Uniwersytet Wrocławski

Programowanie Równoległe
Wykład, 13.01.2014

CUDA praktycznie 2
OpenGL

Maciej Matyka
Instytut Fizyki Teoretycznej

Plan CUDA w praktyce

- Wykład 1: CUDA w praktyce
- **Wykład 2: Cuda + Opengl**
- Wykład 3: Thrust

Kompilacja LINUX

- Korzystamy z pracowni 426
- Komputery mają zainstalowane karty nVidia GeForce

- Środowisko CUDA jest zainstalowane

- Kompilacja (plik program.cu)

```
> nvcc program.cu
> ./a.out
```

- Kompilacja CUDA + GLUT (OpenGL)

```
> nvcc main.cpp kernels.cu -lglut –lGLU
> ./a.out
```

Projekt wieloplikowy w CUDA

kernels.cu
kernels.h
main.cpp (#include <kernels.h>)

- Kernele GPU trzymam w *.cu
- Interfejsy C++ do kerneli GPU w *.cu
- Deklaracje interfejsów trzymam w *.h
- W plikach C++ ładuję ww deklaracje interfejsów
- A w praktyce?

Projekt wieloplikowy CUDA

main.cpp

```
#include <cuda.h>
#include <cuda_runtime.h>
#include <stdio.h>

#include "kernels.h"

int main(void)
{
    call_helloworld();

    ...

    printf("%s\n",napis_host);
}
```

Projekt wieloplikowy CUDA

main.cpp

```
#include <cuda.h>
#include <cuda_runtime.h>
#include <stdio.h>

#include "kernels.h"

int main(void)
{
    call_helloworld();

    ...

    printf("%s\n",napis_host);
}
```

kernels.h

```
void call_helloworld(void);
```

Projekt wieloplikowy CUDA

kernels.cu

```
#include <cuda.h>

__device__ char napis_device[14];
__constant__ __device__ char hw[] = "Hello
World!\n\0";

__global__ void helloWorldOnDevice(void)
{
    int idx = threadIdx.x;
    napis_device[idx] = hw[idx];
}

void call_helloworld(void)
{
    helloWorldOnDevice <<< 1, 15 >>> ();
}
```

+rozkazy cuda api

main.cpp

```
#include <cuda.h>
#include <cuda_runtime.h>
#include <stdio.h>

#include "kernels.h"

int main(void)
{
    call_helloworld();

    ...

    printf("%s\n",napis_host);
}
```

kernels.h

```
void call_helloworld(void);
```

Motywacja

- CPU vs GPU (*anims*)

Graficzne hello world

- Punkt materialny na ekranie (OpenGL)
- Jego pozycja odczytywana z pamięci GPU
- Kernel zmienia pozycję punktu
  - np. ruch jednostajny $x = x + vdt$
  - warunki cykliczne: $x = x-L$, gdy $x > L$

Otwarcie okna OpenGL

- Minimalny kod w GLUT (GL Utility Toolkit)
- Schemat:

```
int main(int argc, char **argv)
{
  glutInit(&argc, argv);

  glutInitDisplayMode(GLUT_DEPTH |
  GLUT_DOUBLE | GLUT_RGBA);

  glutInitWindowPosition(100,100);
  glutInitWindowSize(320,320);
  glutCreateWindow("CUDA GL");

  C1

  // register callbacks
  glutDisplayFunc(renderScene);
  glutReshapeFunc(changeSize);
  glutIdleFunc(idleFunction);

  // enter GLUT event processing cycle
  glutMainLoop();
}
```

Więcej: http://www.lighthouse3d.com/opengl/

Otwarcie okna OpenGL

- Minimalny kod w GLUT (GL Utility Toolkit)
- Schemat:

```
int main(int argc, char **argv)
{
  glutInit(&argc, argv);

  glutInitDisplayMode(GLUT_DEPTH |
  GLUT_DOUBLE | GLUT_RGBA);

  glutInitWindowPosition(100,100);
  glutInitWindowSize(320,320);
  glutCreateWindow("CUDA GL");

  C1

  // register callbacks
  glutDisplayFunc(renderScene);
  glutReshapeFunc(changeSize);
  glutIdleFunc(idleFunction);

  // enter GLUT event processing cycle
  glutMainLoop();
}
```

```
void changeSize(int w, int h)
{
  float ratio = 1.0 * w / h;
  glMatrixMode(GL_PROJECTION);
  glLoadIdentity();
  glViewport(0, 0, w, h);
  gluOrtho2D(-1,1,-1,1);
  glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
}
```

