



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(51) МПК

G01S 13/42 (2006.01)

G01S 13/72 (2006.01)

G01S 17/42 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2004123384/09, 02.08.2004

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
02.08.2004

(43) Дата публикации заявки: 27.02.2006

(45) Опубликовано: 27.06.2006 Бюл. № 18

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: ГРИГОРИН-РЯБОВ В.В. и др.
Радиолокационные устройства. М.: Сов. радио,
1970, с.5-7, 34-39. RU 2154840 C1,
20.08.2000. RU 2178895 C1, 27.01.2002. US
5953110 A, 14.09.1999. US 5220328 A,
15.06.1993. US 5317319 A, 31.05.1994.

Адрес для переписки:

117648, Москва, Северное Чертаново, 7 "В",
кв.36, В.Р. Мамошину

(72) Автор(ы):

Мамошин Владимир Романович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Мамошин Владимир Романович (RU)

(54) КОМПЛЕКСНЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ И ПАРАМЕТРОВ ТРАЕКТОРНОГО ДВИЖЕНИЯ АВИАЦИОННО-КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ, НАБЛЮДАЕМЫХ ГРУППИРОВКОЙ СТАНЦИЙ СЛЕЖЕНИЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области оптико-электронных, радиолокационных и иных систем сопровождения авиационно-космических объектов. Техническим результатом является повышение точности и помехоустойчивости за счет системного использования группировки станций слежения. Поставленная цель достигается тем, что в предлагаемом способе межстанционными дуплексными каналами информационной связи соединяют все станции группировки вне зависимости от типа их мерности для обмена всеми измеряемыми, вычисляемыми на них данными о параметрах траекторного движения наблюдаемых объектов, с их индивидуальными номерами и номерами станций, передавших информацию, координаты местоположения которых заданы в единой земной базисной системе координат, на каждой станции группировки реализуют избыточное количество алгоритмов локального комплексирования, с помощью которых получают избыточную информацию о параметрах траекторного движения наблюдаемых объектов,

которую в станционных вычислителях каждой комплекслируемой станции группировки статистически обрабатывают и получают оптимальные по точности оценки информации о параметрах траекторного движения наблюдаемых объектов, далее на основе этих оценок по известным алгоритмам кинематических уравнений связи и матричного преобразования формируют сигналы управления каналами станций при прерывании на некоторое время по какой-либо причине нормального процесса их функционирования, а также оценки информации о параметрах траекторного движения наблюдаемых объектов передают по межстанционным дуплексным каналам связи на пункты контроля воздушно-космического пространства, где их представляют в единой земной базисной системе координат и как избыточные по множеству станций вновь статистически обрабатывают и получают уточненные оценки информации о параметрах траекторного движения наблюдаемых объектов. 3 ил.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.
G01S 13/42 (2006.01)
G01S 13/72 (2006.01)
G01S 17/42 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2004123384/09, 02.08.2004**

(24) Effective date for property rights: **02.08.2004**

(43) Application published: **27.02.2006**

(45) Date of publication: **27.06.2006 Bull. 18**

Mail address:
**117648, Moskva, Severnoe Chertanovo, 7 "V",
kv.36, V.R. Mamoshinu**

(72) Inventor(s):
Mamoshin Vladimir Romanovich (RU)

(73) Proprietor(s):
Mamoshin Vladimir Romanovich (RU)

(54) **COMBINED METHOD FOR DETERMINATION OF COORDINATES AND PARAMETERS OF TRAJECTORY MOTION OF AEROSPACE OBJECTS OBSERVED BY GROUP OF TRACKING STATIONS**

(57) Abstract:

FIELD: optoelectronic, radar and other tracking systems of aerospace objects.

SUBSTANCE: interstation duplex channels of information communication connect all the stations of the group irrespective of the type of their uniformity for exchange by all the measured, computed on them data on the parameters of trajectory motion of observed objects, with their individual numbers and the numbers of the stations that have transmitted the information, whose location coordinated are preset in the single earth-based basis system of co-ordinates, the excess quantity of algorithms of local integration is realized at each station of the group, with the aid of them the excess information on the parameters of trajectory motion of the observed objects is obtained, this information is statistically processed in the station computers of each integrated station of the group, and optimal in precision estimations of the information on the parameters of

trajectory motion of the observed objects are obtained, then on the basis of these estimations according to the known algorithms of the kinematic equations of communication and matrix transformation the control signals of the station channels are formed at an interruption for a certain time because of some reason of the normal process of their functioning, as well as the estimations of information on the parameters of trajectory motion of the observed objects are transmitted via the interstation duplex channels of communication to the points of control of the aerospace, where they are presented in a single earth-based co-ordinate system, and as excess ones for a great number of stations, are statistically processed against, and refined estimations of information on the parameters of trajectory motion of the observed objects are obtained.

EFFECT: enhanced accuracy and antijamming capability due to system use of a group of tracking stations.

3 dwg, Appendix 1

RU 2 279 105 C2

RU 2 279 105 C2

Изобретение относится к области оптико-электронных, радиолокационных и иных систем сопровождения авиационно-космических объектов и может быть использовано для повышения их точности и помехоустойчивости за счет системного использования группировки этих станций.

5 Патентный поиск в ВПТБ проведен по классификациям G 01 S 13/00 «Системы радиолокационные - следящие», G 01 S 13/66 - 13/72, «для космических целей» B 64 G 1/24, G 01 S 17/06 - «для определения местоположения цели», 17/08 - «только дальности», 17/42 - «одновременное измерение дальности и других координат», 17/46 - «косвенное определение данных местоположения», 17/58 - «для определения скорости или траектории движения», 17/66 - «следящие системы с использованием электромагнитных волн, иных, чем радиолокационные», 17/88 - «системы лидаров».

В качестве прототипа взят наиболее близкий по технико-технологической сущности способ «определения координат целей и их производных расчетным путем», суть которого изложена в книге [1] Григорина-Рябова и др. «Радиолокационные устройства (теория и принципы построения)», М., «Советское Радио», 1970 г., стр.5÷7, 34÷39.

По прототипу в настоящее время для слежения за авиационно-космическими объектами (целями) и получения параметров их движения в основном используют различного рода трехмерные, двумерные и одномерные станции.

Трехмерные станции самостоятельно измеряют все три составляющие вектора дальности $D(t)$ до цели [1, стр.5÷7]:

$$D(t) = \{D(t), \beta(t), \varepsilon(t)\}, \quad (1)$$

где $D(t)$ - модуль дальности, определяемый дальномерным каналом станции;

$\varepsilon(t), \beta(t)$ - углы места и азимута, определяемые угломерными каналами.

25 При этом векторы скорости $W(t)$ и ускорения $J(t)$ цели вычисляют путем дифференцирования вектора $D(t)$:

$$W(t) = dD(t) / dt; \quad (2)$$

$$J(t) = dW(t) / dt = d^2D(t) / dt^2.$$

30 По прототипу трехмерные станции являются датчиками полноразмерной (вектора дальности $D(t)$, скорости $W(t)$, ускорения $J(t)$) траекторной информации о наблюдаемой цели.

Заметим заранее, что от каждой i -й трехмерной станции по межстанционным дуплексным каналам информационной связи можно осуществлять полноразмерное целеуказание другой k -й станции любой размерности по векторам:

35 - дальности: $D_{ки}(t) = d_{ki} - D_i(t), \quad (3)$

- скорости: $W_{ки}(t) = W_i(t), \quad (4)$

- ускорения: $J_{ки}(t) = J_i(t), \quad (5)$

где d_{ki} - вектор-база между k -й и i -й станциями.

