大容量高精度自动车辆定位系统数据链路设计

吴少淳 李先亮 张其善
(北京航空航天大学 电子工程系)

摘 要 目前自动车辆定位系统存在容量少,报警碰撞和精度低等缺陷.因此,对自动车辆定位系统和时隙 ALOHA(S_ALOHA)的特点进行了分析研究,提出了广播预约 ALOHA(BR_ALOHA)这一新的数据链路设计方法,即基站广播差分信息,子站预约传输位置等信息和平滑接收机噪声等.其集中控制策略,吞吐量负载性能以及时延吞吐量性能表明,它适宜于设计大容量高精度自动车辆定位系统.

关键词 定位系统; 移动通信; 数据传输; GPS; DGPS; AVLS
分类号 TN 96

1 AVLS 数据链路协议

自动车辆定位系统(Automatic Vehicle Location System, AVLS)对及时处理突发事件和车辆的监控管理如银行运钞车的安全保卫等具有重要意义.我们所开发的 AVLS 已在北京、福州等地的交通银行、工商银行等单位得到应用.在实际中,我们体会到 AVLS 的发展特别是 AVLS 的覆盖范围、车辆组网容量以及建设与管理费用等制约 AVLS 推广应用的因素与其数据传输链路特性息息相关.AVLS 的技术体系结构图(图 1)清楚地说明了通信链路是 AVLS 的基石[1,2].

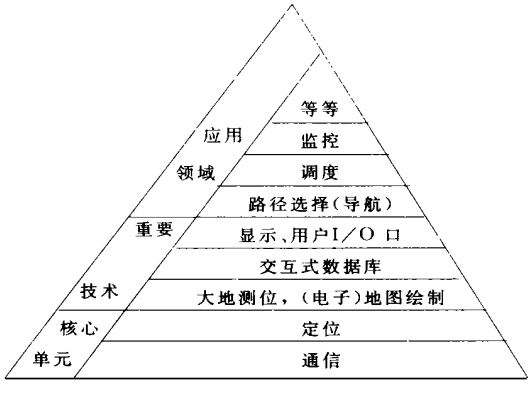


图 1 AVLS 的体系结构

目前,国内外 AVLS 的通信链路除了利用性能已确定了的已有通信网如集群网等外,就是建立新的大区制链路,即一个基站,M 个移动目标共享一个信道.由于频率资源的限制,目前建立新的大区制 AVLS 链路的方法有两种[3~5]:一是采用时分多址(TDMA),其方案如图 2 所示.二是指挥控制中心顺序查询各受控车辆的全球定位系统(GPS)信息,究其本质仍是 TDMA.然而,当用户总数即车辆组网容量超过一定的数目时,大部分无碰撞协议如 FDMA 和 TDMA 等就没有实用价值了,对于这种情况,比较好的解决办法是采用竞争型协议[6].另外,图 2 的方案虽然通过差分能消除 GPS 相关误差,但没有平滑处理来减少 GPS 接收噪声误差.如何根据 AVLS 的特点,设计新的大区制链路,提高 AVLS 容量,同时剔除 GPS 相关误差和接收噪声误差,进一步提高定位精度,具有重要意义.本文对此进行了研究,提出了一种能同时提高 AVLS 精度和容量的数据链路空间接口方法——广播预约 ALOHA(BR_ALOHA).实验结果表明,该方法的统计特性优于 TDMA 和 S_ALOHA,不失为一种设计大容量、高精度 AVLS 的比较好的方法.

