

Analyse des données Daurade

Introduction

Le but de ce Bureau d'Étude (BE) est d'étudier et analyser les données d'une mission de l'AUV Daurade : la mission "Roscanvel" du 3 décembre 2014.

La mission se déroule en plusieurs phases :

- l'AUV est allumé et initialisé sur le pont du navire accompagnateur alors accosté dans le port de Brest, cela laisse le temps aux opérateurs de programmer la mission et à la centrale inertielle de s'initialiser.
- ensuite, le navire effectue le transit depuis le port vers la zone de mesure, le véhicule étant toujours sur le pont et sous tension,
- enfin, le véhicule est mis à l'eau et la mission réelle débute. Elle s'effectue essentiellement en immersion avec quelques "reprises de vues", opération où le véhicule refait surface pour recalibrer sa navigation grâce au GPS.
- à la fin du "survey", l'AUV est récupéré puis remis sur le pont du navire. Les capteurs sont alors rapidement éteints, et pendant le retour, les données enregistrées dans le navire sont récupérées par les opérateurs.

Si, pour l'étude fine des propriétés de l'algorithme de navigation, toute la durée de la mission sera exploitée dans un BE futur, dans le cadre de celui-ci, les fichiers disponibles ne concernent que la durée du levé, qui commence quand le véhicule est déjà dans sa zone de travail.

De même, l'exploitation des données des sonars (sonar latéral et sondeur multifaisceau) n'est pas abordée (elle fera l'objet de séances futures).

Nous nous concentrons donc dans ce bureau d'étude sur l'observation des données d'environnement et de navigation.

L'objectif est de répondre à la question : "la mission s'est-elle bien déroulée ?".

Et plus précisément :

- les performances du véhicule pendant la mission étaient-elles nominales ?
- il y a-t-il eu des événements pendant le déroulement de la mission qui méritent une attention particulière ?

Les données disponibles

Dans cette optique, les données disponibles sont un sous-ensemble des données enregistrées pendant la mission dans l'AUV, retranscrites dans des conventions communes (expliquées dans le document joint à ce BE) et enregistrées au format `.npz` de la bibliothèque NumPy de Python.

Pendant cette mission, l'AUV était suivi par un navire de surveillance et sa trajectoire mesurée à partir d'un système USBL (Ultra Short BaseLine Localization) montée sur le navire.

Ces données sont aussi fournies dans le format `.npz` selon les mêmes conventions.

Les premières données sont stockées dans le fichier `Daurade_20141203.npz` que l'on peut lire par

```
d = numpy.load("Daurade_20141203.npz")
```

La liste des données et leur signification est décrite dans l'annexe A.1 du document joint. Une variable de nom "xxx" sera disponible en tant qu'élément de dictionnaire de `d` : `d['xxx']`.

Les données de l'USBL sont stockées dans le fichier `Gaps_20141203.npz` que l'on peut lire par

```
g = numpy.load("Gaps_20141203.npz")
```

Les éléments de ce dictionnaire sont décrits dans le document joint, annexe A.2

1 Trajectoire générale

Au début du dépouillement, la première vérification à faire est d'observer la trajectoire du véhicule sur un fond de carte, permettant d'avoir une idée générale du levé, de vérifier que cette trajectoire est globalement conforme à ce qui était prévu et aussi de vérifier la disponibilité des mesures provenant des capteurs d'aide à la navigation.

1. Tracer sur un fond de carte de la rade, la trajectoire du véhicule, avec les données issues de la centrale inertielle.

Un extrait de la carte à l'endroit de la mission Roscanvel est disponible dans le fichier `Roscanvel_area.tiff` en projection géographique.

La coordonnée du coin Sud Ouest de la carte est (en degrés décimaux) : (48.313° N, 4.530° W) et le coin Nord Est est (48.326° N, 4.510° W).

Ainsi pour représenter la trajectoire sur le fond de carte, une possibilité sous Python est d'importer les librairies `pillow` et `matplotlib` par les commandes

```
import PIL.Image as Image
```

```
import matplotlib.pyplot as plt
```

de charger l'image

```
rade = Image.open("Roscanvel_area.tiff")
```

d'afficher la carte, par exemple avec la fonction fournie dans le fichier `osm_ui`, `plot_map()`

```
axes = osm_ui.plot_map(rade, (-4.530, -4.510), (48.313, 48.326), "titre")
```

d'ajouter la trajectoire, grâce à la fonction `osm_ui.plot_xy_add()` (n'oubliez pas de convertir les latitudes et les longitudes en degrés comme c'est l'usage) et d'afficher l'image par `plt.show()` ou `plt.pause(0.1)` suivant l'environnement Python que vous utilisez.

