

高速跳频通信系统同步技术研究

蒋定顺, 金力军

(西安电子科技大学综合业务网国家重点实验室 西安 710071)

【摘要】同步是跳频通信系统关键技术之一。针对高速跳频通信系统中同步的主要要求,提出了一种高速跳频通信同步的方案,采用同步字头法和时间信息相结合的方法实现跳频同步。研究了系统定时,跳频图案同步,位同步等问题,并对其同步性能进行了分析。同步性能分析结果表明该跳频通信系统的同步时间短、捕获概率高、虚警概率低。

关键词 高速跳频通信; 时间信息; 初始同步; 勤务同步; 虚警概率

中图分类号 TN914.4 文献标识码 A

Research on Synchronization Technique for a High-Speed FH Communication System

JIANG Ding-shun, JIN Li-jun

(National Key Lab. Of Integrated Services Network, Xidian Univ. Xi'an 710071)

Abstract Synchronization is one of the key techniques to frequency-hopping (FH) communication system. Based on the main requests of synchronization for a high-speed FH communication system, this paper puts forward a synchronization scheme of a high-speed FH system, which is achieved by using a method combined synchronization-head with time of day (TOD). This paper mainly studies time of system, synchronization of FH pattern, bit synchronization, and so on. The performance of synchronization shows that the synchronization of FH communication system makes synchronization time short, capture probability high, false probability low.

Key words high-speed frequency-hopping communication; time of day; initial synchronization; service synchronization; false probability

跳频通信是现代通信领域中一种有效的抗干扰通信手段。对于中低速跳频通信形成直接的威胁主要有跟踪式干扰或转发式干扰。能够有效对抗这种干扰措施是提高跳速。这样研究高速跳频通信系统成为了必然。高速跳频通信系统有着良好的保密能力和抗干扰能力,但对其实现带来了一系列的技术难题,如同步、组网问题等。如跳频速率越高,同步技术问题难度越大,因此,同步系统是高速跳频通信的核心。

1 高速跳频同步要求

对高速跳频通信系统的同步要求主要有如下5点^[1]:

- 1) 能自动快速实现同步;
- 2) 同步捕获能力要高,能抗噪声或干扰信号引起的虚假同步,失步后的再同步能力要强;
- 3) 同一网内的跳频电台任何时间入网都可以实现同步,同步不影响信息传输质量;

收稿日期: 2003-06-11

作者简介: 蒋定顺(1977-),男,硕士,主要从事数字通信与信号处理、扩频通信方面的研究;金力军(1944-),女,教授,主要从事无线通信方面的研究。

- 4) 同步用的频率必须随机分布, 对方难以捕获和跟踪, 抗干扰能力强;
- 5) 在短时无线电寂静后, 同步能迅速再建立。

2 同步方法与时间信息格式

2.1 跳频同步方法

跳频同步的关键是跳频图案同步。跳频同步字头法是将带有同步信息的同步头置于跳频信号的最前面, 收端根据同步字头的特点, 可以从接收到的跳频信号中将它们识别出来, 作为调整伪随机发生器之用, 从而使收发双方实现跳频同步。这种同步方法具有同步搜索快, 容易实现, 同步可靠等特点。其缺点是一旦同步头受到干扰, 整个系统将无法工作。故使用同步字头法应设法提高同步字头的抗干扰性和隐蔽性能。可以采用由时间信息(Time of Day, TOD)控制伪随机序列得到跳频图案同步来避免此缺点^[2]。

2.2 时间信息格式

TOD是一个时间变量, 随时间的变化而变化, 它是由一高精度时钟提供。收发双方的TOD信息保持一致是跳频图案同步的关键。为此设计了一种非线性的TOD表示格式, 如图1所示。将TOD分为两段: 高段TOD_h和低段TOD_l, 分别以分钟、跳频间隔为计时单位。收方TOD_h通过粗同步捕获修正, TOD_l通过同步头传送, 这样达到与发方TOD一致, 从而实现跳频同步。

