

# 无线移动自组织网路由协议性能研究<sup>\*</sup>

赵瑞琴<sup>1</sup> 杨君刚<sup>1,2</sup> 刘增基<sup>1</sup>

(西安电子科技大学综合业务网国家重点实验室 西安 710071)<sup>1</sup> (西安通信学院 西安 710106)<sup>2</sup>

**摘要** 路由是无线移动自组织网的关键技术之一。目前已经提出的 MANET 路由协议有很多种,因此如何针对一定应用场景选择一个最佳的路由协议,是人们十分关心的一个问题。该文对已经通过 IETF 认可的三种 MANET 路由协议: DSR、AODV 和 OLSR 进行了仿真对比分析。设计了大量的场景,通过对路由协议的分组传送率、端到端时延和所选路径长度等指标的比较,得出了在不同的网络环境下 MANET 最佳路由协议选择方案。仿真中发现同是采用按需的路由发现策略的 DSR 和 AODV 在高移动、高负荷的网络环境下的性能存在较大差异,对此原因进行了深入分析,并根据分析对 DSR 提出了改进方案。

**关键词** 无线移动,自组织网,路由,性能

## On Performance of Routing Schemes in Mobile Ad hoc Network

ZHAO Rui-Qin YANG Jun-Gang LIU Zeng-Ji

(State Key Laboratory of Integrated Services Networks, Xidian University, Xi'an 710071)<sup>1</sup> (Xi'an Communication Institute, Xi'an 710106)<sup>2</sup>

**Abstract** Mobile Ad hoc Network (MANET) is characterized by frequently changing network topology, multihop wireless connectivity and the need for efficient dynamic routing protocols. We compare the performance of three prominent routing protocols for mobile ad hoc networks including proactive and reactive routing schemes: Dynamic Source Routing (DSR), Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing (AODV) and OLSR (Optimized Link State Routing). A detailed simulation model is used to study their performance metrics: packet delivery ratio, end-to-end delay and route length. We demonstrate that even though DSR and AODV share similar on-demand behavior, the differences between the protocol mechanisms can lead to significant performance differences. The performance differences are analyzed using varying network load and mobility. From the detailed simulation results and analysis, a most appropriate choice of routing protocol can be made for given network context and goal. Based on the observations, we also make recommendations about how the performance of DSR can be improved.

**Keywords** Wireless, Mobile ad hoc network, Routing, Performance

## 1 引言

无线移动自组织网 (MANET, Mobile Ad hoc Networks)<sup>[1]</sup>特殊的分布式无线多跳自组织网络结构使得它具有与现有的其他网络不同的特点<sup>[2]</sup>,如 MANET 网络拓扑动态变化、存在单向信道、无线传输带宽很有限、无线移动终端受限等。这使得现有的有线和无线网络的路由协议都不适合在 MANET 中运行。为此,近十几年来,针对 MANET 路由的研究一直是一个研究的热点。IETF (Internet engineering task force) 专门成立了 MANET 工作组进行 MANET 路由的标准化工作。现已提出的 MANET 路由协议有许多种,如 FSR (Fisheye State Routing)<sup>[3]</sup>、DSR (Dynamic Source Routing)<sup>[4]</sup>、AODV (Ad Hoc On-demand Distance Vector Routing)<sup>[5]</sup>、OLSR (Optimized Link State Routing)<sup>[6]</sup>、OLIVE (On-Demand Link Vector Routing)<sup>[7]</sup>、AO2P (Ad Hoc On-Demand Position-Based Private Routing)<sup>[8]</sup>、SO-FSR (Stealth Optimized Fisheye State Routing)<sup>[9]</sup>、SBLR (self-stabilizing optimal local routing)<sup>[10]</sup>等。但是仅有部分协议被 IETF 的 MANET 工作组认可通过。本文针对已被 IETF 的 MANET

工作组认可通过<sup>[11]</sup>的三种 MANET 路由协议——DSR、AODV 以及 OLSR 进行深入研究和分析。分别对它们在各种不同的网络负荷、拓扑变化程度及结点移动性的网络环境下的性能进行对比分析,得出了不同网络环境下 MANET 最佳路由协议选择方案。

