

DOI: 10.3724/SP.J.1219.2012.00446

自适应帧长高级在轨系统帧同步方案仿真研究

毕明雪^{1,2}, 潘成胜³, 田野²

(1. 南京理工大学自动化学院, 江苏 南京 210094; 2. 沈阳理工大学装备工程学院, 辽宁 沈阳 110159;
3. 大连大学信息工程学院, 辽宁 大连 116622)

摘要: 以提高自适应帧长高级在轨系统(AOS)的帧同步性能为目的, 提出一种综合考虑与信道误码有关的虚漏概率和与附加同步标记(ASM)码型有关的虚警概率来实现帧同步的综合帧同步方案. 分析推导并仿真验证了综合帧同步性能公式, 得出相应的帧同步仿真参数. 最后, 对综合帧同步方案和已有的基本帧同步方案的帧同步性能进行仿真比较. 结果表明, 综合帧同步方案的帧同步性能明显优于基本帧同步方案.

关键词: 高级在轨系统; 虚漏概率; 虚警概率; 帧同步; 帧失步

中图分类号: TN919

文献标识码: A

文章编号: 1002-0411(2012)-04-0446-08

Simulation and Research of Frame Synchronization Scheme for Adaptive Frame Length AOS

BI Mingxue^{1,2}, PAN Chengsheng³, TIAN Ye²

(1. School of Automation, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China;
2. School of Equipment Engineering, Shenyang Ligong University, Shenyang 110159, China;
3. Information and Engineering College, Dalian University, Dalian 116622, China)

Abstract: In order to improve the performance of frame synchronization in adaptive frame length advanced orbiting system (AOS), a scheme of synthetical frame synchronization is proposed. In this synthetical scheme, the probability of false loss relating to the bit error rate and the probability of false alarm relating to the model of attached sync maker (ASM) are considered synthetically. Then the performance formulas of synthetical frame synchronization are given and analyzed to obtain the relevant frame synchronization parameters. At last, the performances of the synthetical frame synchronization scheme and the basic frame synchronization scheme are simulated and compared. The results show that performance of the synthetical frame synchronization scheme precedes the basic frame synchronization scheme markedly.

Keywords: advanced orbiting system (AOS); probability of false loss; probability of false alarm; frame synchronization; frame synchronization loss

1 引言 (Introduction)

帧同步技术通过检测帧同步标识将比特码序列中的传输帧正确提取出来, 确保后方处理数据的可靠性. 帧同步的好坏直接影响整个通信系统的性能. 20 世纪 50 年代至今, 各研究机构和学者对帧同步技术进行大量的研究并取得一系列的研究成果. 主要包括帧同步方案、帧同步码型选取标准、帧同步码搜捕算法及特定系统的帧同步设计和性能优化等^[1-7]. 本文主要针对自适应帧长高级在轨系统(AOS)的帧同步方案进行研究.

与一般通信系统相同, AOS 空间业务数据序

列也是以传输帧为可识别单位, 逐帧顺序传输. AOS 规定发送端每一传输帧起始处放置长度 N_{ASM} (单位: bit) 的附加同步标记(ASM)作为传输帧开始标识, 接收端通过检测接收串行比特序列中的 ASM 来实现帧同步^[8]. 传统 AOS 的传输帧长度固定, 优点是传输简单可靠且便于帧同步. 为了提高 AOS 吞吐量性能, 文 [9] 将无线通信的自适应帧长技术引入 AOS, 提出自适应帧长的 AOS, 但帧长可变性增加了系统帧同步的难度. 因此, 在国际电信同盟建议的帧同步方案的基础上, 文 [9] 设计了一种适用于自适应帧长 AOS 的基本帧同步方案, 在不降低系统吞吐量的前提下很好地实现帧同步. 其设计思想

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60802031, 61101116); 轨道交通控制与安全国家重点实验室(北京交通大学)开放课题资助项目(RCS2009K008).

通讯作者: 毕明雪, bmx418@163.com 收稿/录用/修回: 2011-05-23/2011-07-01/2012-06-19

是逐比特搜索数据序列的 ASM 信息, 搜索到 ASM 后, 则逐帧校核 ASM 以确定和保持帧同步. 基本帧同步方案能够很好地实现帧同步入锁, 但帧同步保持和失步判定只考虑与信道误码有关的虚漏概率影响, 其中帧长度标识 (frame length marker, FLM) 误码严重影响其帧同步保持性能. 针对该问题, 本文提出一种综合帧同步方案, 利用 AOS 中具有优异相关性能的 ASM 码型来延长帧同步时间, 提高自适应帧长系统的帧同步性能.

2 综合帧同步方案设计 (Design of synthetic frame synchronization scheme)

AOS 传输帧串行比特序列如图 1 所示. 传输帧 (长度为 N_f) 起始处放置长度为 N_{ASM} 的 ASM, 传输帧主导头中包含 N_{FLM} 的 FLM. 与基本帧同步方案不同, 综合帧同步方案的设计思想是逐比特搜索和比对数据序列中的 ASM 信息, 搜索到 ASM 后, 仍要求逐比特校核 ASM 以锁定和保持帧同步. 综合帧同步方案包含 4 个基本状态.

- 1) 同步搜索状态 SS: 数据接收起始时刻或帧失步时刻, 系统将接收的数据序列与 ASM 比特图案进行相关运算, 逐比特搜索 ASM 的状态.
- 2) 同步校核状态 SC: 系统读取 FLM 中传输帧长度信息, 并根据该信息逐比特搜索至下一帧起始处, 校核该处是否存在 ASM, 进行校核计数的状态.
- 3) 同步锁定状态 SL: 系统锁定帧同步, 开始处理传输帧数据, 并继续逐比特校核 ASM 的状态.
- 4) 同步保持状态 SH: 系统读取 FLM 中传输帧长度信息, 并根据该信息逐比特搜索至下一帧起始处, 校核该处是否丢失 ASM, 进行保护计数的状态.

