

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ МОБИЛЬНОЙ МАШИНЫ

METHOD FOR DETERMINING THE DISPLACEMENT PARAMETERS OF AN AGRICULTURAL MOBILE MACHINE

А.С. ПАВЛЮК, д.т.н.
А.С. БАРАНОВ, к.т.н.

Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова, baranowas@mail.ru

A.S. PAVLYUK, DSc in Engineering
A.S. BARANOV, PhD in Engineering

Polzunov Altai State Technical University, baranowas@mail.ru

Технологии прецизионного сельского хозяйства, активно применяемые в развитых странах в настоящее время, приводят к значительному экономическому эффекту и повышению экологичности сельскохозяйственного производства. Основой высокоточного земледелия является применение спутниковых радионавигационных систем. Спутниковые навигационные системы обеспечивают возможность получения данных о характеристиках движения сельскохозяйственной мобильной машины. Однако указанные данные без использования базовых станций не обладают точностью, достаточной для выполнения ряда работ в сельскохозяйственном производстве. В то же время повышение точности ведет к несопоставимому росту затрат. Авторами был разработан способ определения положения мобильной машины, который может применяться для землеобработки в сельском хозяйстве. Технология обеспечивает повышение точности определения положения объекта на местности, а также снижение стоимости оборудования, используемого для этих целей. Способ реализуется с помощью установки по краям участка перемещения сельскохозяйственной мобильной машины двух уголкового отражателей. Отражатели снабжены индивидуальными фильтрами излучения. Передатчик импульса света и датчик первого типа устанавливаются на сельскохозяйственной мобильной машине. Передатчик излучает свет в направлении уголкового отражателя. Отраженный импульс света попадает в принимающее устройство и регистрируется датчиком второго типа. После регистрации отраженных импульсов определяют время между появлением первичного импульса и появлением отраженных импульсов. При известных значениях времени появления импульсов находят расстояние от сельскохозяйственной мобильной машины до уголкового отражателя и, соответственно, координаты машины на плоскости. Повышение точности полученных данных связано с уменьшением расстояния прохождения импульсов электромагнитного излучения. Таким образом, указанный способ рекомендуется использовать для повышения эффективности проведения посевных работ, выполнения междурядной обработки культур, внесения удобрений и уборки урожая.

Ключевые слова: сельскохозяйственная мобильная машина, положение на плоскости, уголкового отражатели, фильтры излучения, принимающее устройство, импульс света.

Technologies of precision agriculture, actively used in developed countries at the present time, lead to a significant economic effect and increase the environmental friendliness of agricultural production. The basis of high-precision agriculture is the use of satellite radio navigation systems. Satellite navigation systems provide the ability to obtain data on the characteristics of the movement of an agricultural mobile machine. However, these data without the use of base stations do not have the accuracy sufficient to perform a number of works in agricultural production. At the same time, increasing accuracy leads to an incomparable increase in costs. The authors developed a method for determining the position of a mobile machine, which can be used for agricultural land processing. The technology provides an increase in the accuracy of determining the position of the object on the ground, as well as a reduction in the cost of equipment used for these purposes. The method is realized by means of installation on the edges of the moving sector of the agricultural mobile machine of two corner reflectors. Reflectors are equipped with individual radiation filters. The light pulse transmitter and the first type sensor are mounted on an agricultural mobile machine. The transmitter emits light in the direction of the corner reflectors. The reflected light pulse enters the receiving device and is detected by a second type sensor. After recording the reflected pulses, the time between the appearance of the primary pulse and the appearance of reflected pulses is determined. At known values of the time of appearance of pulses, the distance from the agricultural mobile machine to the angle reflectors and, accordingly, the coordinates of the machine on the plane are found. The increase in the accuracy of the data obtained is associated with a decrease in the distance traveled by pulses of electromagnetic radiation. Thus, this method is recommended to be used to improve the efficiency of seeding, inter-row crop processing, fertilization and harvesting.

Keywords: agricultural mobile machine, position on the plane, corner reflectors, radiation filters, receiving device, light pulse.

Введение

Концепция прецизионного сельского хозяйства, активно реализуемая фермерскими хозяйствами в зарубежных странах, является актуальной и для российских сельскохозяйственных производителей. Внедрение передовых технологий прецизионного сельского хозяйства позволяет повысить урожайность, снизить экологическую нагрузку и, в конечном счете, ведет к значительному экономическому эффекту сельскохозяйственного производства.

