



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114268529 B

(45) 授权公告日 2023. 12. 22

(21) 申请号 202111566918.9  
(22) 申请日 2021.12.20  
(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 114268529 A

(43) 申请公布日 2022.04.01

(73) 专利权人 东南大学  
地址 210000 江苏省南京市麒麟科创园智  
识路26号启迪城立业园04幢

(72) 发明人 王帅 胡斌 梅洛瑜 张杰锋

(74) 专利代理机构 南京众联专利代理有限公司  
32206  
专利代理师 薛雨妍

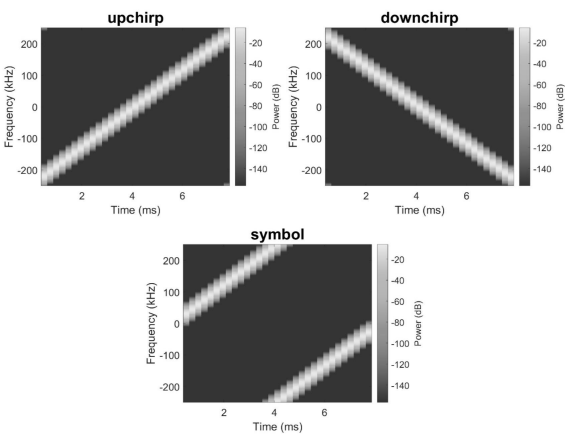
(51) Int. Cl.  
H04L 27/26 (2006.01)

(56) 对比文件  
CN 111835673 A, 2020.10.27  
CN 112671680 A, 2021.04.16  
WO 2020107333 A1, 2020.06.04  
胡斌. 基于物理层多维度特征的LoRa信号冲突解调机制研究与实现. 中国优秀硕士学位论文全文数据库. 2022, 1-72.  
审查员 封泉州

权利要求书2页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称  
基于多维特征的LoRa并发传输解调方法

(57) 摘要  
本发明提供基于多维特征的LoRa并发传输解调方法, 包括以下步骤: 在物理层同时利用LoRa信号的频率特征和能量特征对并发传输的LoRa信号进行解调, 可以不修改设备硬件, 直接部署在LoRa接收端; 通过计算不同symbol对应频率的能量金字塔 $E_p$  (Energy pyramid) 来从冲突的LoRa传输中分离symbol, 从而达到并发解调的目的, 本发明接收端可从碰撞的数据包中恢复数据, 无需重传数据包, 节省了能耗。



1. 基于多维特征的LoRa并发传输解调方法,其特征在于:在物理层同时利用LoRa信号的频率特征和能量特征对并发传输的LoRa信号进行解调;不修改设备硬件,直接部署在LoRa接收端;通过计算不同symbol对应频率的能量金字塔 $E_p$  (Energy pyramid)来从冲突的LoRa传输中分离symbol,从而达到并发解调的目的;

具体包括以下步骤:

步骤1:检测LoRa传输的preamble,并将每条LoRa传输的符号与该传输绑定;

步骤2:遍历所有symbol对应的起始频率,计算待解调符号经dechirp后,在每个起始频率处与计算窗口不同重叠程度情况下的频率-能量特征值;具体为:设立能量金字塔 $E_p$  (Energy pyramid);对于计算窗口内的待解调符号,遍历其在不同起始频率下,与计算窗口不同重叠程度情况下的能量大小,作为待解调符号的能量金字塔 $E_p$ :

$$E_p[\text{sym}, k] = \begin{cases} \sum_{n=0}^{L-1-\Delta n} e^{j2\pi((\text{sym}-k)*f_{\text{chip}}+\Delta f)\frac{n}{L}} & \Delta n > 0 \\ \sum_{n=-\Delta n}^{L-1} e^{j2\pi((\text{sym}-k)*f_{\text{chip}}+\Delta f)\frac{n}{L}} & \Delta n < 0 \end{cases}$$

式中  $\Delta n = \text{sym} - k$ ,  $\Delta f = \Delta n * f_{\text{chip}}$ ;

步骤3:利用滑动窗口及upchirp的能量平均值,计算待解调符号的频率-能量特征参考值;具体为设立基准能量金字塔 $E_{pr}$  (Energy pyramid reference);基准能量金字塔利用了LoRa数据包中称为preamble的部分,该部分一般由8个upchirp组成,用于LoRa数据包的检测和定位;由于LoRa数据包中每个symbol能量基本是稳定的,且与发送端密切相关,因此,8个upchirp的平均值 $E_{up}$  (Energy of upchirp)为标准,利用滑动窗口,为每个symbol构建基准能量金字塔 $E_{pr}$ :

$$E_{pr}[\text{sym}, k] = \begin{cases} \sum_{n=0}^{L-1-\Delta n} E_{up} = (L-1-\Delta n) * E_{up} & \Delta n > 0 \\ \sum_{n=-\Delta n}^{L-1} E_{up} = (L-1+\Delta n) * E_{up} & \Delta n < 0 \end{cases}$$

