



Рис.5. Гистограмма с вычетом постоянной составляющей

Таким образом, даже простой анализ периодичности статистических параметров в динамических телевизионных изображениях с цифровой компрессией позволяет вычленить кадры с наибольшей потерей оригинальной информации (В-кадры), что может использоваться для оптимальной синхронизации различных технологических процессов обработки прошедшего сжатие видеоматериала при отсутствии доступа к информации о кодировании. Более специализированный алгоритм, возможно, позволит четко различать и опорные I-кадры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. www.divi.ru/text/a-video14.shtml
2. http://www.ixbt.com/divideo/dignonline4_add.html
3. Севальнев Л.А. / Международный стандарт кодирования с информационным сжатием MPEG-2 / «625», 1997, №1.
4. www.divi.ru/text/a-video14.shtml
5. Langelaar G.C., Lagendijk R.L., Biemond J., "Real-time Labeling of MPEG-2 Compressed Video", Journal of Visual Communication and Image Representation, Vol 9, No 4, December, p.256-270, 1998, ISSN 1047-3203.
6. SMPTE Standard 328M - 2000, "MPEG-2 Video Elementary Stream Editing Information".
7. ITU-R Rec. BT-1533 "Editing information for MPEG-2 video elementary streams for applications in television production".
8. <http://www.compression.ru/video/>

Н.Ш. Хусаинов

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИСТЕМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ЛА ПО ИНФОРМАЦИИ ОТ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ БЛИЖНЕЙ РАДИОНАВИГАЦИИ

Введение. Конечной целью определения и коррекции координат летательного аппарата (ЛА) на завершающем участке траектории является повышение точности его наведения на точку касания с поверхностью земли (точку цели). Широко распространенные в настоящее время подходы к определению координат объекта на основе глобальных спутниковых навигационных систем не всегда применимы для вычисления координат современных высокоскоростных и маневренных ЛА, используемых для решения широкого спектра гражданских и военных задач. Поэтому актуальной является разработка автономной системы ближней радионавигации

ции (АСБРН), использующей информацию от локального навигационного поля (группы радиомаяков), которая должна позволить определять координаты ЛА с достаточной точностью и надежностью. Успешное решение данных задач связано в первую очередь с созданием информационно-алгоритмического обеспечения АСБРН.

Требования к современным средствам определения координат ЛА. К решению задач позиционирования современных летательных аппаратов (ЛА) предъявляются чрезвычайно высокие требования, которые во многом определяют состав и структуру бортового навигационного комплекса. основополагающими факторами при этом являются обеспечение необходимой точности и надежности определения пилотажно-навигационных параметров, при условии выдерживания заданных ограничений на время подготовки системы к работе, массогабаритные характеристики, энергопотребление, вычислительную производительность, стоимость и скрытность функционирования.

По критерию точности решения навигационной задачи навигационные комплексы могут быть условно разделены на [1]:

- ◆ системы высокой точности (используемые для обеспечения взлета, автоматического самолетовождения по маршруту и посадки по 1-3 категориям ICAO);
- ◆ средней точности (обеспечивающие приемлемую точность самолетовождения для самолетов бизнес-класса, крылатых ракет и вертолетов при жестких ограничениях на массогабаритные характеристики, стоимость, время готовности и обеспечения навигации при высокой маневренности ЛА);
- ◆ низкой точности (для легких самолетов и беспилотных или дистанционно-пилотируемых ЛА (ДПЛА), ракет малого и среднего радиуса действия).

В соответствии с требованиями к радионавигационным системам, предъявляемым организацией ИКАО и приведенными в Межгосударственной радионавигационной программе стран-участниц СНГ, точности определения координат ЛА при выполнении полетов специального назначения (аэрофотосъемка, разведка и т.п.) и посадки ЛА составляют $1\sigma=0,5-10$ м. Однако кроме точности решения навигационной задачи к системе навигации предъявляются следующие требования [2]:

- ◆ доступность (готовность), мерой которой является вероятность работоспособности радионавигационных систем перед выполнением той или иной задачи и в процессе ее выполнения;
- ◆ целостность, мерой которой является вероятность выявления отказа в течение времени, равного заданному или менее;
- ◆ непрерывность обслуживания, мерой которой служит вероятность работоспособности системы в течение наиболее важных отрезков времени движения ЛА.

