

多描述编码与网络编码在无线传感器网络中的应用

李 曼¹ 刘芳妤² 路 劲² 周 维²

(云南大学信息学院 昆明 650091)¹ (云南大学软件学院 昆明 650091)²

摘 要 多描述编码可以有效地防止图像数据的丢失,防止对单份数据的依赖,保证接收端收到图像的质量。网络编码可以有效提高网络带宽利用率。为了适应数据在无线传感器网络中的可靠传输,并节省网络的带宽,提出将多描述编码与网络编码相结合的思想,以多条路径传输为基础,将其应用在无线传感器网络中。

关键词 多描述编码,网络编码,无线传感器

中图法分类号 TP393 文献标识码 A

Application of Multiple Description Coding and Network Coding in Wireless Sensor Network

LI Man¹ LIU Fang-yu² LU Jing² ZHOU Wei²

(College of Information, Yunnan University, Kunming 650091, China)¹

(College of Software, Yunnan University, Kunming 650091, China)²

Abstract Multiple description coding can prevent the loss of the image data and the dependence of the single share data effectively, which can ensure the quality of the images received by the terminal nodes. Network coding can improve the network bandwidth utilization rate effectively. In order to adapt to the reliable transmission and save the bandwidth of the wireless sensor network, this paper proposed the ideology of combining multiple description coding with network coding, which takes multiple paths transmission as a foundation.

Keywords Multiple description coding, Network coding, Wireless sensor network

1 引言

无线传感器网络是一种全新的信息获取平台,能够实时监测和采集网络分布区域内的各种检测对象的信息,并将这些信息发送到网关节点,以实现复杂的指定范围内目标检测与跟踪,具有快速展开,抗毁性强等特点,是当前国际上备受关注、涉及多学科高度交叉、知识高度集成的前沿热点研究领域,其广泛应用于条件复杂、环境恶劣的军事环境中。可靠性和实时性是无线传感器网络中两个重要的因素。

当前的无线传感器网络中,为了提高数据传输的可靠性,通常采用多路径或重传方式^[1]。多路径方式在源节点和目的节点之间建立多条路径,通过在多条路径上发送同一份数据报文,来提高数据传输的可靠性。重传方式是为了达到一定的传输可靠性,计算路径上每一跳至少需要的传输次数。然而无线传感器网络中,每个节点的能量有限,且某条路径网络链路突然中断情况时有发生,因此减少对单份数据的依赖,适当降低每个节点参与多条链路的数目,提高接收节点接收信息的可靠性,是无线传感器网络的未来发展方向。

多描述编码和多路径可以有效防止某条链路中断或其他突发情况而引起的信息包丢失,提高接收节点正确并及时接收信息的可能性。网络编码可以有效提高网络吞吐量,减少传播延迟等。

网络编码是一种新型的数据编码方式,本质是利用节点的计算能力提高链路带宽的利用率,因此在提高网络吞吐量、改善负载均衡、减小传输延迟、节省节点能耗、增强网络鲁棒性等方面广泛应用。

在多描述编码中,源信息被分解成多份相互独立的描述。接收节点收到任意一份描述,都可以恢复出能够接受的图像效果。图像的质量与接收到的描述数量成正比,收到的描述数量越多,接收端解码恢复出来的图像质量越高,越接近原图像质量。

本文将多描述编码与网络编码相结合,应用在无线传感器网络中,以多路径传输为基础。源节点产生的多个描述,在无线网络中通过不同的路径进行传输,源节点和中间节点对收到的多份信息进行随机线性网络编码,信息到达目标节点后进行解码。目标节点只要收到源节点多描述编码中的一份,就可以恢复出质量可以接受的源信息。目标节点收到的多描述个数越多,所能恢复出来的图像质量越高。又因为每条路径同时出现故障的概率很小,所以可以保证数据传输的可靠性。

2 相关理论概述

2.1 网络编码简介

网络编码是一种融合编码和路由的信息交换技术。在传

本文受云南省自然科学基金项目(2008CD0084)资助。

李 曼(1987—),女,硕士生,主要研究方向为网络编码,E-mail: youshangjiajia@163.com;刘芳妤(1987—),女,硕士生,主要研究方向为分布式网络存储等;路 劲(1986—),男,硕士生,主要研究方向为分布式网络存储等;周 维(1974—),男,博士,主要研究方向为分布式计算。

