

## 车载动中通阴影信道自适应突发控制

熊雄<sup>1</sup>, 贾维敏<sup>2</sup>, 张峰干<sup>2</sup>, 李卓群<sup>2</sup>

(1. 中国空气动力研究与发展中心, 四川 绵阳 621000; 2. 第二炮兵工程大学, 西安 710025)

**摘要:** 针对车载动中通阴影信道中系统通信存在的问题与不足, 根据动中通信道特点, 分析动中通信道中传输效率偏低的原因, 提出了基于突发通信的自适应控制算法。根据对阴影信道的分析, 得出原有传输方法适用性差的结论。通过引入发送帧数自适应算法, 改善了阴影信道的高丢包率, 提高了通信效率。实验结果说明: 自适应的阴影信道突发控制能够有效降低丢包率, 提高信道通信效率。

**关键词:** 动中通; 阴影信道; 突发控制; 自适应

**中图分类号:** TP202+.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2015)07-0048-04

## Self-Adaptive Burst Control for Shadow Channels of Vehicle-Mounted SOTM

XIONG Xiong<sup>1</sup>, JIA Wei-min<sup>2</sup>, ZHANG Feng-gan<sup>2</sup>, LI Zhuo-qun<sup>2</sup>

(1. China Aerodynamics Research and Development Center, Mianyang 621000, China;

2. The Second Artillery Engineering University, Xi'an 710025, China)

**Abstract:** In view of the existing problems and shortcomings of system communication in the shadow channel of vehicle-mounted Sat-com on the move (SOTM), based on the characteristics of SOTM channel, the reason for low transmission efficiency in the channel is analyzed, and an algorithm of self-adaptive control based on burst communication is put forward. According to the analysis of shadow channel, it is concluded that the original transmission method is of poor adaptability. By introducing a frame-number self-adaptive algorithm, the high packet loss rate of shadow channel is decreased, and the communication efficiency is increased. The experimental results show that self-adaptive burst control for shadow channel is able to effectively decrease the packet loss rate and improve the efficiency of channel communication.

**Key words:** Sat-com on the move; shadow channel; burst control; self-adaptive

### 0 引言

随着通信技术的高速发展, 卫星通信逐渐成为一种主流方式, 而由于作战实际需要, 移动卫星通信走上历史舞台, 动中通作为移动卫星通信系统中的特殊一员, 因其较高的便携性和通信实时性闻名于世, 然而车载动中通系统由于其信道特点, 在使用原有传输方法时, 通信可靠性并不高<sup>[1]</sup>, 特别是在动中通系统走入阴影之后, 由于系统不能识别阴影, 因此在发送信息帧的过程中会有大量信息不能通过阴影, 造成较大的丢包

率<sup>[2]</sup>, 本文通过引入突发控制的自适应算法, 根据当前阴影情况自动调节发送的帧数, 以达到能在完全遮挡中不发送信息, 在部分阴影中根据当前阴影情况自适应调整发送信息数的目的。

### 1 阴影信道中车载动中通通信存在问题

车载动中通不同于机载以及船载动中通, 它最大的特点是阴影不可预测性<sup>[3]</sup>, 通信设备不能预测阴影信息来调整下一时刻的发送方法, 因此, 几乎目前所有车载动中通都使用固定帧数的传输模式, 通信设备只能根据当前的带宽来调整发送速率, 因此在阴影较为密集的地方, 该种传输方式会造成大量的丢包, 浪费了丰富的通信资源<sup>[4]</sup>, 特别是在传输重要信息时, 不能达到较高的通信可靠度<sup>[5]</sup>。

下面根据实验室实验数据分析原有传输方法的缺

收稿日期: 2014-07-18

修回日期: 2014-09-09

基金项目: 国家自然科学基金(61179005, 61179004)