40 Двумерными станциями пеленгационного типа измеряют только угловые координаты вектора дальности:

$$D^0(t) = \{\beta(t), \varepsilon(t)\}. \quad (6)$$

По прототипу для получения полноразмерной траекторной информации о наблюдаемой цели две двумерные станции [1, стр.34, 35] локально комплексируют с помощью межстанционных дуплексных каналов информационной связи, по которым пересылают от одной к другой измеренные значения этих углов, и, применяя теорему синусов для «треугольника O_1CO_2 » (фиг.1), при известной базе d между двумя станциями определяют модули дальностей $D_1(t)$ и $D_2(t)$:

50 $D_1(t) = d \cdot \sin(\varphi_2(t)) / \sin(\varphi_1(t) + \varphi_2(t)); \quad (7)$

$$D_2(t) = d \cdot \sin(\varphi_1(t)) / \sin(\varphi_1(t) + \varphi_2(t)).$$

У прототипа, видимо, для простоты изложения приводятся не трехмерные, а

плоскостные иллюстрации и, соответственно, формализации (7) задач локального комплексирования двух станций пеленгационного типа, когда $\varphi_1(t)=\{\beta_1(t), \varepsilon_1(t)\}$, $\varphi_2(t)=\{\beta_2(t), \varepsilon_2(t)\}$. Автором получен рабочий алгоритм определения по прототипу модулей дальности наблюдаемого объекта Об(t) (фиг.2) в трехмерном пространстве двумя локально скомплексированными станциями пеленгационного типа $D_1^2(X_{N1}Y_{G1}Z_1), D_2^2(X_{N2}Y_{G2}Z_2)$, где X_N, Y_G, Z - географические координаты станций. Приводим полученный основной алгоритм локального комплексирования двух станций пеленгационного типа, во-первых, для подтверждения возможностей прототипа, во-вторых, для обоснованного использования его в совокупности с дополнительными, чтобы иметь избыточное количество алгоритмов, свойственное предлагаемому изобретению. Станции удалены друг от друга на вектор-базу $d=L_{21}$:

$$L_{21} = \left\| \begin{pmatrix} X_{N2} - X_{N1} \\ Y_{G2} - Y_{G1} \\ Z_2 - Z_1 \end{pmatrix} \right\| \quad (8)$$

В станционных системах координат $D_1(X_{N1}Y_{G1}Z_1)X_NY_GZ$ и $D_2(X_{N2}Y_{G2}Z_2)X_NY_GZ$, соответствующие оси которых имеют одинаковые направления, синхронно измеряют углы $\beta_1(t), \varepsilon_1(t), \beta_2(t), \varepsilon_2(t)$, значения которых пересылают от одной станции к другой по дуплексным каналам информационной связи.

Модуль дальности $D_1(t)$ наблюдаемого объекта Об(t) относительно первой станции определяют по формулам:

$$A_{1XN}(t) = -((Y_{G2} - Y_{G1}) \cdot \sin(\beta_2(t)) + (Z_2 - Z_1) \cdot \sin(\varepsilon_2(t)) \cdot \cos(\beta_2(t)));$$

$$A_{1YG}(t) = ((Z_2 - Z_1) \cdot \cos(\varepsilon_2(t)) \cdot \cos(\beta_2(t)) + (X_{N2} - X_{N1}) \cdot \sin(\beta_2(t)));$$

$$A_{1Z}(t) = ((X_{N2} - X_{N1}) \cdot \sin(\varepsilon_2(t)) \cdot \cos(\beta_2(t)) + (Y_{G2} - Y_{G1}) \cdot \cos(\beta_2(t)) \cdot \cos(\varepsilon_2(t)));$$

$$C_{1XN}(t) = (\sin(\varepsilon_2(t)) \cdot \cos(\beta_2(t)) \cdot \sin(\beta_1(t)) + \sin(\beta_2(t)) \cdot \sin(\varepsilon_1(t)) \cdot \cos(\beta_1(t)));$$

$$C_{1YG}(t) = (\cos(\varepsilon_2(t)) \cdot \cos(\beta_2(t)) \cdot \sin(\beta_1(t)) - \sin(\beta_2(t)) \cdot \cos(\varepsilon_1(t)) \cdot \cos(\beta_1(t)));$$

$$C_{1Z}(t) = (\cos(\varepsilon_2(t)) \cdot \cos(\beta_2(t)) \cdot \sin(\varepsilon_1(t)) \cdot \cos(\beta_1(t)) - \sin(\varepsilon_2(t)) \cdot \cos(\beta_2(t)) \cdot \cos(\beta_1(t)) \cdot \cos(\varepsilon_1(t)));$$

$$D_1(t) = \sqrt{A_{1XN}^2(t) + A_{1YG}^2(t) + A_{1Z}^2(t)} / \sqrt{C_{1XN}^2(t) + C_{1YG}^2(t) + C_{1Z}^2(t)}.$$

Аналогичным образом с помощью подобных формул вычисляют дальность наблюдаемого объекта $D_2(t)$ и относительно второй станции:

$$A_{2XN}(t) = -((Y_{G2} - Y_{G1}) \cdot \sin(\beta_1(t)) + (Z_2 - Z_1) \cdot \sin(\varepsilon_1(t)) \cdot \cos(\beta_1(t)));$$

$$A_{2YG}(t) = ((Z_2 - Z_1) \cdot \cos(\varepsilon_1(t)) \cdot \cos(\beta_1(t)) + (X_{N2} - X_{N1}) \cdot \sin(\beta_1(t)));$$

$$A_{2Z}(t) = ((X_{N2} - X_{N1}) \cdot \sin(\varepsilon_1(t)) \cdot \cos(\beta_1(t)) + (Y_{G2} - Y_{G1}) \cdot \cos(\beta_1(t)) \cdot \cos(\varepsilon_1(t)));$$

$$C_{2XN}(t) = (\sin(\varepsilon_1(t)) \cdot \cos(\beta_1(t)) \cdot \sin(\beta_2(t)) + \sin(\beta_1(t)) \cdot \sin(\varepsilon_2(t)) \cdot \cos(\beta_2(t)));$$

$$C_{2YG}(t) = (\cos(\varepsilon_1(t)) \cdot \cos(\beta_1(t)) \cdot \sin(\beta_2(t)) - \sin(\beta_1(t)) \cdot \cos(\varepsilon_2(t)) \cdot \cos(\beta_2(t)));$$

$$C_{2Z}(t) = (\cos(\varepsilon_1(t)) \cdot \cos(\beta_1(t)) \cdot \sin(\varepsilon_2(t)) \cdot \cos(\beta_2(t)) - \sin(\varepsilon_1(t)) \cdot \cos(\beta_1(t)) \cdot \cos(\beta_2(t)) \cdot \cos(\varepsilon_2(t)));$$

$$D_2(t) = \sqrt{A_{2XN}^2(t) + A_{2YG}^2(t) + A_{2Z}^2(t)} / \sqrt{C_{2XN}^2(t) + C_{2YG}^2(t) + C_{2Z}^2(t)};$$

Как видно из представленных алгоритмов локального комплексирования (6), (8)-(10), (2), информационное и программно-математическое единение двух станций пеленгационного типа обеспечивает получение единственных текущих значений полноразмерной траекторией информации о наблюдаемой цели.

Итак, по способу-прототипу при локальном комплексировании двух двумерных станций пеленгационного типа, во-первых, углы $\varphi_1(t)=\{\beta_1(t), \varepsilon_1(t)\}$, $\varphi_2(t)=\{\beta_2(t), \varepsilon_2(t)\}$ измеряют в станционных системах координат, соответствующие оси которых имеют одинаковые направления, во-вторых, углы измеряют синхронно, в-третьих, измеренные значения углов

пересылают от одной станции к другой по межстанционным дуплексным каналам информационной связи, в-четвертых, расчеты модулей дальностей по алгоритмам типа (8) ÷(10) выполняют в станционных вычислителях, в-пятых, двумерные станции для организации локального комплексного режима каждая нуждаются в целеуказании (3) от других станций, чтобы сопровождать одну и ту же цель, в-шестых, двумерные станции автономно не могут осуществлять целеуказание ни другим станциям, ни друг-другу, и лишь устойчиво работая в комплексном режиме, способны давать единственные текущие значения полноразмерных параметров траекторного движения наблюдаемой цели и полноразмерное целеуказание (3)÷(5) другим станциям.

