

Systeme d'assistance à la navigation handivoile

N. BROCHETON, K. BRUGET, A. WIBAUX, O. REYNET, B. CLEMENT

ENSTA Bretagne

B. WEBER

Splashelec

kevin.bruget@ensta-bretagne.fr

HandivoileEnsta@gmail.com

Résumé : Ce projet, fruit d'une collaboration entre l'ENSTA-Bretagne et l'entreprise Splashelec vise à développer une Interface Homme-Machine (IHM) qui facilite la navigation par le biais de capteurs et d'un boîtier de commandes embarqué sur le bateau. Il se concrétise par la création d'une interface graphique directement accessible via un téléphone mobile pour pallier le manque de mobilité du navigateur.

Mots clés : IHM, assistance à la navigation, Android, Arduino, plaisance, voile.

I. INTRODUCTION

La robotique autour des voiliers est aujourd'hui devenue une réalité ; elle a pour but de remplacer l'humain en course [1], ou de réaliser des mesures scientifiques [2,3] de manière autonome. Notre démarche n'est pas de supprimer l'action humaine comme on l'entend souvent en robotique mais de l'assister tant au niveau de l'acquisition de l'information, de l'aide à la décision que de l'action dont les aspects puissance sont pris en charge par le robot. Dans ce cadre, le monde de la voile est un bon exemple d'activité qui demeure relativement inaccessible aux personnes handicapées en raison de la perception de l'information qui se fait par la mobilité du skipper et par les efforts importants qui peuvent être demandés pour piloter un bateau. À ce titre, ce projet vise à promouvoir et à rendre accessible ce loisir à destination de ce public. Pour répondre aux contraintes imposées par les particularités de la navigation à la voile et la perte de mobilité de l'utilisateur, il est nécessaire de faire preuve d'innovation en utilisant les technologies existantes.

La spécificité de ce projet réside dans l'adaptation d'un boîtier électronique actuellement couplé avec un joystick et un système de barre électrique, qui permet à une personne handicapée de manœuvrer un voilier avec les sensations d'un barreur classique. Ce système est entièrement amovible et son installation peut se faire de manière non invasive sur différents modèles de voiliers.

Amélioration du boîtier de commande	Développement d'une interface graphique
<ul style="list-style-type: none">- Ajout de capteurs :<ul style="list-style-type: none">• Compas• Sondeur• GPS• Centrale inertielle• Anémomètre• Thermomètre- Ajout de fonctionnalités :<ul style="list-style-type: none">• Pilote automatique• Commandes vocales• Synthèse vocale des données- Conservation du caractère "volant" de l'installation- Mise à jour du code :<ul style="list-style-type: none">- Prise en compte des modifications- Implémentation des nouvelles fonctions	<ul style="list-style-type: none">- Affichage attendu :<ul style="list-style-type: none">• Angle de la barre• Position du neutre de la barre• Compas / Boussole• Position GPS- Ergonomie :<ul style="list-style-type: none">• Facilité d'emploi• Lecture facilitée des données• Réglages simplifiés des paramètres- Commandes possibles :<ul style="list-style-type: none">• Poursuite d'un cap• Modification du cap• Bouton d'arrêt d'urgence• Lancement d'un pilote automatique- Sécurité des communications

Fig. 1. Objectifs du projet

Le projet se décompose en deux extensions dont les objectifs sont donnés sur la figure 1 :

- ajout de multiples capteurs au système et modification de la carte électronique basée sur Arduino [4,5] en vue de son optimisation.
- implémentation et programmation d'une interface homme-machine ergonomique sur un appareil de type smartphone fonctionnant sous Android [6].

Dans ce but, les capteurs ajoutés sont un GPS, un compas, une girouette-anémomètre et un sondeur, qui fournissent des données en temps réel et sont autant d'aides à la navigation ce qui rapproche cette partie du projet d'une centrale de navigation conventionnelle, bien que ces dernières ne soient pas adaptées à un usage par des personnes handicapées.

Il s'agit donc de s'appuyer sur les travaux de Splashelec en matière d'assistance au pilotage d'un voilier par une personne handicapée pour en améliorer l'ergonomie et agrandir le cercle des utilisateurs. A l'heure actuelle, le système se compose d'un boîtier de commande et permet, via un joystick et l'installation d'un vérin, de manipuler la barre d'un voilier.

