

一种无线 Ad hoc 网络中的可靠 UDP 协议

张 力, 戴冠中

(西北工业大学自动化学院网络与控制研究所, 西安 陕西 710072)

摘要:针对 TCP 在无线自组网 (Ad hoc) 网络中应用时存在的性能低下问题, 提出了一种基于滑动窗口的无线 Ad hoc 网络可靠 UDP 传输协议 (ARUDP) 来确保网络中节点间通信数据的可靠传输。通过对 ARUDP 协议的头格式、数据类型的介绍和对协议确认机制及针对 Ad hoc 网络特点进行优化的重传机制的着重阐述, 从理论上分析了 ARUDP 的保证可靠通信的机制和运行时的效率优势。最后, 在 NS - 2 中进行的与 SRUDP 协议的对比仿真实验证实了 ARUDP 协议在不同数据报文大小和节点移动速度的条件下均具有较优的性能。

关键词:无线自组网; 可靠传输; 用户数据报协议; 重传机制

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A

A Wireless Ad Hoc Network Reliable UDP Protocol

ZHANG Li, DA I Guan - zhong

(School of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an Shanxi 710072, China)

ABSTRACT: This paper presents a wireless Ad hoc network reliable UDP protocol (ARUDP) to ensure reliable data transmission in consideration of TCP's low performance in Ad hoc network. By defining the protocol's packet header and data type and emphasizing on its acknowledgement mechanism and optimized retransmission mechanism on Ad hoc networks, the reliability and efficiency advantages of ARUDP are theoretically analyzed. In the end, experimental comparison of ARUDP and SRUDP in NS - 2 has testified the favorable throughput performance of ARUDP under different conditions of packet size and node movement velocity.

KEYWORDS: Ad hoc; Reliable transmission; UDP protocol; Retransmission mechanism

1 引言

无线 Ad hoc 网是一种由移动节点临时自发组成的无线网络, 节点自身同时兼具终端和路由转发的功能, 对于基础设施的无要求使得无线 Ad hoc 网络可以应用在一些严峻的通信应用场景中, 例如灾害搜救等。目前, 需要实现可靠数据通信的应用通常采用 TCP 协议, 而 TCP 在无线 Ad hoc 网络中的应用则面临严重的性能问题^[1], 由于 TCP 将丢包均归于网络拥塞, Ad hoc 中由于误码率、节点移动带来的断路等产生的丢包将导致 TCP 错误的进入拥塞控制阶段, 进而影响发送性能, 这个问题目前仍然缺乏理想的解决方案。另外, TCP 的连接维持的开销及面向流的通信等特点不适合发送大量独立消息报文的场合。结合 UDP 的特点可知, 基于 UDP 进行可靠通信协议设计是能够较好兼顾效率的方案。

本文提出一种利用滑动窗口协议为 UDP 引入可靠传输机制, 并面向 Ad hoc 网络特点进行重传机制优化的无线 Ad hoc 网络可靠 UDP 协议 ARUDP (Ad hoc Reliable UDP)。下文将介绍协议的头结构和协议运行机制, 然后重点分析面向 Ad hoc 业务进行的重传优化方案; 最后, 在网络仿真平台中进行了仿真试验, 通过与同样采用简单报文头部的简单可靠 UDP 协议 (SRUDP)^[2]的结果对比, 证实了 ARUDP 协议较优的性能。

2 ARUDP 协议

ARUDP 建立于 UDP 协议之上, 它有两个字节的协议头, 表示的内容包含数据类型和数据序号, 数据类型分为 DATA 和 ACK, 序号用 15 个字节来表示 Data 包的序号或 ACK 包确认的序号, 围绕这两个字节, ARUDP 协议引入了滑动窗口机制来实现双方的可靠传输。协议首部结构及类型定义如表 1 所示。

基金项目: 航空科学基金项目 (05F53029) 资助; 西北工业大学研究生创业种子基金 (Z200741) 资助

收稿日期: 2008 - 01 - 14 修回日期: 2008 - 01 - 15

表 1 协议首部结构和类型定义

0	1	15
类型	数据序号	
类型	字位	
DATA	0	
ACK	1	

发送和接收双方分别维护一个报文窗口,分别用来表示发送方已发送但尚未被确认的报文数据和接收方允许接收的报文数据范围。发送窗口中的报文个数不能超过一个最大长度;接收窗口的大小同样也是固定的。由于发送窗口大小有限,发送方还需要引入一个缓冲区来缓存应用层所要发送的消息。跟一般的滑动窗口协议一样,ARUDP中通过引入确认及重传机制来保证数据的可靠传输,首先明确以下几条发送和接收基本原则:

发送方将应用层提供的消息作为报文发送,发送窗口大小等于已发送的报文数目,若达到最大值,则认为发送窗口已满,此时应用层数据按序存放放到缓冲区中;

发送方接收到确认后,认为发送窗口中位于确认序号前的所有报文都已经收到,发送窗口大小应减去已确认的报文个数,此时可以继续发送缓冲区中的数据;

接收方接收到的报文如果位于接收窗口内,则接收该报文,否则丢弃。

2.1 确认机制

现有选择重传 ARQ 协议中通常采用对每个报文分别进行确认的方式,考虑到无线 Ad hoc 网络环境中较高的丢包率,确认包的丢失往往导致不必要的发送数据重传。为提高确认的效率,ARUDP 协议采用了成组确认方法。另一方面,为使数据尽快得到确认,设计确认机制时包括两种方案:按时确认和加急确认。

1) 按时确认:协议中设计专门的定时器来启动确认功能,当定时器过期,查看当前接收窗口是否左边沿是否已收到数据报文,若收到,则对已收到的所有连续报文进行一次确认,确认序号为已收到的连续报文中的最大序列号;同时,接收窗口右移,计时器重新启动。

2) 加急确认:若接收到的数据报文乱序,即后收到序号较小的数据,且该数据处在接收窗口的左边沿,则立即对发送方进行确认。

其中,按时确认主要是面向正常的数据应用设计,考虑到数据重传的定时限制,接收方应在一定时间内对已经接收的数据进行确认,而加急确认则是为了尽快对重传的数据进行确认,以避免进一步的不必要重传。

2.2 重传机制

在面向 Ad hoc 网络的应用中,由于经常性的由于误码、断路、路由重构等引起的丢包,重传的设计将显著的影响协议的性能。下面将介绍 ARUDP 的重传机制,并针对应用场景与其他滑动窗口协议的重传机制进行对比。重传机制包括接收方 ACK 重传和发送方数据重传两个部分:

1) 接收方 ACK 重传

接收方如果接收到落在接收窗口以外的数据报文或在一定长度时间内没有接收到任何数据,将重新发送已经确认过的最大数据报文的 ACK。这个机制主要是用来解除可能由 ACK 包丢失引起的死锁。如图 1 所示。

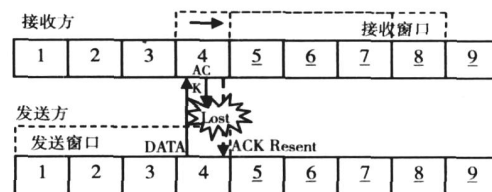


图 1 接收方 ACK 重传

下划线的数据表示尚未接收或尚未发送,斜体的数据则表示已接收或已发送的,后图中相同。若接收方发送确认后刚好使得接收窗口与发送窗口没有重合,而 ACK 包又丢失的情况下,发送窗口数据将无法得到确认,接收窗口也无法收到有效范围的数据,协议会发生死锁,而采用接收方 ACK 重传机制就能解除死锁状态。

2) 发送方数据重传

在选择重传 ARQ 协议中由于方案设计为对每个数据报文进行单独确认,则重传机制中可以较方便的确定需要重传的数据包而单独进行重传。但正如上文分析,这种单独的确认机制对于 Ad hoc 网络来说是不能适应的,首先大量的确认包给网络带来了负担,尤其是对于有视频流量存在的网络环境来说,大量的小分组将影响视频的实时性;其次,这种对于每个确认报文完全依赖的确认机制在无线 Ad hoc 网络中的应用将面临严峻的挑战,确认本身的丢失可能性将使得发送方在重传还是等待中难以抉择。而基于成组确认的其它应用滑动窗口协议算法中,如 RUDP 协议^[13]通过在确认数据包中包含所有已乱序的数据报文的序号来使得发送方知晓需要重传哪些报文,这不光为协议的首部设计带来了一些难度,同时也大大增加了确认包的大小;而 SRUDP 协议则采取了重传发送窗口内所有未确认的报文,这确实对协议首部设计没有任何要求,也克服了单独确认的缺点,但这种全盘重传可能使得大量已经接收到的分组被重新发送,使得选择重传滑动窗口协议近乎退回到后退 n 重传的效率,这种带宽的浪费在对实时性有要求的应用中几乎是不能允许的。为此,ARUDP 协议采用了完全不同的重传方案,其中包括了普通数据重传和加速数据重传两种定时器,详细的机制如下:

当普通数据重传定时器过期时,若发送窗口内数据未接收到任何确认,则发送方重传当前发送窗口中最左边的数据,根据确认的机理可知,未收到确认说明该数据要么丢失,要么对应该数据的确认丢失。重传同时,重新设立一个新的重传定时器,即加速重传定时器,该定时器对应的超时长度小于普通数据重传定时器,默认值设为普通数据重传定时器

过期长度的 $1/2$ 。若加速重传计时器过期时,仍未收到任何确认,则继续发送当前数据,同时将加速重传计时器清零;若收到确认数据,则将确认序号与当前发送窗口右沿(即已发送的最大序号)进行比较,若相等,则取消加速重传计时器;若确认序号小于右沿序号,则以确认序号下一个包为起始,重传连续两个报文(若都在发送窗口范围内),并继续将加速重传计时器清零。再一次过期时,进行类似判断,所不同的是,若确认序号仍小于发送窗口右沿,则以确认序号下一个包为起始,重传连续四个报文(若都在发送窗口范围),以此类推。

设加速重传计时器第 i 次过期重传的连续报文个数为 N_i ,已发送的最大序号为 M_{send} ,确认序号为 A_i ,则加速重传计时器过期时,重传的连续报文个数用公式可以定义如下:

$$N_i = M \ln(M_{send} - A_i, 2^{i-1})$$

容易得到: $1 + 2^1 + 2^2 + \dots + 2^{k-1} = 2^k - 1$,可知,对于大小为 $Size = 2^k$ 的发送窗口来说,由于已接收数据至少为 1,结合前面的加急确认机制,可知最多只需要 $k = \log_2(Size)$ 次就可以将整个窗口的报文都重传完毕,而事实上,对于通常情况来说,只要一、两次就可以完成必要的重传。

通过以上的介绍可知,和 SRUDP 协议的重传机制比较起来,这样的方法可以在不明显增加重传周期的情况下,避免很多不必要的已发送数据报的重传,进而提高整体数据收发的效率。尤其在无线 Ad hoc 网络中,考虑到无线链路的有效带宽,如果采取一次性重传全部发送窗口内数据的机制,会给链路带来很大的负担,影响网络内的其他业务,而在链路断开的情况下,以更短的周期重传单个数据报文来探测链路是否可用的方式显然更合理。

3) 重要参数配置

协议中需要配置的重要参数包括普通数据重传计时器长度以及加速重传计时器的长度。其中,普通重传应设为确认计时器长度和通信双方最大 RTT 两者较大值,加速重传计时器长度则取为普通数据重传计时器的 $1/3$ 到 $2/3$ 之间,大致等于通信双方平均 RTT 的值。

3 NS2 仿真试验

3.1 场景介绍

为了验证 ARUDP 协议在 Ad hoc 网络中的有效性,本文在 NS-2^[4] 网络仿真平台上进行了如下的 Ad hoc 网络仿真,场景中包括 5 个无线节点,如下图 2(a) 所示,0 号和 4 号节点相距最远,中间依次是 1、2、3 号节点。通信在 0 号和 4 号节点间进行,上层通信应用 CBR 业务,在其他配置参数都一致的情况下,传输协议分别应用 ARUDP 和 SRUDP 来进行仿真比较。为了保证仿真场景中会经历断路、路由重构、误码等典型的 Ad hoc 丢包情况,场景进行了如下设置:0 号、2 号和 4 号节点位置不变,而 1 号和 3 号节点则在整个仿真过程中不断的移动,初始状态下 1 号和 3 号节点与其他三个节点在同一条直线 k 上,彼此在一跳的通信范围内;第一阶段 1 号和 3 号节点则沿着与 k 垂直的方向运动到如图 2(b)所示

的位置,此时 1 和 3 将分别脱离其他节点的通信范围,导致链路断开;第二阶段,1 和 3 号节点将沿前一阶段反方向进行直线移动到图 2(c) 所示位置,该过程中,链路将经历链路重构、再次断路等一系列过程;第三阶段,1 和 3 号节点又将运动到初始位置,如图 2(d) 所示。同时,网络中所有节点都设置了 1% 的无线通信误码率。为了测试 ARUDP 协议对于不同数据报大小以及节点移动速度的适应情况,试验设置了如表 2 的测试对比环境。

