

# Algorithmes Génétiques - EISTI - ING 2

Ecole Internationale des Sciences du Traitement de l'Information

12 novembre 2010

Présentation  
Générale

Codage

Fitness

Sélection

Croisement

Mutation

Autres paramètres

Cycle de Base

# Sommaire

Présentation Générale

Codage

Fitness

Sélection

Croisement

Mutation

Autres paramètres

Cycle de Base

Présentation  
Générale

Codage

Fitness

Sélection

Croisement

Mutation

Autres paramètres

Cycle de Base

# Sommaire

Présentation Générale

Codage

Fitness

Sélection

Croisement

Mutation

Autres paramètres

Cycle de Base

Présentation  
Générale

Codage

Fitness

Sélection

Croisement

Mutation

Autres paramètres

Cycle de Base

## Pourquoi l'évolution comme principe algorithmique

Mécanismes bien adaptés :

- ▶ aux problèmes nécessitant des ressources de calcul importantes
- ▶ aux programmes qui doivent être adaptatif (trajectoire robot)
- ▶ aux programmes trop complexes pour être programmés à la main

## Principes de l'évolution

- ▶ Recherche parmi un nombre de possibilités gigantesque
- ▶ Conception de solutions innovantes à des problèmes complexes
- ▶ Méthodes de recherche massivement parallèles

## Définitions

- ▶ Individu/chromosome/séquence : une solution potentielle au problème
- ▶ Population : un ensemble de chromosomes ou de points de l'espace de recherche
- ▶ Environnement : l'espace de recherche
- ▶ Fonction de fitness : fonction (positive) que l'on cherche à maximiser en général (on pourrait très bien minimiser)

## Concept

- ▶ Les individus soumis à l'évolution sont des solutions plus ou moins performantes à un problème donné.
- ▶ A chaque génération, une succession d'opérations est appliquée pour engendrer une nouvelle population.
- ▶ Les individus résultants sont les enfants. Les individus utilisés par un opérateur sont les parents (transmission du patrimoine génétique).

## Opérateurs de sélection

A chaque génération, les individus se reproduisent, survivent ou disparaissent sous l'action des opérateurs de sélection :

- ▶ La sélection pour la reproduction (combien de fois un individu sera reproduit en une génération)
- ▶ La sélection pour le remplacement (disparition d'individus)

## Sélection

Darwin : selection des meilleurs individus :

- ▶ Valeur de performance associée à chaque individu (fitness function) selon l'objectif.
- ▶ Transmission de ses meilleurs caractéristiques à ses descendants.

## Opérateurs de variation

Améliorer la qualité des solutions :

- ▶ par mutation : transformation d'un individu en un autre
- ▶ par croisement (crossover) : engendre un ou plusieurs enfants à partir de deux parents (reproduction sexuée)

## Algorithme

1. Pour reproduction : sélection des parents parmi une population de  $\mu$  individus
2. Croisements et mutations à partir des individus sélectionnés pour engendrer  $\lambda$  enfants
3. Evaluation et performance des enfants
4. Sélection pour la survie de  $\mu$  individus parmi les  $\lambda$  enfants et  $\mu$  parents ou uniquement parmi les  $\lambda$  enfants selon les paramètres choisis, afin de générer la population suivante.

Présentation  
Générale

Codage

Fitness

Sélection

Croisement

Mutation

Autres paramètres

Cycle de Base

## Définition

Nous appelons séquence (chromosome, individu)  $A$  de longueur  $l(A)$  une suite  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_l\}$  avec  $\forall i \in [1, l], a_i \in V$  où  $V$  est un codage.

# Sommaire

Présentation Générale

Codage

Fitness

Sélection

Croisement

Mutation

Autres paramètres

Cycle de Base

Présentation  
Générale

**Codage**

Fitness

Sélection

Croisement

Mutation

Autres paramètres

Cycle de Base

## Codage des solutions (chromosomes)

Structure de données codant les gènes :

- ▶ codage binaire : chaîne de bits :  
codage historique parfois peu naturel pour certains problèmes.
- ▶ codage à caractères multiples :  
codage linéaire constitué de différents types de caractères
- ▶ codage arborescent :  
codage autorisant des solutions de taille infinie

Présentation  
Générale

Codage

Fitness

Sélection

Croisement

Mutation

Autres paramètres

Cycle de Base

# Exemple de codage binaire

## Codage classique

Sur 4 bits,

- ▶ on code la valeur 1 par 0001
- ▶ on code la valeur 2 par 0010
- ▶ ces deux valeurs sont proches mais leur codage les éloigne (distance de Hamming de 2) :

$$d(x, y) = \sum_{i=1}^n |x_i - y_i|$$

## Codage de Gray

On garde toujours entre 2 valeurs consécutives une distance de 1 :

- ▶ valeur 1 : 0001
- ▶ valeur 2 : 0011
- ▶ valeur 3 : 0010
- ▶ valeur 4 : 0110
- ▶ etc ...

# Taille du codage

## Précision souhaitée

Si un chromosome doit représenter l'intervalle  $[a, b]$  avec une précision  $\Delta$ , il faut utiliser  $l = \log_2 \frac{b-a+\Delta}{\Delta}$  bits.

## Exemple

Si  $a = -100$ ,  $b = 100$  et  $\Delta = 10^{-4}$ , il faut 21 bits

Présentation  
Générale

Codage

Fitness

Sélection

Croisement

Mutation

Autres paramètres

Cycle de Base

# Sommaire

Présentation Générale

Codage

**Fitness**

Sélection

Croisement

Mutation

Autres paramètres

Cycle de Base

Présentation  
Générale

Codage

**Fitness**

Sélection

Croisement

Mutation

Autres paramètres

Cycle de Base

## Fonction de fitness

Nous appelons fitness d'une séquence  $A$  toute valeur positive que nous noterons  $f(A)$  (fonction de fitness).

