

双臂机器人位姿的方向可操作性

陈国锋 杨昂岳

(国防科技大学机电工程与仪器系 长沙 410073)

摘 要 机器人位姿的方向可操作性是指在当前位姿状态下末端执行器沿指定方向的传速性能和传力性能. 本文提出了双臂机器人沿给定方向的广义速度和广义力的可操作性概念, 定义了双臂机器人在给定方向上的线速度/角速度可操作性测度、力/力矩可操作性测度. 文章最后给出了具体的分析与应用实例.

关键词 双臂机器人, 速度可操作性, 力可操作性

1 引言

确定机器人的最佳操作位姿和最佳操作方向, 有效地完成一定的操作任务, 是机器人系统运动优化的一个重要方面, 引起了国内外学者的广泛兴趣和关注^[1-5].

文献[1,2]讨论了双臂机器人系统的可操作性椭圆及其可操作性测度, 试图确定双臂系统的最佳操作位形. 本文探讨双臂机器人位姿的方向可操作性, 包括沿某方向的广义速度可操作性和广义力可操作性, 为进一步确定双臂机器人的最佳操作方向和最佳操作位形提供理论上的依据.

与单臂机器人一样^[4], 双臂机器人系统可视为一传动系统. 该系统的输入为二操作手的关节速度和关节驱动力, 输出为被操作物体的运动速度和所受的作用力. 机器人位姿的方向可操作性即是指该系统在当前位形状态下沿指定方向的传速性能和传力性能. 对于速度可操作性, 在当前位形状态下, 系统若能以较小的关节速度使物体沿指定方向获得较大的运动速率, 则认为沿此方向双臂机器人位姿的速度可操作性好; 若物体沿指定方向不能运动或运动速率低, 则认为沿此方向的速度可操作性差. 对于力可操作性, 在当前的位形状态下, 系统若能以较小的关节驱动力对物体沿指定方向施加较大的作用力, 则认为沿此方向双臂机器人位姿的力可操作性好; 反之就差. 本文以此为基础, 提出了双臂机器人速度和力的方向可操作性理论, 定义了双臂机器人方向的力/力矩可操作性测度、线速度/角速度可操作性测度, 并给出了这些测度的应用与分析实例.

2 速度的方向可操作性测度

双臂机器人系统坐标框架的设置如图 1 所示. 在世界坐标框 F_w 中, 设物体质心处操作空间状态向量为 $x_0 \in R^n$, 二操作手自由度均为 n . 在本文讨论中假定二操作手 Rob 1 和 Rob 2 对物体均为紧固抓持. 于是

$${}^wT_0(x_0) = {}^wT_{b_i} {}^{b_i}T_{a_i}(q_i) {}^{a_i}T_0 \quad (i = 1, 2) \quad (1)$$

式中 ${}^wT_{b_i} \in R^{4 \times 4}$ 表示坐标框 F_{b_i} 相对于坐标框 F_w 的位姿; ${}^{b_i}T_{a_i} \in R^{4 \times 4}$ 表示坐标框 F_{a_i} 相对于坐

标框 F_b 的位姿; ${}^nT_0 \in R^{4 \times 4}$ 表示坐标框 F_0 相对于坐标框 F_n 的位姿。

由式(1)可求得

$$x_0 = H_i(q_i) \quad (i = 1, 2) \quad (2)$$

令 $J_i(q_i) = \partial H_i(q_i) / \partial q_i$, 显然, $J_i(q_i)$ 可视为操作手 Rob i 的雅可比矩阵 ($i = 1, 2$)。于是

$$\begin{aligned} \dot{x}_0 &= \begin{bmatrix} V \\ \omega \end{bmatrix} = J_i(q_i) \dot{q}_i \\ &= \begin{bmatrix} J_{iv} \\ J_{i\omega} \end{bmatrix} \dot{q}_i \quad (i = 1, 2) \end{aligned} \quad (3)$$

