

МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОНОМНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГРУППЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ, РЕШАЮЩЕЙ ОБЩУЮ ЗАДАЧУ

Е.И. Мосейко

Санкт-Петербургский государственный университет
Россия, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7-9
E-mail: e.moseyko@spbu.ru

К.С. Амелин

Санкт-Петербургский государственный университет
Россия, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7-9
E-mail: k.amelin@spbu.ru

Ключевые слова: групповое взаимодействие, программное моделирование, автономное управление.

Аннотация: Работа посвящена разработанной авторами мультиагентной системе управления. Децентрализованное групповое управление осуществляется за счет достижения консенсуса группой самоходных единиц сельскохозяйственной техники. В рамках работы спроектирован и реализован протокол взаимодействия автономных единиц техники, снабженных специализированным дополнительным блоком группового взаимодействия. Также разработан и реализован алгоритм группового достижения цели: обработки заданной полигоном площади с препятствиями заданного вида. Целевой задачей для самоходных единиц техники не является достижение оптимального значения площади обработки. Также не накладывается ограничений на количество проходов. Однако необходимо, чтобы вся заданная площадь была обработана с вероятностью, не ниже заданной пользователем с ошибкой, не более, чем заданной пользователем. Опытно проверено, что шум, вносимый в алгоритм реальными условиями, влияет на количество итераций в алгоритме, необходимых для выполнения задания, однако не влияет на выполнение задания с заданной вероятностью строго меньшей, чем в модельных условиях.

1. Введение

В настоящее время сельское хозяйство испытывает трудности с количеством персонала, выполняющего сельскохозяйственные работы, в частности в связи с массовыми миграциями из сельской местности в город. Также существенно увеличился возраст фермеров, работающих на земле. Большие сельскохозяйственные площади располагаются местах с плодородными почвами, часто на достаточно большом удалении от зон устойчивой связи. Рельеф поверхности и климат далеко не всегда позволяют использовать малогабаритную самоходную технику в течение длительного времени в связи с такими естественными факторами, как нарушение характеристик почвы для выполнения необходимого вида работ, а также нарушением ее устойчивости при выполнении работ.

Современный сельскохозяйственный транспорт предполагает использование подруливающих устройств и автопилотов, которые обеспечивают автоматическое вождение техники. Автопилоты для сельхозтехники могут корректировать движение машин по сигналам, которые поступают от системы параллельного вождения. Основные принципы работы подобных устройств описаны, как правило, в документации различного уровня [1, 2].

Зарегистрировано достаточно много изобретений, связанных с применением искусственного интеллекта в сельском хозяйстве [3].

Несмотря на огромный интерес к данной тематике как среди специалистов в области сельского хозяйства, так и инженеров (математиков, программистов), только в 2017 году в России появились первые прототипы, реально способные выйти в поле. В настоящее время появилась хоть какая-то статистика практического использования техники, снабженной модулями искусственного интеллекта [4].

Второе направление, которое активно развивается, в том числе в рамках нашей лаборатории, Центра математической робототехники и искусственного интеллекта СПбГУ, – это направление группового взаимодействия мобильных роботов. Работы в этом направлении представлены на различных конференциях, в т.ч. на международных [5].

Основой прикладной составляющей данных работ служит применение алгоритмов теории графов, которая активно развивается, давая теоретические обоснования используемым алгоритмам при моделировании сетей. Особенно стоит отметить работу, посвященную вопросу организации мобильных сетей на основе геометрических графов [6].

Данная работа посвящена исследованиям в направлении интеграции решений, созданных для реальной техники, работающей в полях, с последними исследованиями в области автономного группового взаимодействия и предлагает новаторское решение в виде дополнительного блока к имеющимся на рынке системам автопилота. Данный блок управления позволяет выпустить на одно поле несколько единиц техники с целью выполнения задачи за отведенное время, существенно меньшее, чем требуется одной машине. Это позволяет использовать подходящие погодные условия и существенно снизить риск понижения качества выполненных работ, вызванных внезапным дождем и подобными явлениями.

В рамках исследования ставится цель создать прототип независимого блока работы единиц техники в группе.

