



水下可见光通信系统

大连理工大学 林驰



目录

CONTENTS

—

Part 01 研究背景 Background

Part 03 实验结果 Experiments

Part 02 研究内容 Model



- 研究背景 -

- 研究内容 -

- 实验结果 -

PART 01

研究背景



- 研究背景 -

- 研究内容 -

- 实验结果 -

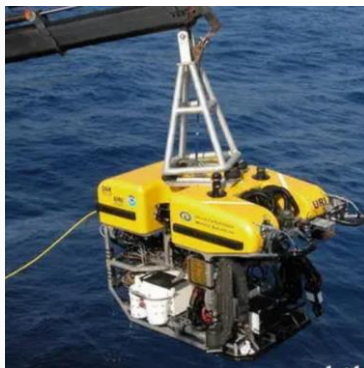
课题背景

海珍品捕捞对潜水员造成不可逆转的伤害

捕捞潜水员平均年龄低于35岁



水下机器人抓取大赛



水下无线通信技术



- 研究背景 -

- 研究内容 -

- 实验结果 -

课题背景



潜水员跳入水中后便“与世隔绝”，只能依靠敲击和手势进行交流，效率十分低下



亟需一种新型通信设备（轻便、高效、廉价、鲁棒性）

水下无线通信技术

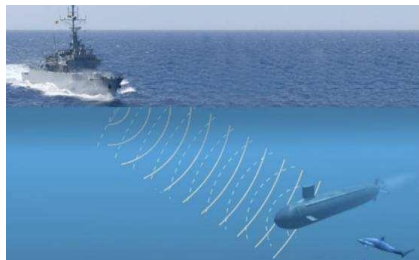


- 研究背景 -

- 研究内容 -

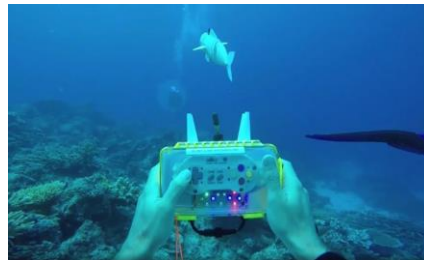
- 实验结果 -

常见水下通信技术



水声通信

- 带宽低
- 速率低
- 安全性差



水下RF通信

- 天线大
- 费用高
- 衰减大



水下激光通信

- 难对准
- 危险性大
- 抗干扰弱

水下无线通信技术

