

Terje Lassen
产品线经理，

TI 工业低功耗射频
德州仪器 (TI)

摘要

无线通信系统的一个重要参数是通信范围。从根本上讲，该范围是由通信数据速率决定的。可以利用多种技术选项通过降低数据速率来扩大通信范围。此处比较了两种解决方案：调节信号的接收器带宽以降低接收器所见的噪声（窄带系统），以及在较高速率信号上添加编码增益以便在宽带接收器上遏制高接收器噪声。

结果表明，为远距离通信添加编码增益会对系统性能造成负面影响，具体表现如下：

- 极大地降低频谱效率，即减少可在给定区域内通信的器件数量，这是与增加射频 (RF) 节点数量的行业趋势相违背的
- 减少兼容属性（防范干扰），这会进一步降低通信可靠性和给定区域内的器件数量
- 缩短电池寿命，因为编码增益信号需要很长的前导序列从非常强的噪声组件恢复信息信号

窄带通信已被证明是实现远距离射频通信并提供比基于编码增益原理的系统更佳可用性和可扩展性的可靠方法。

简介

无线通信系统的一个重要参数是通信范围。在许多情况下，在选择射频解决方案时，范围应用要求将成为决定因素。在本白皮书中，我们将使用启用了射频的水表或燃气表典型要求来讨论

远距离射频通信：为何窄带是业界公认事实标准

远距离射频通信的技术选项，但这些因素对大多数其他类型电池供电的射频节点也有效。水表和燃气表通常称为流量计，它们是由电池驱动的，通常具有 10 年至 20 年的电池寿命要求。长电池寿命为网络架构的选择带来严格的限制。为了确保能够保证电池寿命，这些计量表大多使用星形网络拓扑，因为将这些计量表用作中继器/路由器会使电池寿命不确定，为电池寿命要求带来挑战。



在部署中，网络包含许多计量表和很少的集中器来收集计量数据。集中器通常是比计量表更昂贵的节点，因为较少的量使其可能具有更高级的无线电（例如软件定义无线电）、高电流低噪声放大器 (LNA)（通常由电源供电）、更好的天线技术、SAW 滤波器等。要获得宽覆盖范围，还必须将集中器放置在有利于射频的好位置。这些类型的基站位置通常需要相对高昂的年费；因此集中器的数量需要尽可能少。在星形网络拓扑中，射频链路的覆盖范围越大，需要的集中器便越少。

范围考虑因素，窄带与编码增益解决方案

对于给定的输出功率（通常由政府射频法规定义），射频链路的范围由数据速率决定，即速率越低，覆盖范围就越大，因为接收器的灵敏度得到提高。当然，也存在一定的折衷，因为极低的速率意味着很长的无线电传播时间，这会进而缩短电池寿命。具有很长的电报还会增大与其他无线系统发生干扰/冲突的可能性。因此，在实际的安装中，远距离系统通常使用合理的低数据速率，通常低至 1 kbps 左右，以便使范围与传输时间之间达到最佳的平衡。业内广泛接受适用于远距离和合理的低数据速率的窄带技术，因为它可使范围与传输时间之间达到最佳平衡。

窄带系统被定义为具有低于 25 kHz 的带宽，由于低带内接收噪声（窄接收滤波器可清除大多数噪声），因此可提供出色的链路预算。通常使用 12.5 kHz 通道间隔以及 10 kHz 接收带宽。此类系统的示例包括警察和安

全无线电、海上通信系统、社会警报以及用于欧洲计量应用的新的 169 MHz 无线 M-bus (wM-Bus) 标准。对于 wM-Bus, 选择了 169 MHz 窄带以实现最大的水表和燃气表覆盖范围, 从而可以使用极少的集中器来实现固定网络部署。

如上所述, 该范围在根本上是由数据速率决定的。窄带通信的替代方案是使用宽带高数据速率通信并添加编码增益。使用编码增益不会提高灵敏度或增大范围; 它只是另一种表示数据的方法。在网络数据速率/吞吐量相同的情况下, 窄带和编码增益系统将具有相似的覆盖范围。通过示例最容易加以说明。

