

МОТЫЛЕВ К.И., доц. каф. радиотехники и защиты информации (Донецкий национальный технический университет)

Обработка внешнетраекторной информации, содержащей аномальные ошибки в составе измеренных первичных параметров

Актуальность работы

Процесс контроля траекторий можно условно разделить на два тесно связанных этапа: измерение первичных параметров положения объекта (дальность R , азимут α и угол места β) и обработка данных внешнетраекторных измерений (ВТИ) с целью получения наиболее точной оценки положения объекта в заданной системе координат. Получение максимально точных данных о траектории летательных аппаратов (ЛА) крайне важно, т.к. на основании

этих данных принимаются решения о параметрах и характеристиках ЛА.

Постановка задачи

Весь комплекс сбора и обработки траекторной информации принято называть автоматизированной измерительно-вычислительной системой (АИВС) (рис. 1). Основные требования, предъявляемые к АИВС определяются содержанием, методикой и конечными задачами предстоящих измерений [6].

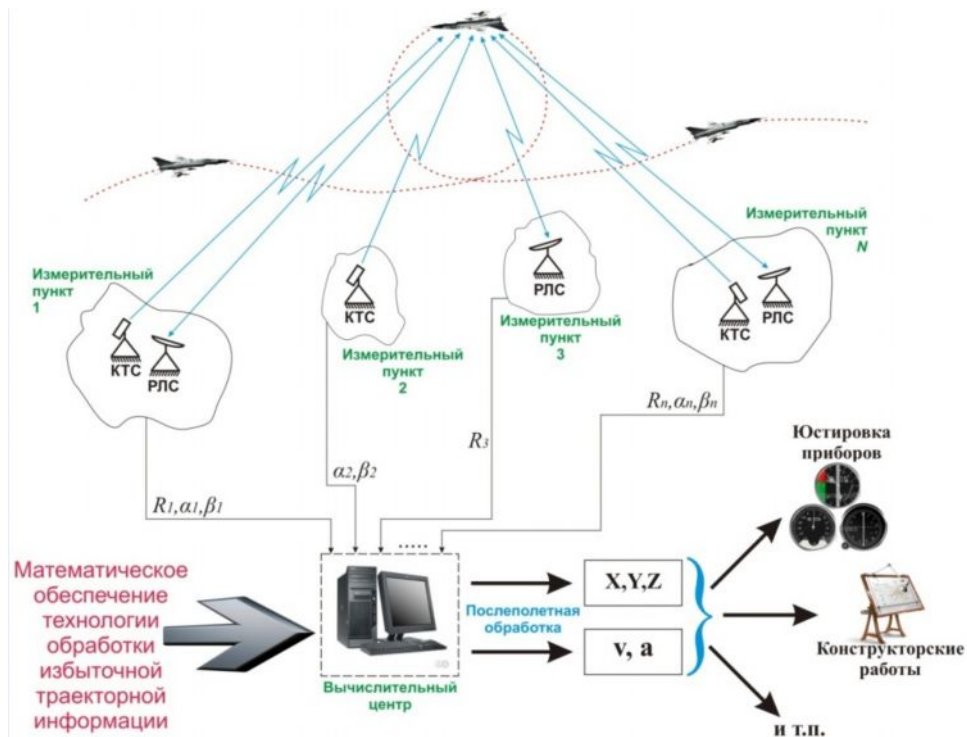


Рис. 1. Структурная схема сбора и обработки траекторной информации

Анализ последних исследований

Повышение точности определения вторичных параметров положения и дви-

жения ЛА может быть достигнуто двумя путями:

– применением более высокоточных ВТИС;

– применением новых методов обработки данных траекторных измерений.

Поскольку применение более высокоточных измерительных средств связано с существенными экономическими затратами, предпочтительным является применение новых методов и алгоритмов обработки траекторной информации, позволяющего повысить точность результатов.

Таким образом, необходимо сосредоточить внимание на разработке новых методов обработки избыточных данных внешнетраекторных измерений.

При измерении навигационных параметров в результате воздействия на измерительную систему большого количества случайных факторов, не поддающихся учету, возникают ошибки измерений [1]. В практике траекторных измерений принято различать аномальные, систематические и случайные ошибки.