## 2 所研究的 MANET 路由协议原理介绍

### 2.1 DSR

DSR 路由协议是一种采用源路由策略的被动 MANET 路由协议。DSR 将获得的路由信息携带在数据分组的分组头中,收到数据分组的中间结点按分组携带的路由信息对该分组进行转发,中间结点不需为 active route 进行实时维护。在 DSR 路由协议中,当网络有数据发往一个目的结点而本地结点没有达到该目的结点的路由信息时,DSR 进行路由发现去寻找该目的结点的路由。之后通过路由维护机制实现对 active route 的维护。

当且仅当某一条路径在使用时,DSR 才会对其进行路由维护。路由维护要求网络监视该路径,当发生了一个无法修复的错误时,本地结点向源端发送错误报告分组。源端收到

<sup>\*</sup> 基金资助:国家自然科学基金重大研究计划面上项目(90104012);综合业务网国家重点实验室开放课题(ISN7-03)。赵瑞琴 博士研究生;杨君刚 博士研究生,讲师;刘增基 教授,博士生导师。

报告时就将出错的那一跳从路由快存中删除,以维持路由快存信息的正确性和实效性。

### 2.2 AODV

AODV 是一种被动的、基于距离矢量算法的 MANET 路由协议。它的显著特点就是为每一个路由表表项维持一个目的序列号,该序列号由目的结点产生并被包含在目的结点发往源触发结点的任何路由信息中,这样可以防止产生环路由。面对两条到达目的结点的路由,源触发结点会选择目的序列号大的那一条路径。AODV 路由发现过程与 DSR 类似。

路由维护阶段,active route 上的任何一个结点都要对其下一跳链路状态进行监视。当在该路由上有链路断开时,错误报告分组就发往其它结点告知该链路失效。每个结点通过维持一个前体结点列表(precursor list),将该故障信息通知到所有受影响的结点,进而可以有效地使网络各结点的路由表得到更新。

### 2.3 OLSR

OLSR 是基于链路状态算法的主动式表驱动路由协议。该协议继承了链路状态算法的优点,每个结点都可以获取全网拓扑信息,能够在需要建立路由时快速地提供所需路由信息。它是专门针对 MANET 特点,对传统链路状态算法进行改进而得来的。OLSR 通过 MPR(Multi Point Relay)机制来控制拓扑信息分组在网络中广播的规模,减少控制分组给网络带来的负荷,同时避免形成广播风暴。

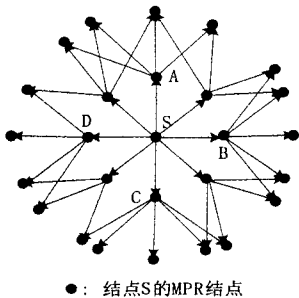


图 1 MPR 节点的选择

OLSR 协议中为了实时建立和维护网络路由信息,主要采用 hello 控制分组和拓扑信息控制分组(TC, Topology Control)两种控制分组。其中 hello 分组用于建立和维持一个结点的邻居列表,并从本地一跳邻结点中选择其 MPR 结点。选择的原理是,TC 分组经本结点的所有 MPR 结点转发后,能到达两跳范围内所有结点,见图 1。TC 分组是在全网中广播的,以将最新的拓扑变化信息快速到达全网每个结点。TC 分组的转发只能由 MPR 结点来完成,其它结点即使收到要广播的 TC 分组也只能对其进行相应处理但不转发。

## 3 仿真结果与性能分析

### 3.1 仿真参数设置

基于 NS-2<sup>[12]</sup> 仿真平台,在 NS-2.29 的环境下对三种典型的 MANET 路由协议进行了性能仿真。仿真中 MAC 层采用 IEEE802.11 的 DCF 协议,将基本速率设为 2Mb/s,单跳距离为 250m。网络由 50 个随机移动的结点组成的 MANET,网络结点散布在 670m×670m 的区域。所有结点的业务源均为 CBR 恒定比特流业务,业务流的产生速率为 8 packets/s,结点移动中停留时间(pause time)依据不同仿真场景分别不同。每次仿真持续时间为 500s。每个结点的最大

移动速度为 20m/s。

### 3.2 三种协议性能对比分析

仿真中采用的性能指标为:分组传送率、端到端时延以及路径长度。分组传送率是成功被接收的分组数与发送出去的分组总数之比;端到端时延是从应用层将分组发送出去到该分组正确到达接收端应用层所经历时间的平均值;路径长度为分组在发送过程中所选路由的平均跳数。

