

# 一种基于辅助车道线的城市交通道路能见度观测算法研究

王诗淇, 何翱, 马林峻, 邓熙, 李英祥

成都信息工程大学通信工程学院, 四川成都 610025

**摘要:** 针对智慧城市中道路交通能见度的观测问题, 通过分析国际照明委员会定义的大气能见度公式, 提出了一种道路能见度的观测算法。通过图像暗通道先验与辅助车道线检测相结合, 设计出选定图像中某一车道线的起点和终点, 分别计算出两点透射率, 结合车道线长度即可求出大气消光系数, 进而实现基于图像的能见度观测估计。实际测试表明该算法的有效性。

**关键词:** 暗通道; 霍夫变换; 能见度; 辅助车道线

**中图分类号:** U495

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1672-0164 (2023) 01-0105-04

## 1 引言

近些年来, 随着城市道路的建设和发展, 新建公路每1-2 KM就安装有一部监控摄像机。能见度是影响智慧城市交通安全的重要因素, 传统能见度主要通过能见度观测仪进行估计, 面临成本高, 安装位置受限等问题。利用图像法观测能见度已经成为国内外学者的研究趋势, 在分析辅助车道线图像的基础上, 建立图像与真实场景之间的映射关系, 通过测量图像特征, 进而求得能见度值。伴随着图像处理技术的成熟发展以及道路全程监控系统的完善, 图像法观测能见度有望形成自身独有的优势, 在测量精度、维护成本、覆盖范围方面具有优势。

国外美国麻省理工学院林肯实验室基于模板匹配的思想, 将实时捕捉的监控视频图像与已知能见度的图像进行对比分析, 从而估计当前场景的能见度, 但这类方法需要大量的样本图像库, 且易受场景中物体变动的影响, 在实际场景中难以应用<sup>[1]</sup>。国内孟颖等<sup>[2]</sup>通过动态标定交通摄像机的内外参数, 用运动菱形中感兴趣区域的平均像素拟合曲线对雾天进行判断, 从而计算路面区域的点到摄像机的距离。但该方法中的自标定模型比较复杂, 且很难实现实时监测。宋海声等<sup>[3]</sup>利用暗亮原色先验理论求取暗亮原色的透射率, 利用自适应去露权值和自适应滤波窗口优化大气光值和大气透射率, 将车道线首尾端点的透射率与优

化后的暗亮原色透射率一一对应, 从而计算大气消光系数和能见度, 此方法的检知效率快且容易实现, 但计算过程复杂, 所用公式繁多。吕伟涛等<sup>[4]</sup>运用了双亮度差的思想, 通过计算图像中不同距离的目标物在图像区域的天空背景亮度差比值来检测能见度, 这类方法适应性强, 且在夜间也能进行检测, 但需要额外搭建人工目标物体。

通过辅助车道线和暗通道先验方法<sup>[5]</sup>的结合, 通过图像观测气象站能见度, 融合暗通道先验以及导向滤波算法<sup>[6]</sup>获得图像的透射率, 再基于霍夫变换<sup>[7]</sup>的直线检测, 求出车道线两端点的透射率值, 从而得到大气消光系数, 最终, 求得大气能见度值, 实现能见度的观测。此外, 相较于一般的能见度测试仪成本降低许多, 且适用场景较广泛, 在任意有监控以及辅助车道线的白天道路下均可使用。

## 2 能见度观测算法

### 2.1 算法整体流程图

建立暗通道先验与辅助车道线相结合的能见度估计算法, 即将能见度可以用消光系数求出, 而消光系数可以通过车道线端点的透射率求得。因此, 首先通过暗通道先验获取暗通道图像, 再通过导向滤波算法对图像进行处理的透射率, 再用霍夫变换得到车道线端点的坐标, 与透射率对应, 求出消光系数, 最后利用公式求出能见度。算法整体流程如图1所示。