挑战：如何克服现有技术缺点，抵抗复杂环境（水流、海浪、气泡、环境光）干扰，实现鲁棒通信？

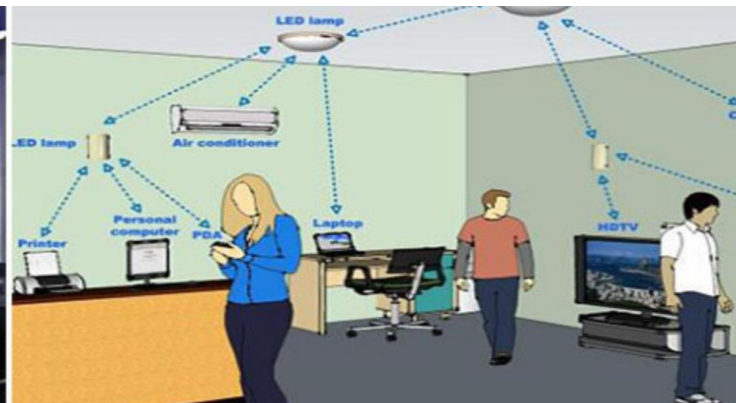


- 研究背景 -

- 研究内容 -

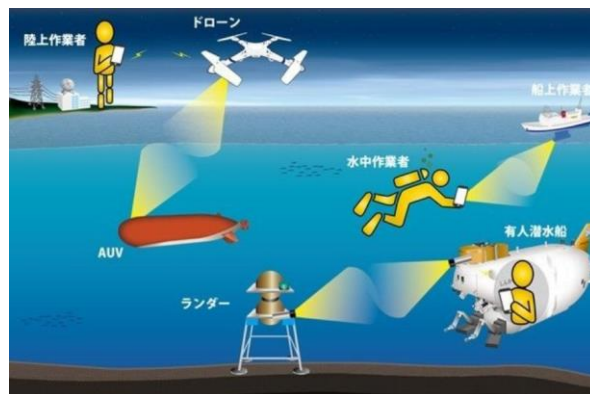
- 实验结果 -

水下光通信技术



LiFi通信

水下光通信
带宽高
体积小
价格低廉



携带头灯、
照明+通信
两不误、无
需额外设备



- 研究背景 -

- 研究内容 -

- 实验结果 -

PART 02

研究内容



- 研究背景 -

- 研究内容 -

- 实验结果 -

本文灵感来源



仿生学

螳螂虾 (Mantis Shrimp) 具有极其敏锐的视觉，究其原因是使用圆偏振光通信，建立私有信道等。因此本文系统命名为 Shrimp。





- 研究背景 -

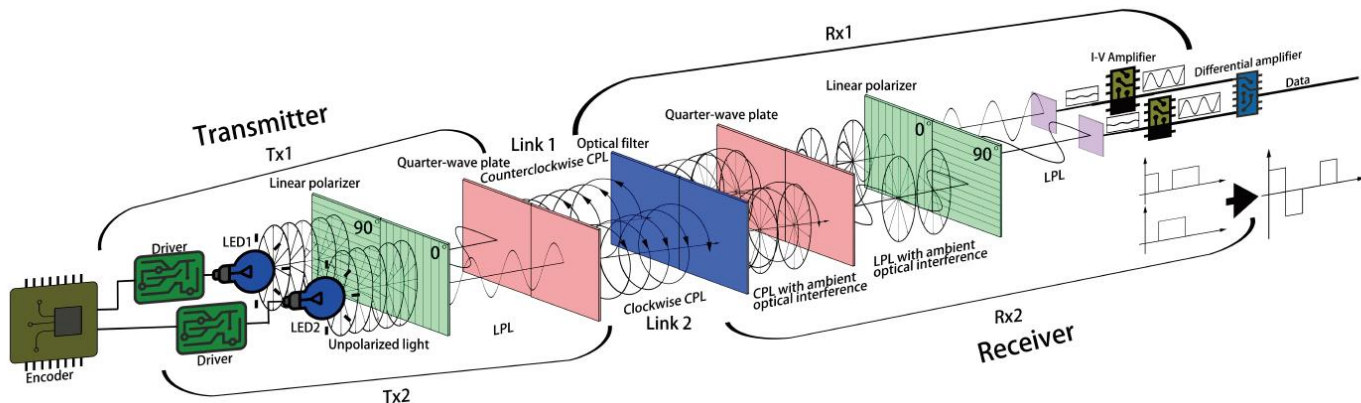
- 研究内容 -

- 实验结果 -

系统总览

系统示意图

圆偏振光+双信道



	组成元件	偏振状态转换
发送端	编码元件、驱动板、LED、线偏振片、1/4波片	自然光线 $\Rightarrow$ 偏振光 (LPL) $\Rightarrow$ 圆偏振光 (CPL)
接收端	滤光片、1/4波片、线偏振片、放大器、差分放大器、解码元件	圆偏振光 (CPL) $\Rightarrow$ 线偏振光 (LPL)

