data: 16.05.2023r.

Cel: Implementacja w środowisku OpenMP, MPI oraz hybrydowym (MPI+OpenMP) algorytmu znajdowania liczb pierwszych – sito Eratostenesa.

Przebieg projektu:

1. Znajdowanie liczb pierwszych algorytmem sita Eratostenes

   Podstawowym zadaniem algorytmu sita Eratostenes jest wyznaczenie liczb pierwszych z przedziału 2 .. n, dla pewnej liczby naturalnej n. Głównym założeniem algorytmu na którym się opiera jest fakt, że do wyznaczenia liczb pierwszych z przedziału B = [sqrtn] + 1 .. n wystarczy znajomość liczb pierwszych z przedziału A = 2 .. [sqrtn], ponieważ każda liczba złożona należąca do przedziału B dzieli się przez jedną lub więcej liczb z przedziału A. Wobec tego aby sprawdzić czy dowolna liczba należąca do przedziału B jest złożona, wystarczy sprawdzić czy dzieli się bez reszty przez jedną lub więcej liczb z przedziału A.

2. Wersja sekwencyjna algorytmu

   Niezbędnym etapem projektu było zaimplementowanie sekwencyjnej wersji algorytmu. Sekwencyjna implementacja jest ważnym elementem oceny efektywności równoległych implementacji. Bardzo istotne jest to aby sekwencyjny program był dobrze napisany tzn wykonanie takiego programu było najlepsze. Kolejnym ważnym aspektem jest wersji sekwencyjnej jest też to, że jeśli wykonujemy program dla małego rozmiaru zadania to nie ma sensu uruchamiać go równolegle dlatego że takie podejście może nie przynieść żadnych zysków a wręcz przeciwnie wykonanie takie programu może okazać się gorszę od sekwencyjnego.

3. Implementacja równoległa algorytmu

Przed przystąpieniem do wykonania równoległych implementacji została zwrócona uwaga na to, że zadanie obliczeniowe można podzielić na mniejsze zadania poprzez wykorzystanie dekompozycji danych. Oznacza to że zbiór B, w którym szukane są pozostałe liczby pierwsze można podzielić na mniejsze podzbiory i każdy taki podzbiór przypisywać wątką/procesą które szukają w nich liczb pierwszych. Następnie otrzymane podzbiory liczb pierwszych przez poszczególne wątki/procesy składają się na cały zbiór szukanych liczb pierwszych. Koleją obserwacją jest to, że wykonanie części w której wyznaczane są liczby pierwsze w podzbiorze A może nie przynieść żadnych zysków czasowych ze względu na komunikację. Wobec tego ta część wykonywana jest sekwencyjnie.

3.1. Wersja dla środowiska OpenMP

OpenMP, jest wieloplatformowym interfejsem programowania umożliwiającym tworzenie równoległych programów dla systemów wieloprocesorowych z pamięcią współdzieloną. Dzięki temu że składa się on z dyrektyw kompilatora i zmiennych środowiskowych, nie jest wymagane tworzenie programu od zera. Wobec tego do utworzenia wersji dla OpenMP została wykorzystana wersja sekwencyjna, która została poszerzona o odpowiednie dyrektyw. Dodatkowo wersja OpenMP uruchomiona dla jednego wątku jest wykonywana sekwencyjnie.

