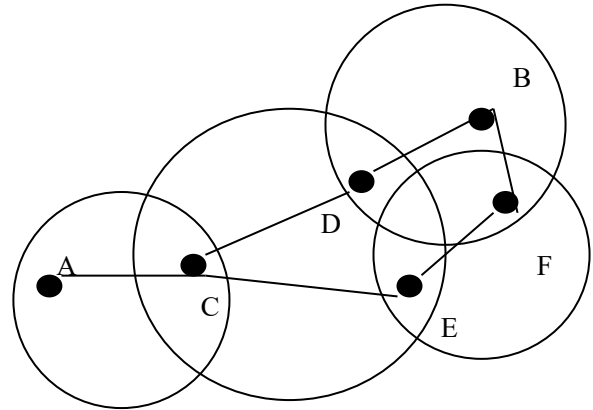


Ad Hoc 网络中的区域划分和资源分配问题

Ad Hoc 网络是当前网络和通信技术研究的热点之一，对于诸如军队和在野外作业的大型公司和集团来说，Ad Hoc 网络有着无需基站、无需特定交换和路由节点、随机组建、灵活接入、移动方便等特点，因而具有极大的吸引力。

在 Ad Hoc 网络中，节点之间的通信均通过无线传输来完成，由于发射功率以及信道（即频率）的限制，节点的覆盖范围有限，当它要与其覆盖范围之外的节点进行通信时，可以通过中间节点转发，如右图所示。



对于一个指定区域，用一系列称为一跳覆盖区的小区域将其有重叠地完全覆盖，对每个一跳覆盖区分配一个信道，处于几个一跳覆盖区重叠部分的节点同时使用几个信道工作。在同一个一跳覆盖区内的用户使用同一个信道相互通信；不同一跳覆盖区的用户之间通过中间节点转发。如图中，节点 A、B 间的通信可由路由 A-C-D-B 或 A-C-E-F-B 实现。如果区域中任意两个节点都能通信，则称之为连通。

现在，需要在一个 1000×1000 (面积单位) 的区域内构建一个 Ad Hoc 网络，请你完成以下工作：

(1) 将此正方形区域用若干个半径都是 100 的圆完全覆盖，要求相邻两个圆的公共面积不小于一个圆面积的 5%，最少需要多少个圆（如果一个圆只有部分在正方形区域中，也按一个计算）？若给每个圆分配一个信道，使得有公共部分的圆拥有不同的信道，最少需要几个信道？怎样分配（用示意图标出）？如果将上面的 5% 改为 18%，其它不变，结果又如何？对以上两种划分，若每个公共部分中心和相应圆心各恰有一个节点，讨论网络的抗毁性。（即从节点集合中随机地抽掉 2%、5%、10%、15% 等数量的节点后网络是否仍然连通）

(2) 设正方形区域中有一中心在 (550, 550)、长轴与正方形水平的一条边成 30 度角、长度为 410、短轴为 210 的椭圆形湖泊。节点仅能设置在地面上，假设一跳覆盖区圆的半径可以在 75~100 间随意选择，两个面积不等的圆相交，它们之间的公共面积应不小于大圆面积的 5%，其他假设同 (1)，研究使全部圆半径之和为最小的区域划分和信道分配方案。

(3) 由于节点是可以移动的，但运动速度较为缓慢，上面的固定的划分虽然不能保证 Ad Hoc 网络在实际使用中始终是连通的，但在一个较短的时间间隔内，网络的连通性可能并未变化。因此，实际中往往采用基于节点的划分方式。在某一时刻，将正方形区域内的节点（用户）分成若干个簇。以完全覆盖某一簇内所有节点、且半径不大于 100 的圆作为一个一跳覆盖区（由于圆心可以有一个活动范围，半径也可以变化，因此某一簇的一跳覆盖区不一定唯一）。在满足有转发任务的相邻一跳覆盖区的公共面积不小于较大一跳覆盖区面积的 5%、且正方形区域内所有节点连通的条件下，以附件 1 给出的数据作为静止（节点不移动）状态，针对正方形中无湖和有湖（有湖时认为湖中节点不存在）两种情况，研究使全部一跳覆盖区半径之和为最小的一跳覆盖区划分和信道分配方案。找出区域连通的充分、必要条件。类似于 (1)，讨论你们建立的 Ad Hoc 网络的抗毁性？

