



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113938485 B

(45) 授权公告日 2024. 03. 08

(21) 申请号 202111473701.3

(22) 申请日 2021.11.29

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 113938485 A

(43) 申请公布日 2022.01.14

(73) 专利权人 东南大学

地址 211135 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 梅洛瑜 秦培元

(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 杜静静

(51) Int. Cl.

H04L 67/10 (2022.01)

(56) 对比文件

CN 102017497 A, 2011.04.13

CN 112560029 A, 2021.03.26

RU 2658795 C1, 2018.06.22

EP 3125454 A1, 2017.02.01

冯跃辉. “联合编码抗干扰设计和实现”. 《中国新技术新产品》. 2020, 第56-58页.

审查员 赵颖

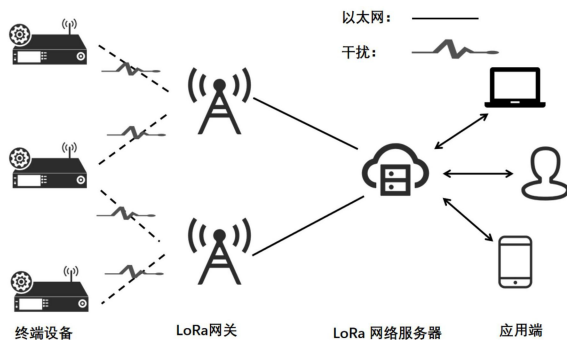
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

一种基于模糊检测恢复的LPWANs边缘云协同抗干扰方法

(57) 摘要

本发明公开一种基于模糊检测恢复的LPWANs边缘云协同抗干扰方法,用于低功率广域网抗干扰的云边协同的技术(FDR),本方法利用模糊检测码,在解码数据包之前检测损坏的模糊位置,并利用对比替换算法协同多个基站在云端服务器进行数据包恢复。这是一种软件算法,无需修改任何硬件。与原始LoRa相比,当数据包损坏程度达到45.72%,FDR仍可以实现对数据包的准确解码,而计算时间相比于标准LoRa仅增加了9.35%。



1. 一种基于模糊检测恢复的LPWANs边缘云协同抗干扰方法,其特征在于,所述方法包括以下步骤:

步骤1:设计模糊检测码,并在数据包的有效载荷中插入模糊检测码;

步骤2:根据数据包的受干扰程度,对数据包的有效载荷结构进行动态的划分,确定最优模糊检测段长度;

步骤3:在网关处检测插入了模糊检测码的数据包,模糊检测有效载荷中的错误,并报告给云端;

步骤4:在云端利用对比替换算法恢复数据包中的错误;

其中,所述步骤3中:在基站处检测插入了模糊检测码的数据包,模糊检测有效载荷中

的错误,并报告给云端,利用公式
$$\begin{cases} P_k = \{c | c \in [t \times 2^k, t \times (2^{k+1} - 1)], c < n\} \\ G_i = \bigoplus_{j=1}^{P_k} C_j \\ S = \sum_{i=1}^r G_i \end{cases}$$
 来进行错误

的模糊定位,其中 P_k, G_i, C_j, S, r 分别代表了模糊检测组 G 的索引集合, k 的取值范围 $1, \dots, n+r$,

n 代表数据位数,第 i 个模糊检测组的正确和错误条件,模糊检测码中的第 j 位,正确的模糊检测组和检测码的数量, t 是一个正奇数,当FDR工作时,一旦它在一个组中发现错误,它将错误组所属的段检测为错误,并将所有的检测结果连同数据包发送上云;

所述步骤4中:在云端利用对比替换算法恢复数据包中的错误,数据包的分段替换利用公式 $C_q[f] = \sum_{g=0}^{m-1} (P_q[f] \odot P_q[g])$ 和 $V_q = R_q[f] \times C_q[f]$ 来计算,其中 $C_q[f]$ 代表与第 q 个包中的第 f 个段相同的段的数量, P_q 代表第 q 个包, m 代表网关的数量,

V_q 代表第 q 个包中的一个段的值, R_q 代表第 q 个包的检测结果,如果某个数据段全部出错,则利用公式 $P = \sum_{h=0}^{r-1} (H(2)_h \times 2^k)$ 纠正一位错误再进行替换恢复,其中 $H(2)$ 代表模糊检测码的二进制表示。