Прецизионное земледелие предполагает получение точных данных о характеристиках движения объекта. Передачу такой информации обеспечивает применение приемников спутниковой радионавигационной системы (ПСРНС) [1].

Спутниковые радионавигационные системы (СРНС) в последние годы активно используются при выполнении мониторинга, проведении сельскохозяйственной обработки почвы, для работ, требующих высокой точности по время посевной кампании, а также обработки уже засеянных площадей, при внесении удобрений. Сельскохозяйственные производители имеют в своем распоряжении статистические карты (урожайности, внесения удобрений и другие), составляемые с помощью географических информационных систем, позволяющие осуществлять информационную поддержку производителей.

При выполнении сельскохозяйственных работ используется специальное оборудование, которое дает возможность моделировать карты посевных площадей, проектировать навигационную сеть, разрабатывать маршруты движения сельскохозяйственных мобильных машин [1–4].

Сигналы, передаваемые ПСРНС, содержат информацию, позволяющую последнему находить такие параметры, как координаты объекта в пространстве, его скорость движения и точное время. Такие приборы стали прототипами автонавигаторов, устанавливаемых на автотранспортных средствах.

К настоящему времени созданы две спутниковые системы: ГЛОНАСС (глобальная навигационная спутниковая система), развернутая Россией, и GPS NAVSTAR (Global Positioning System), развернутая США. В любом месте Земли ПСРНС принимает сигналы с навигационных космических аппаратов. Количество спутников, которые передают данные приемнику, определяется рядом внешних факторов и может достигать двенадцати единиц. В то же время, для определения текущего местопо-

жения приемника (широта, долгота, высота) число спутников не должно быть меньше четырех. При увеличении количества спутников погрешность определения координат нахождения объекта уменьшается.

Общеизвестным является то, что любое препятствие, находящееся между спутником и антенной приемника, затрудняет распространение радиоволн и, как следствие, оказывает негативное воздействие на уверенный прием. К таким препятствиям для частот, принимаемых приемниками спутниковых навигационных систем, можно отнести здания и сооружения, зеленые насаждения, стекла и т.п. Кроме того, в условиях ограниченного пространства возможно формирование отраженного сигнала, что также оказывает влияние на качество приема. На открытой местности погрешность определения координат местоположения объекта может составлять величину, превышающую минимально возможное значение в два раза, а в лесных массивах – до трех раз [1].

Технологии земледелия, использующие СРНС, обладают высокой стоимостью их внедрения и использования, соответственно, являются труднодоступными для большинства фермерских хозяйств России в современных экономических условиях. По этой причине необходима разработка альтернативных технологий получения точных данных о характеристиках движения объекта.

Цель исследования

Целью исследования является на основании известных способов фиксации местоположения транспортных средств на плоскости разработать способ, позволяющий определять параметры перемещения сельскохозяйственной мобильной машины на обрабатываемом участке поверхности, который обеспечит бы повышение точности определения положения объекта на местности, а также снижение стоимости оборудования, используемого для этих целей.

Материалы и методы

Проведем анализ существующих способов определения параметров перемещения транспортных средств на плоскости.

В отечественной литературе встречается незначительное количество работ российских авторов, посвященных данному вопросу. Один из таких способов предполагает использование гироскопического полукompаса, установленного на мобильной машине. С помощью указанного полукompаса производится измерение угловых отклонений продольной оси мобиль-

ной машины от заданного направления движения и углов поворота рулевого колеса [5].

Недостатками данного способа являются ограниченные возможности исследования динамики движения мобильной машины посредством определения курсового угла, так как при этом отсутствует возможность определения поперечных смещений мобильной машины, при которых курсовой угол не изменяется, а также низкая точность определения угловых отклонений мобильной машины вследствие влияния суточного вращения Земли на показания гироскопического полукомпыаса.

