

3. *Makarenko S.I.* Analiz matematicheskogo apparata rascheta kachestva obsluzhivaniya informatsionno-vychislitel'noy seti na setevom urovne etalonnoy modeli vzaimodeystviya otkrytykh sistem. URL: <http://www.ict.nsc.ru/ws/YM2006/10566/article.htm> (data obrabshcheniya: 27.01.2019).
4. *Popov S.B.* Modelirovanie i formirovanie struktury raspredelennykh sistem obrabotki krupnformatnykh izobrazheniy na osnove dinamicheskoy organizatsii dannykh: dis. ... d-ra tekhn. nauk. Samara, 2010.
5. *Ryzhikov Yu.I.* Algoritmicheskii podkhod k zadacham massovogo obsluzhivaniya: monografiya. SPb.: VKA im. A.F. Mozhayskogo, 2013. 496 s.
6. *Alexander W.E., Reeves D.S., Gloster C.S.* Parallel Image Processing with the Block Data Parallel Architecture // Proceedings of the IEEE. 1996. Vol. 84, № 7. P. 947–968.
7. *Aritsugi M., Fukatsu H., Kanamori Y.* Several Partitioning Strategies for Parallel Image Convolution in a Network of Heterogeneous Workstations // Parallel Computing. 2001. Vol. 27, № 3. P. 269–293.
8. Computer Image Processing. Part I: Basic Concepts and Theory / ed. by Victor A. Soifer. Saarbrücken: VDM Verlag, 2009. 296 p.
9. Computer Image Processing. Part II: Methods and Algorithms / ed. by Victor A. Soifer. Saarbrücken: VDM Verlag, 2009. 584 p.
10. *Fiorini P., Lipsky L.* Exact Analysis of Some Split-Merge Queues // Performance Evaluation Review. 2015. Vol. 43, № 2. P. 51–53.
11. *Harrison P.G., Zertal S.* Queueing Models with Maxima of Service Times // Computer Performance Evaluation. Modelling Techniques and Tools: Proceedings of 13th International Conference (Urbana, IL, USA, 2–5 September 2003). Urbana, 2003. P. 152–168.
12. *Shen Z., Luo J., Huang G., Ming D., Ma W., Sheng H.* Distributed Computing Model for Processing Remotely Sensed Images Based on Grid Computing // Information Sciences. 2007. Vol. 177, № 2. P. 504–518.

DOI: 10.25586/RNUV9187.19.01.P.034

УДК 527.625.1; 527.624

Н.А. Киб, В.Ю. Лупанчук

МЕТОДИКА КОРРЕКЦИИ ТЕКУЩЕГО КООРДИНАТНОГО
ТРЕХГРАННИКА ПОДВИЖНОЙ
ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
В АПРИОРНО НЕОПРЕДЕЛЕННОЙ СРЕДЕ

Рассматривается возможность коррекции текущего координатного трехгранника подвижной технической системы в условиях избыточности информации, полученной от космических аппаратов дистанционного зондирования Земли. Предлагается вариант применения известного метода неравноточного уравнивания для формирования оптимальных значений пространственных данных, а также используется байесовский подход для коррекции текущего положения системы в априорно неопределенной среде.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, избыточность, точность, байесовский подход, неопределенная среда.

N.A. Kib, V.Yu. Lupanchuk

TECHNIQUE OF CORRECTION OF THE CURRENT
STATUS OF THE MOBILE TECHNICAL SYSTEM
IN A PRIORI UNCERTAIN ENVIRONMENT

The article considers the possibility of adjusting the current coordinate trihedron of a mobile technical system in the conditions of redundancy of information received from the Earth by a remote sensing spacecraft. A variant of applying the well-known method of non-equalizing adjustment for the formation of optimal values of spatial data is offered, and the Bayesian approach is used to correct the current position of the system and the reference local area.

Keywords: Earth remote sensing, redundancy, accuracy, Bayesian approach, uncertain environment.

Понятие дистанционного зондирования появилось в XIX в. вслед за изобретением фотографии. Одной из первых областей, в которых стали применять этот метод, является астрономия. Впоследствии дистанционное зондирование начали использовать в различных областях сбора информации.