为了对 DSR、AODV、OLSR 路由协议性能进行对比,我们设计了大量的仿真场景比较这三种协议在不同业务负荷、不同结点移动性的条件下各自的性能。

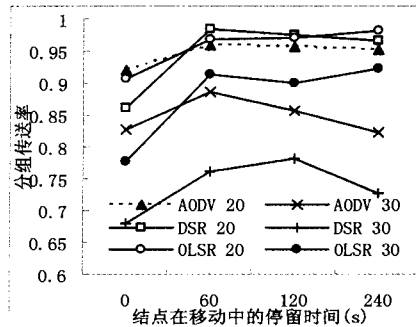


图 2 不同移动性和网络负荷下的分组传送率

从图 2 可以看出,对于分组传送率而言,AODV 是对各种不同网络环境适应性最强的,它在本文研究的各种场景中性能是最稳定的;而 DSR 却是对不同网络负荷与结点移动性最敏感的路由协议,在网络负荷与结点移动性均较大的场景下,DSR 性能是最差的(其分组传送率仅有 68%),仅在结点移动性适中、网络负荷不是很重时性能才会和 AODV 相当;OLSR 的分组传送率在业务负载很重但移动性适中的环境中是这三种协议中最高的;在移动性强的环境下,分组传送率会减小,但是在负荷重,移动性强的场合下性能也要优于 DSR。这是由 OLSR 的主动式发现策略所决定的,其采用 MPR 结点的机制使得 OLSR 在结点密集、负载重的环境中表现出众。然而在移动性很强的环境中,OLSR 性能不如 AODV 稳定。但是在移动性适中环境中,OLSR 协议的分组传送率在业务量不是很大时与被动路由协议 AODV 和 DSR 的性能接近,但当业务量很大的时候要比 AODV、DSR 这两个被动路由协议的分组传送率要大。

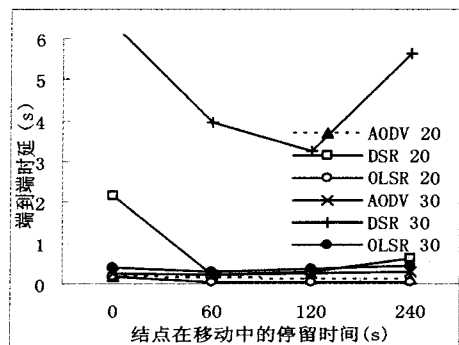


图 3 不同移动性和网络负荷下的时延

从图 3 中容易看出,在各种环境下,OLSR 与 AODV 的端到端时延都是最小的。还可以看出 OLSR 与 AODV 的端到端时延是比较稳定的,它不随网络负载和结点移动性的变化而波动,两者的端到端时延值不仅很小而且很接近。虽然

主动式 MANET 路由协议路由发现时延要比被动路由协议小,但是从端到端时延来看,主动路由协议并不一定比被动路由协议的性能改善多少。另外,从这两组图还可以看出,同样是被动式路由协议的 DSR 随结点移动性和网络负载的增加,端到端时延会急剧增加。这种变化趋势类似于图 2 中 DSR 随结点移动性和网络负载的增加,其分组传送率的快速减小。这也再次说明了 DSR 对网络业务负荷与结点移动性的敏感性。而且从图 4 中看出即使在移动性小的场景下,DSR 的端到端时延也要比 AODV 和 OLSR 大很多。DSR 仅在业务量很小的情况下,端到端时延与 AODV 比较接近。从端到端时延这个性能指标来看,本文研究的这三种典型 MANET 协议中,DSR 的性能最差,而同样是被动式路由协议的 AODV 的端到端时延性能就比较令人满意,它不随业务量和移动性的增加而波动,且与主动路由协议 OLSR 的端到端时延性能接近,在一些场景下甚至会优于 OLSR。

