(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 114900273 B
(45)授权公告日 2024.05.24

(21)申请号 202210329462.2
(22)申请日 2022.03.30
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114900273 A
(43)申请公布日 2022.08.12
(73)专利权人 上海交通大学
地址 200240 上海市闵行区东川路800号
(72)发明人 丁良辉 刘桐 杨峰 钱良
(74)专利代理机构 上海科盛知识产权代理有限公司 31225
专利代理师 彭瑶
(51)Int.Cl.
*H04L 5/00*(2006.01)
*H04L 1/00*(2006.01)
*H04L 69/164*(2022.01)

(56)对比文件
CN 107026707 A,2017.08.08
CN 109547165 A,2019.03.29
CN 112543044 A,2021.03.23
WO 2017161122 A1,2017.09.21
刘珩;王正欢;李祥明;安建平.一种基于喷泉码和并行路径的深空通信无反馈协议.重庆邮电大学学报(自然科学版).2012,(第05期),全文.

审查员 王一凡

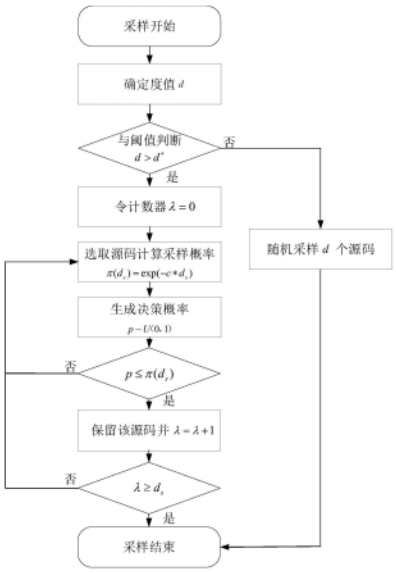
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

(54)发明名称

# 一种基于覆盖窗和非均匀采样喷泉码的连续可靠传输方法

(57)摘要

本发明涉及一种基于覆盖窗和非均匀采样喷泉码的连续可靠传输方法,包括:1)根据时延要求将发送数据进行数据块划分;2)基于非均匀采样的编码策略均衡各个源码的采样次数,并按喷泉码的编码方式生成编码;3)基于步骤2)生成的编码发送源数据,并根据步骤1)的划分方式,采用覆盖窗的传输方式进行连续传输。与现有技术相比,本发明具有降低冗余度、丢失部分编码的平均影响小等优点。




CN 114900273 B

1.一种基于覆盖窗和非均匀采样喷泉码的连续可靠传输方法,其特征在于,包括:

1)根据时延要求将发送数据进行数据块划分;

2)基于非均匀采样的编码策略均衡各个源码的采样次数,并按喷泉码的编码方式生成编码;

3)基于步骤2)生成的编码发送源数据,并根据步骤1)的划分方式,采用覆盖窗的传输方式进行连续传输;

步骤2)的具体内容为:

首先从度函数中采样度值d,并对度值与阈值$d^*$进行比较,当度值$d \leq d^*$时,直接从源码集中采样,否则,从源码集中依次选取d个源码,并根据其被采样的次数计算加入编码集的概率,随后依据此概率决定是否加入,并不断重复,直至从源码集中选取到了d个源码后,依据源码集合按喷泉码中XOR编码方式,生成编码;

计算被采样概率的公式为:

$\pi(d_s)=\exp(-c*d_s)$

其中,$\pi(d_s)$为被采样概率,c为常数并且$c>0$,保证了$0<\pi(d_s)<1$,为每个源码的被采样次数;

当度值$d>d^*$时,令计数器$\lambda=0$,生成决策概率$p\sim U(0,1)$,然后进行判断,若$p>\pi(d_s)$,则重新选取源码并计算采样概率;若$p\leq\pi(d_s)$,则保留源码并令采样次数$\lambda=\lambda+1$,然后执行采样次数$\lambda$的判断;若$\lambda<d_s$,则重新选取源码计算采样概率,若$\lambda\geq d_s$,则结束采样。

2.根据权利要求1所述的基于覆盖窗和非均匀采样喷泉码的连续可靠传输方法,其特征在于,步骤1)的具体内容为:

首先将发送数据划分为大小相同的数据块,随后对划分后的每一数据块独立进行编码后进行分块传输;每一数据块传输结束后接收端发送一个ACK信息,通知发送端停止本数据块的发送;发送端接收到ACK之后,停止本数据块的发送,转而发送下一数据块,并重复过程;其中,覆盖窗将前后数据进行重合,编码时,将覆盖部分作为本数据块的一部分加入编码。

