

文章编号: 1002-0446(2004)05-0391-04

一种基于图像声纳的 AUV 局部路径规划方法*

李 晔, 庞永杰, 张铁栋, 秦再白

(哈尔滨工程大学船舶工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘 要: 以前视图像声纳作为环境感知系统, 进行了智能水下机器人的局部路径规划. 以串口接收图像声纳探测数据, 建立环境数学模型. 以数学形态学的方法去除环境数据噪声, 以 dt 值传递法搜索最佳路径. 海试实验验证了算法的可靠性.

关键词: 局部路径规划; 图像声纳; 数学形态学; dt 值传递法

中图分类号: TP24 文献标识码: B

Image sonar based Local Path Planning for AUV

LI Ye, PANG Yong-jie, ZHANG Tie-dong, QIN Zai-bai

(College of Shipbuilding Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

Abstract: With image sonar as the environment detecting system, local path planning for AUV (Autonomous Underwater Vehicle) is made in this paper. The detecting data is received through serial port, and the mathematic environment model is established. Noise is filtered with the method of mathematic morphology and optimal path is searched by dt propagation. Experiment on the sea proves that this algorithm is reliable.

Keywords: local path planning; image sonar; mathematical morphology; dt propagation

1 引言 (Introduction)

水下机器人的局部路径规划是机器人根据在线得到的传感器实时探测信息, 基于感知而做出的一种应激性反应. 一直以来, 许多研究者都以多个测距声纳作为避碰感知传感器. 其形式为窄开角的射线束. 而事实上, 在我们已设计制造的若干型号的水下机器人中, 并没有配备专门的避碰测距声纳设备. 相对而言, 前视图像声纳则是必不可少的探测设备. 因此, 基于前视图像声纳的局部路径规划方法对水下机器人研究更具实际意义.

某型机器人使用的 881A 前视图像声纳是加拿大 IMAGENEX TECHNOLOGY 公司的产品. 它具有调速、可主动控制扫描范围的能力. 其数字声纳头通过两线差动式 RS-485 串行数据线传输数据. 为了控制声纳头和接收返回数据, 一个转换数据命令字符串以波特率 115200bps, 没有校验位、8 位数据位和 1 位停止位通过串行命令程序发送. 当接收到转角数据命令时, 声纳头转到指定的角度, 发射、接收

数据并将收到数据传送到控制程序. 有了图像声纳, AUV 可以在水中保持不动, 使用声纳扫描周边情况. 扫描大范围的区域所耗费的时间相对较少, 随之快速地评价周围环境. 水下能够远距离“看”到物体使水下机器人可以根据传感器传回的数据及时做出反应和判断. 因此, 本文从声纳底层的数据出发, 分析周围环境, 规划出小范围内的安全航行路线, 使机器人顺利完成指定任务.



图 1 装载在某型机器人上的 881A 图像声纳

Fig. 1 881A image sonar on AUV

* 收稿日期: 2003-12-23

2 基于声纳数据的环境建模(Environment modeling based on sonar data)

在某些特定的情况下, 声纳图像接近于光学图像. 但在大部分情况下, 声纳图像不同于光学图像. 其声扫描产生图像的过程不同于人眼或照相机成像的过程. 因此, 无法从硬件厂商提供的软件(见图2)生成实时图像进行图像处理得到数据. 必须从声纳头传回的原始数据出发, 以串口直接接收, 分析得到环境信息进行分析建模.

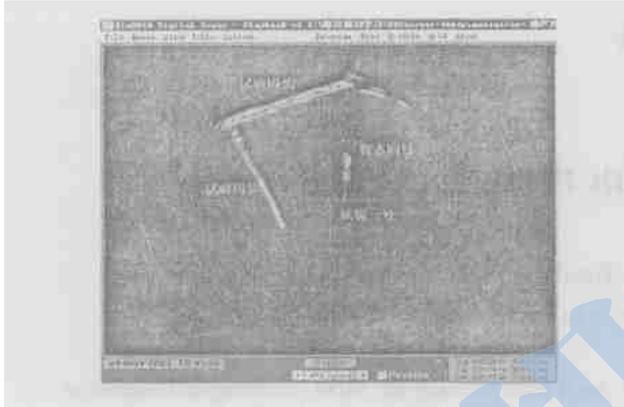


图2 实验码头的声纳图像

Fig. 2 Image received near dock

如图3所示, 从串口得到的数据是以指定的开角发出的声波射线束上不同的同心圆上的反射强度值. 以迭代式阈值选择算法进行二值化. 大于此阈值为“1”, 小于则标为“0”. 图3中(a)为声纳检测到目标示意图, (b)为图3(a)的声波强度数据二值化后结果. (b)中每一列代表解析度为3°的一根射线束, 每一行为以声纳安装点为圆心的同心圆弧.

