Relazione Progetto Boids

Francesco Bartoli

Contents

1 Introduzione

1.1 Scopo

Il programma ha come obiettivo quello di simulare in uno spazio bidimensionale il comportamento di stormi di uccelli in volo, che verranno indicati con il nome di *boids*.

1.2 Installazione

Le istruzioni su come compilare, testare, eseguire sono presentate nel README del progetto, riportato qui sotto:

Build instructions are for **Ubuntu 22.04**.

1.2.1 Prerequisites

SFML (2.5): Library for graphic representation.
TGUI (1.0): Library for graphic interface.

1.2.2 SFML and TGUI Installation

Install SFML:

```
sudo apt-get install libsfml-dev
```

Install TGUI:

```
sudo add-apt-repository ppa:texus/tgui
sudo apt update
sudo apt install libtgui-1.0-dev
```

1.2.3 Clone the Repository

```
git clone https://github.com/Evyal/boids.git
```

1.2.4 Build the Project

- **Create the build directory**

  ```
  mkdir build
  cd build
  ```

- **Configure CMake in Release mode**

  ```
  cmake .. -DCMAKE_BUILD_TYPE=Release
  ```

- **Build the project**

  ```
  cmake --build .
  ```

1.2.5 Running the program

```
./boids
```

---

2 Struttura del programma

Segue una breve descrizione delle principali scelte progettuali e implementative del programma.

I file del progetto sono organizzati in sottocartelle, nello specifico i `.cpp` si trovano nella `/source`, mentre i rispettivi header sono situati nella `/include`. La directory `/testing` contiene i file di testing, e infine in `/assets` sono presenti alcuni file necessari per il corretto funzionamento del programma.

2.1 Regole di volo

I *boids* si seguono delle regole di volo, che ne determinano il comportamento. Ad ogni istante, il programma modifica le velocità e le posizioni dei *boids* attraverso le seguenti formule:

$$\vec{v}_{bi} = \vec{v}_{bi} + \vec{v}_S + \vec{v}_A + \vec{v}_C + \vec{v}_R$$

$$\vec{x}_{bi} = \vec{x}_{bi} + \vec{v}_{bi}\Delta t$$

Dove $\vec{v}_S$, $\vec{v}_A$, $\vec{v}_C$, e $\vec{v}_R$ sono rispettivamente:

2.1.1 Separazione

$$\vec{v}_S = -s \sum_{j \neq i} (\vec{x}_{b_j} - \vec{x}_{b_i}) \quad \text{se} \quad \left|\vec{x}_{b_i} - \vec{x}_{b_j}\right| < d_s$$

2.1.2 Allineamento

$$\vec{v}_A = a \left(\frac{1}{n-1} \sum_{j \neq i} \vec{v}_{b_j} - \vec{v}_{b_i} \right) \quad \text{se} \quad \left|\vec{x}_{b_i} - \vec{x}_{b_j}\right| < i$$

2.1.3 Coesione

$$\vec{x}_c = \frac{1}{n-1} \sum_{j \neq i} \vec{x}_{b_j} \quad \text{se} \quad \left|\vec{x}_{b_i} - \vec{x}_{b_j}\right| < i$$

$$\vec{v}_C = c(\vec{x}_c - \vec{x}_{b_j})$$

Dove $n-1$ assume valori dipendenti dal numero di boid nel range di interazione, e non è un valore fisso dipendente dal numero di boids nello stormo.

E s, ds, a, c, i sono parametri della simulazione, e nel progetto sono indicati con i nomi di *separationStrength*, *separationRange*, *alignmentStrength*, *cohesionStrength* e *interactionRange*.

2.1.4 Repulsione

Questa regola in termini di formula è analoga a quella della separazione e determina l'allontanamento tra *boids* di stormi differenti introducendo due nuovi parametri r, dr, che nel progetto sono indicati con i nomi di *repelStrength* e *repelRange*.

