

基于可见光图像的智能水下机器人管道跟踪系统

万磊 黄蜀玲* 张铁栋 张强

(哈尔滨工程大学水下机器人技术国防科技重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要 针对智能水下机器人(AUV)的海底管道自动识别与跟踪问题,从仿真环境构建、图像处理、管道识别及环境建模等数据层次进行了分析,搭建了一套完整的水下管道识别与跟踪系统。在管道识别过程中,针对传统的 Hough 直线拟合的缺点,提出了基于特征聚类的伪假区域的去除和峰值点邻域逆向处理的改进 Hough 变换。并利用所搭建的三维仿真环境,对直管和弯管在线进行了多次检测和跟踪试验。仿真实验结果表明通过管道识别和环境映射,本套系统能有效完成水下管道自主检测和跟踪。

关键词 机器视觉;智能水下机器人;管道检测;改进 Hough 变换;可见光图像

中图分类号 U674.941 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL201441.s109006

Autonomous Underwater Vehicle Tracking Pipeline System Based on Optical Images

Wan Lei Huang Shuling Zhang Tiedong Zhang Qiang

(Science and Technology on Underwater Vehicle Laboratory, Harbin Engineering University,
Harbin, Heilongjiang 150001, China)

Abstract Considering the issue of underwater pipeline recognition and tracking using autonomous underwater vehicle(AUV), the data flow is analyzed on the basis of simulation environment establishment, image processing, pipeline recognition and environment model. A complete underwater pipeline detecting and tracking system is proposed. In the process of pipeline recognition, to overcome the defect of line fitting using traditional Hough transform, an improved Hough transform is presented to dislodge the non-pipeline area in the view of feature clustering and to consider neighborhood of peak value process. Straight and curved pipelines are detected and tracked through the three-dimensional simulation environment for several times. Experiment results indicate that the presented system can effectively and autonomously detect and track pipelines with pipeline recognition and environment mapping.

Key words machine vision; autonomous underwater vehicle; pipeline detection; improved Hough transform; optical images

OCIS codes 150.4065; 330.1880; 100.4994

1 引 言

海洋管道是石油和天然气开发的生命线,它的安全决定了海洋工业、环境的可持续发展。海洋管道的成本较高^[1],海水的腐蚀、电解质破坏、碰撞、高压应力、以及弯曲和凹陷^[2]、飓风^[3]等会导致管道的破坏,为保证管道正常运行,有必要对海底管道进行定期安全评估。

目前,遥控水下机器人(ROV)、智能水下机器

人(AUV)等在海底管道的检测应用越来越广。ROV 在管道外部检测中的应用较早,但由于需要与支撑的母船通过光纤进行连接,其成本较高,而且探测范围受限。因此采用 AUV 进行管道跟踪具有更好的应用前景。在应用水下机器人进行管道跟踪时,一般都是通过对管道和管线的探测和识别来预测机器人当前位置^[4-7]。Conte 等^[6]在 ROV 上搭载摄像机去检测管道的结构和外部轮廓来减少操作

收稿日期: 2013-10-03; 收到修改稿日期: 2013-12-03

基金项目: 国家 863 计划(2011AA09A106)、国家自然科学基金(51009040,51309066)、中国博士后基金(2012M510928)、黑龙江省博士后基金(LBH-Z11205)

作者简介: 万磊(1962-),男,博士生导师,研究员,主要从事机器人自动控制及机器视觉方面的研究。

E-mail: wanlei@hrbeu.edu.cn

* 通信联系人。E-mail: lingqing.2009@163.com

人员的工作量。Balasuriya 等^[8-9] 利用 AUV (“Twin-burger 2”)上惯性导航系统(INS)、声纳和摄像机三者的数据融合实现了管道的跟踪。类似地,基于视觉系统 Antich 等^[10-11] 通过粒子滤波对管道进行了跟踪,管道检测的正确率达到 90%以上,但是该系统没有实现在线处理。其他传感器如多波束声纳^[12-13],电磁传感器^[14]等也被用于管道跟踪。

