

AIS 系统时隙预约选择算法的分析

张京娟, 郝燕玲

(哈尔滨工程大学自动化学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: STDMA 是 AIS(船舶自动识别系统)中的关键技术, 它采用时隙动态预约的自组织方式工作. 由于候选时隙的重叠, 系统可能发生时隙的冲突. 针对这一问题, 利用概率分析理论, 推导出在两船及多船的情况下, 系统时隙冲突概率的数学模型, 给出了仿真的曲线并进行了分析. 结果表明 STDMA 时隙动态预约算法采用周期时隙预约和增量时隙预约相结合的方式, 减少了时隙发生冲突的可能. 最后, 提出了对这一算法进行改进的思路.

关键词: AIS; STDMA; 数据通信

中图分类号: U675.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-7043(2002)05-0052-05

Analysis of Slot Reservation Selection Algorithm for AIS

ZHANG Jing-juan, HAO Yan-ling

(College of Automation, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

Abstract: The dynamic slot reservation selection method is adopted in STDMA, which is the key technique in AIS. Because of the overlapping of candidate slots, the reserved slots will collide. The mathematical models of slot collision are presented for two and more ships based on the theory of probability and it is concluded from the simulation curves that the STDMA algorithm decreases the probability of slot collision by combining the periodic slot reservation and the increment slot reservation, and some ideas are proposed for improving the slot selection algorithm.

Key words: AIS; STDMA; data communication

AIS(船舶自动识别系统)是新一代用于海上识别、监控和通信的助航仪器^[1]. 它通过 GPS 技术提供精确的位置和导航数据, 这些数据经过计算机的处理, 通过 VHF 频道每隔一段时间自动地播发. 凡是在 VHF 作用范围内配备有 AIS 系统的所有船舶和 VTS 中心都能收到这一信息, 并在 ECDIS 或 VTS 中心的屏幕上显示出来. 这样就保证了在航行中船与船之间的“互见”, 以及 VTS 中心对周围一定区域所有来往船舶的识别与跟踪管理, 减少了碰撞事故的发生, 提高了海上航行的安全.

AIS 系统的关键技术就是所谓的自组织时分多址 STDMA (self-organized time division multiple access) 技术^[2]. 该技术将时间轴分成若干信息帧, 每个信息帧又分成若干时隙供船舶用户使用. 每个用户周期的广播其当前的位置信息及对未来时隙的预约信息, 以构成系统的时隙状态表. 这个时隙状态表就是所有参与船舶对时隙动态使用的

依据, 从而实现各用户对信道时隙的自发管理. 由于这时的时隙资源是由用户自行管理, 不需要基站的参与, 所以被称为自组织时分多址.

自组织时分多址的特性对于船舶的动态识别, 提高海上航行安全具有重要的意义. 但是, 在交通比较繁忙的区域, 由于各个船舶的 VHF 信号覆盖范围重叠, 往往会发生多个船舶同时预约同一个时隙的情况. 这样就发生了时隙的冲突, 从而造成船舶之间的“互不见”, 对于航行的安全带来威胁. 本文针对这一情况, 分析了系统时隙冲突的概率, 并给出了计算机仿真的结果, 这对于 AIS 技术的进一步发展具有重要的指导意义.

1 AIS 系统的结构与功能

AIS 的主要组成部分为一个 GPS 接收机, 一个通信处理器, 两个 VHF 数据接收机和一个 VHF 数据发射机^[3], 如图 1 所示.

收稿日期: 2002-04-22; 修订日期: 2002-09-03.

作者简介: 张京娟(1975-), 女, 博士研究生, 主要研究方向为船舶导航定位及避碰技术.

