

文章编号: 1000-6893(2004)03-0272-05

非确定- 确定混合分群算法及其实现

张 军, 聂姝慧, 刘 锋

(北京航空航天大学 电子信息工程学院, 北京 100083)

Uncertainty γ Certainly Mixed Cluster Algorithm and Realization

ZHANG Jun, NIE Shu γ hui, LIU Feng

(School of Electronics & Information Engineering, Beijing University of
Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

摘 要: 在最小群变化(Least Cluster Changed, LCC)分群算法的基础上提出一种非确定- 确定混合(Uncertainty γ Certainly Mixed, UC γ CM)分群算法。该算法利用非确定性分群的竞争特性,提高了网络的初始收敛速度,并保持了LCC算法的稳定性,同时利用优先级参数,提高了组网的灵活性。设计了UC γ CM算法的有限状态机模型,并基于模型对算法进行了模拟仿真,验证了算法的有效性。

关键词: 分群算法; 分组无线网; 网关; 有限状态机

中图分类号: V243 **文献标识码:** A

Abstract: A cluster algorithm, Uncertainty γ Certainly Mixed(UC γ CM)Algorithm, is proposed on the base of the LCC algorithm. In the UC γ CM algorithm, the initial convergence rate of the network is improved by the use of the competitive character of uncertainty clustering and the stability of LCC is retained. The flexibility of the network is guaranteed with the parameter of priority. A finite state machine model of the UC γ CM algorithm is designed, and simulation results show the effectiveness of the algorithm.

Key words: clustering algorithm; packet radio network; gateway; finite state machine

在大型军用动态分组无线网络中,尤其是军事航空通信网,由于军机的高动态、大机动、机群间多机协同等特点,对网络的可扩展性、抗毁性等提出了更高的要求。采用基于分群控制的网络结构,可以适应网络的拓扑快速变化,并且能够高效利用网络资源。通过分群,将有利于信息传输的管理、主干链路的形成以及实现快速路由。

在网络中动态产生群首和网关的算法称为分群算法。分群算法的目的是获得相互连通、覆盖所有节点的群。好的分群算法的特点是当网络拓扑变化时基本不改变原群的构造^[1],即保持较好的稳定性。

分群算法按照群首产生的机制可以分为非确定性分群和确定性分群^[2]。对于一定的拓扑结构,根据分群算法,确定性分群可以唯一确定分群后的网络结构,非确定性分群则不能唯一确定分群后的网络结构。但由于非确定分群中存在的竞争因素,使得非确定分群算法的网络初始收敛特性在多数情况下会优于确定性分群算法。在现有

的经典分群算法中,最小ID算法^[3]规定将ID最小的节点选为群首;最大连通度算法^[4]规定将邻接节点数目最多的节点选为群首;LCC算法^[5]以最小ID算法为基础对于群首变化进行了限制。以上提到的算法都属于确定性分群算法,其中LCC算法具有较好的稳定性,但与最小ID算法一样,收敛速度都较慢。本文在LCC算法的基础上提出了非确定- 确定混合(UC γ CM: Uncertainty γ Certainly Mixed)分群算法,在初始化分群和重新分群时,采用一种非确定性分群方法来提高网络初始收敛速度,并且引入/ 优先级0参数来尽可能提高实际组网的灵活性,同时保持了LCC分群算法的稳定性。

1 链路分群结构

动态拓扑结构的网络可以分为4种类型:集中式、分层集中式、完全分布式、分层分布式^[6]。链路分群结构是从分层分布式结构演变而来的,由彼此链接的节点群组成(如图1)。群中节点分为3种类型:群首,网关以及成员(普通节点)。各个节点的类型由分布式算法确定。每个节点都有一个群首,与其他有相同群首的节点同属于一个

收稿日期: 2003-10-19; 修订日期: 2003-09-20

基金项目: 航空科学基金(02F51070),高等学校优秀青年教师
奖励计划,国防预研项目

群。在多个群首通信范围内的节点称为网关。群首通过网关覆盖整个网络。

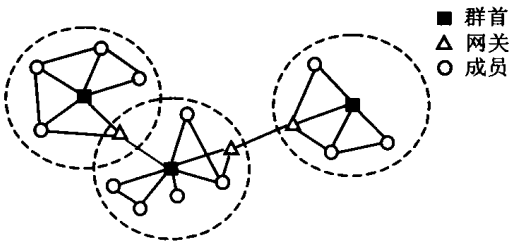


图1 链路分群结构

Fig 1 Linked cluster structure

与文献[6]类似,UC2CM分群算法的链路分群结构的形成包括3个过程:拓扑探测,分群形成和分群链接。

2 UC2CM分群算法及分析

在LCC分群算法中,以最小ID算法或者最大连通度算法做为群初始化和重新分群的基础。同时为了提高网络的稳定性,LCC算法规定只在2种情况下会改变群首的状态,2个群首相遇超过一定时间后可能会改变群首的状态;1个节点脱离所有群时会成为群首^[5]。