式中  $\Delta n = \text{sym} - k$ ;

步骤4:基于待解调信号的频率-能量特征值与频率-能量特征参考值之间的差异来解调信号。

2. 根据权利要求1所述的基于多维特征的LoRa并发传输解调方法,其特征在于:所述步骤1:持续计算接收信号在一个symbol长度的窗口内dechirp后的频谱,若连续检测到8个相同的峰值频率,则视为检测到了LoRa传输的preamble;由于LoRa的包结构是固定的,因此,在检测一个LoRa数据包的preamble后,很容易地确定其数据负载部分各个symbol的位置;当检测到一个LoRa数据包的preamble时,根据包格式向后查找数据包的符号部分,并将其与该条传输绑定,之后仅需解调出该符号的具体值即可;

对于其他并发的传输采取同样的处理方法。

3. 根据权利要求1所述的基于多维特征的LoRa并发传输解调方法,其特征在于:所述步骤4:计算每个symbol的 $E_{pr}$ 与自身的 $E_p$ 之间的差别,定义变异系数DEE:

$$DEE[sym] = \sum_{k=0}^{k=L-1} |E_{pr}[sym, k] - E_P[sym, k]|$$

对于每次计算窗口定位到的位置,遍历当前扩频因子SF设定下所有symbol对应的十进制数sym,并计算其DEE,将DEE结果最小的symbol视为目标symbol;解调出所有symbol即完成并发解调。

## 基于多维特征的LoRa并发传输解调方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于通讯技术领域,尤其涉及一种LoRa物理层并发传输方法。

### 背景技术

[0002] LoRa调制与解调原理:低功耗广域网 (LPWAN) 技术以其低功耗和长距离通信的特点推动了生活中的广泛应用,包括LoRa、NB-IoT、Sigfox和Weightless等,是近年来新兴的流行技术。目前也有许多基于这项技术的应用程序,如帆船监测系统、健康和幸福监测、农业监测。LoRa的基本信号称为chirp,根据其作用及在时频图中形状的不同可分为upchirp、downchirp和symbol。三种chirp的时频图中如图1所示。可以看到,upchirp的频率随时间增加,downchirp的频率随时间减少,symbol的频率有随时间增加的趋势,但会在带宽的上边界被截断,并重新从下边界开始增长。

[0003] LoRa根据扩频因子SF的值,将每个chirp分为 $2^{SF}$ 个码片(chip)发送。Chirp的整个带宽被每个码片平分,因此每个码片对应着带宽相同的一段频带。此处用 $f_{chip}$ 代表一个码片的带宽。LoRa利用upchirp进行调制。首先将二进制比特流转化为十进制数字(此处用sym代表这个数字),然后在频谱上将upchirp向上搬移sym对应数量的码片个数,其超过带宽上边界的部分将被截断,并从下边界开始增长。用 $x_{sym}[n]$ 表示该波形的离散形式:

$$[0004] \quad x_{sym}[n] = e^{j2\pi(-\frac{BW}{2} + (sym+n)*f_{chip})\frac{n}{L}} \#(1)$$

[0005] 此处将信号的振幅取为1。BW代表信号带宽, $-\frac{BW}{2}$ 表示带宽的下边界。n是离散信号的下标,L为表示一个chirp所需的离散信号点数。

[0006] upchirp和downchirp可以看作特殊的symbol,upchirp对应着sym=0的情况,downchirp在时频图上是upchirp的镜像对称。

[0007] 在获得基带上的波形后,利用高频载波,将其频谱搬移到可通过天线发射出去的高频段,即完成了LoRa信号的调制工作。

[0008] 为解调一个LoRa信号的symbol,需计算其sym值,即时频图中upchirp向上搬移的码片数量。为此,将symbol的波形乘以一个downchirp,如式(2)所示:

$$[0009] \quad \begin{aligned} x_{sym}[n] \times x_{down}[n] &= e^{j2\pi(-\frac{BW}{2} + (sym+n)*f_{chip})\frac{n}{L}} \times e^{j2\pi(\frac{BW}{2} - n*f_{chip})\frac{n}{L}} \\ &= e^{j2\pi(sym*f_{chip})\frac{n}{L}} \#(2) \end{aligned}$$

[0010] 结果信号的频率中仅包含了sym的信息。此时利用傅里叶变换,在信号的频谱图中选择幅值最大的频段即可恢复所传输的数据信息。这一过程称为dechirp。

[0011] LoRa并发传输:LoRa在大规模部署时会不可避免的产生并发冲突,尤其是在长距离通信中,来自各处的LoRa节点随机发送的信号经自由空间传播到同一个网关时不可预测地发生碰撞。为能够有效地接收节点发来的数据,网关必须具备一定的并发解调能力。

