

Электронный научный журнал "Математическое моделирование, компьютерный и натурный эксперимент в естественных науках" <http://mathmod.esrae.ru/>

URL статьи: mathmod.esrae.ru/40-153

Ссылка для цитирования этой статьи:

Васильев В.А., Степанов В.А. Анализ эффективности решения задачи навигации с использованием карты и измерителя геофизического поля в зависимости от изменчивости погрешностей корректируемой навигационной системы // Математическое моделирование, компьютерный и натурный эксперимент в естественных науках. 2022. №*

Выполнено при поддержке гранта РФФИ 18-19-00627, <https://rscf.ru/project/18-19-00627/>

УДК 681.391.172

DOI: 10.24412/2541-9269-2022-4-07-11

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ НАВИГАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАРТЫ И ИЗМЕРИТЕЛЯ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПОГРЕШНОСТЕЙ КОРРЕКТИРУЕМОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Васильев В.А.¹, Степанов О.А.²

¹АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Университет ИТМО, Россия, Санкт-Петербург

²АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», Университет ИТМО, Россия, Санкт-Петербург

THE EFFICIENCY OF A MAP-AIDED NAVIGATION UNDER VARIABILITY OF THE CORRECTED NAVIGATION SYSTEM ERRORS

Vasilev V.A.¹, Stepanov O.A.²

¹State Research Center of the Russian Federation Concern CSRI Elektropribor, JSC, St. Petersburg, ITMO University, St. Petersburg, State Electrotechnical University "LETI", Russia, St. Petersburg

²State Research Center of the Russian Federation Concern CSRI Elektropribor, JSC, St. Petersburg, ITMO University, Russia, St. Petersburg

Аннотация. В рамках байесовского подхода рассматривается задача коррекции показаний навигационной системы по данным о геофизических полях с учетом изменчивого характера погрешностей навигационной системы, представляемой в виде суммы постоянной и зависимой от времени составляющих. Описан набор алгоритмов, разработанный для анализа эффективности решения задачи коррекции для различных моделей изменчивых составляющих погрешностей, и проводится анализ полученных с их использованием результатов.

Ключевые слова: задачи навигации, байесовский подход, погрешность навигационной системы, геофизическое поле

Abstract. Within the framework of the Bayesian approach, the problem of a map-aided

navigation is considered. The peculiarity of the paper is the fact that the time-varying nature of the corrected navigation system errors is taken into account. Algorithms developed to analyze the efficiency of solving the correction problem for various models of navigation system errors are described. The results of the efficiency analysis are discussed.

Keywords: navigation problems, Bayesian approach, navigation system error, geophysical field

Введение. В последнее время широкое применение получают навигационные (НС), коррекция которых основана на сопоставлении показаний датчика некоторого геофизического поля (ГФП) со значениями этого поля, вычисляемыми по данным известной цифровой карты [1-8]. Для обеспечения решения задачи коррекции в системах с так называемым точечным зондированием поля [8] требуется пройти определенное расстояние, необходимое для формирования профиля поля, который может быть однозначно выделен на карте. В результате возникает необходимость учета изменчивого характера погрешностей НС за время проведения коррекции.

Настоящий доклад является продолжением исследований, начатых в работе [9], и посвящен исследованию эффективности решения задачи коррекции показаний НС в зависимости от временной изменчивости свойств ее погрешностей.

Описание задачи и алгоритмов ее решения. Задача коррекции рассматривается в рамках байесовского подхода в так называемой инвариантной постановке: требуется по показаниям датчика поля оценить погрешности НС на фоне суммарных ошибок карты и датчиков поля.

Для нахождения оценок полного вектора состояния, включающего погрешности навигационных систем и суммарных ошибок карты и измерителя, ранее авторами алгоритма был разработан (алгоритма 1 в терминах работы [9]), основанный на применении последовательного метода Монте-Карло с применением процедур аналитического интегрирования по части переменных и повторной переВыборки [10-14]. Предполагалось, что погрешности НС могут быть представлены в виде постоянных и переменных составляющих. При этом векторная последовательность, состоящая из компонент, относящихся к погрешностям НС, и векторная последовательность суммарной погрешности карты и измерителя, задавались с помощью двух формирующих фильтров.

В общем случае с учетом наличия постоянных составляющих погрешностей НС первый формирующий фильтр включал шесть компонент и в зависимости от типа НС и был представлен в двух вариантах.

Первый вариант соответствовал случаю использования инерциальной НС (ИНС), когда ее погрешность для каждой из координат на интересующем интервале времени описывалась в виде суммы неизвестной константы и узкополосного процесса с известными значениями дисперсии, интервалом корреляции и круговой центральной частотой. Неизвестная константа

представлялась как реализация центрированной гауссовской случайной величины с известной дисперсией.

Второй вариант относится к случаю использования НС счисления по курсу и относительному лагу. Как и в первом варианте, погрешность описывалась в виде суммы неизвестной постоянной и марковского процесса для каждой из координат независимо, друг от друга. В качестве марковского процесса в этом случае рассматривался второй интеграл от порождающего шума с нулевым начальным значением.

Суммарные погрешности карты и измерителя были описаны стационарной последовательностью с экспоненциальной функцией корреляции.

Для указанных моделей на основе алгоритма 1, описанного в [9], разработан набор алгоритмов, обеспечивающий возможность анализа точности для разных моделей погрешностей НС.

В докладе приведены некоторые результаты моделирования, полученные с помощью этих алгоритмов. При этом в качестве примера геофизического поля рассматривалось поле аномалии силы тяжести (АСТ). Карты АСТ для рассматриваемых районов были получены при помощи аппроксимации глобальной модели EGM 2008. В ходе моделирования рассматривалось два района с разными уровнями среднего значения модуля градиента поля.