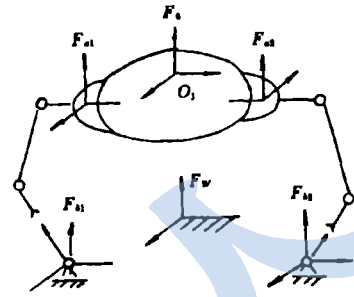


图 1 双臂机器人坐标框系统

式中 $V \in R^m$, $\omega \in R^m$ 分别为物体的线速度和角速度; $m = m_1 + m_2$; $J_{iv} \in R^m \times^n$, $J_{i\omega} \in R^m \times^n$ 分别为 $J_i(q_i)$ 的二子矩阵, $i = 1, 2$ 。

2.1 速度可操作椭圆

设 $\dot{q} = [\dot{q}_1^T, \dot{q}_2^T]^T$, 由式(3)可得

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_0 \\ \dot{x}_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 \\ J_2 \end{bmatrix} \dot{q} \quad (4a)$$

$$\begin{bmatrix} V \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{1v} \\ J_{2v} \end{bmatrix} \dot{q} \quad (4b)$$

$$\begin{bmatrix} \omega \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{1\omega} \\ J_{2\omega} \end{bmatrix} \dot{q} \quad (4c)$$

将关节空间 R^{2n} 中的单位椭圆

$$\dot{q}^T \dot{q} = 1$$

映射到操作空间 R^m 中:

$$\dot{q}^T \dot{q} = \begin{bmatrix} \dot{x}_0 \\ \dot{x}_0 \end{bmatrix}^T \left[\begin{bmatrix} J_1 \\ J_2 \end{bmatrix} \right]^+ \begin{bmatrix} J_1 \\ J_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_0 \\ \dot{x}_0 \end{bmatrix} = 1$$

将上式展开推导可得

$$\dot{x}^T [(J_1 J_1^T)^{-1} + (J_2 J_2^T)^{-1}] \dot{x} = 1 \quad (5a)$$

式(5a)即为双臂机器人在空间 R^m 中的广义速度椭圆, 记为 E_{Dv} 。

同理, 由式(4b)、式(4c)可分别推得双臂机器人在空间 R^m 的线速度椭圆 E_{Dv} 、在空间 R^m 的角速度椭圆 $E_{D\omega}$ 为

$$E_{Dv}: V^T [(J_{1v} J_{1v}^T)^{-1} + (J_{2v} J_{2v}^T)^{-1}] V = 1 \quad (5b)$$

$$E_{D\omega}: \omega^T [(J_{1\omega} J_{1\omega}^T)^{-1} + (J_{2\omega} J_{2\omega}^T)^{-1}] \omega = 1 \quad (5c)$$

2.2 速度的方向可操作性测度

如图 2 所示, $U_1 \in R^m$ 为物体线速度 \dot{V} 的单位向量, β 为线速度椭圆 E_{Dv} 的中心沿方向 U_1 到椭圆表面的距离。显然 β 反映了系统从关节速度到物体线速度之间的传速性能^[4]。 β 即可定义为双臂机器人在方向 U_1 上的线速度可操作性测度 $DMMU_v$ 。由于 βU_1 为线速度椭圆 E_{Dv} 上的一点, 它必须满足方程(5b), 于是