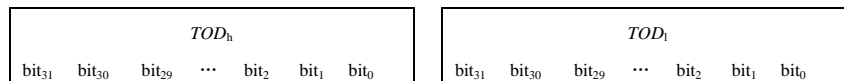


图1 TOD格式表示

3 高速跳频通信同步方案

跳频通信系统同步包括初始同步, 迟入网同步和勤务同步。

3.1 同步序列格式

各种同步的建立离不开同步信息。为提高跳频通信系统同步的抗干扰性和保密性, 同步信息包括原始密钥PK、相关码、跳频频率表、网号, TOD信息及其他信息等^[3]。原始密钥PK、跳频频率表在电台初始化时已设定。跳频同步序列组成格式如图2所示。其中前导序列为 N_1 跳, 用同步频率发送相关特性较好的相关码, 以便收方通过对它的捕获取得双方的粗同步, 完成同步信息的识别功能。帧同步用来作为信息同步的开始。网号用来传送组网信息, 只有收发网号相同, 才能进行组网。时间信息用来传送TOD低段, 保证收发双方随机码同步跳。保留缓冲用于位同步调整及TOD信息更新等。

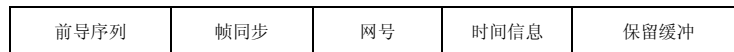


图2 同步序列格式

3.2 TOD与同步频率

收方或发方每次进入跳频状态, 读完各自的实时钟后, 都将时间信息转化成如上所述的TOD信息: TOD_h和TOD_l两部分。使用TOD_h根据相应的算法计算出一个M位的伪随机序列, 为使此伪随机序列真正意义上的随机, 对这一算法提出了很高要求。用此伪随机序列可以从频率表中取出同步频率。

假设采用同步频率有n个, 分别用 F_0, F_1, \dots, F_{n-1} , 则它们与TOD_h的对应关系为: $TOD_h \langle \text{---} \rangle F_0$, $TOD_{h-1} \langle \text{---} \rangle F_1, \dots, TOD_{h-n+1} \langle \text{---} \rangle F_{n-1}$ 。当n值取得越大, 则收方的捕获概率越小, 捕获时间也越长, 如果n值小, 则系统的抗干扰性不好。故n值应选择适中。

3.3 初始同步方案

用一组相关码作为同步信息, 它们与同步频率保持一定的对应关系, 收方用自己已计算出来的同步频

率去不断地扫描。扫描采用慢扫描。收方可以从相同的同步频率中捕获相关码，一旦捕获第一个相关码后，收方就转为正常跳速同步跟跳。如果收方同步跟跳后在随后的 K 跳中连续收到 L 个相关码，这里 $L > K/2$ ，则认为捕获成功；如果 $L < K/2$ ，则认为捕获不成功，退回到扫描状态。捕获成功后收方根据捕获到的相关码确定出其相对应频率，由此判断出与发方的时间差，根据此时间差就可以调整收方自己的 TOD_n ，使之与发方的 TOD_n 相同。这样初始同步完成。

收方 TOD_n 精确值可以通过同步头传送得到。发方 TOD_n 可以采用相应的相关码编码(K, k)方式传送，收方同样采用频率分集方式接收，并且进行大数判决，收方可以接收到 TOD_n 的精确值。此时收方可得到与发方完全一致的 TOD 信息。收发双方同时在某一确定时刻去启动跳频码发生器，获得伪随机码，又在某一确定时刻去驱动频率合成器，从而实现跳频图案同步。这样初始同步得以实现。

3.4 迟入网和勤务同步方案

迟入网是指未能通过接收初始同步入网的电台或者初始同步后又失步的电台，通过接收勤务信息实现同步。迟入网是通过接收发送方在信息跳中插入的勤务跳来实现同步的，这些含有同步信息的勤务跳一起构成了勤务序列。勤务信息是同步保持及快速再同步的保证。实际上迟入网与初始同步基本类似。

勤务跳可用来做位同步调整。收方通过对勤务信息不停地作相关得到相关峰位置，与期望出现位置相比，根据差值可调整后续跳的跳沿位置，使之与发方跳沿重新对齐。为保证收方调整的可靠性，可根据多跳相关峰位置所得到的差值的平均值来进行调整。同时限定每一勤务跳最多可调整的样点个数。

4 跳频同步实现简要框图

如上所述的系统同步简要框图如图3所示。其中数字信号处理器1(Digital Signal Processor 1, DSP1)是进行同步控制和信号处理的核心部件；信号发送时DSP1完成整个系统同步定时控制，信号调制，驱动频合等任务；信号接收时DSP1完成扫描、捕获、同步跟跳、定时控制、读相关器、对基带信号解调、信道估值和信道均衡等。数字信号处理器2主要完成计算机或电台主控单片机和DSP1的数据交换及组网控制。中频上、下变换器的主要作用是在DSP1和高速A/D/A器件之间完成取样率的匹配。相关器对接收信号完成相关运算。跳频码发生器根据 TOD 启动加密算法计算出跳频码。实时钟提供系统初始时间信息。

