

# 自组网中节点分布对网络连通度的影响分析

周一鹿 钟 剑 刘林森  
(西南大学信息中心 重庆 400716)

**摘要** 本文通过对不同网络规模的自组网中节点分布密度与网络连通性关系的研究分析,为在自组网的网络规划中选择与网络规模相适合的满足网络连通性要求的网络覆盖范围,从而提高网络容量,提供一种有效的设计方法。  
**关键词** 自组网,网络连通度,节点分布

## Analysis of the Effect of Node Distribution on Network Connectivity in Ad-hoc Networks

ZHOU Yi-Lu ZHONGJian LIU Lin-Sen  
(Information Center of Southwest University, Chongqing 400716)

**Abstract** This paper analyzes the effect of node distribution on network connectivity in Ad hoc networks with various network sizes. The results help to design the appropriate network coverage meeting the very requirement of the network connectivity matching up to various network size, which providing an effective method to improve the capacity of ad hoc networks.

**Keywords** Ad hoc networks, Network connectivity, Node distribution

### 1 引言

自组网(Ad hoc networks)<sup>[1]</sup>是一种移动通信和计算机网络相结合的网络,可以在不能利用或不便利用现有网络基础设施的情况下提供一种通信支撑环境,拓宽了移动网络的应用场合,可以广泛应用于国防战备、灾难救助、偏远地区等无法得到有线网络支持或某些只是临时需要通信的环境,满足用户对移动数据通信的需求。当前,对自组网的研究已经非常深入,主要集中在各种协议的设计方面,对于将来网络工程应用时需要考虑的一些问题研究不多。本文针对网络实用化过程中网络中节点的分布或节点密度对于网络连通度的影响进行了一般性研究,主要考查节点的分布密度对于网络连通度(网络可达性)和端到端路由跳数的影响,为将来组网设计时进行网络节点配置提供理论上参考。其中,网络连通度反映网络覆盖能力问题,并将通过对网络资源使用效率的影响间接的影响网络整体容量性能;端到端路由跳数问题是一比较复杂的问题,将影响网络中路由的稳定性和能量有效性问题,两者需要权衡<sup>[2]</sup>。

### 网络的连通性分析

在无线信道中,信号强度随传播距离的增大而衰减,当节的信号强度随距离增大小于一定门限时,将不能被该距离下的其它节点正确接收,即只有在一定距离范围内的节点保持相互之间直接的正常通信。对于采用全向天线的节点在忽略环境影响的前提下,节点的通信范围是以最大通信为半径的一个圆形区域。如果两个节点不需要其他节点继而直接通信,则称两个节点为相互连通。与一个节点相通的节点数量称为该节点的连通度。两个节点相互连通指有一条可用无线链路,而节点的连通度体现了节点可用

无线链路的多少。自组网络中所有节点连通度的统计平均称为平均连通度,它体现了网络中无线链路的丰富程度。显然,无线链路的多少是决定自组网网络性能的一个重要参数。

本文中假设节点使用全向天线且通信半径相等,这样两个节点是否可以通信决定于节点是否在对方的通信范围内,即两者的距离是否小于最大通信距离。

### 2.1 影响连通度的因素

决定两个节点是否连通的条件是节点之间的距离,所以节点分布的疏密程度直接影响连通度的大小。为了便于分析,假设一定数量的节点在以通信距离为半径的圆形区域内随机均匀分布。影响节点疏密程度的因数主要有两方面:区域内的节点数量和分布区域的大小。衡量分布区域的大小的参数不是采用区域的真实尺寸,而是分布区域半径和节点通信距离的比例值。下面分别讨论两者对节点连通度的影响。

