

УДК 681.51

ВЫБОР МОДЕЛИ ПОГРЕШНОСТЕЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ СЧИСЛЕНИЯ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ЕЕ КОРРЕКЦИИ

Рахманов Н.З. (ИТМО) Литвиненко Ю.А. (ИТМО, АО «Концерн «ЦНИИ
«Электроприбор»)

Введение. В настоящее время, несмотря на повсеместное использование спутниковых навигационных систем (СНС), во многих приложениях, в том числе в условиях когда прием сигналов СНС затруднен, например, в условиях плотной городской застройки, в помещениях или тоннелях, под землей или под водой, остается востребованным использование навигационных систем, основанных на других принципах [1-6]. К таким системам можно отнести навигационные системы счисления (СС) пути по данным о курсе и скорости объекта, существенным недостатком которых, из-за роста погрешности определения координат со временем, является необходимость их эпизодической коррекции. В качестве источников внешней навигационной информации о координатах может быть использованы различные средства [1,6]: СНС, маяки ответчики, информация о геофизических полях, системы технического зрения и т.д. Среди подходов, применяемых при построении алгоритмов коррекции, широко используется стохастический подход, основанный на байесовской теории фильтрации, при этом наибольшее распространение получил фильтр Калмана (ФК), обеспечивающий нахождение оптимальной в среднеквадратическом смысле оценки при описании состояния динамических систем с помощью линейных дифференциальных или разностных уравнений по линейным измерениям в предположении гауссовского характера порождающих и измерительных шумов [7].

Хорошо известно, что эффективность применения ФК при обработке навигационной информации напрямую зависит от адекватности модели принятой для описания погрешностей корректируемой системы и внешних источников навигационной информации. В этой связи актуально решение задачи идентификации моделей погрешностей, которая может быть, например, решена в рамках байесовского подхода с использованием методов нелинейной фильтрации [8] или на основе методов машинного обучения [3,4]. Однако для осуществления идентификации модели погрешности СС требуется проведение предварительного обзора и исследования различных вариантов задания моделей погрешностей, а также определения их чувствительности к неопределенности параметров. В этой связи можно сформулировать следующую цель работы: обоснование выбора модели погрешностей СС в условиях параметрической неопределенности моделей погрешностей датчиков и средств внешней коррекции.

Выбор модели погрешности системы счисления пути. При описании модели погрешностей СС применимой на морском объекте предлагается рассмотреть два варианта ее описания:

полная модель погрешностей с вектором состояния, в котором учитываются погрешности определения: скорости по данным лага, координат, курса, угла сноса и скорости морского течения.

упрощенная модель погрешностей с вектором состояния, в котором учитываются погрешности определения координат и погрешности определения скорости объекта, описываемые суммой винеровского процесса и постоянной составляющей.

Использование полной модели погрешностей на практике во многих случаях может быть затруднительно как из-за ее высокой размерности, а также из-за сложности идентификации большого количества параметров. В этой связи в работе большее внимание уделяется возможности применения упрощенной модели, а полная модель используется для описания истинных погрешностей СС при проведении моделирования.

При исследовании упрощенной модели рассматривалось два варианта задания ее параметров, в первом варианте - превалировала квазислучайная составляющая, а во втором –

случайная, порождённая влиянием белошумной погрешностей датчика скорости. При этом в работе показано, что для обоих вариантов упрощенной модели параметры квазислучайной и случайной составляющих могут быть заданы так, что накопление погрешностей координат за определенный интервал времени будет практически одинаковым.

С целью выбора варианта упрощенной модели на первом этапе исследования была рассмотрена задача эпизодической коррекции СС по показаниям СНС в инвариантной постановке [6]. Исследование показало, что вариант, в котором превалирует квазислучайная составляющая в описании погрешности измерения скорости, наиболее предпочтителен с точки зрения эффективности решения задачи коррекции.

На втором этапе исследования при обосновании выбора одного из вариантов упрощенной модели погрешности СС была решена задача чувствительности обеих моделей к неточности задания их параметров и проведено исследование потерь в точности определения положения объекта, возникающих при переходе от полной модели к упрощенной.

Выводы. В рамках работы проведено моделирование погрешностей навигационной системы счисления пути, корректируемой по данным СНС, выбрана модель более предпочтительная с точки зрения эффективности ее коррекции, а также проведен анализ чувствительности выбранной модели к неточности описания погрешностей датчиков СС.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-19-00626,
<https://rscf.ru/project/23-19-00626/>.*

Список использованных источников:

1. Анучин О.Н., Емельянцева Г.И. Интегрированные системы ориентации и навигации для морских подвижных объектов / под общей ред. акад. РАН В.Г. Пешехонова. СПб: ГИЦ РФ «ЦНИИ «Электроприбор», 2003. 389 с
2. S. A. S. Mohamed, M. H. Haghbayan, T. Westerlund, J. Heikkonen, H. Tenhunen and J. Plosila, "A Survey on Odometry for Autonomous Navigation Systems," in IEEE Access, vol. 7, pp. 97466-97486, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2929133.
3. Дерябин В.В. Алгоритмизация счисления пути судна на основе нейросетевых технологий дисс. ... докт. техн. наук: 05.22.19 / В.В. Дерябин; Санкт-Петербург, 2020 – 287 с.
4. Дерябин В.В. Модель движения судна для счисления пути Дерябин В.В. Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2022. Т. 14. № 1. С. 17-24.
5. А. В. Лопарев. Алгоритм прогноза времени проведения обсерваций при навигации подводного аппарата Труды 15-я Мультиконференция по проблемам управления, 2022. С. 78-80
6. Степанов О.А., Васильев В.А., Литвиненко Ю.А., Исаев А.М. Учет априорной информации о траектории движения объекта при коррекции показаний навигационной системы по данным о геофизических полях В сборнике: XXX Юбилейная Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. сборник материалов конференции. Санкт-Петербург, 2023. С. 125-130
7. Степанов О.А. Основы теории оценивания с приложениями к задачам обработки навигационной информации. Ч. 1. Введение в теорию оценивания // – СПб.: ГИЦ РФ АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2017.- 509 с.
8. Моторин А.В. Идентификация моделей погрешностей навигационных датчиков и средств коррекции методами нелинейной фильтрации: дисс. ... канд. техн. наук: 05.13.01 / А.В. Моторин; Санкт-Петербург, 2017 – 134 с.