

面向数字模式竞赛的 FT4 协议

Joe Taylor, K1JT; Steve Franke, K9AN; Bill Somerville, G4WJS

2019 年 4 月 22 日

介绍： FT4 是一种专门为无线电竞赛设计的实验性数字模式。与 FT8 一样，它采用了固定长度的发射、让 QSO 尽可能短小而优化的结构化消息和强大的前向纠错。收发序列为 6 秒长，因此 FT4 比 FT8 快 2.5 倍，与 RTTY 竞赛的速度大致相同。但 FT4 可以处理比 RTTY 所需门限弱 10dB 的信号，同时使用更少的带宽。

基本参数： FT4 的消息格式与 FT8 相同，并使用相同的 (174,91) 低密度奇偶校验码编码。FT4 的传输时间为 4.48 秒，而 FT8 的传输时间为 12.64 秒。调制使用 4 音调频移键控，速率约为 23.4 波特。所占用的带宽（包含 99%的发射功率）为 90Hz。在标准 2500Hz 噪声带宽下测量，解码率达到 50%时的灵敏度门限为 S/N=-16.4dB。如果允许算法进行推测，则可以将灵敏度门限降低到 -18dB 或更好。

安装和初始设置

要加入 FT4 测试组并参加即将到来的“模拟竞赛”，请按照以下步骤安装和配置

WSJT-X 2.1.0 的发布候选版本：

- 1.从稍后发布的链接下载安装包。
- 2.按照操作系统的通用方式安装该程序。为了避免与你的正常操作发生冲突，请使用与 WSJT-X 2.0 不同的安装目录。
- 3.像往常使用 FT8 时一样启动程序。

- 4.从 **Configurations** 菜单中选择 **FT8|Clone** (或 **Default | Clone**)。
- 5.将生成的新配置**重命名**为 **FT4**, 并选择新配置。
- 6.从 **Mode** 菜单中选择 **FT4**。
- 7.在 **File | Settings | Frequencies** 选项卡上, 右键单击 **Working Frequencies** 表中的任何一行, 并按下 **Reset** 按钮。此操作将获取 FT4 的建议工作频率。
- 8.选中 **Settings | Advanced** 选项卡上的 **Special operating activity** 复选框。
然后选择 **RTTY Roundup messages**, 并在 **RTTY RU Exch** 字段中输入正确的竞赛交换码。
- 9.关于将 *WSJT-X* 连接到 *N1MM Logger+*的说明, 可以在 *WSJT-X 2.1* 用户指南的 [4.5 节](#)中找到。

你现在配置好了 *WSJT-X 2.1.0* 的候选版本, 可以开始操作 FT4 了。你可能会觉得下载 FT4 示例文件能够有所帮助。做法是从 **Help** 菜单中选择 **Download Samples**, 并在 **FT4** 框中打勾。参考图 1 所示的 **Wide Graph** 窗口对控制参数进行配置, 并在 **Decode** 菜单上选择 **Deep**, 然后从 **File** 菜单中打开示例文件。示例文件应该产生 19 个解码项, 如图 1 所示。大多数被解码出来的信号在音频文件中是听不见或几乎听不见的。只有不到 1/3 的信号强度能达到 RTTY 的解码门限要求——而且 RTTY 信号会占用更宽的频率范围。