在UC2CM分群算法中,在群初始化和重新分群时,采用与LCC算法不同的一种非确定性分群方法来提高网络的初始收敛速度,在群首相遇时保留了LCC算法中提高网络稳定性的规则。

在实际机群间组网中,飞机的性能或者飞行员的飞行和指挥经验都存在差异,更希望由性能优良的飞机或者由经验丰富的飞行员驾驶的飞机担任群首或者网关。但是对于每架飞机而言,ID都是固定并且唯一的,如果仅利用ID来进行确定性的分群,不利于实现上述想法,所以在算法中引入了优先级的概念,从而更易于实现灵活的分群组网。

2.1.1 UC2CM分群算法

在群初始化时,所有节点最初所处的状态都为/初始状态0。

(1)各节点从/初始0状态开始,周期发送信息包,同时启动一个随机初始计时器(计时时间为 t_{ini})。随机初始计时器规定计时器在一个固定的最长时间 t_{max} 内随机取值,目的是为了在初始分群时减少各节点在发包和处理上的冲突。节点根据各自收到的信息包得到相邻节点的信息。

(2)随机初始计时器超时后,本节点根据收到

的其他节点信息中的节点优先级和节点状态,综合判断本节点应该进入的状态,判断规则优先考虑节点信息中的节点状态。可以把各种情况概括为以下3种: ' 超时之前收到了群首的信息,则超时后不考虑各节点的优先级,本节点转变为成员状态; ° 超时之前收到的节点信息都是非群首节点信息,并且所有节点的优先级都不大于本节点的优先级,或者超时之前没有收到任何其他节点的信息,在这两种条件下本节点都转为群首状态; » 最复杂的一种情况是超时之前收到的节点信息都是非群首节点信息,但其中存在优先级高于本节点的其他节点,那么本节点在初始随机计时器超时后会重新启动一个附加计时器,计时时间为 $t_{max} - t_{ini}$ 。如果附加计时器超时后,高优先级的节点状态仍为非群首状态,则本节点成为群首。

(3)节点如果能够同时接收到多个群首的信息包,则节点状态变为网关。

(4)当一个非群首节点从群i进入群j范围内时,对群j的结构没有影响,只是该节点变为群j的一个普通成员节点^[5]。

(5)当2个群的群首(优先级分别为 P_m, P_n)处在彼此通信范围内时,如果 $P_m = P_n$,则在ID较大的节点一方启动群首相遇计时器,如果 $P_m > P_n$,则在优先级较低的节点一方启动群首相遇计时器。计时器超时后,如果未启动计时器的群首A仍在启动计时器的群首B通信范围内,则群首B成为普通成员,群首A保持群首状态。

在UC2CM算法中,网络结构初始稳定之前采用的分群属于非确定性分群,多个群首长时间在各自范围内所进行的分群属于确定性分群。由于该算法混合运用了非确定和确定分群,所以称为非确定-确定混合分群。这种分群方法可以在群初始化和重新分群时,加快网络的初始收敛速度;同时在网络分群结构达到稳定后,能够尽量减少造成群结构不稳定的因素的影响。

2.1.2 UC2CM分群算法的稳定性分析

评价分群算法稳定性的主要标准是当网络拓扑变化时,原群构造改变的程度。当原群构造改变较小时,说明算法稳定性较好。在UC2CM分群算法中,吸收了LCC分群算法有关稳定性的规则,即: ' 当节点进入某群范围内时,即使新加入节点的ID小于该群的群首ID,对群内部节点状态也丝毫没有影响; ° 当2个群首相遇时,根据最小ID准则,其中的1个群首会放弃群首地位。在

LCC算法的基础上,考虑到实际中节点性能的区别,UC2CM算法引入节点的/优先级0,以保证分群的灵活性。

LCC算法对于群首相遇的情况没有明确给出具体的处理方法,而在UC2CM算法中对于进入竞争角色的群首采用了启动计时器的方法,同时发现可以不必在每个参与竞争的群首节点中都启动计时器。由于采用ID最小和高优先级原则来决定最后哪个节点胜出,如果计时器超时后2个节点仍然处于竞争状态,ID较小或者优先级较高的节点必然会胜出,所以可以改进为只在节点ID较大或者优先级较小的一方启动计时器,这样既可以节省计时器资源又可以同样达到提高稳定性的效果。

