

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ НАВИГАЦИОННО-ВРЕМЕННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОМПЛЕКСИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ ВЫСОКОДИНАМИЧНЫХ ОБЪЕКТОВ

канд. техн. наук, доц. Колесниченко С.В.

Санкт-Петербургский государственный горный университет
Факультет приборостроения, информационных и электронных систем
Кафедра системного анализа и управления инновациями

Аннотация

В статье изложены некоторые проблемные вопросы обоснования и разработки систем высокоточного навигационно-временного обеспечения высокодинамичных объектов. Предлагается ряд концептуальных, схемных, технических и конструктивных решений по расширению возможностей систем управления летательных аппаратов за счет использования параметров альтернативных навигационных систем.

Ключевые слова

Система управления, комплексирование, альтернативные навигационные системы, выставка бортовой аппаратуры, точность определения параметров, эффективность.

Abstract

The article reflects some main problems of substantiation and working out high-accuracy systems of navigation and time securing for high-dynamic objects. The author proposes conceptual, circuit, technical and constructive solutions to increase the possibilities of the flight control systems by means of using the factors of alternative navigational systems.

Keywords

Control system, complexation, alternative navigational systems, airborne system adjusting, accuracy of parameterization, efficiency.

Системы навигации высокодинамичных объектов

В настоящее время как отечественными так и зарубежными разработчиками большое внимание уделяется вопросам развития и совершенствования систем управления высокодинамичных высокоманевренных объектов. В первую очередь, это относится к исследованиям в области создания прецизионных гироскопических и оптико-механических систем с улучшенными характеристиками [1]. Разработка последних требует больших временных, экономических и интеллектуальных затрат, что в настоящее время трудно осуществить практически, учитывая реальное положение экономики и в отраслях оборонной промышленности. Как следствие, при разработке перспективных навигационных систем все большее внимание уделяется новым способам уменьшения промахов средств поражения на основе комплексирования традиционных инерциальных навигационных систем с системами навигации, основанных на других физических принципах. Так, в связи с неоднократным успешным применением существующих сетевых спутниковых радионавигационных систем (ССРНС) и широким развитием их аппаратуры потребителей имеется реальная возможность создания альтернативных высокоточных навигационных систем [2, 5]. Исходя из анализа технических характеристик при построении комплексированных систем могут использоваться следующие навигационные системы (НС):

- инерциальные (ИНС), как классические, так и бесплатформенные (БИНС);
- спутниковые системы (СНС);
- радионавигационные (оптико-электронные НС);
- корреляционно-экстремальные (КЭНС);
- магнитометрические (магниторезонансные) НС.

С учетом анализа характеристик и реальных возможностей технической реализации наиболее приемлемыми в настоящее время являются следующие варианты комплексирования бортовых систем управления:

- ИНС (БИНС) + СНС;

- ИНС (БИНС) + КЭНС;
- ИНС (БИНС) + СНС+КЭНС.

Другим, заслуживающим внимания, направлением развития систем и методов навигации высокоскоростных маневренных объектов является использование методов относительной навигации. В этой связи представляет интерес использование радионавигационных систем, особенно при разработке систем конечного наведения головных частей или отдельных боевых элементов.

В известных разностно-дальномерных системах навигации (определения координат местоположения потребителя информации) реализованы фазовые методы, при использовании которых может быть получен требуемый темп измерений [3, 4]. При этом система также содержит опорную станцию (ОС) и несколько ведомых (ВС). На опорной и ведомых станциях имеются эталонные генераторы, которые синхронизируют передатчики. В аппаратуре потребителя (П) информации принятые сигналы после усиления подаются на коммутатор, работающий синхронно с переключениями опорной и ведомых станций. В структуре потребителя имеется опорный генератор, который совместно с измерителями фаз обеспечивает измерение разности фаз сигналов от опорной станции и от ведомой станции. По разности фаз сигналов от опорной и ведомой станций находится разность дальностей между ними и потребителем информации, а также строится линия (поверхность) положения.

Аналогично по разности фаз сигналов от опорной станции и от другой ведомой станции находится разность дальностей между ними и потребителем информации и строится еще одна линия (поверхность) положения. Для определения своих координат потребитель информации кроме линий (поверхностей) положения имеет в базе данных координаты опорной и ведомых станций (представлены на рис. 1).

