

国 际 电 信 联 盟

**ITU-R**

国际电联无线电通信部门

**ITU-R SM.2117-0 建议书**

**(09/2018)**

**以频谱监测为目的交换存储的  
同相/正交 ( I/Q ) 数据的数据格式定义**

**SM 系列  
频谱管理**



国际电信联盟

## 前言

无线电通信部门的职责是确保卫星业务等所有无线电通信业务合理、平等、有效、经济地使用无线电频谱，不受频率范围限制地开展研究并在此基础上通过建议书。

无线电通信部门的规则和政策职能由世界或区域无线电通信大会以及无线电通信全会在研究组的支持下履行。

## 知识产权政策（IPR）

ITU-R的IPR政策述于ITU-R第1号决议中所参引的《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC的通用专利政策》。专利持有人用于提交专利声明和许可声明的表格可从<http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/zh>获得，在此处也可获取《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC的通用专利政策实施指南》和ITU-R专利信息数据库。

### ITU-R 系列建议书

（也可在线查询 <http://www.itu.int/publ/R-REC/zh>）

系列	标题
<b>BO</b>	卫星传送
<b>BR</b>	用于制作、存档和播出的录制；电视电影
<b>BS</b>	广播业务（声音）
<b>BT</b>	广播业务（电视）
<b>F</b>	固定业务
<b>M</b>	移动、无线电定位、业余和相关卫星业务
<b>P</b>	无线电波传播
<b>RA</b>	射电天文
<b>RS</b>	遥感系统
<b>S</b>	卫星固定业务
<b>SA</b>	空间应用和气象
<b>SF</b>	卫星固定业务和固定业务系统间的频率共用和协调
<b>SM</b>	<b>频谱管理</b>
<b>SNG</b>	卫星新闻采集
<b>TF</b>	时间信号和频率标准发射
<b>V</b>	词汇和相关问题

**说明：** 该ITU-R建议书的英文版本根据ITU-R第1号决议详述的程序予以批准。

电子出版  
2019年，日内瓦

© ITU 2019

版权所有。未经国际电联书面许可，不得以任何手段复制本出版物的任何部分。

## ITU-R SM.2117-0 建议书

以频谱监测为目的交换存储的  
同相/正交 (I/Q) 数据的数据格式定义

(2018年)

## 范围

本建议书定义了交换存储的同相/正交分量 (I/Q) 数据文件的文件格式。

## 关键词

I/Q数据、I/Q调制、联合工作、数据交换

## 缩写/术语表

HDF5	分层数据格式版本5
I/Q	同相和正交分量
LPF	低通滤波器
TDOA	抵达时差
UTF-8	Unicode转换格式为8位

国际电联无线电通信全会，

## 考虑

- a) 同相和正交分量 (I/Q) 数据文件在许多射频应用中具有广泛和多方面用途；
- b) I/Q数据文件可能是设备和制造商特定的；
- c) 可通过协调的、易于访问的文件格式促进I/Q数据文件的交换；
- d) 存储的I/Q数据文件提供高度的灵活性，可以支持监测业务工作中的许多应用；
- e) 存储的I/Q数据文件能够使用信号发生器或分析仪重现信号的重建；
- f) 设备和制造商独立的文件格式增加了I/Q数据文件的有用性，

## 建议

- 1 支持使用I/Q数据文件的设备和软件应用提供了从原始I/Q数据格式到附件1中定义的通用格式的适当转换方法；
- 2 应使用附件1中定义的格式来交换射频监测应用的I/Q数据。

## 附件1

以频谱监测为目的交换存储的  
同相/正交 (I/Q) 数据的数据格式定义

## 1 一般内容

本附件提供了以无线电监测为目的交换存储的I/Q数据的数据格式的定义。

数据格式提供：

- 易于理解和实现的I/Q数据文件格式；
- 描述文件中包含的数据的最小特征集；
- 适用于在频谱分析仪上交换、分析和生成信号或在信号发生器上重放的数据描述。

## 2 I/Q数据的描述

## 2.1 I/Q数据的基础知识

本建议书范围内使用的术语I/Q数据描述了复值基带信号的离散时间序列。利用诸如幅度缩放和射频载波频率之类的附加信息，可以描述对应的射频信号。

通常，I/Q数据描述复杂基带信号 $b(t)$ ，其可以变换为或从对应的实值射频信号 $x(t)$ 导出。“同相”分量或 $b(t)$ 的实部称为 $i(t)$ 。 $b(t)$ 的“异相”分量或虚部称为 $q(t)$ 。