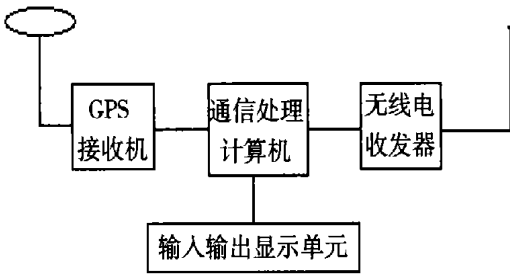


图 1 AIS 结构框图

Fig. 1 The structure diagram of AIS

GPS 接收机提供精确的位置和导航信息, 计算机把这些信息与船速、船号、航向、对地速度以及事先通过键盘输入的有关船的信息(船的编号、始发地、目的地与载货量等)捆绑在一起, 通过数据链 VHF 播发出去. 所有在 VHF 范围内装有 AIS 设备的船舶都能接收到这一信息, 并将其显示在电子海图系统或其他的显示设备上. 也就是说, 所有在 VHF 覆盖范围内的船舶都能自动的在船桥上显示.

VHF 收发机通常工作在 AIS₁ 和 AIS₂ 两个指定的频率上, 每一个接收机接收其指定的 AIS 频率, 发射机则在两个指定的 AIS 频率上轮换发射, 采用调频高斯最小频率多位键控 GMSK 技术, 数据传输率为 9600 bit/s.

与雷达相比, AIS 有着更强的识别能力. 尤其是在坏天气情况, 及识别岛屿后面或航道转弯处的船舶时, AIS 比雷达有着绝对优越的性能.

2 STDMA 时隙预约选择算法

STDMA 中信道帧长为 1 min, 每一帧又被分为 2 250 个时隙. 每个船用户的广播报文占用 1 个时隙^[4]. STDMA 技术最大的特点就是在广播当前位置信息的同时, 为将来的发送预约时隙. 在信道不繁忙的时候, 空闲的时隙很容易找到. 当信道繁忙时, 未被预约过的时隙就难以找到, 这时候根据“罗宾胡德”规则, 可以使用最远处船站预约的时隙. 这样就可以不需要基站的参与, 完成时隙的选择.

2.1 周期时隙预约

进行周期时隙预约的船站发送的报文不仅包括船舶的编号和位置信息, 而且还包括进行周期时隙预约的信息, 即周期超时值和周期偏移量. 周期超时值指明了当前所用的时隙还要被继续预约

使用的帧数, 一般为 3~8 min, 其值任选. 每经过一帧的时间, 周期超时值减一. 当周期超时值为零后, 需要采用时隙预约选择算法, 预约下一个帧所要使用的时隙, 释放当前时隙. 当前时隙与此预约时隙间的偏移就是所谓的周期偏移量. 周期时隙预约的过程如图 2 所示.

也就是说, 一个时隙只能被连续占用 3~8 帧, 保证了时隙动态分配的需要.

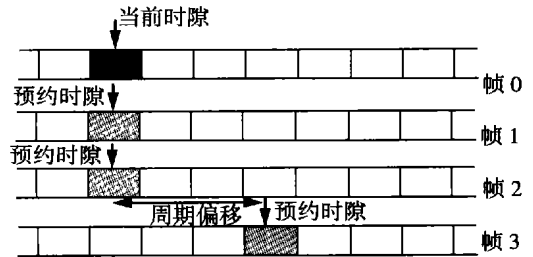


图 2 周期时隙预约过程示意图

Fig. 2 The sketch map of periodic slot reservation

2.2 增量时隙预约

增量时隙预约用于在同一帧中需要进行多次广播的情况. 每一次播发的数据中都会为下一次数据广播预约一个时隙, 这是通过增量偏移值来实现的. 增量时隙预约的过程如图 3 所示.

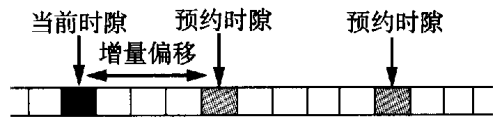


图 3 增量时隙预期约过程示意图

Fig. 3 The sketch map of increment slot reservation

在实际系统的使用中, 周期时隙预约与增量时隙预约一般是结合使用的.

