

Convention de subvention DGA-DS/ENSTA Bretagne
n°2012.60.0010.00.470.75.01
Année 2013-2014- fourniture 1

Etude n°1 : Calcul ensembliste pour la robotique marine et sous-marine

F. Le Bars, V. Drevelle, J. Nicola, M. S. Ibn Seddik, A. Béthencourt, L. Jaulin

Descriptif de l'étude

Dans le cadre de cette étude, nous cherchons à réaliser des plateformes robotiques marines, sous-marines, terrestres et aériennes dans le but de valider des concepts et algorithmes divers, notamment en utilisant des méthodes ensemblistes telles que le calcul par intervalles. Les thématiques liées à ce projet sont variées : réalisation de robots simples, peu coûteux et robustes, téléopération, autonomie, régulation, validation, localisation robuste, SLAM (Simultaneous Localization And Mapping), détection et reconnaissance d'objets, cartographie, collaboration entre robots... Ce thème de recherche a été initié par la thèse DGA de Fabrice LE BARS soutenue en 2011 sur la robotique sous-marine (cartographie, localisation). Ce thème continue à travers la thèse d'Aymeric BETHENCOURT en cours sur le SLAM par meute de robots et le post-doc de Vincent DREVELLE sur l'exploration sous-marine par meute de robots. De plus, d'autres projets sont étroitement liés à ces travaux. L'évaluation des algorithmes développés est assurée par la participation d'équipes de l'ENSTA Bretagne à plusieurs concours ou défis dont SAUC-E (robotique sous-marine), euRathlon (robotique terrestre en 2013, sous-marine en 2014) et WRSC (robots à voile et à moteur).

Voici les principaux travaux prévus pour cette année :

- Robotique marine de surface : participation à la WRSC/IRSC 2014 (compétition et conférence de robotique marine de surface autonome) en Irlande, collaboration avec l'Ifremer pour le robot voilier autonome VAIMOS (Voilier Autonome Instrumenté pour Mesures Océanographiques de Surface).
- Robots sous-marins autonomes. Cette année, les concours SAUC-E et euRathlon seront regroupés en Italie et seront tous les 2 sur de la robotique sous-marine. Nous y présenterons nos AUVs (Autonomous Underwater Vehicles) SAUC'ISSE, SARDINE et ROVs (Remote Operated Vehicles) de la société CISCREA modifiés. Nous continuerons aussi nos expériences en rade de Brest (tour de l'Île des Morts en utilisant différents capteurs et un ou plusieurs robots).
- Projets étudiants : robots humanoïdes NAOs, Coupe de France de Robotique, projet « Diving Bird », robot vélo autonome, meute de buggys autonomes... Ces petits projets et concours sont de bons moyens pour initier les étudiants à la robotique.

Déroulement de l'année

Comme tous les ans, plusieurs étudiants, stagiaires, doctorants et personnels sont impliqués dans les activités de robotique à l'ENSTA Bretagne. L'année a comme d'habitude commencé par une présentation des robots existants aux étudiants et des initiations aux éléments de base de nos robots les lundis et mardis soirs : programmation C sous Windows et Linux, traitement d'images de webcams, découverte d'OpenCV (bibliothèque de traitement d'images), utilisation d'Arduino pour la commande de servomoteurs, CAO (Conception Assistée par Ordinateur)... Des sujets de projets et de stages ont ensuite été proposés aux étudiants. Divers cours dans le cursus des étudiants sont aussi en lien avec la robotique et le calcul ensembliste.

Robotique marine : WRSC/IRSC 2014

La WRSC/IRSC 2014 (compétition et conférence de robotique marine de surface autonome) aura lieu à Galway, Irlande du 8 au 12 Septembre 2014 (voir <http://wrsc2014.com/>). Les épreuves devraient être similaires à celles de l'année dernière (que nous avons organisée à Brest). Nous allons probablement y participer au moins avec notre bateau à moteur autonome construit en 2013. Celui-ci est en cours de réparation et fiabilisation. Un stagiaire devrait très prochainement reprendre en main les algorithmes développés (notamment l'évitement d'obstacles en utilisant la méthode des champs de potentiels) et les améliorer, notamment pour gérer des scénarios d'évitement d'obstacles supplémentaires.

