

Алгоритм управления автономными объектами в сложных труднопрогнозируемых условиях промышленной заготовки древесины

Н.В. Казаков, А.В. Абузов

Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск

Аннотация: В статье изложены особенности разработанного алгоритма управления автономными объектами промышленного лесопользования в реальных условиях эксплуатации под пологом леса. Существенно сложной задачей, стоящей перед разработчиками в представленном алгоритме, являлось практическое отсутствие глобальной навигации в местах использования потенциальных автономных объектов промышленного лесопользования. Таким образом, единственной альтернативой являлись алгоритмы локального позиционирования, которые также были неработоспособными в реальных условиях эксплуатации под пологом леса. Проблема усугублялась высокими требованиями к точности определения местоположения не столько для автономных объектов, сколько к точности позиционирования относительно предмета труда контактных элементов технологического оборудования, непосредственно реализующего операции процесса промышленной заготовки древесины. Разработанная концепция локального позиционирования не имеет аналогов в мире, относится к алгоритмам последнего поколения, созданных авторами на основе математического моделирования операций процесса промышленного лесопользования и реализованного в зарегистрированные программные комплексы для управления информационными потоками, обеспечивающими устойчивое функционирование автономных объектов промышленного лесопользования в реальных условиях эксплуатации.

Ключевые слова: алгоритм, метод, синтез, технология позиционирования, способ управления, цифровая модель, автоматизация, цифровизация, моделирование.

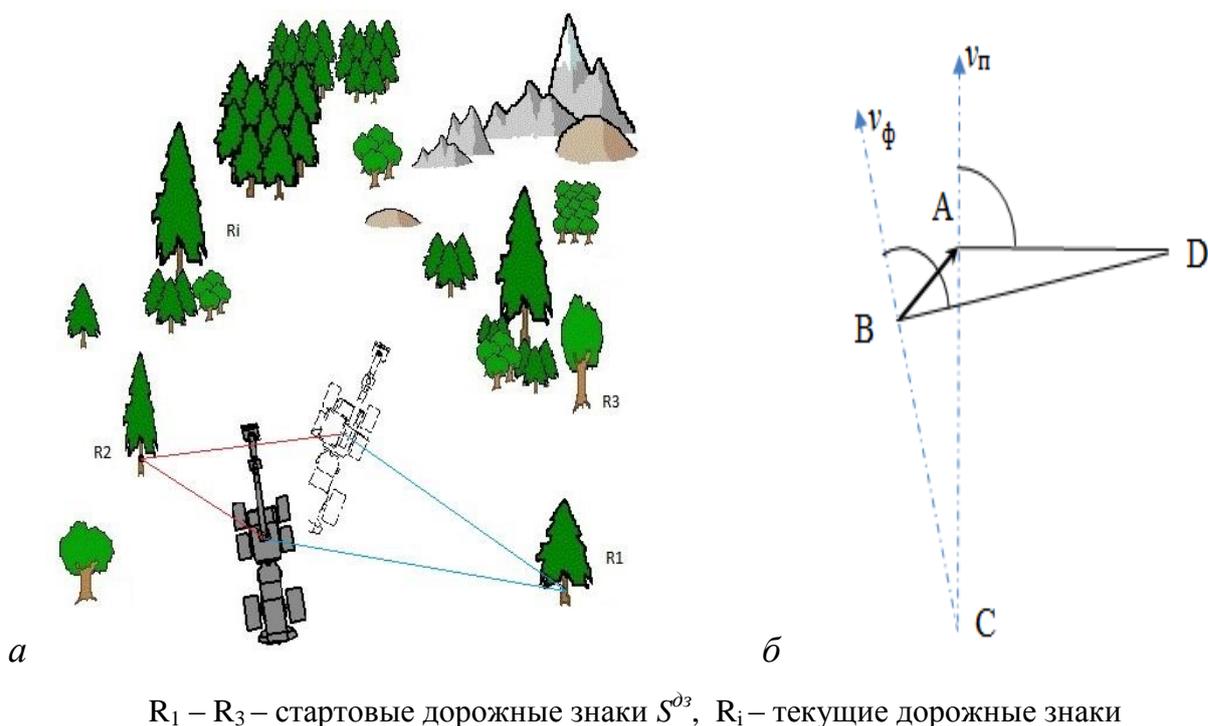
Алгоритм автоматического управления автономными объектами промышленного лесопользования (далее АПЛ), выполнен на базе картографирования лесного участка и деревьев, заключается в применении бортовых средств локального позиционирования контактных элементов оборудования и шасси АПЛ [1]. Проведенные лабораторные, полевые и вычислительные эксперименты с моделью системы автоматического управления (далее САУ), на базе локального позиционирования подтвердили ее эффективность в реальных условиях лесосеки. Использование бортового лазерного сканера кругового обзора (далее БЛКО) в сочетании с САУ АПЛ, построенного на применении виртуальной среды лесосеки, потенциально

