

Realizacja frontalnego solwera MES z wykorzystaniem technologii OpenCL

Paweł J. Wal

Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej

Sesja Kół Naukowych AGH, 2014

Agenda

- 1 Solwer frontalny
 - Historia i inspiracja
- 2 Cele projektu
 - Główne założenia
 - Stworzenie rozwiązania uniwersalnego
- 3 Ogólny algorytm
 - Metoda wydzielania frontów rozwiązania
 - Równoległy wariant metody Gaussa
 - Przykład
- 4 Realizacja projektu
 - Problemy równoległości masowej
 - Przykład funkcjonowania jednego frontu
 - Paradygmat czarnej skrzynki
- 5 Badania wydajności
 - Optymalna liczba wątków dla badanych urządzeń
 - Przyspieszenie w zależności od globalnej ilości wątków
 - Skalowalność
- 6 Podsumowanie projektu
 - Wykonana praca
 - Kontynuacja projektu

Solwer frontalny

- Bruce Irons, 1970
- Motywacja jego pracy:
 - Relatywnie niewielka moc obliczeniowa
 - Ograniczona pamięć operacyjna (96kB)
 - Rosnący rozmiar problemów do rozwiązania
- Analogie z problematyką GPU
 - Ograniczony rozmiar pamięci operacyjnej
 - Kosztowny transfer między gospodarzem a urządzeniem

Solwer frontalny

- Bruce Irons, 1970
- Motywacja jego pracy:
 - Relatywnie niewielka moc obliczeniowa
 - Ograniczona pamięć operacyjna (96kB)
 - Rosnący rozmiar problemów do rozwiązania
- Analogie z problematyką GPU
 - Ograniczony rozmiar pamięci operacyjnej
 - Kosztowny transfer między gospodarzem a urządzeniem

Solwer frontalny

- Bruce Irons, 1970
- Motywacja jego pracy:
 - Relatywnie niewielka moc obliczeniowa
 - Ograniczona pamięć operacyjna (96kB)
 - Rosnący rozmiar problemów do rozwiązania
- Analogie z problematyką GPU
 - Ograniczony rozmiar pamięci operacyjnej
 - Kosztowny transfer między gospodarzem a urządzeniem

Solwer frontalny

- Bruce Irons, 1970
- Motywacja jego pracy:
 - Relatywnie niewielka moc obliczeniowa
 - Ograniczona pamięć operacyjna (96kB)
 - Rosnący rozmiar problemów do rozwiązania
- Analogie z problematyką GPU
 - Ograniczony rozmiar pamięci operacyjnej
 - Kosztowny transfer między gospodarzem a urządzeniem

Solwer frontalny

- Bruce Irons, 1970
- Motywacja jego pracy:
 - Relatywnie niewielka moc obliczeniowa
 - Ograniczona pamięć operacyjna (96kB)
 - Rosnący rozmiar problemów do rozwiązania
- Analogie z problematyką GPU
 - Ograniczony rozmiar pamięci operacyjnej
 - Kosztowny transfer między gospodarzem a urządzeniem

Solwer frontalny

- Bruce Irons, 1970
- Motywacja jego pracy:
 - Relatywnie niewielka moc obliczeniowa
 - Ograniczona pamięć operacyjna (96kB)
 - Rosnący rozmiar problemów do rozwiązania
- Analogie z problematyką GPU
 - Ograniczony rozmiar pamięci operacyjnej
 - Kosztowny transfer między gospodarzem a urządzeniem

Solwer frontalny

- Bruce Irons, 1970
- Motywacja jego pracy:
 - Relatywnie niewielka moc obliczeniowa
 - Ograniczona pamięć operacyjna (96kB)
 - Rosnący rozmiar problemów do rozwiązania
- Analogie z problematyką GPU
 - Ograniczony rozmiar pamięci operacyjnej
 - Kosztowny transfer między gospodarzem a urządzeniem

Solwer frontalny

- Bruce Irons, 1970
- Motywacja jego pracy:
 - Relatywnie niewielka moc obliczeniowa
 - Ograniczona pamięć operacyjna (96kB)
 - Rosnący rozmiar problemów do rozwiązania
- Analogie z problematyką GPU
 - Ograniczony rozmiar pamięci operacyjnej
 - Kosztowny transfer między gospodarzem a urządzeniem

Cele projektu

Główne założenia

- Wykorzystanie ducha pracy Ironsa
 - Rozwiązanie współbieżne
 - Wykorzystanie możliwości równoległości masowej w GPGPU
- Wykorzystanie możliwości urządzeń obliczeniowych
 - Rozłożenie rozwiązania układu równań liniowych na szereg mniejszych, częściowo zależnych podproblemów

