

一种基于期望传输时间的多径 OLSR 路由协议

杨 路, 朱 显, 王诗言

(重庆邮电大学 通信与信息工程学院, 重庆 400065)

摘 要: 现有多径 OLSR 协议采用跳数作为路由度量, 没有考虑链路中的丢包、带宽等因素。为此, 提出一种基于期望传输时间(ETT)的多径 OLSR 路由协议。计算节点间链路的期望传输次数值和带宽值后进行路由选择, 将 ETT 值作为路由度量。同时, 为避免路径上的链路 ETT 值相差较大影响整条链路的稳定性, 设计一种优化评判因子。仿真结果表明, 相对 ETT_MPOLSR、MPOLSR、OLSR 协议, 该协议能够提升网络吞吐量, 提高分组投递率, 降低平均端到端时延。

关键词: 多径 OLSR; 路由度量; 带宽; 期望传输时间; 稳定性

中文引用格式: 杨 路, 朱 显, 王诗言. 一种基于期望传输时间的多径 OLSR 路由协议[J]. 计算机工程, 2018, 44(11): 95-99, 104.

英文引用格式: YANG Lu, ZHU Xian, WANG Shiyang. A multipath OLSR routing protocol based on expected transmission time[J]. Computer Engineering, 2018, 44(11): 95-99, 104.

A Multipath OLSR Routing Protocol Based on Expected Transmission Time

YANG Lu, ZHU Xian, WANG Shiyang

(School of Communication and Information Engineering,
Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

[Abstract] The existing multipath Optimized Link State Routing (OLSR) protocols use hops as routing metric, without considering packet loss, bandwidth and other factors in the link. To solve this problem, a multipath OLSR routing protocol based on Expected Transmission Time (ETT) is proposed. After calculating the expected transmission count and bandwidth values of the inter-node links, the routing choice is made, and the ETT value is taken as the routing metric. At the same time, in order to avoid the great difference of the ETT value of the link on the path affecting the stability of the whole link, an optimization evaluation factor is proposed. Simulation results show that compared with ETT_MPOLSR, MPOLSR and OLSR protocol, this protocol can improve network throughput, packet delivery rate and reduce average end-to-end delay.

[Key words] multipath Optimized Link State Routing (OLSR); routing metric; bandwidth; Expected Transmission Time(ETT); stability

DOI: 10.19678/j.issn.1000-3428.0048961

0 概述

移动自组织网络(Mobile Ad-hoc Networks, MANET)是自组织和自配置网络,其无需任何蜂窝基础设施,如接入点(Access Point, AP)、基站(Base Station, BS)或固定传输链路,各无线终端(计算机、基于微处理器的设备、个人数字适配器(Personal Digital Adapter, PDA)、移动电话或具有兼容通信能力的任何数字设备)可以动态地自组织成临时性的任意网络拓扑并建立网络^[1-2]。由于无线自组织网络承载容量大、数据传输带宽高、容错能力强、组网

灵活,因此在工业、商业、学术、医疗保健、军事搜索和救援行动以及个人局域网(Personal LAN, PAN)领域得到了广泛应用^[3-4]。

针对 MANET 网络拓扑变化频繁以及节点不规则移动的特点,相对单径路由协议,多径路由协议更具有优势,原因具体表现在以下 4 个方面:1)容错性,为确保数据的正确传输,多径路由协议采取多条路径发送冗余数据,即使某一路径出现故障,也能保证数据的成功传输;2)负载均衡,多条链路分担数据,避免单一链路负载过重;3)为传输提供足够的带宽;4)多径路由协议拥有备用链路,可以提高路由恢