[0012] LoRa本身具有一定的并发传输能力。通过将信号调制到不同的载波,并在相同的

载波上使用不同的扩频因子发送LoRa信号(不同扩频因子的LoRa信号互不干扰),可实现多个LoRa通信的并发进行。

[0013] 当节点数量增加至一定规模时,不同载波频率与SF的组合无法满足大量节点的并发通信需求,此时需要在MAC层进行信道的协调分配。然而,MAC层的协调能力有限,不能完全避免信号的冲突,因此,LoRa的接收端必须能够在物理层进行并发解调。

[0014] 现阶段的LoRa并发传输在物理层的解决方案大多数聚焦于单一的信号特征。例如,基于CF0(CF0,Carrier Frequency Offset)的方法一般通过检测因制造工艺限制产生的固定信号频偏来将每个LoRa传输对应到其发送端,从而达到实现并发解调。以及,不同设备发送信号的能量不同的现象也可用于解调并发的LoRa传输。这些方法均在LoRa并发解调上有着一定的进步,但同时也因特征单一而有着各自的局限性。

[0015] 由于LoRa的设计是为了在长范围(例如超过10公里)支持这些应用,大量的LoRa设备不可避免地同时存在,这会导致严重的包丢失问题和网络性能下降。考虑到大量设备的快速部署和LoRa流量不可避免的突发,这一问题将成为越来越关键的挑战。

## 发明内容

[0016] 为解决上述问题,本发明公开了本项目同时利用多个LoRa特征解调并发的LoRa传输,即综合利用了信号的频率和能量信息,通过计算不同symbol对应频率的能量金字塔 $E_p$ (Energy pyramid)来从冲突的LoRa传输中分离symbol,从而达到并发解调的目的。

[0017] 本发明的基于多维特征的LoRa并发传输解调方法,在物理层同时利用LoRa信号的频率特征和能量特征对并发传输的LoRa信号进行解调;可以不修改设备硬件,直接部署在LoRa接收端;通过计算不同symbol对应频率的能量金字塔 $E_p$ (Energy pyramid)来从冲突的LoRa传输中分离symbol,从而达到并发解调的目的;具体包括以下步骤:

[0018] 步骤1:检测LoRa传输的preamble,并将每条LoRa传输的符号与该传输绑定;

[0019] 步骤2:遍历所有symbol对应的起始频率,计算待解调符号经dechirp后,在每个起始频率处与计算窗口不同重叠程度情况下的频率-能量特征值;

[0020] 步骤3:利用滑动窗口及upchirp的能量平均值,计算待解调符号的频率-能量特征参考值。

[0021] 步骤4:基于待解调信号的频率-能量特征值与频率-能量特征参考值之间的差异来解调信号。

[0022] 其中,所述步骤1:持续计算接收信号在一个symbol长度的窗口内dechirp后的频谱,若连续检测到8个相同的峰值频率,则视为检测到了LoRa传输的preamble;由于LoRa的包结构是固定的,因此,在检测一个LoRa数据包的preamble后,可以很容易地确定其数据负载部分各个symbol的位置;当检测到一个LoRa数据包的preamble时,根据包格式向后查找数据包的符号部分,并将其与该条传输绑定,之后仅需解调出该符号的具体值即可;对于其他并发的传输采取同样的处理方法。

[0023] 其中,所述步骤2:设立能量金字塔 $E_p$ (Energy pyramid);对于计算窗口内的待解调符号,遍历其在不同起始频率下,与计算窗口不同重叠程度情况下的能量大小,作为待解调符号的能量金字塔 $E_p$ :

$$[0024] \quad E_p[\text{sym}, k] = \begin{cases} \sum_{n=0}^{L-1-\Delta n} e^{j2\pi((\text{sym}-k)*f_{\text{chip}}+\Delta f)\frac{n}{L}} & \Delta n > 0 \\ \sum_{n=-\Delta n}^{L-1} e^{j2\pi((\text{sym}-k)*f_{\text{chip}}+\Delta f)\frac{n}{L}} & \Delta n < 0 \end{cases} \quad \#(6)$$

[0025] 式中  $\Delta n = \text{sym} - k$ ,  $\Delta f = \Delta n * f_{\text{chip}}$ 。

[0026] 其中,所述步骤3:设立基准能量金字塔 $E_{\text{pr}}$  (Energy pyramid reference);基准能量金字塔利用了LoRa数据包中称为preamble的部分,该部分一般由8个upchirp组成,用于LoRa数据包的检测和定位;由于LoRa数据包中每个symbol能量基本是稳定的,且与发送端密切相关,因此,8个upchirp的平均值 $E_{\text{up}}$  (Energy of upchirp)为标准,利用滑动窗口,为每个symbol构建基准能量金字塔 $E_{\text{pr}}$ :

$$[0027] \quad E_{\text{pr}}[\text{sym}, k] = \begin{cases} \sum_{n=0}^{L-1-\Delta n} E_{\text{up}} = (L-1-\Delta n) * E_{\text{up}} & \Delta n > 0 \\ \sum_{n=-\Delta n}^{L-1} E_{\text{up}} = (L-1+\Delta n) * E_{\text{up}} & \Delta n < 0 \end{cases} \quad \#(7)$$

