

两足步行机步行过程的计算机仿真

刘平安

(机械工程系)

摘要 以笔者自行设计的两足步行机构模型为实例,在满足静态稳定条件下对步行过程进行计算机仿真,并对两足步行的关键问题即稳定性问题进行了探讨.

关键词 两足步行; 计算机仿真; 步行稳定性

分类号 TP242

0 引言

就目前进行的步行机器人研究来说,按足数多少主要分为单足跳跃式,双足、三足、四足、五足、六足、八足和象蜈蚣爬行一样的多足式步行机.但随着研究的进一步发展,其足数也在逐渐减少,趋向于与人类步行类似的两足步行机构.更重要的是双足步行机由于体积小,灵活轻便,类似人类两足步行,因而,步行占用场地少,使用较为方便,易于获得人们认可.但研究的难度也最大,精度要求较高,尤其稳定性要求高,这正是自六十年代末以来日本最先开始研制两足步行机至今尚未能走向商业应用的原因,也正因为此而吸引了国内外许多机械学专家对两足步行机步行机构进行研究.

通过以两足模型机为对象,在计算机上进行步行过程的仿真分析,从而对步行性能作出评价,探索实现两足稳定步行获得理想步态的有效途径.

如图1(a)为一用作两足步行机的单脚机构,它为第二类 stephenson 平面六杆机构,其参数如下: $x_B=0$, $y_B=0$, $BK=200$, $BL=200$, $\Phi_0=0^\circ$; $x_A=-12$, $y_A=-80$, $FE=34$, $AF=16$, $\Phi_0=48^\circ$; $b=30$, $c=109$, $d=20$, $\beta=-60^\circ$, $\varphi=-26^\circ$, 综合过程见文献[1]. 其中 AF 为曲柄, A 、 B 分别为股部和腰部关节, BL 、 BK 分别为大、小腿长度. 图1(b)为双腿机构图,由两个单脚机构以曲柄呈 180° 相位安装得到.

图2为装上了步行稳定调整机构,即大、小腿各装一个平行四边形机构的两足步行机,步行时通过调整腰部曲柄 $BN1$ 、 $BN2$ 的倾角 α 、 α 来保证步行静态稳定. 其调整原理及方法见文献[2]. M 点称为踝关节,其以下部分为足机构,结构见文献[2].

该步行机构为具有三个自由度的少自由度步行机,即一个步行自由度 Φ (曲柄 AF 转角),两个调整自由度 α 和 α 即 $BN1$, $BN2$ 转角. 它由脚机构,足机构,稳定调整机构三部分组

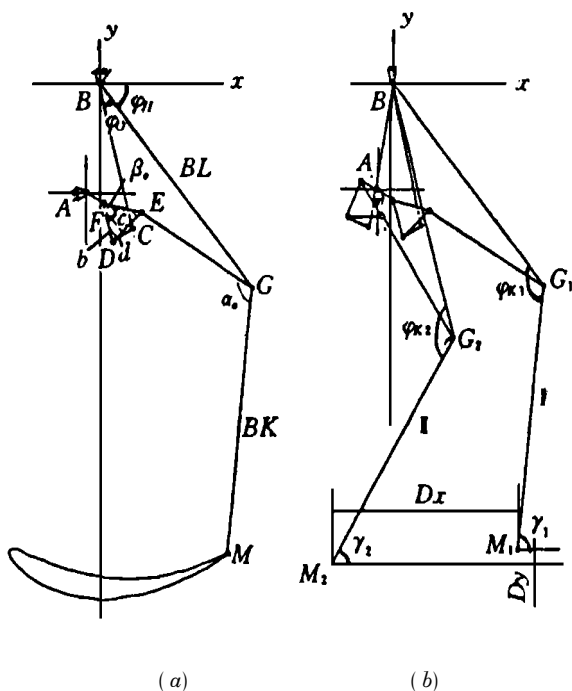


图 1

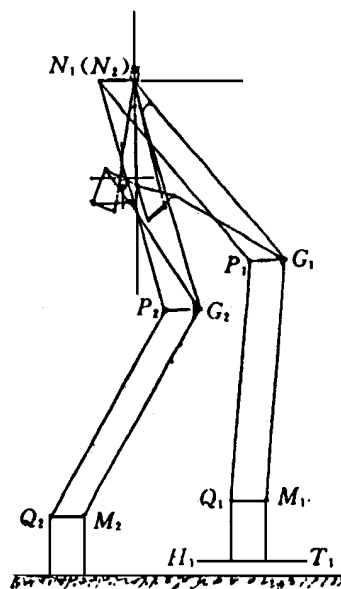


图 2

成. 下面以该步行机为例, 介绍其步行过程的计算机仿真.

