

自动化、计算机技术

# 基于自适应阈值的自主水下机器人 温跃层探测方法研究

孙龙飞<sup>1,2</sup> 李一平<sup>1</sup> 阎述学<sup>1,2</sup> 王健<sup>1</sup>

(中国科学院沈阳自动化研究所机器人学国家重点实验室<sup>1</sup>, 沈阳 110016; 中国科学院大学<sup>2</sup>, 北京 100049)

**摘要** 海洋温跃层是一种重要的海洋现象。基于自主水下机器人(autonomous underwater vehicle, AUV)提出了一种梯度阈值可调的温跃层探测方法,其阈值可根据海洋温跃层分布特性自适应修改,同时针对 AUV 温跃层探测中水体分层厚度选取的问题,提出了一种根据温度梯度峰值点个数自主确定其大小方法,可实现 AUV 完全自主探测温跃层。根据 AUV 外场实验数据,同峰值法、平均梯度法以及最优分割法进行了比较分析,结果表明此方法简单、有效。

**关键词** 水下机器人 温跃层 自适应阈值 自主探测

中图分类号 TP242.6; 文献标志码 B

温跃层是指海水中温度垂向梯度变化比较大的区域<sup>[1,2]</sup>。在温跃层中,海水的温度、盐度和密度会有很大变化,温跃层对海洋渔业、水下通信、海军潜艇活动及海洋环流内波等有重大影响<sup>[3,4]</sup>。由于小型 AUV 具有活动范围相对较大、成本低以及机动性强的特点<sup>[5,6]</sup>,所以适合于温跃层探测。本研究依托平台是中国科学院沈阳自动化研究所研制的 50 公斤级便携式 AUV,如图 1 所示。

温跃层探测方法根据数据处理方式可以分为两类,一种是基于潜标浮标等的的数据后处理方式;另一种是基于水下机器人的数据实时处理方式。如使用滑翔机或者 AUV。前一种用来进行大范围物理海洋观测,离线计算不用考虑实时性;后者可通过对数据实时处理,对特征区域精细测量。对于数据后处理方式,Springtall 在 1992 年提出的 S-T 方法<sup>[7]</sup>较为经典;张旭<sup>[8]</sup>等人提出的最优分割方法可获得温跃层特征区间;张学宏等人采用不等距微分法<sup>[2]</sup>,可精确快速地确定跃层上下边界。

本文主要研究基于水下机器人的数据实时处理方式,有代表性的研究机构是 MBARI、MIT 以及 Porto(波尔图大学)等。MBARI 的张燕武等人使用混合驱动的 Tethys AUV 平台,采用峰值法<sup>[9,10]</sup>,获得了温跃层垂直剖面分布;MIT 的 Petillo 等人使用 NURC OEX 和 NUWC 两种型号的 AUV,采用“自适

应特征点跟踪”(autonomous adaptive feature tracking, AAFT)方法<sup>[11]</sup>,实现了水下机器人自主环境探测;Porto 的 Cruz 和 Matos 等人使用四个推进器架构的 MARES AUV,采用垂直梯度方法实现了温跃层探测<sup>[12]</sup>。



图 1 中国科学院沈阳自动化所研制的便携式 AUV  
Fig. 1 The portable AUV made by Shenyang Institute of Automation Chinese Academy of Sciences

## 1 AUV 温跃层探测方法

### 1.1 温跃层探测方法的两个重要问题

温跃层探测方法中有两个重要问题,一是确定水体分层厚度,二是确定温跃层边界。对于第一个问题,假设水体分层厚度为  $z$  (单位是 m),  $z$  的选取在噪声抑制和分辨率之间起着平衡作用。如果  $z$  太小,每个分层中只有较少的采样点,导致梯度估计时噪声较大,如果  $z$  太大,计算出来的温度梯度变化不明显。目前的温跃层探测方法都是根据经验确定  $z$  的,需要先获得探测海域数据,经过计算后给出合适的  $z$ ,不能实现 AUV 完全自主探测温跃层。对于第二个问题,有代表性的温跃层探测方法有三种,分别是峰值法、平均梯度法和最优分割法。

2016年2月4日收到 国家863计划项目(2011AA09A105)资助  
第一作者简介:孙龙飞(1990—),男,河南郑州人,硕士研究生。研究方向:水下机器人控制方法。E-mail: sunlongfei@sina.com。

