

战术分组无线网分群与群管理

王景¹, 刘明², 曹剑²

(1. 解放军理工大学, 南京 210016; 2. 通信指挥学院, 武汉 430010)

摘要:在分组无线电网中,网络规模的增大和节点数目的增多会引起网络性能的下降,在这种情况下要对节点进行分群。文中对分组无线电的分群算法进行了分析,并提出一种适用于战术分组无线电的分群算法和群管理的方法。

关键词:战术分组无线网;分群;群管理

中图分类号:TP391.54 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2001)06-0070-04

由于分组无线网通常采用共享无线信道的方式工作,过多的节点竞争数量有限的无线信道,发生碰撞的概率会增加,因此为了减少共享相同通信信道的节点数目、降低碰撞的概率、提高信道的利用率和网络的吞吐量,提出了分群的概念。

分群是指特定范围内的无线节点,通过共享相同的无线信道组成子网的过程。每个子网称为一个群。在一般情况下,每个子网确定一个群首、一个或多个节点作为网关,用来实现每个群内的节点与群首或群内其它节点通信以及实现本群与其它群的通信。群首负责协调和管理群内各节点合理地工作,一般没有专用的硬件,本身也可以是一个移动节点,并且可以在若干节点中动态选择。各群之间的业务传输由网关节点(即分属于多个群或可以与多个群的节点通信的节点)中继完成,网关节点可以按照规则,在几个群所使用的逻辑信道间切换。

分群算法的目的就是按照某种规则,通过初始化,获得相互连通、覆盖所有节点的群结构,并且在网络结构发生变化时生成新的群结构,确保网络的正常通信。分群算法是在拓扑侦听的基础上完成分群形成、分群链接,它的基本过程包括拓扑探测、分群形成、链路激活,此后在拓扑结构变化和 network 受损时,还要进行不断的重组过程。好的分群算法是当一些节点移动和拓扑缓慢变化时不改变原群的构造,否则,群首就不能有效地控制本群工作。

按照群首和网关产生的机制可以分为确定性分群和竞争性分群;按照分群过程中节点之间的通信机制可以分为有中心分群和无中心分群。Wenli Chen, Nitin Jain^[1]提出的 Geographical Clustering 算法就是一个有中心分群算法,每个节点接收 GPS 的定位信号,节点按照空间的位置和分布的密度完成分群和群维护算法。高频特混编队内通信网络 HF-ITF 采用的链路分群算法(LCA)^[2]是一种典型的无中心分群算法。

1 战术分组无线网的分群

1.1 战术网的组织特点

战术分组无线电网(以下简称战术网)是采用军用数字化短波、超短波无线电台构成的无线数据通信网络。节点之间利用分组交换技术,共享低速、多跳的无线信道。在一个通信覆盖域中,随着网络规模的增大和节点数目的增多,同样存在如何分群的问题。在这种情况下采用分群方法,可以减少共享相同信道的节点的数目,从而降低碰撞概率,同时也扩大了网络的覆盖范围。

战术网的组织有一个显著的特点,就是具有层次性,每个高层编制单位包含一定数量的低层单位,各个编制之间基本不互相重叠,即低层单位对高层单位只有单一的附属关系,呈现树状结构。由于编制本身是一

种层次性的结构,因此每个节点能够按照事先规划,确定自己的标识号 and 使用的逻辑信道;在战术网中,各个节点可以定时广播自组织分组(SOP, Self Organization Packet)。SOP 用于报告本节点的状态,以及它所接收到的相邻节点信息和其它节点的信息。根据战术网的特点,我们提出了基于编制的最大连通度算法,用来实现战术网的分群以及群管理。

1.2 基本概念

通过交换网络的 SOP,每个节点都可以得到一个连接矩阵 $A = [a_{ij}]$, $a_{ij} \in \{0, 1\}$, $(i, j = 1, 2, 3, \dots, N)$ 。其中:

$$a(i, j) = \begin{cases} 0, & \text{当第 } i \text{ 个节点与第 } j \text{ 个节点不连接;} \\ 1, & \text{当第 } i \text{ 个节点与第 } j \text{ 个节点连接。} \end{cases}$$

当 $i = j$ 时, $a_{ij} = 1$ ($i = 1, 2, 3, \dots, N$)。A 反映了网络的拓扑结构。

对于任意一个节点 i , 节点的连通度 $DN(i)$ 定义为:

$$DN(i) = \left(\sum_{j=1}^N a_{ij} \right)$$

如果,第 k 个节点的连通度 $DN(k)$ 满足:

$$DN(k) = \max_{i \in V} [DN(i)]$$

则称该节点具有最大连通度。

1.3 基于编制的最大连通度算法

分群算法是在拓扑探测的基础上完成分群形成和分群链接的工作,分为三个基本过程:拓扑探测、群的形成、群的链接。

1.3.1 拓扑探测

拓扑探测指各节点通过收发自组织分组(SOP)的探测过程获得相邻节点以及整个网络的拓扑连通情况。当节点一开机工作,它就立即发送 SOP 表明它的存在,同时注意监听信道,通过接收相邻节点发送的 SOP 来更新相应的数据表,这样当它再次发送 SOP 时, SOP 中就包括了它所有相邻节点的全部情况。显然,当它发现某一相邻节点发来的 SOP 中包含有本节点的信息时,那么它就知道它与这个相邻节点的链路是双向连通的。由此可以得出,若网络中的所有节点都发出一轮 SOP 之后,那么各节点都可以知道它的相邻节点是哪些。若是所有节点再发出一轮 SOP 后,由于一个节点的所有相邻节点会把各相邻节点的所有相邻节点信息告诉这个节点,这个节点会进一步得知距它两跳节点的情况。经过三轮 SOP 的交换,各节点就知道了距它两跳节点的相邻节点的情况,即距它三跳的所有节点有哪些。

1.3.2 群的形成

群的形成主要指各群中群首节点的选择过程,按以下四个步骤进行:

- 1) 选择本节点与相邻节点中具有最大连通度的节点作为群首。
- 2) 再找出距本节点两跳内剩余节点(即不是已立为群首的节点及其相邻节点)中具有最大连通度的节点,并与其相邻节点的具有最大连通度节点相比较,两者之中具有最大连通度者为群首。
- 3) 重复第二步,使得所得到的群包含了距本节点两跳以内的所有节点。
- 4) 查看是否有冗余的群首(即某个群首及其相邻节点都包含于其它几个相邻群首的群之中)出现,若有的话,取消其群首的资格。

1.3.3 群的链接

群的链接主要是各个群内网关节点的指派过程。网关的选择是根据编制的情况确定的,每个节点按照规划好的逻辑信道的分配方案同其它群的节点联系,如果联系可以沟通,该节点就在下一次发送 SOP 分组时把自己设定为网关节点。

2 战术分组无线网的群管理

群的管理实际包括两个方面内容:群内部节点的管理和群本身的管理。节点的管理包括节点失效、节点移动、节点回归等三种可能的情况。群本身的管理包括群的消失、群的分裂、群的合并等三种可能的情况。

2.1 群内节点的管理

2.1.1 节点消失

在战术网中,节点的消失是指在规定的时间内,某个节点的 SOP 分组不能被群内其它节点收到。

节点的消失可能存在以下几个原因:

- 1) 节点进入静默状态;
- 2) 电台失效或者通信链路失效;
- 3) 节点退网;
- 4) 节点位置移动。

SOP 分组的存在,使得子网可以在时限 T_1 内能够得到相邻节点消失的消息,并更改自己的路由表和相邻节点表。

需要特别指出的是,如果消失的节点是群首,则群内剩余其它节点要根据群首产生的算法,产生新的群首。

2.1.2 节点移动

节点的移动可以分为两类:确知性移动和随机性移动。无论是确知性还是随机性移动对于移动节点都有一个脱离原来的群,选择一个新群加入的过程,只不过控制的机理不同。确知性移动是节点主动在一个群退网,然后在另一个群入网。由于节点在移动前已经知道目的群使用的逻辑信道,因此确知性移动的管理比较简单;随机性移动的管理则相对复杂,节点要首先判断自己已经脱离原来的群,然后在几个规定的逻辑信道上扫描、监听,然后有条件地选择一个群加入。当确知性移动的节点维护一个定时 T_k 后仍然无法入网,则像随机性移动节点一样开始在规定的逻辑信道上扫描、监听,尝试入网,然后根据其它群内节点的情况发送 SOP 分组。

战术网的一个重要特点是节点有很强的机动性,节点的移动常常引起网络拓扑结构的变化,进而带来群内部各个节点路由表的变化。因此,当某个节点的相邻节点表在定时器 T_k 规定的时限内一直为空,则该节点可以判定自己已经脱离原来的群,并将自己设置为游离节点。游离节点可以根据频率规划方案,在预制的频率点上驻留 t_s 。如果在 t_s 内可以收到其它节点发送的 SOP 分组,则在这个频率上发送入网请求;如果在 t_s 内不能收到其它节点发送的 SOP 分组,或者入网不成功,则继续保持游离状态,并转换驻留的频率。

该节点原来所在的群,也可以根据相邻节点表的变化判断该节点已经在本群内消失,具体见上一节。

2.1.3 节点回归

移动中的节点可能会由于拓扑结构的再次变化,回到按编制归属的群。在这种情况下,对于节点可以有两种管理方法:新节点入网或者节点回归。两种管理方法的区别是:如果允许节点的回归,则节点的状态要增加一个状态,用来区分节点处于编制归属群还是其它的群;在 SOP 分组中也要增加对编制归属群的标记。