作者简介: 熊雄(1990—), 男, 四川绵阳人, 硕士生, 研究方向为宽带移动卫星通信与智能天线技术。

陷,通信过程信号质量如图1所示。

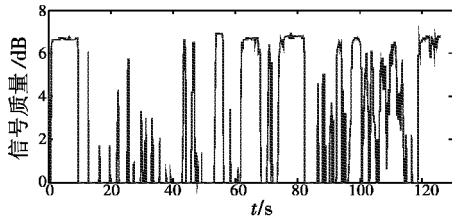


图1 阴影环境通信过程信号质量  
Fig. 1 Signal quality of communication in blockage environment

由图1中的曲线可知,当前通信环境的阴影率大约为73%,也就是说,此次实验过程中,信道多数处于阻塞状态,如果仅仅按照固定帧数的方式通信会造成大约73%的丢包率。如图2所示,带宽利用率和丢包率都是随着固定帧数的增加而增加,带宽利用率会达到27%的最大值,这也是由73%的阴影率造成的,当帧数设定为较小值时,丢包率也不能下降到一个很低的值,这是由车载动中通阴影不可预测性造成的,这就决定了这种较为死板的通信方案对于动中通阴影信道的不实用性。

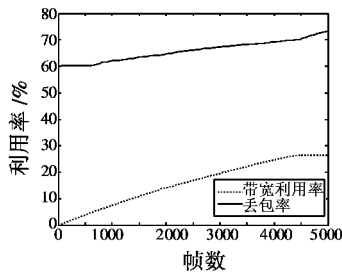


图2 带宽利用率以及丢包率与发送帧数的关系  
Fig. 2 Bandwidth availability ratio and packet loss rate vs frame number

## 2 阴影信道突发控制自适应算法

在直升机载动中通系统中,由于存在旋翼阴影,发送信号可能被旋翼阻挡反射产生不必要的信号干扰,因此在通信系统的设计中会根据旋翼的速度,动态调节信号发送周期,以达到信号能够在非遮挡的时隙处被快速发送的目的,这也被称为动中通的突发通信。根据直升机载动中通的这个传输特点,本文提出了车载动中通阴影信道突发控制自适应算法。

### 2.1 突发控制数据帧结构

根据不同的成帧方式,可以将突发帧的结构分为以下两类。

#### 2.1.1 固定帧头的突发帧结构

如图3所示,一个发送的突发帧由突发同步头字段和不固定长度的业务数据部分组成。512个01序

列加入突发帧的头部用以实现突发帧的同步以及捕获,64个独特字段加入突发帧头部用以实现特殊的传输功能,可以用来标识当前帧的类型以及对业务数据的描述。业务数据的长度选择主要根据当前阴影状态以及需要传输的数据类型来确定。

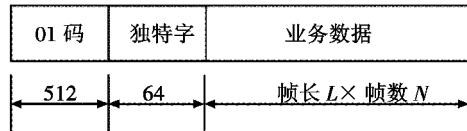


图3 固定帧头的突发帧结构  
Fig. 3 Burst frame structure of fixed header

#### 2.1.2 非固定帧头的突发帧结构

车载动中通工作环境更为复杂,特别是阴影环境,所以在突发帧组装过程中极有可能存在与发送时候不能匹配的阴影,如果仍然采用固定帧头的帧结构,此时发送会导致整个突发帧不能传输并被丢弃,极其浪费资源,因此要采用非固定帧头的突发帧结构,见图4。

