

Guidage coopératif utilisant une règle des plus proches voisins et des agents virtuels

Y. Rochefort (Doctorant) H. Piet-Lahanier¹ S. Bertrand¹
D. Dumur² D. Beauvois²

¹ONERA

²SUPELEC

GT UAV, 24 mai 2012

Contexte

Nous disposons d'un groupe de véhicules, cherchant à coopérer.
Nous recherchons une loi de guidage :

- incitant les véhicules à voyager en groupe
- garantissant l'évitement de collision
- guidant les véhicules jusqu'à leur objectif commun

Voyage en groupe

Les véhicules se déplacent à la même vitesse, dans la même direction, sans provoquer de collision, sans qu'un ou plusieurs soient isolés des autres. (ex : oiseaux ou poissons)

Contexte

- Reynolds¹ : simule le comportement de groupes d'animaux pour animation par ordinateur
- Modèle d'évolution individuelle basé sur trois règles :
 - ① Éviter les collisions avec les autres membres du groupe
 - ② Égaler le vecteur vitesse des autres membres du groupe
 - ③ S'approcher du centre du groupe
- Chaque règle se traduit en terme d'accélération
- Celles-ci sont combinées
 - Quantité limitée d'accélération
 - Allouée par ordre de priorité

¹ Reynolds, C.W., Computer Graphics, 1987.

Contexte

- Vicsek² : étudie un modèle d'interaction
À chaque itération, chaque particule prend la direction définie par la moyenne des directions des mouvements des particules voisines plus un bruit aléatoire
- Observe que la direction des particules converge si la densité de particules est élevée et que l'amplitude du bruit est faible.
- Jadbabaïe³ : étudie de manière théorique ce modèle
- Démontre la convergence à la condition que les particules soient en interaction suffisamment souvent
- Condition forte et difficile à évaluer en pratique

² Vicsek, T., et al., Physical Review Letters, 1995.

³ Jadbabaie, A., et al., 41st Conference on Decision and Control, 2002.

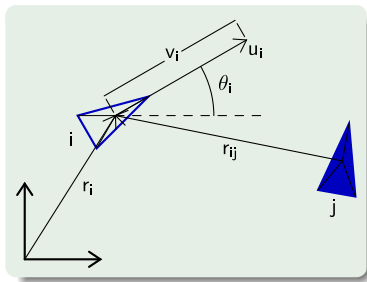
Sommaire

- Énoncé du problème et des hypothèses
- Calcul de la commande
- Définition d'un agent virtuel
- Simulations et résultats
- Conclusion et perspectives

Énoncé du problème

N véhicules

- représentés par des points
- se déplaçant dans un plan
- selon le modèle :
$$r_i(k+1) = r_i(k) + \Delta t \cdot u_i(k)$$



$r_i(k)$ position du véhicule i à l'itération k

Δt durée d'une itération

$u_i(k)$ commande du véhicule i (i.e. vecteur vitesse)

r_{ij} position du véhicule i par rapport au véhicule j

v_i module du vecteur vitesse du véhicule i

θ_i orientation du vecteur vitesse du véhicule i

Hypothèses

- On ne tente pas d'obtenir une formation spécifique
- La distance approximative désirée entre deux plus proches voisins est D
- La position et la vitesse des autres véhicules sont disponibles (partagées ou mesurées)
- Chaque véhicule calcule sa propre commande en utilisant les informations dont il dispose

Calcul de la commande

La commande d'un véhicule est calculé en trois étapes :

- | | | |
|--|---|--|
| Calcul de la contribution de chaque véhicule | ⇒ | Indique le comportement permettant de former un groupe |
| Calcul de l'influence de chaque véhicule | ⇒ | Indique l'importance de la contribution de chaque véhicule |
| Calcul de la commande | ⇒ | Prend tous les véhicules en compte |

Calcul de la commande

Moyenne pondérée de la contribution de chaque véhicule
(lui-même inclus)

Module de vitesse

$$v_i = \frac{\sum_{j=1}^N \beta_{ij} \cdot v_{ij}}{\sum_{j=1}^N \beta_{ij}} \quad (1)$$