射频系统的一个重要参数是接收带宽 (RXBW)。在设置系统的本底噪声时, 接收带宽是一个主要因素; $P_{dBm} = -174 + 10\log_{10}(RXBW)$, 即, 本底噪声随接收带宽而变化 (-174 dBm 是在室温情况下 1 Hz 带宽中的本底热噪声)。使用该公式, 我们可以计算不同通道的本底噪声:

$$\begin{aligned} 1 \text{ MHz 通道:} & \quad P_{dBm} = -174 + 10\log_{10}(1 \text{ MHz}) = -114 \text{ dBm} \\ 100 \text{ kHz 通道:} & \quad P_{dBm} = -174 + 10\log_{10}(100 \text{ kHz}) = -124 \text{ dBm} \\ 10 \text{ kHz 通道:} & \quad P_{dBm} = -174 + 10\log_{10}(10 \text{ kHz}) = -134 \text{ dBm} \end{aligned}$$

如上所述, RXBW 增加 10 倍可使本底噪声增加 10 dB。要获得与未编码的 12.5 kHz 窄带系统相同的覆盖范围, 必须为 100 kHz 系统使用 10 dB 编码增益, 为 1 MHz 系统使用 20 dB 编码增益。该示例显示编码增益不会在窄带系统上提高灵敏度; 它只是另一种表示数据的方法。添加更多编码增益不会有任何帮助, 因为需要降低网络数据速率或增加 RXBW 以便与信号相适应。在对远距离射频通信系统进行折衷时, 需要了解此基本关系, 这一点很重要。

使用编码增益解决方案的主要缺点是频谱效率非常低。以上示例很清楚地显示了这一点。将使用窄带在 10 kHz 通道中发送 1 kbps 信号与使用编码增益在 100 kHz 通道中发送相同的 1 kbps 信号进行比较。当您以编码发送大量冗余数据以补偿更高的本底噪声时, 频谱浪费是很明显的。很容易看到, 在用于编码的相同 100 kHz 带宽中, 有用于 10 条窄带通道的空间。因此, 网络容量是编码增益解决方案的一个主要缺点。

通过扩频以更高的接收灵敏度换取更低的频谱效率 (更高的带宽) 是与追求更佳频谱利用率的法规要求和全球行业惯例相违背的。无线连接需求的增长导致全球范围对射频频谱需求的增长。政府和监管机构正不断增加对提高无线电系统频谱效率的压力。

低至 12.5 kHz 的窄带和甚至低至 6.25 kHz 的超窄带射频通道都是用于提高频谱效率的成熟可靠的解决方案。

编码增益

解决方案的缺点

- FCC 窄带规定: 2013 年 1 月 1 日, 所有在 150 - 512 MHz 范围的无线电频带运行的公共安全和商业工业陆地移动无线电系统必须使用最低的 12.5 kHz 相当效率

技术运行，即每个 12.5 kHz 通道的吞吐量至少为 9.6 kbps。

该规定是 FCC 确保更有效的频谱使用和更佳的频谱访问努力的结果，这在美国有效地禁止了使用低于 512 MHz 的频段的编码增益方案。欧洲和其他地区也呈现出类似的趋势，以正式强制实施频谱效率。

由于使用了编码增益，因此有可能在同一通道中具有多个正交码，但只有编码增益在这些编码之间提供保护。在上面的示例中具有 10 dB 编码增益，这会针对同一通道中的其他计量表提供低于 10 dB 的保护。基于 SimpleLink™ 低于 1GHz CC1120 Smart RF 收发器的窄带系统提供来自相邻/邻近通道高达 65 dB 的保护 - 与使用编码增益相比有 55 dB 的差异。55 dB 在现实生活部署中可带来显著的稳健性和兼容性差异，进而可以在存在干扰的情况下将灵敏度提高 55 dB。

下页中的图 1 比较了两种情形，第一种情形中没有干扰，第二种情形中有干扰。可以看到，较弱的兼容属性可直接导致覆盖范围减小。

考虑下面图 1 中的示例，可以在同一带宽中以 100 kHz 编码系统运行 10 个窄带系统，但由于干扰，很快会遇到主要通信问题，即使尝试仅在同一带宽中运行两个编码系统也是如此。