通过可见光图像可以直观地分析管道的状态,以便为工作人员提供参考。在应用 AUV 为载体进行管道跟踪时,由于双目立体视觉的算法较为复杂,处理时间较长,现有的嵌入式计算机的处理能力难以满足管道跟踪的实时性要求。因此,本文在 AUV 上搭载单一 CCD 摄像机实时获得管道图像,通过图像在线处理、管道识别、管道环境三维建模等过程,对水下管道进行识别,获得管道相对于机器人的位置和方位信息并实现自主跟踪。本文利用

Vega、Creator 和 VC 建立了水下管道跟踪的仿真环境,提出了一套完整的自动管道识别与跟踪系统。

2 水下管道识别与跟踪仿真系统组成

2.1 场景构建

利用 Multigen Creator 构造场景中所需要的目标、障碍物以及机器人等,并将其调入 Vega 场景中。在 Vega 中设置虚拟视点,包括摄像头的开角以及安装位置和角度等,将机器人作为场景中的 player。虚拟视点随机器人 player 一起运动。同时在摄像机附近设置点光源,在仿真程序中初始化 Vega 各实例。Vega 继承 MFC 中的 CView 类,派生出子类 zsVegaView,zsVegaView 类派生出仿真程序的主视图。通过重载相应的虚拟函数完成三维场景的构建。图 1 为管道跟踪仿真系统的运行结果图。依次为侧视图,俯视图以及随机机器人运动的虚拟摄像机提供的管道图像。

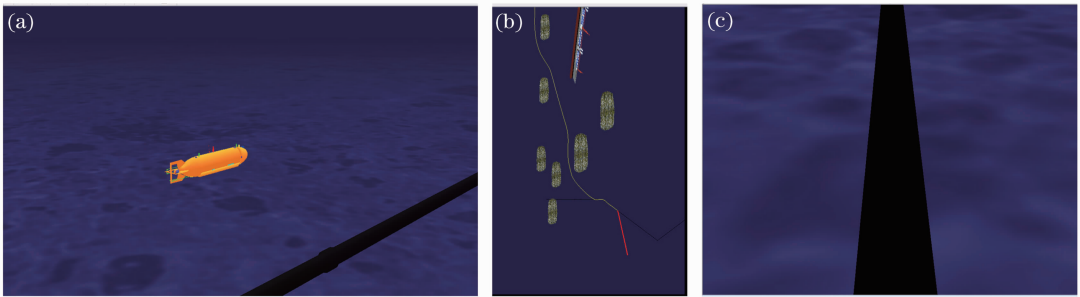


图 1 仿真环境。(a) 侧视图; (b) 俯视图; (c) 管道图像

Fig. 1 Simulation environments. (a) Side view; (b) vertical view; (c) pipeline image