3.根据权利要求1所述的基于覆盖窗和非均匀采样喷泉码的连续可靠传输方法,其特征在于,在基于非均匀采样的编码策略均衡各个源码的采样次数中,利用当前源码的被采样次数,计算是否加入采样的概率,并依据计算的概率决定源码是否加入编码,随后不断重复过程,直至采样到符合要求的源码个数。

4.根据权利要求1所述的基于覆盖窗和非均匀采样喷泉码的连续可靠传输方法,其特征在于,步骤3)的具体内容为:

基于步骤2)生成的编码发送源数据,并根据步骤1)中的划分方式采用覆盖窗的传输方式,使每段数据之间首尾依赖,并将上一块解码完成的数据作为下一块数据的先置信息加入解码,利用喷泉码分块编码后的码元进行发送;接收端只保留当前数据包的分块信息及编码信息,并依据已接收的包不断尝试进行解码,当接收端完全解码完成,则接收端停止接收此数据块的数据包,发送端发送下一数据块,实现连续数据传输。

5.根据权利要求4所述的基于覆盖窗和非均匀采样喷泉码的连续可靠传输方法,其特征在于,覆盖窗的传输方式中,将下一块编码中加入上一块解码成功的源码,作为本块解码的先置信息,即在解码时作为度为1的节点加入解码。

# 一种基于覆盖窗和非均匀采样喷泉码的连续可靠传输方法

## 技术领域

[0001] 本发明涉及网络编码与传输技术领域,尤其是涉及一种基于覆盖窗和非均匀采样喷泉码的连续可靠传输方法。

## 背景技术

[0002] 对于传输信道来说,尤其在无线自组网场景下,传输可靠性是重要的考察指标之一。通信系统通常采用ARQ机制来应对有损信道。在ARQ机制中,发送端根据接收端的反馈来重传信息,以保证数据的可靠传输。但是当发生网络拥塞或者丢包时,发送端等待反馈超时并重传信息,这会浪费带宽资源并增加时延。为避免这样的问题,另一种思路是使用具有纠错能力的信道编码来对抗数据丢失,其中典型的信道纠错编码为FEC技术。在基于FEC的发送中,发送端通过信道编码的方式,为传输的数据增加了一些冗余,接收端由于丢包,接收到的信息并不完整。但是根据接收的冗余信息,能够恢复丢失掉的信息,避免了ARQ机制对于带宽资源的浪费。传统的FEC编码有Turbo码、RS码、LDPC码等,是具有固定码率的编码。但是由于信道状态的不确定性,采用固定码率的FEC编码后通常还会有部分数据无法成功恢复,因此如果期望完全接收发送数据,还需要少量的ARQ请求来确保其可靠传输。另一种FEC编码思路是无速率编码,例如喷泉码。其编码器理论上可以产生任意数量的编码,不需要指定码率,所以被称为无速率码。接收端根据接收到的数据尝试解码,如果解码成功,结束当前源码块的传输。由香农第二定理可知,当码块无限长时,吞吐量可以达到香农极限。但是在实际系统中,由于时延要求,需要将源码块切分成多个短块,然后连续传输。对于单个短块,喷泉码的编码冗余度随着码块变短而显著增加。因此,如何改善短码长喷泉码的冗余度是目前需要解决的重要问题之一。

## 发明内容

[0003] 本发明的目的就是为了克服上述现有技术存在的缺陷而提供一种基于覆盖窗和非均匀采样喷泉码的连续可靠传输方法。

[0004] 本发明的目的可以通过以下技术方案来实现:

[0005] 一种基于覆盖窗和非均匀采样喷泉码的连续可靠传输方法,该方法包括:

[0006] S1:根据时延要求将发送数据进行数据块划分。

[0007] S2:基于非均匀采样的编码策略均衡各个源码的采样次数,并按喷泉码的编码方式生成编码。

[0008] S3:基于S2生成的编码发送源数据,并根据S1的划分方式,采用覆盖窗的传输方式进行连续传输。

[0009] 进一步地,S1的具体内容为:

[0010] 首先将发送数据划分为大小相同的数据块,随后对划分后的每一数据块独立进行编码后进行分块传输;每一数据块传输结束后接收端发送一个ACK信息,通知发送端停止本数据块的发送;发送端接收到ACK之后,停止本数据块的发送,转而发送下一数据块,并重复

以上过程;其中,覆盖窗将前后数据进行重合,编码时,将覆盖部分作为本数据块的一部分加入编码。

[0011] 进一步地,S2的具体内容为:

[0012] 首先从度函数中采样度值d,并对度值与阈值$d^*$进行比较,当度值$d \leqslant d^*$时,直接从源码集中采样,否则,从源码集中依次选取d个源码,并根据其被采样的次数计算加入编码集的概率,随后依据此概率决定是否加入,并不断重复,直至从源码集中选取到了d个源码后,依据源码集合按喷泉码中XOR编码方式,生成编码。

[0013] 进一步地,在基于非均匀采样的编码策略均衡各个源码的采样次数中,利用当前源码的被采样次数,计算是否加入采样的概率,并依据计算的概率决定源码是否加入编码,随后不断重复此过程,直至采样到符合要求的源码个数。

[0014] 进一步地,S3的具体内容为:

[0015] 基于S2生成的编码发送源数据,并根据S1中的划分方式采用覆盖窗的传输方式,使每段数据之间首尾依赖,并将上一块解码完成的数据作为下一块数据的先置信息加入解码,利用喷泉码分块编码后的码元进行发送;接收端只保留当前数据包的分块信息及编码信息,并依据已接收的包不断尝试进行解码,当接收端完全解码完成,则接收端停止接收此数据块的数据包,发送端发送下一数据块,实现连续数据传输。

[0016] 进一步地,覆盖窗的传输方式中,将下一块编码中加入上一块解码成功的源码,作为本块解码的先置信息,即在解码时作为度为1的节点加入解码。

[0017] 本发明提供的基于覆盖窗和非均匀采样喷泉码的连续可靠传输方法,相较于现有技术至少包括如下有益效果:

[0018] 1)本发明方法通过基于覆盖窗的连续传输策略,提升了解码端的性能表现;通过在编码过程中依据采样次数动态更新采样概率,提升了源码被采样次数的均匀性,降低了短码长喷泉码的冗余度。

[0019] 2)本发明改进了采样策略,使得源码的被编码平均次数显著提高,并且相互之间差异更小,编码更公平;从解码端来看,丢失部分编码的平均影响较小。

## 附图说明

[0020] 图1为实施例中基于覆盖窗的分窗传输策略的分块传输示意图;

[0021] 图2为实施例中基于非均匀采样的编码策略的流程示意图;

[0022] 图3为实施例中可靠传输协议报文设计;

[0023] 图4为实施例中源码包索引报文段设计;

[0024] 图5为实施例中网络数据封装过程;

[0025] 图6为实施例中网络协议栈设计;

[0026] 图7为实施例中基于喷泉码可靠传输协议的收发缓存设计。

## 具体实施方式

[0027] 下面结合附图和具体实施例对本发明进行详细说明。显然,所描述的实施例是本发明的一部分实施例,而不是全部实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动的前提下所获得的所有其他实施例,都应属于本发明保护的范围。

[0028] 实施例

[0029] 本发明涉及一种基于覆盖窗和非均匀采样喷泉码的连续可靠传输方法,用于解决多跳网络中网络传输可靠性的问题。该方法的具体方案在于:

[0030] 步骤一、本发明方法采用基于覆盖窗的分窗传输策略。根据时延要求将发送数据进行分块;在具体通信场景中,根据时延的要求,需要将数据进行划分,并在划分之后按覆盖窗的方式连续传输,当前一块编解码完成之后,移动到下一数据块。此时,编码时延正比于窗长大小,编码源按照任务的不同可以设置为比特数据或者单个包的数据。

[0031] 具体地:在传输中,首先将数据划分成大小相同的数据块,然后每一块独立进行编码,并按图1进行分块传输,每一块传输结束之后接收端发送一个ACK信息,通知发送端停止本块发送;发送端接收到ACK之后,停止本块发送,转而发送下一块数据,并重复以上过程。其中,覆盖窗将前后数据进行一定程度的重合,编码时,覆盖部分也作为本块的一部分加入编码。

[0032] 步骤二、本发明方法采用基于非均匀采样的编码策略。即在编码中,改进了原有喷泉码确定度之后完全随机的采样策略,提出了基于被采样次数更新的非均匀采样策略,该策略能够优化短码长情况下喷泉码的性能表现,降低冗余度。

[0033] 具体地,本发明基于非均匀采样的编码策略通过均衡各个源码的采样次数提高解码成功率。在每次采样时,通过当前源码已被采样的次数,计算相应的采样概率,然后决定是否采样该源码。在具体的算法设计中,采样次数越高,计算所得的采样概率越低,使得新产生的编码更多地采样还未被充分编码的源码。基于非均匀采样的编码策略的流程如图2所示,图中,阈值$d^*$的作用是去除低度数编码的非均匀采样,只关注较大度数的编码采样优化,可以减少接下来基于概率的选取次数,加快编码速率。计算被采样概率的公式为:

[0034] $\pi(d_s)=\exp(-c*d_s)$

[0035] 其中,$\pi(d_s)$为被采样概率,c为常数并且$c>0$,保证了$0<\pi(d_s)<1$。$d_s$为每个源码的被采样次数,$d_s$需要在采样结束后在中源码集不断更新。

[0036] 进一步地,改进的采样策略中,主要的差别是要对度值和阈值$d^*$进行判断,即首先基于度函数通过完全随机采样确定度值d,当$d\leq d^*$时,则直接从源码集中随机采样d个源码后,完成采样;当度值$d>d^*$时,从源码集中依次选取d个源码,并根据其被采样的次数计算加入编码集的概率,然后依据此概率决定是否加入,并不断重复,直到从源码集中选取到了d个源码。然后依据源码集合按喷泉码中XOR编码方式,生成编码。具体内容为:当度值$d>d^*$时,令计数器$\lambda=0$,然后使用$\pi(d_s)=\exp(-c*d_s)$来决定是否用来编码,即:生成决策概率$p\sim U(0,1)$,然后进行判断,若$p>\pi(d_s)$,则重新选取源码并计算采样概率;若$p\leq\pi(d_s)$,则保留源码并令采样次数$\lambda=\lambda+1$,然后执行采样次数$\lambda$的判断;若$\lambda<d_s$,则重新选取源码计算采样概率,若$\lambda\geq d_s$,则结束采样。

[0037] 由于$\pi(d+1)<\pi(d)$,当前编码次数少的源码有更高的被采样概率,优先采样编码。全部编码完成后,各个源码的采样次数差异越小越有利于解码。相比于原始的编码,改进采样策略之后,源码的被编码平均次数显著提高,并且相互之间差异更小,编码更公平。从解码端来看,丢失部分编码的平均影响较小。

[0038] 步骤三、基于上述改进的喷泉码,连续发送源数据。并根据步骤一中的划分方式采用覆盖窗的传输方式,每段数据之间首尾依赖,上一块解码完成的数据可以作为下一块数

据的先置信息加入解码,以提高编码效率,并依据喷泉码前向纠错的能力在无需ARQ的机制下保证可靠传输。利用喷泉码分块编码后的码元进行发送,接收端只保留当前数据包的分块信息及编码信息,对于传输导致的信道丢包并不进行请求重传,而是依据已接收的包不断尝试进行解码。当接收端完全解码完成,则接收端停止接收此块的数据包。发送端发送下一数据块,实现连续数据传输。即根据步骤一中的划分方式采用覆盖窗的传输方式,使每段数据之间首尾依赖,并将上一块解码完成的数据作为下一块数据的先置信息加入解码,利用喷泉码分块编码后的码元进行发送;接收端只保留当前数据包的分块信息及编码信息,并依据已接收的包不断尝试进行解码,当接收端完全解码完成,则接收端停止接收此数据块的数据包,发送端发送下一数据块,实现连续数据传输。优选地,覆盖窗的传输方式中,将下一块编码中加入上一块解码成功的源码,作为本块解码的先置信息,即在解码时作为度为1的节点加入解码。

[0039] 在本发明方法的实际实施的应用中,传输报文的设计从基础的UDP协议报文格式出发,结合基于LT码编解码所需的信息,本发明重新设计了发送报文,其中主要是加入了对于编码块的标识和源码包的标识。如图3所示,图中描述了可靠传输协议的报文格式。在具体的格式设计中,第一部分是UDP协议中原本的头信息,包括:源端口(Source Port)、目标端口(Destination Port)、报文长度(Length)和校验和(Checksum)。长度字段指示了UDP报文段中的字节数,包括了首部和数据,在本协议设计中也包括保证RDT的头部信息。校验和是接收方用来检验和检查该报文段中是否出现了差错。对于使用喷泉码来实现RDT的协议来说,本发明加入了两个字段,分别是:源码块索引(Fountain Block Index)和编码包索引(Encoding Source Index)。源码块索引标识的是该编码产生的数据包处于所有数据块中的位置,便于接收端依据该索引恢复全部数据,占用了16位比特,最大值为65535。编码包索引标识的是在该源码块中,编码本包所使用的源码,并用0/1分别标识是否使用该源码包。为了保证字段对齐,加入了保留字段(Reserved Field),并且可以在传输更长数据时作为源码块索引的扩展部分。报文中剩余部分为应用层数据(Message),具体的大小根据上层应用的打包大小决定。