Direction de la vitesse

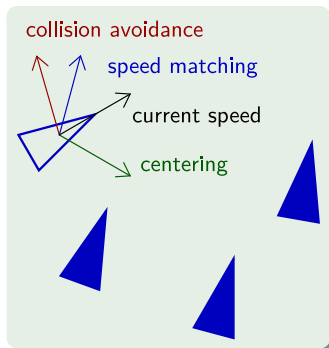
$$\theta_i = \arctan \left(\frac{\sum_{j=1}^N \beta_{ij} \cdot \sin(\theta_{ij})}{\sum_{j=1}^N \beta_{ij} \cdot \cos(\theta_{ij})} \right) \quad (2)$$

- v_i et θ_i module et direction du vecteur vitesse du véhicule i
 v_{ij} et θ_{ij} contribution du véhicule j à la commande du véhicule i
 β_{ij} poids de la contribution du véhicule j dans le calcul de la commande du véhicule i

Contributions des véhicules

Implémentation des trois règles de Reynolds

- 1 Éviter les collisions avec les autres membres du groupe
- 2 Égaler le vecteur vitesse des autres membres du groupe
- 3 S'approcher du centre du groupe



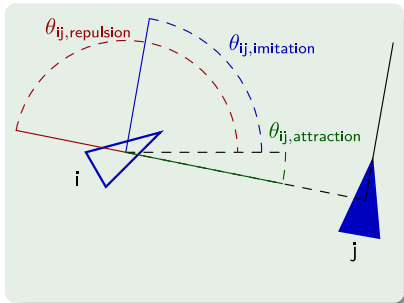
Correspond aux trois comportements de base possibles

- 1 Repousser les véhicules trop proches
- 2 Imiter les véhicules
- 3 Attirer les véhicules trop éloignés

Définition d'une contribution

L'attitude à adopter dépend de la position relative des véhicules

Comportement désiré (b)	j est ... i	direction ($\theta_{ij,b}$) de la contribution de j	module ($v_{ij,b}$)
répulsion	devant derrière	éloignant i^3	faible ¹ élevée ²
imitation	-	même que j	même que j
attraction	devant derrière	approchant i^4	élevé ² plus faible ¹



¹ vitesse minimale autorisée

² vitesse maximale autorisée

³ direction de répulsion : $\arg(r_{ij})$

⁴ direction d'attraction : $\arg(r_{ij}) +$

π

$\arg(r_{ij})$: direction du vecteur r_{ij}

Calcul de la contribution

Pour obtenir des mouvements fluides, les comportements de base sont combinés grâce à une moyenne pondérée

Module de vitesse

$$v_{ij} = \frac{\sum_{b \in B} \alpha_{ij,b} \cdot v_{ij,b}}{\sum_{b \in B} \alpha_{ij,b}} \quad (3)$$

Direction de la vitesse

$$\theta_{ij} = \arctan \left(\frac{\sum_{b \in B} \alpha_{ij,b} \cdot \sin(\theta_{ij,b})}{\sum_{b \in B} \alpha_{ij,b} \cdot \cos(\theta_{ij,b})} \right) \quad (4)$$

v_{ij} et θ_{ij} contribution du véhicule j à la commande du véhicule i
 B $\{\textit{repulsion, imitation, attraction}\}$ ensemble des comportements de base

$v_{ij,b}$ et $\theta_{ij,b}$ module et direction de la vitesse produisant le comportement b

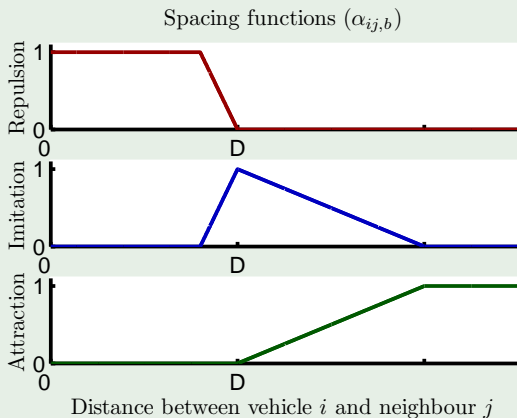
$\alpha_{ij,b}$ poids du comportement b dans le calcul de la contribution du véhicule j à la commande du véhicule i