兼容性

此外，长时间的编码传输导致其容易受到干扰信号的影响（传输冲突）。由于系统在宽带宽以低速率运行，因此可以很容易以数学方式显示系统对一个窄带干扰体有很强的稳健性。下方左侧的图 2 中显示了该情形。即使存在窄带干扰体（红色），编码信号（灰色）也能够运行。由于使用了宽带宽，因此这不是特别相关的情形。可以在下面的图 2 中看到，由于使用的带宽很宽并且数据速率很低（即无线电传播时间很长），因此与大量窄带干扰体发生冲突的可能性很大，如左侧的图 2 中所示。该情形无法通过编码增益加以解决，会显著缩小编码系统的实际覆盖范围。

由于两种情形的网络数据速率/吞吐量是相同的，因此数据包的负载部分将具有相似的长度。但是，接收器中所见的信号完全不同。考虑图 3 中的眼图。

左侧的图是窄带信号，可以在其中看到张开的眼睛清晰地区分了数据包中的 0 和 1，即“眼睛是张开的”。通过 TI CC1120/CC1200 Smart RF 收发器的高性能 WaveMatch 技术，能够可靠地接收该信号，并且仅需四位前导码。

右侧的图是使用编码增益的系统的相同眼图。和预期一样，信号不可见，因为信号被隐埋在本底噪声之下。要从该信号中提取任何有意义的信息，首先需要准确地与编码方案同步，以便获取所需的编码增益。毋庸置疑，这需要很长的前导码或前导序列才能实