[0040] 编码包索引占用的数据长度需要根据实际编码块的长度调整。如图4所示,其展示了当采用8个字节长来标识源码包的情况,8个字节可以标识源码块最大的长度为64。在实际设计中,需要根据时延要求估计源码块的长度,并设定源码包索引字段的长度。在图中,某位为0表示编码时未使用该序号源码,为1表示编码时使用了该源码,图中表示编码时使用了码块中下标为0、8、24、47的源码来编码,编码的度为4。

[0041] 从协议栈设计的角度,本发明中的可靠传输方法使用UDP作为运输层协议,并利用喷泉码实现前向纠错,两者结合之后代替原有网络中的可靠传输机制,如图5所示。图中省略协议栈的MAC层、物理层等其它固定部分。在发送端,从传输层发送的数据根据编码信息加入具体的头信息,然后转发给IP层进行传输。在接收端,对于IP层解析的数据首先根据包中的喷泉码编码信息进行解析,并进行相应的解码,直到当前编码块成功解码之后,传输给上层协议。网络中传输层协议使用UDP协议。网络IP层协议不需要特殊指定协议,可以根据具体的网络架构使用不同的协议。

[0042] 在网络数据传输过程中,每一层协议会根据本层协议要求加入不同的包头。图6描述了本发明中协议涉及到的数据打包流程。应用层数据产生之后,发送到对应的端口。在可

靠传输协议中:传输层的UDP协议将数据加上UDP的报文头,并加入实现喷泉码编解码的相关报文头,然后传输给下层路由协议;IP层接收到数据后也将头部信息加入并发送。在接收端,数据经过相反的流程逐层解析。

[0043] 如图7所示,上层业务产生具体的发送数据,存入发送缓存中。由于喷泉码编码需要已知分组内的全部信息,所以数据产生之后不能立刻编码发送。当缓存中的数据达到发送要求之后,将相应的分组读入编码缓存。编码器将缓存内的数据作为一个分组,开始不断产生编码并发送。接收端的缓存也分为接收缓存和解码缓存。接收端将成功接收到的数据包首先保存在接收缓存中。解码缓存依据当前需要解码的块序号,从缓存中读取对应的数据分组到解码缓存中,开始解码。由于喷泉码的解码结果是乱序的,所以解码端不断检查当前成功解码数据的状态。当检测到成功解码完整数据块时,控制器将全部数据包按索引排好并上传给上层接收端。接收端校验信息无误后发送信号,清空解码器缓存,在使用覆盖窗传输时需要依据设定的覆盖比例在缓存中保留上一分组末尾对应的数据包,最后向发送端发送ACK信息。发送端依据ACK信息结束本组发送,控制器清空编码缓存并根据发送缓存状态尝试进行下一组发送。

[0044] 本发明方法通过基于覆盖窗的连续传输策略,提升了解码端的性能表现;通过在编码过程中依据采样次数动态更新采样概率,提升了源码被采样次数的均匀性,降低了短码长喷泉码的冗余度。

[0045] 以上所述,仅为本发明的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的工作人员在本发明揭露的技术范围内,可轻易想到各种等效的修改或替换,这些修改或替换都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此,本发明的保护范围应以权利要求的保护范围为准。

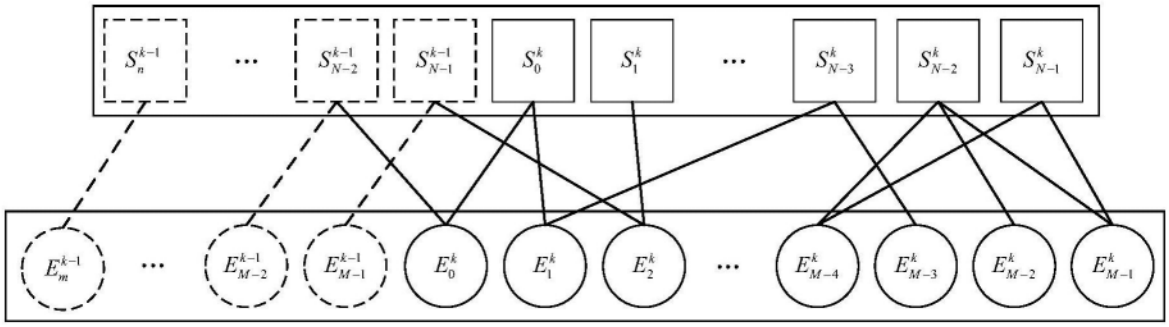

$S_n^{k-1}$
$S_{N-2}^{k-1}$
$S_{N-1}^{k-1}$
$S_0^k$
$S_1^k$
$S_{N-3}^k$
$S_{N-2}^k$
$S_{N-1}^k$
$E_m^{k-1}$
$E_{M-2}^{k-1}$
$E_{M-1}^{k-1}$
$E_0^k$
$E_1^k$
$E_2^k$
$E_{M-4}^k$
$E_{M-3}^k$
$E_{M-2}^k$
$E_{M-1}^k$

