UNI-T

航空航天总线协议分析

MIL-STD-1553\ARINC429



引言

自 70 年代起，鉴于微电子、计算机以及控制论的进步，航空电子系统的发展愈发迅猛。上世纪 80 年代，美国特意制定了军用 1553 系列标准与 ARINC 系列标准，让数据总线变得更为规范。当下自动化程度较高的军、民用飞机，诸如 F16、F-117、幻影 2000、空客等，均采用了数据总线技术。数据总线技术在我国航空电子系统的设计领域，已有十数年的设计及使用经验，在 2024 年 8 月 9 日。中国国航首架国产客机 C919 试飞，标志中国航空从一个机型到一个产业，成为航空产业发展的新引擎。下面我将为大家解开神秘的航空航天总线-MIL-STD-1553，ARINC429。

本文主要介绍：

- MIL-STD-1553\ARINC429 总线协议的物理层和帧结构
- 介绍如何使用示波器进行航空总线分析
- 介绍完整的分析细节帮助测量航空总线
- 介绍如何配置航空总线的解码和触发
- 为航空协议测试人员提供强大的总线分析功能

MIL-STD-1553

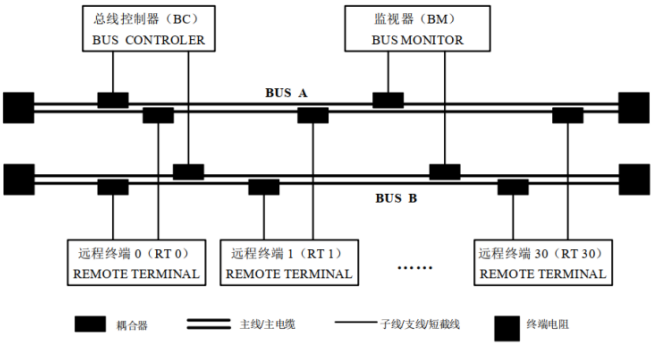
MIL-STD-1553 总线全称是飞机内部时分制命令/响应式多路复用数据总线，1553B 是该总线的简称。美国 SAE A2K 委员会于 1973 年公布 MIL-STD-1553 标准，并于 1986-1993 年进行修订和补充，我国也颁布与之对应的军标 GJB289A-97。1553B 总线的主要功能是为所有连接到总线上的航空电子系统提供综合、集中化的系统控制和标准接口。该技术首次应用于美国空军 F-16 战斗机，并在过去 30 年应用于其他领域，如导弹控制、船舶舰船、民航飞行器以及海军和陆军的武器和维护系统中，随着国防现代化的建设和武器系统的升级，我国也开始大量将 1553B 运用到武器系统设计中。

1553B 特点：

该总线采用冗余的总线型拓扑结构，采用屏蔽双绞线进行数据传输，传输数据率可达 1Mbps，足以满足第三代作战飞机的要求。其字长度 20bit，数据有效长度为 16bit，采用曼彻斯特码进行编码传输，具有双向传输性。1553B 总线系统主要由总线控制器（BC）和远程终端（RT）和总线监视器（BM）组成，信息格式有 BC 到 RT、RT 到 BC、RT 到 RT、广播方式和系统控制方式。1553B 总线的冗余度设计，提高了子系统和全系统的可靠性。

优势总结：

- 实时性好，1553B 传输速率为 1Mbps，每条消息最多包含 32 个字，传输一个固定不变的消息所需时间短。数据传输速率比一般的通讯网络高。
- 合理的差错控制措施和特有的方式命令-反馈重传纠错法，确保数据传输的完整性。当 BC 向某一 RT 发出一个命令或消息时，终端应在给定的响应时间内发回一个状态字，如果传输消息有误，终端将拒绝发回状态字，由此确认消息传输无效。特有的方式命令不仅使系统能完成数据通信任务，还能检查故障完成容错管理。
- 总线效率高。总线形式的拓扑结构对总线效率要求高，涉及总线效率指标的强制性要求有严格的限制。
- 高水平的电器保障性能。采用电气屏蔽和总线耦合方式，每个节点都能安全与网络隔离；减小了潜在的损坏计算机设备的可能。



1553B 总线网络拓扑图结构

1553B 协议规范：

1553B 数据总线传输速率为 1Mbps，以命令/响应方式进行数据消息的传输，传输字长度为 20 位，采用半双工通信方式，同时对于故障容错采用了双冗余系统（使用 AB 两条线传输，若 A 断开就使用 B 线传输），在实际中第二条通道处于热备

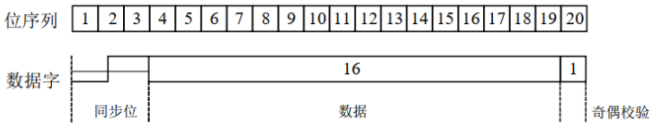
份状态，总线控制器启动并控制 1553B 数据总线上的所有数据消息传输。

1553B 总线共有 10 种消息传输格式，每条消息最长由 32 个字组成，所有字分为三类：命令字、数据字和状态字，每类字的长度为 20 位，有效信息位是 16 位，每个字的前 3 位为单子的同步字头，最后一位为奇偶校验位。同步字头占 3 位，先正后负为命令字和状态字，先负后正为数据字。