Cet article présente donc l'architecture du système d'aide à la navigation, d'abord en le décomposant en plusieurs éléments, le boîtier électronique, les capteurs et l'IHM puis en le décrivant de manière fonctionnelle. Une dernière partie est dédiée à la validation du produit.

II. DESCRIPTION DU SYSTEME

A. Boîtier électronique

Le boîtier électronique (figure 2) au cœur du système est un vrai calculateur de pilote automatique. Il contient un microcontrôleur, l'électronique de puissance pour un vérin électrique ou une pompe hydraulique, les circuits d'alimentation et divers interfaces pour le capteur d'angle de barre, le joystick, un petit clavier de commande et un bus de communication (voir figure 3).



Fig. 2. Boîtier calculateur du système



Fig. 3. Présentation du dispositif Splashelec

Ce boîtier central a été développé en se basant sur la technologie *open-source*, ceci afin de pourvoir adapter librement et facilement de nouvelles fonctionnalités, comme cela est nécessaire avec les problématiques très hétérogènes du handicap. Le résultat de cette initiative *open-source* (matériel et logiciel) est disponible sur Internet [7].

Le microcontrôleur utilisé est compatible avec les cartes Arduino et il est programmé avec le logiciel de chargement émanant de ce projet, ce qui donne accès à l'interface de développement, aux bibliothèques existantes et à de nombreux exemples sur le web. En fait, ce boîtier avec sa carte de circuit imprimé spécifique se comporte exactement comme une carte Arduino basique qui est déjà connectée aux périphériques nécessaires pour piloter un bateau, manœuvrer un joystick ou activer un mode pilote automatique.

L'idée centrale est d'interconnecter ce système, un appareil afficheur (de type tablette ou smartphone sous Android) et des capteurs supplémentaires selon l'architecture donnée sur la figure 4. Pour ce faire, nous avons choisi de rajouter au boîtier une carte Arduino ADK (Android Development Kit). Il s'agit d'une platine micro contrôlée, architecturée sur la base d'un ATmega2560. Dotée d'une interface USB Host, elle est spécialement conçue pour être connectée à des téléphones portables avec un système d'exploitation Android lui permettant d'interagir avec le monde extérieur en lui faisant disposer de ports d'entrée/sortie, de sorties de type PWM, d'entrées analogiques, de liaison SPI™, I2C™, et de plusieurs UART pour les connexions NMEA-183. Un autre intérêt de ce choix est qu'il laisse la possibilité de brancher directement le téléphone portable à la carte en cas d'absence de module de connexion sans fil.

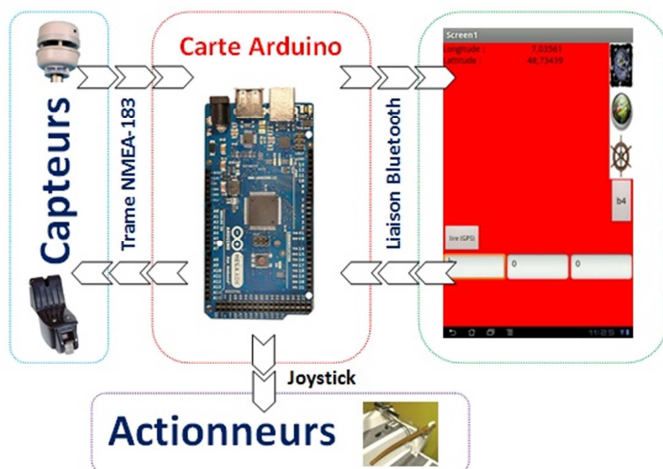


Fig. 4. Architecture du système

B. Capteurs

Concernant le choix des capteurs, divers critères ont été suivis. Tout d'abord les caractéristiques techniques du capteur en question doivent correspondre aux spécifications du cahier des charges, un capteur pouvant éventuellement remplir plusieurs missions. Ensuite, il doit pouvoir être connecté à la carte microcontrôleur. Le cas du sondeur est un bon exemple : de nombreux modèles remplissent les spécifications techniques, mais sont inexploitable soit à cause d'une interface électrique propriétaire, soit à cause d'un protocole de communication spécifique dont la documentation n'est pas accessible. Cet état de fait a restreint le choix de capteurs à ceux émettant une trame NMEA-183 dont le détail est donné en [8]. Le dernier critère était l'assurance du caractère amovible du capteur au prix d'un éventuel bricolage ou effort d'adaptation. Ainsi tous les capteurs qui nécessitaient de percer un trou dans la coque du voilier n'ont pu être sélectionnés. Le sondeur Furuno (SP235TA-1 Sonde active NMEA0183 tableau arrière Tri-fonction 235 KHZ (P66)) [9] a finalement été retenu.