峰值法的基本思想是先求得温度梯度峰值点对应的深度, 然后在峰值点处向上下分别扩展若干距离 ( $DEP_{extension}$ ) 确定温跃层上下边界, 这种计算方法简单, 但峰值点在整个温跃层中的相对位置没有规律, 所以  $DEP_{extension}$  的选取依据人的经验<sup>[9, 10]</sup>, 选取不当会使结果和实际温跃层区间差别较大, 这种方法目前不能实现自适应。

平均梯度法<sup>[11]</sup> 核心思想是对水下机器人探测到的整个垂直水层计算平均温度梯度, 以此为阈值, 温度梯度大于这个阈值的区域就认为是在温跃层内。这种方法适合温跃层分布均匀的海域, 如果温跃层很薄, 远小于水下机器人探测的范围, 则计算出来的温跃层要比实际温跃层宽很多; 相反, 如果温跃层很厚, 则计算出来的温跃层范围比实际温跃层要薄很多。

最优分割<sup>[8]</sup> 方法的思想是有序样品的聚类分析。对于温跃层分析, 水温剖面为典型的三层结构, 即上均匀层、跃层和下均匀层, 因此把温度梯度分为 3 组, 即最优三分割, 根据李凤岐等证明<sup>[13]</sup>, 求解两次最优二分割即可得到最优三分割的结果, 分割之后各组内部之间差异性最小, 组与组之间差异性最大。最优分割是一种数学方法, 计算复杂, 常用于离线计算。

### 1.2 基于自适应阈值的自主探测方法

针对温跃层探测的两个重要问题, 提出了自主确定水体分层厚度的方法, 并且提出了基于可调节阈值的 AUV 自适应温跃层探测策略。

#### 1.2.1 AUV 自主确定水体分层厚度

根据某次 AUV 海试数据, 绘制了在不同  $z$  大小下温度梯度曲线, 如图 2 所示。

从图 2 中可以看出不同的  $z$  值求得的温度梯度曲线差别很大。据相关文献<sup>[14, 15]</sup> 规定, 浅海区温跃层温度梯度最低指标值为  $\delta = 0.2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{m}$ , 这里取  $\delta/2$  为基准值 (温度梯度小于 0.1 的区域可认为在温跃层范围之外), 计算在基准值内的温度梯度极值点个数, 结果如下。

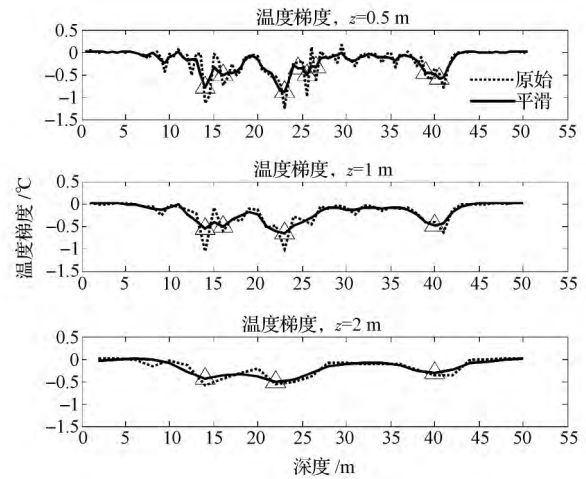
结合图 2 和表 1, 当  $z$  取较小值 0.5 时, 峰值点个数达到了 8 个

表 1  $z$  值与极值点个数对应关系

Table 1 The relationship between  $z$  and peak point number

| 层的厚度 $z/\text{m}$ | 0.5 | 1.0 | 2.0 |
|-------------------|-----|-----|-----|
| 极值点个数             | 8   | 4   | 3   |

之多, 从曲线可看出, 此时噪声较大, 导致出现了过多峰值; 当  $z$  取较大值 2 时, 只有 3 个采样点, 曲线过于平滑, 导致特征峰值点不够突出; 而当  $z$  取 1 时, 采样点为 4 个, 此时峰值点个数适中, 梯度曲线也能反映出温度梯度特征, 因此在此情形下, 取  $z =$



(虚线是原始数据求得的温度梯度, 实线是经过平滑滤波后得到的温度梯度曲线, 三角形是在满足基准值前提下求得的梯度峰值。)

