

## 启发式搜索算法路径规划研究\*

吕志刚 李琳 宇文超朋 郜辉  
(西安工业大学电子信息工程学院 西安 710021)

**摘要:**通过对启发式搜索算法和盲目式搜索算法的对比分析,选择作为启发函数的A\*算法作为本文的研究对象。A\*算法因为其搜索效率高,一直受到专家学者的关注和研究,在传统A\*算法的基础上对其进行了改进,来改善A\*算法的规划出的路径。通过仿真验证了A\*算法,总结出A\*算法的缺点,然后针对A\*算法的缺陷进行了相应的改进。并对启发函数距离计算方法进行了改进,通过修改启发函数中的权值,使得在使用A\*算法进行路径搜索时,搜索的点数减少了50%,同时规划出的路径长度并没有发生太大的变化。然后对传统A\*算法规划出的路径进行了平滑处理,最后通过MATLAB仿真验证了改进的A\*算法的可行性和有效性。

**关键词:**A\*算法;路径规划;启发式搜索;Dijkstra算法

**中图分类号:** TN99      **文献标识码:** A      **国家标准学科分类代码:** 520.604

## Research on path planning of Heuristic search algorithm

Lv Zhigang Li Lin Yuwen Chaopeng Gao Hui

(School of Electronics and Information Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China)

**Abstract:** A\* algorithm which is a kind of heuristic function, is selected after comparing heuristic search algorithm with the blind search algorithm. Because of its high searching efficiency, A\* algorithm has been paid attention and researched by experts and scholars. The traditional A\* algorithm is developed to improve the planned path of A\* algorithm. The shortcomings of A\* algorithm is summarized through simulation, whose defects are improved. The distance calculation method of the heuristic function is also improved, whose search point is reduced by 50% when path planning through modifying the weight of the heuristic function. At the same time, planned path length is not changed. Then, the path that the traditional A\* algorithm has planned is smoothed. Finally, the feasibility and effectiveness of the improved A\* algorithm are verified by MATLAB simulation.

**Keywords:** A\* algorithm; path planning; heuristic search; Dijkstra algorithm

## 0 引言

现阶段移动机器人<sup>[1]</sup>路径规划的研究方法已经研究出很多种,包括多层Morphin搜索树<sup>[2]</sup>、快速随机扩展图算法<sup>[3]</sup>、智能算法<sup>[4]</sup>、粒子算法<sup>[5]</sup>等。从搜索方式分类,路径规划包括了盲目搜索和启发式搜索两种不同的规划方法。

盲目式搜索是以起始点为圆心开始搜索同心圆中的所有点,随着同心圆半径的扩大,搜索到的点数越多,直到搜索到目标点为止。在整个搜索过程中并没有用其他

信息增加控制策略来帮助搜索<sup>[6]</sup>,因此搜索效率低,比较适合简单环境下的路径搜索<sup>[7]</sup>。

启发式搜索是在从起始点到目标点的搜索过程中加入了一些搜索信息,使得搜索点的方向被确认,搜索到的点数更少,搜索效率高,找到最优解更快<sup>[8]</sup>。

## 1 搜索式算法比较分析

Dijkstra算法属于盲目式搜索算法,即采用Dijkstra进行路径搜索时,以起始点到目标点的连线为半径画圆,那么Dijkstra算法搜索的点数即为圆内的所有的点,这种

收稿日期:2018-01

\* 基金项目:2017年陕西省教育厅专项科研计划项目,基金号17JK0363

算法浪费了大量的存储空间,并且搜索效率低<sup>[9]</sup>。

A\* 算法属于启发式搜索算法,在从起点到目标点的搜索过程中,每一个搜索节点的选择都有启发函数来指导,这样可以使得选出的节点更加趋近于目标点,在整个搜索过程中搜索的点数更少,效率更高。

经过上面的介绍,可以分析得出 Dijkstra 和 A\* 算法在时间效率上和空间效率上的两个不同点。

#### 1) 时间效率

对比两个算法执行的时间效率差别,由于两个算法对于已经搜索到的节点的管理,采用不同的数据结构,因此,各个算法执行的时间复杂度是不同的<sup>[10]</sup>。在不同的场景下,两种算法有不同的表现。当全局环境地图不大,区域面积较小时,A\* 算法和 Dijkstra 算法的执行效率差别不大。但当全局环境地图比较大时,A\* 算法的执行效率明显高于 Dijkstra 算法的执行效率。