2.3 时隙预约选择算法

设 $SL=2\ 250$, 为每一帧的时隙数; u 为报文报告率, 也就是用户每一分钟(一帧)播发的报文数; 船站用户选择时隙可在一定的范围内选取, 这个范围就定义为 SI , 即时隙选择窗口的宽度, 也就是所说的候选时隙. 时隙预约选择算法的关键就是获得用户可以预约的时隙的位置, 这就需要从候选时隙中确定可用的预约时隙.

船站用户进入 STDMA 数据链以后, 首先要监听信道一个帧的时间, 即 1 min, 从监听收到的报文中获得其他用户对时隙的占用、预约、时隙空闲及用户的位置信息, 形成时隙状态表. 时隙预约选

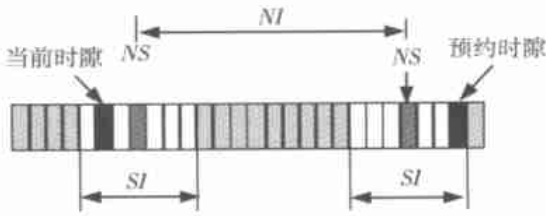


图 4 时隙预约示意图

Fig. 4 The process of slot reservation

择算法就要利用时隙状态表中的信息, 确定该用户能预约到的时隙位置. 时隙预约算法的过程示意图如图 4 所示, 具体步骤如下:

(1) 计算时隙选择窗口的间隔 NI :

$$NI = SL / u$$

(2) 然后计算时隙选择窗口的宽度 SI , 即候选时隙, 为 $k * NI$, k 一般取值 0.2.

(3) 从时隙选择窗口中间的时隙开始选择, 记为 NS , 也就是说候选时隙是从 $NS - 0.1 * NI$ 到 $NS + 0.1 * NI$. 如果 NS 为空闲时隙, 则用作该用户的预约时隙. 否则, 继续检查该时隙左侧和右侧的相邻时隙, 依此类推, 直到找到可以预约的时隙, 即为 NTS . 计算该时隙与当前时隙的偏移量, 即增量偏移量. 同时需要为该 NTS 指定一个周期超时值, 也就是该时隙可以被预约的帧数.

(4) 经过增量偏移值的时间, 预约时隙到来, 在当前时隙发送数据, 同时该时隙的周期超时值做减一计算.

这一过程一帧一帧的进行, 每一帧进行的是增量时隙预约. 当有某一个时隙的周期超时值为零时, 需要重新预约一个时隙来代替这一时隙, 即进行所谓的周期时隙预约.

3 STDMA 时隙冲突的概率分析

当几个船站的 VHF 信号覆盖范围相重叠时, 各个用户的时隙选择窗口会出现重叠的情况, 于是有可能发生时隙选择的冲突. 这时, 假设各个船站用户的报文报告率 u 相同, 各用户的时隙调整因子 k 也相同, 都为 0.2, 则各用户的时隙选择窗口宽度 SI 相同. 下面分析这种情况下发生时隙冲突的概率.

假设船 A 和船 B 的时隙选择窗口 SI 重叠了 M 个时隙. 当两个用户的时隙选择窗口完全重合即 $M = SI$ 时, 只有一种可能的情况. 而当两个用户的时隙选择窗口不完全重合即 $M < SI$ 时, 则有

两种情况, 可能从左边重合, 也有可能从右边重合. 如果船 A 的时隙选择窗口 SI 已经确定, 船 B 随机的确定其时隙选择窗口, 这一事件发生的概率为

$$P_1 = 1 / (SL - SI + 1). \quad (1)$$

当 $M \leq SI$ 时, 船 A 和船 B 在 M 个重叠时隙中选择时隙的概率是 $(M / SI)^2$. 由于有 M 个重叠的时隙, 则重叠区 M 中有一个时隙被船 A 和船 B 同时选中的概率为 $1 / M$. 所以时隙冲突的概率是 M / SI^2 .

当 $1 \leq M \leq SI / 2$ 时, 由于存在两个不相交的重叠区 M , 时隙冲突的概率为 $2M / SI^2$.

当 $M = SI / 2$ 时, 时隙冲突的概率为 $1 / SI$.

