

Уменьшение погрешности угломерной навигационной аппаратуры потребителя, используемой на БЛА

© Авторы, 2015

© ЗАО «Издательство «Радиотехника», 2015

А.В. Гребеников – к.т.н., начальник сектора 4101, ОАО «НПП Радиосвязь» (г. Красноярск)

E-mail: berg24@mail.ru

А.В. Ячин – аспирант, базовая кафедра «Радиоэлектронная техника информационных систем»,

Институт инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета (г. Красноярск)

E-mail: yachin_aleksandr@mail.ru

Рассмотрены результаты анализа экспериментальных исследований и методы уменьшения погрешности определения пространственной ориентации за счет компенсации многолучевости, для случая высокоточной угломерной аппаратуры потребителя установленной на беспилотный летательный аппарат.

Ключевые слова: спутниковая навигация, пространственная ориентация, погрешность измерения, фильтрация, коррекция, эксперимент, многолучевость, БЛА.

This article describes experiments on using the method of multipath compensation in the GNSS receiver with attitude determination, when it is used for UAV.

Keywords: satellite navigation, GNSS, multipath, attitude determination.

При размещении антенных систем (АС) угломерной навигационной аппаратуры (УНАП) возникают интенсивные переотражения сигналов навигационных космических аппаратов (НКА) от деталей конструкций объектов размещения и отражающих элементов окружающей обстановки. Такие переотражения приводят к значительному искажению фазы принимаемых сигналов. Последние трансформируются в погрешности определения пространственной ориентации (ПрО).

Особенностью БЛА как объекта размещения АС УНАП, является то, что во время полета переотражения сигналов НКА обусловлены только элементами конструкции самого БЛА. Данное обстоятельство позволяет максимально эффективно применять для БЛА метод «портрета многолучевости» – метод компенсации погрешности многолучевости, основанный на ее повторяемости, для повторяющихся траекторий полета НКА относительно объекта с установленной на нем АС УНАП [1].

Ниже будет рассмотрена оценка эффективности практического применения портрета многолучевости для УНАП на БЛА, а так же проверка обеспечения данной технологией погрешности определения ПрО БЛА на уровне, задаваемом на современном этапе в тактико-технических заданиях (ТТЗ) на перспективные УНАП, в частности на опытно-конструкторскую работу (ОКР) «Орт».

Описание экспериментов. В рамках данной работы был проведен ряд экспериментальных исследований. Для экспериментов использовалась аппаратура МРК-32, оснащенная АС с базой 0,7 м, выпускаемая ОАО «НПП «Радиосвязь» (г. Красноярск).

Цель первого исследования – получение пределов уменьшения погрешности ПрО за счет уменьшения погрешности многолучевости, и проверка удовлетворения результирующей погрешности требованиям ТТЗ, предъявляемых к УНАП на современном этапе. Для этого была выбрана местность с минимальной многолучевостью, обусловленной только отражениями от земной поверхности и от элементов конструкции самой АС. Дополнительное подавление многолучевости достигается за счет использования в АС технологии «Choke ring». Вид АС во время проведения эксперимента представлен на рис. 1.



Рис. 1. Антенная система в условиях минимальной многолучевости

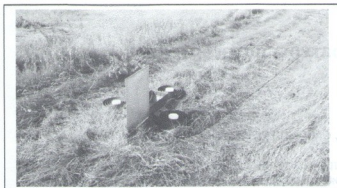


Рис. 2. Макет БЛА в условиях минимальной многолучевости

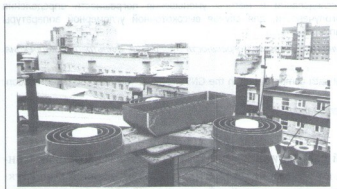


Рис. 3. Макет БЛА во время накопления портрета многолучевости

Цель второго исследования – выяснение уровня погрешности определения ПрО для условий максимально приближенных к реальным. Для этого на базе АС МРК-32 был изготовлен макет имитирующий фюзеляж и хвост БЛА. Макет во время проведения эксперимента, так же как и в первом эксперименте, был помещен в условиях минимальной многолучевости. Вид макета имитирующего БЛА во время проведения эксперимента представлен на рис. 2.

Цель третьего эксперимента – оценить эффективность применения «портрета многолучевости» для макета БЛА. На Текущем этапе развития этой технологии, для формирования «портрета многолучевости», требуется достаточно длительное время (несколько суток), что затрудняет накопление информации в полевых условиях. В связи с этим, формирование «портрета многолучевости» производилось в условиях, в которых действующая на него многолучевость определяется не только элементами конструкции самого макета, но и окружающей средой. На рис. 3 представлен вид макета во время накопления портрета многолучевости.

