

容迟容断网络论文综述

唐小娟

北京理工大学计算机学 07111801 班, 学号 1120180207, 北京 100081

(xiaojuantang0920@163.com)

A Literature Review of Delay(Disruption) Tolerant Network

Tang Xiaojuan

(Class 1120180207, School of Computer Science, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081)

Abstract Delay/Disruption Tolerant Network is a new Network architecture. It uses store-carry-forward mode and corresponding routing algorithm, which can tolerate long time Delay or interruption. In addition, the data can be stored in the nodes until the establishment of end-to-end routing, which solves the problem of unreliable communication in harsh environment, especially in the situation of unstable end-to-end connection in military communication, deep space communication and remote areas, which has been widely used. This paper introduces the origin of DTN, then briefly describes the network architecture and the corresponding routing algorithm of DTN, explains the application of DTN and the current existing problems, and finally points out the development trend of DTN in the future.

Key words Delay/Disruption Tolerant Network; Routing algorithm; Bundle; Practical Application

摘要 容迟容断网络 (Delay/Disruption Tolerant Network) 是一种全新的网络架构, 它利用存储-携带-转发模式 (store-carry-forward) 以及相应的路由算法, 可以忍受长时间延迟或中断, 并且在建立端到端的路由之前可以一直存储数据在结点中, 这解决了恶劣环境中不可靠通信的问题, 尤其在军事通信、深空通信以及偏远地区等端到端连接不稳定的情形得到了广泛的应用。本文介绍了 DTN 的起源, 之后对 DTN 的网络体系结构和相应的路由算法进行简要阐述, 对 DTN 的应用以及当前存在的问题进行说明, 并在最后指出了未来 DTN 的发展趋势。

关键词 容迟容断网络; 路由算法; Bundle 协议; 实际应用

1. DTN 的提出

互联网在互联地球上通信设备方面取得了巨大的成功。它通过使用一组同构的通信协议 (TCP/IP) 来实现, 组成互联网的数十万个网络上的所有设备都使用这些协议来路由数据和确保消息交换的可靠性。但是它的可用性其实是依赖于如下假设:

(1) 连续的、双向的端到端路径: 源和目的之间持续可用的可用连接, 以支持端到端交互。

(2) 短延迟往返: 在发送数据包和接收相应的确认数据包时, 具有较小且相对一致的网络延迟。

(3) 对称的数据速率: 源和目标在往反方向上具

有相对一致的数据速率。

(4) 低错误率: 链路上的数据丢失和损坏相对较少。

然而, 许多发展中的和潜在的通信环境不符合互联网的基本假设, 这些环境的特点是:

(1) 间歇性连接: 源和目标之间缺少端到端的路径, 在这种情况下, TCP/IP 协议的通信不起作用。

(2) 长延迟或可变延迟: 除了间歇性连接外, 节点间的长传播延迟和节点处可变队列延迟都会导致端到端路径延迟, 这可能会破坏依赖于快速返回确认

或数据的互联网协议和应用程序。

(3) 不对称数据速率：互联网支持具有适度不对称的双向数据速率，比如有线电视。但是如果不对称性很大的话，就会破坏会话协议。

(4) 高错误率：链路上的比特错误纠正，需要更多的位和处理；重新传输整个数据，会导致更多的网络流量浪费。而对于给定的链路错误率，逐跳传输比端到端传输需要更少的重传。

DTN (Delay/Disruption Tolerant Networking) 起源于星际网络[1]，它通过使用存储——携带——转发消息交换，解决了上述间歇性连接、长或可变延迟、不对称数据速率和高错误率等有关的问题。这样的思想来源于古老方式的邮政系统——整个消息或部分消息的片段沿着最终到达目的地路径从一个节点上的存储位置移动到另一个节点上的存储位置。

2. DTN 的架构

在 DTN 中，由于节点间不一定存在稳定的连接，因此当节点想要发送数据的时候会先把数据存放到该节点的缓存中，并被一直携带，直到遇到在通信范围内的节点[2]，并不需要等待完整的路径，而在端到端的传输模式中，必须要出现完整的路径才会开始通信。

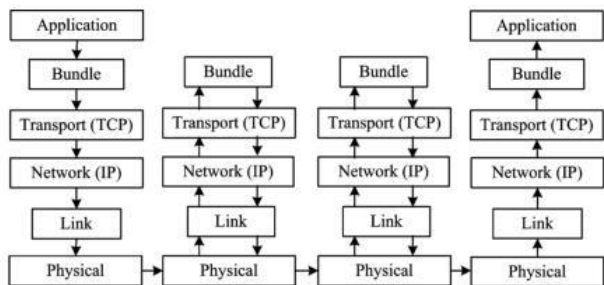


图 1 完整的 DTN 数据传输过程

Fig.1 Process of DTN data transmission

2.1 Bundle 层

为了实现这样特殊的传输模式，并且和传统的网络模式保持一定的兼容性，在传统的 Internet 协议栈中添加了 Bundle 层协议栈（束层）。该协议栈位于传输层之上，应用层之下，另外 bundle 层可以细分为 bundle 层和汇聚层。