2.2 水下管道识别与跟踪仿真系统框架

水下管道识别与跟踪仿真系统主要包括图像采集模块、图像预处理模块、管道识别模块、控制规划模块以及网络通信模块。在机器人安装摄像头的位

水下管道识别与跟踪仿真系统主要包括图像采

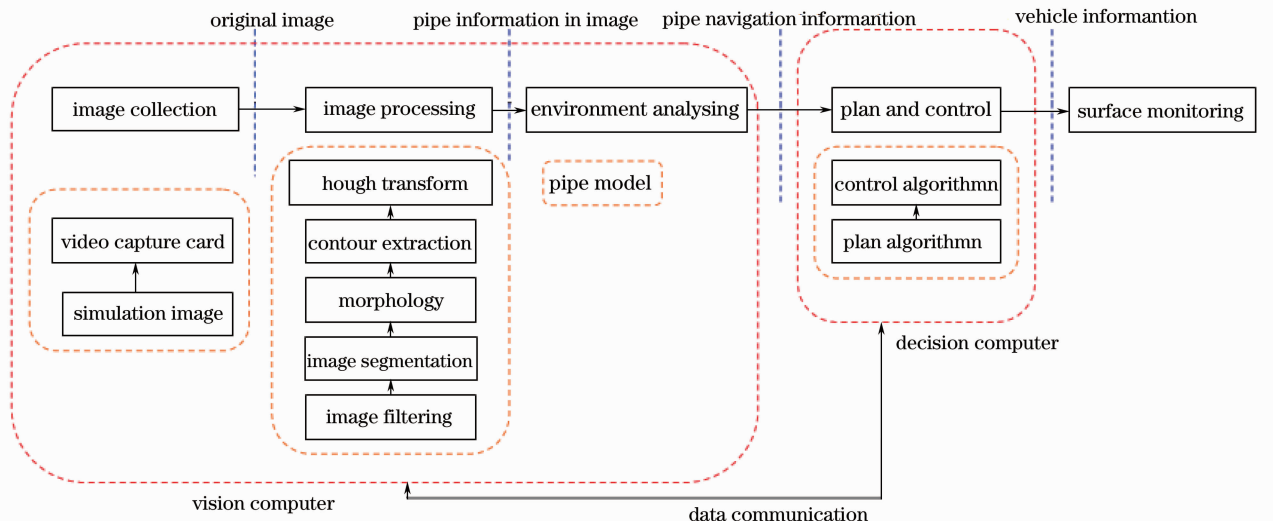


图 2 水下管道识别与跟踪仿真系统结构

Fig. 2 Structure of underwater pipeline recognition and tracking simulation system

置布置视点,输出模拟视频信号,图像采集卡获取管道视频输出计算机经由 VGA 视频转换器的管道图像,交给 PC104+ 计算机进行环境感知。对管道图像进行滤波、分割、腐蚀和膨胀以及轮廓提取等预处理操作,并通过改进的 Hough 变换对管道进行识别。基于 PC104+ 的管道图像处理计算机与规划控制计算机之间通过 TCP/IP 进行数据信息的传递。管道图像处理计算机将当前管道相对于机器人的距离和角度信息反馈给规划控制计算机,规划控制计算机通过跟踪策略完成信息的解读,指导机器人进行运动调整,完成跟踪任务,水下管道识别与跟踪仿真系统结构如图 2 所示。

3 图像处理

在提取管道特征信息之前,需要对管道可见光图像进行处理,这里简单介绍了水下管道识别和跟踪仿真系统的图像处理算法,采用中值滤波对图像进行滤波处理,利用 K -均值聚类进行阈值分割,结合形态学中的腐蚀和膨胀对分割图像进行处理并提取轮廓。针对传统的 Hough 变换的不足,提出了一种基于目标特征信息的改进 Hough 变换,并对 Hough 变换的峰值点进行了逆向处理。

3.1 中值滤波

由于水下机器人的集成环境,水下图像获取和数据传输等过程都不可避免地产生了噪声。采用滑动窗口为 3×3 的中值滤波进行去噪。中值滤波在一定条件下可以克服线性滤波器如最小均方滤波器和均值滤波器等带来的图像细节模糊,而且对滤除脉冲干扰极为有效。

3.2 图像分割

图像分割是从图像处理到图像分析的重要步骤,采用了 K -均值聚类,将管道图像分成 K 类,设定初始 K 类的均值, $\mu_1^{(1)}, \mu_2^{(1)}, \dots, \mu_K^{(1)}$; 进行第 i 次迭代时,将每个像素赋给与 K 类中均值距离最小的类;对每个类别更新类均值 $\mu_1^{(i+1)}, \mu_2^{(i+1)}, \dots, \mu_K^{(i+1)}$,对所有的 $j = 1, 2, \dots, K$,当前后两次的类均值 $\mu_j^{(i+1)} = \mu_j^{(i)}$,则算法收敛,否则进行下一次迭代。设定 $K=2$,初始 K 类的均值, $\mu_1^{(1)}=10, \mu_2^{(1)}=80$ 。

