

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ И СИГНАЛА РАССОГЛАСОВАНИЯ В ЗАДАЧЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМИ ОБЪЕКТАМИ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

А. Д. Кононов, А. А. Кононов

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

Поступила в редакцию 15.02.2014 г.

Аннотация. Рассматриваются вопросы, связанные с синтезом алгоритмов управления рабочими машинами для согласования грубого и точного отсчетов разности фаз, определения координат и выработки сигнала коррекции движения мобильной техники в дорожном строительстве.

Ключевые слова: алгоритм, дистанционное управление движением, мобильные объекты.

Annotation. The problems, bound with synthesis of the control algorithms by working machines for the coordination of rough and precise references of a difference in phase, coordinates setting and development of a correction signal of driving of mobile technique in road building are considered.

Keywords: algorithm, full remote control by driving, mobile plants.

ВВЕДЕНИЕ

При автоматизации процесса дистанционного управления мобильными объектами, в частности, землеройно-транспортными машинами (ЗТМ) в дорожном строительстве [1], с помощью разностно-дальномерной системы [2] необходимо выбрать такую траекторию движения, которая определяла бы минимальные затраты времени на выполнение рабочего процесса и наименьшие погрешности при выполнении программы на специализированном вычислительном устройстве (СВУ). В [2] предложена радионавигационная система определения текущих координат подвижных объектов с использованием разнесенных передающих станций.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ. Пусть на участке обработки расположены станции-излучатели ст1, ст2, ст3 разностно-дальномерной системы (рис.1).

Для определения текущих координат x , y положения рабочего агрегата обозначим рас-

стояния от ЗТМ до ст1, ст2, ст3 соответственно r_1, r_2, r_3 . На выходе приемного устройства ЗТМ получим величины $a = r_3 - r_1$ и $b = r_2 - r_1$, пропорциональные разности фаз сигналов излучателей ст1-ст3 и ст1-ст2 соответственно.

Для исключения неоднозначности фазовых измерений используются грубый и точный отсчеты, а для получения необходимых разностей расстояний a и b с погрешностью точного отсчета следует совместить измеренные грубые $a_{Гизм}$, $b_{Гизм}$ и точные $a_{Тизм}$, $b_{Тизм}$ отсчеты.

Занесенные в СВУ измеренные величины разности фаз имеют размерности времени (мкс) и для перевода их в размерность расстояния следует воспользоваться следующими формулами

$$a_G^r = a_{Гизм} \cdot M_G \quad b_G^r = b_{Гизм} \cdot M_G$$

$$a_T^r = a_{Тизм} \cdot M_T \quad b_T^r = b_{Тизм} \cdot M_T,$$

где M_G и M_T – масштабные коэффициенты грубого и точного измерения;

$$M_G = \frac{\lambda_G}{T_G K_G N_G} = \frac{c T_G}{T_G K_G N_G} = \frac{c}{K_G N_G},$$

λ_T – длина волны для грубого отсчета (см);

T_T – период (с);

c – скорость света (см/с);

K_T – коэффициент перевода T_T в единицы измерения фазометра;

N_T – число (ансамбль) усреднений фазометра.

Аналогично

$$M_T = \frac{\lambda_T}{T_T K_T N_T},$$

где λ_T , T_T , K_T , N_T – соответствующие параметры для точного отсчета.

Формулу для M_T можно записать в виде

$$M_T = \frac{\frac{c}{f_T}}{\frac{1}{f_T - f_{\text{гет}}} K_T N_T} = \frac{c}{K_T N_T} \left(1 - \frac{f_{\text{гет}}}{f_T} \right),$$

где $f_{\text{гет}}$ и f_T – частоты гетеродина и точного отсчета.

