

无线有组织网络

刘行兵^{1,2} 郑雪峰¹

(北京科技大学计算机与通信工程学院 北京 100083)¹

(河南师范大学计算机与信息技术学院 新乡 453007)²

摘要 无线有组织网络是网络节点间有内在关系的无基础设施的无线网络,其除具有无基础设施无线网络的特征外,网络有中心节点,且节点位置关系相对固定。这种特殊的网络应用于野外救援、军事活动等临时性通信。首先回顾了对讲机系统、无线分组网络和无线自组织网络等无基础设施无线网络的结构和特点,它们都不能包涵无线有组织网络特征。详细定义了无线有组织网的相关模型,分析了无线有组织网络的特点和研究重点。

关键词 无基础设施无线网络,无线自组织网络,无线分组网,无线有组织网络

中图分类号 TP393 **文献标识码** A

Wireless Organization Network

LIU Xing-bing^{1,2} ZHENG Xue-feng¹

(School of Computer and Communication Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)¹

(College of Computer and Information Technology, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China)²

Abstract The wireless organization network is the nature of the relation between the network nodes of the infrastructureless wireless network. Besides having characteristics of the infrastructureless wireless networks, the network has center node, and the position of between nodes are relatively fixed. This special network application temporary communications in the field rescue and military activities. The first reviews structure and characteristics of the intercom system, packet radio networks, mobile ad hoc networks, they don't include the wireless organization networks characteristics. Defined the wireless organization networks related model, analyzed the characteristics and the key of the wireless organization network.

Keywords Infrastructureless wireless networks, Wireless Ad-hoc networks, Packet radio networks, Wireless organization networks

1 引言

无基础设施无线网络具有移动性、易部署、多跳传输和自组织等特点,广泛应用于军事通信、抢险救灾等紧急救助以及其它临时组建网络的场合^[1]。文献[2-5]把无线自组织网的无中心性、节点相对平等特点作为它的固有特性。节点间平等且互无关系,这与网络所对应实体组织不相符。更进一步,其对网络进行分层管理,执行分群算法,可导致群首和群成员不断变化,以上应用在具体实体组织中几乎不存在。以一个救灾现场为例,有一搜救分队和医疗分队,各有一个队长和若干队员组成,队员只接受相应队长的安排。在这个场景中,网络由两群组组成,每个群组都有中心节点,群组节点数量固定,节点属于某一个群组固定不变。群组在通常情况不执行分群算法。不存在这个群组中某个节点离另外一群组的群首近,而成为另外一个群成员。群组节点存在固有关系,表现在网络相对静止时,所有节点相对位置固定,传输信息路径固

定。在网络运动时,非中心节点的运动特性,如速度、加速度、运动方向等受限于中心节点。这里把这种网络节点间存在固有关系的无基础设施的无线网络称之为无线有组织网络(Wireless Organization Networks, WON)。由于无线有组织网节点间的关系与具体实体关系相对应,对其研究更贴近军事通信、救灾等临时组建的网络场景。

本文第1节从无基础设施无线网络背景出发,无论是军队,还是救援分队,成员间都有严密的组织关系。他们所构成的临时性网络节点间对应也存在一定关系,在此基础上提出了无线有组织网的概念;第2节回顾了现有无基础设施无线网的结构及特点,它们都不能包括无线有组织网的特征;第3节详细定义无线有组织网模型,分析了WON的研究特点。

2 相关研究

无基础设施无线网络经历了对讲系统、无线分组网和无线Ad-hoc网络。其应用背景也经历了先军用后民用的过程。

本文受国家自然科学基金重点项目(60932003),北京市重点学科建设项目(XK100080537),北京市重点学科建设项目-计算机系统结构,河南省基础与前沿技术研究计划项目(102300410011)资助。

刘行兵(1973-),男,博士生,主要研究方向为无线网络、信息集成, E-mail: shanhe18@126.com; 郑雪峰(1951-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为网络安全。

2.1 对讲机系统

无线电对讲机是最早被人类使用的无线移动通信设备,早在20世纪30年代就开始得到应用。经过多年的发展,已从专业化领域走向普通消费,从军用扩展到民用。通信特点是:即时沟通、一呼百应、经济实用、运营成本低、不耗费通话费用、节约使用方便,同时还具有组呼通播、系统呼叫、机密呼叫等功能。在处理紧急突发事件时,在进行调度指挥中其作用是其它通信工具所不能替代的。现在数字对讲机虽已得到广泛应用,但为了扩大通信覆盖范围,必须增大发射功率,这不利于提高通信设备的便携性;另一方面,为扩大无线覆盖范围使得频率的空分复用率降低,从而系统容量和可用通信带宽降低。