Par ailleurs, les travaux sur le voilier VAIMOS de l'Ifremer continuent, nous essayons de mettre au point des stratégies pour faire en sorte qu'un voilier puisse tracter efficacement une charge importante par rapport à son poids en utilisant intelligemment les courants marins et le vent (ceci fera l'objet d'un article soumis à IRSC 2014). De plus, il reste à intégrer au contrôleur développé pour le voilier les méthodes testées avec le bateau à moteur pour éviter les obstacles en définissant des champs de potentiels.

Robotique sous-marine : SAUC-E et euRathlon 2014 et tour et cartographie de l'île des Morts

Nous prévoyons cette année de participer aux concours SAUC-E et euRathlon 2014, qui sont regroupés à La Spezia, Italie du 20 Septembre au 3 Octobre 2014 et proposent des épreuves proches du concours SAUC-E 2013 (voir <http://www.sauc-europe.org> et <http://www.eurathlon.org/>). Nous prévoyons d'y participer avec les robots suivants:

- SAUC'ISSE et SARDINE : les 2 robots sous-marins les plus anciens. Ils vont subir quelques modifications pour corriger certains problèmes remarqués après les modifications de l'année dernière. De plus, nous avons maintenant en tout 4 modems acoustiques à partager entre tous les robots.



Figure 1 : SAUC'ISSE et SARDINE

- 2 ROVs CISCREA modifiés pour pouvoir fonctionner en mode AUV. Le robot utilisé l'année dernière va être laissé tel qu'il est, et 2 autres ROVs vont être rendus autonomes sur le même modèle, mais avec une boîte supplémentaire plus petite (comme celle utilisée sur l'un de ces robots en 2012, mais avec de nouveaux connecteurs étanches pour être interchangeable avec le robot de 2013). De plus, de nouvelles batteries devraient être utilisées, les batteries originales ayant eu de nombreux problèmes.



Figure 2 : Mise à l'eau du robot CISCREA modifié en 2013. 2 robots supplémentaires vont être préparés en 2014 en combinant les choix faits en 2012 et 2013, et avec de nouvelles batteries.

Notre objectif est d'avoir assez rapidement une meute de 4 robots autonomes avec des capteurs suffisants pour faire des expériences de cartographie sous-marine en utilisant une « stratégie pas-à-pas », dans le cadre de la future thèse DGA qui démarrera en Octobre sur ce sujet.

En parallèle de la préparation des robots, nous travaillons aussi sur des améliorations de l'algorithme de localisation par calcul par intervalles d'un robot dans une piscine avec un sonar. L'idée est d'essayer d'étendre la q-intersection (voir [1]) et le principe des accumulateurs (voir [2]) déjà utilisés dans les algorithmes précédents pour pouvoir mieux caractériser les éléments intéressants dans les données sonar malgré les données aberrantes (attribuer des scores aux échos selon leur cohérence avec ce qu'on attend comme type d'écho et d'autres types d'informations disponibles, pouvoir plus facilement définir un ensemble de positions restreint où il y a une accumulation de données cohérentes à l'intérieur de la zone où

on garantit que le robot devrait être selon les hypothèses choisies...). Un parallèle avec les fonctions d'appartenances et alpha-cut, parfois utilisées pour gérer des incertitudes et données aberrantes dans le cadre des probabilités ou de la logique floue (voir [3] et [4]) sera effectué.