帧同步过程是针对串行比特序列进行的, 故逐比特搜索或校核到非指定位置处存在 ASM (可能为虚警 ASM, 也可能为真 ASM) 时, 即认为该处为虚警 ASM, 计数器清零, 系统进入 SS 状态.

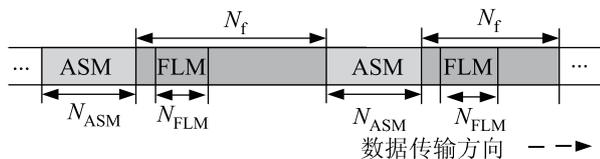


图 1 AOS 传输帧串行比特序列

Fig.1 Serial bit sequence of AOS transmission frame

2.1 综合帧同步搜索及校核过程

综合帧同步方案的帧同步搜索及校核过程如图 2 所示. 系统一旦搜索到 ASM, 则由 SS 状态进入

SC 状态. SC 状态中, 系统读取 FLM 中传输帧长度信息, 继续逐比特搜索 ASM. 在到达下一帧的起始位置前, 若发现另一个 ASM 比特图案则抛弃上一个 ASM, 校核计数器重新计数; 否则, 将逐比特搜索至下一帧的起始位置, 若该位置未发现 ASM (上一帧存在虚警 ASM 或 FLM 误码), 则认为之前搜索到的为虚警 ASM, 返回 SS 状态, 校核计数器清零, 继续逐比特搜索, 直到搜索到 ASM. SC 状态中, 若连续 $a-1$ 帧的起始位置均校核到 ASM, 则系统进入 SL 状态. 帧同步搜索及校核过程所经历的时间定义为帧同步入锁时间. 显然, 综合方案的帧同步搜索过程与基本方案相同, 帧同步校核过程不同. 为保证进入 SL 状态的精确性, 综合方案的帧同步校核过程考虑 ASM 和 FLM 两者的影响.



图 2 帧同步搜索及校核过程示意图

Fig.2 Sketch map of frame sync hunting and checking process

2.2 综合帧同步锁定及保持过程

综合帧同步方案的帧同步锁定及保持过程如图 3 所示. 该过程可分为 2 种情况: (1) 帧同步锁定及保持过程中未校核到虚警 ASM 时, 考虑到接收的传输帧数据流中 ASM 及 FLM 可能受外界干扰而存在误码, 当校核出一帧丢失 ASM 时, 系统进入 SH 状态. SH 状态中, 若 FLM 发生错误, 根据其错误信息在下一帧起始处则校核不到 ASM, 系统将校核, 直到校核到 ASM, 并根据相邻的两个 ASM 来提取帧长度信息 N_f , 若 N_f 属于指定的传输帧长度集合, 则对传输帧数据进行处理. 即仅有 FLM 误码, 而未发生 ASM 虚漏和虚警时, 不会导致帧失步. SH 状态中, 连续 $b-1$ 帧都虚漏掉 ASM 时, 系统才确认失去帧同步, 停止处理传输帧数据, 进入 SS 状态. 否则, 返回 SL 状态. (2) 帧同步锁定及保持过程中, 系统一旦校核到非指定位置处存在 ASM, 则认为该处为虚警 ASM, 立即进入 SS 状态.

显然, 不考虑滑码影响时, 帧同步保持过程可分为由 FLM 误码及 ASM 虚漏同时引起的帧同步保持过程 1 和仅由 ASM 虚漏引起的帧同步保持过程 2, 分别如图 4(a) 和 4(b) 所示.

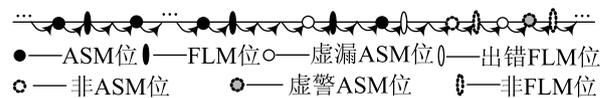


图 3 帧同步锁定及保持过程示意图

Fig.3 Sketch map of frame sync locking and holding process

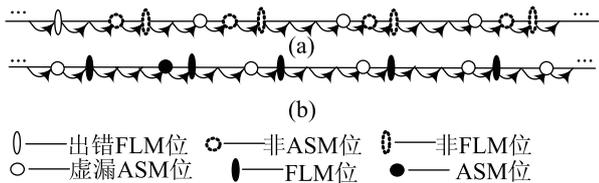


图4 帧同步保持过程示意图

Fig.4 Sketch map of frame sync holding process

帧同步保持过程1中, ASM虚漏和FLM误码同时发生, FLM所指定的下一帧起始处不存在真正的ASM, 即ASM虚漏和FLM误码同时导致的ASM丢失为真丢失, 所处理的传输帧数据为错误的. 因此, 将帧同步保持过程1经历的时间定义为帧失步确认时间, 与帧同步入锁时间一起定义为帧失步持续时间. 帧同步保持过程2中, 仅由ASM虚漏导致的ASM的丢失为假丢失, 所处理的传输帧数据为正确的. 因此, 将帧同步保持过程2经历的时间与帧同步锁定时间一起定义为帧同步持续时间.