2.1.5 Interazione *On Click*

$$\vec{v} = \pm p \sum_{j} (\vec{x}_{b_j} - \vec{x}) \quad \text{se} \quad \left|\vec{x}_{b_j} - \vec{x}\right| < i$$

Anche questa regola ha una formula analoga a quella della separazione e permette all'utente di interagire con i boids. Il $\pm$ è dovuto al fatto che questa interazione può essere sia attrattiva che repulsiva mentre $\vec{x}$ è il punto in cui l'utente ha cliccato. Il parametro che determina l'intensità di questa interazione prende il nome di *clickStrength* all'interno del progetto.

2.2 Files

Tutti i file del progetto sono stati inseriti nel namespace `ev`.

2.2.1 `constants.hpp`

Un unico header file con un namespace contenente valori delle costanti usate nel progetto. Alcuni esempi sono limiti di velocità o posizione per i *boids*, parametri di interazione di default, o ulteriori valori per l'inizializzazione degli elementi dell'interfaccia grafica. Uno dei principali vantaggi di questo approccio è la possibilità di modificare valori riutilizzati da diverse unità del programma tutti da un unico punto.

2.2.2 `structs.hpp`

Struct per impacchettare dei valori usati per inizializzare bottoni o altri elementi di interfaccia grafica. Trovano particolare utilità come parametri delle funzioni che inizializzano tali elementi, aiutando a mantenere il codice più pulito.

2.2.3 `boid.hpp/cpp`

File di implementazione della classe `Boid` e funzioni ausiliari per gestirne il comportamento. La classe contiene due variabili private (`sf::Vector2f`), che contengono i valori vettoriali di posizione e velocità in uno spazio bidimensionale. Sono presenti funzioni membro come *getters* e *setters* per accedere alle variabili private, e funzioni esterne alla classe che prendono elementi della classe `Boid` come parametri. Per esempio `distance` che calcola la distanza fra *boids* o `checkMinimumSpeed` che ha il compito di assicurarsi che il boid in questione abbia una velocità compresa all'interno dei limiti prestabiliti, ed eventualmente modificarla. È importante notare che la velocità limite non è stato inteso all'interno del progetto come un'invariante di classe, ma semplicemente un limite imposto durante la simulazione per assicurarsi un comportamento ordinato.

2.2.4 `flock.hpp/cpp`

File di implementazione della classe `Flock` che determina la struttura collettiva dei *boids* all'interno di uno stormo. La classe presenta due variabili membro private, la prima un vettore di boids, in cui sono contenuti i boid che compongono lo stormo, e l'altra che ne determina il colore. Il vettore di boids deve contenere almeno due elementi, e se si cerca di inizializzare un'istanza appartenente alla classe `Flock` con meno di due elementi, questo risulterà in un errore a *compile-time*. All'interno della classe sono contenute delle variabili statiche, condivise da tutti gli stormi, che rappresentano i valori dei parametri di interazione. La parte restante della classe è designata all'implementazione delle regole che determinano il comportamento degli stormi, e della funzione `update()` che si occupa di aggiornare lo stormo. Quest'ultima funzione ne ha una `overloaded`, in grado di prendere come argomento le velocità da sommare dovute alla repulsione con altri stormi.

2.2.5 `random.hpp/cpp`

File che si occupa della generazione di numeri casuali. Sono presenti una funzioni base per generare numeri interi casuali di tipo `int` o `float`, e funzioni per generare posizioni e velocità dei *boids* in range prestabiliti.

2.2.6 `statistics.hpp/cpp`

File che si occupa del calcolo delle statistiche restituite a schermo, riguardanti valori medi e deviazioni standard delle posizioni e velocità dei *boids*.

2.2.7 `graphics.hpp/cpp`

Breve file che contiene una funzione per la corretta rappresentazione grafica dei *boids*, ed un'altra che costruisce un rettangolo (`sf::Rectangle`) prendendo come parametro una delle struct definite nel file sopracitato, con lo scopo di migliorare la leggibilità del codice nella creazione dell'interfaccia.

