

В.С. Чаплинский, А.О. Жуков, А.И. Гладышев,
С.Н. Лысенко, И.В. Суровцева

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОСМИЧЕСКИХ
АППАРАТОВ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ В РЕТРАНСЛЯЦИОННЫХ
СИСТЕМАХ*

Рассматривается определение скоростных параметров космического аппарата (КА) – абонента космической системы ретрансляции по доплеровским измерениям, проводимым в запросном режиме, в предположении, что несущая частота сигнала ответа с КА когерентна частоте принимаемого на КА сигнала запроса, а на спутнике-ретрансляторе несущие частоты радиолиний формируются посредством гетеродинамирования принимаемых сигналов и сигнала собственного задающего генератора.

Ключевые слова: космический аппарат, спутник-ретранслятор, космическая система ретрансляции, измерения навигационных параметров, доплеровское смещение частоты сигнала, интерпретация доплеровских измерений, навигационный контроль.

V.S. Chaplinskij, A.O. Zhukov, A.I. Gladyshev,
S.N. Lysenko, I.V. Surovtseva

DETERMINATION OF SPEED PARAMETERS OF SPACE VEHICLES
BY MEASUREMENTS IN RETIRING SYSTEMS

The determination of the speed parameters of a spacecraft (SC) – a subscriber of a space relay system based on Doppler measurements performed in interrogation mode is considered under the assumption that the carrier frequency of the response signal from the SC is coherent to the frequency of the request signal received by the SC, and the carrier frequencies of radio links are formed on the repeater satellite by heterodyning the received signals and the signal of its own master oscillator.

Keywords: spacecraft, satellite-relay, space relay system, measurement of navigation parameters, Doppler shift of signal frequency, interpretation of Doppler measurements, navigation control.

В космических системах ретрансляции (КСР), наряду с передачей телеметрической, командно-программной и служебной информации, могут проводиться измерения текущих навигационных параметров (ИТНП) космических аппаратов (КА) – абонентов КСР и самих спутников – ретрансляторов. При этом может быть существенно сокращен интервал прогнозирования параметров движения КА-абонентов и соответственно уменьшены погрешности знания данных параметров на момент решения целевых задач или проведения динамических операций [1; 2].

* Статья подготовлена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации, проект № МД-4052.2018.8 «Методы получения и обработки внеатмосферной информации для обнаружения и идентификации космических объектов в широком спектральном диапазоне».

Точностные показатели орбитальных определений по ретрансляционным измерениям через один спутник-ретранслятор сопоставимы с получаемыми многопунктным наземным комплексом по многовитковым измерениям непосредственно в зоне видимости КА с наземных пунктов. В случае проведения измерений через два СР, существенно разнесенных по долготе, возможен оперативный контроль динамических операций с КА-абонентом. Таким образом, контроль параметров движения КА в КСР позволяет получить приемлемую точность без ограничений, присущих наземному измерительному комплексу. Для низкоорбитальных КА, оснащаемых навигационной аппаратурой потребителей космических навигационных систем, ретрансляционные измерения могут использоваться в резервном контуре траекторного контроля [3].

Технически обеспечение траекторного контроля КА-абонентов незначительно усложняет КСР. Ретрансляционные скоростные измерения по доплеровскому смещению несущих частот в радиолиниях вообще не сказываются на информационном обмене с КА. Вследствие относительно высокой информативности скоростных измерений низкоорбитальных КА-абонентов дальномерный режим может рассматриваться как дополнительный, проводимый в основном для уточнения положения СР [4].

Интерпретация доплеровских измерений в космических ретрансляционных системах и определение по этим измерениям скоростных параметров движения КА-абонентов имеет ряд особенностей.

Рассмотрим ретрансляционную измерительную систему (рис.), в которой наземный передающий пункт (н1) в текущий момент времени t_{n1} излучает сигнал запроса, спутник-ретранслятор (Р) в момент t_{p1} ретранслирует сигнал запроса на космический аппарат (К), принятый на КА сигнал переизлучается в момент t_k (сигнал ответа), сигнал ответа ретранслируется спутником-ретранслятором в момент t_{p2} и принимается наземным приемным пунктом (н2) в момент t_{n2} .

