



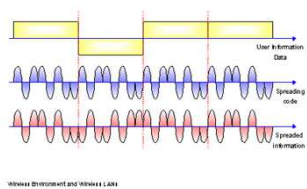
SX1276/8 VS Si4438 & CC1125

LORA vs FSK -- make right choice for future



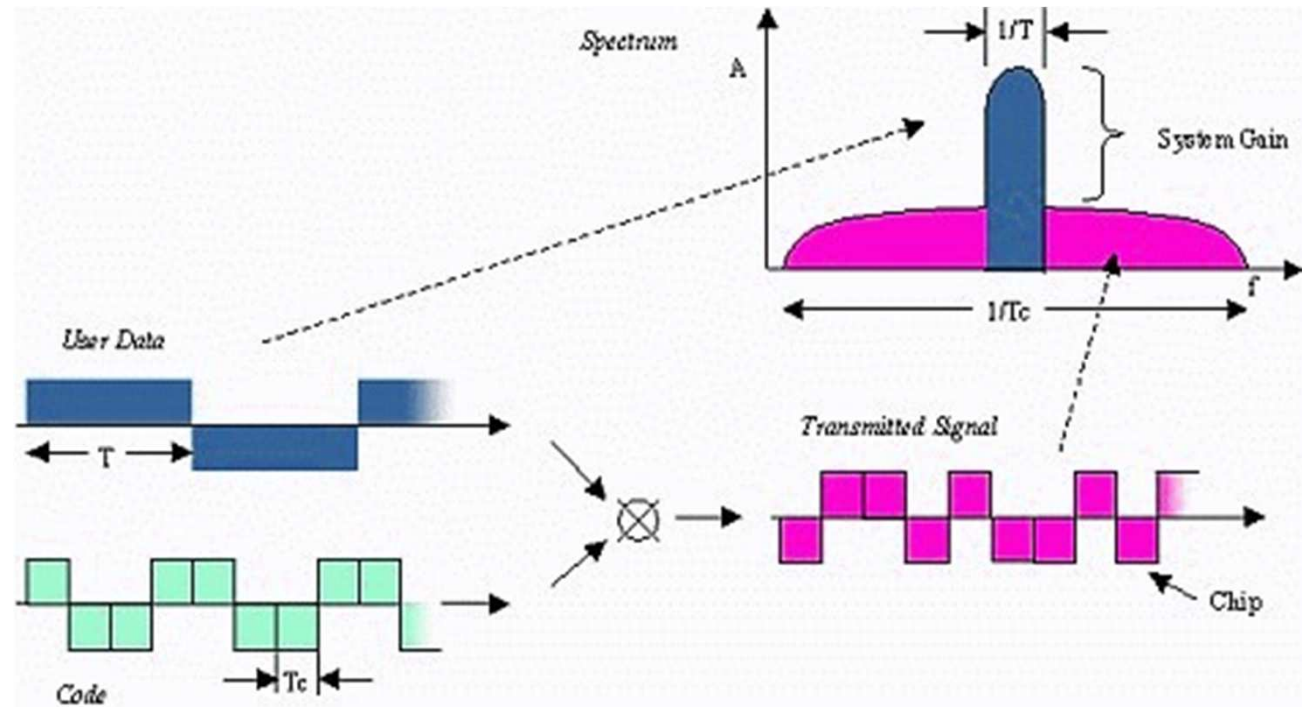
LORA 是一种基于扩频 的调制方式

DSSS Example



Signal to be transmitted
Low bit/data rate

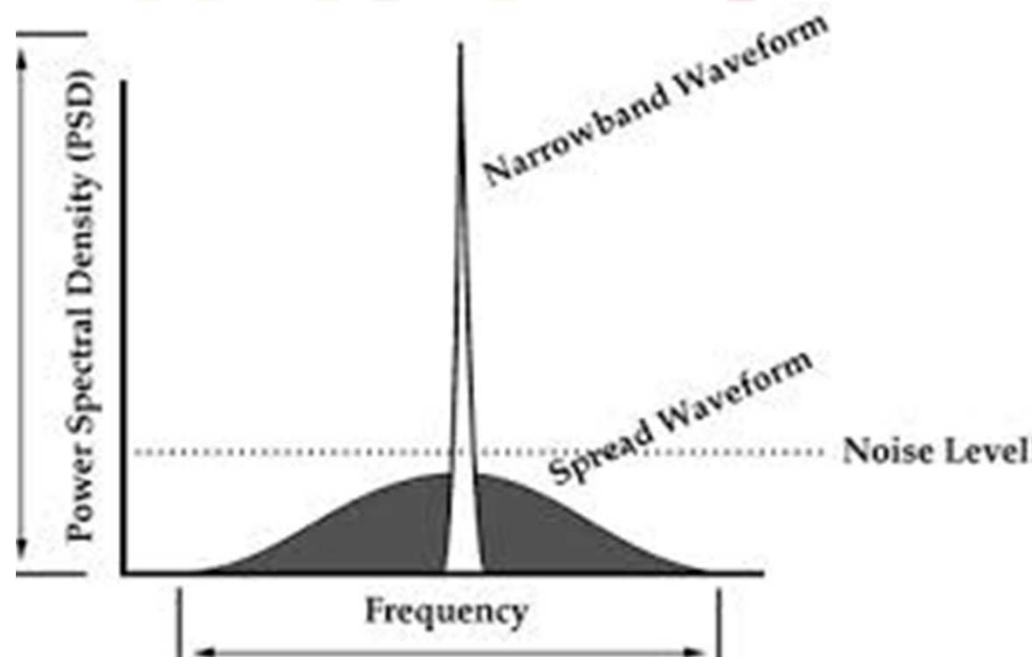
Pseudo code
High bit rate
Pseudo code = Spreading factor