Следующим способом фиксации местоположения транспортных средств в пространстве является способ определения положения мобильной машины при движении, использующий несколько GPS-антенн. При его реализации используется электромагнитное излучение, полученное от передатчика спутниковой навигационной системы и воспринимаемое принимающим устройством. Данное устройство снабжено антеннами, установленными на концах жестких штанг в точках мобильной машины, не лежащих на одной прямой. Определение траектории движения и положения мобильной машины в пространстве производится в каждый момент проведения измерения координат путем определения координат положения не менее трех антенн. Определение координат различных точек мобильной машины при движении производится относительно неподвижной системы отсчета на основании положения данных антенн [6].

Помимо перечисленных существует способ определения положения мобильной машины при движении, при реализации которого осуществляется определение координат положения мобильной машины и ее продольной оси, то есть курсового угла мобильной машины при движении относительно неподвижной системы отсчета [7].

Общими основными недостатками вышеприведенных способов [6, 7] являются невысокая точность определения положения мобильной машины при движении из-за большого расстояния прохождения импульсов электромагнитного излучения от спутников космической навигационной системы. Прохождение импульсом такого большого расстояния связано с образованием различного типа помех. Также способам свойственна повышенная стоимость исполнения оборудования вследствие использования спутниковой навигационной системы. При этом дополнительное применение систем базовых станций для повышения точности измерения связано с удорожанием и усложнением спутниковых навигационных систем.

Для повышения точности определения положения сельскохозяйственной мобильной машины при движении и снижения стоимости применяемого оборудования предлагается разработанный на кафедре «Автомобили и автомобильное хозяйство» Алтайского государственного технического университета способ определения положения мобильной машины на плоскости [8].

Результаты и обсуждение

Способ реализуется с помощью установки по краям участка, по которому перемещается мобильная машина, двух уголкового отражателя с индивидуальными фильтрами излучения. Затем производят передачу первичного импульса электромагнитного излучения, являющегося импульсом света. Передатчик импульса света, а вместе с ним и датчик первого типа для регистрации первичного импульса установлены на мобильной машине. Отраженный импульс электромагнитного излучения от уголкового отражателя с индивидуальными фильтрами излучения попадает в принимающее устройство, в качестве которого используют преимущественно объектив типа «рыбий глаз» или линзу Френеля. Датчики второго типа, установленные на мобильной машине, производят регистрацию отраженных импульсов, имеющих разную частоту. После регистрации отраженных импульсов определяют время между появлением первичного импульса и появлением отраженных импульсов от уголкового отражателя. При известных значениях времени появления импульсов находят расстояние от мобильной машины до уголкового отражателя и, соответственно, координаты машины на плоскости.

Повышение точности определения положения мобильной машины при движении обусловлено значительным уменьшением расстояния прохождения импульсов электромагнитного излучения от передатчика к принимающему устройству.

Снижение стоимости изготовления применяемого оборудования для реализации способа обусловлено использованием передатчика и принимающего устройства, установленных на мобильной машине, при отсутствии необходимости применения сложной дорогостоящей спутниковой навигационной системы для получения импульса электромагнитного излучения.

На рис. 1 изображена схема реализации способа определения положения мобильной машины на плоскости.