(4) 进一步假设数据文件中的前 10 个用户只作折线运动，每 30 个单位时间可能改变一次运动的方向和速度，运动的方向角、速度是分别服从在 $[0, 2\pi]$ 、 $[0, 2]$ 上均匀分布的随机变量，其他节点不移动。节点到达正方形区域边界后只可能向区域内运动。请考虑 400 单位时间后 Ad Hoc 网络的连通性。

(5) 由于网络节点的能量都是由电池提供的，因而对 Ad Hoc 网络，节能的要求就显得特别重要。对于一个节点而言，降低发射功率可以节省能量，但同时影响信号发射的距离（发射功率近似地与最大传输距离的三次方成正比）；另一方面，节点入网后，类似于手机，可处于发射、接收和备用三种状态，相应的能耗比约为 11:10:1。当需要多跳转发时随机选择一条通路进行。请以附件 1 给出的数据为初始状态，设想网络需要运行 1200 个时间单位（在此时间内假设节点不作移动），而且在节点 a,b

之间有通信时，必然是一收一发，不存在同时收发的问题；各项通信任务是随机产生的，在整个运行时间内，每个节点平均产生 25 次呼出（每次也仅呼叫网络中一个用户），两节点之间原始（不是转发）的平均通信次数大致与它们之间的距离的平方成反比（仅以初始状态计），每次通信持续时间服从指数分布，平均为 4 个单位时间。假设电池在覆盖半径为 100 发送状态下的工作总时间是 400 个时间单位，一旦电池用尽节点即退出网络。发射、接收和备用状态之间的转换时间以及为获取网络结构、路由等公共信息所花的时间和其他资源忽略不计。请按照（3）中给出的办法（无湖的情况），找到比较节能的区域分划方式，使出现第一个退出网络的节点的时间尽量长。通过对该网络的运行状况进行分析，提出你们对组网方式的改进意见。

（6） Ad Hoc 网络中还有一个重要的问题就是如何保证通信的质量。Ad Hoc 网络中通信实行先到先服务。如果当其他节点对某节点有通信要求时，该节点却处于忙状态，则会产生一次重发，所产生的时间差称为延时，将一次通信看成一个分组，粗略地认为重发 3 次（包括 3 次）或延时 30 个时间单位就可能丢包。显然信息丢包（包括网络不通）是严重影响网络通信质量的大问题，请对（5）中这方面的通信质量进行定量评价。

温馨提示：

本题是实际中的 Ad Hoc 网络的特定和简化情形，仅考虑其中适合数学建模且目前研究不多的部分，建议非通信或计算机专业的同学先花一点时间阅读一下本提示和附件 2 的简单介绍，这样你选做此题将不弱于通信或计算机专业甚至研究 Ad Hoc 网络的同学。进一步的内容可以在因特网或有关参考书上找到，但本题并不需要；你可以在本题提供的信息的基础上进行进一步的抽象和简化，在用题目所述之外的有关 Ad Hoc 网络的知识时，任何假设都将被认为是合理的。

一个 Ad Hoc 网络的寿命周期可以这样设想：

对需要组网所涉及的一块区域，进行区域分配，设定各一跳覆盖区（要保证任何一个一跳覆盖区内必须有部分用户同时隶属于其他一跳覆盖区，这样这些用户在实际应用时可以作为交换和路由节点，实现多跳转发的功能），分配各区所用信道号，当一个节点被多个一跳覆盖区覆盖时，可以有多个信道且可以同时工作。

由于参与组网的各终端都具有唯一的标识符，因而可以统计各用户的位置、移动速度等信息并给出任意两节点之间的路由（多个时可认为是随机选择），由于用户处于运动中，这些信息可以认为是随时更新的，所需要的实现方式、信道资源和能量资源不在本题讨论之内。

当节点 A 需要向节点 B 发送数据时，首先将数据做成数据包，同时写上目的节点 B 和路由信息（称为报头信息），在所在的一跳覆盖区内广播，节点接收到该广播的报头时，如果发现与自己无关就丢弃并不再继续接收，如果发现目标节点是自己，就接收下来交由主机进行处理，否则，就接收下来，再按网络当前的路由表更新该数据包的路由并在另一个一跳覆盖区内广播，如此重复，直到到达目的地。接收报头信息的时间和能量开销以及其他问题，本题不予考虑。