$$\text{Processing Gain} = 10 \log \left(\frac{\text{Chip rate}}{\text{Data rate}} \right)$$

通过扩频把信号扩展到带宽较宽的噪声中,获得扩频增益

扩频技术的优势



Advantages

- ❑ 信号淹没在噪声中, 接收方只需要知道正交的扩频序列即可从噪声中恢复信号
- ❑ 比FSK更好的灵敏度 (更好的 E_b/N_0)
- ❑ 更强的抗干扰, 噪声和抗阻塞能力
- ❑ 扩频因子不同时可以使用相同的信道(不同的扩频序列之间是正交的, 因此频率可以复用)
- ❑ 宽带扩频技术, 抗多径, 抗衰落能力强

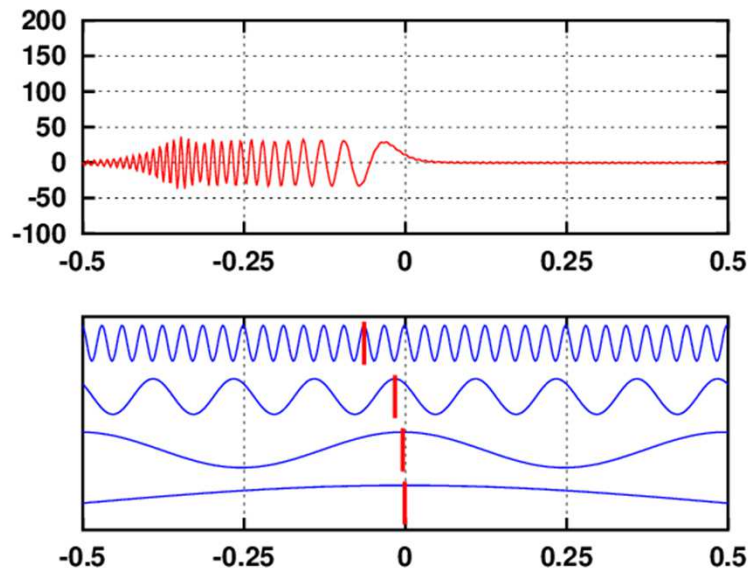
Lora™ 与DSSS(直接序列扩频)的区别

- ❑ 相对于其他DSSS系统(如CDMA, Wifi), Lora™主要适用于低速率
- ❑ Lora™ 使用更高阶的扩频因子, 以获得更高的处理增益, 有点像GPS技术
- ❑ 容易同步, 不需要定期额外地收发信标帧同步
- ❑ Lora™ 对频率偏移不敏感,
 - 一般 +/- 30 ppm 晶体就可以满足绝大部分应用
 - 其他使用长扩频因子的技术(比如GPS),需要非常精确的时钟作为参考
- ❑ Lora™ 的实现方式非常巧妙
 - 整个解调器引擎只需要 50K 个门

Lora™ 是一种CSS(Chirp Spread Spectrum)