#### 2) 空间效率

Dijkstra 算法思路不考虑目标节点的方向和位置,只考虑地图边界以及节点间的连接关系,是一种盲目式的搜索方式,所以这种算法对实验场地的要求并不苛刻。该算法从起始节点向外搜索时,对于下一个可能被搜索到的节点具有相同的被搜索到的概率,这个搜索的区域是可近似看作是以起始节点位置为圆心的多个同心圆。

对于 A\* 算法来说,它的搜索区域则可以近似看作若干个同心的椭圆,其焦点是开始节点位置和结束节点位置。两种算法的搜索区域示意图如图 1 所示。

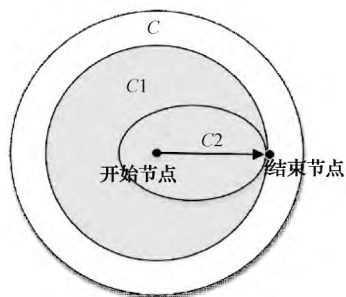


图 1 A\* 算法与 Dijkstra 算法搜索空间示意图

在图 1 中,C 所在区域为全局地图的所有区域,C1 所在的区域为 Dijkstra 算法规划出从起始节点到目标节点搜索的区域,C2 区域为 A\* 算法规划出从起始节点到目标节点的搜索区域,从图中可以明显看出 A\* 算法的搜索空间更小。

从以上分析可以得出,A\* 算法和 Dijkstra 算法相比更适合进行在全局地图信息中进行路径的搜索规划,因此,本文的研究对象选择的是 A\* 算法。

## 2 A\* 算法介绍

A\* 算法思想是依靠全局的地图信息,利用恰当的方式来选择下一个节点,是一种启发式的搜索算法。该算法

在当前节点位置处,搜索下一节点时,通过整个地图的信息来设置一个启发函数,对下一个被搜索的节点进行比较,选出代价最低、性价比最高的为下一个目标节点(遇到多个合适的节点时,从中选择一个即可)<sup>[11]</sup>。该种方式有效的缩小了搜索区域,并且减少了在搜索路径时做无用功的概率,提高了路径规划的效率。A\* 算法的启发函数如式(1)所示。

$$f(n) = g(n) + h(n) \quad (1)$$

式中: $g(n)$ 表示从起始节点位置到当前节点位置的实际行动值, $f(n)$ 表示从起始节点位置经过节点  $n$  到达目标节点位置的最低估计代价值; $h(n)$ 是启发函数,表示当前节点位置到达目标节点位置的估计代价值。

以图 2 和图 3 为例说明 A\* 算法估价函数的应用。

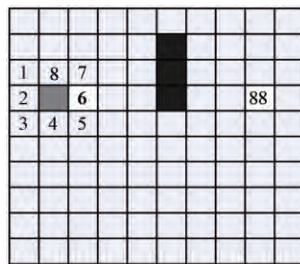


图 2 A\* 算法估价函数搜索说明图 1

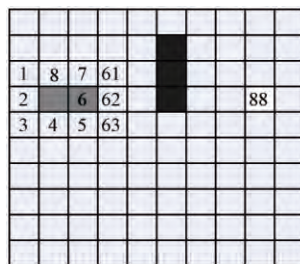


图 3 A\* 算法估价函数搜索说明图 2

在图 2 中,灰色方块为起点,数字 88 方块为目标点,在第一次搜索时,通过对起点周围 8 个方格  $f(n)$  值得计算可知,方格 6 的估价值最小。所以下一个选择的节点是方格 6。然后从图 3 中可以看出,当移动机器人移动到 6 位置后,从 6 位置开始用启发函数计算 6 周围 7 个位置的估价值,通过计算估价值来评价出移动机器人移动的下一个位置。重复以上步骤即可搜索出从起始位置到目标位置的最短路径。图中灰色为移动机器人经过的栅格。

A\* 算法的流程图如图 4 所示。

## 3 A\* 算法分析

A\* 算法有它自身的优点,但是也存在一些缺点。经过实验分析可以总结出以下 3 点:

1) A\* 算法是一种搜索算法,搜索节点数的增长是不受人为控制的,只和启发函数的选取有关,而传统的 A\* 算

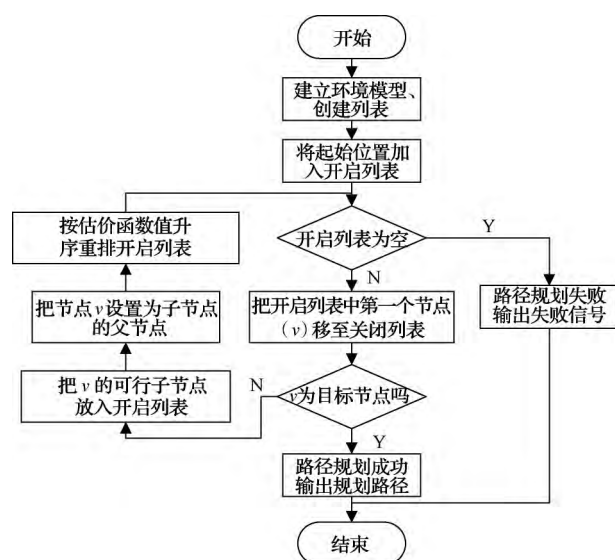


图4 A\* 算法流程

法搜索到的点数是按指数方式增加的;而且当目标点距离起始节点较远时,A\* 算法的启发函数会导致运算的冗余,运算过程中的函数的复杂化。

2) A\* 算法的评估函数仅考虑当前位置到起点和目标点的距离作为约束条件,对于在实际场景中使用的移动机器人来说,移动机器人不仅仅是在直线行走时需要消耗能量,还有移动机器人原地转向也需要花费一定的时间和大量的能量,因此在考虑选取估价函数时,也需要加上对转向角度和运行过程中的转向次数上的考虑。

3) A\* 算法规划的路径由于是在栅格地图环境中进行的路径规划,这就导致了规划出的路径只能从一个栅格移动到另一个栅格,导致移动机器人转折时太僵硬,只有 $135^\circ$ 、 $90^\circ$ 和 $45^\circ$ 这3种方向,非常不利于实际应用中的移动机器人行走。因此,A\* 算法规划出的路径还需要进行路径平滑处理,使得移动机器人的运动更加符合实际运动场景<sup>[12]</sup>。

在启发函数中最重要的就是距离值得计算, $h(n)$ 与 $g(n)$ 度量的路径成本都是根据两个网格节点之间的距离值计算得来的,而两个节点之间的距离有多种计算方式,下面介绍3种常见的距离以及其在网格地图中的计算方式<sup>[13]</sup>。

#### 1) 曼哈顿距离

曼哈顿距离就是在固定直角坐标系上,坐标轴 $x$ 的差值和坐标轴 $y$ 的差值的总和。假设,一个平面上有坐标为 $(x_1, y_1)$ 的点 $p_1$ 和坐标为 $(x_2, y_2)$ 的点 $p_2$ ,那么这两个坐标之间的曼哈顿距离如式(2)所示。

$$|x_1 - x_2| + |y_1 - y_2| \quad (2)$$

#### 2) 欧式距离

欧式距离就是坐标系上两个点的直线距离。假设,坐标为 $(x_1, y_1)$ 的点 $p_1$ 和坐标为 $(x_2, y_2)$ 的点 $p_2$ ,那么 $p_1$

和 $p_2$ 之间的欧式距离如式(3)所示。

$$\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (3)$$

#### 3) 切比雪夫距离

切比雪夫距离是两个有方向线段的分量差值,其中绝对值最大的就是切比雪夫距离。假设,坐标为 $(x_1, y_1)$ 的点 $p_1$ 和坐标为 $(x_2, y_2)$ 的点 $p_2$ 在一个平面上,则 $p_1$ 和 $p_2$ 之间的切比雪夫距离如式(4)所示。

$$\max(|x_1 - x_2|, |y_1 - y_2|) \quad (4)$$

### 4 A\* 算法的改进

本文结合移动机器人的实际运动情况,以路径的安全性和搜索速度为目标,对A\* 算法的启发函数和拐点处的路径进行了优化。

#### 4.1 启发函数的改进

本文首先对启发函数进行了修改,主要是修改了两个节点之间的距离计算方法,本文中所采用的启发函数距离式如式(5)所示。

$$h(n) = \begin{cases} \sqrt{2}d_1(n) + d_2(n) - d_1(n) & d_1(n) \geq d_2(n) \\ \sqrt{2}d_2(n) + d_1(n) - d_2(n) & d_1(n) < d_2(n) \end{cases} \quad (5)$$