[0028] 式中  $\Delta n = \text{sym} - k$ 。

[0029] 其中,所述步骤4:计算每个symbol的 $E_{\text{pr}}$ 与自身的 $E_p$ 之间的差别,定义变异系数DEE (Difference between  $E_p$  and  $E_{\text{pr}}$ ):

$$[0030] \quad \text{DEE}[\text{sym}] = \sum_{k=0}^{L-1} |E_{\text{pr}}[\text{sym}, k] - E_p[\text{sym}, k]| \quad \#(8)$$

[0031] 对于每次计算窗口定位到的位置,遍历当前SF设定下所有symbol对应的十进制数sym,并计算其DEE,将DEE结果最小的symbol视为目标symbol;解调出所有symbol即完成并发解调。

[0032] 本发明的有益效果:

[0033] 1、解决了Lora并发传输的解码问题;通过symbol分类算法,本方案可有效地从LoRa节点的并发传输中恢复symbol。

[0034] 2、提高了LoRa在不同环境参数下的网络吞吐率;实验评估结果表明,本方案在不同节点、不同信噪比、不同距离及不同带宽下的吞吐率较FTrack和BaseLoRa而言均有提高,是现有技术吞吐率的3倍。

[0035] 3、部署本方案时无需更改LoRa节点的硬件或固件;由于本方案仅依赖LoRa节点传输时信号的频率及功率特征,不需要额外信息,因此部署本方案时不需要对LoRa节点的硬件或固件进行更改。

[0036] 4、降低了LoRa节点的能耗;当数据包发生碰撞时,LoRa结点需要重新发送数据包,从而导致了额外的能耗。而在部署本方案后,接收端可从碰撞的数据包中恢复数据,无需重传数据包,节省了能耗。

## 附图说明

[0037] 图1、背景技术中三种chirp的时频图;

[0038] 图2、窗口与symbol并非完美重叠示意图;

- [0039] 图3、滑动窗口与对应计算窗口内峰值和峰值频率的变化图；  
 [0040] 图4、残缺的能量金字塔；  
 [0041] 图5、sym=5对应symbol的基准能量金字塔；  
 [0042] 图6、sym=5对应symbol的能量金字塔、基准能量金字塔以及来自其他symbol的残缺能量金字塔。

## 具体实施方式

[0043] 下面结合附图和具体实施方式,进一步阐明本发明,应理解下述具体实施方式仅用于说明本发明而并不用于限制本发明的范围。需要说明的是,下面描述中使用的词语“前”、“后”、“左”、“右”、“上”和“下”指的是附图中的方向,词语“内”和“外”分别指的是朝向或远离特定部件几何中心的方向。

[0044] 本实施例的基于多维特征的LoRa并发传输解调方法,在物理层通过利用LoRa传输的频率和功率特性来解调突发的LoRa通信。

[0045] 下面首先详细描述本方案设计中所涉及到的概念及算法,然后展示本方案在不同环境参数下的表现效果来验证本方案的有效性。

[0046] 1、设计

[0047] 1.1传输检测与符号绑定

[0048] 为解调并发传输的LoRa信号,首先需要检测到LoRa数据包的preamble。持续计算接收信号在一个symbol长度的窗口内dechirp后的频谱,若连续检测到8个相同的峰值频率,则视为检测到了LoRa传输的preamble。由于LoRa的包结构是固定的,因此,在检测一个LoRa数据包的preamble后,可以很容易地确定其数据负载部分各个symbol的位置;当检测到一个LoRa数据包的preamble时,根据包格式向后查找数据包的符号部分,并将其与该条传输绑定,之后仅需解调出该符号的具体值即可。对于其他并发的传输采取同样的处理方法。

[0049] 1.2信号的频域能量:

[0050] 一段信号 $x(n)$ 在某频率上的能量 $E_x(k)$ 的基本计算公式为:

$$[0051] \quad E_x[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi \frac{kn}{N}} \quad \#(3)$$

[0052] 式中 $k$ 表示需要计算能量的频率。该式为基本的离散傅里叶变换。

[0053] 当信号 $x(n)$ 为LoRa经dechirp后的symbol,即 $x(n)$ 为式(2)的计算结果时,式(3)可改写为:

$$[0054] \quad E_{\text{sym}}[k] = \sum_{n=0}^{L-1} e^{j2\pi(\text{sym} \cdot f_{\text{chip}}) \frac{n}{L}} \times e^{-j2\pi \frac{k \cdot f_{\text{chip}} \cdot n}{L}} \\ = \sum_{n=0}^{L-1} e^{j2\pi((\text{sym}-k) \cdot f_{\text{chip}}) \frac{n}{L}} \quad \#(4)$$

