

ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ МАНЕВРЕННОСТИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА, С ПОМОЩЬЮ АНАЛИЗА МНОГООБРАЗИЙ ТОЧЕК, ПРОСТРАНСТВА МГНОВЕННЫХ СКОРОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ ОБОБЩЕННЫХ КООРДИНАТ

Федор.Н. Притыкин

Московский государственный авиационный институт
(технический университет)

Moscow, Russia

Резюме

Излагается метод, который позволяет графическое представление маневренности мобильного робота, осуществляющего перемещение объекта манипулирования по заданной траектории по вектору скоростей выходного звена. Для этого определены многообразия точек принадлежащих областям, задающим допустимые значения вектора мгновенных скоростей изменения обобщенных координат в многомерном пространстве.

1. ВВЕДЕНИЕ

При разработке систем управления интеллектуальных мобильных манипуляторов, самостоятельно реализующих двигательные задачи в экстремальных средах, необходима разработка алгоритмов расчета управляющей информации одновременно для нескольких приводов. Эта задача значительно усложняется присутствием запретных зон, наличие которых определяется системой восприятия внешней среды робота. Запретные зоны необходимо учитывать при расчете вектора Q мгновенных скоростей изменения обобщенных координат, или вектора приращений. На основе вектора Q определяется траектория движения базовой точки, принадлежащей транспортной тележке на плоскости и перемещение исполнительного механизма мобильного манипулятора с учетом положения запретных зон [1]. С целью решения этой задачи в работе исследованы многообразия точек в пространстве Q мгновенных скоростей изменения обобщенных координат, удовлетворяющие заданным погрешностям реализаций для некоторых конфигураций мобильного робота. Эти исследования необходимы для уменьшения затрат на вычисление вектора Q , с целью его расчета системой в реальном масштабе времени при построении движений интеллектуального мобильного робота.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Пусть задан мобильный робот, состоящий из транспортной тележки и закрепленного на ней манипулятора с длинами подвижных звеньев $l_1 = 940\text{мм}$, $l_2 = 1850\text{мм}$, $l_3 = 200\text{мм}$, $l_4 = 1000\text{мм}$ и $l_5 = 200\text{мм}$ (рис. 1). Мобильный робот должен переместить объект манипулирования O_6 из начального положения заданного точкой A в конечное положение, заданное точкой B . Траектория движения объекта манипулирования заданная отрезком прямой AB проходит через прямоугольное отверстие в стене, размеры которого заданы – $1000 \times 900\text{мм}$. Исходное положение транспортной

тележки определяется координатами $x = s_1$ и $y = s_2$ и углом α_m наклона оси $O_m x_m$ транспортной тележки к неподвижной оси координат Ox (система $O_m x_m y_m z_m$ неподвижно связана с транспортной тележкой). Положение манипулятора задают значения φ_i обобщенных координат. Алгоритм расчета системой должен определять траекторию движения базовой точки O_m транспортной тележки $s_j = f_j(t)$ ($1 \leq j \leq 2$) на неподвижной плоскости $Ox y$ и законы изменения обобщенных координат манипулятора $\varphi_i = f_i(t)$ ($1 \leq i \leq 6$), которые в совокупности будут задавать движение выходного звена и объекта манипулирования вдоль прямой AB (это движение будет с некоторым отклонением от заданной траектории в силу неизбежных погрешностей реализации). При этом необходимо при синтезе движений учитывать положение отверстия и стены выступающей в роли запретной зоны, которая на рисунке имеет обозначение P . Положение точки O_m при синтезе малых движений задается приращениями $\Delta s_1 \approx s'_1$ и $\Delta s_2 \approx s'_2$, где s'_1 и s'_2 – мгновенные линейные скорости движения этой

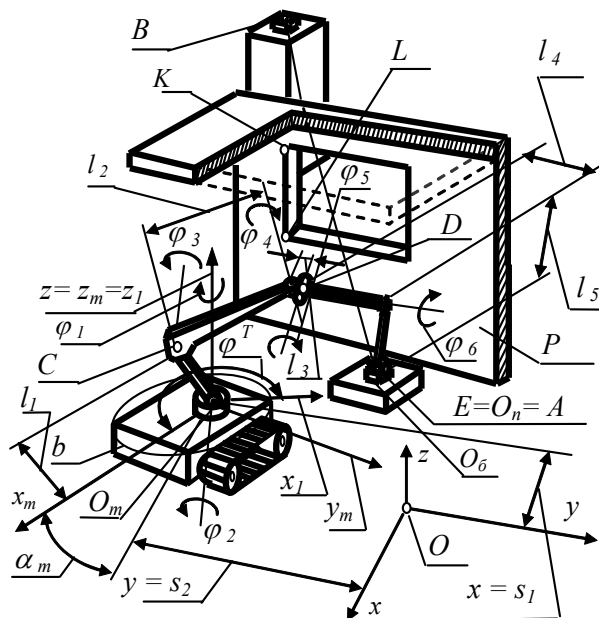


Рис. 1 Общий вид мобильного манипулятора выполняющего двигательное задание при наличии запретной зоны P в рабочем пространстве.