Więcej: http://www.lighthouse3d.com/opengl/

Otwarcie okna OpenGL

- Minimalny kod w GLUT (GL Utility Toolkit)
- Schemat:

```
int main(int argc, char **argv)
{
  glutInit(&argc, argv);

  glutInitDisplayMode(GLUT_DEPTH |
  GLUT_DOUBLE | GLUT_RGBA);

  glutInitWindowPosition(100,100);
  glutInitWindowSize(320,320);
  glutCreateWindow("CUDA GL");

  C1

  // register callbacks
  glutDisplayFunc(renderScene);
  glutReshapeFunc(changeSize);
  glutIdleFunc(idleFunction);

  // enter GLUT event processing cycle
  glutMainLoop();
}
```

```
void changeSize(int w, int h)
{
  float ratio = 1.0 * w / h;
  glMatrixMode(GL_PROJECTION);
  glLoadIdentity();
  glViewport(0, 0, w, h);
  gluOrtho2D(-1,1,-1,1);
  glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
}
```

```
void idleFunction(void)
{
    C2   C3
    glutPostRedisplay();
}
```

Więcej: http://www.lighthouse3d.com/opengl/

Otwarcie okna OpenGL

- Minimalny kod w GLUT (GL Utility Toolkit)
- Schemat:

```
int main(int argc, char **argv)
{
  glutInit(&argc, argv);

  glutInitDisplayMode(GLUT_DEPTH |
  GLUT_DOUBLE | GLUT_RGBA);

  glutInitWindowPosition(100,100);
  glutInitWindowSize(320,320);
  glutCreateWindow("CUDA GL");

  C1

  // register callbacks
  glutDisplayFunc(renderScene);
  glutReshapeFunc(changeSize);
  glutIdleFunc(idleFunction);

  // enter GLUT event processing cycle
  glutMainLoop();
}
```

```
void changeSize(int w, int h)
{
  float ratio = 1.0 * w / h;
  glMatrixMode(GL_PROJECTION);
  glLoadIdentity();
  glViewport(0, 0, w, h);
  gluOrtho2D(-1,1,-1,1);
  glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
}
```

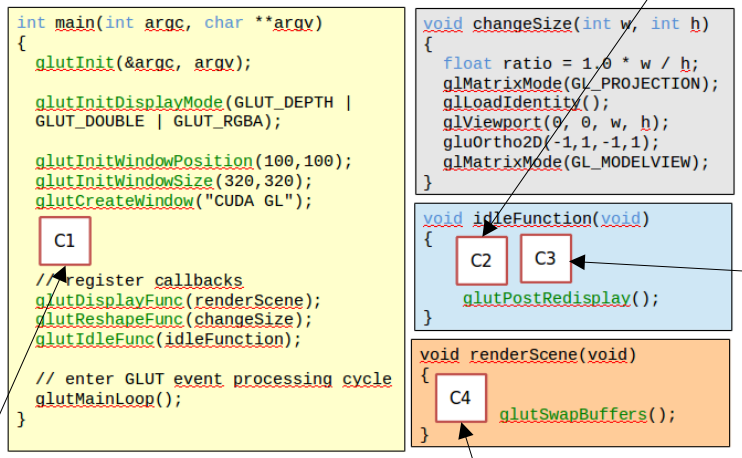
```
void idleFunction(void)
{
    C2   C3
    glutPostRedisplay();
}
```

```
void renderScene(void)
{
   C4
   glutSwapBuffers();
}
```

Więcej: http://www.lighthouse3d.com/opengl/

Struktura programu

przesunięcie punktu (GPU)



skopiowanie x,y (GPU->CPU)

ustawienie współrzędnych w pamięci GPU

narysowanie punktu na ekranie (CPU)

Współrzędne punktu

- Deklaracja zmiennych w pamięci GPU
- Słowo kluczowe __device__

```
__device__ float px_gpu;
__device__ float py_gpu;
```