Спутниковые навигационные системы (СНС) типа NAVSTAR (GPS) и ГЛОНАСС признаны перспективными и экономически эффективными в большинстве авиационно-космических применений [3]. Вместе с тем, по ряду причин эти системы не всегда могут обеспечить требуемый уровень надежности навигационных измерений по показателям целостности, доступности и непрерывности. К числу таких причин можно отнести:

- ◆ возможность кратковременной потери сигналов спутников, вызванная большим расстоянием, который проходит радиосигнал между источником и приемником;

- ◆ низкая скорость обновления информации (порядка 1с), что является недопустимым для использования в системах управления высокоскоростных и высокоманевренных ЛА;
- ◆ слабая помехозащищенность (в том числе вследствие использования средств радиоэлектронного противодействия) и простота обнаружения.

Решение данной проблемы применительно к пилотируемым ЛА (для посадки) возможно при использовании радионавигационных систем дальней навигации (СДРН) типа "Омега", "Чайка" и "Альфа" (аналоги американской системы "Лоран") и ближней навигации (СБРН) типа "ГРАС", "Крабик", а также систем посадки типа ИЛС (ILS) и MLS. Данный подход характеризуется высокой стоимостью получения информации о координатах ЛА, складывающейся из затрат на оборудование посадочных площадок, диспетчерского пункта, бортовой аппаратуры ЛА.

Поэтому актуальной является разработка автономной системы ближней радионавигации (АСБРН), использующей информацию от локального навигационного поля (группы радиомаяков), которая позволит определять координаты ЛА с достаточной точностью, характеризуясь при этом надежностью, низкой стоимостью, скрытностью функционирования и высокой продолжительностью работы в режиме ожидания. Возможность коррекции координат по информации от АСБРН на завершающем участке движения ЛА представляет несомненный интерес не только для повышения точности наведения средств поражения, но и для решения "гражданских" задач, связанных с предотвращением стихийных бедствий, техногенных катастроф, обеспечения посадки самолетов и вертолетов на малооборудованные и необорудованные взлетные полосы, обеспечения судоходства, а также решения ряда других задач.

Постановка задачи определения координат ЛА для системы ближней радионавигации. Целью определения и коррекции координат ЛА на завершающем участке траектории является повышение точности его наведения на точку касания с поверхностью земли ТО (точку цели). Автономная беспилотная инерциальная навигационная система (БИНС) обеспечивает вывод ЛА в точку (область) первого контакта с группой радиомаяков (РМ) с определенной точностью. В момент прохождения этой точки включается автономная система коррекции траектории движения по данным, получаемым от установленных датчиков (радиомаяков, РМ). Продолжительность работы системы коррекции, заключающейся в реализации однократного или многократных контактов (периодического измерения расстояний от ЛА до РМ), составляет несколько секунд. Во время движения ЛА на данном участке осуществляется коррекция траектории его движения для обеспечения максимальной точности попадания в цель. По окончании каждого из контактов с маяками движение ЛА вновь происходит под управлением БИНС.

Как известно, для определения вектора координат ЛА в трехмерном пространстве необходимо как минимум три РМ (при наличии дополнительной "подсказки" для выбора одного правильного решения из двух при решении системы уравнений) или четыре РМ. Использование большего количества радиомаяков может приводить к повышению точности определения координат ЛА. В общем случае, оценка точности определения координат ЛА в каждом конкретном случае зависит от большого количества факторов, в числе которых следует, в первую очередь, отметить точность позиционирования и топопривязки радиомаяков, точность измерения дальностей от РМ до ЛА в процессе полета, геометрический фактор конфигурации РМ и взаимного расположения группы РМ и ЛА, степень избыточности информационной схемы, используемого математического аппарата вычисления координат ЛА, и, наконец, разрядности вычислительного устройства. По-

этому целью разработки информационно-алгоритмического обеспечения автономной системы ближней радионавигации (АСБРН) является формирование методик и алгоритмов для определения координат ЛА по информации от искусственного навигационного поля с целью коррекции движения ЛА на завершающем участке траектории.

