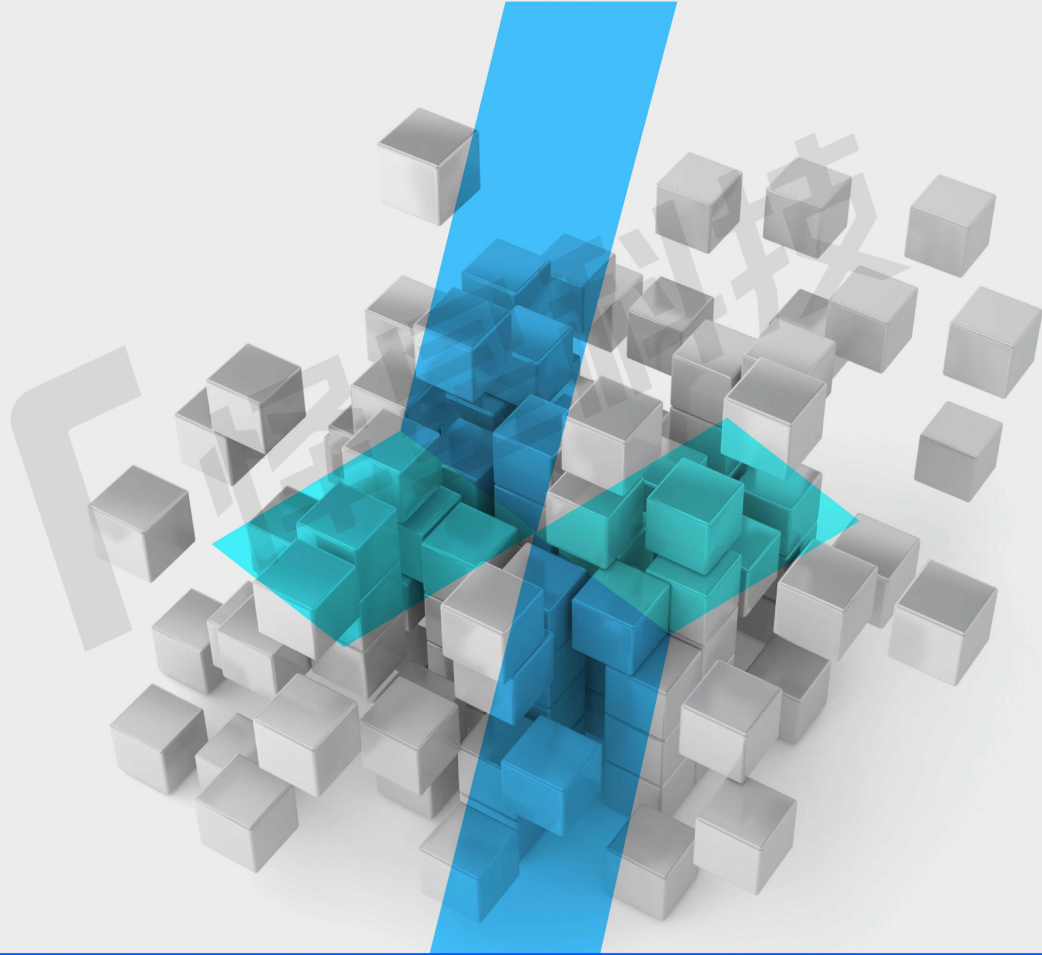


# 汽车以太网通信物理层和 数据链路层介绍





# CONTENTS

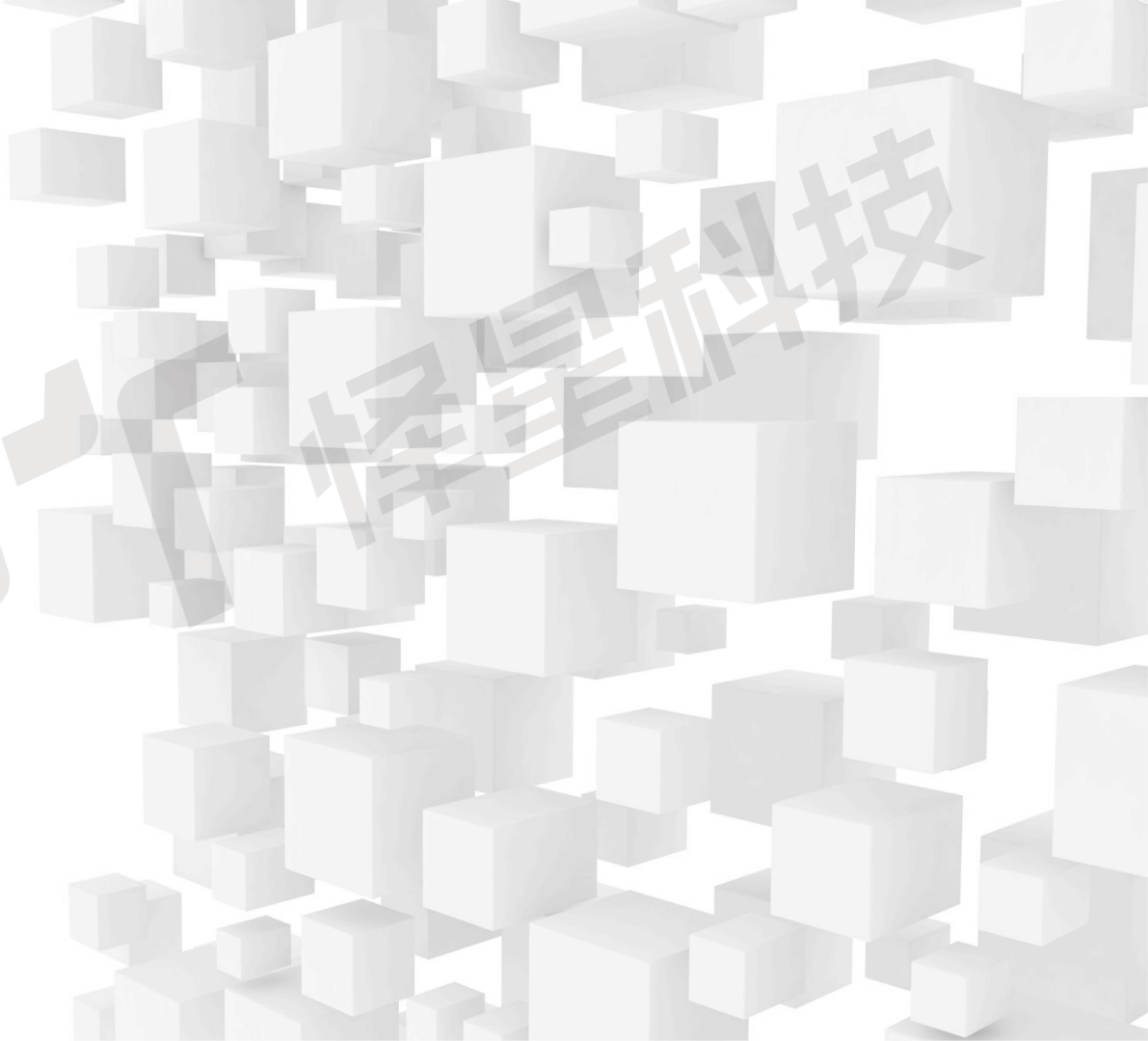
- 01 概述
- 02 车载以太网物理层
- 03 车载以太网数据链路层
- 04 恽星以太网测试解决方案

01

概述

ERP

智慧科技



## □ 车载以太网简史

- 2008年，BMW7系使用以太网-快速编程
- 2011年，Broadcom推出第一款汽车以太网PHY
- 2011年，OPEN Alliance联盟成立
- 2015年，IEEE 100BASE-T1(802.3bw)规范发布
- 2016年，IEEE 1000BASE-T1(802.3bp)规范发布
- 2017年，Marvell第一款汽车千兆以太网PHY发布
- .....