10 Одномерные станции [1, стр.35], «измеряющие только дальность» $D(t)$, которые по прототипу в паре, применяя теорему косинусов, позволяют для цели определять «угловые координаты в плоскости треугольника O_1CO_2 »:

$$\varphi_1(t) = \arccos \left[\left(D_1^2(t) + d^2 - D_2^2(t) \right) / 2D_1(t) \cdot d \right]; \quad (11)$$

$$15 \varphi_2(t) = \arccos \left[\left(D_2^2(t) + d^2 - D_1^2(t) \right) / 2D_2(t) \cdot d \right].$$

Заметим, что (11) у прототипа справедливо лишь для плоскостной постановки, поскольку трехмерный вектор $D(t)$ не может быть однозначно определен в трехмерном пространстве только двумя скалярными величинами $D_1(t)$ и $D_2(t)$. Автором получена система рабочих алгоритмов локального комплексирования одномерно-дальномерных станций и подтверждена возможность определения ими полноразмерной траекторией информации о наблюдаемой цели в трехмерном пространстве (фиг.3), правда по данным не двух, а трех указанных станций:

$$\varepsilon_1(t) = \psi_1(D_1(t), D_2(t), D_3(t), d_1, d_2, d_3);$$

$$25 \beta_1(t) = \psi_2(D_1(t), D_2(t), D_3(t), d_1, d_2, d_3);$$

$$\varepsilon_2(t) = \psi_3(D_1(t), D_2(t), D_3(t), d_1, d_2, d_3); \quad (12)$$

$$\beta_2(t) = \psi_4(D_1(t), D_2(t), D_3(t), d_1, d_2, d_3);$$

$$30 \varepsilon_3(t) = \psi_5(D_1(t), D_2(t), D_3(t), d_1, d_2, d_3);$$

$$\beta_3(t) = \psi_6(D_1(t), D_2(t), D_3(t), d_1, d_2, d_3);$$

$$\text{где } \psi_1(D_1(t), D_2(t), D_3(t), d_1, d_2, d_3), \quad \psi_2(D_1(t), D_2(t), D_3(t), d_1, d_2, d_3),$$

$$35 \psi_3(D_1(t), D_2(t), D_3(t), d_1, d_2, d_3), \quad \psi_4(D_1(t), D_2(t), D_3(t), d_1, d_2, d_3),$$

$$\psi_5(D_1(t), D_2(t), D_3(t), d_1, d_2, d_3), \quad \psi_6(D_1(t), D_2(t), D_3(t), d_1, d_2, d_3), \quad \text{- нелинейные, неявно}$$

выраженные системы уравнений с указанными в скобках аргументами.

Алгоритм (12) и (2) подтверждает, что информационное и программно-математическое единение трех станций одномерно-дальномерного типа обеспечивает получение единственных текущих значений полноразмерной траекторией информации о наблюдаемой цели.

Видимо нет необходимости приводить в описании этот громоздкий алгоритм в развернутом виде, тем более, что процедура вычислений по нему является многошаговой, итерационной. Этот алгоритм представлен в качестве справки в Приложение №1 к описанию.

Опять отмечаем, что по способу-прототипу и для трех одномерно-дальномерных станций модули дальностей $D_1(t)$, $D_2(t)$, $D_3(t)$ измеряют в станционных системах координат, соответствующие оси которых имеют определенные направления, указанные дальности измеряют синхронно, измеренные значения дальностей пересылают от одной станции к другой по межстанционным дуплексным каналам информационной связи, расчеты углов $\varepsilon_1(t)$, $\beta_1(t)$, $\varepsilon_2(t)$, $\beta_2(t)$, $\varepsilon_3(t)$, $\beta_3(t)$ по алгоритмам типа (12) (см. Приложение №1) выполняют в станционных вычислителях, одномерно-дальномерные станции для организации начальной фазы комплексного режима каждая нуждаются в целеуказании (3)

от других станций, чтобы сопровождать одну и ту же цель, одномерно-дальномерные станции автономно не могут осуществлять целеуказание ни другим станциям, ни друг-другу, и лишь устойчиво работая в комплексном режиме, способны давать не только полноразмерную траекторную информацию (12), (2), но и полноразмерное (3)-(5)

5 целеуказание другим станциям.

Одномерные станции, определяющие «радиальную скорость» $V_P(t)$ доплеровским методом $V_P(t) = F_D(t) \cdot \lambda / 2$, открывают дополнительные возможности по определению в первую очередь параметров движения цели. По прототипу [1, стр.35] «Скорость движения цели $W_{Ц}(t)$ удобно определять через ее ортогональные составляющие:

10 радиальную $W_P(t)$, направленную по линии РЛС - цель, и тангенциальную $W_T(t)$ »:

$$W_T(t) = D(t) \cdot \omega_\varphi(t); \quad (13)$$

$$W_{Ц}(t) = \sqrt{W_P^2(t) + W_T^2(t)}, \quad (14)$$

где $\omega_\varphi(t)$ - угловая скорость цели.

15 «Угловая скорость цели $\omega_\varphi(t)$ может быть определена также с помощью двух РЛС, измеряющих доплеровские частотные сдвиги» [1, стр.37] $F_{D1}(t)$ и $F_{D2}(t)$:

$$\omega_\varphi(t) = (\lambda \cdot (F_{D1}(t) - F_{D2}(t))) / (2d). \quad (15)$$

В(13) и (14) $W_{Ц}(t)$ и $\omega_\varphi(t)$ - скалярные величины (опять же плоскостная постановка и
20 формализация задачи), а практика требует определения трехмерных векторов линейной $W_{Ц}(t)$ и угловой $\omega_\varphi(t)$ скоростей наблюдаемой цели. Кроме того, угловую скорость линии «станция - цель» $\omega_\varphi(t)$ по способу-прототипу рассчитывают при допущениях, что $d \leq D(t)/1000$, угол визирования на цель $\varphi(t)$, отсчитываемый относительно
25 нормали к d , в трехмерном пространстве практически не определен, а сами станции должны не просто работать на одной длине волны λ , но и быть когерентными. Указанные допущения настолько трудны, что в практике этот способ определения угловой скорости $\omega_\varphi(t)$ (15) для вычисления (13) тангенциальной составляющей скорости $W_T(t)$ применения не нашел и мы его в указанной выше постановке исключаем из рассмотрения.

30 Способу-прототипу определения параметров траекторного движения объектов присущи следующие недостатки:

1. Невысокая помехоустойчивость и точность определения координат и параметров траекторного движения наблюдаемых объектов. При наличии помех или из-за частичного отказа техники станции слежения не всегда могут выполнять свои функции в полном
35 объеме. Так, например, «уводящие по дальности» помехи могут превратить трехмерную станцию в двумерную, а одномерно-дальномерную вообще подавить, «уводящие по угловым координатам» - превратить трехмерную станцию в одномерную $D(t)$, двумерную пеленгационного типа вообще подавить и т.д. Обычно в этих условиях происходит срыв автосопровождения и потеря информации о координатах и параметрах движения цели.

40 2. В систему комплексируют ограниченное количество станций: двумерных - две, а одномерных - три.

3. В систему комплексируют однородные по мерности станции: двумерную с двумерной, одномерные с одномерными.

4. Трехмерную станцию не комплексируют в систему ни с трехмерной, ни с двумерными,
45 ни с одномерными.

5. Все комплексируемые станции для начала устойчивой совместной работы нуждаются в целеуказании (3) от других станций, чтобы обеспечить сопровождение одной и той же цели.

6. Имеющуюся избыточную информацию о наблюдаемом объекте, например о векторах
50 дальности $D_1(t)$, $D_2(t)$ на локально скомплексированных двух двумерных станциях, $D_1(t)$, $D_2(t)$, $D_3(t)$ на локально скомплексированных трех одномерно-дальномерных станциях, не используют для повышения точности их оценки.

7. На станциях не используют для повышения помехоустойчивости и точности прогнозирующие модели движения целей.

Цель изобретения - повысить точность и помехоустойчивость группировки станций слежения за авиационно-космическими объектами.

Указанные выше недостатки существующего способа предлагается устранить путем внедрения дополнительных, частичного использования и изменения существующих технологических приемов, в соответствии с которыми:

I. Как у способа-прототипа:

1. Используют для комплексируемых станций общую систему координат.

2. Координаты целей на комплексируемых станциях измеряют синхронно, то есть в системе единого времени (СЕВ).

3. Производят информационный обмен между скомплексированными станциями с помощью межстанционных дуплексных каналов информационной связи.

4. При определении искомых координат и параметров движения наблюдаемых объектов используют как составную часть и существующие расчетные алгоритмы локального комплексирования станций: двумерных - (8)-(10), (2) и одномерно-дальномерных - (12) -

Приложение №1, (2).

5. Искомые полноразмерные координаты и параметры движения наблюдаемых объектов рассчитывают в вычислительных машинах комплексируемых станций.

II. Дополнительные, новые:

1. Все станции группировки вне зависимости от типа их мерности соединяют межстанционными дуплексными каналами информационной связи.

2. Для обеспечения информационной совместимости вводят общую для всех станций группировки земную базисную систему координат $Об(t_0)X_N Y_G Z$, ордината которой $Об(t_0)Y_G$ - местная вертикаль, $Об(t_0)X_N$ - абсцисса, ориентирована на север, а аппликата $Об(t_0)Z$ - завершает построение правой прямоугольной системы координат.

