

# Département Génie Mathématique

## Affectation spatiale sous contraintes - Spécification fonctionnelle

**Spécification du projet C++ - Projet 10**  
Janvier 2013 - Juin 2013

Adeline Bailly & Alexandre Quemy

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Framework</b>	<b>1</b>
1.1	Identification des briques logicielles . . . . .	1
1.1.1	Module d'IA et d'environnement . . . . .	1
1.1.2	Module d'indexation spatiale et de partitionnement spatial . . . . .	1
1.1.3	Module d'algorithmes de plus court chemin . . . . .	2
1.1.4	Module d'affectation . . . . .	2
1.2	Cas d'utilisation . . . . .	2
1.2.1	Module d'IA et d'environnement . . . . .	2
1.2.2	Module d'indexation spatiale et de partitionnement spatial . . . . .	2
1.2.3	Module d'algorithmes de plus court chemin . . . . .	2
1.2.4	Module d'affectation . . . . .	2
1.3	Scénario . . . . .	2
1.3.1	Scénario principal . . . . .	2
1.3.2	Scénarios annexes . . . . .	3
1.4	Diagramme de séquence . . . . .	4
1.5	Modélisation des entités . . . . .	4
1.6	Architecture du framework . . . . .	8
<b>2</b>	<b>Application</b>	<b>10</b>
2.1	Description du système et objectifs . . . . .	10

# Chapitre 1

## Framework

### 1.1 Identification des briques logicielles

#### 1.1.1 Module d'IA et d'environnement

Dans ce module, on distingue plusieurs entités :

- L'environnement, espace dans lequel évolue les objets. En pratique, généralement  $\mathbb{R}^2$  ou  $\mathbb{R}^3$ .
- Les objets, étant de plusieurs types :
  1. Les ressources, que l'on peut affecter à une tâche et qui sont donc mobiles dans l'environnement.
  2. Les tâches, fixes dans l'environnement et qui permettent de modifier un ou plusieurs objectifs.
  3. Les obstacles, fixes dans l'environnement et qui modélisent la structure de l'espace.
- L'IA, qui va selon une ou plusieurs stratégies observer l'environnement et prendre des décisions pour résoudre le problème d'affectation.
- Les contraintes et objectifs, qui permettent de définir des seuils (minimal, maximal, proportion) par rapport à un type de tâche.
- Les stratégies, qui définissent un déroulement du processus d'affectation (fonction de coût, algorithmes utilisés)
- Les modèles d'apprentissage et de prise de décision (non étudié ici).

#### 1.1.2 Module d'indexation spatiale et de partitionnement spatial

Les entités de ce module sont :

- Les arbres, servant à stocker l'information spatiale et y accéder rapidement.
- Les techniques de construction de ces arbres. Il s'agit principalement d'algorithmes qui sont plus spécifiques à chaque structure de données et qui peuvent les améliorer. On peut citer par exemple le Z-order qui permet de construire de manière efficace des Quadtree ou des arbres de Hilbert.

### 1.1.3 Module d'algorithmes de plus court chemin

Les entités de ce module sont simplement les algorithmes travaillant sur l'environnement transformé grâce aux techniques d'indexation et partitionnement spatial.

### 1.1.4 Module d'affectation

## 1.2 Cas d'utilisation

### 1.2.1 Module d'IA et d'environnement

### 1.2.2 Module d'indexation spatiale et de partitionnement spatial

### 1.2.3 Module d'algorithmes de plus court chemin

### 1.2.4 Module d'affectation

## 1.3 Scénario

On peut distinguer plusieurs scénarios pour notre application. Le scénario utilisateur où l'acteur principal est l'utilisateur final, c'est à dire celui qui va utiliser le framework pour résoudre un problème en fonction de son contexte.

Des scénarios annexes existent, relatifs aux sous-systèmes du framework et à l'interaction entre ses composants. Le principal est celui qui intervient durant toute la simulation / résolution et dont l'acteur principal est le contrôleur du framework.