2. Rajouter sur la carte les positions GPS disponibles sous forme de points. Vous pouvez ajouter une légende sur vos courbes avec, par exemple,

```
gg.legend(("ins", "gnss"))
```

avant l'affichage final.

3. Pourquoi le GPS n'est disponible qu'en un certain nombre de points ? Justifiez votre réponse par une courbe issue des variables disponibles dans le fichier "Daurade_20141203.npz".
4. La difficulté de la carte avec la trajectoire est qu'il est difficile de voir le déroulement temporel des phases de la mission.

L'observation de la coordonnée verticale en fonction du temps permet de décomposer la mission en différents segments temporels séparés par des remontées à la surface.

On peut décomposer un peu arbitrairement en 6 phases séparées par des remontées en surface (sauf la dernière, toujours en surface) :

- phase 1 : entre $t = 550$ s et $t = 960$ s;
- phase 2 : entre $t = 960$ s et $t = 8200$ s;
- phase 3 : entre $t = 8200$ s et $t = 15120$ s;
- phase 4 : entre $t = 15120$ s et $t = 16000$ s;
- phase 5 : entre $t = 16000$ s et $t = 16500$ s;
- phase 6 : entre $t = 16500$ s et $t = 18237$ s;

Par exemple, en décomposant sur la carte la trajectoire avec des couleurs différentes en fonction des 6 phases identifiées (mais ce n'est pas la seule solution), pouvez vous décrire approximativement les trajectoires pendant les 6 phases.

2 Référence verticale

Nous allons maintenant regarder l'évolution verticale du véhicule.

5. Tracer au cours du temps, l'évolution verticale du véhicule en sortie de filtre. Ajoutez y les données d'immersion du capteur de pression.
A votre avis, à quelle référence correspond le zéro de la position verticale ?
6. Cette référence n'est-elle pas suffisante pour construire ensuite une carte marine de bathymétrie précise à partir des données du sondeur de l'AUV ? Justifier votre réponse. Qu'aurait-il fallu faire ?

7. Le SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine), met à disposition des utilisateurs les niveaux mesurés au cours du temps sur ses marégraphes français sur le site <https://data.shom.fr>

Sur l'interface du site, vous sélectionnez à gauche "Accéder au catalogue du Shom", puis l'onglet "Observations cotières". Ensuite vous sélectionnez "Hauteur d'eau (REFMAR)" et cochez "Marégraphes RONIM".

Sur la carte, il est alors nécessaire de cliquer sur le point représentant le marégraphe de Brest et puis, sur le menu "popup" qui apparaît, sur le bouton "Visualiser les mesures".

Sachant que cette mission s'est déroulée entre 9h50 et 14h45 UTC le 3 décembre 2014, quelle a été l'évolution de la marée pendant cet intervalle de temps ?

Les hauteurs de marée sont exprimées dans un référentiel bien déterminé qui est le "zéro hydrographique", qui correspond approximativement au niveau le plus bas théorique de la marée (en ne tenant pas compte des effets atmosphériques).

Cette référence est à 47.04 m de hauteur au dessus de l'ellipsoïde du WGS84.

8. Sur la courbe des immersions, on s'aperçoit que l'AUV était asservi à 7 m d'immersion lors de la première plongée longue et à 10 m d'immersion lors de la seconde plongée longue. Néanmoins, on peut s'apercevoir qu'à certains moments le véhicule remonte légèrement. C'est par exemple le cas entre 11570 s et 11670 s (ce qui correspond respectivement aux indices 220358 et 222357 sur la matrice de données des positions sorties par l'INS).

A quelle position était le véhicule à ce moment là sur la carte ? Pouvez vous imaginer ce qu'il a pu se passer ?

3 Précision de navigation horizontale

9. Si on regarde précisément sur la trajectoire les moments où le véhicule refait surface et réacquière la position GPS, on peut remarquer des sauts dans la navigation. Pourquoi ? Que se passe t'il ?
10. Quel est le saut en mètre de la position à la fin des deux grandes plongées (phases 2 et 3) ? Pour information, à Brest le rayon de courbure de la Terre le long du méridien est de 6371 km et le rayon de courbure le long du parallèle est de 4249 km.
11. La question qui se pose est de savoir si l'erreur de position de la centrale est compatible avec les performances nominales du système.

Pour l'évaluer nous avons 3 sources d'informations :

- l'erreur entre la position estimée par l'INS et la position mesurée par le GPS à la remontée à la surface,
- l'estimation de l'erreur calculée par le filtre de Kalman de l'INS (incluse dans les données),

- la spécification de la centrale : INS/DVL : 10^{-3} de la distance parcourue, issue de la datasheet de la centrale inertielle présentée dans le document joint.

