

自动对焦中的优化爬山搜索算法

郑玉珍

(浙江科技学院 自动化与电气工程学院, 浙江 杭州 310023)

摘 要: 图像对焦越准确,高频分量的能量越多,系统的对焦评价函数反映了图像高频分量的能量。自动对焦的过程就是运用爬山搜索算法求取对焦评价函数最大值的过程。普通的爬山搜索算法会受到对焦评价函数局部极值的干扰而不能准确对焦,优化的对焦评价函数能有效地排除这种干扰,使系统可靠地对焦。本文详细介绍了优化爬山搜索算法的原理和实现方法。

关键词: 自动对焦;爬山搜索算法;对焦评价函数

中图分类号: TH742

文献标识码: A

文章编号: 1671-8798(2005)03-0171-04

Optimized mountain-climb searching in auto-focusing

ZHENG Yu-zhen

(School of Automation and Electrical Engineering, Zhejiang University of
Science and Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: The better focused the image is, the more energy of high frequency it contains. The focusing evaluation function of the auto-focusing system is consistent with the energy of high frequency of the image. The procedure of auto-focusing is to getting the maximum of the focusing evaluation function employing the mountain-climb searching algorithm. Ordinary mountain-climb searching algorithm is apt to disturbed by local extremum, while optimized mountain-climb searching algorithm can get rid of this disturbance effectively. This paper introduces the principle and realization of the optimized mountain-climb searching algorithm.

Key words: auto-focusing; mountain-climb searching algorithm; focusing evaluation function

自动对焦技术的研究可追溯到 19 世纪末,早在 1898 年^[1] 法国就有人对放大镜头的自动对焦进行过研究。随着计算技术和图像处理理论的发展,半数字式及数字式自动对焦技术迅速崛起,即通过对图像进行高频分量能量的计算或系统点扩展函数的分析,进行系统的对焦或图像恢复,这是现代自动对焦技术发展的主流。其中,通过对图像有关信息进行分析计算,

运用控制策略调整光学系统,从而使系统正确对焦的方法称为半数字式的自动对焦方法,优化的爬山搜索算法就用于半数字式的自动对焦系统中。

1 半数字式自动对焦原理

数字图像处理理论认为,信号或图像的能量大部分集中在幅度谱的低频和中频段,但图像轮廓的

收稿日期: 2005-03-20

作者简介: 郑玉珍(1970—),女,浙江杭州人,讲师,硕士,主要从事电子信息技术的研究。

锐度和细节的丰富度取决于图像的高频成分,因此,各种检测图像的边缘信息或计算图像高频分量的自动对焦方法应运而生。一帧图像中视频信号的高频成分值被称为对焦评价函数,自动对焦的过程就是求取对焦评价函数最大值的过程。当图像清晰时,图像细节丰富,在空域表现为相邻像素的特征值(如灰度、颜色等)变化较大,在频域表现为频谱的高频分量多。根据这个特点,通过对图像进行微分运算提取图像中景物的边缘和轮廓,可以评判图像中高频分量的大小,并判断对焦正确与否。本系统采用一种基于差分计算的对焦评价函数——平面微分平方和。

$$\Phi = \sum_i \sum_j (I_i^2(i, j) + I_j^2(i, j)) \quad (1)$$

式(1)中, Φ 表示平面微分平方和,令 $I(i, j)$ 为对焦区域中第 i 行第 j 列像素的亮度值,则 $I_i(i, j) = I(i, j+1) - I(i, j)$ 表示第 i 行相邻列像素亮度值的差分, $I_j(i, j) = I(i+1, j) - I(i, j)$ 表示第 j 列相邻行像素亮度值的差分。公式(1)的运算是在空间域进行的,将相邻列像素亮度值差分及相邻行像素亮度值差分求平方和就得到对焦评价函数 Φ 。对这个对焦评价函数进行变换,可以得到它在频率域上的等价形式^[2]:

$$\Phi = \sum_u \sum_v (u^2 + v^2) |H(u, v)|^2 \quad (2)$$

式(2)中, $H(u, v)$ 是 $I(i, j)$ 的傅立叶变换, u 和 v 是其空间频率。从式(2)可以看出,平面微分平方和作为对焦评价函数,在频率域上正是图像功率谱的函数,式(2)中的系数 $(u^2 + v^2)$ 使高频分量有较重的权重,可以使对焦评价函数曲线斜率更大,曲线更陡峭。由此可见,这个对焦评价函数不但可以在空域完成运算,而且还具有明确的物理意义。

