

实验一  
数据链路层  
滑动窗口协议的设计与实现

计算机学院

2023年4月

# 基本内容

## ■ 实验内容

- ◆ 设计一个滑动窗口协议，在仿真环境下编程实现有噪音信道、两站点间无差错双工通信

## ■ 信道模型

- ◆ 8000bps全双工卫星信道
- ◆ 单向传播时延270毫秒
- ◆ 信道误码率为 $10^{-5}$
- ◆ 物理层接口：提供帧传输服务，帧间有1ms帧边界
- ◆ 网络层属性：分组长度固定256字节

## ■ 实验组人数

- ◆ 1~3人

## ■ 实验设备环境

- ◆ Windows, Microsoft Visual Studio
- ◆ Linux (Ubuntu, Fedora, RedHat)

# 实验步骤

## ■ 熟悉编程环境

- ◆ 安装好VC或兼容的更高版本的C语言编程环境
- ◆ 了解程序的主体运行框架
- ◆ 可利用的子程序

## ■ 协议设计和程序总体设计

- ◆ 设计好要实现的滑动窗口协议，定义帧字段，规划程序的总体结构，相关子程序的设置

## ■ 编码和调试

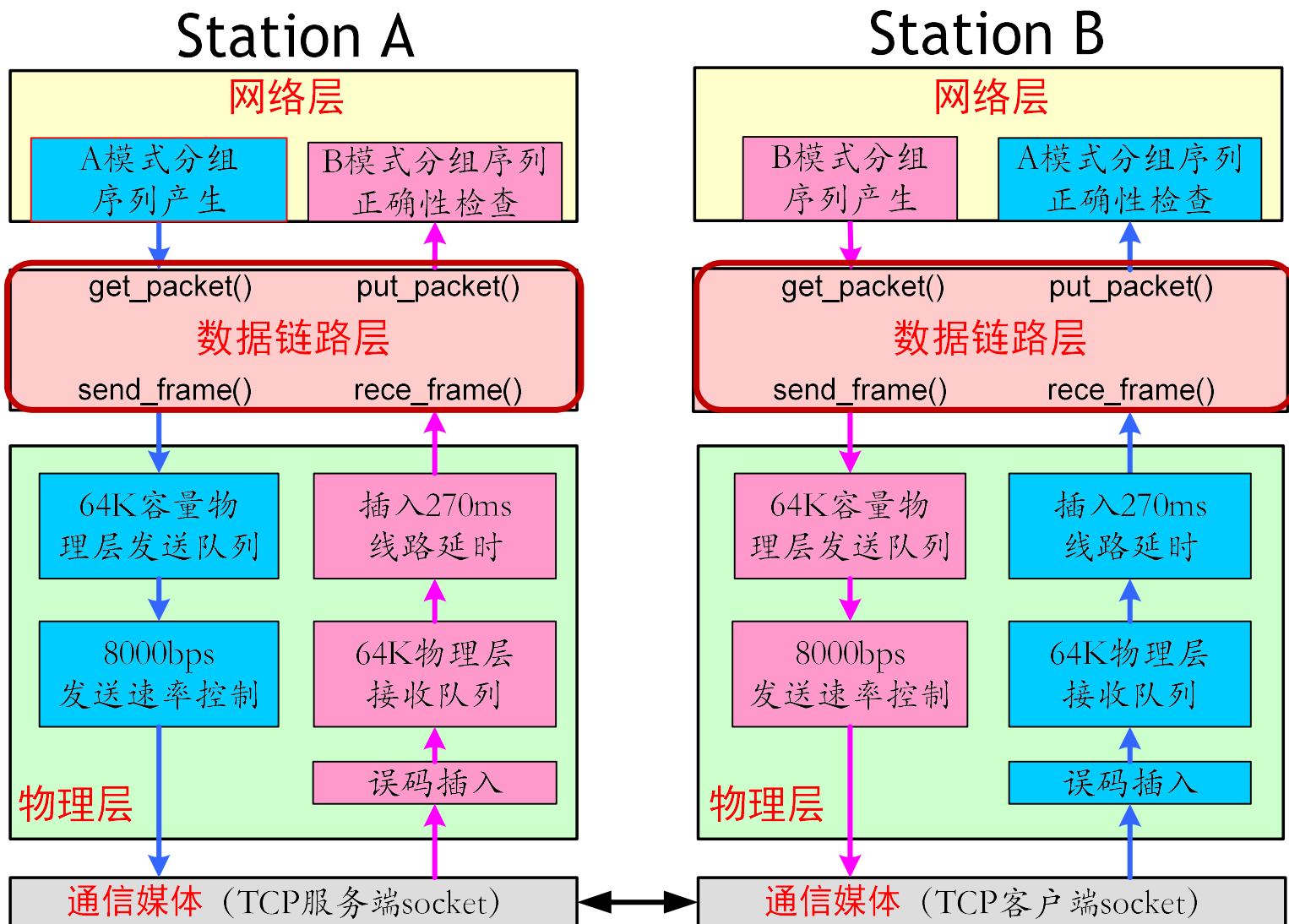
- ◆ 将所设计的协议编码实现并上机调试通过，实现数据链路层两个站点之间的通信。