2.2 无线分组网

无线分组网(Packet Radio Network, PRNET)项目的研究最早始于1972年美国国防高级研究计划局(Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA)^[7]。PRNET积累的经验对无基础设施无线网络发展和应用产生了深远影响。网络主要特点有:1)采用自组织网络协议,定期更新拓扑及网络状态信息;2)可传输数据、分组话音、图像等多种信息,并能同时完成综合服务、定位、定时和敌我识别功能;3)信道传输速率高,支持100k/400kbps两种链路速率;4)节点采用先入先出(FIFO)公平排队管理;5)网络采用跳、分布式控制;6)网络中每个节点包含一个收发信机及数字控制单元,以完成网络控制能力,并与本地计算机相连。

无线分组网作为移动自组织网的前身,由于军事应用背景,网络特点在移动自组织网络研究中没有提及和公开,如节点互有关系。

2.3 移动自组织网络

由于网络技术高速发展和通信设备的普及,推动了无线网络在民用和商用方面的需求和发展。成立于1991年5月的IEEE802.11标准委员会采用了“Ad-hoc网络”一词来描述移动无基础设施多跳通信网络,无线Ad-hoc网络从此诞生。随后,军用和民用无基础设施多跳通信网络研究形成热潮,使得移动无基础设施多跳通信网络也有了很大发展。1997年互联网工程任务组(Internet Engineering Task Force, IETF)成立了移动Ad-hoc网络MANET(Mobile Ad-hoc Networks)工作组。专门负责研究和开发具有数百个节点移动Ad-hoc网络的路由算法,并制定相应的标准,其主要目标就是针对无线Ad-hoc多跳网络开发一种基于互联网协议的路由机制,使得互联网协议扩展到这种自组织的、快速移动的无线网络。1999年1月IETF RFC2501详细给出了移动Ad-hoc网络Mobile Ad-hoc Network(MANET)的应用场合、特征和性能要求。无线Ad-hoc网络与有线网络相比具有以下特点:1)移动性。移动性是无线Ad-hoc网络的一个基本特征。移动性一方面提高了网络的机动性、灵活性,另一方面使得网络的体系结构、网络协议等变得更为复杂。2)无中心。每个节点即可作为终端,也可作为路由器,所有节点地位平等,一起构成一个对等式网络,因此网络具有很强的抗毁性。3)无线通信。因为没有固定基础设施,且具有移动性,节点之间的通信只能依靠无线方式。4)多跳路由。由于节点发射功率的限制,通信双方往往不在通信范围之内,需要其它节点进行中转。5)自组织性。由于不存在中心控制节点,节点只能以自组织的形式构成网络。6)能量受限。节点依靠电池供电,在传输、接收、处理分组、侦听时都会消耗电能。7)带宽受

限。无线通信信道具有低容量、高误码率影响。

根据无线Ad-hoc网应用将其分为移动Ad-hoc网(Mobile Ad-hoc Networks, MANET),无线传感器网(Wireless Sensor Networks, WSN)和无线网状网(Wireless Mesh Networks, WMN)^[6]。

从上述相关研究来看,对讲机系统网络结构简单;无线分组网多应用军事通信,研究成果公开不多;移动自组织网络更多强调了网络无中心和节点平等的特点。都与无线有组织网络有中心、节点间存在关系特征有很大差别,这些差异将导致无线有组织网的网络模型、网络结构、网络部署、网络保障技术、节点移动技术等与它们有明显差别。

3 无线有组织网络

无线有组织网是网络节点间存在一定的组织关系的多跳无基础设施无线网。其除具有无基础设施无线网络一些特点外,如移动性、自组织、带宽受限、能量受限等特点,还具有自身的特点,如网络有逻辑中心且节点地位不平等,中心节点能够自主移动,非中心节点移动受中心节点控制等。