3.2. Wersja dla środowiska MPI

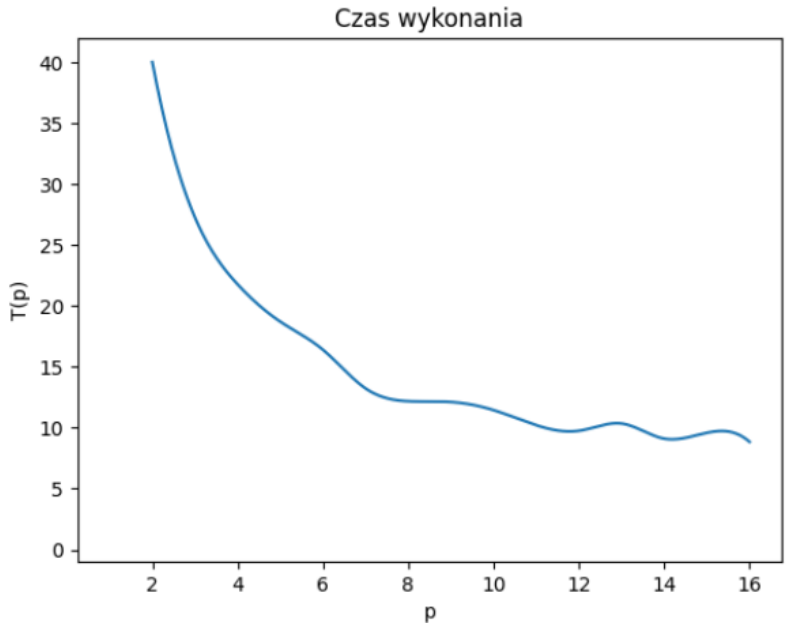
Kolejny punkt projektu polegał na wykonaniu implementacji algorytmu w środowisku MPI, który jest standardem przesyłania komunikatów pomiędzy procesami. Jego ogromnym atutem jest jego przenośność. Oznacza to że standard może być używany do programowania z modelem z pamięcią rozproszoną jak i programowania wielowątkowego z pamięcią wspólną. Jednak wykonanie wersji równoległej w standardzie MPI wymagała większego nakładu pracy ponieważ program musiał zostać napisać od nowa a nie tak jak w przypadku OpenMP rozszerzenie wersji sekwencyjnej o dyrektywy.

3.3.Wersja dla środowiska hybrydowego (OpenMP + MPI)

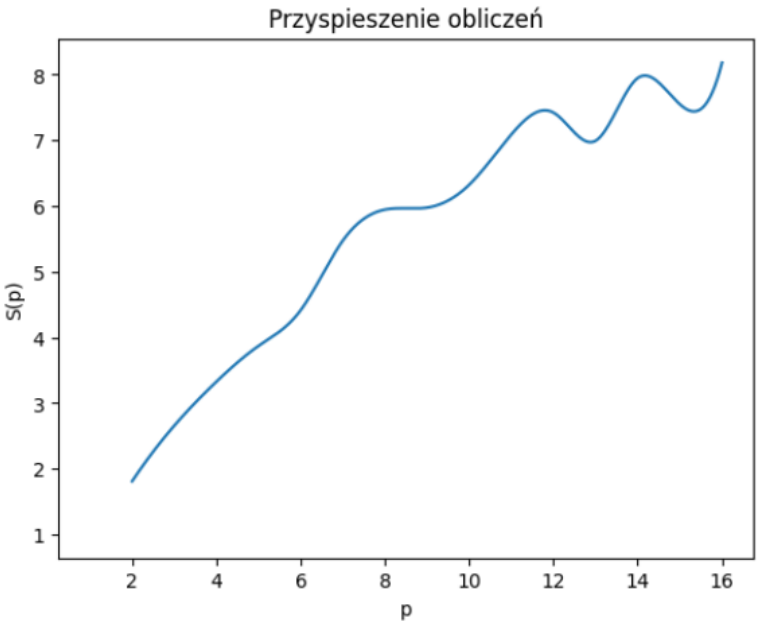
Standard OpenMP jest dedykowany do programowania z wielowątkowego z modelem pamięci wspólnej. Jednak może zostać także zastosowane wraz z MPI, tworząc hybrydową wersję dedykowaną klastrą komputerowym. W tym etapie wersja dla środowiska MPI została poszerzona o odpowiednie dyrektywy MPI.

4. Badanie efektywności obliczeń równoległych

Pomiary zostały wykonane dla programów o stałym rozmiarze zadania obliczeniowego przy zwiększaniu mocy obliczeniowej (liczbie procesorów). Ze względu na brak możliwość przetestowania wersji hybrydowej na sprzęcie docelowym czyli klastrach homogenicznych, uzyskane wyniki mogą nie przedstawiać rzeczywistych korzyści, które płyną z tej wersji implementacji równoległej. Wyniki zostały zaprezentowane w postaci wykresów i w formie tabeli.

