

Mgr inż. Anna Franczyk  
Doktorantka Studium Doktoranckiego AGH,  
Wydz. Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska

### **Analiza efektywności wykorzystania *Parallel Virtual Machine* w obliczeniach równoległych na przykładzie prostych modeli sejsmicznych.**

#### 1. Wprowadzenie.

W ostatnich latach obserwuje się gwałtowny rozwój obliczeń równoległych i rozproszonych. Decyduje o tym przede wszystkim ogromny postęp w dziedzinie sprzętu komputerowego i oprogramowania, w tym upowszechnienie się sieci komputerowych oraz rosnące znaczenie i zapotrzebowanie na metody rozwiązywania dużych zadań obliczeniowych.

Zalety używania klastrów komputerów do masowych obliczeń są nie do przecenienia i stanowią z pewnością konkurencyjną propozycję w stosunku do wieloprocessorowych superkomputerów np. o architekturze wektorowej. Zarówno od strony kosztów sprzętu jak i niezawodności oprogramowania stanowią właściwą platformę do implementacji np. złożonych obliczeń związanych z propagacją fal sejsmicznych. Pomimo ograniczonego rodzaju karty sieciowej szerokości przenoszenia pasma i opóźnień w wyniku komunikatów pozwalają znacznie ograniczyć czas realizacji obliczeń. Problem modeli sejsmicznych w dobry sposób poddaje się procesowi równoleglenia. Równoległość może być rozumiana w tym wypadku jako równoległość homogeniczna lub heterogeniczna. Oba typy mogą być bezpośrednio stosowane do budowy programów modelujących rozprzestrzenianie się fal. Dużym wsparciem dla programów tego typu jest biblioteka przesyłania komunikatów PVM, która może służyć jako fundament do tworzenia równoległego sterowania procesami realizowanymi w klastrze komputerów.

#### 2. Pakiet PVM.

Pakiet PVM (*Parallel Virtual Machine*) został opracowany w *Oak Ridge National Laboratory*. Jest środowiskiem oprogramowania do realizacji obliczeń rozproszonych w heterogenicznych sieciach maszyn sekwencyjnych i równoległych. Poszczególne komputery wchodzące w skład Maszyny Wirtualnej mogą pracować pod nadzorem różnych systemów operacyjnych i mogą mieć różne architektury sprzętowe. Komunikacja między procesami odbywa się dzięki mechanizmom oprogramowania maszyny wirtualnej, a nie dzięki interfejsowi z warstwy sieciowej. PVM jest biblioteką procedur i funkcji, napisanych w językach C i Fortran, służących do przesyłania komunikatów, zarządzania procesami i ich synchronizacji.

W skład systemu PVM wchodzi: program konsoli – program „pvm”, umożliwiający współdziałanie programów składających się na aplikację rozproszoną – plik „pvm3”, biblioteki funkcji: podstawowych („libpvm3.a”) i operujących na grupach procesów („libgpvm3.a”).

#### 3. Modelowanie akustycznego pola falowego - przykład obliczeń równoległych.

Do budowy klastra wykorzystano uczelnianą sieć komputerową Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska. Klaster składał się ze stacji roboczych, połączonych siecią 10 Mbit/s o topologii peer-to peer, gdzie komputery połączone są każdy z każdym i żaden z nich nie jest komputerem uprzywilejowanym. Wszystkie komputery biorące udział w eksperymencie posiadały procesory AMD Duron 900 MHz, 256MB RAM i działały pod nadzorem systemu operacyjnego Linux. W badaniach zastosowano pakiet PVM,

wykorzystując skalowalność Maszyny Wirtualnej, pozwalającą na dodawanie (lub usuwanie) komputerów wchodzących w jej skład i zwiększanie (lub osłabianie) w ten sposób wydajności obliczeniowej. Mierzono czas obliczania pola falowego w zależności od ilości komputerów biorących udział w modelowaniach.

