

一种新的自组织时分多址甚高频 数据链隐藏终端分析方法

张 军,李 宏,李忠孝,张其善
(北京航空航天大学电子工程系,北京 100083)

摘 要: 本文提出一种新的自组织时分多址(S-TDMA)数据链网络性能分析方法——概率周期分析法。一方面提出系统状态熵的概念,将时隙的状态停留时间和稳态概率同时引入分析模型中,给出了一种以时隙的处于成功传送状态的状态真值与系统的状态熵之比作为评价信道吞吐量的新方法;另一方面提出基于同信道干扰(CCI)准则的终端分区模型,分析隐藏终端在不同区域内对终端的影响。最后,提出了一种基于捎带帧技术的解决 S-TDMA 系统隐藏终端问题的方法。系统仿真的结果表明,该方法行之有效。

关键词: 甚高频数据链;时分多址;马尔可夫链;隐藏终端

中图分类号: TN929.532 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2001)12-1615-05

A New Analysis Method on the Hidden Terminals in Self-Organized TDMA VHF Datalink

ZHANG Jun, LI Hong, LI Zhong-xiao, ZHANG Qi-shan

(Dept. of Electronic Engineering, Beijing University of Aeronautics & Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: A new method named Probability Cycle Analysis is proposed in this paper, which is used to analyze the performance of self-organized time division multiple access (S-TDMA) datalink system. By defining system state entropy, duration of slot state and state steady probabilities are stated, and an evaluation method on channel throughput adopting ratio of the true value of safe state to state entropy of system is presented in this paper. A terminal coverage partition model based on Co-Channel Interference (CCI) rule is also provided, which is used to analyze specifically the effect of hidden terminals in different areas. Finally, a solution to hidden terminals problem based on piggy frame technology is proposed. Simulation results show that the method is effective.

Key words: very high frequency datalink; time division multiple access; markov chain; hidden terminals

1 引言

基于甚高频(VHF)的航空移动数据通信系统,在军航、民航获得了广泛的应用。Johnsson 等人提出的基于甚高频信道的自组织时分多址协议^[1,2]的数据链,简称 S-TDMA 数据链系统,是新一代 VHF 航空数据链的代表。

每架飞机的 VHF 通信范围有限,并受飞机高度机动性的影响,使得自组织时分多址(S-TDMA)数据链系统组网成为一种不具有全连通特性的移动分布式网络。这种网络中不可避免地存在隐藏终端问题^[3]。

S-TDMA 系统的自组织特性是通过用户对时隙的自组织预约实现的。隐藏终端的存在会造成时隙的无序争用,对 S-TDMA 数据链系统的吞吐量、系统容量和报文碰撞概率等性能均有重要影响。

传统的隐藏终端性能分析,均使用了概率分析方法,文献[4,5]讨论了在忙音多址访问(BTMA)和载波侦听多址访问

(CSMA)系统中,隐藏终端对系统性能的影响。在分析模型中由于假设条件的限定和分析过程的复杂性,文中均以成功传输报文所需时间与所有报文传输时间之比作为系统吞吐量的指标来评价这些异步时间连续系统的性能。文献[6]提出了一种基底捕获多址访问(FAMA)系统的隐藏终端分析方法,将接收和发送终端间成功传输报文的平均时间与信道平均忙时与平均闲时之和的比作为系统吞吐量的指标,这也只适用于异步时间连续系统。这些都不能满足 S-TDMA 这样的时间同步系统的要求。

针对上述情况,本文提出一种基于时隙状态转移模型的 S-TDMA 数据链系统隐藏终端分析方法——概率周期分析法。

(1) 提出状态熵的概念,将时隙状态停留时间和稳态概率同时引入分析模型中;

(2) 提出基于同信道干扰(CCI)准则^[7]的终端分区模型,分析隐藏终端在不同区域内对终端的影响,计算出时隙状态

转移概率；

(3) 建立吞吐量评价模型,用时段处于成功传送状态的状态真值与系统状态熵之比值作为评价信道吞吐量的方法.大大简化了系统性能分析,符合 S-TDMA 系统的实际情况.