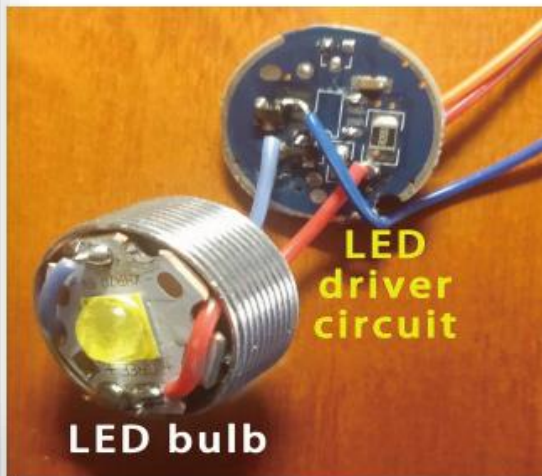


- 研究背景 -

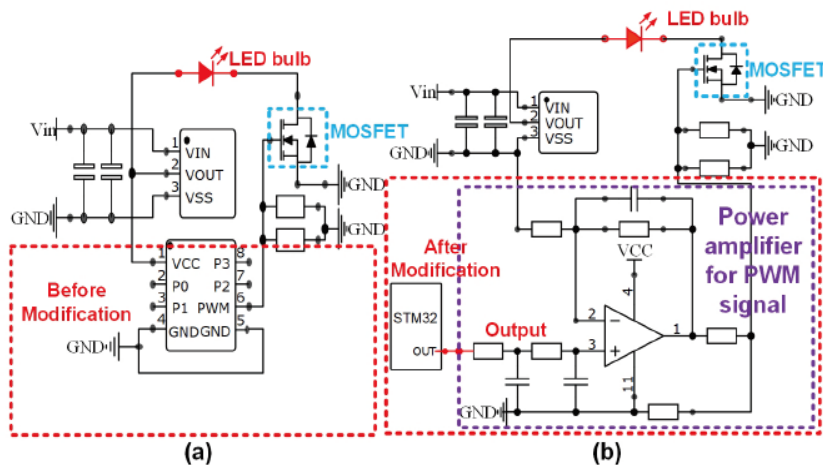
- 研究内容 -

- 实验结果 -

发送端器件和电路改装



发送端设计



- 发射器对数据进行**编码**，并将LED发出的非偏振光转换为**圆偏振光**
- **修改驱动电路**，增加光的开/关速率 (20kHz- $\rightarrow$ 120kHz)，以实现更高的数据传输速率