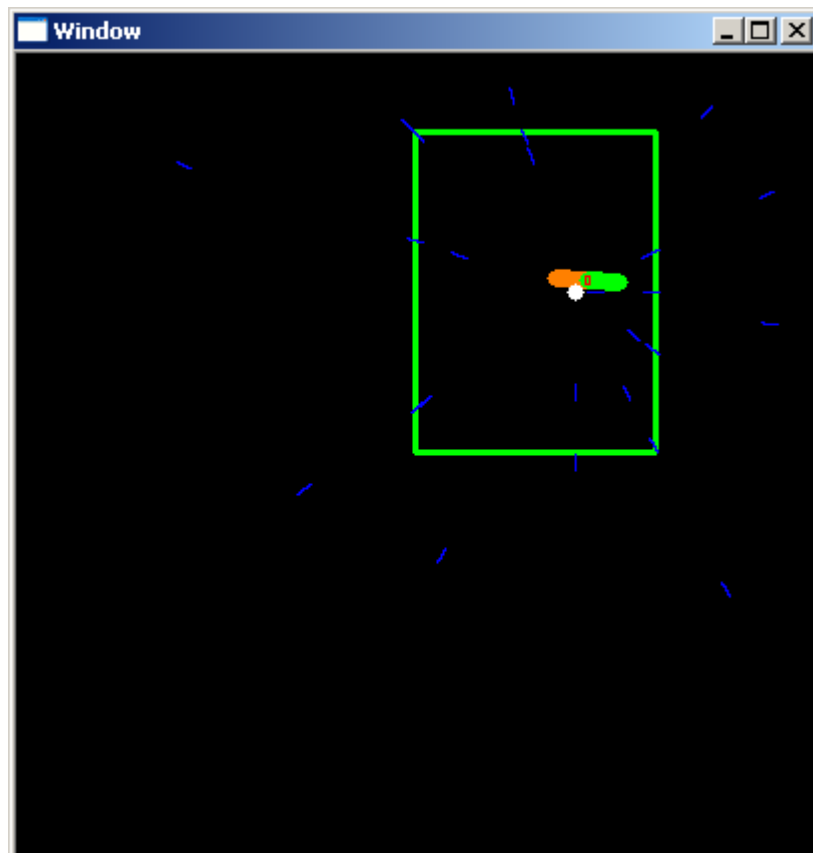


Figure 3 : Premiers tests en simulation du nouvel algorithme de localisation robuste par intervalles. Le point blanc représente la position réelle du robot dans la piscine verte et les traits bleus sont les echos sonar avec de très nombreuses données aberrantes (on voit que peu de ces traits sont cohérents avec les murs de la piscine). En connaissant les dimensions de la piscine et le cap du robot assez précisément, il est possible d'estimer assez précisément la position du robot avec de telles données sonar (la position estimée du robot est représentée par le robot vert et rouge). La position représentée est le centre du petit carré rouge, qui est la zone la plus cohérente avec les critères qu'on s'est donné (elle ne garantit rien), et qui se trouve à l'intérieur d'une zone plus grande (non représentée), où le calcul par intervalles nous garantit que le robot devrait être, compte tenu des hypothèses.

En juillet 2013, nous avons réalisé le tour de l'Île des Morts en rade de Brest avec un AUV de l'ENSTA Bretagne. L'AUV naviguait en autonomie par suivi de points GPS (à l'aide d'une bouée en surface). Cette expérimentation nous avait permis de tester un AUV en mer et d'accroître notre savoir faire expérimental. Au cours de cette expérimentation, nous avons recueilli un jeu de données GPS, sonar, vidéo... enregistrées à l'aide de l'intergiciel MOOS embarqué dans le robot.

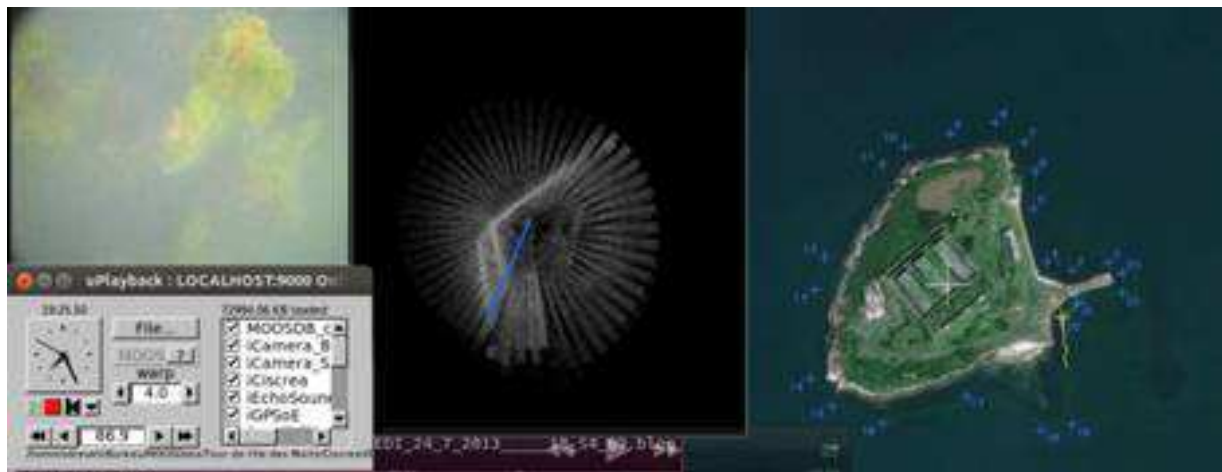


Figure 4 : Vues de la caméra fond, du sonar sectoriel et des waypoints suivis.