命令字：



数据字：



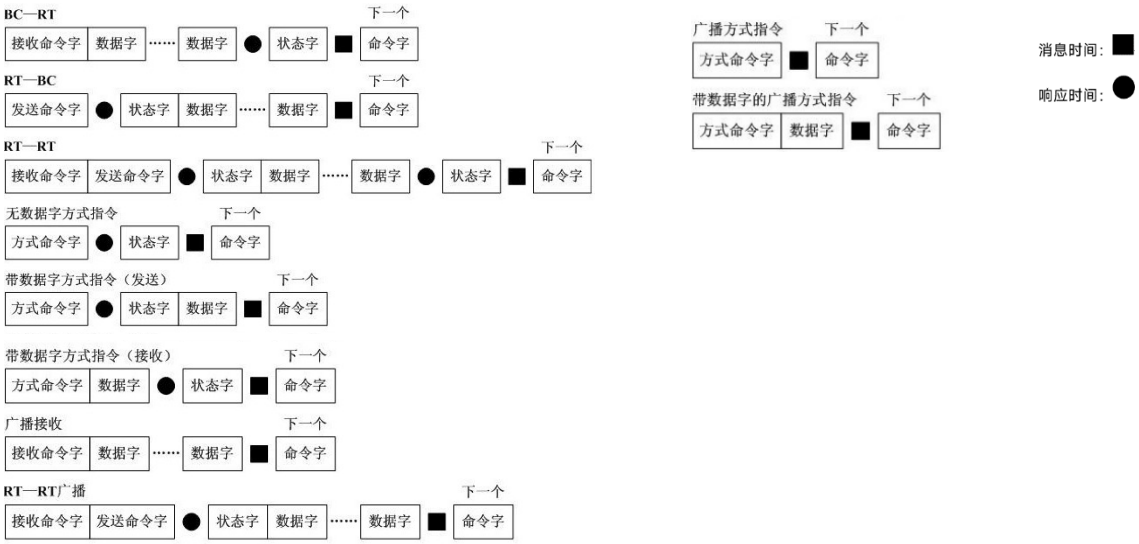
状态字：

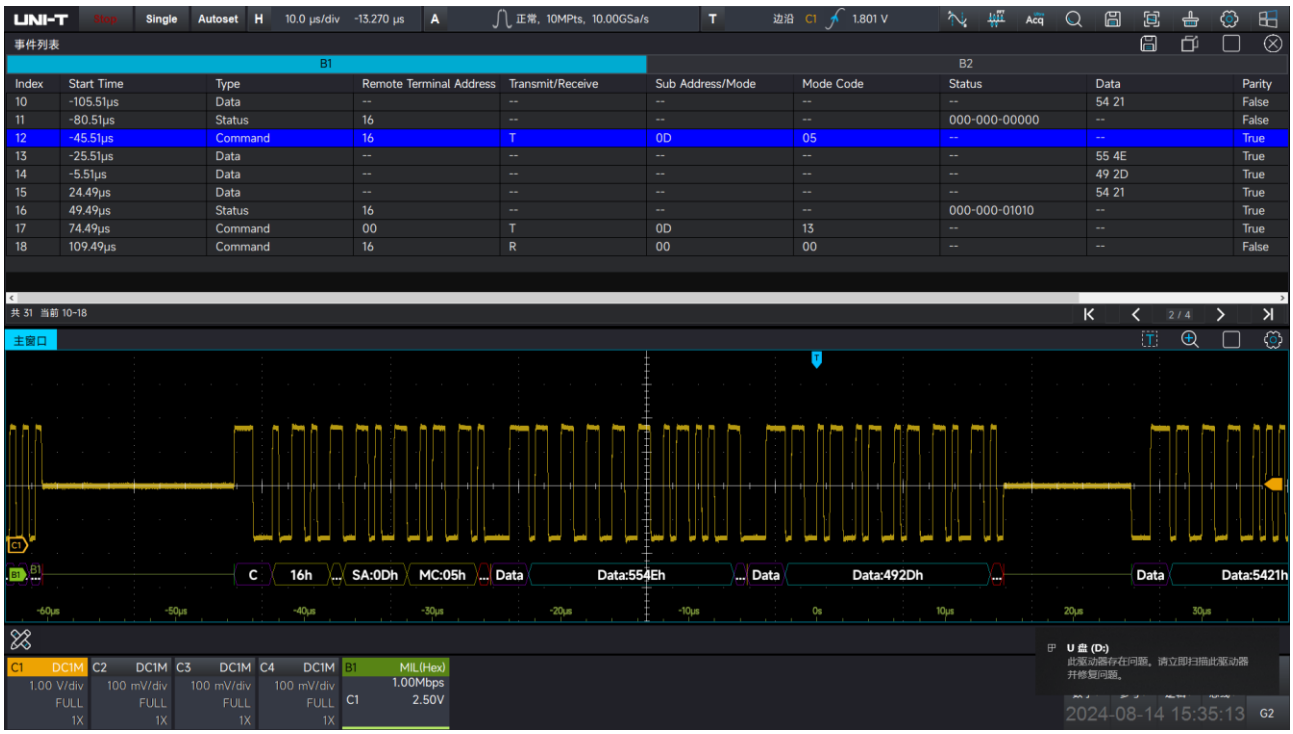


在这三种类型字中，命令字位于每条消息的起始部分，其内容规定了该次传输的具体要求。状态字只能从 RT 发出，它的内容代表 RT 对 BC 发出的有效命令的反馈。BC 可以根据状态字的内容来决定下一步操作。数据字既可以从 BC 传输到某 RT，也可以从某 RT 传输到 BC，或者从某 RT 传输到另一 RT，内容代表传输的数据