通过分析,文中提出了一种有效地解决隐藏终端问题的方法.有关结果,已经作为系统设计和参数优化的依据应用于我国甚高频空空数据链系统中.

2 S-TDMA 系统的时段预约

2.1 时段预约流程

S-TDMA 数据链采用典型的 TDMA 传输体制,它将时间轴等分成若干信息帧,每帧又分成若干时段供飞机等用户终端使用.其时段预约流程如图 1 所示.

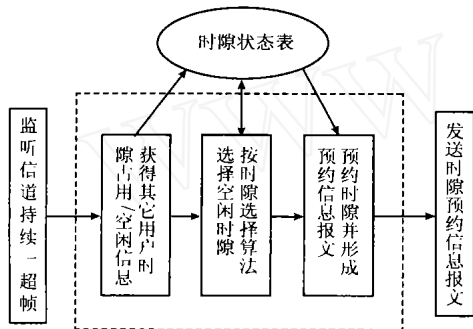


图 1 S-TDMA 系统的时段预约流程

每个用户监听信道持续一个超帧的时间,接收其它用户的时段占用情况,根据时段选择算法选择该用户自己需要的时段,并进行预约,形成时段预约信息报文.每个用户都构造和维持着一张时段状态表^[8],该表包含了所有用户对时段进行动态预约的信息.这样各用户自己就可实现信道时段资源的管理,这就是自组织特性,其自组织特性是通过数据链路层实现的.它是一种全分布式控制结构,不需要主站来控制.

2.2 时段状态转移模型

根据 S-TDMA 协议^[8],描述系统的时段动态预约处理过程时,时段的状态空间是离散的、有限的,在一定条件下可以

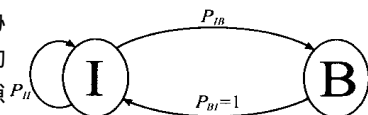


图 2 时段状态转移模型

相互转移.时段状态转移模型如图 2 所示.每个时段包括两个状态:(1)空闲状态 I:时段没有被任何用户预约,则此时段处于空闲状态 I;(2)忙状态 B:时段被用户预约成功后,当时间到来时,时段转入忙状态 B.时段在 I 状态将以一定的概率转至 B 状态.若时段正处于 B 状态,则经过一段时间后必定转入 I 状态,系统的状态转移又从 I 状态重新开始.所以,时段的状态转移过程构成一具有可再生性的马尔可夫链.状态空间有限的可再生性马尔可夫链,可以采用概率周期法来分析.

3 概率周期分析方法

设 $R(U)$ 为系统处于 U 状态的状态真值,定义为

$$R(U) = P(U) D_U \quad (1)$$

其中, $U = \{U_i\}, i=1,2 \dots L$. $P(U)$ 表示系统在 U 状态下的稳

态概率, D_U 表示在 U 状态的停留时间.状态真值同时引入了状态停留时间和稳态概率,它表征了系统处于某个状态的时间期望值.

定义系统状态熵为其所有状态真值之和,即

$$H = \sum_{i=1}^L R(U_i) \quad (2)$$

状态熵表示为系统各个状态的状态真值之和,给出系统遍历一个状态周期的时间均值表示,又称为概率周期.

在一个概率周期内,系统处于 U 状态的概率为

$$p_U = R(U) / H \quad (3)$$

将某状态的状态真值与状态熵的比作为系统处于该状态的时间平均概率,从而可以得出系统在任意时刻处于某种状态的概率.

4 S-TDMA 系统的性能分析

4.1 状态概率计算

基本假设:(1) 设每帧共有 M 个时段,且每个时段之间是相互独立的,终端的平均报告率为 x 次/分钟,满足 $0 < x < M$,则在一超帧内,每个终端选择在每个时段内发送报文的概率为 $p = x/M$.(2) 设终端的信号覆盖范围是半径为 R 的圆区域,为了便于分析,将其归一化为 $R=1$,则覆盖区面积为 π .(3) 设 S-TDMA 网络中,终端的分布符合泊松过程,其分布密度为 λ ,则终端覆盖 1 范围内的平均用户数为 $N = \lambda \pi$.

