

TP sur les algorithmes génétiques

Informatique bioinspirée - Carole Knibbe

13 janvier 2017

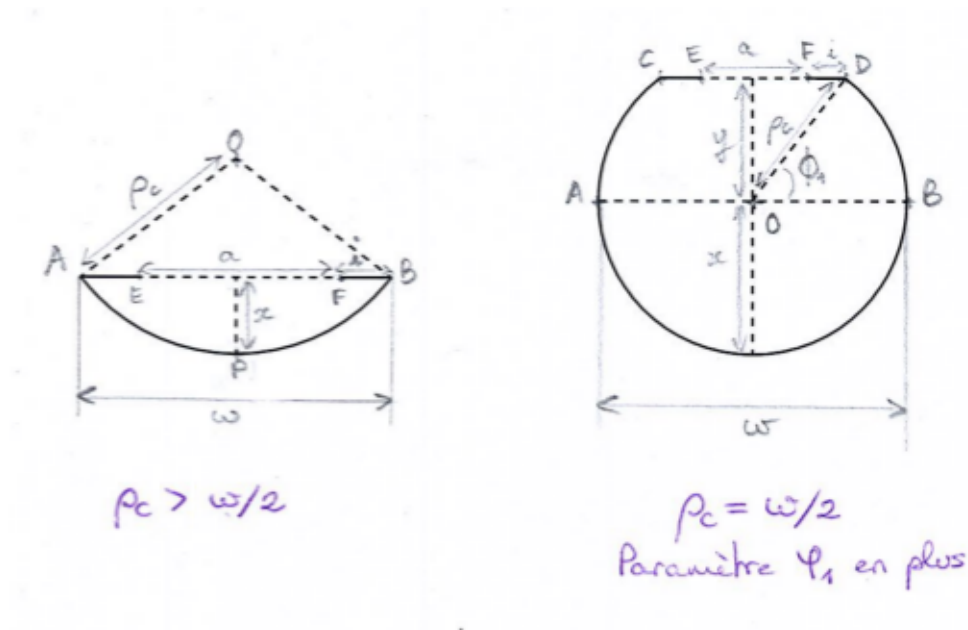
L'un des arguments qui avaient été opposés à la théorie de l'évolution de Darwin est que certains organes, comme l'oeil, semblent trop complexes pour résulter d'un "simple" processus itératif de mutation et de sélection. Dans l'article fourni ci-après [1], un scénario est proposé pour faire évoluer un oeil (avec ses propriétés géométriques et optiques) à partir de cellules photoréceptrices. Cet article vise à montrer qu'il est finalement assez facile de faire évoluer un oeil. Toutefois, cette étude n'a pas réellement simulé le processus évolutif : les auteurs ont simplement imaginé une séquence d'événements qui permet d'avoir le résultat désiré. L'objectif de ce TP est de simuler le processus évolutif à l'aide d'un algorithme génétique, afin de tester si l'on obtient effectivement la trajectoire évolutive imaginée dans [1] et si d'autres trajectoires sont possibles.

1 Travail préliminaire

Lisez l'article [1].

2 Algorithme génétique

Programmez, dans le langage de votre choix, un algorithme génétique permettant de faire évoluer une population d'"individus", où chaque "individu" code les paramètres d'un oeil selon la modélisation suivante :



En outre, l'oeil peut comporter une lentille sphérique de rayon $a/2$ centrée sur le centre de l'ouverture (milieu du segment [EF]). Au sein de cette lentille, l'indice de réfraction n suit un gradient allant de 1.35 (à l'extérieur) à une certaine valeur n_0 .

2.1 Constantes

- Tout au long de l'évolution, la largeur maximale de l'oeil (distance AB) reste égale à $w = 1.5$ cm.
- L'intensité lumineuse I sera prise égale à e^6 .