统存储转发的路由方法基础上,通过允许对接收的多个数据包进行编码信息融合,增加一次传输所能传送的信息量,提高了网络的整体性能。Ahlsweede 等人在 2000 年提出了网络编码概念,指出对组播网络中的某些节点附加额外的编码操作,能使源与组播成员间达到最大流最小割的组播速率。网络编码的基本原理如图 1(b)所示。图中 s 是源节点, y, z 是目的节点,各边的带宽均为 1 比特/单位时间,现要将 2 比特数据 a, b 同时从 s 传到 y, z 。图示中 s 与 y, z 之间均分别存在两条独立路径,若采用传统路由方法,如图 1(a)所示,由于两组路径间存在共有链路 wx , a, b 不能同时在边 wx 上传输,则 s 到 y, z 的最大信息流速率为 1.5 比特/单位时间。若采用网络编码方法,在节点 w 上对 a, b 执行异或操作并转发,则节点 y 可以通过 $a \oplus b \oplus a$ 的计算解出 b ;同理 z 也可以解出 a ,从而使 s 到 y, z 的信息流速率达到 2 比特/单位时间,带宽利用率提高 33%^[1]。同时,网络编码降低能量消耗,这在无线传感器网络中是很重要的。

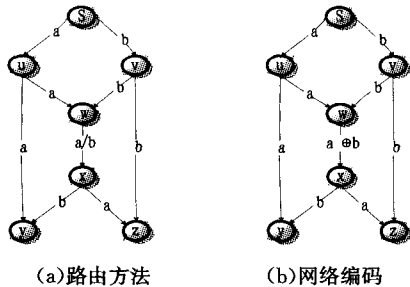


图 1 路由方法和网络编码的比较

上述的异或操作是一种简单的编码形式。下面我们介绍一种更常用的网络编码方法:线性编码。

在源节点,源编码器 s 将要发送的信息数据分成覆盖在空间 F_q 上的一个 $C \times n$ 阶信息矩阵 X 。然后从空间 F_q 中选取 C 个线性独立的向量组合,每个向量与对应的 X 的一行做运算,产生彼此相互独立的输出,所以在源节点 s 处共有 C 条输出边。每个包包含一个提前预定的“短”头部,这个头部是源节点和接收节点都知道的。

每个中间节点,对收到的包进行类似的线性组合,然后将产生的包输出。令 $x(u, v, i)$ 代表在边 $e(u, v, i)$ 上进行传输的包信息。一个中间节点 v 产生的输出包 $x(v, w, j)$ 可以表示为

$$x(v, w, j) = \sum_{u, e(u, v, i) \in \mathcal{E}} \beta(u, v, w, i, j) x(u, v, i) \quad (1)$$

对于所有的节点 u ,存在至少一条从 u 到 v 的边,局部编码系数 $\{\beta(u, v, w, i, j)\}$ 是空间 F_q 中随机选择的向量,这个系数决定包集合 $\{x(u, v, i)\}$ 的线性组合,当生成包 $x(v, w, j)$ 时。

接收节点重构空间 F_q 上的 $C \times n$ 阶矩阵 Y 时,将接收到的包分解为连续的的长度为 n 的向量组合,这些向量组合构成了 Y 的行。网络中间节点进行的线性操作可以从 X 和 Y 之间的线性转换归纳出来:

$$Y = TX \quad (2)$$

式中, T 是总的转换矩阵。接收节点(包括中间节点)计算 T 的方法,将收到的包的头部与提前预定的“短”头部进行比较。因为局部编码系数选择的概率至少为 $1 - |\epsilon|/|\nu|$,所以 T 可以被证明是可逆的^[3]。所以接收节点可以通过对式(2)进行求逆运算,从已经接收到的信息 Y 计算出原始信息 X ^[2]。

公式如下:

$$X = T^{-1}Y \quad (3)$$

2.2 多描述编码介绍

多描述编码是作为增强视频传输系统容错性出现的一种技术。一个多描述编码器可以产生两个或者两个以上独立的,可解码的并且具有同等重要性的描述,每一个描述都可以解码出可以接受的、低质量的视频信息,当收到的描述数目越多时,解码质量也越高^[4]。正是因为多描述编码的这种特性,使得多描述编码广泛应用在无线网络中,因为无线网络的出错率高,节点的状态随时变化,网络拓扑结构变化快,而多描述编码可以降低对单份信息的依赖。当多描述编码与多路径传输相结合时,视频流中使用多描述编码的好处就会被放大^[5,6]。