基金项目: 国家科技重大专项“基于 TD-LTE 专网宽带多媒体集群系统设备研发及规模组网应用验证”(2015ZX03004004)。

作者简介: 杨 路(1977—),女,高级工程师,主研方向为新一代网络、电信交换;朱 显,硕士;王诗言,副教授、博士。

收稿日期: 2017-10-16 **修回日期:** 2017-11-21 **E-mail:** 529021107@qq.com

复的效率。因此,多径路由能在对时延和吞吐量要求较高的场景表现出卓越的性能^[5]。

本文提出一种基于差分期望传输时间(Expected Transmission Time, ETT)的多径 OLSR(Optimized Link State Routing)路由协议 SETT_MPOLSR。将期望传输时间作为路由度量,同时为避免路径上的链路 ETT 值相差较大影响整条链路的稳定性,本文还设计一种优化评判因子 S ,以提升链路稳定性。最后通过实验验证该协议在投递率和时延方面的性能。

1 相关工作

典型多径路由协议有基于 AODV 的 AOMDV^[6]、基于 DSR 的 SMR^[7]、基于 OLSR 的 MP_OLSR^[8]。文献[9]提到 AOMDV 只能找到等长的多条路径,在大型网络中,当节点密度变稀疏时其采用 2 段链路不相交路径的方法,这增加了路由出错信息重新传送的开销,因此, AOMDV 协议只适用于节点密度较大的小型网络。SMR 协议由于只能提供 2 条最大的不相交路径,这 2 条路径并不一定是节点不相交的路径,由此导致协议不易扩展。MP_OLSR 协议既适合节点密度小的场景,也适合节点密度大的场景,当负载过大时,网络中的端到端时延和丢包率都能够明显降低,但其采用多重 Dijkstra 算法和源路由机制,这增大了节点处理负担。

MP_OLSR 协议使用跳数作为其路由度量,在无线自组织网络中,路由度量有很多,如跳数、预期传输次数(Expected Transmission count, ETX)、误码率(Bit Error Rate, BER)等。其中,跳数是较早和较普遍的一个度量,原因是其易于理解和实现。链路中的每个节点(终端)都是一跳,在数据包传输过程中,每经过一个节点就记录一跳,因此,跳数是计算路径距离的一种粗略办法,基于跳数小的链路其路径较短这一假设,路由协议尝试找到具有最小跳数的路径,以便最小化端到端延迟。但是在无线多跳网络环境中,跳数少的无线链路不一定通信质量好、带宽和吞吐量高、时延小,为解决该问题,有研究者对 MP_OLSR 协议进行了不同的改进。

文献[10-11]分别提出 LIA-MPOLSR 协议和 HIA-MPOLSR 协议。然而,基于度量的干扰路径选择策略并不总是可用的,这需要 GPS 来定位用于计算该度量的邻居位置。文献[12]提出一种基于能量度量的多径 OLSR 协议,其目的是获得网络中所有节点的能量优化,并使所有节点的能量消耗均匀。文献[13]提出一种基于 OLSR 变量的能量和移动模式度量标准,目的是增加节点和链路的生存时间和选定路径的可靠性。然而,移动模式度量需要邻居节点位置,因此,这些信息并不可靠。

本文针对应急场景(地震、火灾等)设计一种路由协议 SETT_MPOLSR。由于多径路由拥有冗余链路且路由恢复快,因此本文是对基于多径 OLSR 协

议进行的改进。在无线网络中,使用最短跳数路径的协议仍然存在诸多弊端,跳数少的无线链路没有考虑不同链路的性能差异,且已有研究多数没有考虑链路丢包及链路带宽。为此,本文将期望传输时间引入到路由中,以此来找到高吞吐量、低时延的链路并进行通信传输。

