

影响无线通讯可靠性和距离的几个因素

无线通信距离的主要性能指标有四个：一是发射机的射频输出功率，二是接收机的接收灵敏度，三是系统的抗干扰能力，四是发射/接收天线的类型及增益，而在这四个主要指标中，各国电磁兼容性标准（如北美的FCC、欧洲的EN规范）均只限制发射功率，只要对接收灵敏度及系统的抗干扰能力两项指标进行优化，即可在符合FCC或CE标准的前提下扩大系统的通信距离。

一、影响无线通信距离的因素

1、地理环境

通信距离最远的是海平面及陆地无障碍的平直开阔地，这也是通常用来评估无线通信设备的通信距离时使用的地理条件。其次是郊区农村、丘陵、河床等半障碍、半开阔环境，通信距离最近的是城市楼群中或群山中，总之，障碍物越密集，对无线通信距离的影响就越大，特别是金属物体的影响最大。一些常见的环境对无线信号的损耗见下表

For the most interesting frequency bands (433MHz and 868MHz), typical losses are shown in Table 2.

Object causing path loss	Typical loss [dB]
Wall (indoor)	10-15
Wall (exterior)	2-38 (percentage of windows and height important)
Floor	12-27
Window	2-30 (metal tinted windows cause high loss)

Table 2 - Typical losses caused by transmission obstacles

根据路径损耗公式:

$$L_d = 32.4 + 20 \log f + 20 \log d \quad f = \text{MHZ} \quad d = \text{Km}$$

可知信号每损耗 6dB 通讯距离就会减少一半!

另一个因素就是多路径影响如图:

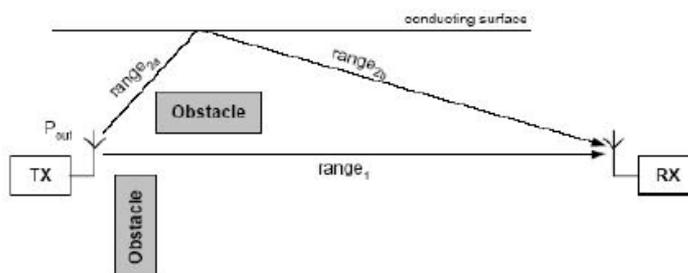


Figure 8 - Multiple paths; transmitted waves arrive at antenna with different phase

所以如果无线模块附近的障碍物较多时也会影响通讯的距离和可靠性.

2、电磁环境

直流电机、高压电网、开关电源、电焊机、高频电子设备、电脑、单片机等设备对无线通信设备的通信距离均有不同程度的影响。

3、气候条件

空气干燥时通信距离较远，空气潮湿（特别是雨、雪天气）通信距离较近，在产品容许的环境工作温度范围内，温度升高会导致发射功率减小及接收灵敏度降低，从而减小了通信距离。

4、发射机的射频输出功率

发射功率越大，通信距离越大；从理论上说发射功率可无限制地增加，但实际上由于受成本或技规的限制，发射机的输出功率也

是有限的。

5、接收机的接收灵敏度

接收灵敏度反映了接收机捕捉微弱信号的功能，接收灵敏度越高，通信距离也越远。但由于受自然界电磁噪声及工业污染、电子元器件固有噪声的影响，-123dBm（即 0.158uv）通常被认为是现代无线电通信中纯硬件实现的接收灵敏度的极限值，很难突破，即使加上软件纠错也只能再改善 1-3dB，如果通信系统的接收灵敏度已接近这一极限值就已无潜力可挖了，要提高通信距离只能从其它方面着手了。**SEMTECH(XEMICS)**的 XE1203 在 1.2kbps 的通讯速率下接收灵敏度可达 -114-----116dBm,XE1205 在 1.2kbps 的通讯速率下接收灵敏度可达-120-----121dBm(注:此灵敏度下通讯的误码率为 0.1%)