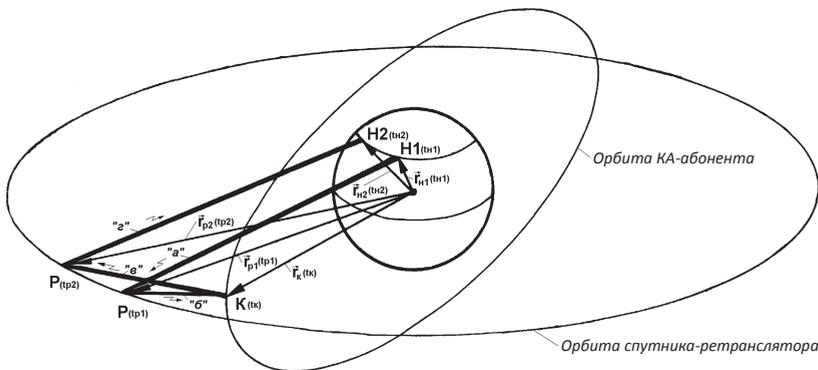


Схема распространения сигнала в радиолиниях космической системы ретрансляции

Положим, что на спутнике-ретрансляторе несущие частоты радиолиний $P \rightarrow KA$ и $P \rightarrow n2$ формируются посредством гетеродинирования принимаемых сигналов и сигнала собственного задающего генератора, а несущая сигнала ответа КА когерентна частоте принимаемого КА сигнала. Обозначим частоту излучаемого с н1 сигнала запроса через

$\omega_{n1} = a_{n1} \omega_{он}$. Переизлучаемый спутником-ретранслятором Р в момент t_{p1} в сторону КА сигнал будет иметь частоту

$$\omega_{p1}(t) = a_{n1} \omega_{он} A_a(t) - v_{p1} \omega_{оп}(t_{p1}),$$

где $A_a(t)$ – обобщенный функционал доплеровского и релятивистского преобразования сигнала в радиолинии «а» ($n1 \rightarrow P$), учитывающий также смещение частоты из-за распространения сигнала в тропосфере и ионосфере;

$\omega_{он}$ и $\omega_{оп}$ – эталонная частота задающего генератора (ЗГ) наземной станции и частота ЗГ спутника-ретранслятора в моменты t_{n1} и t_{p1} соответственно;

a_{n1} и v_{p1} – коэффициенты преобразования частот ЗГ наземной станции и спутника-ретранслятора при формировании несущих сигналов в радиолинии «а» и радиолинии «б» ($P \rightarrow KA$).

Принятый на КА сигнал переизлучается с несущей

$$\omega_k(t) = l a_{n1} \omega_{он} A_{аб}(t) - l v_{p1} \omega_{оп}(t_{p1}) A_б(t),$$

где l – коэффициент когерентного преобразования частоты;

$A_{аб}(t)$ и $A_б(t)$ – обобщенный функционал преобразования сигнала в радиолиниях «аб» ($n1 \rightarrow P \rightarrow KA$) и в радиолинии «б» соответственно принимается спутником-ретранслятором в момент t_{p2} и ретранслируется с несущей

$$\omega_{p2}(t) = v_{p2} \omega_{оп}(t_{p2}) + l a_{n1} \omega_{он} A_{абв}(t) - l v_{p1} \omega_{оп}(t_{p1}) A_{обв}(t),$$

где v_{p2} – коэффициент преобразования частоты ЗГ ретранслятора при формировании несущей радиолинии «г» ($P \rightarrow n2$);

$A_{абв}(t)$ и $A_{обв}(t)$ – обобщенный функционал преобразования сигнала в радиолиниях «абв» ($n1 \rightarrow P \rightarrow KA \rightarrow P$) и в радиолиниях «бв» ($P \rightarrow KA \rightarrow P$) соответственно.