在面积为 A 的区域内有 i 个用户的概率为

$$\text{Prob}(\text{面积为 } A \text{ 的区域内有 } i \text{ 个用户}) = \frac{(A\lambda)^i}{i!} e^{-A\lambda} \quad (4)$$

S-TDMA 数据链系统中规定,用户连续占用一个时段不许超过 n 个超帧,时段的忙状态经过 n 个超帧后必定转为空闲,所以时段由忙至闲的状态转移概率 $p_{BI} = 1$.而当时段处于空闲状态时,如果没有用户选择预约这个时段(记为时段 T_i),则发生状态转移时,时段的下一个状态将仍为空闲.所以时段 T_i 从空闲状态转移至空闲的状态转移概率 p_{II} 为

$$\begin{aligned} p_{II} &= \text{Prob}(\text{在一超帧内,覆盖区没有用户预约时段 } T_i) \\ &= \sum_{i=0}^n \frac{N^i}{i!} e^{-N} \left(1 - \frac{p}{n \cdot M \cdot p_I}\right)^i \\ &= e^{-[N \cdot p / (n \cdot M \cdot p_I)]} \end{aligned} \quad (5)$$

其中, p_I 为时段处于空闲状态的时间平均概率.

根据图 2 的时段状态转移模型,可得状态转移方程如下

$$p(I) = p(I) p_{II} + p(B) p_{BI} \quad (6)$$

其中, $p(W)$ 为 W 状态的稳态概率, p_{WV} 为 W 状态向 V 状态转移的状态转移概率, $W, V \in \{I, B\}$.

因为在状态转移模型中,时段只有 I 和 B 两种状态,所以

$$p(I) + p(B) = 1 \quad (7)$$

综合式(5)、(6)、(7),可得时段的稳态概率为

$$\begin{cases} p(I) = \frac{1}{2 - e^{-[N \cdot p / (n \cdot M \cdot p_I)]}} \\ p(B) = 1 - \frac{1}{2 - e^{-[N \cdot p / (n \cdot M \cdot p_I)]}} \end{cases} \quad (8)$$

则时段处于空闲状态的时间平均概率为

$$p_I = \frac{p(I) D_I}{p(I) D_I + p(B) D_B} \quad (9)$$

其中, $D_I = 1, D_B = n \cdot M^{[8]}$ 分别为时隙在 I 状态及 B 状态的停留时间。

4.2 吞吐量计算

设用户终端以等概率预约超帧中的每个时隙, 所以这些时隙可以看作是互相并行的信道。此时, 可用每个时隙的吞吐量来衡量整个系统的吞吐量。定义吞吐量为单位时间内信道中成功传输的归一化信息量。

在没有隐藏终端的理想情况下, 满足 S-TDMA 自组织协议的用户不会由于争用同一时隙而发生碰撞, 即当时隙处于忙状态时, 占用信道的终端只能有一个。那么, 吞吐量便可以用此时隙的信息成功传送概率来表示。时隙处于忙状态时, 其内传送的信息均可被成功接收。所以, 理想情况下的吞吐量 Th_i 为

$$Th_i = p_B = 1 - p_I \quad (10)$$

当终端在某一时刻内传送信息时, 若其隐藏终端在此时刻同时传送信息, 就会产生时隙争用冲突。受隐藏终端的影响, 接收端将不能正确接收信息, 造成发送端的有效信息的丢失, 从而降低了系统的吞吐量。

设 S 是满足 S-TDMA 自组织协议的用户终端, 它占用时隙 T_S 传送信息, 则以 S 为圆心, 以归一化半径 1 为半径的终端 S 的覆盖范围即为 S 的自组织区域。其所发信息的接收端 R 一定在它的覆盖范围内, 在 R 的覆盖范围内而在 S 的覆盖范围之外的终端, 由于不知道 S 的时隙占用信息, 可能与 S

同时占用时隙 T_S , 就会影响 R 对 S 发送的信号的正确接收。所以存在隐藏终端时系统的吞吐量 Th_h 为

$$\begin{aligned} Th_h &= p_B \times \text{Prob}(\text{接收端正确接收信号}) \\ &= p_B \times \text{Prob}(E \text{ 区内没有用户占用 } T_S \text{ 时隙发报}) \\ &= p_B \times (1 - \frac{E}{\times p_B}) \end{aligned} \quad (11)$$

