

Algorithmes génétiques - Introduction

Question

Comment l'évolution produit-elle des organismes de mieux en mieux adaptés à leur environnement?

Remarques

- Problème d'optimisation difficile dû à une grande complexité qui empêche la découverte d'un optimum.
- En conséquence, il faut tester l'environnement avec différents organismes.
- L'information acquise permet ensuite de se concentrer sur les organismes les plus performants.

En résumé

- Exploration: permet de recueillir des informations sur l'environnement.
- Exploitation: permet de tirer avantage des informations recueillies.
- Adaptation, Évolution:
compromis entre exploration et exploitation.

Adaptation

Caractéristiques

- Modification progressive d'une ou plusieurs structures (chromosomes) au sein d'un organisme.
- Opérateurs (mutation, recombinaison) qui assurent la modification des structures.
- Plan d'adaptation (algorithme génétique) qui produit des structures menant à des organismes qui sont de mieux en mieux adaptés à leur environnement.
- Le plan détermine la séquence des opérateurs qui doivent être appliqués aux structures.
- Au début, le plan possède des informations incomplètes sur son environnement, et sur les structures menant à des organismes mieux adaptés à cet environnement. Afin de réduire cette incertitude, le plan doit tester de nouvelles structures.
- La capacité d'adaptation à l'environnement provient donc de la possibilité de générer et tester des structures différentes et d'observer la performance des organismes résultants.

En résumé

- Le mécanisme d'adaptation repose sur les éléments suivants
 - un environnement
 - des structures
 - des opérateurs
 - un plan d'adaptation
 - une mesure de performance ou d'adaptation ("fitness")

Adaptation

Obstacles

- L'ensemble des structures possibles est très grand.
- Chaque structure est très complexe et se divise en de nombreuses composantes. Il est peut être difficile de déterminer quelles sont les composantes responsables d'une bonne performance (blocs de construction - "building blocks").
- La mesure de performance est complexe (multidimensionnelle, multimodale, non linéaire, etc.) avec de nombreux paramètres interdépendants.
- La mesure de performance peut varier dans le temps et l'espace (dû à un environnement changeant).

Un système adaptatif artificiel simple

- Grille de senseurs de taille $a \times b$.
- Chaque senseur est activé si la quantité de lumière qui l'atteint dépasse un certain seuil; autrement le senseur demeure inactivé.
- Configuration des senseurs au temps t : $s_i(t)$, $i = 1, \dots, ab$ et $s_i(t) = 0$ ou 1 .
- Si on dénote C l'ensemble des configurations possibles, alors $|C| = 2^{ab}$.
- On suppose qu'un certain sous-ensemble C_1 de C correspond aux instances d'une certaine image (e.g., une forme X , incluant toutes les rotations et translations possibles).
- Le système adaptatif est un perceptron:

Il traite chacun des signaux d'entrée $s_i(t)$ en le multipliant par un poids w_i et il somme le tout:

$$\sum_{i=1, \dots, ab} w_i s_i(t)$$

Si cette somme excède un certain seuil T , le système indique que la configuration appartient à C_1 , sinon elle appartient au complément C_0 (mais le système peut être dans l'erreur).

- Tâche: le système doit modifier ses poids (s'adapter) de façon à permettre la meilleure discrimination possible entre les configurations qui appartiennent à C_1 et celles qui appartiennent au complément C_0 .
- Mesure de performance: à chaque vecteur de poids, on associe la proportion de configurations correctement classifiées.

$$f: W^{ab} \rightarrow [0,1].$$

Un système adaptatif artificiel simple

- Stratégie non adaptative: on génère aléatoirement un certain nombre de vecteurs de poids et on retient le meilleur.
- Stratégie adaptative: l'ordre dans lequel les vecteurs de poids sont générés et testés dépend de la performance des vecteurs de poids précédents.

Exemple de stratégie adaptative

On suppose que les valeurs des poids doivent être choisies dans un ensemble ne contenant que k valeurs différentes. Par exemple, si $k = 10$, $a = b = 10$, alors $|W^{ab}| = 10^{100}$.