Pour la puce GPS, le choix de conserver ce capteur a été guidé par d'autres préoccupations. En effet, bien que la plupart des smartphones soient désormais équipés d'une puce, la faisabilité d'une telle solution a été compromise par le fait qu'il s'agisse d'A-GPS [10] nécessitant une connexion que le milieu marin est loin de garantir. En outre, ce type de technologie peut s'avérer gourmand en énergie, la batterie d'un téléphone étant somme toute limitée, cela risque en cas d'usage de diminuer le temps d'utilisation de ce dispositif.

La communication sans fil entre le boîtier de commande et le smartphone responsable de l'affichage des données est assurée par un module Bluetooth en raison de sa plus faible consommation énergétique, du faible poids des données transmises et de la faible distance séparant le navigateur et donc le smartphone, du boîtier de commande. Cependant, cela prive le téléphone d'une batterie déportée.

Enfin, s'adjoint au système une petite centrale inertielle conçue pour venir directement se brancher sur la carte Arduino afin de pouvoir déterminer la gîte du bateau, ainsi qu'un anémomètre qui correspond à une demande de l'utilisateur et dont le choix a été largement guidé par des contraintes matérielles et de placement d'un tel capteur sur un voilier.

C. Interface homme-machine

Le développement de l'interface Homme-Machine s'est décomposé en deux phases. Une première a consisté en l'élaboration d'un prototype codé à l'aide du logiciel AppInventor initié par Google [11] afin d'évaluer les possibilités graphiques, ergonomiques et d'emploi d'une telle application. Cette première version de l'application désirée se décompose en trois grandes fenêtres d'affichage : une première nous renvoie les coordonnées GPS acquises par le téléphone et les convertit en paramètres de latitude et de longitude. Une seconde utilise la boussole afin de donner le cap en temps réel, tandis que la troisième fournit la position angulaire de la barre en fonction de l'angle de référence. La navigation se fait à l'aide d'onglets latéraux qui composent un menu à la fois

visuel et laisse libre une portion non négligeable de l'écran garantissant un affichage correct des graphiques présentant les données capteurs.

Cette version beta (figure 5), exportée sur une tablette ASUS équipée du système d'exploitation Android s'est avérée fonctionnelle et a ainsi pu être testée. Le smartphone disposant des mêmes caractéristiques techniques, le portage sera le même vers ce type d'appareils et devrait être facilité avec le lancement de la dernière version d'Android baptisée Ice Cream Sandwich [12] qui étend la compatibilité des applications à l'ensemble des appareils pris en charge. La réalisation du code est relativement aisée du fait du caractère graphique du langage utilisé qui permet de se concentrer sur l'aspect algorithmique du programme. Cependant, le choix de Google de cesser le développement de cet outil laisse planer un doute sur sa pérennité, bien qu'il soit actuellement repris par le MIT.

Cependant cela ne remet pas en cause les fondements du travail et le programme pourra donc être réalisé sous une autre plateforme, en C/C++, ou en JAVA par exemple, et convertit lors de son portage sous une forme interprétable par Android, voire directement en langage Android.

Les tests effectués avec la maquette ont confirmé la difficulté de rendre visuellement compte des données renvoyées par les capteurs et ont montré l'importance d'une bonne ergonomie pour garantir un emploi facile du produit développé.

La seconde partie repose sur l'implémentation du programme sous une forme définitive qui reprend les enseignements et les grandes lignes du prototype.