После масштабирования из полученных значений расстояний a_T^r , a_T^r и b_T^r , b_T^r необходимо вычесть постоянные составляющие набега фаз (далее рассуждения проводятся только для одной разности расстояния a , так как для b все расчеты будут идентичны)

$$a_T = a_T^r - a_{oT} \quad a_T = a_T^r - a_{oT}.$$

Для совмещения отсчетов a_T и a_T разработан алгоритм, приведенный на рис. 2, который работает следующим образом:

1) определяются знаки a_T и a_T отсчетов;

2) если знаки не совпадают, то нормализуют точный отсчет по формулам

$$a_T = a_T + \lambda_T, \text{ при } a_T < 0,$$

$$a_T = a_T - \lambda_T, \text{ при } a_T > 0;$$

3) проверяется условие $a_T > \frac{\lambda_T}{2}$;

4) в зависимости от выполнения предыдущего условия определяется значение разности расстояний с погрешностью точного отсчета

$$a = ЦЧ \left(\frac{a_T \pm 0,25\lambda_T}{\lambda_T} \right) \cdot \lambda_T + a_T,$$

ЦЧ – вычисление целой части числа.

Аналогично вычисляется величина b .

Из геометрических соображений можно записать

$$\begin{aligned} r_2^2 &= (D-y)^2 + r_1^2 - y^2 \\ r_3^2 &= (D-x)^2 + r_1^2 - x^2 \\ r_1^2 &= x^2 + y^2 \end{aligned} \quad (1)$$

или

$$\begin{aligned} r_2^2 - r_1^2 &= D^2 - 2Dy \\ r_3^2 - r_1^2 &= D^2 - 2Dx \\ r_1^2 &= x^2 + y^2. \end{aligned} \quad (2)$$

Систему (2) легко привести к виду

$$\begin{aligned} a(a+2r_1) &= D^2 - 2Dx \\ b(b+2r_1) &= D^2 - 2Dy \\ r_1^2 &= x^2 + y^2. \end{aligned} \quad (3)$$

Исключая r_1 , получим

$$\left(\frac{D^2 - 2Dx - a^2}{2a} \right)^2 = x^2 + y^2, \quad (4)$$

$$\frac{D^2 - 2Dx - a^2}{a} = \frac{D^2 - 2Dy - b^2}{b}. \quad (5)$$

Определив y из (5) и подставив его в (4), приходим к уравнению

$$Ax^2 + Bx + C = 0. \quad (6)$$

Аналогично может быть получено уравнение

$$A_1 y^2 + B_1 y + C_1 = 0. \quad (7)$$

В (6) и (7)

$$\begin{aligned} A &= A_1 = a^2 + b^2 + D^2 \\ B &= \frac{D^2(D^2 - a^2) + b(a-b)(D^2 + ab)}{D} \\ B_1 &= \frac{D^2(D^2 - b^2) + a(b-a)(D^2 + ab)}{D} \\ C &= \frac{(a-b)^2(D^2 + ab)^2 - D^2(D^2 - a^2)^2}{4D^2} \\ C_1 &= \frac{(a-b)^2(D^2 + ab)^2 - D^2(D^2 - b^2)^2}{4D^2} \end{aligned} \quad (8)$$

Из (6), (7) находим текущие значения координат x , y местоположения ЗТМ в виде

$$x_{1,2} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad (9)$$

$$y_{1,2} = \frac{-B_1 \pm \sqrt{B_1^2 - 4AC_1}}{2A_1} \quad (10)$$

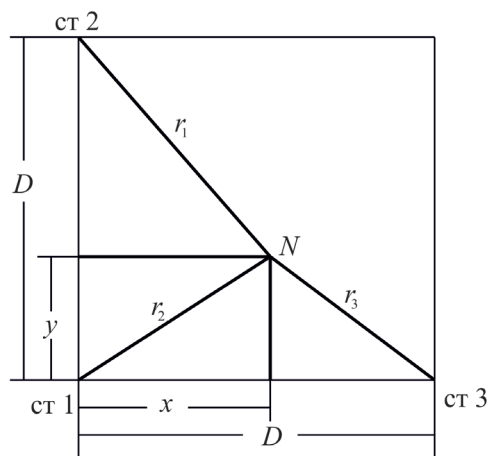


Рис. 1. Геометрическая схема разностно-дальномерной системы определения координат объекта

При этом из физической сущности в алгоритме расчета используются действительные значения корней уравнения.