1553B 总线消息传输过程：

总线控制器向某一终端发布一个接收/发送指令，终端在给定响应时间范围发回一个状态字并执行消息的接收/发送。BC 通过验收 RT 回答的状态字来检验传输是否成功并做后续操作。





设置 1553B 总线解码

在配备 MIL-STD-1553 解码和触发的 MSO7000X 示波器上，按下前面板 BUS 按钮或点击屏幕右下角总线 + 标签进入协议分析功能，再次点击下方 B1 通道标签进入解码设置，为了示波器能正确理解输入的总线信息，需要输入信号类型的一些基本参数。



- 协议选择：MIL-STD-1553
- 源：C1-C4
- 波特率：1Mbps/10Mbps/自定义
- 高阈值：信号高电平阈值
- 低阈值：信号低电平阈值
- 极性：正极性/负极性

设置 1553B 总线触发

1553B 总线触发器可以触发基于特定字的条件采集当触发设置正确后，示波器将捕获与指定事件相同条件的所有输入信号



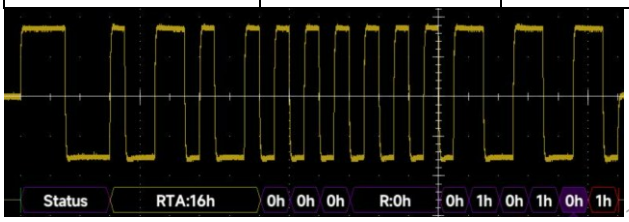
- 命令帧：在格式为命令字的帧触发
- 状态帧：在格式为状态字的帧触发
- 数据帧：在格式为数据字的帧触发
- CRC 校验错：校验错误时触发

解析 1553B 总线消息

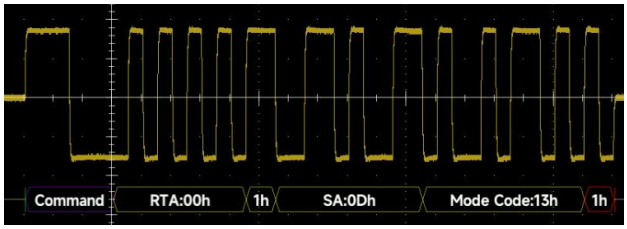
解析 1553B 总线信息时，示波器采用带颜色的编码图形表示 1553B 消息的信息。

由于帧长度的影响，编码图形无法一次将全部的消息信息展示，可以通过点击对应颜色的编码图形，将隐藏的信息完全展示，此外，消息信息内包含了对错误编码的自检，一旦发现错误，它将自动标识出来。

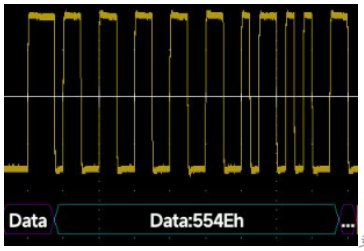
编码图形	消息	描述
C	Type 段	由一个绿色的标识符 + 紫色标识符组成，用于表示该帧的字类型，Command 表示命令字，Data 表示数据字，Status 表示状态字
RTA:16h	远程终端地址段	淡黄色标识符，用于表示远程终端的地址，仅在命令字和状态字
1h	发送/接收位	淡黄色标识符，1 位的发送和接受位，仅在命令字
SA:0Dh	子地址/方式	淡黄色标识符，5 位，用于标识子节点地址，仅在命令字
Mode Code:05h	方式码	淡黄色标识符，5 位，仅在命令字
1h	奇偶校验位	红色标识符，1 位，在三个字类型的结尾出现，状态字仅奇校验
Data:554Eh	数据段	淡蓝色标识符，紧接着 Type 段，且 type 类型为数据字，数据位 16 位有效数据，数据段之后，结尾由一位奇偶校验位组成
Status RTA:16h 0h	消息差错	紫色标识符，在状态字的 5 位远程终端地址之后，1 位
Instrumentation:0h	测量手段	紫色标识符，在状态字的消息差错位之后，1 位
Service Resquest:0h	服务请求	紫色标识符，在状态字的测量手段位之后，1 位，用于发送服务请求
R:0h	保留位	紫色标识符，作为保留位，共 3 位
0h 1h 0h 1h 0h		保留位后五位分别是，广播指令接收、忙等待、子系统标识，动态总线控制接收以及终端标识。使用紫色标识符标识。



