

Modélisation d'un Banc de Poissons

Introduction

Pour ce projet, nous vous proposons de modéliser un banc de poissons à l'aide de particules en cinq parties distinctes, chacune abordant un aspect clé de leur comportement collectif. <https://www.youtube.com/watch?v=Ch7VxxTBe1c>

Partie 1 : Mouvement Aléatoire

Pour commencer, nous allons simuler le mouvement aléatoire des poissons. Ce mouvement est basé sur la position actuelle et la vitesse de chaque poisson, et il est mis à jour à chaque intervalle de temps dt .

Objectifs

- Comprendre comment simuler un mouvement aléatoire en 3D.
- Mettre en œuvre une mise à jour de la position des poissons basée sur leur vitesse et la durée de l'intervalle de temps.

Explication

Le mouvement est modélisé par l'équation suivante :

$$\text{position}(t + \Delta t) = \text{position}(t) + \text{vitesse}(t) \times \Delta t$$

Partie 2 : Propagation des Mouvements - L'effet Trafalgar

Dans cette partie, nous allons explorer comment les changements de direction se propagent dans un groupe de poissons. L'effet Trafalgar décrit comment les poissons réagissent aux mouvements de leurs voisins les plus proches. Contrairement à une organisation centralisée avec un leader unique, chaque poisson ajuste son comportement en réponse à ses voisins immédiats, créant une onde de changement à travers le banc.

Objectifs

Comprendre le mécanisme de propagation des comportements dans un banc de poissons.

Implémenter un algorithme de propagation des changements de direction en fonction des voisins proches.

Explications

L'effet Trafalgar repose sur l'idée que chaque poisson réagit aux mouvements de ses voisins proches, qui à leur tour réagissent de la même manière, créant une vague de comportement qui se propage à travers le banc. Pour modéliser cela, chaque poisson doit pouvoir identifier ses voisins proches et ajuster sa vitesse et sa direction en conséquence.

Étapes à suivre

1. **Sélection du leader** : Un poisson leader est sélectionné aléatoirement et son comportement sera propagé aux autres poissons.
2. **Calcul des distances** : Pour chaque poisson, calculez la distance entre lui et les autres poissons pour identifier les voisins proches.
3. **Propagation du comportement** : Si un poisson est assez proche d'un poisson contaminé (leader ou contaminé par le leader), il adopte une variation de vitesse similaire et change de couleur pour indiquer qu'il est contaminé.

Sélection du leader

Le leader est un poisson sélectionné aléatoirement parmi le groupe. Une fois sélectionné, il adopte un comportement distinct (par exemple, une couleur différente ou une taille modifiée) pour le distinguer des autres poissons.

$$\text{leader} = \text{choix_aléatoire}(\text{particules})$$

Calcul des distances

Pour propager le comportement, nous devons calculer la distance entre chaque poisson et ses voisins contaminés. Utilisons la distance euclidienne pour cela :

$$\text{distance}(p_i, p_j) = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2}$$

où p_i et p_j sont les positions des poissons i et j .

Propagation du comportement

Si la distance entre un poisson p et un poisson contaminé est inférieure à une certaine limite, alors p adopte une variation de vitesse similaire à celle du poisson contaminé et change de couleur pour indiquer qu'il est maintenant contaminé.

Formellement :

a. **Trouver les voisins proches contaminés :**

$$\text{voisins_proches}(p) = \{c \in \text{contaminés} \mid \text{distance}(p, c) < \text{limite}\}$$

b. **Adopter le comportement :**

$$\text{si } \exists c \in \text{voisins_proches}(p), \text{ alors } \begin{cases} p.\text{vitesse} \leftarrow p.\text{vitesse} + \text{variation_aléatoire} \\ p.\text{couleur} \leftarrow \text{'vert'} \end{cases}$$

Mise à jour des positions

À chaque itération, la position de chaque poisson est mise à jour en fonction de sa vitesse. Si un poisson atteint les limites de la zone, sa direction est inversée pour le maintenir dans la zone.

