Instytut Informatyki Politechniki Śląskiej

Zespół Mikroinformatyki i Teorii Automatów Cyfrowych

Rok akademicki:	Rodzaj studiów*: SSI/NSI/NSM	Przedmiot (Języki Asemblerowe/SMiW):	Grupa	Sekcja
2018/2019	**SSI**	**Języki Asemblerowe**	**5**	**9**

Imię:	**Bartłomiej**	**Prowadzący**: OA/JP/KT/GD/BSz/GB	**AO**
Nazwisko:	**Krasoń**		

Raport końcowy

Temat projektu:

Algorytm solaryzacji obrazu

Data oddania: dd/mm/rrrr	**05/12/2018**

Spis treści

Temat projektu:

Tematem projektu jest stworzenie aplikacji konsolowej w języku C++, która przetwarza obrazy bitmap (24-bitowych) algorytmem solaryzacji obrazu.

Założenia

Założenia części głównej

- Wykorzystanie C/C++ jako języku wysokiego poziomu (aplikacja konsolowa)
- Zmierzenie i porównanie czasów wykonania dla dwóch sposobów
- Wykorzystanie wielowątkowości (od 0 do 64 wątków) – z ustawianiem dowolnej wartości poprzez wykrywanie liczby rdzeni procesora
- Program ma być napisany dla procesorów 64-bitowych
- Aplikacja umożliwia pomiar rzeczywistego czasu wykonania samego algorytmu

Założenia funkcje bibliotek

- Obie biblioteki wykonują ten sam algorytm (rezultat ich działania powinien być taki sam)
- Biblioteka w języku C++ musi zostać zbudowana dla wersji ”*Release*”
- Biblioteka w asemblerze musi wykorzystywać instrukcje wektorowe SIMD

Analiza zadania

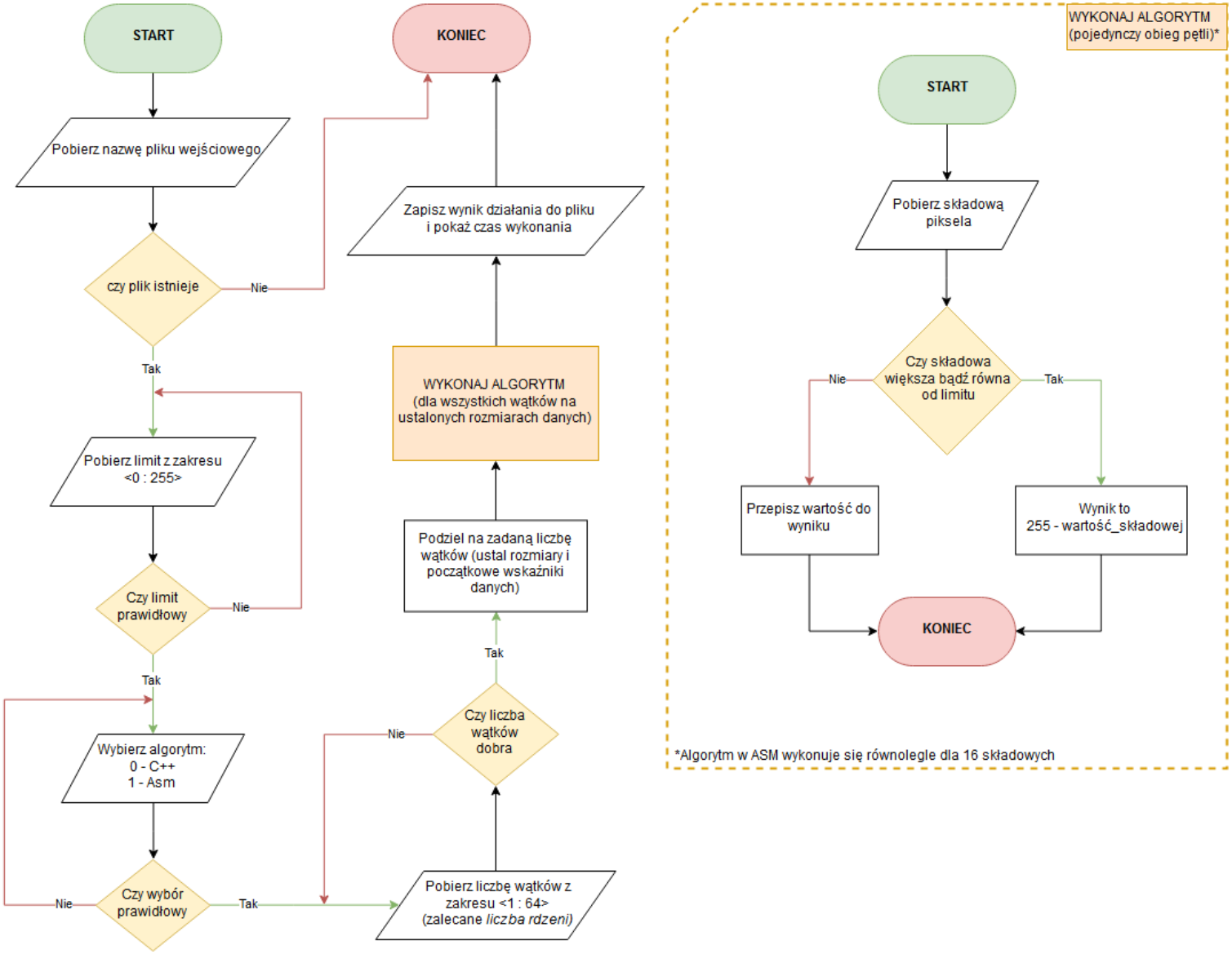
Solaryzacja jest to zjawisko całkowitego lub częściowego odwrócenia obrazu negatywowego w pozytywowy. Stopień ”*odwrócenia*” obrazu zależy od zadanego progu jasności powyżej którego następuje odwrócenie wartości składowych RGB piksela. Wartość progu i_p może oscylować w granicach od 0 do 255.