Новая эра дистанционного зондирования связана с пилотируемыми космическими полетами, разведывательными, метеорологическими и ресурсными спутниками.

Создание и развитие космических средств и технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) являются одним из важнейших направлений применения космической техники для социально-экономических, военных и научных целей. В мире уже успешно эксплуатируются десятки космических аппаратов ДЗЗ. В различных стадиях разработки находятся сотни новых проектов по реализации перспективных возможностей наблюдения и съемки Земли из космоса. Наблюдается быстрый прогресс в области повышения технического уровня космических аппаратов и сокращения затрат на их создание и эксплуатацию.

В настоящее время к получаемым материалам ДЗЗ предъявляются новые требования по информативности, точности, оперативности и снижению зависимости от различных факторов окружающей среды, что приводит к непрерывной эволюции целевой аппаратуры наблюдения.

Наиболее широко применяются оптико-электронные средства видимого диапазона, а также космические аппараты, способные осуществлять гиперспектральную и радиолокационную съемку, что позволяет увеличить количество информации по сравнению с системами, работающими только в видимом диапазоне. Комплексная обработка и формирование единого информационного пространства разнотипных и разрозненных данных позволяет сформировать эталонные значения для различных типов объектов, их состояний в различных условиях и периоды времени, а также сформировать пространственную модель, которая может являться эталонной для подвижных технических систем.

Движение технической системы и решение навигационных задач бортовыми средствами осуществляется во взаимодействии с различными объектами околоземного пространства, поэтому для строгой математической постановки таких задач необходимо соответствующее описание самих объектов и связей между ними. Все объекты можно разделить на несколько групп.

1. Пространственно-распределенные объекты представляют собой выделенные объемы околоземного пространства с особыми свойствами, к ним относятся как реальные физические объекты (информационные поля), так и виртуальные (выделенные особые зоны).

2. Пространственно-сосредоточенные объекты – это целостные физические тела, движущиеся в пространстве или неподвижные, а также их виртуальные модели. Основу математического описания таких объектов составляют координатные трехгранники – репера, которые формируются относительно глобальных или локальных систем отсчета. Частным случаем пространственно-сосредоточенных объектов являются точечные объекты, отличающиеся тем, что они не имеют пространственной ориентации.

3. Линейные (протяженные) объекты – это пространственные объекты, у которых только одна из трех размерностей имеет существенное значение для навигации [1; 3].

Исходный материал построения глобальной модели земной поверхности основан на применении гринвичского координатного трехгранника, описывающего форму земной поверхности, а также набора локальных областей, представленных в виде географических трехгранников с геоцентрической вертикалью. Чем выше точность и детальность данных трехгранников, тем подробнее описывается состояние земной поверхности.

Частной формой локальных моделей местности являются комплекты специализированных информационных ресурсов перспективных геоинформационных систем, которые позволяют формировать пространственную модель в виде текущего координатного трехгранника для подвижной технической системы. Избыточность различных систем отсчета вносит несоответствие в пространственную модель (рис. 1), что является актуальной задачей, которая заключается в совмещении и нахождении способов коррекции локальных координатных трехгранников подвижных технических систем.

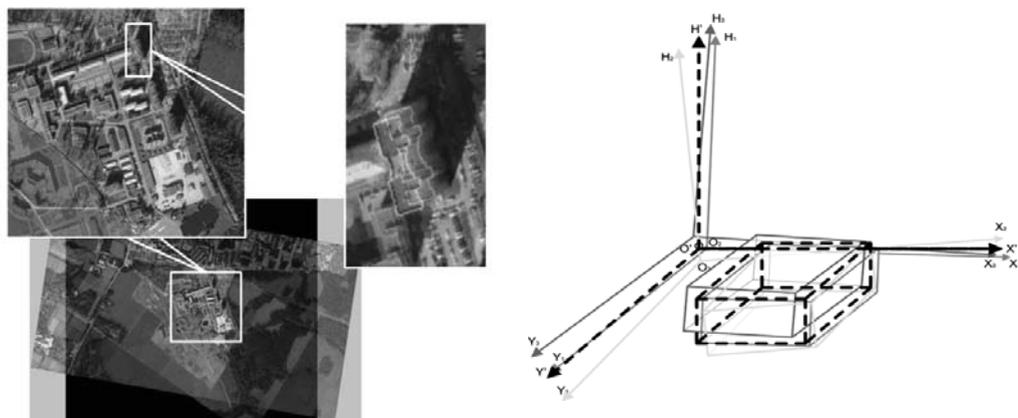


Рис. 1. Несоответствие координатных трехгранников в локальной области земной поверхности