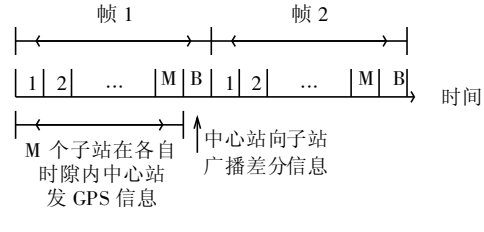


图 2 固定分配访问方法——TDMA 方案

2 AVLS 的特点及 BR_ALOHA

GPS 测距精度主要受到卫星轨道估计、卫星时钟估计、电离层、大气层和测距时的接收噪声这

收稿日期: 1996-12-03 第一作者 男 33 岁 博士生 100083 北京

5个误差源的影响[7]. 在基站和移动子站, 前4个误差源是相关的, 通过差分能实时剔除这4个误差的大部分. 测距差分校正的最大有效期即容许基站发送差分信息的最大时间间隔为 hP (min), 其中 h 为常数因子(min/m), P 为所要求的定位精度(m). 而接收噪声不能通过差分被剔除, 但通过 N 次测距, 可使RMS噪声减少 $\sqrt{N}$ 倍. 为了实现平滑处理, 移动台需要连续测距次数 N 为 $1+25/P^2$. 可见AVLS具有如下特点: (1) 该系统具有大量移动用户和"潜在"移动用户; (2) 为了提高AVLS定位精度, 中心站需以一定的间隔不断广播差分信息, 各移动台除接收差分信息外, 不断地接收GPS信号, 做平滑处理; (3) 中心站接收各移动台的报警信息如车辆位置、状态等, 各移动台报警具有突发性并可能发生"碰撞". 因此, 在AVLS中, 采用竞争型的随机多址通信协议更为合理.

S_ALOHA是一种令人瞩目的竞争型随机多址通信协议. 它把信号进入信道的时间分成固定长度为 T 的时隙(T 为分组传输时间). 各子站发送的分组信号必须进入某一时隙内即必须使发送的始端和终端刚好与时隙同步, 时隙的定时由全系统的时钟来确定. 由此可见, S_ALOHA不能保证中心站有效地广播差分信息使AVLS有较高的定位精度, 因此, 需要对信道的监控方式进行改进. 为此, 我们采用由基站来控制全部通信的集中式通信控制策略: 当共享信道空闲时, 基站向各子站广播一个非常短的带有差分信息的空闲信号(DIS), 消除GPS相关误差. 如果信道的空闲状态未发生变化, 基站不断地以周期 t_1 广播DIS. M 个移动目标总是处于发送状态或等候状态之一(如图3). 在等待状态, 子站一边等待消息的产生, 一边作平滑处理, 减少GPS接收噪声. 假定消息的产生率为 σ, 一旦有消息, 子站便进入发送状态等候DIS. 如图4, 要发送数据的子站, 在接收到一个DIS后, 以概率 p 发送数据. 为了进一步减少碰撞时间, 子站在发送数据前必须发送一个由比特同步、帧同步、子站地址和CRC组成的预约包(RP). RP比数据包要短得多. 若RP发生碰撞, 基站在碰撞结束后, 立即重新广播DIS; 若RP发送成功, 基站发送一个也带有差分信息的探询信号(DPS), 叫该子站发送数据. 一旦子站发送完数据, 便进入等待状态等候产生新消息. 在接收完该子站的数据后, 基站广播带有确认信息和差分信息的空闲信号(ADIS), 表明信道空闲. 由此可见, 文中所提出的通信控制策略有利于消除GPS相关误差和接收误差. 它不象S_ALOHA那样, 需要系统同步时钟以及各子站发送数据时, 必须与时隙同步, 而是通过基站广播DIS起到类似S_ALOHA系统时钟的作用. 另外, 子站在发送数据前, 都必须发送比数据包要短得多的预约包, 故称为BR_ALOHA.

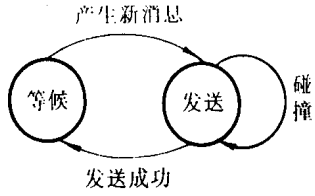


图3 终端转移模型

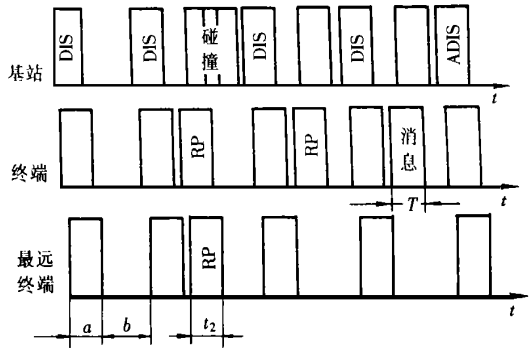


图4 BR_ALOHA的时序图[9,10]