При развертывании опорной и ведомых станций на местности определяются их прямоугольные координаты x_i, y_i ($i=1, 2, 3$) известными в топогеодезии методами. Опорная станция (ОС₁) излучает радиосигнал, в структуре кото-

рого присутствуют признак принадлежности к $ОС_1$, координаты $ОС_1$ и синхронизирующий импульс. $ОС_1$ работает только в режиме излучения.

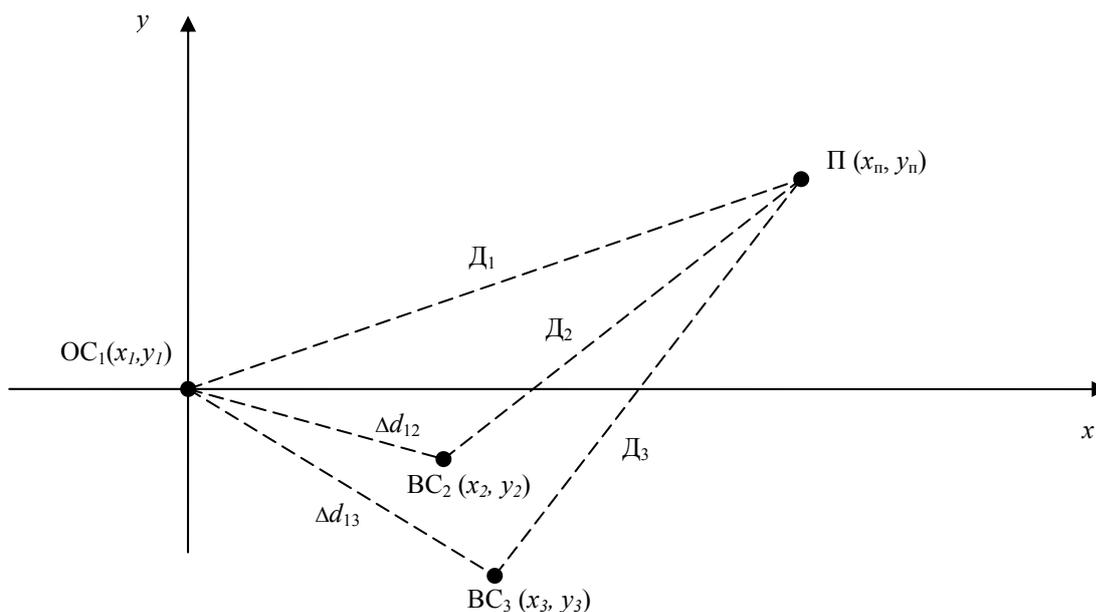


Рис. 1. Схема взаимного расположения опорной, ведомых станций и потребителя информации

Вторая, третья ведомые станции принимают сигналы только по признаку принадлежности его к первой. При выполнении этого условия $ВС_2$ ($ВС_3$) излучает сигнал, в структуре которого, так же, как и для $ОС_1$ содержатся признак принадлежности к $ВС_2$ ($ВС_3$), координаты $ВС_2$ ($ВС_3$) и синхронизирующий импульс. Таким образом, в каждой точке электромагнитного навигационного поля присутствуют признаки опорной и ведомых станций, их координаты и синхронизирующие импульсы. Однозначность измерения дальности в фазовых системах навигации обеспечивается только в пределах длины волны несущего колебания. Для разрешения многозначности измерений используют импульсно-фазовые системы; их навигационный сигнал представляет собой пачку когерентных импульсов, несущая частота которых служит для точного, а огибающая – для грубого измерения разности дальностей с целью устранения многозначности точных измерений [5].

Способы выставки бортовой аппаратуры систем управления подвижных высокоманевренных объектов

В качестве одного из возможных подходов к решению задач повышения точности, сокращения времени операций предстартовой подготовки, а также коррекции и переприцеливания автономных инерциальных навигационных систем подвижных объектов предлагается применить способ аналитической выставки бортовой аппаратуры. Сущность данного способа заключается в использовании радиосигналов навигационных космических аппаратов (КА) при определении местоположения объекта, а также для последующей выставки и коррекции его бортовой аппаратуры системы управления (БАСУ).