1.1 期望传输次数

ETX 定义为从发送端到接收端成功传输数据包的期望传输次数,它是一种路由判据。ETX 计算公式如下:

$$ETX = \sum_{k=1}^{\infty} ks(k) = \frac{1}{1-p} \quad (1)$$

其中, k 为数据包重传次数, $s(k)$ 为第 k 次重传数据包成功发送的概率,其计算公式如下:

$$s(k) = p^{k-1}(1-p) \quad (2)$$

p 计算公式如下:

$$p = 1 - (1-p_f)(1-p_r) \quad (3)$$

其中, p_f 和 p_r 分别为正向、反向传输链路的丢包率。

为计算无线多跳网中每条链路的 ETX 值,采用文献[14]方法:节点默认周期性地(1 s)广播一个 ETX 探测封包,每 10 s 时间统计这段时期内会有多少探测封包被成功接收到。根据探测封包的结果,所有节点便可以计算出自己达到邻居节点无线链路的丢包率,进而根据式(1)计算每条无线链路的 ETX 值。

1.2 期望传输时间

期望传输时间 ETT 由微软无线 Mesh 网络研究项目组提出^[15],是对 ETX 的扩展,其将无线链路上的传输时间作为路由度量。ETT 计算公式如下:

$$ETT = ETX \cdot \frac{D}{B} \quad (4)$$

其中, D 是使用的数据包大小, B 是链路间的带宽。

确定每条链路的带宽较复杂,其中一种办法是将每个 802.11 无线链路的带宽固定为给定的值。例如,文献[16]设置 802.11b 无线电的带宽为 1 Mb/s。本文采用分组对技术来测量带宽^[17]。每个节点每分钟向每个邻居发送 2 个背对背探测数据包。第 1 个探测数据包很小(100 Byte),第 2 个探测数据包很大(1 000 Byte)。邻居测量第 1 分组和第 2 分组接收时间差,并将该值传送给发送节点。提取连续 10 个时间差的最小值,然后用探测包的大小除以最小采样时间差,以此估计带宽。ETT 的定义不包括等待无线电信道的退避时间,它只反映实际使用信道的时间。

2 SETT_MPOLSR 路由协议

2.1 协议流程

图 1 所示为 SETT_MPOLSR 网络拓扑的管理流程。Hello 包除了携带基本链路信息外还携带 ETT 信息。节点根据 Hello 包携带的信息以及接受率计算出邻居间的 ETT 值,然后记录到相应的路由表项中。