Algorytm można zapisać jako równanie:

$$i_{out} = \begin{cases} i_{in} & jeżeli\ \ i < i_p \\ i_{max} - i_{in} & jeżeli\ i \geq i_p \end{cases}$$

Tak więc aby programistycznie rozwiązać ten problem, zdecydowałem się na wczytanie bitmapy do programu w formacie BGR. Następnie przekazuje wskaźnik na tablice jednowymiarową przechowującą wartości składowych pikseli do funkcji realizujących algorytm solaryzacji obrazu. Algorytm w programie został zaimplementowany na wzór powyżej zaprezentowanego równania.

Schemat blokowy



Opis programu w języku wysokiego poziomu

Aplikacja główna odpowiada przede wszystkim za interakcję z użytkownikiem. Pobiera niezbędne dane do wykonania algorytmu, takie jak zadany próg jasności, czy liczba wątków na ilu algorytm ma się wykonać. Więcej szczegółów na temat interakcji z użytkownikiem w rozdziale **Instrukcja obsługi programu**. Po uruchomieniu - program przeprowadza ”*wywiad*” z użytkownikiem, który wprowadza potrzebne dane. Każde wprowadzenie danych jest sprawdzane (zakres progu/ilości wątków, istnienie pliku wejściowego itp.). Po prawidłowym podaniu wszystkich niezbędnych danych program wykonuje algorytm w wybranym języku, przy wykorzystaniu zadanej liczby wątków, na bitmapie, do której ścieżkę podał użytkownik. Czas wykonywania algorytmu (wraz z podziałem na wątki) jest mierzony przez aplikację. Po wykonaniu algorytmu następuje zapis wynikowych danych do pliku o nazwie zadanej schematem:

*(nazwa_pliku_wejściowego)*_result_P*(wartość_progu)*_(ASM/CPP).bmp

Po wykonaniu zapisu, na konsoli wypisywany jest czas wykonania algorytmu i na tym etapie praca programu kończy się.

Program główny składa się z:

- Klasy **`Bitmap`** – która odpowiada za obsługę bitmap w programie, posiada następujące metody:
  - **`Bitmap(const string &filePath)`** – konstruktor, odpowiada za wczytanie danych z pliku o ścieżce *fileName*. Dane są szczytywane w formacie BGR. Pobierane również informacje z *headera* bitmapy o rozmiarze obrazu.
  - **`bool isOpen()`** – sprawdza czy konstruktor prawidłowo pobrał dane z pliku zadanego ścieżką *fileName*
  - **`BYTE* getPixelDataPointerBGR()`** - zwraca wskaźnik na zaalokowane dane wejściowe bitmapy, wczytane przez konstruktor
  - **`BYTE* getResultDataPointer()`** - zwraca wskaźnik na zaalokowaną pamięć, której zawartość będzie zapisywana metodą *saveBMPTo()*
  - **`long getImageSize()`** – zwraca rozmiar wczytanego obrazu
  - **`void saveBMPTo(const string &filePatch)`** – tworzy nową bitmapę, do której zapisuje zawartość zaalokowanej pamięci spod wskaźnika zwracanego metodą *getResultDataPointer()*. Dane zapisywane są do pliku wskazanego ścieżką *filePath*.
  - **`~Bitmap()`** - destruktor, zwalnia zaalokowaną pamięć
- Klasy **`Functions`** – zawiera funkcje, odpowiadające za odpowiedni podział wykonania algorytmu na wątki, posiada metody:
  - **`static void solarizeForNBytesUsingXCoresASM(BYTE *_begin, BYTE *_result, BYTE limit, const long n, const int numberOfCores)`** – odpowiada za wielowątkowe wykonanie algorytmu asemblerowego. W swoim ciele wywołuje funkcję asemblerową zaimportowaną z biblioteki *Asm.dll*.
  - **`static void solarizeForNBytesUsingXCoresCPP(BYTE *_begin, BYTE *_result, BYTE limit, const long n, const int numberOfCores)`** – odpowiada za wielowątkowe wykonanie algorytmu zaimplementowanego w C++. W swoim ciele wywołuje funkcję asemblerową zaimportowaną z biblioteki *Cpp.dll*.
- Funkcji **`int main()`** – która odpowiada za konsolową interakcję w użytkownikiem
- Funkcji **`int getCoresCount()`** – która zwraca liczbę wykrytych rdzeni, procesora używanego przez komputer

Każda klasa programu jest podzielona na pliki nagłówkowe i źródłowe zgodne z nazwą klasy. Funkcje *main()* i *getCoresCount()* zawierają się w pliku *SolaryzacjaObrazu.cpp*

Opis funkcji bibliotek

Biblioteka CPP.dll

Biblioteka ta składa się z dwóch funkcji, z czego tylko jedna jest exportowana:

- Funkcja **`void solarize(BYTE *_data, BYTE *_result, const BYTE limit)`** – odpowiada za zmianę bądź nie pojedynczej składowej piksela. Działa zgodnie z algorytmem opisanym w rozdziale **Analiza zadania.** Parametry:
  - **`BYTE *_begin`** – wskaźnik na dane wejściowe
  - **`BYTE *_result`** – wskaźnik na dane wynikowe
  - **`const BYTE limit`** – próg jasności zadany przez użytkownika
- Funkcja **`void solarizeCPP(BYTE *_begin, BYTE *_result, const BYTE limit, const long n)`** – EXPORTOWANA – odpowiada za wykonanie funkcji *solarize()* na tablicy danych zadanej długością *n*. Funkcja ta importowana jest do programu głównego identyczną deklaracją. Parametry:
  - **`BYTE *_begin`** – wskaźnik na dane wejściowe
  - **`BYTE *_result`** – wskaźnik na dane wynikowe
  - **`const BYTE limit`** – próg jasności zadany przez użytkownika
  - **`const long n`** – rozmiar danych przekazanych jako wskaźnik na tablicę jednowymiarową

Biblioteka ASM.dll

Biblioteka ta zawiera funkcje asemblerową:

- Funkcja **`solarizeASM`**, która importowana do programu głównego jest jako: **`int _stdcall solarizeASM(BYTE* data_ptr, long size, BYTE limit, BYTE* result_ptr)`** – wykonuje algorytm opisany w rozdziale **Analiza zadania**. Algorytm jest wykonywany równolegle na 16 bajtach danych. Funkcja najpierw sprawdza, czy zadany próg jasności jest równy 0. Jeśli tak, następuje optymalizacja – funkcja wykonuje skok do fragmentu w którym, wszystkie bity danych wejściowych są bezwarunkowo zamieniane na negacje i zapisywane są na wskaźnik danych wynikowych (dla progu 0, niepotrzebne jest porównywanie, gdyż zawsze składowa będzie większa bądź równa 0). Gdy próg jest różny od 0, algorytm wykonuje się normalnie. W algorytmie wykorzystywane są instrukcje wektorowe SIMD takie jak:
  - **`pcmpgtb xmm1, xmm2`** – która porównuje osobno każdy bajt z paczki 16 bajtów rejestru `xmm1` z odpowiadającymi im bajtami rejestru `xmm2`, jeśli bajt w rejestrze `xmm1` jest większy od odpowiadającego mu bajtu rejestru `xmm2`, do rejestru `xmm1` na tym bajcie wpisywana jest wartość `FF`, w przeciwnym razie do tego bajtu wpisywana jest wartość `00`. Z rozkazem tym związane są 2 problemy:
    Problem 1: rozkaz ten porównuje bajty, jako bajty ze znakiem (z zakresu `-127` do `128`), przez co wymusza na nas przed podaniem mu danych, ich konwersji na bajty bez znaku (zakres `0` do `255`). Konwersji takie możemy dokonać wykonując operację `XOR` miedzy bajtem do konwersji a stałą `80h`, co też jest uwzględnione w powyższej funkcji
    Problem 2: rozkaz ten wykonuje prównanie "*większy*" a nie "*większy bądź równy*", przez co zmuszeni jesteśmy przed porównaniem wartości danych z progiem, zmniejszyć próg o 1. Możliwe to jest tylko wtedy, gdy dla progu = 0 zapewnimy specjalną obsługę, co też jest uwzględnione w powyższej funkcji.
  - **`movups`** – umożliwia operację przekazywania danych między pamięcią a rejestrami `xmm` (w obie strony)
  - **`vpand`**, **`vpxor`**, **`vpor`** – operacje logiczne wykonywane na całych rejestrach xmm

