

ВЛИЯНИЕ АНОМАЛЬНЫХ ОШИБОК ИЗМЕРЕНИЙ НА ОБРАБОТКУ ИЗБЫТОЧНОЙ ТРАЕКТОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ

В роботі проводяться дослідження стійкості розроблених раніше методів обробки надмірної траєкторної інформації до аномальних похибок вимірів у складі первинних параметрів.

Ключові слова: траєкторні виміри, аномальна похибка, алгоритм.

Постановка задачи

При проведении траекторных измерений возможны аномальные (грубые) ошибки измерений (сбои). Наличие в первичных координатах значений, содержащих аномальные ошибки измерений, негативно сказывается на результатах. При обнаружении сбойного значения данное измерение необходимо исключить из обработки. Это сделать не всегда возможно вследствие трудностей, связанных с обнаружением сбоев.

Отсюда возникает необходимость исследования поведения алгоритмов обработки избыточной траекторной информации при обработке измерений, содержащих аномальные ошибки.

Исследованию подвергаются разработанные ранее алгоритмы последовательной реализации пространственной и временной избыточности данных внешнетраекторных измерений (ВТИ) [6-8].

Анализ последних исследований

Обычно для отбраковки грубых ошибок измерений применяются различные методы в зависимости от того, известна ли среднеквадратическая ошибка (СКО) измерений [11]. В последнее время было разработано несколько методов отбраковки аномальных ошибок измерений [2-5, 12].

Поскольку все перечисленные выше методы являются статистическим, остается вероятность наличия аномальных ошибок в составе первичных параметров, поступающих на основную обработку.

Цели статьи

Целью данной работы является исследование поведения алгоритмов обработки избыточной траекторной информации в случае, когда

измерения, содержащие аномальные ошибки, не были отбракованы на этапе предварительной обработки.

Основная часть

По использованию первичной информации о траектории объекта методы обработки данных ВТИ делятся на простые и обобщенные. Простыми называются методы, основанные на использовании минимально-необходимого ($m=3$) или минимально-избыточного ($m=4$) объема первичных данных измерений. Обобщенными называются методы, использующие всю избыточную траекторную информацию [1]. При этом избыточность данных ВТИ может быть временной и пространственной. Временная избыточность (ВИ) возникает при высокой частоте измерения данных. Пространственная избыточность является следствием дублирования измерений различными средствами.

Простые методы обработки данных ВТИ обладают существенными недостатками [6, 8], что при современном уровне развития техники делает непригодным их использование для контроля траекторий летательных и космических аппаратов. Для повышения точности и достоверности результатов наблюдения траекторий целесообразно использовать всю имеющуюся избыточную траекторную информацию с учетом неравноточности измерительных средств.

Алгоритмы, исследуемые в данной работе, основаны на двух методах обработки избыточной траекторной информации. Это обобщенный метод обработки данных ВТИ, позволяющий реализовать всю ПИ данных измерений [9], и алгоритм адаптивного линейного сглаживания, реализующий ВИ траекторной информации [10]. Эти методы были разработаны профессором Огороднийчуком Н. Д. в 60-х гг. и имеют ряд преимуществ по сравнению с простыми методами.

В работах [6-8] нами был предложен метод повышения точности определения вторичных координат объекта путем последовательной реализации ПИ и ВИ данных измерений.

Рассмотрим в общих чертах разработанные методы. На рисунке 1 представлен первый вариант (далее – «ВАРИАНТ 1») алгоритма последовательной реализации ПИ и ВИ.

В этом случае данные, поступающие с измерительных станций, на первом шагу обрабатываются обобщенным методом, вследствие чего реализуется ПИ траекторной информации. Далее равноточные вторичные координаты подвергаются сглаживанию при помощи алгори-

тма адаптивного линейного сглаживания, вследствие чего реализуется ВИ данных измерений.

