

УДК 531.768

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕДУРЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ MEMS АКСЕЛЕРОМЕТРОВ

Горянина К.И., Вернези М.А.

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону,
e-mail: gorianina.k@yandex.ru

Применение систем идентификации и позиционирования объектов актуальное направление в области оптимизации технологических и бизнес процессов. Для позиционирования используются в первую очередь навигационные системы, включающие в себя микромеханические акселерометры, магнитометры и гироскопы, но от производителя они поступают, как правило, некалиброванными и это вызывает большие сложности в управлении объектами. Рассматривая чувствительность акселерометра как некоторую поверхность в трехмерном пространстве, представляющую собой эллипсоид вращения, задача калибровки сводится к задаче центрирования данных и трансформации эллипсоида чувствительности в сферу с использованием стохастических методов. В статье приведены результаты имитационного моделирования процедуры идентификации коэффициентов усиления по осям MEMS акселерометра и использованием полных и неполных данных.

Ключевые слова: идентификация параметров, метод наименьших квадратов, неполные данные, MEMS, акселерометр

MODELING OF THE PROCEDURE FOR THE IDENTIFICATION OF MEMS ACCELEROMETER ERRORS

Goryanina K.I., Vernezi M.A.

Don State Technical University, Rostov-on-Don, e-mail: gorianina.k@yandex.ru

The application of systems of identification and positioning of objects is an actual direction in the field of optimization of technological and business processes. For positioning, navigation systems, including micromechanical accelerometers, magnetometers and gyroscopes, are primarily used, but they usually come from the manufacturer un-calibrated and this causes great difficulties in the management of objects. Considering the sensitivity of the accelerometer as a certain surface in three-dimensional space, which is an ellipsoid of revolution, the problem of calibration reduces to the problem of centering data and transforming the ellipsoid of sensitivity into a sphere using stochastic methods. The article presents the results of simulation simulation of the procedure for identifying gain factors along the MEMS accelerometer axes and using full and incomplete data.

Keywords: identification of parameters, least squares method, fragmentary data, MEMS, accelerometer

MEMS акселерометры получили широкое распространение в системах ориентации и управления различных мобильных объектов. При этом вопросы повышения точности и стабильности показаний датчиков приобретают первостепенное значение [1]. Вопросам моделирования и анализа погрешностей посвящен ряд работ [2, 3]. В то же время актуальной является процедура идентификации статических характеристик преобразующей системы MEMS-акселерометра.

Исходные данные. В работе [4] рассматривается задача идентификация погрешностей акселерометра в стохастической формулировке. В таком случае реакция акселерометра на ускорение свободного падения g представляется как точка в трехмерном пространстве, где облако точек образует трехосный эллипсоид.

Идентификация параметров эллипсоида чувствительности по неполным данным. Интересным на практике предоставляется случай идентификации параметров эллипсоида при неполных данных, когда облако

точек $\hat{\Omega}$ покрывает не все квадранты эллипсоида. Также ставятся задачи определения зависимости точности идентификации от количества точек и от усеченности облака.

Результаты имитационного моделирования в случае усеченности облака представлены на рис. 1 и в табл. 1.

Таблица 1

Оценки полуосей эллипсоида для усеченного облака точек

	\hat{a}	\hat{b}	\hat{c}
$\frac{1}{2}\hat{\Omega}_{0,1}$	1.0090	0.5079	0.5045
$\frac{1}{4}\hat{\Omega}_{0,1}$	1.0296	0.5000	0.5097
$\frac{1}{8}\hat{\Omega}_{0,1}$	1.0372	0.4332	0.5050
$\frac{1}{16}\hat{\Omega}_{0,1}$	1.0089	0.3374	0.5239