6、系统抗干扰能力

实际的通信环境总是存在着各种干扰源，在同样的发射功率和同样的接收灵敏度的前提下，系统的抗干扰能力越强，实际通信距离也越远。许多高频工程师都有这样的体会：在实验室（屏蔽网房）内测试，调幅机与调频机的发射功率和接收灵敏度都相同，但在实际环境中测试时，调频机的通信距离往往是调幅机的若干倍，甚至调幅机根本就不能工作，而调频机仍能有较远的通信距离，原因是调频机的抗干扰能力要比调幅机强得多。而影响无线通信系统抗干扰能力的因素也很多，主要与调制/解调方式，工作带宽，电路设计 PCB 板布局和退耦及屏蔽措施是否得当有关，

一般而言，调频系统的抗干扰能力优于调幅系统，而窄带系统的抗干扰能力优于宽带系统，因此，带宽越窄，抗干扰能力就越强，在同一发射功率和接收灵敏度条件下，通信距离也越远。**XE1203**的通讯带宽

最小为 200KHZ,**XE1205** 的最小带宽可达 7KHZ. 另 **SEMTECH(XEMICS)**公司的 RF IC 都是基于零中频结构的设计，这样不仅能省去昂贵的 IF 滤波器，而且有更好的抗干扰特性

7、软件纠错

具有软件纠错的系统，其通信距离也比无软件纠错的系统远；软件纠错能改善接收灵敏度 1-3dB，但会产生一定的延时，在实时性要求很高的系统中也要考虑这一因素的影响。

8、天线类型及其增益

天线的增益越高，通信距离也越远。当发射机采用高增益的定向天线时，能显著提高通信方向上的功率密度（场强），而接收机采用高增益定向天线时能显著改善信号/噪声比，并提高接收场强，从而大幅度提高通信距离。目前适合 ISM/SRD 免证使用频段的无线通信设备使用的天线有以下几种：

鞭状天线（螺旋天线、拉杆天线）：增益 0~3.5dB，适合便携式移动手持机使用

中增益吸盘天线：增益 5.5~7dB，适合固定机及车载机使用

高增益全向天线：增益 8.5~10dB，需室外安装，适合于固定机组网用

高增益定向天线：增益 $10\sim 12\text{dB}$ ，需室外安装，适合于远距离固定机用

需要说明的一点是：增益越高的天线其几何尺寸也越大，特别是高增益的定向或全向天线要求室外安装才能发挥其最佳效率，所以选项购天线是也要考虑使用及安装是否方便。

9、天线有效高度

在各种条件相同的前提下，天线距离地平面的高度越高，通信距离越远，特别是在城市环境下，提高天线的高度比增大发射功率对通信距离的影响要大得多。

二，无线通信距离的估算

从上面的分析可知：很多因素都会影响无线通信设备的通信距离，而其中的地理环境、电磁环境、气候条件对无线通信距离的影响是由用户的使用条件决定的，难以改变，也很难用一个数学表达式描述出来，只有那些能量化的因素才能用一个数学表达式描述。

对于工作频率范围在 $300\text{MHz}\sim 3\text{GHz}$ 之间的无线通信设备，在视距范围（又称自由空间）内，已知发射功率 P (W)、接收灵敏度 E (uv)、发射天线 R 的有效高度 H_t (m)及接收天线有效高度 H_r (m)、发射天线增益 G_t 及接收天线增益 G_r （单位均为倍，而不是 dB）、载频波长 λ (m)，则通信距离 d (m) 可由下：

理论通讯距离估算：

The transmission range obviously depends on the antenna performance.

In free space the theoretical equation of the power received P_r at a distance d for a wavelength λ is:

$$P_r = \frac{P_t \times G_t \times G_r}{(4\pi d / \lambda)^2}$$

Where P_t is the transmit power. This power is increased by a factor called *antenna gain* (G_t).

The received power (P_r) depends of the receiving gain antenna (G_r).