理想的对焦评价函数^[3]具有单峰性,即在调焦范围内只有一个极值;无偏性,即只有在系统处于最佳对焦状态时,对焦评价函数才给出极大值或极小值;能反映离焦的极性(在焦前位置或是焦后位置);而且能抵抗图像中含有的各类噪声,对各种结构特点的图像都能对焦。图 1 是图像高频成分含量与聚焦镜头位置之间的关系。

2 普通爬山搜索算法

在半数字式自动对焦系统中,自动对焦的过程就是求取对焦评价函数最大值的过程,广泛采用的是爬山搜索法^[4]来寻找最佳对焦点,其原理如图 2 所示。

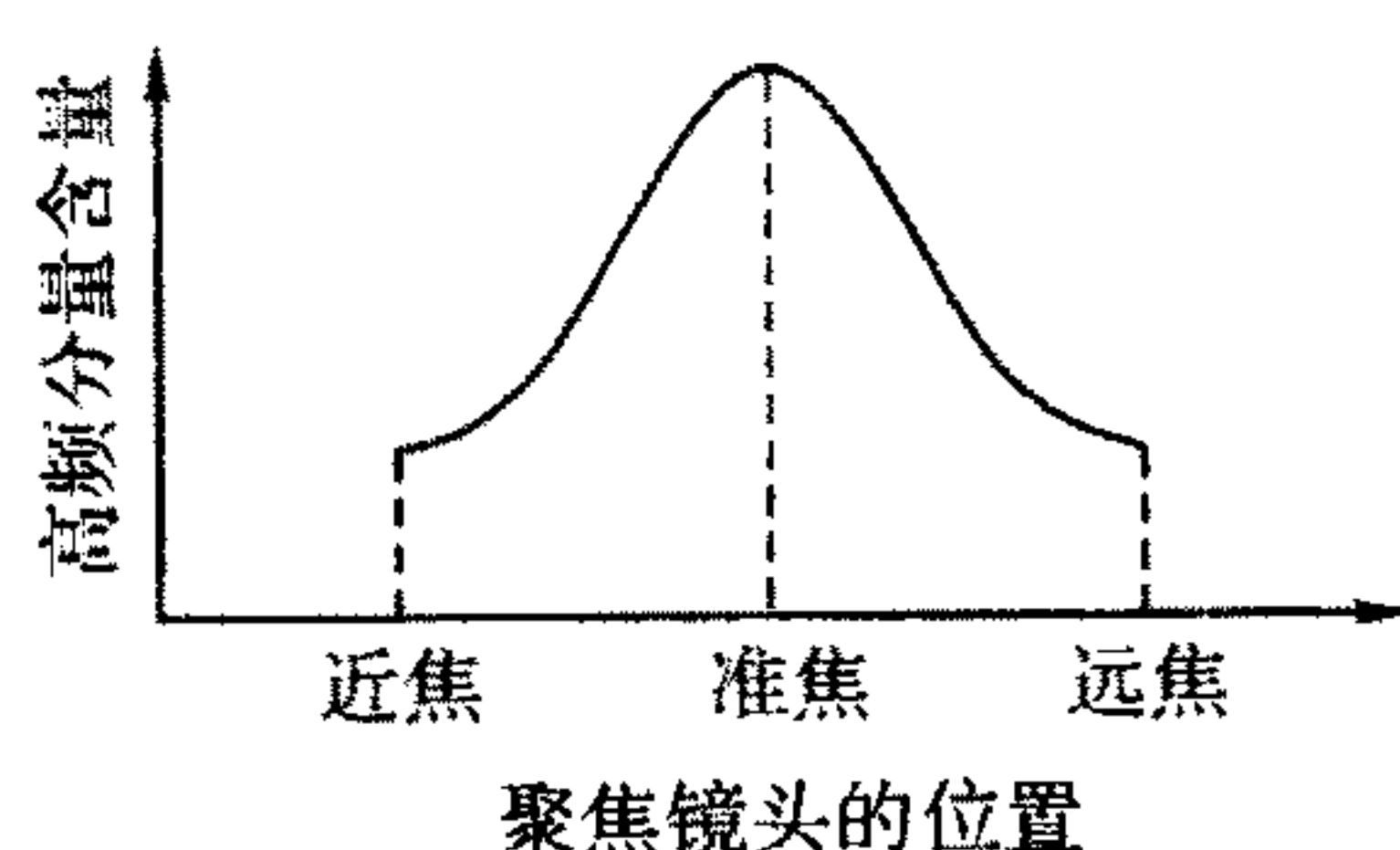


图 1 图像高频成分含量与镜头位置的关系

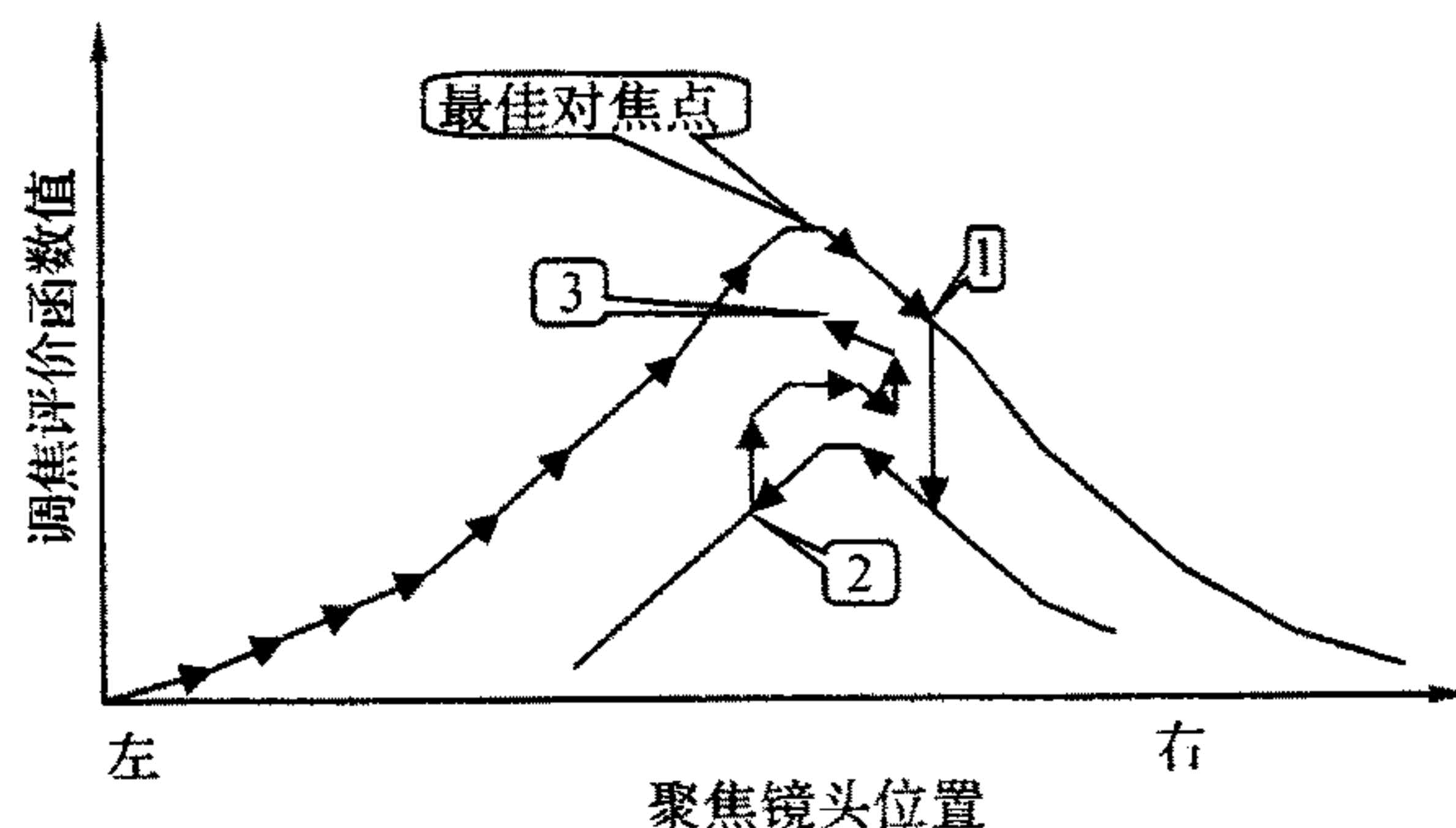


图 2 爬山搜索算法示意图

驱动聚焦镜头的步进电机从起始位置出发(图 2 中的“左”),以等步长驱动聚焦镜头向前运动(图 2 中的“右”方向),每走一步,就计算一次图像的对焦评价函数。若计算所得的对焦评价函数值逐渐增大,说明电机驱动方向正确,系统逐步对焦。当对焦评价函数值第一次出现减小现象时,说明镜头已经越过最佳对焦点,系统从准焦开始离焦,此时,电机应反向运转,减小步长,带动镜头向左移动,往回寻找最佳对焦点。