2.2.8 `switchbutton.hpp/cpp`

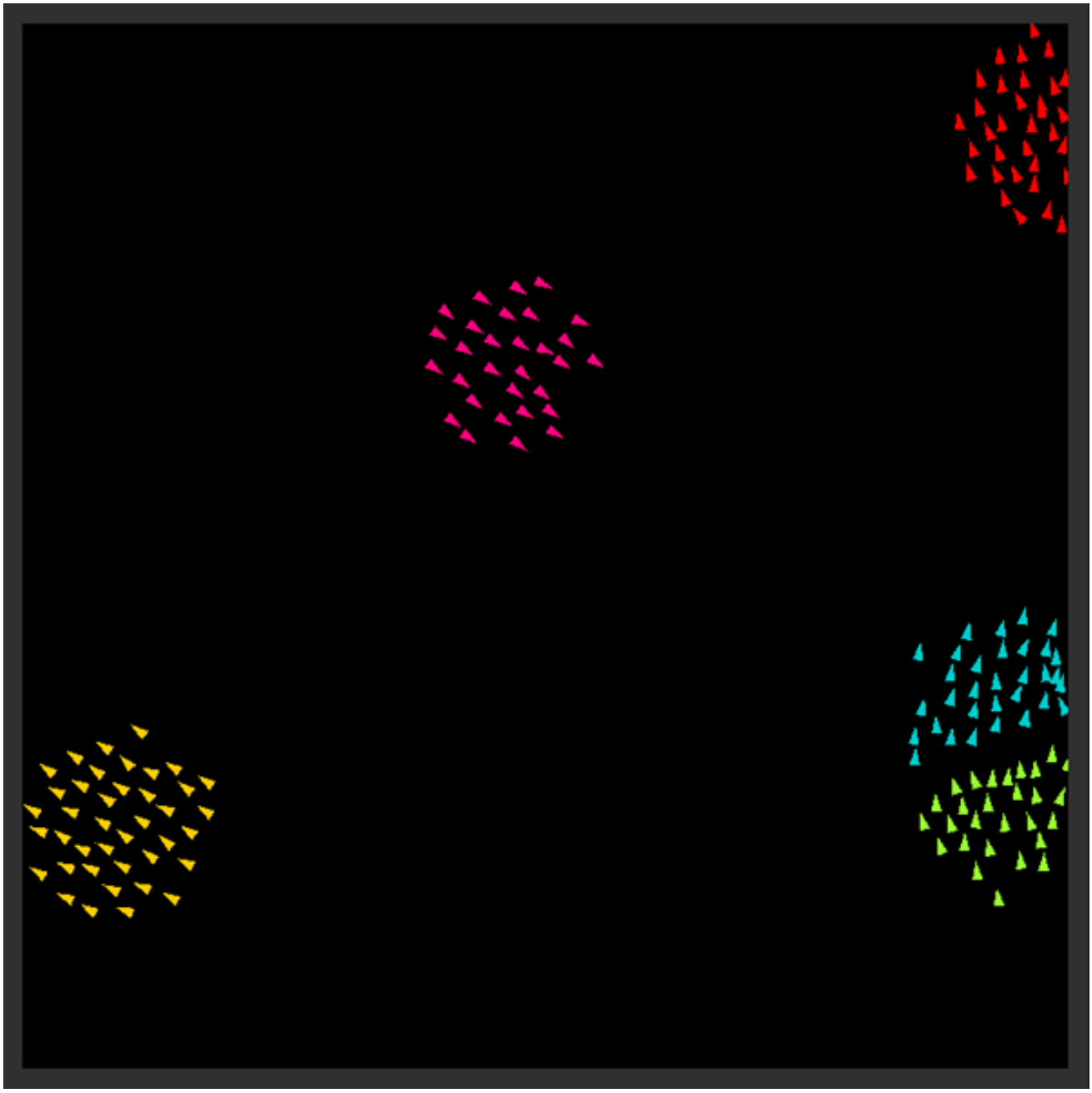
La classe Switchbutton introduce la funzionalità di un bottone che può trovarsi in due stati, non fornita da TGUI, e si è cercato di seguire le convenzioni di TGUI nella creazione delle funzioni membro.