3 综合帧同步方案性能分析 (Performance analysis of synthetical frame synchronization scheme)

3.1 虚漏概率和虚警概率分析

综合帧同步方案中ASM虚漏和FLM误码都将导致帧同步虚漏. 因此, 将总虚漏概率 P_{FL} 分别定义为由FLM误码导致的虚漏概率 $P_{FL,FLM}$ 和由ASM误码导致的虚漏概率 $P_{FL,ASM}$.

$$P_{FL,FLM} = 1 - (1-r)^{N_{FLM}} \quad (1)$$

$$P_{FL,ASM} = 1 - \sum_{i=0}^M C_{N_{ASM}}^i (1-r)^{N_{ASM}-i} r^i \quad (2)$$

$$P_{FL} = 1 - (1 - P_{FL,FLM})(1 - P_{FL,ASM}) \\ = 1 - (1-r)^{N_{FLM}} \sum_{i=0}^M C_{N_{ASM}}^i (1-r)^{N_{ASM}-i} r^i \quad (3)$$

ASM虚警概率 $P_{FA,ASM}$ 表示为

$$P_{FA,ASM} = \left(\frac{1}{2}\right)^{N_{ASM}} \sum_{i=0}^M C_{N_{ASM}}^i \quad (4)$$

其中, M (单位: bit) 为综合帧同步方案中虚漏概率和虚警概率的误码容忍, r 为信道的误比特率.

当 $N_{ASM} = 32$ bit, $N_{FLM} = 2$ bit时, 虚漏概率和虚警概率的数值分析结果分别如图5和图6所示.

结合虚漏概率公式和图5可以看出, $P_{FL,FLM}$ 与FLM和 r 有关. 当 $r < 10^{-1}$ 时, $P_{FL,FLM}$ 与 r 接近于成正比关系 $P_{FL,FLM} \approx N_{FLM}r$. $P_{FL,FLM}$ 的存在大大降低了基本帧同步方案的帧同步性能. $P_{FL,ASM}$ 与ASM

码型和 r 有关, ASM码型固定后, $P_{FL,ASM}$ 随 r 的增大而增大. 但适当增加 M 值的选取, 可以有效地减小 $P_{FL,ASM}$, 如 $r = 10^{-3}$ 时, $M=2$ 的 $P_{FL,ASM}$ 相比于 $M=0$ 时的 $P_{FL,ASM}$ 减小了近 10^4 倍. 同理, 通过选取较大的 M 值, 也可以降低 P_{FL} , 但由于 $P_{FL,FLM}$ 的作用, P_{FL} 的降低幅度较小. 当 $r = 10^{-3}$ 时, 设置 $M=2$, P_{FL} 仅减小了近15倍. 且 $M \geq 2$ 时, P_{FL} 随 M 值的变化不再明显. 结合式(4)和图6可以看出, $P_{FA,ASM}$ 与ASM码型和 M 有关, 与 r 无关. $P_{FA,ASM}$ 随 M 值减小而降低, 当 $M \leq 4$ 时, $P_{FA,ASM} \leq 10^{-5}$. 因此, 为避免接收的比特序列中频繁出现虚警ASM, 即降低 $P_{FA,ASM}$, M 应选取较小值. 综合来看, 综合帧同步方案中选取 $M=2$, 此时 $P_{FA,ASM} \approx 10^{-7}$.

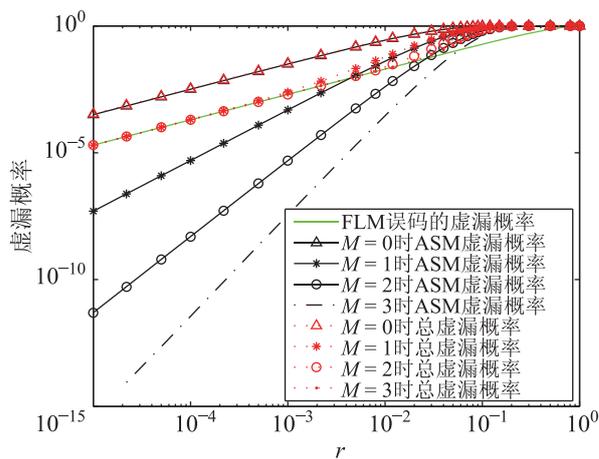


图5 虚漏概率

Fig.5 Probability of false loss

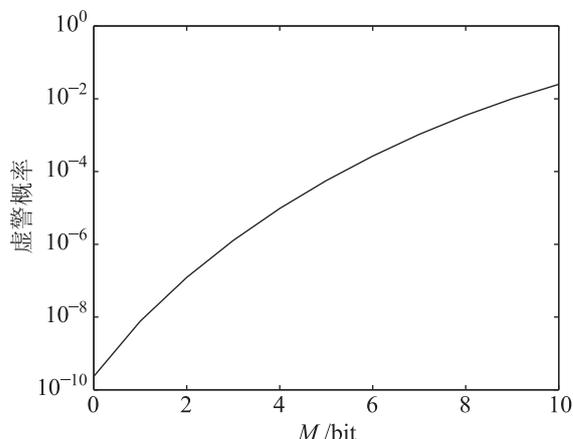


图6 虚警概率

Fig.6 Probability of false alarm

3.2 综合帧同步方案性能分析

假设综合帧同步方案中帧同步搜索是从某一帧任一比特位开始的, 则经过 k 比特比较 ($k = 1, 2, \dots, N_f$), 刚好搜索到ASM (前 $k-1$ 比特都未搜索

到虚警 ASM, 第 k 比特未发生虚漏) 的概率为

$$P_k = \frac{(1 - P_{FA_ASM})^{k-1} (1 - P_{FL_ASM})}{N_f} \quad (5)$$

则该帧中未搜索到虚警 ASM, 而搜索到真 ASM 的概率为

$$P_1 = \frac{1 - P_{FL_ASM}}{N_f} \sum_{k=1}^{N_f} (1 - P_{FA_ASM})^{k-1} \quad (6)$$

在传输帧数非常大的前提下, 不妨假设平均传输帧长度为 N bit, 并令

$$P = (1 - P_{FL_FLM})(1 - P_{FL_ASM})(1 - P_{FA_ASM})^N \quad (7)$$

帧同步搜索及校核过程状态转移如图 7 所示.