采用新节点入网的管理方法,实现起来比较简单,因此可以考虑在战术网中使用这种控制办法。

2.2 群本身的管理

2.2.1 群的消亡

当一个群中大多数节点已经消失,这时对于该群而言,群间通信已经成为群通信的主要业务。而在群内通信中,为了维持这个群进行通信而产生的开销相对较大。这时通信的效率比较低,应该考虑让这个群消失。群的消失可以采用集中式和分布式两种管理方式。如果采用集中式管理方式,则由群首节点判断群消亡条件是否满足,如果已经满足则发送群消亡分组,接收到该分组的节点首先发送群消亡分组,然后将自己设置为游离状态。如果采用分布式管理方式,可以把路由表中的节点数目作为群消亡的条件,当节点数目小于一个阈值,每个节点都发送群消亡分组,并自己设置为游离状态。

战术网可以采用分布式管理方法,当某个节点发现路由表内剩余的节点低于一个阈值 N_{\min} ,则发送退网分组,并把自己设置为游离状态。如果该节点是群首则还要把自己设置成普通节点。

2.2.2 群的合并

群内通信成为群通信主要的业务时,链路的利用率比较高。同时,因为群间节点的通信至少经过一个网关节点的中继,与群内节点间的通信比较效率比较低。因此只要合并后群内包含的节点数没有超过阈值 N_{\max} ,应该提供一个机制让两个规模较小的群合并成一个规模较大的群。群的合并可以分为两步:首先,特定群的消亡,该群的节点把自己设置为游离状态;然后,游离的节点在目的群使用的逻辑信道上发送入网分组,随后的操作同确知性移动节点相同。

合并的前提条件是两个群覆盖的区域大部分是重叠的,如何判断两个群是否满足合并条件是一个关键问题。因为可能合并的群必须是相邻的群,在战术网中,如果一个网关节点在相邻的群驻留时限内,除了收

到群首发送的分组之外还可以收到至少 N_{mer} 个普通节点发送的分组,则该网关立即利用该信道向这个群的群首发送合并请求分组,该分组要携带网关所属群内节点的数目 N_1 。群首收到请求分组后,把本群的节点数目 N_2 和 N_1 比较。如果 $N_2 < N_1$,且 $N_2 + N_1 < M$ (其中 M 指的是战术分组无线网所建立的节点数),则向网关发送确认应答,然后开始群的合并;否则向网关发送拒绝分组,该分组携带群内节点的数目 N_2 ,网关再向所属群的群首发送合并请求分组,该分组要携带节点数目 N_2 。网关所属群首收到请求分组后,如果 $N_2 + N_1 < M$ 则向网关发送确认应答,然后开始群的合并;否则发送拒绝分组,本次合并尝试失败。算法中加入节点数目的比较,是为了使节点数目较少的群向节点数目多的群合并,减少全网拓扑结构变化程度。

2.2.3 群的分裂

群的分裂表现为,一个群的一部分节点作为一个整体移出该群。群的分裂产生的结果有三种:

- 1) 两个完整的群;
- 2) 一个完整的群和一个将要消失的群;
- 3) 两个将要消失的群。

第一种情况是指一个群分裂后产生的两个群,一个群的群首不变,另外一些节点根据群首产生算法产生一个新群首;第二种情况是指分裂出去的一部分节点数目小于阈值 N_{min} ,则这些节点把自己设置成游离状态,尝试加入邻近群;第三种情况是指一个群分裂后,两部分节点数目均小于阈值 N_{min} ,因而全部节点把自己设置成游离状态,尝试加入邻近群。

3 结束语

本文首先对现有分组无线电的分群算法、群管理方法进行分析,然后结合相关项目提出一种适用于战术网的分群和群管理的方法。该方法具有较强的灵活性,使战术分组无线电网这种分层分布式网络结构更有效地工作;同时,该方法也具有一定的稳定性,当某一群首被毁时,算法保证了不需要重组整个网络。

参考文献:

- [1] Wenli Chen, Nitin Jain. ANMP, Ad Hoc Network Management Protocol [J]. IEEE Journal on Select Area in communication, 1999, 17(8): 1506 - 1531.
- [2] Baker D J, Ephremides A. The architectural organization of mobile radio network via a distributed algorithm. [J]. IEEE T - COM - 29, 1981, 29(11): 1694 - 1710.
- [3] Ephremides A, wiesethier J E, Baker D J. A design concept for reliable mobile radio networks with frequency hopping signaling. Proc. [J]. IEEE, Jan. 1987, 75(1): 56 - 73.

Clustering and Cluster Management of Tactical Packet Radio Network

WANG Jing¹, LIU Ming², CAO Jian²

(1. PLA University of Science and Technology, Nanjing, 210016, China; 2. Communication Commanding Institute, Wuhan 430010, China)

Abstract: In packet radio network, the performance descends along with the expanding of network scale and nodes quantity. In this case, the nodes need to be clustered. This paper is concerned with clustering algorithm of packet radio network. An algorithm is proposed, which can be used in tactical situation. Cluster management is also explored in this paper.

Key words: tactical packet radio network; clustering; cluster management