跳频同步控制系统采用中频数字化，基带部分全部可以软件实现，符合软件无线电的设计思想。

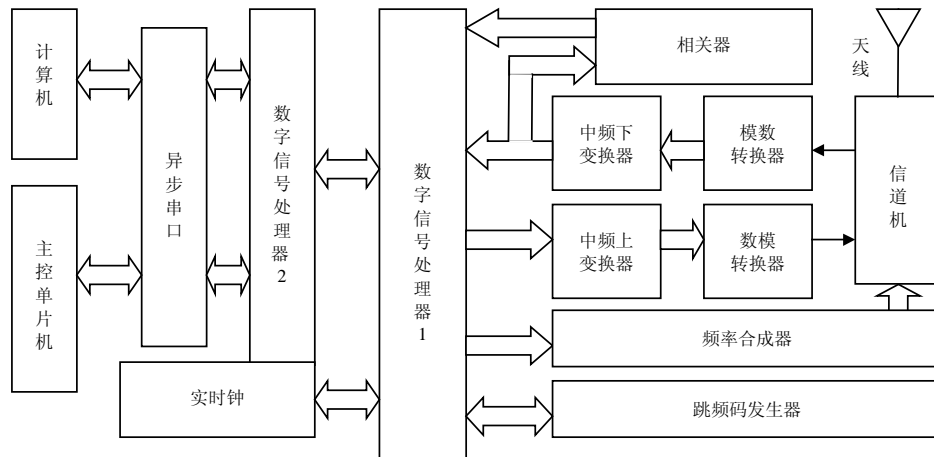


图3 跳频同步实现框图

5 同步性能分析

5.1 同步时间

同步时间是指完成同步所需的时间。该方案中同步时间就是初始同步的时间。设初始同步跳共为 N 跳，

跳速为 R_h 时, 同步时间为^[4]: $T_s = N/R_h$ 。在通信中, 一般要求 $T_s \leq 0.6$ s。在此同步方案中 $T_s \leq 0.3$ s, 同步时间短, 显然满足这一要求。

5.2 相关码检测概率

若恢复基带信号误比特率为 P_b , 相关码长度为 G , 检测门限为 g 。该方案前导序列跳共 N_1 跳, 现以 $N_1=246$ 为例。要保证验证检测结果时作大数判决的需要、并兼顾到频率合成器换频的滞后性, 至少要留出同步前导序列中的一个频率循环($n=6$ 跳)用于验证相关码检测结果。按慢搜索跳速, 依前导发送次序搜索到前导序列跳的机会共有 $N_1/n=40$ 次(极端的情况是仅留一个频率循环用于验证), 假定每次机会是均等的, 则每次机会中正确检测到相关码的概率 P_t 和错误检测概率 P_f 分别为: $P_t = \sum_{i=g}^G C_G^i (1-P_b)^i P_b^{G-i}$, $P_f = \sum_{i=g}^G C_G^i (1-P_b)^{G-i} P_b^i$ 。式中, C_G^i 为二项式系数。图4a所示显示了当 $G=64$ 时, P_t 与 P_b, g 的关系曲线; 图4b所示显示了当 $G=64$ 时, $\lg 10(P_f)$ 与 P_b, g 的关系曲线。