2.2.9 `gui.hpp/cpp`

Classe che contiene gli elementi necessari a costruire l'interfaccia grafica del programma, e si occupa di coordinare i file di implementazione logica all'interno di essa. In ultima analisi la classe `Gui` è responsabile del funzionamento del programma. Nel main è sufficiente costruire un elemento della classe, utilizzare il metodo `setup()` che lo configura correttamente e infine seguire con il metodo `run()` che inizia l'esecuzione.

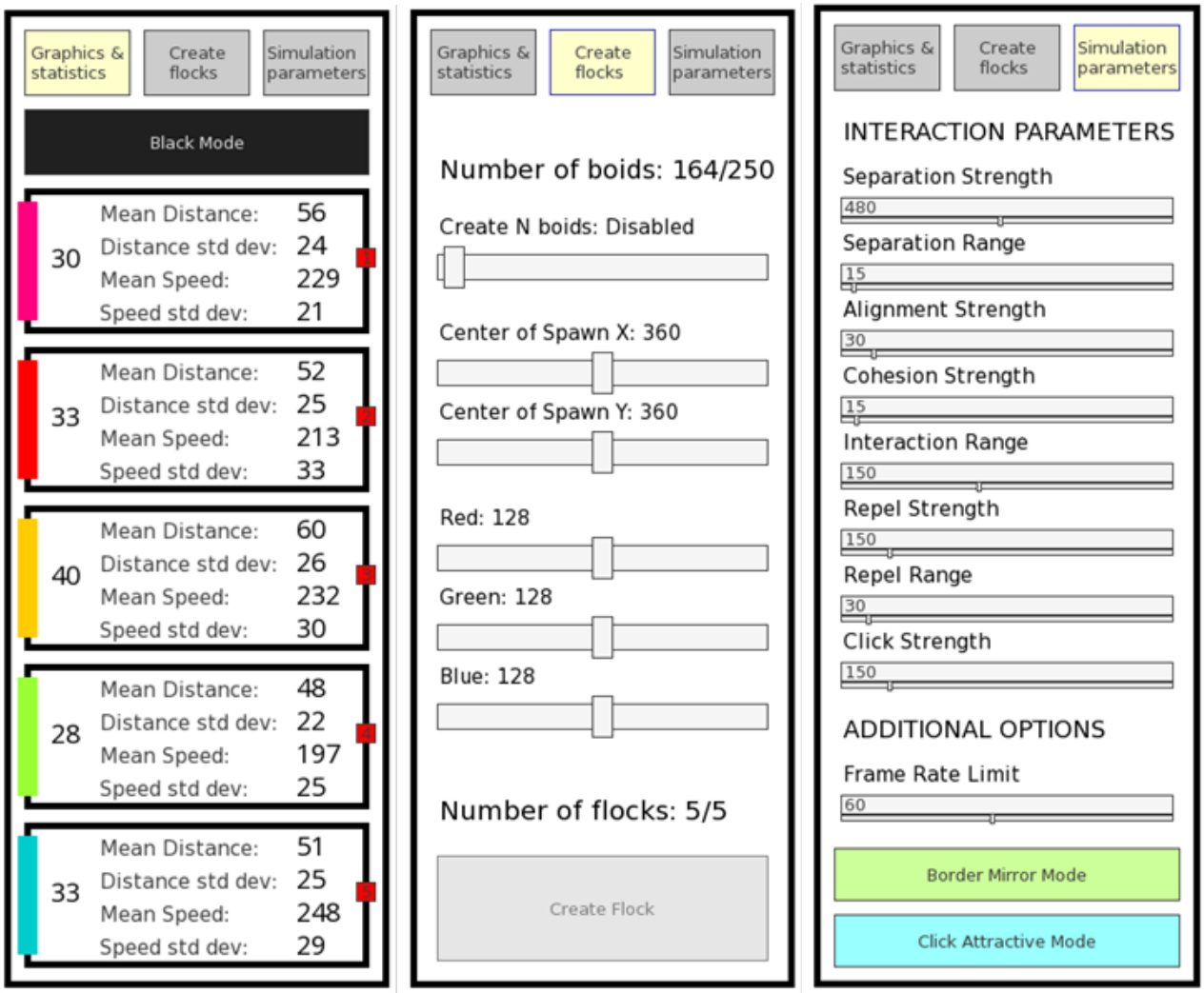
3 Interfaccia della simulazione

Anche questa parte deriva in parte dal README del progetto.