3. На каждую станцию по межстанционным дуплексным каналам информационной связи передают от всех станций группировки все определяемые ими текущие координаты и параметры движения целей, находящихся в зоне действия этой станции, индивидуальные номера указанных целей q , индивидуальные номера S станций $D_S(X_{NS} Y_{GS} Z_S)$, передающих информацию, координаты местоположения X_{NS}, Y_{GS}, Z_S которых в земной базисной системе координат заранее заложены в базы данных вычислительных машин станций группировки.

Благодаря непрерывному обмену по дуплексным каналам связи расширенной информацией о целях между станциями группировки, наличию на каждой из них избыточного количества алгоритмов комплексирования получают избыточную полноразмерную траекторную информацию о наблюдаемых целях и реализуют полноразмерное целеуказание другим станциям:

А) Для одномерно-дальномерных станций $D^1_S(X_{NS} Y_{GS} Z_S)$ - при получении дополнительно текущих значений углов (3) $\varepsilon_{кЦУ}(t), \beta_{кЦУ}(t)$

$$D_k(t) = \{D_k(t), \beta_{кЦУ}(t), \varepsilon_{кЦУ}(t)\} \quad (16)$$

и применении в качестве дополнительных алгоритмов (2) трехмерных станций.

В) Для одномерно-доплеровских станций $D^{1D}_{Sk}(X_{NS} Y_{GS} Z_S)$ - при получении дополнительно текущих значений (3) дальности $D_{кЦУ}(t)$ и углов $\varepsilon_{кЦУ}(t), \beta_{кЦУ}(t), k \geq 3$ и применении (17), (20) и полученного автором нового алгоритма (18), (19)

непосредственного определения вектора скорости $\| \dot{w}_{Ц}^i(t) \|_G$ цели по составляющим в

общей земной базисной системе $D X_N Y_G Z$ координат, соответствующие оси которой имеют одинаковые направления со станционными системами координат $D^i_k(X_{Nk} Y_{Gk} Z_k) X_N Y_G Z$:

$$D^i_k(t) = F_{Дк}(t) \cdot \lambda_k / 2, \quad (17)$$

$$a_k(t) = \cos(\varepsilon_{kUY}(t)) \cdot \cos(\beta_{kUY}(t));$$

$$b_k(t) = \sin(\varepsilon_{kUY}(t)); \quad (18)$$

$$c_k(t) = \cos(\varepsilon_{kUY}(t)) \cdot \sin(\beta_{kUY}(t)),$$

$$W_{XW}(t) = \left[(D'_1(t) \cdot b_2(t) - D'_2(t) \cdot b_1(t)) \cdot (c_1(t) \cdot b_3(t) - c_3(t) \cdot b_1(t)) - \right. \\ \left. - (D'_1(t) \cdot b_3(t) - D'_3(t) \cdot b_1(t)) \cdot (c_1(t) \cdot b_2(t) - c_2(t) \cdot b_1(t)) \right] / \\ \left[(b_2(t) \cdot a_1(t) - b_1(t) \cdot a_2(t)) \cdot (c_1(t) \cdot b_3(t) - c_3(t) \cdot b_1(t)) - \right. \\ \left. - (b_3(t) \cdot a_1(t) - b_1(t) \cdot a_3(t)) \cdot (c_1(t) \cdot b_2(t) - c_2(t) \cdot b_1(t)) \right];$$

$$W_{YG}(t) = \left[(D'_1(t) \cdot a_2(t) - D'_2(t) \cdot a_1(t)) \cdot (c_1(t) \cdot a_3(t) - c_3(t) \cdot a_1(t)) - \right. \\ \left. - (D'_1(t) \cdot a_3(t) - D'_3(t) \cdot a_1(t)) \cdot (c_1(t) \cdot a_2(t) - c_2(t) \cdot a_1(t)) \right] / \\ \left[(b_2(t) \cdot a_1(t) - b_1(t) \cdot a_2(t)) \cdot (c_1(t) \cdot a_3(t) - c_3(t) \cdot a_1(t)) - \right. \\ \left. - (b_3(t) \cdot a_1(t) - b_1(t) \cdot a_3(t)) \cdot (c_1(t) \cdot a_2(t) - c_2(t) \cdot a_1(t)) \right]; \quad (19)$$

$$W_Z(t) = \left[(D'_1(t) \cdot a_2(t) - D'_2(t) \cdot a_1(t)) \cdot (b_3(t) \cdot a_1(t) - b_1(t) \cdot a_3(t)) - \right. \\ \left. - (D'_1(t) \cdot a_3(t) - D'_3(t) \cdot a_1(t)) \cdot (b_2(t) \cdot a_1(t) - b_1(t) \cdot a_2(t)) \right] / \\ \left[(c_1(t) \cdot a_2(t) - c_2(t) \cdot a_1(t)) \cdot (b_3(t) \cdot a_1(t) - b_1(t) \cdot a_3(t)) - \right. \\ \left. - (c_1(t) \cdot a_3(t) - c_3(t) \cdot a_1(t)) \cdot (b_2(t) \cdot a_1(t) - b_1(t) \cdot a_2(t)) \right].$$

Модули текущих дальностей для каждой из доплеровских станций после целеуказания вычисляют методом интегрирования:

$$D_k(t) = D_{kUY}(t) + \int_{t_{цУД}}^t D'_k(\tau) \cdot d\tau. \quad (20)$$

Составляющие вектора угловой скорости линии «станция - цель» в системе координат, связанной с кинематикой станции, вычисляют по формулам:

$$\omega_{\beta k}(t) = -W_{UZD}(t) / D_k(t);$$

$$\omega_{\varepsilon k}(t) = W_{UYD}(t) / D_k(t), \quad (21)$$

где $W_{UYD}(t)$, $W_{UZD}(t)$ - составляющие вектора линейной скорости цели $W_{Ц}(t)$ в системе координат, связанной с кинематикой станции, полученные с помощью известной матрицы перехода $M_{D \leftarrow 1}(\beta_{kUY}(t), \varepsilon_{kUY}(t))$ от земной станционной системы координат к системе координат, связанной с кинематикой станции:

$$\|W_{Ц}(t)\|_D = \|W_{UYD}(t) \quad W_{UYD}(t) \quad W_{UZD}(t)\|_D = M_{D \leftarrow 1}(\beta_k(t), \varepsilon_k(t)) \cdot \|W_{Ц}(t)\|_G. \quad (22)$$

Алгоритм (17)-(22) причисляем к существующему способу и далее используем при реализации принципа алгоритмической избыточности предлагаемого способа.

С) Для двумерных станций $D^2_S(X_{NS}Y_{GS}Z_S)$ пеленгационного типа - при получении дополнительно текущих значений (3) дальности $D_{kUY}(t)$

$$D_k(t) = \{D_{kUY}(t), \beta_k(t), \varepsilon_k(t)\}, \quad (23)$$

и одновременном применении избыточных алгоритмов (23), (8)-(10), (2).

Д) Для трехмерных станций $D^3_S(X_{NS}Y_{GS}Z_S)$ - при получении дополнительно непрерывных текущих значений параметров целеуказания (3)-(5) от других станций группировки и одновременном применении алгоритмов одномерно-дальномерных: (12) - Приложение №1 и (2), двумерных станций пеленгационного типа: (6), (8)-(10), (2).

4. Избыточную полноразмерную траекторную информацию о каждой из целей q получают на каждой комплекслируемой станции S группировки:

- по межстанционным дуплексным каналам информационной связи;
- методами непосредственных измерений;

- методами вычислений по изложенным избыточным алгоритмам.