Результаты экспериментов. Рис. 4–7 иллюстрируют влияние многолучевости на измеряемую УНАП разность фаз между антеннами. Для удобства сравнения пары графиков построены в одном и том же масштабе. На рис. 4 изображено семейство графиков, каждый из которых соответствует одному из принимаемых сигналов НКА и показывает, как изменяется во времени погрешность измерения разности фаз (ПИРФ) между 1 и 2 антеннами УНАП, полученная в эксперименте № 1 (малое влияния многолучевости). Графики на рис. 5 аналогичны графикам на рис. 4 и соответствует эксперименту № 2 (имитация БПЛА при малом влиянии многолучевости). Как видно на рис. 4 погрешности для разных НКА ведут себя одинаково и лежат в узком диапазоне значений.

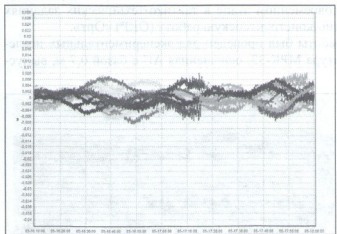


Рис. 4. ПИРФ 1-2 в условиях низкой многолучевости

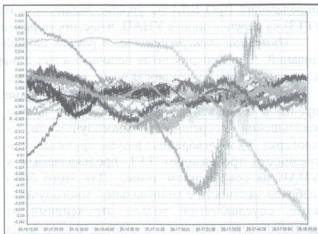


Рис. 5. ПИРФ 1-2 для макета БЛА

На рис. 5 у нескольких НКА погрешности существенно выше, чем у остальных, это вызвано искажениями фаз прямых сигналов отраженными.

На рис. 6 и 7 изображены графики полученных значений ПрО для эксперимента №№ 1 и 2 соответственно.

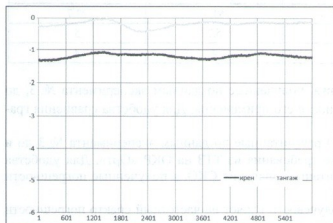


Рис. 6. Угол крена и тангажа в условиях низкой многолучевости

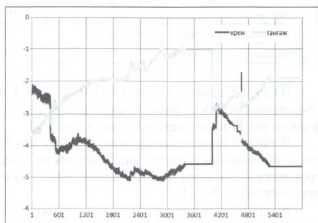


Рис. 7. Угол крена и тангажа для макета БЛА

Из рис. 4–7 видно, что дополнительные элементы конструкции, способные отражать сигналы НКА, существенно искажают фазы сигналов и как следствие увеличивает погрешность определения ПрО.

В табл. 1 представлены значения среднеквадратических отклонений (СКО) для ПрО для экспериментов № 1 (малая многолучевость) и № 2 (имитация БЛА при малой многолучевости), а также требования из ТТЗ на ОКР «Орт». Для удобства сравнения требования из ТТЗ на ОКР «Орт» пересчитаны в значения СКО, а полученные погрешности пересчитаны на базу 1 м.

Таблица 1. Значения среднеквадратических отклонений (СКО) для ПрО

Тип эксперимента	СКО курса, угл. мин.	СКО крена, угл. мин.	СКО тангажа, угл. мин.
Низкая многолучевость	3,6	2,7	3,4
Имитация БЛА	8,2	29,5	27,4
Требования для ОКР «Орт»	3	4	4

Из табл. 1 видно, что при малой интенсивности многолучевости УНАП способна удовлетворить требованиям погрешности по определению крена и тангажа, предъявляемых к УНАП на современном этапе. Отражения от элементов конструкции БЛА, существенно увеличивают погрешность ПрО до уровней во много раз превышающих требования, предъявляемые к УНАП на современном этапе.

Результаты применения портрета многолучевости проиллюстрированы на рис. 8 и 9, а также в табл. 2.

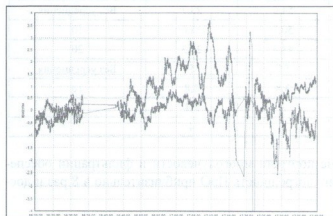


Рис. 8. Графическое представление крена и тангажа до применения портрета многолучевости

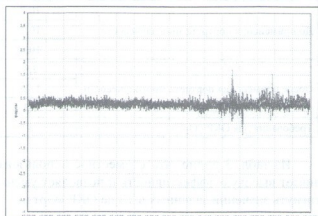


Рис. 9. Графическое представление крена и тангажа до применения портрета многолучевости

Таблица 2. Значения СКО для ПрО

Тип эксперимента	СКО курса, угл. мин	СКО крена, угл. мин	СКО тангажа, угл. мин
До применения портрета многолучевости	10,8	54,6	23,7
После применения портрета многолучевости	2,9	5,7	5
Требования для ОКР «Орт»	3	4	4

На рис. 8 представлены графики крена и тангажа, полученные по данным эксперимента № 3, до применения портрета многолучевости, а на рис. 9 – после его применения. Для удобства сравнения графики на рис 8 и 9 приведены в одном масштабе.