Cele projektu

Główne założenia

- Wykorzystanie ducha pracy Ironsa
 - Rozwiązanie współbieżne
 - Wykorzystanie możliwości równoległości masowej w GPGPU
- Wykorzystanie możliwości urządzeń obliczeniowych
 - Rozłożenie rozwiązania układu równań liniowych na szereg mniejszych, częściowo zależnych podproblemów

Cele projektu

Główne założenia

- Wykorzystanie ducha pracy Ironsa
 - Rozwiązanie współbieżne
 - Wykorzystanie możliwości równoległości masowej w GPGPU
- Wykorzystanie możliwości urządzeń obliczeniowych
 - Rozłożenie rozwiązania układu równań liniowych na szereg mniejszych, częściowo zależnych podproblemów

Cele projektu

Główne założenia

- Wykorzystanie ducha pracy Ironsa
 - Rozwiązanie współbieżne
 - Wykorzystanie możliwości równoległości masowej w GPGPU
- Wykorzystanie możliwości urządzeń obliczeniowych
 - Rozłożenie rozwiązania układu równań liniowych na szereg mniejszych, częściowo zależnych podproblemów

Cele projektu

Główne założenia

- Wykorzystanie ducha pracy Ironsa
 - Rozwiązanie współbieżne
 - Wykorzystanie możliwości równoległości masowej w GPGPU
- Wykorzystanie możliwości urządzeń obliczeniowych
 - Rozłożenie rozwiązania układu równań liniowych na szereg mniejszych, częściowo zależnych podproblemów

Cele projektu

Stworzenie rozwiązania uniwersalnego

- Czarna skrzynka
- Brak konieczności integracji z programem MES
- Możliwość rozwiązywania układów równań z różnych klas problemów
- Przenośność między systemami operacyjnymi
- Przenośność między urządzeniami obliczeniowymi

Cele projektu

Stworzenie rozwiązania uniwersalnego

- Czarna skrzynka
- Brak konieczności integracji z programem MES
- Możliwość rozwiązywania układów równań z różnych klas problemów
- Przenośność między systemami operacyjnymi
- Przenośność między urządzeniami obliczeniowymi

Cele projektu

Stworzenie rozwiązania uniwersalnego

- Czarna skrzynka
- Brak konieczności integracji z programem MES
- Możliwość rozwiązywania układów równań z różnych klas problemów
- Przenośność między systemami operacyjnymi
- Przenośność między urządzeniami obliczeniowymi

Cele projektu

Stworzenie rozwiązania uniwersalnego

- Czarna skrzynka
- Brak konieczności integracji z programem MES
- Możliwość rozwiązywania układów równań z różnych klas problemów
- Przenośność między systemami operacyjnymi
- Przenośność między urządzeniami obliczeniowymi

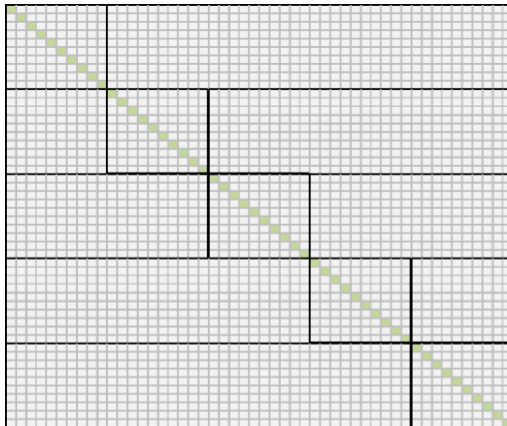
Cele projektu

Stworzenie rozwiązania uniwersalnego

- Czarna skrzynka
- Brak konieczności integracji z programem MES
- Możliwość rozwiązywania układów równań z różnych klas problemów
- Przenośność między systemami operacyjnymi
- Przenośność między urządzeniami obliczeniowymi

Algorytm

Metoda wydzielenia frontów rozwiązania



Algorytm

Równoległy wariant metody Gaussa

- Operacje elementarne na macierzach
 - Mnożenie i dodawanie wierszy
 - Zamiana wierszy
- Koncepcja mapy
 - Uniknięcie kosztownej, fizycznej zamiany wierszy
- Przywracanie formy macierzy schodkowej
 - Unikalny pierwszy wyraz niezerowy w wierszu
 - Mapa:
 - Pierwsza niezerowa wartość w wierszu jest elementem
 - Inicjalizacja wiersza i kolumny prowadzącej elementu

Algorytm

Równoległy wariant metody Gaussa

- Operacje elementarne na macierzach
 - Mnożenie i dodawanie wierszy
 - Zamiana wierszy
- Koncepcja mapy
 - Uniknięcie kosztownej, fizycznej zamiany wierszy
- Przywracanie formy macierzy schodkowej
 - Unikalny pierwszy wyraz niezerowy w wierszu
 - Mapa:
 - Pierwsza niezerowa wartość w wierszu jest elementem
 - Inne elementy w tym samym wierszu prowadzą eliminację