Формирование матрицы измерений для локального трехгранника, полученного по изображению, имеющему координатную привязку по карте $M 1 : 100\,000$, а также дополнительно по точным данным и перспективным высокоточным данным [5]:

Киб Н.А., Лупанчук В.Ю. Методика коррекции текущего координатного...

$$\begin{aligned} X_1^T &= [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_n]; Y_1^T = [y_1 \ y_2 \ \dots \ y_n]; Z_1^T = [z_1 \ z_2 \ \dots \ z_n]; \\ X_1'^T &= [x'_1 \ x'_2 \ \dots \ x'_n]; Y_1'^T = [y'_1 \ y'_2 \ \dots \ y'_n]; Z_1'^T = [z'_1 \ z'_2 \ \dots \ z'_n]; \\ X_1''^T &= [x''_1 \ x''_2 \ \dots \ x''_n]; Y_1''^T = [y''_1 \ y''_2 \ \dots \ y''_n]; Z_1''^T = [z''_1 \ z''_2 \ \dots \ z''_n], \end{aligned} \quad (1)$$

где X, Y, Z – пространственные координаты, полученные от различных источников информации.

Точность определения пространственных параметров локальных трехгранников, имеющих различную координатную привязку, характеризуется вектором параметров с ошибками $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$, математическое ожидание которых, как правило, равно нулю, а средние квадратические погрешности (СКП) определения равны $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$.

Для совмещения пространственных трехгранников применяются методы неравноточного уравнивания, которые обеспечивают условие независимости между результатами многократных измерений разных величин. Предполагается, что полученные значения пространственных параметров являются некоррелированными, формула определения погрешностей примет вид

$$\sigma_F = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)_0^2 \sigma_x^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)_0^2 \sigma_y^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial z}\right)_0^2 \sigma_z^2 + \dots + \left(\frac{\partial F}{\partial u}\right)_0^2 \sigma_u^2 + 2\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)_0 \left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)_0 r_{xy} \sigma_x \sigma_y}, \quad (2)$$

где $\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)_0, \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)_0, \left(\frac{\partial F}{\partial z}\right)_0, \dots, \left(\frac{\partial F}{\partial u}\right)_0$ – функции коррелированных аргументов координатных параметров; r_{xy} – коэффициент корреляции между измерениями. В случае когда значения являются некоррелированными, коэффициенты корреляции будут равны нулю и формула (2) примет окончательный вид для (1):

$$\begin{aligned} \sigma_F &= \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)_0^2 \sigma_x^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)_0^2 \sigma_y^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial z}\right)_0^2 \sigma_z^2 + \dots + \left(\frac{\partial F}{\partial u}\right)_0^2 \sigma_u^2}, \\ \sigma_{\hat{X}} &= \sqrt{k_1^2 \sigma_{X_1}^2 + k_2^2 \sigma_{X_2}^2 + \dots + k_n^2 \sigma_{X_n}^2}, \quad \sigma_{\hat{Y}} = \sqrt{k_1^2 \sigma_{Y_1}^2 + k_2^2 \sigma_{Y_2}^2 + \dots + k_n^2 \sigma_{Y_n}^2}, \\ \sigma_{\hat{Z}} &= \sqrt{k_1^2 \sigma_{Z_1}^2 + k_2^2 \sigma_{Z_2}^2 + \dots + k_n^2 \sigma_{Z_n}^2}. \end{aligned} \quad (3)$$

Таким образом, задача сводится к нахождению условного экстремума функции (3). Этого можно достичь различными способами, например градиентного спуска. В статье рассматривается способ нахождения условного экстремума по методу Лагранжа для уравнивания неравноточных измерений [6]. Оптимальные оценки координат локальных трехгранников находятся по формуле

$$\hat{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{\sigma_i^2} X_i\right)}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_i^2}}; \hat{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{\sigma_i^2} Y_i\right)}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_i^2}}; \hat{Z} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{\sigma_i^2} Z_i\right)}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_i^2}}, \text{ при } n = 3. \quad (4)$$

Получены оптимальные оценки пространственных координат эталонной модели при минимальном значении СКП, равной 2 м, для прямоугольных координат \hat{X}, \hat{Y} по сравнению с картографической информацией, равной 20 м, и точным данным, равным 10 м.