Założono prosty model ośrodka geologicznego, jego parametry zestawiono w tabeli 1.

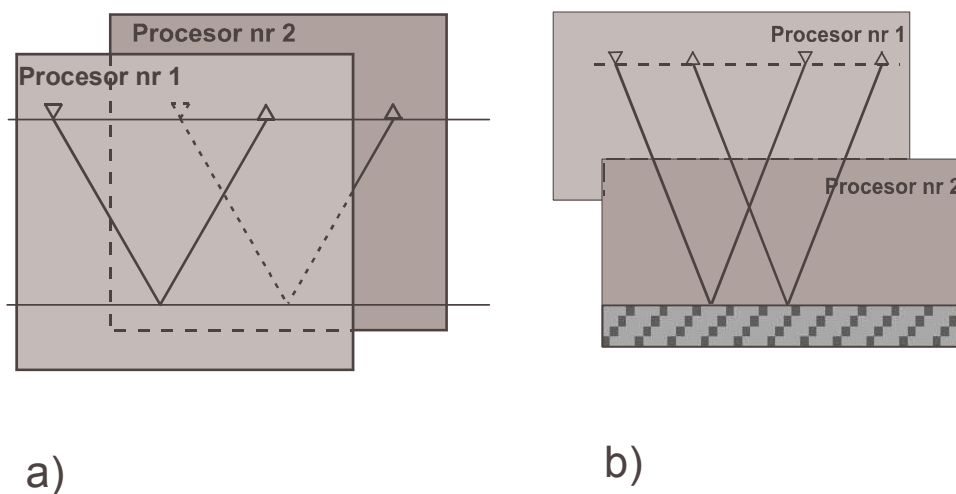
Tab1. Parametry ośrodka geologicznego.

| Parametry   | Wartości |
|---|----------|
| Wymiary ośrodka [m]   | 500x500  |
| Krok obliczeń (odległość między kolejnymi węzłami obliczeniowymi) [m] | 1        |
| Głębokość granicy odbijającej [m]                                     | 250      |
| Prędkość fali w nadkładzie $v_1$ [m/s]                                | 1000     |
| Prędkość fali w warstwie dolnej $v_2$ [m/s]                           | 2000     |
| Ilość punktów strzałowych   | 10       |
| Czas końcowy [s]  | 0,5      |
| Krok próbkowania [s]  | 0,002    |

Przyspieszenie w realizacji sekwencyjnego algorytmu modelowania pola falowego można uzyskać poprzez równoległe, czyli jednoczesne wykonanie obliczeń przez wiele procesorów. Istnieją dwa sposoby dekompozycji zadania obliczeniowego:

- podział homogeniczny – algorytm dzielony jest na równe co do wielkości podzadania, każde liczone na osobnym komputerze bez konieczności wymiany danych między procesorami;
- podział heterogeniczny - dzielący algorytm ma różne co do wielkości podzadanie, które wymagają istnienia mechanizmu wymiany informacji pomiędzy sobą.

Oba sposoby podziału wykorzystano przy współbieżnym modelowaniu pola falowego. Podział homogeniczny, zwany dalej podziałem jeden punkt strzałowy – jeden procesor, polegał na rozrzuceniu punktów strzałowych, każdy na inny procesor i modelowaniu odpowiedzi ośrodka osobno dla każdego punktu wzbudzenia. Podział heterogeniczny, podział ośrodka na poddomeny, proporcjonalne do ilości komputerów tworzących Maszynę Wirtualną, z koniecznością wymiany danych przez procesory przy obliczaniu pola falowego w obszarach będących granicami podziału ośrodka.