Algorytm

Równoległy wariant metody Gaussa

- Operacje elementarne na macierzach
 - Mnożenie i dodawanie wierszy
 - Zamiana wierszy
- Koncepcja mapy
 - Uniknięcie kosztownej, fizycznej zamiany wierszy
- Przywracanie formy macierzy schodkowej
 - Unikalny pierwszy wyraz niezerowy w wierszu
 - Mapa:
 - Pierwsza niezerowa wartość w wierszu jest elementem
 - Zamiana wierszy, którego pierwszego elementu jest elementem

Algorytm

Równoległy wariant metody Gaussa

- Operacje elementarne na macierzach
 - Mnożenie i dodawanie wierszy
 - Zamiana wierszy
- Koncepcja mapy
 - Uniknięcie kosztownej, fizycznej zamiany wierszy
- Przywracanie formy macierzy schodkowej
 - Unikalny pierwszy wyraz niezerowy w wierszu
 - Mapa:
 - Wiersz i kolumna, w której pierwszy wyraz niezerowy
 - Wiersz i kolumna, w której pierwszy wyraz niezerowy

Algorytm

Równoległy wariant metody Gaussa

- Operacje elementarne na macierzach
 - Mnożenie i dodawanie wierszy
 - Zamiana wierszy
- Koncepcja mapy
 - Uniknięcie kosztownej, fizycznej zamiany wierszy
- Przywracanie formy macierzy schodkowej
 - Unikalny pierwszy wyraz niezerowy w wierszu
 - Mapa:

• $\text{row} = \text{row} - \frac{\text{row}[\text{col}]}{\text{row}[\text{col}]}$

• $\text{row}[\text{col}] = \text{row}[\text{col}] - \text{row}[\text{col}] \cdot \text{row}[\text{col}]$

Algorytm

Równoległy wariant metody Gaussa

- Operacje elementarne na macierzach
 - Mnożenie i dodawanie wierszy
 - Zamiana wierszy
- Koncepcja mapy
 - Uniknięcie kosztownej, fizycznej zamiany wierszy
- Przywracanie formy macierzy schodkowej
 - Unikalny pierwszy wyraz niezerowy w wierszu
 - Mapa:
 - Pozwala na szybką weryfikację unikalności
 - Informuje względem którego wiersza prowadzić eliminację

Algorytm

Równoległy wariant metody Gaussa

- Operacje elementarne na macierzach
 - Mnożenie i dodawanie wierszy
 - Zamiana wierszy
- Koncepcja mapy
 - Uniknięcie kosztownej, fizycznej zamiany wierszy
- Przywracanie formy macierzy schodkowej
 - Unikalny pierwszy wyraz niezerowy w wierszu
 - Mapa:
 - Pozwala na szybką weryfikację unikalności
 - Informuje względem którego wiersza prowadzić eliminację

Równoległy wariant metody Gaussa

- Operacje elementarne na macierzach
 - Mnożenie i dodawanie wierszy
 - Zamiana wierszy
- Koncepcja mapy
 - Uniknięcie kosztownej, fizycznej zamiany wierszy
- Przywracanie formy macierzy schodkowej
 - Unikalny pierwszy wyraz niezerowy w wierszu
 - Mapa:
 - Pozwala na szybką weryfikację unikalności
 - Informuje względem którego wiersza prowadzić eliminacje

Algorytm

Równoległy wariant metody Gaussa

- Operacje elementarne na macierzach
 - Mnożenie i dodawanie wierszy
 - Zamiana wierszy
- Koncepcja mapy
 - Uniknięcie kosztownej, fizycznej zamiany wierszy
- Przywracanie formy macierzy schodkowej
 - Unikalny pierwszy wyraz niezerowy w wierszu
 - Mapa:
 - Pozwala na szybką weryfikację unikalności
 - Informuje względem którego wiersza prowadzić eliminację

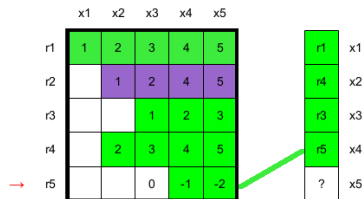
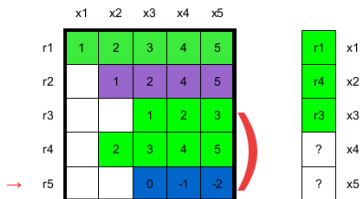
Algorytm