Parametry/rejestry funkcji:

- **BYTE* data_ptr (rejestr RCX -> RSI)** – wskaźnik na dane wejściowe. Przy wywołaniu przekazywany na rejestr RCX. W trakcie wykonywania algorytmu, aktualny wskaźnik danych wejściowych przechowujemy w rejestrze RSI.
- **long size (rejestr RDX)** – rozmiar tablicy jednowymiarowej danych do przetworzenia z uwzględnionym paddinigiem, służy do określenia momentu przerwania pętli
- **BYTE limit (rejestr R8 -> XMM7)** – próg jasności zadany przez użytkownika. Przy wywołaniu przekazywany na rejestr R8. Następnie jest powielany na wszystkie 16 bajtów rejestru XMM7, z którym później porównywane są dane wejściowe.
- **BYTE* result_ptr (rejestr R9 -> RDI)** – wskaźnik na dane wynikowe. Przy wywołaniu przekazywany na rejestr R9. W trakcie wykonywania algorytmu, aktualny wskaźnik danych wynikowych przechowujemy w rejestrze RDI.
- **Rejestr XMM5** – stała 80h powielona na wszystkich 16 bajtach, używana do konwersji danych w celu prawidłowego porównania ich z wartością progu rozkazem *pcmpgtb*.
- **Rejestr XMM6** – maska jedynek, na potrzeby wykonywania operacji logicznych w algorytmie.

Opis danych wejściowych/testowych programu

Program wykonuje swoje działanie na obrazach zapisanych w formacie 24-bitowej bitmapy. Działanie programy było przetestowane właśnie na plikach tego formatu lecz o różnych wymiarach. Testowane rozmiary to m. in.: 153x153, 400x340, 800x480, 1920x1080, 7680x4320.

Opis uruchamiania/testowania programu

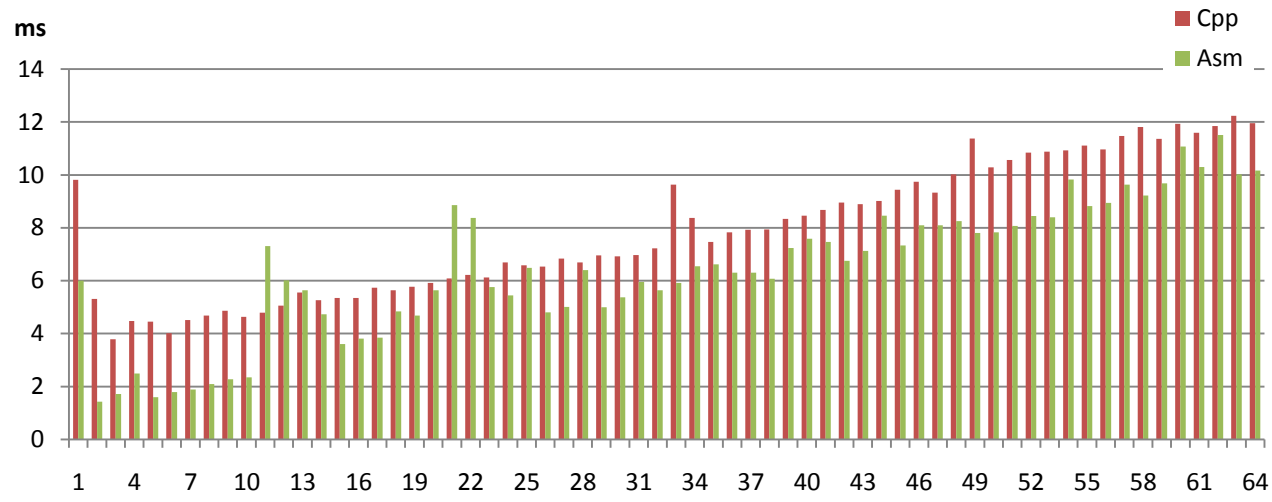
Aplikacja jest uruchamiana jako plik wykonywalny *SolaryzacjaObrazu.exe*. Tak jak każdy tego typu plik może zostać uruchomiona z konsoli, bądź przez dwukrotne kliknięcie ikony. Program nie posiada argumentów uruchomieniowych. Po uruchomieniu programu, przeprowadzany jest ”wywiad” z użytkownikiem, który proszony jest o podanie:

- ścieżki do pliku pliku wejściowego
- próg jasności w zakresie <0 : 255>
- wybór implementacji algorytmu:
  - 0 – C++
  - 1 – Asm
- liczbę wątków w zakresie <1 : 64>

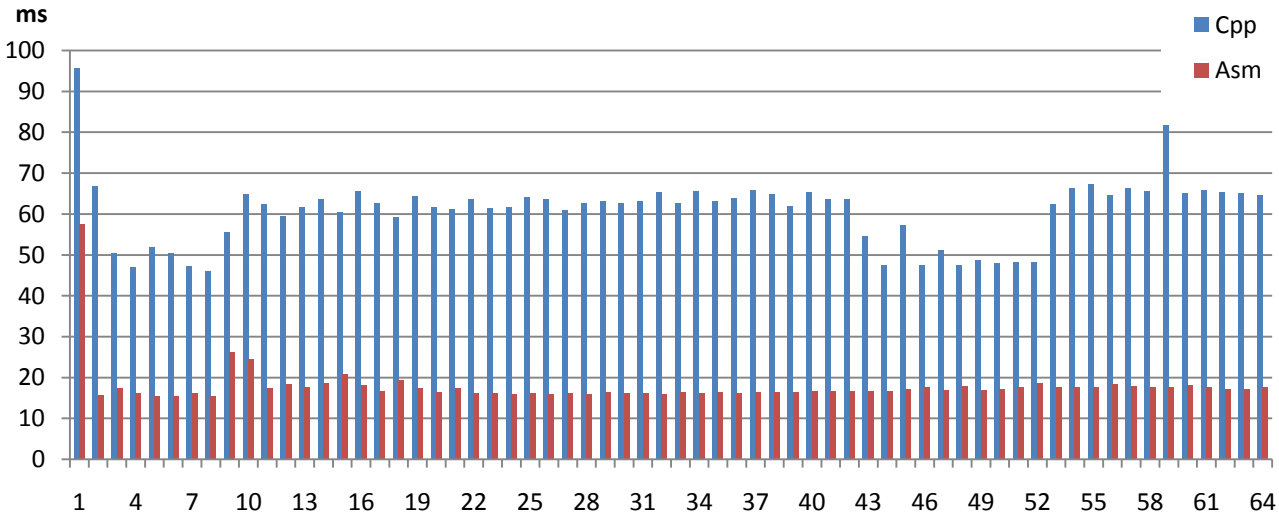
Następnie algorytm wykonuje się, następuje utworzenie pliku wynikowego, program wyświetla czas wykonania algorytmu, po czy kończy swoją pracę.
Program został przetestowany różnymi rozmiarami obrazów wejściowych (szczegóły w poprzedni rozdziale). Wykonanie algorytmu zostało przetestowane na liczbie wątków od 1 do 64 równocześnie. Program został przetestowany dla wszystkich możliwych progów jasności. Wszystkie testy odbyły się zarówno dla implementacji w C++ jak i w asemblerze. Wyniki działania algorytmu napisanego w asemblerze były zawsze takie same jak w C++ oraz zgodne z oczekiwanym rezultatem.