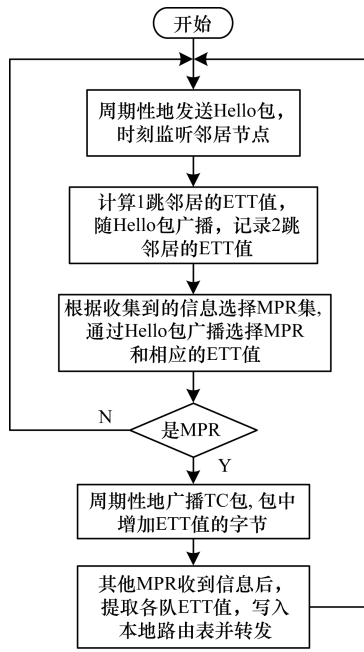


图1 SETT_MPOLSR 协议流程

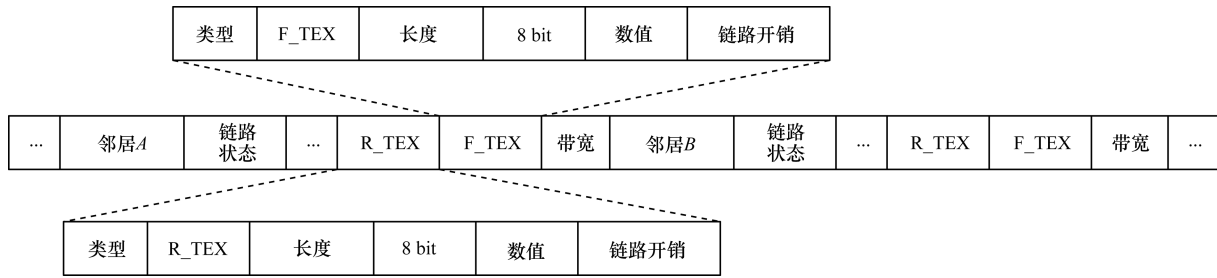


图2 SETT_MPOLSR 协议的 Hello 消息报文格式

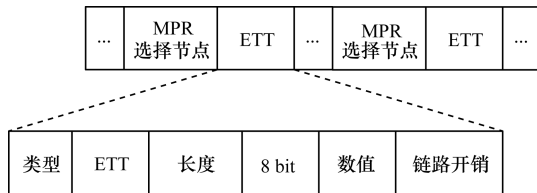


图3 SETT_MPOLSR 协议的 TC 消息报文格式

2.3 SETT_MPOLSR 路径选择算法

SETT_MPOLSR 路径选择算法基于图 $G = (V, E, C)$ 、点 $(s, d) \in e^2$ 和正整数 N 。(P_1, P_2, \dots, P_t) 是根据 Dijkstra 算法算出的从源节点 s 到目的节点 d 的 t 条最短路径。

在 SETT_MPOLSR 中,链路的权值 C 设为该链路的 ETT 值。SETT_MPOLSR 协议的 Dijkstra 多径算法没有以期望传输时间总和最小作为原则计算出多条不同的路径,原因是当传输条件极度不好时(比如灾难救援场景),链路质量时好时坏,链路间的 ETT 值会参差不齐,一条链路中断就会导致整条路径通信中断。因此,为避免该路径的链路 ETT 值相差较大影响整条路径的稳定性,本文提出一种优化评判因子,公式如下:

对于 MPR 节点,其发送出的 TC 包(用于交换各自 MPR 对的信息)包含所有涉及的 MPR 包对的 ETT 信息。当其他 MPR 节点接收到 TC 包信息时,除提取地址信息外,还要提取相应的 ETT 值并记录到路由表项中。在 SETT_MPOLSR 协议中,ETT 值通过 Hello 包和 TC 包来计算并在全网进行广播。

2.2 Hello 包与 TC 包报文格式

SETT_MPOLSR 协议改变了 Hello 包的信息格式,新的 Hello 包比原始 Hello 包多了 3 个 TLV 单元,分别为 F_TEX、R_TEX 和带宽 B,格式如图 2 所示。其中,三者的值按照 TimeTLV 进行编码,Hello 包的发送机制不改变。TC 消息帮助网络中的所有节点获取消息原始生成器与其 MPR 选择器之间的 ETX 值。相比于原始 TC 包,新的 TC 包多了一个 TLV 单元,如图 3 所示,TC 包的发送机制也不变。

$$S = \sum_{l \in p} (ETT_l - \min(ETT_l, THRESHOLD_{ETT}))^2 \quad (5)$$

其中, ETT_l 为链路 l 的 ETT 值, l 是路径 p 上的一条链路, $THRESHOLD_{ETT}$ 为期望传输时间门限值。

被选路径 p^* 定义为:

$$p^* = \operatorname{argmin}_{p \in P} (S) \quad (6)$$

其中, P 是从源节点到目的节点的发现路径集合。

若存在多条链路的 S 值都相等,此时比较 ETT 值,选择 ETT 值最小的路径作为被选路径 p^* ,定义为:

$$p^* = \operatorname{argmin}_{p \in P} (\sum ETT_l) \quad (7)$$

路径选择算法伪代码如下:

```
Function Modified MultiPath Dijkstra(s, d, G, t)
  c1 ← C;
  G1 ← G;
  for(i ← 1 to t) do
    SourceTreei ← Dijkstra(Gi, d);
    pi ← GetPath(SourceTreei, d);
    for all arcs e in E do
      if e is in pi or reverse(e) is in pi then
        ci+1(e) ← ci(e);
```

```
else if the vertex Head(e) is in pi then
  ci+1(e) ← ci(e);
else
  ci+1(e) ← ci(e);
end if
end for
Gi+1 = (V, E, ci+1);
end for
for(i ← 1 to t) do
  Si ← ∑l ∈ p (ETTl - min(ETTl, THRESHOLDETT))2;
end for
return((p1, S1), (p2, S2), ..., (pt, St));
```

