

Copyright © 2022 by Cherkas Global University



Published in the USA
 Russian Journal of Astrophysical Research. Series A
 Has been issued since 2015.
 E-ISSN: 2413-7499
 2022. 8(1): 48-53

DOI: 10.13187/rjar.2022.1.48
<https://rjar.cherkasgu.press>



Determination of Relative Coordinates based on Rangefinder Measurements from the Spacecraft

Victor Ya. Tsvetkov ^{a, *}

^a Research and Design Institute of design information, automation and communication on railway transport, Moscow, Russian Federation

Abstract

The article relates to the field of space geoinformatics and comparative planetology. The difference between space geoinformatics and terrestrial geoinformatics is shown. The great connection of space geoinformatics with geometry is noted in comparison with terrestrial geoinformatics. The most common methods of planetary exploration are space imagery and radar sensing. Laser sensing is mainly used for ranging only. The article proposes to use laser rangefinders for a new purpose. The article proposes a new method for measuring coordinates on the planet's surface, called Trinitarian. The technique allows, on the basis of measuring the distance to a point, to determine two more of its coordinates. The technique is applicable when the spacecraft moves in the gravitational field of the planet as an artificial satellite. The coordinates are called conditional because they are not measured in the coordinate system of the planet's surface or in the system of its center of mass, but in the coordinate system associated with the trajectory of the spacecraft. An analogy between this technique and the measurement of coordinates using global navigation satellite systems is shown. Coordinates are measured by measuring the range from two points of the spacecraft trajectory and measuring the baseline on the trajectory between the observation points. Calculation formulas are given and errors are analyzed. The relativity of coordinates is that the technique allows you to measure only two coordinates out of three. The technique is compared with the terrestrial analogue of the global navigation satellite system. The similarities and differences between the proposed Trinitarian methodology and the existing global navigation satellite system are shown. Further improvement of the methodology is proposed.

Keywords: space exploration, coordinate systems, determination of coordinates, spacecraft, trajectory, trinitarian model, pyramidal model, relative coordinates.

1. Введение

В настоящее время для исследования космического пространства все шире применяют земные науки. Новой наукой, объединяющей земные науки и космическое исследование является космическая геоинформатика (Bondur, Tsvetkov, 2015, Савиных, 2016). Эта наука развивается и ее методы применимы для исследования разных планет. Космическая геоинформатика близка сравнительной планетологии (Bean et al., 2017, Glassmeier, 2020). Это обусловлено тем, что Космическая геоинформатика ориентирован на исследование любых планет, а не только Земли. Одной из основных задач сравнительной планетологии (Tsvetkov, 2018) и космической геоинформатики является определение координат точек на

* Corresponding author
 E-mail addresses: cvj2@mail.ru (V.Ya. Tsvetkov)

поверхности планеты (Barmin et al., 2014) с борта космического аппарата. Космическая геоинформатика в отличие от земной геоинформатики (Савиных, Цветков, 2013) использует преимущественно дистанционные методы измерения без контакта с поверхностью планеты. Космическая геоинформатика использует методы геометрии и методы определения координат, применяемые в фотограмметрии и геодезии. В этих науках принято называть определение координат засечкой (Yang, 2021). Одной из основных задач при исследовании планет с борта космического аппарата (КА) является исследование геометрии планет и координирование точек на их поверхностях. Наиболее распространенными методами исследования планет являются космическая съемка и радиолокационное зондирование. Опыт исследования околоземного космического пространства (Barmin, et al., 2014) может быть перенесен на исследование других планет. Наряду с этими технологиями существует технология лазерного зондирования (Fukuchi, 2012). Она также применима для координирования точек и данная статья предлагает метод решения этой задачи. Однако методика лазерного зондирования (Халыков, 2018) является новой и для нее разработано мало технологий по расширенному ее использованию. Обычная методика лазерного зондирования определяет только дальности. В данной статье предлагается использовать лазерные дальномеры по новому назначению. Методика позволяет на основе измерения дальности до точки, определять еще две ее координаты.

