

水下移动传感器网络中的光通讯与测距设计方案

□ 罗琳峰 王 硕

中国科学院自动化研究所复杂系统与智能科学实验室

[摘 要] 针对水下无线移动传感器网络通信和移动节点间测距的需要,我们给出了一种基于 IrDA 物理协议和蓝绿可见光的水下无线通讯设计方案并予以实现。以此为基础,探讨了基于光强检测的直线测距方法,并建立实验系统、完成基于光强检测的测距实验。实验数据表明该方法能够实现距离的测量,但测量距离和测量精度还有待进一步提高。

[关键词] 水下移动无线传感器网络;光通讯;IrDA;光强测距

0. 引言

水下移动传感器网络是目前国内外研究的一个热点问题。采用小型水下游动机器人作为传感器网络的移动节点可以极大地增强水下无线传感器网络的功能。但受水下通讯方式、通讯媒介的制约,水下移动传感器网络中的通信问题,即在水下如何为传感器网络提供低成本、高效可靠的通信方式,一直是水下移动传感器网络的研究难点。虽然水声通信和激光通信早已应用于水下无线通信,但是鉴于成本、通讯速率、通讯距离、指向性等因素影响,它们在覆盖范围广、成本低的传感器网络中的应用还受到极大的限制。

根据目前的研究,依靠蓝绿可见光通信,虽然在通讯距离和指向性上存在缺陷,但其可以很好地实现水下无线传感器网络各节点之间短距离内的高速数据传输。国外已实现的应用于水下的蓝绿可见光无线通信模块主要有:WHOI的Tivey等人在2004年研制的廉价、低功耗水下光通信模块,通信距离达到2.7m,速率为14.4kb/s^[1],但是它存在着体积过大、通信速率相对过低的缺点。之后,澳大利亚

国立大学的Schill等人开发了可见光通信及距离检测模块,通信距离约为2m,速率为57.6kb/s^[2]。虽然Schill的研究成果在体积上做到了缩小,但却只是单方向的通信而没实现全向通信,同时体积仍不能满足全向通信模块的要求。2005年,MIT在其研制的水下无线传感器网络中,传感器节点采用的光通信模块通信距离达到2m到7m不等,设计通信速率可达320kb/s,试验采用通信速率为56.7kb/s^[3]。

国内外已取得的研究成果只是实现单向的点对点数据传输,对于水下无线传感器网络,不仅要求各节点之间实现多个方向的相互通信,同时还需要节点具备距离检测功能,从而满足各节点定位、组网的要求。本文针对水下移动传感器网络中的水下光通讯与测距开展研究工作,给出了一种基于IrDA协议和蓝绿可见光的水下通讯设计方案,研究了基于光强检测的距离测定方法并给出了实验结果。

1. 水下无线光通信模块设计方案

水下无线光通信模块主要包括以下两部分:前端收发器和数据处理模块,在收发器的设计上结合了光强检测需求。结构如图(1)所示:

* 国家自然科学基金(No.60635010),国家863计划(No.2006AA11Z225),国家973计划(No.2002CB312200)资助。

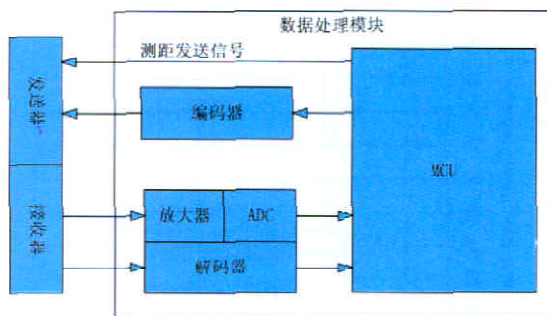


图1 无线光通信模块结构

无线光通信的数据传输采用已经发展成熟的IrDA物理层协议——SIR,传输速度可以从9600bit/s到114kbit/s不等。

在数据发送过程中,UART输出数据,通过采用IrDA标准的编码解码器编码成SIR脉冲信号,触发蓝绿光LED发送光信号;当接收信号时,接收器上的光敏器件将光脉冲信号转换为电信号,该光敏器件能有效地屏蔽除蓝绿光以外的其它波长的光信号。电信号经过放大、滤波后通过同样的编码解码器解码,最终得到UART数据。收发器结构图如图(2)所示。