Features

- Real-time statistics display for each flock
- Interactive controls for adding or removing flocks
- Adjustable parameters for interactions between boids



3.1 Option 1: Graphics and statistics

- **Background color button**: Changes the colour of the background. (black and white)
- **Red numbered buttons**: Delete the corresponding flock.

3.2 Option 2: Create Flocks

- **Number of boids slider**: Selects the number of boids for a new flock.
- **Center of spawn sliders**: Select the spawn location of a new flock.
- **RGB sliders**: Select the color of a new flock. (Creating a white or black flock is disallowed because it would be invisible)
- **Create flock button**: Creates a new flock if there is enough space. (Max 250 boids; Max 5 flocks)

3.3 Option 3: Simulation Parameters

- **Interaction parameters sliders**: Change the values of the parameters of the rules that determine the movement of *boids*.
- **Border mode button**: Changes the behaviour of *boids* at the borders. (mirror or toroidal)
- **Click mode button**: Changes the interaction on click. (attractive or repulsive)

3.4 Key Controls

- **Left Click**: Interact with boids, attracting or repelling them to cursor.
- **Space Bar**: Pause/Resume simulation.

4 Testing

Tutti i file incaricati dell'implementazione di parte della logica del programma hanno un corrispettivo file di testing. Più precisamente, sono presenti i seguenti: `testboid.cpp`, `testflock.cpp`, `testrandom.cpp` e `teststatistics.cpp`.

Attraverso i test si è cercato di controllare che le classi, i metodi delle classi e le funzioni introdotte fossero esenti da errori e mostrassero il comportamento atteso. Sono stati eseguiti test in casi semplici per poter stabilire il funzionamento corretto del codice, e anche in alcuni casi particolari quando ritenuto necessario.

Il framework che si è utilizzato per creare le testing unit è doctest.h, il cui file è incluso nella cartella nel progetto (`/assets/doctest.h`). Questa libreria è in grado di generare autonomamente un main e permette l'esecuzione dei test semplicemente includendo il file sopracitato.

4.1 Eseguire i test

Per potere eseguire i test è necessario trovarsi nella cartella dove vengono prodotti gli eseguibili dei file precedentemente menzionati, seguendo i passaggi elencati sotto. Immaginando di trovarsi nella cartella principale dov'è contenuto il progetto:

```
cd build
cd testing
```

E digitare il comando corrispondente al test che si vuole eseguire:

```
./testboid
./testflock
./testrandom
./teststatistics
```

O eventualmente eseguendoli tutti in una volta utilizzando il seguente comando

```
ctest
```

5 Descrizione dei risultati

Nel caso della modalità toroidale ai bordi, i *boids* si raggruppano nei rispettivi stormi e tendono ad assumere valori di distanza media proporzionali al numero di elementi che lo compongono, e lo stesso vale per la deviazione standard delle distanze. Anche per quanto riguarda le velocità, esse raggiungono valori stabili indipendentemente dalle dimensioni dello stormo.

Diversamente accade nel caso della modalità a specchio (*mirror mode*). Infatti, i *boids* una volta ai bordi sono soggetti a un boost conferito dopo il rimbalzo, che provoca una temporanea variabilità sia delle posizioni che delle velocità e delle relative deviazioni standard.

La modificazione dei parametri di volo permette all'utente anche di creare ulteriori comportamenti collettivi più o meno caotici che tuttavia non rispecchiano il movimento desiderato nella simulazione.

6 Links

Link alla repository di GitHub utilizzata durante la realizzazione del progetto.

`https://github.com/Evyal/boids`