图 2 不同  $z$  值对应的温度梯度曲线

Fig. 2 Temperature grad in different bin size

1 是合理的。

通过上述分析, 极值点个数能反映  $z$  的取值是否合理, 因此可以通过让 AUV 的处理器计算极值点个数确定合适的  $z$ 。在浅海区, 温跃层深度一般在几十米级别, 这里把水层均匀划分成若干层, 以  $z = 0.5 \text{ m}$  为基础值, 在此基础上每次加  $0.5 \text{ m}$ , 即  $0.5, 1.0, 1.5, 2.0$  等, 分别计算对应的温度梯度极值点个数, 取极值点个数小于 5 个的最小  $z$  值作为分层厚度。为了让水下机器人快速确定  $z$ , 默认  $z = 1$ , 计算波后的峰值点个数, 若符合条件则设置  $z = 1$ , 若峰值点大于 5 个则  $z$  上  $0.5$  再进行计算, 若峰值点小于 5 个则  $z$  减去  $0.5$ , 直到得到符合条件的  $z$ 。

结合 AUV 运动特点, 需要对 AUV 相关参数进行限制, 与  $z$  大小相关的因素有载体运动速度  $v$ , 纵倾角  $y_0 - y_0$  运动角度  $\theta$ , CTD 采样频率  $f_{CTD}$ 。AUV 进行温跃层探测的边界条件如下。

$$\begin{cases} Num_{point} \geq N_{min} \\ \theta \leq 30^\circ \end{cases}$$

其中  $Num_{point}$  为每层内的采样点数

$$Num_{point} = \frac{1}{v \cos \theta} f_{CTD} z。$$

根据参考文献 [8] 中的实验结果给出的结论, 在计算温度梯度时每层内至少有 5 个采样点才能达到比较好的计算效果, 这里设  $N_{min} = 5$ 。为了保证 AUV 安全, 限定载体纵倾角  $y_0 - y_0$  运动角度  $\theta$  不大于  $30^\circ$ 。假设载体速度  $1 \text{ m/s}$ , 以  $\theta = 30^\circ$  下潜, 则 CTD 采样频率至少需要达到  $5 \text{ Hz}$ , 边界条件可得出使用 AUV 进行温跃层探测时 CTD 采样频率、航行角度和

速度需满足的最低要求。

### 1.2.2 自适应阈值

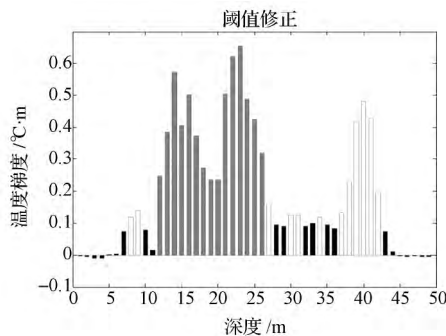
在确定水体分层厚度  $z$  时,峰值点个数的计算是以温度梯度大于  $\delta/2$  为前提的,不同海域温跃层特性不一样,在温跃层特性比较明显的海域,温度变化较大,相反,在某些海域,温度变化较小。为了适应复杂的海洋环境,需针对不同海域选择不同的阈值。

对满足温度梯度大于  $\delta/2$  的连续深度范围内的数据求梯度方差,然后用  $\delta/2$  加上方差,作为划定温跃层的阈值,即

$$TempGrad_{threshold} = \delta/2 + Std(TempGrad(n) > \delta/2)。$$

其中  $TempGrad(n)$  为第  $n$  层温度梯度。

对 AUV 外场实验的温度梯度数据进行处理,结果如图 3(为了便于观察,这里对梯度取反)。



(纯黑色条形图是原始梯度数据,白色是大于基准值的梯度数据,灰色是大于阈值的梯度数据。)

图3 梯度阈值修正

Fig.3 Regulate temperature grad threshold

求得的满足基准值  $\delta/2$  的温度梯度标准差为:

$$Std(TempGrad(n) > \delta/2) = 0.1299 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{m}。$$

因此得到温跃层梯度阈值为:

$$TempGrad_{threshold} = 0.1 + 0.1299 = 0.2299 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{m}$$

求出的阈值  $0.2299 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{m}$  大于相关文献规定的温跃层最低指标  $0.2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{cm}$ ,因此这种跃层阈值确定方法是合理的,即满足了最低指标,又可以根据不同海域的温跃层特性修改阈值。