同理,当对焦评价函数值再次出现减小现象时,电机又一次反转运行,进一步减小步长,带动镜头向右搜索。如此反复搜索,直到电机的步长减小到设定值,搜索结束。在图 2 中,箭头表示步进电机带动聚焦镜头前进的方向,(1)和(2)表示对焦评价函数值出现减小的地方,(3)表示镜头最终停止于最佳对焦点。

3 优化的爬山搜索算法

3.1 普通爬山搜索算法的缺陷

虽然从理论上分析对焦评价函数法的自动对焦技术非常适用于爬山搜索法,但在实际应用中,由于在远离准焦点的区域内,对焦评价函数的曲线是平坦而稍有起伏的,其值的变化缓慢且没有特点,因此运用普通的爬山搜索法在那里难以确定电机的转动方向,当电机遇到一个局部极值时就会错误地认为已经找到准焦点而改变镜头的运动方向或者停止继续对焦,从而无法找到准确的对焦点。

例如表 1 是本系统所采用的对焦评价函数值与镜头位置之间的关系,ZOOM1 和 ZOOM2 表示两种不同的放大倍率下,对焦评价函数值随着镜头位置不同而产生的变化趋势。

表 1 本系统对焦评价函数与镜头位置的关系

镜头位置	60H	70H	80H	90H	0A0H	0B0H	0C0H	0D0H	0E0H	0F0H	100H	110H	120H
ZOOM1	10	12	15	17	15	19	1D	28	33	1D	19	1B	1A