Fonctions d'espacement

La proportion de chaque comportement¹ est donnée par une fonction d'espacement :

D est la distance désirée entre véhicules

¹ dans la contribution du véhicule j à la commande du véhicule i

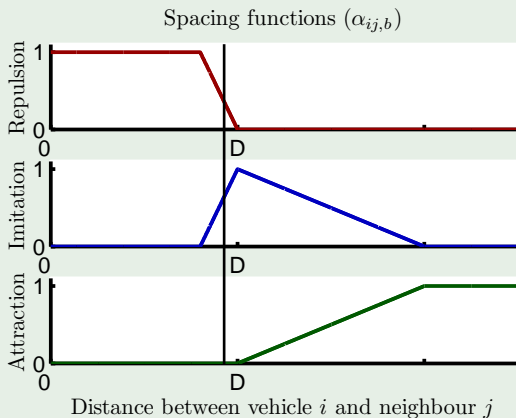


Fonctions d'espacement

La proportion de chaque comportement¹ est donnée par une fonction d'espacement :

D est la distance désirée entre véhicules

¹ dans la contribution du véhicule j à la commande du véhicule i

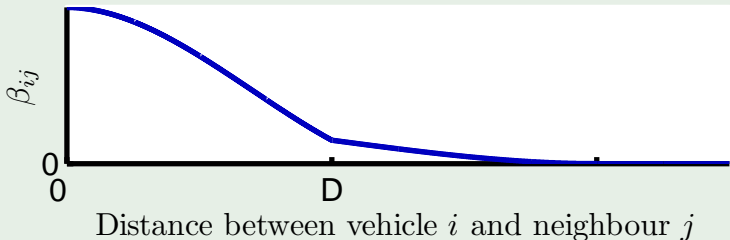


Influence des véhicules

Réguler l'importance de chaque véhicule

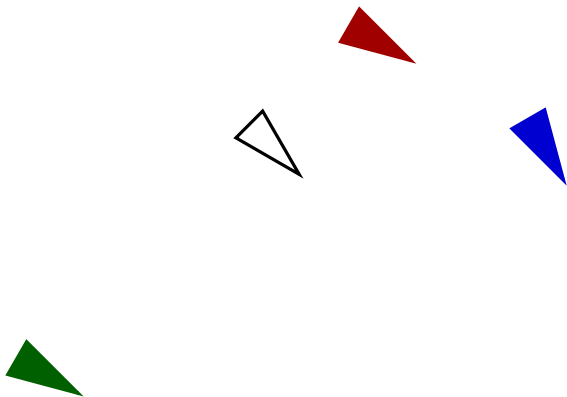
Les véhicules les plus proches représentent le plus grand danger, leur influence doit être plus élevée que celle des autres véhicules

Influence function (β_{ij})



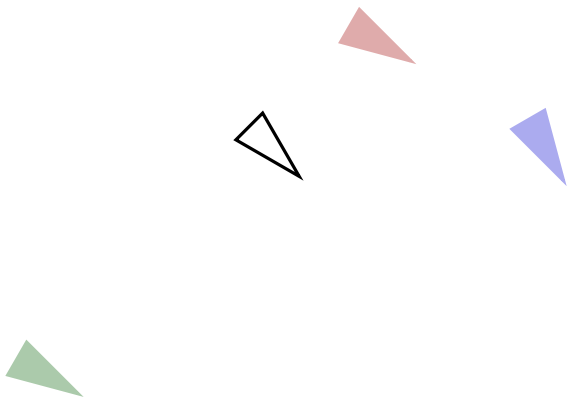
Résumé du calcul de la commande d'un véhicule

Calcul de la commande



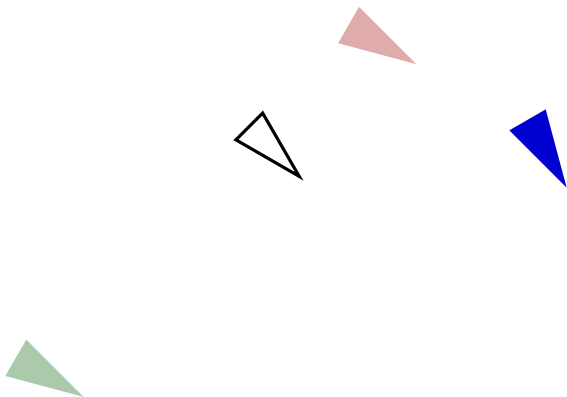
Résumé du calcul de la commande d'un véhicule

