

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ИНСТРУМЕНТА РОБОТА

Предложены алгоритмы планирования траектории робота, основанные на представлении пространства поиска решения в виде ориентированного графа. Алгоритмы позволяют синтезировать плавные траектории, удовлетворяющие как технологическим, так и кинематическим ограничениям манипуляционной системы, а также ограничениям системы управления роботом.

Автоматизация процесса подготовки управляющих программ для промышленных роботизированных комплексов требует разработки алгоритмов, обеспечивающих автоматическую генерацию управляющей программы робота из геометрических моделей изделий и учитывающих множество ограничений и критериев оптимальности. Однако существующие системы автоматизированного проектирования не позволяют производить оптимизации движений робота по векторным критериям, с учетом кинематической избыточности манипуляционной системы. В общем случае для операций резки требуется только пять степеней подвижности манипуляционной системы. В тоже время в промышленности используются шестистепенные роботы, поэтому избыточный параметр, характеризующий вращение инструмента, может быть использован для сглаживания траектории в пространстве обобщенных координат. Для типичного промышленного робота, который обладает шестью степенями свободы, отображение из пространства задания $\{L\}$ в пространстве обобщенных координат $\{Q\}$ описывается функцией обратной задачи кинематики

$$Q = InvKin(L, M)$$

которая параметризуется индексом конфигурации M , позволяющим получить единственное решение. Этот индекс M принадлежит конечному множеству (обычно 8 элементов), которые соответствуют различным положениям робота, таким, как “локоть вверх/вниз”, “рука правая/левая”, “запястье плюс/минус”.

Для обеспечения непрерывности траектории в пространстве обобщенных координат, все используемые решения обратной задачи кинематики должны иметь одинаковый индекс конфигурации (т.е. принадлежать одному топологическому подмножеству). Следовательно, отображение из пространства задания в пространство обобщенных координат определяет несколько однопараметрических многообразий.[1]

$$Q(t, \gamma, M) = InvKin[L, (t, \gamma), M]; t \in [0, T],$$

которые должны рассматриваться отдельно во время оптимизации. Кроме того, определим аналогичное пространство для углов ориентации инструмента

$$\Phi(t, \gamma, M) = ToolAng[L, (t, \gamma), M]; t \in [0, T],$$

конкретный смысл которых зависит от соглашений, принятых производителем роботов. Например, углы a, b, c для роботов КУКА, o, a, t для роботов PUMA. С целью унификации, в этой статье углы ориентации будут обозначены как ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 .

Таким образом, для заданного индекса конфигурации M , функция $\gamma(t)$ определяет шесть траекторий суставов $q_k(t), k = 1..6$

$$\gamma(t) \rightarrow \{q_1(t), \dots, q_6(t)\},$$

каждая из которых может быть оценена следующими критериями качества:

- Диапазон изменения обобщенных координат

$$J_{\Delta}^k[q(t)] = \max_t[q_k(t)] - \min_t[q_k(t)],$$

- Отклонение обобщенных координат от предписанных значений r_i (например, от середины допустимого диапазона)

$$J_d^k[q(t)] = \max_t |q_k(t) - r_k|,$$

- Объем движений по обобщенным координатам

$$J_s^k[q(t)] = \int_0^T |q_k(t)| dt,$$

- Максимальная скорость суставов

$$J_v^k[q(t)] = \max_t [\dot{q}_k(t)],$$

Очевидно, что отображение из пространства задания в пространство углов ориентации инструмента порождает три траектории

$$\gamma(t) \rightarrow \{\phi_1(t), \dots, \phi_3(t)\},$$

которые также могут быть оценены с использованием тех же самых критериев: диапазона изменения обобщенных координат, отклонение обобщенных координат от предписанных значений, объем движений по обобщенным координатам, максимальная скорость суставов. Диапазон показывает ширину наименьшей трубки, содержащей график соответствующей функции. Отклонение характеризует смещение этой трубки относительно предписанного значения. Объем движений равен сумме модулей элементарных перемещений без учета направления движения. И, наконец, максимальная скорость оценивает гладкость рассматриваемой функции.

Следует отметить, что такие функционалы вычисляются для каждой обобщенной координаты (или угла ориентации). Поэтому результирующий показатель качества является вектором:

$$J(Q) = \text{col}[J(q_1(t)), \dots, J(q_6(t))],$$

$$J(\Phi) = \text{col}[J(\phi_1(t)), \dots, J(\phi_3(t))],$$

Наряду с рассмотренными выше векторными показателями качества, для оценки траекторий в пространстве обобщенных координат можно использовать скалярный критерий

- Максимум кинетической энергии

$$J_E[q(t)] = \max_t [\dot{q}(t)^T W \dot{q}(t)],$$

где W – матрица весовых коэффициентов, и

- Максимум инверсной мобильности

$$J_M[q(t)] = \max_t [1/\det(J(q(t)) - J(q(t))^T)],$$

где J – матрица Якобиана манипулятора.

Как следует из вышесказанного, рассматриваемые технические требования невозможно полностью описать с помощью скалярной целевой функции. Хотя в идеальном случае все рассмотренные выше критерии качества должны стремиться к нулю, на практике минимизация одной компоненты критерия может увеличить значение другой. Поэтому разработчик должен выбрать одну из методик, которые обычно используются в векторной оптимизации [2, 3]. При этом целесообразно предусмотреть следующие опции:

- назначение приоритета критериев критерия качества или выделение глобального критерия;

Снисаренко Светлана Валерьевна, магистрант кафедры электронных вычислительных средств БГУИР, snisarenko@bsuir.by.

Научный руководитель: Чумаков Олег Анатольевич, доцент кафедры систем управления БГУИР, кандидат технических наук, доцент, olegchumakov@bsuir.by.

- применение минимаксной методики, то есть оптимизация самого неблагоприятного варианта;

- назначения весов для объединения компонент векторного критерия при помощи линейной функции (метод взвешенной суммы).

Таким образом, при решении задачи оптимизации траекторий движения инструмента необходимо использовать избыточный параметр γ , чтобы избежать резких изменений угловых координат и углов ориентации рабочего органа манипулятора. Эти требования можно представить в виде условия минимума скорости движения суставов, диапазона изменения обобщенных координат и объема движений суставов. Однако, независимо от выбранной методики векторной оптимизации, соответствующие численные процедуры должны включать программы минимизации скалярных критериев. Разработанные алгоритмы, позволяющие оптимизировать перемещения инструмента робота при различных технологических операциях, интегрированы в САПР “ROBOMAX”.

1. Jiuchun Gao, Anatol Pashkevich, Stephane Caro. Optimization of the robot and positioner in a redundant fiber placement workcell. Mechanism and Machine Theory, 114, 2017, pp. 170-189.
2. М. М. Кожевников, О. А. Чумаков, Н. Э. Илюшин, А. В. Господ. «Генерация программных траекторий для роботов-манипуляторов точечной контактной сварки в среде с препятствиями» // Доклады БГУИР № 7 (109) 2017 г., – Минск.
3. М. М. Кожевников, О. А. Чумаков, И. Э. Илюшин, А. В. Старовойтов. Комбинированный метод синтеза траекторий сборочно-сварочных роботов-манипуляторов в рабочей среде с препятствиями. // Доклады БГУИР, – Минск, 2016, БГУИР, 12-18с.