### 1.2.3 AUV 温跃层探测步骤

水层厚度和梯度阈值两个问题解决之后,下面给出完整的 AUV 温跃层探测方法,AUV 探测温跃层采用如图 4 所示的  $y_0-y_0$  运动,CTD 传感器按一定的频率采样得到深度和温度数据。

(1) 确定  $z$  值。首先进行初始化,即 AUV 下潜至该目标区域最大深度,根据此过程中采集的数据,确定  $z$  值, $z$  初始值设为 1。平均温度的计算方法

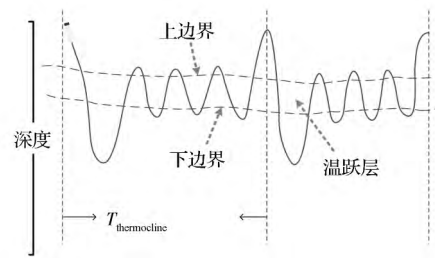


图4 AUV 进行温跃层探测示意图

Fig.4 Sketch map of AUV thermocline tracking

如下。

$$Temp_{ave}(n) = \frac{\sum_1^{count(n)} Temp_{raw}}{count(n)}。$$

其中,  $n = 1, 2, 3, \dots, Depth_{max}/z$  表示层数,  $count(n)$  为第  $n$  层中的采样点数,  $Temp_{raw}$  为某个瞬间采样值。

根据求得的平均温度计算层与层之间的温度梯度。

$$TempGrad(n) = \frac{Temp_{ave}(n) - Temp_{ave}(n-1)}{z}。$$

对原始数据计算得到的温度梯度震荡较大,需对求得的温度梯度滤波。通常的滤波方法有两种,滑动窗口平均滤波和七点二次平滑滤波。七点二次平滑算法计算公式如下( $x$  为数据序列)。

$$\hat{x}_i = \frac{1}{12}(-2x_{i-3} + 3x_{i-2} + 6x_{i-1} + 7x_i + 6x_{i+1} + 3x_{i+2} - 2x_{i+3})。$$

端点处 6 个点的计算公式见参考文献 [2]。

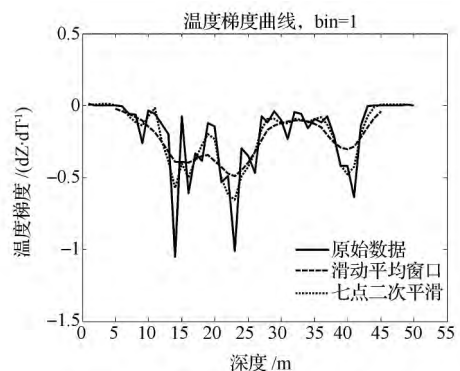


图5 滤波方法比较

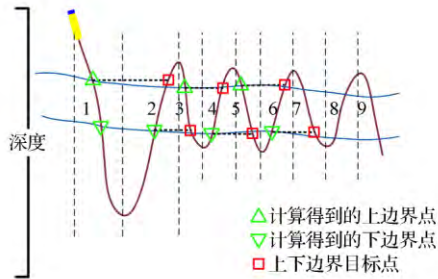
Fig.5 Contrastive analysis of filter method

根据 AUV 外场实验数据,对两种滤波方法进行比较,结果如图 5,其中滑动平均窗口滤波窗口大小是 7。从图中可以看出,经过滑动平均窗口滤波后只得到了原始曲线的大体趋势,重要的峰值点信息削弱很多,而七点二次平滑算法效果较好,既保留了关键点信息,也起到了整体滤波效果,因此本文滤波方法选择七点二次平滑算法。

采用上述 AUV 自主确定水体分层厚度的方法, 根据滤波后温度梯度峰值点个数推出合适的  $z$  值。

(2) 确定温度梯度阈值。确定  $z$  值之后, 计算温度梯度大于  $\delta/2$  的连续范围内的温度梯度方差, 使用  $\delta/2$  加上方差作为梯度阈值。大于此阈值的范围可认为是在温跃层中, 为了克服震荡, 当有连续  $2/\delta$  个(探测距离超过 2 m)层超过阈值才认为是进入了温跃层。