Как показал анализ ТТХ приемной аппаратуры потребителей СНС, в настоящее время возможно высокоточное определение координат местоположения объекта с помощью сигналов космических аппаратов [3, 4]. Далее, при известных координатах цели, решением обратной геодезической задачи (ОГЗ) вычисляется угол выставки аппаратуры, для передачи которого на борт необходим гироскоп и ряд оптических приборов. Из этого следует, что основную трудность при выставке бортовой аппаратуры по направлению имеет техническая реализация процесса определения азимутов и других ориентирных направлений, а также передача их в бортовую аппаратуру подвижного объекта.

Эту трудность можно обойти, если использовать сигналы СНС для точного нахождения местоположения, ориентации в пространстве и азимутального наведения объекта. При этом сделаем допущение о том, что в состав аппаратуры СУ должна входить бортовая радиолокационная станция (БРЛС), которая в последующем может быть использована при решении задач преодоления системы противоракетной обороны, коррекции параметров траектории движения объекта и идентификации элементов фоновой обстановки [5, 6].

В качестве измеряемых в БРЛС радионавигационных параметров (РНП) используется время прихода радиосигналов и доплеровский сдвиг частоты. Данным РНП соответствует дальность между КА и потребителем, а также радиальная скорость их относительного движения.

Время прихода сигналов определяется по шкалам времени БРЛС и зависит от момента излучения сигнала КА относительно шкалы времени СНС, а также взаимного сдвига шкал времени БРЛС и СНС и задержки распространения сигналов. Измерение времени прихода сигналов с i -го КА эквивалентно измерению квазидальности R_{KB_i} , которая может быть представлена в следующем виде:

$$R_{KB_i} = R_{0i} + c\Delta t_{pi} + c(\Delta t_{\Pi} - \Delta t_{ka_i}), \quad (1)$$

где R_{0i} – истинная наклонная дальность от БРЛС до i -го КА;

c – скорость распространения радиоволн;

Δt_{pi} – приращение задержки времени за счет влияния атмосферы (тропосферы и ионосферы);

Δt_{Π} – расхождение шкалы времени БРЛС относительно шкалы времени СНС;

Δt_{ka_i} – расхождение шкалы времени i -го КА относительно шкалы времени СНС.

Истинная наклонная дальность от БРЛС до i -го КА определяется их взаимным расположением в пространстве:

$$R_{0i} = \sqrt{(X_{kai} - X_{\Pi})^2 + (Y_{kai} - Y_{\Pi})^2 + (Z_{kai} - Z_{\Pi})^2}, \quad (2)$$

где X_{kai} , Y_{kai} , Z_{kai} – координаты i -го КА в геоцентрической прямоугольной системе координат;

X_{Π} , Y_{Π} , Z_{Π} – координаты БРЛС в той же системе отсчета.

Координаты X_{kai} , Y_{kai} , Z_{kai} и расхождение шкалы времени i -го КА относительно шкалы времени СНС (Δt_{ka_i}) передаются с борта КА.

Из выражений (1) и (2) следует, что измеренное значение квазидальности R_{KB_i} является функцией четырех неизвестных – X_{Π} , Y_{Π} , Z_{Π} и Δt_{Π} .

Измерения квазидальности по радиосигналам четырех КА позволяют составить систему из четырех уравнений относительно указанных неизвестных

и тем самым решить навигационно-временную задачу, в результате которой рассчитываются координаты БРЛС, а следовательно и объекта.

Для определения угловой ориентации подвижного объекта (осей чувствительности приборов системы управления) рассмотрим следующие варианты реализации способа аналитической выставки.

Вариант 1. Ориентация приборов СУ на основе метода пелленгационных измерений.

Сущность ориентации ЛА в данном случае заключается в определении угла прицеливания $\alpha_{пр}$, представляющего собой горизонтальный угол между геометрическим центром антенного блока и направлением на цель, и прицеливании приборов. Для технической реализации данного варианта в качестве приемного устройства БРЛС может служить антенная решетка [3].

Вариант 2. Ориентация приборов СУ на основе метода радиоинтерферометрических измерений [3, 5].