- CSS 是一种宽带线性调频技术
- 一种特别的扩频技术, 从二战雷达技术发展而来
- Lora™ 可以归类为扩频调制技术



Passband modulation

Analog modulation

AM · FM · PM · QAM · SM · SSB

Digital modulation

ASK · APSK · CPM · FSK · MFSK · MSK ·
OOK · PPM · PSK · QAM · SC-FDE · TCM

Spread spectrum

CSS · DSSS · FHSS · THSS

Quick look at SX1276/8, Si4438 and CC1125

□ LORA – 基于扩频的新技术

- SX1276/8 : 同时支持LORA 和传统的 (G)FSK, OOK
- Si4438 & CC1125: 传统的 (G)FSK, OOK

□ 关键性能指标 对比

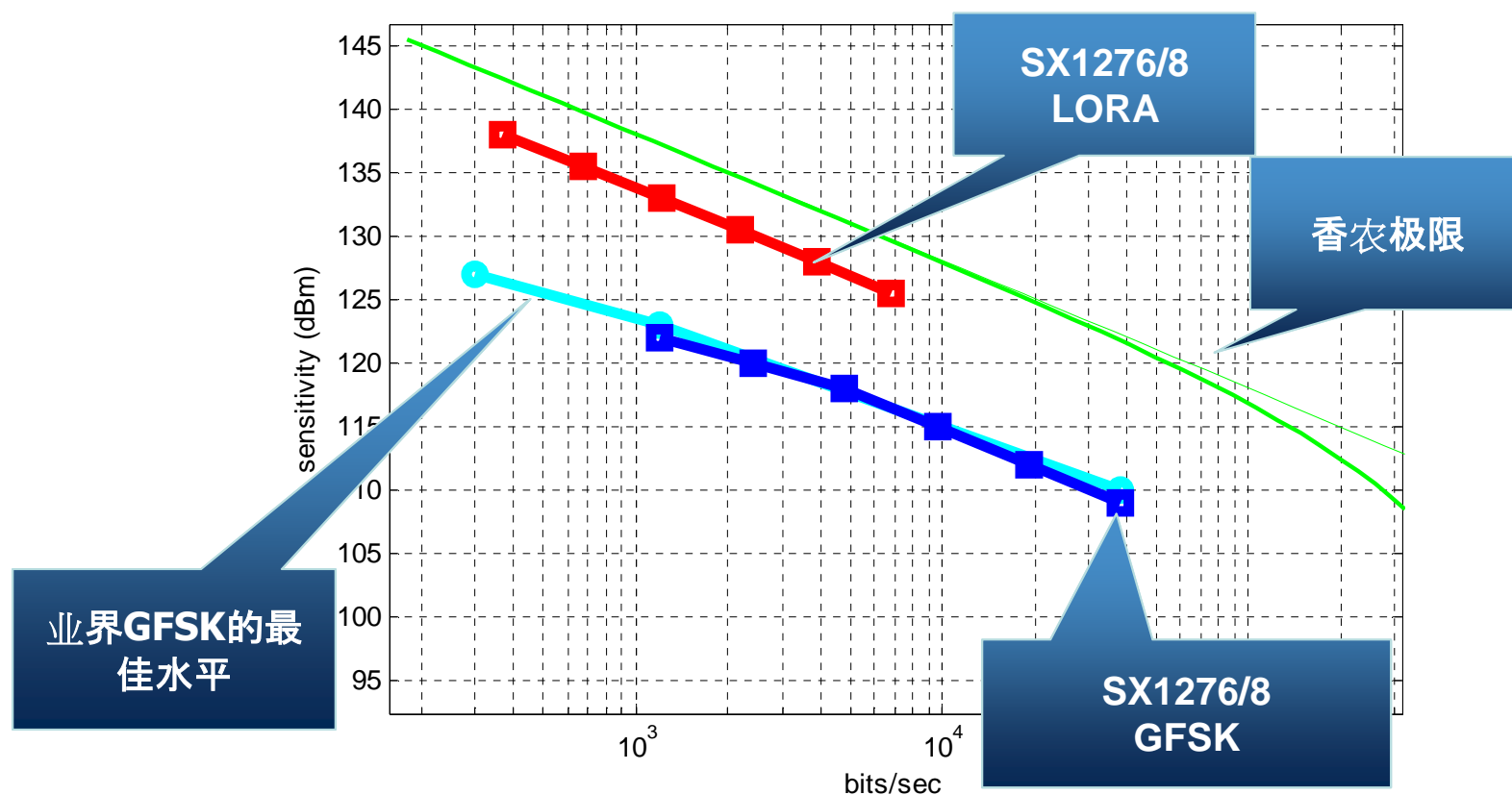
	测试条件	Si4438 (G)FSK	CC1125 (G)FSK	SX1276/8 LORA
频率范围		425~525MHz	164~192MHz 274~320MHz 410~480MHz 820~960MHz	137~175MHz 410~525MHz 860~1020MHz(sx1276 only)
供电电压		1.8 ~ 3.6V	2.0~3.6V	1.8 ~ 3.6V
电 流	Sleep mode	50nA	120nA	100nA
	RX mode	14mA	26mA	11.5mA
	TX mode	75mA@20dBm 29mA@13dBm	47mA@13dBm	120mA@20dBm 29mA@13dBm
输出功率	最大输出功率	20dBm	15dBm	20dBm
	20dBm时波动	+/-4dB (2.4~3.6V)	--	+/-1dB (2.4~3.6V)
相位噪声	10KHz Offset	-106dBc/HZ	-107dBc/HZ	-110dBc/HZ
接收灵敏度 (434/470MHz)	最高 sensitivity	-124 dBm (500bps)	-129dBm (300bps)	-149 dBm (18bps)
	300bps	--	-129dBm [1]	-139dBm
	500bps [2]	-124 dBm	--	-136 dBm
	9.6Kbps [2]	-114 dBm	-114dBm	-123 dBm
IIP3		--	-14dBm	-11dBm
邻信道抑制	12.5KHz	58dB	60dB	69dB
阻塞	1MHz offset	75dB	80dB	89dB
镜像抑制		35dB	58dB	66dB
启动时间	XTAL start up	250us	400us	250us
	Sleep to RX	440us	860us	350us