### 1.3.1 Scénario principal

- L'utilisateur définit ses tâches
  - ↪ Définition des contraintes liées à chaque tâches
  - ↪ Définition des contraintes générales (applicables à chaque tâches ou inter-tâches)
- L'utilisateur définit l'environnement
  - ↪ Définition de l'espace (dimensions, frontières)
  - ↪ Définition des objets statiques (obstacles)
  - ↪ Définition des objets dynamiques
    - Définition des ressources
      - Définition d'une fonction de coût
    - Définition des emplacements de travail
      - Observation de l'emplacement par un type de tâche
  - ↪ Paramétrage de l'environnement
    - Délais de mise à jour
- Création des stratégies
  - ↪ Définition de la fonction de coût globale
  - ↪ Définition de l'algorithme d'affectation
- Création de l'IA
- Définition du modèle de décision et d'observation

- Définition de l'algorithme de partitionnement de l'espace
- Définition de l'algorithme d'indexation des objets dynamiques
- Ajout des stratégies
- Paramétrage de l'IA
  - ↪ Délais entre chaque cycle « observation – apprentissage – prise de décision - affectation »
- Lancement de la simulation / résolution par le contrôleur du framework.

### 1.3.2 Scénarios annexes

#### 1. Initialisation

- Partitionnement de l'espace
- Indexation sous forme d'arbres
  - ↪ Des ressources
  - ↪ Des emplacements de travail
  - ↪ Des tâches
  - ↪ Des obstacles

#### 2. Déroulement de la simulation / résolution

- Le contrôleur principal appelle le contrôleur de l'IA si la contrainte de temps est respectée
- Le contrôleur de l'IA :
  - ↪ Observation du monde
  - ↪ Apprentissage (non étudié ici)
  - ↪ Prise de décision (non étudié ici - peut être effectué manuellement par l'utilisateur)
  - ↪ Affectation
    - Appelle un algorithme de réaffectation pour les ressources disponibles
- Le contrôleur principal appelle le contrôleur de l'environnement si la contrainte de temps est respectée
- Le contrôleur de l'environnement :
  - ↪ Mise à jour des objets dynamiques (Ressources / Unités ...)
- Le contrôleur principal met à jour l'affichage
- La boucle recommence tant que les conditions sont respectées

#### 3. Observation du monde

- Observation des contraintes / objectifs
- Observation de l'environnement : les objets dynamiques
  - ↪ Ressources
  - ↪ Emplacements de travail

#### 4. Affectation

- Algorithme d'affectation appelé, exemple :

- ↪ Méthode hongroise
- ↪ Recherche des voisins les plus proches
- 
- Attribution d'une tâche à chaque ressource

## 1.4 Diagramme de séquence

## 1.5 Modélisation des entités

### Tâche

Une tâche est définie par une représentation numérique. Ne doit pas être confondu avec l'emplacement de travail (TaskSpot) qui est un objet concret de l'environnement qui peut modifier la tâche.

### Contraintes

Une contrainte est une assertion. Il existe plusieurs types de contraintes ayant plusieurs fonctionnements. Chacune possède une priorité.

**Note** : Il serait intéressant de pouvoir détecter les contraintes impossibles à tenir en fonction de l'environnement ou tout simplement parce que deux contraintes s'opposent. Le problème de satisfaction de contraintes est à lui tout seul un problème NP-difficile dans la plupart des cas.

On supposera durant ce projet que ce point ne pose pas de soucis et que l'utilisateur n'entrera pas des contraintes qui pourront amener le système à se bloquer ou à ne pouvoir satisfaire l'ensemble des contraintes dans un temps raisonnable.

Par la suite il pourra néanmoins être intéressant de proposer des algorithmes de déduction de contraintes et de résolution du problème CSP (Constraint satisfaction problem).