Способ определения положения мобильной машины на плоскости реализуется при

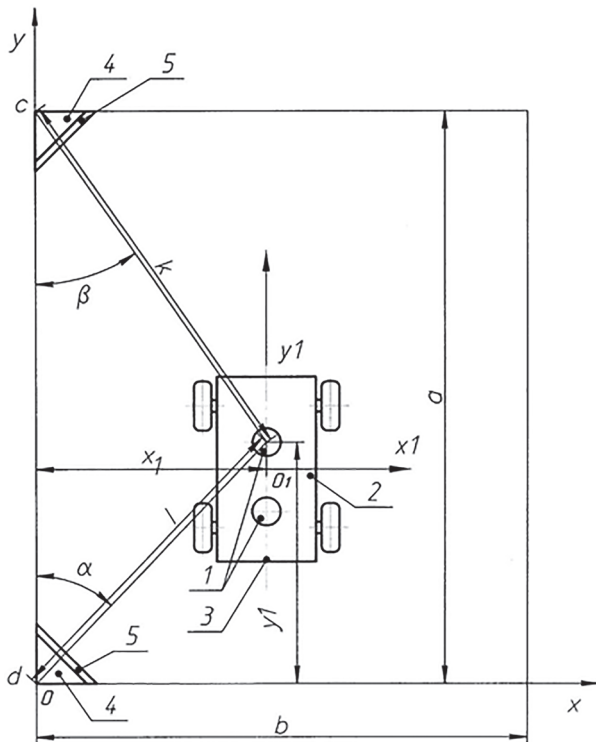


Рис. 1. Схема реализации способа определения положения мобильной машины на плоскости: XOY – неподвижная система отсчета; $X_1O_1Y_1$ – подвижная система отсчета, жестко связанная с мобильной машиной; a – размер участка перемещения мобильной машины по оси y ; b – размер участка перемещения мобильной машины по оси x ; c, d – точки установки уголковых отражателей по краям участка перемещения мобильной машины; k – расстояние от уголкового отражателя, установленного в точке c , до измерительного устройства, установленного на мобильной машине; l – расстояние от уголкового отражателя, установленного в точке d , до измерительного устройства, установленного на мобильной машине; α – угол между осью y неподвижной системы отсчета XOY и линией, соединяющей точку d установки уголкового отражателя; β – угол между осью y неподвижной системы отсчета XOY и линией, соединяющей точку c установки уголкового отражателя

помощи измерительного устройства 1, содержащего передатчик с датчиком первого типа, принимающее устройство с датчиками второго типа и блок управления на базе компьютера, связанный с передатчиком и принимающим устройством (на рис. 1 не показаны), и жестко закрепленного на мобильной машине 2 с продольной осью 3, уголковыми отражателями 4 с индивидуальными оптическими фильтрами 5 излучения, имеющими различные цвета, соответствующие цветам фильтров на датчиках второго типа. Количество принимающих устройств равно числу уголковых отражателей 4.

Способ реализуется следующим образом.

По краям участка местности движения сельскохозяйственной мобильной машины 2 устанавливают не менее двух уголковых отражателей 4 с индивидуальными фильтрами 5 излучения, с заранее известным расположением относительно участка.

При движении мобильной машины 2 производят передачу первичного импульса света в плоскости движения мобильной машины 2 от передатчика и регистрацию первичного импульса датчиком первого типа, установленным на мобильной машине. Световой поток распространяется в круговом направлении.

Затем производят восприятие отраженного импульса света от уголковых отражателей 4 с индивидуальными фильтрами 5 излучения через принимающее устройство и регистрацию отраженных импульсов, имеющих разную частоту, полученных от уголковых отражателей датчиками второго типа, установленными на мобильной машине. Таким образом, часть светового потока воспринимается уголковыми отражателями и возвращается в виде отраженного импульса в зону расположения передатчика с частотой, обусловленной установленным на нем индивидуальным фильтром определенного цвета. Отраженный импульс принимается датчиками второго типа и передается в блок управления.

Далее определяют время между появлением первичного импульса и появлением отраженных импульсов от уголковых отражателей 4, что реализуется блоком управления. По частоте отраженного импульса судят, от какого уголкового отражателя он вернулся.

При известных значениях времени появления импульсов находят расстояние от мобильной машины 2 до уголковых отражателей 4. Величины расстояний от измерительного устройства 1 до уголковых отражателей 4 определяют координаты измерительного устройства в неподвижной системе отсчета XOY по формулам:

$$k = CT_c/2,$$

где k – расстояние от уголкового отражателя, установленного в точке c , до измерительного устройства, установленного на мобильной машине; C – скорость распространения света; T_c – время прохождения импульса света от измерительного устройства, установленного на мобильной машине, до уголкового отражателя, установленного в точке c , и обратно;

$$l = CT_d/2,$$

где l – расстояние от уголкового отражателя, установленного в точке d , до измерительного

го устройства, установленного на мобильной машине; T_d – время прохождения импульса света от измерительного устройства, установленного на мобильной машине, до уголкового отражателя, установленного в точке d , и обратно.

Потом находят по нижеприведенной зависимости координаты машины 2 на плоскости:

$$x^1 = (l^2 - y_1^2)^{0,5},$$

где x_1 – координата мобильной машины по оси x ; y_1 – координата мобильной машины по оси y ;

$$y^1 = (l^2 - k^2 + a^2) / 2a,$$

где a – размер участка перемещения мобильной машины по оси y .