ZOOM2	18	17	19	19	18	1A	23	2D	24	1B	1A	20	1C

从表 1 中可以看出,采用 ZOOM1 的放大倍率时,当镜头在坐标 0E0H 处对焦评价函数达到最大值 33,在 0E0H 坐标的两侧,对焦评价函数的值很快减小,虽有起伏但比较平坦。从 ZOOM2 的放大倍率下可以得出相同的结论,即在镜头的整个行程中,只有一个位置上对焦评价函数达到最大值,在最大值位置的两侧,对焦评价函数迅速减小且趋于平坦。分析表 1 的数据可以得到,设镜头的初始位置坐标为 60H,变焦倍率为 ZOOM1,此时的对焦评价函数值为 10,当镜头向右前进到 70H 时,对焦评价函数值为 12,镜头继续向右前进到达 90H 时,对焦评价函数值为 17,而当镜头到 0A0H 时,对焦评价函数值为 15,首次出现了减小,爬山搜索算法就会判断系统已经越过准焦位置,而命令电机反向运转带动镜头向左走。而事实上,此时的系统还没有到达准焦的位置。因此,简单地运用普通的爬山搜索法来做控制策略,会导致系统无法自动对焦。另外,图像数据采集集中不可避免会有噪声,计算得到的对焦评价函数值也会有干扰,这也给爬山搜索算法的判断带来极大的困难,如果按照图 2 的方法去搜索,必然会造成镜头左右振荡而找不到正确的对焦位置。