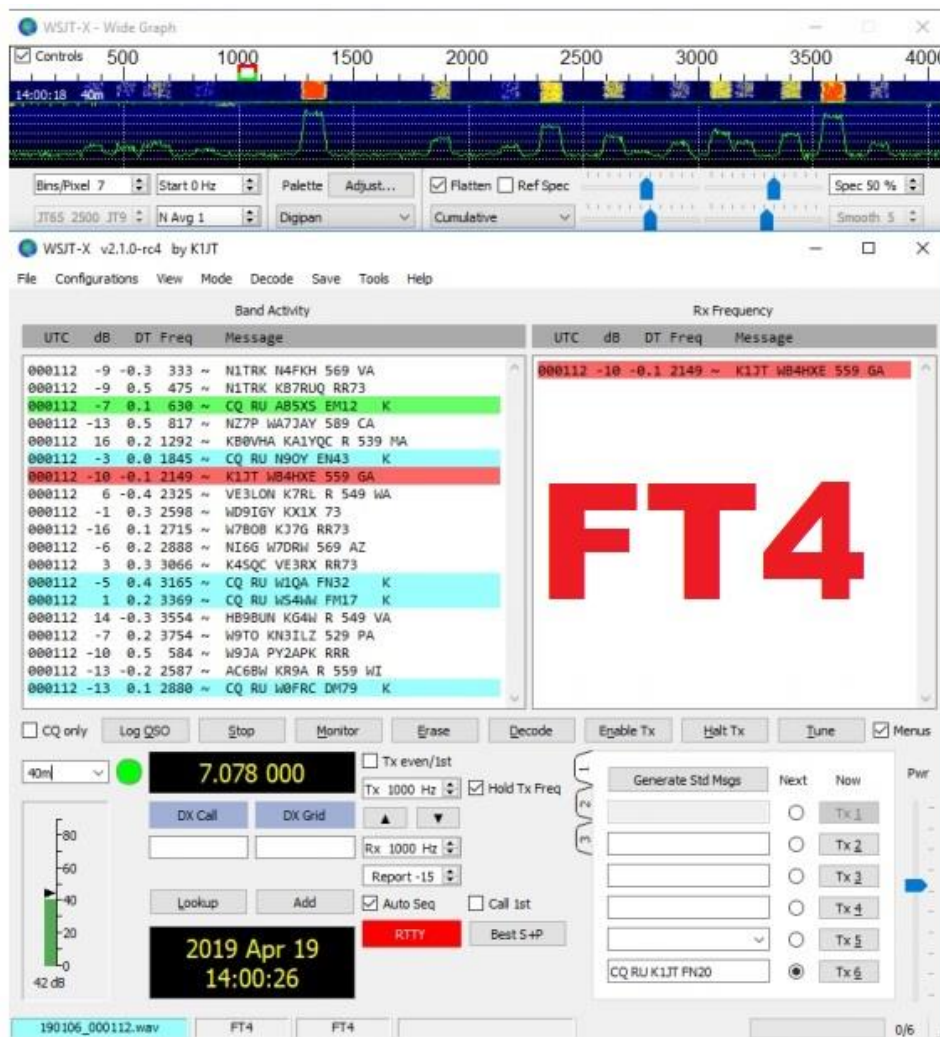


图 1 屏幕截图显示模拟 FT4 信号及其解码。

操作：除了更短的收发序列外，FT4 本质上与 FT8 相同。软件为 FT4 操作增加了一个新功能：**Best S+P** 按钮，就在 **Call 1st** 选框的下方。在接收循环期间单击此按钮，软件将在 6 秒接收序列结束时检查所有解码出来的 CQ 消息。然后，软件将选择最佳的潜在 QSO 对象（从竞赛的角度），并将其视为你双击了这一行解码文本，自动进行后续操作。这里的“最佳潜在 QSO 对象”指的是“新系数台”（第一优先级）或“该波段上新的通联对象”（第二优先级）。“新系数”目前解释为“新 DXCC 实体”；一个更通用的系数判定方法（基于 ARRL RTTY Roundup 竞赛的规则）将在不久以后实现。我们可能也会提供更多的通联优先级算法，例如依据“波段上

的新网格定位”（适用于北美 VHF 比赛）、按信号强度排序等。

你可以定义键盘功能键所对应的消息，请选中 **Settings | General** 选项卡上的 **Alternate F1-F6 bindings** 选框。在典型的竞赛式操作中，按下 **F1** 键就可以发送 CQ。若要回答别人的 CQ 并发送你的竞赛交换码，请双击已解码的消息。或者，你可以单击 **Best S+P**，让选择算法自动选择一个电台来呼叫。**Auto Seq** 和 **Call 1** 选框的功能与 FT8 一致，因此最小 QSO 的其余部分可以在操作员没有进一步操作的情况下自行完成。功能键 **F2-F5** 可用于发送主窗口右下角 tab 1 上 Tx2-Tx5 字段中输入的消息。功能键 **F6** 切换 **Call 1st** 的状态，组合键 **Alt+B** 可切换 **Best S+P** 的状态。