Установка дополнительно одного или нескольких измерительных устройств 1 позволит определить ориентацию продольной оси 3 мобильной машины 2 относительно неподвижной системы координат XOY . Угол наклона продольной оси относительно оси OX определяют из следующего соотношения:

$$\alpha = \arccos((y_1 - y_2) / \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}).$$

Также для определения положения продольной оси мобильной машины возможна установка дополнительно одного или нескольких измерительных устройств с другими частотами излучения.

Заключение

Использование предлагаемого изобретения [8] по сравнению с известными способами обеспечивает повышение точности определения положения мобильной машины при движении и снижение стоимости изготовления оборудования для реализации способа. Указанный способ может применяться для повышения эффективности проведения посевных работ, выполнения междурядной обработки культур, внесения удобрений и уборки урожая.

Литература

1. Соловьев Ю.А. Системы спутниковой навигации. М.: Эко-Трендз, 2000. 270 с.
2. Lowenberg-DeBoer Jess. The Precision Agriculture Revolution // Foreign Affairs. 2015. Vol. 94. No. 3. Режим доступа: <https://www.foreignaffairs.com/articles/united-states/2015-04-20/precision-agriculture-revolution> Дата обращения 27.02.2017).
3. Yousefi1 M.R., Razdari A.M. Application of GIS and GPS in Precision Agriculture // International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research. 2015. Vol. 3. No. 1. pp. 7–9.
4. Tayari1 E., Jamshid A.R., Goodarzi H.R. Role of GPS and GIS in precision agriculture // Journal of Scientific Research and Development. 2015. Vol. 2. No. 3. pp. 157–162.
5. Цимбалин В.Б., Кравец В.Н., Кудрявцев С.М., Успенский И.Н., Песков В.И. Испытания автомобилей. М.: Машиностроение, 1978. 199 с.
6. Павлюк А.С., Павлюк С.А., Ашихмин Д.В. Способ определения положения мобильной машины при движении: патент на изобретение № 2288451, Российская Федерация. Опубликовано 27.11.2006. Бюл. № 33.
7. Hrovat D.D., Tseng H.E., Yester J.L. Vehicle Dynamics Measuring Apparatus and Method Using Multiple GPS Antennas. Patent US, no. 6671587, 2003.
8. Павлюк А.С., Баранов А.С. Способ определения положения мобильной машины на плоскости: патент на изобретение № 2608792, Российская Федерация. Опубликовано 24.01.2017. Бюл. № 3.

References

1. Solov'ev Yu.A. Sistemy sputnikovoy navigatsii [Systems of satellite navigation]. Moscow: Eko-Trendz Publ., 2000. 270 p.
2. Lowenberg-DeBoer Jess. The Precision Agriculture Revolution // Foreign Affairs. 2015. Vol. 94. No. 3. URL: <https://www.foreignaffairs.com/articles/united-states/2015-04-20/precision-agriculture-revolution> Data obrashcheniya 27.02.2017).
3. Yousefi1 M.R., Razdari A.M. Application of GIS and GPS in Precision Agriculture // International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research. 2015. Vol. 3. No. 1. pp. 7–9.
4. Tayari1 E., Jamshid A.R., Goodarzi H.R. Role of GPS and GIS in precision agriculture // Journal of Scientific Research and Development. 2015. Vol. 2. No. 3. pp. 157–162.
5. Tsimbalin V.B., Kravets V.N., Kudryavtsev S.M., Uspenskiy I.N., Peskov V.I. Ispytaniya avtomobiley. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1978. 199 p.
6. Pavlyuk A.S., Pavlyuk S.A., Ashikhmin D.V. Sposob opredeleniya polozheniya mobil'noy mashiny pri dvizhenii [Method for determining the position of the mobile machine while driving]: patent na izobretenie No 2288451, Rossiyskaya Federatsiya. Opublikovano 27.11.2006. Byul. No 33.
7. Hrovat D.D., Tseng H.E., Yester J.L. Vehicle Dynamics Measuring Apparatus and Method Using Multiple GPS Antennas. Patent US, no. 6671587, 2003.
8. Pavlyuk A.S., Baranov A.S. Sposob opredeleniya polozheniya mobil'noy mashiny na ploskosti [Method for determining the position of a mobile machine on a plane]: patent na izobretenie No 2608792, Rossiyskaya Federatsiya. Opublikovano 24.01.2017. Byul. No 3.