1 步行过程的计算机仿真

在静态稳定条件下, 步行的主要参数是当脚机构中曲柄匀速转动时, 两脚的相对位移 (前进方向和铅垂方向), 机体重心位移, 以及股关节、膝关节、踝关节角度的变化规律, 都是曲柄转角 φ ($\varphi=0\sim360^\circ$) 的函数.

图 3 (a~h) 为一完整的步行周期 ($\varphi=0\sim360^\circ$; 双脚各向前跨出一步) 的仿真曲线. 下面分别说明如下:

图 3 (a) 为踝关节 J_A 即机构连杆点 M 在 XOY 坐标中的轨迹, 图中以轨迹最右点时曲柄所在位置为 $\varphi=0^\circ$; 在 $\varphi=300\sim360$ 时曲线经过最右端变化较慢, 为双脚变换位置 (由摆动到支承或相反), 速度慢对顺利换脚有利.

图 3 (b) 为 y (φ 曲线, $\varphi=0\sim180$ 即 1 $\rightarrow$ 4 段为完全支承^[2], 其中 $\varphi=20\sim150^\circ$ 为单脚完全支承即 2 $\rightarrow$ 3 段, 它反应机身垂直方向振动, 应尽量小. 实际为 $\Delta y_{\max}=8.71$, 对应 $\varphi=20\sim97^\circ$, $\Delta\varphi=77^\circ$ 区间振幅不算大. 1 $\rightarrow$ 2 与 3 $\rightarrow$ 4 均为双脚支承, 其垂向振动对稳定的影响可通过调整另一只脚来平抑. 4 $\rightarrow$ 5 及 6 $\rightarrow$ 1 分别为一只脚抬起与放下的区间.

图 3 (c) 为 x (φ 曲线, 1 $\rightarrow$ 2 即 $\varphi=0\sim180$ 脚呈完全支承相, x 为机身相对支承脚朝相反方向移动距离, 为近似直线即机身近似匀速向前运动. 后半周为另一只脚历经抬起、摆动、放下过程, 其 x 值变化对步行无直接影响.

