

“Flocking” Comportement autonome et de groupe

Animation et Multimedia

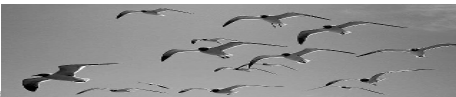
Contenu

- D’abord des oiseaux (boids)
 - Craig Reynolds
- Puis des poissons artificiels
 - Tu & Terzopoulos

Animation et Multimedia

Qu’est-ce qu’un “flock” ?

- Une première définition: un groupe d’oiseaux ou de mammifères qui se déplacent ensemble.
- Une meute de loups, un vol d’oies sauvages, un banc de poissons, un troupeau de bisons...



Animation

Qu’est-ce qu’un “flock” ?

- Un flock est un ensemble d’objets qui se déplacent de façon alignée et cohérente (groupée) et sans collision.
- Pour simuler un flock, il faut simuler le comportement individuel de chaque objet le composant:
 - La perception
 - Le contrôle du déplacement.

Animation et Multimedia

Qu’est-ce qu’un “flock” ?

- Les systèmes de particules sont trop simples pour modéliser ce type d’objets collectifs.
- Il faut les rendre plus complexes en y intégrant:
 - La perception locale,
 - La simulation physique,
 - Des comportements de groupe,
- L’animation du flock est le résultat d’interactions denses entre les comportement simples des individus qui le composent.

Animation et Multimedia

Pourquoi modéliser des groupes ?

- Les groupes sont difficiles à animer à partir des techniques d’animation usuelles.
 - Difficile de déterminer précisément le chemin de chaque membre du groupe.
 - Difficile de contrôler les contraintes de mouvement pour chaque membre du groupe.
 - Difficile d’éditer le mouvement de chaque membre du groupe.

Animation et Multimedia

Caractéristiques d'un flock

- Chaque individu veut rester proche du groupe et se déplacer de façon cohérente avec lui.
- Chaque individu veut éviter les collisions avec les autres individus proches.
- Chaque individu a une perception locale du groupe (interactions avec ses voisins proches).

Animation et Multimedia

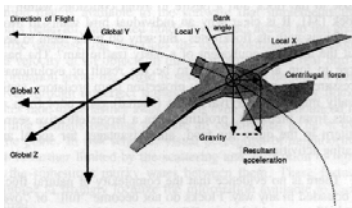
Les Boids

- "boids" vient de "bird-oids"
- Similaires aux particules, mais ont une orientation et une perception de leur environnement.
- Une forme géométrique leur est associée pour la visualisation.
- Le déplacement est contrôlé par le comportement individuel.

Animation et Multimedia

Déplacement (1)

- Chaque boid a un système de coordonnées local:



Animation et Multimedia

Déplacement (2)

- Le vol est accompli appliquant une transformation géométrique incrémentale, rigide et dynamique.
- La trajectoire du vol n'est pas spécifiée à l'avance.
- L'avance est spécifiée comme une translation incrémentale selon l'axe Z du repère local.

Animation et Multimedia

Déplacement (3)

- Les rotations sont possibles selon les 3 axes (X, Y et Z).
- Pas de gravité.
- Une vitesse et une accélération maximales sont définies pour chaque boids.

Animation et Multimedia

Mouvement de groupe

- Chaque boid doit se coordonner avec ses voisins proches.
- 2 objectifs principaux:
 - Rester proches du groupe.
 - Eviter les collisions avec le groupe
- D'autres types de comportements ont été pris en compte au cours de l'évolution de cette technique: comportement proie/prédateur, recherche de nourriture, recherche d'un(e) compagnon(ne)...