3 仿真验证

3.1 仿真参数与指标

对本文算法的分组投递率、平均端到端时延、网络吞吐量性能进行仿真对比,各指标计算公式如下:

1) 分组投递率:

$$ratio = \frac{\text{接收数据包个数}}{\text{发送数据包个数}} \tag{8}$$

2) 平均端到端时延:

$$delay = \frac{\text{接收数据包时间} - \text{发送数据包时间}}{\text{接收数据包个数}} \tag{9}$$

3) 网络吞吐量:

$$throughput = \frac{\text{接收数据包大小}}{\text{停止时间} - \text{开始时间}} \tag{10}$$

本文采用的仿真工具为 NS2, 仿真参数如表 1 所示, 绘图工具为 gnuplot. 仿真结束后会生成一个 trace 文件, 利用 awk 脚本文件从 trace 里提取相关数据, 再根据式 (8) ~ 式 (10) 计算各指标的值, 最后利用 gnuplot 工具将计算结果用图的形式进行表示。

表 1 仿真参数

参数属性	参数名称	参数值
基本参数	场景大小/m ²	1 000 × 1 000
	节点数量	80
	仿真时间/s	100
	信号传播模型	TwoRayGround
物理层	有效传输范围/m	250
	天线模型	OmniAntenna
MAC 层	MAC 协议	802.11
	队列模型	Queue/DropTail/PriQueue
网络层	网络协议	SETT_MPOLSR
		ETT_MPOLSR
		MP_OLSR
节点移动模型	节点最大速度/(m · s ⁻¹)	0 ~ 20
	最大暂停时间/s	20
节点流量模型	业务类型	CBR/UDP
	分组长度/Byte	512
	分组发送速率/(包 · s ⁻¹)	10

3.2 仿真结果与分析

在仿真中, 本文比较带有 S 因子的 SETT_MPOLSR 协议、没有 S 因子的 ETT_MPOLSR 协议、原始多径路由协议 MPOLSR 以及单径 OLSR 协议之间的性能。

图 4 所示为节点移动性与投递率之间的关系。从图 4 可以看出, 所有协议呈现出相同的趋势, 节点移动越快, 投递率就越低。这是因为当节点移动加快时, 链路断开的概率就会增大。其中, 3 个多径 OLSR 路由协议均比单径 OLSR 协议表现更好, 原因是多径 OLSR 协议有多条链路传输, 即使某条链路出现故障, 其他链路也能够正常传输数据, 因此, 多径传输可以增强网络的健壮性。当节点数量、传输跳数、链路数量较多时, 选到路径最短同时传输质量又最好的链路的可能性非常低, 因此, 相比用跳数作为度量, 用期望传输时间作为度量的协议表现更好。SETT_MPOLSR 协议引入优化因子 S 后, 传输链路的投递率上升, 但是并没有表现出其在恶劣场景下的优势, 本文最后将对恶劣场景进行仿真。