因此，相应的射频信号 $x(t)$ 可表示为：

$$x(t) = i(t) \cdot \sqrt{2} \cdot \cos(2\pi f_0 t) - q(t) \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(2\pi f_0 t) \quad (1)$$

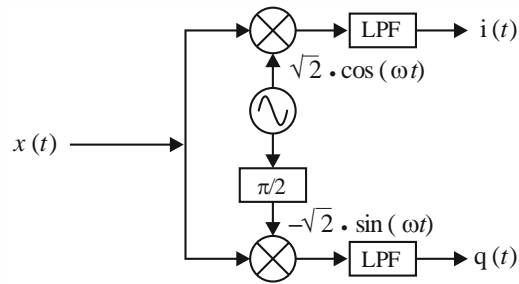
显然，等式(1)可以直接在发生器中使用，利用以载波频率 $f_0$ 为中心的 $i(t)$ 和 $q(t)$ 来合成对应的射频信号。

为了从以载波频率 $f_0$ 为中心的射频频率信号获得对应的复杂基带信号，等式(2)将在理想分析仪中实现。符号‘ $j$ ’表示虚分量，等于负1的平方根。符号‘ $*$ ’表示卷积运算。脉冲响应 $h(\tau)$ 定义了一个通带内增益为1的低通滤波器（LPF）。使用低通滤波器进行滤波对于衰减以载波频率两倍为中心的信号分量是必要的。必须选择足够宽的低通滤波器的通带以覆盖对应的射频信号的带宽。

$$b(t) = i(t) + j \cdot q(t) = x(t) \cdot \sqrt{2} \cdot e^{-j \cdot 2\pi f_0 t} * h(\tau) \quad (2)$$

通常，以这样的方式选择 $f_0$ ： $f_0$ 等于或大于对应的射频信号的带宽的一半。如果为 $f_0$ 选择较小的值，则无法避免混叠。等式(2)在图1中示出。基带I/Q数据 $i(t) + jq(t)$ 是通过使用正交检波器（图1）从射频信号 $x(t)$ 获得的，其中，实部 $i(t)$ 和虚部 $q(t)$ 分别由同相分量和正交分量表示。

图1  
通过I/Q数据的正交检波器



SM.2117-0 1

目前，许多信号发生器和分析仪使用采样数据。因此， $i(t)$ 和 $q(t)$ 由具有采样频率 $f_s$ 的时间离散数的序列表示。采样时间间隔 $T = 1/f_s$ 是恒定的。在每个离散时间点 $t = nT$ ，基带信号被采样并在分析仪中数字化。在发生器中，采样和数字化基带信号用于重建模拟连续时间射频信号。因此，由 $N$ 个值对组成的 $i(t)$ 和 $q(t)$ 的采样和数字化集合变为 $I(n)$ 和 $Q(n)$ ，其中， $n = \{0, 1, 2, \dots, N - 1\}$  and  $t = nT$ 。值表示为无量纲值。实际的射频信号可以通过乘以所谓的比例因子来保留（见第4节）。

## 2.2 关于采样频率和滤波器带宽的考虑因素

如果避免混叠，则采样的I/Q数据可以表示的最大带宽等于或小于采样频率。因此，由I/Q数据表示的实际射频段宽 $f_a$ 通常小于采样频率。本建议书将 $f_a$ 定义为分析仪频段限制滤波器的等效噪声带宽。在使用采样的I/Q数据的发生器中，通常存在对应的频段限制滤波器以便衰减混淆的分量。发生器的频段限制滤波器的等效噪声带宽应等于或大于用于记录I/Q数据的分析仪的等效噪声带宽，以避免再生射频信号的潜在劣化。

## 3 文件格式

本节描述了包含复杂基带信号连续记录数据集的文件格式，以及完整描述数据集所需的相关附加信息。

文件格式用于分层数据格式，版本5（HDF5）文件格式（参见<https://support.hdfgroup.org/HDF5/doc/Specs.html><sup>1</sup>）。

