

Лекция 16. Контроль целостности навигационного решения

Болденков Е.Н.

Московский Энергетический институт

декабрь 2014

Содержание

- 1 Понятие целостности
 - Целостность
 - Нормативы ИКАО
- 2 Внешние методы контроля целостности
 - Обнаружение сбоев навигационной системы
 - Системы функционального дополнения
- 3 Автономный контроль целостности
 - Автономный контроль целостности

Понятие целостности

Ошибки решения навигационной задачи

- Шумовая ошибка.
- Динамическая ошибка.
- Многолучёвость.
- Сбои работы аппаратуры потребителя.
- Сбои формирования сигнала.

Ряд ошибок являются аномальными.

Понятие целостности

Понятие целостности

Целостность – мера доверия к информации, обеспечиваемой системой в целом. Целостность подразумевает способность системы своевременно предоставлять сообщения о сбоях пользователю

Нормативы ИКАО

Наиболее существенной проблема целостности является в авиации

Режим полёта	Время предупреждения	Целостность	HAL	VAL
En-route	5 мин	$10^{-7}/\text{ч}$	4 NM	-
En-route	15 с	$10^{-7}/\text{ч}$	2 NM	-
En-route, terminal	15 с	$10^{-7}/\text{ч}$	1 NM	-
NPA	10 с	10^{-7}	0,3 NM	-
APV I	10 с	10^{-7}	0,3 NM	50 м
APV II	6 с	10^{-7}	40,0 м	20 м
CAT I	6 с	10^{-7}	40,0 м	15-10 м

Нормативы ИКАО

Контроль целостности регламентирован ИКАО

ICAO Annex 10, Volume 1, Appendix B.

Все навигационные приёмники, предназначенные для использования в авиации, должны функционировать в соответствии с данным документом.

Нормативы ИКАО

Процедура решения навигационной задачи по ИКАО

- 1 Расчёт псевдодальностей.
- 2 Внесение поправок навигационной системы.
- 3 Внесение поправок систем функционального дополнения.
- 4 Применение тропосферной модели, предписанной ИКАО.
- 5 Решение задачи методом наименьших квадратов.
- 6 Расчёт и проверка уровней тревоги HAL и VAL.
- 7 Проверка идентификатора сигнала.

Обнаружение сбоев навигационной системы

Спутниковые сигналы непрерывно контролируются

- Командно-измерительные комплексы навигационных систем.
- Сеть станций IGS.

При обнаружении сбоев системы информация должна быть доставлена приёмнику.

Обнаружение сбоев навигационной системы

Доставка информации о сбоях

- Эфемериды навигационного сигнала.
- Альманахи навигационных сигналов.
- Системы функционального дополнения.
- Местные дифференциальные системы.

Системы функционального дополнения

SBAS

SBAS - satellite based augmentation system - спутниковая система функционального дополнения

Системы SBAS

- WAAS
- EGNOS
- MSAS
- GAGAN
- СДКМ

Системы функционального дополнения

Целостность и SBAS

Одна из задач систем SBAS - своевременная доставка информации о сбоях в навигационной системе.

Системы SBAS также регламентируются документами ИКАО.

Системы функционального дополнения

Выдержки из состава информации SBAS по ИКАО

Тип данных	Содержание
0	“Не использовать”
1	Маска PRN
2-5	Быстрые поправки
6	Данные целостности
7	Фактор деградации поправок
24	Смешанные быстрые/долгосрочные поправки
25	Долгосрочные поправки

Автономный контроль целостности

Возможен контроль целостности в самом приёмнике

RAIM - receiver autonomous integrity monitoring - алгоритм автономного контроля целостности.

Автономный контроль целостности

Для решения навигационной задачи нужно не менее 4 измерений

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho_1 = \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2} + \Delta T \cdot c \\ \rho_2 = \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2} + \Delta T \cdot c \\ \rho_3 = \sqrt{(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2} + \Delta T \cdot c \\ \rho_4 = \sqrt{(x - x_4)^2 + (y - y_4)^2 + (z - z_4)^2} + \Delta T \cdot c \end{array} \right.$$

Автономный контроль целостности

Основа для работы алгоритмов RAIM - избыточность

Обычно измерений больше, чем 4.

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho_1 = \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2} + \Delta T \cdot c \\ \rho_2 = \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2} + \Delta T \cdot c \\ \dots \\ \rho_N = \sqrt{(x - x_N)^2 + (y - y_N)^2 + (z - z_N)^2} + \Delta T \cdot c \end{array} \right.$$

Автономный контроль целостности

Правило решения навигационной задачи - метод наименьших квадратов

$$\sum_{i=1}^N \{\tilde{\rho}_i(x, y, z, \Delta\tau) - \rho_i\}^2 \rightarrow_{x, y, z, \Delta\tau} \min$$

Величины $\tilde{\rho}_i(x, y, z, \Delta\tau) - \rho_i$ называют невязками измерений.

Автономный контроль целостности

Обнаружение аномальных ошибок

Если невязки больше, чем следует ожидать, произошёл сбой.

$$\tilde{\rho}_i(x, y, z, \Delta_\tau) - \rho_i \geq \Delta\rho_{\max}$$

Автономный контроль целостности

МНК минимизирует сумму квадратов невязок

Как результат, если одна псевдодалльность неправильная, все невязки будут большими.

Автономный контроль целостности

Работа RAIM

Алгоритмы RAIM исключают из решения псевдодальности по одной и рассчитывают невязки.

При исключении неверной псевдодальности невязки резко уменьшаются.

Автономный контроль целостности

Возможности автономного контроля целостности

- 4 измерения - только решение, нет контроля целостности.
- 5 измерений - можно обнаруживать сбои.
- 6 измерений - можно исключать 1 сбойный сигнал.
- 7 измерений - можно исключать 2 сбойных сигнала.

Автономный контроль целостности

Работа в городских условиях

Проблемы при работе в городе:

- Доступных сигналов мало.
- Плохой геометрический фактор.
- Сигналы сильно подвержены многолучёвости.

Коррекция сбоев в городских условиях - сложная задача.

Следующая лекция

Тема следующей лекции

ЗАЧЁТ!!!

Посетите наш web-сайт

<http://srns.ru>