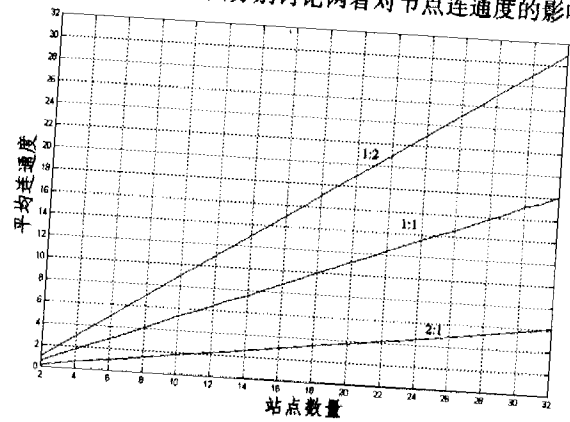


图1 在一定的分布区域中网络平均连通度与节点数量间的统计关系

在分布区域中的节点数量越多,单位面积内节点的稠密

周一鹿 副教授,博士,主要从事网络技术、网络管理和教育技术研究。钟 剑 讲师,博士,主要从事网络技术、网络应用研究。刘林森 助理

程度越高,一个节点落在另一个节点的通信范围内的可能性更大。在一定的分布区域中网络平均连通度与节点数量间的统计关系如图1所示。可见,在分布比例一定的前提下,网络平均连通度随节点数量增多而增大,两者间成正比关系。同时,平均连通度也受分布比例大小的影响。当分布区域半径与通信半径之比小于等于0.5时,无论如何分布所有节点都在其它节点的通信范围内,所有节点的连通度等于节点数量减1。当分布区域半径与通信半径之比大于0.5时,随分布区域的增大而减小最终趋近于0,且在0.5至2的区域内平均连通度曲线的斜率下降最为显著。

平均连通度是体现节点连通度的一个重要参数,但是应注意到一个节点少而紧凑的网络平均连通度也较小,一个有相同平均连通度大而松散的网络中可能有较多的孤立节点。需要对不同分布区域大小、不同节点数量下节点连通度的统计分布特性进行分析。

图2是在分布区域半径与通信半径之比为2:1时,网络中的节点数分别为8、16、32时网络中连通度的统计分布情况。由图2可见,节点连通度分布曲线类似于正态分布曲线。节点数为8的分布曲线显示网络中平均有约两个孤立节点(连通度为0),连通性很差;节点数为32时出现孤立节点的概率很小,节点连通度多在3至9之间,网络连通性很好。节点数为16时,出现孤立节点的概率较小,节点的连通度主要分布在1至5之间。

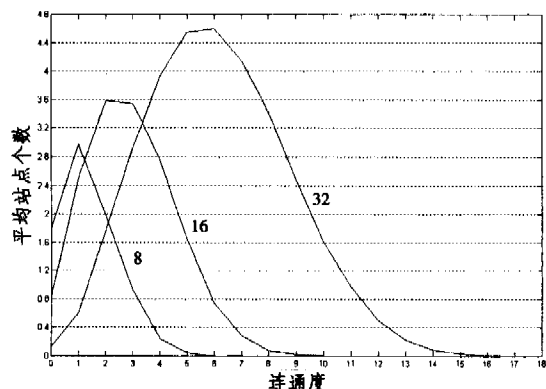


图2 分布比例为2:1时网络中的连通度分布情况

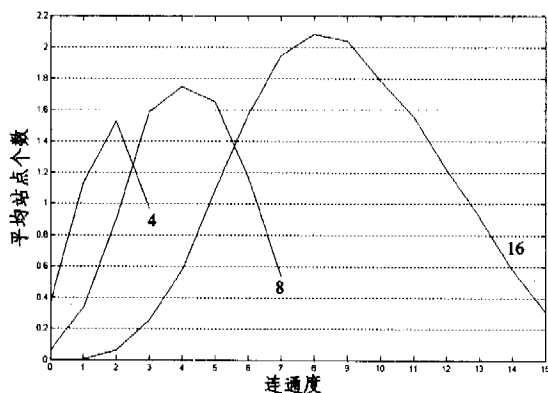


图3 分布比例为1:1时网络中的连通度分布情况

图3为分布区域缩小到1:1时节点数量分别是4、8、16的连通度分布情况。图中,1:1的网络比例时,网络中节点数量减少到4仍然有较好的连通性,节点大多有1到3的连通度。节点数为8时已经很少出现孤立节点,节点的连通度主要分布在3到6之间,网络的连通性很好。就16个节点而

言,1:1的网络比例时,节点的两通度较2:1的分布比例下更高,这是节点分布更加集中引起的。

上述从网络连通度和网络不可达度两个方面对不同分布比例和节点数量的无线网络的连通性进行分析的数据都表明,网络的连通性在节点数量的增加或网络分布比例缩小的情况下得到提高。对于给定了分布比例的网络,必须有足够的节点数量来保证网络的连通性。另一方面,节点密集分布在使连通度提高的同时也会加重无线信道竞争的激烈程度,过高的连通度也使得网络拓扑复杂化,即连通度不是越高越好,节点密度需要配置适当。

### 2.2 对网络不可达性的影响

无线网络中可能出现网络割裂的问题,因此,一个节点连通度不为零,甚至可能有较大的连通度,但是并不能保证它能与任意节点通信。而设计网络时总是希望能够保证所有节点、至少是尽可能多的节点之间可以通信,无论它们是直接相通或者经过其它节点的中继。讨论不可达性正是从另一个角度来分析网络的连通性。网络的不可达度与连通度紧密相关,网络中各节点之间的不可达度低要求网络中各节点有高的连通度,而孤立节点与其它节点都不可达。连通度受节点数量和分布范围的影响,不可达度也一样。