3.3 形态学处理

受噪声影响,虽然经过滤波处理,但阈值化后的二值图像中仍然存在大量的孤立点、单线、孔和毛刺。因此有必要采取形态学中常用的腐蚀和膨胀来对二值图像进行处理。腐蚀可消除孤立点和单线以及毛刺,而膨胀常用来填补分割图像中的空洞。采用 $3 \times$

3 的结构元素对二值图像进行腐蚀和膨胀处理。

3.4 轮廓提取

轮廓提取的目的是获得目标的外部边缘特征,为管道的形状分析做准备。二值图像的轮廓提取是采用 3×3 的结构元素对图像进行腐蚀,再用腐蚀前的二值图像减去腐蚀图像。

3.5 改进的 Hough 变换

传统 Hough 变换是实现一种直线从图像空间 (x, y) 到参数空间 (ρ, θ) 的映射。通过图像的边缘特征点对其变换空间中的参数进行“投票”,并将获得足够票数的参数作为实际存在的直线参数。直线 $y = mx + b$ 在极坐标系下的标准式为

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta. \quad (1)$$

传统 Hough 变换的计算步骤是将参数空间离散化,初始化 (ρ, θ) 的数组, ρ 的采样数目为图像的对角线方向像素数, θ 在 $[0, \pi)$ 上均匀取值。设置累加器数组 $A(\rho_i, \theta_j)$, 并初始化,顺序搜索图像中的边缘点,在累加器的对应各点上加 1。

通过前面的图像处理过程虽然能消除孤立噪声点,但是由于水下管道图像背景的不确定性,在图像分割结果中仍然存在一些伪目标区域,这些干扰区域的像素点不但会增加计算量,甚至会导致管道边缘检测失败。由于腐蚀以及海底沉淀物的影响,管道的边缘像素点并不是准确的分布在同一条直线上,而传统 Hough 变换的性质决定了在峰值点的较大邻域内的投票值也较大,所以在管道边缘的较大邻域内可能会出现多条邻近的直线。

针对上述难点,从以下两个方面对传统 Hough 变换进行改进。

3.5.1 管道识别

从目标识别的角度考虑,综合考虑管道的形状轮廓特征,对分割后的目标区域进行特征匹配,以目标区域的最大宽度与平均宽度的比值 $\alpha = W_{\max}/W_{\min}$ 以及目标区域的面积 A 作为识别特征,去除伪目标区域。其具体步骤如下:

1) 在得到二值图像后,基于区域生长的思想,设置一个目标面积计数器 $A(i) (i = 1, 2, \dots, n)$ 用来记录各目标面积,对图像进行顺序扫描,找到第一个没有归属的目标像素点,以该点作为种子点 (X_0, Y_0) 中心,对 (X_0, Y_0) 的 4 邻域 (X, Y) 进行遍历,如果满足生长条件,即该点与种子点的灰度值相等,则 (X, Y) 和 (X_0, Y_0) 合并,直到图像中的每个像素点都有归属时,生长结束。但是图像分割后仍可能出现同一目标不连通情况,通过对相邻的目标区域

进行拟合,当两目标区域的中心点距离小于某一阈值时即为同一目标;

2) 通过步骤 1) 可获得目标区域个数为 n , 并记录各目标区域的面积 $A(i)$;

3) 对每个目标区域进行分析, 对每行进行遍历, 获取对应目标区域最大宽度和平均宽度的比值 $\alpha = W_{\max}/W_{\min}$;