5. На каждой комплексируемой станции S группировки выполняют статистическую обработку избыточной информации о каждой из целей q для получения оптимальных по точности оценок, например, алгоритмом текущего скользящего среднего:

$$\begin{aligned}
 5 \quad D_{qS}(t)^* &= \Sigma D_{qSk}(t) / n; \\
 \beta_{qS}(t)^* &= \Sigma \beta_{qSk}(t) / n; \\
 \varepsilon_{qS}(t)^* &= \Sigma \varepsilon_{qSk}(t) / n; \\
 10 \quad \omega_{\beta qS}(t)^* &= \Sigma \omega_{\beta qSk}(t) / n; \\
 \omega_{\varepsilon qS}(t)^* &= \Sigma \omega_{\varepsilon qSk}(t) / n; \\
 W_{XqS}(t)^* &= \Sigma W_{XqSk}(t) / n \text{ при } k \text{ от } 1 \text{ до } n; & (24) \\
 15 \quad W_{YqS}(t)^* &= \Sigma W_{YqSk}(t) / n; \\
 W_{ZqS}(t)^* &= \Sigma W_{ZqSk}(t) / n; \\
 J_{XqS}(t)^* &= \Sigma J_{XqSk}(t) / n; \\
 20 \quad J_{YqS}(t)^* &= \Sigma J_{YqSk}(t) / n; \\
 J_{ZqS}(t)^* &= \Sigma J_{ZqSk}(t) / n,
 \end{aligned}$$

где n - количество значений (переданных, измеренных, вычисленных) конкретных параметров, обрабатываемых на станции в текущий момент времени t.

25 6. Полученные оптимальные по точности «станционные» оценки параметров (24) используют с помощью известных алгоритмов кинематических уравнений связи и матричного преобразования (22) для формирования сигналов управления каналами станции при прерывании на время τ по какой-либо причине нормального процесса измерений станции:

30 - дальномерным:

$$D_{qS}(t + \tau) = D_{qS}^*(t) + \int^{\tau} W_{\text{ЦХД}}^*(t) \cdot \delta\tau; \quad (25)$$

- угловым азимутальным:

$$\beta_{qS}(t + \tau) = \beta_{qS}^*(t) - \left(\int^{\tau} W_{\text{ЦЗД}}^*(t) \cdot \delta\tau \right) / D_{qS}^*(t + \tau); \quad (26)$$

35 - угломестным:

$$\varepsilon_{qS}(t + \tau) = \varepsilon_{qS}^*(t) + \left(\int^{\tau} W_{\text{ЦУД}}^*(t) \cdot \delta\tau \right) / D_{qS}^*(t + \tau); \quad (27)$$

- скоростным сближения (доплеровским):

$$W_{Pq}(t + \tau) = W_{\text{ЦХД}}^*(t). \quad (28)$$

40 Таким образом реализуют прогнозируемое целеуказание на каждой станции группировки. Текущее непрерывное целеуказание от других станций и собственное прогнозируемое целеуказание (25)-(28) на каждой из станций существенно повышают их помехоустойчивость.

7. «Станционные» оценки параметров (24) в интересах дальнейшего повышения 45 точности оценок координат и параметров движения каждой цели q передают по межстанционным дуплексным каналам связи на пункты контроля воздушно-космического пространства - потребителям информации, где представляют в земной базисной системе координат и как избыточную по множеству станций вновь статистически обрабатывают, например, по методу текущего среднего:

50

$$D_q(t)^{**} = \Sigma D_{qs}^*(t) / S;$$

$$\beta_q(t)^{**} = \Sigma \beta_{qs}^*(t) / S;$$

$$5 \quad \varepsilon_q(t)^{**} = \Sigma \varepsilon_{qs}^*(t) / S;$$

$$\omega_{\beta q}(t)^{**} = \Sigma \omega_{\beta qs}^*(t) / S;$$

$$\omega_{\varepsilon q}(t)^{**} = \Sigma \omega_{\varepsilon qs}^*(t) / S;$$

$$10 \quad W_{Xq}(t)^{**} = \Sigma W_{Xqs}^*(t) / S \text{ при } s \text{ от } 1 \text{ до } S; \quad (29)$$

$$W_{Yq}(t)^{**} = \Sigma W_{Yqs}^*(t) / S;$$

$$W_{Zq}(t)^{**} = \Sigma W_{Zqs}^*(t) / S;$$

$$J_{Xq}(t)^{**} = \Sigma J_{Xqs}^*(t) / S;$$

$$15 \quad J_{Yq}(t)^{**} = \Sigma J_{Yqs}^*(t) / S;$$

$$J_{Zq}(t)^{**} = \Sigma J_{Zqs}^*(t) / S,$$

где S - количество станций, передавших свои текущие оценки координат и параметров движения q цели.

Источники информации

1. Системы сопровождения и определения координат искусственных спутников земли, ГК СМ СССР по радиоэлектронике, обзор, вып.28, 1961, стр.12÷29.

2. Григорин-Рябов В.В., Дудник П.И. и др. Радиолокационные устройства (Теория и принципы построения), изд. «Советское радио», М., 1970, стр.5÷7, 34÷39.

Перечень графических материалов

1. «Определение дальности цели станциями, расположенными в двух точках O_1 и O_2 ».

2. Векторная схема наблюдения объекта двумя станциями пеленгационного типа в трехмерном пространстве.

3. Векторная схема наблюдения объекта тремя станциями одномерно-дальномерного типа в трехмерном пространстве.

Приложение №1

Рабочий алгоритм определения станционных углов вектора дальности при комплексировании трех одномерно-дальномерных станций

Для каждого дальномерного пункта (Фиг.3) вводят промежуточную правую прямоугольную систему координат. Ось абсцисс первого дальномерного пункта направляют вдоль вектора L_{21} , то есть на второй дальномерный пункт, орт этой оси имеет аналитическое выражение:

$$35 \quad x_1^0 = \|\mathbf{X}_{N2} - \mathbf{X}_{N1} \mathbf{Y}_{G2} - \mathbf{Y}_{G1} \mathbf{Z}_2 - \mathbf{Z}_1\|^T / L_{21}, \quad (1\pi)$$

где «Т» - символ транспонирования.

Ось абсцисс второго дальномерного пункта ориентируют вдоль вектора L_{32} на третий дальномерный пункт и его орт равен:

$$40 \quad x_2^0 = \|\mathbf{X}_{N3} - \mathbf{X}_{N2} \mathbf{Y}_{G3} - \mathbf{Y}_{G2} \mathbf{Z}_3 - \mathbf{Z}_2\|^T / L_{32}. \quad (2\pi)$$

Ось абсцисс третьего пункта направляют вдоль вектора L_{13} на первый пункт и его орт имеет выражение:

$$45 \quad x_3^0 = \|\mathbf{X}_{N1} - \mathbf{X}_{N3} \mathbf{Y}_{G1} - \mathbf{Y}_{G3} \mathbf{Z}_1 - \mathbf{Z}_3\|^T / L_{13}. \quad (3\pi)$$

Аналитические выражения для осей ординат получают с помощью векторных произведений:

$$50 \quad y_1^0 = (\mathbf{P}_{11} \cdot \mathbf{X}_N^0 + \mathbf{P}_{12} \cdot \mathbf{Y}_G^0 + \mathbf{P}_{13} \cdot \mathbf{Z}^0) / (\sin \gamma_1 \cdot L_{13} \cdot L_{21}); \quad (4\pi)$$

$$y_2^0 = (\mathbf{P}_{21} \cdot \mathbf{X}_N^0 + \mathbf{P}_{22} \cdot \mathbf{Y}_G^0 + \mathbf{P}_{23} \cdot \mathbf{Z}^0) / (\sin \gamma_2 \cdot L_{32} \cdot L_{21}); \quad (5\pi)$$

$$y_3^0 = (\mathbf{P}_{31} \cdot \mathbf{X}_N^0 + \mathbf{P}_{32} \cdot \mathbf{Y}_G^0 + \mathbf{P}_{33} \cdot \mathbf{Z}^0) / (\sin \gamma_3 \cdot L_{13} \cdot L_{32}), \quad (6\pi)$$

$$\begin{aligned}
 & \text{где } P_{11} = ((Y_{G2} - Y_{G1}) \cdot (Z_3 - Z_1) - (Y_{G3} - Y_{G1}) \cdot (Z_2 - Z_1)); \\
 & P_{12} = ((X_{N3} - X_{N1}) \cdot (Z_2 - Z_1) - (X_{N2} - X_{N1}) \cdot (Z_3 - Z_1)); \\
 & P_{13} = ((X_{N2} - X_{N1}) \cdot (Y_{G3} - Y_{G1}) - (X_{N3} - X_{N1}) \cdot (Y_{G2} - Y_{G1})); \\
 5 & P_{21} = ((Y_{G3} - Y_{G2}) \cdot (Z_1 - Z_2) - (Y_{G1} - Y_{G2}) \cdot (Z_3 - Z_2)); \\
 & P_{22} = ((X_{N1} - X_{N2}) \cdot (Z_3 - Z_2) - (X_{N3} - X_{N2}) \cdot (Z_1 - Z_2)); \quad (7\pi) \\
 & P_{23} = ((X_{N3} - X_{N2}) \cdot (Y_{G1} - Y_{G2}) - (X_{N1} - X_{N2}) \cdot (Y_{G3} - Y_{G2})); \\
 & P_{31} = ((Y_{G1} - Y_{G3}) \cdot (Z_2 - Z_3) - (Y_{G2} - Y_{G3}) \cdot (Z_1 - Z_3)); \\
 10 & P_{32} = ((X_{N2} - X_{N3}) \cdot (Z_1 - Z_3) - (X_{N1} - X_{N3}) \cdot (Z_2 - Z_3)); \\
 & P_{33} = ((X_{N1} - X_{N3}) \cdot (Y_{G2} - Y_{G3}) - (X_{N2} - X_{N3}) \cdot (Y_{G1} - Y_{G3})).
 \end{aligned}$$