Animation et Multimedia

Système de perception

- Le système de perception d'un boïd est composé de deux éléments:
 - Un angle
 - Une distance
- Ces deux éléments déterminent une portion de cercle dont le centre est le boïd.
- Un boïd n'a conscience que des autres boïds qui se trouvent dans la zone de perception ainsi définie

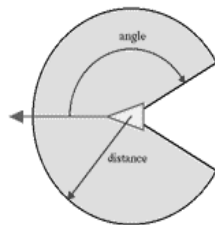
Animation et Multimedia

Perception

- Il n'est pas possible que chaque boïd est une connaissance de son environnement complet.
- Le comportement global dépend de la vue locale du monde.
- Le champ de perception peut être étendu dans la direction de déplacement.

Animation et Multimedia

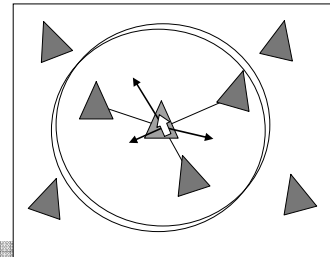
Système de perception



Animation et Multimedia

Flocking – 3 Comportements (1)

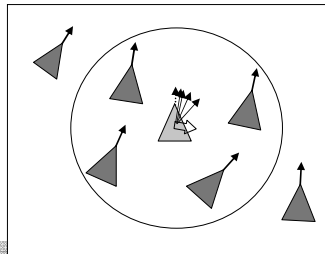
- Séparation ou évitement des collisions: évite les collisions avec ses voisins proches



Animation et Multimedia

Flocking – 3 Comportements (2)

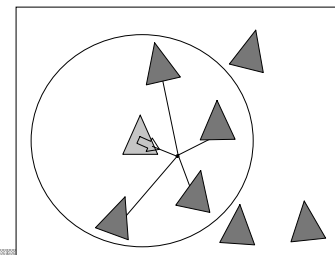
- Alignement: aligner sa vitesse et direction sur celle de ses voisins proches



Animation et Multimedia

Flocking – 3 Comportements (3)

- Aggrégation: rester proche de ses voisins proches.



Animation et Multimedia

Prise en compte des comportements

- Chacune des 3 lois de comportement permet de générer une force qui va s'appliquer sur le Boïd pour le faire évoluer dans le plan ou l'espace.
- Pour permettre la **séparation**, une force est calculée de manière à repousser le boïd de l'ensemble des boïds proches.
- La **cohésion** est assurée par une force inverse à la précédente, qui a pour but de rapprocher le boïd du centre de gravité du groupe des boïds proches.
- La force d'**alignement** est calculée comme étant une moyenne entre les vitesses des boïds voisins.

Animation et Multimedia

Intégration d'Euler

- Pour chaque boïd, l'ensemble des forces résultant des interactions avec son entourage est cumulé.
- Une simple intégration d'Euler est ensuite utilisée pour déterminer le déplacement du boïd:

$$\begin{aligned} \text{accélération}(t_i) &= \text{force déplacement}(t_i) / \text{masse} \\ \text{vitesse}(t_{i+1}) &= \text{vitesse}(t_i) + \text{accélération}(t_i) \\ \text{position}(t_{i+1}) &= \text{position}(t_i) + \text{vitesse}(t_i) \end{aligned}$$

Animation et Multimedia

Comportements complexes

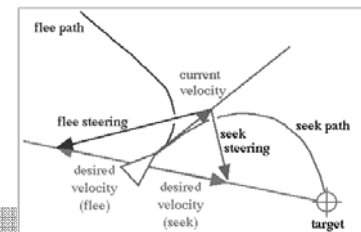
- A partir des 3 comportements de base, d'autres comportements plus complexes peuvent être imaginés.
- Ils mettent en jeu un couple ou plusieurs boïds entre eux.
 - Recherche et fuite.
 - Poursuite et évitement.
 - Arrivée.
 - Evitement d'obstacle.
 - Evitement de collision.
 - Champ directionnel.
 - Suivi d'un leader.