3.2 优化爬山搜索算法的原理

针对爬山搜索算法固有的缺陷,本系统探索了一种优化的爬山搜索算法,该算法先得出在聚焦镜头的整个行程内对焦评价函数值的最大值,然后减小搜索范围,提高搜索精度,在最大值附近重新搜索,这个过程反复进行,直到得到最高精度的搜索值。这种优化的爬山搜索算法能有效排除远离准焦点区域内的局部极值和干扰带来的误判断,使系统能准确可靠地实现对焦,其原理如图 3 所示。

在优化的爬山算法中,电机驱动聚焦镜头从起始位置出发(图 3 中的“左”),先以一个较大的步长走遍全程。镜头每走一步,都要计算当前的对焦评价函数值,与前一步所得的对焦评价函数值进行比较,记下较大的对焦评价函数值及其镜头的位置。这样,当走完全程后(到达图 3 中的(1)处),就可以得到对

焦评价函数值的最大值及其镜头的位置(图 3 中 M1 处)。然后把镜头带回到对焦评价函数最大值位置的前一站(图 3 中的 A 点),以此为出发点,以对焦评价函数最大值位置的后一站(图 3 中的(2)处)为终点,减小步进电机的步长,由电机带动镜头第二次走遍全程,同样记录下这一全程中对焦评价函数的最大值及其镜头位置,如此反复搜索,直到电机的步长减小到设定值,搜索结束。最后镜头停止在对焦评价函数最大值处(图 3 中 C 点),系统实现正确对焦。