Wyniki pomiarów czasu

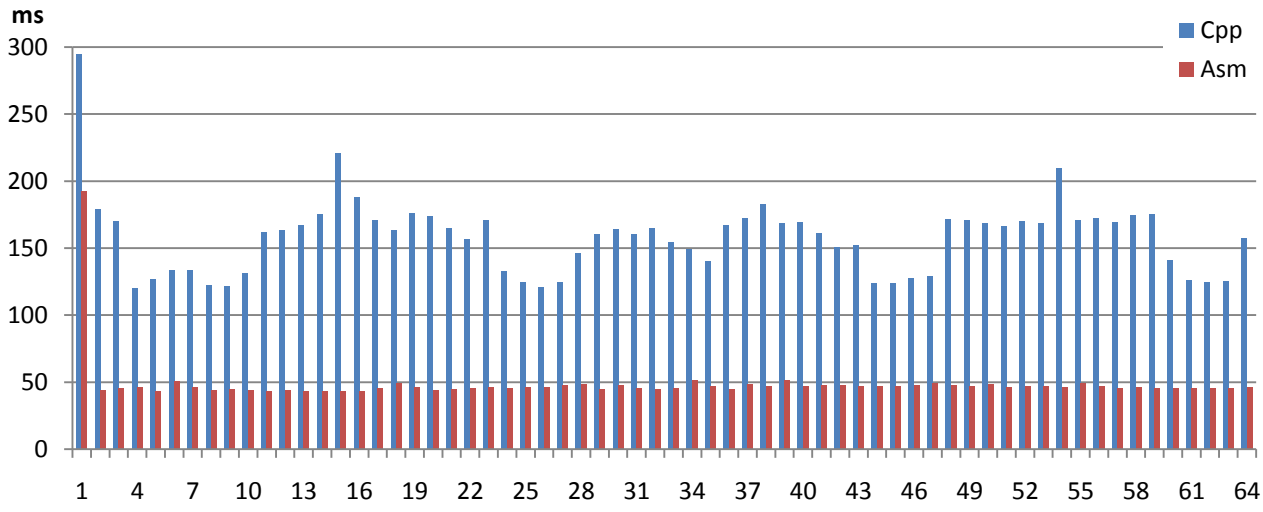
Obraz 1920x1080



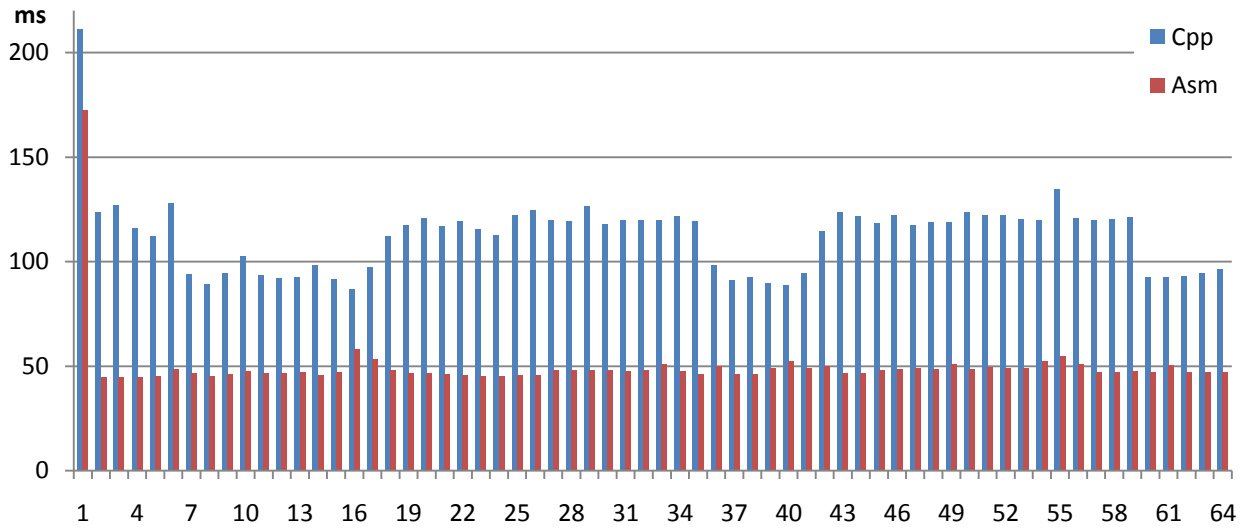
Obraz7680x4320



Obraz 23040x4320

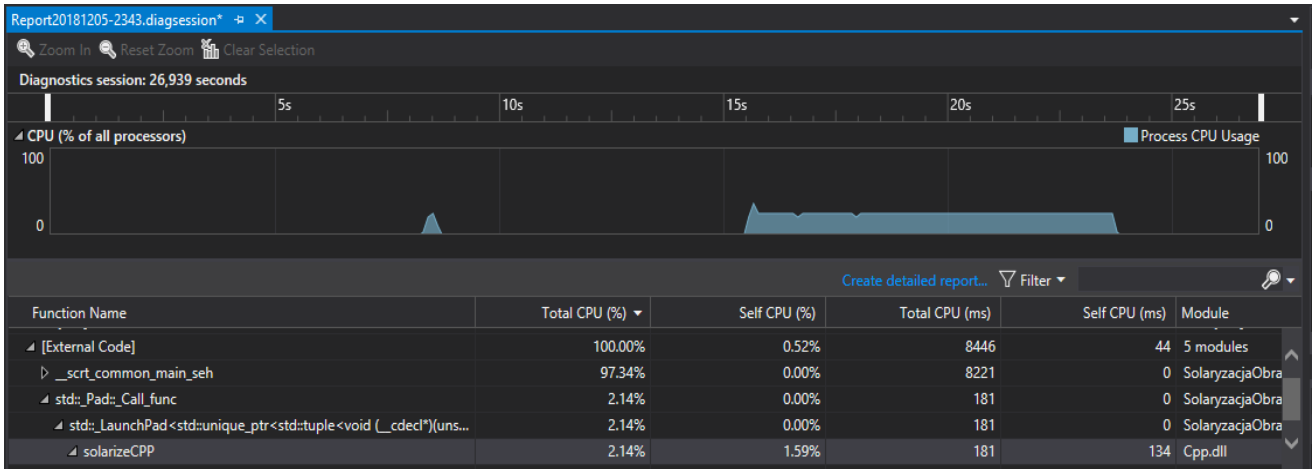


Obraz 23040x4320 – próg 0

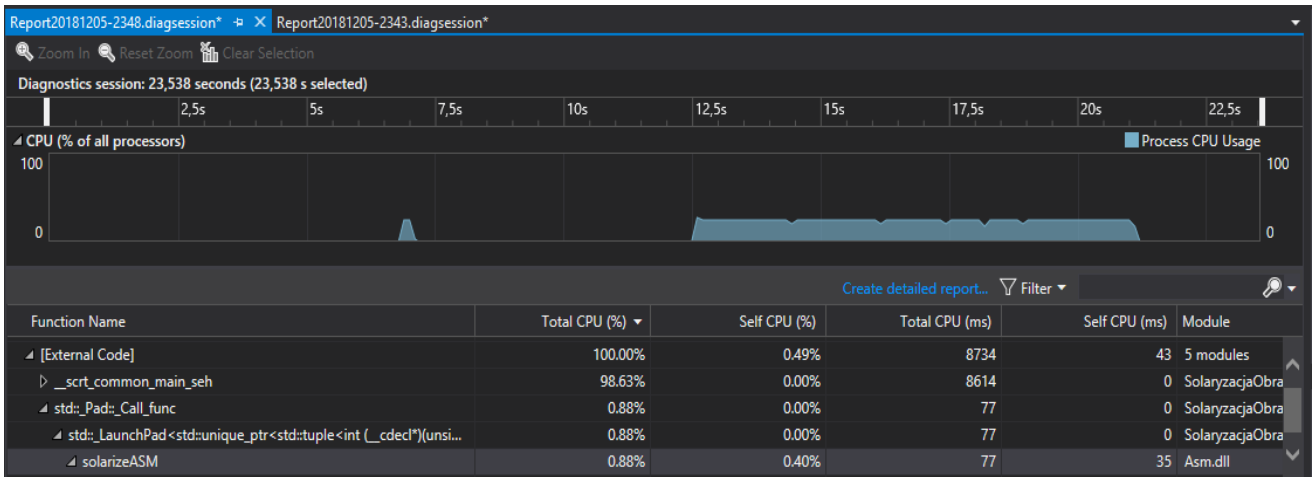


Analiza programu Profilerem VS2015

Dla C++



Dla ASM



Instrukcja obsługi programu

1. Program uruchamia się dwukrotnym kliknięciem ikony, bądź z poziomu konsoli - podając ścieżkę i nazwę do pliku wykonywalnego: **[*ścieżka_do_pliku*]/SolaryzacjaObrazu.exe**
2. Po uruchomieniu jest przeprowadzany "*wywiad*" z użytkownikiem, który kolejno podaje wymagane dane:
   2.1 - **ścieżka do obrazu** (bitmapa 24-bitowa) **wejściowego**: łańcuch znaków podawany bez cudzysłowia
   2.2 - **próg jasności**: liczba w zakresie <0 : 255>
   2.3 - **wybór algorytmu**: liczba odpowiadająca:
      2.3.1 0 - C++
      2.3.2 1 - Asm
   2.4 - **liczba wątków** na ilu ma się wykonać algorytm: liczba w zakresie <1 : 64> - program wyświetla rekomendowaną liczbę wątków na podstawie wykrytej w komputerze liczbie rdzeni.
3. Każda wprowadzana przez użytkownika dana musi zostać zatwierdzona klawiszem 'Enter' po czym jest ona sprawdzana. Dla błędnej ścieżki/nazwy pliku wejściowego, program kończy się komunikatem błędu odczytu danych. Natomiast pobieranie pozostałych danych jest realizowane, dopóki użytkownik nie poda prawidłowej wartości.