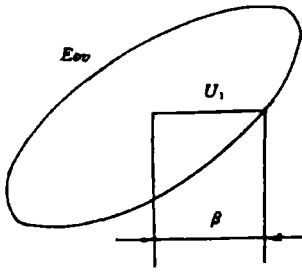


图 2 速度的方向可操作性能测度

$DMMU_v, DMMU_u$ 在一定程度上反映了双臂机器人在方向 U 上对物体的传速性能。

由上述定义可知： $DMMU_v, DMMU_u$ 的最大、最小值分别为椭球 E_{Dv}, E_{Du} 的长轴和短轴的长度。

3 力的方向可操作性能测度

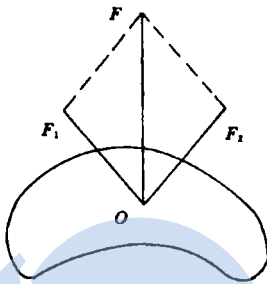


图 3 二操作手对物体的作用力

矩阵 $(i=1, 2)$ 。

设 $\tau = [\tau_1^T \tau_2^T]^T$ ，于是

$$F = F_1 + F_2 = [(J_1^T)^+ (J_2^T)^+] \tau \tag{8a}$$

$$F_f = F_{f1} + F_{f2} = [J_{f1} J_{f2}] \tau \tag{8b}$$

$$F_m = F_{m1} + F_{m2} = [J_{m1} J_{m2}] \tau \tag{8c}$$

将关节驱动空间 R^{2n} 中的单位椭球

$$\tau^T \tau = 1$$

映射到相应的力操作空间 R^m 中

$$\tau^T \tau = F^T \{ [(J_1^T)^+ (J_2^T)^+]^+ \}^T [(J_1^T)^+ (J_2^T)^+]^+ F = 1$$

将上式展开可得

$$F^T [(J_1 J_1^T)^{-1} (J_2 J_2^T)^{-1}]^{-1} F = 1 \tag{9a}$$

式(9a)即为双臂机器人在空间 R^m 的广义力椭球 E_{Dfm} 。

同理，由式(8b)、式(8c)可分别得到在空间 R^{m_1} 的力椭球 E_{Df} 、在空间 R^{m_2} 的力矩椭球 E_{Dm} 为

$$(\beta U_1)^T [(J_{1v} J_{1v}^T)^{-1} + (J_{2v} J_{2v}^T)^{-1}] (\beta U_1) = 1$$

由上式可求得线速度的方向可操作性能测度为

$$DMMU_v = \beta = \{ U_1^T [(J_{1v} J_{1v}^T)^{-1} + (J_{2v} J_{2v}^T)^{-1}] U_1 \}^{-1/2} \tag{6a}$$

同理可定义双臂机器人在方向 $U_2 (U_2 \in R^{m_2}$ 为单位向量) 上的角速度可操作性能测度 $DMMU_u$ 为

$$DMMU_u = \beta = \{ U_2^T [(J_{1u} J_{1u}^T)^{-1} + (J_{2u} J_{2u}^T)^{-1}] U_2 \}^{-1/2} \tag{6b}$$

如图 3 所示，二操作手对物体的广义作用力及关节驱动力分别为 $F_i = \begin{bmatrix} F_{fi} \\ F_{mi} \end{bmatrix}, \tau_i \in R^n$ 。这里 $F_i \in R^m, F_{fi} \in R^{m_1}, F_{mi} \in R^{m_2}$ 。 F_1 和 F_2 的合力 $F = \begin{bmatrix} F_f \\ F_m \end{bmatrix}$ 。那么

$$\tau_i = J_i(q_i)^T F_i \quad (i = 1, 2) \tag{7}$$

由式(7)可得

$$F_i = \begin{bmatrix} F_{fi} \\ F_{mi} \end{bmatrix} = [J_i^T]^+ \tau_i = \begin{bmatrix} T_{fi} \\ J_{mi} \end{bmatrix} \tau_i$$

式中 $J_{fi} \in R^{m_1 \times n}, J_{mi} \in R^{m_2 \times n}$ 为矩阵 $[J_i(q_i)^T]^+$ 的二子

$$E_{Df}: F_f^T (J_{1f} J_{1f}^T J_{2f} J_{2f}^T)^{-1} F_f = 1 \tag{9b}$$

$$E_{Dm}: F_m^T (J_{1m} J_{1m}^T J_{2m} J_{2m}^T)^{-1} F_m = 1 \tag{9c}$$

与速度的方向可操作性测度推导一样,由式(9b),式(9c)可分别定义双臂机器人在方向 U_1 上的力可操作性测度 $DMMU_f$,在方向 U_2 上的力矩可操作性测度 $DMMU_m$ 分别为

$$DMMU_f = [U_1^T (J_{1f} J_{1f}^T + J_{2f} J_{2f}^T)^{-1} U_1]^{-1/2} \tag{10a}$$

$$DMMU_m = [U_2^T (J_{1m} J_{1m}^T + J_{2m} J_{2m}^T)^{-1} U_2]^{-1/2} \tag{10b}$$