213 UC2CM分群算法的收敛性分析

除了稳定性之外,收敛性也是评价分群算法的一个重要方面。表示收敛性的主要参数是网络收敛时间,收敛时间可以定义为从开始执行分群算法到形成一个暂态的稳定所需要的时间。网络中节点数量的规模,节点的分布状态等因素对于收敛时间都有一定的影响。但是对于不同的分群算法,各个因素的影响程度也有区别。

LCC分群算法在网络初始稳定前采用最小ID算法时,其收敛时间即为最小ID算法的收敛时间 t_0 ,而最小ID算法的时间复杂度为 $O(|V|)^{[7]}$ (其中 V 为节点的集合),所以 t_0 与网络拓扑结构相关,且一般与节点数目成线性关系。

在UC2CM分群算法中,对于任意节点,在随机初始计时器超时后都会根据邻接表的状态确定节点自身的状态。由于启动的是随机初始计时器,设节点的稳定时间为 t_1 ,则 $0 < t_1 \leq t_{max}$ 。在某些特殊情况下,有可能初始计时器超时后,相邻的2个节点同时确定自身为群首状态,产生竞争从而启动群首相遇计时器(超时时间为 t_{en}),但最终2个节点也会各自转移到某状态,使网络达到初始稳定。因此UC2CM分群算法的初始稳定时间 $t = t_1 + t_{en} \leq t_{max} + t_{en}$,即只与随机初始计时器的最大值和群首相遇计时器有关,而与网络的拓扑结构无关。因此,当网络规模较大,节点数较多时,UC2CM算法的收敛时间 t 会远小于LCC算法的收敛时间 t_0 。

3 UC2CM分群算法的有限状态机模型

有限状态机(FSM)是检验算法完备性的有

力工具,并且对于实时控制系统具有准确、高效的描述作用。分群过程的实质就是根据网络中节点的分布、运动等因素对节点状态进行实时控制。下面为根据UC2CM分群算法设计的有限状态机模型,用于算法的仿真实现。

有限状态机的模型主要包括节点状态定义,触发事件定义,以及节点状态与触发事件之间关系的描述3个部分。

311 UC2CM分群算法中的节点状态定义

表1给出了定义的4种节点状态。节点在任何时刻都处于其中的一种状态。

表1 UC2CM分群算法中的节点状态定义

Table 1 Definitions of mobile node s states in the UC2CM algorithm

序号	状态名称	标号	含义
0	初始状态	S_0	分群开始时节点的状态
1	成员状态	S_1	有惟一的群首
2	群首状态	S_2	协调、管理群内节点通信
3	网关状态	S_3	可以与多个群的节点通信

312 UC2CM分群算法的触发事件定义

在UC2CM分群算法中,共定义了12种触发事件,详见表2。主要分为:1°信息包事件;2°邻接表事件;3°计时器事件。每个事件都可以作为状态变化的一个激励,一旦有事件发生就可能引起节点状态间的转换。

313 UC2CM分群算法的有限状态机模型

将表1和表2的内容结合起来,形成了有限状态机模型。图2给出了用有限状态机描述的节点状态与触发事件之间的相互关系。在不同的情况下,对于两个确定节点状态间的转移,其触发事件可能不同。表3详细说明了节点状态与触发事件之间的关系,其中/ - 0表示不存在的状态转换。

在仿真程序中,各节点以UC2CM分群算法的有限状态机模型为核心,随着网络拓扑的动态变化,能够根据不同的触发事件独立判断并且自动进行状态迁移,从而实现了自组织组网中的分布式算法仿真。

4 仿真结果及分析

基于UC2CM分群算法的有限状态机模型,对该算法进行了模拟仿真,并在仿真中考虑到节点模型的控制、无线节点的通信范围、信息包的碰

表 2 UQCM 分群算法中的触发事件定义

Table 2 Definitions of Input/ Internal events in the UQCM algorithm

序号	事件名称	含义
1	HEADER_HELLO	接收到新群首的信息包
2	RAND_CHAOS_TIME_OUT	随机初始时期计时器超时
3	PEER_TABLE_EMP	邻接表空
4	PEER_TABLE_NOT_EMP	邻接表非空
5	PRI_HIGHEST	优先级最高
6	PRI_NOT_HIGHEST	优先级不是最高
7	APP_TIME_OUT	附加计时器超时
8	ENCNT_TIME_OUT	群首相遇计时器超时
9	ONE_HEADER_LEFT	邻接表中只有 1 个群首表项
10	NO_LESS_TWOHEADER_LEFT	邻接表中至少有 2 个群首表项
11	NOT_FOUND_ATT_ID	未找到后加入的群首表项
12	ENTRY_TIME_OUT	表项计时器超时
13	ID_LOWEST_OR_PRI_HIGHEST	节点在邻接表中 ID 最小或者优先级最高
14	ID_NLOWEST_&_PRI_NHIGHEST	节点在邻接表中 ID 不是最小同时优先级不是最高
15	HEADER_TO_OTHER	邻接表中的群首转为其他状态