Równoległy wariant metody Gaussa

- Operacje elementarne na macierzach
 - Mnożenie i dodawanie wierszy
 - Zamiana wierszy
- Koncepcja mapy
 - Uniknięcie kosztownej, fizycznej zamiany wierszy
- Przywracanie formy macierzy schodkowej
 - Unikalny pierwszy wyraz niezerowy w wierszu
 - Mapa:
 - Pozwala na szybką weryfikację unikalności
 - Informuje względem którego wiersza prowadzić eliminację

Algorytm

Równoległy wariant metody Gaussa



Algorytm

Równoległy wariant metody Gaussa

	x1	x2	x3	x4	x5
r1	1	2	3	4	5
r2		0	0,5	2	2,5
r3			1	2	3
r4		2	3	4	5
r5			0	-1	-2

r1	x1
r4	x2
r3	x3
r5	x4
?	x5

	x1	x2	x3	x4	x5
r1	1	2	3	4	5
r2		0	0	1	1
r3			1	2	3
r4		2	3	4	5
r5			0	-1	-2

r1	x1
r4	x2
r3	x3
r5	x4
?	x5

	x1	x2	x3	x4	x5
r1	1	2	3	4	5
r2		0	0	0	-1
r3			1	2	3
r4		2	3	4	5
r5			0	-1	-2

r1	x1
r4	x2
r3	x3
r5	x4
?	x5

	x1	x2	x3	x4	x5
r1	1	2	3	4	5
r2		0	0	0	-1
r3			1	2	3
r4		2	3	4	5
r5			0	-1	-2

r1	x1
r4	x2
r3	x3
r5	x4
r2	x5

Problemy równoległości masowej

- Wewnątrz części macierzy (frontu) wydzielane są grupy robocze
 - Wynika to z architektury urządzeń obliczeniowych
- Przedstawiony wcześniej algorytm działa w obrębie grupy
 - Pewność, iż nie ma konfliktujących wierszy w obrębie grupy
 - Co z konfliktami w obrębie całego frontu?
 - Co z konfliktami w obrębie całej macierzy?
- Rozwiązanie
 - Dodatkowy kernel na urządzeniu obliczeniowym
 - Dodatkowa faza przetwarzania na CPU

Realizacja projektu

Problemy równoległości masowej

- Wewnątrz części macierzy (frontu) wydzielane są grupy robocze
 - Wynika to z architektury urządzeń obliczeniowych
- Przedstawiony wcześniej algorytm działa w obrębie grupy
 - Pewność, iż nie ma konfliktujących wierszy w obrębie grupy
 - Co z konfliktami w obrębie całego frontu?
 - Co z konfliktami w obrębie całej macierzy?
- Rozwiązanie
 - Dodatkowy kernel na urządzeniu obliczeniowym
 - Dodatkowa faza przetwarzania na CPU

Realizacja projektu

Problemy równoległości masowej

- Wewnątrz części macierzy (frontu) wydzielane są grupy robocze
 - Wynika to z architektury urządzeń obliczeniowych
- Przedstawiony wcześniej algorytm działa w obrębie grupy
 - Pewność, iż nie ma konfliktujących wierszy w obrębie grupy
 - Co z konfliktami w obrębie całego frontu?
 - Co z konfliktami w obrębie całej macierzy?
- Rozwiązanie
 - Dodatkowy kernel na urządzeniu obliczeniowym
 - Dodatkowa faza przetwarzania na CPU

Realizacja projektu

Problemy równoległości masowej

- Wewnątrz części macierzy (frontu) wydzielane są grupy robocze
 - Wynika to z architektury urządzeń obliczeniowych
- Przedstawiony wcześniej algorytm działa w obrębie grupy
 - Pewność, iż nie ma konfliktujących wierszy w obrębie grupy
 - Co z konfliktami w obrębie całego frontu?
 - Co z konfliktami w obrębie całej macierzy?
- Rozwiązanie
 - Dodatkowy kernel na urządzeniu obliczeniowym
 - Dodatkowa faza przetwarzania na CPU

Realizacja projektu

Problemy równoległości masowej

- Wewnątrz części macierzy (frontu) wydzielane są grupy robocze
 - Wynika to z architektury urządzeń obliczeniowych
- Przedstawiony wcześniej algorytm działa w obrębie grupy
 - Pewność, iż nie ma konfliktujących wierszy w obrębie grupy
 - Co z konfliktami w obrębie całego frontu?
 - Co z konfliktami w obrębie całej macierzy?
- Rozwiązanie
 - Dodatkowy kernel na urządzeniu obliczeniowym
 - Dodatkowa faza przetwarzania na CPU