En général, il s'agit d'une valeur réelle caractérisant l'adaptation de la solution à son environnement. Son calcul dépend fortement du codage choisi pour représenter les solutions.

# Sommaire

Présentation Générale

Codage

Fitness

**Sélection**

Croisement

Mutation

Autres paramètres

Cycle de Base

Présentation  
Générale

Codage

Fitness

**Sélection**

Croisement

Mutation

Autres paramètres

Cycle de Base

## Roulette

Choix aléatoire : individu a une probabilité d'être choisi proportionnelle à sa qualité. La probabilité d'un chromosome  $x$  sur une population  $\pi$  vaut :

$$p(x) = \frac{f(x)}{\bar{f}}$$

avec

$$\bar{f} = \sum_{x \in \pi} f(x)$$

Présentation  
Générale

Codage

Fitness

**Sélection**

Croisement

Mutation

Autres paramètres

Cycle de Base

# Sélection par tournoi

## Tournoi déterministes

Sélection aléatoire de  $k$  individus, sélection du meilleur

- ▶ autant de tournois que d'individus sélectionné
- ▶ tirage avec ou sans remise
- ▶ pression de sélection ajustée par le paramètre  $k$

## Tournoi binaire stochastique

Sur 2 individus en compétition, le meilleur gagne avec une probabilité comprise entre 0,5 et 1.

Présentation  
Générale

Codage

Fitness

Sélection

Croisement

Mutation

Autres paramètres

Cycle de Base

## Pression de sélection

- ▶ Algorithme dans un optimum local.
- ▶ Pression sélective quasi-inexistante : dérive génétique.
- ▶ Ajustements dynamiques de la fonction de performance

# Sélections pour le remplacement

## Remplacement générationnel

Génération  $g + 1$  constituée uniquement des enfants  $\mu = \lambda$ .

En général, sélection des meilleurs,  $\lambda > \mu$

# Sommaire

Présentation Générale

Codage

Fitness

Sélection

**Croisement**

Mutation

Autres paramètres

Cycle de Base

Présentation  
Générale

Codage

Fitness

Sélection

**Croisement**

Mutation

Autres paramètres

Cycle de Base

## Exemple avec un codage binaire

Création d'un nouvel individu à partir de 2 individus par échange de chromosomes entre individus

- ▶ Sélection des deux individus parents
- ▶ Détermination de 1 ou plusieurs points de croisement (entre 1 et  $\text{longueur}(\text{individu}) - 1$ )
- ▶ Selon une valeur probabiliste, échange des segments finaux des 2 parents (dans le cas d'un seul point de croisement) afin de générer 2 nouveaux individus (enfants)

# Sommaire

Présentation Générale

Codage

Fitness

Sélection

Croisement

**Mutation**

Autres paramètres

Cycle de Base

Présentation  
Générale

Codage

Fitness

Sélection

Croisement

**Mutation**

Autres paramètres

Cycle de Base

# Opérateurs de mutation

## Exemple avec un codage binaire

Tirage aléatoire d'un (ou plusieurs) gène du chromosome et remplacement par son inverse selon une certaine probabilité.

## Rôle dans l'algorithme

- ▶ Permet d'effectuer une recherche locale
- ▶ Permet de sortir d'un optimum local
- ▶ Permet d'atteindre potentiellement tous les points de l'espace de recherche

Présentation  
Générale

Codage

Fitness

Sélection

Croisement

**Mutation**

Autres paramètres

Cycle de Base

# Sommaire

Présentation Générale

Codage

Fitness

Sélection

Croisement

Mutation

**Autres paramètres**

Cycle de Base

Présentation  
Générale

Codage

Fitness

Sélection

Croisement

Mutation

**Autres paramètres**

Cycle de Base

## Paramétrisation de l'algorithme génétique

- ▶ Taille de la population  $N$  : si  $N$  est trop grand le temps de calcul peut être trop long, s'il est trop petit il y a un risque de convergence trop rapide vers un mauvais chromosome.
- ▶ Probabilité de croisement  $p_c$ . Elle dépend de la forme de la fonction de fitness. Plus elle est élevée, plus la population subit des changements importants (en général entre 0,5 et 0,9)
- ▶ Probabilité de mutation  $p_m$ . Taux généralement faible afin d'éviter de converger vers une solution sous-optimale.

Présentation  
Générale

Codage

Fitness

Sélection

Croisement

Mutation

Autres paramètres

Cycle de Base

# Sommaire

Présentation Générale

Codage

Fitness

Sélection

Croisement

Mutation

Autres paramètres

Cycle de Base

Présentation  
Générale

Codage

Fitness

Sélection

Croisement

Mutation

Autres paramètres

Cycle de Base

## Algorithme

- ▶ Initialisation : une population initiale de  $N$  chromosomes est tirée aléatoirement.
- ▶ Evaluation : chaque chromosome est décodé, puis évalué.
- ▶ Création d'une nouvelle population de  $N$  chromosomes :
  - ▶ Sélection : création d'une nouvelle population de  $M$  chromosomes :  $M < N$  (souvent  $M = N/2$ ) par la méthode de sélection appropriée.
  - ▶ Reproduction : possibilité de croisement et mutation au sein de la nouvelle population. On retrouve une population de  $N$  chromosomes.
- ▶ Retour à la phase d'évaluation jusqu'à l'arrêt de l'algorithme (critères identiques aux autres heuristiques : temps, nombre d'itération, convergence ...).

Présentation  
Générale

Codage

Fitness

Sélection

Croisement

Mutation

Autres paramètres

Cycle de Base