FT4 目前的配置是，当发送 RR73 时，以搜索应答模式记录一个 QSO，当接收到 RR73 时，以主叫模式记录一个 QSO。和 FT8 一样，FT4 对搜索应答和主叫没有什么区别。操作员可以在这两种 QSO 方式之间轻松地切换，不限次数。而竞赛技能将取决于优化这些方法和其他操作策略。只要有稳定足够的电台可供联络，使用 FT4 可以使 QSO 速率远高于 100/小时。

信号体制:FT4 使用的调制技术称为高斯移频键控，或 GFSK。所生成的音频波形由 105 个符号组成，按顺序以 4 种频率之一发送。编码后的信号可能最初看起来像图 2 中的红色曲线一样。FT4 在将其发送到软件调制器之前，用高斯函数的卷积来让这个信号变得平滑。蓝色曲线显示了实际发送给调制器的信号内容。发射的信号序列是连续的。

红色和蓝色曲线之间的差异似乎很小，但由此产生的音频波形的频谱却有显著不同。图 3 比较了相同编码序列的 FT4 信号（蓝色）和标准的连续相位 FSK 信号（红色）的频谱。GFSK 频谱的边缘比较陡峭，在 -6dB 时仅占 75Hz，在 -60dB 时仅占 200Hz，在 -80dB 时仅占 260Hz。这些音频波形没有进行额外的滤波。