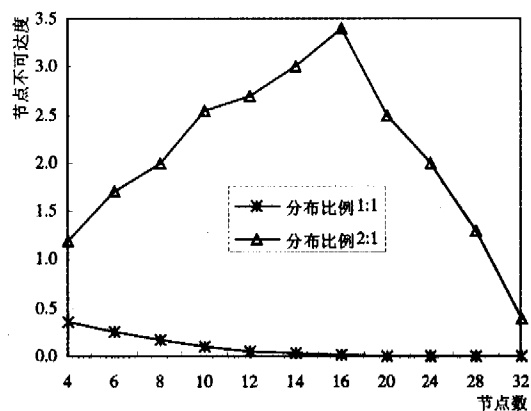


图4 不同分布比例时节点平均不可达度

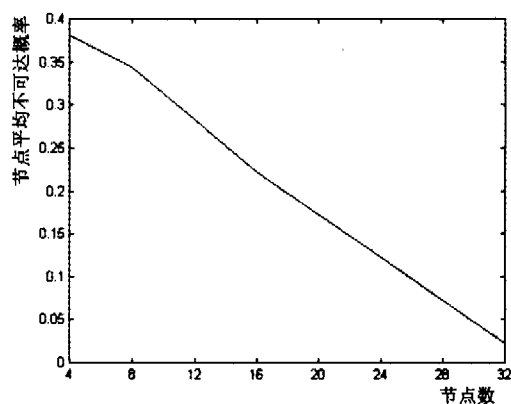


图5 分布比例为2:1时节点平均不可达概率

在分布比例小于1:2的情况下,由于网络中所有节点相互连通,所以不可达度一定为0。下面讨论分布比例为1:1和2:1时节点平均不可达度的统计结果,如图4所示。可见,在相同的节点数量情况下分布比例为1:1的网络中节点的平均不可达度明显低于比例为2:1的网络,前者的网络连通性好于后者。另外,比例为1:1的网络不可达度低,并且随节点数量增多而降低,说明节点数越多网络连通性越好。

但是,在 2:1 的网络中,节点数由 4 到 16 区域平均不可达度是上升的,是否表明连通性的下降?有必要引如另一个参数——平均不可达概率,即网络中任意一对节点之间不可达的平均概率。分布比例为 2:1 的网络节点数量在 4 到 32 之间取值的平均不可达概率如图 5 所示。可见,随着节点数量增加,任意节点对之间不可达的概率是下降的,所以网络连通性没有下降而是随节点数量增加而提高。

连通度从节点相邻关系的角度反映了网络的连通性,而不可达度从任意节点对的角度来衡量网络的连通性。对两者的统计分析都说明网络的分布比例、和网络中的节点数量决定网络的连通性。分布比例越大连通性越差,节点数量越多,则连通性越好。

### 3 网络的分布特性对网络跳数的影响

采用自组网方式的无线网络中各节点都工作在对等工作模式下,两个节点是否可以通信由节点之间的距离决定,两个节点相互连通可以看作两者间有一条直连链路,节点之间的连通关系是由节点的分布情况决定的,所以自组网的网络拓扑也是由节点的分布特性决定的。节点具有路由转发的能力,相互之间不能直接连通的节点需要其他节点做中继转发,因此网络中会出现多跳路由。两个节点之间的路由跳数由网络拓扑决定,所以也会受节点数量和分布比例的影响。网络中节点的分布区域半径与通信半径的比例对节点之间的连通关系有影响,自然也会影响到无线网络拓扑结构,进而影响到节点之间的路由跳数。由 2.1 节知道,在网络分布比例小于 0.5 时网络中所有节点都是相互连通的,所有节点间的路由都只有一跳。以下重点分析分布比例大于 0.5 时对路由跳数的影响。