Наземный приемный пункт будет иметь на входе ретранслированный сигнал ответа с несущей $\omega_{n2/p}(t) = v_{p2} \omega_{оп}(t_{p2}) A_г(t) - l a_{n1} \omega_{он} A_{абвг}(t) + l v_{p1} \omega_{оп}(t_{p1}) A_{обвг}(t)$, где $A_г(t)$, $A_{абвг}(t)$ и $A_{обвг}(t)$ – обобщенный функционал преобразования сигнала в радиолинии «г», радиолиниях «абвг» ($n1 \rightarrow P \rightarrow KA \rightarrow P \rightarrow n2$) и радиолиниях «бвг» ($P \rightarrow KA \rightarrow P \rightarrow n2$) соответственно.

На приемном пункте $n2$ производится измерение смещения частоты принятого сигнала от опорного. Частота опорного сигнала $\omega_{n2} = a_{n2} \omega_{он}$, где a_{n2} – коэффициент преобразования. Мерный интервал T_{n2} формируется от ЗГ наземной станции.

Результат измерения:

$$N = \int_{t_{n2н}}^{t_{n2н} + T_{n2}} \left[\omega_{n2} - \omega_{n2/p}(t) \right] d\tau_{n2} = a_{n2} \omega_{он} T_{n2} \left[\left(1 - \frac{l a_{n1}}{a_{n2}} \bar{A}_{абвг} \right) - \frac{v_{p2}}{a_{n2} \omega_{он} T_{n2}} \int_{t_{n2н}}^{t_{n2н} + T_{n2}} \omega_{оп}(t_{p2}) A_г(t) d\tau_{n2} - \frac{v_{p1}}{a_{n2} \omega_{он} T_{n2}} \int_{t_{n2н}}^{t_{n2н} + T_{n2}} \omega_{оп}(t_{p1}) A_{обвг}(t) d\tau_{n2} \right], \quad (1)$$

где $t_{n2н}$ – фиксируемый момент начала мерного интервала;

$$\bar{A}_{абвг} = \frac{1}{T_{n2}} \int_{t_{n2н}}^{t_{n2н} + T_{n2}} A_{абвг}(t) d\tau_{n2} \quad (2)$$

является функцией отношения частот, несущих навигационную информацию, и, кроме того, содержит неопределенность, обусловленную реальным отличием частоты ЗГ ретранслятора в текущие моменты t_{p1} и t_{p2} от частоты ЗГ наземного пункта. Положим, что для ослабления влияния неопределенности частоты задающего генератора спутника-ретранслятора с него излучается пилот-сигнал с частотой $\omega_p^*(t) = a_{\text{п}} \omega_{\text{оп}}(t)$, где $a_{\text{п}}$ – коэффициент преобразования, который принимается наземным пунктом н2. На пункте н2 в общем случае производится измерение отклонения частоты принятого пилот-сигнала от опорного, сформированного от задающего генератора наземного пункта, на мерном интервале $[t_{\text{н2н}}, t_{\text{н2н}} + T_{\text{н2}}]$ и мерном интервале $[t_{\text{н2н}} - \tau_{\text{бв}}, t_{\text{н2н}} - \tau_{\text{бв}} + T_{\text{н2}}]$, где $\tau_{\text{бв}} = t_{p2} - t_{p1}$,

$$N_{\text{пс1}} = \int_{t_{\text{н2н}}}^{t_{\text{н2н}} + T_{\text{н2}}} \left[a_{\text{п}} \omega_{\text{он}} - a_{\text{п}} \omega_{\text{оп}}(t_{p2}) A_{\Gamma}(t) \right] d\tau_{\text{н2}}, \quad (3)$$

$$N_{\text{пс2}} = \int_{t_{\text{н2н}} - \tau_{\text{бв}}}^{t_{\text{н2н}} - \tau_{\text{бв}} + T_{\text{н2}}} \left[a_{\text{п}} \omega_{\text{он}} - a_{\text{п}} \omega_{\text{оп}}(t_{p2}) A_{\Gamma}(t) \right] d\tau_{\text{н2}}. \quad (4)$$