[0055] 此处 $k$ 用于表示需要计算能量的symbol。由式(4)可观察到,当 $k$ 取值为sym,即选择symbol所对应的频率时,该式计算的计算结果最大,为 $L-1$ (在信号振幅简化为1的情况下),这对应着symbol经dechirp后在其对应频率处能量最大的事实。

[0056] 在实际场景中,计算窗口的大小通常设置为symbol的点数。窗口与一些symbol部分重叠,因此在时间上产生偏移 $\Delta t$ ,同时损失了symbol后半段 $\Delta n$ 个采样点,如图(2)所示。考虑到LoRa信号频率随时间变化的特点,其频率也会产生 $\Delta f$ 的变化,即式(4)中的频率部分发送偏移:

$$[0057] \quad E_{\text{sym+offset}}[k] = \sum_{n=0}^{L-1-\Delta n} e^{j2\pi((\text{sym}-k)*f_{\text{chip}}+\Delta f)\frac{n}{L}} \quad \#(5)$$

[0058] 此时,当k取值为 $\text{sym} - \frac{\Delta f}{f_{\text{chip}}}$ 时才能得到最大的计算结果 $L-1$ ,而在 $\text{sym}*f_{\text{chip}}$ 处仅能取到一个较小值。

[0059] 总结式(4)、式(5)即相应的说明,若一个symbol完全落入窗口,且正好是当前计算的sym所对应的symbol,则dechirp后能在其对应的频段(即 $\text{sym}*f_{\text{chip}}$ )取得能量最大值。而其他并发传输的symbol,由于并不完全落入计算窗口,因此无法在该频段取得最大的能量值。当窗口内的symbol不是sym对应的symbol时,同样也无法在该频段取得最大值。

[0060] 将完全落入窗口内且实际值为所求sym的symbol视为目标symbol,其他symbol视为干扰symbol,则目标symbol和干扰symbol在峰值频率的取值上存在着差异。基于这个发现,我们提出能量金字塔的概念。

[0061] 1.3能量金字塔

[0062] 由图(2)可知,在symbol不完美落入计算窗口的情况下,会损失与未重叠长度相当的点数 $\Delta n$ 相当的采样点。考虑到傅里叶变换在频率上的累加特性,采样点的数量直接决定了傅里叶计算结果中各频率的能量大小。因此,symbol与计算窗口的重叠程度越低,频谱中的峰值能量大小也越低。由于LoRa信号频率随时间变化的特性,峰值所处位置也更加偏离symbol原本对应的频率处(即 $\Delta f$ 越大)。

[0063] 由上所述,当计算窗口滑入并滑出一个symbol时,计算窗口内频率的能量峰值与各峰值所在频率的位置分布便会呈现出金字塔的形状。以 $\text{sym}=5$ 时对应的symbol为例,计算窗口滑入并滑出该symbol时,产生的频率峰值及峰值频率的位置情况如图(3)所示。

[0064] 将一个symbol呈现出的金字塔形状称为该symbol的能量金字塔 $E_p$ ,定义式为:

$$[0065] \quad E_p[\text{sym}, k] = \begin{cases} \sum_{n=0}^{L-1-\Delta n} e^{j2\pi((\text{sym}-k)*f_{\text{chip}}+\Delta f)\frac{n}{L}} & \Delta n > 0 \\ \sum_{n=-\Delta n}^{L-1} e^{j2\pi((\text{sym}-k)*f_{\text{chip}}+\Delta f)\frac{n}{L}} & \Delta n < 0 \end{cases} \quad \#(6)$$

[0066] 式中 $\Delta n = \text{sym} - k$ ,  $\Delta f = \Delta n * f_{\text{chip}}$ 。非目标symbol在窗口内只会呈现出残缺的能量金字塔,如图(4)所示。借助能量金字塔,目标symbol与非目标symbol之间的差别更加显著。

[0067] 然而,现实场景中,一个symbol的前后时间段内有诸多并发传输干扰,前后也存在着同一个包内的其他符号,因此很难直接移动计算窗口来求得一个symbol的能量金字塔。考虑LoRa信号的频率随时间线性变化的特性,计算窗口与symbol在时间上的偏移 $\Delta t$ 会引起频率上的偏移 $\Delta f$ ,那么反过来,频率上的偏移 $\Delta f$ 同样可视为symbol在时间上的偏移 $\Delta t$ 。利用此性质,以 $f_{\text{chip}}$ 为步进单位遍历带宽,可以在不受窗口前后时间段内信号干扰的情况下计算给定sym的能量金字塔。



## [0068] 1.4基准能量金字塔

[0069] 1.3节描述了symbol在计算窗口滑动过程中体现出的能量金字塔特性,该特性显著地将目标symbol与干扰symbol区分开来。然而,这只是从定性的角度做出了区分,为了能在计算机上具体实现该方案,还需要一个可以定量计算的标准。这就是本节介绍的基准能量金字塔 $E_{pr}$  (Energy pyramid reference)。