Calcul de la commande



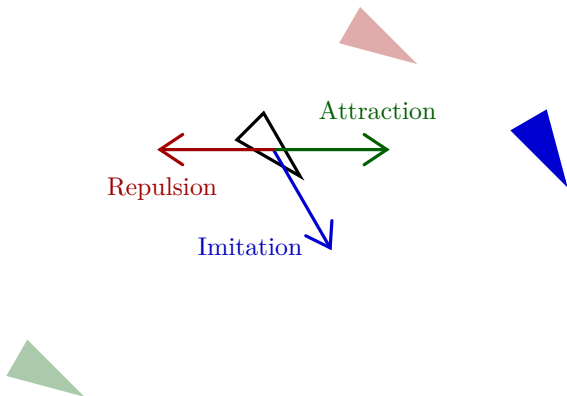
Résumé du calcul de la commande d'un véhicule

Étape 1 : calcul des contributions



Résumé du calcul de la commande d'un véhicule

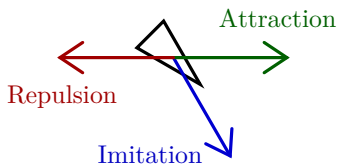
Étape 1 : calcul des contributions



Résumé du calcul de la commande d'un véhicule

Étape 1 : calcul des contributions

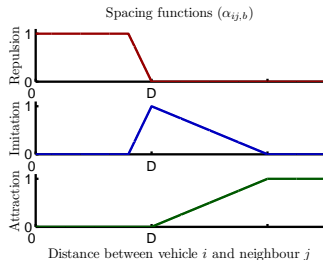
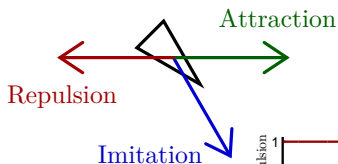
Speed modules



Résumé du calcul de la commande d'un véhicule

Étape 1 : calcul des contributions

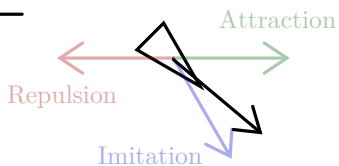
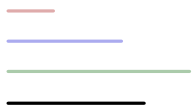
Speed modules



Résumé du calcul de la commande d'un véhicule

Étape 1 : calcul des contributions

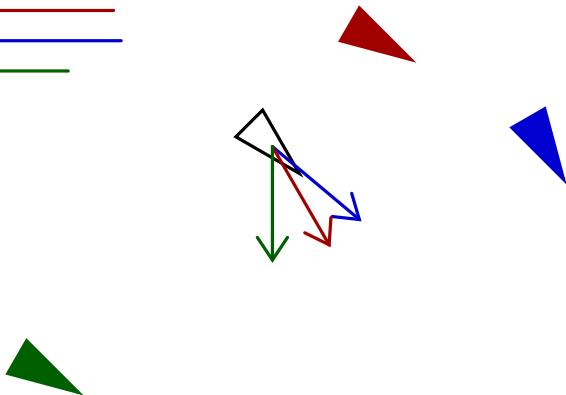
Speed modules



Résumé du calcul de la commande d'un véhicule

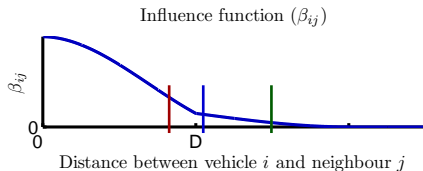
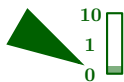
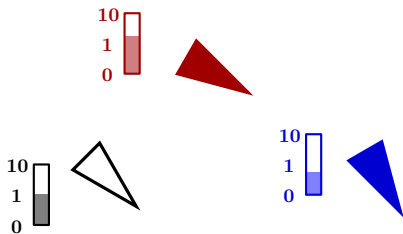
Étape 1 : calcul des contributions