状态字波形和帧格式



命令字波形和帧格式



数据字波形和帧格式

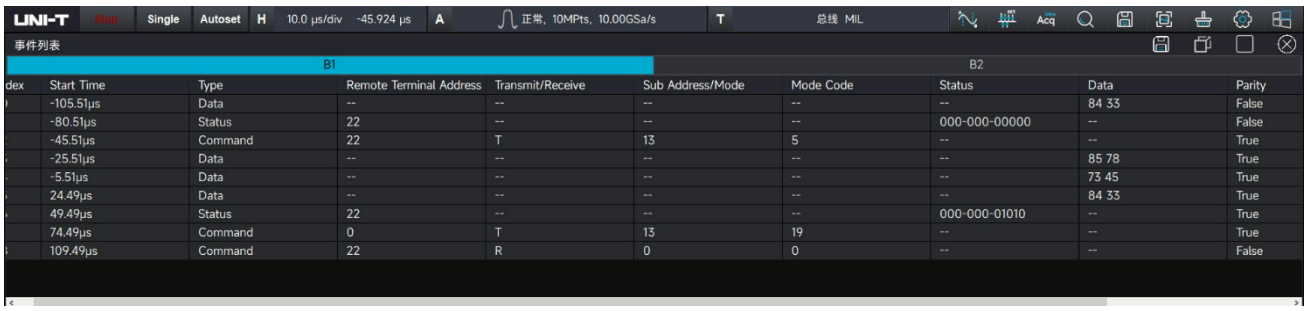
对于固件工程师来说，快速的 Debug 是行之有效的手段，事件列表可以帮助您在大量的报文消息中寻找到关键的信息，这种带有时间戳的事件解析列表可以记录从开始到时间结束的总线活动，你可以点击某一时间点的事件，跳转到对应链接波形，还可以使用协议搜索功能，搜索出预想的总线事件。



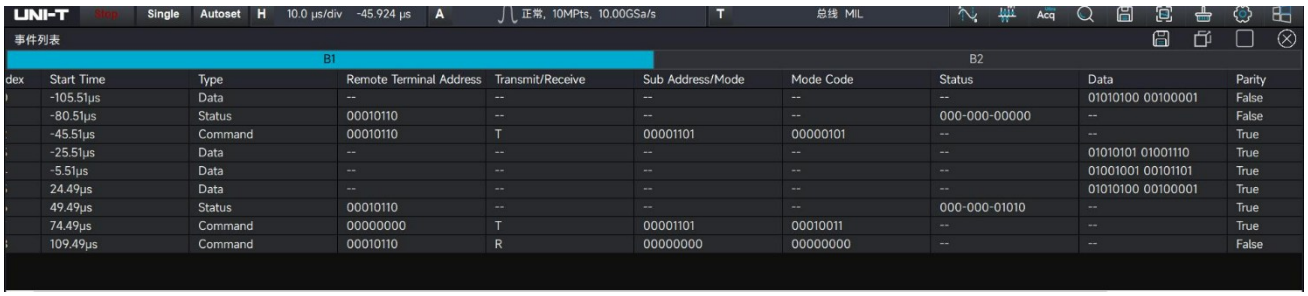
您不必注重对 1553 总线解码过程的复杂格式转化，对编码译码中繁琐的转化工作可以交给示波器来完成。比如，您可以使用大家都易懂的 ASCII 编码来确定传输数据正确性，一旦错误，可以记下这个时间戳，将译码转化为 16 进制或二进制的方式去定位机器编码的故障。在这个阶段，事件列表很容易将错误的信息记录，您可以导出译码数据表分析二进制数据的传输和波形的关系。



十六进制

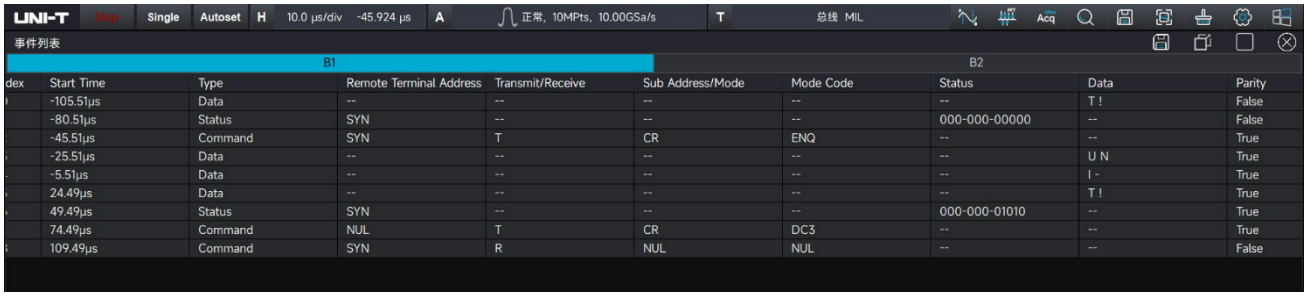


十进制



dex	Start Time	Type	Remote Terminal Address	Transmit/Receive	Sub Address/Mode	Mode Code	Status	Data	Parity
	-105.51µs	Data	--	--	--	--	--	01010100 00100001	False
	-80.51µs	Status	00010110	--	--	--	000-000-00000	--	False
	-45.51µs	Command	00010110	T	00001101	00000101	--	--	True
	-25.51µs	Data	--	--	--	--	--	01010101 01001110	True
	-5.51µs	Data	--	--	--	--	--	01001001 00101101	True
	24.49µs	Data	--	--	--	--	--	01010100 00100001	True
	49.49µs	Status	00010110	--	--	--	000-000-01010	--	True
	74.49µs	Command	00000000	T	00001101	00010011	--	--	True
	109.49µs	Command	00010110	R	00000000	00000000	--	--	False

二进制



dex	Start Time	Type	Remote Terminal Address	Transmit/Receive	Sub Address/Mode	Mode Code	Status	Data	Parity
	-105.51µs	Data	--	--	--	--	--	T !	False
	-80.51µs	Status	SYN	--	--	--	000-000-00000	--	False
	-45.51µs	Command	SYN	T	CR	ENQ	--	--	True
	-25.51µs	Data	--	--	--	--	--	U N	True
	-5.51µs	Data	--	--	--	--	--	I -	True
	24.49µs	Data	--	--	--	--	--	T !	True
	49.49µs	Status	SYN	--	--	--	000-000-01010	--	True
	74.49µs	Command	NUL	T	CR	DC3	--	--	True
	109.49µs	Command	SYN	R	NUL	NUL	--	--	False