Sachant que la première grande plongée a une longueur de 13 km et la seconde une longueur de 12.5 km, les erreurs observées dans la question précédente en fin des grandes périodes d'immersion sont-elles compatibles avec les spécifications ?

12. Tracer l'erreur estimée par le filtre de Kalman de la navigation (issue du fichier "Daurade_20141203.npz"). Cette erreur est-elle du bon ordre de grandeur ? Si la réponse est oui, cela indique que l'AUV a l'information que sa trajectoire n'est pas très précise. Dans le cas contraire, non seulement, le véhicule se met en danger en surestimant sa précision de navigation, mais il y a en plus un risque de divergence du filtre de Kalman de la navigation.

4 Qualité de la mesure de vitesse

Compte tenu des résultats des questions précédentes, il est important de comprendre l'origine de la dégradation de la qualité de positionnement.

En immersion, la dérive de la centrale est limitée (mais pas annulée) par le capteur DVL, ce qui fait que parmi les causes possibles, on pourrait imaginer :

- une précision de la mesure de vitesse DVL dégradée,
- un léger défaut dans la centrale inertielle,
- un mésalignement entre la centrale et le DVL,
- un mauvais paramétrage de l'algorithme de navigation,
- ...

Nous allons donc, dans un premier temps, essayer de voir si le problème vient de la centrale ou du DVL.

Pour estimer la qualité du DVL, une solution est d'intégrer directement les vitesses mesurées par le DVL pour voir si ces mesures sont précises.

Comme le DVL ne donne pas les attitudes, il est malgré tout nécessaire d'utiliser les attitudes fournies par la centrale, pour reporter les vitesses mesurées dans le repère de navigation NED (North / East / Down).

Nous avons fait cette conversion et les données DVL dans le repère NED (donc corrigées de l'attitude du véhicule) sont disponibles dans la variable `speed_dvl_ned`.

13. A partir de la position initiale du véhicule (en longitude / latitude / hauteur au dessus de l'ellipsoïde), des données vitesses du DVL dans le repère NED ainsi que des dates d'acquisition du DVL, pouvez vous écrire mathématiquement (vous n'avez pas à les coder, on s'en est chargé pour vous), les formules d'intégration de la vitesse pour fournir les positions ? On utilisera l'intégration trapézoïdale et on ne tiendra pas compte du bras de levier entre la centrale et le capteur DVL.

14. Nous fournissons dans le module `ins_utils` la routine d'intégration du dvl.

La fonction est :

```
lonlath_dvl = dvl_integration(t_dvl, speed_dvl, lonlath0):
```

avec

- `t_dvl` : les dates de disponibilité du DVL,
- `speed_dvl` : les vitesses du DVL aux différentes dates,
- `lonlath0` : la position initiale (longitude, latitude en radians)
- `lonlath_dvl` : le résultat correspondant aux positions calculés avec le DVL seul.

Pour `lonlath0`, on peut prendre la position estimée par l'INS au début du rail.

Sachant que pour le premier survey, on peut prendre pour les indices des tableaux :

	indice début	indice fin
dvl	980	18789
ins	7960	153358
gnss	11	49

et pour le second survey :

	indice début	indice fin
dvl	18740	35607
ins	152959	291557
gnss	38	78

tracez pour les deux surveys, les trajectoires calculées par le système de navigation et les trajectoires estimées à partir du DVL seul. Comparez-les, ainsi qu'avec les positions GPS au moment de la remontée. Qu'en pensez-vous ?

5 Exploitation des données USBL

Le fait qu'avec le DVL seul, l'estimation de trajectoire est plus proche des données GNSS que le résultat du Kalman de l'INS pourrait être un simple hasard.

Pour confirmer (ou non) que la trajectoire estimée avec le DVL seul est plus précise que l'estimation de l'INS, nous avons aussi la position de l'AUV estimée par l'USBL du navire suiveur.

Cette mesure est indépendante des estimations faites par l'AUV.

Nous rappelons que les données du Gaps sont disponibles dans le fichier `Gaps_20141203.npz` sous forme d'un dictionnaire.

Les indices des données USBL valides pendant les deux plongées sont :

	début	fin
premier survey	21	1235
second survey	1236	2302

15. Tracer sous forme de points la position du navire interrogateur et la position du véhicule avec les deux trajectoires (DVL / INS). A supposer que la mesure de l'USBL ne soit pas biaisée, est-ce l'estimée du DVL seul ou la sortie du Kalman qui semble la plus précise ?

6 Conclusion

Nous traiterons dans un BE future les données brutes de la centrale pour continuer l'enquête et comprendre pourquoi la mesure de la navigation n'était pas optimale.