2. 根据权利要求1所述的一种基于模糊检测恢复的LPWANs边缘云协同抗干扰方法,其特征在于:所述步骤1中,在LoRa物理有效载荷中添加了错误模糊检测码,利用公式计算模糊检测码数: $2^r \geq n+r+1$,其中 r 为检测位数, n 为数据位数,并在有效载荷第 2^n 的位置插入模糊检测码,其中 $n=1, 2, 3, \dots$ 。

3. 根据权利要求1所述的一种基于模糊检测恢复的LPWANs边缘云协同抗干扰方法,其特征在于:所述步骤2中:根据数据包的受干扰程度,对数据包的有效载荷结构进行动态的划分,根据公式: $w \leq (m-1)/(m \times x)$ 来计算不同干扰强度下,数据段长度的最优选取,其中 w, x 和 m 表示段的长度、误码率和网关的数量,能够根据不同的干扰强度确定最优模糊检测段长度。

一种基于模糊检测恢复的LPWANs边缘云协同抗干扰方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种干扰方法,具体涉及一种基于模糊检测恢复的LPWANs边缘云协同抗干扰方法,属于通信技术领域。

背景技术

[0002] LoRa是Semtech公司创建的低功耗广域网无线标准,具备低功耗长距离等特点,真实环境中,LoRa协议的工作场景是长距离,当LoRa信号通过数公里的路径损耗后,信噪比会急剧下降,导致自身的抗干扰能力不足,极易被附近的同频设备影响,使网络整体通信流量大幅降低。之前的工作已经证明,通过修改物理层上的硬件可以大大提高LoRa干扰抑制的性能。然而,额外硬件部署的成本使其难以普及。为了解决这个问题,最近的研究提出了一些基于云的方法如OPR算法,来利用在多个LoRa LPWAN基站检测失败的CRC的一组中的最可能的破坏比特。在没有任何硬件修改的情况下,实验表明OPR可以通过上载被破坏的分组和RSSI样本来恢复72%的失败的数据分组。然而,它需要网关将RSSI上传到云端。这大大增加了数据恢复的开销。但是,这些基于云端的抗干扰方法导致了额外的传输开销和计算开销,因而极大地限制了它们在实际系统中的可行性,因此,迫切的需要一种新的方案解决上述技术问题。

发明内容

[0003] 本发明正是针对现有技术中存在的技术问题,提供一种基于模糊检测恢复的LPWANs边缘云协同抗干扰方法,该方法通过一种模糊检测的方式,在只增加软件算法,不修改硬件的情况下实现抗干扰,设计并实现了错误的模糊检测码,并在解码数据包之前感知损坏的模糊位置,并利用对比替换算法协同多个基站进行数据包恢复,利用模糊检测特有的时间优势,进一步减小数据传输和计算时延。

[0004] 为了实现上述目的,本发明的技术方案如下:一种基于模糊检测恢复的LPWANs边缘云协同抗干扰方法,所述方法包括以下步骤:

[0005] 步骤1:设计模糊检测码,并在数据包的有效载荷中插入模糊检测码;

[0006] 步骤2:根据数据包的受干扰程度,对数据包的有效载荷结构进行动态的划分;

[0007] 步骤3:在基站处检测插入了模糊检测码的数据包,模糊检测有效载荷中的错误,并报告给云端;

[0008] 步骤4:在云端利用对比替换算法恢复数据包中的错误。

[0009] 其中步骤1中,模糊检测码借鉴了汉明码的设计原理,我们在LoRa物理有效载荷中添加了错误模糊检测码,利用公式计算模糊检测码数: $2^r \geq n+r+1$,其中 r 为检测位数, n 为数据位数。并在有效载荷第 2^n 的位置插入模糊检测码,其中 $n=1,2,3,\dots$ 。

[0010] 步骤2中,根据数据包的受干扰程度,对数据包的有效载荷结构进行动态的划分。根据公式: $n \leq (m-1)/(m \times x)$ 来计算不同干扰强度下,数据段长度的最优选取,其中 n 、 x 和 m 表示段的长度、误码率和网关的数量。能够根据不同的干扰强度确定最优模糊检测段长度。

[0011] 步骤3中,在基站处检测插入了模糊检测码的数据包,模糊检测有效载荷中的错

误,并报告给云端。利用公式
$$\begin{cases} P_k = \{c | c \in [t \times 2^k, t \times (2^{k+1} - 1)], c < n\} \\ G_i = \bigoplus_{j=1}^{P_k} C_j \\ S = \sum_{i=1}^r G_i \end{cases}$$
 来进行错误的模