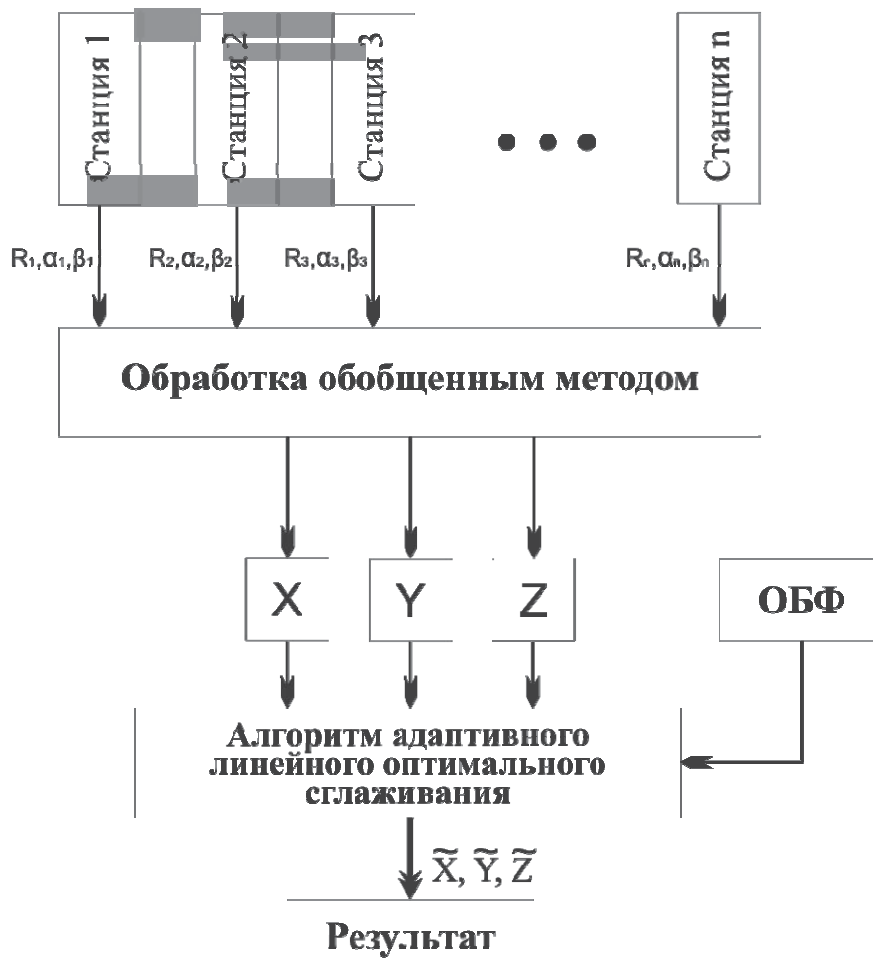


Рисунок 1 – Алгоритм последовательной реализации ПИ+ВИ

Второй вариант (далее – «ВАРИАНТ 2») алгоритма последовательной реализации избыточностей выглядит несколько иначе. На первом шагу сглаживанию подвергаются неравноточные первичные координаты с измерительных станций, вследствие чего реализуется ВИ данных измерений. Далее сглаженные первичные координаты поддаются обработке обобщенным методом для реализации ПИ траекторной информации (рис. 2).

Теперь перейдем к исследованию поведения представленных методов при условии наличия аномальных ошибок в составе измеренных первичных параметров. Аномальными будем считать ошибки, превышающие СКО в 3 и более раза. Ставится задача исследовать точностные характеристики методов обработки данных траекторных измерений в случае, если сбои не были исключены на этапе предварительной обработки.