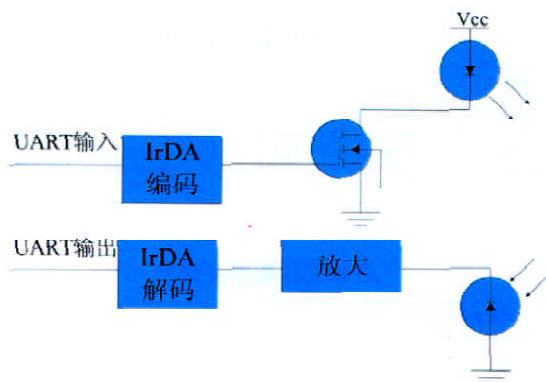


图2 收发器结构图

考虑到无线传感器网络中的各个节点需要与多个方向的其它节点相互间的通信以及数据的中转,一个完整的光通信模块需要4-8个收发器分布在各个方向上。同时为了节省成本,一个光通信模块只配备两个独立的编码解码器,分别实现数据的编码和解码。MCU根据通信要求和收发器的中断响应来选择特定的收发器进行数据收发。

在我们的实验测试中,当在LED两端供3.12V电压,编码解码器外接8MHz晶振的情况下,2m以内的清澈水池中,通信的最高传输速度达到125Kbit/s,误码率为0%。

2. 基于光强检测的距离测量

在无线传感器网络中,节点的定位和相对距离估算对于组网是必不可少的。所以,在上节基于光通信模块的基础上,考虑利用对光强的检测来测量相对距离信息,并将其与通讯模块进行集成。当系统处于光强检测状态时,MCU直接输出符合采样频率需要的脉宽长度的信号,直接触发LED发送光信号。在接收端,光敏器件将光信号转换成电流信号,随后通过运放将电流转换到电压,如图(3)所示。由于同时存在着4-8路接收信号源,在数据处理模块中的ADC循环多次采样各路电压信号。受周围环境的光噪声影响,接收端的模拟电压信号会有一定程度上浮,因此对同一路信号多次采样高电平和低电平数值,分别对得到的高低电平数值取平均值,并取

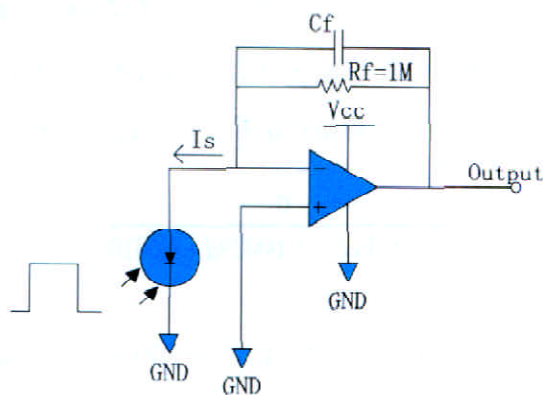


图3 光信号测距结构图

它们的差值作为该路光强测量值。

在放大光敏器件的微小电流信号时,由于采用高电阻 R_f ,容易引起自激振荡,因此需要电容 C_f 与反馈电阻并联,进行相位补偿,同时使输出电压信号的上升下降沿相对尖锐,有利于信号采样。

光强在空气中传播会受衰减和扩散因素的影响,在LED和接收光敏器件正对的情况下,距离d与光强

K 的关系满足如下方程^[4]:

$$K = \frac{P_i \cdot S \cdot e^{-cd}}{4d^2} \quad (1)$$

其中 P_i 为光源LED功率; S 为接收光敏器件感应区的面积; c 为光强衰减系数。

在我们设计的实际系统中, 接收光强经光敏器件转换为微弱电流, 再经过放大后, 造成部分测量参数难于获得, 所以采用了曲线拟合的方法通过对实际测量数据拟合来建立光强和距离间的模型。在曲线拟合算法中, 我们采用了遗传算法对实际测试结果进行曲线拟合, 选取的适应函数为:

$$f(x_1, x_2, x_3) = \sum_{i=1}^{30} \left| \frac{1}{x_1 \cdot d_i^2 + x_2 \cdot d_i + x_3} - p_i \right| \quad (2)$$