## ■ 软件测试和性能评价

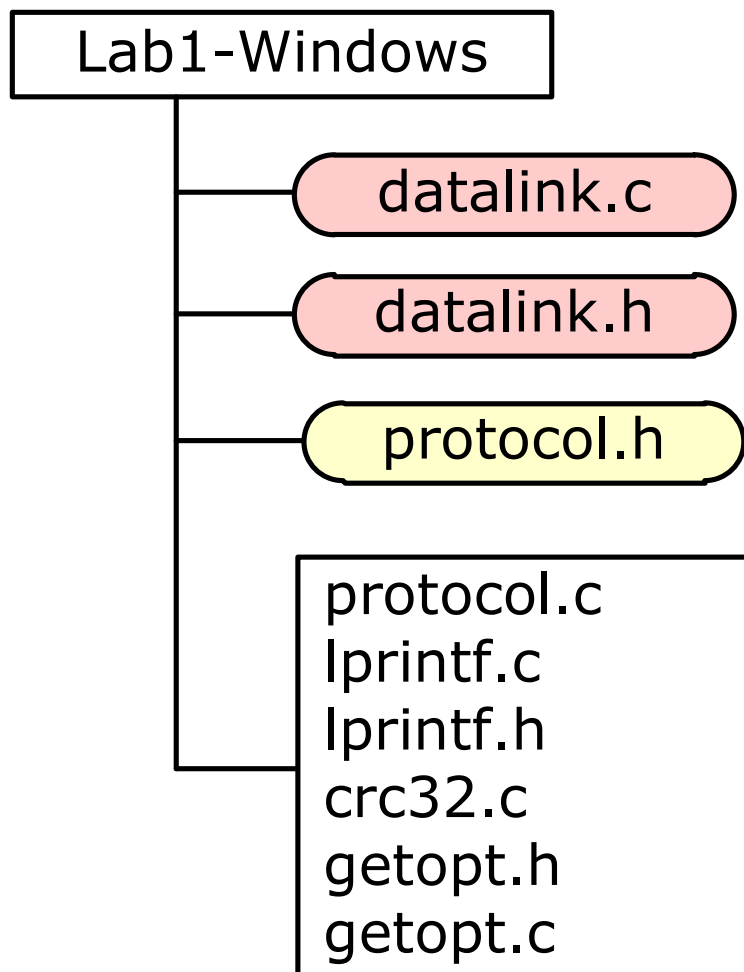
- ◆ 在无误码信道环境下运行测试
- ◆ 有误码信道环境下的无差错传输
- ◆ 要求：稳定运行20分钟以上，效率不能太低