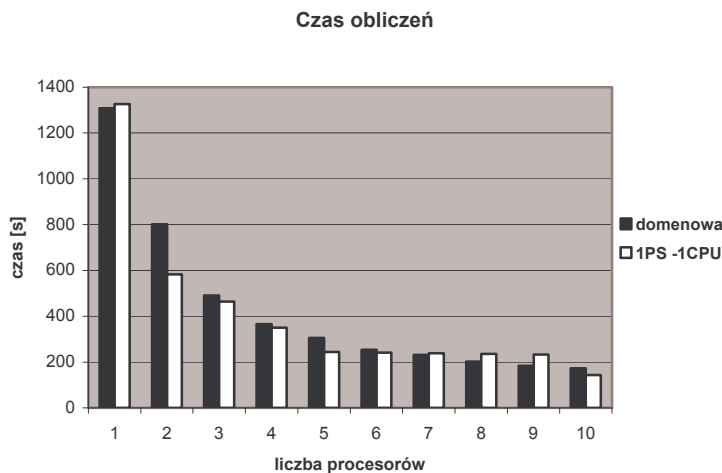


Rys 1. Dekompozycja poprzez a) rozrzucenie punktów strzałowych po jednym na każdy komputer Maszyny Wirtualnej, b) podział ośrodka na domeny.

Zasadniczą cechą różnicującą oba modele jest ziarnistość, czyli stosunek złożoności obliczeniowej do złożoności komunikacyjnej. Większa złożoność obliczeniowa występuje w modelu punkt strzałowy- procesor, natomiast model podziału ośrodka wymaga dodatkowej komunikacji między procesorami przy obliczaniu pola falowego dla granicznych punktów podziału.

### 5. Prezentacja wyników i wnioski.

W wyniku przeprowadzonych modelowań zaobserwowano znaczny spadek czasu obliczeń wraz ze wzrostem ilości komputerów budujących klastery.



obliczeniach dla jednego procesora wiąże się z faktem użycia różnych kompilatorów. Dla dekompozycji domenowej był to *gcc*, dla jeden punkt strzałowy – jeden procesor – *Kylis*.

Miarą korzyści wynikających z równoleglenia aplikacji jest przyspieszenie liczone jako stosunek czasu przebiegu programu na jednym komputerze do czasu przebiegu programu na P komputerach.

Rys 2. Zależność czasu obliczeń od ilości procesorów

$$S(P) = \frac{T(1)}{T(P)}$$

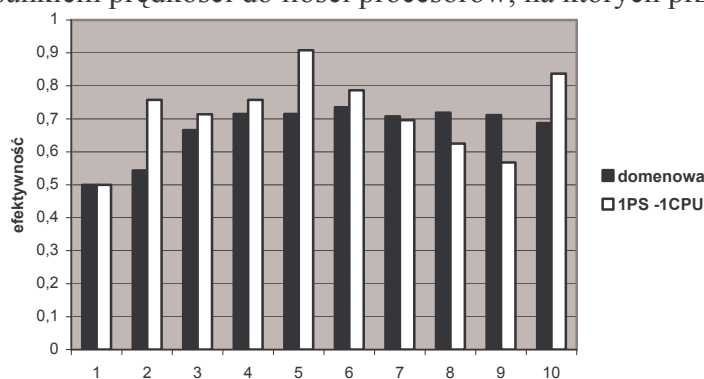
$S(P)$ - przyspieszenie

$T(1)$  - czasu przebiegu programu na jednym komputerze

$T(P)$  - czas przebiegu programu na P komputerach

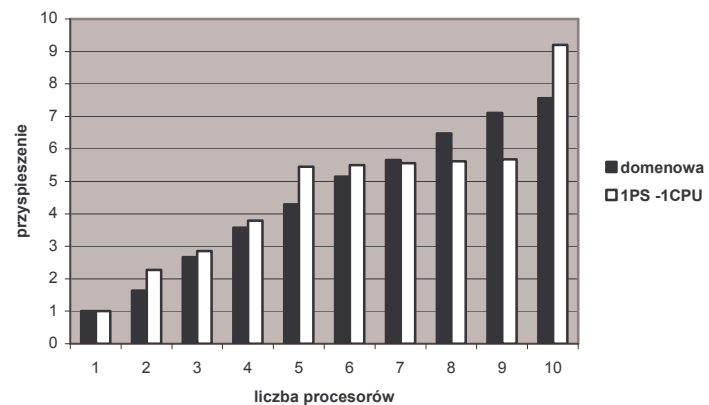
Przy dekompozycji domenowej, krzywa przyspieszenia charakteryzuje się monotonicznym wzrostem, krzywa przyspieszenia aplikacji w podziale jeden punkt strzałowy – jeden procesor, wzrasta skokowo.