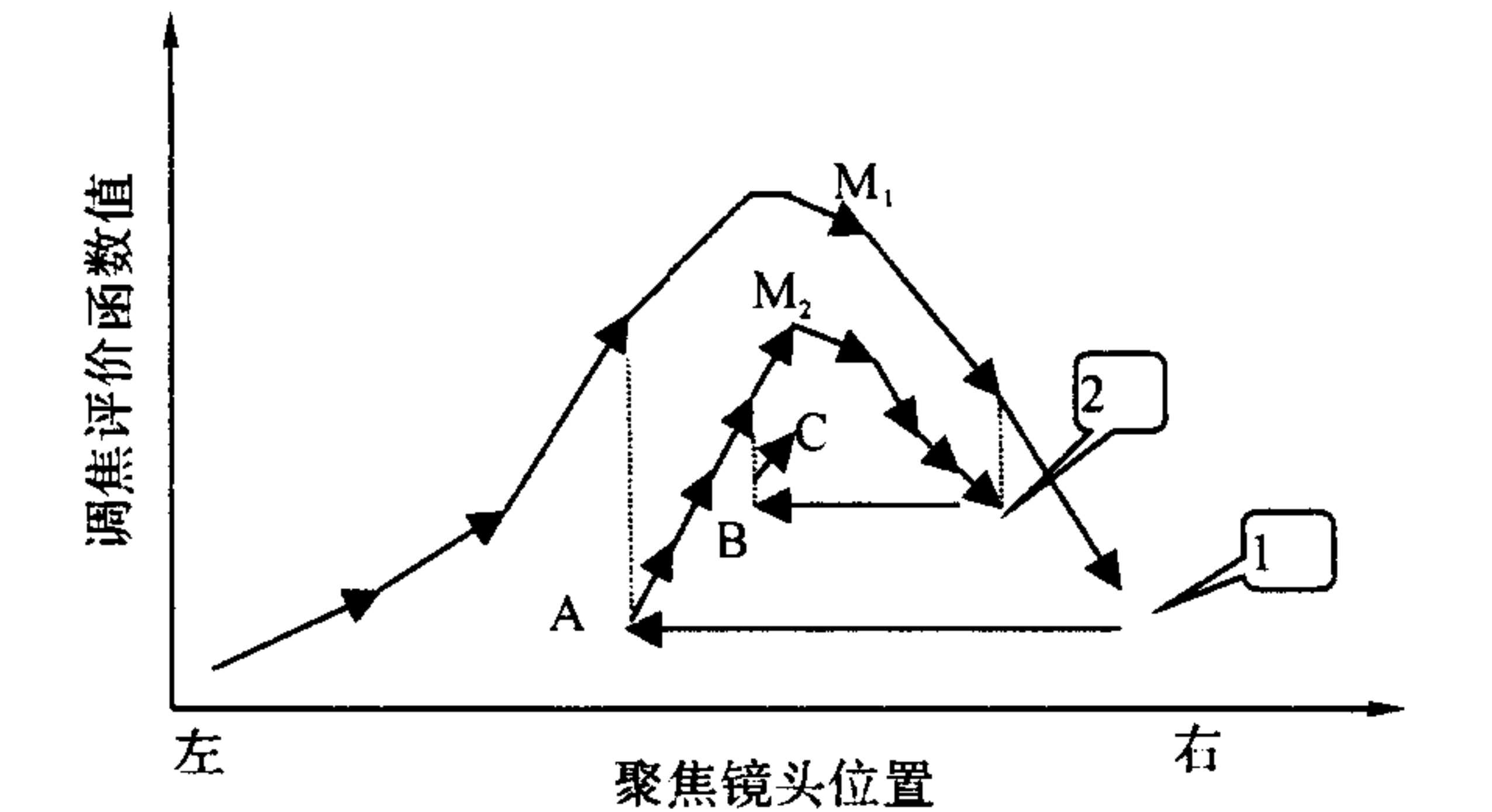


图 3 优化的爬山搜索算法示意图

采用优化的爬山搜索算法,可以避免电机的盲目反转,确保系统找到正确的对焦点,而且搜索历程短,有利于快速对焦。在图 3 中,箭头表示电机驱动镜头的移动方向,(1)和(2)表示第一次和第二次搜索的结束处,M1 和 M2 是两次搜索所得的对焦评价函数为最大值时的镜头位置,A、B 和 C 是第二次及以后每次搜索的起始点。

结合表 1 来看,第一次搜索时,步进电机带动聚焦镜头从初始坐标 60H 开始,以较大的步长 10H 走到坐标 120H 处,走完全程后得到最大的对焦评价函数值 33 和此时的坐标 0E0H。电机带动镜头快速回到坐标 0D0H 处,以 20H 为全程,5H 为步长进行第二次搜索。如此反复搜索,当电机的步长减为 1H 时,搜索结束。此时聚焦的精度达到系统硬件所能满足的最高水平。