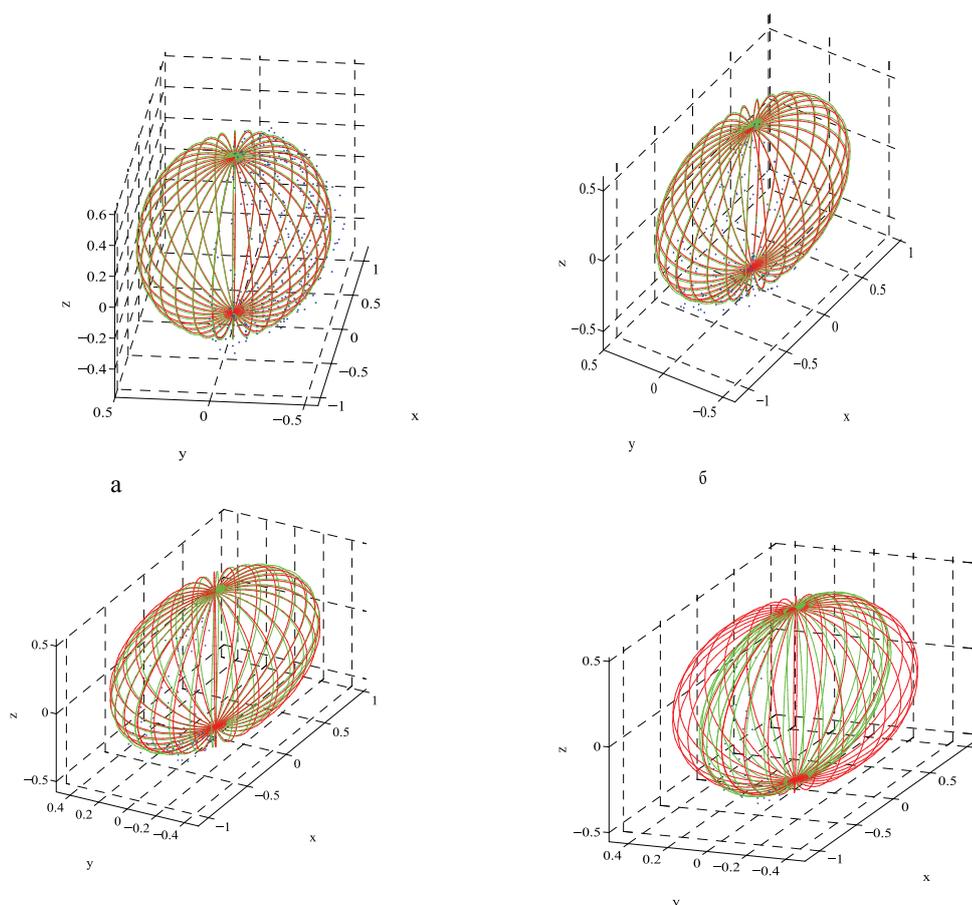


Рис. 1. Визуализация зашумленного облака точек на фоне эллипсоида чувствительности:

$$a - \frac{1}{2} \hat{\Omega}_{0.1}; \text{ б} - \frac{1}{4} \hat{\Omega}_{0.1}; \text{ в} - \frac{1}{8} \hat{\Omega}_{0.1}; \text{ г} - \frac{1}{16} \hat{\Omega}_{0.1}$$

Для оценки ошибки идентификации от усеченности облака были проведены десятикратные серии имитационных экспериментов по полному облаку точек, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$ и $\frac{1}{16}$ долей облака.

Результаты имитационного моделирования в случае разреженного облака точек представлены на рис. 2 и в табл. 2. В строках таблицы приведены оценки величин полуосей эллипсоида в зависимости от количества точек облака.

Таблица 2

Оценки полуосей эллипсоида для разреженного облака точек

	\hat{a}	\hat{b}	\hat{c}
529 точек	0.9975	0.5004	0.5155
256 точек	1.0215	0.5079	0.5144
121 точка	0.9790	0.5008	0.5186
64 точки	1.0368	0.4782	0.5155