2. Обсуждение и результаты

Постановка задачи включает следующие условия: космический аппарат или искусственный спутник планеты движется в поле тяготения планеты и участвует в ее вращении вокруг оси. Дополнительно он перемещается над ее поверхностью и периодически зондирует выбранные точки с помощью лазерного зонда или лидара. Условием для применения такой методики является наличие на поверхности планеты хорошо опознаваемых точек – марок. Если таких точек нет, то марка может быть установлена с борта космического аппарата путем ее опускания и посадки на поверхность планеты.

На космическом аппарате (КА) установлена аппаратура, координирующая его относительное перемещение по траектории. Это означает, что моменты времени зондирования планеты координаты КА и конкретно лазерного зонда известны и можно измерить базис между двумя точками наблюдения. Такое условие означает, что для двух точек траектории можно задавать локальную систему координат, относительно которой можно определять координаты точек планеты. Данная методика позволяет определять координаты планеты не в планетоцентрической систем, не в топоцентрической системе, а в локальной системе, связанной с орбитой космического аппарата.

Целесообразно использовать для описания методики термин информационная ситуация (Tsvetkov, 2012). На Рисунке 1 приведена информационная ситуация наблюдения точки М на поверхности планеты с траектории космического аппарата или спутника. S_1, S_2 – точки на траектории, задающие базис наблюдения, V – базис наблюдения, L_1, L_2 – расстояния от точек наблюдения до наблюдаемой точки М.

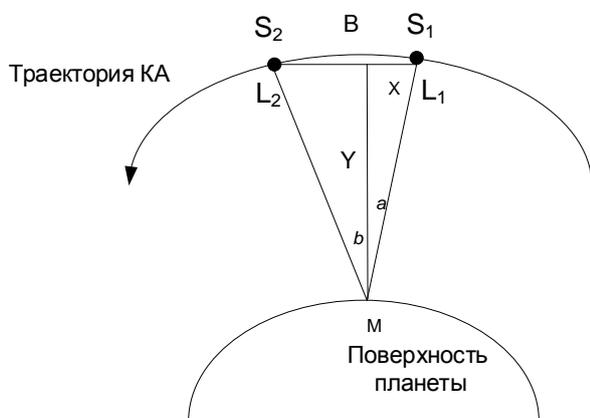


Рис. 1. Схема дальномерного наблюдения точки на поверхности планеты.

На **Рисунке 1** (a, b) – углы из точки M (на поверхности планеты) в точки наблюдения S_2, S_1 на орбите КА. Начало координат условно совпадает с точкой S_1 . Координата Y есть расстояние по нормали к базису от точки M на поверхности планеты, координата X есть координата точки M относительно начала S_1 .

Суть методики состоит в расчете площади треугольника S_1, S_2, M двумя способами: через периметр и через высоту и основание.

Для расчетов используем известные геометрические правила. Площадь треугольника S_1, S_2, M (**Рисунок 1**) можно определить через его периметр при известных длинах сторон B, L_1, L_2 .

$$S = (P (P-B) (P-L_1) (P-L_2))^{1/2} \quad (1)$$

В выражении (1) P – полупериметр, B – базис измерения, L_1 – расстояние от первой точки измерения, L_2 – расстояние от второй точки измерения.

Площадь треугольника S_1, S_2, M можно определить также через его основание B и высоту Y (нормаль)

$$S = 1/2 B Y \quad (2)$$

Выражение (1) позволяет определить площадь S по результатам наблюдений с орбиты. Зная площадь, из выражения (2) можно определить нормаль между базисом и точкой наблюдения M .

$$Y = 2 S / B \quad (3)$$

Одновременно Y и X являются координатами точки M в прямоугольной системе координат, начало которой находится в точке S_1 , ось OX направлена вдоль B , а ось OY направлена по нормали к B .