Le robot embarque notamment un sonar sectoriel Tritech Micron, fournissant une vue à 360 degrés autour du robot. Le traitement des données du sonar, couplées au GPS de la bouée de surface et la centrale inertielle bas coût du robot nous a permis de reconstruire une carte du fond autour de l'Île des Morts.

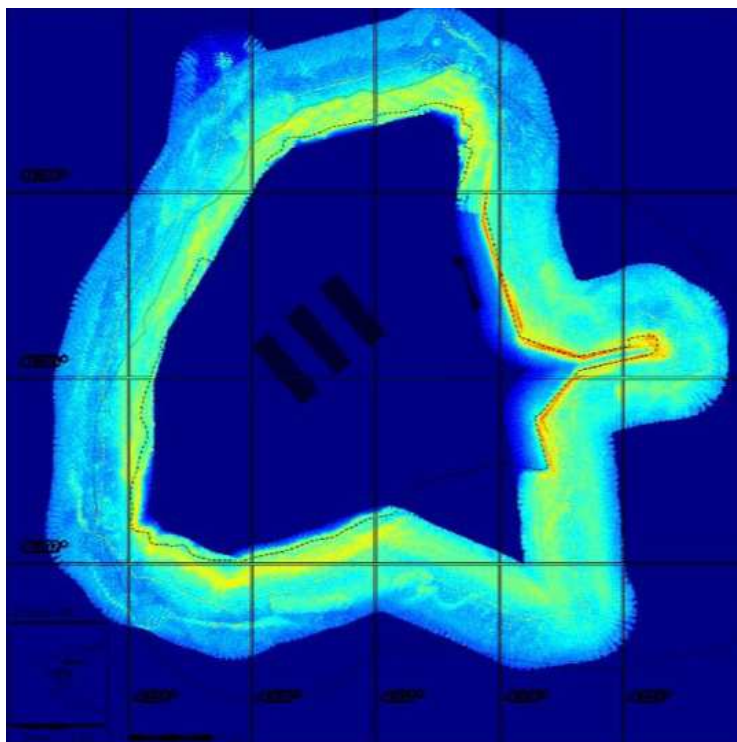


Figure 5 : Cartographie en 2D à partir des données sonar.

Après seuillage, le sonar peut être vu comme un capteur de distance directif, fournissant la distance au plus proche obstacle dans son volume d'émission. On peut alors formuler le calcul de l'espace libre comme un problème d'inversion ensembliste. La résolution de ce problème à l'aide d'une méthode ensembliste par intervalles permet de réaliser par « creusement » une carte 3D de l'espace libre autour de l'Île de Morts. Le complémentaire de cet espace libre donne une carte en 3D de l'île.

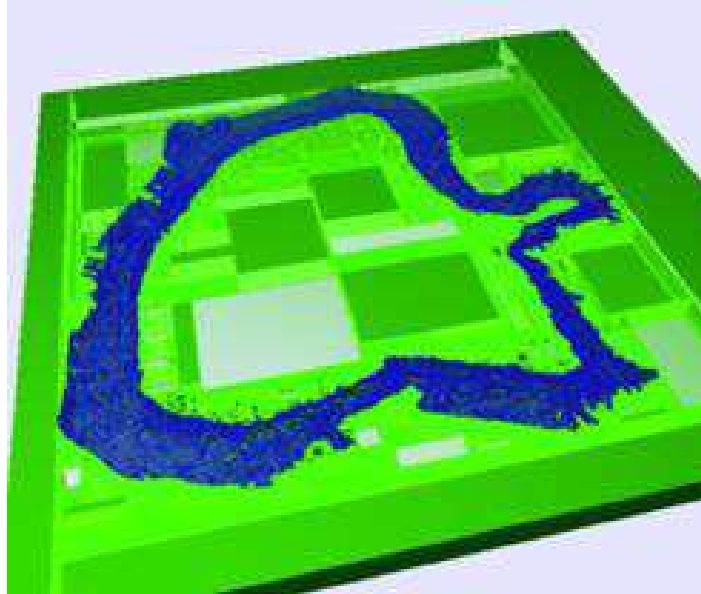


Figure 6 : Cartographie des berges en 3D par une méthode d'inversion ensembliste.

