
Boatbot, un zodiac autonome pour la recherche d'épaves

Maël LE GALLIC

ENSTA Bretagne

MOQESM 2018, Brest, SeaTechWeek
9 octobre 2018

Sommaire

- 1 Mise en contexte
- 2 Description du Boatbot
- 3 Régulation du Boatbot
- 4 Régulation - Pistes d'amélioration
- 5 Conclusion

Objectifs & Contraintes

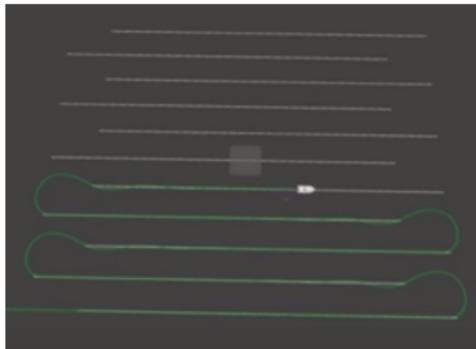


FIGURE – Suivi de radiales

Objectifs

- Suivre des radiales de façon :
 - ▶ Autonome,
 - ▶ Précise.
- Tracter un poisson (magnétomètre) proche du fond.

Contraintes

- Courant
- Vagues
- Vent

Déroulement du Projet

Avril/Mai Conception, Construction

22/23 Mai Premiers essais en mer lors du Sub-Meeting

Juin Fiabilisation & Simplification d'utilisation

Début Juillet Campagne de recherche

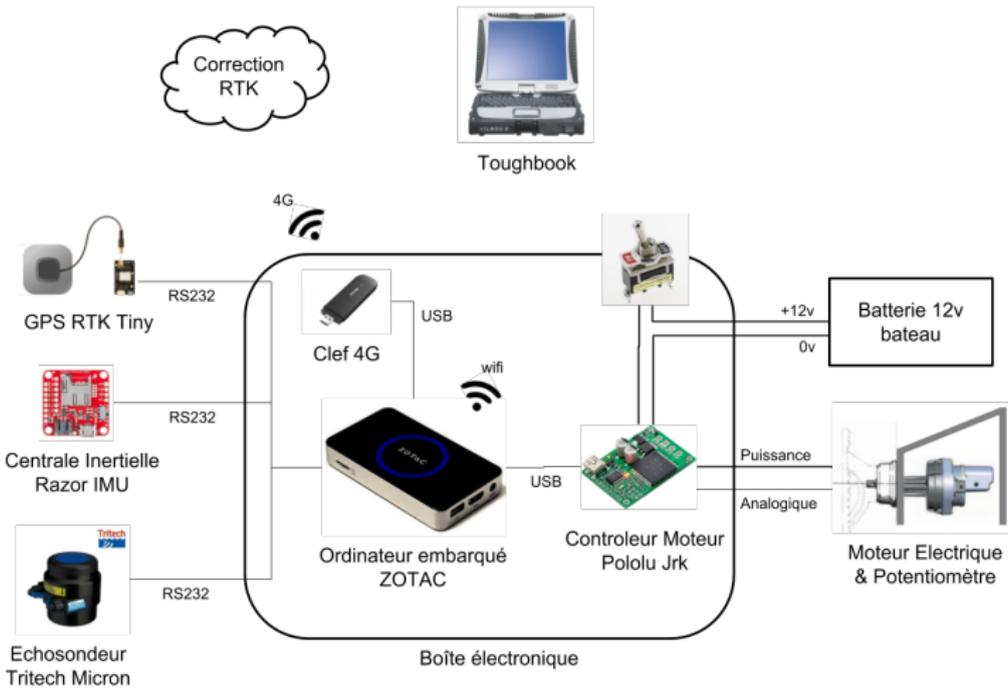


FIGURE – Boatbot, tractant un canoë tractant un magnétomètre, lors de la campagne de recherche de la *Cordelière* 2018

