

文章编号 1004-924X(2008)01-0108-06

3-UCR 并联机构的瞬态运动学研究

程 刚¹, 葛世荣¹, 蒋世磊²

(1. 中国矿业大学 可靠性与救灾机器人研究所, 江苏 徐州 221008;

2. 中国科学院 光电技术研究所, 四川 成都 610209)

摘要:基于反螺旋理论与虚拟机构法对一种特殊 3-UCR 并联机构的瞬态运动特性进行了分析。利用支链与动平台的一阶影响系数矩阵之间的关系,建立了此并联机构在螺旋坐标系下的瞬态运动数学模型,得出了一阶影响系数矩阵只与机构输入参数和机构构型有关的结论。提出的建模方法同样适用于其它欠自由度并联机构的瞬态运动特性分析,运用该数学模型,可得到任意瞬态的螺旋系节距。分析表明,该机构具有两转动一平动的瞬态运动特性,并利用动静平台平行位姿时的具体数值实例,验证了上述分析结果。

关键词:并联机构;反螺旋理论;虚拟机构法;瞬态运动

中图分类号:TP242 **文献标识码:**A

Research on transient kinematic characteristics of 3-UCR parallel robot

CHENG Gang¹, GE Shi-rong¹, JIANG Shi-lei²

(1. *Institute of Reliability and Rescue Robotics, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China;*

2. *Institute of Optics and Electronics, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610209, China*)

Abstract: Based on principal screw theory and imaginary mechanism method, the transient kinematic characteristics of a three degree-of-freedom spatial parallel manipulator with three UCR limbs are analyzed. According to the topologic structure of limbs, the screw coordinate system is set up and the kinematics of limbs are analyzed. By using the relation between the influence coefficient matrixes of limbs and moving platform, the transient kinematic model in the screw coordinate is established. It is shown that the influence coefficient matrix only depends on the inputs and the kinematic parameters, and the method is also fit for the transient kinematic characteristic analysis of other kinds of lower-DOF parallel manipulators. The gained transient pitches of principal screws show that the manipulator has three DOFs in one translation and two rotations. By numerical examples of moving platform parallel to the base, the kinematic characteristics of the parallel manipulator are verified.

Key words: parallel manipulator; principal screw theory; imaginary mechanism method; transient motion

收稿日期:2007-06-25;修订日期:2007-08-20.

基金项目:国家 863 高技术计划资助项目(No. 2006AA04Z208)

1 引言

并联机器人相对于传统的 PUMA、SCARA 等串联机器人具有精度、速度以及承载能力等方面的优势,但并联机器人也存在工作空间小、运动副造价高以及精度无法保证等缺陷,而且多数应用场合并不需六个空间自由度,所以许多学者更倾向于欠自由度并联机器人的研究^[1-2]。由于拥有广泛的应用前景,三自由度并联机构的分析得到了越来越多的关注,但大部分相关分析集中于纯平动或纯转动^[3-4]机构,而对具有两转动一平动运动特性的并联机构涉及很少。Hunt 于 1983 年提出了 3-RPS 机构^[5],实现了动静平台在平行与非平行两种情况下两转动一平动运动特性,国内外学者对 3-RPS 并联机器人的运动学、奇异性以及动力学等进行了研究^[6-9]。由于其特殊的运动特性,3-RPS 并联机构被广泛应用于机械手、微动测量以及运输抓取工具等^[10-11]。

并联机器人性能主要取决于末端执行器的特性,包括执行器自由度数量、工作空间、奇异性以及动力学性能等,而这些特性都与机器人的运动特性有着不可分割的关系。由于并联机器人支链之间相互影响而引起的并联机器人运动耦合,使得并联机器人运动特性分析较复杂。为了能准确地描述其瞬态运动特性,Fang、Tsai 与 Wolf 等人引入了互易螺旋坐标系,运用空间螺旋约束分析动平台运动特性^[3,12],Sokolov 运用微分几何法分析动平台瞬态运动特性,进一步研究了平台的奇异位形^[7]。针对两转动一平动并联机构类型较少的情况,本文提出了一种特殊的 3-UCR 并联机构,运用互易螺旋理论中主螺旋的概念对此机构动平台的瞬态运动特性进行了分析,通过对比支链与动平台之间的一阶影响系数矩阵,建立了主螺旋分析的数学模型,得到了空间几何约束和相应的动平台运动特性。