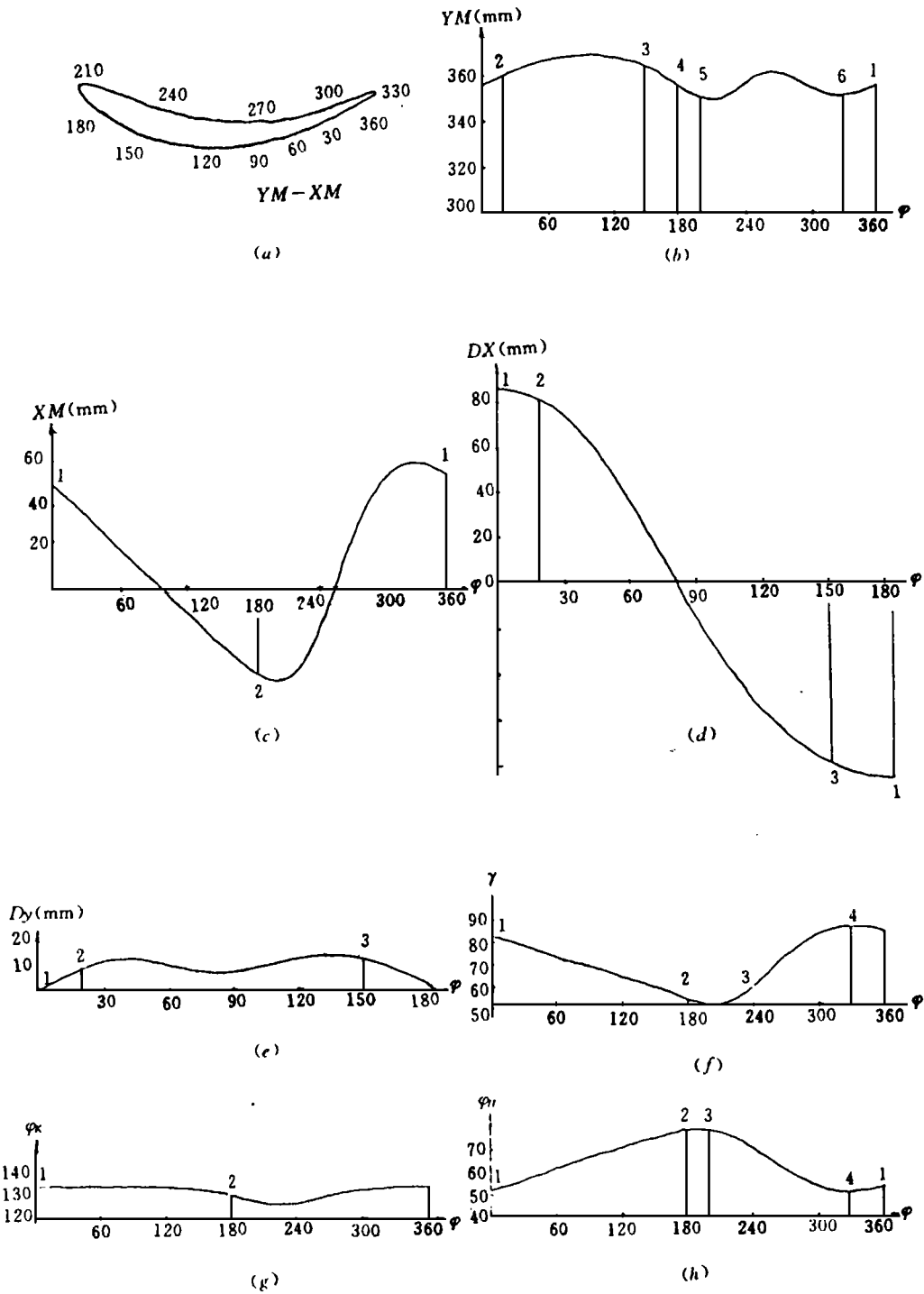


图 3

图 3(d) 为 $Dx(\varphi)$ 曲线, 即 $Dx(\varphi) = x(\varphi) - x(\varphi + 180^\circ)$, 半周内两脚相对水平位移, 也就是步行时另一只脚相对完全支承脚的水平距离. $Dx > 0$ 表示另一只脚在完全支承脚的后面, 反之在其前面, 约在 $\varphi = 80^\circ$ 时 $Dx = 0$ 为后脚越过前脚. $1 \rightarrow 2$ 及 $3 \rightarrow 1$ 对应另一只脚抬起、放下区间, 此时为双脚支承, 因而 Dx 的变化反应是脚尖 ($1 \rightarrow 2$) 或脚跟 ($3 \rightarrow 1$) 相对地面 (完全支承脚) 的水平相对滑动, 因而要求 Dx 变化越小越好. 两区间的 ΔDx 分别为 10.24 和 13.42, 平均每度为 0.51 和 0.45 长度单位.

图 3(e) 为 $Dy(\varphi)$ 曲线即 $Dy(\varphi) = -[y(\varphi) - y(\varphi + 180^\circ)]$, 也就是半周内两脚垂直相对位移曲线. 步行时为一只脚相对于完全支承脚高度, 当有跨越或需上台阶时, 必须对 $Dy_{\max}$ 提出一定要求. 在摆动相若足有倾斜也应保证其不触地. 所以 Dy 应尽可能大一点. 本机 $Dy_{\min} = 7.15$ 太小, 且此时 φ 约为 81° ; 为后脚越过前脚区间, 必须保证其足底水平或限制其倾斜.

图 3(f) 为 $\chi(\varphi)$ 曲线, 主要在 $\varphi = 0^\circ \sim 180^\circ$ 时反应立脚 (完全支承脚) 前倾程度变化, 必须小于 90° ; 实际为 $82.27^\circ \sim 53.26^\circ$; 且近似直线, 即机身以立脚踝关节为中心均匀向前倾, 重心逐步前移, 实际上调整 α 角达到稳定, 也就是通过改变 γ 来实现. 在 $2 \rightarrow 3$ 和 $4 \rightarrow 1$ 为抬、放脚区间, 此时 γ 应越小越好, 有利过渡.

图 3(g) 为 $\varphi(\varphi)$ 曲线, 即步行时膝关节角度变化规律. 按人体步行膝关节角 φ 变化有: $\varphi \leq 170^\circ$; $\Delta\varphi = 50^\circ \sim 70^\circ$; 此处 $\varphi = 126.28^\circ \sim 133.97^\circ$, $\Delta\varphi = 7.69^\circ$; 所以 φ 变化太小, 步态不太理想, 膝关节太曲, 象拐子步行, 受力不太好, 但不影响步行运动.