Realizacja projektu

Problemy równoległości masowej

- Wewnątrz części macierzy (frontu) wydzielane są grupy robocze
 - Wynika to z architektury urządzeń obliczeniowych
- Przedstawiony wcześniej algorytm działa w obrębie grupy
 - Pewność, iż nie ma konfliktujących wierszy w obrębie grupy
 - Co z konfliktami w obrębie całego frontu?
 - Co z konfliktami w obrębie całej macierzy?
- Rozwiązanie
 - Dodatkowy kernel na urządzeniu obliczeniowym
 - Dodatkowa faza przetwarzania na CPU

Problemy równoległości masowej

- Wewnątrz części macierzy (frontu) wydzielane są grupy robocze
 - Wynika to z architektury urządzeń obliczeniowych
- Przedstawiony wcześniej algorytm działa w obrębie grupy
 - Pewność, iż nie ma konfliktujących wierszy w obrębie grupy
 - Co z konfliktami w obrębie całego frontu?
 - Co z konfliktami w obrębie całej macierzy?
- Rozwiązanie
 - Dodatkowy kernel na urządzeniu obliczeniowym
 - Dodatkowa faza przetwarzania na CPU

Problemy równoległości masowej

- ◀ ◻ ▶ ◀ ◻ ▶ ◀ ≡ ▶ ◀ ≡ ▶ ≡

Realizacja projektu

Problemy równoległości masowej

- Wewnątrz części macierzy (frontu) wydzielane są grupy robocze
 - Wynika to z architektury urządzeń obliczeniowych
- Przedstawiony wcześniej algorytm działa w obrębie grupy
 - Pewność, iż nie ma konfliktujących wierszy w obrębie grupy
 - Co z konfliktami w obrębie całego frontu?
 - Co z konfliktami w obrębie całej macierzy?
- Rozwiązanie
 - Dodatkowy kernel na urządzeniu obliczeniowym
 - Dodatkowa faza przetwarzania na CPU

Realizacja projektu

Przykład funkcjonowania jednego frontu

- Istnieje tyle lokalnych map, ile grup roboczych
- Przynależność map oznaczono kolorem

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	x	x	x													
2	x	x	x	x												
3	x	x	x	x	x											
4		x	x	x	x	x										
5			x	x	x	x	x									
6				x	x	x	x	x								
7					x	x	x	x	x							
8						x	x	x	x	x						
9							x	x	x	x	x					
10								x	x	x	x	x				
11									x	x	x	x	x			
12										x	x	x	x	x		
13											x	x	x	x	x	
14												x	x	x	x	x
15													x	x	x	x
16														x	x	x

RHS	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
-----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

M1	M2	M3	M4

Realizacja projektu

Przykład funkcjonowania jednego frontu

- Konflikty w obrębie grup zostały rozwiązane
- Istnieją konflikty w obrębie frontu

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	x	x	x													
2		x	x	x												
3			x	x	x											
4				x	x	x										
5			x	x	x	x	x									
6				x	x	x	x	x								
7					x	x	x	x	x							
8						x	x	x	x	x						
9							x	x	x	x	x					
10								x	x	x	x	x				
11									x	x	x	x	x			
12										x	x	x	x	x		
13											x	x	x	x	x	
14												x	x	x	x	x
15													x	x	x	x
16														x	x	x

RHS	M1	M2	M3	M4
x	1			
x	2			
x	3	5		
x	4	6		
x	7			
x	8			
x		9		
x		10		
x		11		
x		10		
x				13
x				14
x				15
x				16
x				
x				

Realizacja projektu

Przykład funkcjonowania jednego frontu

- Konflikty w obrębie frontu zostały rozwiązane
- Poczyniono zmiany: czy nie powstały nowe konflikty w obrębie grup roboczych?

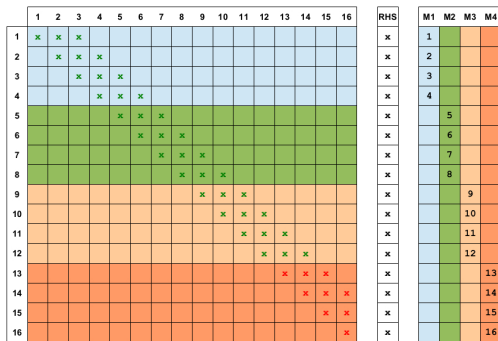
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	x	x	x													
2		x	x	x												
3			x	x	x											
4				x	x	x										
5					x	x	x	x								
6						x	x	x	x							
7							x	x	x	x	x					
8								x	x	x	x	x				
9									x	x	x	x	x			
10										x	x	x	x	x		
11											x	x	x	x	x	
12												x	x	x	x	x
13													x	x	x	x
14														x	x	x
15															x	x
16																x

RHS	M1	M2	M3	M4
x	1			
x	2			
x	3	5		
x	4	6		
x		7		
x		8		
x			9	
x			10	
x			11	
x			10	
x				13
x				14
x				15
x				16
x				
x				