多描述编码的框架如图 2 所示。

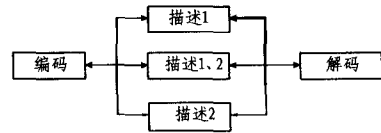


图 2 多描述编码的框架图

现实中已经使用的视频编码标准有: MPEG-2, MPEG-4, H. 263 和 H. 264 等。构造多描述的可用技术有很多种:多描述标量或向量量化、协同传输和滤波、帧或冗余基、向前纠错与分层编码的结合、空间或时间多项式减采样。因此多描述编码的实施方法也相应有很多种^[7]。

文中,我们选用基于 JPEG2000 码率配置的多描述编码。当收到的描述少于或等于两重时,与已有的 JPEG2000 标准完全兼容,可以用 JPEG2000 解码器直接解码^[9]。基于 JPEG2000 码率配置的多描述编码的原理如图 3 所示。

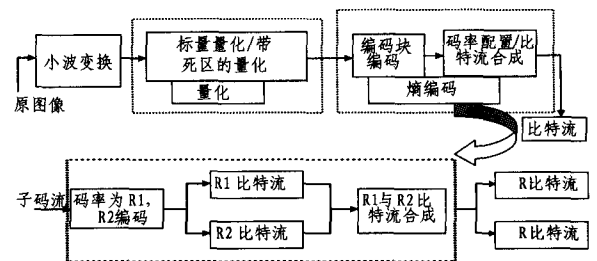


图 3 基于 JPEG2000 码率配置的多描述编码过程

3 多描述编码与网络编码在无线网络中的应用

之前的网络编码在无线网络的应用中,每个节点发送的信息是源信息经过网络编码后进行传输的。在我们的方案中,每个节点对接收到的多描述编码视频流进行网络编码,生成具有高扩展性的视频编码,然后发送。视频信息可以沿着源节点与目的节点之间的多条路径传输,中间节点和源节点将要发送的信息进行线性无关网络编码。

多描述编码与网络编码结合,在多路径上传送的具体方法如下。

1. 在源节点 s 处,首先将原视频信息进行多描述编码,按照上述介绍的多描述编码方法,源视频信息被编码成 MD_1 和 MD_2 两个描述,这两个描述有相同的重要性。接收节点 V 只要接收到任意一个描述,都可以恢复出原视频信息,这就减少

了对单条路径和单个节点的依赖性。

2. 源节点将要发送的信息 MD_1 和 MD_2 分别进行网络编码。对 MD_1 进行网络编码: 首先将 MD_1 的信息流划分成段。再将每一段划分成等长的块, 每一块中具有固定数目的比特流, 假设每一段可划分为 n 块, 每一块用 $b_i (i=1, 2, \dots, n)$ 来表示。属于同一段的的不同块之间进行网络编码, 不同段的块之间不能进行编码。这样做有利于减少编码块的数目, 降低编码和解码的复杂度。源节点对各个描述采用随机线性网络编码, 从伽罗瓦域中随机的选择一组编码系数 $[c_1, c_2, \dots, c_m]$, 分别对应一组编码块 $b_i (i \in \{1, 2, \dots, m\})$, 然后产生一个形为 $x = \sum_{i=1}^m c_i \cdot b_i$ 的编码矩阵。具体过程如图 4 所示。

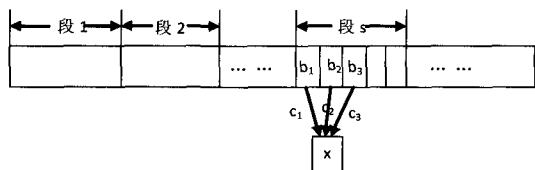


图 4 在节点处进行的网络编码

每个段 s 均可以编码出多个形如 x 的信息矩阵, 生成这些信息矩阵的编码块中允许有重复。

采用上述随机线性编码方法进行编码, 可以保证编码块能够更大可能地到达每个目的节点。对 MD_2 采用同样的方法进行网络编码。编码后产生的信息流, 沿着源节点可以发送的路径进行多路径传输。

3. 位于源节点和目的节点之间的中间节点 p 。因为节点 p 可以有多个上游节点, 所以对于同一个缺失的段, 可以有多个上游节点传输给 p 。节点 p 在给定的时间 t 内检查所收到的编码数据, 当收到一个段中的 n 个线性独立的编码块时, 节点 p 就可以使用高斯或高斯约旦消减算法成功解码出源信息中的此段内容。节点 p 按照源节点编码方法进行网络编码, 将编码后的信息沿多条路径传输, 以最大限度地提高目的节点接收到源信息的可能性, 在提高网络带宽利用率的同时, 降低对单个节点和单份数据的依赖性。节点 p 对接收到的编码块进行处理的过程如图 5 所示^[8]。