NOTE [1]: 根据CC1125 DS,300bps时频率偏移Fdev为 1KHz,这意味着 -129dBm灵敏度用 1ppm的 TCXO也无法实现!

NOTE [2]: 根据Si4438 DS,500bps时频率偏移Fdev为 250Hz,这意味着 -124dBm灵敏度用 0.5ppm的 TCXO也无法实现! 9.6kbps时 Fdev为 4.8KHz,这需要好于 +/-3ppm的晶体 才能保证灵敏度恶化小于 2dB!

Talk points 1– 灵敏度改善

- SX1276/8 LORA 的灵敏度比 FSK + TCX0 的灵敏度改善 约10dB



接收灵敏度 (434/470MHz)	最高 sensitivity	-124 dBm (500bps)	-129dBm (300bps)	-149 dBm (18bps)
	300bps	--	-129dBm [1]	-139dBm
	500bps [2]	-124 dBm	--	-136 dBm
	9.6Kbps [2]	-114 dBm	-114dBm	-123 dBm

城市环境下的距离测试—大约3 倍于FSK的距离



- 相同的发射功率(+17dBm) – 中国 470 MHz AMR 频段
- 发射机放在办公室内
- 近似的速率data-rate

Talk points 2– 频率误差对灵敏度影响

□ SX1276/8 LORA: 宽带扩频技术 – 对频率误差不敏感

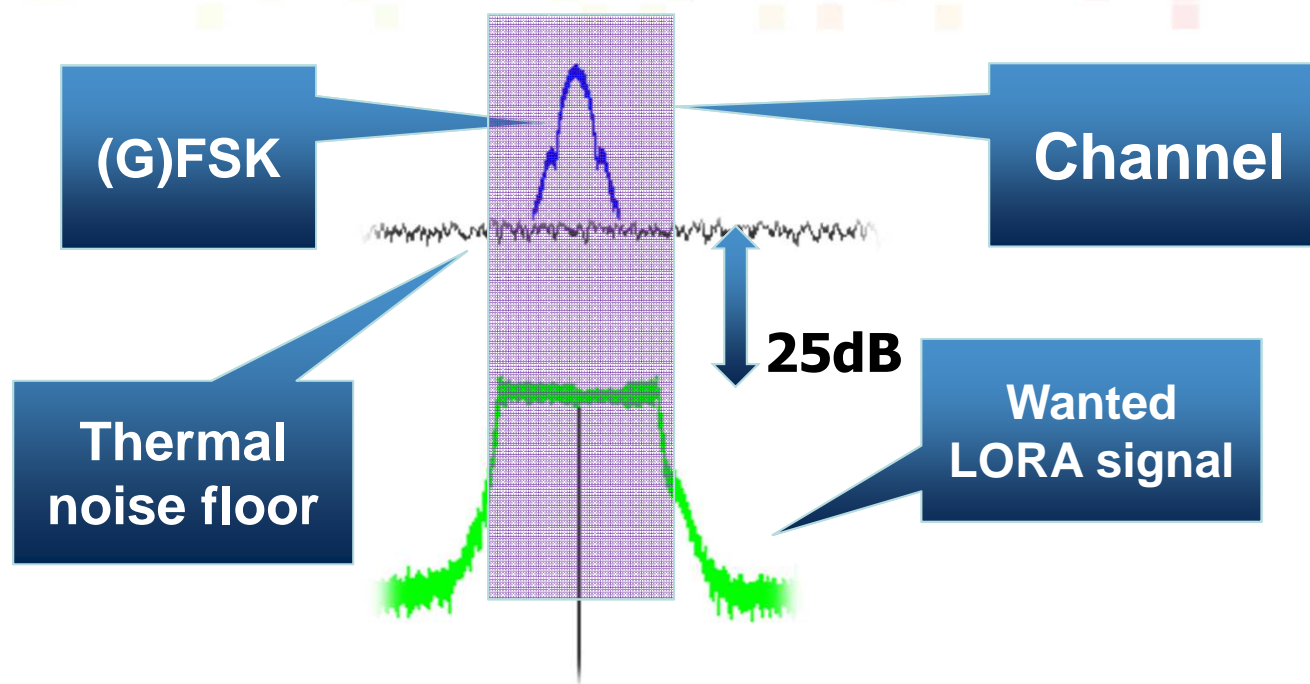
- -136dBm@500bps(BW125_SF11) 灵敏度很容易实现 即使用 +/-30ppm 的晶体
- 当带宽 $\geq 62.5\text{KHz}$ (data rate $> 150\text{bps}$) 时 不需要使用TCXO