Отсчеты $N_{\text{пс1}}$ и $N_{\text{пс2}}$ используются совместно с результатами измерений N для определения навигационного параметра. Выразим (1) через навигационные величины. Период колебаний принятого сигнала по собственному времени приема пункта $\delta\tau_{\text{н2}}$ и координатному времени $\delta t_{\text{н2}}$ связан формулой

$$\delta\tau_{\text{н2}} = [1 - R_{\text{н2}}(t_{\text{н2}})] \delta t_{\text{н2}}, \quad (5)$$

где в первом приближении

$$R_{\text{н2}}(t_{\text{н2}}) = \frac{\dot{r}_{\text{н2}}^2(t_{\text{н2}})}{2c^2} - \frac{\varphi_{\text{н2}}(t_{\text{н2}})}{c^2},$$

где $\dot{r}_{\text{н2}}(t_{\text{н2}})$ и $\varphi_{\text{н2}}(t_{\text{н2}})$ – модуль геоцентрической скорости и гравитационный потенциал приемного пункта н2 в момент $t_{\text{н2}}$. Аналогично для излучаемого с н1 сигнала запроса

$$\delta\tau_{\text{н1}} = [1 - R_{\text{н1}}(t_{\text{н1}})] \delta t_{\text{н1}}, \quad (6)$$

где $R_{\text{н1}}(t_{\text{н1}}) = \frac{\dot{r}_{\text{н1}}^2(t_{\text{н1}})}{2c^2} - \frac{\varphi_{\text{н1}}(t_{\text{н1}})}{c^2}$.

Момент приема на пункте н2 сигнала ответа $t_{\text{н2}}$ является функцией момента излучения с пункта н1 сигнала запроса $t_{\text{н1}}$, так что

$$\delta t_{\text{н2}} = \frac{dt_{\text{н2}}}{dt_{\text{н1}}} \delta t_{\text{н1}}. \quad (7)$$

С учетом (5)–(7)

$$A_{\text{абвг}} = \frac{\omega_{\text{он}} A_{\text{абвг}}(t)}{\omega_{\text{он}}} = \frac{\delta\tau_{\text{н1}}}{\delta\tau_{\text{н2}}} = \frac{1 - R_{\text{н1}}(t_{\text{н1}})}{1 - R_{\text{н2}}(t_{\text{н2}})} \frac{\delta t_{\text{н1}}}{\delta t_{\text{н2}}}. \quad (8)$$

Производную $\frac{dt_{\text{н1}}}{dt_{\text{н2}}}$ найдем из операционного времени распространения сигнала

$$t_{\text{н2}} - t_{\text{н1}} = \frac{1}{c} \left[(L_{\text{а}} + L_{\text{б}} + L_{\text{в}} + L_{\text{г}}) \right], \quad (9)$$

где c – скорость распространения радиоволн в свободном пространстве.

Тогда

$$\bar{A}_{\text{абвг}} = \frac{1 - R_{\text{н1}}}{1 - R_{\text{н2}}} - \frac{1 - R_{\text{н1}}}{c} \left(\sum_i \bar{L}_i \right), \quad (10)$$

где R_{n1} и R_{n2} – некоторые значения функций $R_{n1}(t_{n1})$ и $R_{n2}(t_{n2})$, принадлежащие мерному интервалу T_{n2} :

$$\bar{L}_i = \frac{1}{T_{n2}} \int_{t_{n2n}}^{t_{n2}+T_{n2}} \frac{dL_i}{d\tau_{n2}} d\tau_{n2}. \quad (11)$$

С погрешностью в определяемой суммарной скорости не более 10^{-5} м/с для приземной области можно принять

$$\bar{A}_{абвг} = 1 - \frac{1}{c} \left[(\dot{L}_a + \dot{L}_б + \dot{L}_в + \dot{L}_г) \right]. \quad (12)$$

Формула (12) дает связь суммарного скоростного навигационного параметра $\sum \bar{L}_i$ со значением $\bar{A}_{абвг}$, функцией которого является непосредственное измерение. Среднее на мерном интервале значение суммарного скоростного навигационного параметра $\sum_i \bar{L}_i$ выражается через приращение суммарной дальности

$$\sum_i \bar{L}_i = \frac{1}{T_{n2}} \int_{t_{n2n}}^{t_{n2}+T_{n2}} \frac{d}{d\tau_{n2}} \left[L_a(t_{p1}, t_{n1}) + L_б(t_к, t_{p1}) + L_в(t_{p2}, t_к) + L_г(t_{n2}, t_{p2}) \right] d\tau_{n2}. \quad (13)$$