В качестве основных задач, стоящих при разработке информационно-алгоритмического обеспечения АСБРН, можно выделить:

1) выработка рекомендаций по оптимальной расстановке радиомаяков для конкретной местности;

2) анализ реальной конфигурации маяков с целью выбора оптимальных подгрупп маяков и алгоритмов решения навигационной задачи с точки зрения следующих критериев:

- ◆ обеспечение максимально возможной точности определения координат (X, Y, Z) ЛА в точках контакта;
- ◆ возможность решения навигационной задачи с максимальными показателями надежности и достоверности при минимальных требованиях к вычислительным ресурсам бортовой ЦВМ (за минимальное время);

3) подготовка полетного задания;

4) возможность автономного автоматического выбора субоптимальной подгруппы маяков и алгоритма решения навигационной задачи при обнаружении отказа маяка (маяков) в случае избыточности информационной схемы.

Структура информационно-алгоритмического обеспечения АСБРН. В соответствии с поставленными задачами и требованиями можно разделить структуру АСБРН на две части со следующими решаемыми задачами, требованиями и ограничениями:

1) Наземная часть АСБРН ("земля"). Задачей функционирования наземной части является анализ конфигурации маяков с учетом оценок ошибок их позиционирования и измерения расстояний и оценка вероятностных точностных характеристик решения навигационной задачи. Функционирование программного обеспечения наземной части АСБРН предполагается при наличии достаточных вычислительных ресурсов в масштабе времени, определяемым временем стационарного размещения цели (минуты и часы). Результатами работы наземной части АСБРН являются статистические оценки ошибок навигации в рассматриваемых зонах коррекции, по величине которых может быть принято решение на запуск ЛА, выбрана боевая часть (для систем поражения) и т.п. В случае принятия решения на пуск беспилотного ЛА наземная часть АСБРН генерирует полетное задание.

2) Бортовая часть АСБРН ("борт") функционирует в автономном и автоматическом режиме. Задачами функционирования "борта" являются управление движением ЛА, выявление "отказавших" маяков, решение навигационной задачи (с учетом возможных "отказов") и коррекция координат ЛА по результатам решения. Функционирование программного обеспечения бортовой части АСБРН осуществляется в режиме жесткого реального времени в условиях ограниченности вычислительных ресурсов. Основными функциональными модулями бортовой части АСБРН являются модуль решения навигационной задачи и (при необходимости интеграции) модуль управления движением ЛА.

Разработка компьютерной модели АСБРН. В рамках проведенных исследований рассмотрены и проанализированы известные прямые и итерационные алгоритмы решения навигационной задачи. Выполнен анализ возможных областей их неработоспособности и предложен ряд новых модифицированных алгоритмов решения навигационной задачи, нацеленных, во-первых, на повышение точности

определения координат ЛА прямыми методами, и, во-вторых, на снижение трудоемкости итерационных алгоритмов.

Исходными данными для алгоритмов вычисления координат ЛА являются:

- ◆ Количество маяков, которые используются в алгоритме расчета.
- ◆ Координаты маяков в локальной системе координат (ЛСК). При проведении экспериментальных исследований предполагалось, что центр ЛСК совмещен с расчетной точкой касания (РТК). Таким образом, применяемый в алгоритмах способ расчета координат ЛА относительно одного из маяков (базового), позволяет вычислять координаты ЛА в ЛСК относительно РТК.
- ◆ Измеренные расстояния D_i от каждого маяка до ЛА (в процессе движения ЛА).

Результатами расчета являются координаты (X, Y, Z) ЛА в ЛСК.

При выполнении работ по созданию информационно-алгоритмического обеспечения АСБРН рассмотрены, программно реализованы и экспериментально исследованы (с использованием компьютерных моделей и статистического моделирования) различные классы алгоритмов вычисления координат ЛА:

1) Расчетные алгоритмы, основанные на решении алгебраических систем уравнений или на анализе взаимного расположения в пространстве прямых, соединяющих ЛА и каждый из РМ. Данный класс алгоритмов ориентирован на использование дальностей до трех РМ (в этом случае возможна неоднозначность решения по одной из координат, которая может быть устранена, например, за счет использования высотомера) и до четырех РМ (в этом случае неоднозначности не возникает). Авторами предложены модификации алгебраических алгоритмов, нацеленные на повышение точности решения навигационной задачи для некоторых "экстремальных" ситуаций (расположение маяков вблизи одной линии или одной плоскости, низкая высота ЛА относительно группы РМ и т.п.).