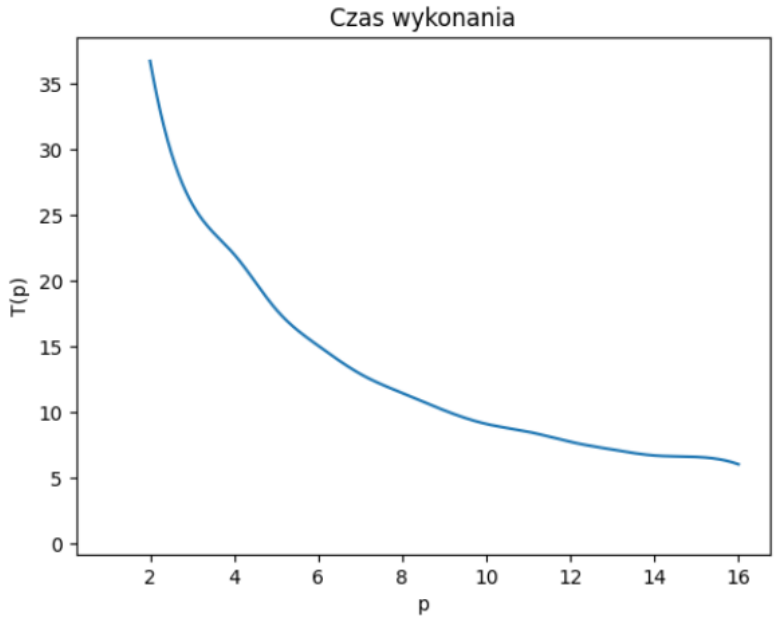


Wykres 1 Czas wykonania dla wersji OpenMP

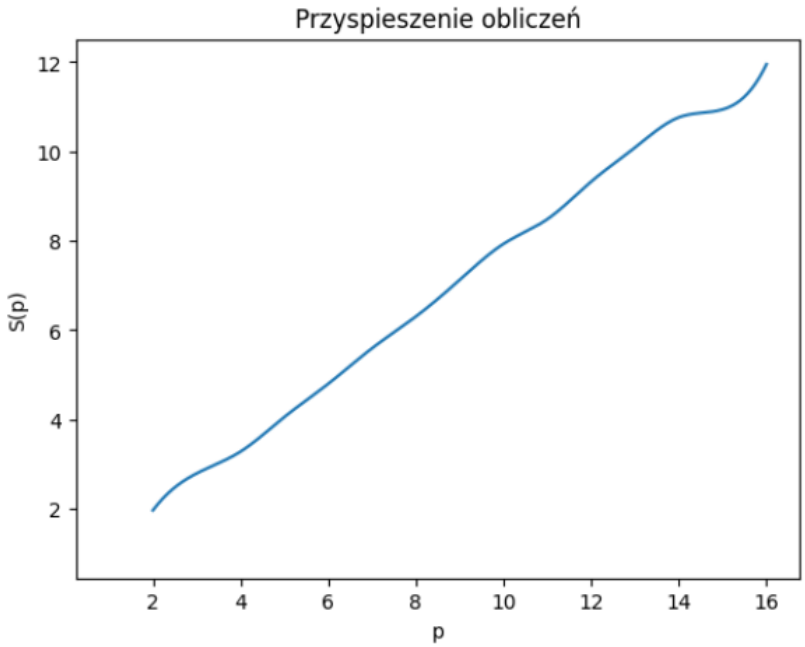


Wykres 2 Przyspieszenie obliczeń dla wersji OpenMP

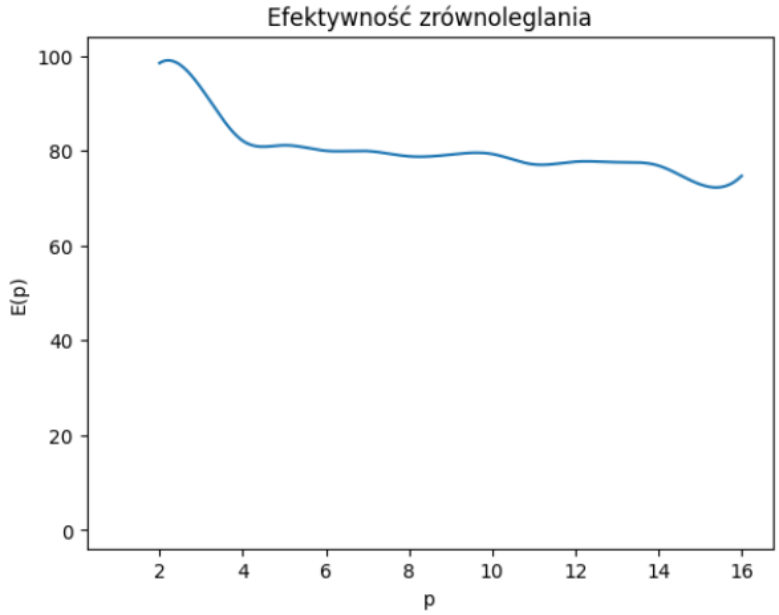