FERR_L	Maximum tolerated frequency offset between transmitter and receiver, no sensitivity degradation, SF6 thru 9	BW_L = 10.4 kHz	-2.5	-	2.5	kHz
		BW_L = 62.5 kHz	-15	-	15	kHz
		BW_L = 125 kHz	-30	-	30	kHz
		BW_L = 250 kHz	-60	-	60	kHz
		BW_L = 500 kHz	-120	-	120	kHz
	Maximum tolerated frequency offset between transmitter and receiver, no sensitivity degradation, SF10 thru 11	SF = 12	-50	-	50	ppm
		SF = 11	-100	-	100	ppm
		SF = 10	-200	-	200	ppm

□ Si4438 & CC1125: (G)FSK – 对频率误差十分敏感, 低速窄带时 尤其如此!

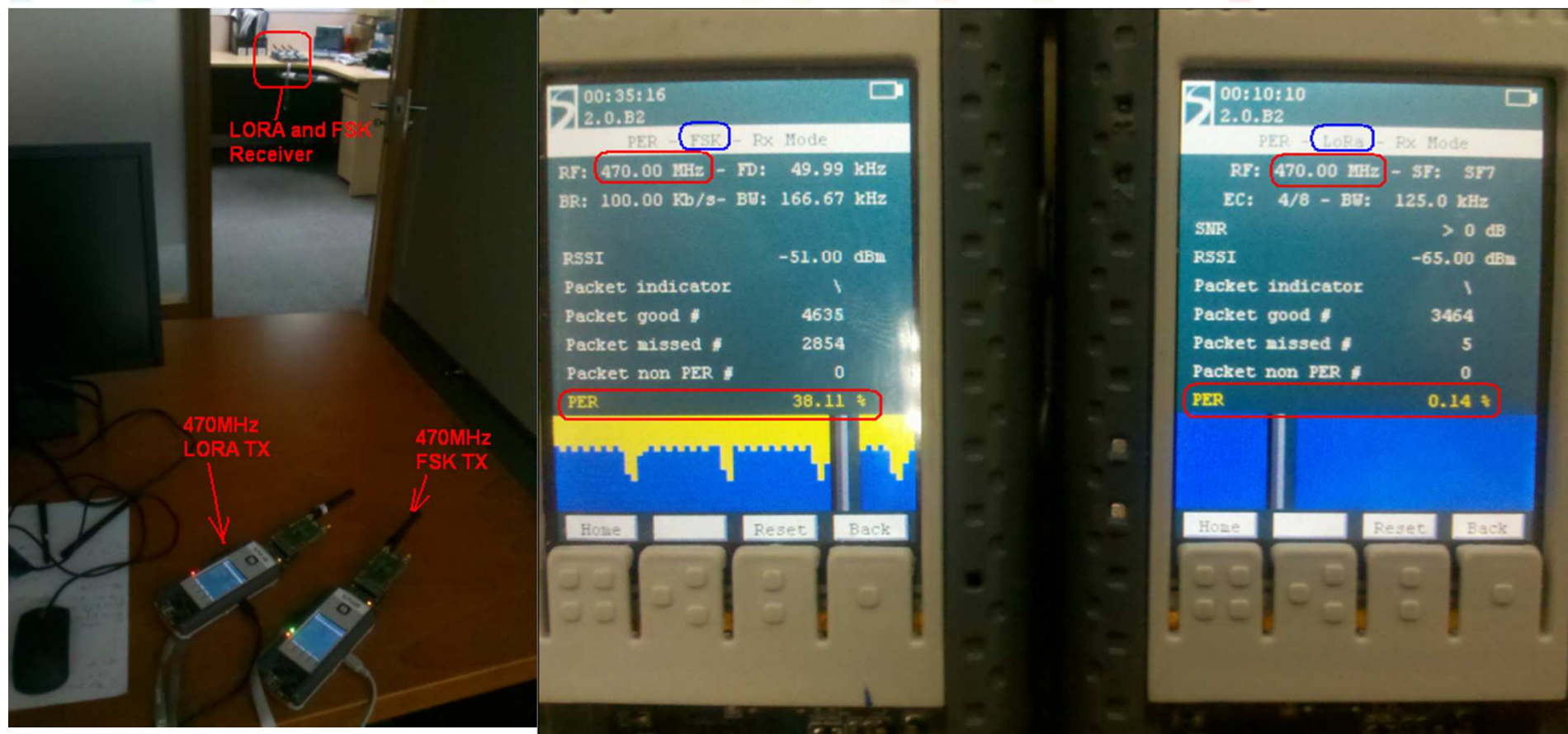
- 一般来说, 要让灵敏度的 下降小于2dB, 频率误差应该在 $F_{dev}/4$ 以内
- 即使使用+/-1ppm 的TCX0, CC1125宣称的 -129dBm@300bps灵敏度也不能保证— F_{dev} 只有1KHz
- 同样, 即使使用+/-0.5ppm 的TCX0, Si4438宣称的 -124dBm@500bps 灵敏度也是不可能实现的!
 - 因为此时 F_{dev} 只有250Hz.
- 这个宣称的灵敏度只可能在实验室中出现, 现实环境下 是不可能实现的!
- 要 “达到” 宣称的 灵敏度, BOM成本非常高 (需要昂贵的TCX0—好于1ppm的温补晶振)