### Contraintes de seuils

Une contrainte de seuil (appliquée à une tâche) est composée d'une opérande  $\leq$  ou  $\geq$ , et d'une valeur numérique.

Ces contraintes possèdent deux fonctions de callback qui doivent se déclencher lorsque l'on franchi le seuil défini, d'un côté et de l'autre (ie, cela implique de garder en mémoire la valeur lors de la vérification précédente).

Optionnellement, on peut définir un intervalle de tolérance.

### Contraintes de proportionnalité

Défini une relation de proportionnalité entre 2 ou plusieurs tâches. On peut imaginer par exemple vouloir 30 % de pierres contre 70 % d'or dans le cadre d'un jeu de stratégie.

Là encore, on peut définir de manière optionnelle un intervalle de tolérance et deux fonctions de rappel qui seront appelées en cas de changement de statut de la contrainte (passage du respect ou non respect et inversement).

## Contraintes personnalisées

Une contrainte personnalisée est une contrainte modélisée par une fonction renvoyant un booléen : vrai si la condition est vérifiée, faux sinon. Elles servent à exprimer des contraintes diverses sur les tâches mais aussi sur d'autres éléments de l'environnement en fonction du problème de l'utilisateur.

Ces contraintes portent également deux fonctions de rappel pour le changement de statut de la contrainte.

## Système de contraintes

Il s'agit d'un système comprenant les tâches ainsi que les contraintes. Les tâches / contraintes sont potentiellement indépendantes de l'IA qui va résoudre le problème puisqu'elles appartiennent au problème lui-même.

Ainsi le but du système de contraintes de centraliser les tâches et les contraintes pour en faciliter l'accès par l'utilisateur et l'IA.

Le système pourra également proposer des méthodes de résolution du CSP évoquées plus haut. De plus, le système impose une représentation homogène pour l'ensemble des tâches.

[Schéma de classes du système.](#)

[Schéma d'interaction avec l'utilisateur.](#)

[Schéma d'interaction avec l'IA.](#)

## L'environnement

Il est composé d'un espace au sens mathématique, ainsi que de 3 types d'objets : les obstacles, les points de travail et les ressources. Il a donc principalement un rôle de conteneur.

Étant donné que la création de l'environnement peut très vite devenir complexe, un design pattern builder est envisagé, permettant par exemple de charger un fichier d'environnement depuis différents types de fichiers. Ce sera d'ailleurs le cas pour l'application d'exemple.

## L'espace

L'espace est simplement défini par un nombre de dimensions et le type de ses coordonnées. Il contient également les limites de l'espace. L'espace peut donc être imaginé comme un paralléloétope droit.

## Les coordonnées

Les coordonnées permettent de localiser l'ensemble des objets dans l'espace. Elles présentent deux caractéristiques : le nombre de composantes et le type de ces composantes. Il s'agit d'un vecteur stockant  $n$  composantes d'un type numérique.

## Les objets

Les objets évoluent dans l'environnement et plus particulièrement dans l'espace qu'il contient. Ainsi, tous les objets possèdent des coordonnées qui doivent être du même type que ceux de l'espace considéré.

Il existe deux types d'objets (pour le moment) : les objets statiques et les objets dynamiques. Chacun de ces deux types donnent lieu à une hiérarchie d'objets.

Tous les objets implémentent une géométrie qui permettra d'effectuer des calculs de collision selon diverses techniques. Par exemple on peut définir un objet par un polygone convexe, un polygone quelconque, un carré, un cercle. Chaque représentation à ses avantages et inconvénients sur les méthodes de collisions : algorithme du point dans un polygone (convexe), Bounding-Box, rayon de collision, etc.

Tous les objets possèdent également une fonction update qui sert à mettre à jour leur état interne régulièrement.

### • Les objets statiques

Il s'agit des objets de l'environnement qui ne peuvent pas bouger. Leur intérêt principal est de définir des obstacles dans l'espace, bloquant le passage aux ressources.