[0070] 基准能量金字塔利用了LoRa数据包中称为preamble的部分,该部分一般由8个upchirp组成,用于LoRa数据包的检测和定位。由于LoRa数据包中每个symbol(包括upchirp和downchirp这类特殊symbol)的能量基本是稳定的,且与发送端密切相关,因此,本方案计算了这8个upchirp在dechirp后的平均能量 $E_{up}$  (Energy of upchirp),并以此为标准为每个symbol构建基准能量金字塔 $E_{pr}$ :

$$[0071] \quad E_{pr}[\text{sym}, k] = \begin{cases} \sum_{n=0}^{L-1-\Delta n} E_{up} = (L-1-\Delta n) * E_{up} & \Delta n > 0 \\ \sum_{n=-\Delta n}^{L-1} E_{up} = (L-1+\Delta n) * E_{up} & \Delta n < 0 \end{cases} \quad \#(7)$$

[0072] 式中 $\Delta n = \text{sym} - k$ 。同样以 $\text{sym} = 5$ 对应的symbol为例,其 $E_{pr}$ 如图(5)所示。

## [0073] 1.5符号恢复

[0074] 实际场景中传输的LoRa数据包内每个symbol的能量值不可能是完全相同的,总会在自由空间传播的过程中发生变异。然而,每个符号的 $E_p$ 是相对稳定的,其总体能量值不会与 $E_{pr}$ 差距太大,而不同数据包的symbol间的能量差异是显著的。因此,一个symbol的 $E_{pr}$ 与自身的 $E_p$ 之间的差距远小于该symbol的 $E_{pr}$ 与其他symbol的 $E_p$ 之间的差距,如图(6)所示。因此,可关注每个symbol的 $E_{pr}$ 与自身的 $E_p$ 之间的差别,定义变异系数DEE (Difference between  $E_p$  and  $E_{pr}$ ):

$$[0075] \quad DEE[\text{sym}] = \sum_{k=0}^{k=L-1} |E_{pr}[\text{sym}, k] - E_p[\text{sym}, k]| \quad \#(8)$$

[0076] 对于每次计算窗口定位到的位置,遍历当前SF设定下所有symbol对应的十进制数sym,并计算其DEE。DEE结果最小的symbol即为目标symbol。至此,可从产生冲突的信号中恢复symbol。解调出所有传输中的symbol,即完成了LoRa信号的并发解调。

## [0077] 性能评估

## [0078] 2.1实验配置

[0079] 实验使用SX1278 LoRa节点作为发送端,使用Gnu Radio进行控制USRP B210来接收发送节点发送的信号,收发频段均为510MHz。实验场景分为室内试验和室外实验,分别在大楼内和校区内进行,测试了本方案在不同参数下的表现。

## [0080] 2.2性能评估结果

[0081] a) 并发性:实验在室内进行。带宽=125KHz, SF=8,测试节点数范围为5到20。试验结果表明,本方案能够有效地解调多个并发的LoRa传输。

[0082] b) 不同信噪比下的吞吐率:实验在室内进行。在三种SF (SF=7, SF=8, SF=11) 情况下分别在低、中、高信噪比场景中进行实验。试验结果表明,在各种信噪比及SF的场景下,本方案的吞吐率总体达到了最新技术FTrack的三倍以上。

[0083] c) 不同距离下的吞吐率:实验在校区内进行,并与FTrack和BaseLoRa进行比较。LoRa节点放置在校园内不同位置以测试吞吐率。随着通信距离的增加,各方案的吞吐率都有所降低,而本方案始终保持着最高吞吐率。这表明本方案在远距离并发传输上有显著优势。

[0084] d) 不同带宽下的符号接收率:实验在室内进行,并与FTrack和BaseLoRa (即无并发解调功能的原生LoRa) 进行比较。随着带宽增大,三种方法的表现均有所提升。其中,本方案具有最高的符号接收率,FTrack是第二,而BaseLoRa最低。

[0085] 综上所述,与最新方法FTrack相比,本方案更适合于并发方案。特别是当带宽小而SF大时,本方案仍然可以保持良好的性能。

[0086] 本实施例的技术方案可以应用到以下实际场景中:

[0087] 实施例1:

[0088] 用于大量LoRa节点突发传输的场景;

[0089] 例如:高密度种植场景下的农作物环境监控、交通繁忙时段的车辆监控、大型停车场车位管理等场景下会产生大量的信号冲突,利用本方案可有效地解调这些信号冲突。

[0090] 实施例2:

[0091] 用于低成本改造升级已有LoRa节点网络;

[0092] 例如:在LoRa节点规模逐渐扩大的场景下,并发传输带来的信号冲突会限制LoRa节点网络的性能。在不改动硬件和固件的前提下,可在LoRa基站的物理层使用本方案方案来低成本地提高网络性能。

[0093] 实施例3:

[0094] 用于提高LoRa节点的吞吐率

[0095] 例如:一些应用的响应速度与LoRa节点的吞吐率相关,如车辆位置、作物环境信息等数据的实时可视化。通过使用本方案方案,可提高LoRa节点的吞吐率,从而加快这类应用的响应速度。

[0096] 本发明方案所公开的技术手段不仅限于上述实施方式所公开的技术手段,还包括由以上技术特征任意组合所组成的技术方案。

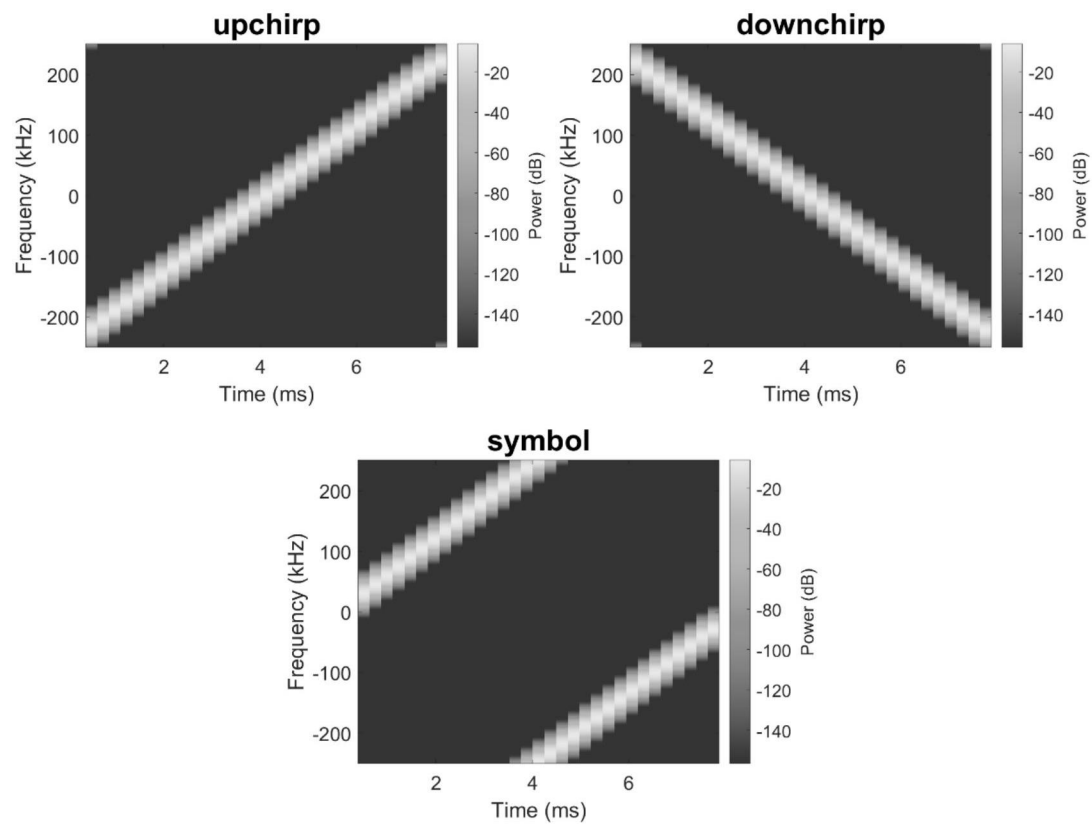


图1

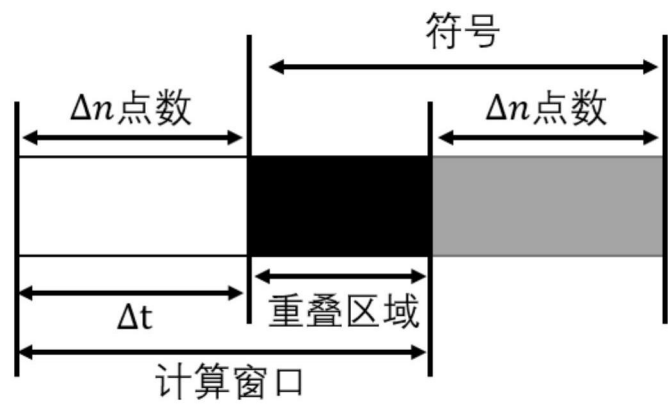