Talk points 3 – 抗干扰能力



- LORA 是一种扩频技术, 把能量扩展到噪声中—即使在**噪声下面最高25dB** 仍然能够恢复.
而FSK 需要在 **噪声之上8dB**才可以正常工作
- LORA 对于突发/间歇式的干扰, 不管干扰多强, 只要符合下面的条件, LORA的灵敏度下降小于3dB:
 - 干扰的时间长度 < LORA 半个符号长度
 - 干扰的占空比 < 50%

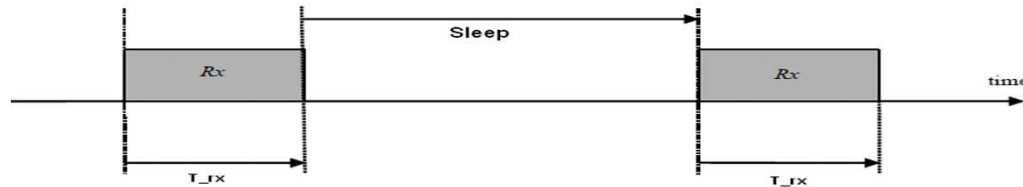
丢包率对比—— 当LORA 和FSK 同频同时工作



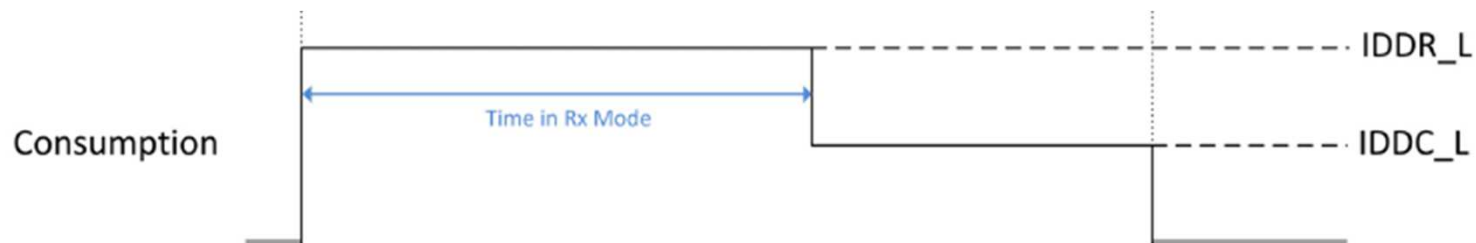
- LORA 和 FSK 都工作在470MHZ@17dBm, 包长 及发包间隔相同
- PER(误包率) : FSK 要比LORA高出很多! (约40% vs 0.14%)

Talk points 4 – 唤醒 和功耗(1)

- 为达到省电的目的，业界广泛应用**WOR**(Wake on Radio) 方式--芯片周期性地进入接收 模式以判断 有没有唤醒信号(比如前导)，其他时间处于Sleep模式