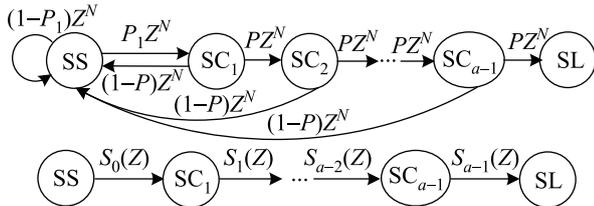


图 7 帧同步搜索及校核的状态转移

Fig.7 State shift of frame sync hunting and checking

图 7 中各状态转移概率的 Z 变换分别为

$$S_0(Z) = P_1 Z^N \sum_{m=0}^{\infty} [(1 - P_1) Z^N]^m = \frac{P_1 Z^N}{1 - (1 - P_1) Z^N} \quad (8)$$

$$S_q(Z) = P Z^N \sum_{m=0}^{\infty} \left[(1 - P) Z^N \prod_{l=0}^{q-1} S_l(Z) \right]^m = \frac{P Z^N}{1 - \prod_{l=0}^{q-1} S_l(Z) (1 - P) Z^N} \quad (9)$$

其中, $q = 1, 2, \dots, a - 1$. 则平均帧同步入锁时间 T_{U_SEL} (以平均帧长度 N 为单位进行归一化) 为

$$T_{U_SEL} = \frac{1}{N} \left[d \left(\prod_{p=0}^{a-1} S_p(Z) \right) / dZ \right] \Big|_{Z=1} \quad (10)$$

显然, $S_p(Z)|_{Z=1} = 1, p = 0, 1, \dots, a - 1$, 则有

$$T_{U_SEL} = \frac{1}{N} \left[\sum_{p=0}^{a-1} \frac{dS_p(Z)}{dZ} \right] \Big|_{Z=1} \quad (11)$$

$$\frac{dS_0(Z)}{dZ} \Big|_{Z=1} = \frac{N}{P_1} \quad (12)$$

$$\frac{dS_p(Z)}{dZ} \Big|_{Z=1} = \frac{N(1 + P_1 - P)}{P_1 P^p} \quad (13)$$

则归一化的平均帧同步入锁时间 T_{U_SEL} 为

$$T_{U_SEL} = \frac{1}{P_1} + \sum_{p=1}^{a-1} \frac{1 + P_1 - P}{P_1 P^p} = \frac{P_1 - P - P_1 P^{a-1} + 1}{P_1 P^{a-1} (1 - P)} \quad (14)$$

帧同步系统中未发生虚警 ASM, 但同时发生 ASM 虚漏和 FLM 误码时, 系统进入帧同步保持过程 1, 所对应的状态转移流程图如图 8 所示.

虚线框中 SH_1 到 SS 状态转移概率的 Z 变换为

$$S_H(Z) = \sum_{m=0}^{b-3} (P_{FL_ASM} Z^N)^m (1 - P_{FL_ASM}) Z^N + (P_{FL_ASM} Z^N)^{b-2} Z^N = \frac{P_{FL_ASM}^{b-1} Z^{N(b-1)} - P_{FL_ASM}^{b-1} Z^{Nb} - P_{FL_ASM} Z^N + Z^N}{1 - P_{FL_ASM} Z^N} \quad (15)$$

虚线框中经历的平均时间为

$$T_{U_LA1} = \frac{1}{N} \frac{dS_H(Z)}{dZ} \Big|_{Z=1} = \frac{1 - P_{FL_ASM}^{b-1}}{1 - P_{FL_ASM}} \quad (16)$$

则由 ASM 虚漏和 FLM 误码同时引起的平均帧失步确认时间 T_{U_LA} 为

$$T_{U_LA} = (1 - P_{FA_ASM})^{b+1} P_{FL_FLM} P_{FL_ASM} (T_{U_LA1} + 1) = \frac{(1 - P_{FA_ASM})^{b+1} (2 - P_{FL_ASM}^{b-1} - P_{FL_ASM}) P_{FL_FLM} P_{FL_ASM}}{1 - P_{FL_ASM}} \quad (17)$$