糊定位,这里 P_k, G_i, C_j, S, r 分别代表了 G_k 的索引集合,第 i 个模糊检测组的正确和错误条件,模糊检测码中的第 j 位,模糊检测段和检测码的数量。 t 是一个正奇数。当FDR工作时,一旦它在一个组中发现错误,它将错误组所属段的检测为错误。并将所有的检测结果连同数据包发送上云。

[0012] 步骤4中,在云端利用对比替换算法恢复数据包中的错误,数据包的分段替换利用公式 $C_n[j] = \sum_{k=0}^{m-1} (P_n[j] \odot P_n[k])$ 和 $V_n = R_n[j] \times C_n[j]$ 来计算,这里 $C_n[j]$ 代表与第 n 个包中的第 j 个段相同的段的数量, P_n 代表第 n 个包, V_n 代表第 n 个分组中的一个段的值, R_n 代表第 n 个分组的检测结果。如果某个数据段全部出错,则利用公式 $P = \sum_{i=0}^r (H(2)_i \times 2^k)$ 纠正一位错误再进行替换恢复。其中 $H(2)$ 代表模糊检测码的二进制表示。

[0013] 相对于现有技术,本发明的优点如下:该方案提出了基于模糊检错的实时信号恢复算法FDR,FDR利用了云计算的强大计算能力和多个网关的协作,实验表明,在数据包损伤率高达45.72%的情况下,FDR实现了对数据包的准确恢复,与现有技术相比,时间消耗减少了78.53%;在FDR恢复的最终损伤率的情况下,FDR仅比标准LoRa的解码过程增加了9.35%的时间消耗。

附图说明

[0014] 图1为LoRaWAN的结构示意图;

[0015] 图2为模糊检测算法的包结构划分示意图。

具体实施方式

[0016] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,下面结合具体实施例和说明附图对本发明作进一步说明,应当理解,此处所描述的优先实施例仅用于说明和解释本发明,并不用于限定本发明。

[0017] 实施例:一种基于模糊检测恢复的LPWANs边缘云协同抗干扰方法,所述方法包括以下步骤:

[0018] 步骤1:设计模糊检测码,并在数据包的有效载荷中插入模糊检测码;

[0019] 步骤2:根据数据包的受干扰程度,对数据包的有效载荷结构进行动态的划分;

[0020] 步骤3:在基站处检测插入了模糊检测码的数据包,模糊检测有效载荷中的错误,并报告给云端;

[0021] 步骤4:在云端利用对比替换算法恢复数据包中的错误。

[0022] 其中步骤1中,模糊检测码借鉴了汉明码的设计原理,在LoRa物理有效载荷中添加了错误模糊检测码,利用公式计算模糊检测码数: $2^r \geq n+r+1$, 其中 r 为检测位数, n 为数据位数。并在有效载荷第 2^n 的位置插入模糊检测码,其中 $n=1,2,3,\dots$ 。

[0023] 步骤2中,根据数据包的受干扰程度,对数据包的有效载荷结构进行动态的划分,

根据公式: $n \leq (m-1)/(m \times x)$ 来计算不同干扰强度下,数据段长度的最优选取,其中 n 、 x 和 m 表示段的长度、误码率和网关的数量,能够根据不同的干扰强度确定最优模糊检测段长度。

[0024] 步骤3中,在基站处检测插入了模糊检测码的数据包,模糊检测有效载荷中的错

误,并报告给云端。利用公式
$$\begin{cases} P_k = \{c | c \in [t \times 2^k, t \times (2^{k+1} - 1)], c < n\} \\ G_i = \bigoplus_{j=1}^{P_k} C_j \\ S = \sum_{i=1}^r G_i \end{cases}$$
 来进行错误的模

糊定位,这里 P_k, G_i, C_j, S, r 分别代表了 G_k 的索引集合,第 i 个模糊检测组的正确和错误条件,模糊检测码中的第 j 位,模糊检测段和检测码的数量。 t 是一个正奇数。当FDR工作时,一旦它在一个组中发现错误,它将错误组所属段的检测为错误。并将所有的检测结果连同数据包发送上云。