Для высоты \hat{Z} значения СКП снизились до 4,5 м по сравнению с картографической информацией, равной 25 м, и точными данными, равными 12 м.

В соответствии с детальностью пространственной модели локальной области формируются семантические признаки объектов, которые могут быть использованы подвижными техническими системами в качестве объектов коррекции текущего положения.

Выделяется три уровня определенности условий функционирования: с полной определенностью закономерностей преобразования ситуаций, с лингвистической неопределенностью закономерностей и с высокой степенью априорной недоопределенности закономерностей преобразования ситуаций [2].

Начальные условия задаются исходной моделью местности, которая получена на основе избыточной информации ДЗЗ по формулам (2)–(3) и при идеальных условиях соответствует фактическому состоянию расположения объектов в локальном координатном трехграннике.

Построение маршрута подвижной технической системы сводится к выполнению определенного порядка действий, представленного в алгоритме движения технической системы в априорно неопределенной среде (рис. 2).

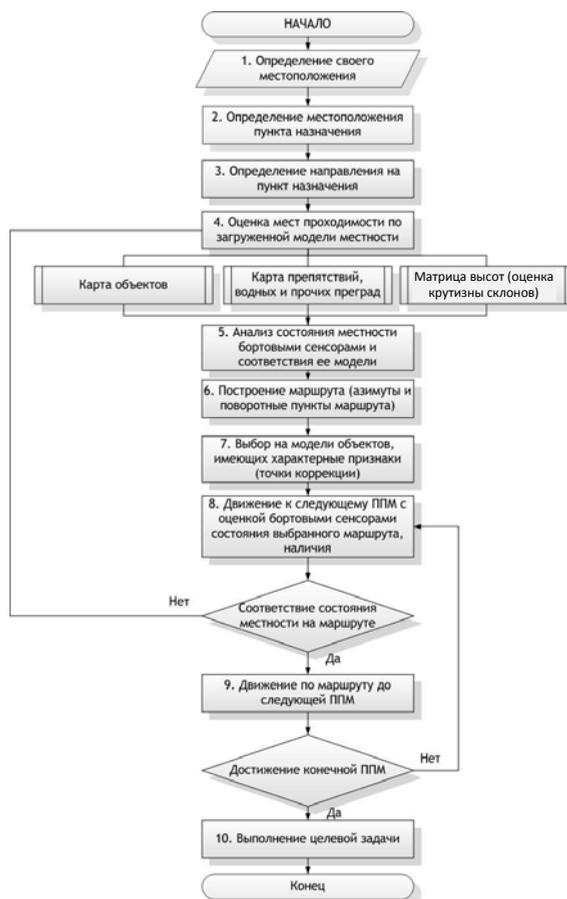


Рис. 2. Алгоритм движения технической системы в априорно неопределенной среде

Задаются начальная и конечная точки маршрута, определяется кратчайшее расстояние между точками и высчитывается текущий дирекционный угол. С учетом имеющихся исходных данных, загруженных в виде эталонной модели местности, бортовой компьютер подвижной технической системы оценивает проходимость местности. Оцениваются объекты, встречающиеся на маршруте движения, например водные и прочие преграды. На основании матрицы высот оцениваются превышения земной поверхности, например перепады, склоны, подъемы, и их крутизна [4; 8].

Непосредственно сенсорами, имеющимися на борту подвижного объекта, оценивается соответствие состояния местности и модели, по которой производилась оценка. При несоответствии вносится поправка в модель и строится маршрут к пункту назначения, имеющий минимальное необходимое отклонение от осевой линии. Данный маршрут описывается в виде отрезков и поворотных пунктов. После чего техническая система начинает движение, постоянно оценивая внутренними сенсорами соответствие модели местности окружающей обстановке и корректируя модель и текущий маршрут при выявлении несоответствия. Таким образом, она двигается от поворотного пункта маршрута (ППМ) к ППМ до достижения конечного пункта и выполнения целевой задачи.