原始数据集 $I(n)$ 和 $Q(n)$ 存储在HDF5数据集中。相关的附加信息（元数据）存储在在一组附加HDF5属性中。HDF5数据集及其附加HDF5属性存储在HDF5文件的群结构中。元数据与原始数据一起可以完整描述存储的I/Q数据，从而完整地描述原始射频信号。使用本建议书规则建立的HDF5数据集是不言自明的。因此，即使没有本建议书，也可以解释它。根据本建议书和其他HDF5对象创建的I/Q数据集可以存储在HDF5文件格式的群结构中（例如，群，其他数据集和命名数据类型）。包含符合ITU-R规定的I/Q数据的最简单的HDF5文件仅包含文件根群中的一个I/Q数据集。

<sup>1</sup> 版权和许可声明可以在开放源代码软件中源代码的顶层COPYING文件中找到（参见<https://support.hdfgroup.org/products/licenses.htm>和<https://support.hdfgroup.org/ftp/HDF5/releases/COPYING>）。SZIP压缩库不是HDF5的一部分，因此也不是本建议书的一部分。

文件扩展名为‘.h5’，表示HDF5文件。完整文件名的示例是‘signal.h5’。

### 3.1 HDF5属性

解释原始I/Q数据所需的强制元数据存储在一组HDF5属性中，该属性附加到包含原始I/Q数据的HDF5数据集。表1列出并定义了这些强制属性。

表1

强制属性（表示为HDF5数据类型的数据类型）

名称	数据类型的值	定义和备注
ITU-R数据集类	变长字符串	固定字符串，内容为：‘I/Q’。
ITU-R建议书	变长字符串	固定字符串：“ITU-R SM.2117-0建议书”
射频载波频率（Hz）	H5T_IEEE_F64LE	射频信号（ $f_0$ ）的载波频率应该是正数。 如果射频载波频率未知或不重要，则使用零值。
采样频率（Hz）	H5T_IEEE_F64LE	I/Q数据的采样频率（ $f_s$ ）应大于零。
数据集类型解释	变长字符串	修复了包含内容的字符串： ‘整数类型，用于存储I/Q数据，被解释为固定点数，小数点右边是最高位。’
数据集单位	变长字符串	现实世界I/Q数据的单位。只有以下字符串有效： ‘’、‘V’、‘V/m’、‘A/m’ 如果真实世界单位不重要，请使用空字符串‘’。
数据集比例因子	H5T_IEEE_F32LE	将存储在数据集中的归一化I/Q数据乘以该因子，以获得其实际单位中的I/Q值。

表2中列出和定义的属性是可选的，也可以附加到数据集。不应使用未知的属性。

表2

可选属性（表示为HDF5数据类型的数据类型）

名称	数据类型的值	定义和备注
备注	变长串字符	关于I/Q数据集的任何有用的备注。
设备	变长串字符	描述用于创建I/Q数据集的设备。
滤波器带宽 (Hz)	H5T_IEEE_F64LE	分析仪的带限滤波器的等效噪声带宽 ( $f_a$ )。 有效范围: $0 \leq f_a \leq f_s$
时间戳粗糙 (s)	H5T_STD_U32LE	第一个I/Q样本出现时的POSIX时间格式的UTC。
时间戳精细 (ns)	H5T_STD_U32LE	第一个I/Q样本出现时的UTC子秒。
地理位置纬度 (度)	H5T_IEEE_F64LE	纬度基于宽带全球卫星通信 (WGS) 84 有效范围: -180至180
地理位置纬度 (度)	H5T_IEEE_F64LE	纬度基于宽带全球卫星通信 (WGS) 84 有效范围: -90至90
地理位置高度 (m)	H5T_IEEE_F32LE	海拔高于平均海平面 有效范围: $\geq -10e3$
地理位置偏离 (m)	H5T_IEEE_F32LE	大地水准面偏离: 宽带全球卫星通信 (WGS) 84椭圆与平均海平面之间的差异
地面速度 (m/s)	H5T_IEEE_F32LE	有效范围: $\geq 0$
地面方位角速度 (度)	H5T_IEEE_F32LE	有效范围: 0到360, 东t = 90, 真北= 0
定向方位角 (度)	H5T_IEEE_F32LE	有效范围: 0到360, 东t = 90, 真北= 0
方向仰角 (度)	H5T_IEEE_F32LE	有效范围: -90至90, 上 = 90
方向倾斜 (度)	H5T_IEEE_F32LE	有效范围: -180至180, 右= 90
磁偏角 (度)	H5T_IEEE_F32LE	读取磁罗盘和真北之间的区别。如果使用磁罗盘进行定位, 则必须已通过此值更正报告的方向方位角。如果磁罗盘未获得方向方位角, 则不应报告磁偏角。
未同步时间戳标志	H5T_STD_U8LE	如果> 0: 时间戳可能未同步到参考时钟。
无效标志	H5T_STD_U8LE	如果> 0: 存储的I/Q数据中至少有一个样本可能无效。
锁相环解锁	H5T_STD_U8LE	如果> 0: 至少有一个锁相环可能未被锁定, 可能会影响存储的I/Q数据中的至少一个样本。
自动增益控制标志	H5T_STD_U8LE	如果> 0: 存储的I/Q数据中至少有一个样本可能会受到有效自动增益控制引起的增益变化的影响。