2 主螺旋理论

螺旋系统中的主螺旋相互垂直相交,而且主螺旋数目与螺旋系统阶数相同。螺旋系统中的任何一个螺旋都是此系统中主螺旋之间的线性组合,因此,主螺旋是机构运动学特征分析中的重要手段,要进一步了解并联机构的运动本质,必须分

析并求解机构中的主螺旋。主螺旋描述刚体的瞬间独立运动,同时也是螺旋系研究的基础。对于二阶螺旋系的主螺旋,其求解过程很简单。相对来说,三阶螺旋系的主螺旋求解更复杂,3 个主螺旋节距中 2 个为极值,三阶螺旋系中所有的螺旋节距都介于主螺旋最大和最小节距之间。Ball 提出运用映射几何法对其进行推导^[13],Fang 使用二次退化理论分析了三阶主螺旋^[14]。

Hunt^[15]的研究表明:当 $h=h_1$ 或 $h=h_3$ 时,二次曲面退化为主螺旋轴 1 或 3;当 $h=h_2$ 时,二次曲面退化为一对相交平面,平面交线为主螺旋轴 2;当 $h_1>h>h_2$ 时,单叶双曲面的中心对称轴为主螺旋轴 1,中心椭圆在平面内且其半长轴为主螺旋轴 2;当 $h_2>h>h_3$ 时,单叶双曲面的中心对称轴为主螺旋轴 3,它的中心椭圆在轴 1、轴 2 构成的平面内,其半长轴仍为轴 2。如果螺旋系中有节距与 h_1, h_2, h_3 中任意一个相同,二次方程将会退化。当 $h=h_1$ 或 $h=h_3$,平面二次方程将退化成相交于一点且互相垂直的虚直线;当 $h=h_2$,平面二次方程将退化成两条实直线。

在螺旋理论^[15]中,当螺距 $h=0$ 时, $S=(s, s')$, s 为轴线矢量方向,此时运动螺旋可描述相应的转动副,称为空间螺旋线矢力,体现为反螺旋时,约束对应的移动并约束一定的转动;当螺距 $h=\infty$,则 $S=(0, s)$, s 为轴线矢量方向,此时运动螺旋可描述相应的移动副,称为空间螺旋力偶,体现为反螺旋时,仅约束对应的转动。

3 主螺旋分析模型

由以上理论可知,转动与平动两种基本运动副的螺旋节距分别是 0 与 ∞ 。而在对机构自由度以及运动特性分析时,主要是研究运动部件的转动与平动特性,所以本文着重对主螺旋的节距进行分析。

为了求解主螺旋节距,首先需分析一阶影响系数矩阵 G, G' ,在此运用虚拟机构原理^[16],得到支链一阶影响系数矩阵 G_i^0 ($i=1, 2, 3$) 为:

$$G_i^0 = A_i^0 [S_0^{(i)} \quad S_1^{(i)} \quad S_2^{(i)} \quad S_3^{(i)} \quad S_4^{(i)} \quad S_5^{(i)}], \quad (1)$$

其中, A_i^0 为支链坐标系与静平台固定坐标系之间的变换矩阵。动平台执行部件的角速度 ω 及其重合点的线速度 v_p 与各支链运动副速度 $\xi^{(i)}$ 之间关系如下:

$$[\omega \quad v_p]^T = \mathbf{G}_i^0 [\dot{\xi}_0^{(i)} \quad \dot{\xi}_1^{(i)} \quad \dot{\xi}_2^{(i)} \quad \dot{\xi}_3^{(i)} \quad \dot{\xi}_4^{(i)} \quad \dot{\xi}_5^{(i)}]. \quad (2)$$

对于三阶螺旋系,可选取任意两个运动副为输入速度,例如,如果选择第一个与第三个运动副为输入,则取 $\mathbf{G}_0^i = (\mathbf{G}_i^0)^{-1}$ 对应的一阶影响系数的行列为:

$$[\mathbf{G}_H^i] = [[\mathbf{G}_0^i]_3 [\mathbf{G}_0^i]_3 [\mathbf{G}_0^i]_3 [\mathbf{G}_0^i]_1 [\mathbf{G}_0^i]_1 [\mathbf{G}_0^i]_1]^T \in \mathbf{R}^{6 \times 6}. \quad (3)$$

输入参数的数目与机构自由度数目有着紧密联系,不同自由度机构需要不同的输入参数(冗余驱动除外),所以一阶影响系数矩阵 \mathbf{G} 与 \mathbf{G}' 的形式也由自由度数目决定. 假设机构自由度为 3,则需要 3 个主动输入, ω, v_p 与 \mathbf{G}, \mathbf{G}' 的关系如下:

$$[\omega \quad v_p]^T = \mathbf{G}_L^H [\dot{L}_1 \quad \dot{L}_2 \quad \dot{L}_3] = [\mathbf{G}' \quad \mathbf{G}] [\dot{L}_1 \quad \dot{L}_2 \quad \dot{L}_3], \quad (4)$$

式中 \mathbf{G}_L^H 为 6×3 矩阵,是由 $[\mathbf{G}_H^i]^{-1}$ 的前三列构成的.

