Projet programmation concurrente
Polytech'Nice Sophia - SI4 G1

David BORRY
Thomas GILLOT

October 9, 2016

Nous déclarons sur l'honneur que ce rapport et l'application qu'il décrit sont le fruit de notre propre travail, basé sur notre expérience scolaire et personnelle sur ces dernières années et que nous n'avons ni contrefait, ni falsifié, ni copié partiellement sur l'oeuvre d'autres binômes ou sur internet. Nous sommes conscients que le plagiat est considéré comme une faute grave pouvant être sévèrement sanctionnée.

1 Introduction

Ce rapport a pour sujet la conception et le développement d'une simulation de déplacement d'une foule d'individus dans un environnement comprenant plusieurs obstacles, basée sur les notions vues en cours et en TD de programmation concurrente.
L'application a été écrite en C++ et utilise la bibliothèque POSIX du langage C. Pour la représentation graphique, c'est la bibliothèque SFML qui est utilisée. Les tests unitaires sont quant à eux réalisés avec Google Test.
Il n'est pas nécessaire d'avoir ces bibliothèques installées au préalable et l'application peut être compilée et éxécutée sans la partie graphique.
Le rapport a pour but d'expliquer le fonctionnement de l'application et les décisions prises pour la conception des principaux algorithmes, analyser et comparer le fonctionnement des threads POSIX par rapport à Java ainsi que les performances en fonction des différentes configurations possibles

Contents

2 Conception

La simulation a un objectif clair: faire converger une quantité plus ou moins grande de personnes vers une unique destination et faire en sorte qu'ils finissent tous par l'atteindre. Toutefois, elle a trois manières différentes de remplir cet objectif. La première consiste à déplacer successivement chaque personne d'une unité jusqu'à ce qu'elles aient toute atteint leur destination. La seconde permet de gérer de la même manières ces personnes, mais en fonction de leur position l'une des quatre régions de tailles égales constituant le monde. Une thread est associé à chaque région. Pour la troisième technique, on crée une thread pour chaque personne à déplacer.

2.1 Fonctionnement général

2.1.1 Base du programme

Trois scénarios bien différents peuvent donc s'appliquer, chacun ayant ses particularités en performances et en algorithmique. Il est néanmoins important qu'elles partagent la plupart des variables et des algorithmes du programme afin qu'il soient plus simple à maintenir et à faire évoluer. Quelque soit le scénario, on a donc toujours :

- L'ensemble des murs et des personnes à déplacer sur le terrain
- Une destination fixée à une extrémité du terrain.
- Une carte du terrain constamment mise à jour où sont représentés les obstacles qu'une personne peut rencontrer (murs ou autres personnes).
- Les algorithmes permettant de créer et de déplacer d'une unité une personne en direction d'une destination donnée.

2.1.2 Déplacement une personne

Le bon fonctionnement du programme repose en grande partie sur l'algorithme de déplacement. Le programme ne se terminant que lorsqu'il n'y a plus personne à déplacer, il faut un algorithme rapide et solide prenant en compte la gestion des obstacles. Un algorithme de pathfinding pour éviter les obstacles comme *Dijkstra* ou $A*$ serait inneficace car peu optimal avec un grand nombre de personnes à gérer et/ou une grande carte. En revanche, un algorithme de type *steering behaviour* principalement basé sur les notions de vecteurs et de distances est bien plus approprié. L'entité à déplacer ne pourra pas éviter les obstacles de manière intelligente s'il y en a, c'est pourquoi il est possible qu'une destination fixée soit impossible à atteindre pour certaines entités (si la destination est derrière un mur et que la seule entrée pour y accéder se situe à l'autre bout du terrain, par exemple). Le choix de la destination est donc également essentiel pour que la simulation s'éxécute correctement.

L'algorithme choisi pour la simulation fonctionne donc de cette manière :

Pour un **terrain**, une **entité** et une **destination** données, si l'entité n'a pas atteint la destination :

- Stocker dans un ensemble les vecteurs de directions des bordures de l'entité par rapport à la destination.
- tant que l'ensemble des vecteurs n'est pas vide:
  - Retirer le vecteur ayant la plus petite longueur de l'ensemble
  - Essayer de déplacer d'une case l'entité en suivant ce vecteur
  - Si l'entité a bougé, arrêter.
  - Sinon, continuer.

2.2 Gestion des threads

Si les scénarios partagent donc la plupart des ressources du programmes, ils les utilisent tous d'une manière différente. Pour l'option **-t1** où la simulation est gérée par la thread principale, le fonctionnement est assez simple : Tant que toutes les personnes n'ont pas atteint la destination, répéter pour chacune d'entre elles l'algorithme de déplacement décript précédemment. On doit donc mettre à jour le monde et l'ensemble des personnes un certain nombre de fois, ce qui peut faire penser au design d'une boucle de jeu. C'est le but : de cette manière, on peut facilement intégrer la représentation graphique à la simulation en redessinant le terrain à chaque mise à jour.
Pour l'option **-t2**, le fonctionnement est assez semblable, mais on divise le terrain en 4 parties à gérer pour chaque thread créée. Les threads ont toujours une boucle devant déplacer des entités, mais seulement celles se trouvant dans la région associée.
L'option **-t3** utilise toujours une boucle, mais elle ne gère qu'une entité par thread. La boucle continue tant que l'entité n'a pas atteint sa destination.