Animation et Multimedia

Recherche et fuite

- Atteindre une cible (statique)

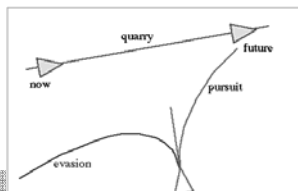
$$\begin{aligned} \text{Desired_velocity} &= Kp (\text{position} - \text{target}) \\ \text{Steering} &= \text{desired_velocity} - \text{velocity} \end{aligned}$$



Animation et Multimedia

Poursuite et évitement

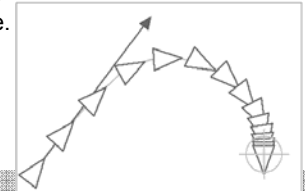
- La cible est un autre objet en déplacement
- La position future de la cible est évaluée à partir de sa position et vitesse courantes.
- Le pas de temps de prédiction T prend en compte la distance boïd-cible D_c .
- $T = D_c$



Animation et Multimedia

Arrivée

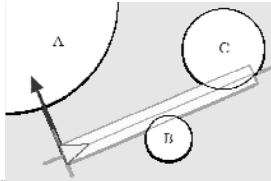
- Le mouvement du boïd est altéré pour atteindre la cible.
- Plus le boïd se rapproche de la cible, plus la vitesse diminue.
- Le boïd atteint la cible avec une vitesse nulle.



Animation et Multimedia

Evitement d'obstacle (1)

- Le boïd est précédé d'une boîte de détection de collision dont la longueur dépend de la vitesse courante (anticipation).
- Chaque intersection entre la boîte et un obstacle est un danger de collision.
- L'obstacle le plus proche est pris en considération.
- Une force latérale est appliquée au boïd opposée au centre de l'obstacle.



Animation et Multimedia

Evitement des obstacles (2)

- Champ de force
 - Les obstacles ont un champ de répulsion.
 - Plus un boïd s'approche de l'obstacle plus il en est repoussé.
- Inconvénients
 - Problème si il y a une force exactement opposée à la force de répulsion.
 - Impossible de longer un mur.

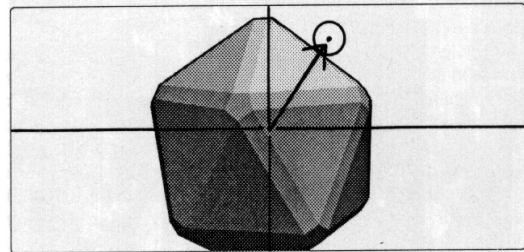
Animation et Multimedia

Evitement des obstacles (3)

- Manoeuvre d'évitement
 - Un boïd ne considère que les obstacles en face de lui.
 - Il détermine l'arête de la silhouette de l'obstacle la plus proche du point d'impact éventuel.
 - Un vecteur est calculé qui va modifier la trajectoire du poisson au-delà de l'arête de la silhouette.

Animation et Multimedia

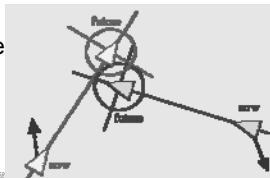
Evitement des obstacles (4)



Animation et Multimedia

Evitement de collision

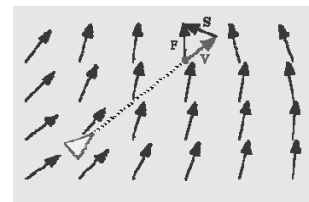
- La position de chaque boïd est prédite en fonction de leur situation actuelle (position et vitesse).
- En cas de collision probable, une force est appliquée à chaque boïd pour le détourner de sa direction actuelle



Animation et Multimedia

Champ directionnel

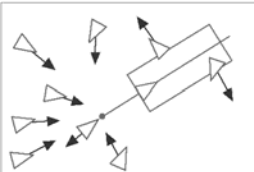
- La force qui perturbe la direction courante du boïd est la différence entre la direction du champ et la vitesse courante du boïd.



Animation et Multimedia

Suivi d'un leader

- Combinaison de comportements:
 - Séparation
 - Arrivée
- La cible à atteindre pour l'arrivée se trouve placée derrière le leader.
- Un poursuivant s'écartera si il se trouve sur le chemin du leader.