Проведя аналогичные преобразования, получим

$$A_{бвг} = 1 - \frac{1}{c} \left[\dot{L}_б + \dot{L}_в + \dot{L}_г \right]; \quad (14)$$

$$A_г(t) = 1 - \frac{1}{c} \dot{L}_г(t). \quad (15)$$

Получим соотношения связи результатов измерений с навигационным параметром. Используя (10), (13)–(14), запишем (1) в виде

$$\begin{aligned} \frac{N}{a_{n2} \omega_{он} T_{n2}} &= 1 + \frac{la_{n1}}{a_{n2}} - \frac{la_{n1}}{a_{n2}} \frac{1}{c} \left(\sum_i \bar{L}_i \right) - \\ &- \frac{b_{p2}}{a_{n2} \omega_{он} T_{n2}} \int_{t_{n2n}}^{t_{n2n}+T_{n2}} \omega_{оп}(t_{p2}) A_г d\tau_{n2} + \frac{lb_{p1}}{a_{n2}} \frac{1}{c} \left(\sum_q \bar{L}_q \right) + \\ &+ \gamma_1 - \frac{lb_{p1}}{a_{n2} \omega_{он} T_{n2}} \int_{t_{n2n}}^{t_{n2n}+T_{n2}} \omega_{оп}(t_{p1}) \left\{ 1 - \frac{1}{c} \dot{L}(t) \right\} d\tau_{n2}, \end{aligned} \quad (16)$$

где $q = б, в$; $\gamma_1 = \frac{lb_{p1}}{a_{n2}} \frac{1}{c} \left(\sum_q \bar{L}_q \right)$.

Из (3) следует, что

$$\int_{t_{n2n}}^{t_{n2n}+T_{n2}} \omega_{оп}(t_{p2}) A_г(t) d\tau_{n2} = \omega_{он} T_{n2} - \frac{N_{nc1}}{a_n}. \quad (17)$$

Полученное значение (17) может непосредственно заменить первый интеграл в правой части выражения (16). С учетом (16) интерпретируем отсчет (4):

$$N_{nc2} = a_n \omega_{он} T_{n2} - a_n I_2, \quad (18)$$

где

$$I_2 = \bar{\omega}_{оп1} T_{n2} - \omega_{оп1} \frac{T_{n2}}{c} (\bar{L}_г^*); \quad \bar{L}_г^* = \frac{1}{T_{n2}} \int_{t_{n2n}-\tau_{бб}}^{t_{n2n}-\tau_{бб}+T_{n2}} [\dot{L}_г(t)] d\tau_{n2}. \quad (19)$$

Представим

$$\bar{L}_T^* = (\bar{L}_T) - \Delta \bar{L}_T, \tag{20}$$

$$\text{где } \bar{L}_T = \frac{1}{T_{H2}} \int_{t_{H2H}}^{t_{H2H} + T_{H2}} [\dot{L}_T(t)] d\tau_{H2}; \Delta \bar{L}_T = (\bar{L}_T) - (\bar{L}_T^*).$$

Подставим (20) в (19). Тогда

$$I_2 - \frac{\omega_{op1} T_{H2}}{c} \Delta \bar{L}_T = \bar{\omega}_{op1} T_{H2} - \omega_{op1} \frac{T_{H2}}{c} (\bar{L}_T). \tag{21}$$

С другой стороны, второй интеграл в правой части выражения (16)

$$\int_{t_{H2H}}^{t_{H2H} + T_{H2}} \omega_{op} (t_{p1}) \left\{ 1 - \frac{1}{c} [\dot{L}_T(t)] \right\} d\tau_{H2} = \bar{\omega}_{op1} T_{H2} - \omega_{op1} \frac{T_{H2}}{c} (\bar{L}_T)$$