其中, E 为会对接收终端产生影响的隐藏终端所在区域的面积, 当该区域内的用户与 S 同时占用同一条信道发送信息时, R 分辨不出 S 的信号。

4.3 基于 CCI 准则的终端分区模型

S-TDMA 系统采用 CCI 准则^[8]来解决信道占用冲突问题。若以终端为研究对象, 采用 CCI 准则的重要特点在于可将信噪功率比转换成距离比。设 R 为接收终端, S 为发送终端。设有两个发送终端 S 和 S' , S 与接收端 R 的距离为 r , S' 与接收端 R 的距离为 d , 则定义 $d/r = m$ 为 CCI 准则的系数。根据 CCI 准则, 当 $d > mr$ 时, 发送端 S' 可以和 S 占用同一时隙发送信号, 而不影响 R 对 S 的信号接收。

在 S-TDMA 数据链系统中, 由于处于发送端 S 的通信覆盖区域内的其它发送端用户均满足 S-TDMA 协议, 不会影响接收端 R 对发送端 S 的信号接收。处于接收端 R 的覆盖区域之外的用户也不会影响 R 对信号的接收。而可能对 R 的接收产生影响的只能是处于 R 的覆盖区域之内并在 S 的覆盖区域之外的用户 S' , 称之为对 S 的隐藏终端, 这些隐藏终端所在区域为 H 区。如图 3 所示, 图中的阴影部分为 H 区。

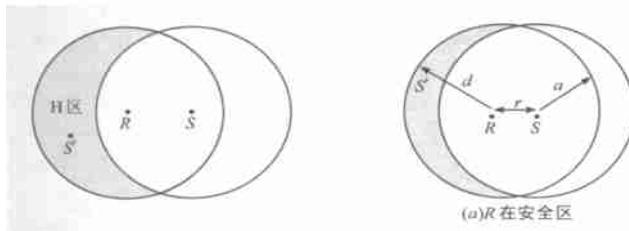


图 3 隐藏终端示意

由于接收端处于不同的区域内, 产生隐藏终端的情况存在差异, 可对 VHF 信号的覆盖范围按接收特性划分不同区域进行分析。根据 R 在不同位置时, 隐藏终端可能对 R 接收 S 的发送信号产生的影响不同, 如图 4 所示, 可将 S 的覆盖区域分为三部分:

(1) 安全区 P : 若 H 区的所有隐藏终端到 R 的距离均大于 S 到 R 的距离的 m 倍, 根据 CCI 准则, 若隐藏终端与 S 共用同一时隙, R 能够分辨出 S 的信号, 称 R 处于安全区。如图 4(a) 所示, 安全区为一以 S 为圆心, 外环半径为 1, 内环半径为 a 的环形区域。

(2) 竞争区 F : 当 H 区的所有隐藏终端到 R 的距离都小于 S 到 R 的距离的 m 倍时, 如果有隐藏终端与 S 争用同一时隙, R 就不能分辨出 S 的信号, 称此时的 R 处于竞争区。如图 4(c) 所示, 竞争区为一以 S 为圆心, 半径为 b 的圆形区域。

(3) 过渡区 D : 在竞争区和安全区之间的环形区域, 称为过渡区。当 R 处于过渡区时, 处于隐藏终端区的用户一部分可能影响 R , 一部分不影响 R , 根据隐藏终端与 R 距离的大

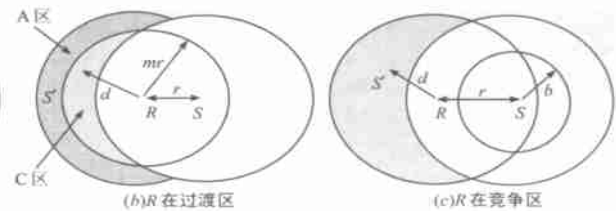


图 4 终端 R 位于不同区域

小将 H 分成两部分, 如图 4(b) 所示。处于 C 区的用户 $d < mr$, 可能影响 R 对 S 的接收; 处于 A 区的用户, $d > mr$, 不会影响 R 对 S 信号的接收。

