

ДИНАМИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ КОЛЛАБОРАТИВНОГО РОБОТА

Представлен метод динамического планирования траектории коллаборативного робота – манипулятора, который реализует построение оптимальной траектории в процессе выполнения производственных задач, а также учитывает особенности кинематики как при планировании так и во время движения.

ВВЕДЕНИЕ

Совместная деятельность робота и человека в производственной ячейке какого-либо технологического процесса предполагает сложный алгоритм для задач управления, оптимизации траектории робота с учетом движений человека, в динамически изменяющейся рабочей среде. В данном случае стандартные алгоритмы и методы не подходят, так как не способны учитывать изменение времени выполнения операций роботом, вызванное необходимостью модифицировать, адаптировать движения робота для обеспечения безопасности человека при совместной работе. Известные методы планирования траектории либо обладают высокой вычислительной сложностью, либо не позволяют найти траекторию, оптимальную по длине пути, что не позволяет использовать их в системах, где необходимо планирование траектории в режиме реального времени с условием минимизации перемещения.[1]. Чтобы решить эту проблему, некоторые авторы [2] придерживались иерархического интегрированного подхода, который опирается на четкое различие между задачами и реализацией планирования движения.

1. АЛГОРИТМ ДИНАМИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИИ

Представленный алгоритм планирования траектории робота - манипулятора учитывает возникновение временных и пространственных ограничений и препятствий и устранение неопределенности, вызванной изменением положения человека. Ключевой особенностью этой работы является моделирование ожидаемого поведения человека на разных уровнях абстракций, связанных с временной неопределенностью и кинематикой как во время планирования траектории, так и во время выполнения. Разработан алгоритм планирования траектории коллаборативного робота, обеспечивающий адаптацию поведения робота к задачам человека в динамике, а также гарантирующий его безопасность.

На рисунке 1 показаны основные модули, составляющие предлагаемую структуру, и последовательность шагов, реализующих интегрированный подход управления.



Рис. 1 – Схема интеграции процессов планирования траектории и перепланирования во время выполнения

Во-первых, рассматриваемый производственный процесс анализируется с целью выявления возможных сценариев коопераций человека и робота (этап 1). На данном этапе идентифицируются совместные задачи, необходимые для реализации производственного процесса, ресурсы, которые могут выполнять эти задачи (человек, робот или одновременно), и эксплуатационные ограничения (например, ограничения приоритета или синхронизации). Затем для всех возможных совместных задач робота, то есть одновременных задач человека и робота, вычисляется набор траекторий робота (этап 2). В частности, планировщик движения отвечает за со-здание и выполнение траекторий робота и гарантирует безопасность оператора-человека, регулирующего скорость робота. Он опирается на оперативный и статистический анализ, способный идентифицировать объем, занимаемый человеком с определенной вероятностью во время выполнения заданий (Human Occupancy Volume-NOV) [3]. Учитывая NOV, характеризующийся различной вероятностью занятости, планировщик движения генерирует для каждой пары одновременных задач человек-робот набор возможных траекторий. Различные траектории, по которым робот может следовать, будут входить в объем, занимаемый человеком на разных уровнях, поэтому он характеризуется различным временем выполнения и допустимым интервалом. Идентифицированные задачи робота и человека вместе с соответствующей временной информацией (время выполнения и ее изменчивость) кодируются в модели временного планирования (этап 3). Эта информация позволяет планировщику задач характеризовать временную неопределенность, касающуюся фактической продолжительности задач человека и

робота. Учитывая эту модель, планировщик задач генерирует гибкий во времени план (этап 4), координирующий действия робота и человека, выбирая наиболее подходящие траектории в соответствии с ожидаемой рабочей средой. Планировщик задач синтезирует гибкие планы, учитывая временную неопределенность. Затем исполнитель плана выполняет его (этап 5), учитывая изменение траектории робота и человека. Надежность выполнения плана достигается за счет временной гибкости и механизма перепланирования, которые позволяют контроллеру адаптировать / изменять план и поведение робота в соответствии с фактическим поведением человека. Выбранные траектории робота (этап 6) выполняются планировщиком движения, который также реализует низкоуровневое разделение скорости и мониторинг изменения рабочей среды, чтобы избежать столкновений с человеком (этап 7).

