

Examen de robotique autonome

(3h ; documents interdits)

Francis Colas

15 novembre 2017

Consignes — Tous les documents sont interdits, ainsi que les ordinateurs, les téléphones, les calculatrices et tout ce genre de choses. L'examen est prévu pour être réalisé en moins de 2h mais vous pouvez prendre jusqu'à 3h (le temps ne rentre pas dans l'évaluation). Pour les réponses rédigées, il est attendu une réponse claire, structurée et synthétique ; ainsi je vous conseille de prendre le temps (vous l'avez) de construire votre réponse au brouillon. Le sujet est en français mais vous pouvez répondre en anglais si vous y êtes plus à l'aise.

Ce sujet comporte trois (3) pages et deux (2) exercices.

Exercice 1 : Fonctions et architecture

1. Quelles sont les différentes fonctions introduites en cours pour la robotique autonome ? Décrivez chacune d'entre elles sans omettre l'origine et le type des données d'entrée et de sortie. Une explication de l'articulation de ces fonctions est aussi attendue.
2. Quels sont les différents éléments abordés pour la navigation (déplacement d'un robot mobile) ? Exposez-les clairement en indiquant précisément leur but et les moyens pour y parvenir.
3. Comment structurer un système de navigation pour un robot mobile ? Rappelez les différents principes et les architectures exposés en cours. Indiquez l'approche que vous utiliserez pour intégrer les éléments sus-cités.

Exercice 2 : Localisation

Votre robot est dans une galerie longue de 15 m et éclairée par des fenêtres positionnées régulièrement tous les 4 m. On est en plein jour et la lumière extérieure forme un halo plus intense à moins d'1 m de distance de la fenêtre. Le robot dispose justement d'une photo-diode mesurant approximativement l'intensité lumineuse. En outre, il peut se déplacer le long du couloir mais avec une erreur longitudinale possible d'un écart-type de 10% de la distance parcourue.

Cet exercice comporte trois parties : l'exécution du filtre, l'analyse des équations de filtrage et l'implémentation de la localisation markovienne. S'il vous manque des données pour répondre à certaines questions, utilisez votre bon sens et explicitez les choix que vous faites.

2.a : Exécution

Plusieurs des réponses aux questions suivantes peuvent être illustrées (par exemple à l'échelle 1:100); ne vous en privez pas mais une explication ou un commentaire sont néanmoins attendus.

1. Décrivez l'espace d'état du robot, son espace de commande et son espace d'observation. Précisez les domaines de ces variables.
2. Vous allumez le robot à une position arbitraire dans le couloir, qu'il ne connaît pas. Avant toute observation, quelle est la connaissance du robot ?
3. Le robot observe une faible intensité lumineuse ; quelle est maintenant sa connaissance ?
4. On commande au robot de se déplacer le long du couloir d'environ 1 m ; comment sa connaissance évolue-t-elle ?
5. Même question après que le robot observe une intensité lumineuse moyenne.
6. Combien de temps cela prend-il pour que le robot soit parfaitement localisé ? Que faudrait-il faire ?

2.b : Filtrage

Nous rappelons les équations respectives pour la prédiction (équation 1) et la mise-à-jour suite à une observation (équation 2) dans un filtre bayésien :

$$p(\mathbf{x}_{k+1} \mid \mathbf{z}_{1:k}, \mathbf{u}_{1:k+1}) = \sum_{\mathbf{x}_k} p(\mathbf{x}_{k+1} \mid \mathbf{x}_k, \mathbf{u}_{k+1})p(\mathbf{x}_k \mid \mathbf{z}_{1:k}, \mathbf{u}_{1:k}) \quad (1)$$

$$p(\mathbf{x}_{k+1} \mid \mathbf{z}_{1:k+1}, \mathbf{u}_{1:k+1}) \propto p(\mathbf{z}_{k+1} \mid \mathbf{x}_{k+1})p(\mathbf{x}_{k+1} \mid \mathbf{z}_{1:k}, \mathbf{u}_{1:k+1}) \quad (2)$$

1. Explicitez chacun des termes intervenant dans l'équation 1 ; précisez-en la sémantique (l'interprétation et le rôle dans cet exercice) ainsi que le type d'objet mathématique.
2. Spécifiez/donnez une expression de $p(\mathbf{x}_{k+1} \mid \mathbf{x}_k, \mathbf{u}_{k+1})$.
3. Explicitez chacun des termes intervenant dans l'équation 2 ; précisez-en la sémantique ainsi que le type d'objet mathématique.
4. Quel est le facteur de proportionnalité dans l'équation 2 ? Comment le calculer ? [Bonus : faites la démonstration de son expression à l'aide des règles du calcul probabiliste.]
5. Spécifiez/donnez une expression $p(\mathbf{z}_{k+1} \mid \mathbf{x}_{k+1})$.
6. Si l'on discrétise chacune des variables continues avec un nombre n de cases par dimension, quelle est la complexité du calcul de l'équation 1 ? Vous donnerez la complexité dans le cas général (en notant d_x , d_u et d_z le nombre respectif de dimensions des variables \mathbf{x}_k , \mathbf{u}_k et \mathbf{z}_k) et pour le cas particulier de ce robot.
7. Même question pour l'équation 2.
8. Question bonus : quelle est la complexité d'un filtre à particules implémentant les mêmes équations ? Justifiez en détaillant les différentes parties du filtre.

2.c : Implémentation de la localisation markovienne

La localisation markovienne propose d'implémenter les équations 1 et 2 en discrétisant la variable d'état \mathbf{x}_k . Pour cette partie, il est attendu du pseudo-code basé sur des types usuels (entiers, nombres à virgule flottante, booléens, tableaux/listes de types primitifs...). La syntaxe est au choix mais soyez clair et cohérent.

1. Quelles sont les entrées, paramètres et sorties de la localisation markovienne ? Précisez-en la sémantique et le type.
2. Quelles sont les différentes étapes de cet algorithme ? Décrivez la structure de votre implémentation.
3. Variables, objets et fonctions :
 - a) Quels sont les objets/variables informatiques dont vous avez besoin pour cette implémentation ?
 - b) Quelle forme prend $p(\mathbf{x}_{k+1} \mid \mathbf{x}_k, \mathbf{u}_{k+1})$? Donnez-en le pseudo-code.
 - c) Même question pour $p(\mathbf{z}_{k+1} \mid \mathbf{x}_{k+1})$.
4. Écrivez le reste du code implémentant la localisation markovienne. Si vous avez besoin de variables ou fonctions annexes en plus de celles décrites plus haut, indiquez-les ainsi que leur sémantique et leur type.
5. Question bonus : quelle est la complexité en temps et en espace de votre pseudo-code ? Justifiez votre réponse en vous appuyant sur votre structuration.