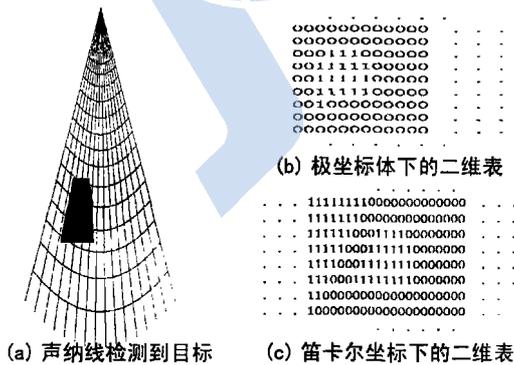


图3 声纳数据的环境建模

Fig. 3 Environment model of sonar data

由于规划器最终要求生成的路径, 以及运动控制器的输入依据都是笛卡尔坐标形式, 因此必须将上述的极坐标二维表转化为笛卡尔坐标下的二维

表, 声纳没有扫描到的部分全部认为不可通过, 用数字“1”补足. 如图3(c)所示.

3 应用数学形态学的方法腐蚀和膨胀(Erosion and dilation by mathematical morphology)

数学形态学(Mathematical Morphology) 是分析几何形状和结构的数学方法, 是建立在几何代数基础上, 用集合论方法定量描述几何结构的科学. 1985年后, 它逐渐成为分析图像几何特征的工具. 它是由一组形态学的代数算子组成的. 最基本的形态学算子有: 腐蚀(Erosion)、膨胀(Dilation)、开(Opening)和闭(Closing). 在这里, 利用数学形态学方法并不是处理881A生成的声纳图像, 而是利用这种方法处理生成的笛卡尔坐标系下的电子地图二维表数据.

3.1 数据腐蚀

对给定点集合 X 和一个结构元素(点或点集) S , 想象将 S 在 X 上移动. 每一个当前位置 x , $S[x]$ 只有3种可能的状态:

- (1) $S[x] \subseteq X$,
- (2) $S[x] \subseteq X^c$,
- (3) $S[x] \cap X$ 与 $S[x] \cap X^c$ 均不为空.

第一种情况相关最大; 第二种情况不相关; 而第三种情况只是部分相关.

满足(1)的点的全体, 构成结构元素与定点集合的最大相关点集. 这个点集称为 S 对 X 的腐蚀(简称腐蚀), 即为 $X \ominus S$. 也可用集合的方式表示:

$$X \ominus S = \{x \mid S[x] \subseteq X\}$$

腐蚀在数学形态学运算中的作用是消除边界点和滤除噪声. 由图4所示, 经过腐蚀处理的数据, 可以滤掉绝大部分噪声, 但同时也腐蚀掉了有效数据的边界. 因此在腐蚀后必须进行膨胀处理.

3.2 数据膨胀

腐蚀可以看作是将数据 X 中的每一个与结构数据元素 S 全等的子集 $S[x]$ 收缩为点 x . 那么反之, 也可以将 X 扩大为 $S[x]$. 这就是膨胀运算, 记为 $X \oplus S$. 它定义为:

$$X \oplus S = \{x \mid S[x] \cap X \neq \emptyset\}$$

与之等价的定义为:

$$X \oplus S = \bigcup \{X[s] \mid s \in S\} \text{ 和}$$

$$X \oplus S = \bigcup \{X[s] \mid x \in X\}$$

以图4(c)为例, 对其膨胀处理. 膨胀结构元素依然是 S . 由图4(c)、图4(d)可见, X 被图中的结构元素 S 膨胀后等于在原有的数据基础上向周边各扩大一个单位, “膨胀”一词也就来源于此.

对比图 4(a)和图 4(d),综合运用腐蚀和膨胀运算(即数学形态学上的开运算)后,噪声被腐蚀掉,而有用数据基本无损地恢复了出来.当然有些时候开运算得到的数据并不是无损的,采用膨胀次数大于腐蚀次数两次的办法,可以腐蚀噪声,恢复了有效数据,同时适度膨化了障碍物,效果良好.

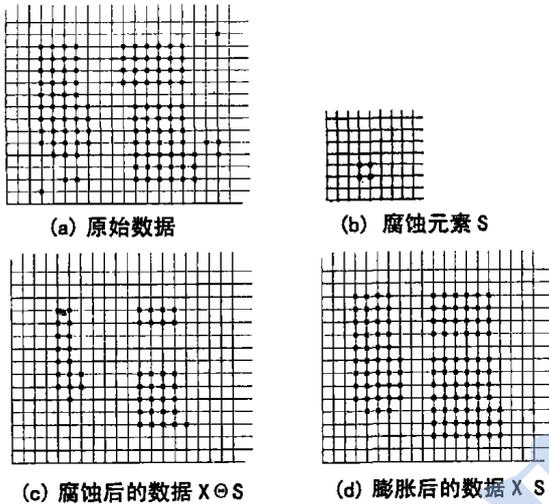


图 4 数据的腐蚀与膨胀

Fig. 4 Erosion and dilation of data

4 应用距离值传递法进行路径搜索(Path planning by dt propagation)