Wykres 3 Efektywność zrównoleglania dla wersji OpenMP



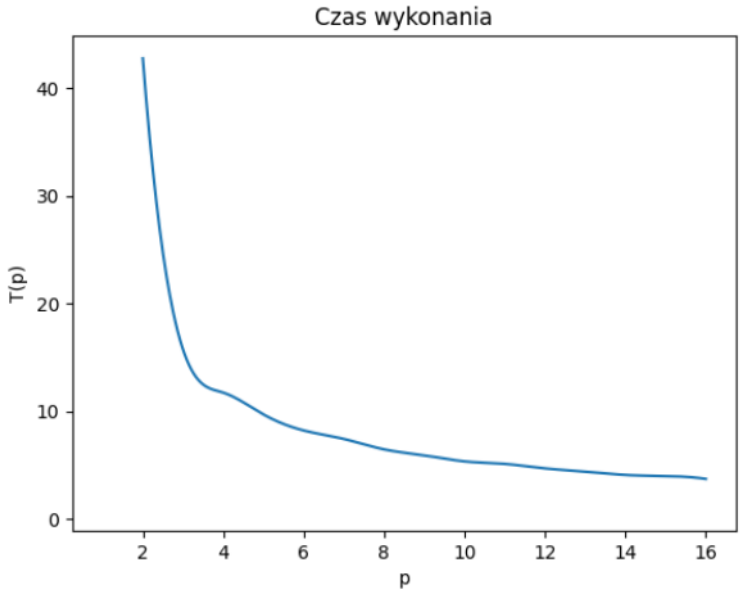
Wykres 4 Czas wykonania dla wersji MPI



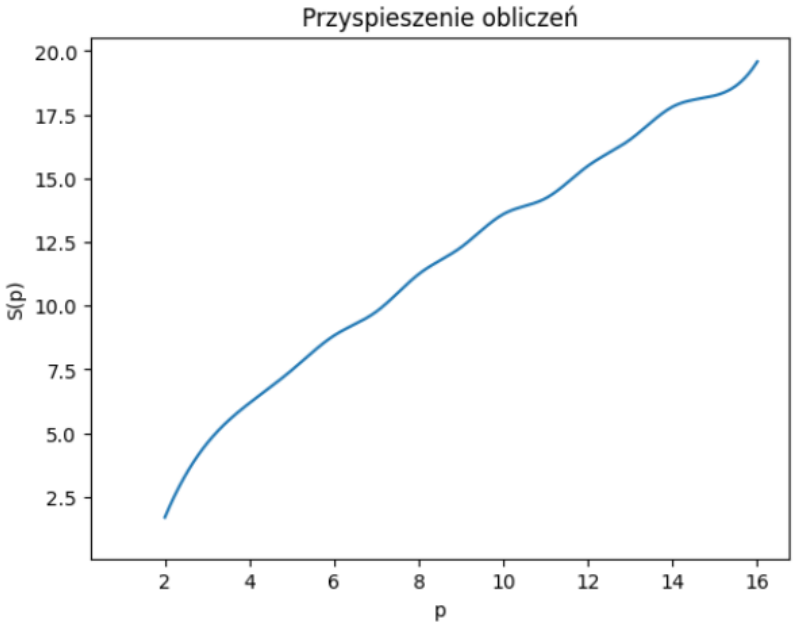
Wykres 5 Przspieszenie obliczeń dla wersji MPI