Fang 研究了机器手的瞬态运动螺旋特性,求解得到其节距与轴线方程如下:

$$h = \frac{(\mu \sigma \ 1)^T \mathbf{G}'^T \mathbf{G} (\mu \sigma \ 1)}{(\mu \sigma \ 1)^T \mathbf{G}'^T \mathbf{G}' (\mu \sigma \ 1)}, \quad (5)$$

$$r\mathbf{G}' (\mu \sigma \ 1) = (\mathbf{G} - h\mathbf{G}') (\mu \sigma \ 1), \quad (6)$$

其中, $(\mu \ \sigma) = (\dot{L}_1/\dot{L}_3 \quad \dot{L}_2/\dot{L}_3)$, $\dot{L}_1, \dot{L}_2, \dot{L}_3$ 分别表示三阶螺旋系的 3 个主动输入参数的变化量,由式(5)可得到:

$$a_{11}\mu^2 + 2a_{12}\mu\sigma + a_{22}\sigma^2 + 2a_{13}\mu + 2a_{23}\sigma + a_{33} = 0, \quad (7)$$

其中,系数 a_{ij} 是 3×3 矩阵 \mathbf{G} 与 \mathbf{G}' 内参数以及动平台上螺旋节距 h 的函数,如果二元方程式(7)表示的二次曲线退化,则必须满足以下条件:

$$\mathbf{D} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} = 0, \quad (8)$$

展开式(8)可得到:

$$c_1 h^3 + c_2 h^2 + c_3 h + c_4 = 0. \quad (9)$$

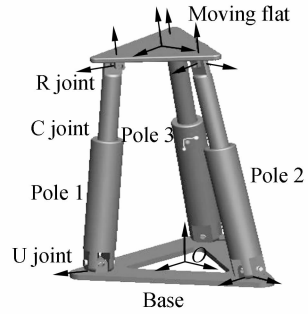
上式的三个解分别表示此三阶螺旋系的三个主螺旋节距,通过主螺旋节距,可判断并联机构的瞬态运动特性.

4 3-UCR 并联机构螺旋分析

4.1 3-UCR 并联机构

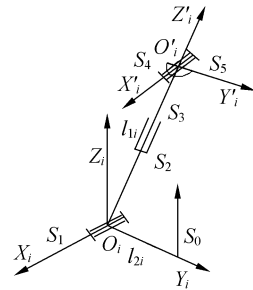
3-UCR 并联机构由动静平台以及 3 条支链构成,支链中包含虎克铰(U)、圆柱副(C)、转动副

(R),各支链与动静平台的连接位置为等边三角形. 支链坐标系如图 1(b)所示,静平台上 R 副的轴线为坐标系 $O_i X_i Y_i Z_i$ 的 X_i 轴方向,而 Y_i 轴垂直 X_i 轴且位于静平台内, Z_i 垂直于 X_i, Y_i 构成的平面;同样,动平台上 U 副决定的两个旋转方向构成了坐标系 $O'_i X'_i Y'_i Z'_i$ 的 X'_i, Y'_i 方向, Z'_i 垂直于 X'_i, Y'_i 构成的平面,此两坐标系符合右手原则.



(a) 3-UCR 并联机械机构图

(a) Diagram of 3-UCR parallel mechanism



(b) UCR 支链机构简图

(b) UCR topological limb

图 1 3-UCR 并联机构

Fig. 1 3-UCR parallel mechanism

如图 1(a)所示,此机构共有 14 个杆件、15 个运动副,单支链存在五个自由度,且不存在公共约束与虚约束,根据 Kutzsch-Grübler 公式可知 3-UCR 并联机构拥有三个自由度,所以此机构的所有螺旋均可由 3 个线性无关的主螺旋线性组合得到,即所谓的三阶螺旋系.