式中: $d_1(n)$ 和 $d_2(n)$ 的表达式如式(6)和式(7)所示。

$$d_1(n) = |n, x - g, x| \quad (6)$$

$$d_2(n) = |n, y - g, y| \quad (7)$$

式中: $d_1(n)$ 为移动机器人当前节点与目标节点横坐标差值的绝对值; $d_2(n)$ 为移动机器人当前节点与目标节点纵坐标差值的绝对值。

由图5中的距离分析比较可以看出,本文设置的启发函数距离值更接近于真值 $H(n)$ 。

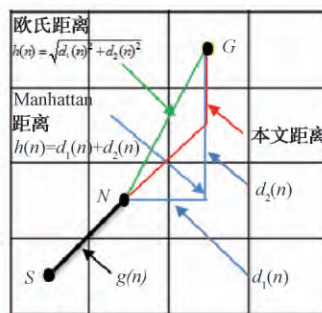


图5 启发函数距离计算

在图5中,欧氏距离是一条连接 $N$ 和 $G$ 的直线,曼哈顿距离是平行于横纵坐标轴的两条线组成,本文中的距离是由一条斜 $45^\circ$ 的线和一条直线构成。

然而,在引入启发函数搜索目标点的过程中,还存在着一些其他问题,当启发信息太强,可以降低路径搜索时搜索到的搜索点的数量,但是由于目标性太强,可能导致利用该启发函数规划出的路径并不是最优路径。因此,本文为了更加方便的控制启发函数的搜索速度,将启发函数

$h(n)$  乘以一个系数  $w$ , 改进的 A\* 算法评价函数如式 (8) 所示。

$$f(n) = g(n) + w \cdot h(n) \quad (8)$$

式中:  $w$  为本文在原有启发函数的基础上增加的。当系数  $w=1$  时, 即为传统的 A\* 算法。本文通过对  $w$  的调整, 来平衡找到最短路径和减少算法复杂度这两个难题。

#### 4.2 路径的平滑处理

通过前面的分析可知, A\* 算法采用的是栅格地图来表示全局环境信息<sup>[14]</sup>, 这样就会导致规划出的路径是从一个栅格到另一个栅格的路径, 导致移动机器人的移动路径只能是  $135^\circ$ 、 $90^\circ$  和  $45^\circ$  这 3 种方向, 这样不利于移动机器人在实际运动场景中的行走<sup>[15]</sup>, 因此本文采用的是把每一个转折点用直线-圆弧-直线连接的方式连接, 替换原来的直线-直线连接, 图 6 为直线-直线连接示意图。图 7 为直线-圆弧-曲线连接示意图。

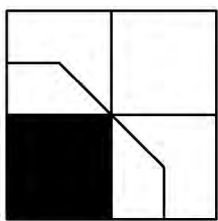


图 6 直线-直线连接路径

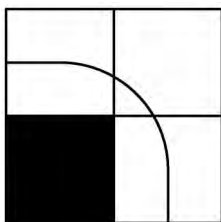


图 7 直线-圆弧-直线连接路径

#### 5 A\* 算法和改进算法的仿真

在做仿真实验时, 本文把全局地图采用  $100 \times 100$  的栅格地图表示, 在栅格地图中去掉了栅格线, 空白区域为无障碍物区域, 移动机器人可以在空白区域随意移动, 黑色区域为障碍物区, 移动机器人不可接触, 在仿真实验中, 起始点位置和目标点位置都已经在图中标出<sup>[16]</sup>, 图 8 为移动机器人采用 A\* 算法搜索到从起点到目标点过程中搜索的所有点, 图 9 为 A\* 算法规划出的路径。

然后是对改进 A\* 算法的仿真, 其中改进 A\* 算法的距离值采用之前介绍的距离值, 启发函数中  $h(n)$  之前的系数  $w=4$ 。图 10 为改进 A\* 算法搜索从起点到目标点过程中搜索到的所有搜索点的示意图, 图 11 为改进 A\* 算法规划出的路径图。