Рассмотрим решение математического соотношения в задачах коррекции модели координатного трехгранника (локальной области) на примере повышения точности искомым прямоугольных координат за счет избыточности измеренного расстояния между объектами (рис. 3).

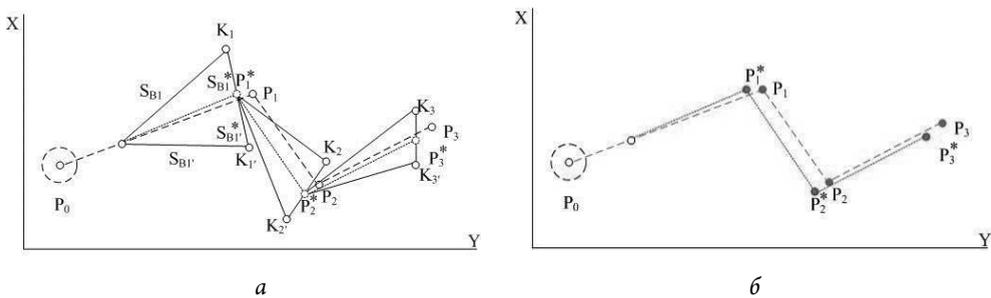


Рис. 3. Схема коррекции объекта и модели локальной области:

a – маршрут подвижной технической системы в условиях избыточности объектов коррекции;

б – изменение текущей траектории подвижной технической системы;

P_0 – начальный пункт с расчетными координатами X_0, Y_0 ;

P_1, P_2, P_3 – поворотные пункты с расчетными координатами $X_1, Y_1, X_2, Y_2, X_3, Y_3$ соответственно;

P_1^*, P_2^*, P_3^* – поворотные пункты с учетом коррекции координат $X'_1, Y'_1, X'_2, Y'_2, X'_3, Y'_3$ соответственно;

$K_1, K_1', K_2, K_2', K_3, K_3'$ – объекты коррекции маршрута;

S_B – вычисленное расстояние в начале отрезка;

S_B^* – вычисленное расстояние в конце отрезка

Избыточность состоит в том, что расстояние (S_{01}) имеет два значения: аналитическое, вычисленное по значениям координат (S_B), и измеренное – расстояние, полученное с помощью бортовой аппаратуры ($S_{И}$).

Задача: уточнить координаты $X_1, Y_1, X_2, Y_2, X_3, Y_3, K_1, K_1', K_2, K_2', K_3, K_3'$ по несоответствию расстояний (e).

Решение:

1. Измеренные значения прямоугольных координат и расстояния между ними $X_0^И, Y_0^И, X_1^И, Y_1^И, S_{01}^И, K_1, K_1'$, где X_0, Y_0, X_1, Y_1 – истинные значения прямоугольных координат, $\Delta X_0, \dots, \Delta Y_1$ – погрешности прямоугольных координат.

2. Связь между параметрами истинных значений:

$$S_{01} = \sqrt{(X_1 - X_0)^2 + (Y_1 - Y_0)^2}. \quad (5)$$

3. Выбор метода решения – метод нахождения параметров апостериорной плотности распределения случайной величины (погрешностей $\Delta X_0, \Delta Y_0, \Delta X_1, \Delta Y_1$). Правило Байеса для плотности распределения случайной величины [7].

4. Формирование истинной связи между исходными данными:

$$\sqrt{(X_0 - X_1)^2 + (Y_0 - Y_1)^2} = S_{01}. \quad (6)$$

5. Проведение линеаризация аналитической зависимости, которая связывает расстояние с прямоугольными координатами:

$$\frac{d\sqrt{(X_0 - X_1)^2 + (Y_0 - Y_1)^2}}{dX_0} \Delta X_0 + \dots + \frac{d\sqrt{(X_0 - X_1)^2 + (Y_0 - Y_1)^2}}{dY_1} \Delta Y_1 = \Delta S_{01}. \quad (7)$$