Speed modules



Résumé du calcul de la commande d'un véhicule

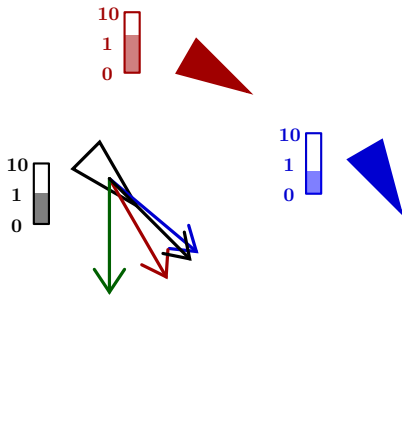
Étape 2 : calcul des influences



Résumé du calcul de la commande d'un véhicule

Étape 3 : calcul de la commande

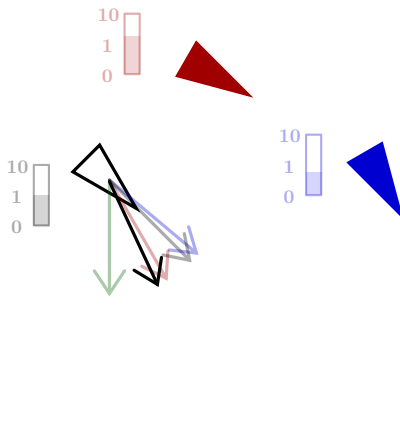
Speed modules



Résumé du calcul de la commande d'un véhicule

Étape 3 : calcul de la commande

Speed modules



Résumé du calcul de la commande d'un véhicule

Pour chaque véhicule

Speed modules



Exemple de regroupement

Des véhicules suivant la loi de guidage présentée se regroupent

N	9
D	1m
v_{min}	$0.05m.s^{-1}$
v_{max}	$0.2m.s^{-1}$
Δt	0.7s

Pourquoi utiliser des agents virtuels ?

- Les véhicules se déplacent en groupe
- Il leur manque des informations sur leur environnement
- L'utilisation d'agent virtuel permet de ne pas modifier la loi de guidage

Description des agents virtuels

Un agent virtuel est considéré comme un véhicule standard

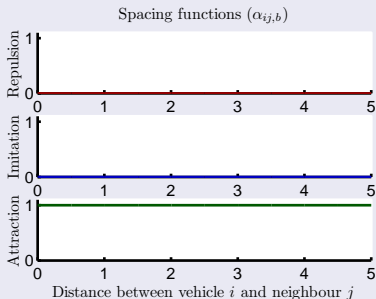
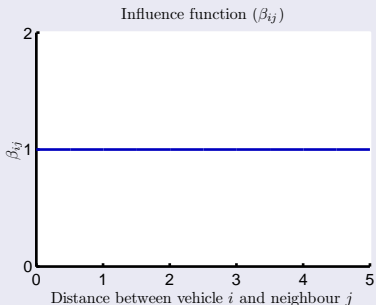
- Il possède un vecteur vitesse défini par l'utilisateur
- Il contribue à la commande des véhicules via ses fonctions d'influence et d'espacement

En utilisant des fonctions d'espacement et d'influence particulière, un agent virtuel peut :

- Indiquer un point de passage aux véhicules
- Indiquer une direction à suivre
- Indiquer un obstacle ainsi que la direction à suivre pour l'éviter si elle est disponible

Utiliser un agent virtuel comme point de passage

En utilisant les fonctions suivantes, un agent virtuel permet d'indiquer un point de passage



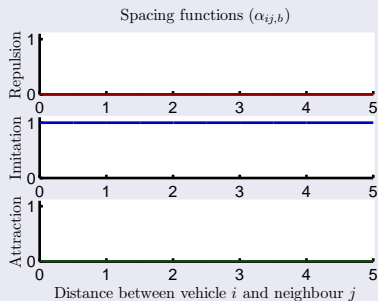
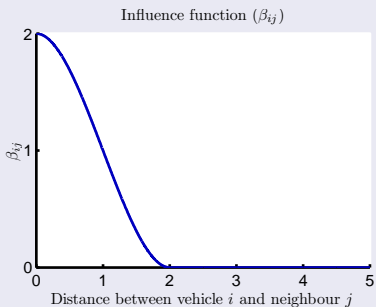
Résultats de simulations - Point de passage