обеспечит решение задачи позиционирования базы АПЛ и управления его исполнительного оборудования с требуемой точностью и низкими затратами.

Любой производственный процесс — это сложная многоступенчатая задача [2-4], что определяет необходимость выделения области, отражаемой в данной работе: это непосредственно описание предмета труда, среды функционирования техники и операции технологического процесса [1, 5, 6]. В целях обеспечения требуемой точности локального позиционирования опорных точек АПЛ под пологом леса и обеспечения гарантированной работоспособности автоматически управляемых лесосечных агрегатов в реальных условиях, необходимо и достаточно применение комплексов бортовых лазерных дальномеров кругового обзора (далее БЛКО) и синхронизации данных, получаемых при обработке облаков точек с виртуальной средой цифровых двойников среды предметов труда [1]. Основное содержание совокупности методов моделирования и управления информационными и материальными потоками, отождествляемыми с операциями производственного процесса [5, 6], а также автоматического управления функционированием лесных агрегатов, раскрывается на схемах (рис. 1 а, б) и в приведенном ниже алгоритме.

Входящие в алгоритм визуально-математические модели среды функционирования и ее компонентов предложено распределить на два блока, включающих подготовительный этап и непосредственно этап локального позиционирования опорных точек автономных объектов и автоматического управления их функционированием [7, 8].

Подготовительный этап включает сбор и формализацию знаний о предмете труда, местности и прочих природно-производственных условиях, выполнение планирования операций и формирования программ автоматического управления АПЛ.



$R_1 - R_3$ – стартовые дорожные знаки S^{03} , R_i – текущие дорожные знаки

Рис. 1. Схемы работы позиционирования и управления автономного объекта

1) Создание визуально-математических моделей рельефа местности, деревьев древостоя и их атрибутов на основе иерархического зондирования участков лесного фонда и другой доступной информации [1, 4] и др.

2) Иерархическое моделирование и планирование работ в виртуальной среде древостоя, а также формирования программ автоматического управления автономными объектами и их исполнительного технологического оборудования [1, 9].

3) Создание и отладка программ САУ АПЛ, построенных на виртуальных технологиях позиционирования, математических и пространственных моделях, определенных в п.1 и п.2, а также функциональных зависимостях исполнительного технологического оборудования, подробно представленных в работах [1, 3, 4] и др.

После выполнения (п. 1-3) алгоритма, приступаем к основному этапу.

4) Прибытие АПЛ на стартовую точку реальной лесосеки осуществляется в соответствии с программой САУ (п.3).

5) Сканирование БЛКО (см. рис. 1) реальной лесосеки и последующая обработка данных, а также выполнение процедуры их сравнения с данными виртуальной среды функционирования АПЛ и ее цифровой моделью (далее ЦМ) (п.2) осуществляется автоматически, в соответствии с программой САУ АПЛ (п.3). В случае расхождения данных позиционирования фактической стартовой точки и ее виртуального образа (см. рис. 1) выполняется корректировка программы САУ АПЛ на величину стартовой ошибки позиционирования опорной точки (далее O^T) АПЛ и, соответственно, синхронизация виртуальной и реальной среды.

