



长江山区航道能见度监测系统的开发*

潘育明

(长江航道局, 湖北 武汉 430010)

摘要: 设计了一套基于图像的长江山区航道能见度监测系统, 主要包括数据采集模块与学习模块、能见度计算单元以及报警与通信模块。实现了信息采集、基于图像的能见度估计算法, 并结合 D-S 证据理论实现了基于多传感器的能见度估计融合算法。能见度计算模块中报警模块可以监测能见度的动态变化情况, 并依据规则发出预警信息, 该系统已实现并得到验证。

关键词: 长江山区航道; 能见度监测; 图像处理; D-S 证据理论; 航运安全

中图分类号: U 644. 4 文献标志码: A 文章编号: 1002-4972(2016)01-0052-06

Development of visibility monitoring system in the Yangtze River mountainous area

PAN Yu-ming

(Changjiang Waterway Bureau, Wuhan 430010, China)

Abstract: A image based visibility monitoring system for the Yangtze River in mountainous area is designed, including data acquisition module, learning module, visibility calculation module and alarm and communication module. The algorithm of information acquisition and visibility estimation based on image is realized, and the fusion algorithm based on multi sensors is realized by combining the D-S evidence theory. The alarm unit can monitor the dynamic changes of visibility according to the rules. The system has been implemented and validated.

Keywords: the Yangtze River mountainous channel; visibility monitoring; image processing; D-S evidential theory; maritime safety

透射型能见度仪出现较早, 但其体积大、基线较长不宜安装, 并且价格昂贵, 难以在气象观测等部门中普及。激光探测能见度的研究起步较早, 但是存在设备成本较高的缺点^[1-2]。散射型能见度仪的原理是根据粒子对光的散射特性确定能见距离。这种仪器成本较低, 安装方便, 弥补了透射型能见度仪的不足, 得到进一步推广应用。散射式能见度仪工作时假设大范围空间中气体均匀, 通过计算很小区间的空气散射率推测几百米

甚至几千米范围的空气散射率, 但在长江山区航道复杂多样气候条件下适用性降低。

基于摄像机的能见度监测方法一般使用图像处理方法和人对目标的识别特点确定能见度距离。对该类方法的国内外研究总结发现, 利用自然目标物或者人工设置目标板是最基本的方法。Kwon 等设计了人为设置目标的摄像法能见度检测方法, 但是成本较高, 布置目标板不宜操作^[3]。D. Bäumer 等选取了城市中的某些已知距离的建筑物作为目标,

收稿日期: 2015-10-18

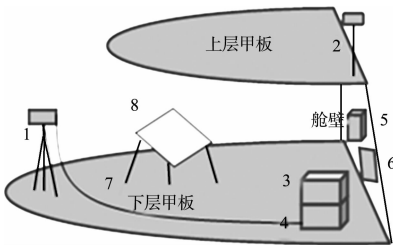
*基金项目: 交通运输部信息化技术研究项目 (2013364548200); 湖北省自然科学基金创新群体项目 (2013CFA007)

作者简介: 潘育明 (1965—), 硕士, 教授级高工, 从事航道信息化研究。

观测不同距离建筑物是否可见来评价当前能见度，节省架设人造目标的成本^[4]。王京丽等设计 DPVS (digital photography visiometer system) 数字摄像法测量能见度仪，利用人工和自然景物作为目标，技术较为成熟^[5]。提取图像中反映能见度条件的图像特征，并使用特征学习方法建立其与仪测能见度或者专业人员观测值的学习模型的方法最为普遍，比如 Graves 等研究了几种计算图像对比度的方法，发现 Sober 算子的计算效果较好^[6]，MIT 也进行了相关研究^[7]。陈钊正通过提取图像中公路车道线对比度并利用线性拟合方法评价道路能见度^[8]。本文根据长江山区航道的实际环境条件，结合相关研究成果，设计实现了一套基于图像的长江山区航道能见度监测系统。

