

改进的战术无线通信网 时隙资源分配方案

段 毅, 常国岑

(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘要:对比分析了无中心端到端结构与“基站—用户终端”结构在军事通信应用中的优缺点,提出了一种有中心控制的 TDMA 端到端战术无线通信网络结构,在分析各种现有 TDMA 时隙资源分配方案的基础上,融合了二叉树法和动态加权思想,给出了用于该网的改进的最佳分配方案。

关键词:TDMA; 战术无线通信网; 时隙分配

中图分类号:TN915.07 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2001)01-0049-04

一般认为战术通信网应采用无中心节点的端到端(WTBZpeer-to-peer)结构形式,以提高灵活性和抗毁性。这种网络结构不同于商业通信采用的蜂窝体制,其每个小区都有自己的中心节点——基站。各用户间通信均通过基站控制和转发。蜂窝结构大大提高了网络系统容量,但对战场环境来说这种结构却存在一个致命的缺点,即一旦基站被摧毁,该基站所覆盖的网络必将瘫痪。相反,端到端结构的网络因其各成员用户均直接互通而具有较好的抗毁性,但由于没有统一的协调控制,其系统容量及信道使用效率相对较低,这往往难以满足现代化战争高密度、大强度信息交换的要求。

TDMA 作为一种有效的通信资源使用手段已获得了广泛应用^[1]。相对于复用“频率维”的 CDMA 技术,TDMA 复用的是“时间维”资源。TDMA 技术特有的突发通信模式使其具有良好的抗截获和抗干扰能力。另外,CDMA 通信需要占用比信息带宽大很多的频率资源,带宽限制又直接导致可供使用的伪码数量大打折扣,并且至今 CDMA 技术尚未很好解决多址干扰和功率控制问题,当前商用 CDMA 通信系统远未实现理论上的三倍于(实际应用中甚至低于)TDMA 系统容量即印证了其自身存在的先天不足。因此,CDMA 技术往往难以单独承担起提供多址和抗干扰的责任,因此军用战术无线通信网大量采用了 TDMA 技术。

以 TDMA 为多址接入方式的战术无线通信网中一个关键问题就是时隙资源分配。TDMA 是以时隙作为信道区分用户的,在用户数一定的情况下,如何高效地分配有限的时隙资源,将直接制约网络的容量和效率。

1 无中心端到端结构与“基站—用户终端”结构

当前无线通信网络主要采用两种结构形式:无中心端到端结构与“基站—用户终端”结构。前者无中心节点,各用户节点均可互通,组网灵活,网络生存能力强,孤立节点对网络运行的影响小,网络成本较低。这种结构在军事通信中,尤其是在战场战术通信中得到广泛采用。“基站—用户终端”结构在民用蜂窝通信中占据了主导地位。引入了中心节点的最大好处就是大大提高了信道使用效率,增加了系统容量,为此而增加的基站设备和控制信道开销相对于增加的系统容量是值得的。但这种结构对于生存环境恶劣的战场环境来说,其脆弱性是显而易见的,其组网也不灵活,这些都大大限制了它在军用战术通信中的应用。

收稿日期:2000-05-10

作者简介:段 毅(1974-),女,山西临汾人,硕士生,主要从事系统工程研究。

2 一种有中心控制 TDMA 端到端战术无线通信网

面对现代战术通信的新特点,我们提出了一种综合了无中心端到端结构与“基站—用户终端”结构优点,并在很大程度上避免了两者缺点的网络结构,这种结构的中心思想是保留无中心端到端结构中各节点均互通的特性,同时引入中心节点概念。这里的中心节点与基站有相似之处,但有很大区别,体现在两个方面:

1)执行的功能:中心节点执行与基站相似的信道分配和控制功能,但不执行信息转发功能,除此之外该节点功能与其它节点完全等同。

2)存在的形式:我们所说的中心节点实际就是除正常通信外多执行了信道分配和控制功能的普通节点,这些功能通过一个专用的设备,甚至只通过一组软件,附加给网络中每个节点,但全网中始终只有一个节点的这种功能工作,其它节点的这些功能则处于休眠状态。只有当其它节点得知中心节点无法继续工作时,才按照事先指定的顺序唤醒接替节点的功能,此时该节点成为新的中心节点。因此从拓扑结构上说这里的中心节点也不象基站那样相对固定,而是可能动态变化的。

图1给出了一个示例来说明上述思想:该战术通信网中初始有A、B、C、D、E五个通信节点,它们可能处于运动状态,但均采用广播方式实现两两互通,其中A被首先指定为中心节点。工作中如果A突然无法继续通信(如发生设备故障或被敌方摧毁),那么在规定时间内其它用户将收不到信道分配和控制信息,此时由事先指定的接替者(如B)开启自身的中心节点功能,成为新的中心节点。

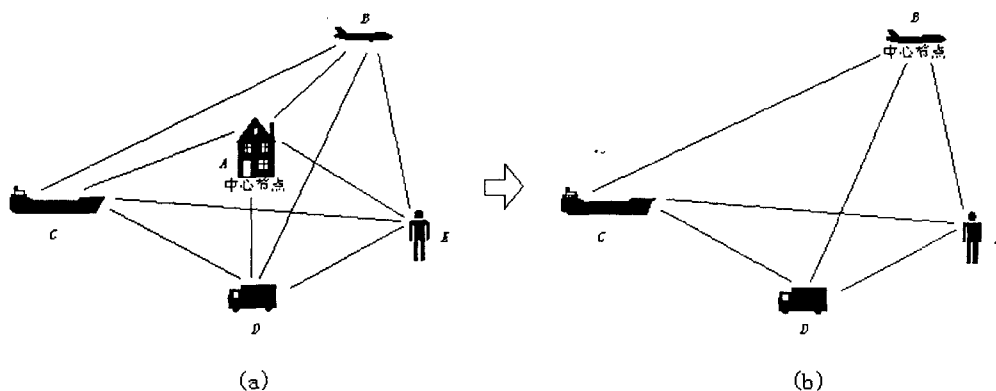


图1 有中心控制端到端战术无线通信网原理示意

方案采用 TDMA 是基于以下考虑:

①TDMA 具有良好的抗截获和抗干扰能力:它采用突发通信模式,如果没有同步信息,要想对特定节点进行截获和干扰是比较困难的。

②组网灵活性强:这是 TDMA 相对于 CDMA 的一个重要优势,尤其是在战场军事通信中。TDMA 方式下各用户使用的是“时间维”信道,只要知道自己所用的时隙和同步信息就可实现通信。民用蜂窝通信中新增(进网)和减少(退网)的用户只需由基站识别,其它用户因只与基站通信而无需知道,这里 CDMA 与 TDMA 实现难度差别不大。但在战场端到端战术通信网中,用户数量的改变几乎是不可避免的,而且可能在短时间内数量改变很大。若采用 CDMA,那么对所有用户都意味着设备上和管理上巨大的变化,而采用 TDMA 只需随时改变时隙分配表即可。

3 有中心控制 TDMA 端到端战术无线通信网的时隙资源分配

3.1 TDMA 的时帧结构

GSM 蜂窝通信网是 TDMA 技术在商业领域应用的成功范例^[2]。GSM 时帧结构包含高帧、超帧、复帧、TDMA 帧和时隙五个层次,它们的关系可表达为:

业务信道:1 高帧=2 048 超帧=2 048×51 复帧=2 048×51×26 TDMA 帧=2 048×51×26×8 时隙
 控制信道:1 高帧=2 048 超帧=2 048×26 复帧=2 048×26×51 TDMA 帧=2 048×26×51×8 时隙