точки вдоль осей Ox и Oy неподвижной системы координат. Учитывая то, что положение исполнительного механизма манипулятора определяют шесть значений φ_i , являющихся обобщенными координатами, а положение транспортной тележки двумя координатами s_1 и s_2 (угол α_m учитывается при расчете угла φ_1), то пространство Q обобщенных скоростей, будет здесь восьмимерным. Отметим, что в работе определяется лишь траектория движения базовой точки O_m на горизонтальной плоскости и угол φ_1 между осью манипулятора $O_m x_1$ и осью Ox неподвижной системы координат. Угол φ_1 при этом получается суммой углов α_m и φ^T (φ^T – угол между осью $O_m x_1$ манипулятора и осью $O_m x_m$ транспортной тележки см. рис. 1). Синтез малых движений мобильного робота в непосредственной близости от запретной зоны будем осуществлять по вектору скоростей выходного звена [2-3]. Необходимо определить маневренность мобильного робота при построении малых движений.

3. МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

При построении движений манипулятора по заданной траектории выходного звена указанным методом, вектор мгновенных скоростей изменения обобщенных координат вычисляется исходя из линейной системы уравнений:

$$V = JAQ, \quad (1)$$

где, $V(V_x, V_y, V_z, \omega_x, \omega_y, \omega_z)$ – вектор скоростей выходного звена манипулятора [3]. V_x, V_y, V_z – линейные скорости движения центра $E = O_n$ выходного звена манипулятора, по направлению осей x, y и z неподвижной системы координат. $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ – мгновенные повороты вокруг осей проходящих через центр O_n системы координат связанной с выходным звеном и параллельных осям x, y и z . Размерность r вектора V в общем случае равна шести. При построении движения мобильного манипулятора, с заданной ориентацией одной из осей системы координат $O_n x_n y_n z_n$ связанной с выходным звеном $r = 5$ (система координат $O_n x_n y_n z_n$ в целях упрощения на рис. 1 не изображена). При построении движения с учетом запретной зоны, когда ориентация объекта манипулирования при движении может быть какой угодно, размерность вектора V наиболее рационально принимать $r = 3$; J – матрица частных передаточных отношений между скоростями изменения обобщенных координат и скоростями выходного звена размером $r \times n$ [3]; $A(a_1, a_2, \dots, a_n)$ – вектор задающий значения весовых коэффициентов изменения мгновенных скоростей изменения обобщенных координат, которые заданы вектором $Q(s_1, s_2, \varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n)$. Весовые коэффициенты a_i , которые были использованы в работе [3] дают возможность перераспределять объем движения между кинематическими парами или приводами механизма манипулятора. Линейная система уравнений (1) при размерности вектора V равной пяти в восьмимерном пространстве Q мгновенных скоростей изменения обобщенных координат определяет p -плоскость (которую условно обозначим Γ), размерность которой будет равна $p = n - r = 8 - 5 = 3$ [4]. Произвольная точка N принадлежащая этой p -плоскости Γ , в восьмимерном пространстве Q определяется в этом случае вектором:

$$Q_N = Q_M + \sum_{i=1}^p k_i m Q_i, \quad (2)$$

где, Q_M – вектор, задающий точку $M \in \Gamma$ соответствующую критерию минимизации объема движения [3]; k_1, k_2, \dots, k_i – координаты точки N в p -плоскости Γ [2]; m – длина единичного отрезка репера располагающегося в p -плоскости Γ ; Q_1, Q_2, \dots, Q_i – единичные направляющие векторы, определяющие взаимно перпендикулярные координатные оси репера p -плоскости Γ (условный рисунок с изображением точек M, N , p -плоскости Γ и репера в этой плоскости в целях сокращения объема доклада не приводятся); p – размерность p -плоскости Γ . Эти векторы находятся как нормали гиперплоскостей, проходящих через начало координат системы, определяющей восьмимерное пространство Q и перпендикулярных гиперплоскостям (1). В p -плоскости Γ все точки определяемые вектором Q_N удовлетворяют системе (1) и подразделяются на две отдельные области, располагающие в восьмимерном пространстве Q . В первой замкнутой области, которую обозначим Q^δ , точки удовлетворяют заданным погрешностям реализации значений векторов Q_N , а в другой, не замкнутой области – не удовлетворяют. При этом реализация векторов Q_N обеспечивает новое положение кинематической цепи, определяемое значениями обобщенных координат, вычисленными по зависимостям:

$$s_j = s_j + s_j', \quad \varphi_i = \varphi_i + \varphi_i', \quad (3)$$

где $1 \geq j \geq 2, 1 \geq i \geq 6, s_j' \approx \Delta s_j, \varphi_i' \approx \Delta \varphi_i$ – компоненты вектора Q_N .

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ МАНЕВРЕННОСТЬ МОБИЛЬНОГО РОБОТА

На рис. 2 приведены результаты исследований связанных с определением области Q^δ в p -плоскости Γ пространства Q для четырех различных конфигураций при $p = n - r = 8 - 5 = 3$. Конфигурации заданы следующими значениями обобщенных координат:

- 1 - $s_1 = 50, s_2 = 50, \varphi_1 = -5^\circ, \varphi_2 = -5^\circ, \varphi_3 = 85^\circ, \varphi_4 = 90^\circ, \varphi_5 = -5^\circ, \varphi_6 = 180^\circ$;
- 2 - $s_1 = 50, s_2 = 50, \varphi_1 = -5^\circ, \varphi_2 = -15^\circ, \varphi_3 = 30^\circ, \varphi_4 = 90^\circ, \varphi_5 = -60^\circ, \varphi_6 = 180^\circ$;
- 3 - $s_1 = 50, s_2 = 50, \varphi_1 = -5^\circ, \varphi_2 = 70^\circ, \varphi_3 = 10^\circ, \varphi_4 = 90^\circ, \varphi_5 = 80^\circ, \varphi_6 = 180^\circ$;
- 4 - $s_1 = 50, s_2 = 50, \varphi_1 = -5^\circ, \varphi_2 = -80^\circ, \varphi_3 = 150^\circ, \varphi_4 = 90^\circ, \varphi_5 = 40^\circ, \varphi_6 = 180^\circ$;