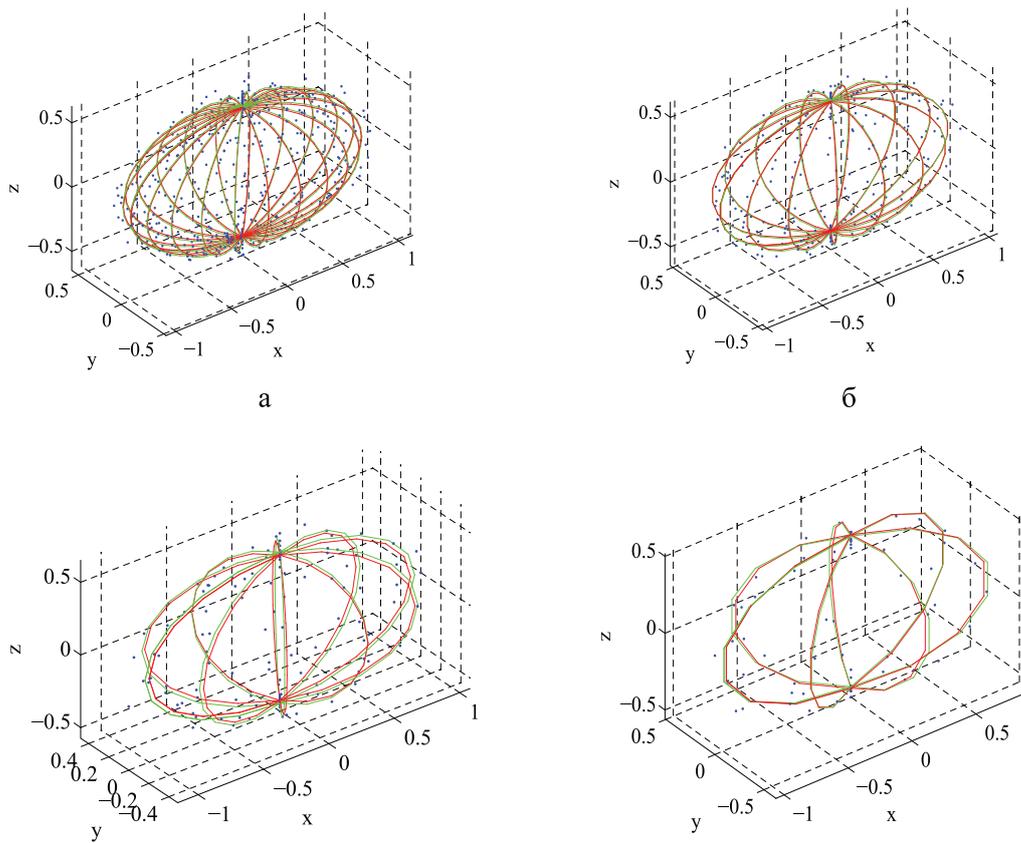


Рис. 2. Визуализация зашумленного облака точек на фоне эллипсоида чувствительности:
а – 529 точек, б – 256 точек, в – 121 точка, г – 64 точки

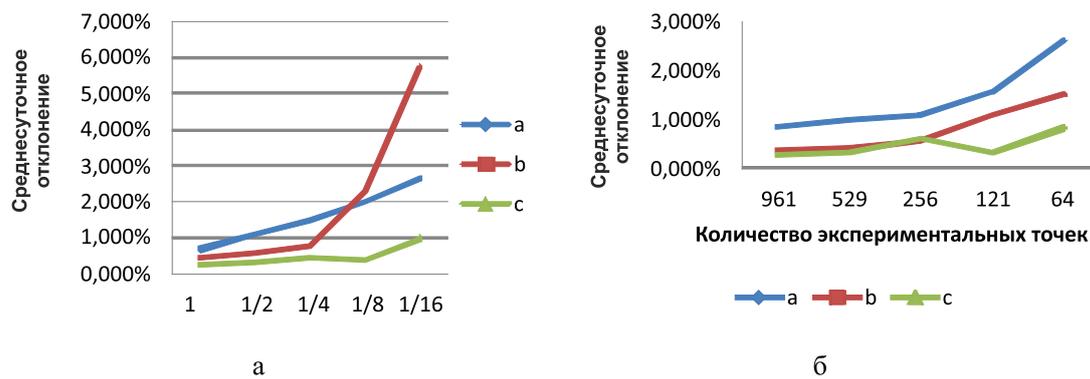


Рис. 3. Зависимость средневквдратичного отклонения ошибки полуосей эллипсоида:
а – как функции долей облака точек данных; б – как функции числа точек облака данных

Для оценки ошибки идентификации от количества точек были проведены десятикратные серии имитационных экспериментов по 961, 529, 256, 121 и 64 точкам облака данных.

На рис. 3,а показана зависимость среднеквадратичного отклонения ошибки полуосей эллипсоида как функции долей облака точек данных. Видно, что при большем усечении облака значение ошибки увеличивается. Результаты имитационного моделирования показывают, что для облака данных $\hat{\Omega}_{0.1}$ различной усеченности метод дает приемлемую погрешность порядка 1–2%.

В случае $\frac{1}{16}\hat{\Omega}_{0.1}$ значение СКО оценки величины полуоси \hat{b} значительно возрастает, что говорит о нецелесообразности дальнейшего усечения облака точек. На рис. 3,б показана зависимость среднеквадратичного отклонения ошибки полуосей эллипсоида как функции числа точек облака данных. Видно, что при уменьшении количества точек облака данных значение ошибки увеличивается. Результаты имитационного моделирования показывают, что для облака данных $\hat{\Omega}_{0.1}$ различной плотности метод дает приемлемую погрешность порядка 1–3%.

Заключение. Рассмотренная процедура идентификации параметров эллипсоида чувствительности MEMS-акселерометра по неполному облаку точек показала работоспособность метода. Полученные оценки соответствуют по точности оценкам с полным облаком точек, а среднеквадратичное отклонение оценки ошибки идентификации от количества точек и от усеченности облака составляет 1–3%. Получены экспериментальные данные реального MEMS-акселерометра. Облако точек приближено к сфере со смещенным центром, что обусловлено конструкционными особенностями датчика.

Список литературы

1. Повышение точности мобильной альтиметрии: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://tm.spbstu.ru/> Повышение точности_мобильной_альтиметрии (Дата обращения 18.11.2016).
2. Benevicius V. Identification of Capacitive MEMS Accelerometer Structure Parameters for Human Body Dynamics Measurements / V. Benevicius, V. Ostasevicius, R. Gaidys // Sensors. – 2013. – №13(9).
3. Ostasevicius V. Numerical analysis of dynamic effects of a nonlinear vibro-impact process for enhancing the reliability of contact-type MEMS devices / V. Ostasevicius, R. Gaidys, R. Dauksevicius // Sensors. – 2009. – №9.
4. Лукьянов А.Д. Идентификация параметров преобразующей системы MEMS – акселерометра ADXL-345 методом наименьших квадратов/ А.Д. Лукьянов, К.И. Горянина, Д.Т. Фам // Электроника и электротехника. – 2016. – № 2. – С.38–45.