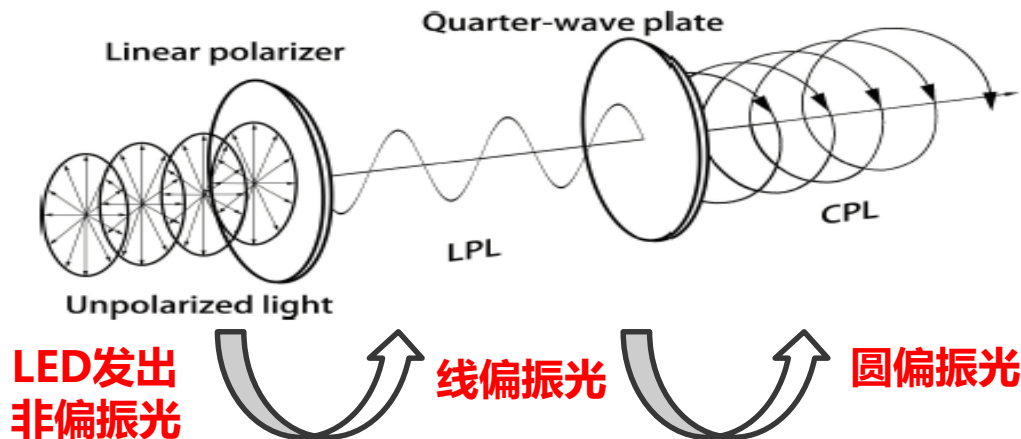
- 研究背景 -

- 研究内容 -

- 实验结果 -

生成圆偏振光

圆偏振光的使用



圆偏振光的独特优势

- CPL设计在水下通信中不需要紧密的收发器对准
- 双CPL链接在消除环境光干扰方面显示出独特的优势

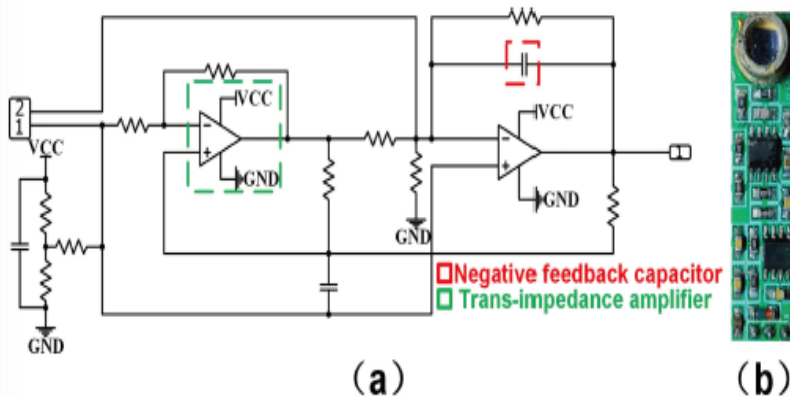


- 研究背景 -

- 研究内容 -

- 实验结果 -

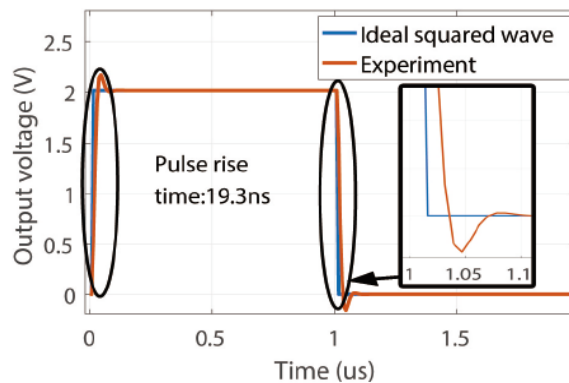
硅光电二极管电路和实物图



接收端设计

- 使用**商用**硅光电二极管捕获到达的光信号
- 设计并制造了一个I-V放大器来**放大电流**，利用负反馈电容器来**减少输出信号的噪声**

电路测试实验



- 边沿上升时间仅为19.3 ns，信号的波形受到的影响很小

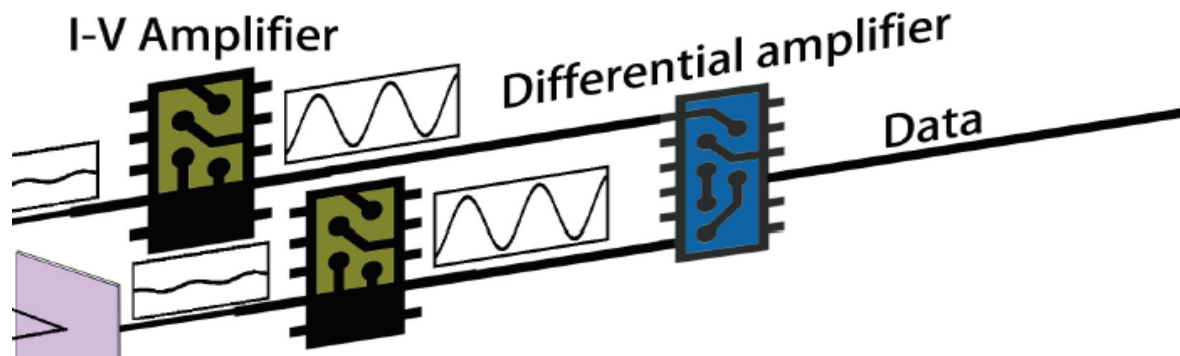


- 研究背景 -

- 研究内容 -

- 实验结果 -

双链路差分放大



接收端设计

链路中包含干扰信号

干扰强度大于两个数量级

随时间不断变化

单信道易受干扰

单链路的设计易受干扰

双信道去除干扰

双链路的设计

两个链路中的环境干扰相似

使用差分放大器消除干扰



- 研究背景 -

- 研究内容 -

- 实验结果 -

系统成本低

总成本约
为77美元

两组LED和PCB	11美元
偏振片和玻片	12美元
硅光电二极管	3美元
IV放大器和差分放大器	40美元
防水盖和胶水	11美元

系统成本和大小

系统尺寸小

- 设备尺寸为9厘米×9厘米×13厘米
- 重量为326克



- 研究背景 -

- 研究内容 -

- 实验结果 -

编解码方案

水下双极编码方案 (UBC)

契合双链路设计

Row Index	Operation	Encoding Data																	
1	Original	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	
2	Initialization	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	+1	-1	0	0	0	0	+1	
3	Insert V bit	+1	0	0	0	+V	0	0	0	+V	0	-1	+1	-1	0	0	0	-V	+1
4			Same				Same					Same							
5	Insert B bit	+1	0	0	0	+V	-B	0	0	-V	0	-1	+1	-1	0	0	0	-V	+1
6							Opposite				Opposite								
7	After Encoding	+1	0	0	0	+1	-1	0	0	-1	0	-1	+1	-1	0	0	0	-1	+1
8	Link 1																		
9	Link 2																		
10																			

01

Step one
初始化

02

Step two
插V位

03

Step three
插B位

编码



- 研究背景 -

- 研究内容 -

- 实验结果 -

编解码方案

水下双极解码方案 (UBC)