**项目资助:** 大学生创新创业训练计划项目“基于图像观测法和能见度仪对比的大气测场能见度估计研究(项目编号: 202110621146)”资助的课题

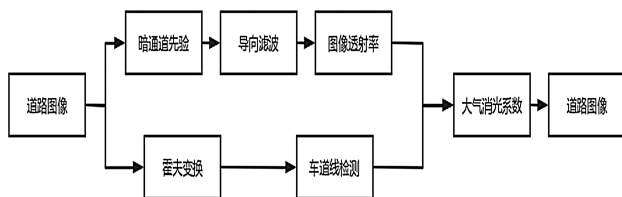


图1 一种道路能见度观测算法整体流程图

## 2.2 暗通道先验

在室外无雾图像中,至少有一个通道的某些像素的值很小,接近零。换句话解释:在一幅晴空图像的非天空部分的局部区域内,存在一些像素至少一个颜色通道具有很低的值。该区域内各个通道的最小值接近零。在计算机视觉和计算机图形学中,常用的雾图像成像模型为:

$$I(X) = J(x)t(x) + A(1-t(x)) \quad (1)$$

其中,  $I(X)$  为待去雾的图像,  $J(x)$  是需要恢复的无雾的图像,  $A$  是环境光,  $t(x)$  为透射率。现已知  $I(X)$ , 求目标值  $J(x)$ 。

对于任意无雾图像,其暗通道可表示为:

$$J^{dark}(x) = \min_{y \in \Omega(x)} (\min_{c \in \{r, g, b\}} J^c(y)) \quad (2)$$

其中:  $J^c$  表示  $J$  的颜色通道;  $\Omega(x)$  是以像素  $x$  为中心的局部区域。暗通道即为两个最小值操作的结果:  $\min_{c \in \{r, g, b\}}$  作用于每一个像素的三原色通道;  $\min_{y \in \Omega(x)}$  为最小值滤波器。利用暗通道先验知识,可以对其进行化简:

将式(1)左右两边分别除以环境光得到式(3):

$$\frac{I^c(x)}{A^c} = t(x) \frac{J^c(x)}{A^c} + 1 - t(x) \quad (3)$$

其中上标  $c$  表示 R/G/B 三个通道。

首先假设在每一个窗口内透射率  $t(x)$  为常数,定义他为  $\tilde{t}(x)$ , 对式(3)两边求两次最小值运算,得到式(4):

$$\min_{y \in \Omega(x)} (\min_c \frac{I^c(y)}{A^c}) = \tilde{t}(x) \min_{y \in \Omega(x)} (\min_c \frac{J^c(y)}{A^c}) + 1 - \tilde{t}(x) \quad (4)$$

利用暗通道的概念,如果  $J(x)$  为室外无雾图像,除去天空区域,  $J$  的暗通道的像素值很低,趋向于零:

$$J^{dark}(x) = \min_{y \in \Omega(x)} (\min_c J^c(y)) = 0 \quad (5)$$

由此可知:

$$\min_{y \in \Omega(x)} (\min_c \frac{J^c(y)}{A^c}) = 0 \quad (6)$$

将式(6)代入式(4)得到式(7):

$$\tilde{t}(x) = 1 - \min_{y \in \Omega(x)} (\min_c \frac{I^c(y)}{A^c}) \quad (7)$$

进而可以估计透射率  $\tilde{t}(x)$  的值。

在现实生活中,即使是晴天,空气中也存在一些颗粒的影响。因而在式(7)中引入一个在  $[0, 1]$  之间的因子,则式(7)修正为式(8):

$$\tilde{t}(x) = 1 - \omega \min_{y \in \Omega(x)} (\min_c \frac{I^c(y)}{A^c}) \quad (8)$$

文中所有的测试结果依赖于:  $\omega=0.95$ 。最终得到了待处理图像的透射率  $\tilde{t}(x)$ 。

## 2.3 导向滤波

由于得到的暗通道图像比较粗糙,容易产生边缘现象。为了获得更精确的透射率图,使用何凯明的导向滤波算法对图像进行了处理,该方法保护了图像的边缘信息,又具有良好的滤波效果。