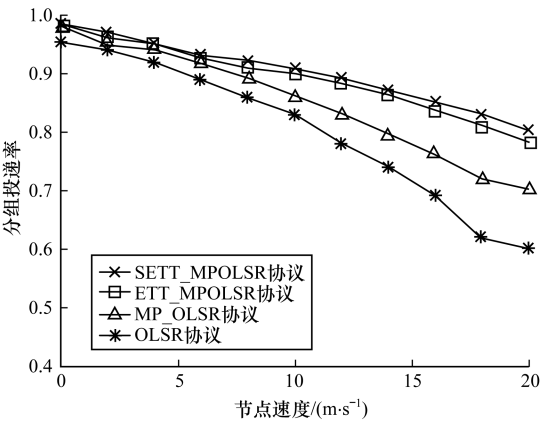


图 4 4 种协议的分组投递率与节点速度关系曲线

图 5 所示为各协议的平均端到端延迟, 其包括每个节点中的队列延迟和从源节点到目的节点的传播延迟。从图 5 可以看出, 多径路由比单径路由时延低得多, 这是因为多径路由的流量分布在不同的链路中, 可以减少队列延迟, 此外, 虽然多径路由协议可能花费更多的时间重新计算和恢复路径, 但因为恢复机制可以避免通过故障链路发送数据包, 因此, 其仍然具有较低的延迟。相比用跳数作为度量, 用期望传输时间作为度量时所选传输路径的链路质量更好, 出现链路故障的概率更低, 因此, 在时延性能上, 以 ETT 作为度量的协议表现更优。引入优化因子 S 后, 能避免路径链路 ETT 值相差较大而影响整条路径的稳定性, 因此, 本文 SETT_MPOLSR 协议能够有效降低时延。

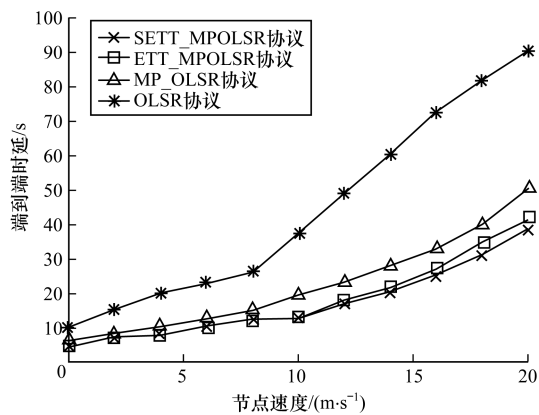


图5 4种协议的平均端到端时延与节点速度关系曲线

图6所示为4种协议的网络吞吐量与节点移动速度之间的关系。从图6可以看出,随着速度的上升,网络链路开始不稳定,由此导致传输时延增加,因此,吞吐量整体呈现下降的趋势,但是本文SETT_MPOLSR协议的网络吞吐量表现最优。

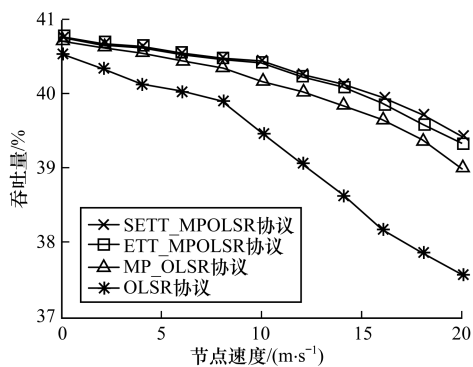


图6 4种协议的网络吞吐量与节点速度关系曲线

为了模拟灾难救援等极端环境时协议的通信质量,在表1的基础上将有效传输范围缩小到200 m,增大发包率为15包/s,以验证SETT_MPOLSR协议的分组投递率。如图7所示,在传输范围缩小以及发包率增加后,网络的分组投递率下降,但相比运行3种对比协议的网络,运行SETT_MPOLSR协议的网络投递率明显提高,该结果说明本文提出的优化因子 S 在通信恶劣的场景下仍然具有良好性能。