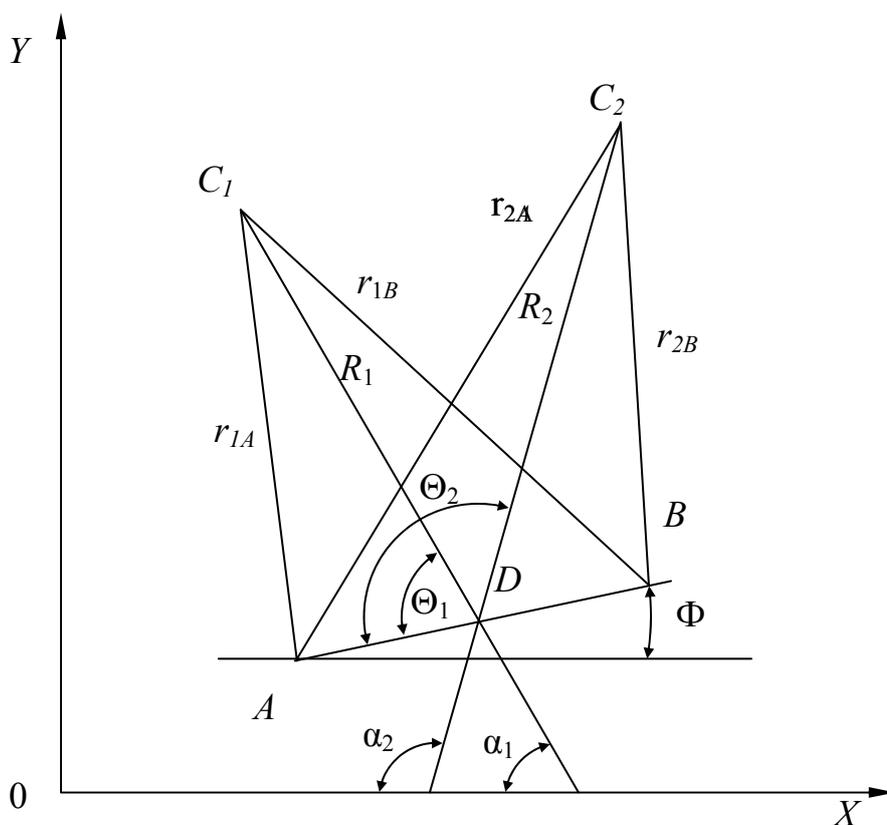


Рис. 2. Определение ориентации базы в двумерном пространстве

Реализация второго варианта основана на том, что разнесенные на некоторое расстояние (базу) две ненаправленные или слабонаправленные антенны принимают сигнал от одного источника. Измерительное устройство оценивает разность хода сигнала до антенн, которая определяет положение базовой линии (ее центр) относительно КА, но не в пространстве. Для оценки ориентации базовой линии в двумерном пространстве необходимо иметь разность хода относительно второго КА. Величины, определяющие ориентацию базы в двумерном пространстве, представлены на рис. 2, где C_1 и C_2 – соответственно $КА_1$ и $КА_2$; AB – базовая линия с центром D ; θ_1 θ_2 – углы прихода волны.

В случае, когда база $AB = d$ и лежит в плоскости C_1C_2D (или является проекцией на эту плоскость), и полагая $1 \gg (d/2R)^2$, R – расстояние от КА до потребителя), разности хода сигналов C до антенн A и B определяется из следующих выражений:

$$\Delta r_1 = r_{1B} - r_{1A} = d \cdot \cos \Theta_1, \quad (3)$$

$$\Delta r_2 = r_{2B} - r_{2A} = d \cdot \cos \Theta_2, \quad (4)$$

$$\Delta r_1 - \Delta r_2 = d \cdot (\cos \Theta_1 - \cos \Theta_2), \quad (5)$$

Так как $\alpha_1 = \Theta_1 - \Phi$ и $\alpha_2 = \Theta_2 - \Phi$ то, подставив их в выражение (5), получим:

$$(E_1^2 + E_2^2) \cdot \cos^2 \Phi - 2E_1 \cdot E_2 \cdot \cos \Phi + E_3^2 - E_2^2 = 0, \quad (6)$$

Где $E_1 = \cos \alpha_1 - \cos \alpha_2$; $E_2 = \sin \alpha_2 - \sin \alpha_1$; $E_3 = (\Delta r_1 - \Delta r_2) / d$.