Formellement :

a. **Mise à jour de la position :**

$$\text{position}(t + \Delta t) = \text{position}(t) + \text{vitesse}(t) \times \Delta t$$

b. **Vérification des frontières :**

si $\text{position}[i] < -\text{zone_limite}$ ou $\text{position}[i] > \text{zone_limite}$, alors $\text{vitesse}[i] \leftarrow -\text{vitesse}[i]$

Propagation périodique

La propagation du comportement se fait périodiquement, par exemple, tous les 5 cycles d'itérations.

Partie 3 : Règles Comportementales de Aoki

En 1982, Ichiro Aoki a proposé un modèle simple mais puissant pour expliquer les mouvements coordonnés des bancs de poissons, basé sur trois règles comportementales principales :

- **Évitement (Répulsion) :** Les poissons évitent les autres poissons qui sont trop proches.
- **Alignement :** Les poissons s'alignent avec ceux qui sont à une distance intermédiaire.
- **Attraction :** Les poissons se rapprochent de ceux qui sont plus éloignés mais toujours dans leur champ de perception.

Ces règles permettent de modéliser un comportement décentralisé, où chaque poisson réagit localement aux poissons autour de lui, générant des mouvements globaux coordonnés.

Objectifs

Implémenter les trois règles comportementales de Aoki (évitement, alignement, attraction).

Observer comment ces règles simples peuvent générer des mouvements coordonnés complexes.

Étapes à suivre

- I. **Calcul des distances et identification des voisins** : Pour chaque poisson, nous devons identifier les voisins dans les trois zones de comportement : répulsion, alignement et attraction. Utilisons un arbre de recherche efficace (KDTree) pour cette tâche.
- II. **Application des forces de comportement** : Pour chaque voisin identifié, appliquez la force appropriée en fonction de la distance : répulsion, alignement ou attraction.
- III. **Mise à jour des vitesses** : Combinez les forces de répulsion, d'alignement et d'attraction pour calculer la nouvelle vitesse de chaque poisson.

Formules et Formalisme Mathématique

- **Distance Euclidienne** : La distance entre deux poissons i et j est calculée comme suit :

$$\text{distance}(p_i, p_j) = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2}$$

- **Force de Répulsion** : Si la distance est inférieure au rayon de répulsion ($R_{\text{repulsion}}$), appliquez une force de répulsion :

$$\vec{F}_{\text{repulsion}} = -k_{\text{repulsion}} \cdot \frac{\vec{d}}{\|\vec{d}\|}$$

où $\vec{d} = p_i - p_j$.

- **Force d'Alignement** : Si la distance est entre le rayon de répulsion et le rayon d'alignement ($R_{\text{repulsion}} \leq \text{distance} < R_{\text{alignment}}$), alignez la vitesse avec celle des voisins :

$$\vec{F}_{\text{alignment}} = \frac{1}{N_{\text{alignment}}} \sum_j \vec{v}_j$$

où $N_{\text{alignment}}$ est le nombre de voisins dans le rayon d'alignement.

- **Force d'Attraction** : Si la distance est entre le rayon d'alignement et le rayon d'attraction ($R_{\text{alignment}} \leq \text{distance} < R_{\text{attraction}}$), appliquez une force d'attraction :

$$\vec{F}_{\text{attraction}} = k_{\text{attraction}} \cdot \frac{\vec{d}}{\|\vec{d}\|}$$

Partie 4 : Influence de la Densité

Dans cette partie, nous allons explorer comment la densité du banc de poissons affecte le nombre de voisins influents. Contrairement au modèle initial des cercles concentriques, des études montrent que les poissons sont principalement influencés par leurs six voisins les plus proches, indépendamment de la densité globale du banc.

Objectifs

Comprendre l'impact de la densité sur le comportement collectif.