б) Корректировка позиционирования опорной точки O^T АПЛ выполняется с учетом ограничений, накладываемых условиями реальной среды, и определяет траекторию перемещения АПЛ в требуемую точку (1) с мнимой стартовой точки (2):

$$(x_i, y_i, z_i), i = 0, \dots, (n-1), \text{ где } n - \text{ узлы сетки точек траектории,} \quad (1)$$

$$(x'_i, y'_i, z'_i), i = 0, \dots, (n-1). \quad (2)$$

Преобразование данных (2) выполняются таким образом, чтобы стартовая и требуемая точки траектории после корректировки позиционирования опорной точки O^T АПЛ совпали, т. е. выполнялось условие (3):

$$x'_0 = x_0, y'_0 = y_0, z'_0 = z_0, x'_{n-1} = x_{n-1}, y'_{n-1} = y_{n-1}, z'_{n-1} = z_{n-1}, \quad (3)$$

Корректировка траектории позиционирования опорной точки O^T АПЛ производится путем её замены на полином порядка m :

$$x'_i = F_m(i) = \sum_{j=0}^m ax_j i^{m-j} \quad (4)$$

где коэффициенты полинома ax_j (здесь и далее формулы для координат y и z аналогичные) находятся из системы линейных алгебраических уравнений (5):

$$\left\{ \sum_{i=0}^{n-1} [(F_m(i) - x_i) i^{m-j}] = 0, \quad j = 0 \dots m \right. \quad (5)$$

Составляются системы линейных алгебраических уравнений (6):

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^{n-2} [(F_m(i) - x_i) \cdot i^{m-j}] = 0, \quad j = 0 \dots (m-2); \\ F_m(n-1) - x_{n-1} = 0, \quad (m-1); \\ F_m(0) - x_0 = 0, \quad m. \end{array} \right. \quad (6)$$

7) Перемещение АПЛ (осуществляется в соответствии с его программой управления) по смоделированной трассе к первой (далее i -й) технологической стоянке, где выполняет соответствующую итерацию действий, предусмотренных технологическим заданием для i -й стоянки вплоть до выполнения всей программы управления и соответственно процесса заготовки древесных ресурсов.

8) Учет всех изменений и перемещений предметов труда, а также выполняемых действий АПЛ регистрируется только в части их отклонения от программы САУ АПЛ, что позволяет фиксировать их в режиме реального времени, например, на сервере диспетчера.

Таким образом, разработанные метод и алгоритм управления АПЛ (обеспечивающие и необходимую точность двухкомпонентного иерархического позиционирования и управления под сомкнутым пологом леса) дают потенциальную возможность прецизионно в автоматическом режиме выполнять технологическое задание в любое время суток.

Проведенные авторами лабораторные, полевые и вычислительные эксперименты [3] с лазерными дальномерами и компьютерной моделью процесса локального позиционирования подтвердили эффективность САУ

АПЛ, комплексированную БЛКО и виртуальной средой древостоя в реальных условиях в любое время суток. Применение разработанной конфигурации САУ АПЛ позволяет создать автоматически функционирующий автономный объект [7-9] для реальных условий на существующих машиностроительных центрах и не прибегать к разработке мобильного лесного робота с «полноценным» автономным управлением [10].

Вычислительные эксперименты с компьютерной моделью процесса управления АПЛ в условиях среды, в рамках указанной конфигурации и параметров прибора локального позиционирования АПЛ подтвердили эффективность САУ, комплексированную БЛКО и САУ с виртуальными моделями местности и древостоя.