#### ↪ Les obstacles

Il s'agit du seul objet statique concret dont nous avons perçu l'intérêt pour l'instant. Il est là pour modéliser, comme son nom l'indique, un obstacle dans l'espace.

### • Les objets dynamiques

Ce sont des objets qui sont capables de bouger dans l'espace.

#### ↪ Les ressources

Elles représentent des objets dont l'IA dispose pour pouvoir les affecter à diverses tâches en vu de satisfaire les contraintes du système de contraintes. Il s'agit encore d'une classe abstraite dont le but est de clarifier l'architecture des objets. On retrouvera différents types de ressources ayant des comportements différents.

Ainsi on peut imaginer une ressources qui n'est pas réaffectable lorsqu'elle commence une tâche qui lui est donnée par l'IA, on peut imaginer une ressource qui n'accepte qu'un seul type de tâche, etc. Toutes ses variantes dépendent du problème et seront rajoutées à mesure que le besoin s'en fera sentir.

Dans notre cas on n'envisagera qu'une unité simple qui pourra être réaffectée n'importe quand, et une unité qui ne pourra pas être réaffectée.

#### ↪ Les emplacements de travail

Ce sont les représentations physiques d'une tâche. C'est à dire des objets qui vont pouvoir modifier une tâche (son « compteur ») en fonction de certaines conditions.



Ainsi, ce sont des observateurs d'une tâche particulière qu'elle notifie en cas de changement.

Là encore, on peut imaginer beaucoup de variantes : des emplacements temporaires – l'emplacement est détruit au bout de tant de temps d'utilisation, des emplacements avec un compteur – l'emplacement se détruit après tant d'utilisation, etc.

## Les politiques de chevauchement

Les objets sont paramétrés par une politique de chevauchement : certains objets peuvent ne pas en chevaucher d'autres.

Il s'agit concrètement d'un entier qui permet de définir une priorité sur le chevauchement. Un objet ne peut pas surpasser un objet ayant une valeur plus haute que la sienne.

Des constantes sont prévues pour définir des objets « fantômes » et des objets que l'on ne peut pas chevaucher, comme les obstacles par exemple.

## Les fonctions de coûts

Il existe deux types de fonctions de coûts : les fonctions locales et les fonctions globales. La première est propre à l'évaluation d'une ressource par rapport à un emplacement de travail. La fonction de coût global qui évalue à un instant donné la qualité de la situation observable par l'IA. Elle est très dépendante du problème et de la stratégie adoptée. Il peut s'agir d'une simple somme des distances des ressources par rapport aux tâches, mais on peut également vouloir prendre en compte la satisfaction des contraintes, ou les tâches en cours avec un poids important, etc. Elle servira donc plus pour le modèle d'apprentissage, mais comme ce point n'est pas abordé durant ce projet, il s'agira plus d'une fonction annexe ou indicatrice.

L'implémentation est très libre et souple au vu de ce que le C++ permet de faire, surtout avec le nouveau standard.

## Les stratégies

Il s'agit d'une manière de résoudre le problème d'affectation pour satisfaire les contraintes. Elle comporte une manière d'évaluer la situation (fonction de coût global), un algorithme d'affectation et une fonction de coût locale (manière d'évaluer une ressource selon ces caractéristiques).

## L'IA

Il s'agit d'un conteneur de stratégies qui sont organisées selon un modèle (couple d'un modèle de décision et d'observation).

L'IA définit également un algorithme de partitionnement spatial et un algorithme d'indexation. Pour pouvoir plus facilement traiter le problème d'affectation, l'IA possède également 3 structures de données qui indexent la topographie de l'espace (donc les objets statiques), les tâches et les ressources à partir des conteneurs basiques de l'environnement.