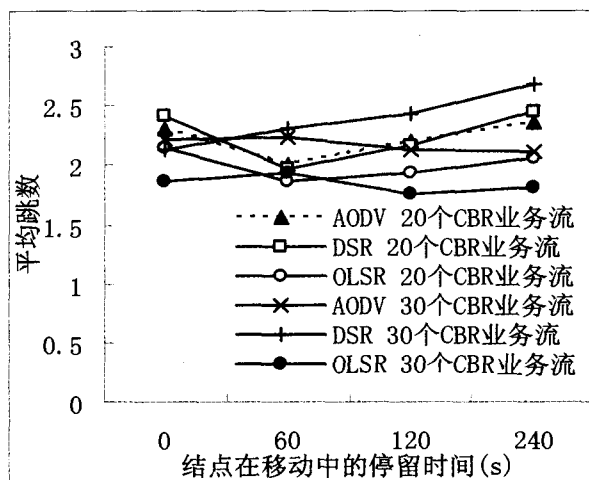


图 4 不同移动性和网络负荷下的路径长度

虽然 DSR、AODV 和 OLSR 这三种 MANET 路由协议均采用最短路径作为其路由选择标准,但从图 4 中可以看出在相同的场景和参数设置下,它们各自所选的路径的长度是不尽相同的,用三种路由协议所选用的路由平均跳数的最大差值为 0.5 跳。容易看出用 OLSR 协议所选的路径长度总是最短的,这是因为在选择路由时 OLSR 采用的路由算法就是依据本地获取的拓扑信息用最短路径算法计算出的到达目的结点的路径,所以用 OLSR 选择出的路由是最短路由。而 AODV 在路由选择时,选择最先到达目的 RREQ(route request)所经过的路径,这样选择的路径并不一定是跳数最小的路径。又由于 RREQ 在泛洪的过程中可能会遇到控制分组排队,因此这种选路方法并不是真正意义上的最短路径选择策略。DSR 选择其路由快存中存储的路由中的最短路由,但是由于 DSR 的路由快存存在过时路由信息在网络中污染传播的问题,最终选择的路径并不一定是真正最短路径,因此在同样的参数设置下用 OLSR 所选的路由是最短的。

### 3.3 综合讨论

综合上述三个指标的分析可以得出,首先 DSR 在高负荷、移动性强时性能很差。当移动性强、高负荷时,链路断开和丢包的概率很大,这将使得已建好的路径断开的概率很大。当 active route 断开时,DSR 要在其快存中已存的路径中选择一条作为新的 active route,只有当快存中的路径都不可达时,DSR 才会重新进行路由发现。表面上看,在移动性强时,DSR

的性能要优于没有备份路由的 AODV,但是这是忽略了链路断开和丢包的概率大的另一个方面的影响。链路断开的概率很大就会导致 DSR 的路由快存中的路由信息很快就成为过时的信息;而丢包率高会导致大量 DSR 控制分组的丢失,这也将加快快存内信息过时。这将使得在高负荷、高移动性的场景下 DSR 的“快速路由恢复”机制变成“慢速路由恢复”。因为在 active route 断开时,DSR 将快存中的备份路由作为新的 active route 进行数据传输,但是我们知道高负荷与高移动性已使得快存中的信息不可靠,这时使用不可靠或过时的路径作为 active route 只会增大时延并导致数据分组的丢失。等到快存中所有路径都试过之后,发现目的均不可达时,DSR 才会触发新的路由发现去寻找正确的路径,在此过程中使得端到端时延剧增。而在高负荷、高移动性这样的应用场景下,AODV 的性能比 DSR 要好得多,一方面是因为当 active route 断开时,AODV 因没有备份路由由直接接触新的路由发现进行路由恢复,端到端时延比 DSR 要小得多;另一方面,AODV 有及时删除过时信息的有效机制,并且在选择路由时能区分不同路由的新旧程度,其路由选择标准是最短最新路由,而不像 DSR 没有有效的区分新旧路由信息的机制。所以,在高负荷、高移动性的环境下,AODV 的性能要优于 DSR。

其次,在负载不是很重、移动性不是很强的场合,DSR 的性能接近于甚至优于 AODV。因为这种情况下,DSR 路由快存中的路由信息过时的概率较小,能充分发挥 DSR 的路由快存技术的优势,有效支持到目的的备份路径,实现正确的快速路由恢复,提高协议性能。而 AODV 由于不支持为一对源和目的结点之间建立多条路径,当前所用路由断开时无法像 DSR 协议那样可以使用备份路由快速建链,因此链路断开会引发另一次路由发现,这将会引入额外时延和消耗更多的带宽资源。