$DMMU_f, DMMU_m$ 在一定程度上反映了双臂机器人在方向 U 上对物体质心处的传力性能。

同样地, $DMMU_f, DMMU_m$ 的最大值、最小值分别为椭球 E_{Df} 、椭球 E_{Dm} 的长轴、短轴的长度。

下面讨论单臂机器人和双臂机器人之间有关可操作性的关系。

与双臂机器人一样,可定义单臂机器人的有关可操作椭球及方向可操作性测度如表 1 所示。

考虑到 $J_{1v} J_{1v}^T, J_{1\omega} J_{1\omega}^T$ 均为正定矩阵,于是

$$U_1^T (J_{1v} J_{1v}^T)^{-1} + (J_{2v} J_{2v}^T)^{-1} U_1 \geq U_1^T (J_{1v} J_{1v}^T)^{-1} U_1$$

$$U_2^T (J_{1\omega} J_{1\omega}^T)^{-1} + (J_{2\omega} J_{2\omega}^T)^{-1} U_2 \geq U_2^T (J_{1\omega} J_{1\omega}^T)^{-1} U_2$$

表 1 单臂机器人和双臂机器人之间关于可操作性的关系

指标	单臂机器人	双臂机器人
广义速度椭球	$\{X X^T (J_{1v} J_{1v}^T)^{-1} X = 1\}$	$\{X X^T (J_{1v} J_{1v}^T)^{-1} + (J_{2v} J_{2v}^T)^{-1} X = 1\}$
线速度椭球	$\{V V^T (J_{1v} J_{1v}^T)^{-1} V = 1\}$	$\{V V^T (J_{1v} J_{1v}^T)^{-1} + (J_{2v} J_{2v}^T)^{-1} V = 1\}$
角速度椭球	$\{\omega \omega^T (J_{1\omega} J_{1\omega}^T)^{-1} \omega = 1\}$	$\{\omega \omega^T (J_{1\omega} J_{1\omega}^T)^{-1} + (J_{2\omega} J_{2\omega}^T)^{-1} \omega = 1\}$
广义力椭球	$\{F F^T (J_{1f} J_{1f}^T)^{-1} F = 1\}$	$\{F F^T (J_{1f} J_{1f}^T)^{-1} + (J_{2f} J_{2f}^T)^{-1} F = 1\}$
力椭球	$\{F_f F_f^T (J_{1f} J_{1f}^T)^{-1} F_f = 1\}$	$\{F_f F_f^T (J_{1f} J_{1f}^T)^{-1} + (J_{2f} J_{2f}^T)^{-1} F_f = 1\}$
力矩椭球	$\{F_m F_m^T (J_{1m} J_{1m}^T)^{-1} F_m = 1\}$	$\{F_m F_m^T (J_{1m} J_{1m}^T)^{-1} + (J_{2m} J_{2m}^T)^{-1} F_m = 1\}$
U_1 方向上的线速度可操作性测度	$SMMU_{v1} = [U_1^T (J_{1v} J_{1v}^T)^{-1} U_1]^{-1/2}$	$DMMU_{v1} = \{U_1^T (J_{1v} J_{1v}^T)^{-1} + (J_{2v} J_{2v}^T)^{-1} U_1\}^{-1/2}$
U_2 方向上的角速度可操作性测度	$SMMU_{\omega2} = [U_2^T (J_{1\omega} J_{1\omega}^T)^{-1} U_2]^{-1/2}$	$DMMU_{\omega2} = \{U_2^T (J_{1\omega} J_{1\omega}^T)^{-1} + (J_{2\omega} J_{2\omega}^T)^{-1} U_2\}^{-1/2}$
U_1 方向上的力可操作性测度	$SMMU_{f1} = [U_1^T (J_{1f} J_{1f}^T)^{-1} U_1]^{-1/2}$	$DMMU_{f1} = \{U_1^T (J_{1f} J_{1f}^T)^{-1} + (J_{2f} J_{2f}^T)^{-1} U_1\}^{-1/2}$
U_2 方向上的力矩可操作性测度	$SMMU_{m2} = [U_2^T (J_{1m} J_{1m}^T)^{-1} U_2]^{-1/2}$	$DMMU_{m2} = \{U_2^T (J_{1m} J_{1m}^T)^{-1} + (J_{2m} J_{2m}^T)^{-1} U_2\}^{-1/2}$
		$DMMU_{v1} \leq \min\{SMMU_{v1}, SMMU_{v2}\}$ $DMMU_{\omega2} \leq \min\{SMMU_{\omega1}, SMMU_{\omega2}\}$ $DMMU_{f1} \geq \min\{SMMU_{f1}, SMMU_{f2}\}$ $DMMU_{m2} \geq \min\{SMMU_{m1}, SMMU_{m2}\}$