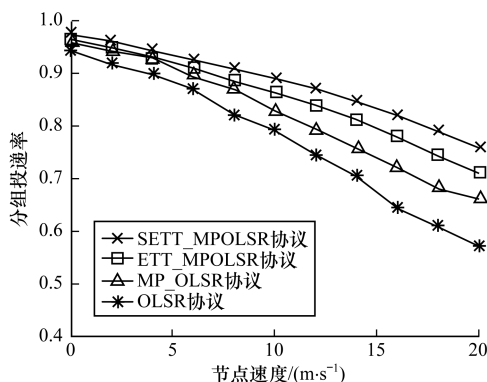


图7 改变参数后的分组投递率与节点速度关系曲线

4 结束语

多径 OLSR 协议没有考虑链路中的丢包、带宽等因素。为提高链路稳定性,本文提出基于差分期望传输时间的多径 OLSR 路由协议 SETT_MPOLSR。该协议将 ETT 作为路由度量,计算节点间链路的 ETX 值和带宽值后进行路由选择,同时,为避免路径上的链路 ETT 值相差较大影响整条链路的稳定性,引入优化因子 S 。实验结果表明,该路由协议具有较高的投递率和较低的时延,网络整体性能良好。今后考虑将速度引入到路由度量中,并在路由广播时缩小广播范围,以进行有方向目的性的广播并减小网络开销。

参考文献

- [1] 梅林,谢薇,钟雪霞,等. 浅谈应急通信自组织网络技术[C]//第一届中国指挥控制大会报告文集. 北京:国防工业出版社,2013:476-482.
- [2] 吴晓涛. 中国突发事件应急预案研究现状与展望[J]. 管理科学,2014,27(1):70-74.
- [3] 陈炼,任智,葛利嘉,等. 基于优化链路状态路由协议的自适应MPR集选择算法[J]. 计算机工程,2017,43(10):68-71,76.
- [4] 郝昱文,李晓雪,赵喆,等. 突发公共事件天地一体化应急通信技术综述[J]. 信息技术,2016(4):84-87.
- [5] 董萍. Ad Hoc 网络多径路由协议相关技术研究[D]. 南京:南京理工大学,2014.
- [6] MARINA M K, DAS S R. On-demand multipath distance vector routing in Ad Hoc networks [C]// Proceedings of International Conference on Network Protocols. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2001: 14-23.
- [7] LEE S J, GERLA M. Split multipath routing with maximally disjoint paths in Ad Hoc networks [C]// Proceedings of IEEE International Conference on Communications. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2001:3201-3205.
- [8] YI J, CIZERON E, HAMMA S, et al. Simulation and performance analysis of MP-OLSR for mobile Ad Hoc networks [C]//Proceedings of 2008 IEEE Wireless Communications and Networking Conference. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2008:2235-2240.
- [9] 徐瑞,李伟华,高萍. 移动 Ad hoc 网络多径路由协议[J]. 计算机应用研究,2008,25(2):591-593.
- [10] LE P H, PUJOLLE G. A link-disjoint interference-aware multi-path routing protocol for mobile Ad Hoc network[M]//CHERIFIH, ZAIN J M, ELQAWASMEH E. Digital information and communication technology and its applications. Berlin, Germany: Springer, 2011: 649-661.
- [11] LE P H, PUJOLLE G. A hybrid interference-aware multi-path routing protocol for mobile Ad Hoc network[M]//TURK A, CAMBAZOGLU B B, AYKANAT C, et al. Computer and information sciences II. Berlin, Germany: Springer, 2011.

(下转第104页)

于降低 gNB 与 UE 之间的数据传输误码率,最终有效提高系统中用户通信质量。

3 结束语

本文提出一种大规模 MIMO 技术与 SDN 链路资源集中式管理方法。通过 SDN 控制层的集中式管理方案获取网间干扰链路对信息,用网间干扰链路对组建干扰图并对干扰图进行着色、分配频谱资源,对相干扰链路分配相互正交的频谱资源,可以有效降低网间用户干扰。与简单的大规模 MIMO 频谱资源共享机制相比,采用 SDN 链路协调机制能解决大规模 MIMO 中波束不能合理分配频谱资源而导致的网间链路干扰问题,采用 SDN 与大规模 MIMO 相结合的方式,可以避免链路的同频干扰,提高链路平均信噪比,最终提升用户通信质量。