При известных Y и S можно определить угол a между нормалью и стороной L_1 .

$$\cos(a) = Y / L_1 \quad (4)$$

Координата X точки M определится как

$$X = L_1 \sin(a) = Y \operatorname{tg}(a) \quad (5)$$

Или с помощью теоремы Пифагора

$$X = (L_1^2 - Y^2)^{1/2}$$

Наблюдения могут быть многократными. На **Рисунке 2** показана информационная ситуация многократных измерений. В точке S_2 выполняют два измерения на точку M и на точку M_1 . Для первого измерения существует точка M , для второго точка M_1 . В точке S_2 производят измерение точки M и точки M_1 . Система координат XOY в точке S_1 преобразуется в систему координат $X'O'Y'$ в точке S_2 .

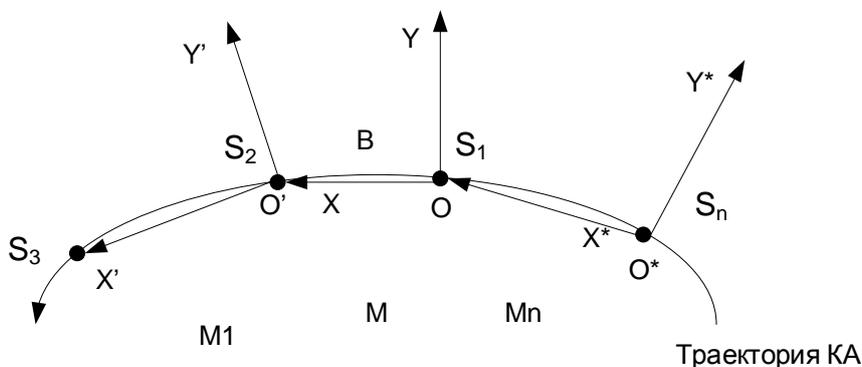


Рис. 2. Многократное измерение точек поверхности планеты

Фактически локальная система координат на траектории поворачивается, скользя по траектории. Измерения могут быть замкнутыми, если КА движется по орбите вокруг планеты. Наклон оси ОХ можно определить, следовательно, координаты всех точек можно пересчитать в единую систему координат. Такой пересчет осуществляется поэтапно.

Координаты точки М1 в новой ХОУ и старой Х'О'У' системе координат связаны соотношениями:

$$x_{M1} = x' \cos(\varphi_1) - y' \sin(\varphi_1) \quad (6)$$

$$y_{M1} = x' \sin(\varphi_1) + y' \cos(\varphi_1) \quad (7)$$

В выражениях (6), (7) x_{M1} , y_{M1} – координаты точки М1 в новой системе ХОУ; x' , y' – координаты этой же точки в системе измерений Х'О'У'. Угол φ_1 это угол поворота системы координат Х'О'У' относительно системы координат ХОУ. Таких углов может быть много. Столько сколько измерений точек, поэтому номер 1 означает первый угол поворота.

Выражения (6), (7) рекурсивно применяют ко всем координатам точек измерений М1, М2, ... Мп. Изменяется угол φ .

Таким образом, можно измерять сечение планеты бесконтактным методом. Недостаток метода в том, что он определяет только две координаты. Для измерения третьей координаты необходима дополнительная методика.

Предлагаемую методику определения координат можно назвать «плоской тринитарной» или «тринитарной», поскольку она использует теорию плоских треугольников.

3. Заключение

Предлагаемая методика позволяет измерять относительные координаты точек на поверхности планеты в системе координат, связанной с орбитой космического аппарата. Земным аналогом такой методики является глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС) ГЛОНАСС или GPS. Методику ГНСС можно назвать «пирамидальной» поскольку засечка моделирует четырехугольную пирамиду. В четырехугольном основании пирамиды находятся спутники, в вершине пирамиды находится определяемая точка. Общим для обеих методик является то, что выбирается система координат в околопланетном пространстве. Для ГНСС эта система связана с центром масс Земли и системой спутников на фиксированных замкнутых орбитах относительно планеты (Земля). Для предлагаемой методики эта система связана с точками траектории замкнутой или не замкнутой орбиты космического аппарата. Принципиальным геометрическим различием является то, что наземные системы ГНСС содержат более двух десятков спутников и засечку (определение трех координат на поверхности планеты) решают дальномерным способом по данным одновременного наблюдения четырех спутников (основание четырехугольной пирамиды). В тринитарной методике используется один космический аппарат, но определяют не три, а только две координаты для базиса из двух точек наблюдения с орбиты. Техническая реализация метода также различается. В технологии ГНСС используется радиоканал и суперпозиция частот, получаемых приемником на поверхности планеты. То есть приемник на поверхности планеты является обязательным условием методики ГНСС. В предлагаемой тринитарной методике приемник не нужен, но нужна хорошо опознаваемая точка на поверхности планеты. Развитием методики может стать определение координат с пары космических аппаратов, движущихся по разным орбитам, но имеющих возможность определения взаимного положения на орбите. В этом случае можно получать трехмерные координаты на поверхности планеты.