Limiter l'influence aux six voisins les plus proches et observer les résultats.

Étapes à suivre

- A. **Trouver les voisins proches** : Pour chaque poisson, nous devons trouver ses six voisins les plus proches à l'aide d'un KDTree pour une recherche efficace.
- B. **Application des forces comportementales** : Appliquer les forces de répulsion, d'alignement et d'attraction uniquement sur les six voisins les plus proches.
- C. **Mise à jour des vitesses** : Calculer la nouvelle vitesse de chaque poisson en fonction des forces appliquées par ses six voisins les plus proches.

Détails Mathématiques et Formalisme

Recherche des Voisins Proches avec KDTree

Un KDTree est une structure de données efficace pour la recherche de voisins proches dans un espace 2D.

1. *Construisez un KDTree avec les positions des poissons.*
2. *Pour chaque poisson, recherchez les sept voisins les plus proches (le premier étant le poisson lui-même).*

Filtrage des Voisins

Excluez le premier voisin de la liste (qui est le poisson lui-même). Les six voisins restants sont ceux qui influencent le poisson.

Calcul des Forces de Comportement pour les 6 Voisins

Appliquez les forces de répulsion, d'alignement et d'attraction en fonction de la distance entre le poisson et ses six voisins.

Mise à Jour des Vitesses

La nouvelle vitesse d'un poisson est la somme de sa vitesse actuelle et des forces appliquées par

$$\vec{v}_{\text{nouvelle}} = \vec{v}_i + \vec{F}_{\text{repulsion}} + \vec{F}_{\text{alignement}} + \vec{F}_{\text{attraction}}$$

Normalisation de la Vitesse Assurez-vous que la nouvelle vitesse a une magnitude constante

$$\vec{v}_{\text{nouvelle}} = V \cdot \frac{\vec{v}_{\text{nouvelle}}}{\|\vec{v}_{\text{nouvelle}}\|}$$

Explication des Calculs et Algorithmes

1. **Construction du KDTree et Recherche des Voisins** : Utilisez un KDTree pour rechercher efficacement les six voisins les plus proches pour chaque poisson. Cela réduit la complexité du calcul par rapport à une recherche brute force.
2. **Application des Forces de Comportement** : Pour chaque poisson, calculez les forces de répulsion, d'alignement et d'attraction en fonction des distances aux six voisins les plus proches.
3. **Mise à Jour des Vitesses** :
 - Calculez la nouvelle vitesse de chaque poisson comme la somme de sa vitesse actuelle et des forces appliquées par ses six voisins les plus proches.
 - Normalisez la nouvelle vitesse pour maintenir une magnitude constante V .
4. **Mise à Jour des Positions** :
 - Mettez à jour la position de chaque poisson en ajoutant la vitesse mise à jour multipliée par le temps dt .
 - Vérifiez les frontières de la zone et appliquez une téléportation aux frontières si nécessaire pour maintenir les poissons dans la zone.

Partie 5 : Réseau d’Influence

Dans cette partie, nous allons modéliser comment les comportements se propagent dans le banc de poissons en utilisant un réseau d’influence basé sur les connexions visuelles. Chaque poisson est influencé par ceux qu’il peut voir, créant un réseau dynamique basé sur les connexions visuelles.

Objectifs

Construire un réseau d’influence en fonction des connexions visuelles.

Simuler la propagation des comportements en utilisant ce réseau.

Étapes à suivre

- I. **Détection des particules visibles** : Pour chaque poisson, détecter les poissons visibles dans son cône de vision à l’aide d’un lancer de rayons.
- II. **Application des forces comportementales** : Appliquer les forces de répulsion, d’alignement et d’attraction en fonction des poissons visibles.
- III. **Mise à jour des vitesses** : Calculer la nouvelle vitesse de chaque poisson en fonction des forces appliquées par les poissons visibles.