但总的来说,AODV 在各种不同场景中的性能都是比较稳定的。尤其是它的端到端时延不随业务量和结点移动强度的增加而增加,其端到端时延值很接近主动式路由协议 OLSR。其分组传送率的变化在这三种协议中也是比较稳定和令人比较满意的一个。总之,AODV 是一个能适应不同业务量和不同移动性的性能稳定的 MANET 被动式路由协议。

最后,OLSR 的分组传送率在业务量不是很大时与被动路由协议 AODV 和 DSR 的性能接近,但当业务量大的时候要比这两个被动路由协议性能好。这是由于 OLSR 协议的 MPR 策略以及持续地维持到全网所有结点的路由信息,使得其在大型的、结点密集的网络环境中具有绝对优势。而且在各种不同场景下 OLSR 的端到端时延都很小、选择的路由最短。该协议的不足就是在移动性强的场合性能不如 AODV。但是在高负载、结点密集,移动性适中的场合 OLSR 性能不仅优于一般的主动路由协议,而且也优于 AODV 和 DSR 两种被动 MANET 路由协议。也就是说,在移动性适中、结点密集、负载较重和网络连接数较多的情形下,不管是与主动协议还是被动协议相比较,OLSR 都是一个不错的选择。

由上面的分析得出 DSR 在高负荷、移动性强时性能很差,主要是由 DSR 快存中路由信息过时引起的。为此,我们可以通过加强对快存中路由信息的管理来保证快存内路由信息的可靠性。具体可以通过增加及时删除过时信息的有效机制,并且在选择路由时要区分不同路由信息的新旧程度,使 DSR 去选择最短最新的路由,而不是过时的会引起协议性能恶化的路由。

(下转第 62 页)

主机,通过 100M 以太网交换机互联哑铃模型下 CPU 执行时间如表 1 所示。哑铃模型变种的执行时间如表 2 所示。

表 1 哑铃模型仿真执行 2000s

TCP 连接	串行时间	并行时间	加速比
400	37.6	49.3	0.762677
1000	59.8	69.9	0.855508
1600	82.3	93.3	0.882101
2000	101.8	114.7	0.887533
2600	122	135	0.903704
3000	138.3	145.7	0.949211
3600	166	164.5	1.009119
4200	190	185.2	1.025918
5000	340	287.8	1.181376
6500	760	617	1.231767

表 2 哑铃模型变种仿真执行 100s

TCP 连接	串行时间	并行时间	加速比
40	53.8	70	0.768571
120	207.9	204.3	1.017621
200	401.3	371.8	1.079344
280	588.6	532.1	1.106183
360	786	700	1.122857
440	980	840.2	1.166389
520	1183	1008.8	1.172687
540	1235.2	1040	1.187692
900	2405.2	1893.3	1.270374

无论哪种模型,加速比都随着 TCP 连接数量的增加而增长。相同条件下,哑铃模型变种具有相对较好的加速比。由于哑铃模型是对称的,很自然地可以将哑铃的一端放在一台处理机上执行,另外一端放到另一台处理机上执行。哑铃模型中所有跨越路由器的数据流量,都对应着跨越 CPU 的事件调度和执行。哑铃模型中客户机和服务机分别位于哑铃的一端,哑铃变种模型中一部分服务机和客户机在哑铃的同一端,跨越 CPU 调度的事件数目减少。简而言之,变种模型的天生并行度较之哑铃模型要大,相同条件下较好的加速比在情理

(上接第 57 页)

**结束语** 在大量的仿真的基础上,对 DSR、AODV 以及 OLSR 三种典型 MANET 路由协议进行了深入分析和研究,并得到了一些有用的结论。在高负荷、高移动性、网络拓扑剧烈变化的网络环境下,AODV 协议的性能最好,但 DSR 性能却最差。这是因为快存中的路由信息快速过时,导致 DSR 的“快速路由恢复”机制变成“慢速路由恢复”,最终使其性能恶化。因此,DSR 可以通过加强对快存中路由信息的管理来保证快存内路由信息的可靠性,增加有效区分路由由快存中路由信息新旧程度的机制和及时删除过时路由信息,这样才能充分发挥其路由由快存的优势,进而改善 DSR 在高负荷、高移动性环境下的性能。在高负荷、结点移动性不是很强的应用环境下,OLSR 的性能是最好的。在网络业务负荷与结点移动性的变化范围比较宽的场所,也就是网络结点的移动性和业务量不固定的环境中,AODV 是最优的选择。在各种网络环境下,用 OLSR 选择的路由最短。