Литература

1. Казаков Н.В. Промышленное лесопользование. Цифровизация и автоматизация: Монография – М.; Вологда: Инфра-Инженерия, 2022. – 188 с.
2. Садетдинов М.А., Кривошеева Р.Н. Метод реконструкции систем автоматического управления лесозаготовительных машин // Инженерный вестник Дона, 2017, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4279.
3. Рябухин П.Б., Кривошеева Р.Н. Программный комплекс учета и маркирования древесины. Свид. об офиц. рег. программы для ЭВМ № 2018615134. – М.: Роспатент. – 2018. – Бюл. №5. URL: fips.ru/iiss/document.xhtml?facesredirect=true&id=d15b62ad2d1d48b3a5c3d6d9a948739d
4. Казаков Н.В., Абузов А.В. Автоматизированные системы управления процессами промышленного лесопользования // Инженерный вестник Дона, 2014, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2014/2426.

5. Аллакулиев Ю.Б. Идентификация системы сбора, передачи и отображения информации Узла связи Берегового центра управления автономными необитаемыми подводными аппаратами // Инженерный вестник Дона, 2019, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2019/5985.

6. Бородин И.Ф., Андреев С.А. Автоматизация технологических процессов и системы автоматического управления: учебник для вузов / 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2019. - 386 с.

7. Parker R., Bayne K., Clinton P.W. Robotics in forestry. // New Zealand Journal of Forestry. 2016. URL: researchgate.net/publication/301650438/.

8. Morales D.O., Westerberg S., La Hera P.X., Mettin U., Freidovich L., Shiriaev A.S. Increasing the Level of Automation in the Forestry Logging Process with Crane Trajectory Planning and Control. // Journal of Field Robotics, Volume 31, Issue 3, 2014. - pp. 343-363.

9. Казаков Н.В., Абузов А.В. Машина для лесопользования / Пат. 2761884 РФ, А01G 23/00. – № 2021113101; заявл. 05.05.2021. опубл.: 13.12.2021. – Бюл. №35. URL: fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=0b5f52af82900c527378f0cf5b4e9209

10. Каманин В.В., Юрескул А.Г., Попадьян А.Н. Моделирующий комплекс для отладки системы управления автономным подвижным объектом / Пат. 2662331 РФ. 2018. Бюл. № 21. URL: yandex.ru/patents/doc/RU2662331C1_20180725

References

1. Kazakov N.V. Promy`shlennoe lesopol`zovanie. Cifrovizaciya i avtomatizaciya [Industrial forestry. Digitalisation and automation]: Monografiya Moskva; Vologda: Infra-Inzheneriya, 2022, 188 p.

2. Sadetdinov M.A., Krivosheeva R.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2017, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4279/
3. Ryabukhin P.B., Krivosheeva R.N. Rospatent, Moskva, 2018, Bjul. №5. URL: fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=d15b62ad2d1d48b3a5c3d6d9a948739d
4. Kazakov N.V., Abuzov A.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2014, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2014/2426/.
5. Allakuliev Yu.B. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2019/5985/.
6. Borodin, I.F., Andreev S. A. Avtomatizaciya texnologicheskix processov i sistemy` avtomaticheskogo upravleniya [Automation of technological processes and automatic control systems]. Moskva: Izdatel`stvo Yurajt, 2019. 386 p.
7. Parker R., Bayne K., Clinton P.W. New Zealand Journal of Forestry. 2016. URL: researchgate.net/publication/301650438/.
8. Morales D.O., Westerberg S., La Hera P.X., Mettin U., Freidovich L., Shiriaev A.S. Journal of Field Robotics, Volume 31, Issue 3, 2014. pp. 343-363.
9. Kazakov N.V., Abuzov A.V. Mashina dlya lesopol`zovaniya [Machine for forest management] Pat. 2761884 RF, 2021, Bjul. №35. URL: yandex.ru/patents/doc/RU2761884C1_20211213
10. Kamanin V.V., Yureskul A.G., Popad`in A.N. Modeliruyushhij kompleks dlya otladki sistemy` upravleniya avtonomny`m podvizhny`m ob`ektom [Simulation complex for debugging the control system of an autonomous moving object] Pat. 2662331 RF, 2018, Bjul. №21. URL: yandex.ru/patents/doc/RU2662331C1_20180725