2) Итерационные алгоритмы, особенностью которых является возможность использования для вычисления координат ЛА дальностей одновременно до всех "доступных" РМ, что в ряде случаев позволяет повысить точность определения координат ЛА за счет дополнительного повышения трудоемкости вычислений (требуются несколько итераций).

3) Методы построения прямой решающей функции. Идея методов состоит в построении для заданного расположения радиомаяков для всех возможных мест нахождения ЛА в некоторой области решений функции $(X, Y, Z) = F(D_1, D_2, \dots, D_N)$. По измерениям дальностей от ЛА до радиомаяков однозначно определяются координаты ЛА в ЛСК. Существует несколько способов построения прямой решающей функции, основными из которых являются корреляционно-экстремальный и с использованием нейросети. Данные подходы характеризуются либо высокими требованиями к вычислительным ресурсам и объемам памяти вычислителя, либо длительной процедурой обучения нейросети, поэтому их реализация в реальном масштабе времени возможна только при их аппаратной реализации на базе спецвычислителя.

Разработано программное обеспечение, позволяющее выполнять моделирование работы наземной и бортовой частей АСБРН, управление движением ЛА на завершающем участке траектории с коррекцией координат, а также визуализировать результаты точностных оценок определения координат ЛА на базе рассмотренных подходов.

Основные результаты экспериментальных исследований. Как показали исследования, сложность конфигурации радиомаяков и ее влияние на точность

решения навигационной задачи, особенно в условиях избыточной информационной схемы, в общем случае может приводить к невозможности анализа конфигурации аналитическими методами. В этом случае единственным возможным вариантом анализа конфигурации РМ, оценки точности решения навигационной задачи, выработки рекомендаций на пуск и подготовки полетного задания является статистическое моделирование.

По результатам исследований отмечено, что на точность решения навигационной задачи количество радиомаяков влияет в меньшей степени, чем их конфигурация (например, точность решения навигационной задачи при 9 маяках, расположенных практически на одной прямой, будет ниже, чем при 3 маяках, расположенных в углах равностороннего треугольника). Возможность повышения точности вычисления координат ЛА при увеличении избыточности связано, в первую очередь, с вероятностью появления более "удобных" конфигураций подгрупп маяков, которые и должны выбираться для решения навигационной задачи.

Предложенная методика решения навигационной задачи, основанная на возможностях независимого вычисления каждой из координат ЛА, выборе оптимальных подгрупп радиомаяков и алгоритмов для каждой из областей коррекции, позволила получить по результатам моделирования точностные характеристики, соответствующие требованиям определения координат для современных беспилотных маневренных ЛА при выполнении требований по надежности, доступности и непрерывности функционирования АСБРН.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Управление и наведение беспилотных летательных аппаратов на основе современных информационных технологий / Под ред. М.Н.Красильщикова и Г.Г.Серебрякова – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005.
2. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС / Под ред. В.Н.Харисова, А.И.Перова, В.А.Болдина. – М.: ИПРЖР, 1999.
3. Основы теории систем управления высокоточных ракетных комплексов Сухопутных войск / Б.Г.Гурский, М.А.Лющанов, Э.П.Спирин / Под ред. В.Л.Солунина. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2001.

В.С. Васильев

АППРОКСИМАЦИИ В СИСТЕМАХ УРАВНЕНИЙ МЕЛКОЙ ВОДЫ НА КРИВОЛИНЕЙНЫХ СЕТКАХ

Системы уравнений. Достаточно общей можно считать следующую систему уравнений мелкой воды [1]:

$$H'_t + \operatorname{div}(Hv) + \sigma = 0, \quad (1)$$

$$(Hv)_t' + i_\alpha \operatorname{div}(Hv_\alpha v) + \sigma Av = -H(g \operatorname{grad} e + \rho^{-1} \operatorname{grad} a) + F^{(t)} + B + W + HCv, \quad (2)$$

где $H(t, x, y)$ – высота водного столба в момент времени t в точке с декартовыми координатами x и y ; $\operatorname{div} a = (a_x)_x' + (a_y)_y'$ – дивергенция вектора $a = a_x i + a_y j$; $u(t, x, y)$ и $v(t, x, y)$ – средние по столбу физические компоненты вектора скорости среды $v = ui + vj = v_1 i_1 + v_2 i_2 = v_\alpha i_\alpha$ (парные строчные греческие буквы традиционно для тензорного исчисления означают суммирование от 1