汽车以太网相关的联盟



IEEE

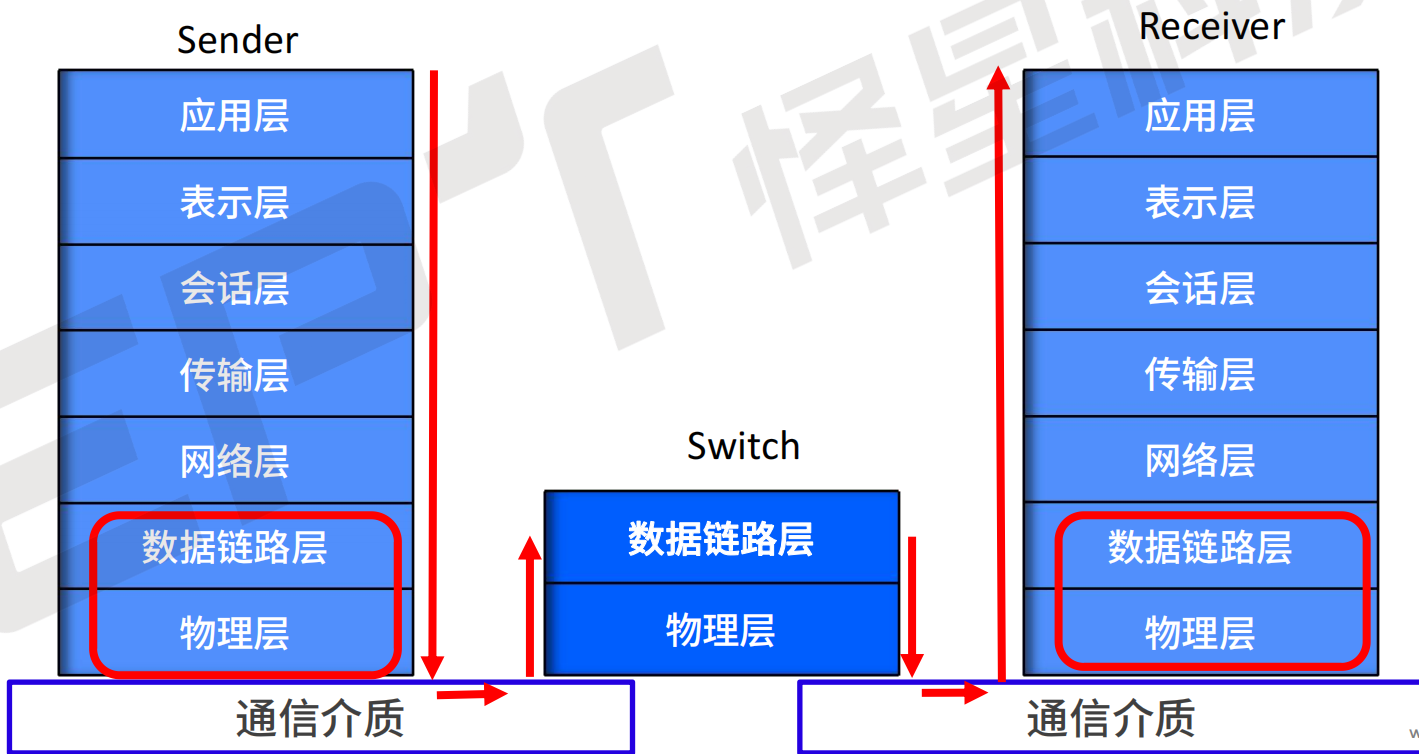


AUTOSAR

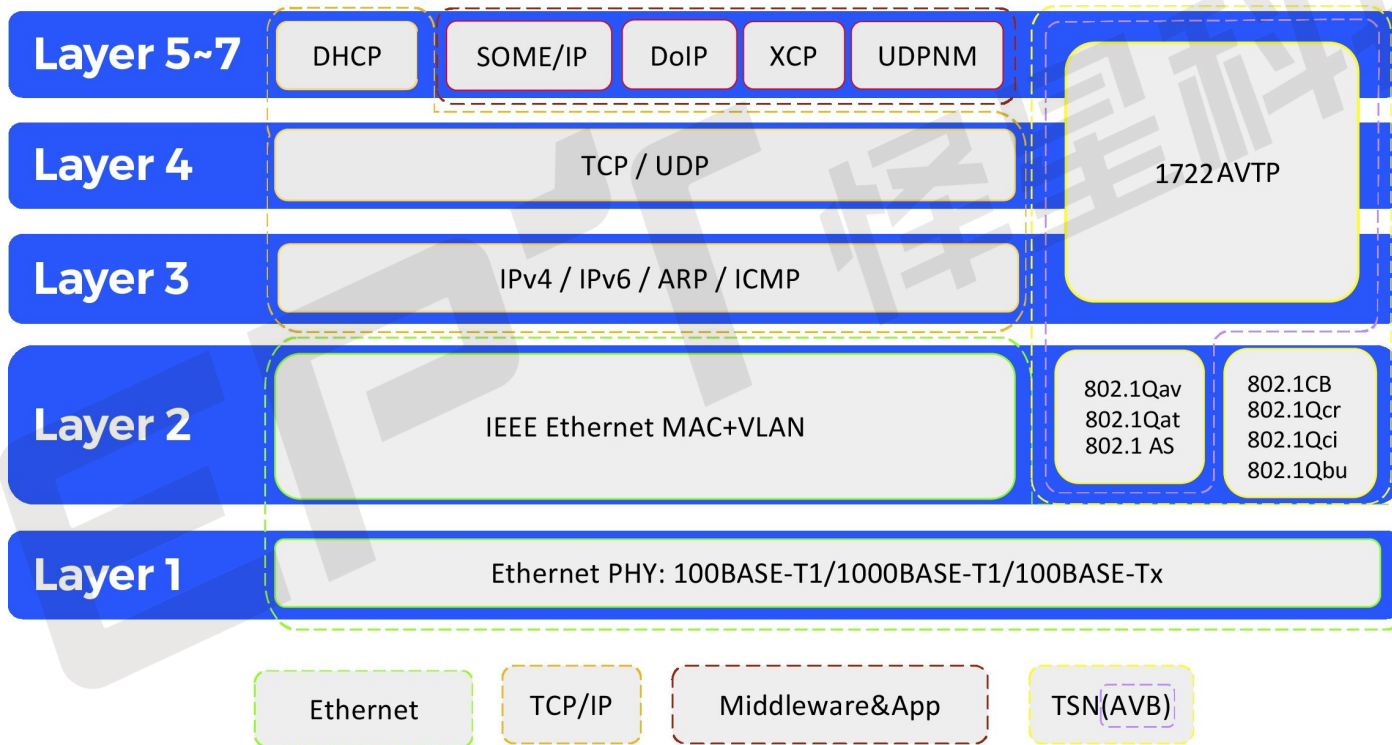




## 以太网信息传输过程



## □ 典型以太网通信的七层模型

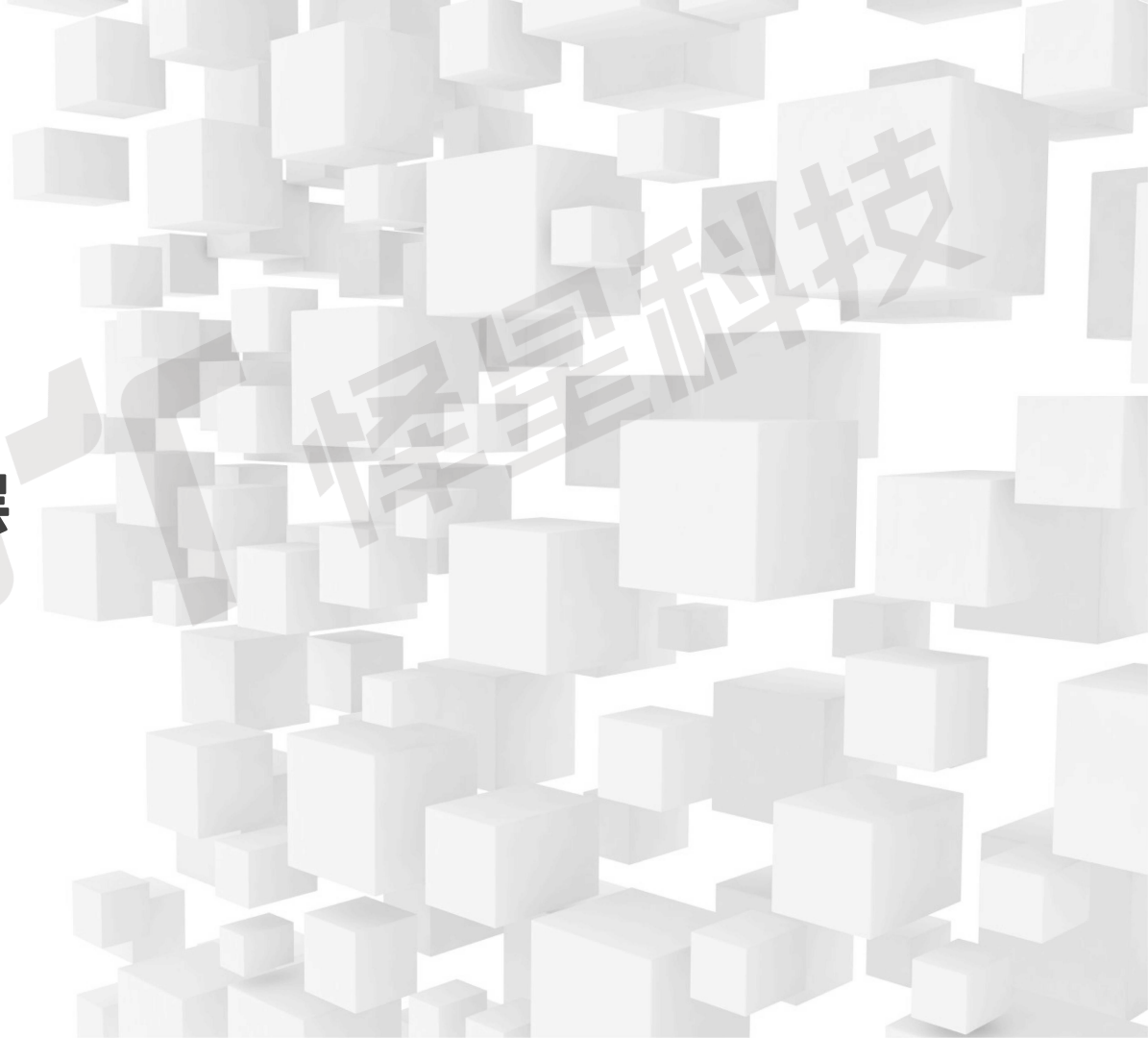


02

车载以太网物理层

EP

博思科技



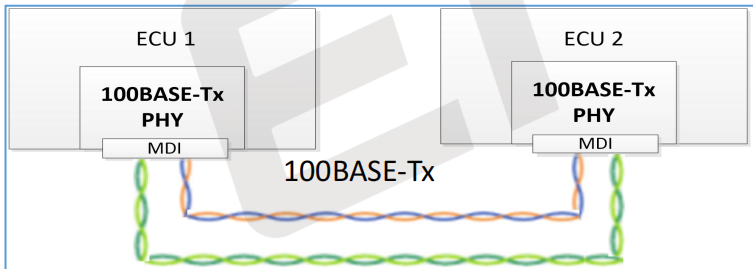
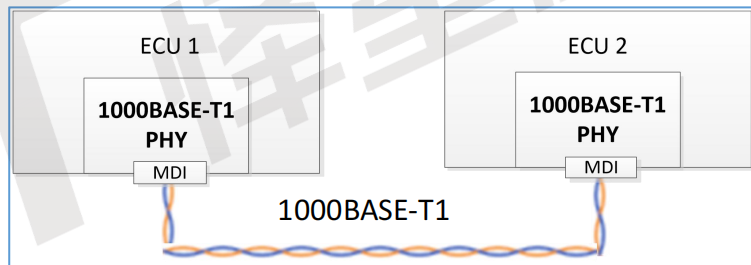
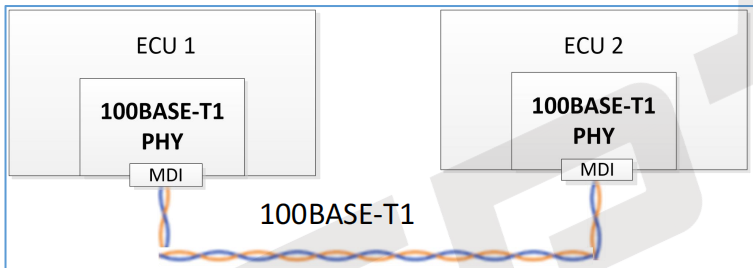
- 常见车载以太网
- 物理层结构（100M vs 1000M）
- 物理层测试内容及解决方案

## □ 以太网命名规则

- XXBASE-YZ
  - ◆ XX: 接口通信速率, 单位Mb/s
  - ◆ BASE: 基带信令
  - ◆ YZ: 媒介类型 (Y一般为F-光纤或T-双绞线; Z区分光纤或双绞线的规格)
- 示例1: 100BASE-T1
  - ◆ XX为100, 接口速度为100Mbit/s
  - ◆ Y为T (twisted-pair), 双绞线; Z为1, 表示1对双绞线
- 示例2: 100BASE-TX
  - ◆ XX为100, 接口速度为100Mbit/s
  - ◆ Y为T (twisted-pair), 双绞线; Z为X (TX表示传输介质为2对高质量的双绞线)

## □ 常见车载以太网主要区别

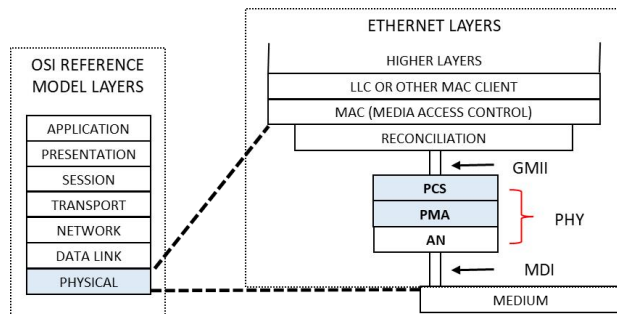
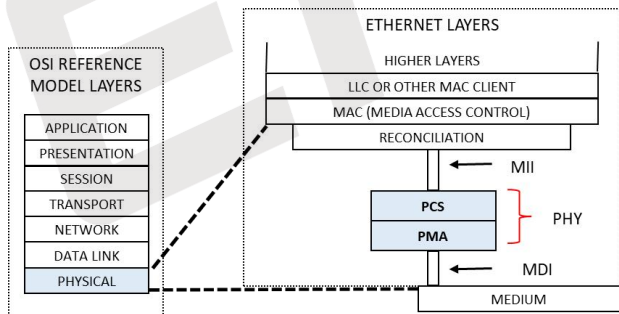
- PHY不同（编码方式等不同）
- 连接方式、线束类型等不同