在同一个一跳覆盖区内，可以认为通信协议能够很好地（比如采用时分复用的方式）解决冲突问题，即其两两之间可以同时通信而互不影响，就像我们从百度下载音乐的同时可以在天空下载软件一样。（在做最后一问时，这一段的说明无效）

节点从一个一跳覆盖区进入另一个一跳覆盖区时，就自动设置自己的通信信道号为该一跳覆盖区信道号，同时调整自己的功率为该信道设定功率，如果发现自己被两个或多个一跳覆盖区覆盖，就同时使用多个信道，当需要与不同的一跳覆盖区中的节点通信时，可以认为它能自动选择与之相适应的功率。

节点电池用尽时，自动退出网络。

你不必考虑参考书上有但本题没有提到的任何问题。

附件 2 有关 Ad Hoc 网络的简单介绍

Ad Hoc 网络技术浅析

(2004-12-20 10:20) (郑丽娜 吴同强) (邮电设计技术)

0 前言

随着人们对摆脱有线网络束缚、随时随地可以进行自由通信的渴望,近几年来无线网络通信得到了迅速的发展。人们可以通过配有无线接口的便携计算机或个人数字助理来实现移动中的通信。目前的移动通信大多需要有线基础设施(如基站)的支持才能实现。为了能够在没有固定基站的地方进行通信,一种新的网络技术——Ad Hoc 网络技术应运而生。Ad Hoc 网络不需要有线基础设施的支持,通过移动主机自由的组网实现通信。Ad Hoc 网络的出现推进了人们实现在任意环境下的自由通信的进程,同时它也为军事通信、灾难救助和临时通信提供了有效的解决方案。

1 Ad Hoc 网络的概念

Ad Hoc 网络是一种没有有线基础设施支持的移动网络,网络中的节点均由移动主机构成。Ad Hoc 网络最初应用于军事领域,它的研究起源于战场环境下分组无线网数据通信项目,该项目由 DARPA 资助,其后,又在 1983 年和 1994 年进行了抗毁可适应网络 SURAN(Survivable Adaptive Network)和全球移动信息系统 GloMo(Global Information System)项目的研究。由于无线通信和终端技术的不断发展,Ad Hoc 网络在民用环境下也得到了发展,如需要在没有有线基础设施的地区进行临时通信时,可以很方便地通过搭建 Ad Hoc 网络实现。

在 Ad Hoc 网络中,当两个移动主机(如图 1 中的主机 A 和 B)在彼此的通信覆盖范围内时,它们可以直接通信。但是由于移动主机的通信覆盖范围有限,如果两个相距较远的主机(如图 1 中的主机 A 和 C)要进行通信,则需要通过它们之间的移动主机 B 的转发才能实现。因此在 Ad Hoc 网络中,主机同时还是路由器,担负着寻找路由和转发报文的工作。在 Ad Hoc 网络中,每个主机的通信范围有限,因此路由一般都由多跳组成,数据通过多个主机的转发才能到达目的地。故 Ad Hoc 网络也被称为多跳无线网络。其结构如图 2 所示。