III. FONCTIONNALITÉS

Les fonctionnalités à mettre en place sont multiples et le calendrier de réalisation ne peut garantir à toutes leur développement. Une définition de phases ou d'étapes vient donc structurer ce projet. Ainsi, il a été décidé de développer dans un premier temps l'interface graphique qui constitue un élément fort de ce projet et l'ajout de capteurs. Ensuite, l'interface pourra se voir ajouter la possibilité, pour le navigateur, de directement entrer un cap ainsi que un arrêt d'urgence en cas de dysfonctionnement. Un pilote automatique plus élaboré pourrait implémenter des fonctionnalités de

sécurité supplémentaires comme, par exemple, en cas de gîte élevée et dangereuse pour l'embarcation, le pilote pourrait reprendre le contrôle pour redresser le bateau en modifiant l'angle d'incidence du vent. Ce développement ainsi que la commande vocale bien que tous deux extrêmement intéressants puisqu'ouvrant encore plus largement cette discipline, seront abordés en toute fin de projet.

A. Étude des risques

De nombreux risques ont pu être identifiés. Si la majorité d'entre eux sont prévisibles et donc susceptibles d'être corrigés au fur et à mesure du développement, d'autres, plus ou moins aléatoires, sont à prendre en compte afin de proposer une solution qui pallierait au mieux ces problèmes. Ceux-ci peuvent se subdiviser en trois catégories :

- **les risques relatifs à l'électronique de bord** et plus particulièrement à la communication entre le smartphone, la carte Arduino et les principaux capteurs. Comme tout support électronique, le programme de communication entre le smartphone et la carte Arduino ne sera pas exempt de bogues, c'est pour cela que des campagnes de tests auront lieu afin de les corriger. La solution de communication retenue entre le téléphone et la carte est une liaison par Bluetooth. Si ce système a démontré sa grande fiabilité, il n'est pas à exclure une interruption dans la communication ce qui rendrait, l'espace de quelques instants, le navigateur aveugle sur la situation de son bateau, un aspect non négligeable lors de la programmation du logiciel. Concernant l'autonomie de la batterie du téléphone, qui peut varier d'un modèle à un autre, la solution devra être élaborée en prévoyant le pire des scénarios afin que le système ne soit pas coupé en pleine navigation et qu'en cas de survenue d'un tel incident, le navigateur conserve la possibilité de diriger le voilier.

- **Les risques concernant le boîtier et les actionneurs** présents sur le bateau. Le projet s'incluant dans une solution déjà existante risque de bouleverser l'architecture mise en place. Le choix de privilégier une solution à installation « volante » afin de rendre facilement démontable le système après une sortie en mer, solution qui s'est répercutée sur le choix des capteurs, n'inclut pas que le montage des capteurs de manière amovible soit aisé. Il faut également tenir compte d'une défaillance possible du système qui ne doit pas mettre en danger les occupants du bateau et donc proposer un arrêt d'urgence bloquant les actionneurs et empêchant le bateau d'échapper au contrôle du barreur.

- **Les risques environnementaux** d'une telle solution évoluant en milieu marin. En effet, quelques précautions sont à prendre afin de limiter les risques spécifiques liés à cet environnement, particulièrement hostile pour tous appareils électriques. Ces précautions passent par l'étanchéité du boîtier et du téléphone et de tous les câbles de liaisons entre capteurs et actionneurs. La communication sans fil entre les appareils a été privilégiée afin de limiter le nombre de câbles présents. Enfin, l'ensemble du dispositif devra être respectueux de l'environnement marin.



Fig. 5. Prototype d'IHM et claviers permettant la navigation

L'ensemble des risques énumérés ci-dessus sont à prendre en compte afin de proposer une solution répondant au besoin tout en s'avérant efficace et fiable.

B. Campagne de tests

Dans le but de valider ce prototype et de confirmer la prise en compte des différents risques évoqués ci-dessus, une campagne de tests a été envisagée. Elle se décompose en trois parties :

- des tests unitaires sur les capteurs. Pour ce faire chaque capteur sera implémenté individuellement sur la carte, testé dans différentes configurations et conditions et, s'il donne entière satisfaction, sera validé et intégré au boîtier. Une fois l'ensemble des capteurs testés, les essais porteront sur la carte dans son ensemble et veilleront à éviter qu'il y ait des conflits en terme de programmation ou de sollicitation de la puce ou de ses sorties.
- simultanément, l'interface programmée sera éprouvée afin d'en éliminer les différents bugs et d'en valider l'ergonomie, puis mise en situation pour évaluer son bon fonctionnement en terme de communication avec le boîtier.
- enfin, une fois le système fonctionnel, il faudra contrôler que sa résilience et sa résistance aux risques présentés ci-dessus satisfont les critères du cahier des charges.