Углы α_1 и α_2 находятся по известным координатам КА и центра базы (D).

Длина базы считается известной, а разности Δr_1 и Δr_2 измеряются:

$$\Delta r_1 = \lambda \cdot (n_{1B} - n_{1A}) + \frac{\lambda}{2 \cdot \pi} \cdot (\varphi_{1B} - \varphi_{1A}), \quad (7)$$

$$\Delta r_2 = \lambda \cdot (n_{2B} - n_{2A}) + \frac{\lambda}{2 \cdot \pi} \cdot (\varphi_{2B} - \varphi_{2A}), \quad (8)$$

где n – число целых длин волн, укладываемых на трассе КА – D ;

φ – фаза колебания, принятого соответствующей антенной от соответствующего КА.

Угол Φ находится из решения уравнения (6) и характеризует положение базы в двумерном пространстве [2, 4].

Особенности измерения текущих навигационных параметров в аппаратуре потребителей

Наряду с традиционными схемами измерений и измеряемыми параметрами, принятыми в спутниковой навигации, такими, как псевдодальность и псевдоскорость, в аппаратуре топогеодезической привязки возможны и некоторые другие. Например, как уже было упомянуто выше, возможно использование радио интерферометрических методов, применение которых не требует знания структуры кодов и модулирующих несущих полезного сигнала. Основными источниками погрешностей определения относительных координат при этом являются: погрешности измерения относительной задержки сигналов, принятых в разнесенных пунктах; нестабильность генераторов; некомпенсированные остаточные погрешности, обусловленные ионосферой и тропосферой; неточность знания положения КА.

В интересах компенсации систематических погрешностей возможны измерения двойных разностей радио интерферометрических и интегральных доплеровских измерений, относящихся к разным КА [7, 9].

Наивысшую точность геодезических определений дают фазовые измерения на несущей частоте. При этом необходимо вычислять так называемые двойные и тройные разности фаз.

Фаза сигнала j -го КА, принятого объектом A в момент времени T , относительно фазы сигнала генератора объекта может быть представлена в виде выражения

$$\varphi_{Aj}(T) = \varphi_A(T_0) - \varphi_j(T_0) + 2\pi(f_A - f_j) \times (T - T_0) + \frac{2\pi f_j}{c} [R_{Aj}(T)] + \varphi_{IAj} + \varphi_{TAj}, \quad (9)$$

где $\varphi_A(T_0)$, $\varphi_j(T_0)$ – фазы сигналов генераторов объекта A и j -го КА в момент излучения T_0 ;

f_A , f_j – частоты генераторов объекта A и j -го КА;

R_{Aj} – расстояние между j -м КА и объектом A ;

$\varphi_{И}, \varphi_{Т}$ – приращения фазы, вызванные ионосферной и тропосферной задержками.

Если прием сигналов j -го КА ведется одновременно объектами A и B , то выражения для разности фаз принимаемых сигналов с использованием соотношения (9) может быть записано в виде

$$\varphi_{AB}(T) = \alpha_{AB} + 2\pi \cdot (f_A - f_B) \cdot (T - T_0) + \frac{2\pi \cdot f_j}{c} [R_{Aj}(T) - R_{Bj}(T)] + \varphi_{ИABj} + \varphi_{TABj}, \quad (10)$$

где $\alpha_{AB} = \varphi_A(T_0) - \varphi_B(T_0)$ – начальное расхождение фаз сигналов генераторов объектов A и B ;

$\varphi_{ИABj} = \varphi_{ИАj} - \varphi_{ИБj}$, $\varphi_{TABj} = \varphi_{ТАj} - \varphi_{ТВj}$ – разности фаз принятых в пунктах A и B сигналов, обусловленные ионосферой и тропосферой.

Из сравнения (9) и (10) следует, что переход от измерения фазы $\varphi_{Aj}(T)$, соответствующей измерению псевдодальности на несущей частоте, к измерению фазы $\varphi_{ABj}(T)$, соответствующей разности расстояний между j -м КА и объектами A и B , приводит к исключению неопределенности, связанной с незнанием начальных фаз генераторов КА и объекта A .

В (10) кроме координат объектов A и B неизвестными являются α_{AB} и $f_A - f_B$.