2. Постановка задачи

В рамках научно-исследовательской работы по созданию программно-аппаратного комплекса, предназначенного для выполнения сельскохозяйственных работ группой малогабаритных самоходных машин в сложных климатических условиях и работе на рельефе с препятствиями, в том числе в темное время суток, необходимо разработать, промоделировать и создать прототипы алгоритмов работы устройства управления автономной единицей техники в составе группы.

Особенностью этой работы является то, что сельхозработы осуществляются в том числе и в условиях отсутствия глобальной связи (мобильной сети, сети интернет). Подбор вычислительного оборудования и создание протокола взаимодействия между единицами техники являются частью разработки.

Для распознавания отдельных типов препятствий допустимо использовать специализированные устройства (датчики, микроконтроллеры, видеокамеры или

регистраторы), имеющие встроенные функции нейрораспознавания объектов данного типа.

Единица техники под управлением данного модуля перемещается по заданному алгоритму «по умолчанию» (от разработчиков). Алгоритм осуществляет обход с минимальным количеством пропусков и пересечений по площади «поля», осуществляя логирование трека.

Алгоритмы управления работают на устройствах автономно по заданному пользователем расписанию. Достижение консенсуса для выполнения задачи обеспечивается устройствами самостоятельно, т. е. при отсутствии центра управления.

Из постановки практической задачи известны следующие условия, которые считаются всегда выполнимыми:

- В рамках задачи единица техники перемещается по «Полю», границы которого могут быть автоматически распознаны. Границы могут быть двух видов: «Стена(забор)» / «Лес» или «Канавы».
- Единица техники, находящаяся под управлением данного устройства должна самостоятельно выполнять следующие наперед заданные и протестированные программы (маневры) по расписанию:
 1. Прямолинейное перемещение с заданной скоростью (не превышает 5-10 км/ч) на заданное расстояние, если на пути не встречаются препятствия.
 2. Адекватное перемещение из точки А в точку В при наличии препятствий на пути не дольше, чем за заданное время. Гарантируется, что время на выполнение задачи не менее, чем в 2 раза превышает расчетное, необходимое для оптимального кусочно-линейного перемещения с заданной скоростью движения);
 3. В заданной точке поворот на заданный угол с линейным смещением на заданное расстояние. Гарантируется отсутствие препятствий при выполнении маневра.
 4. Адекватное поведение при наличии препятствий при выполнении маневра (изменение угла и смещения с целью обхода препятствия на случайные).
 5. Распознает только 4 вида хорошо обозначенных препятствий:
 - Отдельно расположенный камень или группа камней/поваленных деревьев в диаметре не превышающие заданное значение. Обходится без изменения общего направления движения. Гарантируется, что препятствие «обходимо» по периметру за отведенное на тест время.
 - Отдельно стоящее дерево – обходится без изменения общего направления движения.
 - Граница поля вида «Стена (забор)» или «Лес».
 - Граница поля вида «Канавы».

2.1. Математическая модель

Рассмотрим однородный геометрический граф переменной топологии, т. е. такой набор G , где V – множество вершин (блоков взаимодействия единиц техники), f – отображение (локализация вершин), r – максимальный радиус действия приемопередатчиков вершин в проекции на заданную поверхность, S – ориентированная ограниченная поверхность, на которой располагаются вершины. Поверхность при этом не обязана быть выпуклой и включает в себя препятствия, как в распространении сигнала связи, так и любые, влияющие на время принятия решения при итерации «запрос-ответ» между узлами (вершинами графа). Т.к. граф имеет переменную топологию, т. е. является динамическим графом, то отображение и поверхность зависят от времени.

В нашей задаче при перемещении узлов может произойти значительное изменение топологии. Однако, согласно теории и экспериментам, описанным в [7], можно добиться достижения консенсуса с заданной вероятностью, используя только информацию о соседних узлах. Это существенно снижает вычислительную трудность алгоритма в «полевых» условиях, позволяя добиться непрерывного движения со скоростью около 5 км/ч.

2.2. Программное моделирование

Программное моделирование системы взаимодействия осуществлялось последовательно. Сначала были изучены отдельные алгоритмы, позволяющие оценить связность образованной сети и протестированы в системе MATLAB. Затем была получена оценка на идеальное время принятия решения, а так же оценено необходимое количество единиц техники для того, чтобы уложиться с «обработкой» поля за заданное время. Реализация моделей нашла применение в созданной в рамках работы библиотеки поддержания сети взаимодействия.