## 参考文献

1 Stefano B, Marco C, Silvia G, Ivan S. Mobile Ad Hoc Network

之中。值得指出的是,变种模型两端不对称,所以两台处理器上负载并不平衡,也直接影响了加速比。

**结束语** 仿真工具的缺乏、建模技术的不成熟和性能的不可预测性阻碍了 PDES 机制的广泛采用。作者在开发无线传感器网络仿真环境 SensorSSF 时,提供简洁的程序设计模式和相应的性能预测支持工具。实验结果表明, SensorSSF 具有良好的可扩展性,比 NS2 具有较好的执行时间。

进一步的工作主要是对 SensorSSF 用户接口的改善,加入对高层体系结构 HLA 的支持,将性能预测和建模结合起来,这需要对 UML 建模语言的语义进行拓展。

## 参考文献

- Liu J, Nicol D, Premore B, et al. Performance Prediction of a Parallel Simulator [C]. In: Thirteenth Workshop on Parallel and Distributed Simulation, 1999. 156~164
- Ferscha A, Johnson J, Turner S J. Early Performance Prediction of Parallel Simulation Protocols [C]. In: Proceedings of 1st World Congress on Systems Simulation, 1997. 282~287
- Chandy K M, Misra J. Distributed Simulation: A Case Study in Design and Verification of Distributed Programs [J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 1979, SE-5 (9): 440~452
- Jefferson D A. Virtual Time [J]. ACM Transactions on Programming Languages and Systems, 1985, 7(3): 404~425
- Bagrodia R, Meyer R, Takai, et al. Parsec: A Parallel Simulation Environment for Complex Systems [J]. Computer, 1998, 31(10): 77~85
- SSF Specification. <http://www.ssfnet.org>
- PDNS: Parallel/Distributed NS [EB/OL]. <http://www.cc.gatech.edu/computing/compass/pdns/index.html>
- Riley G F, Fujimoto R M. A Generic Framework for Parallelization of Network Simulations [C]. In: Proceedings of Seventh International Symposium on Modeling, 1999
- 李越,钱德沛.基于 NS 的分布式并行网络模拟器[J].电子学报,2004,32(2)
- Liu J, Nicol D. DaSSF manual 3.1
- 王焕招,赵青苹,陈寿,等.一个并行无线传感器网络模拟框架[J].微电子学与计算机,2005(10)
- Jain R. The art of computer systems performance analysis; techniques for experimental design, measurement, simulation, and modeling [M]. John Wiley & Sons Inc, 1994
- Overeinder B J, Sloot P M A. Parallel Performance Evaluation through Critical Path Analysis [J]. High-Performance Computing and Networking, 1995, 919(5): 634~639
- ing. USA: IEEE Press, 2004. 12~17
- IETF. RFC 2501: Mobile Ad hoc Networking (MANET)
- Mehran A, Tadeusz W, Eryk D. A review of routing protocols for mobile ad hoc networks. Elsevier B. V. Ad Hoc Networks, 2004(2): 1~22
- IETF. Internet-Drafts: The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR)
- IETF. RFC3561: Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing
- IETF. RFC3626: Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)
- Garcia-Luna-Aceves J, Roy S. On-demand loop-free routing with link vectors. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2005, 23(3): 533~546
- Wu Xiaoxin, Bhargava B. AO2P: ad hoc on-demand position-based private routing protocol. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2005, 4(4): 335~348
- Grilo A, Macedo M, Sebastiao P, Nunes M. Stealth optimized fisheye state routing in mobile ad-hoc networks using directional antennas. In: IEEE 61st Vehicular Technology Conference, 2005, 4: 2590~2596
- Bein D, Datta A, Villain V. Self-stabilizing optimal local routing in ad hoc networks. In: 25th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, 2005. 564~570
- <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>
- <http://www.isi.edu/nsnam/ns/index.html>