表中 $X \in R^n \quad V \in R^{n1} \quad \omega \in R^{n2} \quad U_1 \in R^{n1}$

$F \in R^n \quad F_f \in R^{n1} \quad F_m \in R^{n2} \quad U_2 \in R^{n2}$

根据速度的方向可操作性测度定义可知

$$\left. \begin{aligned} DMMU_{v1} &\leq \min\{SMMU_{v1}, SMMU_{v2}\} \\ DMMU_{\omega2} &\leq \min\{SMMU_{\omega1}, SMMU_{\omega2}\} \end{aligned} \right\} \tag{11}$$

式(11)表明:在任一方向上,双臂系统速度的可操作性测度小于二操作手速度的可操作性测度.

同理根据力的方向可操作性测度定义可知

$$\begin{cases} \text{DMMU}_f \geq \max\{\text{SMMU}_{f_1}, \text{SMMU}_{f_2}\} \\ \text{DMMU}_m \geq \max\{\text{SMMU}_{m_1}, \text{SMMU}_{m_2}\} \end{cases} \quad (12)$$

式(12)表明:在任一方向上,双臂系统力的可操作性测度大于二操作手的力可操作性测度.

需指出的是,由式(5a)、式(9a)可知:与单臂机器人一样,双臂机器人广义速度椭球 $E_{D_{vm}}$ 的长轴/短轴分别为双臂机器人广义力椭球 $E_{D_{fm}}$ 的短轴/长轴.

4 实例与分析

4.1 理论基础

这里以平面二操作手操作一物体为例.有关结构参数如图4所示.假定 $l=1$.

对操作手 Rob1,雅可比矩阵为

$$J_1(\theta) = \begin{bmatrix} -s_1 - s_{12} - s_{123} & -s_{12} - s_{123} & -s_{123} \\ c_1 + c_{12} + c_{123} & c_{12} + c_{123} & c_{123} \end{bmatrix}$$

式中 $s_1 = \sin\theta_1$; $s_{12} = \sin(\theta_1 + \theta_2)$; $s_{123} = \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$; $c_1 = \cos\theta_1$; $c_{12} = \cos(\theta_1 + \theta_2)$; $c_{123} = \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$.

对操作手 Rob2,雅可比矩阵为

$$J_2(\theta') = \begin{bmatrix} -s'_1 - s'_{12} - s'_{123} & -s'_{12} - s'_{123} & -s'_{123} \\ c'_1 + c'_{12} + c'_{123} & c'_{12} + c'_{123} & c'_{123} \end{bmatrix}$$

式中 $s'_1 = \sin\theta'_1$; $s'_{12} = \sin(\theta'_1 + \theta'_2)$; $s'_{123} = \sin(\theta'_1 + \theta'_2 + \theta'_3)$; $c'_1 = \cos\theta'_1$; $c'_{12} = \cos(\theta'_1 + \theta'_2)$; $c'_{123} = \cos(\theta'_1 + \theta'_2 + \theta'_3)$.