Realizacja projektu

Przykład funkcjonowania jednego frontu

- Kernele wykonywane naprzemiennie dopóki drugi nie zgłosi zerowej ilości wykonanych operacji
- Kiedy wszystkie części skończą przetwarzanie analogiczna operacja jest powtarzana po stronie hosta



Realizacja projektu

Paradygmat czarnej skrzynki

- Projekt zrealizowany jako biblioteka nagłówkowa
 - Nie wymaga dodatkowej kompilacji i linkowania ze strony użytkownika
 - Kompiluje się razem z kodem użytkownika
- Nie wymaga informacji o rozwiązywanym problemie
 - Nie integruje się z siatką MES
 - Może rozwiązywać dowolne problemy postawione jako układ równań liniowych
- Eksponuje wygodny interfejs
 - Dostarczany jest jeden wielofunkcyjny obiekt
 - Dostarczane są funkcje konwersji z macierzy użytkownika do wewnętrznych macierzy solwera
- Pozwala na wymianę kerneli już po skompilowaniu kodu

Realizacja projektu

Paradygmat czarnej skrzynki

- Projekt zrealizowany jako biblioteka nagłówkowa
 - Nie wymaga dodatkowej kompilacji i linkowania ze strony użytkownika
 - Kompiluje się razem z kodem użytkownika
- Nie wymaga informacji o rozwiązywanym problemie
 - Nie integruje się z siatką MES
 - Może rozwiązywać dowolne problemy postawione jako układ równań liniowych
- Eksponuje wygodny interfejs
 - Dostarczany jest jeden wielofunkcyjny obiekt
 - Dostarczane są funkcje konwersji z macierzy użytkownika do wewnętrznych macierzy solwera
- Pozwala na wymianę kerneli już po skompilowaniu kodu

Realizacja projektu

Paradygmat czarnej skrzynki

- Projekt zrealizowany jako biblioteka nagłówkowa
 - Nie wymaga dodatkowej kompilacji i linkowania ze strony użytkownika
 - Kompiluje się razem z kodem użytkownika
- Nie wymaga informacji o rozwiązywanym problemie
 - Nie integruje się z siatką MES
 - Może rozwiązywać dowolne problemy postawione jako układ równań liniowych
- Eksponuje wygodny interfejs
 - Dostarczany jest jeden wielofunkcyjny obiekt
 - Dostarczane są funkcje konwersji z macierzy użytkownika do wewnętrznych macierzy solwera
- Pozwala na wymianę kerneli już po skompilowaniu kodu

Realizacja projektu

Paradygmat czarnej skrzynki

- Projekt zrealizowany jako biblioteka nagłówkowa
 - Nie wymaga dodatkowej kompilacji i linkowania ze strony użytkownika
 - Kompiluje się razem z kodem użytkownika
- Nie wymaga informacji o rozwiązywanym problemie
 - Nie integruje się z siatką MES
 - Może rozwiązywać dowolne problemy postawione jako układ równań liniowych
- Eksponuje wygodny interfejs
 - Dostarczany jest jeden wielofunkcyjny obiekt
 - Dostarczane są funkcje konwersji z macierzy użytkownika do wewnętrznych macierzy solwera
- Pozwala na wymianę kerneli już po skompilowaniu kodu

Realizacja projektu

Paradygmat czarnej skrzynki

- Projekt zrealizowany jako biblioteka nagłówkowa
 - Nie wymaga dodatkowej kompilacji i linkowania ze strony użytkownika
 - Kompiluje się razem z kodem użytkownika
- Nie wymaga informacji o rozwiązywanym problemie
 - Nie integruje się z siatką MES
 - Może rozwiązywać dowolne problemy postawione jako układ równań liniowych
- Eksponuje wygodny interfejs
 - Dostarczany jest jeden wielofunkcyjny obiekt
 - Dostarczane są funkcje konwersji z macierzy użytkownika do wewnętrznych macierzy solwera
- Pozwala na wymianę kerneli już po skompilowaniu kodu

Realizacja projektu

Paradygmat czarnej skrzynki

- Projekt zrealizowany jako biblioteka nagłówkowa
 - Nie wymaga dodatkowej kompilacji i linkowania ze strony użytkownika
 - Kompiluje się razem z kodem użytkownika
- Nie wymaga informacji o rozwiązywanym problemie
 - Nie integruje się z siatką MES
 - Może rozwiązywać dowolne problemy postawione jako układ równań liniowych
- Eksponuje wygodny interfejs
 - Dostarczany jest jeden wielofunkcyjny obiekt
 - Dostarczane są funkcje konwersji z macierzy użytkownika do wewnętrznych macierzy solwera
- Pozwala na wymianę kerneli już po skompilowaniu kodu