[0025] 步骤4中,在云端利用对比替换算法恢复数据包中的错误,数据包的分段替换利用公式 $C_n[j] = \sum_{k=0}^{m-1} (P_n[j] \odot P_n[k])$ 和 $V_n = R_n[j] \times C_n[j]$ 来计算,这里 $C_n[j]$ 代表与第 n 个包中的第 j 个段相同的段的数量, P_n 代表第 n 个包, V_n 代表第 n 个分组中的一个段的值, R_n 代表第 n 个分组的检测结果。如果某个数据段全部出错,则利用公式 $P = \sum_{i=0}^r (H(2)_i \times 2^k)$ 纠正一位错误再进行替换恢复。其中 $H(2)$ 代表模糊检测码的二进制表示。

[0026] 上述方案中,FDR是一种基于软件的信号恢复算法,它利用了不同网关的多个数据包。它可以恢复因干扰而损坏的数据包,尤其是在强干扰或弱信号强度的情况下。

[0027] 图1说明了LoRaWAN的结构。FDR基于LoRaWAN结构恢复数据包。在发送无线电信号之前,FDR将模糊检测码添加到物理有效载荷中,用于检测错误。LoRa覆盖范围内的多个网关接收受干扰的数据包。然后网关检测数据包并上传模糊信息检测结果传到云端。云服务器使用一种称为对比替换的恢复算法来恢复损坏的数据包。一般来说,随着网关数量的增加,FDR的纠错能力有增长的趋势,因为网关收集的有用数据包越来越多。

[0028] 一、边缘处设计并插入模糊检测码,实现错误的模糊检测

[0029] 为了实现对错误的模糊检测,我们首先设计了模糊检测码,它借鉴了汉明码的设计原理。FDR在LoRa物理有效载荷中添加了错误模糊检测码,这样网关就可以在解码前识别接收到的数据包是否被破坏。

[0030] 采用汉明检错思想,利用公式计算模糊检测码数: $2^r \geq n+r+1$,其中 r 为检测位数, n 为数据位数。例如,当数据位为7时, r 应为4。这意味着7位数据至少需要4位检测码来检测错误。如果我们增加检测码的数量,冗余就会增加。如下表格显示了 n 、 r 和冗余率 x 之间的关系,其中 x 的计算公式为 $x = r/(r+n) \times 100\%$ 。

[0031]

r	3	4	5	6	7
n	4	11	26	57	120
x	42.86%	26.67%	16.13%	9.52%	5.51%

[0032] 图2显示了我们插入检测代码后的有效载荷结构。这里我们将数据包的有效载荷分成几个7位数据段,每个数据段在插入4位错误模糊检测码后被分成4个模糊检测组。模糊检测码被插入第 2^n 的位置,其中 $n=1,2,3,\dots$ 在这个例子中,它们分别是1,2,4,8,每个比特代表一个模糊检测组(例如 G_1-G_4)。 G_k 表示二进制表达式中第 k 位为1的位置索引。

[0033] 在解调信号之后,网关利用模糊检测码在解码分组之前检测损坏。我们设计“1”代

表错误,而“0”代表正确。FDR利用这一点来检测模糊误差位置。例如,如果位j是错误的,其中, $j=1,2,\dots,11$,模糊检测组i和模糊检测段的正确和错误情况通过如下所示公式获得。

$$[0034] \quad \begin{cases} P_k = \{c | c \in [t \times 2^k, t \times (2^{k+1} - 1)], c < n\} \\ G_i = \bigoplus_{j=1}^{P_k} C_j \\ S = \sum_{i=1}^r G_i \end{cases}$$

[0035] 索引及模糊检测结果计算公式

[0036] 这里 P_k, G_i, C_j, S, r 分别代表了 G_k 的索引集合,第i个模糊检测组的正确和错误条件,模糊检测码中的第j位,模糊检测段和检测码的数量。 t 是一个正奇数。

[0037] 当FDR工作时,一旦它在一个组中发现错误,它立即结束对错误组所属段的检测。如果段k中的任何一个组是错误的,则索引为k的段将检测为错误。检测到所有数据段后,FDR会生成一个二进制数组。数据段的正确(记录为0)和错误(记录为1)情况将用于恢复数据包。

[0038] 综上所述,当模糊检测组发现错误时,整个数据段标记为‘1’,表示该段存在错误。同时,为了提高模糊检测的效率,同一片段中的其他检测组将不再被检测。在检测到数据包中的所有数据段后完成后,数据包和检测结果被传输到云端进行恢复。云利用对比替换算法来恢复数据包。接下来,我们解释对比替换算法是如何工作的。