名称	拓扑架构	通信机制	编码方式	备注
100BASE-T1	车内通信, 点对点	全双工	4B/3B, 3B/2T, PAM3	点对点通信, 用于车内通信
1000BASE-T1	车内通信, 点对点	全双工	80B/81B, 3B/2T, PAM3	点对点通信, 用于车内通信
100BASE-TX	车外通信, 点对点	全双工	4B/5B, MLT-3	用于车外通信 (诊断设备与车辆之间通信)

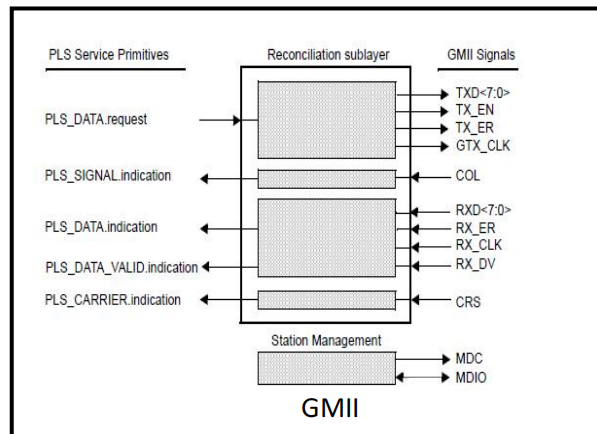
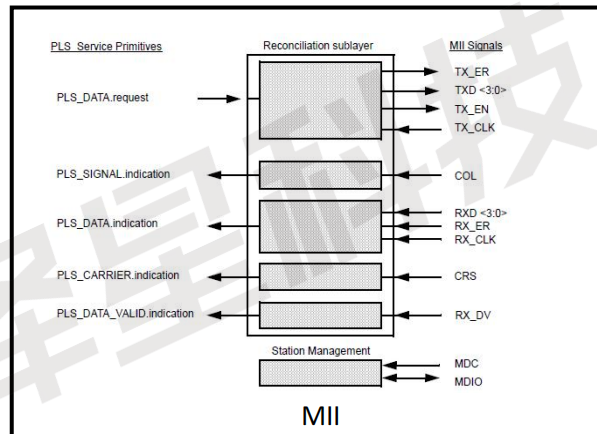
## 物理层结构图

- RECONCILIATION: 协调子层
- MII/GMII: 媒介独立接口
- PCS: 物理编码子层
- PMA: 物理媒介附加子层
- MDI: 媒介相关接口
- AN: 自协商子层 (optional)



## □ MII/GMII：媒介独立接口

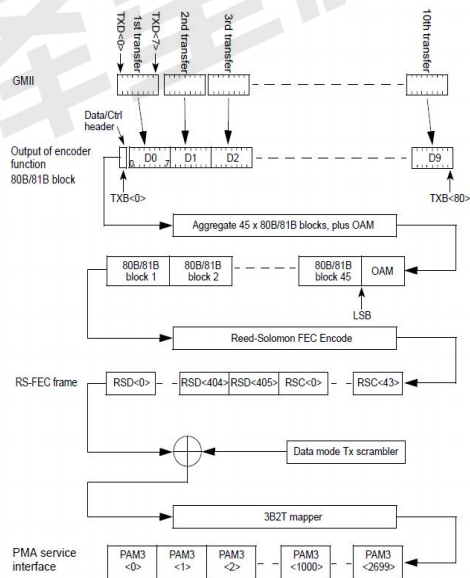
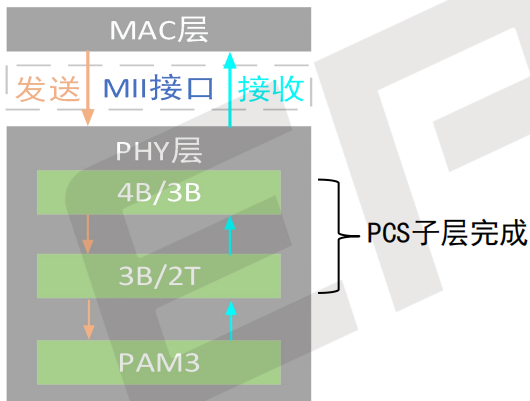
- TX\_EN：发送使能信号，只有下TX\_EN有效期内的数据有效
- TX\_ER：发送数据错误提示信号，同步于TX\_CLK，高电平有效
- TX\_CLK：发送时钟信号，PHY向MAC提供时钟信号
- TXD：数据发送信号
- RX\_DV：接收数据有效信号
- RX\_ER：接收数据错误提示信号，同步于RX\_CLK，高电平有效
- RX\_CLK：接收时钟信号，PHY向MAC提供时钟信号
- RXD：数据接收信号
- CRS：载波侦听信号（仅用于半双工状态）
- COL：冲突检测信号（仅用于半双工状态）





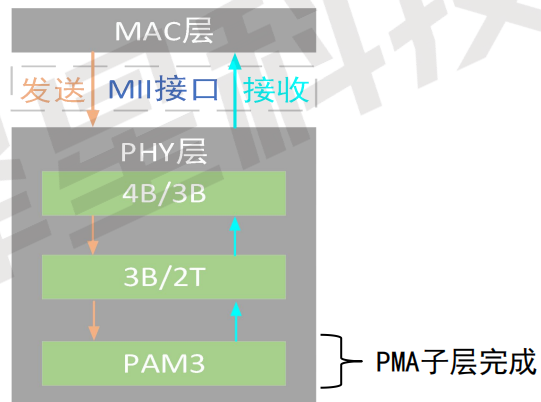
## □ PCS: Physical Coding sublayer, 物理编码子层

- 100BASE-T1: 4B→4B/3B (时钟转换) →3B/2T (数据编码) →PAM3
- 1000BASE-T1: 8B→80B/81B→Reed-Solomon FEC→3B/2T→PAM3



## □ PMA: Physical Medium Attachment sublayer, 物理媒介附加子层

- PMA Reset function——重置
- PMA Transmit function——信号发送
- PMA Receive function——信号接收、回波消除
- PHY Control function——PHY工作模式设置
- Link Monitor function——Link状态监控
- PMA clock recovery——时钟恢复



## □ PMA测试

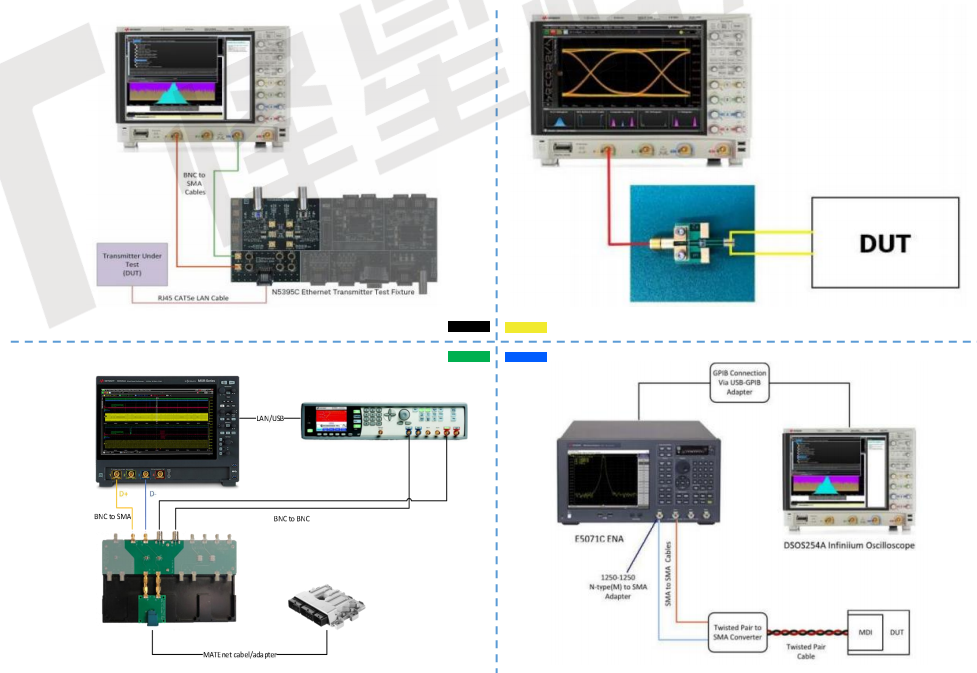
◆ 参考规范：协议为IEEE802.3bw (100BASE-T1) &OA-TC8和IEEE802.3bp (1000BASE-T1) &OA-TC12

◆ 测试内容：

- 发送器电压降
- 发射器差分电压输出 (仅1000Base)
- 发送器功率频谱密度
- 发送器Jitter
- 发送器时钟频率
- MDI回波损耗
- MDI模式转换
- MDI共模发射(仅100BASE)
- 发送器失真

◆ 主要测试设备：

- PMA：示波器、网络分析仪、波形发生器、测试夹具、屏蔽箱等



## □ IOP测试

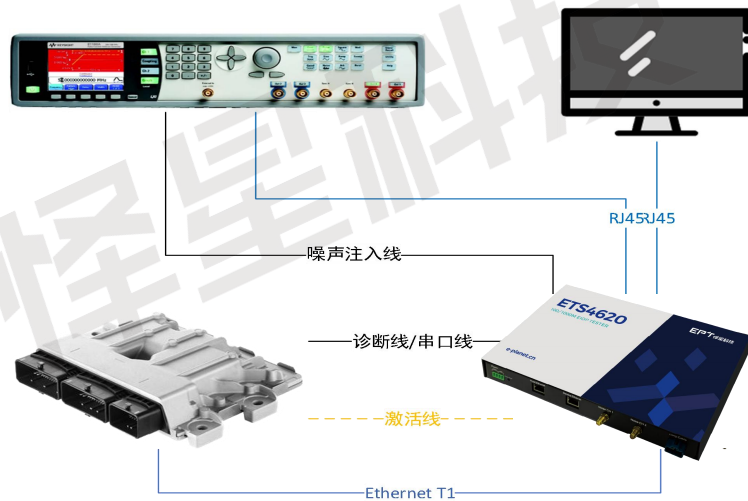
◆ 参考规范：OA\_100/1000BASE-T1 IOP Test Suite

◆ 测试内容：

- Link-up时间
- 信号质量
- 线路故障诊断

◆ 主要测试设备：

- IOP：IOPtester测试模块、波形发生器



- 物理层概述
- 物理层结构
- 物理层测试解决方案

**03**

**车载以太网数据链路层**

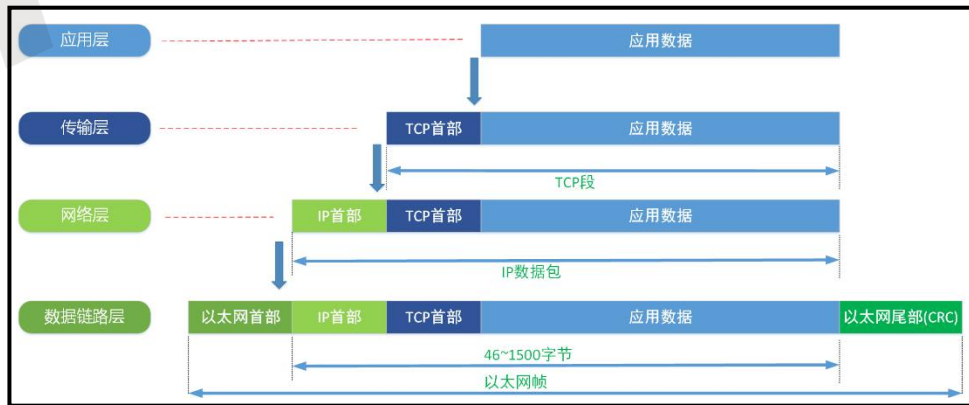
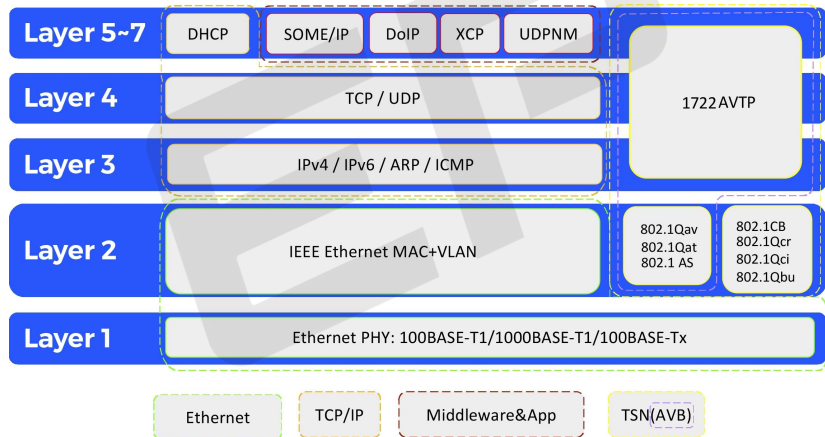
EP