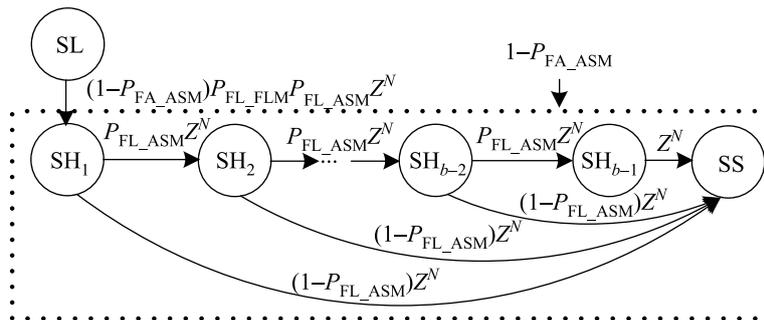


图 8 帧同步保持过程 1 的状态转移

Fig.8 State shift of frame sync holding process 1

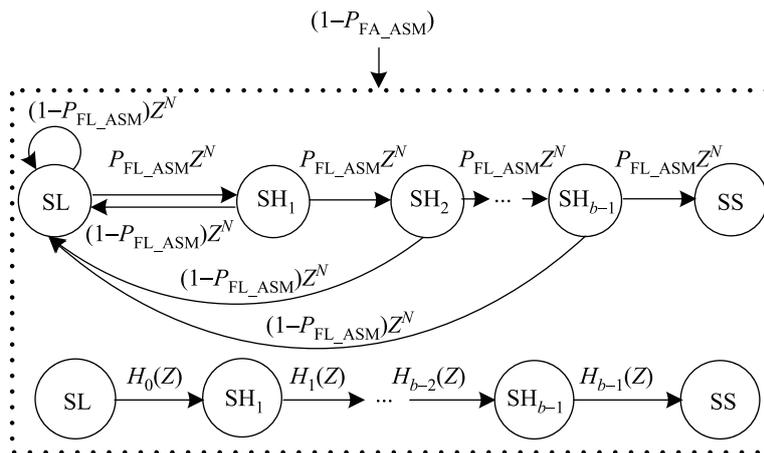


图9 帧同步锁定及保持过程 2 的状态转移

Fig.9 State shift of frame sync locking and holding process 2

综合帧同步方案中,系统始终保持逐位搜索或校核 ASM 的状态,一旦找到符合条件的 ASM 即进行状态更新.故综合帧同步方案中不存在由滑码和虚警 ASM 引起的平均帧失步确认时间,则平均帧失步持续时间 $T_{U,LL}$ 为 $T_{U,SEL}$ 和 $T_{U,LA}$ 之和,即

$$T_{U,LL} = T_{U,SEL} + T_{U,LA} \quad (18)$$

未发生 ASM 虚警的前提下,仅存在 ASM 虚漏时,系统进入帧同步保持过程 2,所对应的综合帧同步锁定及保持状态转移流程图如图 9 所示.

各子状态转移概率的 Z 变换分别为

$$H_0(Z) = \frac{P_{FL_ASM} Z^N}{1 - (1 - P_{FL_ASM}) Z^N} \quad (19)$$

$$H_i(Z) = \frac{P_{FL_ASM} Z^N}{1 - (1 - P_{FL_ASM}) Z^N \prod_{j=0}^{i-1} H_j(Z)} \quad (20)$$

其中, $i = 1, 2, \dots, b-1$.

虚线框中 SL 状态到 SS 状态经历的平均时间为

$$T_{U,SH1} = \frac{1}{N} \left[d \left(\prod_{j=0}^{b-1} H_j(Z) \right) / dZ \right] \Big|_{Z=1} \quad (21)$$

显然, $H_j(Z)|_{Z=1} = 1$, $j = 0, 1, \dots, b-1$. 则有

$$T_{U,SH1} = \frac{1}{N} \left[\sum_{j=0}^{b-1} \frac{dH_j(Z)}{dZ} \right] \Big|_{Z=1} \quad (22)$$

$$\frac{dH_j(Z)}{dZ} \Big|_{Z=1} = \frac{N}{P_{FL_ASM}^{j+1}} \quad (23)$$

$$T_{U,SH1} = \sum_{k=1}^b \frac{1}{P_{FL_ASM}^k} = \frac{1 - P_{FL_ASM}^b}{(1 - P_{FL_ASM}) P_{FL_ASM}^b} \quad (24)$$

ASM 未虚警时,平均帧同步持续时间 $T_{U,SH}$ 为

$$\begin{aligned} T_{U,SH} &= (1 - P_{FA_ASM})^{b+1} T_{U,SH1} \\ &= \frac{(1 - P_{FA_ASM})^{b+1} (1 - P_{FL_ASM}^b)}{(1 - P_{FL_ASM}) P_{FL_ASM}^b} \quad (25) \end{aligned}$$

4 综合帧同步方案性能仿真 (Performance simulation of synthetical frame synchronization scheme)

令 $M=2$, $N=4096$, 其它参数如上文,综合帧同步方案各性能数值分析结果及仿真结果分别如图 10 ~ 15 所示.显然,各帧同步性能的仿真曲线与数值分析曲线非常接近,证明帧同步性能理论公式推导的正确性.

4.1 平均帧同步锁定概率和时间仿真

综合方案的 $T_{U,SEL}$ 随 r 及 a 的变化曲线如图 10 所示.显然, $T_{U,SEL}$ 随 r 的增大而变大,且 a 越大 $T_{U,SEL}$ 增加越快.原因是,逐比特搜索和校核 ASM 过程中, r 和 a 的增大导致 ASM 和 FLM 被频繁漏检,延长了 $T_{U,SEL}$.当 r 较小时, $T_{U,SEL} = a$,即信道条件较好时, $T_{U,SEL}$ 只与 a 有关.因此,从降低 $T_{U,SEL}$ 角度看, a 应取较小值.而信道条件较差时,应适当增大 a 的取值,以保证帧同步入锁的可靠性和处理数据的有效性.综上,选取 $a=2$,即搜索到 ASM 后只需校核一帧即可进入 SL 状态.

4.2 平均帧失步确认时间仿真

综合方案中 $T_{U,LA1}$ 和 $T_{U,LA}$ 随 r 及 b 的变化曲线分别如图 11 和图 12 所示.

由图 11 可以看出, $b=1$ 时, $T_{U,LA1}=0$; $b=2$ 时, $T_{U,LA1}=1$.原因是,若 $b=1$,则不存在图 8 虚线框中的帧同步保持过程 1, $T_{U,LA1}=0$;若 $b=2$,帧同步保持过程只需校核一帧,不论 r 多大,都有

$T_{ULLA1} = 1$. 若 $b \geq 3$, 当 r 较小时, $T_{ULLA1} = 1$, 原因是, 信道条件较好时, P_{FLASM} 较小, 系统在下一帧起始处能够校核到 ASM (系统认为该处为虚警 ASM), 即进入 SS 状态, 故 $T_{ULLA1} = 1$; 而当 $r \geq 10^{-2}$ 时, T_{ULLA1} 随 r 的增大而迅速增大, 直至趋近于 $b-1$, 这是因为, 信道条件较差时, P_{FLASM} 很大, 系统将频繁漏检 ASM, 从而延长了 T_{ULLA1} , 当信道条件非常差时, 连续 $b-1$ 帧起始处的 ASM 都将被漏检, $T_{ULLA1} = b-1$.