根据上述分析和图 4, 容易得到安全区 P 的边界线半径为 $a = 1/(m+1)$, 分辨区 D 的边界线半径为 $b = 1/m$ 。不失一般性, 由于两用户之间的距离是可变的, 区域 H, A, C 的面积亦随之变化, 并且表现为 r 的函数, 分别记为 $H(r), A(r), C(r)$ 。

基于以上分析, 式 (11) 中区域 E 随 r 变化的函数为

$$E(r) = \begin{cases} 0, & 0 \leq r < \frac{1}{m+1} \\ C(r), & \frac{1}{m+1} \leq r < \frac{1}{m} \\ H(r), & \frac{1}{m} \leq r \leq 1 \end{cases} \quad (12)$$

从而, 吞吐量 Th_h 也为距离 r 的函数, 记为

$$Th_h(r) = p_B \times (1 - \frac{E(r)}{\times p_B}) \quad (13)$$

由于终端服从泊松分布, S 与 R 之间距离 r 的概率分布函数满足

$$f(r) = \begin{cases} 2r, & 0 < r \leq 1 \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (14)$$

所以, 系统的吞吐量 Th_h 为

$$Th_h = \int_0^1 Th_h(r) dr = p_B - p_B^2 / \int_0^1 C(r) dr + \int_0^1 H(r) dr \quad (15)$$

其中, $H(r)$ 是图 4(c) 中 H 区的面积, $C(r)$ 是图 4(b) 中 C 区的面积.

5 数值分析与讨论

对于 S-TDMA 系统, 选择其距离比标准为 $m = 2^{\lceil 8I \rceil}$, 取一

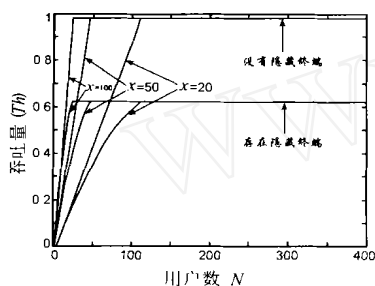


图 5 吞吐量随用户数变化的曲线

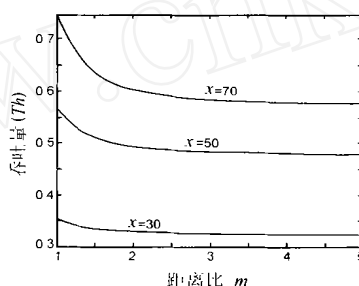


图 6 吞吐量随距离比的变化曲线

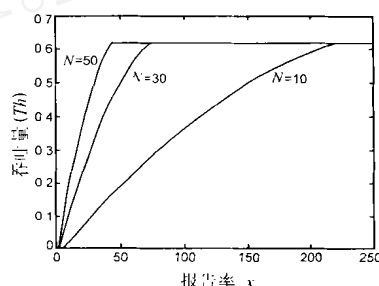


图 7 吞吐量随用户报告率变化的曲线

仍取超帧时隙数为 $M = 2250$, 用户数为 $N = 30$, 报告率分别为 $x = 30$, $x = 50$ 和 $x = 70$ 的情况下, 图 6 给出了系统吞吐量随着距离比 m 的变化曲线. 可以看出系统吞吐量的吞吐量随着距离比的增大而减小, 在 m 增大到一定程度后, 曲线趋于平缓. 因此, 选择好的调制解调方式可以使系统对信号的分辨率提高, 从而会增大吞吐量.

取超帧时隙数为 $M = 2250$, 用户数为 $N = 10$, $N = 30$ 和 $N = 50$ 时, 吞吐量随着终端报告率变化的曲线如图 7 所示. 由图 7 可以看出, 达到饱和的吞吐量之前, 在相同报告率时, 用户数越大, 吞吐量越大. 由于隐藏终端的存在, 即使系统内的用户较少, 系统的吞吐量对终端平均报告率的变化仍很敏感.

6 一种解决隐藏终端问题的方法

解决隐藏终端问题, 一般采用忙音多址访问 (BTMA) 方法^[4]和空闲信号多址访问 (ISMA) 方法^[9]. 被广泛采用的另一个方法是避免冲突的多址访问 (MACA) 方法^[10], 它是 IEEE 802.11 无线局域网标准的基础^[11]. 将载波检测 (CS) 与 MACA 方法结合, 这就是一种新近出现的解决隐藏终端问题的方法——基底捕获多址 (FAMA) 方法^[6].