2.2.1 Les threads POSIX

2.2.2 Intégrer les threads à la simulation

Pour les deux configurations multithread, on doit faire en sorte que chaque thread puisse s'éxécuter entièrement, sans que le programme ne se termine avant. C'est rendu possible grâce aux fonctions **pthread_create** et **pthread_join** de la bibliothèque POSIX. Les algorithmes de gestion des threads sont donc très semblables pour les simulations t1 et t2. Ils fonctionnent de la manière suivante :

t1 :

- Pour chacune des quatre régions du terrain :
  - Créer une nouvelle thread
  - Associer à cette thread la gestion des entités situées dans la région actuelle
- Attendre la terminaison de chacune des threads précédemment créées.

t2 :

- Pour chaque entité sur le terrain :
  - Créer une nouvelle thread
  - Associer à cette thread la gestion de l'entité actuelle
- Attendre la terminaison de chacune des threads précédemment créées.

3 Choix de développement

En dehors de la gestion des threads et des options entrées par l'utilisateur, le programme est principalement développé en C++ et tire parti de la programmation orientée objet, du polymorphisme et de la surcharge d'opérateurs.
La carte du monde est ainsi représentée par un tableau à deux dimensions contenant des cellules pouvant être **solides** (occupées par un obstacle) ou non.
Les vecteurs utilisés pour déplacer nos entités ont leur propre structure, **Vector2i** et peuvent être additionnés, soustraits, comparés par leur longueur et multipliés par un scalaire. Les régions du terrain à gérer pour le scénario **t1** ont également une structure **Rectangle** comprennant les points Nord-Ouest et Sud-Est de la région.
La classe **World** permet de gérer les déplacement d'une partie ou de la totalité des entités du terrain. Les entités à déplacer sont stockées dans une liste de pointeurs, et elles sont modélisées dans la plus grande classe de l'application.

3.1 Modéliser une entité

Il faut d'abord pouvoir définir ce qu'est une entité dans un monde représenté par un ensemble de cellules. Une **entité** est une forme rectangulaire composée de cellules, pouvant être solide ou non. Elle est définie par une position, une longueur, une largeur et un booléen définissant sa solidité. Elle peut également se déplacer dans toutes les directions et elle peut être détruite avant de réapparaître à sa position d'origine.
Une entité peut donc être une personne, un mur ou un trou. Les seules données qui changent à chaque type sont les dimensions et la solidité, c'est pourquoi il est inutile de créer une nouvelle classe fille pour chaque type. Il est préférable de stocker ces données dans un fichier (ici **DataTable**) afin de les utiliser simplement et rapidement dans le constructeur. Le reste des attributs et fonctions, en particulier celle de déplacement, ne

changent pas. L'algorithme de déplacement cité précédemment est implémenté dans la fonction **update**.
Cette fonction n'est appelée que si l'entité à une destination à atteindre (**mTarget**). Grâce à la structure **Vector2i**, le calcul d'une direction à suivre est assez simple : On soustrait au vecteur destination un vecteur position donné. Pour l'entité à déplacer, cette position est basée sur les bordures, à savoir les cellules extérieures du rectangle. Ainsi, pour un humain occupant 4x4 cellules, 12 directions sont calculées. Ces directions sont ensuite stockées dans une structure de données **Priority Queue** où elles sont rangées dans l'ordre croissant. De cette manière, chaque retrait de la tête de file renverra la direction à la plus petite distance.

Quant au déplacement d'une case en lui-même, son implémentation est également basique : On vérifie qu'il n'y a pas d'obstacle et s'il y en a un, on peut annuler la vélocité verticale et/ou horizontale de l'entité en fonction de sa position.
On remarquera que la classe World dispose également d'une fonction **update**, dans laquelle on applique la fonction du même nom pour chacune des entités à déplacer. Comme il a été dit précédemment cela ressemble fortement à une boucle de jeu, facilitant ainsi l'intégration de la représentation graphique.

3.2 Simulation et polymorphisme

L'application en elle-même est lancée à travers la classe **Simulation**. On génère le monde et les entités dans le constructeur, et on lance la boucle dans la fonction **run**. Cette fois-ci, l'usage du polymorphisme est avantageux car cette fonction doit avoir un comportement bien différent pour chaque scénario. On crée donc des classes filles **MTSim1** et **MTSim2** respectivement associées aux configurations **-t1** et **-t2**. La fonction run est alors redéfinie pour pouvoir gérer la création des threads et l'attente de leur terminaison. Comme les threads POSIX ne peuvent pas gérer des fonctions membres directement, on recrée dans ces classes des fonctions **statiques** pour gérer les déplacement dans le monde.