通过图 8、9、10 和 11 的比较分析, 可以发现改进的

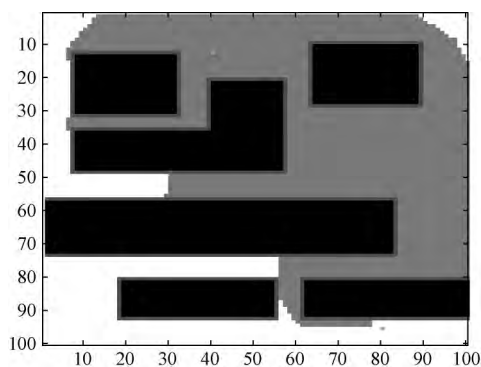


图 8 A\* 算法所有搜索点示意图

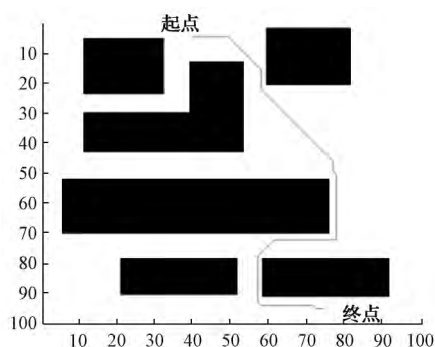


图 9 A\* 算法规划路径图

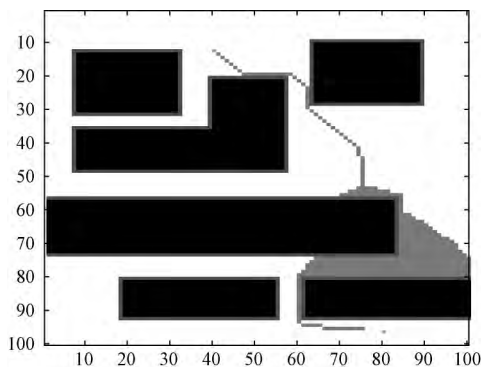


图 10 改进 A\* 算法所有搜索点示意图

A\* 算法可以明显的减少 A\* 算法在搜索过程中搜索到的点的个数, 随着搜索点数的明显减少, 可以使路径规划的效率提升 50%。

由于之前的实验采用的是  $100 \times 100$  的栅格地图, 路径平滑的改进效果由于地图原因不能很好的体现出来, 因此对路径平滑仿真的验证仿真环境做了更改, 本文采用  $20 \times 20$  的栅格地图分割全局环境, 其中空白区域为无障碍物区域, 移动机器人可以自由移动, 黑色区域为障碍物区, 移动机器人不能到达, 起始点位置和目标点位置在图中已经标出。图 12 为传统 A\* 算法规划出的不平滑路径, 图 13 为改进 A\* 算法规划出的平滑路径。