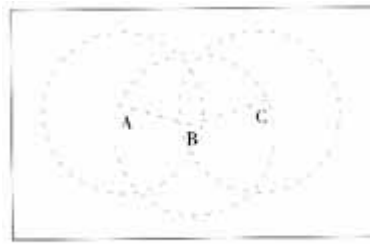


图 1 主机 A,C 通过 B 的转发进行通信

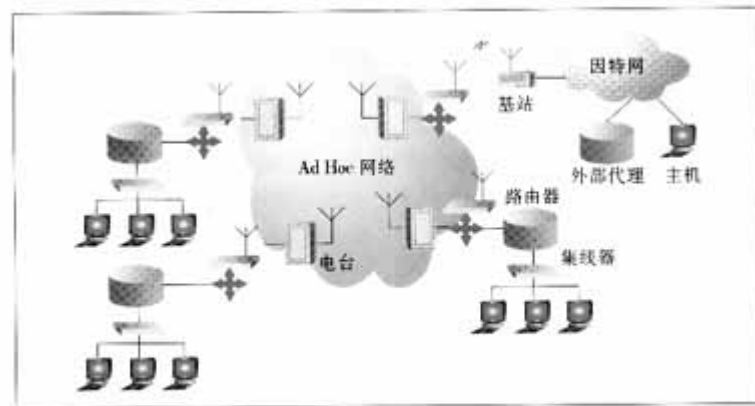


图 2 Ad Hoc 网络结构

Ad Hoc 网络可以看作是移动通信和计算机网络的交叉。在 Ad Hoc 网络中，使用计算机网络的分组交换机制，而不是电路交换机制。通信的主机一般是便携式计算机、个人数字助理(PDA)等移动终端设备。Ad Hoc 网络不同于目前因特网环境中的移动 IP 网络。在移动 IP 网络中，移动主机可以通过固定有线网络、无线链路和拨号线路等方式接入网络，而在 Ad Hoc 网络中只存在无线链路一种连接方式。在移动 IP 网络中，移动主机通过相邻的基站等有线设施的支持才能通信，在基站和基站(代理和代理)之间均为有线网络，仍然使用因特网的传统路由协议。而 Ad Hoc 网络没有这些设施的支持。此外，在移动 IP 网络中移动主机不具备路由功能，只是一个普通的通信终端。当移动主机从一个区移动到另一个区时并不改变网络拓扑结构，而 Ad Hoc 网络中移动主机的移动将会导致拓扑结构的改变。

2 Ad Hoc 网络的特点

Ad Hoc 网络作为一种新的组网方式，具有以下特点。

2.1 网络的独立性

Ad Hoc 网络相对常规通信网络而言，最大的区别就是可以在任何时刻、任何地点不需要硬件基础网络设施的支持，快速构建起一个移动通信网络。它的建立不依赖于现有的网络通信设施，具有一定的独立性。Ad Hoc 网络的这种特点很适合灾难救助、偏远地区通信等应用。

2.2 动态变化的网络拓扑结构

在 Ad Hoc 网络中，移动主机可以在网中随意移动。主机的移动会导致主机之间的链路增加或消失，主机之间的关系不断发生变化。在自组网中，主机可能同时还是路由器，因此，移动会使网络拓扑结构不断发生变化，而且变化的方式和速度都是不可预测的。对于常规网络而言，网络拓扑结构则相对较为稳定。

2.3 有限的无线通信带宽

在 Ad Hoc 网络中没有有线基础设施的支持，因此，主机之间的通信均通过无线传输来完成。由于无线信道本身的物理特性，它提供的网络带宽相对有线信道要低得多。除此以外，考虑到竞争共享无线信道产生的碰撞、信号衰减、噪音干扰等多种因素，移动终端可得到的实际带宽远远小于理论中的最大带宽值。

2.4 有限的主机能源

在 Ad Hoc 网络中，主机均是一些移动设备，如 PDA、便携计算机或掌上电脑。由于主机可能处在不停的移动状态下，主机的能源主要由电池提供，因此 Ad Hoc 网络有能源有限的特点。

2.5 网络的分布式特性

在 Ad Hoc 网络中没有中心控制节点，主机通过分布式协议互联。一旦网络的某个或某些节点发生故障，其余的节点仍然能够正常工作。

2.6 生存周期短

Ad Hoc 网络主要用于临时的通信需求，相对与有线网络，它的生存时间一般比较短。

2.7 有限的物理安全

移动网络通常比固定网络更容易受到物理安全攻击，易于遭受窃听、欺骗和拒绝服务等攻击。现有的链路安全技术有些已应用于无线网络中来减小安全攻击。不过 Ad Hoc 网络的分布式特性相对于集中式的网络具有一定的抗毁性。

3 Ad Hoc 网络的应用需求

Ad Hoc 网络的应用范围很广，总体来说，它可以用于以下场合：

- a)没有有线通信设施的地方，如没有建立硬件通信设施或有线通信设施遭受破坏。
- b)需要分布式特性的网络通信环境。
- c)现有有线通信设施不足，需要临时快速建立一个通信网络的环境。
- d) 作为生存性较强的后备网络。