通过 4.2 节的分析可以看出, 隐藏终端影响 S-TDMA 数据链系统性能的关键, 是由于其争用时隙资源而干扰了其它用户的正常通信. 从图 3 可以看出, 若令接收端 R 发送报文帧, 使 H 区的终端 S 知道终端 S 的时隙占用情况, 并且回避终端 S 所占用的时隙, 则可以解决隐藏终端问题. 从而提出一种采用 RTS/ACK 机制^[12]的解决隐藏终端问题的方法.

一般的 RTS/ACK 机制, 终端之间建立连接, 需要发送两

个超帧的时隙数为 $M = 2250$, 报告率分别为 $x = 20$, $x = 50$ 和 $x = 100$ 时, 根据式 (15), 系统在存在隐藏终端和无隐藏终端两种情况下的吞吐量随用户数和发报率变化的曲线如图 5 所示. 由图 5 中可以看出: (1) 系统的吞吐量随着用户数的增加而增大. 当业务量接近一超帧的时隙数时, 所有的信道被占满, 系统的吞吐量达到饱和. (2) 存在隐藏终端的情况下, 系统的最大吞吐量饱和在 0.6 左右, 而在无隐藏终端时, 最大吞吐量可以达到 1. 由此可见, 隐藏终端的存在确实对 S-TDMA 系统的性能产生了重大的影响, 大大降低了系统的吞吐量. (3) 当系统未达饱和时, 系统的吞吐量的增长趋势也有所不同. 无隐藏终端时, 系统的吞吐量随着用户数的增加而线性增加; 存在隐藏终端时, 系统的吞吐量随用户数的增加呈非线性变化.

个报文帧. 发送端在发送报文之前发送请求帧 RTS 帧, 接收端对请求加以确认帧 ACK 帧. 由于发送端和接收端均广播了时隙占用表, 隐藏终端就可以通过接收端间接获得发送端的时隙占用信息, 系统就能够对终端提供可靠的面向连接服务, 从而避免了隐藏终端造成的冲突.

在这种机制下, RTS 帧和 ACK 帧均要占用一个独立的时隙, 这无形中增加了系统的额外开销, 降低了系统的传输效率. 当 RTS 帧和 ACK 帧受到隐藏终端的影响而发生碰撞时, 发送端将重新发出 RTS 请求, 这就会增加报文延时. 而 S-TDMA 系统是基于时隙预约实现的系统, 这种机制会大大影响其性能.

因此, 本文提出一种采用捎带 (Piggy) 技术实现的解决隐藏终端问题的方案——捎带帧 (PiggyFrame) 方案. 捎带帧由报文数据和捎带数据构成. 由于 RTS 帧和 ACK 帧属于短信息帧, 可将其放在报文数据的头部或尾部, 作为捎带数据 (Piggy-data), 随报文一起发送, 典型的捎带帧结构如图 8 所示.

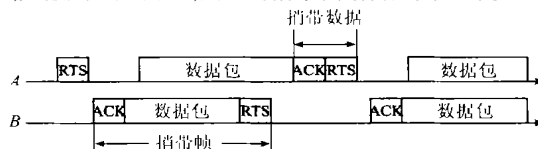


图 8 捎带帧方案示意图

A 端给出的是捎带数据放在报文数据尾部的情况, B 端给出的是捎带数据分别放在报文数据头部和尾部的情况. 利用前一份报文的空闲部分为下一份报文服务, 就不必为每个报文都发送独立的 RTS 帧和 ACK 帧, 从而可以减少系统开

销. 经过请求和确认后, 系统为终端建立了连接, 报文的传送可以免受隐藏终端的影响, 由于 RTS 帧和 ACK 帧均包含在捎带帧内, 不再需要独立的时隙传送 RTS 帧和 ACK 帧, 从而降低了 RTS 帧和 ACK 帧受隐藏终端影响的碰撞概率, 减少了报文延时. 尤其当系统饱和没有可用时隙时, 这种捎带帧方案仍可维持通信连接.