Литература

Савиных, Цветков, 2013 – Савиных В.П., Цветков В.Я. Геоинформатика как система наук // *Геодезия и картография*. 2013. 4: 52-57

Савиных, 2016 – Савиных В.П. (2016). Развитие космической геоинформатики // *Славянский форум*. 2(12): 223-230.

Халыков, 2018 – Халыков Е.Е. Применение методик лазерного сканирования и геоинформационных систем при изучении овражной эрозии (Казахстан) // *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. 2018. 5.

[Barmin et al., 2014](#) – Barmin I.V., Kulagin V.P., Savinykh V.P., Tsvetkov V.Ya. Near-Earth Space as an Object of Global Monitoring // *Solar System Research*. 2014. 48(7): 531-535. DOI: 10.1134/S003809461407003X

[Barmin et al., 2014](#) – Barmin I.V., Savinykh V.P., Tsvetkov V.Ya. (2014). Remote Method of Determining the Coordinates of Points on a Planetary Surface // *Solar System Research*. 48(7): 49-496. DOI: 10.1134/S0038094614070028

[Bean et al., 2017](#) – Bean J.L., Abbot D.S., Kempton E.M.R. A statistical comparative planetology approach to the hunt for habitable exoplanets and life beyond the solar system // *The Astrophysical Journal Letters*. 2017. 841(2): L24.

[Bondur, Tsvetkov, 2015](#) – Bondur V.G., Tsvetkov V.Ya. New Scientific Direction of Space Geoinformatics // *European Journal of Technology and Design*. 2015. 4(10): 118-126.

[Fukuchi, 2012](#) – Fukuchi T., Shiina T. (ed.). Industrial applications of laser remote sensing. – Bentham Science Publishers, 2012.

[Glassmeier, 2020](#) – Glassmeier K.H. Solar system exploration via comparative planetology // *Nature Communications*. 2020. 11(1): 1-4.

[Tsvetkov, 2012](#) – Tsvetkov V.Ya. Information Situation and Information Position as a Management Tool // *European researcher*. 2012. 12-1(36): 2166-2170.

[Tsvetkov, 2018](#) – Tsvetkov V.Ya. The Development of the Direction "Comparative Planetology" // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 2018. 4(1): 34-41.

[Yang, 2021](#) – Yang B. et al. Approaches for exploration of improving multi-slice mapping via forwarding intersection based on images of UAV oblique photogrammetry // *Computers & Electrical Engineering*. 2021. 92: 107135.

References

[Barmin, et al., 2014](#) – Barmin, I.V., Kulagin, V.P., Savinykh, V.P., Tsvetkov, V.Ya. (2014). Near-Earth Space as an Object of Global Monitoring. *Solar System Research*. 48(7): 531-535. DOI: 10.1134/S003809461407003X

[Barmin et al., 2014](#) – Barmin, I.V., Savinykh, V.P., Tsvetkov, V.Ya. (2014). Remote Method of Determining the Coordinates of Points on a Planetary Surface. *Solar System Research*. 48(7): 493-496. DOI: 10.1134/S0038094614070028

[Bean et al., 2017](#) – Bean, J.L., Abbot, D.S., Kempton, E.M.R. (2017). A statistical comparative planetology approach to the hunt for habitable exoplanets and life beyond the solar system. *The Astrophysical Journal Letters*. 841(2): L24.