4) 伪目标区域的筛选。此处设定面积阈值 T_{A1} , T_{A2} 以及最大宽度与平均宽度比值阈值 $T_{\alpha 1}$, $T_{\alpha 2}$ 。以目标区域的最大宽度与平均宽度的比值 $\alpha = W_{\max}/W_{\min}$ 以及目标区域的面积 A 作为识别特征, 筛选伪目标区域, 减少计算量。根据实验中图像中管道尺寸, 设置 $T_{A1} = 80000$, $T_{A2} = 100$, $T_{\alpha 2} = 1.8$, $T_{\alpha 1} = 1.2$ 。伪目标区域的特性表示如下

$$A > T_{A1}, A < T_{A2} \text{ or } \alpha < T_{\alpha 1} \text{ or } \alpha > T_{\alpha 2}. \quad (2)$$

3.5.2 峰值点邻域逆向处理

采用 Hough 变换检测直线时, 获得累加器数组 $A(\rho_i, \theta_j)$ 中的峰值点, 为避免在该峰值点对应的直线邻域内出现多条伪边缘直线, 需要对峰值点逆向处理。对于峰值点极坐标 $(\rho_{\max}, \theta_{\max})$ 邻域 (ρ_i, θ_i) 的累加器 $S(\rho_i, \theta_i)$, 通常采用 (3) 式进行清零, 若 $|\rho_{\max} - \rho_i| \leq \Delta\rho$ 且 $|\theta_{\max} - \theta_i| \leq \Delta\theta$, 则有

$$S(\rho_i, \theta_i) = 0. \quad (3)$$

(3) 式虽然简单快速, 但是对于峰值点对应直线的邻域内附属边缘线的清除具有不完全性。如图 3 所示, 峰值点对应的极坐标 $(\rho_{\max}, \theta_{\max})$ 对应的直线为 L , 直线 L_1, L_2 与 L 的距离为 $\Delta\rho$, 由 (3) 式确定的区域为 R_{abcd} , 该区域中的任意极坐标点 (ρ_i, θ_i) 对应的直线均能清除, 但是, 对于 L 附近的直线 L_3 仍然可能被检测出来, 为避免峰值点对应直线附近的边缘点对次峰值点的干扰, 即峰值点附近的边缘点只对该峰值点的累加做贡献, 并建立区域 R_{ABCD} , 对

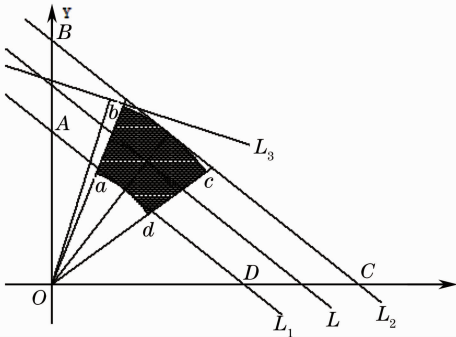


图 3 峰值点逆向处理区域描述

Fig. 3 Neighborhood region description of peak value

R_{ABCD} 区域内的边缘点 (X, Y) 所对应的累加器逆向处理, 即 $\rho_i = X \cos \theta_i + Y \sin \theta_i$ 时, 对应的累加器 $S(\rho_i, \theta_i) = S(\rho_i, \theta_i) - 1$ 。通过逆向处理, 直线 L 附近的边缘点对次峰值点的干扰消除。这表示 R_{ABCD} 区域内的任意一个边缘点只参与一条管道边缘线的检测, 消除了管道边界线附近相似直线的干扰, 保证了管道边缘检测的唯一性。

由于考虑直管和弯管情形, 所以在图像中管道的边缘数目介于 2 和 4 之间, 对图像利用改进的 Hough 变换获得管道的边缘线, 并求取管道的中线 (ρ_m, θ_m) 。由 (1) 式获得中线相对于机器人的近点、中点和远点在图像坐标系中的坐标。对于弯管而言, 中点坐标被定义为两条管道中线的交点坐标, 即拐点。