参考文献

- [1] 尤肖虎,潘志文,高西奇,等. 5G 移动通信发展趋势与若干关键技术[J]. 中国科学:信息科学,2014,44(5): 551-563.
- [2] FALLGREN M, TIMUS B. Scenarios, requirements and KPIs for 5G mobile and wireless system[EB/OL]. [2017-09-25]. <https://cordis.europa.eu/docs/projects/cnect/9/317669/080/deliverables/001-METISD11v1pdf.pdf>.
- [3] NEHA, GUPTA P. 5G radio access-research and vision[J]. Journal of Electronics and Communication Engineering,2017,12(3):96-103.
- [4] 李冬,杨亮,刘潺. 基于干扰温度的多用户 MIMO 频谱共享系统容量分析[J]. 移动通信,2014,38(2): 48-53.
- [5] 陈剑斌,朱磊,赵莺,等. 适用于频谱重叠共享 CRN 的分组调度算法[J]. 计算机工程,2012,38(3): 93-96.
- [6] CHIU S L, LIN C J, LIN G X, et al. Empowering device-to-device networks with cross-link interference management[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2017,16(4):950-963.
- [7] BOUIDA Z, GHAYEB A, QARAQ K A. Adaptive spatial modulation for spectrally-efficient MIMO systems[C]// Proceedings of IEEE International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communication. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2015:583-587.
- [8] WANG L, NGO H Q, ELKASHLAN M, et al. Massive MIMO in spectrum sharing networks: achievable rate and power efficiency[J]. IEEE Systems Journal, 2017, 11(1):20-31.
- [9] SRIDHAR V, GABILLARD T, MANIKAS A. Spatiotemporal-MIMO channel estimator and beamformer for 5G[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2016, 15(12): 8025-8038.
- [10] XIE H, WANG B, GAO F, et al. A full-space spectrum-sharing strategy for massive MIMO cognitive radio systems[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2016, 34(10):2537-2549.
- [11] 张雷,支小莉. 基于 SDN 多播的分布式共享内存研究[J]. 计算机工程,2018,44(8):48-53,60.
- [12] TSOLKAS D, LIOTOU E, PASSAS N, et al. A graph-coloring secondary resource allocation for D2D communications in LTE networks[C]//Proceedings of IEEE International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2012:56-60.
- [13] What is ns-3[EB/OL]. [2017-09-25]. <https://www.nsnam.org/overview/what-is-ns-3/>.
- [14] MEZZAVILLA M, DUTTA S, ZHANG M, et al. 5G mmWave module for the ns-3 network simulator[C]// Proceedings of ACM International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems. New York, USA: ACM Press, 2015: 283-290.
- [15] Adiscrete-event network simulator[EB/OL]. [2017-09-25]. <https://www.nsnam.org/docs/release/3.26/models/html/lte.html>.

编辑 吴云芳

(上接第 99 页)

- [12] ADONI K A, JOSHI R D. Multipath OLSR with energy optimization in mobile Ad hoc network(MANET)[M]// MEGHANATHAN N, CHAKI N, NAGAMALAI D. Advances in computer science and information technology. Berlin, Germany: Springer, 2012:552-561.
- [13] HUANG M, LIANG Q, XI J. A parallel disjointed multipath routing algorithm based on OLSR and energy in Ad Hoc networks[J]. Journal of Networks, 2012, 7(4): 613-620.
- [14] 王昊天. 基于 ETX 度量的无线多跳网络路由研究与优化[D]. 大连:大连理工大学, 2015.
- [15] DRAVES R, PADHYE J, ZILL B. Routing in multi-radio, multi-hop wireless mesh networks[C]//Proceedings of International Conference on Mobile Computing and Networking. New York, USA: ACM Press, 2004:114-128.
- [16] COUTO D S J D, AGUAYO D, BICKET J, et al. A high-throughput path metric for multi-hop wireless routing[C]//Proceedings of the 9th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. New York, USA: ACM Press, 2003: 134-146.
- [17] KESHAV S. A control-theoretic approach to flow control[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 1991, 25(1):3-15.

编辑 吴云芳