Relazione Progetto Boids

Francesco Bartoli

Contents

Cambiamenti

Di seguito sono elencati i cambiamenti all'interno del progetto intercorsi dall'ultima consegna.

- La classe boid è ora una `struct`, in quanto non era presente nessun invariante di classe.
- I file di generazione di numeri casuali hanno avuto dei cambiamenti. In particolare, ora vi è solo l'header, e l'engine, non è più una variabile globale, ma è passato come parametro ad ogni singola funzione che ne facesse utilizzo.
- Le funzioni di `statistics.hpp` sono state rivisitate in modo da produrre un codice molto più performante. Ora non vengono più utilizzati grandi vettori inutilmente per il calcolo delle statistiche degli stormi.

Anche la relazione è stata modificata in modo da rispecchiare i cambiamenti apportati, sia nella descrizione dei file che compongono il progetto, sia nelle istruzioni alla compilazione e all'installazione, ad esempio.

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.md 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 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 --depth=1 https://github.com/Evyal/boids.git
cd boids
```

1.2.4 Build the Project

- **Create the build directory**

  ```
  mkdir build
  ```

- **Configure CMake with Ninja Multi-Config:**

  ```
  cmake -S . -B build -G "Ninja Multi-Config"
  ```

- **Build the project**

  Debug Mode:

  ```
  cmake --build build --config Debug
  ```

  Release Mode:

  ```
  cmake --build build --config Release
  ```

1.2.5 Running the program

Debug Mode:

```
cd build/Debug
./boids
```

Release Mode:

```
cd build/Release
./boids
```

2 Struttura 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` è presente il font utilizzato nell'interfaccia grafica.

2.1 Regole di volo

I *boids* 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:

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

$$\vec{x}_{bi} = \vec{x}_{bi} + \vec{v}_{bi} \cdot k$$

Dove k è un fattore di scala, mentre $\vec{v}_S$, $\vec{v}_A$, $\vec{v}_C$, e $\vec{v}_R$ sono rispettivamente:

Separazione

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

Allineamento

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

Coesione

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

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

Dove n è numero di *boids* dello stormo nel range di interazione di ciascun *boid*, e non è un valore fisso.

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*.

Repulsione

La formulazione matematica di questa regola 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*.

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`

Header file che definisce i valori delle costanti usate nel progetto raggruppandole nel namespace `constants`. Alcuni esempi sono limiti di posizione o velocità per i *boids*, parametri di interazione di default, o ulteriori valori fissi per l'inizializzazione degli elementi dell'interfaccia grafica. Uno dei principali vantaggi di questo approccio è la possibilità di cambiare valori riutilizzati in diverse unità del programma, tutti da un unico punto, conferendo una maggiore facilità della loro modifica.

2.2.2 `structs.hpp`

Header contenente la definizione di alcune `struct` designate prevalentemente ad 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. Un esempio è la *struct* `TguiPar` che contiene i parametri per inizializzare un generico elemento di interfaccia grafica, da cui seguono alcune struct derivate, come `SlidersPar`. È presente un'unica struct che non ha a che fare con la parte grafica, e contiene le variabili che parametrizzano l'interazione dei *boids* negli stormi.

2.2.3 `boid.hpp/cpp`

File che si occupa dell'implementazione della struct `Boid` e di tutte le funzioni ausiliari necessarie per gestirne il comportamento. Le variabili utilizzate all'interno dell'aggregato per descrive il comportamento dei *boids* sono posizione e velocita, sotto forma di `sf::Vector2f` forniti da SFML. Inoltre sono presenti le funzioni che lavorano su elementi della classe, come per esempio `distance` che calcola la distanza fra *boids* o `minimumSpeedControl()` 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 sottolineare che la velocità limite non è stata intesa all'interno del progetto come un'invariante di classe, ma semplicemente un limite imposto durante la simulazione per assicurarsi un comportamento ordinato, infatti non è vietato che un *boid* possieda una velocità superiore al limite prestabilito, in quanto questo non invalida nessuna delle funzioni che lo utilizzano.