图1

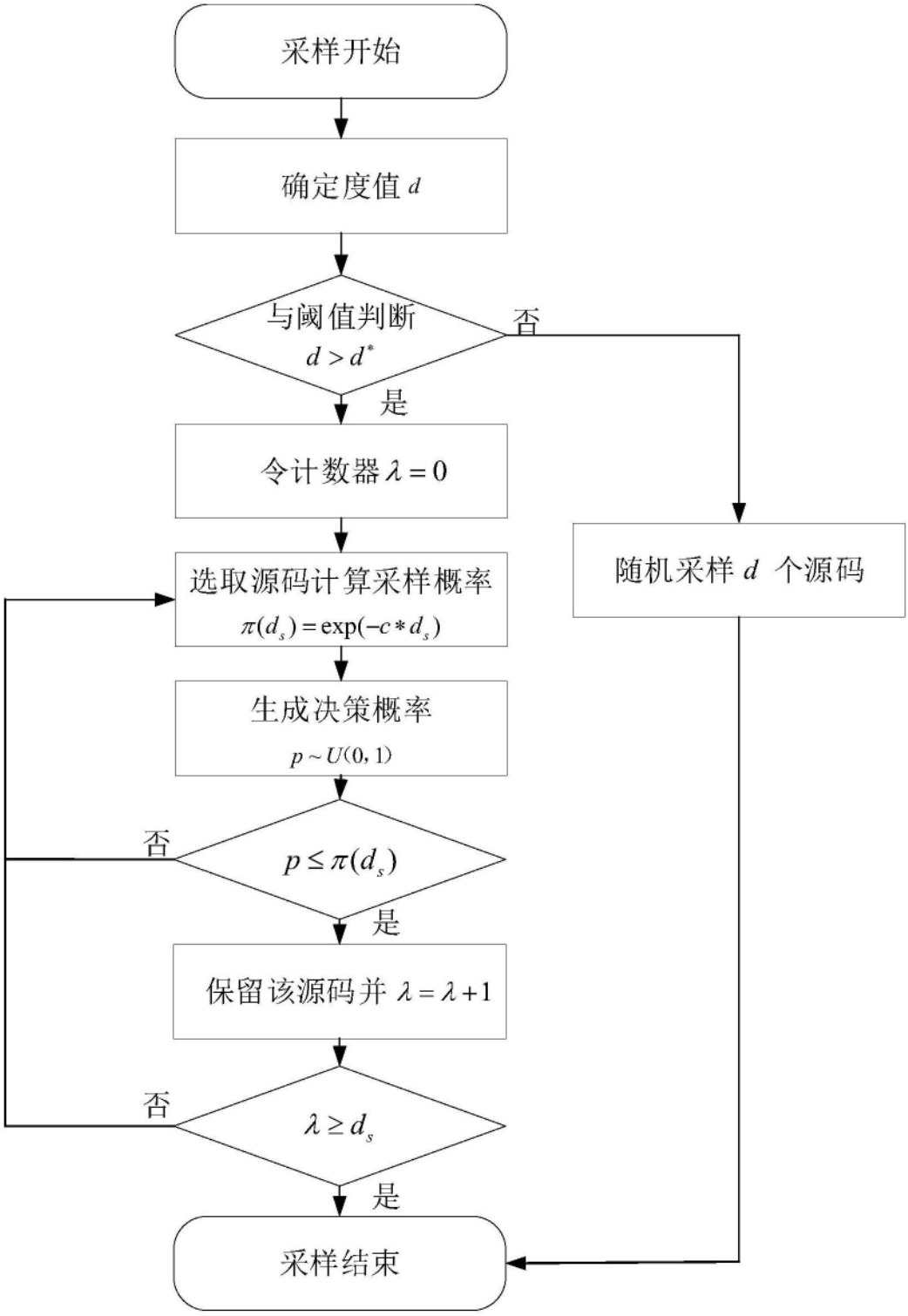

采样开始
确定度值 $d$
与阈值判断 $d > d^*$
否
是
令计数器 $\lambda = 0$
随机采样 $d$ 个源码
选取源码计算采样概率 $\pi(d_s) = \exp(-c * d_s)$
生成决策概率 $p \sim U(0,1)$
否
$p \le \pi(d_s)$
是
保留该源码并 $\lambda = \lambda + 1$
否
$\lambda \ge d_s$
是
采样结束