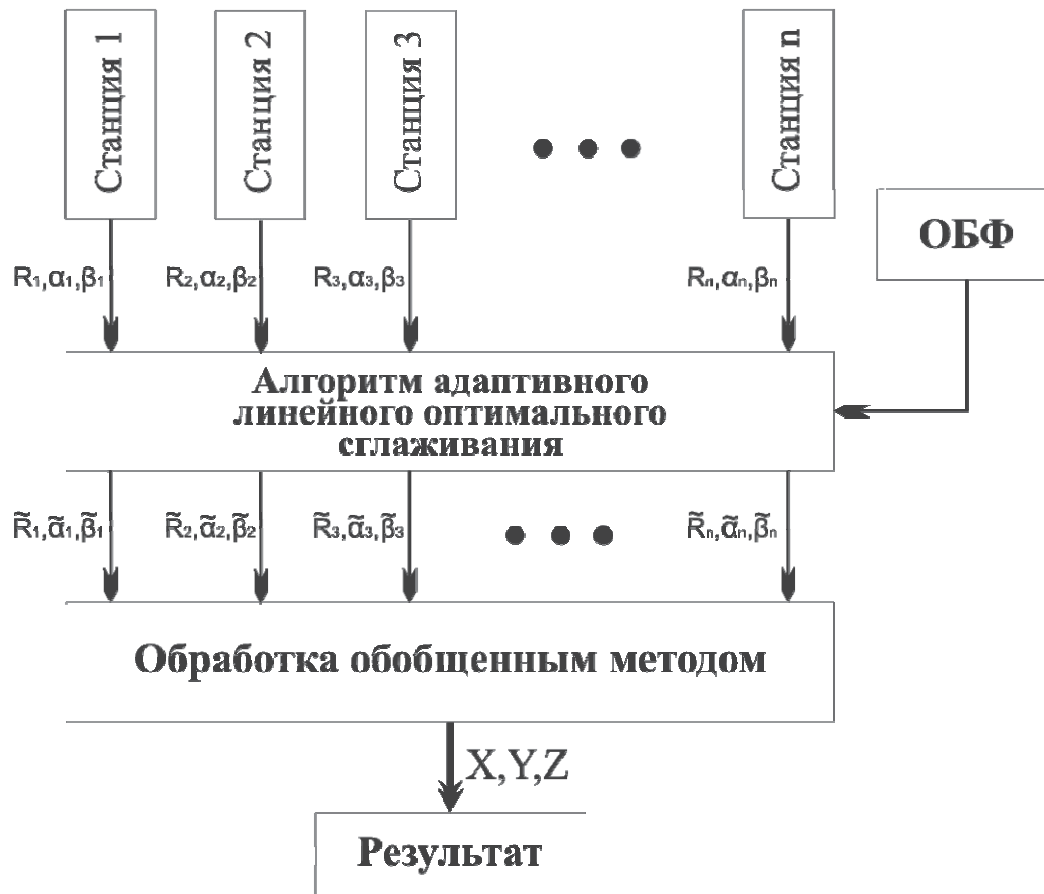


Рисунок 2 – Алгоритм последовательной реализации ВИ+ПИ

В процессе исследования рассматривались следующие случаи:

- одиночный сбой;
- группа из двух последовательных сбоев одного знака;
- группа из двух последовательных сбоев разных знаков;
- группа из трех последовательных сбоев одного знака;
- группа из трех последовательных сбоев разных знаков;
- группа из четырех последовательных сбоев одного знака.

Исследование влияния аномальных ошибок измерений на результат обработки проводилось по следующему алгоритму: для наглядности аномальные ошибки накладывались на измеренное значение дальности, а затем отслеживался результат обработки на каждом этапе. При моделировании сбоя выбирались кратными СКО измерений. В качестве результатов обработки для примера представим случай, когда использовался алгоритм «ВАРИАНТ 1» и в составе первичных параметров имелось три последовательных сбоя разных знаков. Результат обработки представлен на рис. 3.

№ точки	Ideal_R	Real_R	Smooth_R	Ideal(X,Y,Z)	Real(X,Y,Z)	Final(X,Y,Z)
47	1174.0134	1188.856	1190.3362	(1000; 598.4; 470)	(1012.44; 593.09; 476.12)	(999.86; 598.2; 469.98)
48	1149.3656	1141.1088	1163.4746	(1000; 692.5; 480)	(992.99; 695.01; 476.41)	(978.62; 782.71; 469.78)
49	1131.257	1114.3564	1163.4746	(1000; 791.2; 490)	(985.08; 794.1; 482.6)	(979.51; 877.03; 479.93)
50 СВОЙ!	1121.334	1335.2803	1163.4746	(1000; 893.3; 500)	(1190.7; 872.71; 594.78)	(980.34; 976.81; 490.1)
51 СВОЙ!	1120.7431	778.8312	1163.4746	(1000; 1000; 510)	(695.14; 1000.11; 355.19)	(980.15; 1082.79; 499.81)
52 СВОЙ!	1131.1618	1379.6484	1163.4746	(1000; 1114.9; 520)	(1219.56; 1139.92; 633.63)	(979.03; 1197.59; 509.09)
53	1155.9935	1160.9711	1146.3116	(1000; 1244; 530)	(1004.23; 1245.27; 532.32)	(999.7; 1244.38; 529.94)
54	1201.6753	1162.57	1291.7393	(1000; 1395.7; 540)	(967.41; 1383.05; 522.47)	(999.11; 1395.97; 539.55)
55	1278.9189	1236.0229	1437.167	(1000; 1580.8; 550)	(966.56; 1561.26; 531.57)	(999.57; 1580.62; 549.72)
56	1403.3963	1444.4121	1582.5947	(1000; 1812.5; 560)	(1028.98; 1836.56; 576.23)	(1000.41; 1812.52; 560.24)

Рисунок 3 – Три аномальные ошибки (+4 СКО, -6 СКО, +5 СКО)

В таблице приняты следующие обозначения:

- порядковый номер точки траектории (всего – 101 точка);
- IdealR – точное значение наклонной дальности до объекта, измеренное данной станцией;
- RealR – измеренное значение наклонной дальности (т.е., значение, в котором присутствует ошибка);
- SmoothR – значение наклонной дальности после сглаживания (на данном этапе реализуется ВИ траекторной информации);
- Ideal(X,Y,Z) – истинные вторичные (X,Y,Z) координаты объекта;
- Real(X,Y,Z) – вторичные координаты (X,Y,Z) объекта, рассчитанные простым методом по измеренным первичным координатам, в которых содержатся ошибки;
- Final(X,Y,Z) – окончательный результат – вторичные координаты (X,Y,Z) объекта после обработки обобщенным методом (на данном этапе реализуется ПИ ВТИ, если она существует).

В результате исследования влияния аномальных ошибок измерений на результат при обработке избыточных данных ВТИ были получены следующие результаты:

- оба варианта последовательной реализации ПИ и ВИ устойчивы к одиночным сбоям разного знака;

- оба алгоритма устойчивы к нескольким последовательным сбоям, причем как одного знака, так и разных;
- при наличии двух и более измерительных станций результаты получаются точнее при использовании алгоритма «ВАРИАНТ 1»;
- при наличии одной измерительной станции (ПИ измерений отсутствует) для достижения необходимого результата достаточно использовать только алгоритм сглаживания;

Также необходимо заметить, что при использовании алгоритма «ВАРИАНТ 2» важное значение имеет соотношение количества последовательных сбоев и величины интервала локально-скользящего сглаживания. Для достижения наилучшего результата необходимо, чтобы число точек на интервале сглаживания в 4-5 раз превышало количество последовательных сбоев. Это связано с низкой точностью результатов на краях интервала сглаживания. Наивысшая точность достигается в середине и составляет $3/5$ интервала сглаживания. При выборе слишком малого интервала сглаживания влияние грубых ошибок нейтрализуется не полностью. При значительном увеличении интервала сглаживания в результатах будут присутствовать методические ошибки. Вследствие этого, как показали исследования, целесообразно использовать локально-скользящее сглаживание с величиной интервала сглаживания в 13-15 точек.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агаджанов П. А., Дулевич В. Е., Коростелев А. А. Космические траекторные измерения. Радиотехнические методы измерения и математическая обработка данных. - М.: Сов. радио, 1969. – 504 с.
2. Аким Э.Л., Горохова А.А., Киселева И.П., Степаньянц В.А., Тучин А.Г. Локальная обработка измерений радиосистемы межпланетных космических аппаратов. – М.: ИПМ им. М. В. Келдыша РАН, 2002. – 441 с.
3. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии // Том 1. М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2005. – 334 с.
4. Колодяжный А.Н. «Алгоритм исключения из обработки аномальных результатов измерений на основе использования вейвлет технологий» // Тезисы докладов 4-й международной конференции «Авиация и космонавтика-2005» - М.: МАИ, 2005. - с. 80.

5. Колодяжный А.Н. «Применение вейвлетов для выявления сингулярных выбросов в траекторных измерениях» // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ», серия «Информатика, управление и компьютерные технологии», 2006, вып. 1 - с. 95 - 100.
6. Мотылев К. И., Михайлов М. В., Паслен В. В. Алгоритм последовательной реализации пространственной и временной избыточности траекторной информации – Тезисы докладов международной молодежной научно-практической конференции «Человек и космос». – Днепропетровск: НЦАОМУ, 2006. – 430с.
7. Мотылев К. И., Михайлов М. В., Паслен В. В. Обработка избыточной траекторной информации в измерительно-вычислительных системах // Научно-технический журнал „Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы” № 2(22). – Херсон: издание Херсонского национального технического университета, 2008. – 218 с.
8. Мотылев К. И., Паслен В. В. Метод повышения точности обработки данных траекторных измерений // Сборник докладов III Всероссийской конференции «Радиолокация и радиосвязь». – М.: издание ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН, 2009. – 979 с.
9. Огороднийчук Н. Д. Обработка траекторной информации. - К.: изд. КВВАИУ, ч.1, 1981. – 224с.
10. Огороднийчук Н. Д. Обработка траекторной информации. - К.: изд. КВВАИУ, ч.2, 1981. – 144с.
11. Румшиский Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента. – М.: Наука, 1971. – 192 с.
12. Стубарев Д. В. Исследование алгоритмов предварительной обработки данных траекторных измерений методами имитационного моделирования // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов, № 10, 2006. – 418 с.