2.2 Paramètres à faire évoluer

- Rayon de courbure ρ_c : peut varier dans la plage $[w/2, 10000]$
- Taille de l'iris i : peut varier dans la plage $[0, w/2[$
- Angle Φ_1 : peut varier dans la plage $[0, \pi/2[$
- Indice de réfraction n_0 au centre de la lentille : peut varier dans la plage $[1.35, 1.55]$

Contrairement à ce qui se fait habituellement avec les algorithmes génétiques, nous n'allons pas tirer au hasard les valeurs initiales de ces paramètres. Comme nous voulons tester quelles trajectoires évolutives sont possibles à partir de l'état initial décrit dans [1], nous prendrons les valeurs initiales suivantes, pour tous les individus de la population initiale :

- Rayon de courbure initial $\rho_c = 10000$
- Taille initiale de l'iris $i = 0$
- Angle Φ_1 initial : $\Phi_1 = 0$
- Indice initial de réfraction au centre de la lentille : $n_0 = 1.35$

2.3 Grandeurs calculables à partir des paramètres qui évoluent

2.3.1 Si $\rho_c > w/2$

- Profondeur : $p = \rho_c - \sqrt{\rho_c^2 - \frac{w^2}{4}}$
- Ouverture : $a = w - 2i$
- Rapport r_1 entre le rayon de la lentille ($a/2$) et sa distance focale : r_1 se déduit de n_0 grâce à la table fournie dans le fichier `indice_refraction_facile.dat`.
- Angle de vue : $\theta = 2 \arctan\left(\frac{a}{2p}\right)$ sans lentille ($n_0 = 1.35$), ou $\theta = 2 \arcsin\left(\frac{\frac{r_1^2 a}{2p} - \sqrt{1 + r_1^2 - \frac{r_1^2 a^2}{4p^2}}}{1 + r_1^2}\right)$ avec lentille ($n_0 > 1.35$)

2.3.2 Si $\rho_c = w/2$

- Profondeur : $p = \frac{w}{2}(1 + \sin \Phi_1)$
- Ouverture : $a = w \cos \Phi_1 - 2i$
- Rapport r_1 entre le rayon de la lentille ($a/2$) et sa distance focale : r_1 se déduit de n_0 grâce à la table fournie dans le fichier `indice_refraction_facile.dat`.
- Angle de vue : $\theta = 2 \arctan\left(\frac{a}{2p}\right)$ sans lentille ($n_0 = 1.35$), ou $\theta = 2 \arcsin\left(\frac{\frac{r_1^2 a}{2p} - \sqrt{1 + r_1^2 - \frac{r_1^2 a^2}{4p^2}}}{1 + r_1^2}\right)$ avec lentille ($n_0 > 1.35$)

2.4 Fonction de fitness

On testera tout d'abord la validité des individus. En effet, certaines formules sont invalides en dehors de certaines plages de paramètres. Vous supposerez que les configurations suivantes sont létales (probabilité de reproduction = 0) :

- $\Phi_1 \neq 0$ et $\rho_c \neq w/2$
- $\Phi_1 \neq 0$ et $i > w \cos(\Phi_1)/2$
- $n_0 = 1.35$ et $\Phi_1 = 0$ et $i > \frac{1}{2}(w - \sqrt{\frac{e}{0.746\sqrt{I}}})$
- $n_0 = 1.35$ et $\Phi_1 \neq 0$ et $i > \frac{1}{2}(w \cos(\Phi_1) - \sqrt{\frac{e}{0.746\sqrt{I}}})$

- $n_0 \neq 1.35$ et ($p > r_1 a/2$ ou $p < a/2$)

Pour les individus valides, la fitness dépendra de la résolution spatiale de l'oeil, comme dans [1],.

- Pour un oeil sans lentille ($n_0 = 1.35$), la résolution est définie par la relation :

$$\nu = 0.375 \frac{p}{a} \sqrt{\ln(0.746 a^2 \sqrt{I})}$$

- Pour un oeil avec lentille ($n_0 > 1.35$), la résolution sera définie par la relation :

$$\nu = \frac{1}{\theta}$$

2.5 Trajectoires évolutives

Une fois que vous aurez choisi votre taille de population, vos taux de mutation et de crossover, faites tourner plusieurs fois votre algorithme avec différentes graines pour le générateur aléatoire. Pour chaque run, sauvegardez dans un fichier l'évolution des paramètres, des grandeurs et de la fitness en fonction de la génération, pour la moyenne de la population et pour le meilleur individu. Les trajectoires obtenues sont-elles similaires à celle imaginée dans [1] ?

3 Bonus

Réalisez une vidéo montrant l'évolution de l'oeil (visualisation graphique du meilleur oeil à chaque génération).

Références

- [1] Nilsson, D. E., Pelger, S. (1994). A pessimistic estimate of the time required for an eye to evolve. *Proceedings of the Royal Society of London B : Biological Sciences*, 256(1345), 53-58.