В табл. 2 представлены значения СКО для ПрО рассчитанные по данным эксперимента № 3 до и после применения портрета многолучевости, а также требования из ТТЗ на ОКР «Орт». Для удобства сравнения требования из ТТЗ на ОКР «Орт» пересчитаны в значения СКО, а полученные погрешности пересчитаны на базу 1 м.

В [1] показано что применение портрета многолучевости влияет на частотный спектр погрешности измерения разности фаз, существенно уменьшая низкочастотные составляющие, что позволяет увеличить эффективность фильтрации. Применение фильтрации проиллюстрировано на рис 10, рис. 11 и в табл. 3.

На рис. 10 представлены графики курса до применения портрета многолучевости без усреднения, с усреднением на 10 с. и усреднением на 20 с, а на рис. 11 – графики курса после применения портрета многолучевости без усреднения, с усреднением на 10 с. и усреднением на 20 с. Для удобства сравнения графики на рис. 10 и рис. 11 построены в одном и том же масштабе. Из анализа рисунков видно, что применение фильтрации не дает заметного эффекта.

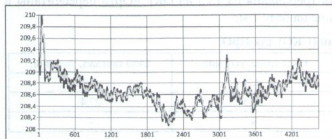


Рис. 10. Графическое представление эффективности фильтрации до применения портрета многолучевости

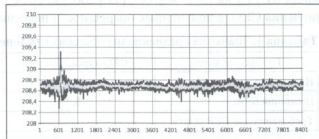


Рис. 11. Графическое представление эффективности фильтрации после применения портрета многолучевости

Таблица 3. Результаты экспериментов с применением фильтрации и совместного использования портрета

Тип эксперимента	СКО курса, угл. мин	СКО крена, угл. мин	СКО тангажа, угл. мин	Интервал усреднения, с
До применения портрета многолучевости	10,8	54,6	23,7	Без усреднения
	10,7	50,1	23,6	10
	10,5	48,4	23,3	20
После применения портрета многолучевости	2,9	5,7	5	Без усреднения
	1,75	3,8	3,8	10
	1,3	3	3,1	20
Требования для ОКР «Орт»	3	4	4	

Из табл. 3 видно, что совместное использование портрета многолучевости и фильтрации обеспечивает высокую эффективность и позволяет уменьшить погрешность ПрО приблизительно в 8 раз и достигнуть значений заданных в ТЗ на ОКР «Орт».

При минимальном воздействии многолучевости на аппаратуру определения пространственной ориентации погрешность определения углов удовлетворяет требованиям, предъявляемым к УНАП на современном этапе.

Наличие у БЛА отражающих деталей конструкции существенно увеличивает погрешность определения пространственной ориентации до уровней не удовлетворяющих требованиям, предъявляемым к УНАП на современном этапе.

Применение «портрета» многолучевости позволяет компенсировать влияние отраженных от деталей конструкции БЛА сигналов НКА и уменьшить погрешность определения пространственной ориентации до уровней, удовлетворяющих требованиям, предъявляемым к УНАП на современном этапе.

Литература

1. Гребеников А.В., Сизасов С.В., Ячин А.В. Варианты применения угломерной аппаратуры ГНСС для уменьшения погрешности многолучевости // Радиосвязь и радионавигация. 2013. №3
2. Тяжкин В.Н., Дмитриев Д.Д., Коинов В.Г., Фокин А.Н. Метод определения вектора спектральных коэффициентов по критерию отношения правдоподобия // Вестник СибГАУ. 2012. Вып. 3 (43).
3. Тяжкин В.Н., Дмитриев Д.Д., Гарин Е.Н., Соколовский А.В. Управление амплитудно-фазовым распределением адаптивной фазированной антенной решетки // Промышленные АСУ и контроллеры. 2013. № 4.
4. Шарфудунова Т.Г., Тяжкин В.Н., Дмитриев Д.Д. Точность измерения навигационных параметров в навигационной аппаратуре потребителей спутниковой радионавигационной системы ГЛОНАСС, оснащенной антенной решеткой // Радиотехника. 2013. № 6.
5. Тяжкин В.Н., Фастеев Ю.Л., Дмитриев Д.Д., Коинов В.Г. Калибровка измерительного тракта для испытания навигационной аппаратуры потребителей спутниковых радионавигационных систем на помехоустойчивость // Вестник СибГАУ. 2012. Вып. 4 (44).
6. Тяжкин В.Н., Дмитриев Д.Д., Моискина Т.Г. Потенциальная помехоустойчивость навигационной аппаратуры потребителей спутниковых радионавигационных систем // Вестник СибГАУ. 2012. Вып. 3 (43).
7. Тяжкин В.Н. Определение угловой ориентации объекта по радионавигационным сигналам космических аппаратов при воздействии преднамеренных широкополосных помех // Успехи современной радиоэлектроники. 2012. № 9.
8. Асвеевич В.Н., Гребеников А.В., Кокорин В.И. Опыт создания и перспективы применения аппаратуры потребителей глобальных спутниковых навигационных систем // Гирокоспия и навигация. 2000. № 4.