当 $M > SI / 2$ 时, 此时存在两个相交的重叠区 M , 应该把 M 和 $SI - M$ 中时隙冲突的概率相加. 于是可以得出此时的概率仍为 $1 / SI$.

也就是说, 船 A 和船 B 在重叠时隙为 M 时时隙冲突的概率为

$$P'_2 = \begin{cases} 2M / SI^2 & M \leq SI / 2, \\ 1 / SI & SI / 2 < M \leq SI. \end{cases} \quad (2)$$

当 n 次连续的报文发送时, 由于各次事件相互独立, 此时时隙冲突的概率为

$$P_2 = \begin{cases} (2M)^n / SI^{2n} & M \leq SI / 2, \\ 1 / SI^n & SI / 2 < M \leq SI. \end{cases} \quad (3)$$

将式(1)与式(3)相乘, 可以得出 M 个重叠时隙时 n 次连续报文发送的时隙冲突概率为

$$P = \begin{cases} (2M)^n / [SI^{2n} (SL - SI + 1)], & M \leq SI / 2 \\ 1 / [SI^n (SL - SI + 1)], & SI / 2 < M \leq SI. \end{cases} \quad (4)$$

对式(4)中的 M 求和, 可以得出总的冲突概率

$$P = \left[2^n \sum_{M=0}^{SI/2} M^n / SI^{2n} + 1 / 2SI^{n-1} \right] / (SL - SI + 1). \quad (5)$$

根据以上的分析, 下面推导 N 个船站的 VHF 信号覆盖范围重叠时发生时隙冲突的概率.

当有 N 个船站的 VHF 信号覆盖范围相重叠时, 其中任意两艘船之间的某一预约时隙有可能发生冲突, 任意三艘船之间的某一预约时隙也有可能发生冲突, 甚至任意 N 艘船之间的某一预约时隙发生冲突. 这样, 在计算用户时隙选择窗口发生重叠的概率时, 应该包括以上所有情况. 假设第一艘船的时隙选择窗口已经确定, 其他 $N - 1$ 艘船的时隙选择窗口任意选择. 同样假设重叠区为

M 个时隙.

其中, 任意两艘船的时隙预约选择窗口发生重叠的概率为

$$C_{N-1}^1 / (SL - SI + 1) = (N - 1) / (SL - SI + 1).$$

任意 3 艘船的时隙选择窗口发生重叠的概率为

$$C_{N-1}^2 / (SL - SI + 1)^2.$$

以此类推, 任意 N 艘船的时隙选择窗口发生重叠的概率为

$$C_{N-1}^{N-1} / (SL - SI + 1)^{N-1}$$

这样, 当水域中共存在 N 艘船时, 其时隙选择窗口发生重叠的概率为

$$P_{1N} = C_{N-1}^1 / (SL - SI + 1) + C_{N-1}^2 / (SL - SI + 1)^2 + \dots + C_{N-1}^{N-1} / (SL - SI + 1)^{N-1} = \sum_{i=1}^{N-1} C_{N-1}^i / (SL - SI + 1)^i. \quad (6)$$

N 个用户在重叠时隙为 M 时发生时隙冲突的概率为

$$P'_{2N} = \begin{cases} 2M^{N-1} / SI^N, & M \leq SI/2, \\ [M^{N-1} / SI^N + (SI - M)^{N-1} / SI^N]^n, & SI/2 < M \leq SI. \end{cases} \quad (7)$$

n 次连续报文发送时, 发生时隙冲突的概率为

$$P_{2N} = \begin{cases} (2M^{N-1} / SI^N)^n & M \leq SI/2 \\ [M^{N-1} / SI^N + (SI - M)^{N-1} / SI^N]^n & SI/2 < M \leq SI \end{cases} \quad (8)$$