Animation et Multimedia

Arbitrage des comportements

- Les "besoins comportementaux" produisent des requêtes d'accélération du boïd (représentée sous forme d'un vecteur normalisé).
- Les requêtes d'accélération sont triées par priorité plutôt que d'être pondérées.
- Les requêtes d'accélération sont prioritisées et les plus importantes sont utilisées jusqu'à atteindre l'accélération limite.

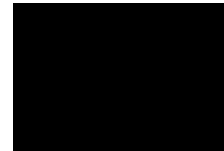
Animation et Multimedia

Considerations algorithmiques

- Une implémentation naïve donne un fonctionnement dont la complexité dépend de N , nombre de boïds.
- Cette complexité est facilement diminuée en:
 - Localisant la perception de chaque boïd.
 - Partitionnant spatialement l'espace d'évolution des boïds.
 - Ce type d'algorithme se prête particulièrement bien à la parallélisation.

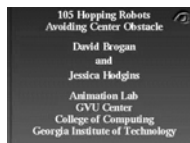
Animation et Multimedia

Exemples et démos



Animation et Multimedia

Exemples et démos



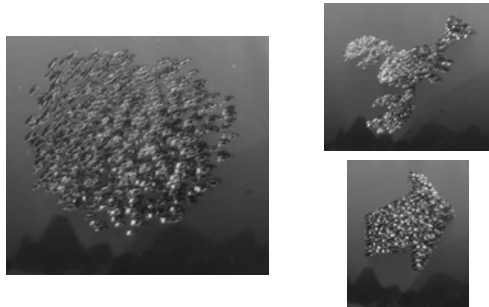
Animation et Multimedia

Exemples et démos



Animation et Multimedia

Exemples et démos



Animation et Multimedia

Exemples et démos

<http://www.red3d.com/cwr/boids/>



Boids 2D



Boids 3D



LE site des boids

Animation et Multimedia

Les poissons

- L'objectif est de simuler l'apprentissage et d'autres types de comportements:
 - Se nourrir.
 - Eviter les prédateurs.
 - Rechercher des compagnons/es.
- Modélisé avec la perception du monde, le comportement et la physique.

Animation et Multimedia

Système global

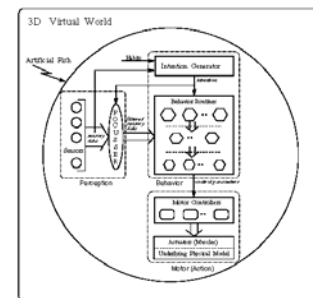


Figure 1: Control and information flow in artificial fish.

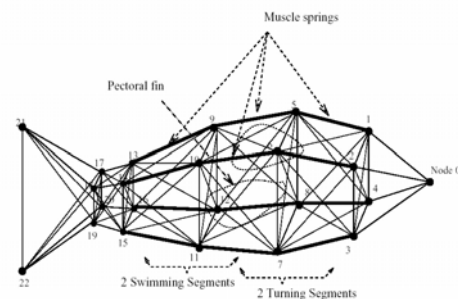
Animation et Multimedia

Modèle physique du poisson (1)

- Le modèle dynamique du poisson artificiel est composé de 23 masses ponctuelles (noeuds) et 91 ressorts.
- L'arrangement des ressorts maintient la stabilité de la structure tout en permettant d'avoir de la flexibilité.
- 12 ressorts sont disposés le long du corps et servent de muscles.