On suppose que les k valeurs sont triées en ordre croissant et sont uniformément espacées.

Soit l'algorithme suivant:

0. Si la configuration présentée au temps t est correctement reconnue, alors on ne fait rien.
1. Si la configuration présentée au temps t est affectée à C_0 alors qu'elle aurait dû être affectée à C_1 :
pour tout i tel que $s_i(t) = 1$, remplacer le poids w_i courant par le poids suivant $w_i + \Delta$. Les poids associés aux senseurs inactifs sont inchangés.
2. Si la configuration présentée au temps t est affectée à C_1 alors qu'elle aurait dû être affectée à C_0 :
pour tout i tel que $s_i(t) = 1$, remplacer le poids w_i courant par le poids suivant $w_i - \Delta$. Les poids associés aux senseurs inactifs sont inchangés.

Un système adaptatif artificiel simple

- Environnement: sous-ensemble de configurations C_1 , qui correspond à un environnement donné parmi les 2^{ab} environnements possibles.
- Structures: vecteurs de poids
- Opérateurs: remplacement d'un poids par le poids suivant.
 - opérateur 1: poids plus petit
 - opérateur 2: poids plus grand
- Plan: algorithme de décision permettant de choisir entre l'opérateur 1 ou l'opérateur 2.
- Mesure de performance: $f: W^{ab} \rightarrow [0,1]$

Un système adaptatif naturel complexe

Système génétique

- Les chromosomes (structures) sont constitués de gènes.
- Un gène peut prendre différentes valeurs (allèles).
- Chez les vertébrés, chaque chromosome est constitué de dizaines de milliers de gènes, chacun capable de prendre différentes valeurs. Le nombre de structures possibles est donc immense.
- génotype: code génétique
- phénotype: expression physique du code génétique
- établir une relation entre une caractéristique physique souhaitable et un gène ou groupe de gènes est très complexe (dû à des interactions entre les gènes).
- En conséquence, on ne s'intéresse pas en général à un gène particulier, mais plutôt à des ensembles de gènes localisés sur un chromosome dont les valeurs sont associées à des organismes performants (schéma, bloc de construction).

Un système adaptatif naturel complexe

Plan de reproduction pour une population d'organismes

- Structures: chromosomes
- Opérateurs: reproduction (copie), mutation, croisement
- Si on utilise seulement la reproduction, on maintient la performance (i.e., on conserve les acquis), mais on ne peut espérer d'évolution. Si on utilise seulement des mutations aléatoires, on crée de nouveaux organismes, mais ceux-ci ont de fortes chances d'être moins performants que leurs prédécesseurs.
- D'où l'utilité d'un opérateur de croisement qui permet de redistribuer des groupes de gènes performants au sein de la population.

Exemple de plan

Répéter pour un nombre fini de générations:

- Phase 1.** Les organismes ayant les mesures de performance les plus élevées se reproduisent (i.e., le taux de reproduction est proportionnel à la performance).
- Phase 2.** Les opérateurs de croisement et de mutation sont appliqués aux copies, de façon à produire des enfants qui diffèrent de leurs parents.

Un système adaptatif naturel complexe

Remarques

- L'historique d'une population est entièrement contenue dans la génération courante (et le "chemin" ayant mené à cette population n'importe pas).
- Les groupes d'allèles associés aux organismes les plus performants se propagent dans les générations suivantes.
- Si l'association entre un groupe d'allèles et la mesure de performance est fortuite, cette association disparaîtra dans les générations suivantes.
- Ainsi, on peut espérer qu'au fil des générations, seuls les groupes d'allèles qui sont véritablement responsables d'une meilleure performance sont conservés.
- De plus, en combinant sur un seul chromosome des groupes d'allèles performants provenant de deux chromosomes différents (via l'opérateur de croisement), on peut espérer créer des enfants qui seront plus performants que leurs parents.