4 环境分析模型

通过管道检测过程, 仅仅获得了管道上的点在图像坐标系中的相对位置信息。要实现 AUV 对海底管道的跟踪, 还需要对海底管线和机器人之间进行三维环境建模, 通过图像坐标系、摄像机坐标系以及机器人坐标系之间的转换, 获得管道相对于机器人的准确导航信息。

机器人坐标系 $O_R-X_R Y_R Z_R$ 与摄像机坐标系 $O_C-X_C Y_C Z_C$ 之间的映射关系如下

$$\begin{bmatrix} X_R \\ Y_R \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{M}_{3 \times 3} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

式中 (X, Y) 为像点的图像坐标, (X_R, Y_R) 为像点相对于机器人的坐标, $\mathbf{M}_{3 \times 3}$ 为满秩矩阵, 变换矩阵 \mathbf{M} 的 9 个系数都是未知的。

摄像机与图像坐标系之间的转换由摄像机的中心投影定理得到

$$z_c \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f/d_x & 0 & X_0 & 0 \\ 0 & f/d_y & Y_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

式中 X, Y 为像点在图像坐标中的横、纵坐标, X_0, Y_0 为摄像机的光轴在图像坐标系中的投影, f 为摄像机的焦距, d_x 和 d_y 分别表示图像坐标系中在 X 轴和 Y 轴中每一个像素所表示的物理尺寸。 $f/d_x, f/d_y, X_0, Y_0$ 采用张正友的摄像机标定方法对水下图像标定获得。

以水下机器人为运动载体, 定义机器人坐标系

的坐标原点为摄像机在管道平面的投影点 O_R , $O_R X_R$ 指向艇首, $O_R Y_R$ 指向右舷, $O_R Z_R$ 竖直向上。摄像头与水下管道平面有一定的倾角 $\phi = \alpha + \beta$, 其中 α 为摄像机安装角度; β 为机器人的纵倾角度, 可由磁罗经测得, 如图 4 所示, 其中 $O_C X_C // O_R Y_R$ 。 $O_C Z_C$ 在 $O_R - Z_R Y_R$ 平面内。摄像头距离水底高度 H 由高度计测得。机器人坐标系中的任意一点 $P(X_R, Y_R, 0)$ 在摄像机坐标系中的坐标为

$$\begin{bmatrix} X_C \\ Y_C \\ Z_C \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \phi & 0 & 0 & H \cos \phi \\ \cos \phi & 0 & 0 & H \sin \phi \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_R \\ Y_R \\ Z_R \\ 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

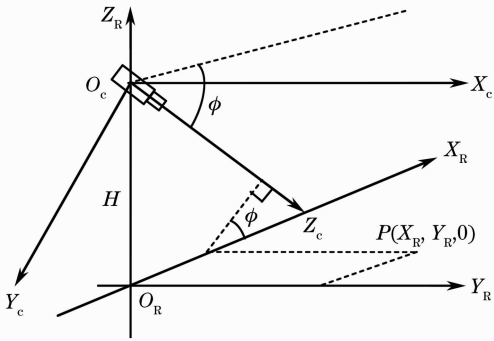


图 4 摄像机坐标系与机器人坐标系

Fig. 4 Coordinates of camera and AUV

图像坐标系与机器人坐标系之间的转换关系为

$$\begin{cases} X_R = \frac{H(Y_0 - Y) \sin \phi + a_Y H \cos \phi}{(Y - Y_0) \cos \phi + a_Y \sin \phi} \\ Y_R = \frac{(X - X_0)(H \sin \phi + X_R \cos \phi)}{a_X} \end{cases} \quad (7)$$

式中 $a_X = f/d_x$, $a_Y = f/d_y$ [见(5)式]。在前面的图像处理过程中获得管道在图像中的相对于机器人的近点 (X_n, Y_n) 、中点(拐点) (X_m, Y_m) 、远点 (X_f, Y_f) 。通过(7)式转换, 获得管道上的三个点相对于机器人的实际坐标: 近点 (X_{Rn}, Y_{Rn}) 、中点(拐点) (X_{Rm}, Y_{Rm}) 、远点 (X_{Rf}, Y_{Rf}) , 进而分别求出管道的近点和中点所在直线和中点与远点所在直线与机器人的角度。