Аналогичным образом получают аналитические выражения для аппликат:

$$\begin{aligned}
 15 & Z_1^0 = [((Y_{G2} - Y_{G1}) \cdot P_{13} - (Z_2 - Z_1) \cdot P_{12}) \cdot X_N^0 + \\
 & ((Z_2 - Z_1) \cdot P_{11} - (X_{N2} - X_{N1}) \cdot P_{13}) \cdot Y_G^0 + \\
 & ((X_{N2} - X_{N1}) \cdot P_{12} - (Y_{G2} - Y_{G1}) \cdot P_{11}) \cdot Z^0] / (\sin \gamma_1 \cdot L_{13} \cdot L_{21}^2); \quad (8\pi)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 20 & Z_2^0 = [((Y_{G3} - Y_{G2}) \cdot P_{23} - (Z_3 - Z_2) \cdot P_{22}) \cdot X_N^0 + \\
 & ((Z_3 - Z_2) \cdot P_{21} - (X_{N3} - X_{N2}) \cdot P_{23}) \cdot Y_G^0 + \\
 & ((X_{N3} - X_{N2}) \cdot P_{22} - (Y_{G3} - Y_{G2}) \cdot P_{21}) \cdot Z^0] / (\sin \gamma_2 \cdot L_{32}^2 \cdot L_{21}); \quad (9\pi)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 25 & Z_3^0 = [((Y_{G1} - Y_{G3}) \cdot P_{33} - (Z_1 - Z_3) \cdot P_{32}) \cdot X_N^0 + \\
 & ((Z_1 - Z_3) \cdot P_{31} - (X_{N1} - X_{N3}) \cdot P_{33}) \cdot Y_G^0 + \\
 & ((X_{N1} - X_{N3}) \cdot P_{32} - (Y_{G1} - Y_{G3}) \cdot P_{31}) \cdot Z^0] / (\sin \gamma_3 \cdot L_{13}^2 \cdot L_{32}). \quad (10\pi)
 \end{aligned}$$

Матрицы перехода при повороте от с.к., связанных с дальномерными пунктами, к земной с.к. формально имеют вид:

$$30 \quad M_{B \leftarrow D_1} = \begin{vmatrix} \mu_{i_{11}} & \mu_{i_{12}} & \mu_{i_{13}} \\ \mu_{i_{21}} & \mu_{i_{22}} & \mu_{i_{23}} \\ \mu_{i_{31}} & \mu_{i_{32}} & \mu_{i_{33}} \end{vmatrix} \quad (11\pi)$$

где i - номер дальномерного пункта.

На основании изложенного получают аналитические выражения для всех направляющих косинусов матриц перехода (11п):

$$\begin{aligned}
 35 & \mu_{111} = (X_{N2} - X_{N1}) / L_{21}; \\
 & \mu_{112} = P_{11} / (\sin \gamma_1 \cdot L_{13} \cdot L_{21}); \\
 & \mu_{113} = ((Y_{G2} - Y_{G1}) \cdot P_{13} - (Z_2 - Z_1) \cdot P_{12}) / (\sin \gamma_1 \cdot L_{13} \cdot L_{21}^2); \\
 40 & \mu_{121} = (Y_{G2} - Y_{G1}) / L_{21}; \\
 & \mu_{122} = P_{12} / (\sin \gamma_1 \cdot L_{13} \cdot L_{21}); \quad (12\pi) \\
 & \mu_{123} = ((Z_2 - Z_1) \cdot P_{11} - (X_{N2} - X_{N1}) \cdot P_{13}) / (\sin \gamma_1 \cdot L_{13} \cdot L_{21}^2); \\
 & \mu_{131} = (Z_2 - Z_1) / L_{21}; \\
 45 & \mu_{132} = P_{13} / (\sin \gamma_1 \cdot L_{13} \cdot L_{21}); \\
 & \mu_{133} = ((X_{N2} - X_{N1}) \cdot P_{12} - (Y_{G2} - Y_{G1}) \cdot P_{11}) / (\sin \gamma_1 \cdot L_{13} \cdot L_{21}^2); \\
 & \mu_{211} = (X_{N3} - X_{N2}) / L_{32}; \\
 & \mu_{212} = P_{21} / (\sin \gamma_2 \cdot L_{32} \cdot L_{21}); \\
 50 & \mu_{213} = ((Y_{G3} - Y_{G2}) \cdot P_{23} - (Z_3 - Z_2) \cdot P_{22}) / (\sin \gamma_2 \cdot L_{32}^2 \cdot L_{21});
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{2_{21}} &= (Y_{G3} - Y_{G2}) / L_{32}; \\ \mu_{2_{22}} &= P_{22} / (\sin \gamma_2 \cdot L_{32} \cdot L_{21}); \end{aligned} \quad (13\pi)$$

$$\mu_{2_{23}} = ((Z_3 - Z_2) \cdot P_{21} - (X_{N3} - X_{N2}) \cdot P_{23}) / (\sin \gamma_2 \cdot L_{32}^2 \cdot L_{21});$$

$$5 \quad \mu_{2_{31}} = (Z_3 - Z_2) / L_{32};$$

$$\mu_{2_{32}} = P_{23} / (\sin \gamma_2 \cdot L_{32} \cdot L_{21});$$

$$\mu_{2_{33}} = ((X_{N3} - X_{N2}) \cdot P_{22} - (Y_{G3} - Y_{G2}) \cdot P_{21}) / (\sin \gamma_2 \cdot L_{32}^2 \cdot L_{21});$$

$$\mu_{3_{11}} = (X_{N1} - X_{N3}) / L_{13};$$

$$10 \quad \mu_{3_{12}} = P_{31} / (\sin \gamma_3 \cdot L_{13} \cdot L_{32});$$

$$\mu_{3_{13}} = ((Y_{G1} - Y_{G3}) \cdot P_{33} - (Z_1 - Z_3) \cdot P_{32}) / (\sin \gamma_3 \cdot L_{13}^2 \cdot L_{32});$$

$$\mu_{3_{21}} = (Y_{G1} - Y_{G3}) / L_{13};$$

$$\mu_{3_{22}} = P_{32} / (\sin \gamma_3 \cdot L_{13} \cdot L_{32}); \quad (14\pi)$$

$$15 \quad \mu_{3_{23}} = ((Z_1 - Z_3) \cdot P_{31} - (X_{N1} - X_{N3}) \cdot P_{33}) / (\sin \gamma_3 \cdot L_{13}^2 \cdot L_{32});$$

$$\mu_{3_{31}} = (Z_1 - Z_3) / L_{13};$$

$$\mu_{3_{32}} = P_{33} / (\sin \gamma_3 \cdot L_{13} \cdot L_{32});$$

$$20 \quad \mu_{3_{33}} = ((X_{N1} - X_{N3}) \cdot P_{32} - (Y_{G1} - Y_{G3}) \cdot P_{31}) / (\sin \gamma_3 \cdot L_{13}^2 \cdot L_{32});$$