## ■ 实验报告及程序验收

# 总体结构

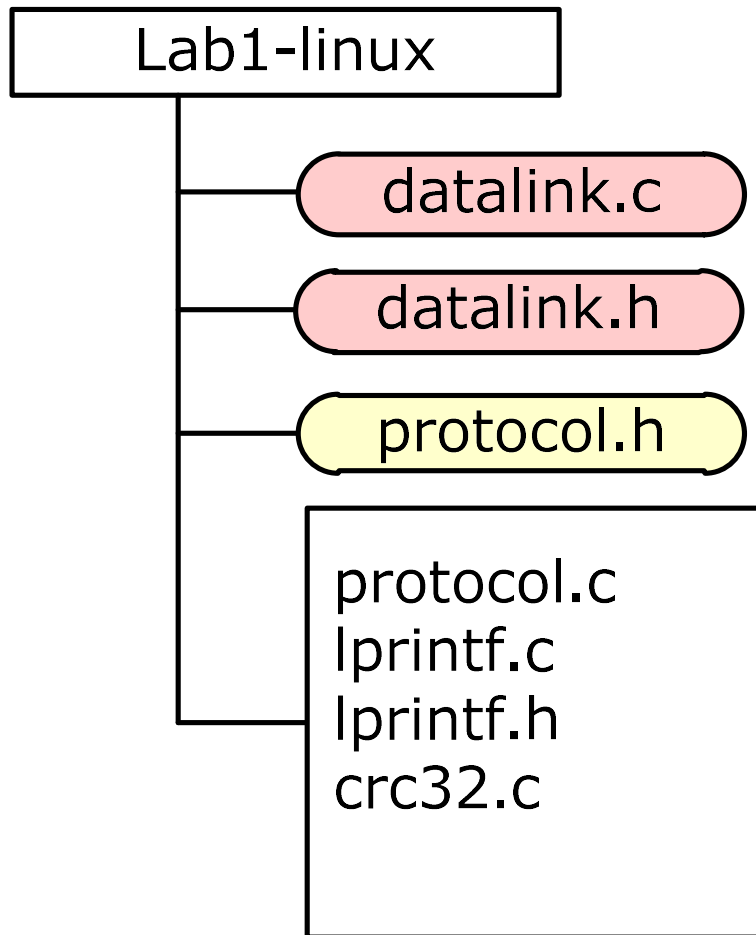


# Windows环境编译和运行



- 编译
- 程序运行（启动两个进程）
  - A站: stopwait.exe -d3 a
  - B站: stopwait.exe -d3 b
- 产生的日志文件
  - stopwait-A.log
  - stopwait-B.log
- 目录Example下的可执行文件
  - stopwait.exe
  - gobackn.exe
  - selective.exe

# Linux环境编译和运行



## ■ 操作系统

RedHat, Fedora  
Ubuntu

## ■ 编译

make

## ■ 程序运行（启动两个进程）

A站: ./stopwait -d3 A

B站: ./stopwait -d3 B

## ■ 产生的日志文件

stopwait-A.log

stopwait-B.log

## ■ 目录Example下的可执行文件

stopwait

gobackn

selective

# 程序运行：命令行选项

- 启动执行EXE文件时，在命令行中附带一些选项对程序的执行进行控制

Usage:

`./stopwait <options> <station-name>`

Options :

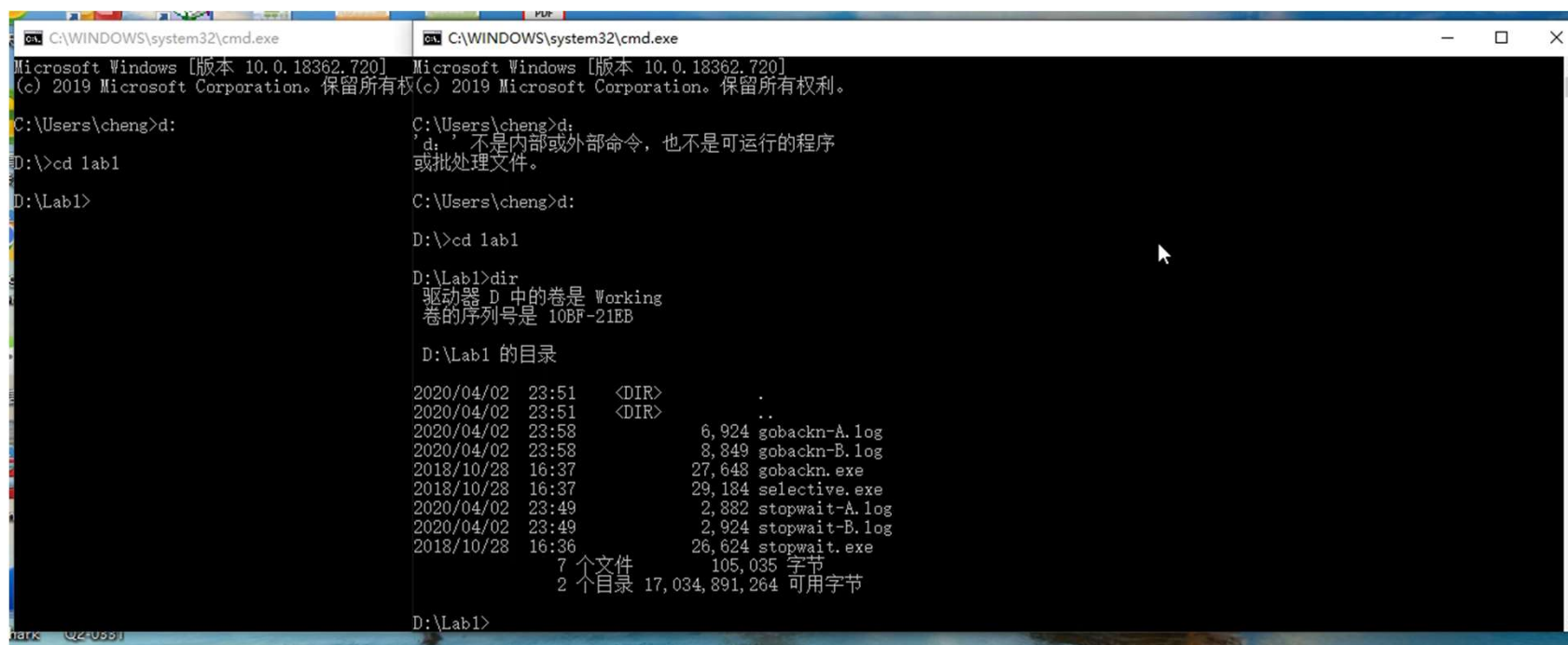
- ?, --help : print this
- u, --utopia : utopia channel (an error-free channel)
- f, --flood : flood traffic
- i, --ibib : set station B layer3 sender mode as IDLE-BUSY-IDLE-BUSY-...
- n, --nolog : do not create log file
- d, --debug=<0-7>: debug mask (bit0:event, bit1:frame, bit2:warning)
- p, --port=<port#> : TCP port number (default: 59144)
- b, --ber=<ber> : Bit Error Rate (received data only)
- l, --log=<filename> : using assigned file as log file
- t, --ttl=<seconds> : set time-to-live