1 系统设计

为了符合长江航道能见度实际情况，试验场所选在长江航道的趸船上，设备布置见图 1。



注：1. 摄像机，2. 风速仪，3. 工控机，4. 蓄电池，5. 温湿度传感器，6. 气象数据采集板，7. 视频传输线和摄像机的供电电缆，8. 太阳能电池板，该系统采用太阳能供电。

图 1 试验设备布置

该系统主要包括数据采集与学习模块、能见度计算模块以及报警与通信模块 3 部分。图 2 即为该系统的工作流程，数据采集与学习模块的采集功能主要体现在为系统输入图像以及保存各种计算数据、报警记录等，学习功能没有表示出来。为了提高系统监测数据稳定性，采取将每 1 min 内的监测结果求取平均值作为是否报警的依据。采用 1 min 的时间周期一方面考虑到系统运算效率，另一方面采用较短时间周期可以发现雾情的脉动情况。

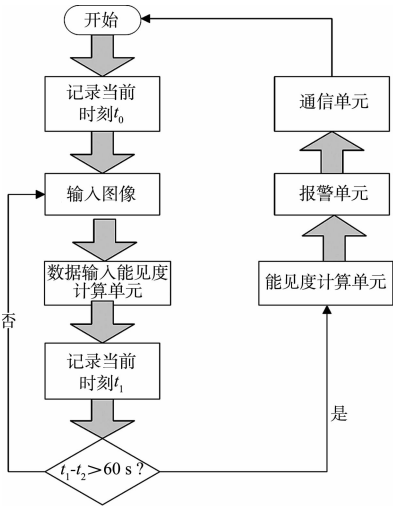


图 2 系统工作流程

具体处理步骤如下：1) 系统记录当前时间 t_0 ；2) 向系统输入图像，并保存生成的图片，为图片编号；3) 将图片输入到计算能见度模块；4) 记录当前时间 t_1 ；5) 判断 $t_1 - t_0$ 是否大于 60 s，如果大于，执行 6)，否则执行 2)；6) 将 1 min 内的能见度值做平均处理，得到并保存 1 min 内的能见度平均值；7) 执行报警模块；8) 执行通信模块，如果有报警，保存报警记录；回到 1)。

2 数据采集与处理

数据采集包括图像采集、图像特征采集、能见度数据采集以及气象数据采集等 4 部分。图像采集主要由摄像机连续拍摄航道图像并将图像数据传输给工控机。本研究采用科达 IPC—123EN 型低照度网络摄像机。因为选定的摄像机带有 IPC 双滤光片，即由一个红外截止滤光片和一个全光谱光学玻璃构成，当白天光线充分时红外截止滤光片工作，CCD (charge-coupled device) 图像传感器还原出真实色彩，避免红外线的干扰导致色偏。因为不同颜色的目标物具有不同的醒目效果，所以在提取图像特征时将颜色考虑在内，摄像机避免色偏可以保证提取特征不失真。另外，该型摄像机在低照度环境中拍摄图像清晰、色彩准确，可以排除环境光线不均匀导致的特征提取失真。设计的能见度监测软件系统每 10 s 捕捉一次图像并进行处理。

将图像输入到能见度计算模块计算对应的图像特征，由数据采集模块保存。为了避免摄像机工作波动以及环境杂散光的影响，该模块每 10 s 获取一幅图像并将能见度计算模块提取图像特征保存，保存每 1 min 能见度数据平均值。该模块具有内存自动清除、循环管理、采集时间记忆、未测和缺测标记等功能，可保存 1 个月（30 d）采集到的逐分钟数据。

相关研究表明，雾情与温湿度以及风速具有较好的相关性，因此该系统包括温湿度传感器和风速传感器，在拍摄图像的同时收集当前的相关温湿度和风速数据。采集上述气象数据的采集板是独立开发的基于单片机的嵌入式数据采集板，每 1 min 采集一次并由该模块保存，为能见度计算模块中使用 D-S 证据理论实现多数据融合提供数据。

数据学习模块采用多元线性回归的方法对保存的具有较丰富能见度信息的数据作为样本进行学习，学习的依据是人工观测值。通过对航道部门的调查，1 500 m 的视距对航运已经产生影响，1 000 m 以下视距应该禁止下行船舶航