2.3. Программный прототип

Программное моделирование сети осуществляется посредством C/C++ библиотеки взаимодействия на основе сети easyMesh. В качестве узлов используются виртуальные машины с предустановленной ОС Debian 11 (она же может быть без проблем установлена на современные одноплатные компьютеры). Программное управление единицами техники осуществляется на смоделированном рельефе (триангулированная модель поверхности). Затем к прототипу управления были подключены детекторы и библиотека алгоритмов, поддерживающих связность сети взаимодействия.

Программный прототип увеличил время отклика по сравнению с модельным более, чем в 3 раза (с 300 мс, до почти 1 с). Тем не менее данного времени отклика достаточно, чтобы обрабатывать кадры, поступающие с частотой 4 кадра в секунду при движении со скоростью 1-2 м/с и достаточно для решения поставленной практической задачи с запасом по времени в 2 раза.

2.4. Реализация прототипа блока управления

Прототип блока управления реализован на основе одноплатного компьютера ASUS Tinker Board S R2.0 с 4Gb оперативной памяти. Для распознавания отдельных типов препятствий используются специализированные устройства (микроконтроллеры и регистраторы), имеющие встроенные функции нейрораспознавания объектов данного типа. Реализация на устройстве по сравнению с программным прототипом не внесла дополнительных задержек в вычисления. Однако перемещение на модельной «радиоуправляемой машинке» по реальному грунту снизило скорость с 2 м/с до 1.7 м/с за счет увеличения числа итераций алгоритма из-за внесения большого объема шума. Тем не менее, результат оказался приемлемым и был опробован на малогабаритной технике (культиваторах) в реальных условиях с тем же результатом. Проект находится в стадии оптимизации алгоритмов и расширения функциональных возможностей блока взаимодействия между узлами.

3. Заключение

В рамках проведенных исследований авторами разработана мультиагентная система, которая реализована как часть коммерческого продукта. Децентрализованное групповое управление осуществляется отдельным независимым устройством по

протоколу связи, реализованному на основе модификации публичной реализации ad-hoc сети [8], то есть не требующей никакого планирования, центрального контроллера или маршрутизатора. В рамках работы усовершенствован протокол взаимодействия внутри сети, добавлена поддержка команд взаимодействия с предложенным заказчиком автопилотом управления единицей техники, осуществлена и протестирована интеграция на опытных образцах техники в группах по 1, 2 и 4 единицы прототипов малогабаритной сельскохозяйственной техники на одном поле площадью 28 соток с искусственно добавляемыми на него препятствиями.

Для описанной выше опытной ситуации осуществлено программное моделирование. Также находится в стадии активной разработки фреймворк, позволяющий осуществлять моделирование поведения единиц техники данного вида при загрузке различных алгоритмов обработки.

Список литературы

1. Agrosom outback s lite. Система параллельного вождения: руководство по эксплуатации, 2007. 31 с.
2. https://bynder.hexagon.com/m/42394f960b3dcc8e/original/Hexagon_AG_Digital_Flyer_Ti10_EN.pdf (дата обращения 16.01.2024)
3. Труфляк Е.В., Дайбова Л.А. Патентные исследования в области точного сельского хозяйства, автоматизации и роботизации. Краснодар: КубГАУ, 2016. 72 с.
4. https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82:Cognitive_Agro_Pilot_%D0%A1%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0_%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%B2%D0%BE%D0%B6%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F#2022 (дата обращения 18.01.2024).
5. Erofeeva V., Granichin O. Improved Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation-based Consensus Algorithm for Tracking // 2023 31st Mediterranean Conference on Control and Automation (MED). IEEE, 2023. P. 850-855.
6. Миков А.И. Связность автономных беспроводных компьютерных сетей в местностях с плохой инфраструктурой. // Экологический вестник научных центров ЧЭС. 2014. № 1. С. 70-75.
7. Granichin O., Uzhva D. Cluster control of complex cyber-physical systems // Cybernetics and Physics. 2021. Vol. 10. P. 191-200.
8. <https://github.com/Coopdis/easyMesh> (дата обращения 16.01.2024).