ВНИМАНИЕ!

В Издательстве «Радиотехника» вышла в свет книга

ГЛОНАСС

принципы построения и функционирования

Под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова

Издание 4-е, перераб., испр. и доп.

Изложены принципы построения спутниковой радионавигационной системы ГЛОНАСС, даны ее системные характеристики и основные характеристики подсистем космических аппаратов, наземного контроля и управления, навигационной аппаратуры потребителей, а также дифференциальных дополнений СРНС. По сравнению с предыдущим изданием существенно переработан материал по направлениям совершенствования технологий спутниковой навигации с учетом новых перспектив по введению сигналов с кодовым разделением и материал по интегрированным инерциально-спутниковым навигационным системам. Добавлены главы по использованию сигналов СРНС для определения угловой ориентации объектов и по частотно-временной режекции узкополосных помех в аппаратуре потребителей, а также материалы по приему сигналов в условиях многолучевости, по быстрому поиску сигналов и результаты последних исследований в области пространственно-временной обработки навигационных сигналов, принимаемых на фоне пространственно распределенных помех. Для широкого круга специалистов, занимающихся разработкой, производством и эксплуатацией аппаратуры потребителей СРНС ГЛОНАСС. Может быть полезна студентам, аспирантам и преподавателям высших учебных заведений при изучении дисциплин радиотехнического профиля.

По вопросам заказа и приобретения книги обращаться в Издательство «Радиотехника» по адресу:

107031, Москва, К-31, Кузнецкий мост, д. 20/6,
тел./факс: (495) 625-78-72, 621-48-37, 625-92-41
<http://www.radiotec.ru>, e-mail: info@radiotec.ru

Радиолокация
и радиометрия

Методы и средства
оптоэлектроники
в радиофизике

Системы
радиоуправления

Антенны и техника СВЧ

Робототехника

Биомедицинская
электроника

Технологии
живых
систем

Новые
информационные
технологии

Нейрокомпьютинг

Нанотехнологии

Информационные
и измерительные
системы

Радионавигационные технологии



УДК 629.78
ББК 39.67
П 15

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СЕРИИ

Редакционный совет:

д.ф.-м.н., проф. О.В. Бешкий, акад. Ю.В. Гуляев, д.т.н., проф. А.Ю. Гринев, д.т.н., проф. Ю.Л. Козирацкий, д.т.н., проф. Г.С. Кондратенков, д.т.н., проф. А.В. Коренной, д.т.н., д.б.н. И.В. Матвейчук, д.т.н., проф. В.И. Меркулов, д.т.н., проф. А.И. Перов, к.б.н. А.В. Савельев, акад. А.С. Сигов, д.т.н. проф. М.С. Ярлык

Выпуск 4

Серия «Радиосвязь и радионавигация»

Рецензент:

докт. техн. наук, профессор *В.Н. Харисов* (ОАО «ВНИИР Прогресс»)

П 15 Радионавигационные технологии. Сб. статей. / Под ред. *А.И. Перова*. – М.: Радиотехника, 2015. – 144 с.: ил. Научно-технические серии. Вып. 4. Серия «Радиосвязь и радионавигация». (Авторы указаны на с. 144)

ISBN 978-5-93108-096-3

Отражены теоретические вопросы спутниковой навигации, технологии перспективной системы ГЛОНАСС, показаны результаты экспериментальных исследований технологий спутниковой навигации; рассмотрены вопросы мониторинга навигационных сигналов; даны приложения технологий спутниковой навигации в различных областях. Книга подготовлена по материалам научно-технической конференции «Радионавигационные технологии в приборостроении» (сентябрь 2014 г.).

Для научных работников и инженеров, а также преподавателей и студентов вузов.

УДК 629.78
ББК 39.67

ISBN 978-5-93108-096-3

© Авторы, 2015

© ЗАО «Издательство «Радиотехника», 2015