Блок-схема алгоритма определения текущих координат x и y приведена на рис. 3. Алгоритм представляет собой циклическую процедуру, количество повторений n которой определяется числом дискретных отсчетов на траектории движения ЗТМ, обеспечивающим с учетом скорости обработки информации в навигационной системе точность дистанционного управления ЗТМ. В цикле (блоки 1–13) формальному признаку P , обеспечивающему поочередное вычисление координат x или y , присваивается начальное значение нуля (блок 2). Далее в блоке 3 заносятся зна-

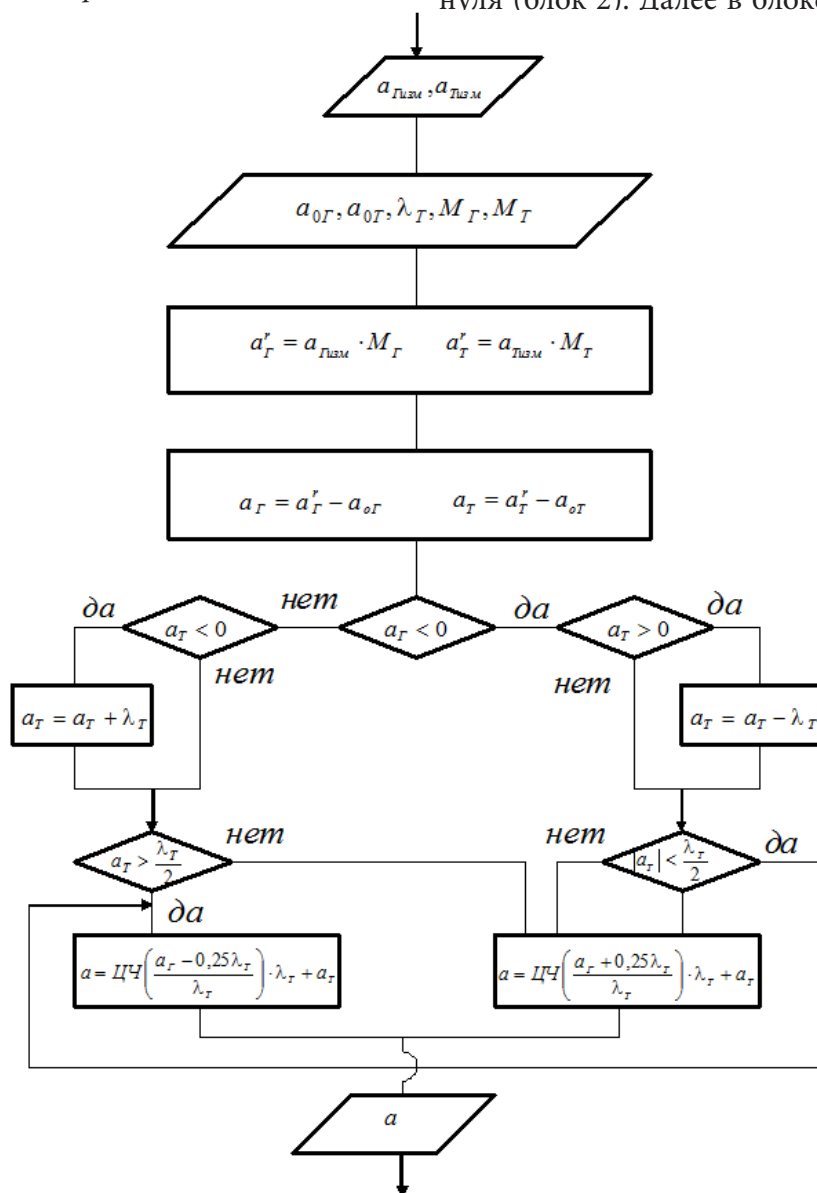


Рис. 2. Алгоритм совмещения отсчетов разности фаз

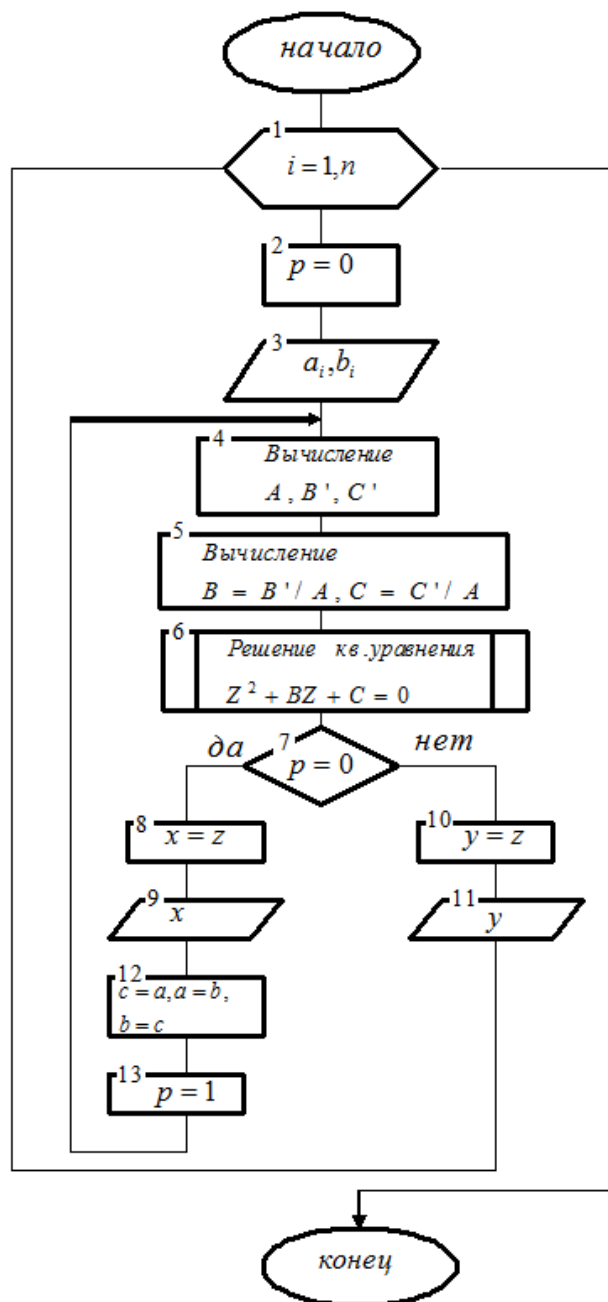


Рис. 3. Алгоритм вычисления координат x и y движущегося объекта

числения a и b из ячеек памяти или из рабочих регистров фазоизмерительного устройства. В блоках 4, 5 формируется квадратное уравнение $A'z^2 + B'z + C' = 0$, которое приводится к виду $z^2 + Bz + C = 0$ и решается в подпрограмме (блок 6). После вычисления координаты x и ее записи в память (блоки 8, 9), СВУ переходит к определению координаты y (блоки 10, 11), поменяв предварительно местами значения переменных a и b (блок 12). После вы-

числения y управление передается в начало цикла (блок 1), а в блоке 3 вводятся следующие отсчеты параметров a и b .

Подобный алгоритм используется как для вычисления значений a_i^0 и b_i^0 , характеризующих эталонную трассу, так и для измеряемых текущих параметров, связанных с разностями фаз в каналах ст1-ст2 и ст1-ст3. На практике вначале определяются параметры первого прохода ЗТМ, записываемые в качестве эталонных и задающие характер уравнений прямой и разворота.