3.2 现有的时隙资源分配方法

当前,TDMA 网络一般采用四种时隙资源分配方案:固定分配、动态分配、竞争分配和预约分配。

1)固定分配:根据用户最大需求量,通信前将所有时隙一次性分配给用户。这种方案在信道容量足够大或用户数量不多的情况下,可以满足用户的最大业务量需求。方案实现简单,毋需为传输新的分配而开销信道。同时,由于各用户所用时隙固定且互不重叠,所以不会出现多址干扰。但它的最大缺点是信道利用率不高,不能根据用户容量和需求的变化适时调整时隙分配方案,从而导致某些用户在业务量很低时依然占用过多的时隙,造成资源浪费。当用户数量较大时,还可能出现时隙不够使用的情况。

2)动态分配:根据用户容量和业务量的变化而实时改变时隙分配,以提高资源使用效率。但动态分配方案要考虑到各种可能出现的情况,实现比较复杂,并要为传输新的分配而开销信道。GSM 系统就采用了一种最简单的动态时隙分配方案^[2]:当小区内用户容量较小时,采用低容量时隙分配方式,在每个 TDMA 帧中,混合信道组合(即各种控制信道)只占用 0 时隙,而业务信道占用其余的 1~7 时隙;当小区为高用户容量时,采用高容量时隙分配方式,即在连续的两个 TDMA 帧中,广播信道和专用信道分别占用第一帧的 0 和 1 时隙,业务信道占用第一帧的 2~7 时隙和第二帧的全部时隙。

3)竞争分配:用户在每时隙内采用 ALOHA 方式抢占该时隙,如果只有一个用户发送信息则发送成功,同时出现多个用户则产生碰撞。用户检测到碰撞后,各自随机延迟后重发。由于采用吞吐率不高的 ALOHA 方式,不适合较大规模网络使用。

4)预约分配:预约分配是对竞争分配的改进。用户需要发送信息时,首先在专用信道中向网管中心预约,网管中心按照收到预约申请的先后顺序给各申请用户分配特定时隙。PRMA(分组预约多址访问)及其各种改进方案就是典型的预约分配方式^[3~4]。

3.3 有中心控制 TDMA 端到端战术无线通信网的时隙分配方案

针对有中心控制的 TDMA 端到端战术无线通信网,我们为其设计了一种联合了固定分配与动态分配的时隙分配方案:在通信网组网阶段,采用固定分配方案进行网络的初始化。组网根据实际情况进行,如果时隙资源比较充足,按用户的最大业务量需求初始化时隙分配表;如果时隙资源比较紧张(用户数量较多),则根据用户一般业务量分配时隙。在网络的运行中根据需求动态调整时隙分配。该方案的具体内容是:在组网阶段,根据用户所产生的最大业务量给用户分配时隙数。为维持通信的均匀性以便于及时全面地收集信息,要求在一个时隙周期中用户占用的时隙数基本均匀,为此我们采用了时隙块分配法,时隙块由一组(2ⁿ 个)等间隔的时隙组成,分配时用户得到的将是一个或多个时隙块。这样不仅可以满足均匀性的要求,而且可以降低接入时延,还可根据用户的需求对较大的时隙块进行分裂,以提高时隙利用率,具体方法如图 2 所示。

当某一用户的需求不能用一个时隙块满足时,可为其分配一个“时隙池”,即一组时隙块,时隙池中时隙块的大小可以互不相同,出现时间可以任意分布,因此其中的时隙可能不是均匀的,但这样可以节约时隙资源。一般地,对一个需要 n 个时隙资源的用户可以这样分配:

对 \forall 正整数 n 有:

其中

且满足

$$n = 2^k + 2^l + 2^m + \dots + 2^z$$

$$k > l > m > \dots > z$$

$$2^k < n < 2^{k+1}$$

$$2^l < n - 2^k < 2^{l+1}$$

$$2^m < n - 2^k - 2^l < 2^{m+1}$$

⋮

$$z = \begin{cases} 1 & (n \text{ 为奇数}) \\ 0 & (n \text{ 为偶数}) \end{cases}$$

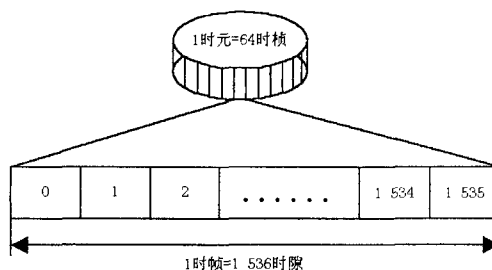


图 2 时隙块的分裂

即任意的时隙需求量均可分解为若干时隙块之和,这些时隙块就组成了一个分配给该用户的时隙池。例如,有一用户需要 100 个时隙,如果把 2⁷ 个时隙分配给此用户,则会有 28 个时隙空闲,造成时隙资源的浪

费,因为 $100=64+32+4=2^6+2^5+2^2$,可把由时隙块 2^6 、 2^5 和 2^2 组成的时隙池分给此用户,这样就有效地利用了时隙资源。

网络初始化完成后就进入动态分配过程。在该过程中,中心节点根据收到的实时用户需求和战场态势定期修改时隙分配表(分配方法类似于网络初始化),并迅速通知到用户,用户收到新的时隙分配表后立即开始执行并更新原有的时隙分配表。

战场上经常出现突发信息,例如指挥控制中心必须以最快的速度发送指挥控制命令,而命令的产生是完全随机的。这可能就需要占用其它用户的时隙。为了避免发生碰撞,要求原定在此时隙发送信息的用户停止发送,改为监听状态。为实现突发信息的实时传输,我们在方案设计中为每个用户增加一个优先级参数,并制表发送给所有用户。优先级高的用户需要抢占某个时隙时,它必须事先通知全网所有用户,为此我们规定:在组成每时隙的数据帧中,保留数比特用于发送抢占通知,这些比特每两种状态一组,分别与优先级参数一一对应,其中一组状态表示具有该优先级参数的用户要抢占相邻的下一时隙,另一组状态表示不抢占,每用户均发送此信息。当准备在下一时隙正常发送的用户检测到有更高优先级的用户需抢占该时隙时,则让出时隙。

4 结论

TDMA 技术在外军已获得了广泛应用,美军的 JTIDS 系统、LINK16 等都采用了 TDMA 方式。我们提出的有中心控制 TDMA 端到端战术无线通信网是对 TDMA 技术在战术通信领域应用的一次探索,研究涉及了网络结构和时隙分配问题,提出了相应的方案。下一步,应对方案进行理论的性能分析与计算机仿真,并进行实际的现场测试。

参考文献:

- [1] Victor o k l t, Xiaoxin Qiu. Personal Communication Systems[J]. Proc IEEE, 1995, 83(9): 1210 - 1243.
- [2] 赵荣黎. 数字蜂房移动通信系统[M]. 北京: 电子工业出版社, 1997.
- [3] Goodman D J. Packet Reservation Multiple Access for Local Wireless Communications[J]. IEEE Trans, Comm, 1989, 37(8): 768 - 774.
- [4] 李建东, 杨家玮. 个人通信[M]. 北京: 人民教育出版社, 1998.

An improved slot assigning scheme used in a tactic radio network

DUAN Tao, CHANG Guo-cen

(The Telecommunication Engineering Institute, AFEU., Xi'an 710077, China)

Abstract. According to the actual request in modern battlefield and the results of comparison between the "peer-to-peer" and the "hub-terminal" architecture in military communication, the architecture of a TDMA peer-to-peer tactic radio network with hub is presented. Based on analysis of all available slot assigning schemes, an improved slot assigning scheme is given which uses binary tree and dynamic weight.

Key words. TDMA; tactic radio network; slot assigning