其中 d_i 为采样的距离, p_i 对应的采样数值。当种群规模设定为 200, 杂交率为 0.1, 变异概率为 0.4, 经过 200 代演化后得到: $x_1=0.000347$, $x_2=0.00029$, $x_3=0.000108$ 此时, $f(x_1, x_2, x_3)$ 适应函数的适应值为 30.5, 拟合方程得到的估计值与实际采样值的平均相对误差为 5%。最终的拟合方

$$I = \frac{\sigma}{0.0000348d^2 + 0.00029d + 0.00108} \quad (3)$$

程如公式 (3) 所示。

其中 I 为测得的光强数值, d 为距离 (单位 cm), σ 为 LED 光强系数, 当正对接收端时, 取 $\sigma=1$ 。 σ 的具体分布曲线如图 (4) 所示:

在无外界光源干扰下, 对方程式 (3) 拟合获得的数据与实际测量获得的数据进行了对比。由 8 位 ADC 采样得到的数据在图 (5) 中用空心圆圈表示, 由拟合曲线方程 (3) 计算后获得的数据由 “+” 表示, 拟合曲线方程计算的结果与实际测量结果很好符合。

10cm 到 84cm 采样数据绝对误差和相对误差如

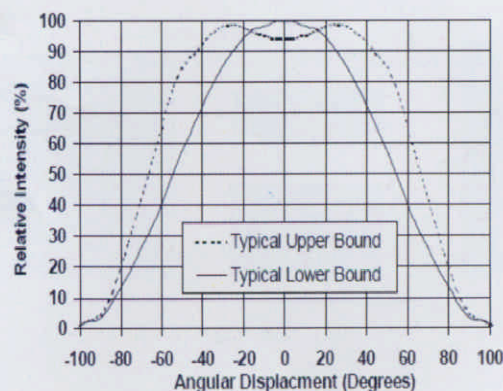


图 4 LED 光强系数^[5]

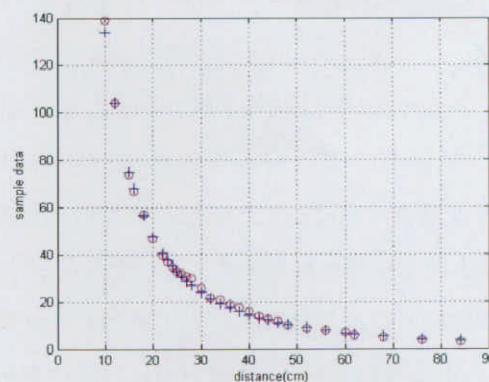


图 5 采样数据及拟合曲线

表 (1)、(2)、(3) 所示: 其中, 估计距离由式 (3)

表 1 采样数据及误差

实测距离	10	12	15	17	19	20	22	23	24	25
采样数值	139	104	74	67	57	47	40	37	35	33
估计数值 1	134.1	104.5	75.5	68.4	56.9	48.1	41.2	38.3	35.6	33.3
相对误差	3.5%	0.5%	2.0%	2.1%	0.1%	2.3%	2.9%	3.4%	1.8%	0.8%

表 2 采样数据及误差

实测距离	26	27	28	30	32	34	36	38	40	42
采样数值	32	31	30	26	22	21	19	18	16	14
估计数值 1	31.1	29.2	27.4	24.4	21.8	19.6	17.7	16.1	14.6	13.4
相对误差	2.7%	5.8%	8.5%	6.3%	1.1%	6.9%	7.0%	11%	8.5%	4.2%