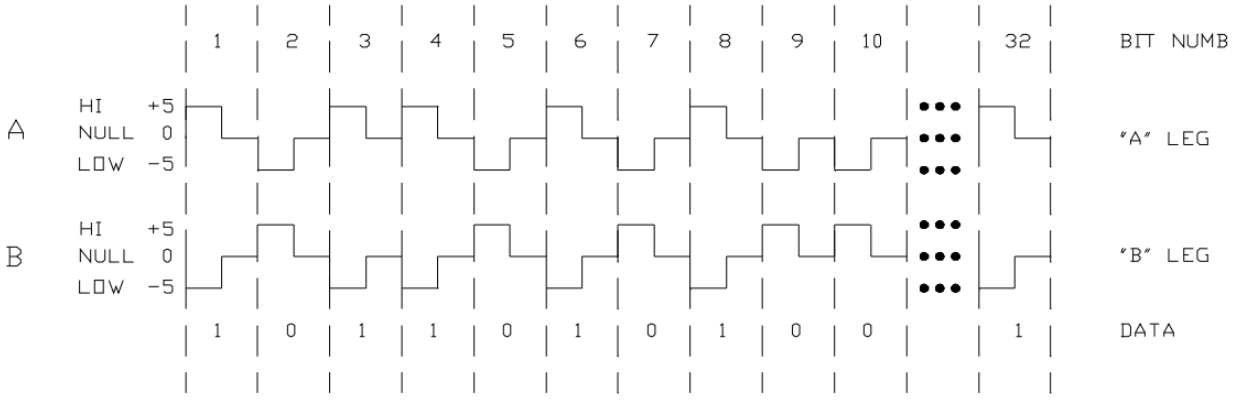
ASCII 码

ARINC429

ARINC429 是商用飞机和运输机运用最广泛的总线之一，ARINC 是美国航空无线电公司（Aeronautical Radio INC.）的缩写，ARINC429 总线协议是美国航空电子工程委员会于 1977 年 7 月提出发表并获批准使用，它的规范全称是数字式信息传输系统（Digital Information Transfer System，DITS）。协议规定了航空电子设备及有关系统间的数字信息传输要求，国内与之对应的标准是 HB6096-SZ-01。ARINC429 广泛应用在先进的民航客机中，如 B-737、B-757、B767 等。

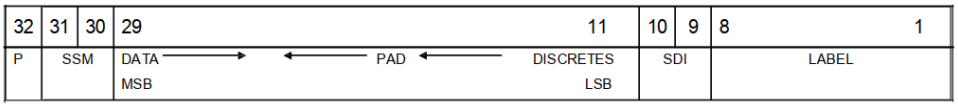
ARINC429 总线特性：

- 单向数据总线。ARINC429 只能以一个方向传输数据，信息只能从通信设备的发送口输出，经传输总线传至与它相连的其他设备，若两个设备之间需要双向传输时，则每个方向各用一条独立的传输总线；
- 采用屏蔽双绞线电缆进行数据传输，减少外部电磁波干扰；
- 传输拓扑网络中只允许有一个发送器，但可以有多个接收器（最大 20 个）；
- ARINC429 使用+5V 的高电压，-5V 的低电压，在+5V 与-5V 之间有一个 0V 置为空（Null）；
- 采用双极性归零的三态码的调制方式：调制信号由“高”、“零”、“低”三种电平状态。信号从高电平回归到零电平表示逻辑 1，信号从低电平回归到零电平表示逻辑 0。
- 传输速率：低速 12.5kb/s，高速 100kb/s，高速和低速不能在同一条总线上传输。