[Bondur, Tsvetkov, 2015](#) – Bondur, V.G., Tsvetkov, V.Ya. (2015). New Scientific Direction of Space Geoinformatics. *European Journal of Technology and Design*. 4(10): 118-126.

[Fukuchi, 2012](#) – Fukuchi T., Shiina T. (2012). (ed.). Industrial applications of laser remote sensing. Bentham Science Publishing.

[Glassmeier, 2020](#) – Glassmeier, K.H. (2020). Solar system exploration via comparative planetology. *Nature Communications*. 11(1): 1-4.

[Halykov, 2018](#) – Halykov, E.E. (2018). Primenenie metodik lazernogo skanirovaniya i geoinformacionnyh sistem pri izuchenii ovrazhnoj erozii (Kazahstan) [Application of laser scanning techniques and geoinformation systems in the study of gully erosion (Kazakhstan)]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. 5. [in Russian]

[Savinyh, 2016](#) – Savinyh, V.P. (2016). Razvitie kosmicheskoy geoinformatiki [Development of space geoinformatics]. *Slavyanskij forum*. 2(12): 223-230. [in Russian]

[Savinyh, Tsvetkov, 2013](#) – Savinyh, V.P., Tsvetkov, V.Ya. (2013). Geoinformatika kak sistema nauk [Geoinformatics as a system of sciences]. *Geodeziya i kartografiya*. 4: 52-57. [in Russian]

[Tsvetkov, 2012](#) – Tsvetkov, V.Ya. (2012). Information Situation and Information Position as a Management Tool. *European researcher*. 12-1 (36): 2166-2170.

[Tsvetkov, 2018](#) – Tsvetkov, V.Ya. (2018). The Development of the Direction "Comparative Planetology". *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 4(1): 34-41.

[Yang, 2021](#) – Yang, B. et al. (2021). Approaches for exploration of improving multi-slice mapping via forwarding intersection based on images of UAV oblique photogrammetry. *Computers & Electrical Engineering*. 92: 107135.

Определение относительных координат на основе дальномерных измерений с КА

Виктор Яковлевич Цветков^{a, *}

^a Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте (НИИАС), Москва, Российская Федерация

Аннотация. Статья относится к области космической геоинформатики и сравнительной планетологии. Показано отличие космической геоинформатики от земной геоинформатики. отмечена большая связь космической геоинформатики с геометрией по сравнению с земной геоинформатикой. Наиболее распространенными методами исследования планет являются космическая съемка и радиолокационное зондирование. Лазерное зондирование применяют в основном только для измерения дальности. Статья предлагается использовать лазерные дальномеры по новому назначению. Статья предлагает новую методику измерения координат на поверхности планеты, названную тринитарной. Методика позволяет на основе измерения дальности до точки, определять еще две ее координаты. Методика применима при движении космического аппарата в поле тяготения планеты как искусственного спутника. Координаты называют условными, поскольку они измеряются не в системе координат поверхности планеты или в системе ее центра масс, а в системе координат, связанной с траекторией космического аппарата. Показана аналогия между данной методикой и измерением координат с помощью глобальных навигационных спутниковых систем. Координаты измеряют по измерениям дальности с двух точек траектории космического аппарата и измерению базиса на траектории между точками наблюдения. Даются расчетные формулы и анализируются погрешности. Относительность координат в том, что методика позволяет измерять только две координаты из трех. Методика сравнивается с земным аналогом глобальной навигационной спутниковой системой. Показано сходство и различие между предлагаемой тринитарной методикой и существующей глобальной навигационной спутниковой системой. Предлагается дальнейшее совершенствование методики.

Ключевые слова: космические исследования, системы координат, определение координат, космический аппарат, траектория, тринитарная модель, пирамидальная модель, относительные координаты.

* Корреспондирующий автор
Адреса электронной почты: cvj2@mail.ru (В.Я. Цветков)