## Arbres

Utilisés pour indexer les objets, pour partitionner l'espace. On retrouve beaucoup d'arbres différents ayant chacun leurs avantages et désavantages. En voici une liste assez complète qui pourront être implémentés par la suite :

- AtlasGrid
- R-tree
- Quadtree
- Octree
- BSP
- KD-tree
- implicit KD-tree
- vantage KD-tree
- R+-Tree
- R\*-Tree
- X-Tree
- M-Tree
- Hilbert R-Tree
- UB-Tree

## 1.6 Architecture du framework

Cette section s'attelle à décrire l'architecture globale du framework :

### Contrôleur

Le contrôleur principal gère le déroulement globale de la simulation. Il s'agit d'une boucle principale avec des critères d'arrêt définis par l'utilisateur (nous proposerons un critère temporel).

La boucle principale va effectuer en permanence les même actions, dans le même ordre. Ces actions sont des appels à des contrôleurs locaux ou des actions définis par l'utilisateur parce qu'il en a besoin dans son application : interception et traitement des entrées claviers, affichage ...

Par défaut, seules deux actions sont présentes : l'appel au contrôleur local de l'IA et au contrôleur local de l'environnement.

Ces actions seront modélisés sous forme d'un deque de fonctions à appeler dans l'ordre. Chaque fonction sera assortie d'un délais d'activation : toutes les 100ms par exemple.

### Logger

Un logger est absolument nécessaire pour un framework afin de repérer le déroulement du flux d'exécution et localiser d'éventuel(s) problème(s) ou simplement visualiser le processus de calcul. C'est d'ailleurs très utile pour faire des tests unitaires ou d'intégration.

Nous mettrons en place un logger sous forme de Design Pattern Chaine de Responsabilité. Chaque maillon de la chaîne sera un logger avec un niveau de log différent (DEBUG, INFO, ERROR ...) et le message transite de maillon en maillon jusqu'à ce que le bon niveau soit atteint.

On pourra utiliser une sérialisation dans un fichier texte ou non.

Il existera une instance statique du logger pour permettre une utilisation globale. On n'utilisera pas de DP Singleton d'une part parce qu'il est très dur à rendre thread-safe et d'autre part parce pour une raison ou une autre, l'utilisateur final trouvera peut être une utilité à avoir plusieurs loggers.

## **Le modèle multi-thread**

Nous n'implémenterons pas le modèle multithread pour des raisons de temps mais nous le rendrons facilement intégrable, notamment avec le fonction du contrôleur principal. En effet, les actions du contrôleur sont, normalement, toutes indépendantes et peuvent donc être lancées en parallèle.

Pour rendre l'application thread-safe à un niveau de granularité plus fin, on utilisera le paramétrage par politique qui permettra de découpler totalement le modèle multi-thread du reste et d'activer / désactiver le support multi-thread à la volée.

# Chapitre 2

## Application

### 2.1 Description du système et objectifs

L'application servira de démonstration à l'IA construite avec le Framework. Il s'agira d'un petit jeu de stratégie en temps réel.

L'environnement sera une carte 2D avec des murs (les obstacles), des ouvriers (les ressources), ainsi que des mines d'or et de pierres (les tâches sont donc au nombre de deux). L'action de miner durera un certain temps qui occupera un ouvrier et lui permettra de faire augmenter le compteur général d'or ou de pierres.

L'application permettra donc à l'utilisateur d'avoir un exemple concret d'utilisation du Framework.

Les fonctionnalités suivantes permettront à l'utilisateur d'interagir avec le monde pour voir la réaction de l'IA :

- Supprimer / Créer un ouvrier
- Augmenter / Diminuer le nombre d'or / de pierres en réserve
- Fixer un ratio entre or et pierres
- Fixer un objectif à atteindre pour l'or ou/et la pierre

Bibliothèque multimédia (affichage, gestion des saisies) : SFML

Outil de création des cartes : Tiled Map Editor

Bibliothèque d'import des cartes de Tiled : TMX Lib