Указанная область рассчитана при точности позиционирования центра выходного звена $\delta = 10 \text{ мм}$ и $|V_E| = 30 \text{ мм} / \Delta t$ (где $|V_E|$ – модуль линейной скорости движения центра выходного звена или точки E по направлению оси Ox неподвижной системы координат, Δt – время одной итерации). Изображения области Q^δ в p -плоскости Γ на рис. 2 дают геометрическое представление о функции $k_3 = f(k_1, k_2)$ в четырех исследуемых точках конфигурационного пространства при $p = 3$. Функция $k_3 = f(k_1, k_2)$ определяет двухпараметрическое множество

точек поверхности. Эти точки поверхности находятся заданием параметров k_1 и k_2 и вычислении максимального и минимального значения k_3 , при которых реализация векторов Q_N удовлетворяет заданной точности позиционирования δ .

Учитывая сложность аналитического описания области Q^δ в p -плоскости Γ , которая как видно из рис. 2 для различных конфигураций описывается различными по форме поверхностями, в дальнейшем указанную область с некоторым приближением будем представлять с помощью p -мерных параллелепипедов Q_p . Размеры l_p этих параллелепипедов, определяются максимальными и минимальными значениями параметров k_i (2) (т. е. $l_p = k_i^{min} - k_i^{max}$). Максимальные и минимальные значения параметров k_i^{min} и k_i^{max} находятся изменением значения одного из параметров k_i при равенстве всех остальных нулю и вычислений погрешностей реализации δ . Исследования, связанные с отображением функций $k_3 = f(k_1, k_2)$ в виде замкнутых поверхностей располагающихся в p -плоскости Γ и определение соответствующих размеров l_p параллелепипедов показывают, что параллелепипед Q_p лишь в приближенном виде определяет всю область допустимых значений вектора Q_N .

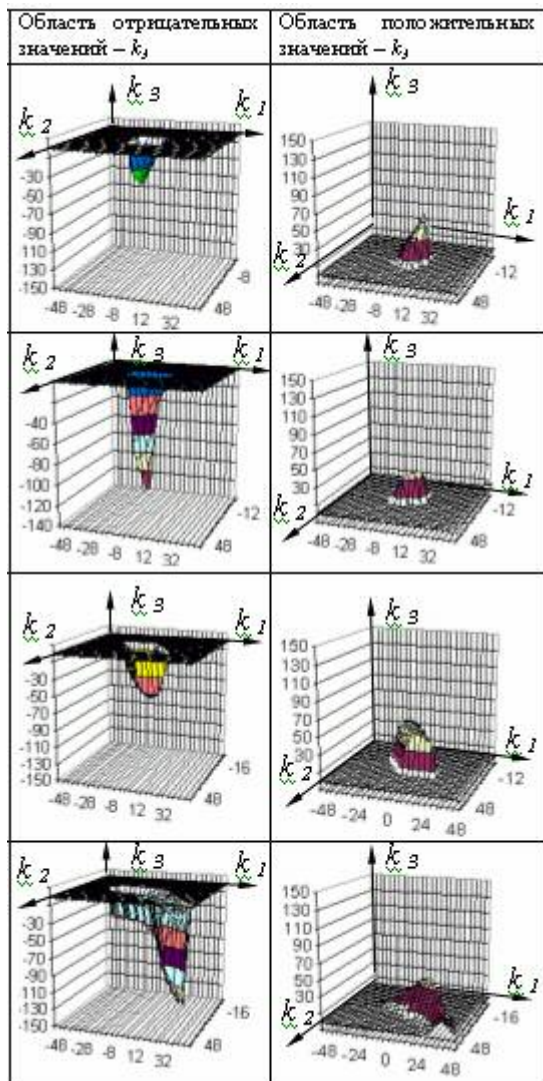


Рис. 2 Графическое представление области Q^δ в p -плоскости Γ восьмимерного пространства Q мобильного робота при $p = 3$.