Détails Mathématiques et Formalisme

- **Détection des Particules Visibles** : Pour chaque poisson i , lancer des rayons dans un cône de vision pour détecter les poissons visibles. Le cône de vision est défini par un angle (ici 60°) autour de la direction de déplacement du poisson.

$$\text{visible_particles} = \{p_j \mid \text{angle}(\vec{d}, \vec{v}_i) < \theta\}$$

où \vec{d} est le vecteur distance entre p_i et p_j , \vec{v}_i est la direction de déplacement de p_i , et θ est l’angle du cône de vision.

- **Lancer de Rayons dans le Cône de Vision** : Générer des directions aléatoires dans le cône de vision pour détecter les particules visibles.

$$\text{direction_aléatoire} = \text{rotation_matrix}(\text{axis}, \text{angle}) \cdot \vec{v}_i$$

- **Application des Forces de Comportement** : Appliquer les forces de répulsion, d'alignement et d'attraction en fonction des particules visibles.
- **Mise à Jour des Vitesses** : La nouvelle vitesse d'un poisson est la somme de sa vitesse actuelle et des forces appliquées par les particules visibles.

Explication des Calculs et Algorithmes

1. **Détection des Particules Visibles** : Pour chaque poisson, générer des rayons dans un cône de vision de 60° autour de sa direction de déplacement. Détecter les particules visibles en vérifiant si elles se trouvent dans ce cône de vision.
2. **Calcul de l'Angle de Vision** : Calculer l'angle entre la direction de déplacement du poisson et la direction vers une autre particule. Si cet angle est inférieur à 30° (demi-angle du cône de 60°), la particule est considérée comme visible.
3. **Application des Forces de Comportement** :
 - **Répulsion** : Appliquer une force de répulsion pour éviter les collisions si la distance est inférieure à $R_{\text{repulsion}}$.
 - **Alignement** : Aligner la vitesse avec celle des voisins visibles si la distance est inférieure à $R_{\text{alignment}}$.
 - **Attraction** : Appliquer une force d'attraction pour rapprocher les poissons visibles.
4. **Mise à Jour des Vitesses** :
 - Calculer la nouvelle vitesse de chaque poisson comme la somme de sa vitesse actuelle et des forces appliquées par les particules visibles.
 - Normaliser la nouvelle vitesse pour maintenir une magnitude constante V .

Sources

Ci dessous, quelques études sur le comportement collectif des animaux.

References

- [1] Aoki, Ichiro, *A Simulation Study on the Schooling Mechanism in Fish*, NIPPON SUISAN GAKKAISHI, Volume 48, Number 8, pages 1081–1088, 1982.
- [2] Ballerini, M., Cabibbo, N., Candelier, R., Cavagna, A., Cisbani, E., Giardinà, I., et al., *Interaction ruling animal collective behavior depends on topological rather than metric distance: Evidence from a field study*, Proceedings of the National Academy of Sciences, Volume 105, Number 4, pages 1232–1237, 2008. <https://www.pnas.org/content/105/4/1232>
- [3] Rosenthal, S.B., Twomey, C.R., Hartnett, A.T., Wu, H.S., Couzin, I.D., *Revealing the hidden networks of interaction in mobile animal groups allows prediction of complex behavioral contagion*, Proceedings of the National Academy of Sciences, Volume 112, Number 15, pages 4690–4695, 2015. <https://www.pnas.org/content/112/15/4690>
- [4] Strandburg-Peshkin, A., Twomey, C.R., Bode, N.W., Kao, A.B., Katz, Y., Ioannou, C.C., et al., *Visual sensory networks and effective information transfer in animal groups*, Current Biology, Volume 23, Number 17, pages R709–R711, 2013. [https://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822\(13\)00870-2](https://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822(13)00870-2)
- [5] Fouloscopie, *En 5 niveaux de difficulté : comment fonctionne un banc de poissons ?*, YouTube video, 2021. <https://www.youtube.com/watch?v=Ch7VxxTBe1c>