表 2 仿真试验对比环境

Node	Packet Size (256)	Packet Size (512)
Velocity (V)	V = 20, 30, 40	V = 20, 30, 40

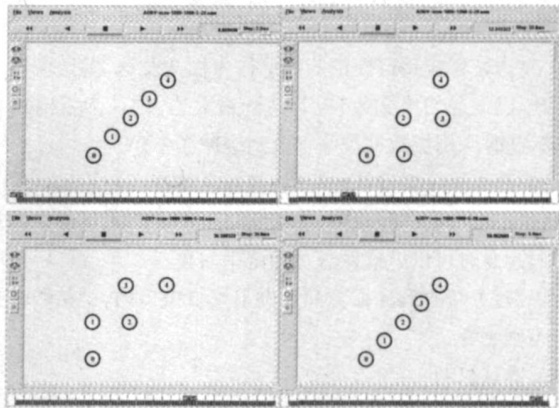


图 2(a) - (d) 网络仿真场景关键阶段

3.2 实验结果及分析

从图 3(a) - (c) 中可以看到,ARUDP 协议在整个仿真的过程中,相比于 SRUDP 协议,无论节点的移动速度高低与否,都具有整体的吞吐量性能优势,尤其是在链路出现断路并重建即吞吐量发生明显跳变的时候,考虑到其他的工作机制几乎相同,ARUDP 协议经过专门优化设计的重传方法显然在提高网络吞吐量方面起到了重要的作用。

从图 4(a) - (c) 中可以看出,当单个数据报大小增大到 512 时,ARUDP 协议在低速到高速的变化范围内仍然保持了相对于 SRUDP 协议明显的性能优势,并且,两者间性能的绝对差距几乎是数据报大小为 256 时的差距的两倍,从理论上分析,由于 SRUDP 协议一味重传所有的发送窗口数据报文,所以当报文大小增大时,ARUDP 协议应该表现出愈发明显的优势,这种性能差距的扩大是与实验结果相吻合的。

4 总结

针对 TCP 协议在 Ad hoc 网络中应用存在的问题,本文提出了一种基于 UDP 协议的 Ad hoc 网络可靠传输协议 ARUDP,ARUDP 只有两个字节的协议头,应用灵活简单;而在控制机制方面,协议引入多种确认及优化的重传机制来保证在 Ad hoc 网络中数据传输的可靠性和效率。NS-2 中的