На рис. 3 построены изображения областей (которые условно обозначены D_m) при $p = 5$ в рабочем пространстве мобильного манипулятора для четвертой конфигурации при различных значениях весовых коэффициентов a_1 и a_2 , когда ось $O_m x_m$ транспортной тележки располагается под различными углами, к оси $O_m x_1$ манипулятора, а именно когда $\alpha^T = 90^\circ; 270^\circ$ и $\alpha^T = 0^\circ; 180^\circ$. Область окружающего пространства D_m манипулятора образуется отдельными положениями звеньев механизма полученными реализацией векторов Q_N из области допустимых значений Q^δ . На рис. 3 отображена область D_m с помощью её горизонтальной, фронтальной и профильной проекций D_{m1} , D_{m2} и D_{m3} . Совокупность окружностей b на горизонтальной проекции этого рисунка определяет движение транспортной тележки. Центр этой окружности совпадает с базовой точкой O_m , при этом указанная окружность b огибает крайние точки транспортной тележки см. рис. 1. Диаметр окружности b при расчете тестовых заданий принят условно 1000мм. Параметры a_x и a_y этого рисунка задают максимальные размеры области, в которой осуществляет движение транспортная тележка при реализации значений векторов Q_N . На этом рисунке, так же изображены размеры, определяющие максимальные смещения точек C и D механизма манипулятора вдоль осей x , y и z неподвижной системы координат (рис. 1). Эти размеры обозначены x_C , y_C , z_C и x_D , y_D , z_D и характеризуют область D_m в рабочем пространстве (рис. 3аб). Вычисление значения объема Ω области D_m в неподвижном пространстве представляет довольно сложную задачу. В то же время именно этот показатель в полной мере характеризует маневренность манипулятора с учетом погрешностей реализации. Поэтому изображения проекций D_{m1} , D_{m2} и D_{m3} области D_m (см. рис. 3) дают лишь некоторое геометрическое представление об указанной маневренности манипулятора в различных точках конфигурационного пространства с учетом зависимостей (1), значения параметра $\delta = 10\text{мм}$ и различным взаимном положение осей $O_m x_m$ и $O_m x_1$ или различном значении угла α^T . Исследования графиков функций, отражающих влияние значений весовых коэффициентов a_1 и a_2 на размеры параллелепипеда Q_p при $p = n - r = 8 - 3 = 5$ показывают, что экстремумы функций достигаются при значениях a_1 и a_2 равных двум.

Маневренность манипулятора в работе принято характеризовать значениями параметров Q^{ob} , K_i , Q^x , Q^y и Q^z и λ . Параметр Q^{ob} , определяет объем движения полученный при реализации векторов Q_N множества точек N принадлежащего области Q^δ . Значение параметра Q^{ob} находится по зависимости (единицей измерения этого параметра является см + гр, т. е. сумма поступательных смещений измеряется в сантиметрах, вдоль неподвижных осей Ox и Oy , а угловых вращений в градусах):

$$Q^{ob} = \sum_{i=1}^2 \Delta s_i + \sum_{i=1}^6 \Delta \varphi_i. \quad (3)$$

Где, $\Delta \varphi_i$ – разность максимальных и минимальных значений обобщенных координат, для множества K_i конфигураций полученных реализацией (3) [2]. Параметр K_i определяет точное число конфигураций (число точек N из области Q^δ), которые удовлетворяют заданным погрешностям реализации δ . Значение параметра λ находится зависимостью $\lambda = Q^{ob} / K_i$ и отражает удельное

изменение объема движения приходящееся на одну конфигурацию множества K_i . Параметры Q^x , Q^y и Q^z вычисляются по зависимостям:

$$Q^x = \sum_{i=1}^{nm} (x_i^{max} - x_i^{min}), \quad Q^y = \sum_{i=1}^{nm} (y_i^{max} - y_i^{min}),$$

$$Q^z = \sum_{i=1}^{nm} (z_i^{max} - z_i^{min}),$$

где x_i^{max} , y_i^{max} , z_i^{max} , x_i^{min} , y_i^{min} и z_i^{min} – максимальные и минимальные значения координат в неподвижном пространстве узловых точек мобильного манипулятора, nm – число узловых точек мобильного манипулятора или число матриц используемых при описании геометрической модели исполнительного механизма (в общем случае $nm \neq n$). Для мобильного манипулятора изображенного на рис. 1 $nm = 9$. Указанные параметры характеризуют в некоторой степени размеры области D_m вдоль осей Ox , Oy и Oz неподвижной системы координат. Для конфигурации изображенной на рис. 3 при $a_2=2$, $a_1=1$, $a_{3-8}=1$, $\alpha^T=90^\circ$, $\alpha^T=270^\circ$ значения параметров равны $Q^x=56$, $Q^y=110$, $Q^z=66$. Соответственно при $a_1=2$, $a_{2-8}=1$, $\alpha^T=0^\circ$, $\alpha^T=180^\circ$ - $Q^x=189$, $Q^y=85$, $Q^z=102$.

С целью анализа допустимых значений вектора Q_N в многомерном пространстве Q , рассмотрим различные аналитические способы задания области Q^δ .