3.3 优化爬山搜索算法的软件流程

优化爬山搜索算法的软件实现流程见图 4。

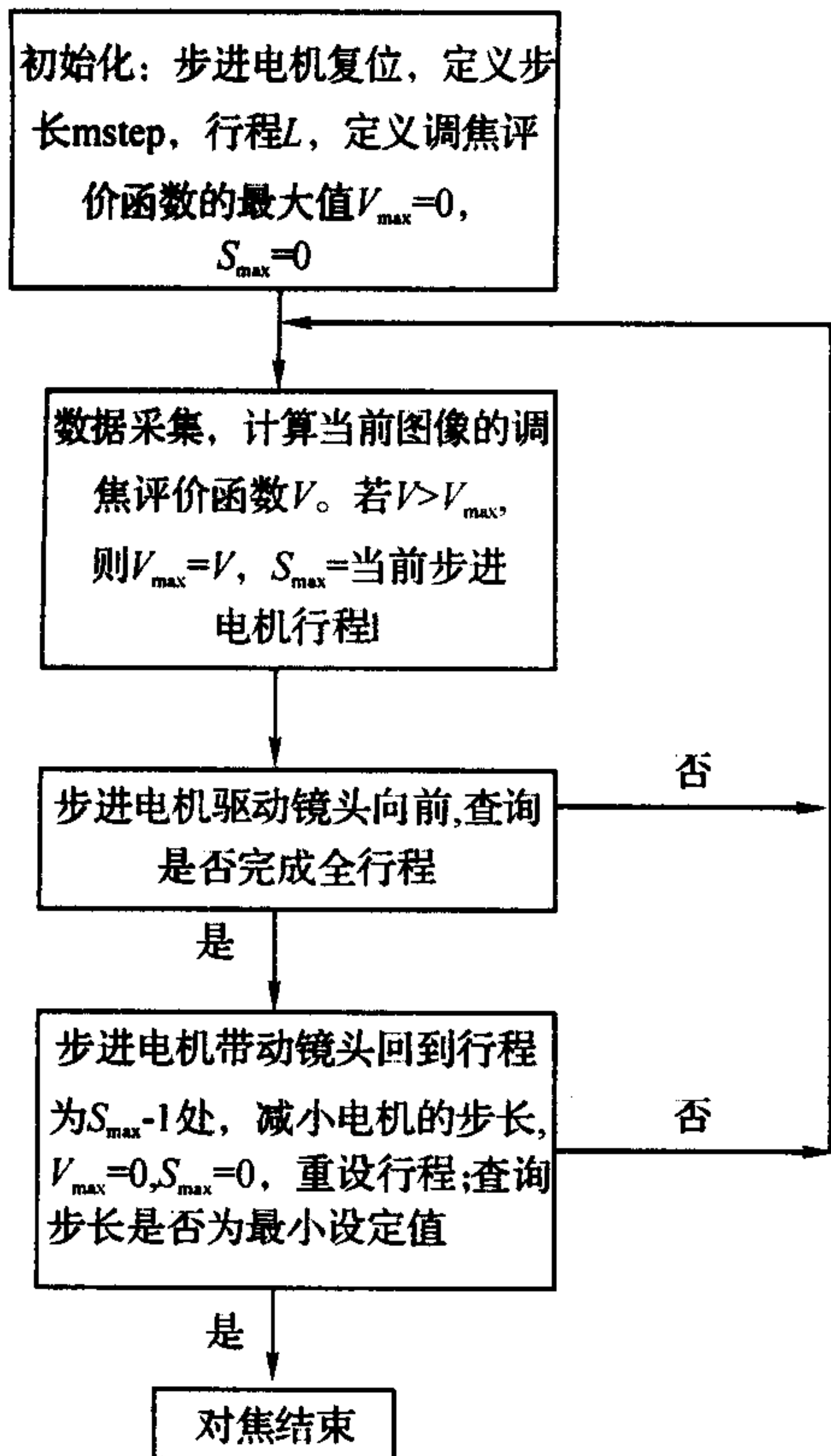


图 4 优化爬山搜索法的软件流程图

4 结 论

由于优化爬山搜索算法在全程内搜索对焦评价函数的最大值,因此必定能找到系统的准焦点,不会受到对焦评价函数值局部波动的影响,也能有效地排除干扰,能够极大地提高自动对焦的可靠性。同时,从软件流程图可以看出,电机的步长和搜索的次数是可以调节的,因此,针对实际的系统,具有相当的灵活性。

参考文献:

- [1] 张问骅. 自动聚焦(1)[J]. 自动化博览,1995, 13(5): 10—15.
- [2] MURALI Subbarao, CHOI Tae, ARMAN Nikzad. Focusing Techniques[J]. Optical Engineering, 1993, 32(11):2824—2836.
- [3] 李贺桥,张以谟,容常青,等. 图像采集自动生物显微镜系统自动调焦的研究 [J]. 光学学报, 1995, 15(8):1106—1110.
- [4] Kazushige Ooi, Keiji Izumi, Mitsuyuki Nozaki, *et al.* An Advanced Autofocus System For Video Camera Using Quasi Condition Reasoning [J]. IEEE Transactions on Consumer Eletronics, 1990,36(3):526—529.

医疗急救寻呼系统

浙江科技学院自动化与电气工程学院项新建教授等,利用无线收发技术、电话数据传输技术、微电脑控制技术、计算机数据库技术研制而成的医疗急救寻呼网络系统,能满足社会发展对医疗及时服务的需要。只要用户按下随身携带的求助寻呼器,就能通过无线发射装置把求助信号送到用户电话机上,并由公用电话网传至医疗急救中心。医疗急救中心的医护人员通过查询计算机上事先建立的数据库,作出抢救反应,以保证在第一时间赶到病人身边,保障求助用户的生命安全。该系统特别适用于老人及病人保健服务,在医疗单位建立社会的网络系统,具有很好的社会效益与经济效益。