博思科技

- 数据链路层概述
- MAC和Ethernet帧
- VLAN（虚拟局域网）
- 集线器、交换机、路由器介绍
- 测试内容及解决方案

## □ 数据链路层的主要特点

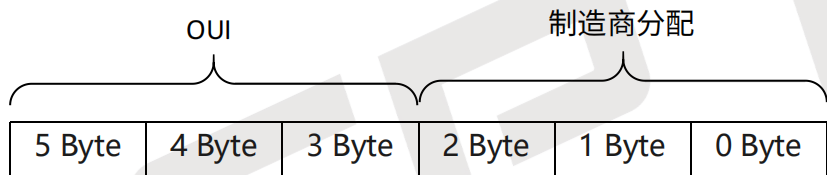
- 数据帧的封装/解封装
- 透明传输
- 差错检测
- 可靠传输





## □ MAC地址构成

- 48bit，通常使用十六进制标识一个MAC地址
- 两部分组成，组织标识符 + 扩展标识符
- 网络传输中，字节序采用“Big Endian”（高字节先传送），比特序采用“Little Endian”（低位先传送）



例如：数据0x1234

Little Endian

内存地址	0x4001	0x4000
内容	0x12	0x34

Big Endian

内存地址	0x4001	0x4000
内容	0x34	0x12

OUI	厂商名称
00-25-68	华为 (HUAWEI)
00-E0-FC	华为 (HUAWEI)
00-00-0C	思科 (Cisco)
00-01-42	思科 (Cisco)
00-00-F0	三星 (Samsung)
00-26-C6	英特尔 (Intel)
00-A0-8E	诺基亚 (Nokia)
00-A0-40	苹果 (Apple)
00-0E-5C	摩托罗拉 (Motorola)

## □ 单播地址

- 单发单收，首字节最低位是0，可做源地址也可做目的地址（如 00-1E-10-DD-DD-02）

00000000	00011110	00010000	11011101	11011101	00000010
----------	----------	----------	----------	----------	----------

## □ 组播地址

- 单发多收，首字节最低位是1，只做目的地址（如 01-80-C2-00-00-01）

00000001	10000000	11000010	00000000	00000000	00000001
----------	----------	----------	----------	----------	----------

10000000	00000001	01000011	00000000	00000000	10000000
----------	----------	----------	----------	----------	----------

我们看到的

实际上传输的



## □ 广播地址

- 单发多收，48bit全为1，只做目的地址 FF-FF-FF-FF-FF-FF

11111111	11111111	11111111	11111111	11111111	11111111
----------	----------	----------	----------	----------	----------

## □ Ethernet帧格式



- 目的地址：目的设备的MAC地址，例如AA:BB:CC:DD:EE:01；
- 源地址：发送设备的MAC地址，例如AA:BB:CC:DD:EE:03；
- 类型（Ethernet II）：以太网首部后面所跟的数据包类型（>0x600），0x0800 = IP协议包，0x0806 = ARP协议包；
- 数据：长度最小为46Bytes-最大为1500Bytes；
- FCS：CRC校验值；
- 前导码：由7组 B10101010 + B10101011（SFD，帧开始界定符）

## □ ARP帧格式

目的地址 (6Byte) | 源地址 (6Byte) | 类型 (0x0806) | ARP请求/应答 (28Byte) +PAD (18Byte) | FCS (4Byte)

目的地址 (6Byte) | 源地址 (6Byte) | 类型 (0x0800) | 数据 (46 - 1500Byte) | FCS (4Byte)

ARP请求报文 (28 Bytes)

0	8	16	31
HARDWARE TYPE : 0x01		PROTOCOL TYPE : 0x0800	
HLEN : 0x06	PLEN : 0x04	OPCODE : 0x01	
SOURCE MAC : 00-00-0C-72-16-A1 ( 48 bits )			
		SOURCE IP : ( 32 bits )	
192.168.0.110			
TARGET MAC : 00-00-00-00-00-00 ( 48 bits )			
TARGET IP : 192.168.0.105 ( 32 bits )			

ARP应答报文 (28 Bytes)

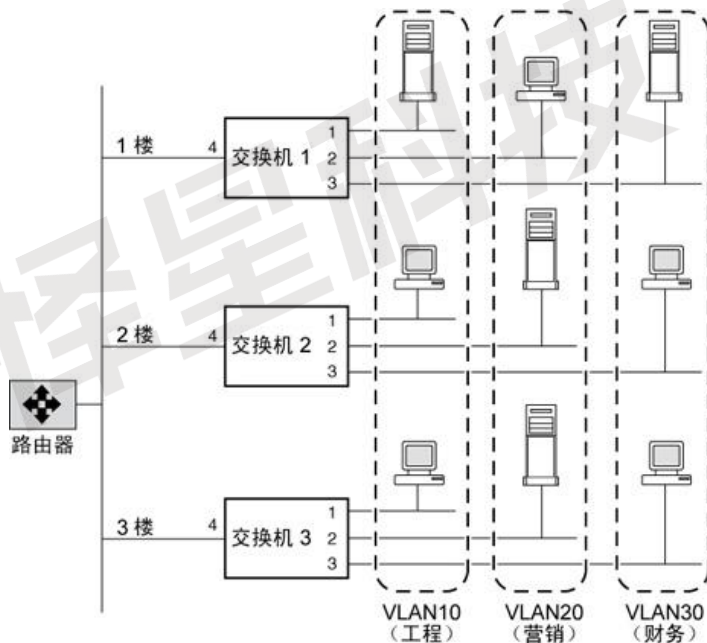
0	8	16	31
HARDWARE TYPE : 0x01		PROTOCOL TYPE : 0x0800	
HLEN : 0x06	PLEN : 0x04	OPCODE : 0x02	
SOURCE MAC : 00-60-3E-EA-37-E0 ( 48 bits )			
		SOURCE IP : ( 32 bits )	
192.168.0.105			
TARGET MAC : 00-00-0C-72-16-A1 ( 48 bits )			
TARGET IP : 192.168.0.110 ( 32 bits )			

## □ VLAN是什么

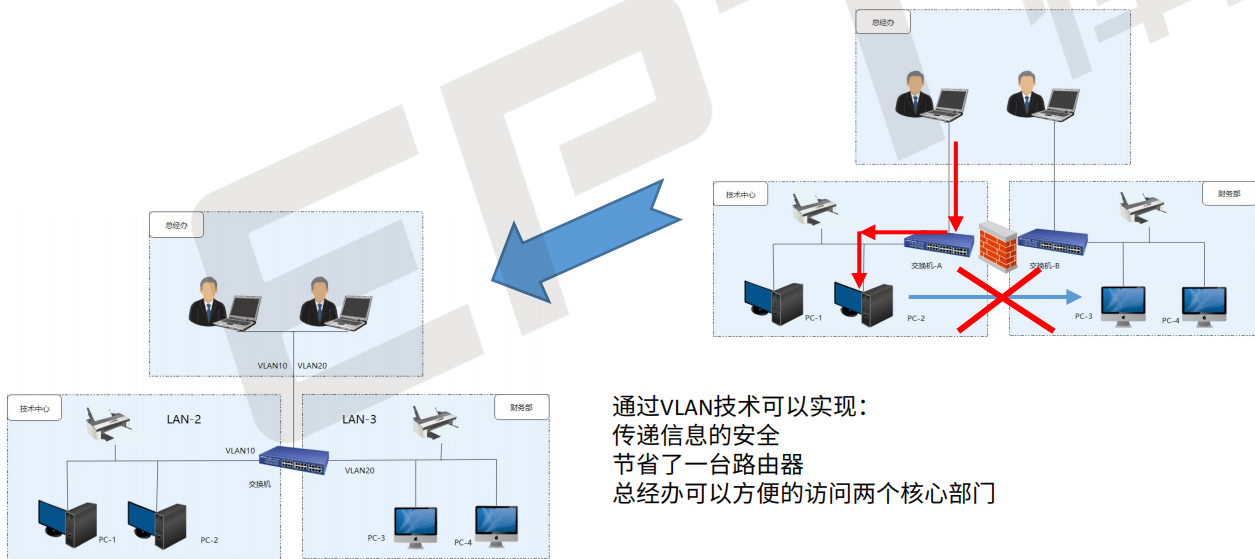
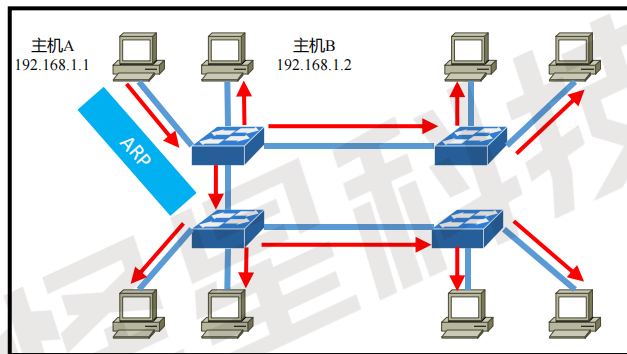
- 物理局域网上搭建的逻辑局域网（与物理位置无关）

## □ VLAN的优势

- 限制广播域（VLAN内通信）
- 提高安全性（VLAN间不能直接通信）
- 提高网络健壮性（故障不会相互影响）
- 灵活性和方便维护



- 局域网内隔离重要信息（比如财务部）
- 局域网内抑制“广播风暴”
  - 广播不可避免（ARP/DHCP/RIP等）
  - 网络中充斥广播数据并占用大量网络宽带