Sommaire

- 1 Mise en contexte
- 2 Description du Boatbot**
- 3 Régulation du Boatbot
- 4 Régulation - Pistes d'amélioration
- 5 Conclusion

Architecture Hardware

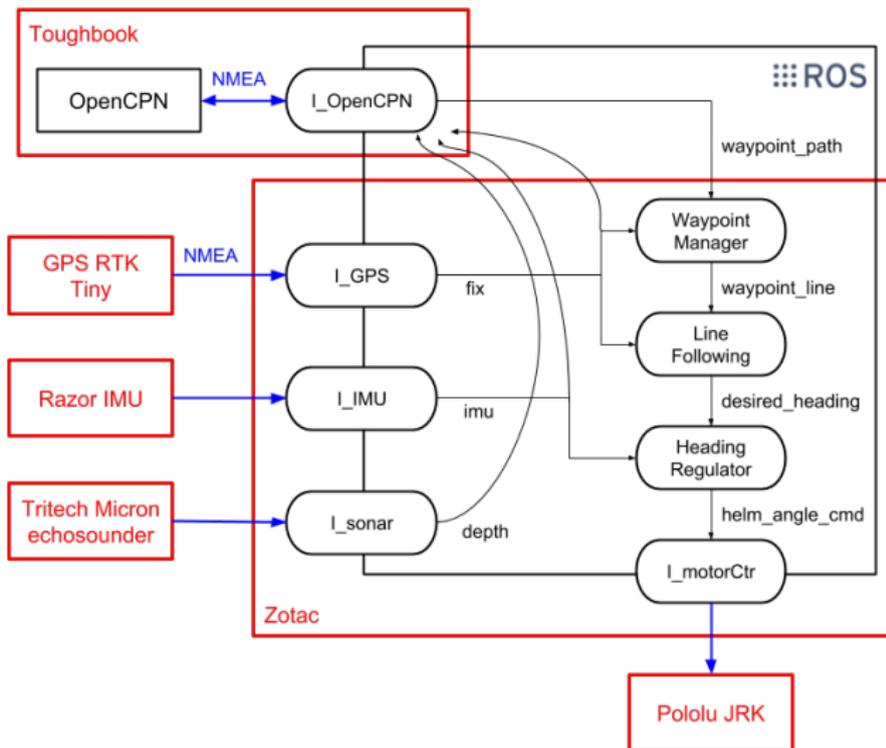


Architecture Hardware 2



FIGURE – Boatbot, lors d'un essai en mer avec le sondeur de sédiments

Architecture Software



Interface utilisateur

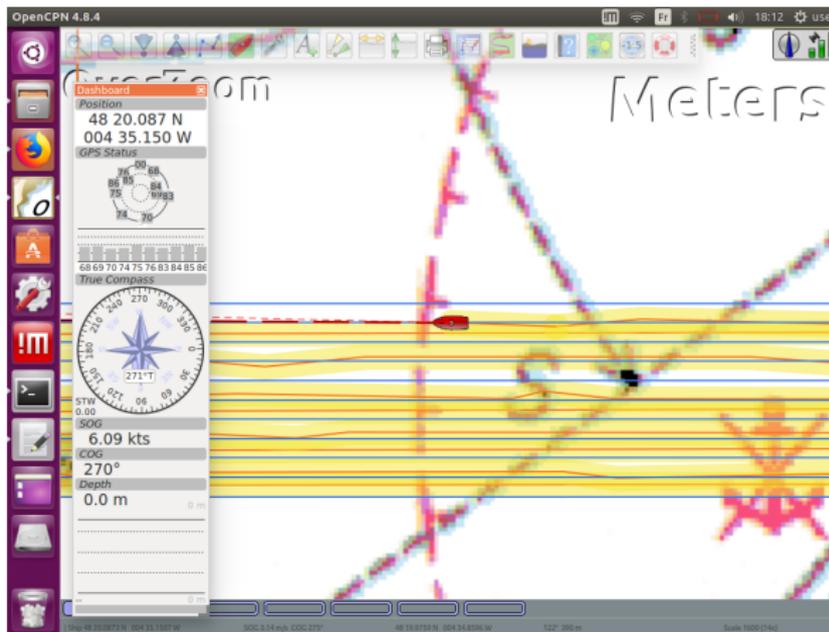


FIGURE – Interface utilisateur : utilisation d'OpenCPN

Sommaire

- 1 Mise en contexte
- 2 Description du Boatbot
- 3 Régulation du Boatbot**
- 4 Régulation - Pistes d'amélioration