行，500 m 视距应该对上行船舶禁航。航道人工观测值一般按照上述规定将航道能见度情况记录为 0 到 3 级，其中 0 级代表视距大于 1 500 m，而 3 级视距代表能见度低于 500 m。1、2 级能见度分别对应视距大于 1 000 m 小于 1 500 m、大于 500 m 小于 1 000 m。因此，对于航道管理部门有价值的能见度信息是当前条件所处的能见度范围。这里将多元线性回归学习得到的结果划分为对应的 4 级能见度条件，相对于预测能见度准确值，提高了预测的精度。通过学习，可以得到 4 级雾情能见度对应多元线性回归输出结果的 4 个区间，保存学习规律。

3 能见度计算

能见度计算分为 4 个部分：图像预处理、图像分割、图像特征提取以及多传感器数据融合。图像输入该模块首先进行图像预处理，分为 4 个单通道图像后，分别对 4 幅图像进行图像分割，之后图像特征提取部分分别对分割的图像块提取图像特征，即图像块的对比度特征，其工作过程见图 3。

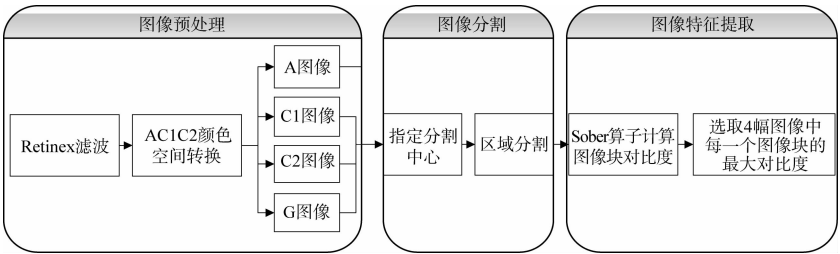


图 3 能见度计算模块部分工作流程

图像预处理部分首先对输入的图像进行 Retinex 滤波处理。在利用图像评价能见度的过程中，要尽量得到由材质决定的反射性能特征，避免环境亮度的影响。Retinex 滤波器可以将环境光线影响的亮度图像 $L(x, y)$ 排除，而只留下由目标属性决定的反射图像 $R(x, y)$ ，消除环境光的变化对图像的影响。颜色空间转化主要将原图像从 RGB 空间转化到 AC1C2 空间，最大程度考虑人眼对颜色的不同敏感度。人眼对亮度信息最为敏感，因此在研究颜色影响的同时还要分析图像中亮度对比度

在不同能见度条件下的差异，不同亮度在图像中反映为不同的灰度值，在颜色空间转化中还要将 RGB 图像转化为灰度图。

相关研究表明，对整幅图像进行特征提取并使用特征学习方法时精度较低，对图像进行分割，对每一块图像提取特征可以提高学习模型精度^[6]。图像分割首先要定位分割点，本文将图像分割成 8×12 共 96 个图像块。将图像精细化分割，可以充分使用图像中多目标所具有的距离信息，提取的特征能够更好地反映不同能见度条件。

根据能见度的定义，即人眼将深色目标物从天空背景中识别出来的最大距离。能见度条件的下降表现为在能见度条件较好时可以从天空背景中较好识别的目标物与背景的分界越来越模糊、不容易识别出来。定量的分析即表示目标物与天空背景之间的对比度下降。研究表明，使用 Sober 算子计算图像对比度在特征学习模型中的精度较高，故本文也选取该方法提取图像块的对比度特征^[4-6]。这里需要对得到的 4 幅单通道图像使用 Sober 算子计算梯度。之后按照图像分割得到的图像块区域，计算每一个图像块的对比度特征。比较 4 幅图像对应图像块的对比度，选取最大值作为该图像区域的对比度特征。