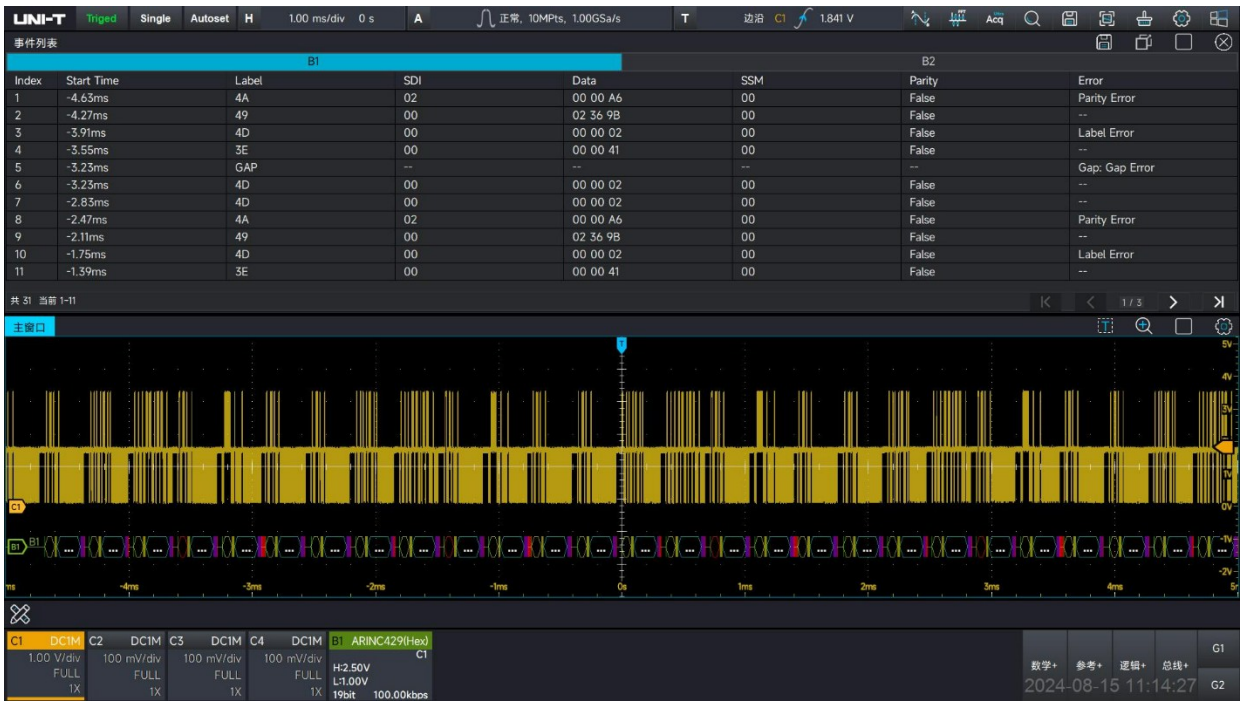


ARINC429 的协议帧

在协议层，一个数据包传输 32bit 数据，先传输低位再传输高位



- bit1~bit8：称为 Label 域，用于表示数据类型。这个数据类型是指，该次传输的数据是与飞行器上哪个子系统相关的。
- bit9~bit10：SDI，表示数据目的地，更常用的表示数据起源地。
- bit11~bit29：数据域，用 BCD 码或者 BNR 码表示，这两种编码格式可以混合使用。
- bit30~bit31： SSM（Signal/Status Matrix），用于描述某次传输的数据性质。
- bit32：P，奇偶校验位，ARINC429 使用奇校验，检查方法是当由 1 位到 31 位所出现的高电平的位数（即 1 的数）的总和为偶数时，则在第 32 位上为“1”。如果为奇数，则显示为“0”。



设置 ARINC429 总线解码

在配备 ARINC429 解码和触发的 MSO7000X 示波器上，按下前面板 BUS 按钮或点击屏幕右下角总线 + 标签进入协议分析功能，再次点击下方 B1 通道标签进入解码设置，为了示波器能正确理解输入的总线信息，需要输入信号类型的一些基本参数。



- 协议选择：ARINC429
- 源：C1-C4
- 波特率：12.5k/100k/自定义
- 高阈值：信号高电平阈值
- 低阈值：信号低电平阈值
- 极性：正极性/负极性
- 解码模式：19bit/21bit/23bit

（19bit：数据、21bit：数据+SDI、23bit：数据+SDI+SSM。）

设置 ARINC429 总线触发

ARINC429 总线触发器可以触发基于特定字的条件采集

当触发设置正确后，示波器将捕获与指定事件相同

条件的所有输入信号



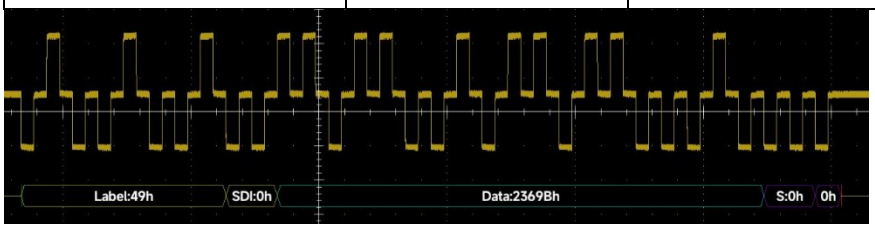
- 帧起始：在 429 协议帧的起始位置上触发；
- 标签：在特定的 Label（标号位）触发，告诉你传输数据的类型；
- 源或目的标识符（SDI）：在特定的源终端识别位上触发，告诉你这些数据从何而来，到哪个系统中去；
- 数据：在特定的数据触发。
- 标志和状态位：在特定的符号状态位上触发，它表示数据的特性如南、北、正、负或它的状态
- 校验错：在校验错误时触发，ARINC429 采用奇校验方式。