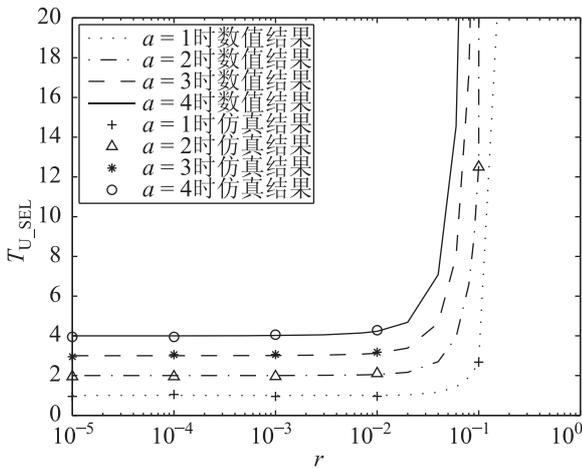


图 10 T_{U_SEL} 的变化曲线
Fig.10 Variation curve of T_{U_SEL}

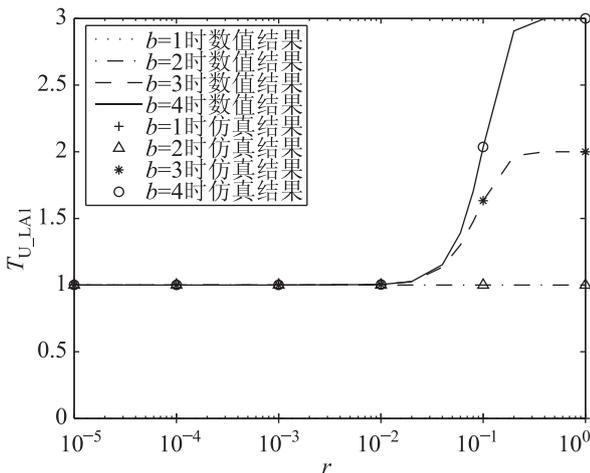


图 11 T_{U_LA1} 的变化曲线
Fig.11 Variation curve of T_{U_LA1}

由图 12 可以看出, r 较小时, T_{ULLA} 趋近于 0, 当 $r \geq 10^{-2}$ 时, T_{ULLA} 随 r 的增大而增大, 直至趋近于 b . 原因是, 信道条件较好时, 系统进入帧同步保持过程 1 的概率 $P = (1 - P_{FAASM})P_{FLASM}P_{FLFLM}$ 非常小, $T_{ULLA} = 0$; 而当信道条件较差时, P_{FLASM} 和 P_{FLFLM} 较大, 增加了 P 并延长了 T_{ULLA} , 当信道条件非常差时, 连续 b 帧的 ASM 都将被漏检, $T_{ULLA} = b$.

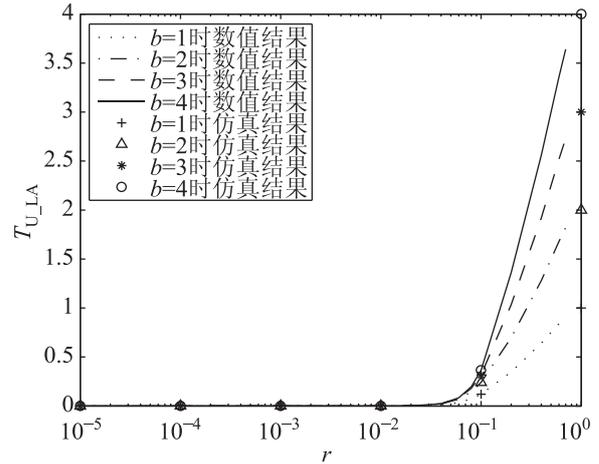


图 12 T_{U_LA} 的变化曲线
Fig.12 Variation curve of T_{U_LA}

4.3 平均帧失步持续时间仿真

$a=2$ 时, 综合帧同步方案的 T_{ULL} 随 r 及 b 的变化曲线如图 13 所示. 结合图 10、图 12 和图 13 可知, 与 T_{U_SEL} 相比, T_{U_LA} 非常小, 故 $T_{ULL} \approx T_{U_SEL}$, 即当信道条件较好时, $T_{ULL} = a = 2$, 当信道条件较差时, T_{ULL} 将趋于无穷大值.