距离值传递法将路径规划问题考虑为寻找一条从终点退回到起点的路径.首先,将环境用同一化的栅格进行划分,路径规划器在机器人所在环境中从终点开始首先传播,经过所有的自由栅格,距离值波的前峰绕过障碍物,最终通过所有的自由区域.对于代表机器人起始位置的环境中的每一点,到达终点的最短路径都可以通过沿着距离值下降最陡的路径得到.如果没有找到下降路径,则表示起点和终点之间不存在路径,也就是终点不可到达.开始的时候,所有的栅格的距离值初始化为一个大值.

距离值传递法的算法如下所示:

- (1) 在栅格化的地图中,赋给终点距离传播代价(distance propagation cost)(简称 dt 值)为 0;
- (2) 所有的障碍物栅格和边界栅格 dt 值初始化为较大值(如 10000);
- (3) 所有的自由栅格 dt 值初始化为一个大值(如 5000),以保证在随后的 dt 值传播过程中不会有结点的 dt 值与之相混淆;
- (4) 从终点 E 开始向外进行 dt 值的传播,终点栅格周围的 8 个(或者 4 个)自由栅格的 dt 值为 1,

然后以这些 dt 值为 1 的栅格为当前点,继续向与之相邻的栅格传播 dt 值,注意在 dt 值的传播过程中,只向外传播,而不能回溯,重复上述传播过程,直到波的前峰到达起点,传播过程结束;

(5) 如果起点的 dt 值在传播过程中改变了,也就是表示起点和终点之间存在可行的通路,那么从起点开始,沿着 dt 值下降最陡的路线下降到相邻的栅格一直达到终点,将下降的路线用直线连接起来就得到了机器人的路径.

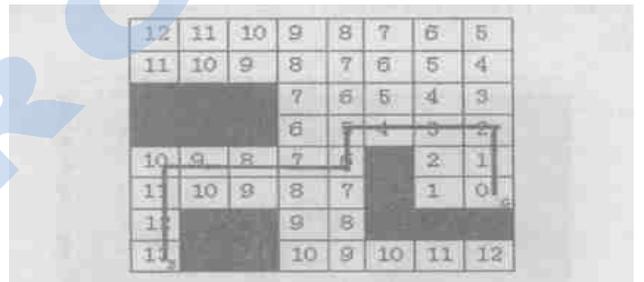
应用距离值传递法的一般步骤是:

- (1) 环境建模,常用的方法是将机器人的环境标准栅格化;
- (2) 用距离值传递法进行 dt 值的传播;
- (3) 路径的生成.

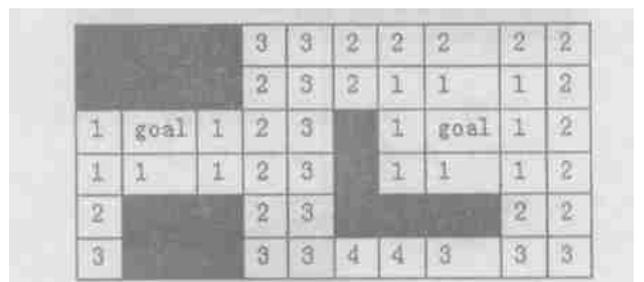
图 5(a)为距离值传递法进行路径规划的例子.

距离值传递法应用于路径规划具有以下几个优点

- (1) 由于从自由空间的任意一点都可以找到到达终点的路径,因此该方法可用于多机器人领域.
- (2) 同时该方法还支持多目标,在这种情况下,机器人能趋向离自己最近的目标,如图 5(b)所示.



(a) 距离值传递法路径规划单个目标



(b) 距离值传递法路径规划多个目标

图 5 距离值传递法进行路径规划

Fig. 5 Path planning by dt propagation

Jarvis R A 最初提出距离值传递法的时候,将到达对角线方向的邻接栅格的代价等价于到达垂直方向和水平方向的栅格的代价,可能引起了最优路径的不明确.可以采取类似到达垂直方向和水平方向的栅格的代价为 3,到达对角线方向的邻接栅格的

代价等价于4的方法来克服这个缺陷,如图6所示。



图6 邻接栅格代价不同

Fig. 6 Different costs of neighbor grids

5 海上试验验证(Experiment test in the sea)

以海上试验采集的数据为例,检验此算法的可靠性

声纳显示中,探测到的是在前队航行的2号水下机器人,1号水下机器人处于声纳原点(即同心圆原点)。规划的目的是2号静止不动,1号绕到2号前方偏右 30° 方向、两者形心间距7m的位置。