- 5 Conclusion

Superviseur

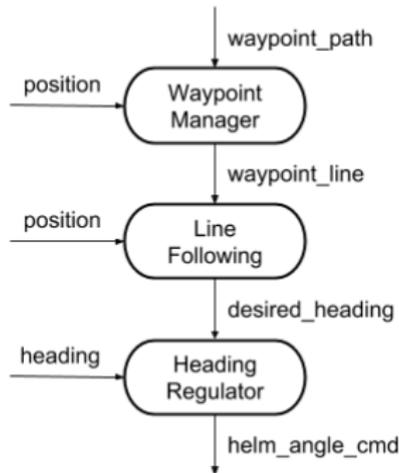


FIGURE – Régulation Boatbot

- Machine à état finis.
- Validation de la ligne par demi-plan perpendiculaire à celle-ci.

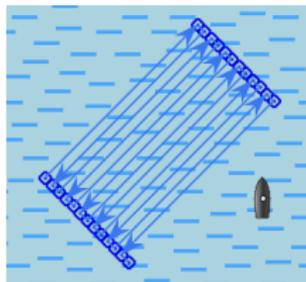


FIGURE – Mission : route de waypoints

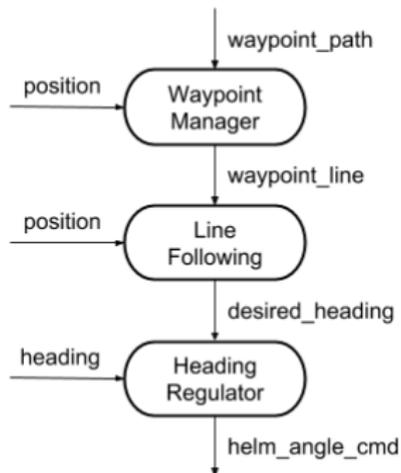


FIGURE – Régulation Boatbot

- Suivi de ligne par champ de vecteur.

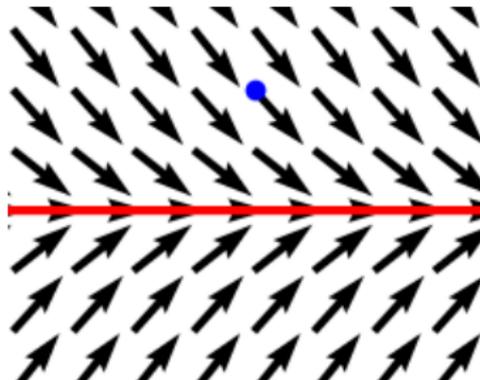
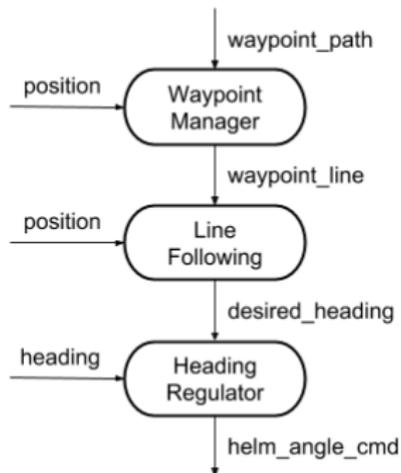


FIGURE – Champ de vecteur

Régulation en cap



- Régulation en cap par un contrôleur Proportionnel.