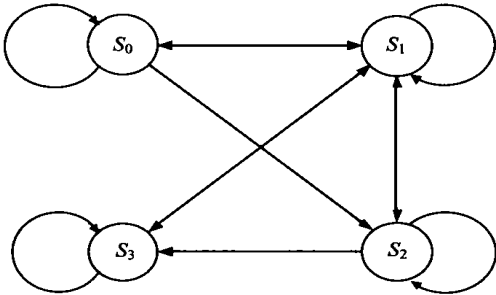


图 2 实现 UQCM 分群算法的有限状态机

Fig2 FSM of realizing the UQCM algorithm

表 3 UQCM 分群算法中状态与事件的关系

Table 3 The relationship between state and event

事件	当前状态			
	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
1	S ₁	S ₃	S ₂	S ₃
2	S ₀	-	-	-
3	S ₂	S ₂	S ₂	-
4	S ₀	-	-	-
5	S ₂	-	-	-
6	S ₀	-	-	-
7	S ₂	-	-	-
8	-	-	S ₂	-
9	-	-	S ₁	S ₁
10	-	-	S ₃	-
11	-	-	S ₂	-
12	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
13	-	S ₂	-	-
14	-	S ₀	-	-
15	-	S ₁	S ₂	S ₃

撞等实际问题。在实际中,飞机用户的通信范围随着发射功率的不同而存在差异,一般在几百千米以内。在仿真中设定通信范围为 200km,规定每个像素点代表 4km,节点的运动速度在 300km/h~ 1000km/h 之间随机取值,运动方向在 0~ 2P 之间随机取值,从而模拟高动态、大机动的网络环境。仿真软件通过计算节点间的像素距离,并与规定的通信半径比较,来确定其他节点是否在自己的通信范围之内,以模拟有限通信范围。实际环境中,消息包碰撞问题会由 TDMA 或扩频等链路层的技术来解决,在仿真中用消息队列的方法避免了同一时刻信息包的碰撞,达到了同样的目的。

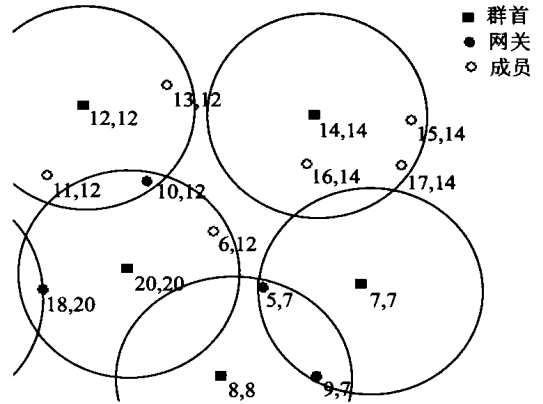


图 3 分群结果示例

Fig3 Part of simulation result of the UQCM algorithm

图 3 是对 20 个节点进行初始分群仿真后的部分节点显示。图中的节点标识表示为 I, J (如: 11, 12), 其中 I 代表该节点的 ID, J 代表节点所在群的群标识,定义群标识为该群的群首 ID 号。图中的圆表示各群首的通信范围。以群标识为 12 的群为例,由于标识为 12 的节点优先级较高,所以在初始分群后节点 12 最先成为群首,由于节点 11、13 只在其通信范围内,所以状态变为成员,而节点 10 同时在群首 12 和群首 20 的通信范围内,所以状态自动变为网关,达到了正确分群的效果。

通过应用 UQCM 分群算法中的规则(4)和(5),当网络拓扑发生变化时,会尽可能地减少造成群结构不稳定的因素。在仿真过程中,达到了上述预定的效果。

对于图 4 所示的网络拓扑,当使用最小 ID 算法时,整个网络从左至右逐步稳定。这种链式结构越长,整个网络达到稳定的时间越长。当网络中节点数目较少时, LCC 算法的收敛时间 t_0 可能小于 UQCM 算法的收敛时间 t_1 ,但是当节点数