Аномальные ошибки (промахи, сбои) возникают вследствие резкого нарушения условий работы измерительной системы [8]. При математической обработке результатов измерений принято заранее исключать из обработки результаты, содержащие аномальные ошибки. Внешним признаком результата, содержащего аномальную ошибку, является его резкое отличие по величине от результатов остальных измерений. На этом основаны некоторые критерии исключения аномальных ошибок измерений. Причиной таких ошибок может оказаться изменение условий испытаний, оказавшееся незамеченным, которое впоследствии привело к появлению аномальных измерений, а также неправильная работа регистрирующих устройств. Не исключено, что выброс может в действительности оказаться просто одним из экстремальных значений распределения вероятности случайной величины, которые, хотя и редко, но появляются и которые не следует отбрасывать [8].

К систематическим ошибкам относятся ошибки, искажающие результат

в определенную сторону и имеющие закономерный характер [8].

Оставшиеся ошибки составляют категорию случайных ошибок. Эти ошибки остаются после устранения всех выявленных систематических ошибок. Случайные ошибки вызываются большим количеством таких факторов, влияние которых нельзя выделить и учесть в отдельности [8].

Данная работа посвящена анализу различных методов обработки избыточных данных ВТИ, содержащих аномальные ошибки в составе первичных параметров положения ЛА.

Цель статьи

Целью данной статьи является исследование алгоритмов обработки избыточной траекторной информации и получаемых результатов в случае наличия аномальных ошибок измерений в составе первичных параметров.

Основная часть

Если при контроле траектории объекта известно, что совершена аномальная ошибка, такое наблюдение необходимо отбросить. Необходимо иметь алгоритмы отбраковки, основанные на некоторых статистических критериях [9]. Для отбраковки аномальных ошибок измерений применяются различные методы в зависимости от того, известна ли СКО измерений.

Рассмотрим метод исключения аномальных ошибок при известном СКО [8].

Обозначим «сбойное» значение через x_* , а все остальные результаты измерения через x_1, x_2, \dots, x_n . Вычислим среднее арифметическое всех значений

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad \text{и сравним}$$

абсолютную величину разности $|x_* - \bar{x}|$ с

$$\text{величиной } \sigma \sqrt{\frac{n+1}{n}} \quad [8].$$

Далее для отношения (1)

$$t = \frac{|x_* - \bar{x}|}{\sigma \sqrt{(n+1)/n}} \quad (1)$$

подсчитаем вероятность $1 - 2\Phi(t)$ ($\Phi(t)$ - табличное значение) [8]. Получаем вероятность того, что отношение (1) примет значение, не меньшее чем t , при условии, что значение x_* не содержит аномальной ошибки. Если подсчитанная таким образом вероятность окажется очень малой, то значение содержит аномальную ошибку и его следует исключить из дальнейшей обработки результатов измерений.

Какую именно вероятность считать очень малой – зависит от конкретных условий решаемой задачи: если назначить слишком низкий уровень малых вероятностей, то аномальные ошибки могут остаться. Если же взять этот уровень неоправданно большим, то можно исключить результаты со случайными ошибками, необходимые для правильной обработки измерений. Обычно применяют один из трех уровней малых вероятностей α [8]:

–5% уровень (исключаются ошибки, вероятность появления которых меньше 0,05);

–1% уровень (исключаются ошибки, вероятность появления которых меньше 0,01);

–0,1% уровень (исключаются ошибки, вероятность появления которых меньше 0,001).

При выбранном уровне малых вероятностей считают, что значение x_* содержащим аномальную ошибку, если для соответствующего отношения (1) имеет место неравенство: $1 - 2\Phi(t) < \alpha$ [8]. Данное заключение имеет вероятностный характер, поэтому говорят, что значение x_* содержит аномальную ошибку с надежностью вывода $P = 1 - \alpha$. Значение $t = t(P)$, для которого $1 - 2\Phi(t) = \alpha$,

называется критическим значением отношения (1) при надежности P .