5 实验及结果

AUV 的自主管道跟踪系统通常以预先设定的出发点开始, 进入管道检测阶段并依据管道检测信息进行实时路径规划, 当管道跟踪失败或者出现掩埋现象, 则让机器人按照 S 型路线重新搜寻管道, 当重新检测到管道时, 检测继续, 最终实现管道的自主检测和跟踪。在管道跟踪系统中, 机器人依据中点

(或者拐点)的坐标指导机器人移动, 同时以机器人艏向与管道近点与中点(或者拐点)的角度 γ 指导机器人转动。为实现机器人最终能在管道上方运动, 在转动时通常给一个稍大于 γ 的角度转动, 为验证提出的水下管道识别与跟踪仿真系统的可靠性和有效性, 2013 年 7 月在哈尔滨工程大学水下机器人重点实验室搭建的仿真环境下进行了验证, 利用 Creator 构建了三段长度为 100 m 的连续管子, 其中前两段管子之间的夹角为 15° , 后两段管子的夹角为 30° , 其直径为 1 m, 机器人在管道上方 6 m 高度对管道进行跟踪, 摄像机开角为 $45^\circ(H) \times 60^\circ(V)$, 摄像头的安装角度为 45° , 图像大小为 $704 \text{ pixel} \times 576 \text{ pixel}$ 。在该仿真系统中以不同的角度和起始点进入管道跟踪过程, 分别对管道进行了 10 次跟踪, 管道检测的正确率达到 95% 以上, 图 5 给出管道检测结果和跟踪结果的数据拟合结果图, 图 6 给出了在仿真界面中的机器人的运动轨迹与管道布置图, 图中的黄色曲线表示机器人根据环境感知计算机进行跟踪的运动路径点。从跟踪轨迹和检测结果的拟合度来看, 机器人能很好地沿着管道检测结果进行跟踪, 证明了文中的环境感知和环境分析模型的准确性。图 7 所示是跟踪时部分序列图像。从图中可以看出, 所采用的算法能很好地检测出管道, 刚开始的时候弯管中的远端管道在机器人的左舷方向, 随着机器人的移动和转动, 机器人在序列图像中的第七到第十幅图像中管道已经与机器人的艏向大致平行了, 但是管道仍然在机器人的左舷, 所以此时在跟踪策略中通过中点位置的调整, 使机器人左转, 管道