Animation et Multimedia

Modèle physique du poisson (2)



Animation et Multimedia

Mécanique (1)

- Chaque noeud est défini par:
 - Une masse m_i
 - Une position $\mathbf{x}_i(t) = [x_i(t) \ y_i(t) \ z_i(t)]$
 - Une vitesse $\mathbf{v}_i(t) = d\mathbf{x}_i/dt$
 - Une accélération $\mathbf{a}_i(t) = d^2\mathbf{x}_i/dt^2$

Animation et Multimedia

Mécanique (2)

- Le ressort R_{ij} connecte le noeud i au noeud j
 - Constante du ressort k_{ij}
 - Longueur au repos l_{ij}
 - Déformation du ressort $d_{ij} = ||\mathbf{r}_{ij}|| - l_{ij}$
avec $\mathbf{r}_{ij} = \mathbf{x}_j(t) - \mathbf{x}_i(t)$
 - Force exercée $\mathbf{f}_{ij}^s = k_{ij}d_{ij}(t)\mathbf{r}_{ij}/||\mathbf{r}_{ij}||$ sur i , et $-\mathbf{f}_{ij}^s$ sur j

Animation et Multimedia

Mécanique (3)

- L'équation du déplacement est définie par:

$$m_i(d^2\mathbf{x}_i/dt^2) + \rho_i(d\mathbf{x}_i/dt) - \mathbf{w}_i = \mathbf{f}_i^w$$

ρ_i = facteur d'amortissement
 $\mathbf{w}_i(t)$ = sommes des forces des ressorts
 \mathbf{f}_i^w = forces externes (hydrodynamiques)
- L'équation est résolue par une méthode de résolution numérique.

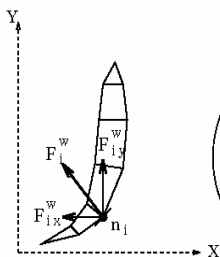
Animation et Multimedia

Comment nager (1)

- La poisson artificiel se déplace en contractant ses muscles.
- Le déplacement avant est réalisé par le battement de la queue qui déplace l'eau.
- L'eau déplacée produit une force de réaction orientée selon la normale au corps du poisson et proportionnelle au volume d'eau déplacé.

Animation et Multimedia

Comment nager (2)



La composante de force selon l'axe Y contribue à propulser le poisson vers l'avant.

Animation et Multimedia

Comment nager (3)



Figure 4: The pectoral fins

Les nageoires pectorales permettent aussi de contrôler la direction et l'orientation ainsi que la vitesse en générant une force (F_f) dont la direction varie selon l'orientation des nageoires.

$$F_f = -A(n \cdot v)n \text{ avec } A \text{ surface de la nageoire,}$$

v , vitesse courante du poisson
 n , normale à la nageoire.

Animation et Multimedia

Comment nager (4)

- Le battement de la queue est produit en contractant et relâchant alternativement les muscles de la queue de chaque côté du corps de façon périodique.
- Pour tourner, le poisson contracte un côté brusquement en relaxant l'autre côté, puis en relaxant lentement le côté contracté.
- Pour nager, les deux groupes de muscles postérieurs sont utilisés, alors que pour tourner, ce sont les deux groupes de muscles frontaux.

Animation et Multimedia

Contrôleurs de déplacement

- Le poisson artificielle a trois contrôleur de déplacement:
 - Swim-MC(vitesse)
 - Convertit la vitesse en amplitude et en fréquence de contraction musculaire.
 - Left-turn-MC(angle)
 - Right-turn-MC(angle)
 - Convertissent les valeurs d'angle en paramètre de contrôle des muscles.

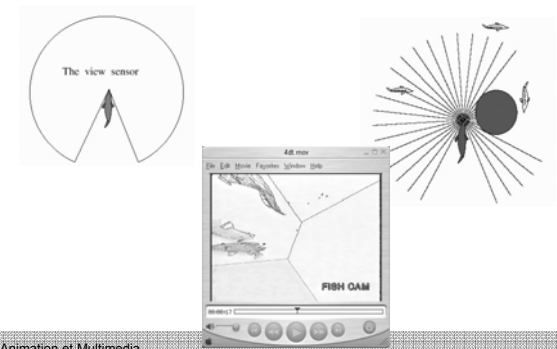
Animation et Multimedia

Perception sensorielle (1)

- Capteur de vision: la vision est cyclopeenne.
- Couvre un angle sphérique de 300 degrés.
- La capteur de vision a accès à la géométrie, aux matériaux et aux information d'illumination de l'environnement.