[0039] 云端上多数数据包协同,实现信号恢复,网关通过可靠的以太网连接将模糊检测结果上传到云中,在此期间,LoRaWAN利用128位AES进行完整性保护和数据加密。每个检测结果都存储在一个数组中。然后云通过对比替换算法来恢复数据包,替换算法如下公式所示。

$$[0040] \quad C_n[j] = \sum_{k=0}^{m-1} (P_n[j] \odot P_n[k])$$

[0041] 对比替换算法权值计算公式一:

[0042] 这里 $C_n[j]$ 代表与第n个包中的第j个段相同的段的数量, P_n 代表第n个包。 P_n 可以通过如下所示公式计算。这里 V_n 代表第n个分组中的一个段的值, R_n 代表第n个分组的检测结果。

$$[0043] \quad V_n = R_n[j] \times C_n[j]$$

[0044] 对比替换算法权值计算公式二:

[0045] 数据包由多个网关上传。然后云利用这些数据包,并根据检测结果用正确的数据段替换错误的数据段。以4个不同干扰位置和程度的数据包为例,恢复原理如下表格所示。

[0046]

Packet: From Base1	Segment1	Segment2	Error (被替换)	Error (被替换)	Segment5
Packet: From Base2	Error	Segment2	Error	Segment4	Error

[0047]

Packet: From Base3	Error	Segment2	Segment3	Error	Segment5
Packet: From Base4	Segment1	Segment2	Error	Segment4	Segment5

[0048] 对比替换算法示意

[0049] 经过观察,我们发现有这样一种情况,当数据包受到严重干扰时,两个数据包的某

个数据段可能会同时报错,这就需要更多的数据包才能获得该数据段的正确信息。也就是上传数据包的网关越多,恢复成功率越高。然而,如果没有足够的网关,我们将利用模糊检测码的纠错能力来纠正一位错误。在每个段中,使用如下所示公式计算错误的位位置。其中P代表错误位的位置,H(2)代表模糊检测码的二进制表示。

$$[0050] \quad P = \sum_{i=0}^r (H(2)_i \times 2^k)$$

[0051] 错误定位公式;

[0052] 选定数据段长度,理论上,我们从有效载荷段的数量中减去错误段的数量(每个段的平均错误为1位)

[0053] 然后将结果乘以发送数据包的网关数量。只要结果大于有效载荷中的段数,就可以满足低符号差错率。然后,我们取该段的最大长度,以获得满足恢复的最小冗余要求。公式如下所示。

$$[0054] \quad ([l/n] - l \times x) \times m \geq [l/n]$$

[0055] 数据段长度选取与损坏率的关系

[0056] 这里,l、n、x和m表示有效载荷的长度、段的长度、误码率和网关的数量。公式简化如下所示。

$$[0057] \quad n \leq (m-1) / (m \times x)$$

[0058] 最优数据段长度计算公式

[0059] 这里n、x和m表示段的长度、误码率和网关的数量。

[0060] 在上面的例子中,根据等式,段长度应该小于14.6位,但是为了确保最小的冗余率,段长度应该是11位。这与我们的实验结果一致。

[0061] 需要说明的是上述实施例仅仅是本发明的较佳实施例,并没有用来限定本发明的保护范围,在上述技术方案的基础上作出的等同替换或者替代均属于本发明的保护范围。