Пусть теперь объектом A принимаются сигналы j -го КА в моменты T_1 и T_2 , тогда можно образовать разность фаз по времени:

$$\begin{aligned} \varphi_A(T_1, T_2) &= \varphi_{Aj}(T_1) - \varphi_{Aj}(T_2) = \varphi_A(T_0) + 2\pi \cdot f_A(T_1 - T_0) - \varphi_j(T_0) - 2\pi \cdot f_j(T_1 - T_0) + \\ &+ \frac{2\pi \cdot f_j}{c} [R_{Aj}(T_1)] - 2\pi \cdot f_A(T_2 - T_0) + \varphi_j(T_0) + 2\pi \cdot f_j(T_2 - T_0) - \frac{2\pi \cdot f_j}{c} [R_{Aj}(T_2)] + \\ &+ \varphi_{ИА}(T_1, T_2) + \varphi_{ТА}(T_1, T_2) = 2\pi \cdot f_A(T_2 - T_1) + 2\pi \cdot f_j(T_2 - T_1) + \\ &+ \frac{2\pi \cdot f_j}{c} [R_{Aj}(T_1) - R_{Aj}(T_2)] + \varphi_{ИА}(T_1, T_2) + \varphi_{ТА}(T_1, T_2), \end{aligned} \quad (11)$$

где $\varphi_{ИАj}(T_1, T_2) = \varphi_{ИАj}(T_1) - \varphi_{ИАj}(T_2)$, $\varphi_{ТАj}(T_1, T_2) = \varphi_{ТАj}(T_1) - \varphi_{ТАj}(T_2)$.

При этом оказываются скомпенсированными начальные фазы генераторов КА и объекта A .

Если объектом B также принимаются сигналы j -го КА в моменты T_1 и T_2 , то можно образовать двойную разность фаз:

$$\begin{aligned} \varphi_{AB}(T_1, T_2) &= \varphi_A(T_1, T_2) - \varphi_B(T_1, T_2) = 2\pi \cdot f_A(T_2 - T_1) + 2\pi \cdot f_j(T_2 - T_1) + \frac{2\pi \cdot f_j}{c} [R_{Aj}(T_1) - R_{Aj}(T_2)] + \varphi_{IAj}(T_1, T_2) + \\ &+ \varphi_{TAj}(T_1, T_2) - 2\pi \cdot f_B(T_2 - T_1) - 2\pi \cdot f_j(T_2 - T_1) - \frac{2\pi \cdot f_j}{c} [R_{Bj}(T_1) - R_{Bj}(T_2)] - \varphi_{IBj}(T_1, T_2) - \varphi_{TBj}(T_1, T_2) = \\ &= 2\pi(f_A - f_B)(T_2 - T_1) + \frac{2\pi \cdot f_j}{c} [R_{Aj}(T_1) - R_{Aj}(T_2) - R_{Bj}(T_1) + R_{Bj}(T_2)] + \varphi_{IAB}(T_1, T_2) + \varphi_{TAB}(T_1, T_2). \end{aligned} \quad (12)$$

Если КА излучают на одной частоте f_j , то можно предложить другую последовательность получения двойной разности фаз.

С учетом выражения (12) можно вычислить так называемые двойные разности фаз φ_{ABjk} относительно i -го и k -го КА:

$$\varphi_{ABjk} = \alpha_{ABjk} + \frac{2\pi \cdot f_j}{c} [R_{Bk}(T) - R_{Ak}(T) - R_{Bj}(T) + R_{Aj}(T)] + \varphi_{TABjk} + \varphi_{IABjk}, \quad (13)$$

где

$$\alpha_{ABjk} = \alpha_{ABk}(T) - \alpha_{ABj}(T);$$

$$\varphi_{TABjk} = \varphi_{TAj} - \varphi_{TBj} - \varphi_{TAk} + \varphi_{TBk};$$

$$\varphi_{IABjk} = \varphi_{IAj} - \varphi_{IBj} - \varphi_{IAk} + \varphi_{IBk}.$$

Из (13) видно, что двойные разности фаз не содержат параметры, определяющие разность частот генераторов объектов A и B .