II. СИСТЕМА ДИНАМИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИИ МАНИПУЛЯТОРА

Система динамического планирования траектории манипулятора должна решать следующие задачи: постановка задач, которые должен выполнить человек и робот; выбор наиболее подходящей траектории движения робота из набора траекторий; работа с временной неопределенностью во время генерации и исполнения плана; мониторинг исполнения и, в случае необходимости, управление возможными сбоями посредством перепланирования.

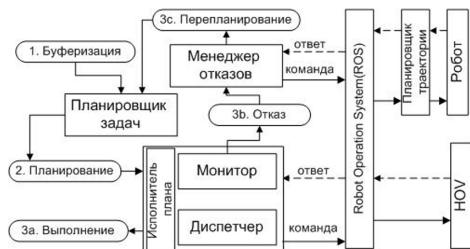


Рис. 2 – Архитектура системы с интегрированным управлением

На рисунке 2 представлена архитектура системы с интегрированным управлением, этапы которого представлены выше. Представлены основные процессы в системе, а также роль промежуточного программного обеспечения на основе Robotic Operating System (ROS) при планировании траектории. Используя основанный на временной шкале подход, система интерпретирует область планирования, относящуюся к сценарию HRC, рассматривая человека как неконтролируемый элемент, а робота - как частично контро-

лируемый элемент. Поведение человека моделируется как неуправляемое с нижними и верхними границами продолжительности задачи в соответствии с информацией, полученной в результате внутреннего анализа планировщика движения. Точно так же поведение робота моделируется как частично управляемое из-за совместного присутствия человека, что может повлиять на выполнение задачи робота-манипулятора в зависимости от положения человека во время операции. Уровень реализации моделирует внутренние ограничения, которые позволяют роботу фактически выполнить поставленную задачу. Временная характеристика задач движения робота использует информацию, собранную планировщиком движения (этап 1 на рис. 1), и инкапсулирует информацию о доступных траекториях во время выполнения. Согласно заданным правилам синхронизации моделируются возможное выполнение задач человеку и роботу и связанные с ними эксплуатационные требования. Предложенный подход интеграции задач и планирования движения позволяет планировщику задач генерировать конкретный сценарий коопераций и связанной модальности взаимодействия, решая наиболее подходящий способ выполнения задач робота, чтобы найти оптимальный баланс между безопасностью человека и пропускной способностью производственного процесса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан метод динамического планирования траектории коллаборативного робота, в котором интегрированы планирование движения робота и планирование задач, а их интеграция используется для максимального учета динамики рабочей среды, в которой промышленный робот находится вместе с человеком. Представленная схема интеграции процессов планирования траектории и перепланирования во время выполнения гарантирует устранение временной неопределенности.

1. Michalos, G., Kaltsoukalas, K., Aivaliotis, P., Sipsas, P., Sardelis, A., Chryssoulouris, G.: Design and simulation of assembly systems with mobile robots. *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 63(1) (2014) 181 – 184.
2. Wolfe, J., Marthi, B., Russell, S.J.: Combined task and motion planning for mobile manipulation. In: *Proceedings of the 20th International Conference on Automated Planning and Scheduling, ICAPS 2010, Toronto, Ontario, Canada, May 12-16, 2010.* (2010) 254–258.
3. Pellegri-nelli, S., Moro, F.L., Pedrocchi, N., Tosatti, L.M., Tolio, T.: A probabilistic approach to workspace sharing for human-robot cooperation in assembly tasks. *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 65(1) (2016) 57 – 60.

Снисаренко Светлана Валерьевна, аспирант кафедры систем управления, kafsu@bsuir.by
Научный руководитель: Кузнецов Александр Петрович, доктор технических наук, профессор, kafsu@bsuir.by