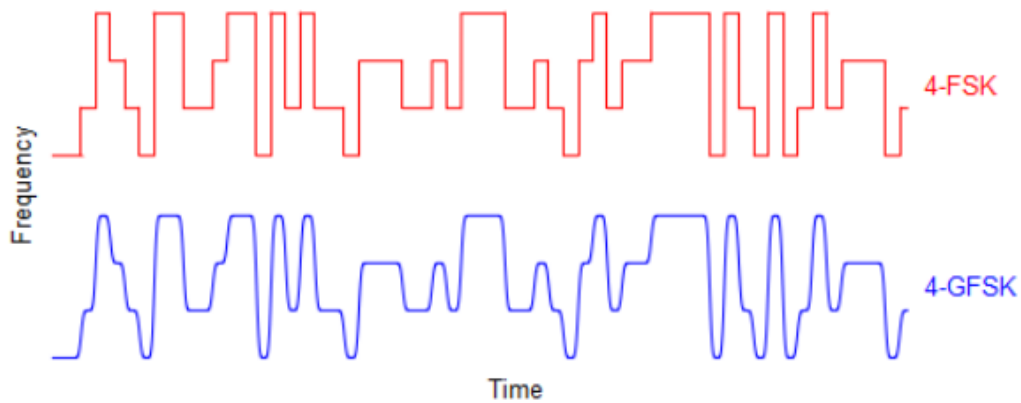


图 2 FT4 报文用 4-FSK 和 4-GFSK 的时域表达 横轴为时间，纵轴为频率

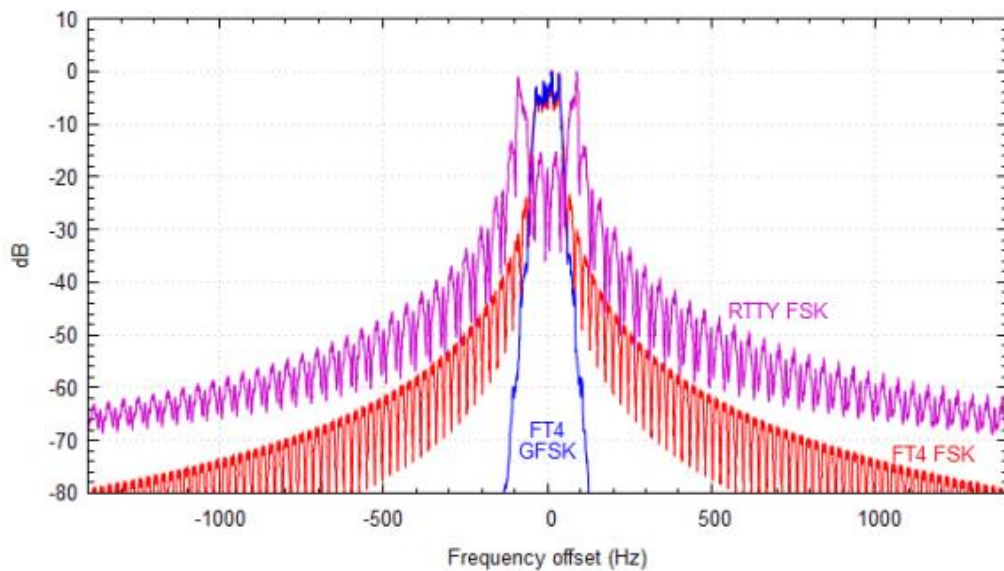


图 3 信号的频谱比较 蓝色：GFSK 调制的 FT4，红色：FSK 调制的 FT4，紫色：连续相位 FSK 调制的 RTTY

图 3 还显示了标准 RTTY 信号（紫色）的频谱，该信号在 -60dB 处的宽度大于 2000Hz。一些通过音频移频键控（AFSK）产生 RTTY 信号的业余无线电软件提供

了波形的可选滤波，可以减少不必要的键控边带。然而，这种调制后的滤波必然会破坏连续相位 FSK 信号的恒包络特性，这种信号必须以良好的线性进行放大，以避免产生新的不需要的边带。相比之下，FT4 的 GFSK 信号具有恒定的包络，不受互调失真的影响。

解码和频率使用： *WSJT-X 2.1* 中的 FT4 解码器可以识别和解码最多 5kHz 带宽内的所有信号。与其他 WSJT-X 模式一样，接收到的报文是“全有或全无”的——不存在部分解码，并且很少有错误解码。从接收的数据流中减去解码后的信号，就可以解码在频率上曾与其他信号重叠的内容，而其他信号可能要强得多。图 1 中 Band Activity 窗口中显示的最后三个解码就是这种二次解码的例子。采用正常的奇数/偶数序列进行收发并且信号间隔保持在 120-150Hz 之间的话，3 或 4kHz 通频带可以并行多达 50 个电台。他们之间几乎没有干扰--即使信号强度相差高达 60dB。经验将告诉我们在比赛中选择频率的最佳策略是什么，以及每个频段上 FT4 应该使用多少个 3kHz 区段。

目前，我们建议 FT4 的默认频率如下:3.595、7.090、10.140、14.140、18.104、21.140、24.919、28.180、50.318、144.170 MHz。我们欢迎你积极的反馈和建议。

灵敏度：图 4 显示了 FT4 解码器在不同模拟传播条件下的灵敏度测量。右边的成对数字给出了不同 ITU 标准条件下的多普勒效应扩展 (Hz) 和双路径差分延迟 (ms)，使用的是电离层传播的 Watterson 模型。最左边的实心曲线对应于安静的条件下常见的中纬度传播路径。虚线显示了在两种极端的传播条件下，打开最

大推测算法后测量出来的灵敏度。在和 RTTY 进行粗略的比较中，我们注意到，在模拟的中纬度中等条件下，只有当信噪比超过-1 到+4dB 时，RTTY 才显示出小于 10%的字符错误率，这取决于所使用的软件调制解调器。FT4 比 RTTY 具有大约 10dB 的灵敏度优势。