Współrzędne punktu

- Deklaracja zmiennych w pamięci GPU
- Słowo kluczowe __device__

```
__device__ float px_gpu;
__device__ float py_gpu;
```

- Proste jądro ustawiające wartości px/py:

```
__global__ void setParDevice(float x, float y)
{
   px_gpu = x;
   py_gpu = y;
}

void call_setParDevice (float x, float y)
{
   setParDevice <<< 1, 1 >>> (x, y);
}
```

Współrzędne punktu

- Deklaracja zmiennych w pamięci GPU
- Słowo kluczowe __device__

```
__device__ float px_gpu;
__device__ float py_gpu;
```

- Proste jądro ustawiające wartości px/py:

```
__global__ void setParDevice(float x, float y)
{
   px_gpu = x;
   py_gpu = y;
}

void call_setParDevice (float x, float y)
{
   setParDevice <<< 1, 1 >>> (x, y);
}
```

- Ustawienie punktu:

```
call_setParDevice(0,0);
```

C1

Przesunięcie punktu

- Przesuwamy składową x wg wzoru:

$$x = x + dx * dt;$$

Przesunięcie punktu

- Przesuwamy składową x wg wzoru:

$$x = x + dx * dt;$$

```
__global__ void moveParDevice(float dxdt)
{
    px_gpu = px_gpu + dxdt;
    if(px_gpu>1) px_gpu = px_gpu - 2;
}

void call_movepar(float dxdt)
{
    moveParDevice <<< 1, 1 >>> (dxdt);
}
```

Przesunięcie punktu

- Przesuwamy składową x wg wzoru:

$$x = x + dx * dt;$$

```
__global__ void moveParDevice(float dxdt)
{
    px_gpu = px_gpu + dxdt;
    if(px_gpu>1) px_gpu = px_gpu - 2;
}

void call_movepar(float dxdt)
{
    moveParDevice <<< 1, 1 >>> (dxdt);
}
```

- Wywołanie funkcji:

```
call_movepar(0.04);
```

C2

Ustawienie punktu - cudaMemcpy

```
cudaError_t  cudaMemcpyFromSymbol(
            const void  *dst,
            const char  *symbol,
            size_t count,
            size_t offset,
            enum cudaMemcpyKind kind)
```

Narysowanie punktu na ekranie

- Kod OpenGL

```
void renderScene(void)
{
    glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT |
    GL_DEPTH_BUFFER_BIT);

    glLoadIdentity();
    glColor3f(1,1,1);
    glPointSize(5.0);

    glBegin(GL_POINTS)
     glVertex3f(px_cpu, py_cpu,0);
    glEnd();
    glutSwapBuffers();
}
```

C4

macierz+ format

rysowanie

- Efektywność? GPU -> CPU -> OpenGL -> GPU ...

Jak to działa?

Możliwe rozszerzenia:

- 1. Więcej punktów (tablica px[], py[])
- 2. Przesunięcie punktów w pętli
- 3. Wielowątkowe przesunięcie punktów
- 4. Oddziaływanie grawitacyjne z centrum przyciągania (liczenie pierwiastka na punkt)
- 5. Porównanie wydajności CPU->GPU

Uwaga: przy bardzo dużej ilości punktów takie rysowanie punkt po punkcie z pomocą glBegin/glEnd będzie nieefektywne i trzeba skorzystać z tzw. buforów wierzchołków.

Słowa kluczowe do poszukiwań lepszego rozwiązania:
„**CUDA / OpenGL Interoperability**”. Wykorzystanie tych technik pozwoli na wyświetlenie nawet milionów punktów w czasie rzeczywistym (!).

Ćwiczenia 13.01.2013 – czas 2 godziny

Startując z dostarczonego szablonu (plik glut-szablon.zip):

1. **Dopisz przesuwanie punktu w CUDA.**

2. **Dodaj 10000 punktów z losowymi ustawieniami początkowymi.**

3. **Dodaj grawitację i oddziaływanie punktów (odbicia od ścian, albo przyciąganie).**

Za zadanie zostanie wystawiona ocena na koniec zajęć.

- http://www.sdsc.edu/us/training/assets/docs/NVIDIA-02-BasicsOfCUDA.pdf