Ad Hoc 网络技术的研究最初是为了满足军事应用的需要，军队通信系统需要具有抗毁性、自组性和机动性。在战争中，通信系统很容易受到敌方的攻击，因此，需要通信系统能够抵御一定程度的攻击。若采用集中式的通信系统，一旦通信中心受到破坏，将导致整个系统的瘫痪。分布式的系统可以保证部分通信节点或链路断开时，其余部分还能继续工作。在战争中，战场很难保证有可靠的有线通信设施，因此，通过通信节点自己组合，组成一个通信系统是非常有必要的。此外，机动性是部队战斗力的重要部分，这要求通信系统能够根据战事需求快速组建和拆除。

Ad Hoc 网络满足了军事通信系统的这些需求。Ad Hoc 网络采用分布式技术，没有中心控制节点的管理。当网络中某些节点或链路发生故障，其他节点还可以通过相关技术继续通信。Ad Hoc 网络由移动节点自己自由组合，不依赖于有线设备，因此，具有较强的自组性，很适合战场的恶劣通信环境。Ad Hoc 网络建立简单、具有很高的机动性。目前，一些发达国家为作战人员配备了尖端的个人通信系统，在恶劣的战场环境中，很难通过有线通信机制或移动 IP 机制来完成通信任务，但可以通过 Ad Hoc 网络来实现。因此，研究

Ad Hoc 网络对军队通信系统的发展具有重要的应用价值和长远意义。

近年来，**Ad Hoc** 网络的研究在民用和商业领域也受到了重视。在民用领域，**Ad Hoc** 网络可以用于灾难救助。在发生洪水、地震后，有线通信设施很可能因遭受破坏而无法正常工作，通过 **Ad Hoc** 网络可以快速地建立应急通信网络，保证救援工作的顺利进行，完成紧急通信需求任务。**Ad Hoc** 网络可以用于偏远或不发达地区通信。在这些地区，由于造价、地理环境等原因往往没有有线通信设施，**Ad Hoc** 网络可以解决这些环境中的通信问题。**Ad Hoc** 网络还可以用于临时的通信需求，如商务会议中需要参会人员之间互相通信交流，在现有的有线通信系统不能满足通信需求的情况下，可以通过 **Ad Hoc** 网络来完成通信任务。

Ad Hoc 网络在研究领域也很受关注，近几年的网络国际会议基本都有 **Ad Hoc** 网络专题，随着移动技术的不断发展和人们日益增长的自由通信需求，**Ad Hoc** 网络会受到更多的关注，得到更快速的发展和普及。

4 与其他移动通信系统的比较

4.1 蜂窝系统

蜂窝系统是覆盖范围最广的陆地公用移动通信系统。在蜂窝系统中，覆盖区域一般被划分为类似蜂窝的多个小区。每个小区内设置固定的基站，为用户提供接入和信息转发服务。移动用户之间以及移动用户和非移动用户之间的通信均需通过基站进行。基站则一般通过有线线路连接到主要由交换机构成的骨干交换网络。蜂窝系统是一种有连接网络，一旦一个信道被分配给某个用户，通常此信道可一直被此用户使用。蜂窝系统一般用于语音通信。

4.2 集群系统

集群系统与蜂窝系统类似，也是一种有连接的网络，一般属于专用网络，规模不大，主要为移动用户提供语音通信。

4.3 卫星通信系统

卫星通信系统的通信范围最广，可以为全球每个角落的用户提供通信服务。在此系统

中，卫星起着与基站类似的功能。卫星通信系统按卫星所处位置可分为静止轨道、中轨道和低轨道 3 种。卫星通信系统存在成本高、传输延时大、传输带宽有限等不足。

上述移动通信系统都需要有线网络通信基础设施的支持，如基站、交换机、卫星等。这些设施的建立和运转需要大量的人力和物力，因此成本比较高，同时建设的周期也长。**Ad Hoc** 网络不需要基站的支持，由主机自己组网，因此，网络建立的成本低，同时时间短，一般只要几秒钟或几分钟。上述通信系统中，移动终端之间并不直接通信，并且移动终端只具备收发功能，不具备转发功能。而 **Ad Hoc** 网络由移动主机构成，移动主机之间可以直接通信，而移动主机不仅收发数据，同时还转发数据。此外目前的移动通信系统主要为用户提供语音通信功能，通常采用电路交换，拓扑结构比较稳定。而 **Ad Hoc** 网络使用分组转发技术，主要为用户提供数据通信服务，拓扑结构易于变化。