在操作和运动过程中,二操作手之间的约束关系为

$$\begin{cases} g_1(\theta, \theta') = c_1 + c_{12} + c_{123} + c'_1 + c'_{12} + c'_{123} = 0 \\ g_2(\theta, \theta') = s_1 + s_{12} + s_{123} - s'_1 - s'_{12} - s'_{123} = 0 \\ g_3(\theta, \theta') = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \theta'_1 + \theta'_2 + \theta'_3 = 0 \end{cases}$$

该系统在单位方向 $U = (\cos\varphi \quad \sin\varphi)^T$ 上的速度可操作性测度为

$$\text{DMMU}_v = \left\{ [\cos\varphi \quad \sin\varphi] [(J_1 J_1^T)^{-1} + (J_2 J_2^T)^{-1}] \begin{bmatrix} \cos\varphi \\ \sin\varphi \end{bmatrix} \right\}^{-1/2}$$

在方向 U 上的力可操作性测度为

$$\text{DMMU}_f = \left\{ [\cos\varphi \quad \sin\varphi] [(J_1 J_1^T)^{-1} + (J_2 J_2^T)^{-1}] \begin{bmatrix} \cos\varphi \\ \sin\varphi \end{bmatrix} \right\}^{-1/2}$$

4.2 应用1:已知系统位形,确定最佳传速/传力方向

以双臂系统方向可操作性测度为优化指标.通过求解下列优化问题

$$\begin{aligned} \min \quad & F(\varphi) = -\text{DMMU}_v \\ \text{s. t.} \quad & 0 \leq \varphi \leq \pi \end{aligned}$$

可确定系统的最佳传速方向.

通过求解下列优化问题

$$\min \quad F(\varphi) = -\text{DMMU}_f$$

$$\text{s. t. } 0 \leq \varphi \leq \pi$$

可确定最佳传力方向。

设在当前位状态下(如图 4 所示),各关节变量分别为

$$\begin{aligned} \theta_1 &= 120^\circ & \theta_2 &= -60^\circ & \theta_3 &= -60^\circ \\ \theta'_1 &= 60^\circ & \theta'_2 &= 60^\circ & \theta'_3 &= 60^\circ \end{aligned}$$

在当前位形状态下,显然系统沿不同方向的传速性能和传力性能不一样.通过求解上述优化问题,得到

$$\begin{aligned} \text{最佳传速方向: } U &= (\cos 30^\circ \quad \sin 30^\circ)^T \\ \text{最佳传力方向: } U &= (\cos 120^\circ \quad \sin 120^\circ)^T \end{aligned}$$

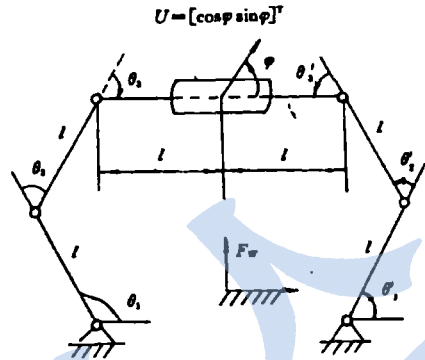


图 4 平面二个 3DOF 操作手

图 5 为单个机器人操作手及双操作手系统

沿不同方向的速度可操作性测度变化曲线.可以看出:在给定的方向上,双操作手系统的速度可操作性测度小于单个操作手的速度可操作性测度.图 6 为单个操作手及双操作手系统沿不同方向的力可操作性测度变化曲线.可以看出,在给定的方向上,双操作手系统的可操作性测度大于单个操作手的力可操作性测度.