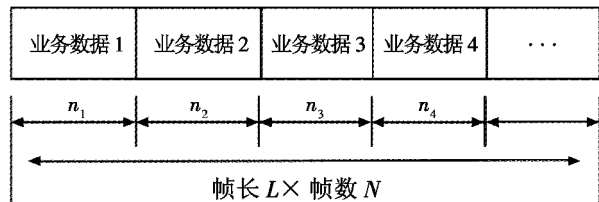


图4 非固定帧头的突发帧结构  
Fig. 4 Burst frame structure of unfixed header

### 2.2 突发控制算法

通过对一系列实验数据分析可知,并不是发送帧数越大,通信效率就越高,也不是发送帧数越小,通信效率就越高,而是当发送帧数与当前阴影相匹配时,通信效率较高。

因此,在自适应算法中,就是在每个发送周期动态调整发送帧数,并使其接近参考值。本文选择的参考值为每个发送周期发送成功帧数的平均值。动态调整过程为

$$N_{i+1} = N_i + \lfloor \alpha \cdot (mean(M_1:M_i) - N_i) \rfloor \quad (1)$$

式中: $N_i$ 表示当前时刻发送的帧数; $N_{i+1}$ 表示优化值; $M_i$ 表示当前时刻发送成功的帧数; $\lfloor \cdot \rfloor$ 表示向下取整; $mean(\cdot)$ 表示对括号内数据求平均值;通过改变 $\alpha$ 可以调整自适应速度。

如果连续两个时刻,阴影时隙都为0则代表当前处于完全遮挡环境,此时应当将发送帧数调整为0,防止不必要的帧丢失。

通过实验数据可知,当固定帧数与当前信道的平均阴影率相适应时,丢包率以及带宽利用率的综合值最优,因此,此自适应算法,应当达到以下效果:将传输

帧数控制在最优值附近,并根据信号质量判定当前是否为全遮挡环境,流程如图5所示。表1表示在不使用自适应算法以及使用自适应算法的情况下,不同发送帧数初始值对应的丢包率。

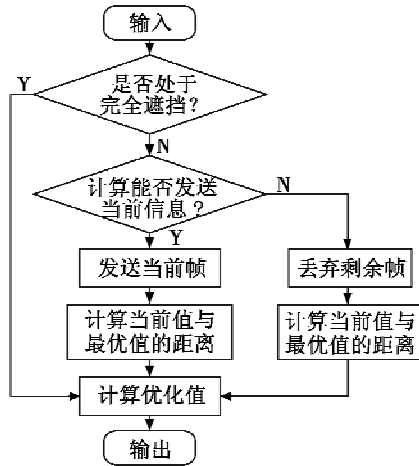


图5 自适应算法流程图  
Fig.5 Flow chart of self-adaptive algorithm

表1 原算法与自适应算法丢包率比较  
Table 1 The comparison of packet loss rate

发送帧数初始值	5	50	100	500	5000
非自适应丢包率/%	60.3	60.3	60.3	60.3	74.1
自适应丢包率/%	35.9	35.9	35.8	35.7	34.8

从表1数据可以看出,随着发送帧数初始值的增加,非自适应算法的丢包率呈现上升趋势,上升过程主要发生在500~5000帧之间,然而在加入自适应算法之后,丢包率明显下降,到达一个较为满意的水平。

### 3 实验结果分析

根据实验室相关实验数据,为了验证本文描述的自适应算法的可靠性,本文将通信情况分为无阴影环境、部分阴影环境、全遮挡环境3种环境。

通过实验可知,当发送固定帧数与当前阴影率相匹配的时候,当前通信效率最优。

$$\eta = R_b \times (1 - R_d) \quad (2)$$

式中: $\eta$ 表示通信效率,其值将作为实验效用评估的重要参数; $R_b, R_d$ 分别表示带宽利用率和丢包率。

#### 3.1 无阴影环境

图6所示为无阴影环境中的信号质量,可看出全时段处于可以通信状态,两种算法的丢包率如表2所示。

表2 无阴影环境丢包率比较

Table 2 Comparison of packet loss rate in the non-block situation

发送帧数初始值	5	50	100	500	5000
非自适应丢包率/%	0	0	0	0	0
自适应丢包率/%	0	0	0	0	0

为了验证突发控制自适应算法的适用性,本文采用的第一个实验环境为无阴影开阔地带,从表2数据可以看出,不论发送帧数的初始值设置为5~5000帧中的任何值,两种算法的丢包率都为0,这就说明自适应算法应用于无阴影的情况不会产生误判。