Realizacja projektu

Paradygmat czarnej skrzynki

- Projekt zrealizowany jako biblioteka nagłówkowa
 - Nie wymaga dodatkowej kompilacji i linkowania ze strony użytkownika
 - Kompiluje się razem z kodem użytkownika
- Nie wymaga informacji o rozwiązywanym problemie
 - Nie integruje się z siatką MES
 - Może rozwiązywać dowolne problemy postawione jako układ równań liniowych
- Eksponuje wygodny interfejs
 - Dostarczany jest jeden wielofunkcyjny obiekt
 - Dostarczane są funkcje konwersji z macierzy użytkownika do wewnętrznych macierzy solwera
- Pozwala na wymianę kerneli już po skompilowaniu kodu

Realizacja projektu

Paradygmat czarnej skrzynki

- Projekt zrealizowany jako biblioteka nagłówkowa
 - Nie wymaga dodatkowej kompilacji i linkowania ze strony użytkownika
 - Kompiluje się razem z kodem użytkownika
- Nie wymaga informacji o rozwiązywanym problemie
 - Nie integruje się z siatką MES
 - Może rozwiązywać dowolne problemy postawione jako układ równań liniowych
- Eksponuje wygodny interfejs
 - Dostarczany jest jeden wielofunkcyjny obiekt
 - Dostarczane są funkcje konwersji z macierzy użytkownika do wewnętrznych macierzy solwera
- Pozwala na wymianę kerneli już po skompilowaniu kodu

Realizacja projektu

Paradygmat czarnej skrzynki

- Projekt zrealizowany jako biblioteka nagłówkowa
 - Nie wymaga dodatkowej kompilacji i linkowania ze strony użytkownika
 - Kompiluje się razem z kodem użytkownika
- Nie wymaga informacji o rozwiązywanym problemie
 - Nie integruje się z siatką MES
 - Może rozwiązywać dowolne problemy postawione jako układ równań liniowych
- Eksponuje wygodny interfejs
 - Dostarczany jest jeden wielofunkcyjny obiekt
 - Dostarczane są funkcje konwersji z macierzy użytkownika do wewnętrznych macierzy solwera
- Pozwala na wymianę kerneli już po skompilowaniu kodu

Realizacja projektu

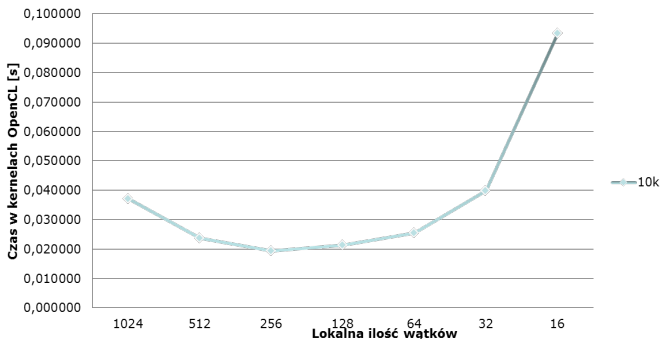
Paradygmat czarnej skrzynki

- Projekt zrealizowany jako biblioteka nagłówkowa
 - Nie wymaga dodatkowej kompilacji i linkowania ze strony użytkownika
 - Kompiluje się razem z kodem użytkownika
- Nie wymaga informacji o rozwiązywanym problemie
 - Nie integruje się z siatką MES
 - Może rozwiązywać dowolne problemy postawione jako układ równań liniowych
- Eksponuje wygodny interfejs
 - Dostarczany jest jeden wielofunkcyjny obiekt
 - Dostarczane są funkcje konwersji z macierzy użytkownika do wewnętrznych macierzy solwera
- Pozwala na wymianę kerneli już po skompilowaniu kodu

Badania wydajności

Optymalna liczba wątków dla badanych urządzeń

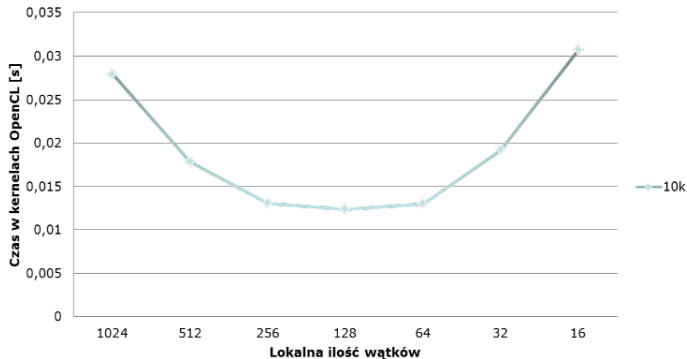
Czas w kernelach OpenCL od lokalnej ilości wątków na karcie Tesla M2090