对比图 5 和图 6 不难看出,对于双臂机器人系统,在给定的方向上,与单个机器人一样,当速

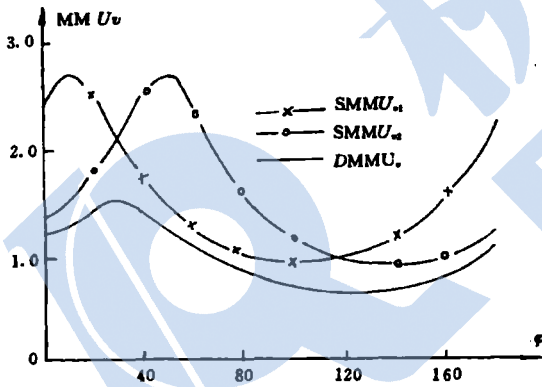


图 5 不同方向的速度可操作性测度

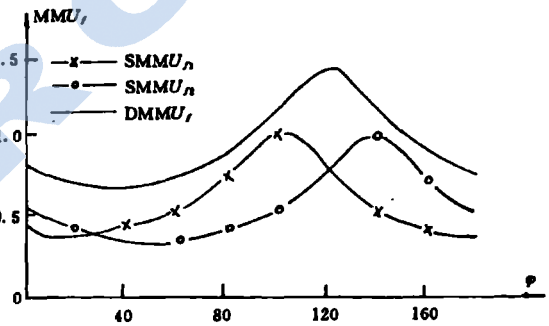


图 6 不同方向的力可操作性测度

度的可操作性最大时,其力的可操作性测度却最小;反之亦然。

4.3 应用 2: 已知物体运动方向 φ , 确定最佳操作位形

以双臂系统方向可操作性测度为优化指标,通过求解下列优化问题可确定最佳传速位形

$$\begin{aligned} \min \quad & F(\theta, \theta') = -DMMU_v \\ \text{s. t.} \quad & g_1(\theta, \theta') = 0 \\ & g_2(\theta, \theta') = 0 \\ & g_3(\theta, \theta') = 0 \\ & -\pi \leq \theta_i \leq \pi \quad -\pi \leq \theta'_i \leq \pi \quad (i=1, 2, 3) \end{aligned}$$

通过求解下列优化问题,可确定最佳传力位形

$$\min \quad F(\theta, \theta') = -DMMU_f$$

$$\begin{aligned} \text{s. t. } & g_1(\theta, \theta') = 0 \\ & g_2(\theta, \theta') = 0 \\ & g_3(\theta, \theta') = 0 \\ & -\pi \leq \theta_i \leq \pi \quad -\pi \leq \theta'_i \leq \pi \quad (i=1, 2, 3) \end{aligned}$$

5 结束语

双臂机器人方向可操作性测度是确定机器人最佳操作位形和最佳操作方向,有效完成一定操作任务的理论基础之一.由前面分析可知:

(1) 在给定方向上,双臂系统的速度可操作性测度小于单个机器人操作手的速度可操作性测度.

(2) 在给定方向上,双臂系统的力可操作性测度大于单个机器人的力可操作性测度.

(3) 对于双臂系统,当速度的方向可操作性测度最大时,沿此方向其力的可操作性测度却最小;反之亦然.

感谢 本文得到廖道训教授,傅祥志教授的指教,在此深表感激.

参 考 文 献

- 1 Lee S. Dual Redundant Arm Configuration Optimization with Task-oriented Dual Arm Manipulability. IEEE Trans Robotics and Automation, 1989, 5(1), 78~97
- 2 Chiacchio P, Chiaverini S, Sciavicco L, Siciliano B. Global Task Space Manipulability Ellipsoids for Multiple-Arm Systems. IEEE Trans Robotics and Automation, 1991, 7(5): 678~685
- 3 Yoshikawa T. Manipulability of Robotic Mechanisms. Int J Robotics Research, 1985, 4(1), 3~29
- 4 Chiu S. Task Compatibility of Manipulator Postures. Int J Robotics Research, 1988, 7(5): 13~21
- 5 Chen Guofeng *et al.* Direction-oriented Manipulability Measure of Dual-Arm Robot. 2nd Asian Conf on Robot and Its Applications, Beijing, 1994

DIRECTION-ORIENTED MANIPULABILITY MEASURES OF DUAL-ARM ROBOTS

CHEN Guofeng YANG Angyue

(National University of Defence Technology, Changsha 410073)

Abstract A dual-arm robot can be appropriately viewed as a mechanical transformer with joint velocity and force as input and cartesian velocity and exerted force of the object as output. This paper presents the direction-oriented manipulability of dual-arm robots, and the velocity and force transmission characteristics under a given posture. The direction-oriented linear/rotation velocity and force/moment manipulability measures are defined. The applications of these indices as optimal performance criterion are explored, and illustrating examples are given out.

Key words Dual-arm robot, velocity manipulability, force manipulability

作者简介

陈国锋:男,27岁,工学博士.研究领域:多机协调运动规划与控制,工程CAD及虚拟现实技术等.

杨昂岳:男,51岁,教授.研究领域:机器人机械学,机械CAD.