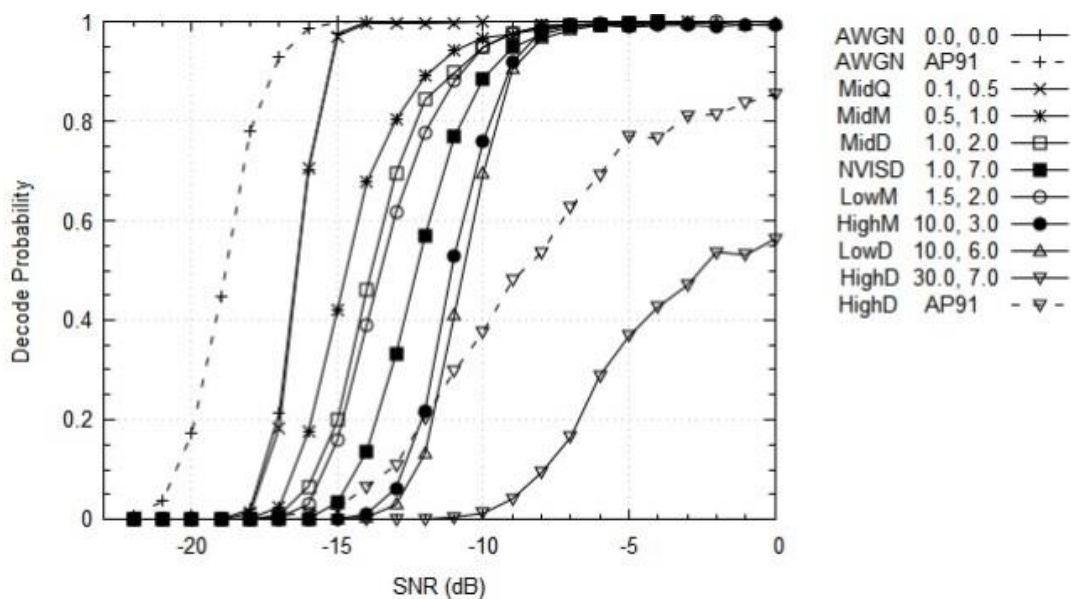


图 4 测量 FT4 解码概率与信噪比的函数关系。AWGN 表示附加高斯白噪声；低、中、高为地磁纬度；Q、M 和 D 表示电离层处于安静、中等或扰动状态；NVIS 表示近垂直入射天波；AP91 是指在一个典型的竞赛 QSO 中对 RR73 信息进行算法推测。

先前的测试： *WSJT-X 2.1.0* 的早期发布候选版本让我们探索 FT4 成为一种异步通信模式的可取性，这种模式的收发转换没有固定的开始时间。这些先前的测试告诉我们使用时间同步序列的显著优势。固定的序列长度和规定的开始时间可以确保接收到的信号中有很大部分是可解码的，特别是在类似于竞赛的操作条件下，一个给定的电台可以发射大约一半的时间。在通信工程的语境中，同步可以增加信道容量。

时间表： FT4 的一些参数和操作性能仍在测试和优化中。举办更多的、有大量用

户参与的模拟比赛会非常有用。即使没有发现严重的错误或不足，我们也认为 FT4 太新了，不能用于即将到来的两个活动：ARRL VHF 竞赛（6 月 8-10 日）和 ARRL 野外操作日（6 月 22-23 日）。因此，我们计划构建一个候选版本 *WSJT-X 2.1.0-rc5*，该版本将于 2019 年 6 月 7 日“到期”。我们计划尽可能遵循以下时间表：

- 4 月 22 日：关于 FT4 的公开公告，发布此文档
- 4 月 29 日：第二个公告，发布 *WSJT-X 2.1.0-rc5* 的可下载安装包
- 5 月 9 日，0000–0100 UTC：FT4 练习，7.090MHz
- 5 月 14 日，0000–0100 UTC：FT4 练习，7.090MHz
- 6 月 5 日，0000–0100 UTC：FT4 练习，7.090MHz（如果需要）
- 7 月 15 日：发布 *WSJT-X 2.1.0* 的通用版本（GA）

总结随笔： FT4 是为快速比赛 QSO 设计的一种专用模式。它非常有效地满足了这一目的，但与 FT8 一样，该模式不适用于长对话。FT4 比 RTTY 使用更少的带宽，在更低的信号水平上提供可靠的解码。它不需要“超级部分检查 (Super Check Partial)”或类似的竞赛辅助功能。有经验的操作员会发现之后使用 DX Cluster 或其他非无线电辅助设备的机会会更少。要在比赛中取得好成绩，所有必要的信息都可以通过自己的天线和电台在比赛中通过空中获得。在 FT4 中，主叫和搜索操作几乎没有区别，因此很容易在两种寻找 QSO 对象的方法之间频繁切换。使用低功耗和天线的电台可以有效地参与使用 FT4 的竞赛。

（中文版翻译：崔亚男； 校对：陈衡 BD5RV）