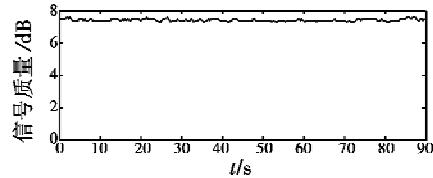


图6 无阴影环境信号质量

Fig.6 Signal quality in the non-block situation

在无阴影环境中,非自适应算法的通信效率与发送帧数成正比关系,如图7所示,而自适应算法能够根据当前阴影率进行帧数调整,因此,此类环境中自适应算法通信效率更优。

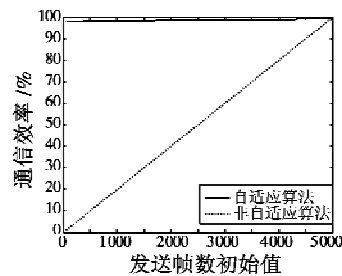


图7 无阴影条件通信效率比较

Fig.7 Communication efficiency in non-block situation

#### 3.2 部分阴影环境

图8是当行车进入部分阴影情况之后的信号质量,两种算法的丢包率如表3所示。

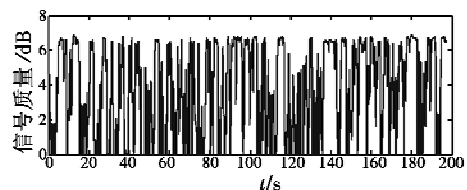


图8 部分阴影环境信号质量

Fig.8 Signal quality in shadow situation

表3 部分阴影环境丢包率比较

Table 3 Comparison of packet loss rate in shadow situation

发送帧数初始值	5	50	100	500	5000
非自适应丢包率/%	49.2	53.4	60.9	66.5	66.5
自适应丢包率/%	52.2	52.6	53.2	53.6	53.6

为了验证突发控制自适应算法的适用性,本文采用的第2个实验环境为部分阴影树荫遮挡,从表3中数据可以看出,发送帧数初始值为较小值时,原算法的丢包率还低于自适应算法,这也是由于原算法不会动态调节发送帧数,不能灵活适当前信道状态。由理论分析可

知,初始值为较小值时,原算法的带宽利用率小于自适应算法,然而随着发送帧数初始值的增大,自适应算法丢包率维持在一个稳定值,原算法丢包率呈上升趋势,达到稳定之后,自适应算法的丢包率低于原算法的13%。这就说明,在部分阴影的阴影信息不可预知的情况下,自适应算法能够通过前方阴影的均值来调整当前传输方案,能够明显降低通信过程的丢包率。

从图9中可以看出,非自适应算法的通信效率随着发送帧数初始值的变化更为显著。(1200,6)是两条曲线的交点,当帧数小于1200时,自适应算法的通信效率明显高于非自适应算法,虽然帧数较大时,自适应算法的通信效率不如非自适应算法,但是,自适应算法减小了13%的丢包率,在发送资源较少的情况下,或者发送信息较为重要时,利用自适应算法效果更优。

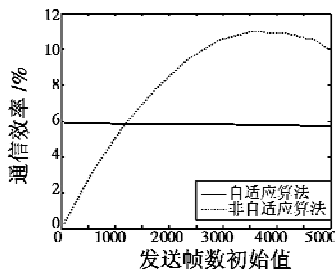


图9 部分阴影条件通信效率比较

Fig.9 Communication efficiency in shadow situation

### 3.3 全遮挡环境

图10所示为当行车由无阴影开阔路面驶入完全遮挡环境(天桥)时的信号质量变化曲线,两种算法的丢包率如表4所示。

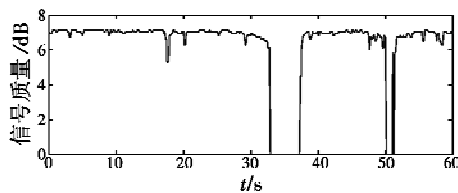


图10 全遮挡环境信号质量

Fig.10 Signal quality in block situation

表4 全遮挡环境丢包率比较

Table 4 Comparison of packet loss rate in block situation

发送帧数初始值	5	50	100	500	5000
非自适应丢包率/%	11.4	12.6	12.6	12.6	12.6
自适应丢包率/%	6.93	6.79	6.79	6.79	6.79