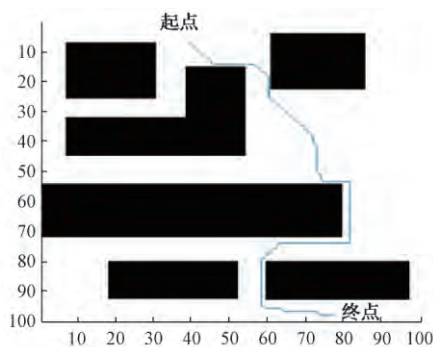


图 11 改进 A\* 算法规划路径

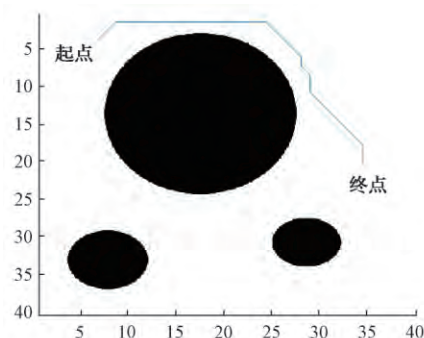


图 12 传统 A\* 算法规划的路径

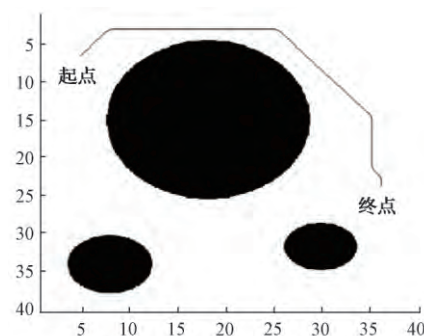


图 13 改进 A\* 算法规划的路径

从图 12 和图 13 中可以看出,改进算法采用的直线-圆弧-直线可以明显改善移动机器人运行的路径,使规划出的路径更加平滑,移动机器人可以更好的行走。

## 6 结 论

本文首先分析比较了盲目式算法和启发式算法的优缺点,最终确定了本文的研究对象 A\* 算法,接着介绍了 A\* 算法的原理,阐明了 A\* 算法的优化方法,并分析出需要从启发函数和路径的平滑两个方面对 A\* 算法进行优化。本文首先采用了一种新的距离计算方法来代替原来的 Manhattan 和欧式距离,然后在原来启发函数的基础上加上了一个权值  $w$ ,用来进一步增加对启发函数的调整,最后在改进算法的基础上,对改进算法规划出的路径做了

平滑处理,并通过 MATLAB 仿真证明了改进算法的有效性和合理性,结果表明,本文提出的改进算法能够达到良好的路径规划效果。

## 参 考 文 献

- [1] SONG AI G, ZENG H, YANG R H, et al. Fundamental problems in rehabilitation robots based on neuro-machine interaction[J]. Instrumentation, 2014, 1(3): 1-16.
- [2] 王伟,陈跃东,陈孟元. 基于 IAPF 与多层 Morphin 搜索树的移动机器人路径规划[J]. 电子测量与仪器学报, 2017, 31(2): 302-308.
- [3] 陈彦杰,王耀南,谭建豪,等. 局部环境增量采样的服务机器人路径规划[J]. 仪器仪表学报, 2017, (5): 1093-1100.
- [4] 杜映峰,陈万米,范彬彬. 群智能算法在路径规划中的研究及应用[J]. 电子测量技术, 2016, 39(11): 65-70.
- [5] 梁旭,刘才慧. 基于混合粒子群算法的在线检测路径规划[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(12): 30-34.
- [6] 李纯军. 基于 A\* 算法的多管通道化自动敷设方法研究[D]. 武汉:华中科技大学, 2011.
- [7] 杨银涛. 基于 A\* 算法的避障应用仿真[D]. 郑州:郑州大学, 2014.
- [8] 黎萍,朱军燕,彭芳,等. 基于可视图与 A\* 算法的路径规划[J]. 计算机工程, 2014, 40(3): 193-195, 200.
- [9] 张加一. 游戏 AI 中的路径搜索算法的研究与应用[D]. 杭州:杭州电子科技大学, 2016.
- [10] 李珍. 交通枢纽行人导引系统的路径规划算法研究[D]. 成都:电子科技大学, 2016.
- [11] 杨兴. 室内自主导航移动机器人路径规划研究[D]. 太原:中北大学, 2016.
- [12] 唐崇. 基于加速 A\* 算法的游戏网格地图寻径研究[D]. 南昌:江西师范大学, 2015.
- [13] 朱立宁. 基于 NewMap Server 的公交出行服务的设计与实现[D]. 泰安:山东农业大学, 2015.
- [14] 单伟,孟正大. 基于改进 A\* 算法的平滑路径设计[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2010, 40(S1): 155-161.
- [15] LATOMBE J C. Robot Motion Planning[M]. DE: Springer Science & Business Media, 2012, 30(4): 5-12.
- [16] 王伟,褚凌慧,李昕达,等. 基于云计算之温室移动机器人的路径规划[J]. 现代电子技术, 2017, 40(4): 53-56.

## 作 者 简 介

吕志刚, 1978 年出生, 工学硕士, 副教授, 主要从事嵌入式、现场总线技术方面的研究。

E-mail:lvzhigang@xatu.edu.cn

李琳,1992年出生,工学硕士研究生,主要研究方向  
为通信与电子系统设计。

E-mail:976834875@qq.com

宇文超朋,1994年出生,工学硕士研究生,主要研究

方向为嵌入式系统。

E-mail:976834875@qq.com

郜辉,1992年出生,工学硕士研究生,主要研究方向  
为嵌入式系统。

E-mail:976834875@qq.com