应用层数据单元 (Application Data Units) 可以发送任何长度的数据，在 Bundle 层，ADUs 会被划分为多个“Bundles”（也就是 Bundle 协议的数据单元），之后“Bundles”通过 DTN 的节点进行转发。由于 DTN 网络中，链路不可靠，数据很长时间都保留在

节点中，所以节点的存储设备选择一般是像磁盘、闪存之类的永久性存储介质，保证系统不管是关机后重启，数据依然保留在节点中。

Bundles 包括了三个部分：

1) **Bundle header**：里面有多多个 DTN 块，其中包含了多个关于 Bundle 层协议字段。

i. 创建时间戳 (Creation Timestamp)：表示基于应用程序请求发送 ADU 的时间。创建时间和一个单调递增的序列号可以保证创建时间戳对来自同一个源的 ADU 都是唯一的。

ii. 有用寿命指示器 (Lifespan)：表示相对创建时间的偏移量 (类似于协议中的跳数)，如果一个 bundle 存储在网络中已经达到其生命周期 (lifespan)，那么就有可能被丢弃。

iii. 服务类别标志：表示包的传递类型和优先级。

iv. 源 EID：源的 EID。(EID 是标识一个 DTN 端点的 URI)。

v. 目的 EID：目的地的 EID。

除上面字段之外，还有 Report-To Endpoint ID、Custodian EID。通过这些信息，就可以知晓整个数据传输的长度和相关的性能要求，为节点的调度和路径选择提供了便利。

2) **Control Information**：里面包含了控制信息，节点通过这些信息来选择采取相应的操作。

3) **Application Data Units**：这是从应用层传来的数据，是 bundle 中的有效载荷。

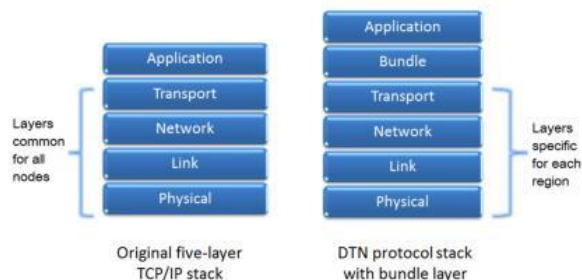


图 2 DTN 的协议栈

Fig.2 DTN specific stack

2.2 汇聚层

Bundle 层的很多业务都需要汇聚层的支持，汇聚层的协议有 LTP (Licklider Transmission Protocol)、Saratoga 和 TCP。

TCP：TCP 作为 DTN 的汇聚层协议，被称之为 TCPCL (Transmission Control Protocol Convergence Layer)，它主要是针对网络拥塞控制的传输。

LTP: 它可以根据传输需要的不同将数据分为可靠传输和不可靠传输。可靠传输是指在接收端收到并发送确认之前,在发送端必须要留存有效,这样保证如果发送端长久没收到接收端的确认包就会重传数据。不可靠数据是指不用被接收端确认,发送之后即可丢弃。它属于单向通信协议,数据发送前不需要进行类似 TCP 建立连接的操作但是 LCP 没有提供错误检测机制和校验机制,不能完全保证可靠传输,之后也有研究者提出一些协议使用异步传输来解决该问题。

Saratoga: 它是基于 UDP/IP 的传输协议。它能够充分利用链路信息来处理不对称的链路环境。采用最小有效带宽否认确认机制,只以链路上的速率传输数据,只涉及链路可用时到下一跳的有效通信,一定程度上提高了带宽率,更多的数据可以在节点间传输。

总之,DTN 额外增加的 Bundle 层,提供了传统 Internet 协议(如 TCP/IP)没有的服务,一定程度上解决了无法稳定建立端到端连接的环境。

3. DTN 的路由算法

因为“存储——携带——转发”传输方式,传统的路由算法不再适用于 DTN,于是需要根据其特定的传输模式研究新的路由算法。这些方案不需要端到端网络路径必须在给定时刻存在,而是假定这些路径随着时间的推移而存在,从而允许存储——携带——转发的网络框架使用这些路径传递消息;除此之外,还考虑了预测节点的不准确性和网络中固有的严重传播延迟等。由于 DTN 路由问题的丰富性和新颖性,它已经成为了一个非常活跃而受欢迎的领域。虽然提出了很多路由设计,但是很少有实际应用。这里我以 Opportunistic 路由方法来进行介绍,这是一种适应 DTN 动态路由的设计。