(3) 设定目标点。AUV 探测温跃层目标点设计示意图如图 6 所示, 对 AUV 运动状态分段, 第 1 段为 AUV 目标区域最大深度下潜运动, 这一段完成 AUV 初始化, 即确定水体分层厚度和温度梯度阈值, 然后计算出温跃层上边界值对应的深度  $DEP_{upper}$ 。由于在有限的距离内温度在水平方向上变化不大, 所以可以把第 1 段计算出来的  $DEP_{upper}$  作为第 2 段 AUV 运动的目标位置, 同理, 在第 2 段 AUV 上升运动过程中需计算出温跃层下边界  $DEP_{lower}$ , 作为第 3 段 AUV 下潜运动的目标位置, 以此类推。



图中三角形是在一次 AUV 上升或下潜过程中计算得到的上下边界点, 矩形是根据计算得到的目标位置点

图 6 AUV 运动目标点追踪示意图

Fig. 6 Sketch map of AUV target point tracking

在某段 AUV 运动过程中, 通过计算温度梯度得到温跃层上下边界所对应的深度  $DEP_{upper}$  和  $DEP_{lower}$ , 跃层厚度为

$$H_{thermocline} = DEP_{upper} - DEP_{lower}$$

在浅水区温跃层大小一般为几米到几十米左右, 当  $H_{thermocline}$  小于 2 m 可忽略该温跃层, AUV 继续完成运动, 根据后续数据计算新的跃层, 若有跃层则继续按照预定程序运动, 如没有发现跃层, 则 AUV 开始初始化, 即以目标区域最大深度做 yo-yo 运动, 直到发现温跃层。

(4) 周期性初始化。温跃层特性会随着时间和水平位置变化, 所以当 AUV 运动一段时间之后, 需要对其复位, 重新初始化, 确定新的分层厚度和梯度阈值, 如图 4 所示。根据香农采样定理, 应满足

$$T_{thermocline} \leq T_0/2。$$

其中  $T_{thermocline}$  为 AUV 周期性初始化周期,  $T_0$  是温跃层特性变化周期。温跃层特性变化和太阳光照和海风有关, 据参考文献 [11] 介绍, 晴天设置  $T_{thermocline}$  为 0.5 ~ 1 h、阴天设置  $T_{thermocline}$  为 1.5 ~ 3 h 为宜。

## 2 方法验证

结合 AUV 外场实验数据, 对本文提出的方法进行验证, 实验地点为南海某浅海海域, 如图 7 所示。

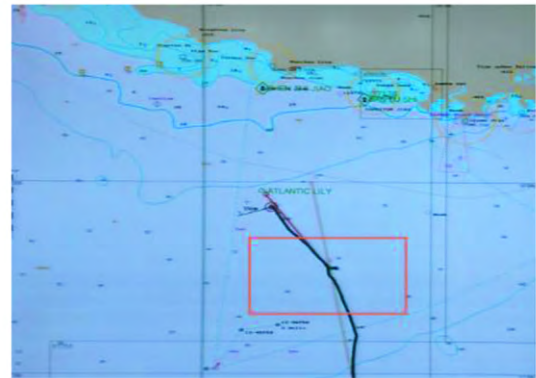
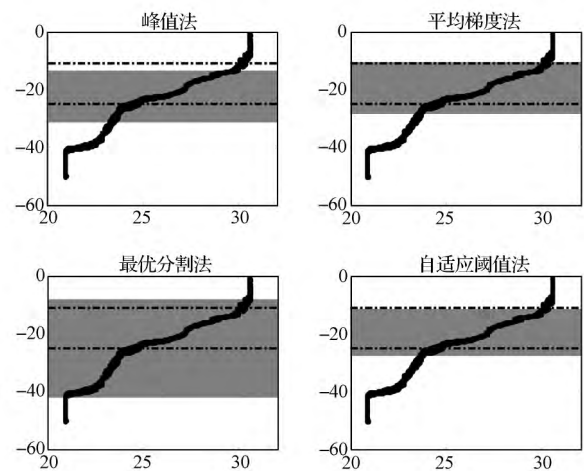


图 7 实验地点(21°16.846'N, 113°30.474'E)