Suite à ces expérimentations, et au traitement des données acquises, de nouvelles sorties des AUVs seront prévues au cours de l'été 2014, afin de tester la navigation autonome basée sonar, et la coopération entre robots.

Robotique aérienne : projet « Diving Bird »

Différents récents ou futurs projets montrent qu'il est de plus en plus nécessaire d'être capable d'utiliser des robots de différents types pour effectuer des mesures ou explorations marines et sous-marines, pour pouvoir aborder de toutes les façons possibles l'environnement marin :

- Certains paramètres de la surface de l'océan peuvent être efficacement mesurés à coût réduit en survolant une zone (pour ajouter plus de précision aux données prises par satellites tout en limitant les coûts en évitant de mobiliser un navire océanographique par exemple).
- Lorsqu'on recherche un objet perdu dans l'eau dans une zone de plus en plus incertaine à mesure que le temps passe, la manière la plus rapide de l'atteindre devrait être de rejoindre la zone par les airs puis plonger dans l'eau une fois arrivé sur zone.

Ces considérations nous ont conduits à réfléchir à un robot capable de voler, puis de plonger et redécoller depuis l'eau. Un stagiaire de l'ENSICA est actuellement en projet de fin d'études à l'ENSTA Bretagne pour commencer à étudier l'automatisation des avions, et réfléchir à comment l'adapter pour une telle mission. Dans un 1^{er} temps, des hydroplanes et mini-avions à très bas coûts ont été construits pour se former à la robotique aérienne.



Figure 7 : Premiers tests avec un hydroplane téléguidé construit à l'école, engin capable de flotter, décoller sur l'eau, voler, amerrir, et décoller et atterrir sur terre dans certaines conditions.



Figure 8 : Premiers tests avec un avion téléguidé construit en 2 jours à l'école à l'aide de Rogelio LOZANO Jr, invité à l'ENSTA Bretagne.

VIBes: A Visualization for Intervals and Boxes

Nous développons actuellement le logiciel de visualisation VIBes, dédié aux besoins des personnes travaillant avec les méthodes ensemblistes par intervalles, en particulier les roboticiens. Ce projet Open Source est hébergé par GitHub. Le site du projet est accessible à l'adresse <http://enstabretagnerobotics.github.io/VIBES/>