## ■ 命令行选项使用举例

`stopwait -fnd 3 -b 1.0e-6 -p 44944 A`

`stopwait -fn -debug=3 --ber=1.0e-6 --port=44944 A`

# 示例程序运行演示



The image shows two side-by-side Windows command prompt windows. The left window shows a user navigating from C:\Users\cheng to D:\Lab1. The right window shows the same user attempting to run 'd:', which fails with an error, then navigating to D:\Lab1 and running 'dir' to list the contents of the directory.

```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [版本 10.0.18362.720]
(c) 2019 Microsoft Corporation. 保留所有权利。

C:\Users\cheng>d:
D:\>cd lab1
D:\Lab1>
```

```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [版本 10.0.18362.720]
(c) 2019 Microsoft Corporation. 保留所有权利。

C:\Users\cheng>d:
'd: ' 不是内部或外部命令，也不是可运行的程序
或批处理文件。

C:\Users\cheng>d:
D:\>cd lab1
D:\Lab1>dir
驱动器 D 中的卷是 Working
卷的序列号是 10BF-21EB

D:\Lab1 的目录
2020/04/02  23:51    <DIR>          .
2020/04/02  23:51    <DIR>          ..
2020/04/02  23:58             6,924 gobackn-A.log
2020/04/02  23:58             8,849 gobackn-B.log
2020/04/02  23:58             27,648 gobackn.exe
2018/10/28  16:37             29,184 selective.exe
2020/04/02  23:49             2,882 stopwait-A.log
2020/04/02  23:49             2,924 stopwait-B.log
2018/10/28  16:36             26,624 stopwait.exe
                7 个文件             105,035 字节
                2 个目录 17,034,891,264 可用字节

D:\Lab1>
```



# 日志函数

## ■ 函数

```
extern void lprintf(char *fmt, ...);
```

## ■ 举例

```
lprintf("Received a frame, %d bytes\n", len);
```

（1）在每行最左端自动增加时间戳（ms级）

（2）把显示的信息同步存于日志文件中

# 上下层接口函数

## ■ 运行环境的初始化

```
void protocol_init(int argc, char **argv);
```

## ■ 与网络层模块的接口

```
#define PKT_LEN 256
```

```
void enable_network_layer(void);
```

```
void disable_network_layer(void);
```

```
int get_packet(unsigned char *packet);
```

```
void put_packet(unsigned char *packet, int len);
```

## ■ 与物理层模块的接口

```
int recv_frame(char *buf, int size);
```

```
void send_frame(char *buf, int len);
```

# 事件驱动函数

```
int wait_for_event(int *arg);  
#define NETWORK_LAYER_READY  0  
#define PHYSICAL_LAYER_READY 1  
#define FRAME_RECEIVED        2  
#define DATA_TIMEOUT         3  
#define ACK_TIMEOUT           4
```