将式(6)与式(8)相乘, 可以得出 N 个船站用户 n 次连续时隙冲突的概率为

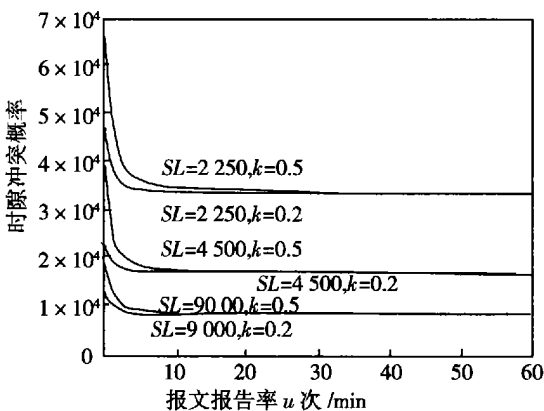


图 5 时隙冲突概率与报文报告率的关系

Fig. 5 The relation between the probability of slot collision and message report rate

$$P_N = P_{1N} \times P_{2N} \quad (9)$$

4 仿真分析

时隙冲突概率是系统性能的重要度量指标, 下面给出信道一次冲突概率的仿真.

先以两个船站用户为例, 首先分析一次冲突的概率与其参数之间的关系. 取 SL 分别为 2 250、4 500、9 000, k 分别为 0.2、0.5, 图 5 给出了时隙一次冲突的概率随报文报告率的变化曲线. 可以看出, 随着报文报告率的增加, 时隙冲突的概率先急剧下降, 当 $u > 5$ 以后, 时隙冲突的概率基本保持不变. 且当每帧的时隙数 SL 大时, 时隙冲突的概率比较小.

图 6 给出了时隙冲突概率随每一帧的时隙数多少的变化曲线. 其中 k 分别取 0.2、0.5, u 取 2 和 20. 从图中明显的可以看出, 随着每一帧时隙数的增加, 时隙冲突的概率逐渐减小.

图 7 给出了 n 次连续时隙冲突概率随 n 的变化曲线. 其中, k 取 0.2, u 取 12. 由图可以看出, n 次连续时隙冲突的概率随着冲突的次数 n 的增大急剧减少. 当 $n = 3$ 时, 冲突的概率经计算 $p = 1.986 \times 10^{-7}$; 当 $n = 4$ 时, 冲突的概率经计算 $p = 5.083 \times 10^{-9}$. 由于连续 3 次以后的时隙冲突概率已经很小, 可得出结论: 若一个用户连续发送 3 次数据, 这时数据应该已经能够收到, 也就是说发生时隙连续的冲突的次数一般不会超过 3 次.

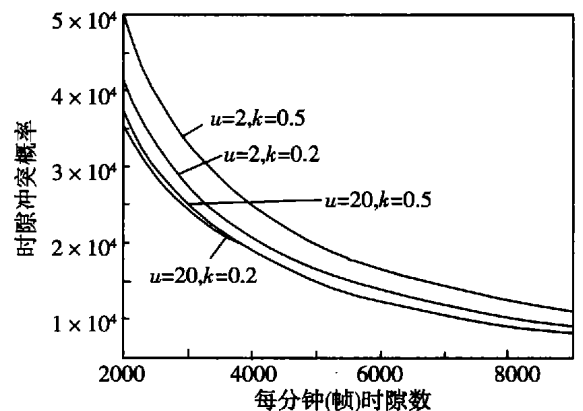


图 6 时隙冲突概率与每帧时隙数的关系

Fig. 6 The relation between the probability of slot collision and the number of slots in a frame

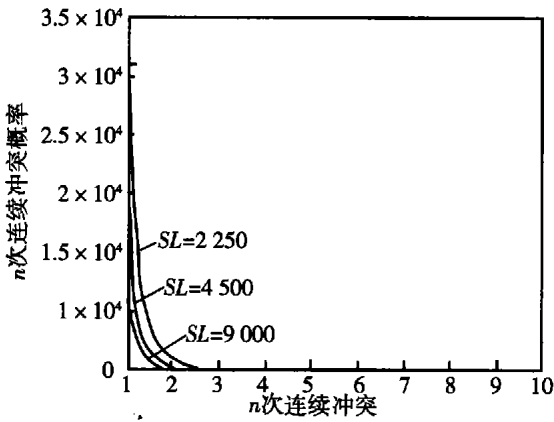


图 7 n 次连续时隙冲突的概率与 n 的关系
Fig. 7 The relation between the probability of n successive slot collision and n