Полученные в результате выполнения алгоритма координаты x и y являются исходными для программы коррекции движения по заданной траектории, которая является завершающей частью общей программы (рис. 4). Если текущая координата y больше, чем y_1 (ордината нижнего на рис. 1 края участка дорожного строительства) и меньше, чем y_2 (ордината верхнего края участка), то необходимо обеспечивать движение ЗТМ по прямому участку траектории. В алгоритме h – ширина захвата, x_0 и x_3 – границы полосы обработки. Значение переменной Δ определяется в этом случае как разность значений x_3 и x_T . Если значение y стало больше, чем y_2 , то программа переходит к выполнению верхнего разворота ($y_0 = y_{02}$, y_{02} – ордината центра верхнего разворота). Если значение текущей ординаты y стало меньше y_1 , то алгоритм обеспечивает нижний разворот ($y_0 = y_{01}$, y_{01} – координата центра нижнего разворота). При выполнении разворота вычисляется расстояние R_T от ЗТМ до центра разворота

$$R_T = \sqrt{(y - y_0)^2 + (x - x_0)^2}.$$

Значение переменной Δ определяется как разность текущего и заданного значений радиуса разворота R_0 . По значению Δ начинается выработка сигнала рассогласования, по которому осуществляется коррекция [3, 4] с помощью исполнительных механизмов (ИМ) [5, 6] траектории движения мобильного объекта.

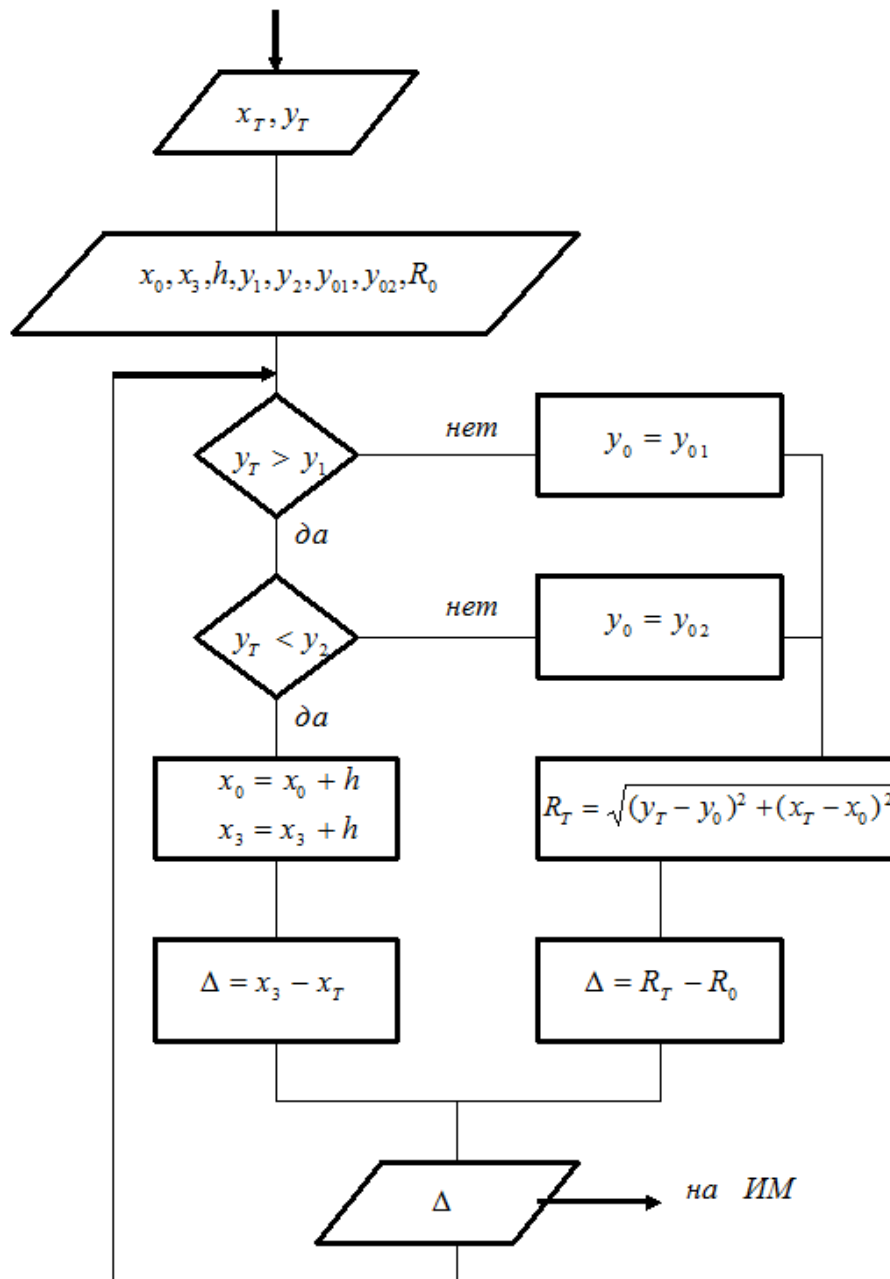


Рис. 4. Фрагмент алгоритма коррекции движения мобильного объекта по заданной траектории