图2

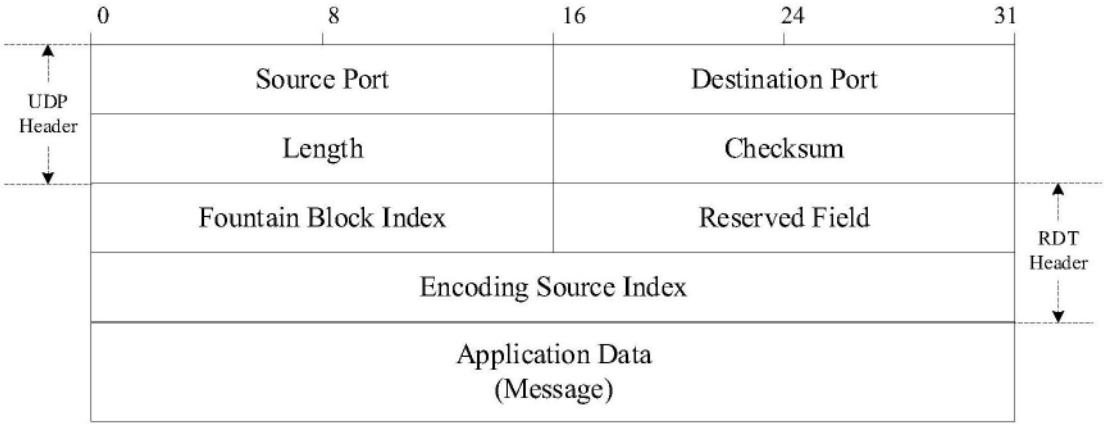

0
8
16
24
31
UDP Header
Source Port
Destination Port
Length
Checksum
Fountain Block Index
Reserved Field
RDT Header
Encoding Source Index
Application Data (Message)