为了验证突发控制自适应算法的适用性,本文采用的第3个实验环境为完全遮挡(天桥),从表4中数据可以看出,发送帧数初始值的变化不能引起两种算法丢包率的明显变化,自适应算法丢包率整体低于原算法丢包率6%左右,能够将丢包率控制在一个合理的水平,根据理论分析,自适应算法应用长遮挡情况时的效果会更加

优秀,因为本文中实验环境总体遮挡时间大约6s左右,不能包含多个发送周期,而在长遮挡情况下,自适应算法能够将发送帧数控制在0,然而原算法不能达到此效果,因此,自适应算法应用于长遮挡环境也能发挥不错的效果。全遮挡条件通信效率比较如图11所示。

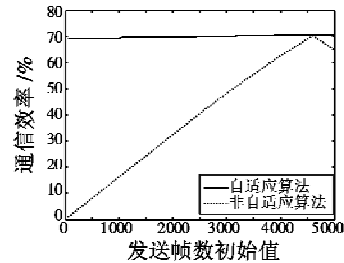


图11 全遮挡条件通信效率比较

Fig.11 Communication efficiency in block situation

当载体进入完全遮挡时,天线发送的信号是不能被卫星接收的,因此这种环境中应当停止发送帧。然而原来的算法不具备帧数动态调整的功能,它只能按照固定的帧数进行发送,自适应算法能够根据当前环境进行帧数调整,在此类环境时,自适应算法更优。

### 4 结束语

本文参考直升机机载动中通突发控制方法,根据车载动中通阴影信道特点,提出了一种突发控制自适应算法,通过调整发送帧数以达到降低丢包率的目的,从而提高通信效率,特别是提高重要信息传输可靠性。最后通过3种实验环境的验证,发现自适应算法在无阴影、全遮挡以及帧数较少的部分阴影环境中表现得都更有优势。但是,此算法还存在一些问题,比如,部分阴影中的丢包率优化效果还不是特别理想,以及在帧数较多的部分阴影环境中通信效率提升不明显,这些问题将在后续的工作中解决。

### 参考文献

[1] 赵建伟,贾维敏,姚敏立,等. 移动卫星通信系统组合姿态估计算法[J]. 西安交通大学学报,2014,48(8): 36-41. (ZHAO J W, JIA W M, YAO M L, et al. An estimation algorithm with integrated attitudes for mobile satellite communication system[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2014,48(8): 36-41.)

[2] 闫林波,贾维敏,姚敏立,等. 基于扩展卡尔曼滤波的动中通低成本姿态估计[J]. 电光与控制,2013,20(7): 53-57. (YAN L B, JIA W M, YAO M L, et al. Low-cost attitude estimation based on extended Kalman filter for satcom-on-the-move[J]. Electronics Optics & Control, 2013,20(7): 53-57.)

飞机参数在内的超过 4 个应用建立同步连接,接收应用注册,对应用实现监控。同时可以对应用的请求进行同步响应以及异步响应,实现预期功能目标。实现环境中对软件的响应要求小于 5 ms,本软件的实际响应时间为 1 ms,达到了预期的性能要求。

在测试过程中,进行故障注入,使不同的功能出现故障,其他功能的运行不会受到影响,恶意的网络攻击会导致应用接口模块的瘫痪,但是该故障不会蔓延到航电数据访问模块;应用之间访问不同的数据,实现不同的数据操作,AIA 能够识别出不合法的应用以及错误的访问。

## 5 结语

本软件的设计,通过定义和实现 AIDCP 协议以及动态访问控制模型,实现了机载网络环境下航电数据的安全分发功能,并且达到了增加系统的灵活性和扩展性,减少系统的复杂度,提高系统的集成化的目的。AIDCP 协议采用 XML 语言描述,不需要专门的客户端软件,不受应用端驻留平台及编程语言的限制,实现了对分布式异构平台环境的支持,保证了系统的开放性,