图2

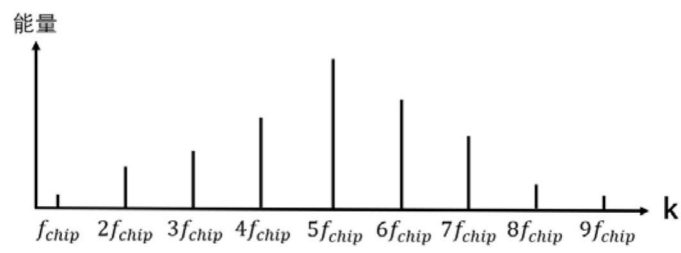
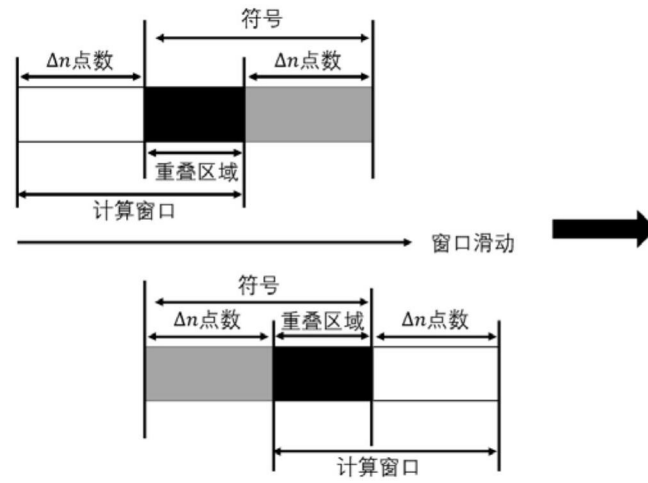


图3

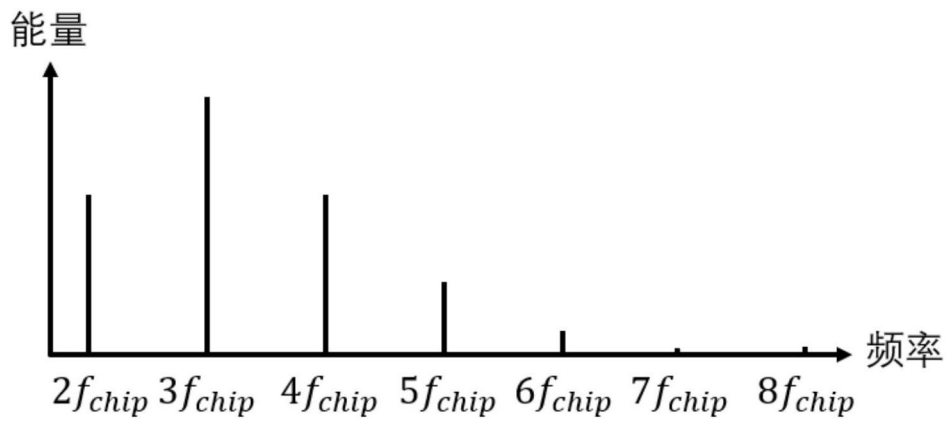


图4

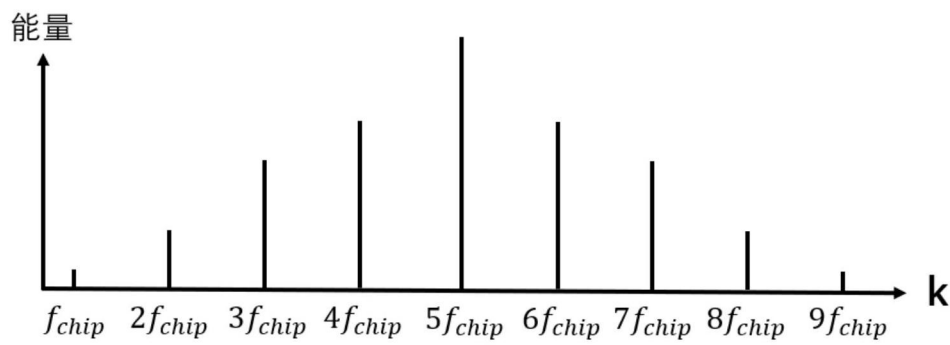


图5

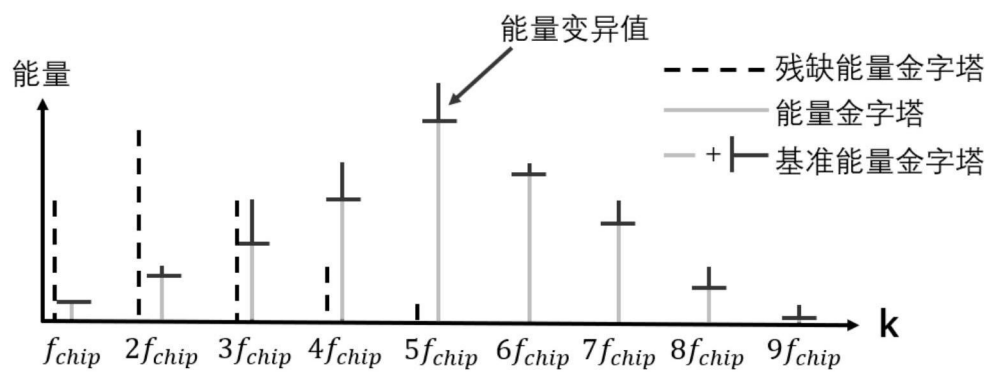


图6