При моделировании считалось, что объект движется с постоянной скоростью по прямолинейной траектории; измерения поля поступают в алгоритм раз в минуту ($\Delta t = 1$ мин). В ходе моделирования использовались две, описанные выше, модели погрешностей НС. Для модели, соответствующей ИНС, фиксировались круговая центральная частота и интервал корреляции, а дисперсия процессов, отвечающих за изменчивые составляющие, варьировалась. Для модели погрешностей, соответствующей системе счисления, варьировались значения дисперсии порождающих шумов. Моделирование осуществлялось для различных значений дисперсии модели суммарных погрешностей карты и измерителя при постоянном интервале корреляции.

Выводы. По результатам проведенного исследования можно отметить следующее.

Разработан набор алгоритмов, позволяющий анализировать точности при разном характере изменчивости погрешностей НС. При этом обеспечивается состоятельность алгоритмов, поскольку расчетная и действительная характеристики точности, как правило, совпадают.

Эффективность решения задачи навигации по ГФП, существенным образом зависит от характера изменчивости погрешностей НС. Наибольшая эффективность при прочих равных условиях достигается в случае, когда погрешности НС не меняются за время проведения коррекции. Максимальное повышение точности наблюдается при отсутствии изменчивости погрешностей НС на поле с сильной изменчивостью и малыми суммарными ошибками карты

и измерителя. Уровень апостериорной погрешности может уменьшаться в 10 раз по сравнению с априорным уровнем.

При наличии изменчивости эффективность решения снижается, и погрешность может возрасти в 2-3 раза.

Эффективность оценивания постоянной составляющей заметно выше эффективности оценивания изменчивой ее составляющей. При этом хуже оценивается изменчивая составляющая, описываемая узкополосным процессом, что соответствует случаю использования ИНС.

Результирующая погрешность при использовании ИНС оказывается ниже, чем при использовании системы счисления, что является следствием ограниченного уровня изменчивой составляющей погрешности для ИНС, не смотря на ее менее эффективное оценивание, чем для случая системы счисления.

Меньшая точность при использовании системы счисления является следствием растущего характера ошибок системы счисления.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ 18-19-00627, <https://rscf.ru/project/18-19-00627>.

Литература

1. Красовский А.А. Белоглазов И.Н., Чигин Г.П. Теория корреляционно-экстремальных систем. М.: Наука, 1979.
2. Белоглазов И.Н. Джанджгава Г.И. Чигин Г.П. Основы навигации по геофизическим полям. М.: Наука, 1985. 328 с.
3. Степанов, О.А. Применение теории нелинейной фильтрации в задачах обработки навигационной информации. СПб: ГНЦ РФ ЦНИИ "Электроприбор", 1998. 369 с.
4. Степанов О. А., Торопов А. Б. Методы нелинейной фильтрации в задаче навигации по геофизическим полям. Ч. 2: Современные тенденции развития // Гироскопия и навигация. 2015. Т. 23. №4. С. 147–159. DOI: 10.17285/0869-7035.2015.23.4.147-159.
5. Solin, A., Särkkä, S., Kannala, J., Rahtu, E. Terrain navigation in the magnetic landscape: Particle filtering for indoor positioning // Proceedings of the European Navigation Conference (ENC), Helsinki, Finland. 2016. P. 1-9.
6. Современные методы и средства измерения параметров гравитационного поля Земли / Под. общей редакцией В.Г. Пешехонова, редактор О.А. Степанов. СПб.: АО Концерн ЦНИИ «Электроприбор», 2017. 390 с.
7. Melo J. and Matos A. Survey on advances on terrain based navigation for autonomous underwater vehicles // Ocean Engineering. 2017. Vol. 139. P. 250-264.
8. Степанов О.А., Носов А.С., Торопов А.Б. О классификации алгоритмов решения задачи навигации по геофизическим полям. // Сб. материалов XXVII

-
- Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам. 2020. С. 326-336.
9. Степанов О.А., Васильев В.А., Торопов А.Б. Решение задачи навигации по геофизическим полям с учетом изменчивости погрешностей корректируемой навигационной системы // Сб. материалов XXIX Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам. 2022. С.326-336.
 10. Gustafsson F. et al. Particle filters for positioning, navigation, and tracking // IEEE Transactions on Signal Processing. 2002. Vol. 50. No 2. P. 425-437. DOI: 10.1109/78.978396.
 11. Schön T., Gustafsson F., Nordlund P.-J. Marginalized Particle Filters for Linear/Nonlinear State-space Models // IEEE Transactions on Signal Processing. 2005. Vol. 53. No 7. P. 2279-2289.
 12. Торопов А.Б., Степанов О.А. Использование последовательных методов Монте-Карло в задаче корреляционно-экстремальной навигации. // Изв. вузов. Приборостроение. 2010. № 53(10). С. 49-54.
 13. Степанов О.А., Торопов А.Б. Применение последовательных методов Монте-Карло с использованием процедур аналитического интегрирования при обработке навигационной информации. // Труды XII Всероссийского совещания по проблемам управления. М.: Институт проблем управления имени В.А. Трапезникова РАН, 2014. С. 3324-3337.
 14. Васильев В.А. Сравнительный анализ двух алгоритмов нелинейного оценивания, основанных на методе Монте-Карло, в задаче навигации по геофизическим полям // Сб. тр. VIII Конгресса молодых ученых. Т. 3. СПб.: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО», 2019. С. 14-19.