图3

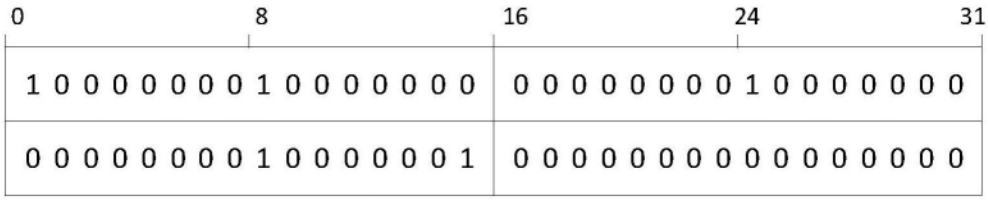

0
8
16
24
31
1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

图4


IP Header
RDT Header
UDP Header
Application Message

图5

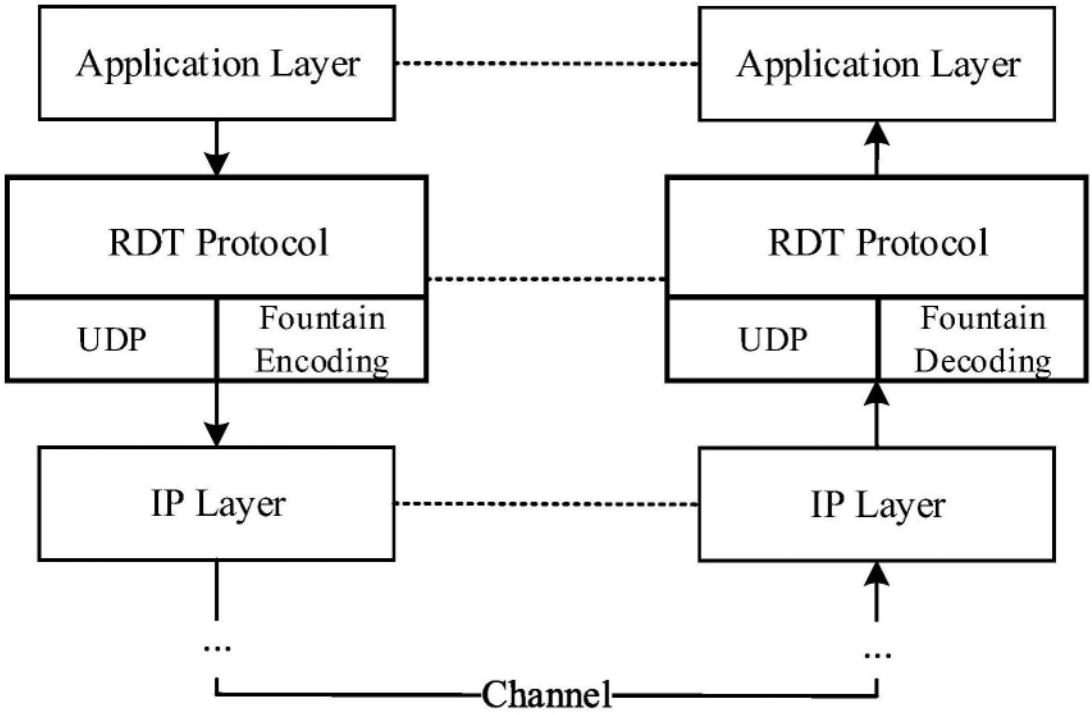

Application Layer
Application Layer
RDT Protocol
RDT Protocol
UDP
Fountain Encoding
UDP
Fountain Decoding
IP Layer
IP Layer
...
...
Channel

图6

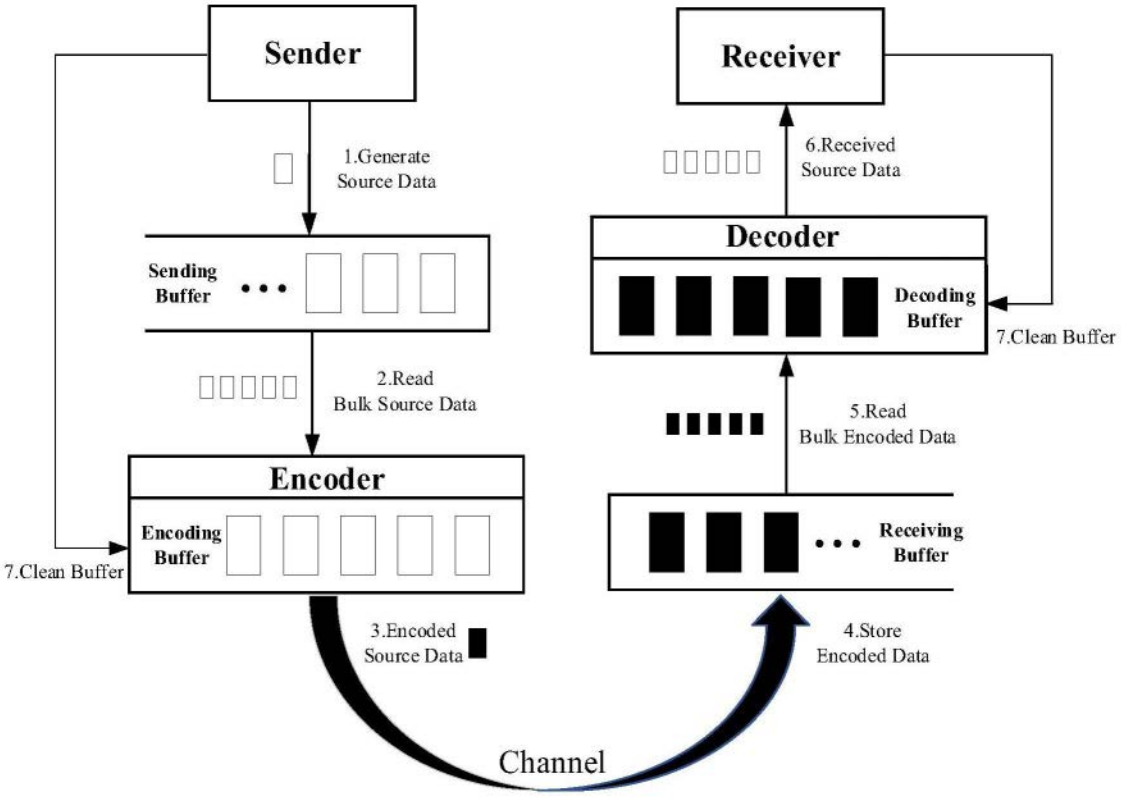

Sender
Receiver
1.Generate Source Data
6.Received Source Data
Sending Buffer
Decoder
Decoding Buffer
7.Clean Buffer
2.Read Bulk Source Data
5.Read Bulk Encoded Data
Encoder
Encoding Buffer
Receiving Buffer
7.Clean Buffer
3.Encoded Source Data
4.Store Encoded Data
Channel

图7