Row Index	Operation	Decoding Data																Error	
1	Before decoding	+1	0	0	0	+1	-1	0	0	-1	0	-1	+1	-1	0	0	0	-1	-1
2	Step 1	+1	0	0	0	+1	-1	0	0	-1	0	-1	+1	-1	0	0	0	-1	-1
3		+1	0	0	0	0	-1	0	0	-1	0	-1	+1	-1	0	0	0	-1	-1
4		+1	0	0	0	0	-1	0	0	-1	0	-1	+1	-1	0	0	0	-1	-1
5		+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	+1	-1	0	0	0	-1	-1
6		+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	+1	-1	0	0	0	-1	-1
7		+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	+1	-1	0	0	0	-1	-1
8	Step 2	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	+1	-1	0	0	0	-1	-1
9	After decoding	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0				

01

Step one

遍历、归零

02

Step two

处理极性

解码



- 研究背景 -

- 研究内容 -

- 实验结果 -

PART 03

实验结果



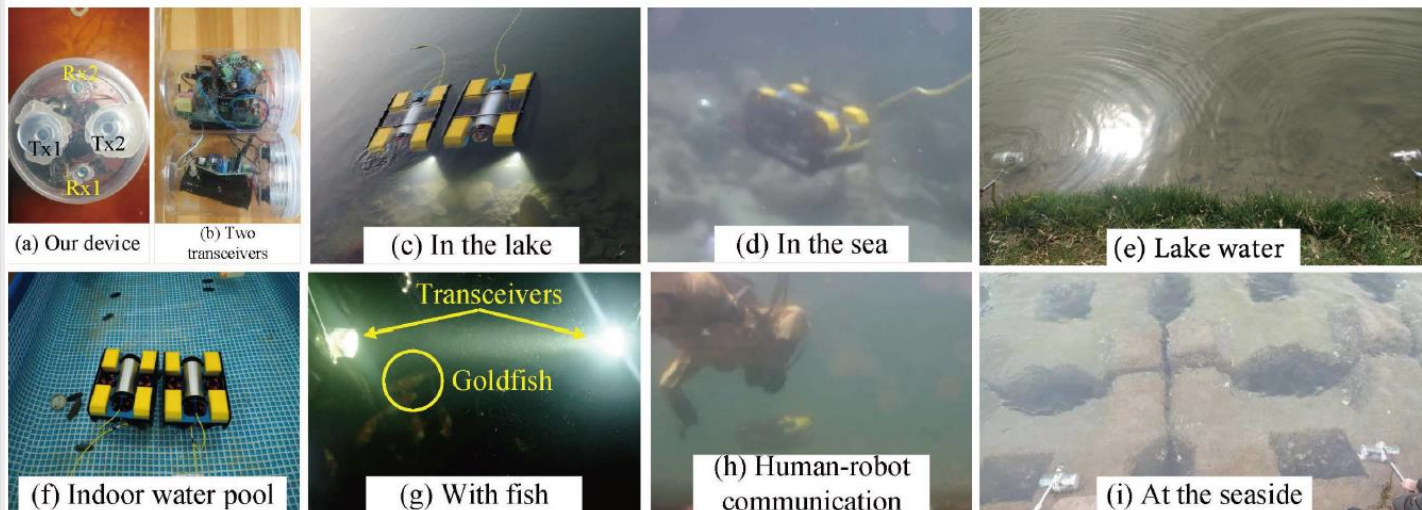
- 研究背景 -

- 研究内容 -

- 实验结果 -

实验场景

实验场景



室内水池、校区学院湖、大连开发区海边

深水实验：设备搭载在水下机器人上

岸边实验：设备绑在铁管上

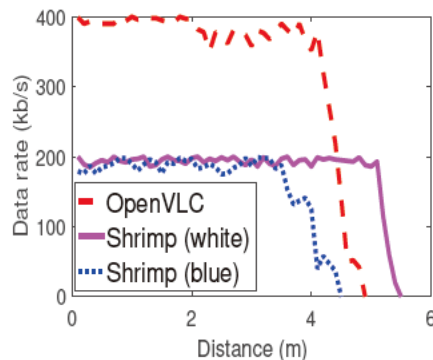


- 研究背景 -

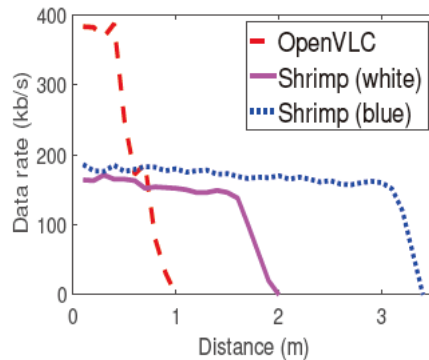
- 研究内容 -

- 实验结果 -

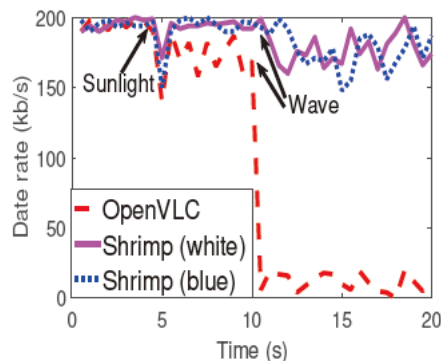
与OpenVLC的实验比较



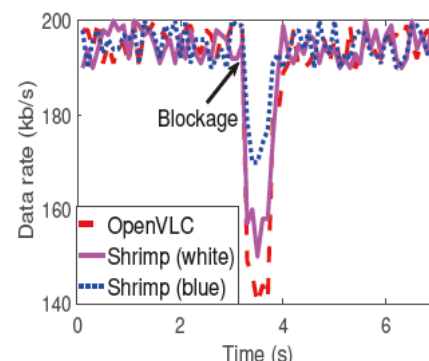
在空气中的比较



在湖水中的比较



阳光和水波干扰



障碍物干扰

空气中，OpenVLC具有优势。水下环境中，在**相同的实验设置**下，本文方案性能OpenVLC



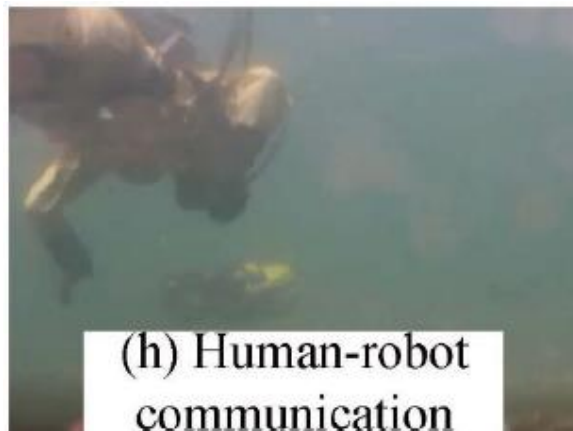
- 研究背景 -

- 研究内容 -

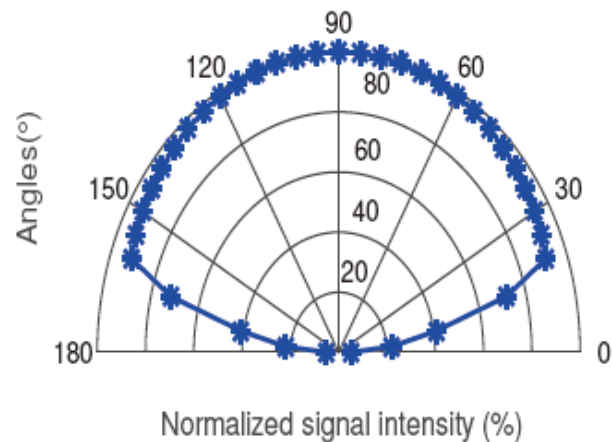
- 实验结果 -

对准性实验设置

实际测试场景



实验结果



➤ 发射器（即机器人）位置固定，改变接收器的方向，测量接收信号的强度，结果表明接收器的覆盖角很广