将计算得到的图像特征向量代入数据学习模块，得到对应的能见度区间。现有研究表明，雾情是导致该段航道能见度下降的主要原因^[9]。雾情的出现与温湿度、风速条件具有较好的相关性。根据现有的长江航道部门多年收集的观测区温湿度、风速等气象数据以及摄像法监测航道能见度的学习模型得到的学习规律建立经验空间，利用 D-S 证据理论融合多传感器数据作为证据，共同支持当前的能见度条件所处区间，提高能见度监测的准确性，图 4 即为该方法工作流程。

具体步骤为：1) 输入能见度值区间、当前的温湿度数据和风速数据；2) 将能见度值区间、当前的温湿度数据和风速数据作为证据，利用经验空间，得到证据的概率分配函数；3) 利用证据理论的证据复合处理，融合摄像机数据、温湿度传感器数据和风速传感器数据，计算出各个能见度区间的信任度；4) 输出具有最大信任度的区间；5) 将输出结果反馈给经验空间，进一步丰富经验空间。

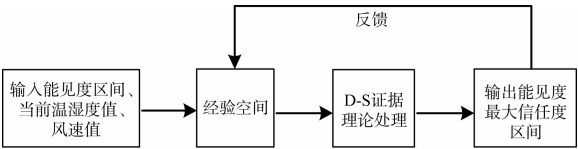


图 4 多传感器数据融合工作流程

计算能见度模块的依据是图像特征输出的是一个具体的能见度距离数值，但是通过对航道部门的调查，1 500 m 的视距对航运已经产生影响，1 000 m 以下视距应该禁止下行船舶航行，500 m 视距应该对上行船舶禁航。因此，对航道部门有价值的能见度信息是当前的能见度准确分布在哪个区间，根据能见度分布的区间制定相应的管理措施。

该评价模块利用 D-S 证据理论，将摄像机测得的能见度值、湿度和温度传感器的数据进行融合，共同支持同一条结论，在该模块中，不确定性知识表述如下：

If E_1 then $\mathbf{H} = \{h_1, h_2, h_3, h_4, h_5\}$, $CF = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5\}$;
If E_2 then $\mathbf{H} = \{h_1, h_2, h_3, h_4, h_5\}$, $CF = \{b_1, b_2, b_3, b_4, b_5\}$;
If E_3 then $\mathbf{H} = \{h_1, h_2, h_3, h_4, h_5\}$, $CF = \{c_1, c_2, c_3, c_4, c_5\}$.

1) $\mathbf{E}$ 代表前提条件，即证据， E_1 表示摄像机提供的证据， E_2 表示湿度传感器提供的证据， E_3 表示温度传感器提供的证据；

2) $\mathbf{H}$ 是结论也是识别空间， h_1, h_2, h_3, h_4, h_5 是该子集的基本元素， $h_1 = \{1\ 000 < V < 1\ 500\}$ ， $h_2 = \{500 < V < 1\ 000\}$ ， $h_3 = \{200 < V < 500\}$ ， $h_4 = \{50 < V < 200\}$ ， $h_5 = \{V < 50\}$ ，代表 5 个能见度范围；

3) $\mathbf{CF}$ 是可信度因子，用集合形式表示，在每条知识中 a_i, b_i 或者 c_i 分别与 h_i ($i = 1, 2, 3, 4, 5$) 相对应，指出 h_i 的可信度；

4) $\sum c_i \leq 1, c_i \geq 0, i = 1, 2, 3, 4, 5$.

对长江航道气象站积累的气象资料进行数据分析，建立经验空间。根据经验空间可知 E_1, E_2 和 E_3 的概率分配函数 m_1, m_2, m_3 ，利用 D-S 证据理论进行证据的复合^[9-10]，得到复合证据的概率分布函数 m ，之后得到 $m(h_1), m(h_2), m(h_3), m(h_4), m(h_5), m(H)$ ，进一步可以得到区间信任程度的下限 $Be_l(h_1), Be_l(h_2), Be_l(h_3),$

$Be_l(h_4)$ 、 $Be_l(h_5)$ ，以及区间信任程度的上限 $P_l(h_1)$ 、 $P_l(h_2)$ 、 $P_l(h_3)$ 、 $P_l(h_4)$ 、 $P_l(h_5)$ ，这样就可以得到能见度在 5 个区间分布的信任程度区间，即 $(Be_l(h_i), P_l(h_i))$ ， $i=1, \dots, 5$ 。