Wykres zmian efektywności wykorzystania procesorów w obliczeniach algorytmu jest stosunkiem prędkości do ilości procesorów, na których przeprowadzone były obliczenia.



Rys 4. Zależność efektywności obliczeń od ilości komputerów

### Przyspieszenie



Rys 3. Zależność przyspieszenia od ilości komputerów

$$e(P) = \frac{T(1)}{P \cdot T(P)}$$

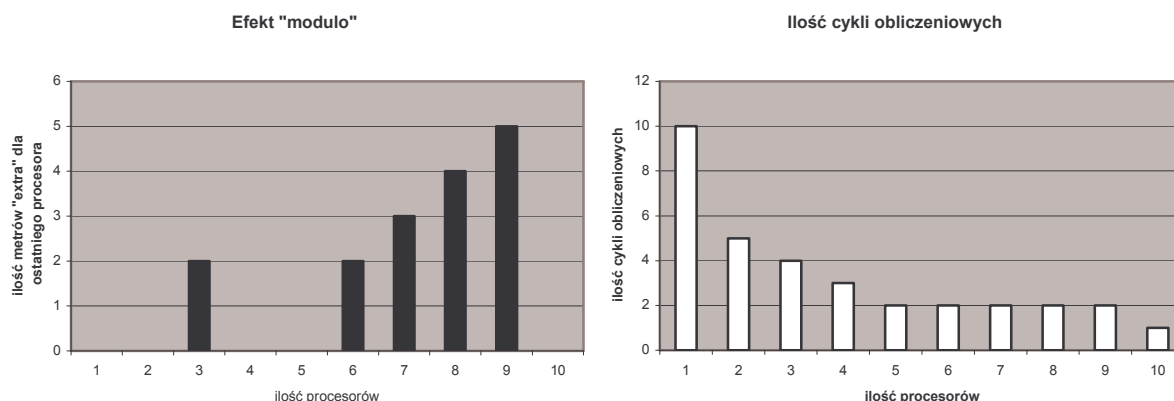
$e(P)$  - efektywność

$T(1)$  - czasu przebiegu programu na jednym komputerze

$T(P)$  - czas przebiegu programu na P komputerach

Na kształt wykresu efektywności mają wpływ dwa zjawiska:

- „efekt modulo” – powstały w sytuacji, gdy ilość procesorów nie pozwala podział ośrodka na warstwy o równej grubości w dekompozycji domenowej, w takiej sytuacji, jeden procesor otrzymywał większą ilość danych niż pozostałe, wydłużał się czas obliczeń, ponieważ szybkość obliczeń Maszyny Wirtualnej jest zależna od szybkości obliczeń najwolniejszego procesora
- ilość cykli obliczeniowych – przy dekompozycji jeden punkt strzałowy – jeden procesor, dla badanego przypadku 10 PS, najlepszą konfiguracją maszyny wirtualnej uzyskano dla 10 komputerów – obliczenia prowadzone były tylko w 1 cyklu; dla 5 komputerów – występowały 2 cykle obliczeń (5,5), dla 6 komputerów, tych cykli było w dalszym ciągu 2 (6,4). Zjawisko to tłumaczy spadek efektywności dla sytuacji, gdy MW budowało 6,7,8 i 9 komputerów.