➤ 结论：本系统无需严格的对准要求

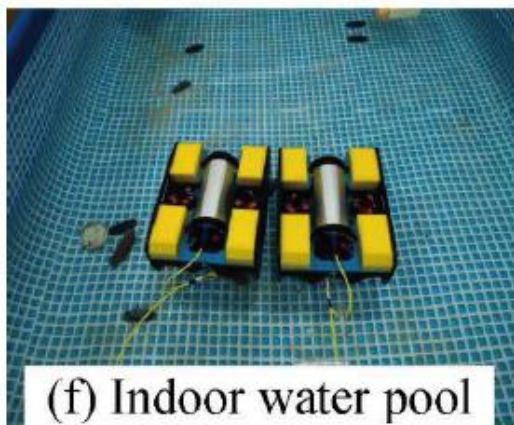


- 研究背景 -

- 研究内容 -

- 实验结果 -

实际测试场景



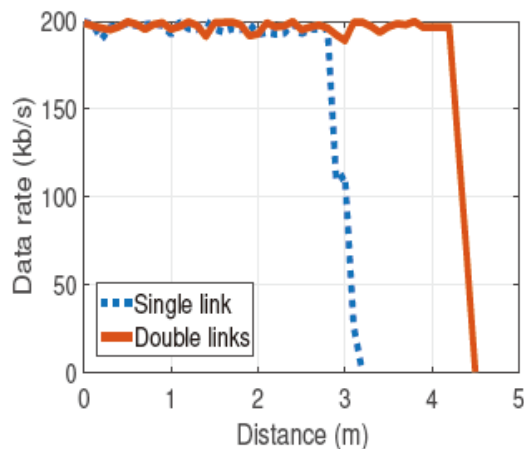
➤ 双链路15w vs. 单链路 30w

➤ 结论：双链路实现了更远的传输距离

➤ 原因：差分放大器消除相邻链接的噪声信号，提高鲁棒性

双链路实验设置

实验结果





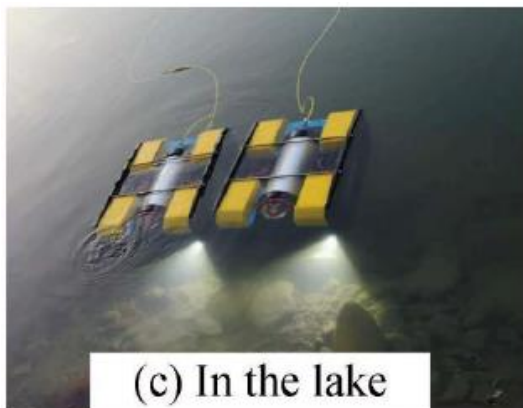
- 研究背景 -

- 研究内容 -

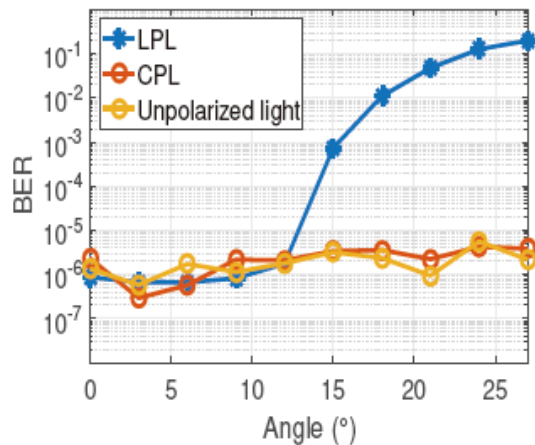
- 实验结果 -

圆偏振光实验设置

实际测试场景



实验结果



- 实验通过机器人上的陀螺仪记录倾斜角度
- 实验结果表明**LPL设计不适合水下通信**，**CPL具备对抗设备旋转的有效性**
- **非偏振光不是水下通信的良好选择，因为会受到非偏振的环境光的严重影响**



- 研究背景 -

- 研究内容 -

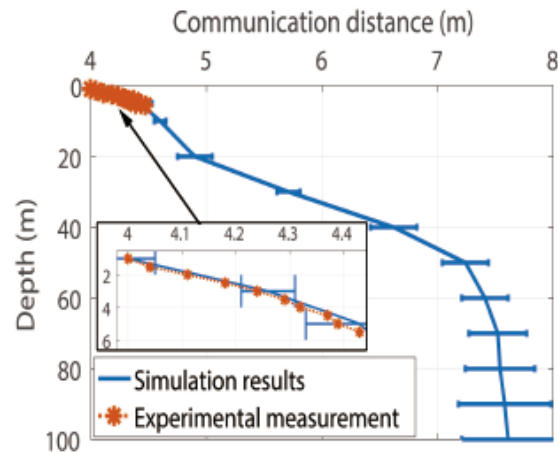
- 实验结果 -

实际测试场景



不同水深实验设置

实验结果



- 研究**水深对通信距离的影响**
- 实验结果表明，**随着深度的增加，有更长的通信距离**
- 原因：随着深度的增加，**叶绿素的密度**逐渐下降，而叶绿素可以吸收光信号，因此，通信距离增加