解析 ARINC429 消息

解析 ARINC429 总线信息时，示波器采用带颜色的编码图形表示 ARINC429 消息的信息。

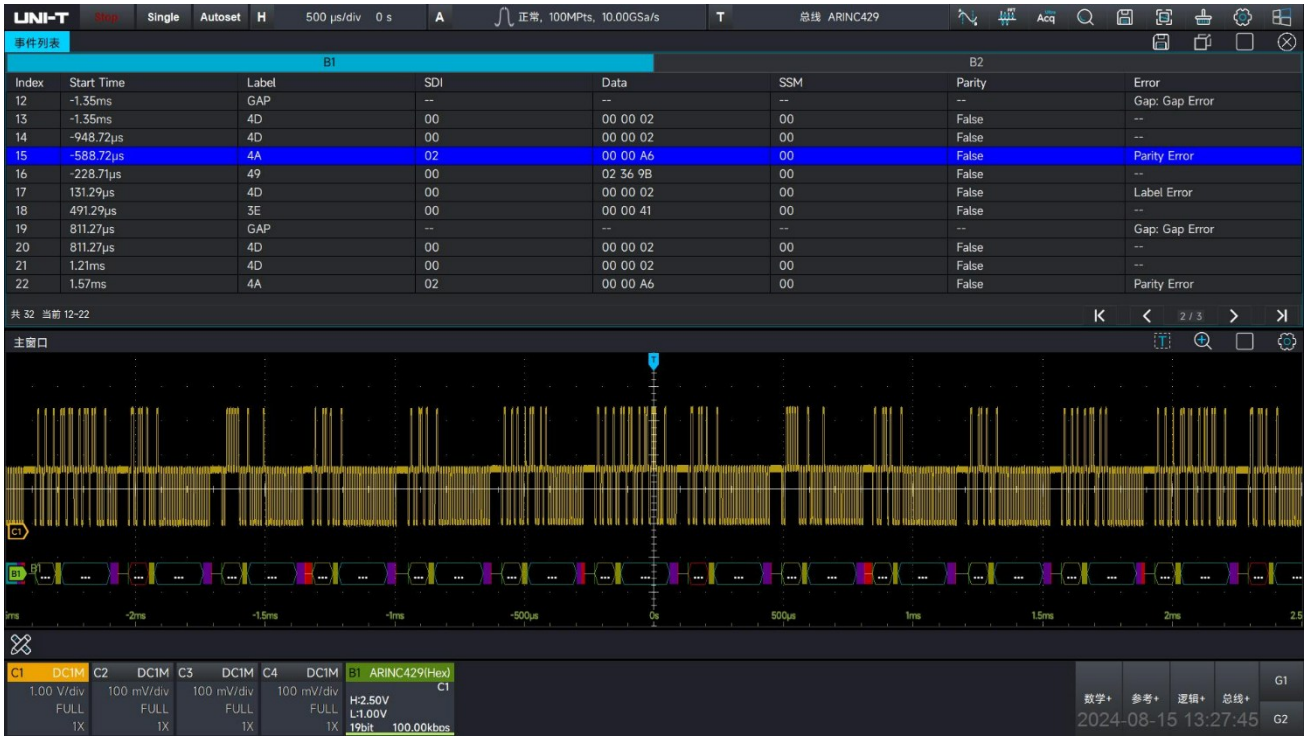
由于帧长度的影响，编码图形无法一次将全部的消息信息展示，可以通过点击对应颜色的编码图形，将隐藏的信息完全展示，此外，消息信息内包含了对错误编码的自检，一旦发现错误，它将自动标识出来。

编码图形	消息	描述
Label:4Dh	Label 域	由一个绿色的开始位置标识+淡黄色标识符标识，Bit1-Bit8
SDI:0h	SDI（源终端识别）	淡黄色标识符，用于表示数据目的地，更常用于标示数据起源地，Bit9-Bit10
Data:00002h	数据域	淡绿色标识符，用 BCD 码或 BNR 码表示，Bit11-Bit29
S:0h	SSM（标志和状态位）	紫色标识符，用于描述某次传输的数据性质，Bit30-Bit31
0h 0h	校验位	校验正确使用紫色标识符，校验错误使用红色标识符，Bit32



ARINC429 波形和帧格式

对于固件工程师来说，快速的 Debug 是行之有效的手段，事件列表可以帮助您在大量的报文消息中寻找到关键的信息，这种带有时间戳的事件解析列表可以记录从开始到时间结束的总线活动，你可以点击某一时间点的事件，跳转到对应链接波形，还可以使用协议搜索功能，搜索出预想的总线事件。



您不必注重对 ARINC429 总线解码过程的复杂格式转化，对编码译码中繁琐的转化工作可以交给示波器来完成。比如，您可以使用大家都易懂的 ASCII 编码来确定传输数据正确性，一旦错误，可以记下这个时间戳，将译码转化为 16 进制或二进制的方式去定位机器编码的故障。在这个阶段，事件列表很容易将错误的信息记录，您可以导出译码数据表分析二进制数

据的传输和波形的关系。

事件列表

B1 B2

Index	Start Time	Label	SDI	Data	SSM	Parity	Error
12	-1.35ms	GAP	--	--	--	--	Gap: Gap Error
13	-1.35ms	4D	00	00 00 02	00	False	--
14	-948.72µs	4D	00	00 00 02	00	False	--
15	-588.72µs	4A	02	00 00 A6	00	False	Parity Error
16	-228.71µs	49	00	02 36 9B	00	False	--
17	131.29µs	4D	00	00 00 02	00	False	Label Error
18	491.29µs	3E	00	00 00 41	00	False	--
19	811.27µs	GAP	--	--	--	--	Gap: Gap Error
20	811.27µs	4D	00	00 00 02	00	False	--
21	1.21ms	4D	00	00 00 02	00	False	--
22	1.57ms	4A	02	00 00 A6	00	False	Parity Error

共 32 当前 12-22 2 / 3

十六进制

事件列表

B1 B2

Index	Start Time	Label	SDI	Data	SSM	Parity	Error
12	-1.35ms	GAP	--	--	--	--	Gap: Gap Error
13	-1.35ms	77	0	0 0 2	0	False	--
14	-948.72µs	77	0	0 0 2	0	False	--
15	-588.72µs	74	2	0 0 166	0	False	Parity Error
16	-228.71µs	73	0	2 54 155	0	False	--
17	131.29µs	77	0	0 0 2	0	False	Label Error
18	491.29µs	62	0	0 0 65	0	False	--
19	811.27µs	GAP	--	--	--	--	Gap: Gap Error
20	811.27µs	77	0	0 0 2	0	False	--
21	1.21ms	77	0	0 0 2	0	False	--
22	1.57ms	74	2	0 0 166	0	False	Parity Error