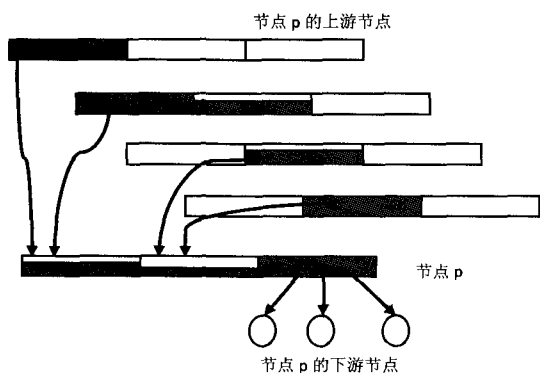


图 5 节点 p 对信息进行的处理

4. 目的节点 v 的接收。当目的节点收到编码块之后, 对接收到的编码块进行如下处理: 若收到一个段内的 n 个相互独立的编码块, 则目的节点 v 可以使用高斯或高斯约旦消减算法解码出此段中的源信息; 若一个时间间隔 t 内没有收到同一段内的 n 个相互独立的编码块, 则等待下一个时间段 t ,

若在有限个时间间隔内收到, 则解码, 否则丢弃之前收到的编码块。源节点发送的是两个描述的编码信息, 两个描述的编码块在多路径上的传输是互不干扰的, 同一节点可以收到两个描述的编码信息, 所以目的节点只要能够解码出其中的一个源描述信息, 就可以恢复出原图像, 恢复出的图像质量随接收到的描述的个数而提高。因为是在多路径上传输, 所以即使发生中包丢失或路径中断, 目的节点收到完整编码包的概率也要比之前方案高。

结束语 本文将多描述编码与随机网络编码结合, 应用在无线传感器网络的多路径传输中。多个描述经网络编码后, 在多条路径上进行传输, 多个上游节点可以不用经过协调同时发送同一份缺失的编码块, 大大缩短了下游节点的等待时间。并且目的节点收到的所有编码信息中只要能恢复出一个描述信息, 就可以有效地恢复出原图像; 收到的描述数目越多, 恢复出的图像质量越接近原始图像。综上, 源节点发送的信息可以比之前的多路径传输方法更迅速、准确地到达目标节点, 提高了数据传输的可靠性。

本文提出的方案也有许多不足的地方。文中讨论的多描述编码只涉及到将源信息编码成两个描述, 而没有考虑编码成 3 个或以上的描述, 这也是今后本文要改进的方向。文中提出的多描述与网络编码结合的方案, 在无线网络中的应用仍然依赖于多路径传输, 消除对多路径的依赖, 是本文今后发展的另一个方向。

参考文献

- [1] 杨林, 郑刚, 胡晓惠, 网络编码的研究进展[J]. 计算机研究与发展, 2008, 45(3): 400-407
- [2] Yao Hong-yi, Jaggi S, Chen Ming-hua. Network coding tomography for network failures[C]// Infocom, 2010 Proceedings IEEE
- [3] Ho T, Medard M, Shi J, et al. On randomized network coding [C]// Proc. of 41st Annual Allerton Conference. 2003
- [4] Kim J. Layered Multiple Description Coding For Robust Video Transmission Over Wireless Ad-Hoc Networks[Z]. World Academy of Science, Engineering and Technology, 2006, 16
- [5] Apostolopoulos J G. Reliable video communications over lossy packet networks using multiple state encoding and path diversity[C]// Proc. Visual Communications and Image Processing (VCIP '01). Jan. 2001: 392-409
- [6] Gogate N, Chung D M, Panwar S S, et al. Supporting image and video applications in a multihop radio environment using path diversity and multiple description coding[J]. IEEE Trans. on Circuits Syst. Video Technol., 2004, 12(9): 777-792
- [7] Vitali A. Multiple Description — a new technology for video streaming over the Internet[Z]. EBU TECHNICAL REVIEW, October 2007
- [8] Feng Chen, Li Bao-chun. On Large-Scale Peer-to-Peer Streaming Systems with Network Coding [C]// Proceeding of the 16th ACM international conference on Multimedia. New York, NY, USA, 2008
- [9] 秦昊, 陈建华. 基于 JPEG2000 码率配置的多描述编码研究[D]. 昆明: 云南大学