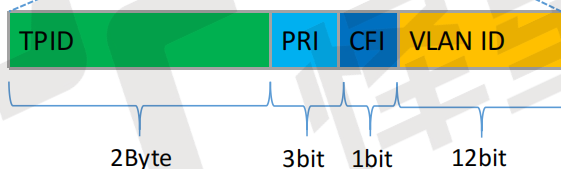


通过VLAN技术可以实现：  
传递信息的安全  
节省了一台路由器  
总经理办可以方便的访问两个核心部门

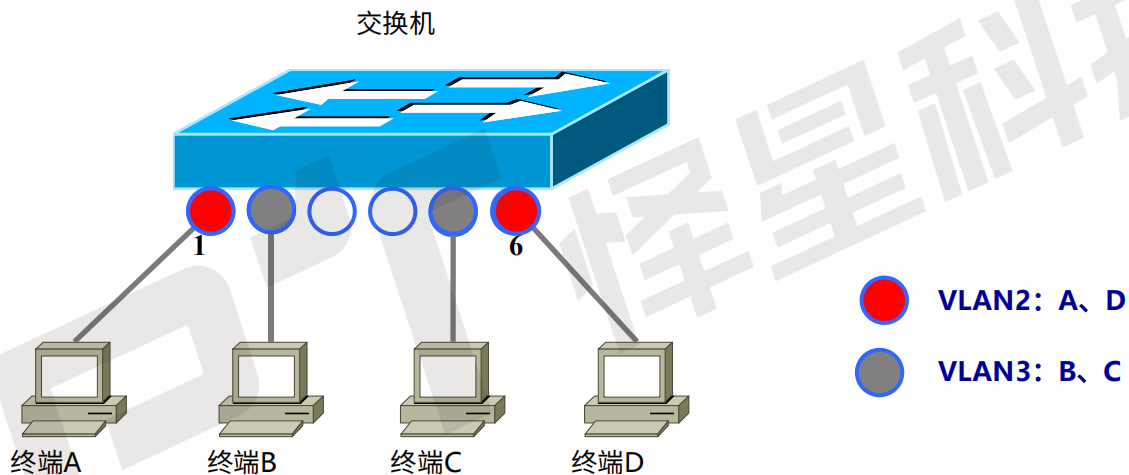
□ Ethernet II 帧格式



□ 802.1Q 帧格式



- ◆ TPID (Tag Protocol Identifier, 标签协议标识符), 表示帧类型。取值为0x8100时表示802.1Q Tag帧。
- ◆ PRI (Priority), 表示帧的优先级。取值范围为0~7, 值越大优先级越高。
- ◆ CFI (Canonical Format Indicator, 标准格式指示位), 以太网中, CFI为0 (经典格式)。
- ◆ VID (VLAN ID), 表示该帧所属的VLAN。VLAN ID取值范围是0~4095。0和4095为保留VLAN。



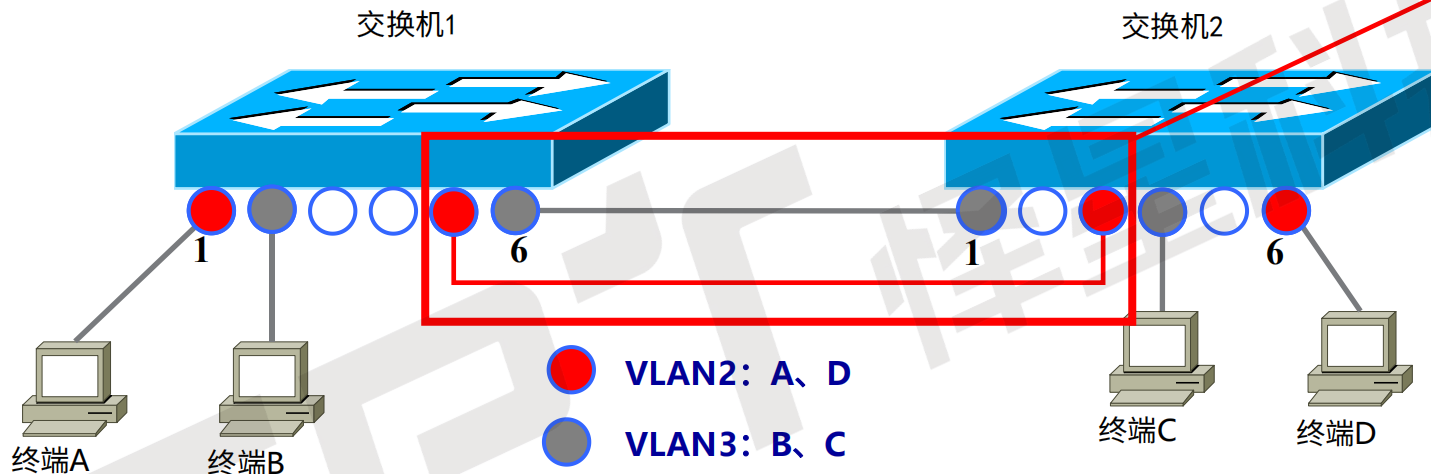
交换机 VLAN与端口映射表

VLAN	交换机端口
VLAN 2	1、6
VLAN 3	2、5



# 两台交换机划分VLAN

VLAN越多  
交换机端口浪费越  
多，怎么办？

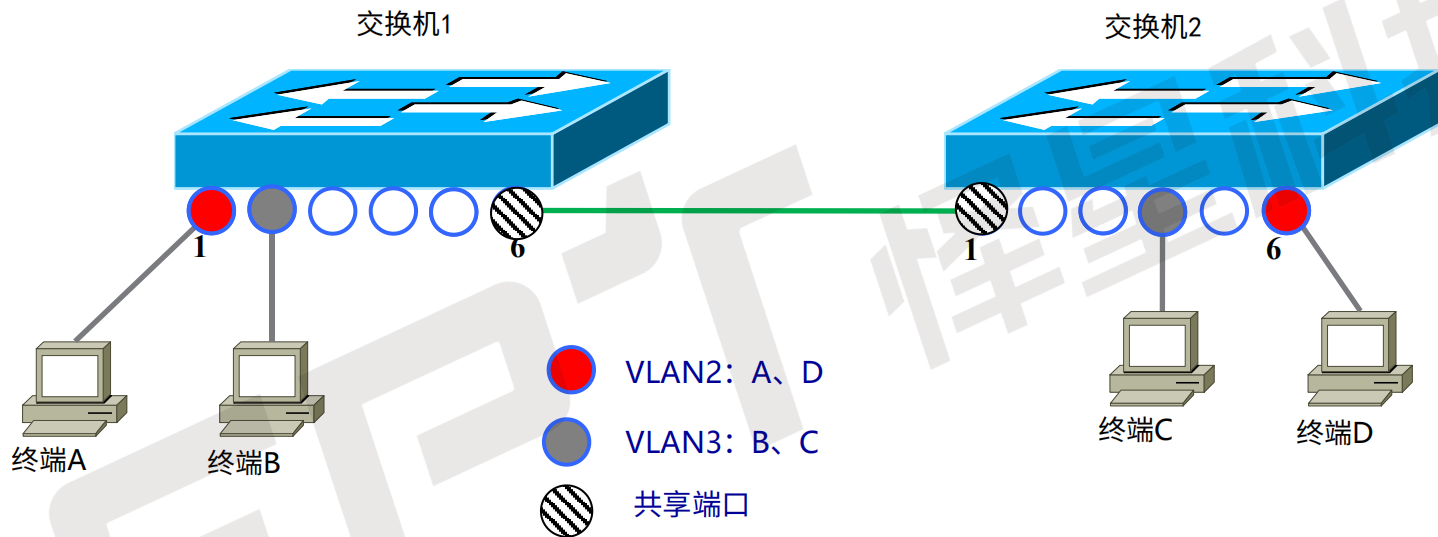


交换机1 VLAN与端口映射表

VLAN	交换机端口
VLAN 2	1、5
VLAN 3	2、6

交换机2 VLAN与端口映射表

VLAN	交换机端口
VLAN 2	3、6
VLAN 3	1、4



交换机1 VLAN与端口映射表

VLAN	接入端口	共享端口
VLAN 2	1	6
VLAN 3	2	6

交换机2 VLAN与端口映射表

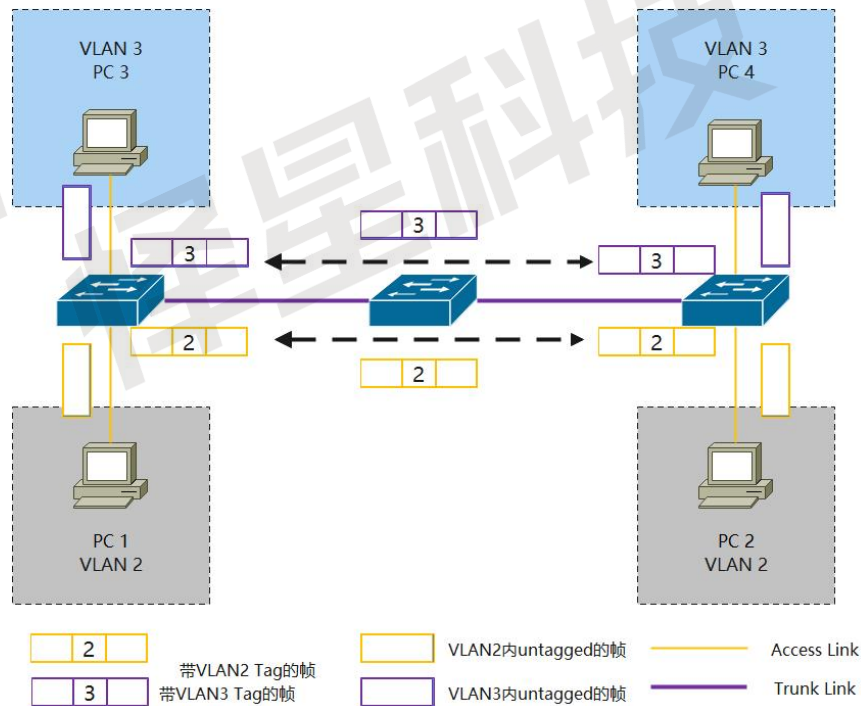
VLAN	接入端口	共享端口
VLAN 2	6	1
VLAN 3	4	1

## □ 汇聚链路 (Trunk Link)

- 连接交换机和交换机、交换机与路由器
- 能够承载多个不同VLAN的数据，能识别VLAN
- 传输的都是Tagged帧

## □ 访问链路 (Access Link)

- 连接终端与交换机
- 设定访问链接 (决定各端口属于哪一个VLAN)
  - 静态VLAN (Port Based VLAN)
  - 动态VLAN
    - 基于MAC地址的VLAN (MAC Based VLAN)
    - 基于子网的VLAN (Subnet Based VLAN)
    - 基于用户的VLAN (User Based VLAN)



## □ Access接口

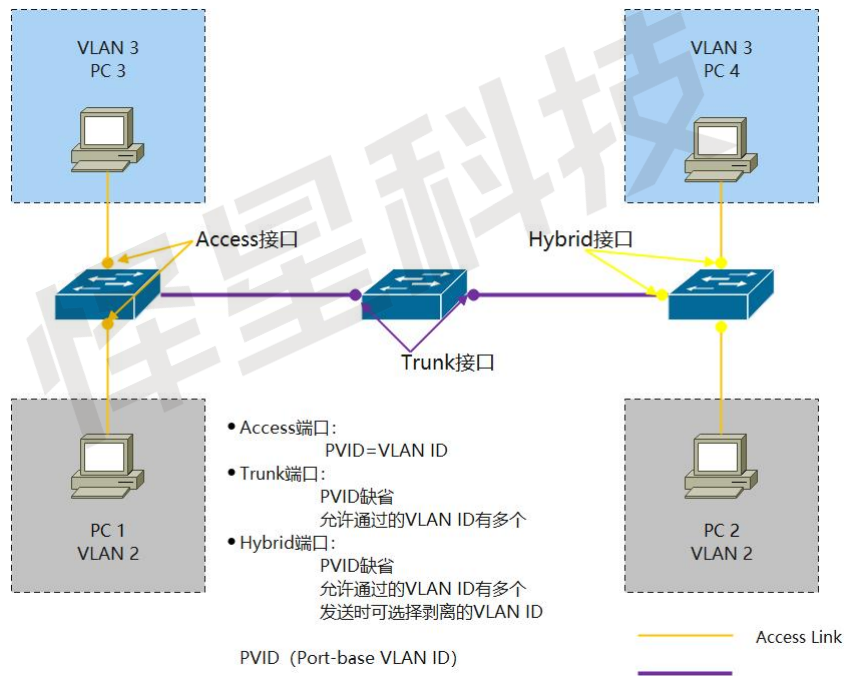
- ◆ 连接终端设备的接口（计算机的端口）
- ◆ 仅允许唯一的VLAN ID通过且与缺省VLAN ID相同
- ◆ 发往终端设备的帧永不带标签