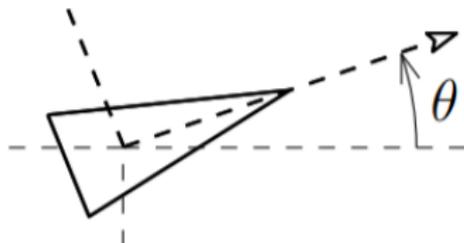


FIGURE – Régulation Boatbot

Vidéo essai en mer

Points à améliorer

- Ecart à la ligne en présence de fort courant ;
- Oscillations autour de la ligne, en fonction du réglage des gains et de la vitesse du bateau.

Sommaire

- 1 Mise en contexte
- 2 Description du Boatbot
- 3 Régulation du Boatbot
- 4 Régulation - Pistes d'amélioration**
- 5 Conclusion

Amélioration de la distance à la ligne

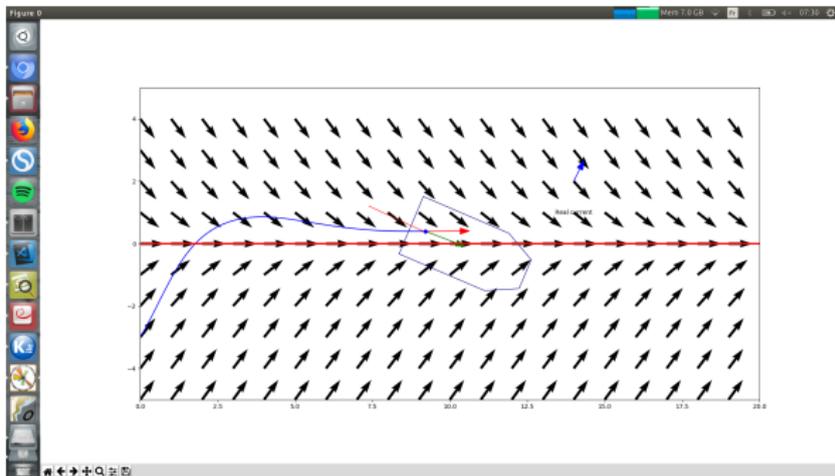


FIGURE – Simulation d'un suivi de ligne avec la régulation actuelle en présence de courant marin

Estimation du courant : Modèle du bateau

Modèle d'état du bateau dans un courant

$$\begin{cases} \dot{x}_1 &= p_1 \cos(x_3) + p_2 \\ \dot{x}_2 &= p_1 \sin(x_3) + p_3 \\ \dot{x}_3 &= u \end{cases}$$

Avec (x_1, x_2) la position du robot, x_3 son cap, et p_1 sa vitesse surface. On lui envoie la commande u , et il subit les effets du courant représentés par le vecteur (p_2, p_3) .

Estimation du courant : Equation d'état

On cherche à estimer le vecteur \mathbf{p} avec un filtre de Kalman. On suppose que ce vecteur est constant dans le temps.

D'où :

$$\dot{\mathbf{p}} = \mathbf{0} + \alpha(t),$$

ou, discrétisé :

$$\mathbf{p}_{k+1} = \mathbf{I} \cdot \mathbf{p}_k + \alpha_k.$$

Estimation du courant : équation d'observation

On mesure le vecteur vitesse du bateau avec le GPS.
Nous connaissons le cap du bateau grâce à l'IMU.

$$\mathbf{y} = \begin{pmatrix} \rho_1 \cos(x_3) + \rho_2 \\ \rho_1 \sin(x_3) + \rho_3 \end{pmatrix} + \beta(t).$$

Et on discrétise :

$$\mathbf{y}_k = \mathbf{C}_k \mathbf{p}_k + \beta_k,$$

avec

$$\mathbf{C}_k = \begin{pmatrix} \cos(x_3) & 1 & 0 \\ \sin(x_3) & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

et

$$\mathbf{p}_k = \begin{pmatrix} \rho_1 \\ \rho_2 \\ \rho_3 \end{pmatrix}.$$

Estimation du courant : équation d'observation

On mesure le vecteur vitesse du bateau avec le GPS.
Nous connaissons le cap du bateau grâce à l'IMU.