3 BR_ALOHA性能分析

假定终端收到一个DIS后, 有 K 个终端($K=0,1,2,\cdots$)立即发送RP. K 为具有Poisson分布的随机变量, 而 G 表示信道的负载. 则

$$P_k = P_r\{K = k\} = \frac{G^k}{k}G^{-k}$$

$$k = 0, 1, 2, \cdots$$

以 t_1、t_2 和 T 分别表示 $a+b$、RP和一个数据包长度. T_c 表示所发送的两个连续DIS间的长度. 在收到一个DIS后, 若无RP或一个RP或一个以上RP信号被发送, 则 T_c 分别为 t_1、$T+2t_1+t_2$ 和 t_1+t_2. 经推导, 其吞吐量-负载性能(S-G)为

$$s = \frac{TP_1}{E[T_c]} = \frac{TGe^{-G}}{t_1+t_2+(TG+t_1G-t_2)e^{-G}}$$

设 $n(t)$ 表示处于发送状态的终端数目, 称之为在 t 时刻信道积压(channel backlog). 若 m 表示第 m 个DIS信号, 则 $n(m)$ 为嵌入点过程, 它是一非周期性的、各态历经的、不可约的Markov

链[8]. 由于当 $m = 0, 1, \cdots$时, $n(m) \leqslant M$, 因此稳态分布存在. 设 π_n 表示在状态 n 时系统的稳态概率. $p_{ij} = P_r\{n(m+1) = j \mid n(m) = i\}$ 表示系统从状态 i 转移到状态 j 的转移概率.

$$p_{ij} = \begin{cases} 0 & j < i-1 \\ p_1(i)P_1(M-i,0) & j = i-1 \\ p_0(i)P_0(M-i,j-i) + \\ \quad p_1(i)P_1(M-i,j-i+1) + \\ \quad p_2(i)P_2(M-i,j-i) & \text{通信 } j > i-1 \end{cases}$$

其中

$p_0(i) = P_r\{$在收到 DIS 后, 无 RP 发送$\} = (1-p)^i$

$p_1(i) = P_r\{$在收到 DIS 后, 成功发送一个 RP$\} = ip(1-p)^{i-1}$

$p_2(i) = P_r\{$在收到 DIS 后, 有两个或多个 RP 发送$\} = 1-(1-p)^i - ip(1-p)^{i-1}$

$P_0(x,y) = P_r\{$在 t_1 产生 y 个消息$\mid$有 x 个终端处于等候状态$\} = \binom{x}{y}(1-e^{-\sigma t_1})^y \cdot e^{-\sigma t_1(x-y)}$

$P_1(x,y) = P_r\{$在 $T+2t_1+t_2$ 产生 y 个消息$\mid$有 x 个终端处于等候状态$\} = \binom{x}{y}(1-e^{-\sigma(T+2t_1+t_2)})^y e^{-\sigma(T+2t_1+t_2)(x-y)}$

$P_2(x,y) = P_r\{$在 t_1+t_2 产生 y 个消息$\mid$有 x 个终端处于等候状态$\} = \binom{x}{y}(1-e^{-\sigma(t_1+t_2)})^y e^{-\sigma(t_1+t_2)(x-y)}$

若 $\boldsymbol{P}$ 表示一步转移概率矩阵, 则稳态概率为下列线性方程组的解

$$\pi = \pi \boldsymbol{P} \qquad \sum_n \pi_n = 1$$

其信道吞吐量 S 为

$$S = \left(\sum_{n=0}^{M} T p_1(n)\pi_n\right) \Big\Big/ \left(\sum_{n=0}^{M}(t_1 p_0(n) + (T+2t_1+t_2)p_1(n) + (t_1+t_2)p_2(n))\pi_n\right)$$