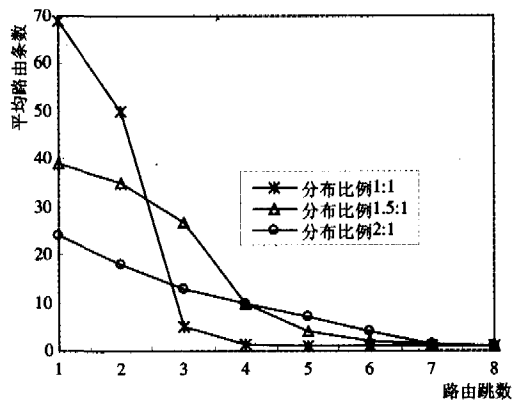


图6 网络中任意两个可达节点间的路由跳数

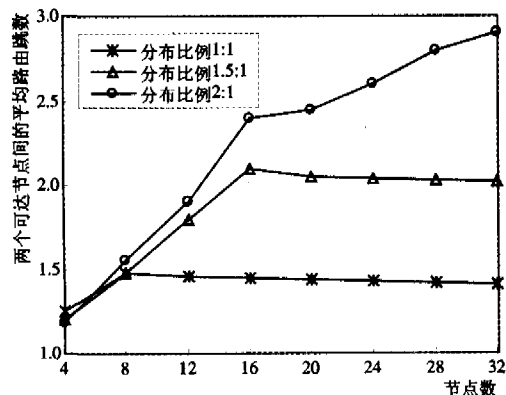


图7 网络中任意两个可达节点间的平均路由跳数

以 16 个节点的网络为例,对节点分布比例分别为 1:1、1.5:1、2:1 时网络中任意两个可达节点间路由跳数的统计结果如图 6 所示。可见,在比例为 1:1 的网络中,由于节点分布拥挤,网络连通度很高,每个节点都有较多的节点相邻,所以半数以上的节点间只有一跳,而且绝大多数无线链路小于三跳。随分布比例的扩大路由跳数分布情况向较高的跳数扩散,平均路由跳数也随之上升。三种分布比例下的平均路由跳数分别是 1.4506、2.1732、2.3843。同时应注意到在网络分布比例扩大到 2:1 时,各种跳数的平均路由条数的总和明显小于其他两种分布情况。这是网络连通性下降引起的,此时节点间的不可达度上升,造成网络中总的可达路由减少。

图 7 是不同节点数量在三种网络分布比例下平均路由跳数的统计结果。在节点数量小于 6 时分布比例小反而有较高的平均跳数,主要是因为节点少时分布范围小的网络有好的连通性和较多的可达路由。节点数多于 10 时分布范围大的网络有较长的链路,这是因为节点分散为更长的链路提供了可能。网络中节点稀疏时,平均路由跳数随节点数量增加而上升,因为节点增多使连通度提高,网络拓扑更复杂,更可能出现多跳路由。当节点密集到一定程度以后,节点增加平均路由跳数反而下降,这是因为网络最大路由半径受分布比例的限制不能无限度的增大,限制了多跳路由,而在稠密的网络中添加节点使单跳路由比例增加。可见,平均路由跳数分布的转折点是判定网络中节点过于稠密的一个重要标志。

**结束语** 本文对不同网络规模的自组网中节点分布密度与网络连通性的关系进行了研究分析,结果表明,自组网中节点数量和分布范围比例大小对节点之间的路由跳数有显著的影响,同时,路由跳数的统计分布特性也反映出网络中节点空间配置上的稠密程度。因此,在自组网节点的组网应用设计中,需要注意确定节点数量和分布比例的适宜关系。

### 参考文献

- 1 ElBatt T A, Krishnamurthy S V, Connors D, et al. Power Management for Throughput Enhancement in Wireless Ad hoc Networks. Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC), New Orleans, LA, June 2000. 1503~1513
- 2 Clausen T, Jacquet P, Viennot L. Comparative study of routing protocols for mobile ad hoc networks. In: Med-hoc-Net, Sept. Sardinia, 2002
- 3 Royer E M, Melliar-Smith P M, Moser L E. An analysis of the optimum node density for ad hoc mobile networks, Communications, ICC 2001. IEEE International Conference on, Volume: 3, 2001, 3: 857~861
- 4 Bettstetter C, Resta G, Santi P. The node distribution of the random waypoint mobility model for wireless ad hoc networks, Mobile Computing, IEEE Transactions on, 2003, 2(3): 257~269
- 5 李方军. 不同无线传播环境下移动自组网路由协议 DSR 的性能分析[J]. 计算技术与自动化, 2006(3): 70~72
- 6 魏晓海, 陈国良, 万颖瑜, 张信明. 移动自组网中的最长生命期路径[J]. 软件学报, 2006(3): 498~508
- 7 林志伟, 许力, 郭晓莲. 移动自组网中路由协议对 TCP 性能的影响[J]. 计算机工程, 2006(1): 124~126
- 8 侯睿, 孙军强, 丁攀峰, 等. OBS 多跳网络中分割丢弃不公平性解决方法的研究[J]. 计算机科学, 2006(1): 45~47
- 9 郑相全. 基于负载均衡的无线自组网关键技术与算法研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2005
- 10 郑相全, 等编著. 无线自组网技术实用教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004