Badania wydajności

Optymalna liczba wątków dla badanych urządzeń

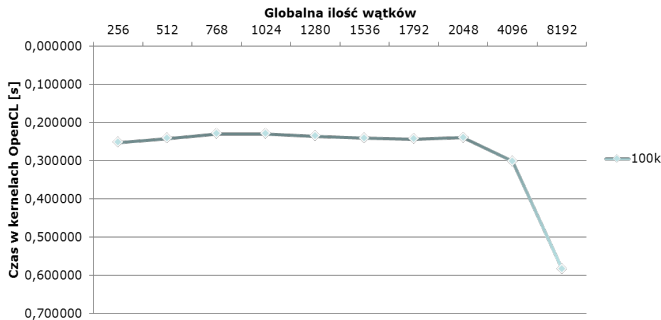
Czas w kernelach OpenCL od lokanej ilości wątków na procesorze Intel Xeon X5650



Badania wydajności

Przyspieszenie w zależności od globalnej ilości wątków

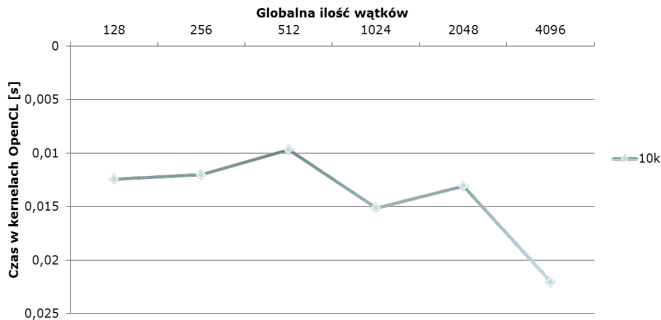
Czas w kernelach OpenCL od globalnej ilości wątków przy lokalnej ilości wątków 256 na karcie Tesla M2090



Badania wydajności

Przyspieszenie w zależności od globalnej ilości wątków

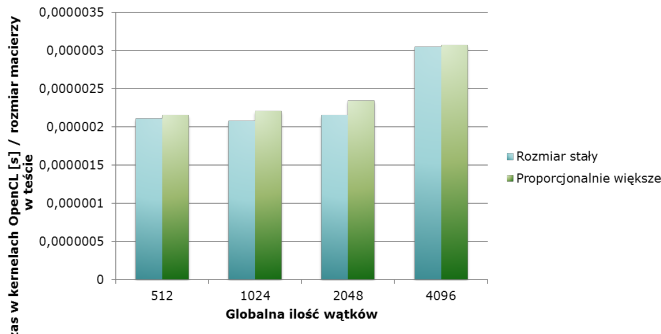
Czas w kernelach OpenCL od globalnej ilości wątków przy lokalnej ilości wątków 128 na procesorze Intel Xeon X5650



Badania wydajności

Skalowalność

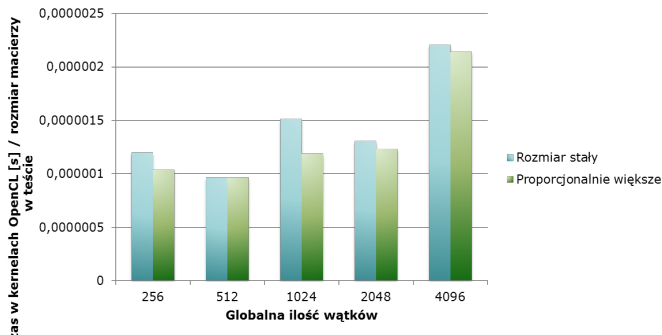
Stosunek czasu rozwiązania do rozmiaru macierzy dla optymalnej lokalnej ilości wątków na karcie Tesla M2090



Badania wydajności

Skalowalność

Stosunek czasu rozwiązania do rozmiaru macierzy dla optymalnej lokalnej ilości wątków na procesorze Intel Xeon X5650



Podsumowanie projektu

Wykonana praca

- Stworzono równoległy algorytm rozwiązywania układów równań w oparciu o metodę Gaussa
- Zaproponowano masowo równoległy, frontalny solwer MES z wykorzystaniem technologii OpenCL
- Oprogramowanie powstało zgodnie z paradygmatem czarnej skrzynki
 - Łatwe w przeniesieniu między systemami operacyjnymi i urządzeniami
 - Łatwe w implementacji w innych projektach

Podsumowanie projektu

Kontynuacja projektu

- Kontynuowana jest praca nad projektem
 - Wykorzystanie wielu urządzeń na jednym węźle obliczeniowym
 - Rozproszenie obliczeń na wiele węzłów