Если объектами A и B принимаются сигналы j -го КА в моменты T_1 и T_2 , то можно образовать так называемые двойные разности фаз по времени:

$$\begin{aligned} \varphi_{AB}(T_1, T_2) &= \varphi_{ABj}(T_2) - \varphi_{ABj}(T_1) = 2\pi \cdot (f_B - f_A) \cdot (T_2 - T_1) + \varphi_{IAB}(T_1, T_2) + \varphi_{IAB}(T_1, T_2) + \varphi_{TAB}(T_1, T_2) + \\ &+ \frac{2\pi \cdot f_j}{c} [R_{Bj}(T_2) - R_{Bj}(T_1) - R_{Aj}(T_2) + R_{Aj}(T_1)] \end{aligned} \quad (14)$$

С учетом выражений (13) и (14) могут быть образованы так называемые тройные разности фаз:

$$T_{ABjk}(T_1, T_2) = \varphi_{ABjk}(T_2) - \varphi_{ABjk}(T_1) = \varphi_{ABk}(T_1, T_2) - \varphi_{ABj}(T_1, T_2) \quad (15)$$

Таким образом, погрешности, определяемые расхождением фаз и частот генераторов объектов A , B и КА, а также частично атмосферные погрешности

оказываются скомпенсированными. Вместе с тем число полученных таким образом измерений в четыре раза меньше первоначального числа разностей фаз. Платой за компенсацию погрешностей является потеря информативности.

Действительно, геометрическим аналогом разности фаз $\varphi_{AB}(T)$ является угловое положение j -го КА относительно базы, образованной углами A и B . Для двойной разности фаз $\varphi_{ABj}(T_1, T_2)$ – это угловая скорость j -го КА относительно базы AB . Для тройной разности фаз $\varphi_{ABjk}(T_1, T_2)$ – это разность угловых скоростей j -го и k -го КА, то есть скорость изменения угловых размеров базы, образованной объектами A и B и наблюдаемой из КА.

В связи с низкой информативностью тройной разности фаз на практике предпочтительнее использовать двойную разность фаз и аналитические (расчетные) методы компенсации оставшихся погрешностей.

В некоторых схемах измерений можно повысить информативность за счет использования взаимных измерений между объектами, согласования их шкал и синхронизации частот генераторов. Такие схемы позволяют реализовать как двойные, так и тройные разности фаз.

Наиболее сложной проблемой фазовых измерений является неоднозначность отчетов фазы, связанная с необходимостью определения полного числа циклов фаз на несущей частоте. В связи со значительным пространственным разнесом КА и объектов и малой длиной волны несущего колебания λ эта проблема не решается даже при измерении двойной разности фаз. Положение усугубляется различным влиянием атмосферы (особенно ионосферы) на скорость распространения фазы несущего колебания и огибающей сигнала (P и C/A -кода). Ошибка измерения за счет атмосферы может составить несколько периодов несущего колебания. Поэтому при фазовых измерениях на несущей принципиально необходимо применение дисперсионных многочастотных методов.

Особенности организации навигационных измерений в аппаратуре малоподвижных и стационарных потребителей

Как было рассмотрено выше, использование рабочего созвездия КА позволяет решать две основные задачи геодезии: абсолютную и относительную. Абсолютная задача сводится к определению координат объектов в абсолютной геоцентрической системе координат. Относительная задача предполагает определение относительных координат двух и более объектов (пунктов) без существенных ограничений на точность их абсолютных координат.

В отличие от традиционных навигационных определений решение геодезических задач зачастую не требует высокой оперативности. В то же время требования по точности абсолютных и, особенно, относительных определений в геодезии значительно выше, это приводит к необходимости более тщательного учета всех составляющих ошибок, которые и определяют конечную точность решения геодезической задачи. Причем особо возрастает роль систематических и медленноменяющихся составляющих погрешностей, которые не могут быть сглажены (отфильтрованы) при снятии ограничений на объем измерительной информации и оперативность определения координат [8]. Данные о точности государственных и специальных геодезических сетей (ГГС и СГС) приведены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики геодезических сетей

Виды геодезических сетей	Срединные ошибки определения	
	Координат пунктов (м)	Ориентирных направлений (угл. сек)
ГГС	0,25	1 – 5
СГС-15	1,3	10
СГС-30	2,0	20
СГС-60	3,0	40

Принципиальное отличие задачи геодезических определений от традиционных навигационных состоит в том, что определяющихся объектов два и бо-

лее, они пространственно разнесены, измерения проводятся, как правило, одновременно, между объектами возможны информационный обмен, взаимные измерения, сверка шкал часов и синхронизация частот генераторов (например, при создании пунктов локальной геодезической сети).

