

BERTINO Laurent

Assimilation de données pour la modélisation écologique d'estuaires

Résumé de thèse

La gestion des milieux océaniques et côtiers nécessite des prédictions à court terme de leurs caractéristiques physiques et écologiques. Le succès des méthodes d'Assimilation de Données (AD) en météorologie montre que les données in-situ peuvent être incorporées dans des modèles dynamiques pour en améliorer les prédictions.

Ce travail se focalise sur l'AD séquentielle (ADS), dérivée de la théorie de l'estimation statistique, en particulier le filtre de Kalman. Les obstacles auxquels se heurte l'application du filtre de Kalman aux systèmes océanographiques sont de deux sortes:

- des obstacles théoriques du fait de la non-linéarité des équations décrivant la dynamique physique et écologique du système alors que le filtre de Kalman est optimal pour des systèmes linéaires,
- des obstacles pratiques car les systèmes tridimensionnels sont discrétisés à haute résolution pour décrire précisément leur dynamique. On obtient des espaces d'état de l'ordre du million de paramètres, ce qui rend la méthode encombrante du point de vue de l'espace mémoire et des temps de calcul requis, cruciaux pour des applications en prédiction opérationnelle.

Dans le cas général il n'existe pas encore de solution qui réponde à ces deux exigences, mais des approximations classiques issues du filtre de Kalman sont utilisées, soit par un développement limité (Extended Kalman Filter EKF) soit par une méthode de Monte Carlo (Ensemble Kalman Filter EnKF). Puisque le filtre de Kalman et ses extensions EKF et EnKF utilisent une estimation linéaire pour la correction des résultats du modèle, formellement équivalente à un krigeage à moyenne connue, des modifications inspirées de la géostatistique sont proposées pour tenir compte des biais et des non linéarités.

Deux méthodes courantes en ADS océanographique, le filtre de Kalman RRSQRT (dédit de l'EKF par approximation en valeurs propres dominantes) et l'EnKF, sont comparées dans un cas fictif de modèle écologique 1-D d'une colonne d'eau. Le filtre de Kalman RRSQRT est ensuite appliqué à l'ADS de hauteurs d'eau de la lagune de l'Oder dans le modèle hydrodynamique TRIM3D. L'estimation est améliorée en utilisant seulement trois stations et les temps d'initialisation du modèle sont considérablement réduits. Enfin, l'EnKF est appliqué à l'assimilation conjointe de hauteurs d'eau (5 stations) et de données de salinité (2 stations) de la lagune de l'Oder dans TRIM3D. Les difficultés liées à l'application de l'ADS aux modèles d'advection-diffusion sont mises en évidence.

Mots clefs :

assimilation de données, filtre de Kalman, estuaire, lagune, hydrodynamique, modèle écologique, système régionalisé.

Summary:

The management of ocean and coastal systems needs short term predictions of their physical and ecological state. The success of Data Assimilation (DA) in meteorology proves the ability to improve the forecast of a dynamical model by incorporating in-situ data.

This work focuses on sequential DA, derived from the theory of statistical estimation, and especially on the Kalman filter (KF). The difficulties of applying the KF in oceanography are twofold:

- theoretical since the dynamical equations of physics and ecology are nonlinear while the KF is only optimal for linear systems,
- practical because the high resolution discretization required for the accurate modeling of three-dimensional systems leads to state dimensions up to a million parameters, implying huge

memory requirements and computational burden although efficiency is crucial for operational forecasting.

In the general case there is no solution that fits both requirements yet but classical approximations of the KF are used, either with a Taylor expansion (Extended Kalman filter EKF) or by Monte-Carlo approximation (Ensemble Kalman filter EnKF). Since all KF, EKF and EnKF use a linear estimation for the model update that is formally equivalent to a kriging with known mean, modifications inspired from geostatistics are proposed to account for bias or nonlinearities.

Two popular methods in oceanography, the RRSQRT KF (an approximation of the EKF by eigenvalue decomposition) and the EnKF, are compared in a twin experiment using a 1-D ecological model of a water column. The RRSQRT KF is then applied to DA of water levels in the 3-D hydrodynamical model TRIM3D of the Odra lagoon. The estimation is improved using the measurements of only three pile stations and initialization times are dramatically reduced. Last, the EnKF is applied to joint assimilation of water level (5 stations) and salinity (2 stations) in TRIM3D as a transport model for the Odra lagoon. Some difficulties in using sequential DA with advection-diffusion models are reported.

Keywords

Data assimilation, Kalman filter, estuary, lagoon, hydrodynamics, ecological modeling, regionalized systems.