根据 Little 定律, 经分析推导, BR _ ALOHA 的时延与吞吐量关系(D-S)为

$$D = \frac{M}{S} - \frac{1}{\sigma} + 1$$

4　数值结果及讨论

差分信息需要用 4 个字节表示[3], 加上标识符等, 假定 DIS、ADIS 和 DPS 都为 8 个字节; RP 和消息 T 分别为 6 个字节和 100 个字节. 用消息长度 T 归一化上述参数, 则 $T = 1$、$a = 0.08$、$t_2 = 0.06$. 而 b 取典型值 0.02[9]. BR _ ALOHA 的 S-G 性能如图 5 所示. 当 $G = 0.84$ 时, 其吞吐量 S 达到最大值 0.68. 而对于 B _ ALOHA 和 S _ ALOHA, 当 G 分别为 0.38 和 1 时, 其最大吞吐量分别为 0.62 和 0.36. 由图 5 可见: (1) BR _ ALOHA 和 B _ ALOHA 的 S-G 性能优于 S _ ALOHA. (2) 当 G 较小如小于 0.3 时, 碰撞不会经常发生, B _ ALOHA 的 S-G 性能略好于 BR _ ALOHA; 而当负载较重时, 发送短的预约信号 RP 能有效的缩短碰撞时间, 从而 BR _ ALOHA 的 S-G 性能明显优于 B _ ALOHA. 实际中, 系统工作时的负载都比较重, 因此 BR _ ALOHA 更符合实际需要. (3) 当 G 大于 0.68 时, 理想 TDMA 的 S-G 性能优于 BR _ ALOHA, 否则 BR _ ALOHA 优于理想 TDMA. 从数学统计平均来看, BR _ ALOHA 的数学期望值为 0.330, 理想 TDMA 的数学期望值为 0.333, 所以 BR _ ALOHA 的 S-G 性能非常接近理想 TDMA. 在实际应用中, 因同步等开销, TDMA 的数学期望值肯定小于 0.333, 此时, BR _ ALOHA 的 S-G 性能会优于 TDMA.

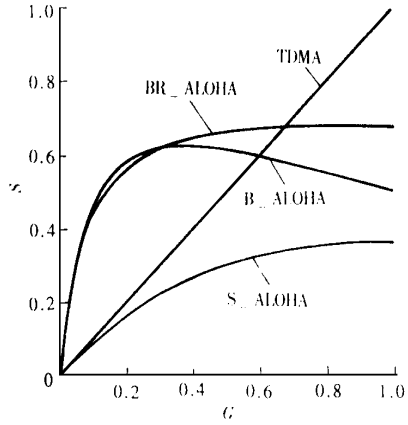


图 5　S-G 性能比较

下面评价它们的 D-S 性能. 从图 6 发现: (1) 当 G 较小即碰撞不会经常发生时, S _ ALOHA 的时延最少; 而当负载较重时, BR _ ALOHA 的时延明显小于 S _ ALOHA. 这是因为发送短的预约信号 BR 有效地缩短了碰撞时间. 相比较, TDMA 的时延总是最大的. 由此看, BR _ ALOHA 更符合要求. (2) 当子站发送数据的概率 p 增大时, 碰撞机会增加, BR _ ALOHA 系统吞吐量的最大值会变小且时延会有所增加, 因此 BR _ ALOHA 适宜突发性通信, 完全满足 AVLS 的第三个特点. (3) 在其他条件不变时, 系统中用户数增加一倍时(如图

7), BR _ ALOHA 的时延有所增加, 而 TDMA 的时延增加更大, 故 TDMA 对系统中的用户数的变化很敏感, 相对而言, BR _ ALOHA 适宜系统中有"潜在"的移动用户即它能容纳更多的用户.