$$\mathbf{y} = \begin{pmatrix} \rho_1 \cos(x_3) + \rho_2 \\ \rho_1 \sin(x_3) + \rho_3 \end{pmatrix} + \beta(t).$$

Et on discrétise :

$$\mathbf{y}_k = \mathbf{C}_k \mathbf{p}_k + \beta_k,$$

avec

$$\mathbf{C}_k = \begin{pmatrix} \cos(x_3) & 1 & 0 \\ \sin(x_3) & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

et

$$\mathbf{p}_k = \begin{pmatrix} \rho_1 \\ \rho_2 \\ \rho_3 \end{pmatrix}.$$

Estimation du courant : Filtre de Kalman

Représentation d'état du système d'estimation de courant

$$\begin{cases} \mathbf{p}_{k+1} = \mathbf{I} \cdot \mathbf{p}_k + \boldsymbol{\alpha}_k \\ \mathbf{y}_k = \mathbf{C}_k \mathbf{p}_k + \boldsymbol{\beta}_k \end{cases}$$

Filtre de Kalman estimant $\hat{\mathbf{p}}$ de \mathbf{p}

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{p}}_{k+1|k} &= \hat{\mathbf{p}}_{k|k} \\ \boldsymbol{\Gamma}_{k+1|k} &= \boldsymbol{\Gamma}_{k|k} + \boldsymbol{\Gamma}_{\boldsymbol{\alpha}_k} \\ \hat{\mathbf{p}}_{k|k} &= \hat{\mathbf{p}}_{k|k-1} + \mathbf{K}_k \cdot \tilde{\mathbf{y}}_k \\ \boldsymbol{\Gamma}_{k|k} &= (\mathbf{I} - \mathbf{K}_k \mathbf{C}_k) \cdot \boldsymbol{\Gamma}_{k|k-1} \quad . \\ \tilde{\mathbf{y}}_k &= \mathbf{y}_k - \mathbf{C}_k \hat{\mathbf{p}}_{k|k-1} \\ \mathbf{S}_k &= \mathbf{C}_k \cdot \boldsymbol{\Gamma}_{k|k-1} \cdot \mathbf{C}_k^T + \boldsymbol{\Gamma}_{\boldsymbol{\beta}_k} \\ \mathbf{K}_k &= \boldsymbol{\Gamma}_{k|k-1} \mathbf{C}_k^T \mathbf{S}_k^{-1} \end{aligned}$$

Simulation estimation du courant et commande associée

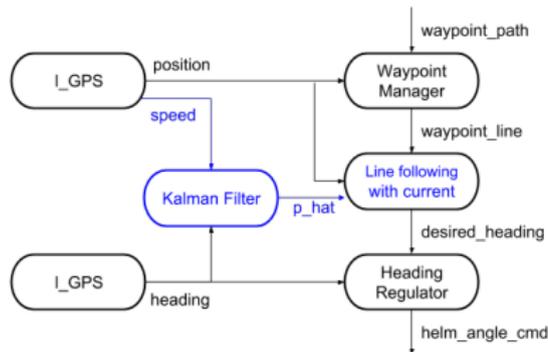


FIGURE – Changement dans l'architecture logiciel pour l'estimation et la prise en compte du courant

Vidéo : Simulation d'un suivi de ligne par un robot de Dubin, avec un contrôleur utilisant l'estimation du courant.