Rys 5. "Efekt modulo i ilość cykli obliczeniowych"

Przedstawiony powyżej przykład udowodnił celowość zastosowania obliczeń rozproszonych w sieci komputerowej do obliczeń akustycznego pola falowego. W obu sposobach dekompozycji zadania obliczeniowego, przedstawionych w powyższym artykule zaobserwowano spadek czasu obliczeń ze wzrostem ilości jednostek obliczeniowych. Czas obliczeń w dekompozycji domenowej maleje eksponencjalnie wraz ze wzrostem ilości procesorów. Zwiększenie mocy obliczeniowej Maszyny Wirtualnej (realizowane poprzez dodawanie komputerów) powoduje wzrost ziarnistości podziału problemu obliczeniowego. Zmniejszeniu ulega ilość węzłów, w których poszczególne procesory obliczają wartości pola falowego, rośnie jednocześnie ilość punktów podziału, w których obliczenia wymagają komunikacji między komputerami.

Dekompozycja domenowa jest znacznie bardziej czuła na lokalne obciążenia sieci a także komputera (lub komputerów) należących do PVM (problemy związane z jednym

komputerem powodują spowolnienie obliczeń na wszystkich komputerach). Przy podziale jeden punkt strzałowy – jeden procesor, awaria jakiegokolwiek komputera nie odbija się w żaden sposób na szybkość obliczeń. Jest najlepszą metodą podziału dla zadań, w których oblicza się pole falowe dla wielu punktów strzałowych, natomiast dla mniejszych obliczeń, w których pole falowe jest modelowane dla kilku punktów strzałowych, najlepszym wydaje się podział domenowy, nie pozwalający żadnemu z komputerów wchodzących w skład Maszyny Wirtualnej na czasy bezczynności.

- LITERATURA

- AKBAR, F. E., SEN, M. K., STOFFA, P. L., *Prestack plane - wave Kirchhoff migration in laterally varying media*, Geophysics, 1996, Vol. 61, No. 4, 1068–1079.
- ALFORD, R. M., KELLY, K. R., BOORE, D. M., *Accuracy of finite – difference modeling of acoustic wave propagation*, Geophysics, 1974, Vol. 39, No 6, 834–842.
- BOROWIK, B. E., *Programowanie równoległe w zastosowaniach*, Warszawa, Wydawnictwo Mikon, 2001.
- CAP, C. H., STRUMPPEN, V., *Efficient parallel computing in distributed workstation environment*, Parallel Computing, 1993, No. 19, 1221–1234.
- FRICKE, R. J., *Reverse – time migration in parallel. A tutorial*, Geophysics, 1988, Vol. 53, No. 9, 1143–1150.
- KARBOWSKI, A., NIEWIADOMSKA-SZYNKIEWICZ, E., *Obliczenia równoległe i rozproszone*, Warszawa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2001.
- NICCANNA, C., BEAN, C. J., *The use of Parallel Virtual Machine (PVM) for finite – difference wave simulations*, Computers and Geosciences, 1997, Vol. 23, No. 7, 771–783.
- REYNOLDS, A. C., *Boundary conditions for the numerical solution of wave propagation problems*, Geophysics, 1978, Vol. 43, 1099–1110.
- RICHTER, N., *Wavelet function and their polynomials*, Geophysics, 1944, 314-323.
- SUNDERAM, V. S., GEIST, G. A., *Heterogeneous parallel and distributed computing*, Parallel Computing, 1999, Vol. 25, 1699–1721.
- SUNDERAM, V. S., GEIST, G. A., DONGARRA, J., MANCHECK, R., *The PVM concurrent computing system: Evolution, experiences, and trends*, Parallel Computing, 1994, Vol. 20, 531–545.
- VILLAREAL, A., SCALES, J. A., *Distributed three – dimensional finite – difference modeling of wave propagation in acoustic media*, Computers in Physics, 1997, Vol. 11, No. 4, 388–399.