6. Запись в векторно-матричной форме:

$$Hg = \Delta S_{01}; \quad (8)$$

$$H = \left[\frac{d\sqrt{(X_0 - X_1)^2 + (Y_0 - Y_1)^2}}{dx_0} \quad \dots \quad \frac{d\sqrt{(X_0 - X_1)^2 + (Y_0 - Y_1)^2}}{dy_1} \right] < 1; \quad (9)$$

$$g = \begin{bmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta X_1 \\ \Delta Y_1 \end{bmatrix}. \quad (10)$$

7. Запись априорной статистической информации о погрешностях:

$$P_G = \begin{bmatrix} \sigma_{X_0}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{Y_0}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{X_1}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{Y_1}^2 \end{bmatrix}, \quad P_S = \sigma_S^2. \quad (11)$$

8. Формирование несоответствия расстояний между подвижной технической системой и объектом эталонной модели:

$$e = S_{12} - \sqrt{(X_0 - X_1)^2 + (Y_0 - Y_1)^2}. \quad (12)$$

9. Нахождение оптимальных оценок погрешностей:

$$G = 0 + Ke, \quad K = P_G H^T (HP_G H^T + P_S)^{-1}. \quad (13)$$

10. Расчет коррекции:

$$\Delta \hat{G} = \begin{bmatrix} \Delta \hat{X}_0 \\ \Delta \hat{Y}_0 \\ \Delta \hat{X}_1 \\ \Delta \hat{Y}_1 \end{bmatrix}. \quad (14)$$

Киб Н.А., Лупанчук В.Ю. Методика коррекции текущего координатного...

11. Введение поправок погрешностей $\Delta\hat{X}_0$, $\Delta\hat{Y}_0$, $\Delta\hat{X}_1$, $\Delta\hat{Y}_1$ в истинные значения прямоугольных координат:

$$\begin{aligned}\hat{X}_0^И &= X_0 + \Delta\hat{X}_0, \quad \hat{Y}_0^И = Y_0 + \Delta\hat{Y}_0, \\ \hat{X}_1^И &= X_1 + \Delta\hat{X}_1, \quad \hat{Y}_1^И = Y_1 + \Delta\hat{Y}_1.\end{aligned}\tag{15}$$

12. Нахождение средней квадратической погрешности уточненных координат:

$$\hat{P}_G = P_G - KHP_G.\tag{16}$$

Обоснована теоретическая возможность формирования объектового состава земной поверхности за счет комплексного использования материалов, полученных от космических аппаратов ДЗЗ.

Применяется метод неравноточного уравнивания пространственной модели координатного трехгранника, который позволяет получить эталонную модель локальной области с минимальными значениями СКП. Также применяется байесовский подход в задачах коррекции модели эталонного координатного трехгранника (локальной области) путем повышения точности искомых прямоугольных координат за счет избыточности измеренного расстояния между подвижной технической системой и стационарными объектами. Результат применения алгоритмов, полученных с использованием комплексных материалов ДЗЗ, позволяет сократить СКП пространственных координат от 20 до 30 % по сравнению с картографической информацией, полученной по картам масштаба 1 : 100 000.

Литература

1. Августов Л.И., Бабиченко А.В., Орехов М.И., Сухоруков М.И., Шкред В.К. Навигация летательных аппаратов в околоземном пространстве / под ред. Г.И. Джанджгавы. М.: ООО «Научтехлитиздат», 2015. 421 с.
2. Берштейн Л.С., Мелехин В.Б. Планирование поведения интеллектуального робота. М.: Энергоатомиздат, 1994. 238 с.
3. Киб Н.А., Лупанчук В.Ю. Формирование базы объектового состава земной поверхности при комплексной обработке материалов дистанционного зондирования Земли // Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных систем: сб. тр. XXXVII Всероссийской научно-технической конференции. Серпухов: ФВА РВСН, 2018. Ч. 2. С. 127–131.
4. Киб Н.А., Лупанчук В.Ю., Кузнецов О.И. Комплексный подход к обработке материалов дистанционного зондирования Земли // // Нейрокомпьютеры и их применение: сб. тез. и докл. XVI Всероссийской научной конференции. М.: МГППУ, 2018. С. 156.
5. Лупанчук В.Ю. Развитие методов навигационной картографии для контроля позиционирования робототехнических комплексов в пространстве // Вестник Московского авиационного института. М.: МАИ, 2018. Т. 25, № 1. С. 132–142.
6. Лупанчук В.Ю., Гончаров В.М. Способ обработки информации в комплексированной системе наземной навигации специального транспортного средства // Известия ТулГУ. Технические науки. 2018. Вып. 4. С. 102–114.
7. Степанов О.А. Основы теории оценивания с приложениями к задачам обработки навигационной информации. Ч. 1: Введение в теорию оценивания. СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электронприбор», 2009. 989 с.