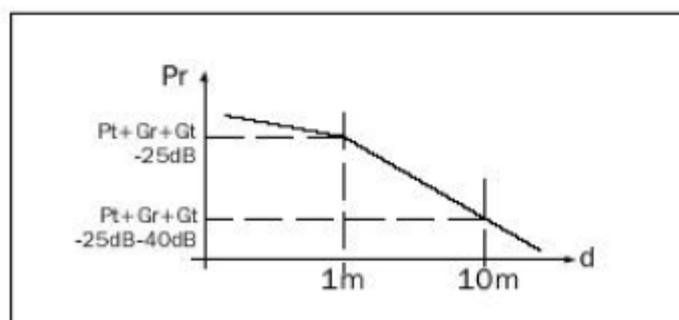
The commonly admitted model is:

- For distance less than 1 meter, the model is $1/d^2$.

$$P_r(\text{dB}) = P_t(\text{dB}) + G_t(\text{dB}) + G_r(\text{dB}) - 20\log(4\pi d / \lambda)$$

- For distance longer than 1 meter, the model is $1/d^4$.

$$P_r(\text{dB}) = P_t(\text{dB}) + G_t(\text{dB}) + G_r(\text{dB}) - 25\text{dB} - 40\log(d/1\text{m})$$



设发射功率为 P (W)，发射天线及接收天线增益分别为 G_t 和 G_r (单位均为倍)，发射天线及接收天线的有效高度分别为 h_t 和 h_r (单位均为米)，发射机与接收机之间的距离为 d (m)，射频信号波长为 λ (m)，提高发射及接收天线的有效高度对信号场强的提高影响最显著。对于 XE1203 模块，工作在 1.2KBps 的条件时接收灵敏度为 -115dBm，代入上式可计算得在开阔地的通信距离约为 10Km 左右，但调试良好的 XE203 模块在上述条件下的实测距离为 600—1000m，约为理论值的 6%-10%左右。

为什么实际距离与理论值之间会有这么大的差距呢？

原因有三个方面：首先是公式中的结果是一个纯理论值，只考虑了电磁波在自由空间中传播过程中随着距离的增加，能量扩散到更大空间后能量密度减小后导致信号场强减小的结果，而没有考虑空气及地面等介质对电磁波吸收、衰减的影响；其次是没有考虑发射天线的发射效率和接收天线的接收效率（理论上可以做到100%但实际上达不到）的影响，最后是也没有考虑各种电磁干扰及接收机的抗干扰能力的影响，从而导致了实际结果与理论计算值有较大的误差。

实际的通信环境中总是存在着各种各样的干扰源，有时虽然接收天线上感应到的信号强度远高于接收灵敏度，但是当接收机所处环境的电磁干扰较大时，有用信号仍被淹没有干扰信号中，而接收机又不能有效抑制干扰，同样不能进行有效的无线电通信，如果接收机的抗干扰能力很强，这种影响就比较小。在发射功率和接收灵敏度都相同的前提下，系统的抗干扰能力越强，实际通信距离也就越远。许多高频工程师都有这样的体会：在实验室（屏蔽网房）内测试，调幅系统与调频系统的发射功率和接收灵敏度都相同时，在实际环境中测试时，调频系统的通信距离往往是调幅系统的若干倍，特别是当环境干扰严重时，调幅系统根本就不能通信，而调频系统仍能保持较远的通信距离，原因是调频系统的抗干扰能力要比调幅系统强得多。相对而言，调频系统的抗干扰能力优于调幅系统，而窄带系统的抗干扰能力优于宽带系统，

因此，在发射功率及接收灵敏度相同的前提下，带宽越窄，通信距离也越远。

通过上述分析，我们可以得出这样的结论：在实际通信环境中，微功率无线通信系统的通信距离主要取决于系统的抗干扰能力。

三、提高通信距离的措施：

当地理环境和电磁环境一定时，为了保证无线通信的稳定和可靠，并充分挖掘低电压微功率无线通信设备的潜力，又要做到经济实用，在工程设计中可考虑以下措施：

1、尽可能提高天线的有效高度

从计算通信距离的公式中可以看出，通信距离与收/发天线有效高度之积的平方根成正比，提高天线的有效高度能显著扩大通信距离，特别是在城市环境中，将天线设在楼顶时能避开很多障碍并远离干扰源，从而扩大通信范围。

2、采用高增益天线

天线是无源器件，其本身不能放大信号，但高增益天线能显著提高通信方向上的能量密度，提高信号/噪声比，从而扩大通信范围，其作用就与手电筒或是探照灯上的聚光镜相似。但高增益天线的成本较高，几何尺寸及重量都比较大，只适合于固定安装使用，因此，在一定对多点或多点对一点的无线通信组网中可考虑主机用高增益的全向天线，分机则根据距主机距离的不同选用不同增益的天线，对于固定安装并且距离主机特别远的分机还可选