为了找到图像的边缘,使用方差来反应信息的变化量特征,方差越大,图片中信息的变化越大,约接近图像的边缘,此处信息需要保护;方差越小,图像中信息变化小,信息量少,可以进行平滑滤波处理。

分别对图像的每一像素值进行线性处理,将图像看作一个二值函数,假设该函数的输入与输出满足线性关系,如式(9)所示:

$$q_i = a_i I_i + b_i \quad (9)$$

式中  $q_i$  是处理后的像素值,  $I_i$  是待处理的像素值。  $a_i$  和  $b_i$  是对像素值进行线性处理的参数。且

$$a_i = \frac{\sigma_i^2}{\sigma_i^2 + \epsilon} \quad (10)$$

$$b_i = \mu_i - a_i \mu_i \quad (11)$$

将式(11)代入式(9)得式(12)

$$q_i = a_i (I_i - \mu_i) + \mu_i \quad (12)$$

其中,  $\mu_i$  为均值,  $\sigma_i^2$  为方差,  $\epsilon$  为一设置参数,用来表示图像此处区域为平滑区域还是边缘区域的方差阈值。由式(10)可知,  $a_i$  的取值范围在  $(0, 1)$  之间。

当  $\sigma_i$  远小于  $\epsilon$  时,表示该区域是相对平滑的,此时  $a_i$  趋近于0,  $q_i$  趋近于0,对该区域作均值滤波;当  $\sigma_i$  远大于  $\epsilon$  时,表示该区域变化较为剧烈的,是边缘区域,此时  $a_i$  趋近于1,  $q_i$  趋近于1,此时的滤波效果很弱,保持了该区域的边缘。由此实现了图像的导向滤波<sup>[8]</sup>。

## 2.4 霍夫变换观测车道线

对于一幅图像的直线检测,最容易想到的便是斜率与截距的方法,即有式(13):

$$y = kx + b \quad (13)$$

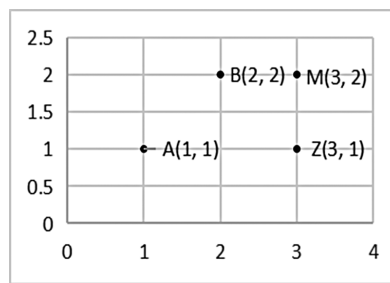


图2 x, y作坐标系

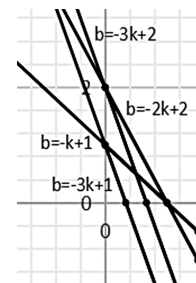


图3 k, b作坐标系

通过变换得到式 (14):

$$b = -kx + y \quad (14)$$

如图2将  $x, y$  作为坐标系的自变量与因变量, 如图3将  $k, b$  作为坐标系的自变量与因变量。

图2中的点在图3中对应一条直线, 而图2中两点的两线对应图3中直线的一个交点。但是, 由于图2坐标系中的两点连线可能垂直于  $x$  轴, 此时斜率  $k$  无穷大, 导致图3中对应的直线平行, 无交点, 并且图3中的点取值范围可能过大。因此, 通常使用含极坐标参数的直线表示形式, 如图4所示。

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (15)$$

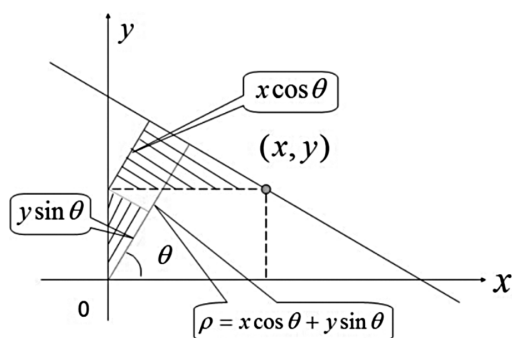


图4 极坐标系下的直线

画出极坐标系下的图像5与其对应的参数空间图6。

图5  $x, y$  作坐标系

图6  $[\rho, \theta]$  作坐标系

此时, 图5中的点在图6中对应一条曲线, 保证其有交点与图5中的连线对应。最后, 通过寻找图6参数空间中曲

线相交较多的点, 即为被检测的直线, 由此实现霍夫变换的直线检测。

## 2.5 大气能见度值测量

将霍夫变换中所得到的直线在图像中的横纵坐标与图像透射率相结合, 得到车道线起点的透射率为  $t_1$ , 车道线终点的透射率为  $t_2$ , 根据公式求得大气消光系数式 (16):