8. *Lupanchuk V.Yu., Zaitsev A.V.* Development of Navigation Methods in Problems of Determining the Current Situation of Dynamic Objects in the Surrounding Space // Нобелевский конгресс «Наука, технологии, общество и международное нобелевское движение». Тамбов: МИНЦ «Нобелистика», 2017. Вып. 6. С. 437–442.

Literatura

1. *Avustov L.I., Babichenko A.V., Orekhov M.I., Sukhorukov M.I., Shkred V.K.* Navigatsiya letatel'nykh apparatov v okolozemnom prostranstve / pod red. G.I. Dzhandzhgavy. M.: ООО «Naughtekhlitizdat», 2015. 421 s.
2. *Bershteyn L.S., Melekhin V.B.* Planirovanie povedeniya intellektual'nogo robota. M.: Energoatomizdat, 1994. 238 s.
3. *Kib N.A., Lupanchuk V.Yu.* Formirovanie bazy ob'ektovoogo sostava zemnoy poverkhnosti pri kompleksnoy obrabotke materialov distantsionnogo zondirovaniya Zemli // Problemy effektivnosti i bezopasnosti funktsionirovaniya slozhnykh tekhnicheskikh i informatsionnykh sistem: sb. tr. XXXVII Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Serpukhov: FVA RVSNI, 2018. Ch. 2. S. 127–131.
4. *Kib N.A., Lupanchuk V.Yu., Kuznetsov O.I.* Kompleksnyy podkhod k obrabotke materialov distantsionnogo zondirovaniya Zemli // Nejrokomp'yutery i ikh primenenie: sb. tez. i dokl. XVI Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii. M.: MGPPU, 2018. S. 156.
5. *Lupanchuk V.Yu.* Razvitie metodov navigatsionnoy kartografii dlya kontrolya pozitsionirovaniya robototekhnicheskikh kompleksov v prostranstve // Vestnik Moskovskogo aviatsionnogo instituta. M.: MAI, 2018. T. 25, № 1. S. 132–142.
6. *Lupanchuk V.Yu., Goncharov V.M.* Sposob obrabotki informatsii v kompleksirovannoy sisteme nazemnoy navigatsii spetsial'nogo transportnogo sredstva // Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki. 2018. Вып. 4. S. 102–114.
7. *Stepanov O.A.* Osnovy teorii otsenivaniya s prilozheniyami k zadacham obrabotki navigatsionnoy informatsii. Ch. 1: Vvedenie v teoriyu otsenivaniya. SPb.: GNTS RF TSNII «Elektropribor», 2009. 989 s.
8. *Lupanchuk V.Yu., Zaitsev A.V.* Development of Navigation Methods in Problems of Determining the Current Situation of Dynamic Objects in the Surrounding Space // Nobelevskiy kongress «Nauka, tekhnologii, obshchestvo i mezhduna-rodnoe nobelevskoe dvizhenie». Tambov: MINTS «Nobelistika», 2017. Вып. 6. С. 437–442.

DOI: 10.25586/RNUV9187.19.01.P.042

УДК 621.396.67

В.Т. Поляков, О.В. Попченко, Е.А. Тесла, М.В. Нагорняк

ВЕРТИКАЛЬНАЯ АНТЕННА С ДВУМЯ ИСТОЧНИКАМИ

Рассмотрена вертикальная антенна с двумя источниками, где второй источник заменяет традиционную удлиняющую катушку индуктивности. Обсуждаются некоторые положительные свойства такой антенны.

Ключевые слова: антенна, источники сигнала, удлиняющая катушка.