Указанный выше подход позволяет надеяться на то, что возможна компенсация системных ошибок, являющихся общими для определяющихся объектов, или ошибок, относящихся к разным объектам, между которыми существует аналитическая или статистическая связь. Здесь существует аналогия с двухчастотным методом компенсации ионосферных составляющих ошибок в навигации, когда введение частотной избыточности позволяет получить информацию о состоянии ионосферы и тем самым учесть ее мешающее воздействие. Точно так же введение пространственной (пространственно-частотной) избыточности (два разнесенных объекта) позволяет компенсировать (при некоторых условиях) такие составляющие ошибок, как ионосферные, тропосферные, расхождение шкал КА и другие. Причем компенсация возможна как за счет образования соответствующих разностей, так и за счет расширения состава оцениваемых параметров в соответствии со следующей фундаментальной разностной теоремой: «Линейные смещения могут быть вычислены либо уменьшением числа величин для устранения этих смещений путем образования разностных величин, либо включением этих смещений в число неизвестных».

Промежуточное положение по точности занимает так называемый дифференциальный режим (метод транслокации), когда считаются известными координаты одного из пунктов (контрольной станции).

Таким образом, даже решение абсолютной задачи геодезии, но для двух и более пунктов, при соответствующем подходе позволяет в принципе получить более высокую точность координат пунктов, чем для единичного объекта навигации. Еще большая точность может быть получена при определении относительных координат пунктов.

Заключение

Как показывают исследования, проведенные в [4, 9], реализация рассмотренных выше систем, способов, алгоритмов и процедур в навигационной аппаратуре комплексированных систем управления, а в перспективе – при построении систем высокоточного навигационно-временного обеспечения высокодинамичных высокоманевренных объектов, позволит:

- более полно использовать потенциал имеющихся и перспективных навигационных систем;
- значительно расширить возможности и улучшить эффективность применения систем и средств топогеодезического обеспечения;
- повысить надежность навигационных измерений (определений);
- повысить мобильность существующих и перспективных подвижных объектов;
- повысить автономность навигационных определений;
- более точно формировать начальные условия выставки бортовой аппаратуры и производить их корректировку в процессе функционирования;
- реализовать более гибкие алгоритмы управления подвижными объектами;
- в большей степени автоматизировать процессы формирования и оценки начальных условий выставки комплексированной навигационной аппаратуры;
- сократить время подготовки комплексированной навигационной аппаратуры а, следовательно, и время реакции объекта (сложной технической системы) в целом.

Литература

1. Разоренов Г.Н., Бахрамов Э.А., Титов Ю.Ф. Системы управления летательными аппаратами. – М.: Машиностроение, 2003. – 584 с.
2. Елифанов А.Д. Избыточные системы управления летательными аппаратами. – М.: Машиностроение, 1978. – 144 с.
3. Сетевые спутниковые радионавигационные системы /под ред. В.С. Шебшаевича. – М.: Радио и связь, 1993. – 408с.

4. Бакулев А.П., Сосновский А.А. Радиолокационные и радионавигационные системы: Учебное пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1994. – 296 с.
5. Ульянов Г.Н., Колесниченко С.В., Сулима А.А., и др. Система навигации. Патент на Полезную модель № 44190 от 28.10.04.
6. Ульянов Г.Н., Колесниченко С.В., Сулима А.А., и др. Устройство наведения. Патент на Полезную модель № 59277 от 10.12.06.
7. Бабич О.А. Обработка информации в навигационных комплексах. – М.: Машиностроение, 1991. – 512с.
8. Малышев В.В., Красильщиков М.Н., Карлов В.И. Оптимизация наблюдения и управления летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1989. – 312 с.
9. Клюев Н.Ф., Степанов М.Г., Ткачев Е.А., Фатеев В.Ф. Вопросы приема и обработки сигналов в измерительных каналах навигационных и геодезических систем. – СПб.: ВИКА им. А.Ф.Можайского, 1996. – 80 с.

Рецензент проф. Первухин Д.А.