Fig. 7 Location of filed test

本文对峰值法、平均梯度法、最优分割法也进行了仿真, 求得的温跃层范围如图 8 所示, 结果如表 2。



图中黑色实线是温度随深度变化曲线, 色块是四种方法确定的跃层范围, 横虚线是人工确定的跃层范围

图 8 四种温跃层探测方法求得的温跃层边界

Fig. 8 Result of thermocline scope with 4 tracking methods

峰值法得到跃层范围是 13.5 ~ 31.6 m, 和人工确定的 11 ~ 25 m 的跃层范围相差较大, 扩展深度选取是否合适直接影响求得的跃层精度, 而它的选取又比较困难, 需要丰富的外场实验经验; 最优分割得到的跃层范围为 8 ~ 42 m, 过于宽泛, 并且该方法计

算量大,常用于离线计算;平均梯度法和自适应阈值法得到的结果和人工判断的跃层范围接近,但平均梯度法适用于跃层分布均匀的海域,对于过厚或者过薄的跃层测量结果偏差较大。

表2 跃层边界与均值对比

Table 2 Thermocline scope and mean value

| 方法     | 跃层   |      | 梯度均值/<br>( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^{-1}$ ) |
|--------|------|------|---|
|        | 上界/m | 下界/m |   |
| 峰值法    | 13.5 | 31.6 | 0.332 4   |
| 平均梯度法  | 10.5 | 28.6 | 0.332 3   |
| 最优分割法  | 8    | 42   | 0.272 3   |
| 人工判断   | 11   | 25   | 0.393 3   |
| 自适应阈值法 | 11.4 | 27.7 | 0.359 8   |

自适应阈值方法确定的跃层范围是 11.4 ~ 27.7 m,跃层平均温度为 0.359 8  $^{\circ}\text{C}/\text{m}$  和人工确定的结果基本一致。

### 3 总结

文中提出的自适应阈值的温跃层探测方法适用于水下机器人自主探测,实验结果表明方法简单有效。此方法的一个亮点是自适应水体分层厚度方法的提出可以让 AUV 适应不同的海洋环境,省去了复杂且危险的载体回收过程,实现 AUV 完全自主探测温跃层。

使用 AUV 进行温跃层探测对载体的运动控制性能有一定的要求,引言中提到国外学者往往选择控制性能较好的水下机器人进行跃层探测,如混合驱动的 AUV,多推进器架构的 AUV 等。本文的研究对象是单推进器 AUV,这种 AUV 是欠驱动的,没有浮力调节和独立垂直运动机构,另外浅海海洋洋流的影响、温跃层中海水密度和盐度的巨大变化都会对 AUV 垂直面运动造成影响,因此后续要对 AUV 在温跃层探测过程中的控制性能进行研究,以更好地适应温跃层探测。

#### 参 考 文 献

- Joseph P. A history of thermocline theory. Springer, 2006: 1—8
- 张学宏,张旭东,李 颜. 海洋温跃层特征值的分析与计算. 海洋预报, 2011; (05): 69—76  
Zhang X H, Zhang X D, Li Y. Analysis and calculation of thermocline characteristic values. Marine Forecasts, 2011; (05): 69—76
- 李庆红,刘天波,张永刚. 海洋温跃层对舰船声呐探测的影响评估. 船舶电子工程, 2008; (02): 141—144