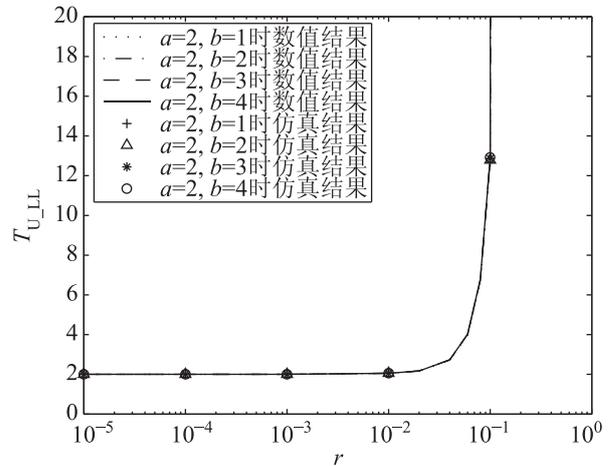
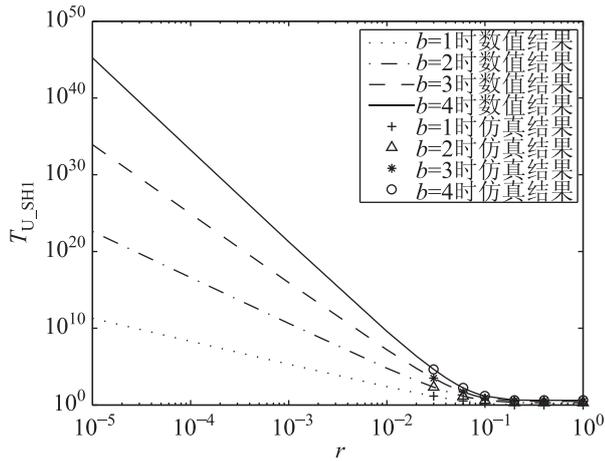
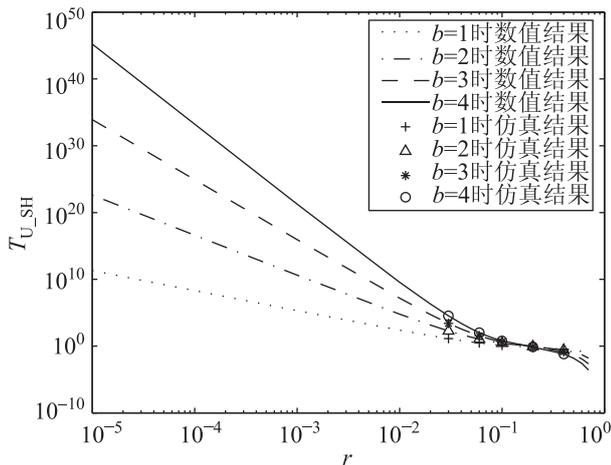


图 13 T_{U_LL} 的变化曲线
Fig.13 Variation curve of T_{U_LL}

4.4 平均帧同步持续时间仿真

综合帧同步方案中 T_{U_SH1} 和 T_{U_SH} 随 r 及 b 的变化曲线分别如图 14 和图 15 所示.

由图 14 可以看出, T_{U_SH1} 随 r 的增大而减小. r 较小时, b 越大, T_{U_SH1} 越大, 随 r 增大, T_{U_SH1} 迅速减小, 直至趋近于 b 值. 原因是, 信道条件较好时, P_{FLASM} 较小, 系统在 FLM 指定的下一帧起始处能够校核到 ASM, 即返回 SL 状态, 故 T_{U_SH1} 很大, 且 b 越大, 保持时间越长, T_{U_SH1} 越大. 而 $r \geq 10^{-2}$ 时, 信道条件较差, P_{FLASM} 很大, 系统将频繁漏检 ASM, 从而减小了 T_{U_SH1} , 当信道条件非常差时, 连续 b 帧起始处的 ASM 都将被漏检, $T_{U_SH1} = b$.

图 14 T_{U_SH1} 的变化曲线Fig.14 Variation curve of T_{U_SH1} 图 15 T_{U_SH} 的变化曲线Fig.15 Variation curve of T_{U_SH}

由图 15 可以看出, T_{U_SH} 随 r 的增大而减小. r 较小时, b 越大, T_{U_SH} 越大, 且 $T_{U_SH} \approx T_{U_SH1}$, 随着 r 增大, T_{U_SH} 迅速减小, 直至趋近于 0. 这是因为导致帧失步的主要原因是由 r 引起的 ASM 虚警、ASM 虚漏及 FLM 误码, 只要连续 b 帧 ASM 校验失败便判断帧失步. 而信道条件较好时, P_{FA_ASM} 、 P_{FL_ASM} 和 P_{FL_FLM} 都非常低, 系统在 FLM 指定的下一帧起始处能够校核到 ASM, 即返回 SL 状态, 故 T_{U_SH} 很大, 且 b 越大, 保持时间越长, T_{U_SH} 越大. 此时, $(1 - P_{FA_ASM})(1 - P_{FL_FLM}) \approx 1$, 故 $T_{U_SH} \approx T_{U_SH1}$. 而当 $r \geq 10^{-2}$ 时, 信道条件较差, P_{FL_FLM} 和 P_{FL_ASM} 很大, 系统将频繁漏检 ASM, 从而减小了 T_{U_SH} , 当信道条件非常差时, $P_{FL_FLM} \approx 1$, T_{U_SH} 接近于 0.

由以上分析可知, 信道条件较好时, 从提高 T_{U_SH} 角度考虑, 应适当增加 b 的取值. 而当信道条件较差时, 为保证该过程中处理数据的可靠性, 应适当减小 b 的取值. 综上, 选取 $b=3$, 即丢失一次 ASM 后校核两帧即可进入 SS 状态.

5 帧同步性能比较 (Performance comparison of frame synchronization)

综合方案与基本方案的帧失步持续时间和帧同步持续时间的比较结果分别如图 16 和图 17 所示. 由图 16 可以看出, 不论信道条件如何, 两种方案帧失步持续时间基本相同. 由图 17 则可以看出, 信道条件较好时, 综合方案的帧同步持续时间要远远大于基本帧同步方案, 仅当 $r \geq 10^{-1}$ 时, 综合方案与基本方案的帧同步持续时间接近, 并最终趋于 0. 平均而言, 综合方案的帧同步持续时间比基本方案提高了近 10^{10} 倍.