## □ Trunk接口

- ◆ 连接其他交换机的接口（交换机之间端口）
- ◆ 允许多个不同VLAN的帧通过

## □ Hybrid接口（华为）

- ◆ 可连接终端设备可连接交换机（计算机或交换机的端口）
- ◆ 可允许多个VLAN的帧通过，可在出口方向剥离某些VLAN帧的Tag

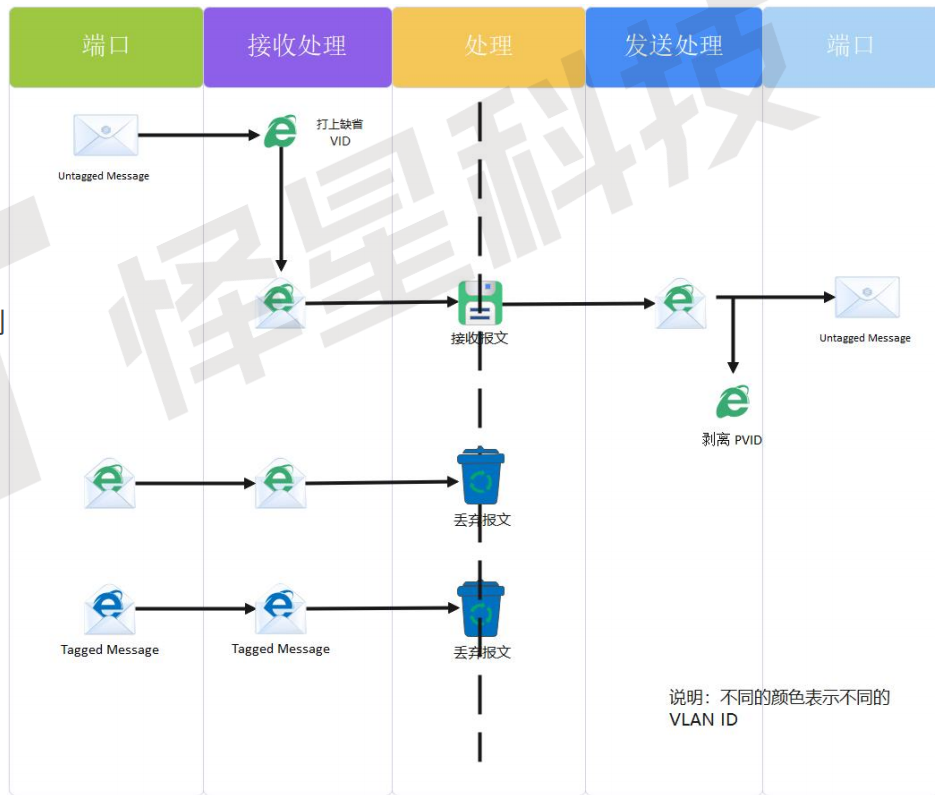


## □ 接收端口

- ◆ 交换机内部的数据帧一律都带有VLAN Tag
- ◆ 接收到的报文，如果没有VLAN，打上PVID转发
- ◆ 如果带有VLAN，与tagged端口匹配，直接转发，否则丢弃

## □ 发送端口

- ◆ 将报文的VLAN信息剥离，直接发送

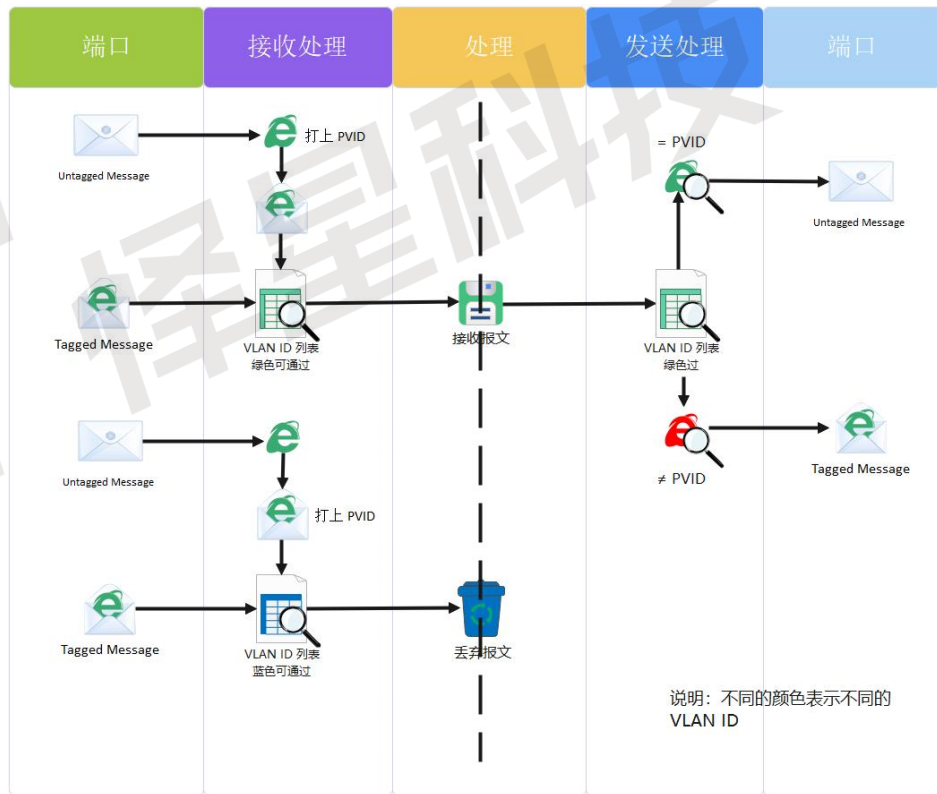


## □ 接收端口

- ◆ 交换机内部的数据帧一律都带有VLAN Tag
- ◆ 报文带有VLAN，判断端口是否准入（allow-pass vlan）
- ◆ 报文不带有VLAN，打上PVID后进行转发

## □ 发送端口

- ◆ 将要发送报文的VLAN与PVID不相等，直接转发
- ◆ 将要发送报文的VLAN与PVID相等，剥离VLAN后发送，不带tagged发送报文

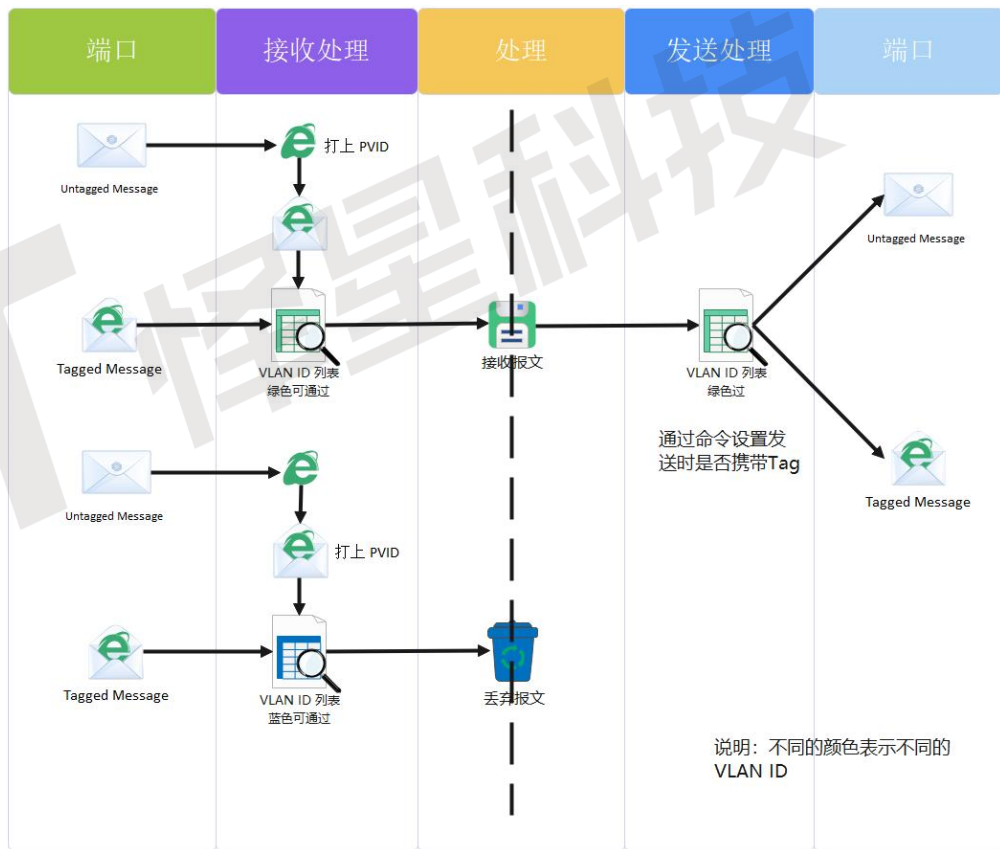


## □ 接收端口

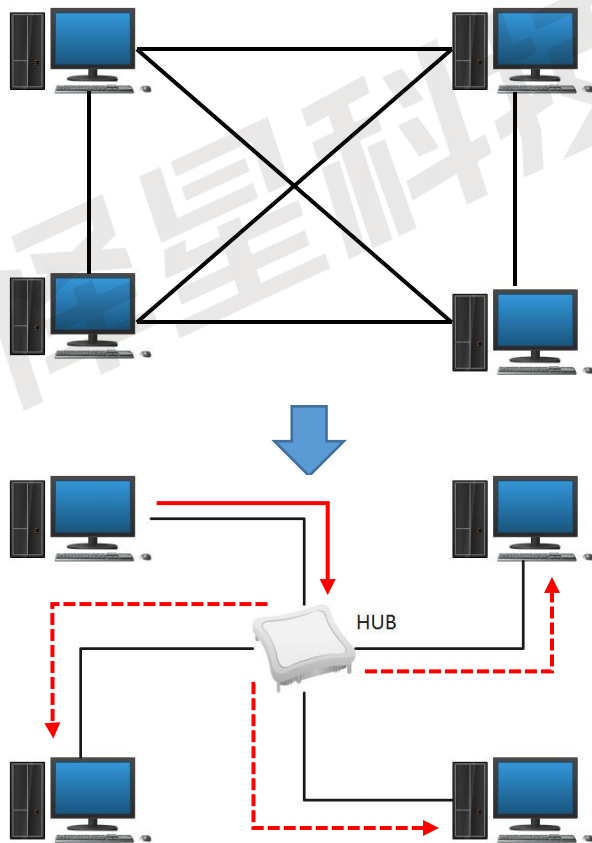
- ◆ 判断报文带有的VLAN是否准入 (allow-pass vlan)
- ◆ 报文不带VLAN, 打上PVID后转发