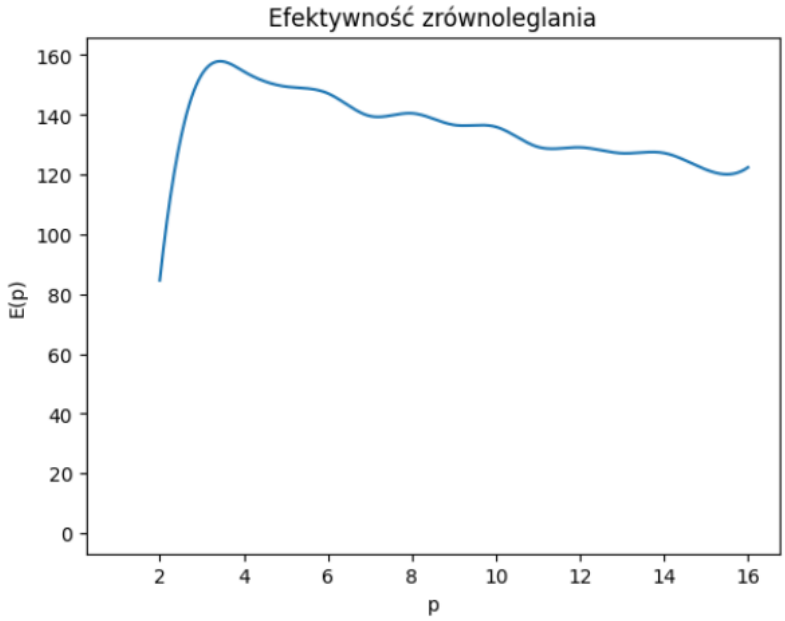
Wykres 6 Efektywność zrównoleglenia dla wersji MPI



Wykres 7 Czas wykonania dla wersji hybrydowej



Wykres 8 Przyspieszenie obliczeń dla wersji hybrydowe



Wykres 9 Efektywność zrównoleglania dla wersji hybrydowej

Implementacja	p	T	n	Speed up	Efficiency
hybrid	2	42.762949	1E+08	1.6925788958100154	84.62894479050077
hybrid	3	15.715624	1E+08	4.60558645332823	153.51954844427433
hybrid	4	11.711095	1E+08	6.180435305152934	154.51088262882337