# 样例程序datalink.c

- 样例程序实现了简单的全双工“停-等”协议
  - ◆ 未设ACK定时器，收到数据就立刻回复ACK
  - ◆ 未实现NAK
- 编辑，编译
- 运行
  - ◆ 分别在两个DOS窗口运行stopwait a和stopwait b，那么会启动两个站运行。
  - ◆ 如果运行stopwait -d3 a和stopwait -d3 b，那么，会打印出协议运行信息。协议运行信息的输出，也是在datalink.c中设定的

# CRC校验和的产生与验证

```
unsigned int crc32(unsigned char *buf, int len);
```

## ■ 校验和产生

char \*p; 为p指向的缓冲区内243字节数据生成校验和，并把校验和附在243字节之后

```
*(unsigned int *)(p + 243) = crc32(p, 243);
```

p所指缓冲区必须至少有247字节有效空间以防内存访问越界

## ■ 验证校验和

- ◆ 针对对上面的例子，只需要判断`crc32(p, 243 + 4)`是否为0：校验和正确为0，否则不为0

# 定时器管理

## ■ 数据定时器

`void start_timer(unsigned int nr, unsigned int ms);`

`void stop_timer(unsigned int nr);`

- ◆ 定时器启动时刻不是当前时刻，而是将当前物理层发送队列的数据发送完毕后开始启动计时
- ◆ 重复设置同一个编号的计时器会导致重新按新调用计时
- ◆ “计时时间到”会产生DATA\_TIMEOUT事件

## ■ ACK定时器

`void start_ack_timer(unsigned int ms);`

`void stop_ack_timer(void);`

- ◆ 定时器启动时刻为当前时刻
- ◆ 在先前启动的定时器未超时之前重新执行start\_ack\_timer()调用，定时器将依然按照先前的时间设置产生事件ACK\_TIMEOUT

# 协议工作过程的跟踪和调试

## ■ 相关函数

- ◆ `extern void dbg_event(char *fmt, ...);`
- ◆ `extern void dbg_frame(char *fmt, ...);`
- ◆ `extern void dbg_warning(char *fmt, ...);`
- ◆ `char *station_name(void);`

## ■ 程序内部的输出控制开关`debug_mask`

- ◆ bit0为1时，打开`dbg_event`的输出，否则被忽略
- ◆ bit1为1时，打开`dbg_frame`的输出，否则被忽略
- ◆ bit2为1时，打开`dbg_warning`的输出，否则被忽略
- ◆ 命令行debug选项0~7为`debug_mask`赋值（默认0）

# 程序运行异常中止的错误信息

类别	错误信息及说明
参数错	Station name must be 'A' or 'B'
链路层 工作失败	Network Layer: incorrect packet length Network Layer received a bad packet from data link layer
TCP通信 故障	Station A failed to bind TCP port Station B failed to connect station A
物理层发送 队列溢出	Physical ayer Sending Queue overflow 物理层发送队列溢出（队列最多可以缓冲64K字节）
操作系统环境 问题	WARNING: System too busy, sleep 15 ms, but be awakened 61 ms later警告信息， 不会导致程序中止运行，但可能影响算法的线路利用率统计指标(检测到系统 忙碌：进程主动请求睡眠15ms，但是被唤醒后发现时间已逝去61ms。关闭系 统中其它运行程序)
函数调用错	recv_byte(): Receiving Queue is empty 未产生FRAME_RECEIVED事件就执行recv_frame()  get_packet(): Network layer is not ready for a new packet 未产生NETWORK_LAYER_READY事件就执行get_packet()  start_timer(): timer No. must be 0~128 系统最多支持129个定时器，定时器编号太大



# 实验报告要求

- 实验内容和实验环境描述
- 协议设计
  - ◆ 帧中各个字段的定义和编码
  - ◆ 两个站点间信息交换的过程控制，尤其是误码条件下的控制方案
- 软件设计
  - ◆ 数据结构， 模块结构， 算法流程
- 实验结果分析
  - ◆ 理论分析
  - ◆ “性能测试记录表”， 实验结果分析
  - ◆ 存在的问题和改进思路
- 研究和探索的问题
- 实验总结和心得体会
  - ◆ 上机调试时间， 编程语言方面， 协议方面
- 源程序文件

# 关于验收

- 分组：1-3人一组，每组完成一个程序、提交一份实验报告
- 验收时间：5月中旬

Any Questions?