## □ 发送端口

- ◆ Tagged端口, 且VLAN在列表中, 直接转发
- ◆ unTagged端口, 剥离VLAN后发送



- 先出现单机
- 逐个连在一起，形成网络
  - ◆ 接口数量成倍增加
  - ◆ 复杂的网络布线
- 使用集线器的局域网特点
  - ◆ 物理层设备，仅检测设备连接到它
  - ◆ 多端口中继器（电信号放大并复制到各端口）
  - ◆ 广播每个端口 信息不安全
  - ◆ “单工” 数据传输效率低



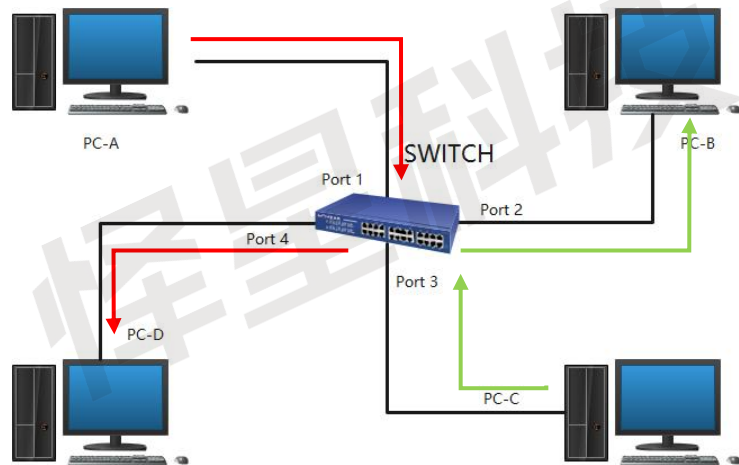


## □ 交换机的特点

- ◆ 数据链路层设备，可识别并记录MAC地址
- ◆ 拥有高带宽的背部总线和内部交换矩阵，同一时刻可以进行多端口之间的数据传输，高效率通信
- ◆ 传输模式有全双工，半双工，全双工/半双工自适应

## □ 交换机转发的基础

- ◆ 端口地址表 (Switch Table)
- ◆ 转发决策：丢弃、转发、扩散



SWITCH TABLE

PORT	DEVICE	MAC ADDRESS
1	PC-A	00-04-5A-63-A1-66
2	PC-B	32-07-9A-92-A2-00
3	PC-C	90-02-7B-C2-C0-67
4	PC-D	72-00-FA-63-A9-66

## □ 交换机的6个工作原理

- ◆ 基于源MAC地址学习
- ◆ 基于目标MAC地址转发
- ◆ 同一端口可学习多个MAC地址（主机厂可自主定制）
- ◆ 多个端口可以学习同一个MAC地址（主机厂可自己定制）
- ◆ 收到广/组播帧，向其他所有端口转发
- ◆ 目标MAC地址不在地址表中的帧，向其他所有端口转发（泛洪）

## □ 交换机的3个基本功能

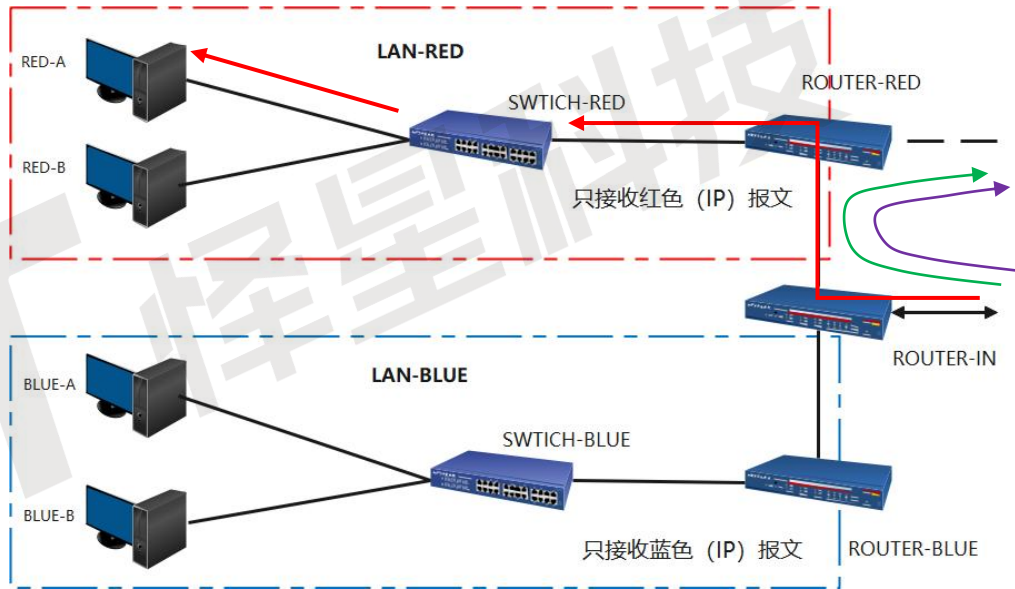
- ◆ 建立发送节点和接收节点的连接
- ◆ 建立和维护一个MAC地址与端口对应关系表
- ◆ 完成数据帧的转发和过滤

## □ 交换机的3种转发方式

- ◆ 直通式转发，收到帧后，不缓存不校验，直接发到目的端口
- ◆ 存储式转发，先存储整个数据帧，CRC校验，正确转发，不正确丢弃（车载网络主要采用的方式）
- ◆ 碎片隔离式转发，缓存数据大于64个字节再转发

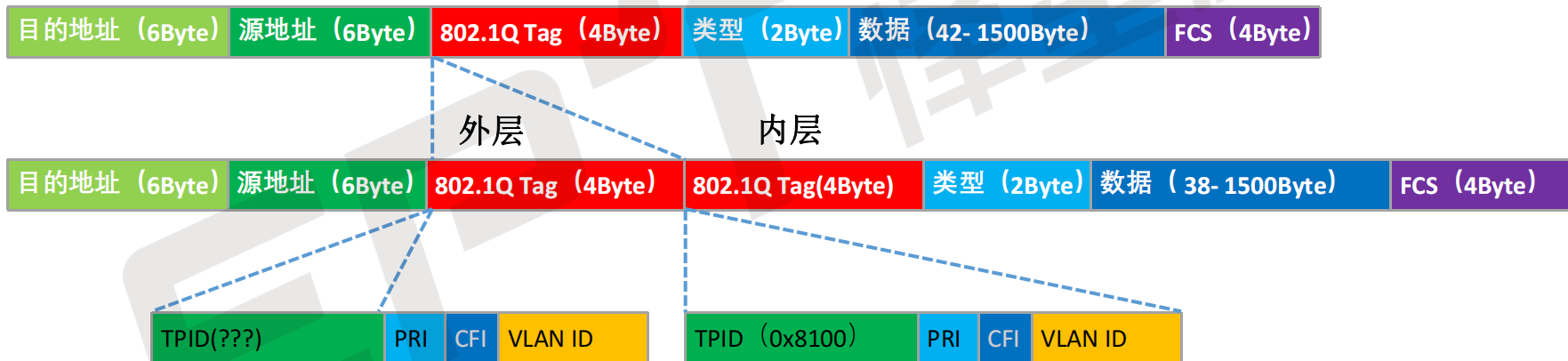
## □ Router (路由器) 的功能

- ◆ 实现不同网络的通信
- ◆ 需要读取IP地址
  - ◆ 收到数据帧
  - ◆ 检查IP地址 ->确认属于哪个网络
    - ✓ 属于其他网络 ->发送到另一个网络
    - ✓ 数据自己网络 ->接受该数据帧
  - ◆ 数据转发给交换机或终端



不同颜色标识不同的IP网段

- QinQ (802.1Q-in-802.1Q) 接口是使用QinQ协议的接口
- QinQ接口可以给帧加上双重Tag, 从而支持4094 X 4094个VLAN