равен выражению (21). Следовательно,

$$I_2 - \frac{\omega_{op1} T_{H2}}{c} \Delta \bar{L}_T = \left(\omega_{OH} T_{H2} - \frac{N_{nc2}}{a_n} \right) - \frac{\omega_{op1} T_{H2}}{c} \Delta \bar{L}_T. \tag{22}$$

Выполнив замены в (16) интегралов через результаты измерения пилот-сигнала (17) и (22), получим

$$\begin{aligned} \frac{N}{a_{H2} \omega_{OH} T_{H2}} = & 1 + \frac{I_{a_{H1}}}{a_{H2}} - \frac{I_{a_{H1}}}{a_{H2}} \frac{1}{c} \left(\sum_i \bar{L}_i \right) + \frac{B_{p2}}{a_{H2}} \left(\frac{N_{nc1}}{a_n \omega_{OH} T_{H2}} - 1 \right) + \\ & + \frac{I_{B_{p1}}}{a_{H2}} \frac{1}{c} \left(\sum_q \bar{L}_q \right) + \frac{I_{B_{p1}}}{a_{H2}} \left(\frac{N_{nc2}}{a_n \omega_{OH} T_{H2}} - 1 \right) + \gamma_1 + \gamma_2, \end{aligned} \tag{23}$$

$$\text{где } \gamma_2 = \frac{I_{B_{p1}} \omega_{op1} \Delta \bar{L}_T}{a_{H2} \omega_{OH} c}.$$

Выделим в (23) определяемые навигационные величины

$$\begin{aligned} (\bar{L}_G + \bar{L}_B) + \frac{a_{H1}}{a_{H1} - B_{p1}} (\bar{L}_A + \bar{L}_T) = & c \frac{I_{a_{H1} + a_{H2}}}{I(a_{H1} - B_{p1})} + c \frac{B_{p2}}{I(a_{H1} - B_{p1})} \left(\frac{N_{nc1}}{a_n \omega_{OH} T_{H2}} - 1 \right) + \\ & + c \frac{B_{p1}}{a_{H1} - B_{p1}} \left(\frac{N_{nc2}}{a_n \omega_{OH} T_{H2}} - 1 \right) - c \frac{N}{\omega_{OH} T_{H2} I(a_{H1} - B_{p1})} + \\ & + \frac{B_{p1}}{a_{H1} - B_{p1}} \Delta \bar{L}_T + \frac{B_{p1}}{a_{H1} - B_{p1}} \frac{\Delta \omega_{op1}}{\omega_{OH}} \left(\sum_q \bar{L}_q \right). \end{aligned} \tag{24}$$

Скоростной навигационный параметр

$$\bar{L}_\Sigma = (\bar{L}_G + \bar{L}_B) + \frac{a_{H1}}{a_{H1} - B_{p1}} (\bar{L}_A + \bar{L}_T) \tag{25}$$

представляет собой аппаратно зависимую сумму скоростных компонент. Коэффициент при $(\bar{L}_A + \bar{L}_T)$ определяется соотношением частот при формировании несущей в радиолиниях $n1 \rightarrow P$ и $P \rightarrow K$. Соответственно, расчетное значение навигационного параметра \bar{L}_Σ^P , сопоставляемое при орбитальных определениях с полученным по измерениям, также должно вычисляться аппаратно зависимым.

В правой части формулы (24) слагаемое

$$\frac{v_{p1}}{a_{n1} - v_{p1}} \Delta \bar{L}_T \leq \frac{v_{p1}}{a_{n1} - v_{p1}} \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$$

при $\dot{L}_{\text{тмакс}} \leq 40 \text{ м/с}$ и $\tau_{\text{об}} = \frac{1}{c}(L_{\text{г}} + L_{\text{в}}) \approx 0,25 \text{ с}$, в зависимости от требований по точности и соотношения частот в радиолониях, либо опускается, либо вводится в виде поправки на основе прогноза величины $\Delta \bar{L}_T$. Последнее слагаемое, зависящее от относительной разности ДЗЧ задающих генераторов спутника-ретранслятора и наземного пункта, опускается, составляя тем самым пренебрежимую методическую погрешность. Полученный по результатам измерений в ретрансляционной радиолонии суммарно-скоростной навигационный параметр (25) по своей сути является интегральным, характеризующим приращение суммарной дальности на интервале измерения $T_{\text{н2}}$.