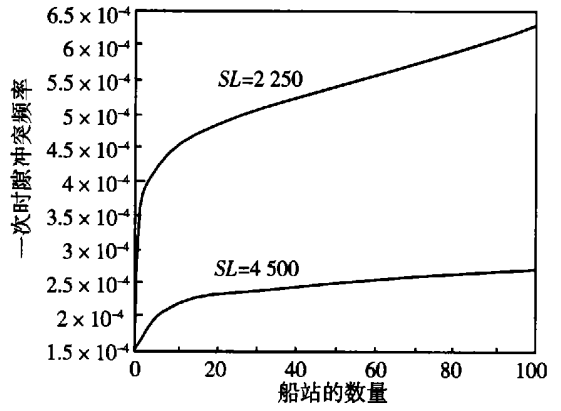


图 8 一次时隙冲突概率与船舶数量的关系
Fig. 8 The relation between the probability of one slot collision and the number of ships

最后由式(9),分析时隙冲突的概率与船舶数量间的关系.其中,取 SL 分别为 2 250、4 500, u 为 6.图 8 给出了 N 艘船发生一次时隙冲突随其参数变化的概率曲线.可以看出,随着船舶数量的增加,系统发生时隙冲突的概率增加.

5 结论与分析

本文从 AIS 系统时隙动态预约算法的研究出发,通过对时隙冲突数学模型的推导和仿真,得出以下结论:

(1) 推导出了在两船及多船的情况下,由于候选时隙的重叠,系统可能发生时隙冲突的概率的数学模型.

(2) STDMA 时隙动态预约算法采用周期时隙预约和增量时隙预约相结合的预约方式,最大限度地减少了时隙发生冲突的可能.

(3) 连续发送 3~4 次数据,发生时隙冲突的概率已经达到 $10^{-7} \sim 10^{-9}$ 数量级.此时,冲突的概率很小,说明连续发生 3~4 次的时隙冲突是不太可能的.

(4) 随着船舶数量的增加,发生时隙冲突的概率逐渐加大.

由以上的分析可以看出,由于候选时隙的重叠,系统有可能发生时隙的冲突.所以,要想避免时隙的冲突,首先,需要保证在候选时隙里面有一定数量的可用时隙.可用时隙的数量越多,发生时隙冲突的概率越小.若候选时隙中只有一个可用

时隙,一旦有两个以上的用户选择时隙,必然会发生时隙的冲突.这时,应根据“罗宾胡德”原则,把最远处船站使用的时隙作为可用时隙.其次,由于报文报告率和每帧时隙数的相同,候选时隙的重叠相同,一旦在一个时隙发生冲突,接下来的时隙会发生连续的冲突.所以,可以调整候选时隙的选择,使它不发生连续的重叠,这样时隙冲突的概率会大大减少.

参考文献:

[1] 孙广,孙文强. 船载自动识别系统的讨论[J]. 大连海事大学学报, 1999, 25(3): 68-70.
 [2] OTIMAR RAEYMAECKERS. VDL Mode 4 Point-to-point communications protocol evaluation applied to airline operational communications [D]. Sweden: Department of Aeronautics Royal Institute Technology, 2000.
 [3] 方祥麟. 通用船载自动识别系统[J]. 航海技术, 2000 (3): 4-5.
 [4] GUSTAVSSON N. VDL Mode 4/STDMA a CNS data link [A]. 15th IEEE/AIAA Digital Avionics Systems Conference and Technique Display[C]. New York: IEEE, 1996.
 [5] 丁晓华. 自动识别系统的结构、原理和用途[J]. 航海技术, 2000(6): 30-33.
 [6] LARRY Johnsson. VDL Mode 4 in CNS/ATM [D]. Sweden: SCAA, 1999.
 [7] 盛骤,谢式干,潘承毅. 概率论与数理统计[M]. 北京: 高等教育出版社, 1998.

[责任编辑: 李玲珠]