确定性的路由方法从性能上来讲是非常优秀的,因为一个节点从网络中获得的信息越多,那么它的转发就越高效。然而,额外的路由信息会给算法带来更多的复杂性,并且 DTN 的动态特性也决定了它不能采取上述方式。因此,采用局部概率决策的方法,根据范围内的“联系人”决定概率从而进行转发消息是最合适的解决方案。Opportunistic 路由方法主要分为三类,分别是:(旨在提升网络资源利用率)、epidemic (旨在提升传递概率)、probabilistic-based (结合了上述的优点而采取的平衡方案)。

3.1 single-copy routing

Opportunistic 路由方法在试图将消息传递到一个或一组目的地时可能导致资源浪费。这种资源浪费主

要是由于为了提高传递概率而使用消息复制。为了避免消息的过多复制,执行单拷贝转发(single-copy),即每个消息只有一个拷贝通过 DTN 网络传输到达目的地。

Minimum Estimated Expected Delay (MEED) 路由算法是 single-copy 路由算法的一个典型代表,它是利用“联系人”历史记录(也就是连接和断开连接时间)来帮助转发的方法。“联系人”历史记录是一个度量指标,用于估计消息被转发之前将等待的时间,并且该等待时间不是固定的最短代价,而是每次最短代价的“联系人”出现,都有被“联系”的机会。为了实现这一机制,MEED 必须在每次“联系人”到达时都要重新计算路由表,并将此信息广播到网络中的每个其他节点。

在优化网路资源上, single-copy 路由算法的效果非常好,因为每个消息只需要拷贝一个副本,极大的节省了网络资源使用。但是由于每个节点到达都需要进行广播消息计算路由信息表,导致较高的延迟率,较低的交付率。为了缓解这个问题,下面的 Epidemic routing 路由算法可以增加交付概率。

3.2 Epidemic routing

Epidemic 路由算法也叫泛洪算法(flooding),它是一种非常简单、计算量小、容易实现的路由算法。当节点相遇时,他们彼此交换各自已知的消息。由于节点的移动性和链路可用性,其他的节点位于通信范围内时,数据就会复制一份副本并进行发送。具体步骤如下,含有数据的节点在发送之前会向目的节点发送一个请求,如果目的节点没有该数据的副本,就会给源节点发送一个反馈,接收到反馈之后,源节点就会把数据传输给目的节点,之后目标节点会作为该数据的一个新的源节点来传播来数据。但是由于大量数据被复制,导致数据冗余严重,消耗节点的存储空间,造成资源浪费。因为这种过于昂贵的开销, Epidemic 路由算法一般只用于一些小型网络(如 ZebraNet[3])。

3.3 Probabilistic-based Routing

Probabilistic-based Routing 算法是基于某种概率度量来找到每个消息的最佳节点集合,以此最大化传递概率。采用该算法,考虑了优化传递概率从而避免消息的完全复制,除此之外,考虑了消息的优先级、资源的可用性等来保证实现高交付率。

Prophet 路由算法是 Probabilistic-based Routing 的其中的一个方法,它记录之前的路径信息,并估计下一跳节点是否比自己节点达到目的节点有更高的概率,如果有的话,就会将数据复制一份发送给该节点。这种通过选择具有较大概率可达的节点来进行复制

发送的方式可以在一定程度上限制复制开销,节省节点资源,解决网络拥堵问题。

除上述路由算法之外,基于前向的路由算法(Delay-Tolerant Link State Routing),比如 DTLSR,它是在 DTN2 Bundle Protocol 中实现的,会像 OLSR 一样发送链接状态通知,但是关闭链接不会马上删除,这就使数据沿着过去被支持的路径继续流动。DTN 路由的算法一般都不具有普适性,要根据具体场景使用具体的路由算法,研究者们也在扩大路由算法的适用范围。

4. DTN 的应用

4.1 发展中地区

由于基础设施可用性和安装维护有关费用,为偏远地区提供互联网连接的定向通信面临了很大的挑战。DakNet[4]项目是一种 DTN 方法,它为印度农村提供了网络接入,它可以在断开连接的节点之间移动数据,就像公交车、摩托车一样。除此之外,电子医疗服务在发展中地区也有很大的应用潜力,DTN 有助于特定类型的交流,像高带宽传输,非实时传输信息等。基于 DTN 的远程会诊服务也已经在加纳地区演示。