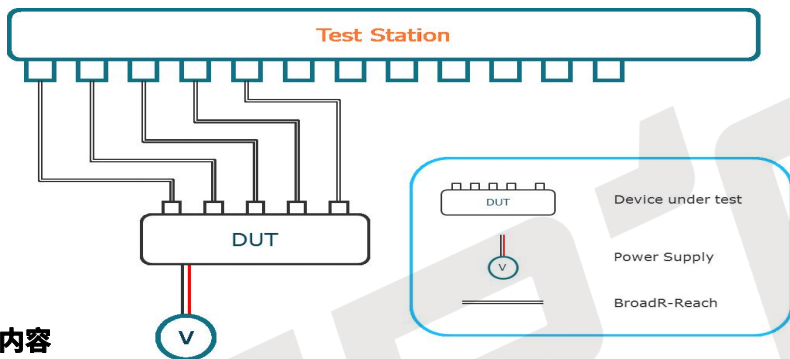
0x8100:思科路由器使用

0x88A8:Extreme Networks使用

0x9100: Juniper路由器使用

0x9200:Several路由器

参照标准：功能测试参考OPEN TC8标准 & 性能测试 RFC2544 & RFC2889



## 测试内容

### • 功能测试

- VLAN配置 • 地址学习 • 帧过滤
- 端口镜像 • 启动时间 • Qos

## 主要测试设备和软件

功能测试：CANoe+Option Ethernet+vTESTstudio+VN5650

### • 性能测试

- 吞吐量 • 丢包率 • 时延
- 背靠背帧 • 转发速率 • 拥塞控制

## 主要测试设备和软件

性能测试：Novus ONE+IxNetwork Bundle包

- 数据链路层概述
- MAC和Ethernet帧
- VLAN
- 集线器、交换机、路由器介绍
- 数据链路层测试解决方案

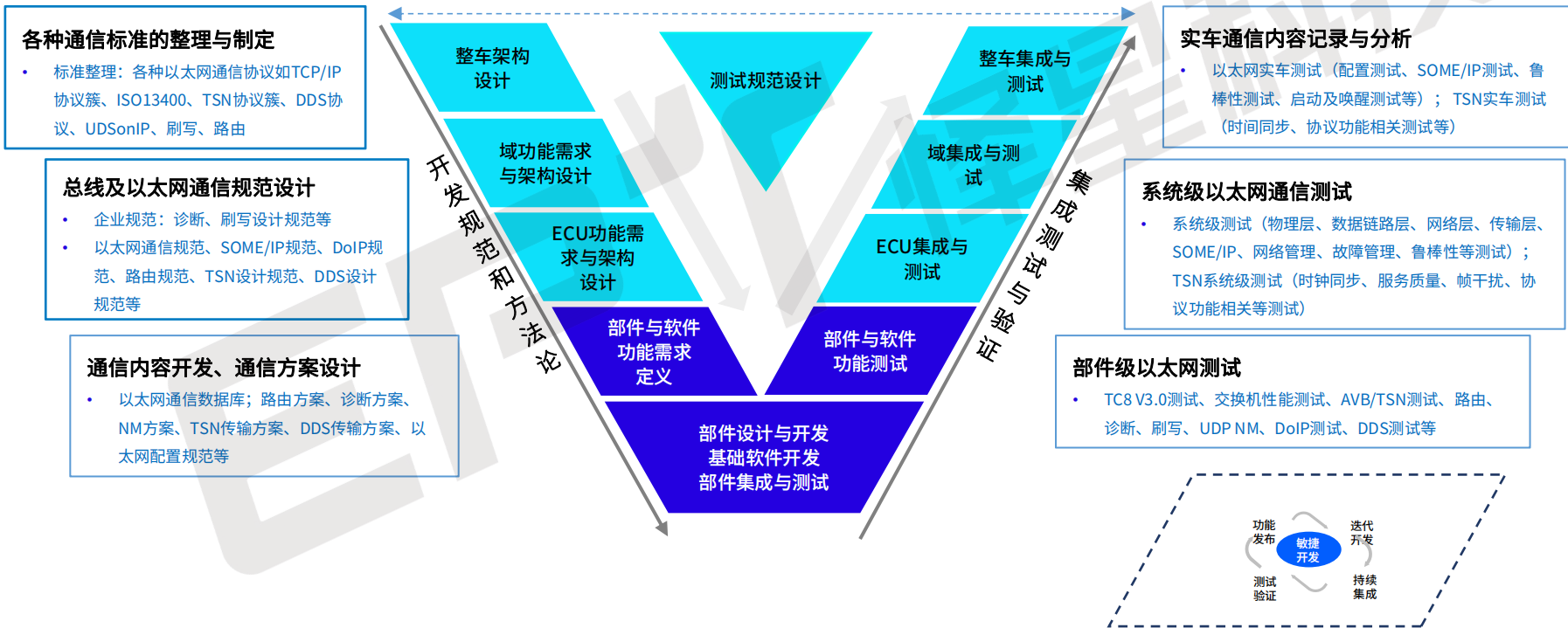
04

恻星以太网测试解决方案

以太网

恻星科技

# 面向“V+Agile”开发流程，端到端覆盖各阶段测试验证





# 主流汽车以太网测试方案，在使用过程中的痛点或困难点

当前国内主流汽车以太网测试方案，通常为是一套能够覆盖从L1到L7的全面测试方案

## 整套设备昂贵，占用大量资本

众所周知以太网机柜和台架的成本较高，目前市面上基本都是采用进口硬件方案进行测试。尤其是物理层测试设备，可能会占整套设备费用的40%以上

## 机柜拓展性低

因机柜通常为19寸标准机柜，而且每套机柜都是有特定的接线设计，以保证整体机柜的连通性和美观度，会导致设备扩展性较差


## 测试机柜使用不灵活


测试机柜通常会把L1~L7的测试设备安装到一起，进行特定线束连接设计，且通常放置在测试实验室里。会导致不同测试设备不方便进行移动，不方便单独使用，不方便在办公室进行快速调试

## 对测试人员能力要求较高


以太网协议和测试标准内容庞杂，涉及知识面较广，要测试好以太网必须了解相应协议内容，对测试人员要求较高


## 测试设计


 以太网 测试规范/用例设计

 AVB/TSN 测试规范设计


## 测试设备


 部件级/系统级/实车级 (标准产品/定制化)


 机柜/桌面机/台架 (标准产品/定制化)

 测试软件包 (TC8, 自定义定制)


## 测试服务

 测试认证服务


 测试实施服务

 测试培训服务


## 自研能力保障

 故障注入模块


以太网:  
以太网故障仿真模块

 以太网测试模块

IOP测试:  
IOPTester  
媒介转换:  
T1/Tx 转换模块

 嵌入式插件

TCP/IP测试:  
UpperTester  
SOME/IP测试  
ETS

 测试管理平台

测试管理平台:  
SolarSystems  
测试服务平台:  
eTaas



ETH测试设备		Neptune				Neptune mini
		ETH0200A	ETH0208A	ETH0216A	ETH0416A	
服务层级	部件级	●	●	●	●	●
	系统级	●	●	●	●	/
	实车级	/	/	/	/	●
测试范围	PMA测试	●	●	●	●	/
	IOP测试	●	●	●	●	/
	Switch功能测试	●	●	●	●	○
	Switch性能测试	○	●	●	●	/
	AVB/TSN	○	●	●	●	/
	AUTOSAR L3-L4协议一致性测试	●	●	●	●	●
	TC8 L3-L7协议一致性测试	●	●	●	●	●
	应用层测试 (DoIP/UDS/DDS/刷写/路由等)	●	●	●	●	○

## SmartETH

- TC8 3.0标准闭源测试软件
- TC8 3.0标准开源测试软件
- DoIP闭源/开源测试软件

## Option.Hardware

- 程控电源
- USB加密狗
- ETH4620 (可选)

## Option.Service

- 物理层测试服务
- TC8 3.0标准测试服务
- DoIP测试服务

## UT/ETS



### UT 嵌入式插件

- UT集成:  
UT binary for POSIX  
UT binary for AUTOSAR-CP
- UT源码:  
UT Source for Linux  
UT Source for Android  
UT Source for QNX  
UT Source for Vector-CP  
UT Source for LwIP  
UT Source for OEM



### ETS 嵌入式插件

- ETS集成:  
ETS binary for POSIX  
ETS binary for AUTOSAR
- ETS源码:  
ETS Source for vSOMEIP  
ETS Source for AUTOSAR  
ETS Source for OEM

- 物理层-PMA测试服务
- 物理层-IOP测试服务
- L2层-Switch功能测试服务
- L2层-Switch性能测试服务
- L3~4层-TCP/IP测试服务
- L5~7层-SOMEIP测试服务
- L5~7层-DHCP测试服务
- UT集成服务 (全栈系统)
- ETS集成服务 (全栈系统)

非常灵活的配置，能够依据不同客户的需求进行组合：是否购买物理层测试设备、是否购买L2性能测试设备、是否具备UT/ETS的开发与集成能力等

SmartETH产品因其配置灵活性，能够满足非常多的应用场景，以下列举常见使用场景：

## 场景1：

适用于不想做或不需要做L1/L2层测试的客户

### TC8 L3~L7协议一致性测试

需求内容：仅做TCP/IP协议及SOME/IP协议一致性测试,客户在被测样件中已经集成好自行开发的UT及ETS测试代码或者寻求EPT的UT/ETS。不进行物理层及数据链路层测试（通常此两层测试不会进行很多次迭代）

## 场景3：

适用于DoIP协议及从应用到底层的一致性测试

### TC8及DoIP协议一致性测试

需求内容：TC8 ETH测试(IPV4/UDP/TCP)及DoIP协议的一致性测试，不包括物理层及数据链路层测试，且客户的样件里没有UT及ETS。

## 场景2：

适用于不想大量投资L1/L2层设备但仍需测试的客户

### TC8 L1~L7协议一致性测试

需求内容:物理层测试服务、数据链路层性能测试服务、TCP/IP协议、SOME/IP协议、DHCP协议一致性测试，且客户的样件没有UT及ETS。

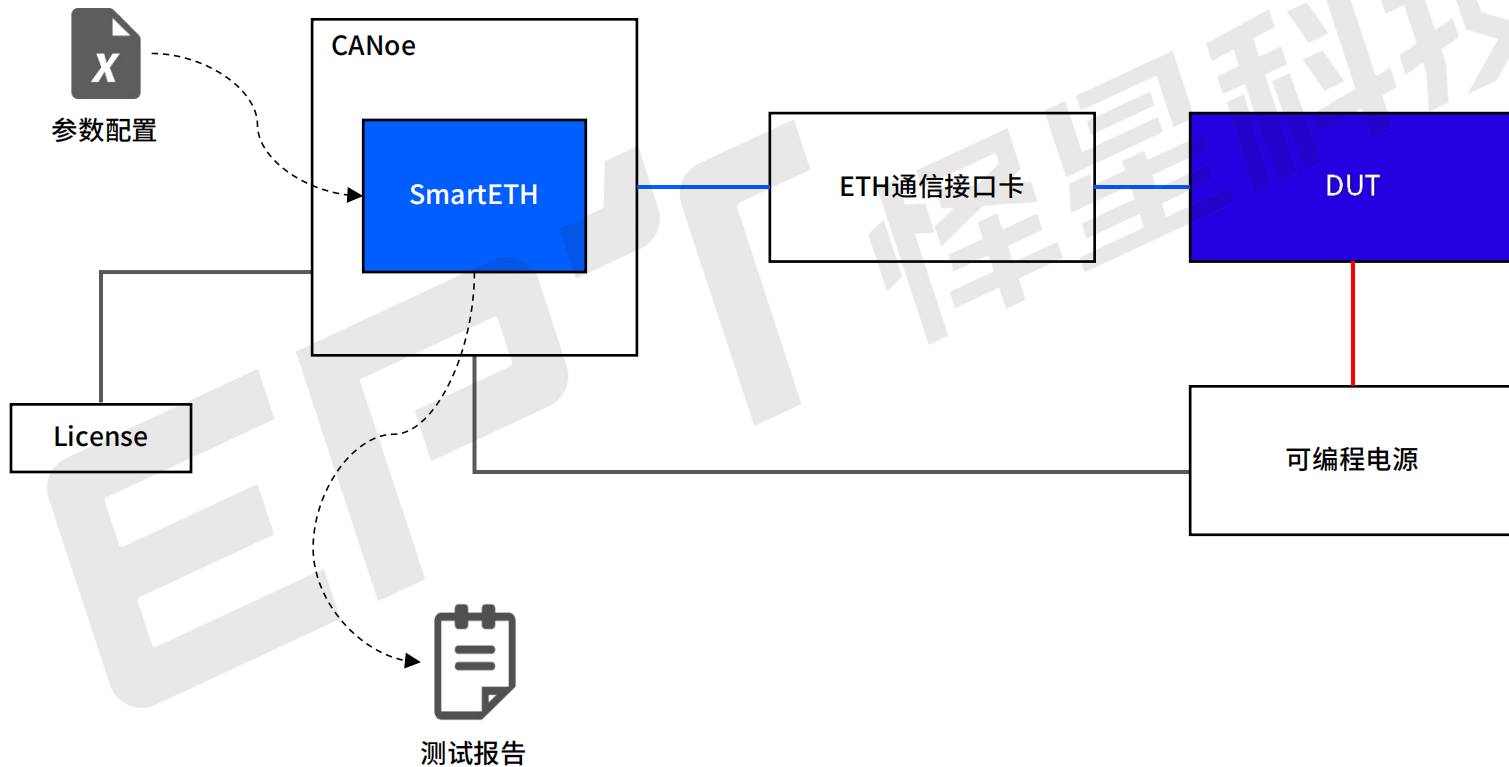
## 场景4：

适用于不想买任何设备，整个测试都外包出去的客户

### 汽车以太网测试服务

需求内容:根据客户样件提供全面的测试服务,输出测试报告。测试项包括:TC8 L3~L7协议一致性测试,L2Switch功能测试,RFC2554/RFC2889交换机性能测试,100BASE-T1/1000BASE-T1IOP和PMA测试。

\*可根据客户实际使用场景随意搭配，以满足客户的测试需求。



- ✓ 测试软件严格遵照OPEN Alliance TC8 V3.0标准
- ✓ 不同测试模块使用统一的参数配置入口；对全部参数整理、归纳、分类，降低了软件使用难度和学习成本
- ✓ 灵活勾选测试用例，一键执行
- ✓ 提供与TC8 V3.0步骤一一对应的详细HTML测试报告
- ✓ 支持输出Excel测试报告，并支持定制风格样式
- ✓ 提供高度适配测试软件的UpperTester、SOME/IP-ETS可选产品，提高TC8测试效率
- ✓ 测试软件默认适配怪星推荐的硬件环境(eg.可编程电源、Neptune系列测试系统)，即装即用
- ✓ 软件框架设计巧妙，易于扩增其他通信协议测试，增量升级高效
- ✓ 专业测试工程师团队提供高效、可靠、准确的一站式测试服务

# 让每一台智能汽车都有我们的贡献



微信公众号



小怪助手

- 网站: [www.e-planet.cn](http://www.e-planet.cn)
- 电话: +86 21-53393860
- 邮箱: [mkt@eptcom.com](mailto:mkt@eptcom.com)
- 总部地址: 上海市徐汇区田林路487号宝石园20号楼25层