4.2 3-UCR 并联机构螺旋分析

由上述主螺旋分析可知,为求解一阶影响系数矩阵,首先需通过虚拟机构原理对支链螺旋坐标进行构造,如图 1(b)所示,在支链垂直 Y_i 轴方向构造一个虚拟螺旋坐标 S_0 ,通过对支链各个运动副螺旋坐标的确定,可得到支链的 5 个运动副

与 1 个虚拟运动副的螺旋坐标如下式所示:

$$\begin{cases} \mathbf{S}_1 = (0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0) \\ \mathbf{S}_2 = (0 & 0 & 0 & -\sin \alpha_i & 0 & \cos \alpha_i) \\ \mathbf{S}_3 = (-\sin \alpha_i & 0 & \cos \alpha_i & 0 & 0 & 0) \\ \mathbf{S}_4 = (0 & 1 & 0 & l_{1i} \cos \alpha_i & 0 & l_{1i} \sin \alpha_i) \\ \mathbf{S}_5 = (\cos \alpha_i & 0 & \sin \alpha_i & 0 & -l_{1i} & 0) \\ \mathbf{S}_6 = (0 & 0 & 1 & l_2 & 0 & 0) \end{cases}, \quad (10)$$

式中, α_i 为支链 l_i 与支链坐标系中 Z_i 的夹角, 且 $\alpha_i = \arcsin((r-r')/l_i)$, l_{1i} 为各支链的瞬时长度, l_2 为各支链上如图 1(b) 所示的虚拟螺旋坐标。各支链一阶影响系数矩阵 \mathbf{G}_i^0 可由式(10)构成, 选择虚拟运动副与圆柱运动副中的平动运动为主动输入, 则各支链对动平台输出速度影响矩阵 \mathbf{G}_H^0 为:

$$\mathbf{G}_H^0 = \begin{bmatrix} 0 & -c\alpha_1 & 0 & -s\alpha_1 & 0 & c\alpha_1 \\ \frac{\sqrt{3}rc\alpha_2}{2} & \frac{1}{2rc\alpha_2} & 0 & \frac{s\alpha_2}{2} & \frac{-\sqrt{3}s\alpha_2}{2} & c\alpha_2 \\ \frac{\sqrt{3}rc\alpha_3}{2} & \frac{1}{2rc\alpha_3} & 0 & \frac{s\alpha_3}{2} & \frac{\sqrt{3}s\alpha_3}{2} & c\alpha_3 \\ \frac{l_{11}c\alpha_1}{l_2+l_{11}s\alpha_1} & 0 & \frac{r+l_{11}s\alpha_1}{l_2+l_{11}s\alpha_1} & 0 & \frac{1}{(l_2+l_{11}s\alpha_1)} & 0 \\ \frac{-l_{12}c\alpha_2}{2(l_2+l_{12}s\alpha_2)} & \frac{\sqrt{3}l_{12}c\alpha_2}{2(l_2+l_{12}s\alpha_2)} & \frac{r+l_{12}s\alpha_2}{l_2+l_{12}s\alpha_2} & \frac{-\sqrt{3}}{2(l_2+l_{12}s\alpha_2)} & \frac{-1}{2(l_2+l_{12}s\alpha_2)} & 0 \\ \frac{-l_{13}c\alpha_3}{2(l_2+l_{13}s\alpha_3)} & \frac{-\sqrt{3}l_{13}c\alpha_3}{2(l_2+l_{13}s\alpha_3)} & \frac{r+l_{13}s\alpha_3}{l_2+l_{13}s\alpha_3} & \frac{\sqrt{3}}{2(l_2+l_{13}s\alpha_3)} & \frac{-1}{2(l_2+l_{13}s\alpha_3)} & 0 \end{bmatrix}. \quad (11)$$

运用前述的反螺旋分析数学模型, 可求得相应的 3-UCR 并联机构一阶影响系数矩阵 \mathbf{G} 与 \mathbf{G}' , 进而由式(5)、(9)解出一般姿态下的螺旋节距方程, 从而通过节距分析可得出此并联机构在任何姿态下都处于三自由度(两转动一平动)的运动状态。由于得出的 \mathbf{G} 、 \mathbf{G}' 节距方程较繁琐, 文中略去相应的叙述。