4.2 非连接地区

位于瑞典拉普尼亚的帕杰兰塔国家公园是牧民萨米人的家园。该公园缺乏基础设施,而且是联合国教科文组织的成员世界遗产。因此,无法安装大型天线塔或其他侵入性基础设施。于是,SNC 项目探索了 DTN 的思想,为牧民提供基本的互联网服务[5]。

4.3 环境或野生动物检测

环境和野生动物的检测不能采取侵入式方法,尤其在访问维护和充电方面这些干扰性因素。ZebraNet 项目收集了在 Kenya 的有关社会行为信息以及斑马 100 平方公里范围内的活动信息。ZebraNet 传感器于 2004 年安装并在硬件设计上为长期、无监控的手术提供了有价值的信息。都市地区环境监测(EMMA)项目开发了一种去中心化和成本效益高的架构,用于城市环境中全区域的空气污染物测量。该项目使用公共交通工具,如巴士和电车,不断收集环境数据;这些信息通过 DTN 技术在车辆之间进行交换,以最小化传输成本。

4.4 深海通信

水下收敛层(Underwater Convergence Layer)被开发是参考支持 WHOI 微调制解调器[6]的 DTN2,与

射频信号(30 万公里/秒)相比,它可以通过声波信号(1500 米/秒)进行通信。它的实现基于 DTN2 的收敛外部层(External Convergence Layer),该层允许在 DTN2 代码库外实现 CLAs。除此之外,在之前 NURC 与波尔图大学(University of Porto)合作,在意大利托斯卡纳群岛进行了一次实地测试,评估了实现创建跨越水面和水下域的异构链路(无线电和声学)组成的网络的适用性,并成功地进行了实验。

5. 总结

为了在性能差、延时高、不稳定的网络之间提供连接服务,DTN 提出了采用存储——携带——转发传输模式和类似 Opportunistic 路由等的方法,构建了一个比 TCP/IP 协议更能适应现实网络环境的系统架构。然而作为一个新兴的无线网络架构,DTN 仍然处于起步阶段,大规模的 DTN 部署还不存在,小规模部署还处于非常早期的阶段。如果想要能在军事、航天、救灾等特殊环境下起到很好的效果,还有很多问题和挑战需要解决,下面是未来发展的趋势以及当前还存在的问题:

(1) 缺乏一个统一的性能评价体系。DTN 网络和按传统的网络所争对的问题很不一样,导致过去用传输速率和丢包率等作为网络性能评价标准不再适用于 DTN,因此研究人员的当务之急是建立一套统一的评价标准。

(2) 会导致一部分的资源被浪费。当一个 Bundle 被它的目的节点接收后,它的其他副本都会变得无用,指示中间节点丢弃这些无用节点需要额外的资源,所以需要解决的问题就是效率和开销之间的平衡。

(3) DTN 中,为了评估提出的协议的开销,经常使用仿真的方法,采用开发测试平台来评估不同协议的实际系统性能是一种较为可观的方法。

(4) 目前,很少有人致力去解决传输层的问题,对于逐跳传输和端到端可靠性之间的权衡需要更多的研究,同时也要研究传输层与路由和消息转发之间的交互。

虽然 DTN 的发展不够成熟,但是由于大量的科研人员和研究院都在致力解决当前遇到的各种难题,未来 DTN 发展一定会逐渐完善,并且真正落实到特殊且重要的场景中。

参考文献

- [1] IPN:(Interplanetary internet project, internet society special interest group, <http://www.ipnsig.org>)

- [2] 黄星河,李艾静,王海.DTN 体系结构及关键技术研究
- [3] Philo Juang, Hide Oki, Yong Wang, et al. Energy-Efficient Computing for Wildlife Tracking:Design Tradeoffs and Early Experiences with ZebraNet. In Proceedings of the 10th Inter-national Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems, October 2002
- [4] A.S. Pentland, R. Fletcher, and A. Hasson, "DakNet: Rethinking connectivity in developing nations," Computer, vol. 37, no.1, Jan.2004, pp. 78-83.
- [5] A. Lindgren, A. Doria, J. Lindblom, and M. Ek, "Networking in the land of northern lights: two years of experiences from dtn system deployments," in Proceedings of the 2008 ACM workshop on Wireless networks and systems for developing regions (WiNS-DR '08). New York, NY, USA: ACM, 2008, pp. 1-8.
- [6] D. Merani, A. Berni, J. Potter, and R. Martins, "An underwater con-vergence layer for disruption tolerant networking," in Proceedings of the 2011 Baltic Congress of Future Internet Communications (BCFIC2011). IEEE, 2011, pp. 103-108.