表2（结束）

名称	数据类型的值	定义和备注
检测到的信号标志	H5T_STD_U8LE	如果>0: 在存储的I/Q数据定义的时间范围内检测到信号
光谱反向标志	H5T_STD_U8LE	如果>0: 存储的I/Q数据表示反向频谱。
超量程标志	H5T_STD_U8LE	如果>0: 存储的I/Q数据中至少有一个样本可能受到检测到的超范围条件的影响。
丢失样本标志	H5T_STD_U8LE	如果>0: 在记录存储的I/Q数据时, 数据中至少有一个样本可能被跳过。
衰减器 (dB)	H5T_IEEE_F32LE	衰减器设置。不需要缩放I/Q值, 但其经验可用于估计分析仪的测量范围。
天线系数 (1/m)	H5T_IEEE_F32LE	射频载波频率下的天线系数。它涉及用于获取存储的I/Q数据的天线。如果天线系数在存储的I/Q数据的滤波器带宽内是恒定的, 则可用于转换为其他单元。
参考点	变长串字符	时间戳和比例因子的参考点。它可以是“天线输出端口”或“接收器输入端口”。
接收器输入阻抗 (欧姆)	H5T_IEEE_F32LE	接收器的标称端口阻抗 (单位为欧姆)。如果省略此属性, 则可以假定为50欧姆。

本文件定义的所有HDF5属性是标量, 因此它们的数据空间只有一个固定大小为1的维度。

仅当可选属性已知、有效且适用时, 才应附加它们。

允许使用本文件中未定义的属性, 但其名称必须与本建议书中定义的名称不同。为了实现本建议书的未来修订, 必须使用字符串“用户”作为此类属性名称的前缀。国际电联不会在本建议书的未来修订版中定义任何属性名称, 这些属性名称将以字符串“用户”开头。

所有属性的附加顺序应与表1和表2中列出的顺序相同。表1中的强制属性首先附加。用户定义的属性附加在表2的可选属性之后。将跳过未使用的可选属性。

变长字符串使用UTF-8字符集并以空值终止。

地理位置和方向属性应该在接近第一个I/Q样本出现的时间点固定。

比例因子和时间戳属性应在感兴趣的参考点有效。此参考点可由可选属性“参考点”定义, 请参见表2。如果未定义参考点, 则假定接收器输入端口。因此, 应补偿分析仪输入和参考点之间的任何已知且不可忽略的器件衰减和群延迟。地理位置和方向属性也应描述参考对象的位置和方向。例如, 当在到达时间差 (TDOA) 测量设置中使用冗长电缆时, 本段中的提示尤为重要。



### 3.2 数据集

无量纲I/Q数据存储在一维HDF5数据集中。

数据集的名称可以是任何有效的HDF5名称。

HDF5文件格式由复合数据类型组成，其中包含每个I/Q信道的复数和可选的HDF5位字段。数据集的元素存储在一维数组中。

如果使用位字段（参见表3），它将包含所有可用作属性的标志。属性中的标志值对于完整数据集有效，并且通过与数据集的每个样本相关联的所有标志值之间的逻辑“OR”函数来计算。在位字段中，可以使这些基于样本的标志用于更详细的分析。

HDF5复合数据类型与编程语言C中出现的结构类似。必须在写入此复合数据类型的数据之前定义它们，并且它们的定义存储在HDF5文件中。对于HDF5复合数据类型的每个成分，必须定义名称和数据类型。