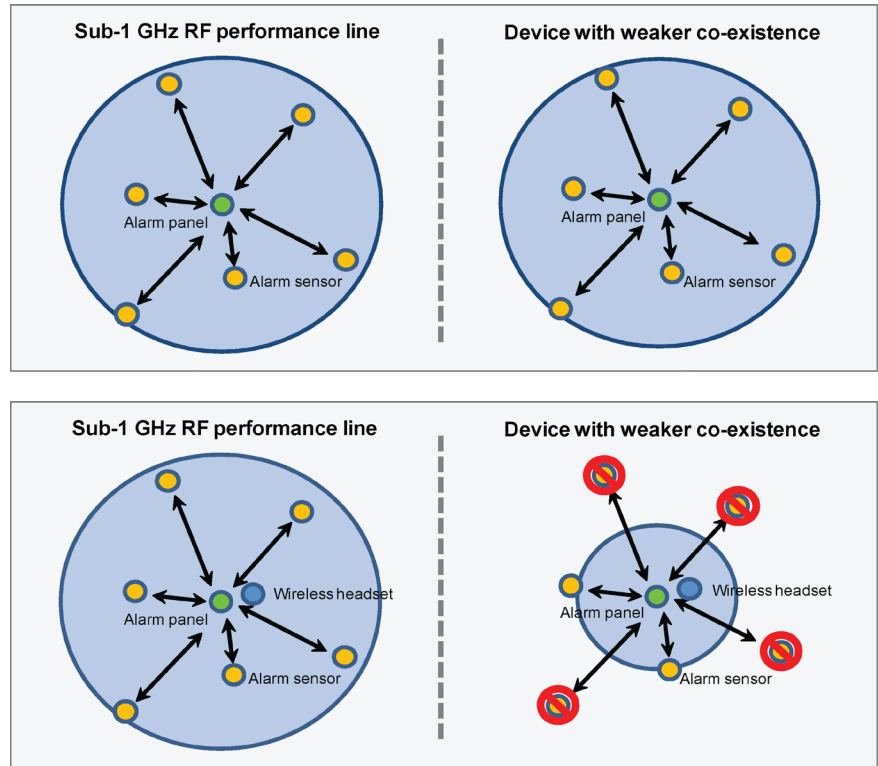


图 1. 典型的无干扰（顶部的图像）和有干扰（底部的图像）警报系统示例，显示了兼容属性对性能的重要性

现实际数据接收。使用具有高编码增益的方案时，前导序列绝对是报文最主要的部分，会进一步降低频谱效率。

下面是编码和未编码数据包情形中实际数据包的对比。

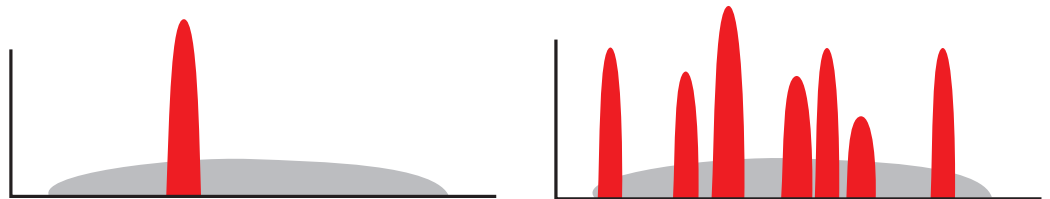


图 2. 宽带编码系统与窄带干扰

传输时间

长前导序列对电池寿命具有很强的负面影响，因为必须传输大量冗余信息使接收器从本底噪声之下找到所需的信号。编码率和前导序列长度之间不呈线性比例关系。例如，为获取最佳的灵敏度而将编码率加倍或将网络数据速率减半会以远大于二的因数增加前导序列的长度，从而进一步降低频谱效率和电池寿命。

窄带系统的缺点传统上是对射频晶体的要求较高。射频晶体频率错误会导致编程的射频

频率发生偏移。如果偏移过大，信号将处于通道之外，从而被强接收滤波器过滤掉。传统窄带系统通常使用温控振荡器 (TCXO)。有比标准晶体更昂贵的晶体，但两者之间的差异已显著缩小。不过，现在标准晶体的精度已得到极大提高，与新式 WaveMatch 和 CC1120/CC1200 低于 1GHz Smart RF 收发器系列的锁相环 (PLL) 反馈频率偏移功能结合使用时，可以使用标准晶体设计窄带系统。对于典型的星形网络拓扑，从集中器中更为严格的容差基准补偿频率错误也很简单。

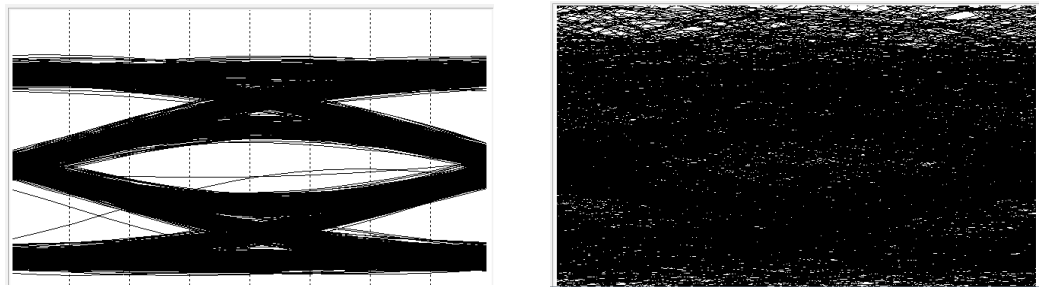


图 3. 眼图未编码与编码信号

CC1120/CC1200 Smart RF 收发器是基于远距离通信移频键控 (FSK) 窄带技术的标准化开放解决方案主流生态系统的一部分。窄带技术是众所周知的成熟技术，受多家供应商

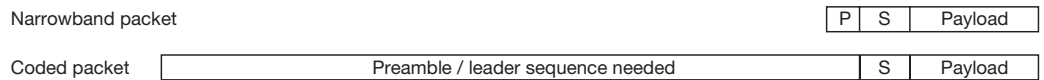


图 4. 数据包格式，P=前导码，S=同步字/SFD

多规模生产支持，这对于长期供应、产品进化和系统价格水平非常重要。

TI 专注于完整的系统解决方案，以便在现实条件下提供卓越的无线射频性能。这包括具有高性能 PCB 天线的低成本参考设计、广泛可用的应用手册和设计手册文档、在线资源和强大的全球支持团队，以确保任何给定应用的最大覆盖范围。TI 还专注于现实生活中的测试，如 TI.com 上使用 CC1120 的实际覆盖范围视频所示：