$$\beta = \frac{\ln(\frac{t_1}{t_2})}{M} \quad (16)$$

其中  $M$  为实际车道线长度, 一般取为6米。

根据国际照明委员会 CIE (International Commission on Illumination) 对能见度定义, 人的肉眼的条件下, 即在对比度阈值为 0.05 时, 人眼所能观测到物体的最大距离为气象能见度距离 (Meteorological Visibility Distance)。因此, 可以推导出能见度的一般公式 (17):

$$V_{msd} = \frac{\ln(0.05)}{\beta} \quad (17)$$

将式 (16) 中的  $\beta$  代入 (17) 中, 最终, 求得大气能见度值  $V_{msd}$ 。

## 3 实验结果与分析

分别对淮安涟水的高速公路大气能见度仪测的能见度为 1500、2000、3000 米的道路进行测试, 实验结果如下:

1、使用 2022 年 1 月 4 日 09 时淮安涟水的高速公路图像, 已知此时能见度为 1500 米, 对其进行能见度检测, 检测得到如 7 所示的暗通道图像以及图 8 所示的车道线检测图像等, 将图像数据代入公式, 得到其能见度。再分别对另外五幅能见度均为 1500 米的图像进行检测, 并记录数据如表 1 所示。

图7 暗通道图像

图8 车道线检测图像

=" œ š@Ü •					
*'s	*'s	*'s	*'s	*'s	*'s
ÊKq6)>í Ò h 1Ÿ					
"w Ã6)>í Ò h 1Ÿ					

«\*T™ q 4 " 2# μ"Ē!`+°P  
EK~C \* ũ U•6)>í Ò f 1ŸU•2 W"w Ã 6)>í Ò U•¢@Ü  
•œ š @=" l.f

=" œ š@Ü •					
*'s	*'s	*'s	*'s	*'s	*'s
ÊKq6)>í Ò h 1Ÿ					
"w Ã6)>í Ò h 1Ÿ					

«\*T™ q 4 # μ"Ē!`+°P EK~C \*  
ũ U•6)>í Ò f 1ŸU•2 W"w Ã 6)>í Ò U•¢@Ü •œ š @  
=" l.f

=" œ š@Ü •					
*'s	*'s	*'s	*'s	*'s	*'s
ÊKq6)>í Ò h 1Ÿ					
"w Ã6)>í Ò h 1Ÿ					

\*]• >í U•"w Ã6)>í Ò h : ÊKq hA 8/ T  
wK U• Ê(Ü %E•C +°6)>í ÒE =x ì"w U•A : & °  
\* ũ ' \ @ Í6)>í Ò £ 5 =x S

3Ÿ@æ

ü & ² ,.ü & ° ÄEFE• tO, :D± ÖD'E•3ë,\$3Ÿ 4P EK

C 6)>í Ò>î"w+°0Ã" U•A 0Ã" EFD6E•C +ý Ó8ã Ã \* ũU•5  
t ũ =²6)>í Ò>î"w+° < X U•& ° ÄEFE• tO, : ( = \$"  
0Ã" U• Ã \ \* ũE; 0(³ U•& °L9 W Ž+°, 3ë ì"w U•  
Ã \D'E•3ë0 %â | 3 ÊO,3Ÿ Ê=" : U•& ° ÄEFE• t  
O, :D± ÖD'E•3ë+°0Ã" 0¬ • £+° Ê(Ü6)>í Ò>î"w U•5  
U °E•C ÆEF=xO¢ μ "