4. Po zebraniu wszystkich danych od użytkownika, program wykonuje algorytm oraz zapisuje rezultat do pliku w lokalizacji obrazu wejściowego o nazwie podanej schematem:

   *(nazwa_pliku_wejściowego)*_result_P*(wartość_progu)*_*(*ASM*/*CPP*)*.bmp

5. Program wyświetla w konsoli czas wykonania algorytmu oraz czas zapisu pliku, po czym kończy swoją pracę (wciśnięcie jakiegokolwiek przycisku powoduje wyjście z aplikacji).

Wnioski

Stworzenie projektu, który wykonuje ten sam algorytm przy wykorzystaniu różnych implementacji - a co więcej - przy wykorzystaniu różnych języków programowania - okazuje się być wysoce edukacyjny.

Po pierwsze, udowadnia, że każdy problem w dziedzinie programowania może być rozwiązany na wiele sposobów. Co więcej - wybór sposobu w jaki zrealizujemy zadany problem, ma istotny wpływ na życie projektu. Przykład algorytmu solaryzacji obrazu, który był przedmiotem mojego projektu ukazuje 2 istotne różnice, które powoduje wybór implementacji w języku C++ lub asemblerze.

Pierwsza różnica to stopień skomplikowania kodu oraz czas produkcyjny programisty, potrzebny na napisanie kodu algorytmu. Napisanie działającego algorytmu w języku C++ nie stanowiło większego wysiłku psychicznego i zostało zrealizowanie w nikłym czasie. Natomiast dobrze napisany algorytm w języku asemblera wymagał po pierwsze odpowiedniej analizy, m. in.: wykorzystanie których rejestrów da optymalne rozwiązanie, czy dysponuję odpowiednimi rozkazami, oraz jak przyśpieszyć pracę