经过比较，可以得到信任度最大区间，将之作为报警模块的输入区间，用于判断是否进行报警，提高报警的准确性，防止漏报误报。图 5 为推理网络。

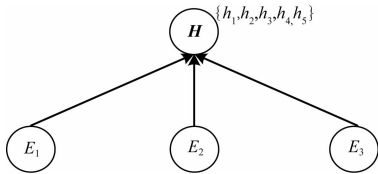


图 5 评价模块推理网络

4 报警与通信

报警模块首先根据能见度计算模块的结果，即信任度最大区间是否在报警的范围内，如果在报

警的范围内，根据所属的具体报警范围，向通信模块发送相应的报警信号；如果不在报警的范围内，则不向通信模块发送报警信号，工作流程见图 6。

具体步骤为：1) 输入能见度最大信任度区间；2) 判断区间是否分布于小于 1 000 m 的范围内，如果为真，执行步骤 3)，否则执行步骤 4)；3) 判断区间是否是小于 500 m 的区间，如果为真，执行步骤 5)，否则执行步骤 6)；4) 判断两次测量，能见度是否下降 200 m 以上，如果为真，执行步骤 7)，否则执行步骤 8)；5) 给通信模块发送大雾报警信号及能见度区间；6) 给通信模块发送中雾报警信号及能见度区间；7) 给通信模块发送起雾报警信号及能见度区间；8) 判断是否存在报警信号，如果为真，执行步骤 9)，否则执行步骤 10)；9) 给通信模块发送取消报警信号及能见度区间，停止报警；10) 给通信模块发送能见度区间。

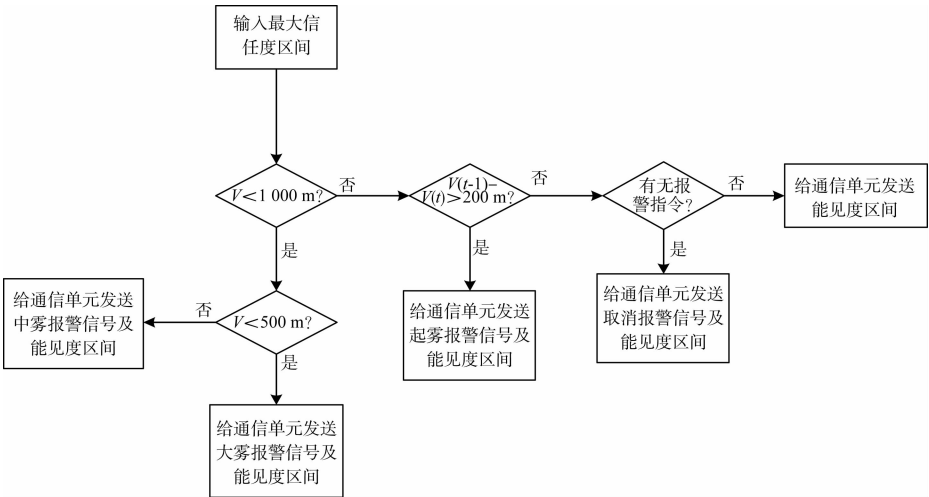


图 6 报警模块工作流程

由图 6 可见，该模块可以检测到雾情的脉动趋势、能够及时发现雾情的加重，使航道部门提前做好管理安排，并对过往船舶发出预警，进一步提高航运安全。

通信模块向监控中心发送信息时，通过 DTU 发送到 3G 网络，再由 3G 网络传输到因特网，接入到因特网的监控中心就可以接收到通信模块发送的信息，当监控中心向通信模块发送信息时，发送路径相反，见图 7。通信模块向监控中心发送的信息主要为系统监测得到的当前能见度范围、