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 numerose variabili statiche, condivise da tutti gli stormi, che costituiscono i parametri dell'interazione tra *boids*, e due variabili membro private, la prima un vettore di *boids*, in cui sono contenuti i *boid* che compongono lo stormo, e l'altra che determina il colore dello stormo. 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*. Per assicurarsi che la classe non permetta l'utilizzo dei suoi metodi su stormi con meno di due *boids*, sono stati inseriti multipli `assert()` all'interno del corpo di quest'ultimi in modo da evitare che si verifichino comportamenti indesiderati. La parte restante della classe è designata all'implementazione delle regole che determinano il comportamento degli stormi, e della funzione `updateFlock()` che si occupa di aggiornare lo stato dello 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`

File che si occupa della generazione di numeri casuali. Sono presenti una funzioni base per generare numeri interi casuali di tipo `size_t` o `float`, e funzioni più complesse 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*. Ad esempio, la funzione `calculateDistances()` calcola le distanze tra tutte

le coppie degli elementi di un vettore, mentre `calculateToroidalDistances()` fa lo stesso ma in geometria toroidale. Infine è presente una funzione per il calcolo della media e una per il calcolo delle deviazioni standard.

2.2.7 `graphics.hpp/cpp`

Breve file che contiene due funzioni. La prima si occupa di rappresentare graficamente i *boids*, posizionandoli ed orientandoli correttamente. La seconda 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. In particolare è presente un costruttore, che crea un oggetto della classe, ed una funzione `create()` che restituisce uno `std::shared_ptr` che punta all'oggetto.

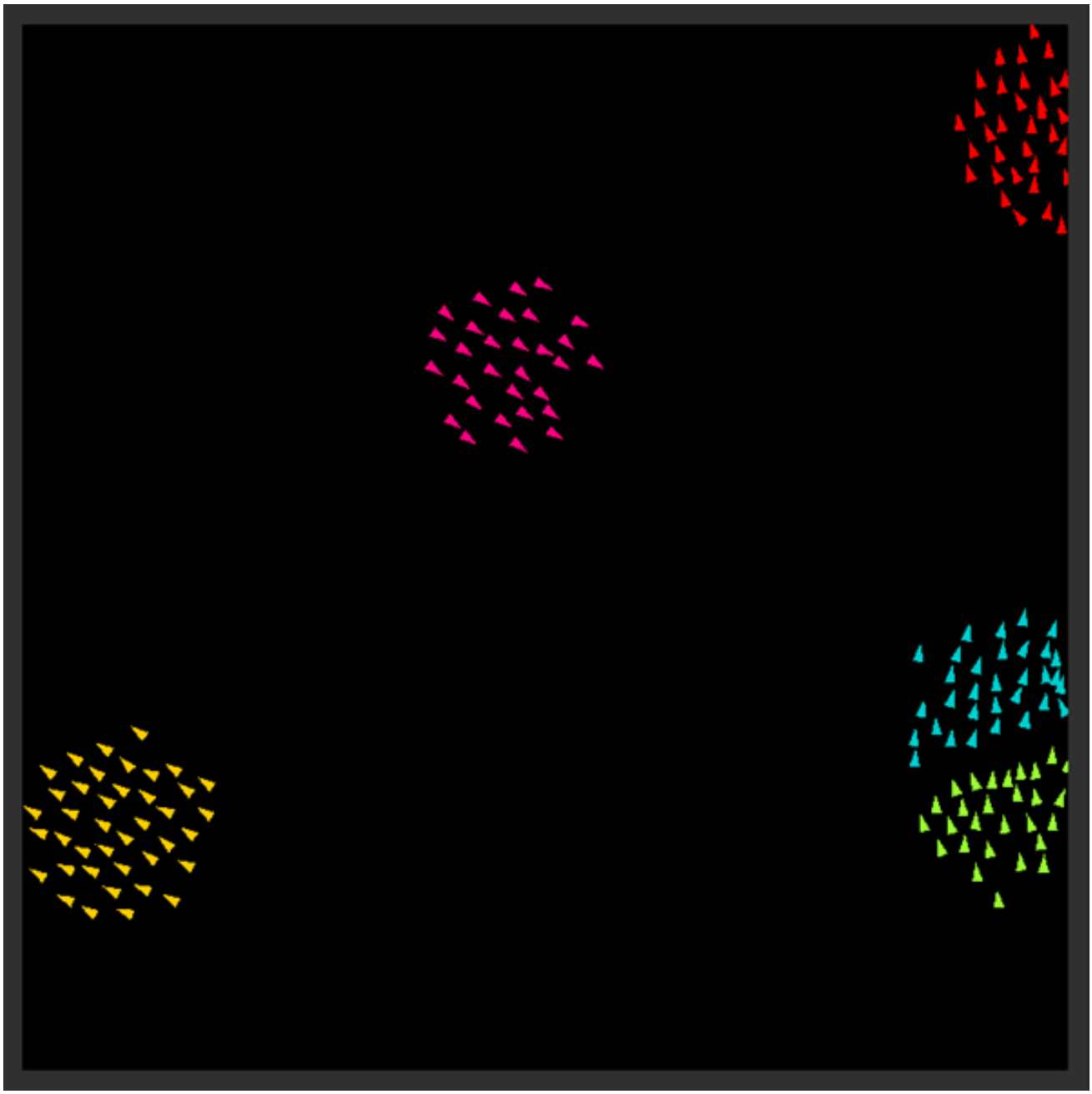
2.2.9 `gui.hpp/cpp`

In quest'ultimo file è definita la classe che contiene gli elementi necessari a realizzare l'interfaccia grafica del programma, e si occupa di coordinare gli altri file all'interno di essa. La classe contiene diversi membri privati, come ad esempio la `sf::RenderWindow`, per la raffigurazione grafica, l'elemento `tgui::Gui` per il funzionamento dei pulsanti, un vettore che contiene gli stormi attivi, e così via. Le funzioni al suo interno sono prevalentemente di *setup*, e sono organizzate in tre macro-aree, ciascuna con lo scopo di configurare la propria opzione di menù. Infine sono presenti ulteriori funzioni, come quella di creazione del menù (`createThreeWaySwitch()`), e quelle di gestione, creazione e distruzione degli stormi.