节省了系统资源。本应用已在某大型民机项目的原理样机上实现,完成了系统功能的集成,达到了功能和性能要求。

## 参 考 文 献

- [1] Air Transport Association. ATA specification 100 specification for manufacturers' technical data [S]. [S. l.]: ATA, 1999.
  - [2] SAE. ARINC 763 Network server system (NSS) [S]. [S. l.]: ARINC, 2004.
  - [3] SAE. ARINC763A Network server system (NSS) form and fit definition[S][S. l.]: ARINC, 2008.
  - [4] SAE. ARINC 821 Aircraft network server system(NSS) functional definition[S]. [S. l.]: ARINC, 2008.
  - [5] MAHNOUD M S B, LARRIEU N, PIROVANO A, et al. An adaptive security architecture for future aircraft communications [C]//29th Digital Avionics Systems Conference, IEEE, 2010;3. E. 2-1-3. E. 2-16.
  - [6] SAE. ARINC 834-1 Aircraft data interface function (ADIF) [S]. [S. l.]: ARINC, 2009.
- 
- (上接第 51 页)
- [3] 周淑华,徐贵民,张博,等. “动中通”中 TCP 连接“阴影”恢复时间的研究[J]. 计算机工程与应用,2009,45(8):123-124. (ZHOU S H, XU G M, ZHANG B, et al. Study on TCP connection recovery time from link blockage in SOTM [J]. Computer Engineering and Applications, 2009, 45(8):123-124. )
  - [4] 林智慧,李磊民. 星通信的技术发展及应用[J]. 现代电子技术,2007(3):38-39. (LIN Z H, LI L M. Technology development and applications of satellite communications [J]. Modern Electronics Technique, 2007(3): 38-39. )
  - [5] SCALISE S, ERNST H, HARLES G. Measurement and modeling of the land mobile satellite channel at Ku-band[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2008, 57(2):693-703.
- 
- (上接第 60 页)
- [3] 范志良,刘光斌. GLONASS 卫星信号仿真器设计与实现[J]. 无线电工程,2009,39(3):33-36. (FAN Z L, LIU G B. Design and implementation of GLONASS signal simulator[J]. Radio Engineering, 2009, 39(3):33-36. )
  - [4] 侯博,谢杰,范志良,等. 多模卫星信号模拟器设计与实现[J]. 计算机测量与控制,2012,20(1):170-172,176. (HOU B, XIE J, FAN Z L, et al. Design and realization of a GNSS signal simulation[J]. Computer Measurement & Control, 2012, 20(1):170-172, 176. )
  - [5] 罗益鸿. 导航卫星信号模拟器软件设计与实现[D]. 长沙:国防科学技术大学,2008. (LUO Y H. The software design and implementation of navigation satellite signal simulator [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2008. )
  - [6] 刘旭东,赵军祥. 旋转载体多天线对 GPS 卫星可见性分析[J]. 全球定位系统,2009(5):11-14. (LIU X D, ZHAO J X. Analysis of the GPS satellite visibility based on rotating carrier[J]. GNSS World of China, 2009(5):11-14. )
  - [7] 刘丽丽,王可东. 卫星信号模拟器研究现状及其发展趋势[J]. 全球定位系统,2010(3):58-61. (LIU L L, WANG K D. Research status and development tendency of the satellite signal simulator [J]. GNSS World of China, 2010(3):58-61. )
  - [8] KRAUS J D, MARHEFKA R J. 天线[M]. 3 版. 章文勋,译. 北京:电子工业出版社,2004. (KRAUS J D, MARHEFKA R J. Antennas: for all applications [M]. 3rd ed. Translated by ZHANG W X. Beijing:Publishing House of Electronics Industry, 2004. )
  - [9] 刘旭东,赵军祥. 载体旋转条件下 GPS 中频信号生成方法[J]. 飞行器测控学报,2009(28):91-94. (LIU X D, ZHAO J X. A generation method of GPS if signal under carrier rotating conditions [J]. Journal Spacecraft TT&C Technology, 2009(28):91-94. )