7 结论

本文采用时隙状态转移模型分析了自组织时分多址数据链网络隐藏终端对系统性能的影响, 提出以时隙处于成功传送状态的状态真值与系统状态熵之比作为评价信道吞吐量的概率周期分析方法; 对时隙状态转移概率, 则根据 CCI 准则的终端分区, 来分析隐藏终端对不同分区内的终端的影响, 大大简化了 S-TDMA 系统的分析, 适用于 S-TDMA 系统的实际情况. 文中提出的捎带帧方案支持主动发送请求, 可以有效地解决隐藏终端问题, 适合于 S-TDMA 系统, 并能减少系统开销.

研究结果表明, 选择较小的满足 CCI 准则距离比 m 值, 可以增加系统的吞吐量. 由于隐藏终端的存在, 用户数较少时, 系统的吞吐量对终端平均报告率的变化很敏感.

参考文献:

- [1] Johnsson L. The cellular CNS concept (CCC) operating concept based on the VHF STDMA data link [J]. Navigation, 1996, 44 (176) : 432 - 459.
- [2] Gustavsson N. VDL Mode 4/ STDMA-a CNS data link [A]. In: 15th DASC. AIAA/ IEEE Digital Avionics Systems Conference, New York, USA: IEEE, 1996: 111 - 116.
- [3] Khurana S, Kahol A, Jayasumana A P. Effect of hidden terminals on the performance of IEEE 802. 11 MAC protocol [C]. In: Conference on Local Computer Networks 1998: 12 - 20.
- [4] Tobagi F A, Kleinrock L. Packet switching in radio channels: Part II: the hidden terminal problem in carrier sense multiple-access and the busy tone solution [J]. IEEE Trans. Comm, 1975, 23 (12) : 1417 - 1433.
- [5] Huang K C, Chen K C. Interference analysis of nonpersistent CSMA with hidden terminals in multicell wireless data networks [J]. Proceedings of IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, IEEE, 1995: 907 - 911.
- [6] Fullmer C L, Garcia-Luna-Aceves J J. Solutions to hidden terminal problems in wireless networks [J]. Computer Communication Review, 1997, 27 (4) : 39 - 49.
- [7] Paparisto G, Panagiotou P, Chugg K.M. Single-packet method for adaptive maximum likelihood CCI identification and mitigation [C]. Conference Record/ IEEE Global Telecommunications Conference 1 (A) 1999: 492 - 496.
- [8] ICAO AMCP WG-D: Draft VDL mode 4 standards and recommended practices (Version 5.4) [S]. VDL SARP WG-D/ 6, 1997.
- [9] Chakraborty S S, Wager Stefan. Inhibit sense multiple access with polling (ISMA/ P) : a MAC-RLP combined procedure for packet mode data over non-interleaved channel for GSM GPRS services [C]. IEEE Vehicular Technology Conference 2 (A) 1996: 776 - 780.
- [10] Karn P. MACA- A new channel access method for packet radio [C]. ARRL/ CRRL Amateur Radio 9th Computer Networking Conference, ARRL, 1990: 134 - 140.
- [11] Chhaya H S, Gupta S. Performance of asynchronous data transfer methods of IEEE 802. 11 MAC protocol [J]. IEEE Personal Communications, 1996, 3 (5) : 8 - 15.
- [12] Fullmer C L, Garcia-Luna-Aceves J J. Complete single-channel solutions to hidden terminal problems in wireless LANs [J]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Communications, 1997: 575 - 579.

作者简介:



张 军 男. 1965 年出生于安徽省合肥市. 1990 年、2001 年分别获北京航空航天大学工学硕士、博士学位. 现为北京航空航天大学教授, 电子工程系副主任. 主要研究方向: 航空数据通信, 自组织通信网、数据链技术, 新航行系统, 遥控遥测等.



李 宏 男. 1976 年出生于山东省阳谷县. 1999 年毕业于北京航空航天大学电子工程系, 现为北京航空航天大学电子工程系在读硕士研究生, 专业方向为通讯与系统工程, 研究方向为新航行系统, 数据链技术及其应用.