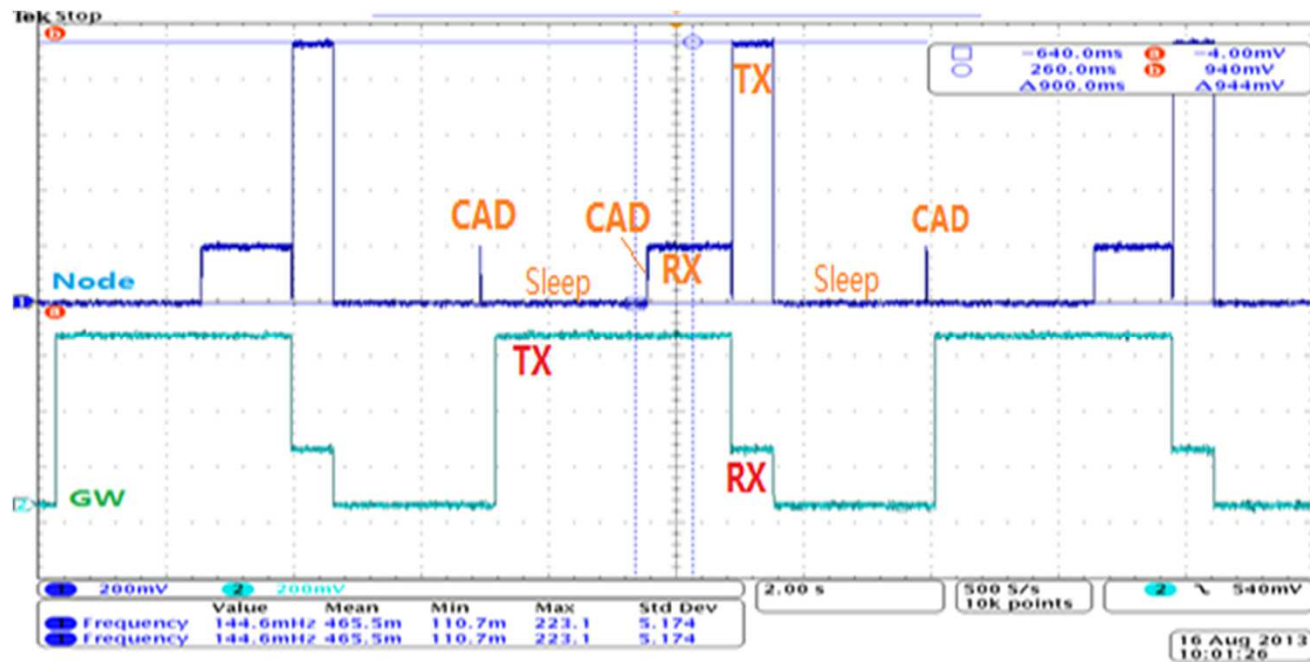


- SX1276/8 支持CAD 模式--能够在超短的时间内(~2 符号长度)判断有没有LORA 前导
- CAD**: 整个过程 仅需要约2 个symbol时间, 约1个symbol接收 (接收电流),1个symbol的时间计算(电流为接收模式的50%左右)
- 假设 125KHz_SF7_CR4/5, 等效速率 **5.47kbps**, 此时1 symbol = 1ms, 整个CAD 过程只需要2mS. CAD本身的平均电流只有8mA左右
- 假设每2秒做一次CAD, 那么一个WOR周期的功耗:
$$11\text{mA}(\text{RX}) \times 1\text{ms} + 5.5\text{mA}(\text{Cal}) \times 1\text{ms} + 0.0001\text{mA}(\text{Sleep}) \times 2000\text{ms} = 16.7\text{mA} \times \text{mS}$$



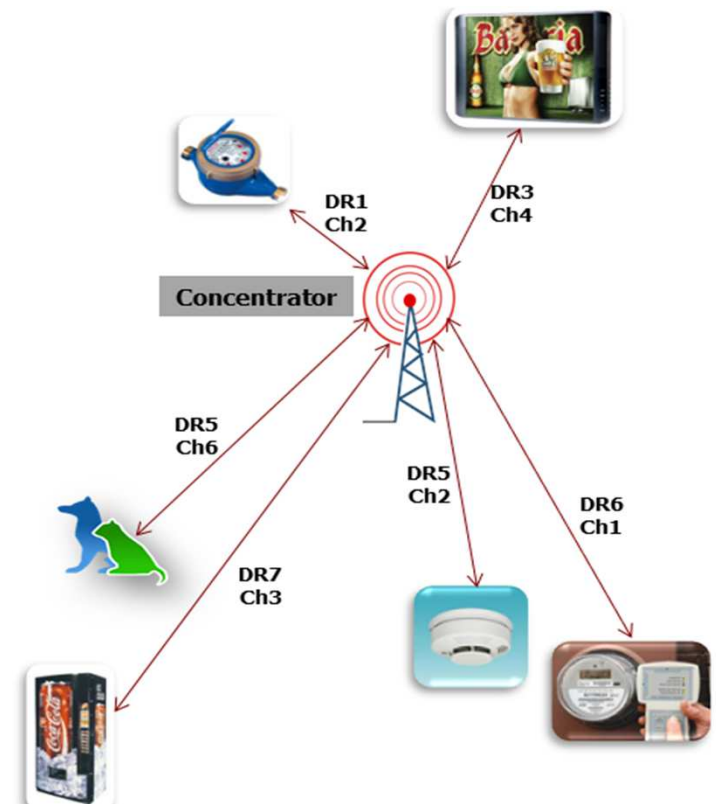
Talk points 4 – 唤醒 和功耗 (2)

