

利用Google地图照片确定船只速度

September 4, 2009

Abstract

Google地图照片上经常会出现船只及其航行时所造成的波浪。我们在这篇文章中探讨了如何利用这些照片来计算船只的航行速度。

原作者: C. E. Aguiar & A. R. Souza

原文网址: <http://arxiv.org/abs/0907.3333>

翻译: 葛韶锋 (gesf02@mails.thu.edu.cn)¹

翻译网址: <http://www.qiji.cn/eprint/abs/3927.html>

1 导语

Google地图[1]于2005年公布, 是一个地理图像浏览器, 它使得人们能够通过网页访问大量的卫星和航拍图片, 这些图片资料储存在Google的数据库中, 涵盖了整个地表。不同地区的图片分辨率不尽相同, 在一些城市最小可以达到10厘米, 而在一些农村地区也甚至只有15米[2]。在部分地区可以看到三维立体图, 其垂直方向的分辨率从10米到90米不等。

用户从Google地图中可以得到非常丰富的信息, 把这些资料用于教学是一件非常有意思的事情。地球科学大概是最为合适的科目, 但我们也可以将之用到物理学的教学中去, 这个想法实际上在文献[3]中就已经指出来了。我们在这里将给出一个具体的例子: 利用Google地图中记录下的船只波浪尾迹测算船只的航速。这是实际可行的, 因为很多图片的分辨率是很高的, 这使得我们可以定位船只的位置并观察到尾迹的细节。图1就是一个例子, 这是布拉格伏尔塔瓦河上的两艘游艇以及它们留下的清晰尾迹。在下面的分析中我们看到, 非常简单的动力学以及关于水波的基本知识足以使我们通过分析其尾迹就可以轻松地获得船速。

2 开尔文船只尾迹图形

在离船比较近的地方, 船只产生的波纹具有很复杂的结构, 它取决于船体的形状、船速以及其它相关的因素。但是在较远的距离上(相对于船体的

¹奇迹翻译计划主要取材于PLoS, APS等期刊, 以直译为主。所有翻译都将在知识共享署名2.5 中国大陆协议下发布。如果你希望加入我们的翻译团队, 或有任何建议和评论, 请Email: qiji.list@gmail.com; <http://www.douban.com/group/qiji-translate/>



Figure 1: 布拉格伏尔塔瓦河上的船只及其尾迹

尺寸而言），波纹的形状则相对简单一些，逐渐具有一些普遍的性质——也就是所谓的开尔文波形（Kelvin Wave Pattern）[4]。开尔文波形会随着船只前行而不改变其性质——也就是说从与船相对静止的人看来波形是静止的——并在船后面形成一个楔形区域。如图2所示是深水区的船只所留下的开尔文波形。其中开尔文楔形由两条直线相交而成，它们和船只行进路径成 $\pm 19.5^\circ$ 的夹角。大部分的波浪都位于这个楔形局域内，只有少量的衰减波（Evanescent Wave）会溢出这个范围，但很快就衰减了。在楔形范围内有两种波值得注意：发散波（Divergent Wave）具有V字形的波前，它们向着远离船只行进路径的方向发散；横波（Transverse Wave）则倾向于随着船只前进。发散波和横波在开尔文楔形上相交形成一个尖角，在这之外的波幅将呈指数衰减。在文献[5]中可以找到开尔文波前的几何方法算法；开尔文波形的很多有意思的性质，在书中也一并作了讨论。

波前的振幅并不是一个常量，通常在开尔文楔形的边界上最大。同样，发散波和横波可能具有非常不同的振幅。小的快艇会产生较大的发散波，而横波则几乎没有，这在图1可以清楚地看到。但是航行速度较慢的大型轮船产生的尾波则主要是横波。

3 用Google地图照片测定船速

对于我们而言，尾波最重要的性质是它和船一起行进。正因为如此，船速 v 、波速 c 以及波前和船行进路径之间的夹角 θ 有如下的关系：

$$v \sin \theta = c \quad (1)$$

公式(1)可以非常容易地从波形的运动学性质得到。图3显示了时间间隔为 t 的两个波前。在这段时间内，船和波形从右向左行进的距离为 vt 。同时，波在垂直于波前的方向前行的距离为 ct （ c 是波的相速度）。三角几何学的关系便直接给出公式(1)。