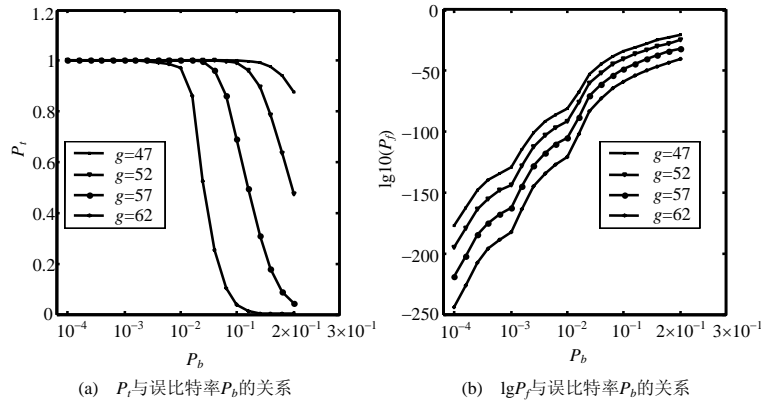


图4 正确检测概率、错误检测概率与误比特率关系

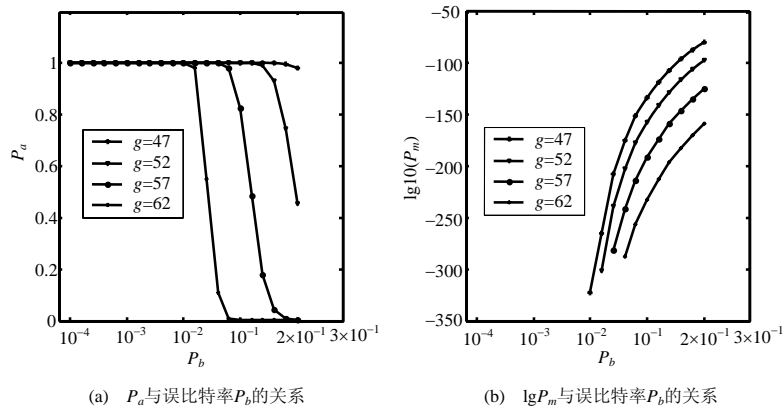


图5 捕获概率、虚警概率与误比特率的关系

5.3 捕获概率与虚警概率

假设一个特殊情况, 即接收方用慢跳开始搜索的时刻正好对准发送序列的开始时刻, 且每一慢跳结束后才进行检测结果判决。则最多40次机会中正确检测到信号概率和错误检测到信号概率分别为: $P_c = \sum_{i=1}^{40} (1-P_t)^{i-1} P_t$, $P_e = \sum_{i=1}^{40} (1-P_f)^{i-1} P_f$ 。按大数判决规则(5中取3)进行跟跳验证, 验证成功的概率和验证失败的概率分别为: $P_s = \sum_{i=3}^5 C_5^i P_t^i (1-P_t)^{5-i}$, $P_u = \sum_{i=3}^5 C_5^i P_f^i (1-P_f)^{5-i}$ 。则可以分别算出捕获概率 $P_a = P_c \times P_s$ 和虚警概率 $P_m = P_e \times P_u$ 。图5a显示了当 $G=64$ 时, P_a 与 P_b, g 的关系曲线; 图5b显示了当 $G=64$

时, $\lg 10(P_m)$ 与 P_b, g 的关系曲线。比较图4、5可看出, 随着误码率的减少相关码的虚警概率也减少, 而捕获概率增大。在同一误码率的情况下, 门限 g 值越高, 虚警概率越小, 但捕获概率也随之减小, 因此门限值最佳值的确定应兼顾虚警概率和捕获概率^[5]。当 $G=64$ 时, 实际中系统同步的相关码门限可定在50~55之间。

6 结 论

以上同步方案用于实际的高速跳频电台中, 经验证, 同步时间短, 捕获概率高, 虚警概率低, 同步可靠。同步性能完全满足高速电台指标要求。

参 考 文 献

- [1] Li Weidong, Wang Jing, Yao Yan. Synchronization design of frequency-hopping communication system[R]. Beijing: ICCT'98, 1998, 1-5
- [2] 贴 翊, 鲁远曙, 金永红. 跳频通信同步技术研究[J]. 无线电通信技术, 2001, 27(6): 35-36
- [3] 葛造坤, 李少谦. 快速跳频电台同步系统性能分析[J]. 电子科技大学学报, 1996, 25(9): 334-338
- [4] 曾兴雯, 刘乃安. 通信中的扩展频谱技术[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1995
- [5] 唐 巍, 田日才, 张乃通. 一种跳频同步捕获方案的性能分析[J]. 哈尔滨工业大学学报, 1999, 31(2): 46-51

编 辑 孙晓丹

(上接第21页)

参 考 文 献

- [1] 张德奇. 微波天线[M]. 北京: 国防工业出版社, 1987
- [2] 汪茂光. 几何绕射理论[M]. 西安: 西北电讯工程学院出版社, 1985
- [3] Rudduck R C, Wu D C. Near-field analysis by the plane-wave spectrum approach [J]. IEEE Trans, AP, 1973, 21(2): 231-234
- [4] Kouyoumjian R G, Pathak P H. A uniform geometrical theory of diffraction for an edge in a perfect conducting screen[J]. Proc. IEEE, 1974, 62(11): 1 448-1 461
- [5] James G L, Kerdemelidis V. Reflector antenna radiation pattern analysis by equivalent edge currents[J]. IEEE Trans, AP, 1973, 21(1):19-24
- [6] Rudduck R C, Chen Chin Long J. New plane wave spectrum formulations for the near-fields of circular and strip apertures[J]. IEEE Trans, AP, 1976, 24(4): 438-449

编 辑 漆 蓉