algorytmu (np. stosując równoległe obliczenia). Po drugie, samo pisanie kodu asemblera jest o wiele bardziej wymagające niż pisanie w języku wysokiego poziomu. Po trzecie koszt naprawy błędu w języku asemblera, jest o wiele większy niż w języku wysokiego poziomu, gdzie przeważnie IDE samo podpowiada jak dany problem naprawić. W asemblerze wykrycie źródła błędu nie zawsze jest takie oczywiste, co przekłada się bezpośrednio na czas pisania całego programu. Także pod tym względem lepiej prezentuje się język wysokiego poziomu, jakim jest np. C++.

Druga istotna różnica, to czas w jakim program realizuje swoje zadanie. Tutaj niewątpliwie prym wiedzie asembler. Dobrze napisany program w asemblerze prawie zawsze będzie kilka a nawet kilkanaście razy szybszy, niż analogiczny program napisany w języku wysokiego poziomu. Było to również zauważalne na przykładzie mojego projektu, gdzie algorytm w asemblerze okazał się o wiele szybszy, niż ten w języku C++ (który i tak już został optymalnie zbudowany).

Biorąc pod uwagę te dwa aspekty, nie można bezpośrednio wskazać, w której technologii lepiej pisać programy. Zależy to raczej od indywidualnego przeznaczenia projektu: w jakim celu i przez kogo będzie używany. Wybór technologii zależeć może również od ilości czasu, jakim dysponujemy na realizację projektu.

Literatura

[1] - http://www.algorytm.org/przetwarzanie-obrazow/solaryzacja.html
[2] - https://pl.wikipedia.org/wiki/Solaryzacja