После геодезической привязки дальномерных пунктов к земной с.к. производят однократные вычисления по алгоритмам (1п)-(14п) в интересах определения всех указанных констант, включая направляющие косинусы матрицы преобразования при поворотах (11п)-(14п) и константы алгоритма (15п) полного преобразования координат положения при переходе от с.к., связанных с дальномерными пунктами, к земной с.к. с учетом как поворота, так и смещения с.к.:

$$\|D(t)\|_G = M_{G \leftarrow D_1} \cdot \|D_1(t)\|_i + \begin{matrix} \|X_{Ni}\| \\ \|Y_{Gi}\| \\ \|Z_i\| \end{matrix} =$$

$$30 \quad \begin{aligned} & \| \mu_{i_{11}} \quad \mu_{i_{12}} \quad \mu_{i_{13}} \| \cdot \| D_1(t) \cdot \cos(\varepsilon_1(t)) \cdot \cos(\beta_1(t)) \| \cdot \| X_{Ni} \| \\ & = \| \mu_{i_{21}} \quad \mu_{i_{22}} \quad \mu_{i_{23}} \| \cdot \| D_1(t) \cdot \sin(\varepsilon_1(t)) \| + \| Y_{Gi} \| \quad (15\pi) \\ & \| \mu_{i_{31}} \quad \mu_{i_{32}} \quad \mu_{i_{33}} \| \cdot \| -D_1(t) \cdot \cos(\varepsilon_1(t)) \cdot \sin(\beta_1(t)) \| \cdot \| Z_i \|. \end{aligned}$$

35 Далее используют алгоритм итерационного поиска значений углов (см. рис.3) $\beta_1(t)$ и $\varepsilon_1(t)$, $\beta_2(t)$ и $\varepsilon_2(t)$, $\beta_3(t)$ и $\varepsilon_3(t)$. При каждом состоявшемся синхронном измерении модулей дальностей $D_1(t)$, $D_2(t)$, $D_3(t)$ их значения подставляют в систему уравнений:

$$L_{13} = D_1(t) \cdot \cos(\varepsilon_1(t)) \cdot \cos(\beta_1(t) - \gamma_1) + D_3(t) \cdot \cos(\varepsilon_3(t)) \cdot \cos(\beta_3(t)); \quad (16\pi)$$

$$40 \quad L_{21} = D_1(t) \cdot \cos(\varepsilon_1(t)) \cdot \cos(\beta_1(t)) + D_2(t) \cdot \cos(\varepsilon_2(t)) \cdot \cos(\gamma_2 - \beta_2(t)); \quad (17\pi)$$

$$L_{32} = D_2(t) \cdot \cos(\varepsilon_2(t)) \cdot \cos(\beta_2(t)) + D_3(t) \cdot \cos(\varepsilon_3(t)) \cdot \cos(\gamma_3 - \beta_3(t)); \quad (18\pi)$$

$$L_{21} \cdot D_1(t) \cdot \cos(\varepsilon_1(t)) \cdot \sin(\beta_1(t)) + L_{32} \cdot D_2(t) \cdot \cos(\varepsilon_2(t)) \cdot \sin(\beta_2(t)) - \\ - L_{13} \cdot D_3(t) \cdot \cos(\varepsilon_3(t)) \cdot \sin(\beta_3(t)) = S_{\Delta}. \quad (19\pi)$$

45 Алгоритм итерационного процесса решения полученных уравнений:

1. Вводят необходимые константы L_{21} , L_{32} , L_{13} , γ_1 , γ_2 , γ_3 , S_{Δ} и начальные t_0 условия $D_1(t_0)$, $D_2(t_0)$, $D_3(t_0)$.

2. Организуют «нулевой» цикл для определения $\beta_1(t_0)$ и $\varepsilon_1(t_0)$, $\beta_2(t_0)$ и $\varepsilon_2(t_0)$, $\beta_3(t_0)$ и $\varepsilon_3(t_0)$:

2.1. С помощью уравнения (19п) вычисляют в явном виде $\sin(\beta_1(t))$, затем $\beta_1(t)$, $\cos(\beta_1(t))$ и $\cos(\beta_1(t) - \gamma_1)$.

2.2. Подставляют $\cos(\beta_1(t))$ и $\cos(\beta_1(t) - \gamma_1)$ в уравнения (16п) и (17п), $\sin(\beta_1(t))$

- в уравнение (19п), $\beta_1(t)$ - используют для оценки сходимости итерационного процесса решения.

2.3. Вновь с помощью уравнения (19п) вычисляют в явном виде, но теперь $\sin(\beta_2(t))$, затем $\beta_2(t)$, $\cos(\beta_2(t))$ и $\cos(\gamma_2 - \beta_2(t))$.

2.4. Подставляют $\cos(\beta_2(t))$ и $\cos(\gamma_2 - \beta_2(t))$ в уравнения (17п) и (18п), $\sin(\beta_2(t))$

- в уравнение (19п), $\beta_2(t)$ - используют для оценки сходимости итерационного процесса решения.

2.5. Опять же с помощью уравнения (19п) вычисляют в явном виде, но теперь $\sin(\beta_3(t))$, затем $\beta_3(t)$, $\cos(\beta_3(t))$ и $\cos(\gamma_3 - \beta_3(t))$.

2.6. Подставляют $\cos(\beta_3(t))$ и $\cos(\gamma_3 - \beta_3(t))$ в уравнения (18п) и (16п), $\sin(\beta_3(t))$

- в уравнение (19п), $\beta_3(t)$ - используют для оценки сходимости итерационного процесса решения.

2.7. Решают сгруппированные уравнения (16п), (17п) в интересах получения $\cos(\varepsilon_1(t))$, затем $\varepsilon_1(t)$:

$$\cos(\varepsilon_1(t)) = [L_{13} + L_{21} - D_3(t) \cdot \cos(\varepsilon_3(t)) \cdot \cos(\beta_3(t)) - D_2(t) \cdot \cos(\varepsilon_2(t)) \cdot \cos(\gamma_2 - \beta_2(t))] / [D_1(t) \cdot \cos(\beta_1(t) - \gamma_1) + \cos(\beta_1(t))]; \quad (20п)$$

2.8. Подставляют $\cos(\varepsilon_1(t))$ в уравнения (16п), (17п) и (19п), а $\varepsilon_1(t)$ - используют для оценки сходимости итерационного процесса решения.

2.9. Решают сгруппированные уравнения (17п), (18п) в интересах получения $\cos(\varepsilon_2(t))$, затем $\varepsilon_2(t)$:

$$\cos(\varepsilon_2(t)) = [L_{21} + L_{32} - D_1(t) \cdot \cos(\varepsilon_1(t)) \cdot \cos(\beta_1(t)) - D_3(t) \cdot \cos(\varepsilon_3(t)) \cdot \cos(\gamma_3 - \beta_3(t))] / [D_2(t) \cdot \cos(\gamma_2 - \beta_2(t)) + \cos(\beta_2(t))]; \quad (21п)$$

2.10. Подставляют $\cos(\varepsilon_2(t))$ в уравнения (17п), (18п) и (19п), а $\varepsilon_2(t)$ - используют для оценки сходимости итерационного процесса решения.

2.11. Решают сгруппированные уравнения (18п), (16п) в интересах получения $\cos(\varepsilon_3(t))$, затем $\varepsilon_3(t)$:

$$\cos(\varepsilon_3(t)) = [L_{32} + L_{13} - D_2(t) \cdot \cos(\varepsilon_2(t)) \cdot \cos(\beta_2(t)) - D_1(t) \cdot \cos(\varepsilon_1(t)) \cdot \cos(\beta_1(t) - \gamma_1)] / [D_3(t) \cdot (\cos(\gamma_3 - \beta_3(t)) + \cos(\beta_3(t)))];$$

2.12. Подставляют $\cos(\varepsilon_3(t))$ в уравнения (18п), (16п) и (19п), а $\varepsilon_3(t)$ - используют для оценки сходимости итерационного процесса решения.

2.13. Повторяют п.п.2.1.÷2.12 второй раз и находят разности $\delta\beta_1(t)$, $\delta\varepsilon_1(t)$:

$$\delta\beta_1(t) = \beta_1(t)_{\text{нов}} - \beta_1(t)_{\text{ст}}; \quad \delta\beta_2(t) = \beta_2(t)_{\text{нов}} - \beta_2(t)_{\text{ст}}; \quad \delta\beta_3(t) = \beta_3(t)_{\text{нов}} - \beta_3(t)_{\text{ст}};$$

$$\delta\varepsilon_1(t) = \varepsilon_1(t)_{\text{нов}} - \varepsilon_1(t)_{\text{ст}}; \quad \delta\varepsilon_2(t) = \varepsilon_2(t)_{\text{нов}} - \varepsilon_2(t)_{\text{ст}}; \quad \delta\varepsilon_3(t) = \varepsilon_3(t)_{\text{нов}} - \varepsilon_3(t)_{\text{ст}}.$$

Если хотя бы одна из разностей оказалась по модулю больше допустимого значения $\delta_{\text{доп}}$, то цикл итераций (п.п.2.1.÷2.12) повторяют.