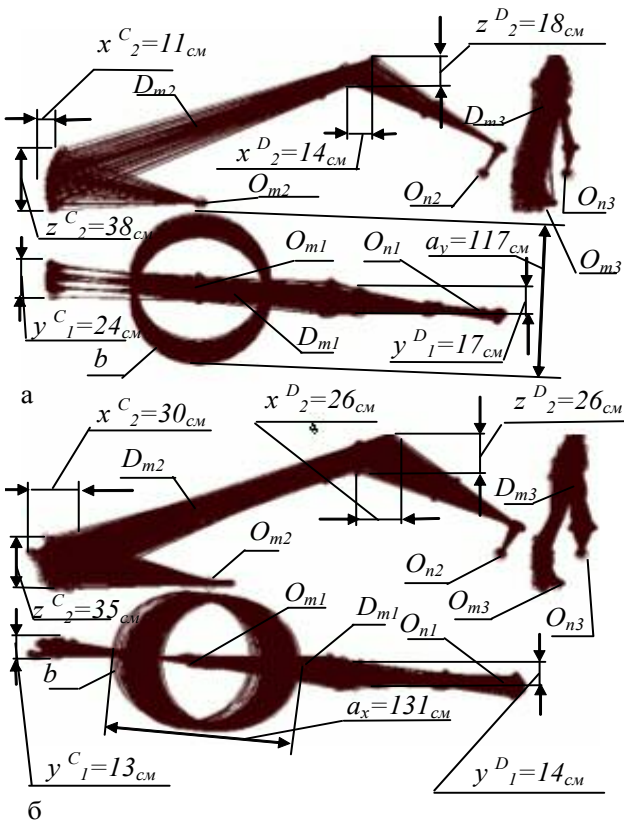


Рис. 3 Фрагменты изображения области D_m мобильного манипулятора на трех плоскостях проекций при различном взаимном положении осей $O_m x_m$ транспортной тележки и оси $O_m x_1$ манипулятора: а – при значениях весовых коэффициентов $a_2 = 2$, $a_1 = 1$, $a_{3-8} = 1$, $\varphi^T = 0^\circ; 180^\circ$; б - при $a_1 = 2$, $a_{2-8} = 1$, $\varphi^T = 90^\circ; 270^\circ$;

Необходимо отметить, что чем точнее будет описана область Q^δ в p -плоскости Γ , тем меньше

потребуется времени на расчет значений вектора Q_N , при поиске конфигураций, не пересекающих запретные зоны. Это связано с тем, что система заведомо может рассматривать только такие значения вектора Q_N , которые удовлетворяют погрешностям реализации, и наоборот не рассматривать значения, которые этим погрешностям не удовлетворяют. Рассмотрим четыре различных способа задания области Q^δ , которые с некоторым приближением будут задавать область Q^δ . При этом область Q^δ зададим p -мерным кубом Q_k , параллелепипедом Q_p , гиперсферой $Q_{сф}$ и многогранником Q_{mn} , которые принадлежат подпространству определяемому p -плоскостью Γ . Найдем вначале для каждого случая задания области Q^δ (а именно для Q_k , Q_p и $Q_{сф}$) значения параметров $Q^{об}$, K_b , λ и μ . Параметр μ определяет в процентном отношении сколько точек из областей Q_k , Q_p или $Q_{сф}$ принадлежат области Q^δ . Значение этого параметра вычисляется по формуле:

$$\mu = (K_\delta / K_{об}) \times 100\%,$$

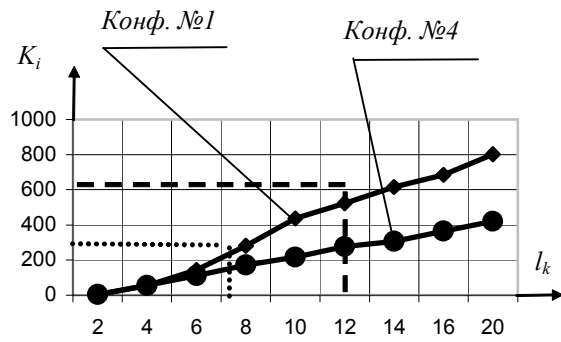
где, K_δ – количество точек отдельных областей Q_k , Q_p и $Q_{сф}$ удовлетворяющих погрешностям реализации δ , $K_{об}$ – общее количество точек отдельных областей Q_k , Q_p и $Q_{сф}$. На рис. 4а-б изображены графики функций $Q^{об} = f_Q(l_k)$, $K_i = f_k(l_k)$, для первой и четвертой конфигураций мобильного робота. При этом область заданна в виде p -мерного куба Q_k . На рис. 4в отражена зависимость $\mu = f_\mu(l_k)$ для первой конфигурации мобильного робота для различных вариантов задания области Q^δ . Параметр l_k определяет размер стороны куба, размер большей стороны параллелепипеда (при этом все стороны параллелепипеда изменяются прямо пропорционально увеличению большей стороны) и размер радиуса гиперсферы. На рис. 4а-б штриховыми линиями показана область заданная параллелепипедом Q_p . Возможности персонального компьютера позволили провести исследования при максимальном значении $l_k = 20$. В табл. 1 приведены значения параметров отражающих степень приближенности задания области Q^δ тремя различными вариантами. Как видно из таблицы параллелепипед Q_p задает лишь 27% объема движения полученного заданием p -мерным кубом с размером стороны $l_k = 4 \times k_i^{max}$. При этом точность μ задания области Q^δ составляет 55%. Наибольший объем движения получается заданием p -мерного куба с размером стороны $l_k = 4 \times k_i^{max}$. Однако, лишь 0,1% принадлежащих точек этого куба удовлетворяют погрешностям реализации. Наибольшее значение параметров $Q^{об}$ и μ получается при задании области p -мерным параллелепипедом Q_p с размером большей стороны $l_r = 4 \times k_i^{max}$.

Для более точного задания области Q^δ используем совокупность плоскостей Σ_j принадлежащих p -плоскости Γ , размерность которых равна $p-1$. На рис. 5 показано положение плоскостей Σ_j , инцидентных соответствующим точкам R_i , когда размерность p -плоскости Γ равна трем. Как видно область Q_{mn} ограничивают восемь $(p-1)$ -плоскостей Σ_j , размерность которых для этого случая равна двум. Одна $(p-1)$ -плоскость Σ_j определяет два полупространства p -плоскости Γ . Одно из полупространств при $p > 3$, определится неравенством:

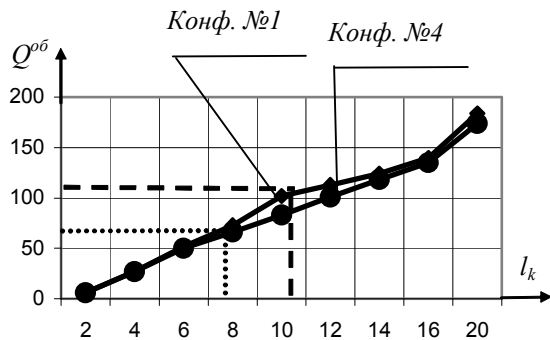
$$k_1 \quad k_2 \quad \dots \quad k_p \quad l$$

$$\begin{matrix}
 k_1^{R1} & k_2^{R1} & \dots & k_p^{R1} & 1 \\
 k_1^{R2} & k_2^{R2} & \dots & k_p^{R2} & 1 \\
 k_1^{R3} & k_2^{R3} & \dots & k_p^{R3} & 1 \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 k_1^{RP} & k_2^{RP} & \dots & k_p^{RP} & 1
 \end{matrix} > 0 \quad (4)$$

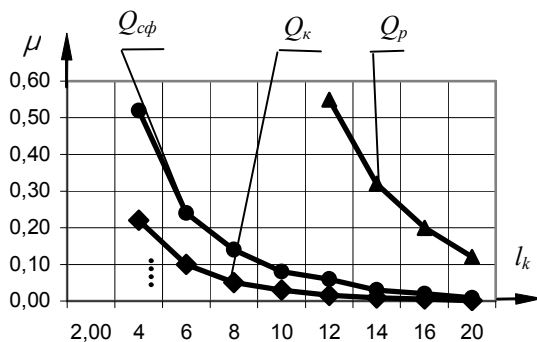
где $k_1^{R1}, k_2^{R1}, \dots$ - значения координат k_i точек R_i в репере $Mk_1 k_2 k_3$. Координаты точек R_i определяются с помощью сечений области Q^δ совокупностью гиперплоскостей пространства Q (см. рис. 6). В точках R_i одна из координат принимает максимальное или минимальное значение.



а



б



в

Рис. 4 Графики функций представляющие зависимости: а - $K_i = f_k(l_k)$; б - $Q^{\delta} = f_Q(l_k)$; в - $\mu = f_\mu(l_k)$.

На рис. 6а б изображены сечения области Q^δ при $p = 5$ гиперплоскостями, определяемыми параметром k_2 для первой конфигурации мобильного робота. Штриховой

линией на рисунке задана область параллелепипеда Q_p . Как видно из рисунка экстремальные точки в которых значение k_2 принимает максимальное и минимальное значение, не находятся на осях репера $Mk_1 k_2 \dots k_p$ и области параллелепипеда Q_p . В табл. 3 приведены значения координат точек R_i задающих максимальные и минимальные значения координат k_i для первой конфигурации при $p = 5$ и $\delta = 10$ мм. При различных комбинациях точек R_i неравенство (4) при $p = 3$ задает восемь областей, объединения которых и определяет область Q_{mn} . Неравенство (4) может быть использовано и для других размерностей p -плоскости Γ . Так если $p=5$, то область Q_{mn} будет, определяться десятью точками R_i .

Таблица 1

Геометрические параметры, отражающие точность аналитического задания области Q^δ с помощью областей Q_k, Q_p и $Q_{cф}$

№	Названия геометрических объектов, задающих область Q^δ	Обозначение геометрических параметров			
		K_i	$Q^{\delta\delta}$	λ	μ
1	p -мерный куб Q_k со стороной $l_k = 2 \times k_i^{max}$	524	113	0,22	1,5%
2	p -мерный куб Q_k со стороной $l_k = 4 \times k_i^{max}$	803	184	0,23	0,1%
3	Параллелепипед Q_p	227	73	0,32	55%
4	Параллелепипед Q_p с удвоенным разм. строн.	510	122	0,24	12%
5	Гипер-сфера $Q_{cф}$ с разм. радиуса $l_r = 2 \times k_i^{max}$	207	58	0,28	7%
6	Гипер-сфера Q_p с разм. радиуса $l_r = 4 \times k_i^{max}$	621	117	0,22	1%

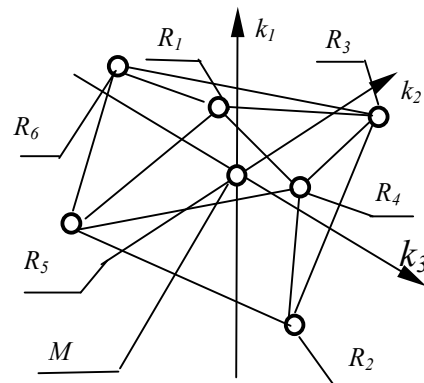


Рис. 5 Определение области Q_{mn} совокупностью $(p-1)$ -плоскостей Σ_j при $p = 3$.

5. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИНТЕЗА МАДЫХ ДВИЖЕНИЙ МОБИЛЬНОГО РОБОТА

Результаты моделирования синтеза движений мобильного робота или положения расчетных конфигураций на фронтальной и горизонтальной проекциях, при движении по критерию минимизации объема движения, представлены на рис. 5аб.