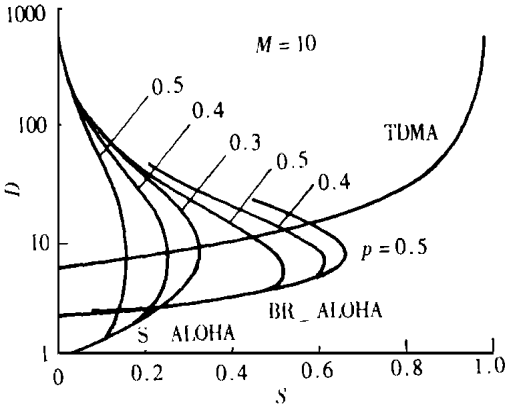


图 6 用户数相同时 *D-S* 性能比较

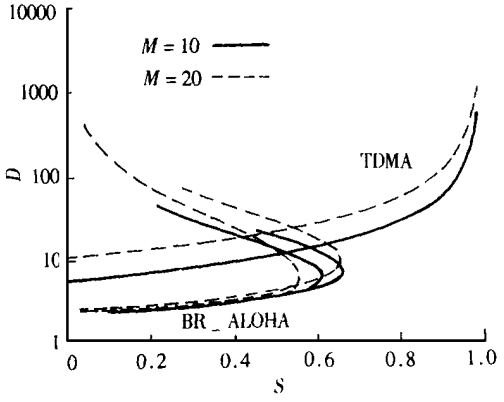


图 7 用户数不同时 *D-S* 性能比较

5 结束语

AVLS集计算机技术、GPS和移动数据通信等于一体, 对它的开发应用正方兴未艾. 本文针对我们开发应用 AVLS 所面临的重要问题, 对 AVLS 和 S _ ALOHA 的特点进行了分析, 改正了 S _ ALOHA 的通信控制策略, 提出了一种竞争型随机多址通信协议——BR _ ALOHA, 分析了其 *S-G* 和 *D-S* 性能, 并与目前 AVLS 所采用的 TDMA 等做了分析比较, 其统计特性优于 TDMA 等. 结果表明 BR _ ALOHA 的集中式通信控制策略、吞吐量负载性能以及时延吞吐量性能很适宜设计大容量高精度 AVLS.

参 考 文 献

1 Bethmann A. Automaticc vehicle location system. Electrical Communication, 1994, (2): 129~ 135

2 Denaro. Utilisation du GPS pour la localisation automatique Vhicules et la gestion des flottes. Navigution, 1991, (3): 33~ 52

3 黄 健. GPS 车辆监控系统的研制: [学位论文]. 北京航空航天大学电子工程系, 1995

4 张学庆. 采用 GPS 定位的车辆运动状态监控方法的研究. 无线电通信技术, 1994, 20(6): 65~ 75

5 王祖林. 基于车辆电台的城市无线 GPS 数据传输网络. 遥测遥控, 1996, 17(2): 16~ 21

6 Rom Raphael, Moshe Sidi. Multiple access protocols: performance and analysis. New York; [s. n], 1991

7 Hunter Tom. Vehicle navigation using differential GPS. Vehicle Navigation and information systems confrene, 1990. 392~ 398

8 Papoulis A. Probability, Random Variables, and Stochastic Processes. New York: McGraw-Hill, 1984

9 Kleinrock L, Lan S S. Packer switching in a multiaccess broadcast channel: performance evaluation. IEEE Trans on Commun, 1975, 23(4): 410~ 422

Data Link Design for Automatic Vehicle Location System with High Capacity and Precision

Wu Shaochun Li Xianliang Zhang Qishan

(Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Dept. of Electronic Engineering)

Abstract The present automatic vehicle location system (AVLS) has some defaults such as smaller capacity, alarm collision and lower precision etc. Based on the characteristic analysis of AVLS and slot ALOHA (S _ ALOHA), a new method of data link design, which is called Broadcast Reserved ALOHA (BR _ ALOHA), is proposed in this paper, consequently the base station broadcasts differential GPS(DGPS) information, and mobile users transmit their location information reservely, and smooth GPS receiver's noise. It has been shown that BR _ ALOHA is satisfied with the design for AVLS with high capacity and precision by its centralized communication scheme, the throughput versus offered load and throughput versus delay performance.

Key words locate systems; mobile communication; data transmit; GPS; DGPS; AVLS