В случае неизвестной величины СКО алгоритм отбраковки аномальных ошибок будет несколько отличаться [86]. Сначала СКО оценивается приближенно по результатам измерений, т. е. вместо нее применяют эмпирический стандарт [8]

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

При этом абсолютную величину разности $|x_* - \bar{x}|$ между сбойным и средним значениями делят на эмпирический стандарт. Далее полученное отношение

$$t = |x_* - \bar{x}| / s \quad (3)$$

сравнивают с табличными значениями $t(P)$.

Если надежность вывода окажется недостаточной, то это свидетельствует не об отсутствии аномальной ошибки, а лишь об отсутствии достаточных оснований для исключения значения [8].

Кроме рассмотренных выше методов, в работах [4, 5] автором было предложено 2 варианта обработки избыточной траекторной информации.

Избыточность данных ВТИ может быть временной и пространственной. Временная избыточность (ВИ) возникает при высокой частоте измерения данных. Пространственная избыточность (ПИ) является следствием дублирования измерений различными средствами. Последовательность учета избыточностей может быть любая [4].

В первом варианте 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 алгоритма адаптивного линейного

оптимального сглаживания, вследствие чего реализуется ВИ данных измерений [4].

Второй вариант 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.

В процессе исследования предложенных алгоритмов обработки избыточных данных ВТИ были рассмотрены следующие ситуации:

- 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.

Анализ результатов работы алгоритмов проводился следующим образом. Аномальные ошибки накладывались на измеренное значение дальности, а затем отслеживался результат обработки на каждом этапе. Для наглядности аномальные ошибки выбирались кратными СКО. Кроме того, рассматривалась ситуация одного и нескольких последовательных сбоев, причем как одного, так и разных знаков. Один из примеров обработки избыточной траекторной информации, содержащей 3 последовательные аномальные ошибки, показан на рисунке 2 [5].

Часть траектории, содержащая грубые ошибки измерений

№ 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	СБОЙ!	1121.334	1335.2803	(1000; 893.3; 500)	(1190.7; 872.71; 594.78)	(980.34; 976.81; 490.1)
51	СБОЙ!	1120.7431	778.8312	(1000; 1000; 510)	(695.14; 1000.11; 355.19)	(980.15; 1082.79; 499.81)
52	СБОЙ!	1131.1618	1379.6484	(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)

*** Закрывать**

Рис. 2. Три последовательных сбоя (+4 СКО, -6 СКО, +5 СКО)

Результаты

Проведенные исследования показали, что разработанные методы обработки данных ВТИ устойчивы как к одиночным, так и к групповым аномальным ошибкам измерений (сбоям) и сохраняют работоспособность, даже если аномальные ошибки не были исключены на этапе предварительной обработки.

На основе исследований, проведенных в данном разделе, можно сделать следующие выводы:

- обе структуры последовательного учета ПИ и ВИ, предложенные в работе [5], устойчивы к одиночным и групповым аномальным ошибкам одного и разных знаков.
- при исследовании двух вариантов последовательного учета ПИ и ВИ

результаты получились точнее в случае, когда на первом этапе реализуется ПИ измерений, а сглаживание вторичных координат осуществляется на втором этапе;

– 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. При выборе слишком малого интервала сглаживания влияние грубых ошибок нейтрализуется не полностью. При значительном увеличении интервала сглаживания в результатах будут присутствовать методические ошибки. Экспериментально была установлена целесообразность использования локально-скользящего сглаживания с величиной интервала в 13-15 точек.

Литература:

1. Жданюк Б. Ф. Основы статистической обработки траекторных измерений – 1978. – М.: Советское радио. – 384с.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. Огороднийчук Н. Д. Обработка траекторной информации. - К.: изд. КВВАИУ, ч.1, 1981. – 224с.
7. Огороднийчук Н. Д. Обработка траекторной информации. - К.: изд. КВВАИУ, ч.2, 1981. – 144с.
8. Румшицкий Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента. – М.: Наука, 1971. – 192 с.
9. Стубарев Д. В. Исследование алгоритмов предварительной обработки данных траекторных измерений методами имитационного моделирования // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов, № 10, 2006. – 418 с.

Аннотации:

В данной работе исследуются алгоритмы обработки избыточных данных внешнетраекторных измерений, когда в составе измерений присутствуют аномальные ошибки.

Ключевые слова: избыточность, аномальные ошибки, траекторные измерения, СКО, определение местоположения, обработка результатов, сглаживание.