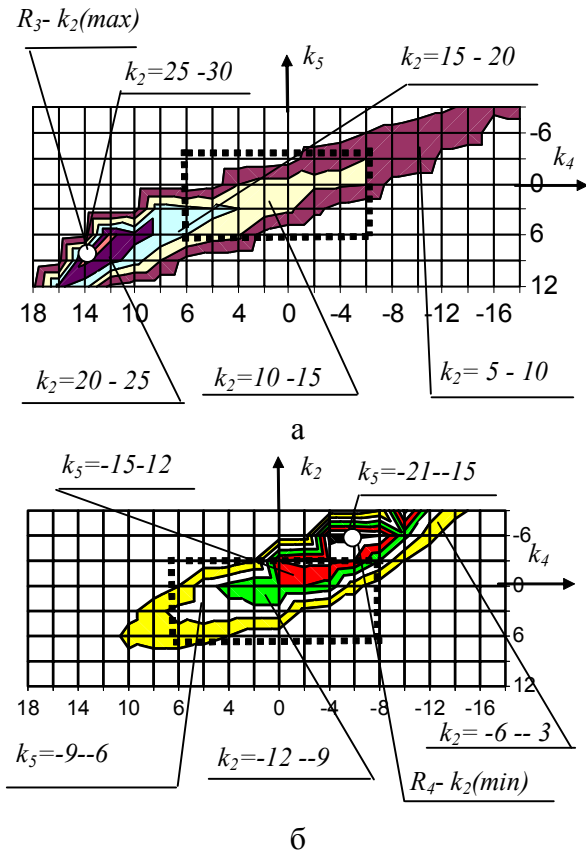


Рис. 6 Линии уровня функции $k_5 = f(k_2, k_4)$ характеризующие область Q^δ первой конфигурации мобильного манипулятора при $k_1 = k_3 = 0$ и $p = 5$: а - область положительных значений; б - область отрицательных значений.

Таблица 2

Значения координат точек R_i , определяющих многогранник Q_{min} для первой конфигурации мобильного робота при $p = 5$.

Обоз. точек	Значения координат - k_i				
	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5
$R_1 - k_1(max)$	2	0	0	0	0
$R_2 - k_1(min)$	-2	0	0	0	0
$R_3 - k_2(max)$	0	26	0	14	9
$R_4 - k_2(min)$	0	-19	0	-6	-6
$R_5 - k_3(max)$	0	0	6	0	6
$R_6 - k_3(min)$	0	0	-6	14	4
$R_7 - k_4(max)$	0	0	-2	10	0
$R_8 - k_4(min)$	0	0	0	-13	-4
$R_9 - k_5(max)$	0	0	-2	10	8
$R_{10} - k_5(min)$	0	0	-2	-2	-10

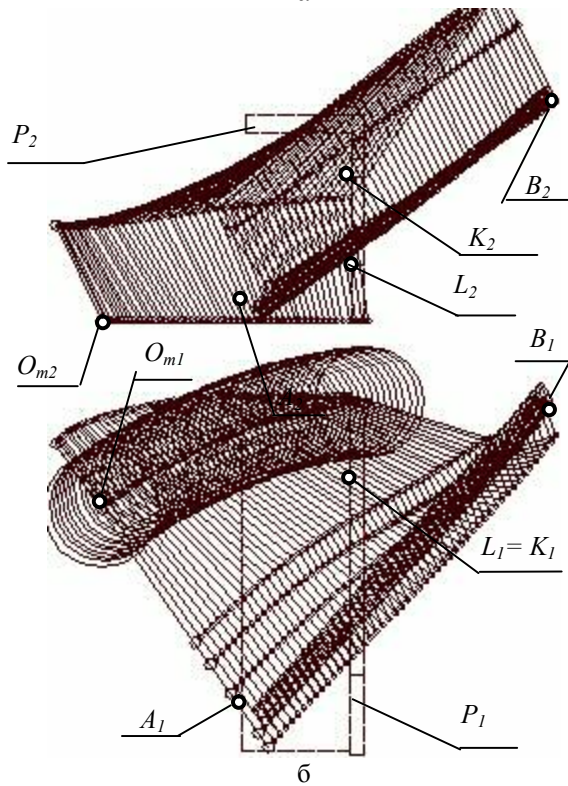
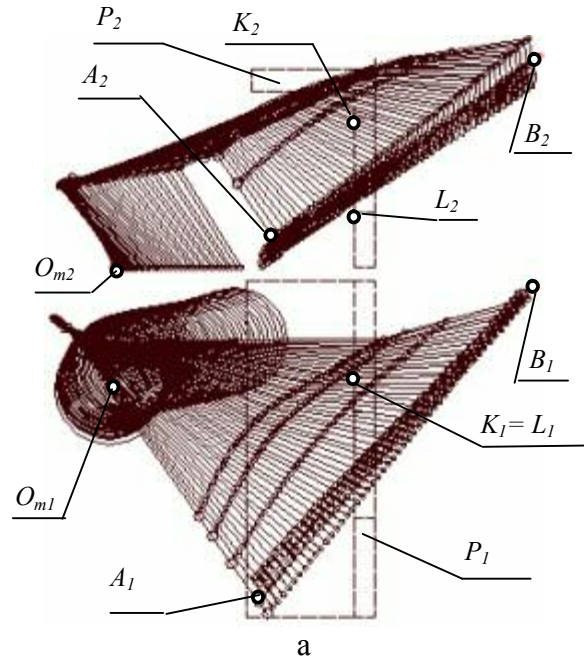


Рис. 7 Синтез движений мобильного манипулятора по вектору Q_M бес учета положения запретной зоны при $\delta = 10mm$: а - при $r = 3$; б - при $r = 5$;