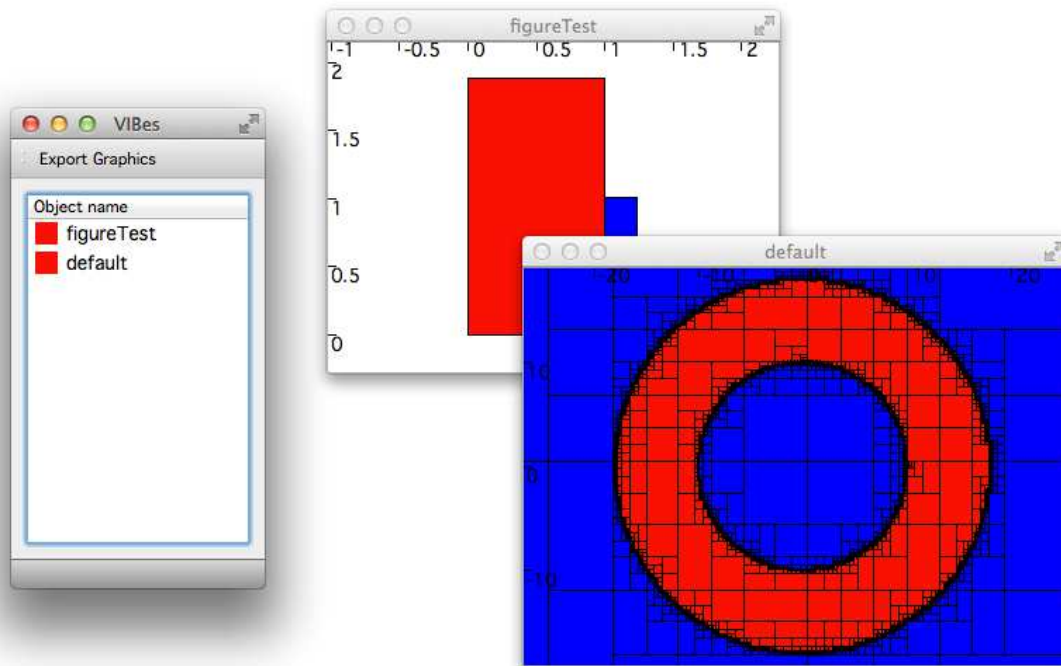


Figure 9 : Vue de l'application VIBes, avec l'affichage du résultat d'une inversion ensembliste.

VIBes a pour but de fournir un moyen simple de dessin aux personnes travaillant avec les méthodes par intervalles, afin d'afficher leurs résultats (boîtes, sous-pavages, ...) sans devoir installer et apprendre à utiliser des bibliothèques de création d'interface utilisateur. VIBes fournit des fonctions de dessin accessibles à partir de plusieurs langages de programmation, sans installation complexe ni problèmes de dépendance avec des bibliothèques logicielles. VIBes est avant tout pensé pour être multi-plateformes, disponible depuis de nombreux langages, simple à mettre en œuvre et facile à porter dans un langage non supporté.

VIBes se décompose en deux parties, communiquant par le biais de fichier ou de *pipe* nommé :

- L'application VIBes, qui permet d'afficher des figures, d'y naviguer, de les annoter et de les exporter.
- L'interface de programmation (API) VIBes, qui permet à un programme de communiquer avec VIBes pour dessiner des figures (disponible en C++, et prochainement Matlab et Python...)

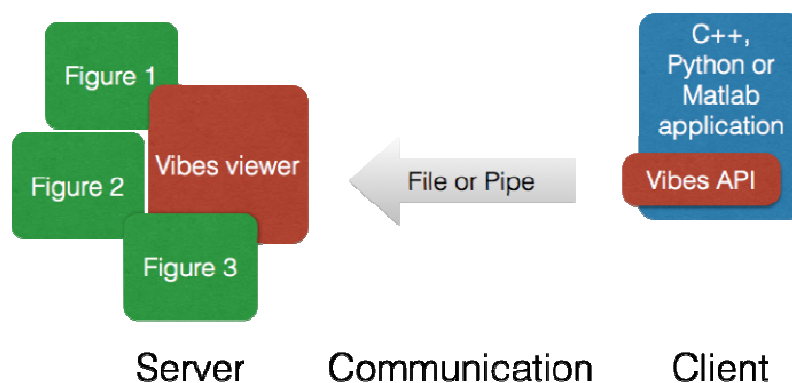


Figure 10 : Architecture de VIBes.

Actuellement, VIBes permet de dessiner des boîtes, des unions de boîtes, des ellipses et ellipses de confiance, ainsi que des courbes. Les objets peuvent être définis dans un espace à N-dimensions, et l'utilisateur choisit les deux dimensions sur lesquelles projeter pour l'affichage 2D. La projection peut être changée à partir de la fenêtre d'affichage. Des groupes permettent de réunir des objets devant partager certaines propriétés (par exemple la couleur), ou d'unir des objets qui pourront ensuite être déplacés simultanément.

L'utilisation d'une application séparée pour l'affichage permet une installation très simple sur chaque système. D'un côté, l'application VIBes est disponible sous forme de binaires déjà compilés pour les plateformes courantes (Windows, Mac, Linux). De l'autre, l'API consiste seulement en quelques fichiers à ajouter dans le programme (par exemple, seulement un fichier .h et un fichier .cpp pour l'API C++).

Bibliographie

- [1] L. Jaulin. Robust set membership state estimation ; application to underwater robotics. *Automatica*, 45(1) :202-206, 2009.
- [2] J. Sliwka. Using set-membership methods for robust underwater robot localization. Thèse UBO, 2011.
- [3] D. Dubois and H. Prade. *Fussy Sets and Systems-Theory and Applications*. Academic Press, New York, NY, 1980.
- [4] J. Sliwka, L. Jaulin, M. Ceberio, and V. Kreinovich. Processing interval sensor data in the presence of outliers, with potential applications to localizing underwater robots. In *IEEE SMC*, Anchorage, Alaska, 2011.