起雾报警信号以及设备的工作状态，供航道管理部门制定相应管理措施。

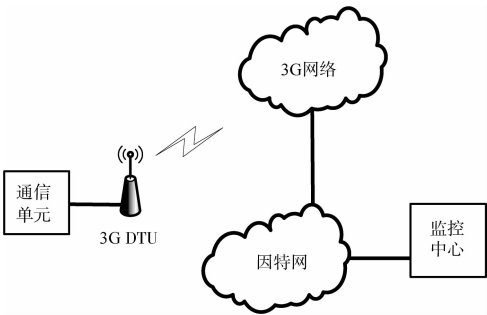


图 7 通信模块工作原理

5 试验测试

为验证系统的有效性，本文在重庆长寿区航道码头与小石溪监测站之间的航道局趸船上进行系统安装。首先进行数据采集模式，打开散射式能见度仪与软件的串口连接，然后打开摄像机，建立视频数据传送。采集到足够的数据后，利用软件后台的学习算法对采集的数据进行机器学习，得到仪测能见度数据与图像特征之间的关系。数据处理模式的学习过程结束后，进入实时测量模式。经过近一个月的测量，统计数据表明本系统监测数据比散射式能见度仪监测精度高。

6 结语

设计了基于图像的长江山区航道能见度监测系统包括数据采集模块与学习模块、能见度计算单元以及报警与通信模块。结合 D-S 证据理论，实现了基于多传感器的能见度估计融合算法。

该系统目前已经应用在航道能见度监测中，能够实现能见度的监测和发布，为山区航道船舶航行提供能见度信息。

参考文献：

[1] 林海, 魏重. 北京地区太阳可见光辐射与大气透明度的初步测量[J]. 大气科学, 1976(2): 52-55.

[2] 莫月琴, 刘钧, 吕文华, 等. 前向散射型能见度仪原理样机的主要性能分析[J]. 南京气象学院学报, 2004, 27(2): 230-237.

[3] Kwon T M. An automatic visibility measurement system based on video cameras [R]. Minnesota Department of Transportation, 1998: 1-68.

[4] äumer D, Versick S, Vogel B. Determination of the visibility using a digital panorama camera[J]. Atmosphere Environment, 2008, 42: 2 593-2 602.

[5] Wang Jingli, Liu Xulin, Yang Xihua, et al. Development and evaluation of a new digital photography visiometer system or automated visibility observation[J]. Atmosphere Environment, 2014, 87: 19-25.

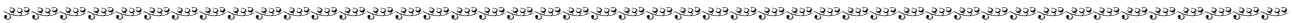
[6] Nathan Graves, Shawn Newsam. Using visibility cameras to estimate atmospheric light extinction[R]. USA: Workshop on Applications of Computer Vision-WACV, 2011, 577-584.

[7] Hallowell R G, Matthews M P. Automated Extraction of Weather Variables from Camera Imagery [C] //2005 Mid-Continent Transportation Research Symposium. USA: CTRE , 2005.

[8] 陈钊正, 庆逵, 陈启美. 基于小波变换的视频能见度检测算法研究与实现[J]. 仪器仪表学报, 2010, 31(1): 92-98.

[9] 王中, 陈艳英. 三峡库区航运气象条件分析[J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(1): 79-82.

(本文编辑 武亚庆)



(上接第 51 页)

5 结论

1) 影响航道要素感知设备的布设的主要有通航环境中的水文条件、气象条件、通信环境和航运条件。

2) 利用层次分析法，确定目标和评价因素集并构造判断矩阵，通过计算重要性排序，可以实现典型航道要素感知设备布设效用评判。

3) 典型航道要素感知设备布设选址规则考虑投资、地理、环境等约束性条件，兼顾已经开展的各项工程建设优化布局。

参考文献：

[1] 熊学斌. 服务沿江经济发展 谱写长江航道建设新篇章[J]. 水运工程, 2012(10): 1-5.

[2] 吕永祥. 长江干线航道要素状态感知与交互技术分析[J]. 水运工程, 2012(9): 153-158.

[3] 王伟, 何明. 构建长江经济带综合交通运输体系[J]. 综合运输, 2015, 37(3): 20-23.

[4] 张炳江. 层次分析法及其应用案例 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2014.

(本文编辑 武亚庆)