5 移动 IP 和 Ad Hoc 网络的 结合

实现移动和全 IP 是当今网络发展的两大趋势。随着手机使用的日益广泛和人们对移动所能提供的信息要求越来越高，人们更加希望能随时随地接入互联网。

对于 **Ad Hoc** 网络，网络是随时生成而且具有易构性，不需要事先存在的网络来支持，因此，应用很广泛也很简单。但是这种网络有很强的独立性，它可以单独存在，它的特性和它所使用的主动的、按需驱动的路由协议都令它难以与互联网通信，达到交互信息的目的。为了达到 **Ad Hoc** 网络中的移动主机可以在不同的 **Ad Hoc** 网络间移动和随时接入互联网，我们利用移动 IP 协议可在不同网络中漫游的特性，结合移动 IP 和 **Ad Hoc** 网络，即 **MIPMANET**，提供一种将 **Ad Hoc** 网络使用按需驱动的路由机制，移动 IP 提供代理地址和反向隧道的 **Ad Hoc** 网络接入互联网的解决方案。图 3 为 **Ad Hoc** 网络接入互联网的模型。

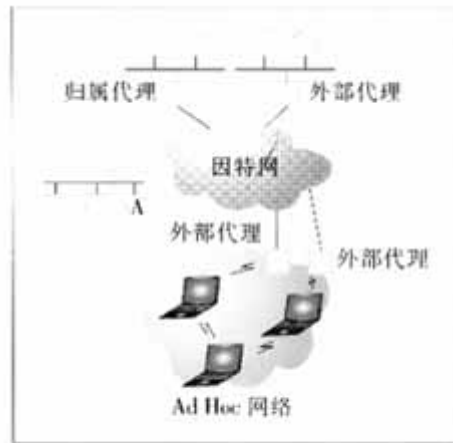


图3 Ad Hoc 网络接入互联网的模型

6 管理 Ad Hoc 网络面临的问题

Ad Hoc 网络的特性决定了管理上比有线网络复杂许多，因为网络拓扑的动态变化，要求网络管理也是动态自动配置。而且要考虑到移动节点本身的限制，例如能源有限、链路状态变化和有限的存储能力等，因此，要将管理协议给整个网络带来的负荷考虑在内。最后还要考虑到网络管理对不同环境的适用性等。

具体 Ad Hoc 网络管理需要解决的问题为以下几方面：

a) 网络管理协议的一个重要任务是使网管知道网络的拓扑结构。在有线网络中，由于网络变化不频繁，所以这点容易做到。但在移动网络中，节点的移动导致拓扑结构变化太频繁，网管需定期收集节点的连接信息，这无疑会加大网络的负荷。

b) 大多数节点使用电池供电，所以要保证网络管理的负荷限制在最小值以节省能源。要尽量减少收发和处理的节点数，但这是与需要拓扑结构的定期更新相矛盾的。

c) 能源的有限性和节点的移动性导致节点随时可能与网络分离，这要求网络管理协议能够及时觉察节点的离开和加入，而更新拓扑结构。

d) 无线环境下信号质量变化大。信号的衰退和拥塞都会使网管误认为节点已离开，因此，网管必须能够区分是由于节点移动还是由于链路质量的原因导致连接中断。网管必须

询问物理层，但这样会违反 OSI 的层次管理结构。

f) **Ad Hoc** 网络通常应用于军事，因此，要防止窃听、破坏和侵入。所以网管需要结合加密和认证过程。

由上可见 **Ad Hoc** 网络的网络管理是与传统网络不同的，要解决的问题包括如何有效地收集网络的拓扑信息，如何处理动态的网络配置和安全保密问题。

7 结论

Ad Hoc 网络是一种新颖的移动计算机网络的类型，它既可以作为一种独立的网络运行，也可以作为当前具有固定设施网络的一种补充形式。其自身的独特性，赋予其巨大的发展前景。在 **Ad Hoc** 网络的研究中还存在许多亟待解决的问题：设计具有节能策略、安全保障、组播功能和 **QoS** 支持等扩展特性的路由协议，以及 **Ad Hoc** 网络的网络管理等。今后将重点致力于 **Ad Hoc** 网络中网络监视、节点移动性管理、抗毁性管理和安全管理等方面的研究。