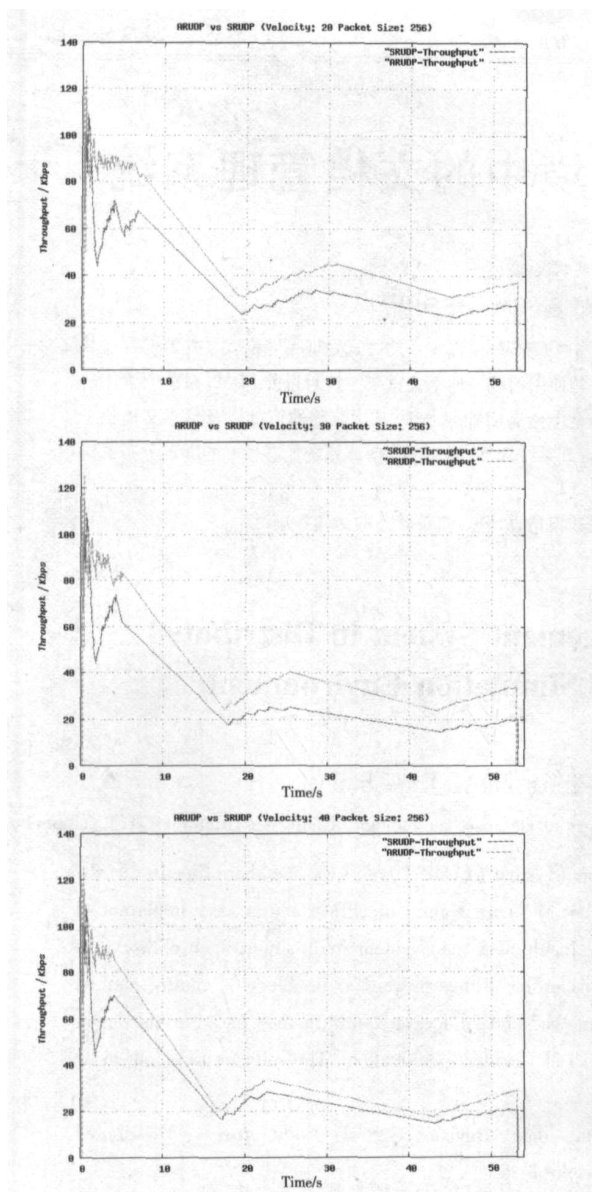


图 3(a)一 (c) ARUDP vs SRUDP吞吐量 (Packet Size = 256 Node Velocity = 20, 30, 40)

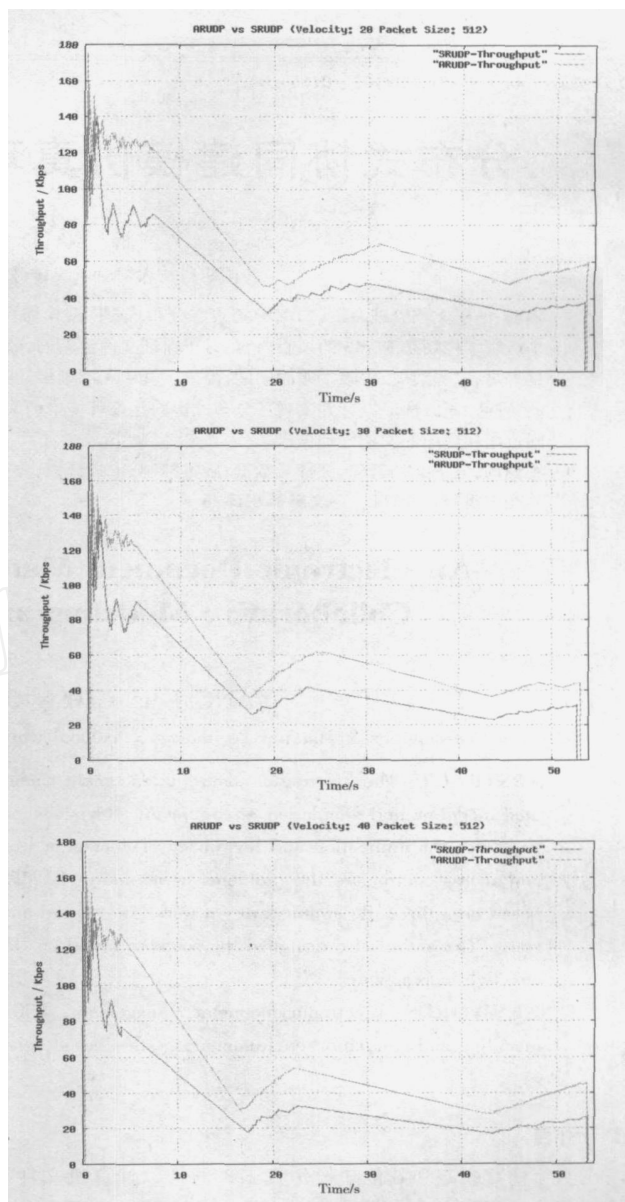


图 4(a)一 (c) ARUDP vs SRUDP吞吐量 (Packet Size = 512 Node Velocity = 20, 30, 40)

仿真实验结果表明 ARUDP协议的性能优势与原理分析十分符合。

参考文献:

- [1] Z Fu, X Meng, S Lu. How bad TCP can perform in mobile ad hoc networks[C]. Proc. of the 7th Int'l Symp. on Computers and Communications (ISCC 02), 2002. 298 - 303.
- [2] 王海军, 刘彩霞, 程东年. 一种基于 UDP的可靠传输协议分析与研究[J]. 计算机应用研究, 2005, (11): 181 - 183.
- [3] T Bova, T Krivonuchka. Reliable UDP Protocol[S]. IETF Draft, Feb. 1999.

- [4] 徐雷鸣, 庞博, 赵耀. NS与网络仿真[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003.



[作者简介]

张 力 (1983 -), 女 (汉族), 安徽人, 西北工业大学自动化学院硕士研究生, 研究方向为无线 Ad hoc网络路由及上层通信。

戴冠中 (1937 -), 男 (汉族), 上海人, 西北工业大学自动化学院教授, 博士生导师, 研究方向为自动控制、网络安全。