用高增益的定向天线，而距离主机较近的分机可选用低成本的普通鞭状天线，以降低系统成本。

发射机采用高增益定向天线可显著提高通信方向上的信号强度，而接收机采用高增益定向天线可显著提高通信方向上的接收信号场强和信号/噪声之比，从而大幅度地扩大通信距离，但只适合于同一个方向上的通信，并且成本也较高，天线的几何尺寸大，重量也较重，只适合于固定安装使用。

3、尽量缩短射频电缆的长度

用于连接无线通信机与室外天线的射频同轴电缆对射频信号也有一定的损耗，例如：50-3 型电缆的损耗为 0.2dB/m，50-7 型电缆的损耗为 0.1dB/m，50-9 型电缆的损耗为 0.07dB/m，电缆越长，损耗就越大，对所传输的射频信号的损耗的增大又会导致通信距离的下降，所以必要时可将射频组件直接装在室外天线的底部，而射频组件与用户系统间的连线则采用多芯屏蔽电缆连接。

4、尽量远离各种干扰源

距干扰源越近，信号/噪声比就越低，也会导致通信距离下降。必要时可分别对数传模块和会产生电磁干扰的部件采取屏蔽措施，并用特性阻抗为 50Ω 的射频同轴电缆将天线引到远离干扰源的地方，同时与射频组件相连的电源线、信号线也采用屏蔽电缆，并增加必要的滤波网络，以最大程度地抑制干扰，充分发挥接收机高灵敏度的优势。

5, 优先采用抗干扰能力强的无线通信产品

当无线通信接收机处在电磁干扰较大的环境中工作时, 如果抗干扰能力跟不上, 接收灵敏度高将变得毫无意义, 此时应优先采用抗干扰能力较强的产品, 如果是数字通信系统还应优先采用有软件纠错功能的产品。

6, 防雷、防水、防潮

对于采用室外天线的系统, 必须采取避雷、防雷措施, 如加装避雷针、避雷器, 同时, 对于露天架空的供电电源线、信号传输线也要采取避雷防雷措施, 以防雷电从电缆串入机器。

对于露天安装的射频组件还应采取防水措施, 以防下雨时雨水进入机器, 如果设备不是长期通电或不经常使用, 而空气又比较潮湿, 则还应采取防潮措施, 例如在机壳内适当地方放置并定期更换干燥剂, 总之, 要防止机器进水和受潮, 以免电路组件发霉、生锈而失效。

欢迎索取免费详细资料、设计选型指南和光盘、样品；产品繁多未能尽录，欢迎来电查询。

[中国传感器科技信息网：HTTP://WWW.SENSOR-IC.COM/](http://WWW.SENSOR-IC.COM/)

[工控安防网：HTTP://WWW.PC-PS.NET/](http://WWW.PC-PS.NET/)

[消费电子专用电路网：HTTP://WWW.SUNSTARE.COM/](http://WWW.SUNSTARE.COM/)

E-MAIL：xjr5@163.com szss20@163.com

MSN：suns8888@hotmail.com

QQ: 195847376

地址：深圳市福田区福华路福庆街鸿图大厦 1602 室

电话：0755-83376549 83376489 83387030 83387016

传真：0755-83376182 83338339 邮编：518033 手机：(0)13902971329

深圳展销部：深圳华强北路赛格电子市场 2583 号 TEL/FAX：
0755-83665529 25059422

北京分公司：北京海淀区知春路 132 号中发电子大厦 3097 号

TEL：010-81159046 82615020 13501189838 FAX：010-82613476

上海分公司：上海市北京东路 668 号上海赛格电子市场 2B35 号

TEL：021-28311762 56703037 13701955389 FAX：021-56703037

西安分公司：西安高新开发区 20 所(中国电子科技集团导航技术研究所)
西安劳动南路 88 号电子商城二楼 D23 号

TEL：029-81022619 13072977981 FAX:029-88789382

成都：TEL:(0)13717066236

技术支持：0755-83394033 13501568376