用于ITU-R I/Q数据集的成分名称应为“Channel\_XYZ”和“BitField”。名称字符串的“XYZ”部分代表一个字符串，描述特定的信道。如果使用多个信道，则描述字符串必须不同。名称为“BitField”的成分是可选的，使用时必须是最后一个成分。

“Channel\_XYZ”成分的数据类型也是HDF5复合数据类型，第一个成分的名称为“Real”，第二个成分的名称为“Imag”，并存储复杂的I/Q值。两个成分都具有相同的基本HDF5数据类型，可在以下选项之间进行选择：

- H5T\_STD\_I16LE
- H5T\_STD\_I32LE
- H5T\_IEEE\_F32LE

请注意，两个HDF5整数类型都是带符号的二进制补码整数。它们在这里被解释为有最高位小数点的定点数。另请注意，对于16位整数类型，这些定点数只能覆盖 $-1$ 至 $1 - 2^{-15}$ 的范围，对于32位整数类型，这些定点数的范围是 $-1$ 至 $1 - 2^{-31}$ 。H5T\_STD\_I16LE类型的整数值1000被解释为 $1000 / 2^{15}$ 。类型为H5T\_STD\_I32LE的整数值1000被解释为 $1000 / 2^{31}$ 。

“BitField”成分的数据类型是基本的HDF5数据类型H5T\_STD\_B16LE。表3定义了标志的位位置。这些标志的定义与表2中对应的标志的定义完全相同。注意，位置零是最低有效位的位置。真的标志的位值为1。假定作为属性出现的标志无效，对应的位值应设置为零。

表3  
位域内容

标志	位位置	内容
未同步的时间戳	15	
无效	14	
PLL_Unlocked	13	
自动增益控制	12	
Detected_Signal	11	
Spectral_Inversion	10	
Over_Range	9	
Lost_Sample	8	对于丢失后的第一个未丢失的样本是真的

所有有效的HDF5存储属性都可以用于数据集。如果需要快速访问大数据集中的小部分，以块形式存储可能很有用。

以下四个示例显示了表列标题，表示有效的ITU-R I/Q数据集：

- Channel\_1.Real, Channel\_1.Imag
- Channel\_one.Real, Channel\_one.Imag, BitField
- Channel\_X.Real, Channel\_X.Imag, Channel\_Y.Real, Channel\_Y.Imag
- Channel\_1.Real, Channel\_1.Imag, Channel\_2.Real, Channel\_2.Imag, BitField

### 3.3 变量属性

在某些情况下，仅对整个I/Q记录应用一组属性是不够的。一些属性可能会随着时间而改变。

例如，可能需要应用不同的比例因子，因为增益设置已更改。另一个例子是，某些接收器中的采样率和时间戳可能不同步，因此可能需要对I/Q数据的不同扇区使用不同的时间戳。

这样的问题可以通过为I/Q数据的不同扇区使用单独的数据集轻松解决。只要相关属性发生更改，就会关闭旧的数据集，并创建一个新的数据集，并将其实际属性附加到该数据集上。

以下约定对于处理多扇区I/Q数据可能很有用：

- 相同多扇区I/Q数据的所有数据集名称应以一个常量字符串开头，如“Multisector\_IQ\_”后跟一个后缀字符串。
- 后缀字符串应表示0到9 999 999 999之间的数字，形式为“0000000000”到“9999999999”。
- 后缀中的数字从实际数据集增加到下一个数据集。
- 第一个扇区的数据集名称应该具有后缀“0000000000”。
- 相同多扇区I/Q数据的所有数据集都存储在同一群中，并且该群中不应包含任何其他数据集或群。

#### 4 比例因子的解释和使用

比例因子是必须将存储在数据集中的无量纲I/Q数据相乘的因子，以便以元数据中指示的单位获得它们的值。

例：

存储的无量纲I/Q值对是 $I(n) = -0.6$ 并且 $Q(n) = 0.8$ 。单位为V，比例因子 $sf = 0.005$ 。这导致：

$$i(nT) = I(n) \cdot sf \cdot V = -0.003 \text{ V} \quad (3)$$

$$q(nT) = Q(n) \cdot sf \cdot V = 0.004 \text{ V} \quad (4)$$

因此，对应的射频信号的电压幅度为0.005 V.这相当于-46.02 dBV、73.98 dB $\mu$ V或-33.01 dBm，大于50  $\Omega$ 。

---