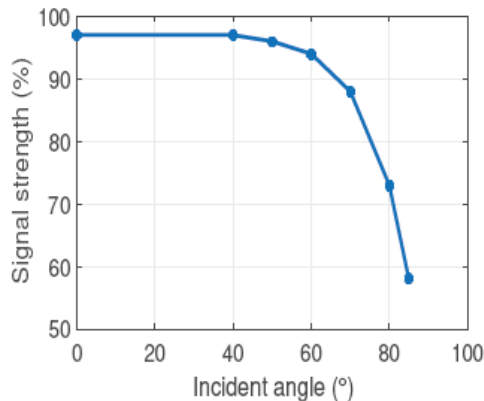


- 研究背景 -

- 研究内容 -

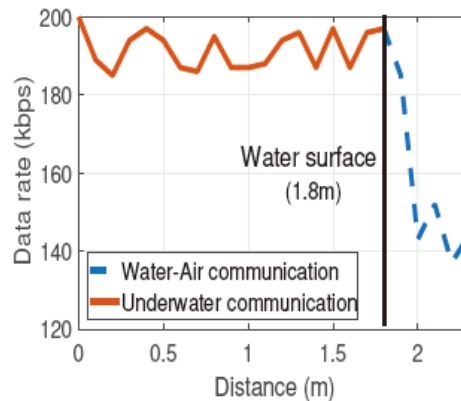
- 实验结果 -

➤ 水-空气界面处的入射角对信号强度的影响



- 入射角在**0°和40°**范围内时，信号强度高，因此**无需**将光信号垂直朝向海面照射

➤ 水-水和水-空气通讯：接收器从发射器移开



- 当接收器刚从水中移出时，我们会观察到**数据速率下降**。
- 原因：水-空气界面处的**反射**所致

通过实际场景实验，探索了本文方案在水-空气界面通信场景中的**可行性**。



- 研究背景 -

- 研究内容 -

- 实验结果 -

本文主要贡献

利用双重CPL

使用顺时针和逆时针的圆偏振光，双链路的设计，极大增加系统鲁棒性

原型成本低廉

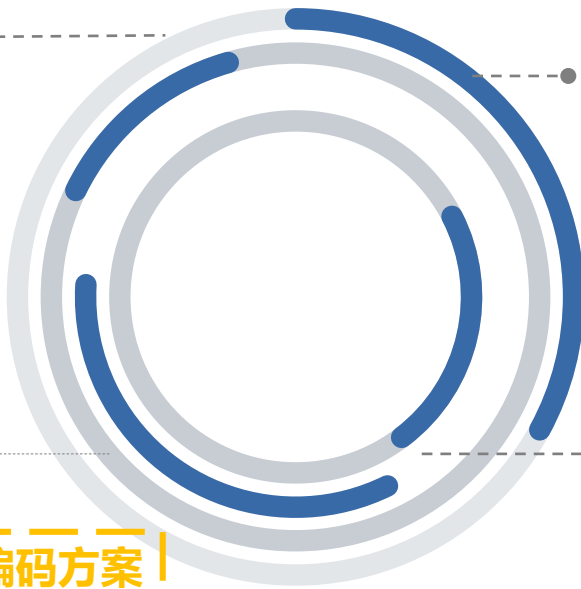
使用低成本的商用现货LED和硅光二极管，通过设计制造印刷电路板和改造驱动电路提升硬件性能

大量的实验

在不同的水下环境中进行了全面的实验，包括室内游泳池，湖泊和海洋，以验证shrimp的有效性。

提出一种UBC的编码方案

为双重CPL定制的编码方式，有利于增加水下环境中的通信距离



感谢大家
欢迎批评指正



林驰
辽宁 大连



扫一扫上面的二维码图案，加我微信