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для успешной работы комплекса в дорожном строительстве без чрезмерного усложнения аппаратуры необходим точный вывод машины в начальную точку для обеспечения повторяемости траекторий движения при повторных циклах рабочего процесса, поэтому целесообразно определять координаты в отдельных дискретных точках, а между ними использовать системы слежения.

Системы слежения допускают сочетание предложенных методов с известными. Напри-

мер, системы пространственной обработки могут ставиться перед системами отслеживания траекторий. Это существенно упрощает схемы реализации и увеличивает эффективность комплекса в целом.

Для оптимизации работы системы необходимо осуществить комплекс измерений, связанных с особенностями функционирования конкретной машины и свойствами разрабатываемых грунтов [1].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Программа, соответствующая общему алгоритму управления реализуется с помощью специального вычислительного устройства, с использованием языка символического кодирования, содержащего команды и коды, что устраняет потери времени на трансляцию программы и повышает качество отслеживания объекта. Этим обеспечивается выполнение требований задачи дистанционного управления мобильными объектами в части достаточной точности определения местоположения машины и оперативного отслеживания уводов от заданной траектории при дорожном строительстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Устинов Ю. Ф., Кононов А. Д., Кононов А. А. Информационные технологии автоматизации управления отвалом автогрейдера при разработке грунта // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – Воронеж. – 2006. – № 2. – С. 169–173.

2. Авдеев Ю. В., Кононов А. Д., Кононов А. А. Разработка алгоритма определения координат в задаче дистанционного управления движением машинно-тракторных агрегатов // Межведомственный тематический сборник

Механизация и электрификация сельского хозяйства, Вып. 46, Минск, 2012. – С. 24–31.

3. Кононов А. Д., Авдеев Ю. В., Кононов А. А. Алгоритм формирования сигналов управления в системах следящего дистанционного управления землеройно-транспортными машинами // Изв. вузов. Строительство. – 2010. – № 1. – С. 81–86.

4. Авдеев Ю. В., Кононов А. Д., Кононов А. А., Варданян Н. А. Устройство цифровой обработки выходных сигналов координатомерной системы для дистанционного управления землеройно-транспортными машинами // Изв. вузов. Строительство. – 2011. – № 10. – С. 74–79.

5. Алгазинов Э. К., Матвеев М. Г., Тюкачев Н. А., Ховив А. М. Модели управления автоматическим повторным включением на электрических подстанциях // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – Воронеж. – 2011. – № 2. – С. 5–9.

6. Аверина Л. И., Бобрешов А. М., Шутков В. Д. Адаптивный цифровой метод уменьшения внеполосного излучения усилителей мощности // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – Воронеж. – 2013. – № 1. – С. 82–88.

Кононов Александр Давыдович – к.ф.-м.н, проф. кафедры информатики и графики Воронежского государственного архитектурно-строительного университета, тел. (473) 293-31-83. Email: kniga16@mail.ru

Кононов Андрей Александрович – д.т.н, проф. кафедры информатики и графики Воронежского государственного архитектурно-строительного университета, тел. (473) 223-98-36. Email: kniga16@mail.ru

Kononov A. D. – Candidate of physics.-math. Sciences, Professor of the dept. of Computer science and graphs, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, ph. (473) 293-31-83. Email: kniga16@mail.ru

Kononov A. A. – Doctor of technical sciences, Professor of the dept. of Computer science and graphs, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, ph. (473) 223-98-36. Email: kniga16@mail.ru