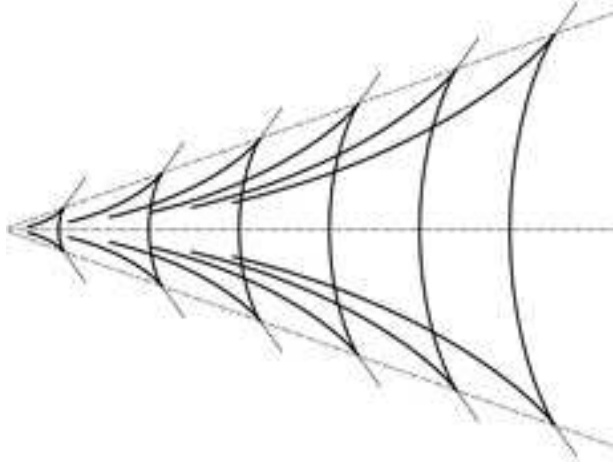


Figure 2: 深水区的开尔文波形。其中虚线表示船行进的路线以及开尔文楔形的边界。楔形之外的消逝波则用点线表示。

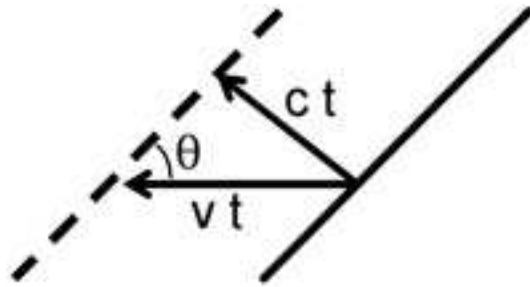


Figure 3: 船只波形的一部分波前，实线和虚线分别表示时间相隔为 t 的两个波前。船只以速度 v 从右向左移动。波的相速度（Phase Velocity）是 c ，而波前和船行进路径之间的夹角为 θ 。

在深水区，波长为 λ 的水面波的相速度为：

$$c = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}} \quad (2)$$

其中 g 是引力加速度[6, 7]，这可以看作是一个已知的量。将之带入公式(1)中可以得到：

$$v = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi} \frac{1}{\sin \theta}} \quad (3)$$

从上式中可以看到船速可以表示成波长 λ 和夹角 θ 的函数，而这两个物理量可以直接从图片上读出来，比如Google地球提供的卫星图片。图4 是另外一个例子，图中显示的是一个驶向里约热内卢港的渡船。利用图片分析软件（*ImageJ* 是一个不错的选择，它是一个免费软件[8]）可以测量出波

长 $\lambda = 22$ 米以及夹角 $\theta = 43^\circ$ 。把这些结果以及重力加速度 $g = 9.8$ 米/秒²代入到公式(3)中可以得到渡船的航速为31千米/小时。经确认，这个船是双体船 *Pegasus*号，当拍摄这张Google 地图照片的时候正航行于里约热内卢和尼泰罗伊之间[9]。其巡航速度为33千米/小时[9]，这和通过公式(3)计算得到的结果符合得非常好。

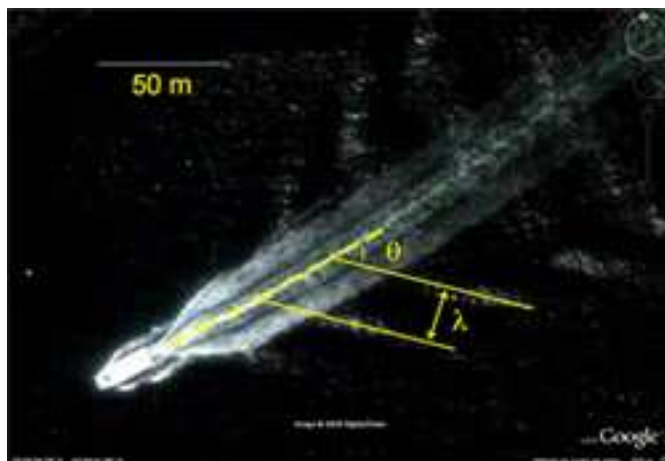


Figure 4: Google地球上里约热内卢附近的渡船照片。从图片上可以量出来波长为 $\lambda = 22$ 米，夹角是 $\theta = 43^\circ$ 。其中50米的尺度是由Google地图给定的。计算得到渡船的航速是 $v = 31$ 公里/小时。

4 结论

从上面的例子中我们可以看到，从Google地图照片里可以非常简便同时非常精确地推算出船只的速度。甚至没有必要在电脑上进行计算，只要有一把尺和圆规就可以完成这一工作。

References

- [1] Google Earth, <http://earth.google.com>
- [2] Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Google_Earth
- [3] Ryder B A 2007 Journey to the ends of the Earth *Phys. Ed.* **42** 435–437
- [4] Thomson W (Lord Kelvin) 2001 *Mathematical and Physical Papers Vol. 4* (Adamant Media Corp.) pp 303–306, 368–418
- [5] Lighthill J 2001 *Waves in Fluids* (Cambridge University Press) pp 269–279

- [6] Crawford F S 1968 *Waves* Berkeley Physics Course vol 3 (McGraw-Hill) sec 7.3
- [7] Feynman R, Leighton R and Sands M 1963 *The Feynman Lectures on Physics* vol 1 (Addison-Wesley) pp 51/7–51/10
- [8] *ImageJ*, software for image processing and analysis, <http://rsbweb.nih.gov/ij/>
- [9] Barcas S/A, private communication.