î 5/ ³ (Z

U%JÀ Ÿ U• H U'P EK~C 6)>í Ò EK ì"w0Ã" U%JÀ~C Ð  
EF.ý ¬U• U•U•UœU•

U%JÀMÄU• »"Ç UBJ-ö Uou & °ý Ó>òM½+°~C 6)>í Ò ì"w á  
" U%JÀU'ÐEFDÜD¿-@U• U•U•UœU•

U%JÀ"£ UÐ³Ÿ U£ý"£ ÚUç Ã Ukt & °Ã Ú Ê7ž tO,)2  
@æ+°E•C 6)>í Ò ì"w%JÀ ì u : u\*a | 'E • U• U•U•UœU•

U%JÀA K"ÇUK¢ ° 8 UÐ ÒMÜU • & °æ f p ũ ¬ ["wFû!@A•6)  
>í ÒU• Ú Ò á" ,A O,-@/dJ%JÀS!@.ý' U• U•U•UœU•

U%JÀ% VNPUSUB W B M M B F O E F E Q I P U P N F U S J D N P E F M P O  
P O S P B E U %JÀ S T S J P O T Q P S U B U J P O U %JÀ F T F B S B M 3 F F D R S E  
5 S B O T Q P S U B U J P O 3 F T F B S B M # P B S E

U%JÀ) & ,U46/ U5" / ( 9 4 J O H M F J N B H F I B [ F S F N P W B M V T  
D I B O O U M A Q & & R S S B O T B D U J P O T P O 1 B U U F S O " O B M Z  
\* O U F M U M J H U F O W œU•

U%JÀ"MiDé & ° ) P V H Ž ü , 3ë+° eE á" -@/¢ U%JÀ\*a  
6=: › ¬ [ U• U•U•UœU•

U%JÀ B J N J O H J B O U V Ð P P V (5/B/ E H E \* N B H U %JÀ M U F S J O H  
\* & & 53"/4"\$5\*0/4 0/ 1"55&3/ "/"-:4\*4 "/% ." \$) \*/&  
\*/5&--\*( & & U•U•UœU•

ˆ510¬÷

(·A "ó U• UœŸU•X.ý U•g>--@/¢ á = U•

•5 U• UœU•U•X.ý U•g>--@/¢ á = U•

O~ Ã' U• UœU•U•X.ý U•g>--@/¢ á = U•

E¿&ÄU• UœŸU•X.ý U•g>--@/¢ á = U•

z8 . ' U• UœU•U•† U• ... ´U•g>--@/¢ á = U•!6)

› 0)2 U•Dá4D@ÍÄ•5€4) ¬ [0u

3 F T F B S D I P O W J T J C J M B U M Z H P C S T U S M B B J T P Ø P O U I F B V Y J  
G P S V S C B O U S B G G J D S P B E T

7!.' 3 H I O ( % ! O - ! , I N J U % . ' & U , ) 9 I N G X I A N G

3 C H O O L O F # O M M U N I C A T I O N S I N C E I N S I E T R I O G ) N F O U R M I A E N C O D E C H N O L O G Y

"CTU 6•B•D ADDRESS THE ISSUE OF OBSLBRVANT ITORM ÆI C I S O B A I D S F A S C E N T H L T E C E T A I M A I C Y \$ Y  
THE FORMULAS OF ATMOSPHERIC VISIBILITY DEFINED) U C E A N T A E G N A R T I T O H M A O # Ø M S M B S I S I T O Y  
TION IS P R O C E S S I N G D A R K C H A N N E L P R I O R A S I D G A N I G A S O Y L L A T I O N D E D E F O I N D O U T T H E  
TION COEFFICIENT BY SELECTING THE START POINT AND T H E C A N L O Ø D A N T I N O F T A H E E T R T A N S I  
TY OF THE U•W O P O O M T B I N I N G T H E L E N G T H I O F T H E E T L A N C E T H I E E S T I M A T I O N D A F T X I S A B I D I A T Y  
TION OF THE ALGORITHM HAS BEEN PROVEN BY PRACTICAL TEST

, F Z X P S S T A R K C H A N N E L T R A N S F O R M X I L I A R Y L A N E L I N E S