Animation et Multimedia

Perception sensorielle (2)



Animation et Multimedia

Etat mental (1)

- L'état mental du poisson est défini par:
 - Faim
 - $F(t) = \min[1 - n^e(t)R(\Delta t^H)/\alpha, 1]$
 - $n^e(t)$ = quantité de nourriture absorbée
 - $R(x) = 1 - p_0x$, p_0 = taux de digestion
 - Δt^H = temps écoulé depuis le dernier repas.
 - α = appétit.
 - $p_0 = 0.005$ donne un poisson affamé

Animation et Multimedia

Etat mental (2)

- L'état mental du poisson est défini par:
 - Libido
 - $L(t) = \min[s(\Delta t^L)(1 - H(t)), 1]$
 - $s(x) = p_1x$, p_1 = constante de libido
 - H est l'appétit.
 - Δt^L = temps écoulé depuis la dernière rencontre

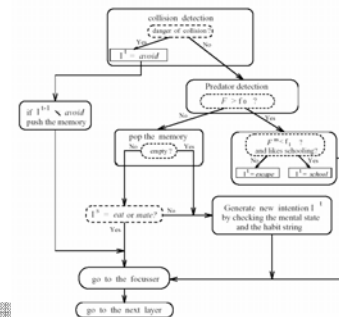
Animation et Multimedia

Etat mental (3)

- L'état mental du poisson est défini par:
 - Peur
 - $P(t) = \min(\sum(\min[D_o/d'(t), 1]), 1)$
 - $D_o = 100$ (constante)
 - $d'(t)$ = distance au prédateur visible i

Animation et Multimedia

Générateur d'intention



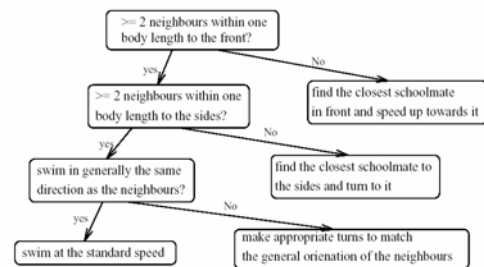
Animation et Multimedia

Satisfactions des besoins

- Once an intention is selected, control is passed to a behavior routine
- 8 Comportements:
 - Eviter un obstacle statique
 - Eviter un poisson
 - Manger de la nourriture
 - Choisir un(e) compagnon/compagne
 - Partir
 - Déambuler
 - S'enfuir
 - S'entraîner
- Behaviors can also have subroutines that are called

Animation et Multimedia

Apprentissage



Animation et Multimedia

Différents types de poissons

- Prédateurs, proies, pacifiques
- Chaque type a des motivations différentes qui produisent des modèles de comportement différents.
- Les pacifiques expriment un comportement sociable, c'est à dire qu'ils ont un comportement qui les rend intéressés par tout compagn/on/e possible.

Animation et Multimedia

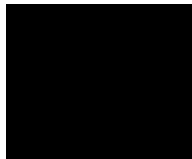
Pacifiques

- Un poisson mâle choisit une compagne de la façon suivante:
 - Une femelle de la même espèce sera choisie de préférence.
 - Les femelles les plus proches sont plus attractives que celles qui sont éloignées.
- Un poisson femelle sélectionne un compagnon de façon similaire, mais montre une préférence pour la taille du poisson mâle (plus fort et protecteur) plutôt que pour la proximité.

Animation et Multimedia

Exemples et démos

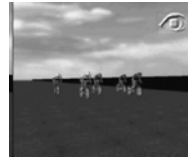
61



Animation et Multimedia

Exemples et démos

62



Animation et Multimedia

Références

63

- Reynolds, C. W., 1987. "Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model." Computer Graphics, 21(4): 25-34.
- Tu, X. and Terzopoulos, D. "Artificial fishes: Physics, locomotion, perception, behavior." Proc. ACM SIGGRAPH '94 Conference.

Animation et Multimedia