hybrid	5	9.685474	1E+08	7.473012162337126	149.46024324674252
hybrid	6	8.195771	1E+08	8.83134301824685	147.18905030411415
hybrid	7	7.406621	1E+08	9.772292250406764	139.6041750058109
hybrid	8	6.43834	1E+08	11.24197619262108	140.5247024077635
hybrid	9	5.886503	1E+08	12.29586819203184	136.62075768924268
hybrid	10	5.322901	1E+08	13.597785305418983	135.97785305418984
hybrid	11	5.090564	1E+08	14.218398000693048	129.25816364266407
hybrid	12	4.671822	1E+08	15.492813082347745	129.1067756862312
hybrid	13	4.378928	1E+08	16.52908314546391	127.14679342664547
hybrid	14	4.063362	1E+08	17.812753330862474	127.23395236330339
hybrid	15	3.965817	1E+08	18.250883739718702	121.67255826479135
hybrid	16	3.695422	1E+08	19.586305704734126	122.4144106545883
mpi	2	36.746874	1E+08	1.9696822374605254	98.48411187302627
mpi	3	25.880808	1E+08	2.796653991637356	93.22179972124519
mpi	4	22.039501	1E+08	3.284088192377858	82.10220480944645
mpi	5	17.838013	1E+08	4.0576080418822436	81.15216083764487
mpi	6	15.08173	1E+08	4.799161966167011	79.98603276945019
mpi	7	12.936471	1E+08	5.595008484153059	79.92869263075798
mpi	8	11.479943	1E+08	6.304880172314444	78.81100215393056
mpi	9	10.15851	1E+08	7.125027686146886	79.16697429052095
mpi	10	9.126191	1E+08	7.930982925954541	79.30982925954541
mpi	11	8.532759	1E+08	8.482562908433252	77.11420825848411
mpi	12	7.763797	1E+08	9.322714774742307	77.68928978951922
mpi	13	7.177007	1E+08	10.084937216864914	77.5764401297301
mpi	14	6.726539	1E+08	10.760312993056312	76.8593785218308
mpi	15	6.617141	1E+08	10.938208056923678	72.92138704615785
mpi	16	6.057528	1E+08	11.948713237479053	74.67945773424408
openmp	2	40.008658	1E+08	1.809100045295196	90.4550022647598
openmp	3	27.260211	1E+08	2.655139573204331	88.50465244014435
openmp	4	21.77001	1E+08	3.324741927082257	83.11854817705643

openmp	5	18.709427	1E+08	3.868620081202914	77.37240162405828
openmp	6	16.404498	1E+08	4.412184085121044	73.53640141868408
openmp	7	13.228338	1E+08	5.471561506819677	78.16516438313825
openmp	8	12.177388	1E+08	5.9437758737752295	74.29719842219036
openmp	9	12.116692	1E+08	5.973549959015217	66.3727773223913
openmp	10	11.449833	1E+08	6.321460321735697	63.21460321735697
openmp	11	10.212131	1E+08	7.087616189020686	64.4328744456426
openmp	12	9.754698	1E+08	7.419980095744636	61.83316746453863
openmp	13	10.352599	1E+08	6.9914487173703925	53.78037474900302
openmp	14	9.108507	1E+08	7.946380784468849	56.75986274620607
openmp	15	9.590617	1E+08	7.546924770324996	50.31283180216665
openmp	16	8.847957	1E+08	8.180381640643146	51.127385254019664

Podsumowanie:

Analizując uzyskane wykresy dla poszczególnych wersji można zauważyć, że im bardziej zwiększamy moc obliczeniową tym zyski są mniejsze i nie są już tak bardzo odczuwalne. Tego typu efekt jest spowodowany tym, że nie da się idealnie zrównoleglić algorytmu. Istnieje część sekwencyjna, która dla stałego rozmiaru zadania obliczeniowego zawsze będzie wykonywać się przez stały czas, którego nie można skrócić. Wobec tego program równoległy nie może osiągnąć czasu niższego niż czas wykonania części sekwencyjnej. Kolejnym wpływ mają także sekcje krytyczne, które zapobiegają wyścigu danych i zapewniają poprawne działania programu, wymiana informacja miedzy procesami, synchronizacja, zbieranie informacja przez proces od innych procesów. Wszystkie te czynniki wpływają na spadek wydajności wykonania równoległego. Biorąc pod uwagę otrzymane wyniki, najlepsze wyniki uzyskała implementacja hybrydowa, można tutaj zauważyć że wykres przyspieszenia dla tej implementacji jest superliniowy. Oznacza to, że dla danego p (mocy obliczeniowej, liczbie wykorzystanych procesorów) uzyskane przyspieszenie jest większe od p a z punktu teoretycznego idealne przyspieszenie powinno być równe p.

Jednak nie po to zwiększamy moc obliczeniową aby wykonywać to samo zadanie obliczeniowe, w tym przypadku o tym samym rozmiarze. Zwiększeniu mocy obliczeniowej powinno także towarzyszyć zwiększenie rozmiaru zadania lub jego złożoność, proporcjonalnie do zwiększanej mocy. Wobec tego w ramach projektu zostały także wykonane pomiary wykonania poszczególnych implementacji równoległych ze względu na wzrost zadania i mocy.