3. При сходимости итерационного процесса вычислений по точности находят проекции теперь уже векторов дальности сначала на оси с.к. дальномерных пунктов, а затем (15п) на оси земной с.к... Причем составляющие итогового вектора дальности в с.к. «Г» берут как среднее из трех получаемых значений.

4. Переходят к обработке очередных синхронных измерений модулей дальностей $D_1(t)$, $D_2(t)$, $D_3(t)$, а в качестве начальных значений для итерационного поиска углов $\beta_1(t)$, $\beta_2(t)$, $\beta_3(t)$, $\varepsilon_1(t)$, $\varepsilon_2(t)$, $\varepsilon_3(t)$ берут их итоговые значения из предыдущего завершившегося цикла вычислений.

Формула изобретения

Комплексный способ определения координат и параметров траекторного движения авиационно-космических объектов, наблюдаемых группировкой станций слежения, заключающийся в том, что на взаимодействующих станциях в единых системах координат, соответствующие оси которых имеют одинаковые направления, синхронно измеряют координаты наблюдаемых объектов, значения которых передают друг другу с помощью межстанционных дуплексных каналов информационной связи, вычисляют в станционных вычислителях с учетом известных базовых расстояний между станциями, измеренных и

переданных координат наблюдаемых объектов по расчетным алгоритмам локального комплексирования единственные текущие значения информации о параметрах траекторного движения наблюдаемых объектов, отличающийся тем, что межстанционными дуплексными каналами информационной связи соединяют все станции группировки вне зависимости от типа их мерности для обмена всеми измеряемыми, вычисляемыми на них данными о параметрах траекторного движения наблюдаемых объектов, с их индивидуальными номерами и номерами станций, передавших упомянутую информацию, координаты местоположения которых заданы в единой земной базисной системе координат, на каждой станции группировки реализуют избыточное количество алгоритмов локального комплексирования, с помощью которых получают избыточную информацию о параметрах траекторного движения наблюдаемых объектов, которую в станционных вычислителях каждой комплексированной станции группировки статистически обрабатывают и получают оптимальные по точности оценки этой информации о параметрах траекторного движения наблюдаемых объектов, далее на основе этих оценок по известным алгоритмам кинематических уравнений связи и матричного преобразования формируют сигналы управления дальномерными и угломерными каналами станций при прерывании на некоторое время по какой-либо причине нормального процесса их функционирования, а также оценки информации о параметрах траекторного движения наблюдаемых объектов передают по межстанционным дуплексным каналам связи на пункты контроля воздушно-космического пространства, где их представляют в единой земной базисной системе координат и как избыточные по множеству станций вновь статистически обрабатывают и получают уточненные оценки информации о параметрах траекторного движения наблюдаемых объектов.

25

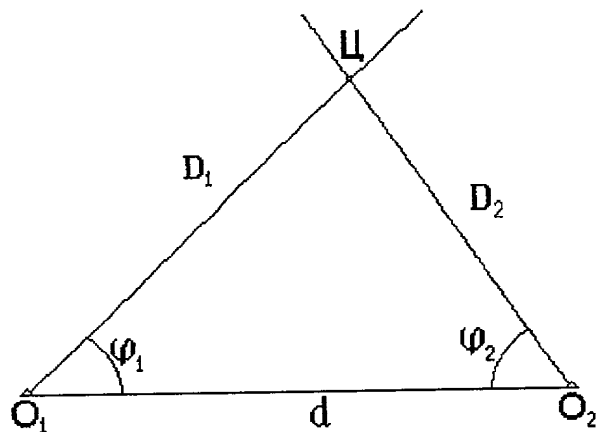
30

35

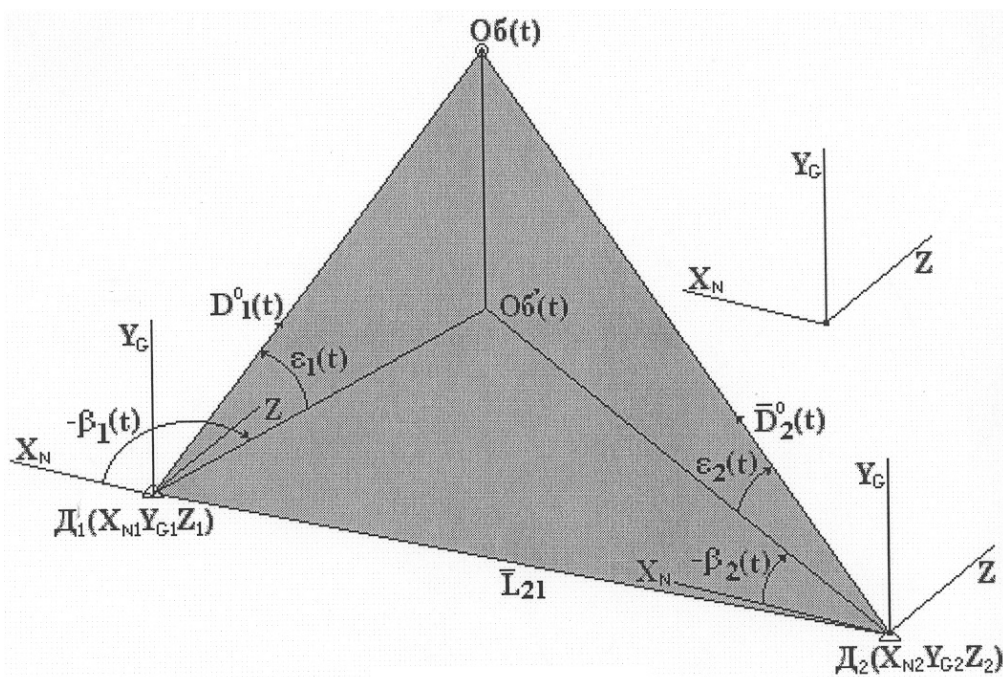
40

45

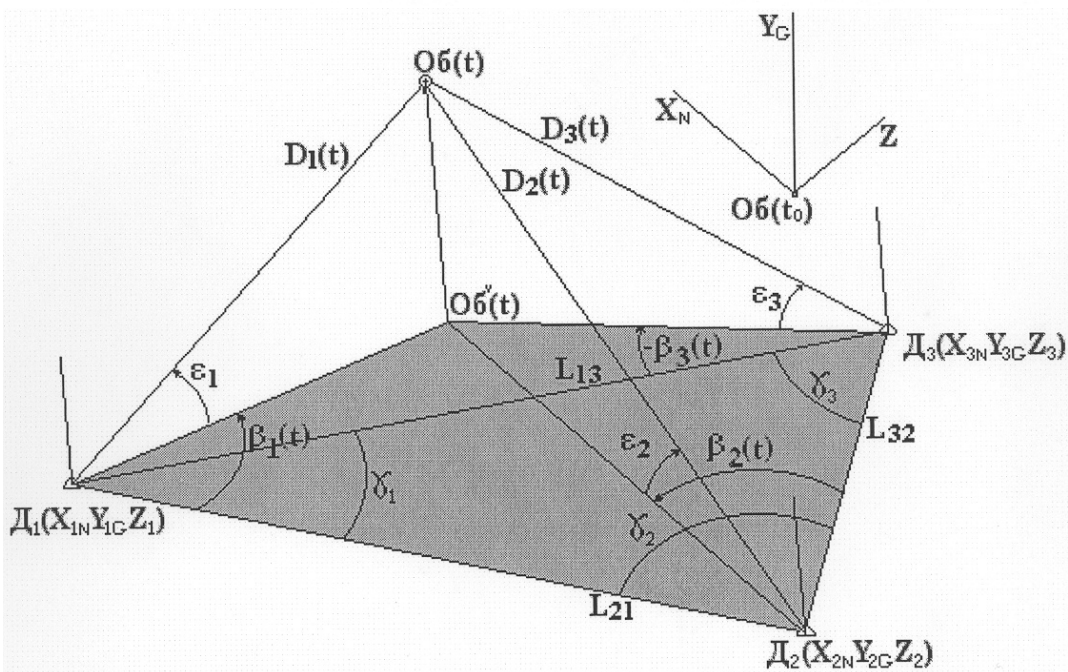
50



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3