In ultima analisi, la classe `Gui` è responsabile del generale funzionamento del programma. Nel main è sufficiente costruire un elemento della classe, utilizzare il metodo `setup()` che lo configura correttamente e infine chiamare il metodo `run()` che contiene le istruzioni da seguire durante l'esecuzione.

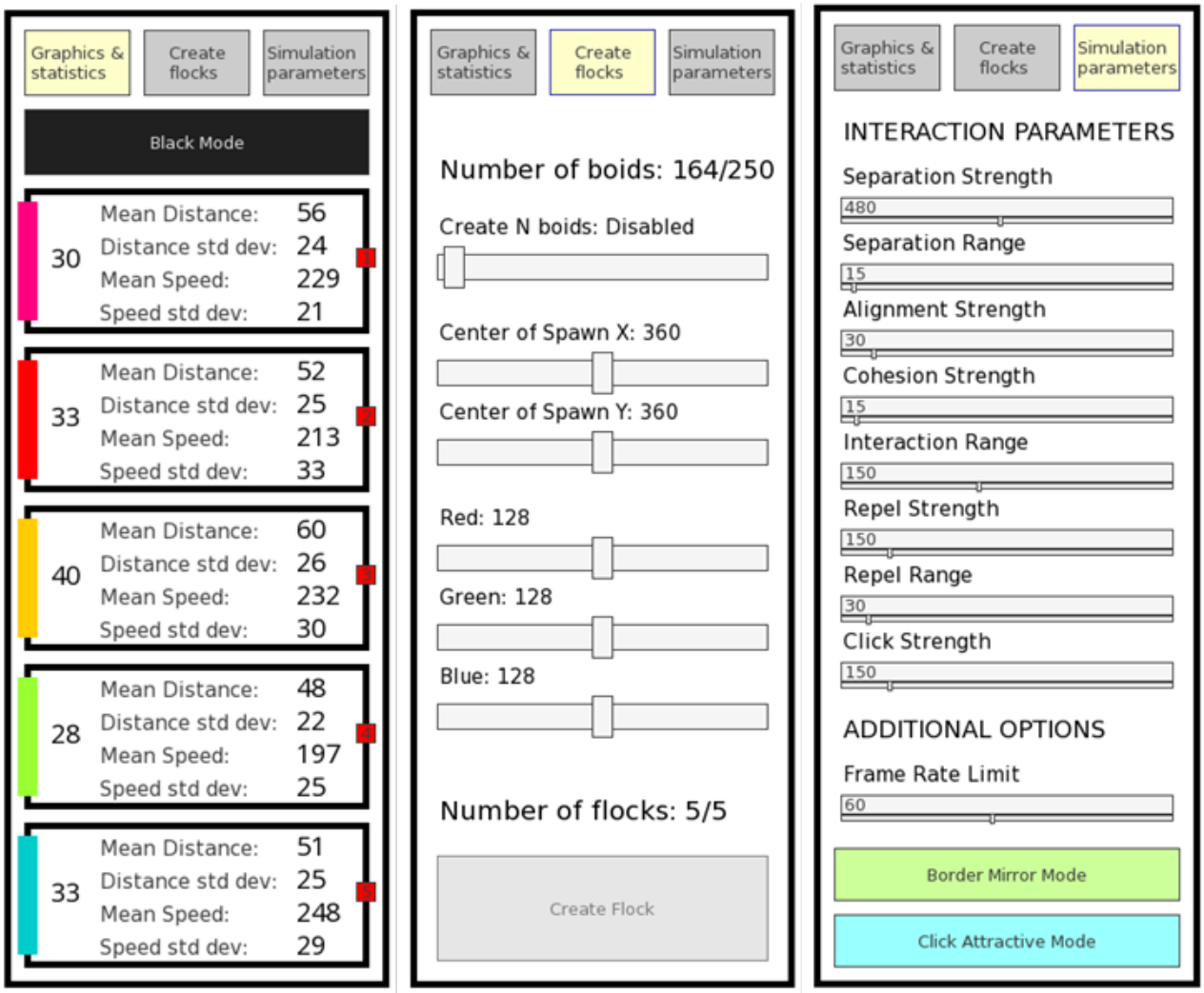
3 Interfaccia della simulazione

Anche questa parte derivante parzialmente dal README.md del progetto.



Features

- Random generation of flocks at the beginning of the simulation
- Different modes for behaviour at borders
- Statistics display for each active 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 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, il cui file è incluso nella cartella nel progetto (`/include/doctest.h`). Questa libreria è in grado di generare autonomamente un main e permette l'esecuzione dei test semplicemente includendo il file sopracitato.

Un altro strumento utilizzato per controllare lo svolgimento corretto del programma sono degli `assert()`, prontamente inseriti all'interno di alcune funzioni per assicurarsi che determinate condizioni fossero verificate.

4.1 Eseguire i test

Per potere eseguire i test è necessario trovarsi nella cartella dove vengono prodotti gli eseguibili dei file precedentemente menzionati. Immaginando di trovarsi nella cartella build del progetto, sarà sufficiente eseguire i seguenti comandi da terminale:

```
    cd testing/Release
```

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

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

O eventualmente è possibile controllare che i test vadano a buon fine tutti in una volta, trovandosi nella cartella principale del programma, utilizzando uno dei seguenti comandi:

```
    cmake --build build --config Debug --target test
    cmake --build build --config Release --target test
```

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 modifica dei parametri di volo permette all'utente di creare ulteriori comportamenti collettivi più o meno caotici che tuttavia non rispecchiano il movimento desiderato nella simulazione. Nonostante con i valori impostati di default si sia cercato di parametrizzare delle interazioni che danno luogo a comportamenti emergenti analoghi allo spostamento di uno stormo, potrebbero esserci delle combinazioni di valori che realizzano un effetto migliore.

6 Links

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

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