共 32 当前 12-22 2 / 3

十进制

事件列表

B1 B2

Index	Start Time	Label	SDI	Data	SSM	Parity	Error
12	-1.35ms	GAP	--	--	--	--	Gap: Gap Error
13	-1.35ms	01001101	00000000	00000000 00000000 00...	00000000	False	--
14	-948.72µs	01001101	00000000	00000000 00000000 00...	00000000	False	--
15	-588.72µs	01001010	00000010	00000000 00000000 10100...	00000000	False	Parity Error
16	-228.71µs	01001001	00000000	00000010 00110110 10011011	00000000	False	--
17	131.29µs	01001101	00000000	00000000 00000000 00...	00000000	False	Label Error
18	491.29µs	00111110	00000000	00000000 00000000 01000...	00000000	False	--
19	811.27µs	GAP	--	--	--	--	Gap: Gap Error
20	811.27µs	01001101	00000000	00000000 00000000 00...	00000000	False	--
21	1.21ms	01001101	00000000	00000000 00000000 00...	00000000	False	--
22	1.57ms	01001010	00000010	00000000 00000000 10100...	00000000	False	Parity Error

共 32 当前 12-22 2 / 3

二进制

事件列表

B1 B2

Index	Start Time	Label	SDI	Data	SSM	Parity	Error
12	-1.35ms	GAP	--	--	--	--	Gap: Gap Error
13	-1.35ms	M	NUL	NUL NUL STX	NUL	False	--
14	-948.72µs	M	NUL	NUL NUL STX	NUL	False	--
15	-588.72µs	J	STX	NUL NUL ?	NUL	False	Parity Error
16	-228.71µs	I	NUL	STX 6 ?	NUL	False	--
17	131.29µs	M	NUL	NUL NUL STX	NUL	False	Label Error
18	491.29µs	>	NUL	NUL NUL A	NUL	False	--
19	811.27µs	GAP	--	--	--	--	Gap: Gap Error
20	811.27µs	M	NUL	NUL NUL STX	NUL	False	--
21	1.21ms	M	NUL	NUL NUL STX	NUL	False	--
22	1.57ms	J	STX	NUL NUL ?	NUL	False	Parity Error

共 32 当前 12-22 2 / 3

ASCII 码

了解优利德示波器新品

图片	系列	通道	带宽	采样率	存储深度
	UPO70000 系列	4	13GHz/10GHz 每通道	40GSa/s 每通道	4Gpts 每通道
	MSO8000HDP 系列 12-bit	4+16	8GHz/6GHz 每通道	20GSa/s 每通道	4Gpts 每通道
	MSO8000HD 系列 12-bit	4+16	8GHz/5GHz	20GSa/s	2Gpts
	MSO7000HD 系列 12-bit	8+16	3GHz/2GHz	10GSa/s	1Gpts
	MSO6000HDP 系列 12-bit	4+16	2GHz/1GHz	10GSa/s	1Gpts
	MSO7000X 系列	4+16	1G/2G/2.5GHz	10GSa/s	1Gpts
	UPO7000L 系列	4	1G/2GHz	10GSa/s	1Gpts

	UPO6000LP 系列 12bit	4/8	1G/500MHz/350MHz	5GSa/s	500Mpts
	MSO5000HD 系列 12-bit	4+16	1G/500MHz/350MHz	5GSa/s	500Mpts
	MSO3000X 系列	4+16	250M/350M/500MHz	5GSa/s	500Mpts
	MSO3000HD 系列 12-bit	4+16	200M/350M/500MHz	2.5GSa/s	500Mpts
	MSO2000X 系列	4+16	100M/200M/300MHz	5GSa/s	100Mpts

销售网络

测试仪器华中区办事处：

武汉：湖北省武汉市东湖新技术开发区高新大道 668 号光谷金融中心 A 座 712-713 室

联系电话：18922986656

销售区域：河南、江西、湖南、湖北

测试仪器华东区办事处：

南京：南京市江宁区 富塘街 7 号深蓝中心 4 栋 2201、2202 室

苏州：苏州市苏州大道东 409 号国际金融中心 1 幢 2802 室

联系电话：18916111209

销售区域：江苏、浙江、安徽、上海

测试仪器华西区办事处：

成都：成都市高新区合顺路 2 号 IC 设计产业园 2 栋 1 单元 21 楼

西安：西安市雁塔区城南南二环西段 88 号老三届世纪星 19 楼 19 号

联系电话：18922981286

销售区域：四川、贵州、重庆、云南、西藏、甘肃、陕西、青海、新疆、宁夏

测试仪器华北区办事处：

北京：北京市海淀区海淀北二街 8 号 中关村 SOHO 1215 室

联系电话：18922986036

销售区域：山西、河北、天津、北京、黑龙江、吉林、山东、内蒙古、辽宁

测试仪器华南区办事处：

东莞：广东省东莞市松山湖园区工业北一路 6 号

联系电话：13510557637

销售区域：广东、福建、广西、海南

全国技术支持热线：

400-876-7822

优利德公众号：