图7为记录显示中的一次扫描。以栅格环境建模,腐蚀膨胀后的数据在图8中显示。图9为 dt 值传播法得到的局部规划路径。之后在原始图像上标出路径。

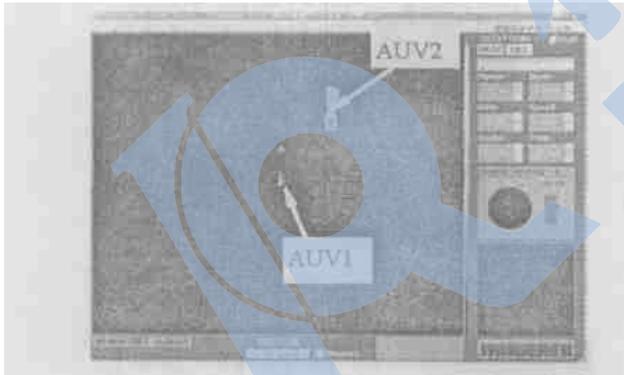


图7 声纳采集原始数据显示

Fig. 7 Display of raw data from sonar

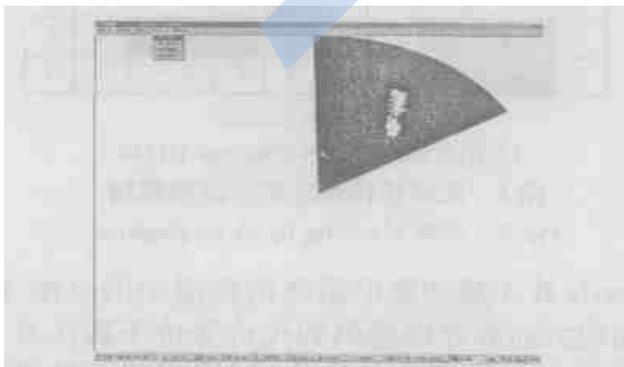


图8 腐蚀膨胀后的数据

Fig. 8 Data after erosion and dilation

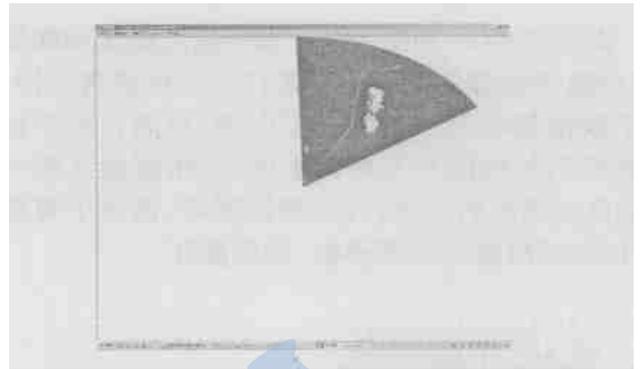


图9 用 dt 值传播搜索到的路径

Fig. 9 Path searched by dt propagation

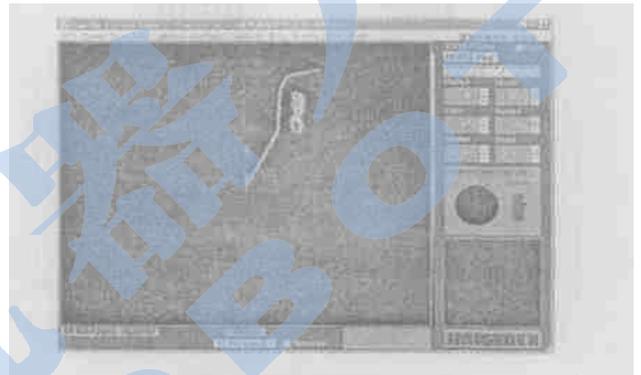


图10 在原始图像上标出路径

Fig. 10 Path marked on the original image

6 结论(Conclusion)

本文提出一种基于前视图像声纳的水下机器人局部路径规划方法。基于数学形态学的方法将得到的环境模型数据进行滤波和障碍物膨化,通过 dt 值传递法搜索得到最佳路径。海上试验表明算法可靠性较好。该方法还将在后续的双机器人编队航行以及任务分配试验中起到重要作用。

参考文献 (References)

- [1] 王醒策, 张汝波, 顾国昌. 基于势场栅格法的机器人全局路径规划[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2003, 24(2): 170-174.
- [2] 李现勇. Visual C++ 串口通信技术与工程实践[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2002.
- [3] 何斌. Visual C++ 数字图像处理[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2002.

作者简介:

李 晔 (1978), 男, 博士研究生. 研究领域: 水下机器人规划与智能控制.

庞永杰 (1955), 男, 博士生导师. 研究领域: 水下机器人, 自动控制, 系统仿真.

张铁栋 (1978), 男, 博士研究生. 研究领域: 水下机器人, 模式识别, 图像处理.