表 3 采样数据及误差

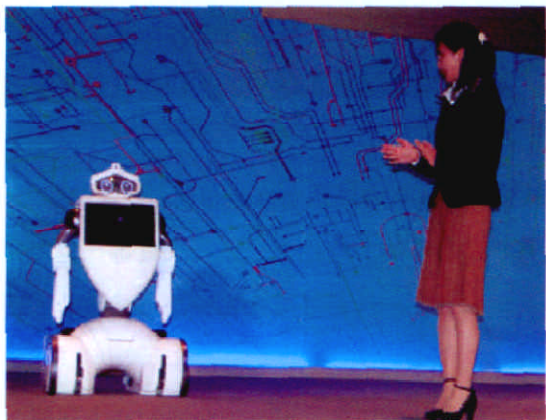
实测距离	44	46	48	52	56	60	62	68	76	84
采样数值	13	12	10	9	8	7	6	5	4	3
估计数值 1	12.3	11.4	10.5	9.08	7.91	6.96	6.55	5.51	4.47	3.69
相对误差	5.2%	5.3%	5.1%	0.9%	1.0%	0.5%	9%	10%	11%	23%

推算出, 绝对误差 $\epsilon_1 = | \text{采样数值} - \text{估算数值} |$, 相对

$$\text{误差} \epsilon_2 = \frac{\epsilon_1}{\text{采样数值}}。$$

复旦大学研制的机器人 “Fuwa”亮相IDF展

在英特尔信息技术峰会(IDF)展会上,复旦大学展出了新研发的机器人“Fuwa”。复旦大学研究人员介绍说,这个机器人和传统的机器人不一样,它能够进行学习,就像一个活生生的人一样,能够感觉到它周围的环境。



因为它身上有传感器,可以用麦克风讲话,可以通过摄像头去看,而且也有各种各样的传感器来防止电子干扰,也就是说它的扬声器能够发出声音,而且它脚下有轮子,能够运动。Fuwa除了能“听懂”中文,还能听英文。人们能够用英文指挥其行动。

Fuwa能够作为一台移动计算机,也可以作为一台了无线网络的无线电视机,另外,它还可以用一个非常友好的界面来玩游戏。这样,学童可以在Fuwa的显示屏上与它进行交互。

从拟合曲线及采样数据表中,可以看出,当距离较近时,误差相对较小,而当距离增大时,误差也将增大。这也刚好符合我们系统在实际实验过程中遇到的问题,距离增大接收端接收的光强减弱、采样精度限制、环境噪声等因素综合影响造成误差的变化。

3. 结论

本文给出了一种水下无线光通信模块的设计方案,采用该方案设计的通信模块将可以满足水下移动无线传感器网络节点对短距离、高速通讯的要求。在该模块基础上,将基于光强检测的距离测量方法进行集成,通过曲线拟合方法建立光强与距离间的模型,获得光强后可以直接推算出相对距离信息。实验结果表明,在2米距离内最高通讯速率达到125Kbit/s,误码率为0%;在无外界光源干扰情况下,光源LED正对测距接收端时,在10cm到84cm范围内距离测定的平均误差为5%。

在此基础上,未来研究工作的重点将着重于二维平面相对位置的估算方法,为水下传感器网络节点的相对定位提供基础。

参考文献

- [1] Maurice Tivey, Paul Fucile, and Enid Sichel. A Low Power, Low Cost, Underwater Optical Communication System. Ridge 2000 Events, 2004 2(1): 27-29,
- [2] F. Schill, U. Zimmer, and J. Trumpf. Visible spectrum optical communications and distance sensing for underwater applications: In Proc. Australian Conf. Robotics and Automation (Canberra, 2004).
- [3] I. Vasilescu, K. Kotay, D. Rus, M. Dunbabin, and P. Corke. Data collection, storage, and retrieval with an underwater sensor network. Sensys '05, 2005
- [4] Smart, J.H. "Underwater Optical Communications Systems part 2: basic design consideration" MILCOM 2005.
- [5] Lumileds. Luxeon III Emitter, Technical Datasheet DS45, 2004
- [6] Vasilescu, I., Varshavskaya, P., Kotay, K., and Rus, D. Autonomous modular optical underwater robot (amour): Design, prototype, and feasibility study. In Proceedings of the 2005 International Conference on Robotics and Automation (Barcelona, Apr. 2005).
- [7] Sooyong Lee, Wan-Kyun Chung. Rotating IR Sensor System for 2.5D Sensing: In Proceedings of the 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Beijing, China October 9 - 15, 2006