4 Tester l'application

Le fonctionnement de l'application repose essentiellement sur trois données : La position du point azimuth, qui doit être accessible à tout le monde, l'algorithme de déplacement et la gestion des threads. Cette dernière est uniquement nécessaire pour les configurations **t1** et **t2**.

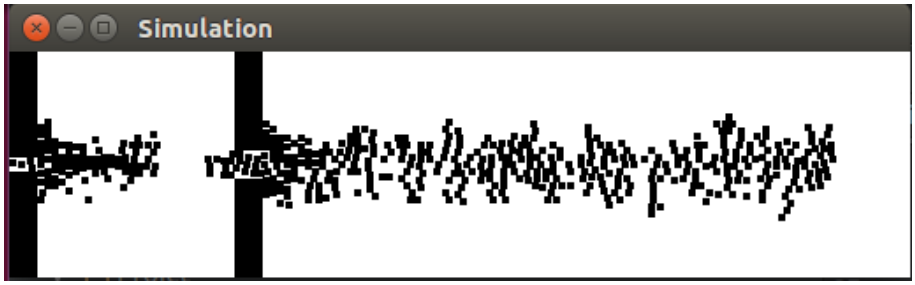
4.1 Correction

Le problème du point azimuth est facile à résoudre : Il ne doit pas être entouré d'obstacles et doit être situé vers la sortie du terrain. Dans cette simulation, le monde est occupé par deux murs séparés d'une certaine distance avec un trou de largeur suffisante pour qu'on

puisse le traverser. Le point azimuth est fixé dans le trou du premier mur, celui de la sortie. Il est donc placé vers le milieu du mur et chaque entité finira par l'atteindre quelque soit sa position, à condition que l'algorithme de déplacement fonctionne correctement.

Figure 1: **Simulation lancée avec les options -t0 et -p9**

Figure 2: **La même simulation 40 itérations après**



Les trois scénarios ont en commun le fait qu'ils utilisent des boucles pour déplacer les individus : tant que la destination n'a pas été atteinte, continuer à essayer de déplacer. La simulation ne s'arrêtera donc qu'une fois que tout le monde aura quitté le terrain. Ces scénarios fonctionnent si le point azimuth est bien placé vers la sortie comme dans la figure 2.
Pour vérifier l'efficacité de l'algorithme de déplacement, une série de tests unitaires doit être effectués pour voir si le programme traite correctement le calcul des vecteurs, les directions et la gestion des obstacles. Le programme peut toutefois boucler à l'infini si on place volontairement le point à un endroit inatteignable.
Aussi, si la simulation fonctionne correctement pour la thread principale, ce n'est évidemment pas encore le cas pour les cas **t1** et **t2**. Les entités finissent quand même par atteindre leur destination car elles utilisent toujours le même algorithme de déplacement, mais des problèmes de collisions sont présents.
En effet, les ressources partagées par les threads crées dans les deux cas sont la carte du terrain et la liste des entités humaines, or elles sont constamment mises à jour. Sans modèle de synchronisation implémenté, les threads peuvent se baser sur des informations faussées ou obsolètes. Une entité peut alors se déplacer sur une case non solide, mais qui parallèlement est occupée par une autre entité déplacée par une thread. Les personnes

se déplacent toujours, mais en traversant certains obstacles ou en bloquant là où il n'y en a pas.

4.2 Tests unitaires

Les tests sont placés dans un répertoire du même nom et le projet peut être compilé sans les inclures. Aussi, **il n'est pas nécessaire d'avoir installé Google Test** pour les compiler, la bibliothèque étant directement incluse dans le projet. Il faut toutefois avoir **CMake** installé pour pouvoir compiler le CMakeLists à la racine du projet. Il y aura alors une installation complète de la simulation avec les tests inclus.

Pour l'instant, ils servent principalement à tester l'algorithme de déplacement qui se base sur de nombreuses parties du programme, la première et plus importante étant les vecteurs. La structure **Vector2i** et tous les opérateurs qui y sont associés sont testés dans le fichier **vector_test.cpp**. On s'assure ainsi que le programme sait calculer correctement une direction entre deux points et une distance minimale, ce qui constitue la base de l'algorithme de déplacement.
Les déplacements de l'une entité sont également testés dans le fichier **entity_test.cpp**. On doit vérifier qu'elle ne traverse pas d'obstacle et qu'elle adapte sa trajectoire si elle en rencontre un. On a pour cela plusieurs tests où l'on crée une entité sur une petite carte où on y a placé manuellement plusieurs obstacles et on analyse le comportement de l'entité. Combinés avec les vecteurs, ces tests prouvent l'efficacité de l'algorithme de déplacement.

4.3 Performances

5 Conclusion