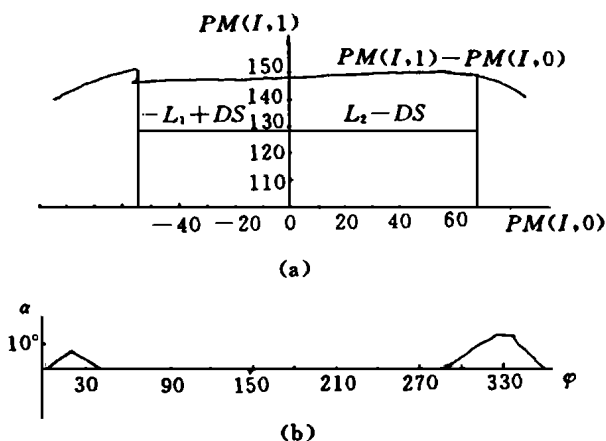


图 4

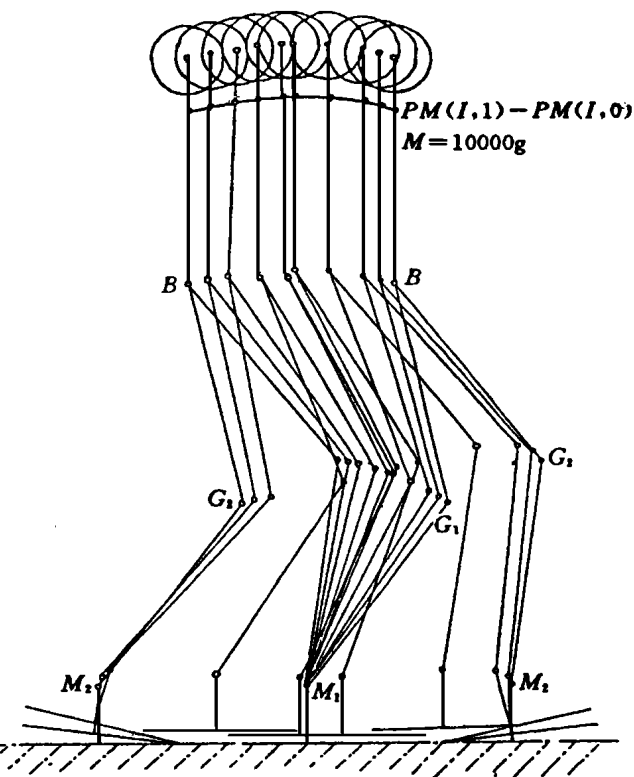


图 5

图 3(h) 为大腿相对机身摆角 Φ (Φ , 同样按人体步行有 $\Delta\Phi = 40 \sim 50^\circ$; 现为 $\Phi = 49.5 \sim 77.33^\circ$; $\Delta\Phi = 27.87^\circ$, 比要求的小, 即大腿摆幅太小, 其对步行影响与 $\Delta\Phi$ 一样. 但 $\Delta\Phi$ 小可保证机身相对步行机位置变化较小, 从而对维护步行稳定是十分有利的.

图 4(a)、(b) 分别为未加负载时的重心曲线 PM 及调整角 α 曲线; DS 为最小稳定裕度 $= 5\text{mm}^{[2]}$; L_1, L_2 为踝关节点至足跟、足尖的水平距离.

图 5 为负载 $M = 10\text{kg}$ 时步行机构在 $\Phi = 0 \sim 180^\circ$ 即脚 1 完全着地, 脚 2 自脚跟离地向前跨出一步至双脚支承(双脚变换)过程, 间隔为 $\Delta\Phi = 20^\circ$; M_g 为负载重心位置; PM 为总体重心曲线, 图中任一时刻 PM 均在支承范围内, 因而步行是稳定的.

2 结束语

通过对该模型机的仿真研究, 可以对该步行机构的步行特性作出一定的评价. 首先机构的运动性能符合步行要求, 尤其能保证机身连续近似均匀地水平向前移动, 为保证稳定提供了有利条件; 其次立脚相的许多参数如腰关节转角 Φ , 膝关节转角 Φ 和踝关节转角 γ 与曲柄转角 Φ 呈近似线性关系, 这对减少机构步行惯性力, 保持稳定十分有利; 由此, 有 $\alpha \sim \Phi$ 调整曲线在大部分区段为 0° ; 即需作稳定调整的时间很少, 仅仅在换脚的三个小区间内, 且调整角度也很小. 其不足之处在于 Φ, Φ 变化太小, 步态不是十分理想. 为此, 可通过改变单脚连杆曲线, 如图 1(a), 并加入 Φ, Φ 等约束条件, 优化综合该平面六杆机构尺寸达到.

参考文献

- 1 刘平安, 徐曾荫. 平面多杆机构解析综合与应用. 天津大学学报(第一分册), 1990, (增刊): 141~145
- 2 刘平安, 徐曾荫. 两足步行机械步态及稳定性研究. 天津大学学报(第二分册), 1990, (增刊): 68~73
- 3 约翰·克雷格. 机器人学导论. 苏振飞等译. 西安: 西北工业大学出版社, 1983

The Computer Emulation about the Walking Process of a Biped Machine

Liu pingan

(Department of Mechanical Engineering)

Abstract Using the biped walking mechanism designed by the author's as an example, this paper introduces the computer emulation of walking processes on condition of the static equilibrium, and has a study for the key problem of the biped walk: the walking stability.

Key words Biped walk; Computer emulation; Walking stability