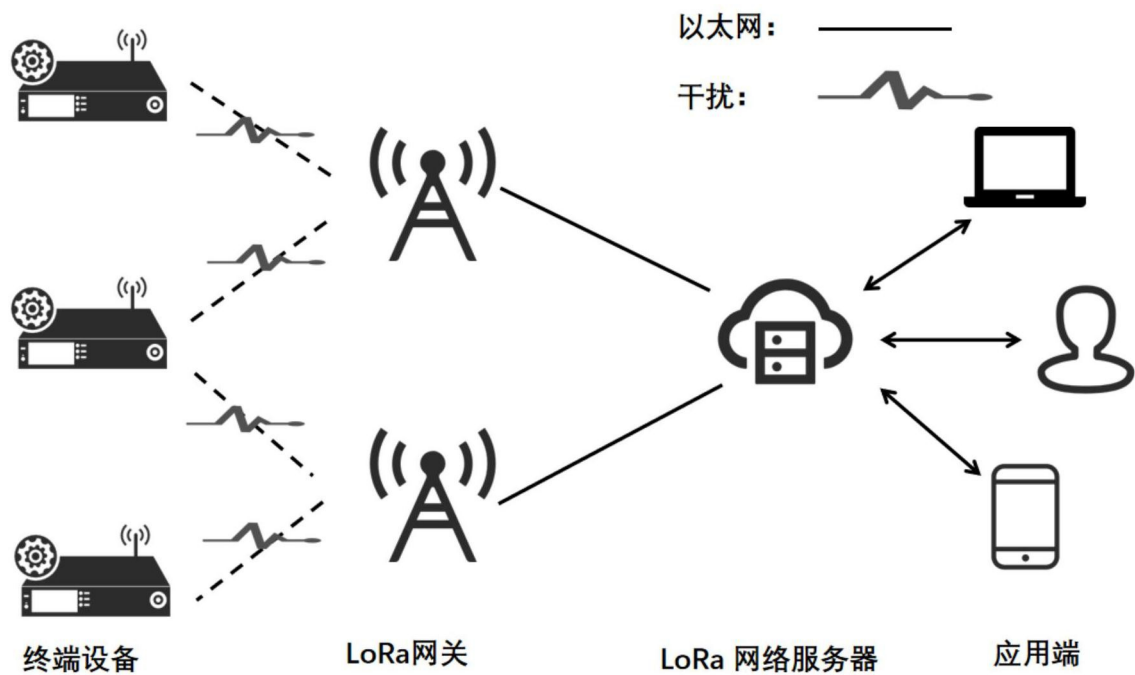


图1

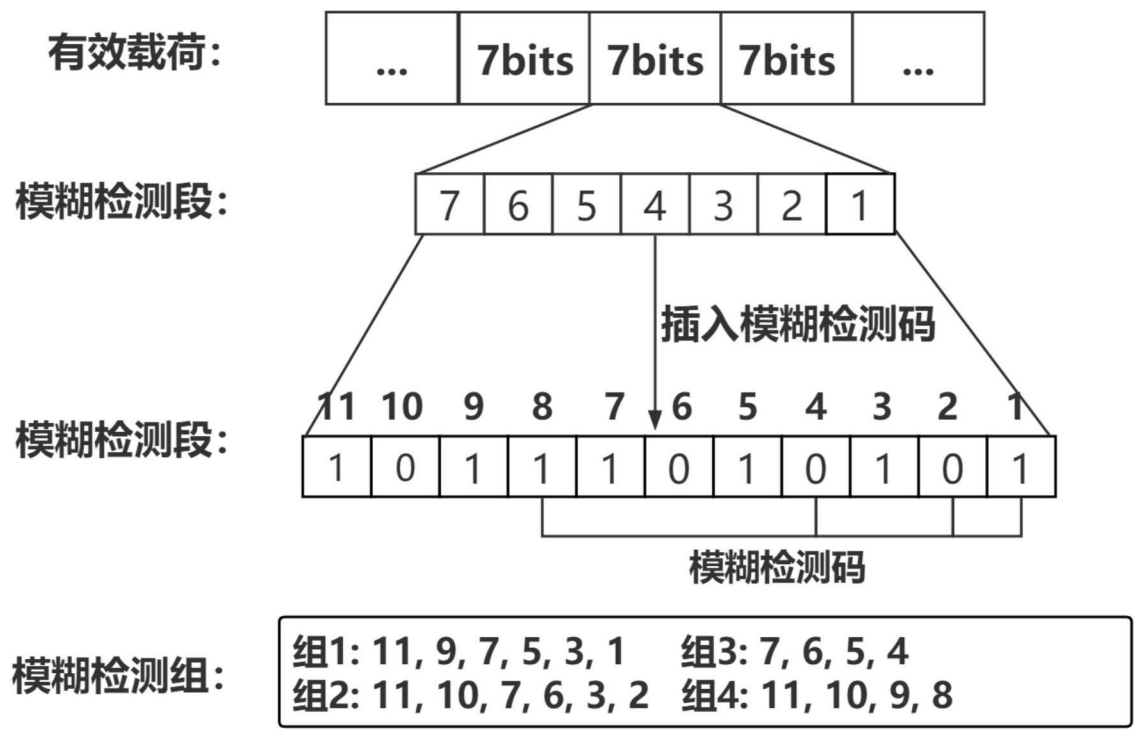


图2