Заключение

Функциональная задача навигационных измерений несущественно усложняет техническое построение ретрансляционного радиотехнического комплекса, а при определении скоростных параметров по доплеровскому смещению несущих частот радиосигналов не ухудшает энергетический потенциал радиолоний при информационном обмене с КА-абонентами. В то же время достаточно высокая информативность ретрансляционных измерений позволяет осуществлять навигационный контроль КА без ограничений, присущих наземному комплексу управления со средствами непосредственной связи с КА, и тем самым определяет очевидную целесообразность включения задачи навигационных измерений в состав функций ретрансляционных систем информационного обмена с КА.

Проведенная математическая интерпретация измерительной информации иллюстрирует характерную аппаратную зависимость результатов скоростных измерений, которая должна учитываться при траекторном контроле КА-абонентов космических систем ретрансляции.

Литература

1. Жуков А.О. и др. Высокоточная система навигационно-баллистического обеспечения сверхмалых космических аппаратов // Механика, управление и информатика. 2015. Т. 7, № 2 (55). С. 332–339.
2. Жуков А.О. и др. Метод проведения обзора и вариант построения космической системы для мониторинга космических объектов на околоземных орбитах // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества (ЧЭС). 2013. Т. 3, № 4. С. 71–75.
3. Бондаренко А.П. и др. О некоторых ограничениях корректировки модели среды распространения на базе информации GPS/ГЛОНАСС-приемников // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. 2018. № 1 (137). С. 57–63.
4. Бондаренко А.П. и др. К вопросу выбора минимального состава специализированного программно-аппаратного комплекса и временных интервалов его работы // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2017. № 2. С. 73–82.

Literatura

1. Zhukov A.O. *i dr.* Vysokotochnaya sistema navigatsionno-ballisticheskogo obespecheniya sverkhmalykh kosmicheskikh apparatov // Mekhanika, upravlenie i informatika. 2015. T. 7, № 2 (55). S. 332–339.
2. Zhukov A.O. *i dr.* Metod provedeniya obzora i variant postroeniya kosmicheskoy sistemy dlya monitoringa kosmicheskikh ob"ektov na okolozemnykh orbi-takh // Ekologicheskij vestnik nauchnykh tsentrov Chernomorskogo ekonomicheskogo sotrudnichestva (CHES). 2013. T. 3, № 4. S. 71–75.
3. Bondarenko A.P. *i dr.* O nekotorykh ogranicheniyakh korrektyrovki modeli sredy rasprostraneniya na baze informatsii GPS/GLONASS-priemnikov // Oboronnij kompleks – nauchno-tehnicheskomu progressu Rossii. 2018. № 1 (137). S. 57–63.
4. Bondarenko A.P. *i dr.* K voprosu vybora minimal'nogo sostava spetsiali-zirovannogo programmno-apparatnogo kompleksa i vremennykh intervalov ego raboty // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2017. № 2. S. 73–82.

DOI: 10.25586/RNU.V9187.19.03.P.024

УДК 004.042

А.С. Марковский, Н.И. Свеколкин, С.А. Шаров

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ
РАДИОЛОКАЦИОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ
С ПОМОЩЬЮ МАСШТАБИРОВАНИЯ
РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Представлен анализ применения масштабирования распределенных вычислительных технологий при обработке радиолокационных данных. На основании полученных результатов исследований сформулированы предложения по применению параллельных вычислений для групповой обработки радиолокационных изображений.

Ключевые слова: распределенные вычислительные технологии, радиолокационные данные, облачная инфраструктура.

A.S. Markovskiy, N.I. Svekolkina, S.A. Sharov

THE TASK OF DATA PROCESSING
OF RADAR OBSERVATIONS
USING SCALE DISTRIBUTED COMPUTING

The article presents an analysis of the application of scaling of distributed computing technologies in the processing of radar data. On the basis of the results of the research, proposals for the use of parallel calculations for group processing of radar images are formulated.

Keywords: distributed computing, radar data, cloud infrastructure.