4.3 动静平台平行时主螺旋分析

当动静平台处于平行位姿时, 根据 UCR 支

链的特殊构造, 可知此时机构中的参数满足一些条件: 各支链长度 l_i 相等、各支链与 Z_i 轴夹角相等。假设此并联机构瞬态参数已知, 即 $l_i = 180 \text{ mm}$, $l_2 = 35 \text{ mm}$, $r = 45 \text{ mm}$, $r' = 35 \text{ mm}$, 则把这些瞬时机构参数代入上述的 3-UCR 并联机构主螺旋分析公式中, 可得各支链对动平台的输出速度影响矩阵 \mathbf{G}_H^0 :

$$\mathbf{G}_H^0 = \begin{bmatrix} 0 & -49.938 & 0 & -4.9979 \times 10^{-2} & 0 & 9.9875 \times 10^{-1} \\ 43.248 & 24.969 & -7.4742 \times 10^{-17} & 2.4989 \times 10^{-2} & -4.3283 \times 10^{-2} & 9.9875 \times 10^{-1} \\ -43.248 & 24.969 & 7.4742 \times 10^{-17} & 2.4989 \times 10^{-2} & 4.3283 \times 10^{-2} & 9.9875 \times 10^{-1} \\ 3.9953 & 0 & 1.2 & 0 & 2.0002 \times 10^{-2} & 0 \\ -1.9976 & 3.46 & 1.2 & -1.7322 \times 10^{-2} & -0.01 & -6.9389 \times 10^{-18} \\ -1.9976 & -3.46 & 1.2 & 1.7322 \times 10^{-2} & -0.01 & 6.9389 \times 10^{-18} \end{bmatrix}. \quad (12)$$

通过对 \mathbf{G}_H^0 矩阵求逆, 求解得出一阶影响系数矩阵 \mathbf{G} 与 \mathbf{G}' 如下式:

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} -2.2224 & 1.1112 & 1.1112 \\ 4.4409 \times 10^{-16} & -1.9246 & 1.9246 \\ 3.3375 \times 10^{-1} & 3.3375 \times 10^{-1} & 3.3375 \times 10^{-1} \end{bmatrix}, \quad (13)$$

$$\mathbf{G}' = \begin{bmatrix} -1.7347 \times 10^{-18} & 9.635 \times 10^{-3} & -9.635 \times 10^{-3} \\ -1.1126 \times 10^{-2} & 5.5629 \times 10^{-3} & 5.5629 \times 10^{-3} \\ 3.7565 \times 10^{-18} & -2.3217 \times 10^{-16} & 2.2927 \times 10^{-16} \end{bmatrix}. \quad (15)$$

将式(13)、(14)代入螺旋系节距方程后,化简得到:

$$9.0939 \times 10^{-44} h^3 + 6.097 \times 10^{-26} h^2 + 1.8077 \times 10^{-36} h - 1.1126 \times 10^{-49} = 0. \quad (15)$$

求解式(15)得到此瞬态 3-UCR 并联机构节距值如式(16):

$$h = [-6.7045 \times 10^{17} \quad -2.971 \times 10^{-9} \quad 6.1421 \times 10^{-12}]. \quad (16)$$

通过式(16)可看出,此瞬间节距有 2 个值可近似为 0,此时 3 个主动输入速度可取任意值。又由螺旋定义可知,节距为 0 对应的螺旋运动为纯转动,所以机构中存在 2 个输出瞬态转动;而另一值可近似为 ∞ , $h = \infty$ 对应的螺旋运动为纯移动,所以机构中存在 1 个输出瞬态移动。由以上分析可看出,当动静平台平行时,3-UCR 并联机构拥有两转动一平动的瞬间运动特性。

5 结 论

(1) 运用主螺旋理论与虚拟机构理论对 3-UCR 并联机构进行了分析,分析结果表明主螺旋理论适用于此类并联机构的瞬态运动特性分析;

(2) 一阶影响系数矩阵与机构运动速度无关,不需求导,只与机构输入参数、机构构型及其尺寸参数等有关;

(3) 运用主螺旋理论对 3-UCR 并联机构的瞬态运动特性进行了分析,并通过具体数值实例验证了此机构在任一瞬态均具有两转动一平动的运动特性;

(4) 由于此机构在任一瞬态均具有统一的运动特性,而且拥有特殊的运动自由度,所以在机器人、精密测量等领域均具有一定的应用前景。

参考文献:

- [1] LEE C C, HERVE J M. Translational parallel manipulators with doubly planar limbs[J]. *Mechanism and Machine Theory*, 2006, 41: 433-455.
- [2] 杜兆才,余跃庆,苏丽颖. 动平台惯性参数对柔性并联机构动力学特性的影响及优化设计[J]. *光学精密工程*, 2006, 14(6): 1009-1016.
DU ZH C, YU Y Q, SU L Y. Effects of inertia parameters of moving platform on the dynamic characteristic of flexible parallel mechanism and optimal design[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(6): 1009-1016. (in Chinese)
- [3] FANG Y F, TSAI L W. Structure synthesis of a class of 3-DOF rotational parallel manipulators [J]. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 2004(1): 117-121.
- [4] KONG X W, GOSSELIN C M. Type synthesis of 3-DOF translational parallel manipulators based on screw theory and a virtual joint [C]. *Proc. of the 15th CISM-IFTOMM Symp. on Robot Design, Dynamics and Control, Saint-Hubert, Montreal, Canada*, 2004.
- [5] HUNT K H. Structural kinematics of in-parallel-actuated robot-arms[J]. *Journal of Mechanism Transformation and Automation*, 1983, 105: 705-712.
- [6] ZHANG F, YANG J G, LI B Z, et al.. Kinematic accuracy analysis of a 3-DOF parallel kinematic machine[C]. *IEEE 6th World Congress on Intelligent Control and Automation*, 2006:7973-7977.
- [7] ALEXEI S, PAUL X. Singularity analysis of a 3-DOF parallel manipulator with R-P-S joint structure[J]. *Robotica*, 2006, 24: 131-142.
- [8] HODJAT P, MOHAMMAD V, HASSAN Z. Efficient dynamic equations of 3-RPS parallel mechanism through lagrange method[C]. *IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics*, 2004:1152-1157.

- [9] 王乐锋,荣伟彬,孙立宁. 三支链六自由度并联柔性铰微动机器人的研究[J]. 光学精密工程,2007,15(4): 529-534.
WANG L F, RONG W B, SUN L N. Research on a three-link six-DOF micromanipulator with flexure hinges[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007,15(4): 529-534. (in Chinese)
- [10] 陈修龙,赵永生,鹿玲. 新型并联机器人坐标测量机仿真建模的实现[J]. 光学精密工程,2006,14(6): 1025-1031.
CHEN X L, ZHAO Y SH, LU L. Research on novel parallel robot coordinate measuring machine simulation modeling[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006,14(6):1025-1031. (in Chinese)
- [11] ZHU D C, FENG Y P, FANG Y F. A novel parallel manipulator design for packaging and assembly[C]. *IEEE 6th International Conference on Electronic Packaging Technology*, 2005:108-112.
- [12] ALON W, MOSHE S. Screw theory tools for the synthesis of the geometry of a parallel robot for a given instantaneous task[J]. *Mechanism and Machine Theory*, 2006,41: 656-670.
- [13] BALL R S. *A Treatise on the Theory of Screws* [M]. Cambridge:Cambridge University Press, 1900.
- [14] FANG Y F, HUANG Z. Analytical identification of the principal screws of the third order screw system[J]. *Mechanism and Machine Theory*, 1998,33(7): 987-992.
- [15] HUNT K H. *Kinematic Geometry of Mechanisms* [M]. Cambridge:Cambridge University Press, 1978.
- [16] HUANG Z, WANG H B. Dynamic force analysis of n-DOF multiloop complex spatial mechanisms[J]. *Mechanism and Machine Theory*, 1992, 27(1): 97-105.

作者简介:程刚(1977—),男,安徽淮北人,博士研究生,主要从事并联机构及救灾机器人的研究。E-mail: chgwqx@gmail.com

葛世荣(1963—),男,博士生导师,主要从事生物摩擦学、微型机械摩擦学、救灾机器人、矿山机械可靠性等方面的研究。E-mail: gesr@cumt.edu.cn

(本栏目编辑 李树军)

下期预告

激光主动成像系统信噪比模型的研究

庞春颖^{1,2,3},张涛^{1,2}

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130033;

2. 中国科学院 研究生院,北京 100039;3. 长春理工大学,吉林 长春 130022)

摘要:根据主动成像系统的成像过程,通过分析目标与背景的辐射特性、大气的后向散射特性、距离选通特性以及激光发射器和接收器的性能,建立了激光主动成像系统的信噪比模型。并利用工作波长为 $0.532\ \mu\text{m}$ 的固体激光器、ICCD 相机以及基于 CPLD 技术设计的距离选通同步控制板,进行了距离选通激光主动成像实验。理论模型与实际图像之间信噪比平均误差为 2.58 dB,证实了该模型的合理性。

关键词:主动成像;信噪比;距离选通;后向散射