目增多到一定程度时, t_0 会大于 t_1 , 尤其在节点 ID 呈现较规则链式排列的时候, 效果尤为明显。

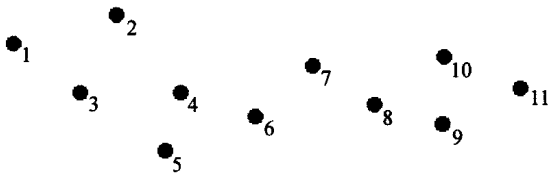


图 4 链式拓扑结构图

Fig4 Link topology

图 5 为在链式拓扑结构下, 对算法进行多次仿真后, 平均收敛时间的趋势比较图。

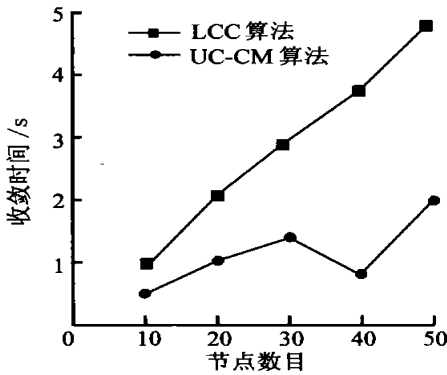


图 5 两种算法平均收敛时间的趋势比较

Fig5 Comparison of convergent time between LCC and UC2CM algorithm

根据仿真结果, 可以看出 UC2CM 算法的收敛时间一般都少于 LCC 算法的收敛时间, 且当网络规模较大时, 效果更加明显。

5 结 论

本文在 LCC 算法的基础上提出了一个完备的带有群首, 网关等状态转换的 UC2CM 分群算法, 设计出 UC2CM 分群算法的有限状态机模型, 并对其进行了实现及模拟仿真。分析了本算法的网络稳定性和初始收敛特性, 且在网络的初始收敛性方面与 LCC 分群算法进行了比较, 显示出一定的优越性。通过使用优先级参数, 提高了实际组网的灵活性。

参 考 文 献

[1] 刘凯, 李建东. 多跳结构分组无线网络的性能分析[J]. 电

子学报, 1999, 27(11A): 80- 85.

(Liu K, Li J D. The performance analysis of packet radio network with multihop structure [J]. Acta Electronica Sinica, 1999, 27(11A): 80- 85.)

[2] 王景, 刘明, 曹剑. 战术分组无线网的分群与群管理[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2001, 2(6): 70- 73.

(Wang J, Liu M, Cao J. Clustering and cluster management of tactical packet radio network [J]. Journal of Air Force Engineering University (Natural Science Edition), 2001, 2(6): 70 - 73.)

[3] Baker D J, Ephremids A. A distributed algorithm for organizing mobile radio telecommunication networks [A]. Proceedings of the 2nd International Conference on Distributed Computer System [C]. 1981. 476- 483.

[4] Gerla M, Tsai T J C. Multicuster, mobile, multimedia radio network [J]. ACM/Baltzer Journal of Wireless Networks, 1995, 1(3): 255- 265.

[5] Chiang C C, Wu H K, Liu W, et al. Routing in clustered multihop, mobile wireless networks with fading channel [A]. The IEEE SICON [C]. 1997. 197- 211.

[6] Baker D J, Ephremids A, Flynn J A. The design and simulation of a mobile radio network with distributed control [J]. IEEE Journal on SAC, 1984, SAC22(1): 226- 237.

[7] Lin C R, Gerla M. Adaptive clustering for mobile wireless networks [J]. IEEE Journal on SAC, 1997, 15(7): 1265- 1275.

作者简介:

张 军(1965-) 男, 安徽合肥人, 博士, 北京航空航天大学教授、博士生导师, 电子信息工程学院副院长, 中国民航数据通信及新航行系统部级重点实验室主任。研究领域: 数据链与航空电信网、空天地一体化网络和新航行系统, 曾获国家及部级科技奖励 7 项, 发表论文 50 余篇。

聂姝慧(1977-) 女, 内蒙古突泉人, 1999 年毕业于长春邮电学院通信工程系, 现为北京航空航天大学电子信息工程学院在读硕士研究生, 专业方向为通信与信息系统, 航空数据链技术及其应用。



刘 锋(1970-) 男, 湖北人, 北京航空航天大学电子信息工程学院教师, 博士, 2000 年毕业于西安交通大学控制科学与工程专业, 研究方向主要有空天地一体化通信网络、航空电信网和互联网络动力学及其控制。Email: liuf@ee.buaa.edu.cn

(责任编辑: 俞 敏)