La réalisation de ces batteries de tests sera effectuée, d'une part en laboratoire, puis à terme, sous réserve de validation du prototype, en mer soit en condition réelles d'utilisation. Dans ce cadre, les données émises par le boîtier seront collectées pour analyse soit sur un ordinateur, soit enregistrées sur une mémoire externe. Dans l'idéal, la réalisation d'un logiciel de simulation reprenant ces informations permettrait une meilleure visibilité du fonctionnement du système et une interprétation plus fine des résultats.

IV. CONCLUSION

Le monde de l'handivoile demeure encore fortement limité par des contraintes matérielles et financières importantes. Cependant, ce projet a pour objectif de proposer une solution à faible coût pour permettre à tous de profiter des joies de la voile et plus largement de la navigation. Il constitue une base pour de futures améliorations visant à élargir le public ciblé. L'ajout d'un pilote automatique plus complexe ou d'un algorithme de navigation peut constituer un bon moyen d'en agrandir le champ d'action. Une autre solution consisterait à remplacer le joystick par un casque « MindWave » [13], le boîtier serait alors directement dirigé par la pensée, un moyen d'ouvrir ce loisir aux personnes tétraplégiques par exemple [14].

V. REMERCIEMENTS

Nous remercions M. Gakiere, le pilote d'essai, qui, grâce à son expérience dans le milieu de la voile, a su exprimer ses besoins et attentes en termes d'interface désirée et nous a permis d'adapter au mieux ce système pour les personnes

souffrant d'un handicap physique et souhaitant s'adonner à la navigation.

Nous remercions également "Nautisme en Finistère" et les personnes ayant travaillé sur le prototype du système de barre : Pierre Beloeil, Ludovic Dehedin, Thierry Dehedin, Vincent Mazure, Pierre Pensivy et Bernard Prouveur.

VI. BIBLIOGRAPHIE

- [1] G. Guillou. Architecture multi-agents pour le pilotage automatique des voiliers de compétition et extensions algébriques des réseaux de Petri. Thèse de Doctorat de l'Université de Bretagne Occidentale, 2011
- [2] L. Jaulin, B. Clement, Y. Gallou, F. Le Bars, O. Ménage, O. Reynet, J. Sliwka, Suivi de Route pour un robot voilier, 7^{ème} Conférence Internationale Francophone d'Automatique, Grenoble, 2012, (soumis)
- [3] O. Menage, F. Gaillard, T. Gorgues T. Terre, P. Rousseaux, S. Prigent, Y. Auffret, L. Dussud, B. Forest, M. Repecaud, L. Jaulin, B. Clement, Y. Gallou, F. Le Bars, VAIMOS : Autonomous sailing boat with embedded instrumentation for ocean surface measurements, Symposium on Vulnerability of coastal ecosystems to global change and extreme events, France, 2011
- [4] Hribernik, K.A., Ghrairi, Z., Hans, C., Thoben, K.D., Co-creating the Internet of Things—First experiences in the participatory design of Intelligent Products with Arduino, 17th IEEE International Conference on Concurrent Enterprising (ICE), 2011
- [5] Site web : www.arduino.cc
- [6] E. Burnette, *Hello, Android: introducing Google's mobile development platform*, Pragmatic Bookshelf, 2009
- [7] Site web : Wiki.splashesec.com
- [8] National Marine Electronics Association, NMEA 0183 Standard for interfacing marine electronics devices, Ver. 3.01, January 2002.
- [9] Site web : www.furuno.fr/Produit.php?Produit=SP235TA-1
- [10] Site web : www.gpsworld.com/gps/assisted-gps-a-low-infrastructure-approach-734
- [11] Site web : info.appinventor.mit.edu/
- [12] Site web : www.android.com/about/ice-cream-sandwich
- [13] Site web : <http://neurosky.com/Products/MindWave.aspx>
- [14] Tero Karvinen, Kimmo Karvinen, *Make a Mind-Controlled Arduino Robot, Use Your Brain as a Remote*, O'Reilly Editions, 2011