- Li Q H, Liu T B, Zhang Y G. Ocean thermocline sonar detection of impact assessment for naval ship ocean thermocline impact assessment of ship sonar detection. Ship Electronic Engineering, 2008; (02): 141—144
- 张 旭,张永刚. 浅海温跃层对声道影响的仿真研究. 系统仿真学报, 2012; 10(24): 2167—2171  
Zhang X, Zhang Y G. Simulation study on the influence of shallow water thermocline on acoustic channel. Journal of System Simulation, 2012; 10(24): 2167—2171
- 蒋新松,封锡盛,王棣棠. 水下机器人. 沈阳: 辽宁科技出版社, 2000; 285—291  
Jiang X S, Feng X S, Wang D T. Underwater vehicles. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press, 2000: 285—291
- 燕奎臣,李一平,袁学庆. 远程自治水下机器人研究. 机器人, 2002; 24(4): 299—303  
Yan K C, Li Y P, Yuan X Q. Research on long range autonomous underwater vehicle. Robot, 2002; 24(4): 299—303
- Janet S, Matthias T. Evidence of the barrier layer in the surface layer of the tropics. Geophysical Research, 1992; (5): 7305—7316
- 张 旭,张永刚,聂邦胜,等. 垂直梯度法与最优分割法确定温跃层边界的比较分析. 海洋通报, 2008; (06): 20—26  
Zhang X, Zhang Y G, Nie B S, et al. A comparative analysis of the thermocline boundary vertical gradient method and optimal segmentation method. Marine Science Bulletin, 2008; (06): 20—26
- Zhang Y, Bellingham J G, Godin M, et al. Thermocline tracking based on peak-gradient detection by an autonomous underwater vehicle. OCEANS 2010 IEEE, 2010: 1—4
- Zhang Y, Bellingham J G, Godin M A, et al. Using an autonomous underwater vehicle to track the thermocline based on peak-gradient detection. Oceanic Engineering, IEEE Journal, 2012; 37(3): 544—553
- Petillo S, Balasuriya A, Schmidt H. Autonomous adaptive environmental assessment and feature tracking via autonomous underwater vehicles. OCEANS 2010 IEEE-Sydney. IEEE, 2010: 1—9
- Cruz N, Matos A C. Reactive AUV motion for thermocline tracking. Oceans 2010 IEEE-Sydney. IEEE, 2010: 1—6
- 李凤歧,苏育嵩. 海洋水团分析. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 2000: 111—114  
Li F Q, Su Y S. Ocean water mass analysis. Qingdao: Qingdao Ocean University Press, 2000: 111—114
- 国家技术监督局. 海洋调查规范——海洋调查资料处理. 北京: 中国标准出版社, 1992: 67—70  
National Technical Supervision Bureau. Specification for oceanographic survey-data processing of oceanographic survey. Beijing: China Standard Press, 1992: 67—70
- 毛汉礼. 全国海洋综合调查报告. 1964: 1—16  
Mao H L. National marine comprehensive survey report. 1964: 1—16

(下转第 237 页)



## In the P2P Network Node Location Optimization Method of Recent Study and Implementation

ZHENG Yi-fang<sup>1</sup>, CHEN Ying-yue<sup>2</sup>

( Fujian Normal University ,College of Photonic and Electronic Engineering ,Fuzhou 350007 ,P. R. China;  
Center of Economics and Management ,Xiamen University of Technology<sup>2</sup> ,Xiamen 361024 ,P. R. China)

**[Abstract]** P2P mobile node equipment shortage of resources , which leads to the uneven load network resources , make the P2P network is in a state of dynamic and changeful. Traditional method based on weighted size fixing the recent node , the resources consumed more , unable to adjust load balance of network resources and lead to poor positioning accuracy. Ant colony algorithm is proposed based on trust and the nearest node localization in P2P network optimization method , the trust between the nodes in the P2P network calculation , calculation result and update. On this basis , the ant colony algorithm is adopted to recent node localization , the transition probability function values as recently the largest node. In order to avoid the node localization in the process of load imbalance problem , the optimized , according to the transition probability function value , energy , and the business execution waiting queue length , the balance function of the locating node recently , as recent choose balanced function value maximum node. The experimental results show that the proposed method improves the P2P network node positioning precision and efficiency of recently , it has good application value.

**[Key words]** P2P network recent node positioning

( 上接第 226 页)

## Research on Thermocline Detecting Based on Adaptive Threshold Using Autonomous Underwater Vehicle

SUN Long-fei<sup>1,2</sup>, LI Yi-ping<sup>1</sup>, YAN Shu-xue<sup>1,2</sup>, WANG Jian<sup>1</sup>

( State Key Laboratory of Robotics , Shenyang Institute of Automatics , CAS<sup>1</sup> , Shenyang 110016 , P. R. China;  
University of Chinese Academy of Sciences<sup>2</sup> , Beijing 100049 , P. R. China)

**[Abstract]** Thermocline is an important ocean phenomenon. In this paper , we present a thermocline detecting and tracking method based on adjustable thermocline grad threshold by AUV ( autonomous underwater vehicle) , the threshold can be self-adaptively modified according to thermocline distribution characteristics , meanwhile , for the key issue of bin size setting in thermocline tracking , an autonomous algorithm based on the number of grad peak points is proposed , which can make AUV completely self-determination. With data of AUV filed test , comparative analysis is proceeded with Peak-Gradient , Average-Gradient and Optimal-Segmentation methods , the result shows that the method is simple and effective.

**[Key words]** AUV ( autonomous underwater vehicle) thermocline self-adaptive threshold autonomous detection