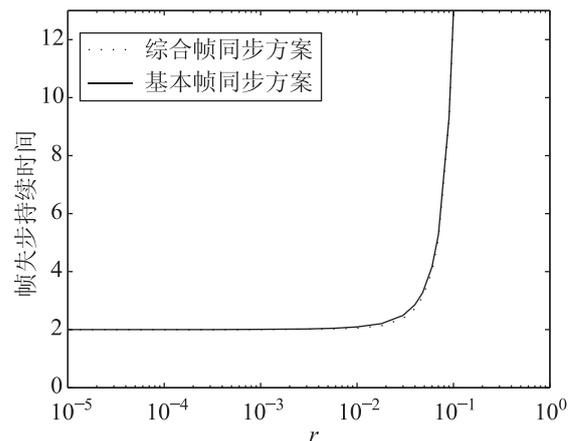


图 16 帧失步持续时间比较

Fig.16 Time comparison of continuing time of frame sync loss

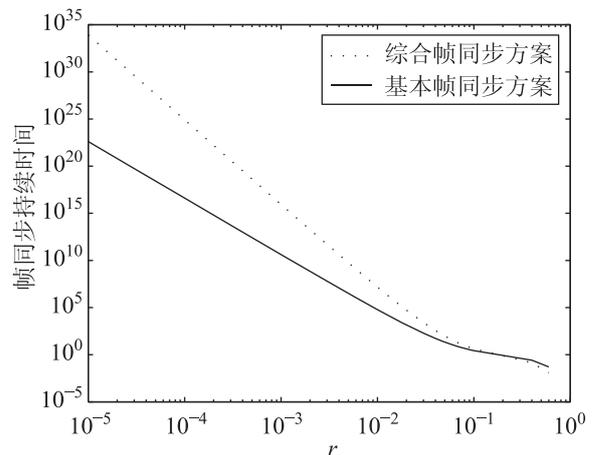


图 17 帧同步持续时间比较

Fig.17 Time comparison of continuing time of frame sync

6 结论 (Conclusion)

平均帧失步持续时间和平均帧同步持续时间是帧同步方案的 2 个重要性能参数, 好的帧同步方案应满足帧失步持续时间较短, 而帧同步持续时间较长. 本文设计的综合帧同步方案能够综合考虑虚警和虚漏对帧同步的影响, 在帧同步搜索和校核过程中, 不会引起帧失步持续时间的增加, 而在帧同步

保持和锁定过程中, 避免了基本方案仅由 FLM 误码而引起的帧失步, 大大提高帧同步持续时间. 因此, 综合帧同步方案能够更好地满足 AOS 高数据率通信的通信需求.

参考文献 (References)

- [1] 邹翊. 卫星通信信道单元关键技术的研究与实现 [D]. 北京: 北京理工大学, 2002.
Zou Y. Research and realization for satellite communications channel unit key technology[D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2002.
- [2] Bastaki E M, Tan H H, Shi Y, et al. Frame synchronization based on multiple frame observations[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2010, 9(3): 1097-1100.
- [3] 范晨, 崔慧娟, 唐昆. 基于最大后验概率的帧同步判决 [J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2003, 43(7): 927-929.
Fan C, Cui H J, Tang K. Maximum a posteriori-based frame synchronization algorithm[J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology, 2003, 43(7): 927-929.
- [4] 沙燕萍, 曾烈光. 高速 SDH 复接器帧同步系统的设计和性能分析 [J]. 通信学报, 2007, 22(9): 104-107.
Sha Y P, Zeng L G. Design and performance analysis for frame synchronization of high speed SDH[J]. Journal of China Institute of Communications, 2007, 22(9): 104-107.
- [5] 刘昭, 金德鹏, 曾烈光. 基于连续性判别的并行帧同步系统 [J]. 电子学报, 2005, 36(7): 79-82.
Liu Z, Jin D P, Zeng L G. Collateral frame synchronization system based on continuous adjudging[J]. Acta Electronica Sinica, 2005, 36(7): 79-82.
- [6] Tascioglu S, Ureten O. A technique to determine number and locations of frame synchronization pilot carriers in pilot-based OFDM systems[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2008, 8(3): 61-64.
- [7] 李玮. 基于 CCSDS 标准的帧同步算法研究及其 FPGA 实现 [D]. 成都: 西南交通大学, 2009.
Li W. The Research on CCSDS-Based Frame Synchronization Algorithms and FPGA Implementation[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2009.
- [8] Consultative Committee for Space Data Systems (CCSDS). CCSDS recommendation for TM synchronization and channel coding [EB/OL]. (2009-12-19)[2010-02-25]. <http://public.ccsds.org/publications/archive/131x0b1.pdf>.
- [9] 毕明雪, 潘成胜, 赵运弢, 等. AOS 自适应帧长传输系统的仿真研究 [J]. 系统仿真学报, 2011, 32(2): 358-362.
Bi M X, Pan C S, Zhao Y T, et al. Simulation research on AOS adaptive frame length systems[J]. Journal of Systems Simulation, 2011, 32(2): 358-362.

作者简介:

毕明雪 (1980-), 女, 博士生, 讲师. 研究领域为空间通信.

潘成胜 (1962-), 男, 博士, 教授, 博士生导师. 研究领域为空间网络协议与通信.

(上接第 445 页)

- [15] 孙磊, 金晓明. 基于子空间辨识的模型预测控制策略及其应用 [J]. 控制理论与应用, 2009, 26(3): 313-315.

Sun L, Jin X M. Model-predictive-control based on subspace identification and its application[J]. Control Theory & Applications, 2009, 26(3): 313-315.

作者简介:

张立 (1979-), 男, 博士生. 研究领域为复杂工业过程建模及预测控制方法.

高宪文 (1955-), 男, 教授, 博士生导师. 研究领域为复杂工业建模与控制, 智能控制理论应用与开发.