Lorsque l'agent virtuel est ajouté, le groupe change de direction

N	9
D	1m
v_{min}	$0.05m.s^{-1}$
v_{max}	$0.2m.s^{-1}$
Δt	0.7s

Utiliser un agent virtuel pour indiquer une direction

En utilisant les fonctions suivantes, un agent virtuel permet d'indiquer une direction à suivre



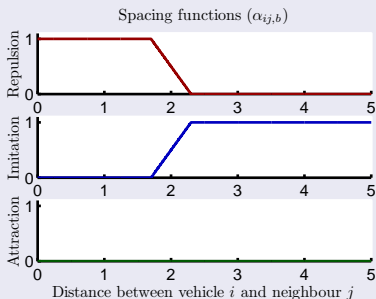
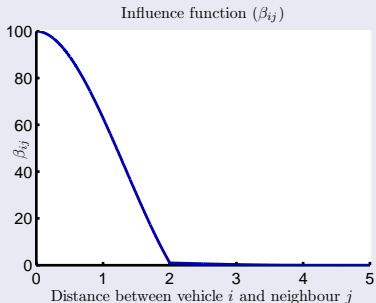
Résultats de simulations - suivis de trajectoire

Plusieurs agents virtuels permettent de définir une trajectoire à suivre

N	9
D	1m
v_{min}	$0.05m.s^{-1}$
v_{max}	$0.2m.s^{-1}$
Δt	0.7s

Utiliser un agent virtuel pour indiquer un obstacle

En utilisant les fonctions suivantes, un agent virtuel permet d'indiquer un obstacle en indiquant si une direction d'évitement est préférée



Résultats de simulations - scinder le groupe pour éviter un obstacle

Lorsqu'il indique un obstacle, un agent virtuel peut pousser le groupe à se scinder pour éviter l'obstacle. Le groupe se reforme ensuite.

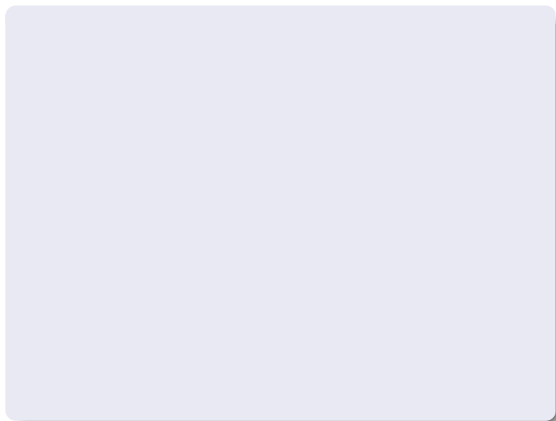
N	9
D	1m
v_{min}	$0.05m.s^{-1}$
v_{max}	$0.2m.s^{-1}$
Δt	0.7s

Résultats de simulations - éviter un obstacle par un coté

Lorsqu'il indique un obstacle, un agent virtuel peut indiquer quel coté prendre pour éviter la collision.

Comparée à la simulation précédent, seule la direction de l'agent virtuel a changé.

N	9
D	1m
v_{min}	$0.05m.s^{-1}$
v_{max}	$0.2m.s^{-1}$
Δt	0.7s



Conclusion et perspectives

Nouveauté

- Utilisation de fonctions d'espacement et d'influence pour faire voler des véhicules en groupe
- Utilisation d'agents virtuels pour guider le groupe sans modifier la loi de guidage
- L'ensemble est très simple à mettre en œuvre

Perspectives futures

- Modification en temps réel de la liste d'agents virtuels pour refléter les modifications de l'environnement
- Utilisation des agents virtuels pour communiquer des informations entre véhicules sur l'environnement
- Étude de la robustesse de la loi de guidage face au bruit, aux pertes de communication et de véhicules

Merci de votre attention