- **FSK:** 假设3bytes(24bits) 前导用于同步和检测– 5.47kbps时接收窗口需要**4.39ms**以上
(实际上考虑模式切换和接收机准备时间, 接收窗口要长于这个值)
 - 同样考虑2秒的WOR周期, 那么 Si4438 一个WOR周期的功耗,
 $14\text{mA} \times 4.39\text{ms} + 0.00005\text{mA} \times 2000\text{ms} = 61.56 \text{ mA} \times \text{mS}$
 - 完成一个(2S) WOR周期, 功耗 SX1276/8 : Si4438 = **1 : 3.7**
- 若每天唤醒并成功通讯一次(假设收发时长均为1s), 使用SX1276时的 电池寿命是Si4438的 **3倍以上**



Talk points 5 – 更灵活和广泛的应用

- LORA技术距离远, 推荐使用星形网. 相对mesh网, 星形网十分简单. 由于减少了路由和中继, LORA 降低了系统的功耗, 通信延迟和成本
- LORA集中器(网关) - LORA 在不同扩频因子SF时, 可以使用相同的频率, 而且集中器(SX1301)可以实现 **多通道并行接收**, 同时处理多路信号→ 这大大 增加了网络容量
- **LORA技术 适合于物联网(Internet of Things)**
- 宽带扩频技术---LORA适合于更多增值应用: 测距和定位
- ...



总结: SX1276/8 无与伦比的性能



❑ LORA: 更远的距离

- 相同速率下 SX1276/8 的灵敏度比 Si4438(或CC1125) +TCXO 高大约10dB
- 即使使用20~30ppm 的晶振 也可以实现宣称的性能

❑ 更长的电池寿命

- SX1276/8 LORA模式 接收电流**11mA vs** Si4438接收电流**14mA vs** CC1125接收电流**26mA**
- 更快的信号/前导检测速度- WOR周期性唤醒时更省电→ 3倍以上的电池寿命

❑ 更稳定可靠的链路

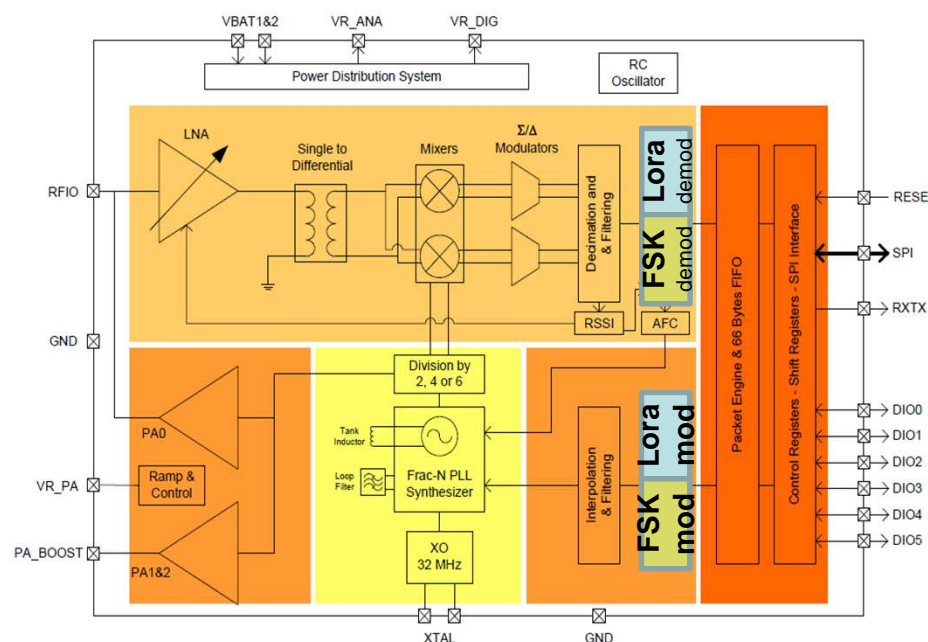
- 69dB 邻信道抑制
- 89dB 抗阻塞能力
- 更好的抗干扰能力
- 多信道并行接收

❑ 更低的系统成本

- 不需要TCXO (20-30ppm 常温晶体即可)
- 减少中继器数量

❑ 更多

- LORA 集中器可以 (i) 同频复用
(ii) 多信道并行接收
- 适合于更多有趣的应用,如: 测距 和定位





Thanks !