Simulation commande avec estimation du courant

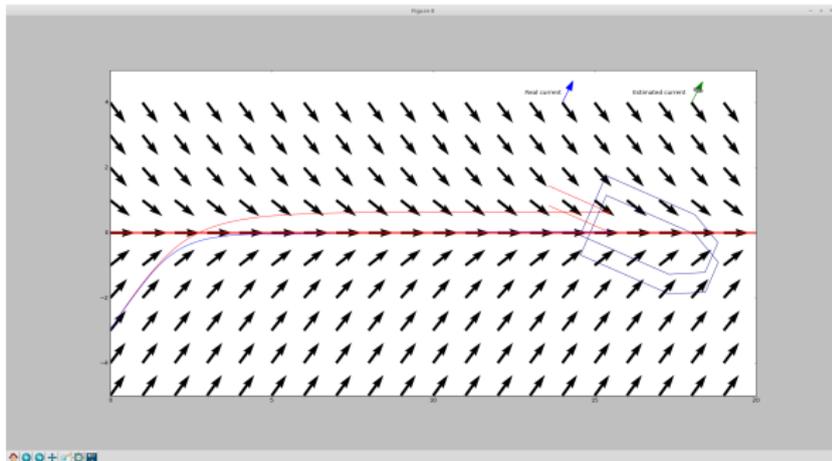


FIGURE – Simulation régulation avec et sans la prise en compte du courant

Atténuation des oscillations

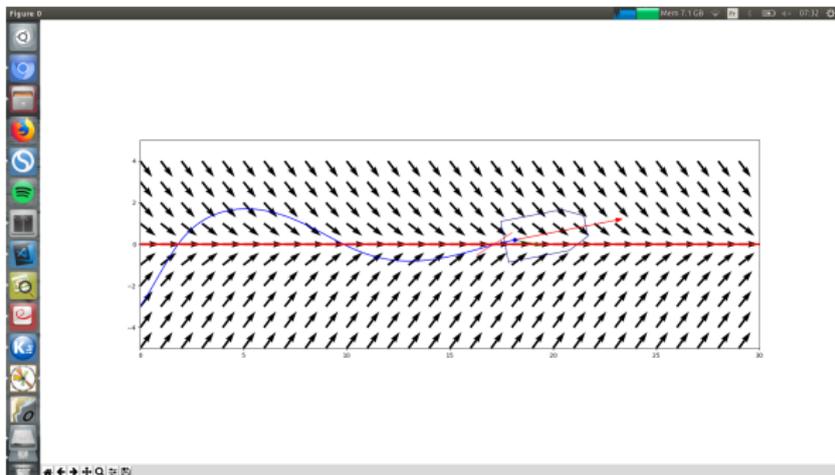


FIGURE – Simulation d'un suivi de ligne avec la régulation actuelle

Atténuation des oscillations

Solutions

- Utilisation du modèle d'état : bateau de Dubin ;
- Commande du modèle cinématique par bouclage linéarisant ;
- Passage du contrôle du modèle cinématique au contrôle du robot réel par commande grand gain.

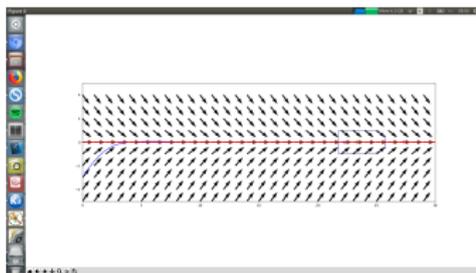


FIGURE – Simulation d'un suivi de ligne avec une commande de linéarisation par bouclage

Sommaire

- 1 Mise en contexte
- 2 Description du Boatbot
- 3 Régulation du Boatbot
- 4 Régulation - Pistes d'amélioration
- 5 Conclusion**

Conclusion

Résultats

- Boatbot a été utilisé dans la campagne de recherche de la Cordelière de Juillet 2018 ;
- Facile d'utilisation, tout le monde peut apprendre à s'en servir.

Futur travaux

- Tester l'estimation des courants et leur prise en compte par le contrôleur ;
- Implémenter et tester le contrôleur avec prise en compte de la courbure du champ de vecteur.



FIGURE – Essai en mer avec Boatbot au port du Tinduff