使用标准 CC112x 开箱即用套件的实际覆盖范围测试：

频率精度

展示 25 km 以上范围的[视频](#)，演示是在南非的开普敦进行的，使用了 1.2 kbps 和 +14 dBm 输出功率：

技术可用性和实际覆盖范围

另一个展示 10 km 以上范围的**视频**，演示是在挪威的奥斯陆进行的，使用了 1.2 kbps 和 +14 dBm 输出功率：



结论 本白皮书集中介绍了用于远距离通信的窄带与编码宽带系统。正如在本白皮书和下面的对比图中所展示的，

由于在现代射频系统中具有卓越的性能，窄带成为远距离通信的业界公认事实标准。有关 TI 的窄带网络低功率射频解决方案的更多信息，请访问

www.ti.com/rfperformanceline。

参数	窄带	编码宽带
频谱效率	高	极低
防范其他通道	65 dB (市场领先)	10 - 20 dB (非常差)
前导码/前导序列长度	很短，仅需 4 位	很长，通常为 10s 至 100s 字节
电池效率	高，TX 和 RX 取决于负载数据	低，TX 和 RX 取决于前导序列
供货	多家供应商，成熟的技术	单一货源，专有产品，锁定 IP
频率精度	凭借 WaveMatch 和 PLL 反馈等新式特性，晶体精度要求已极大降低，无需使用 TCXO	通常使用标准晶体

重要声明：德州仪器 (TI) 及其在此所提及各子公司的产品与服务均根据 TI 标准条款和条件进行销售。TI 建议用户在下订单前查阅最新最全面的产品与服务信息。TI 对应用帮助、客户应用或产品设计、软件性能或侵犯专利不承担任何责任。有关任何其他公司产品或服务的发布信息均不构成 TI 因此对其的批准、担保或认可。

SimpleLink 是德州仪器 (TI) 的商标。其他所有商标均为其各自所有者的财产。

重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权根据 JESD46 最新标准, 对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权根据 JESD48 最新标准中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。仅在 TI 保证的范围内, 且 TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非适用法律做出了硬性规定, 否则没有必要对每种组件的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何 TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了 TI 组件或服务的组合设备、机器或流程相关的 TI 知识产权中授予的直接或隐含权作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从 TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是 TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于 TI 的产品手册或数据表中 TI 信息的重要部分, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任或义务。复制第三方的信息可能需要服从额外的限制条件。

在转售 TI 组件或服务时, 如果对该组件或服务参数的陈述与 TI 标明的参数相比存在差异或虚假成分, 则会失去相关 TI 组件或服务的所有明示或暗示授权, 且这是不正当的、欺诈性商业行为。TI 对任何此类虚假陈述均不承担任何责任或义务。

客户认可并同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由 TI 提供, 但他们将独力负责满足与其产品及其应用中使用的 TI 产品相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意, 他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识, 可预见故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因在此类安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中, 为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。TI 的目标是利用此类组件帮助客户设计和创立其特有的可满足适用的功能安全性标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此, 此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备) 的授权许可, 除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或“增强型塑料”的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的。购买者认可并同意, 对并非指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用, 其风险由客户单独承担, 并且由客户独力负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的产品, 这些产品主要用于汽车。在任何情况下, 因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要求, TI 不承担任何责任。

	产品		应用
数字音频	www.ti.com.cn/audio	通信与电信	www.ti.com.cn/telecom
放大器和线性器件	www.ti.com.cn/amplifiers	计算机及周边	www.ti.com.cn/computer
数据转换器	www.ti.com.cn/dataconverters	消费电子	www.ti.com.cn/consumer-apps
DLP® 产品	www.dlp.com	能源	www.ti.com.cn/energy
DSP - 数字信号处理器	www.ti.com.cn/dsp	工业应用	www.ti.com.cn/industrial
时钟和计时器	www.ti.com.cn/clockandtimers	医疗电子	www.ti.com.cn/medical
接口	www.ti.com.cn/interface	安防应用	www.ti.com.cn/security
逻辑	www.ti.com.cn/logic	汽车电子	www.ti.com.cn/automotive
电源管理	www.ti.com.cn/power	视频和影像	www.ti.com.cn/video
微控制器 (MCU)	www.ti.com.cn/microcontrollers		
RFID 系统	www.ti.com.cn/rfidsys		
OMAP应用处理器	www.ti.com.cn/omap		
无线连通性	www.ti.com.cn/wirelessconnectivity	德州仪器在线技术支持社区	www.deyisupport.com

邮寄地址: 上海市浦东新区世纪大道1568号, 中建大厦32楼邮政编码: 200122
Copyright © 2014, 德州仪器半导体技术(上海)有限公司