На рис. 7а осуществлен синтез движений при $p = n - r = 8 - 3 = 5$, а на рис. 7б соответственно при $p = n - r = 8 - 5 = 3$. На рис. 7 обозначены с помощью проекций начальное положение точки $O_m (O_{m1}, O_{m2})$ транспортной тележки, точки $A(A_1, A_2)$ и $B(B_1, B_2)$ задающие начальные и конечные точки заданной траектории движения центра выходного звена и точки $K(K_1, K_2)$ и $L(L_1, L_2)$, задающие отверстие стены. Положение запретной зоны $P(P_1, P_2)$ изображено штриховой линией (которая здесь при построении движений не учитывается). Синтез движений мобильного манипулятора с учетом положения запретной зоны смоделирован на двух проекциях рис. 8. На этом рисунке запретная зона изображена в разрезе в виде заштрихованных многоугольников и обозначена проекциями P_1 и P_2 . На рис. 8 синтез движений осуществлен в результате итерационного перебора значений вектора Q_N из области Q_p . Синтез малых движений на рис. 8 осуществлен при $\delta = 20\text{мм}$. Это связано с тем, что при $\delta = 10\text{мм}$ при расчете тестового задания потребовались большие затраты на время вычислений при этом стало недостаточным ресурсов ЭВМ.

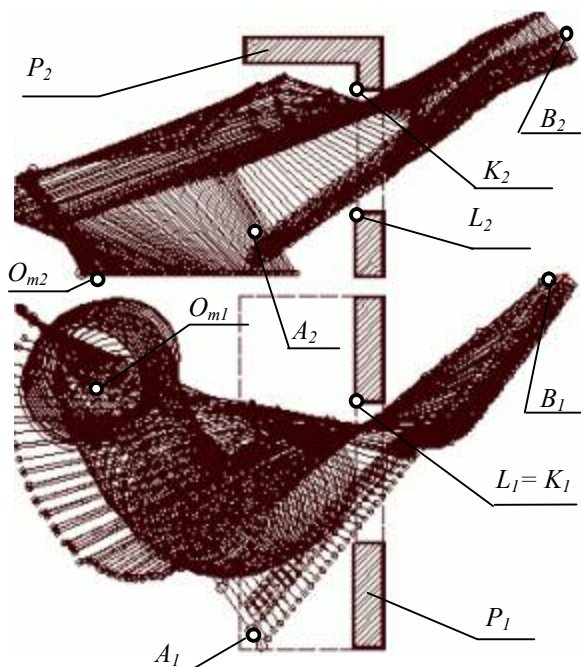


Рис. 8 Синтез движений мобильного манипулятора с учетом положения запретной зоны при $\delta = 20\text{мм}$.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы:

1 - маневренность мобильного манипулятора в различных точках конфигурационного пространства, характеризуют такие геометрические параметры, как объем движения Q^{ob} , объем Ω область D_m окружающего пространства манипулятора в рабочем пространстве. Кроме этого маневренность характеризуют параметр λ , а так же области параллелепипедов Q_p и многогранников Q_{mn}

в многомерном пространстве Q . Значения указанных параметров вычисляются реализацией значений векторов Q_N из области Q^δ , которые удовлетворяют заданной точности позиционирования центра выходного звена δ . Размеры параллелепипеда Q_p и многогранника Q_{mn} определяющих область допустимых значений вектора Q_N существенным образом зависят от положения кинематической цепи манипулятора (от значений φ_i), от угла φ^T и значений весовых коэффициентов a_i ;

2 - С помощью исследования реализаций векторов Q_N , при различных значениях весовых коэффициентов a_1 и a_2 , определены наиболее оптимальные значения параметров $a_{1-2} \approx 2$, при которых достигаются экстремумы функций $k_i = f_i(a_i)$, в различных точках конфигурационного пространства.

3 - Из анализа расчетов на персональном компьютере, связанных с определением размеров параллелепипедов в p -плоскости в различных точках конфигурационного пространства, видно что значения первой s_1 и второй s_2 обобщенных координат на размеры параллелепипеда Q_p , а следовательно и на маневренность ни какого влияния не оказывают. Если вектор $V_E (V_x, V_y, V_z)$ линейной скорости центра выходного звена параллелен первой оси вращения кинематической пары, движение в которой определяет третья обобщенная координата φ_3 , то значение φ_3 на размеры параллелепипеда так же влияния не оказывает.

Разработанные алгоритмы могут быть использованы при создании систем управления интеллектуальными мобильными манипуляторами, автономно выполняющими заданные двигательные задачи в экстремальных средах в непосредственной близости от запретных зон.

7. ССЫЛКИ

[1] Чернухин Ю.В., Пшихопов В.Х., Писаренко С.Н., Трубаев О.В. Программная среда для моделирования поведения адаптивных, мобильных роботов с двух уровневой системой управления. Мехатроника, 2000, №6 С.26-31.

[2] Притыкин Ф.Н., Яровой В.Н., Оленников С.Ю. Исследование маневренности плоского и пространственного манипуляторов имеющих избыточность при построении движений. Мехатроника, 2001, № 4, С. 21-24.

[3] Кобринский А.А., Кобринский А.Е. Манипуляционные системы роботов. М.: Наука, 1985. 344с.

[4] Иванов Г. С. Теоретические основы начертательной геометрии: Учебное пособие. - М.: Машиностроение, 1998. 158 с.

ОБ АВТОРЕ

Федор.Н. Притыкин докторант кафедры “Прикладная геометрия” Московского авиационного института (государственного технического университета)

E-mail: pritykin@mail.ru