3.1 网络结构及相关模型定义

WON网络结构可分为多层结构和单层结构,单层结构看作是多层结构的最小的单元群组。

WON网络多层结构如图1所示,该图为两层结构,低层有3个单元群组组成,分别是A、B、C。黑实矩形是群组的中心节点,黑实圆形为该群组的非中心节点。中心节点是群首。每个群节点数固定,不会因一个群节点离另一个群的中心节点更近而变成另一个群的成员,一般情况不执行分群算法。只有群组的中心节点参与下一级群组构建,在下一级群组中,原来的中心节点在新的群组变成了非中心节点。

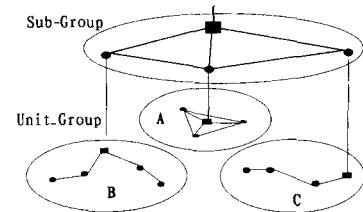


图1 WON网络结构图

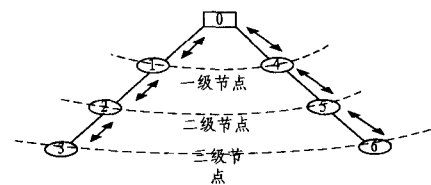


图2 WON单元群组结构图

WON的单元群组是WON网最小群组单元,如营救分队、战斗班等。WON单元群组结构如图2所示,该群组由7个节点组成。0号节点是群中心节点,1-6号节点为非中心节点。又根据距离中心节点远近把非中心节点分为一级节点、二级节点、…。节点1、4属于一级节点,节点2、5属于二级节点,节点3、6属于三级节点。中心节点硬件、能量和处理能力比非中心节点要强。中心节点除完成接收和发送信息外,均衡节点能量进行合理的节点部署计算等。中心节点移动属自控节点。非中心节点移动受控于中心节点。所有节点具有转发数据包路由功能。在正常情况下,每个节点所处位置由中心节点提前部署,节点相对位置不能随意更换。群组

间信息交换必须通过中心节点。

网络模型:多层结构的 WON 网可看作多个单元群组组成,为简单起见,本文仅讨论 WON 的单元群。这里把中心节点称为 C 节点,非中心节点称为 S 节点。

WON 网络可以用图 $G(V, E)$ 表示, $V = C \cup S$, 其中 $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ 为单元群组的中心节点, 对应有 n 个群组。 $S = \{S_1^1, S_2^1, \dots, S_m^1\} \cup \{S_1^2, S_2^2, \dots, S_o^2\} \cup \dots \cup \{S_1^n, S_2^n, \dots, S_p^n\}$ 为非中心节点集合。 m, o, p 分别为单元群组 C_1, C_2, \dots, C_n 对应非中心节点的个数。 E 为节点间的链路和转发节点间链路集合。

网络价值模型:这里用 M_i, M_0 表示中心节点和非中心节点的价值。可以用以下公式来表示:

$$M_i = \alpha_i + \beta E_i \quad (1)$$

式中, α_i 是 i 类节点除电池能量外的硬件值的常量, β 是电池能量的价值常量。由式(1)可得出网络总价值公式。

$$M = n\alpha_0 + (m+o+\dots+p)\alpha_1 + \beta[nE_0 + (m+o+\dots+p)E_1] \quad (2)$$

网络生存期约束模型:这里假设距离 r 是节点通信有效半径, 距离 C 节点为 r 距离的 S 节点为一级节点。其它节点的数据到中心节点都经过关键节点进行转发, 因此网络中的所有 S 节点(一级节点)承担最多数据转发任务, 它们消耗的能量多于其它 S 节点。当一级节点能量耗尽, 导致连接断开或网络分裂等。另外, 中心节点 C 有较高能量负担, 一是与上一级网络联接, 需较远的通信传输范围, 消耗能量大; 二是要汇聚和发送所有 S 节点的信息; 三是对网络节点部署进行计算需消耗能量。由以上分析可以得出, 一级节点和中心节点的生存决定了网络生存期。设法使网络所有节点能量同时耗尽很难, 期望中心节点 S 和一级节点的能量同时耗尽。

这里假设 P_0 是中心节点每次处理数据包所消耗的平均能量, P_1 是关键节点每次处理数据包所消耗的平均能量。 C 节点总能量为 E_0 , S 节点总能量为 E_1 。满足以下公式:

$$\frac{E_0}{P_0} = \frac{E_1}{P_1} \geq T \quad (3)$$

式中, T 是网络生存期数据最小处理数。

3.2 无线有组织网络特点

无线有组织网络是由带有无线收发装置的有一定关系的节点组成的一个多跳的临时性自治系统。除具有无基础设施无线网络移动性、多路传输、自组织、能量受限等特点外, 还具有以下特点:

1) 网络有固定中心节点

WON 网有固定中心节点, 这是与 MANET 最大的区别。中心节点是通常说的群首, 有较强计算处理能力和较强的能量, 规划和部署网络, 能够将数据传送到较远的高级节点或转发站, 甚至到低轨道卫星。只有中心节点失效时, 才在群组内执行相关规则并产生新的中心节点。中心节点是群组移动主控节点。

2) 网络是分级结构

网络结构对应真实实体结构。最小的单元群组由中心节点和非中心节点组成, 该级的中心节点参与次级群组构建。网络不执行分群算法。

3) 网络执行部署算法

由于无线自组织网络非中心节点之间, 非中心节点与中心节点存在一定的关系, 在特定场景节点之间距离、方向等固定。如图 2 所示, 节点 2 处在节点 1 和节点 3 之间, 且节点 2 到节点 1 和节点 3 的距离和方向也固定。这与 MANET 有

重要区别。WON 部署将是重要研究内容。

WON 网络的部署方式极大地影响了网络的拓扑结构、连通性、覆盖质量和网络生存期等性能。由于无线通信链路具有不稳定性、时变性和较高的误码率, 使得每个链路的数据成功的发送率都不能达到百分之百, 而路径的数据成功转发率则是组成路径的各个链路数据成功发送率累积后的结果。在多跳无线网络中, MANET 多不涉及网络部署问题。WSN 存在网络部署问题, 与 WON 比较, WON 节点移动性更强, 且必须考虑节点内在关系。

4) 网络执行新的重构算法

WON 网络具有独立组网能力, 网络的布设无需依赖任何预先架设的网络设施。中心节点根据任务和地形动态构建任意拓扑临时性网络。由于能量、无线信道间的相互干扰、地形因素等的影响, 造成节点也可能随时加入或退出网络, 而且变化的方式和速度也都难以预测, 导致信道形成的网络拓扑结构随时都会发生变化。网络重构时既要保证网络的有效性, 也要考虑网络节点间的固有关系。需在中心节点统一部署下进行重构。

5) 网络仿真模型

移动无线网络的系统设计及性能评价时, 通常采用模型来模拟节点的移动特征。选择的群组移动模型应当反映网络群体节点的真实特性, 包括节点的移动特性和群体的行为特性。即使在一些现实场景不可知或不可模拟的情况下, 也要选择最为接近的移动模型。由于 WON 网有别于现有无线网络群组, 因此, 需要设计出更合适它的模型来进行网络仿真^[8]。

6) 特殊的网络保障技术

由于 WON 结构的特殊性, 在网络完成基本通信功能的基础上, 还需要研究 WON 网络的拓扑控制、网络管理、节能、网络安全等各种保障技术。

结束语 无线有组织网络节点存在固有关系, 节点地位不平等。研究这种特殊的网络形式在军事通信、救灾现场等场景中的应用更具有针对性。研究内容包括: 网络模型定义、网络部署、网络重构、网络仿真模型及路由、管理、安全等网络保障技术。

参考文献

- [1] Li Xiang-yang. Wireless Ad-hoc and Sensor Networks: Theory and Applications [J]. Cambridge University Press, ISBN-13: 9780521865234, Pub., 2008(6):4
- [2] Stefano B, Marco C, Silvia G, et al. Mobile Ad-hoc Networking [J]. USA: IEEE Press. 2004: 9-17
- [3] IETF[S]. RFC 2501, Mobile Ad hoc Networking(MANET)
- [4] Goldsmith A J. Design Challenges for Energy-Constrained Ad-hoc Wireless Networks [J]. IEEE Wireless Communications, 2002, 9(4): 8-27
- [5] 沈中. 无线 Ad-hoc 网络拓扑管理研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2005
- [6] http://en.wikipedia.org/wiki/Ad-hoc_network
- [7] Shacham N, Westcott J. Future directions in packet radio architectures and protocols [J]. IEEE Commun., 1987(175): 83-99
- [8] 刘行兵, 郑雪峰, 等. 无线有组织网群组移动模型 [J]. 计算机科学, 2010: 78-80
- [9] The networks simulator ns-2 [OL]. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>