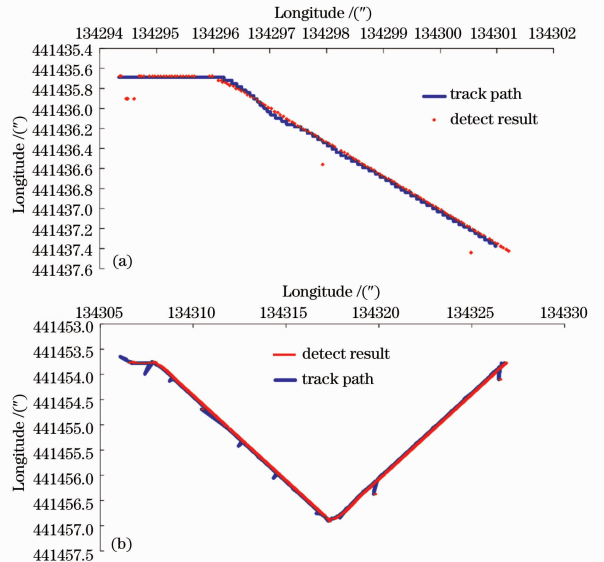


图 5 跟踪和检测数据拟合结果

Fig. 5 Track path and detect results

的朝向指向右舷,通过不断调整,当机器人在管道正上方运动,且与管道之间的角度接近于0时,机器人对管道的跟踪进入平稳过程。机器人对艏向的调整逐渐变小。

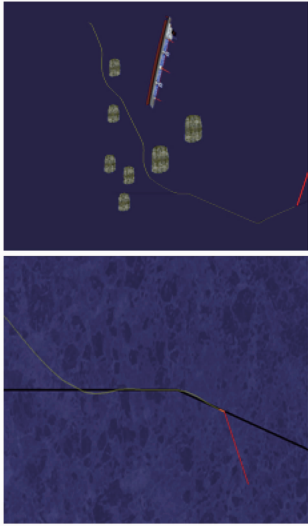


图 6 仿真中的路径曲线

Fig. 6 Track curves in simulation



图 7 跟踪过程的部分序列图像

Fig. 7 Part image sequence

道检测和跟踪进行了论述。通过搭建的三维仿真环境,对直管和弯管进行了多次实验,都能很好地完成管道跟踪,在每次的管道跟踪中管道的正确检测率均能达到95%以上,这说明了采用文中方法搭建的管道检测跟踪系统的有效性和可靠性。所搭建的系统不仅可以在仿真环境中运用,在水池和海洋环境中也具有很高的移植能力,具有很高的工程应用价值。

参 考 文 献

- 1 G M Brevik, S A Fjerdings, O Skotheim. Robust pipeline localization for an autonomous underwater vehicle using stereo vision and echo sounder data[C]. SPIE, 2010, 7539: 0B.
- 2 Tang Xudong. Research on Underwater Pipeline Detecting and Tracking by AUVs [D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2011. 1-2.
唐旭东. 智能水下机器人水下管道检测与跟踪技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2011. 1-2.
- 3 M Atkins, T Edward, D Johnson *et al.*. Pipeline damage assessment from hurricanes katrina and rita in the gulf of mexico [J]. Minerals Management Service, DNV Technical Report, 2007. 3-4.
- 4 B Kalyan, A Balasuriya. Multiple sensors based navigation scheme for AUV position estimation [C]. IEEE Underwater Technology, 2004. 201-207.
- 5 E Trucco, K Plakas. Video tracking: a concise survey[J]. IEEE J Oceanic Eng, 2006, 31(2): 520-529.
- 6 G Conte, S Zanoli, A M Perdon, *et al.*. Automatic analysis of visual data in submarine pipeline inspection[C]. IEEE, 1996, 3: 1213-1219.
- 7 L C P Messina, A P Simões, A Botto, *et al.*. Three dimensional imaging system for subsea inspection [C]. ASME, 2006, 4: 343-352.
- 8 A Balasuriya, T Ura. Autonomous underwater vehicle navigation scheme for cable following[C]. IEEE Intelligent Transportation Systems, 2001. 519-524.
- 9 A Balasuriya, T Ura. Autonomous underwater vehicles for submarine cable inspection: experimental results [C]. IEEE Systems Man and Cybernetics, 2001, 1: 377-382.
- 10 A Ortiz, M Simo, G Oliver. A vision system for an underwater cable tracker[J]. Mach Vision Appl, 2002, 13(3): 129-140.
- 11 J Antich, A Ortiz. Development of the control architecture of an underwater cable tracker[J]. Int J Intell Syst, 2005, 20(5): 477-498.
- 12 A V Inzartsev, A M Pavin. AUV behavior algorithm while inspecting of partly visible pipeline[C]. IEEE, 2006: 1-5.
- 13 A M Pavin. The pipeline identification method basing on AUV's echo-sounder data[C]. IEEE, 2006: 1-6.
- 14 A V Inzartsev, A M Pavin. AUV cable tracking system based on electromagnetic and video data[C]. IEEE, 2008: 1-6.

6 结 论

从图像采集、图像处理及环境分析等方面对管

栏目编辑: 李志兰