

HF通信网中的突发自适应选频技术*

罗 宁** 陈尚勤

(电子科技大学信息所 成都 610054)

【摘要】 介绍了突发自适应选频技术在 HF 通信网中的应用,分析了突发自适应选频的特点及网络应用的优势,设计了一套用于网络突发选频的协议,讨论了协议中的重要参数设定和协议性能,并提出了多种方案供优化。

关键词 高频; 通信网; 突发通信; 时分多址; 自适应选频

中图分类号 TN011; TN919

1 突发自适应选频的特点

突发自适应选频系统^[1]是短波通信中一种新型的选频体制,它的提出原是为了适应通信中隐蔽性和抗截获性能的要求,其突出特点就是选频信号极短,信号隐蔽。为了保证从短突发包中可有效地提取信息,采用了大量优化的、复杂的选频算法。由于长突发间隔的存在,这些算法均有足够的处理时间。但是随着高速数字信息处理器件的发展,以及通过大量实验,我们对突发选频的算法进行了进一步的简化和优化,使突发选频处理的实时性有了很大的提高,考虑到信道机换频以及为定时抖动设置的保护时隙,实际上,突发选频的算法已达到实时性的要求。这就大大拓宽了突发选频的应用范围。

突发选频系统具有“速而准”的显著优点,经过多次远距离选频、通信实测,突发选频的探测结果和精度都很接近于连续选频系统,而且又能节省大量时间,其实用效果是令人满意的,因此利用短信息包的突发选频技术具有很大的使用价值。例如突发选频的双向方式与单向方式所需探测时间是一样的,不需要额外开销,因为双方可在对方的突发间隔中发送己方的突发包。由此,突发自适应选频系统可采用时分多址(Time Division Multi-Access—TDM A)方式形成网络化应用,形成网络中的快速选频。这样做要求我们在定时等方面作更多的努力,不过突发选频短分组和高精度的特性,使自适应选频技术的网络化和民用化变得非常有吸引力,进而使得短波通信的高速化和普及化有了一个新的基础。从研究的结果来看,突发自适应选频的一系列关键技术已被突破,其投入实用化在技术上已不存在障碍。

但是网络化的应用给突发选频技术又提出了新的要求。同点对点选频相比,突发时隙将被划分成若干子时隙,供各站点实现 TDM A,由于 HF 系统中很少有高精度网络时钟,因此对短信息包提取定时的精度和可靠性要求进一步提高,特别是大量网络节点均为远程节点时,由于基于 TDM A 方式,定时将成为突发网络选频的一项关键技术。在实用上网络中的突发选频系统应能完成点对点选频、群选频、网络选频等多项功能。选频应在网络初始化时发起,或在通信中定期或按需更新网络

1996 年 5 月 16 日收稿,1996 年 6 月 10 日修改定稿

* 国家“八五”重点科研项目

** 男 24 岁 博士生

节点的链路质量分析 (LQA: Link Quality Analysis) 存储表格。下面我们提出了一个 HF 网络选频的方案并对突发选频网络化应用的一些关键技术进行了分析研究。

2 突发自适应选频的网络协议设计

2.1 呼叫协议

如图 1 所示是一种星型网进行自动链路建立 (Auto Link Establishment ALE) 时的扫描呼叫协议格式^[2], 当需要星形网的呼叫类功能时, 各站使用星形网 (扫描) 呼叫协议进行呼叫和相互通信。

即 A 站发出网络链路呼叫, 各站在约定时隙上应答, 最后由 A 站发出网络确认, 并进行 ALE 过程, 但是该协议限于星型网, 为此, 我们作了改进, 设计了一个适合于分布式网络的选频扫描呼叫协议, 即使得呼叫发起由各节点通过分布式算法产生。

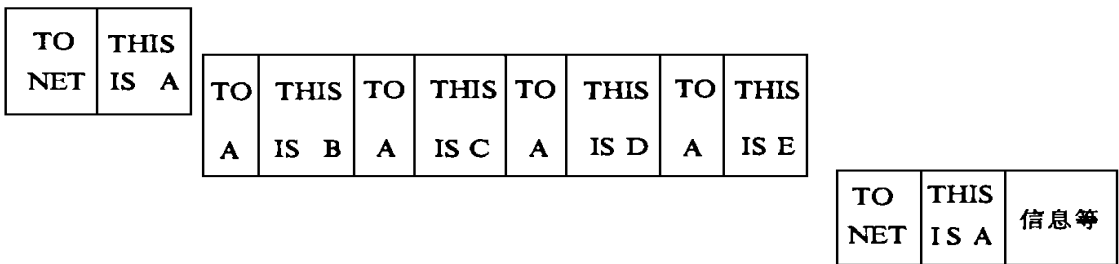


图 1 MIL-141L 星型网呼叫协议格式

为了达到点对点、群选和网络选频的需要, 被叫地址域可设置“TO NET”, “TO X”, “TO GROUP”等标志字, 以识别选频范围。在网络初始化阶段由于信道条件未知, 采用单频扫描的方法, 即使采用低速信令 (75 bps) 也很难保证呼叫联通率, 为此我们设计采用多频扫描的方法, 通过开销一定的频率和时间来换取高呼叫联通率。

呼叫基本格式如图 1 所示, 被叫地址域内容由选频需要决定, 假定为“TO GROUP”, 主叫站为 A, 群中其他被叫节点站为 B, C, D, E, 系统中设置有 M 个扫描呼叫频率, 为 f_1 至 f_M , 平时各节点在 $f_1 \sim f_M$ 上处于接收扫描态, 当 A 站在频率 f_1 上发起呼叫 TO GROUP THIS IS A 后, 即在其后相应四时隙内检测有无 B, C, D, E 站的应答, 若无, 或应答不全, 则在频率 f_2 上再发 TO GROUP THIS IS A, 发至频率 f_M 时为一轮呼叫, 呼叫终止条件为:

- (1) 在约定时隙上收到全部群中被叫站应答; 或
- (2) 约定轮次发完, 群中无应答 (也可以是应答站数少于规定数)。

若以条件 (2) 终止时, A 站在确认时隙上发 TO GROUP DISCONNECT, 以表示呼叫失败, 信道机转入扫描收态, 并向网络控制器或网络操作员发出相应信息。

若条件 (1) 满足时, A 站在下一个频率上发信息: TO GROUP- THIS IS A- ACK i , ACK 表示应答确认, i 表示确认计数, 为了保证确认信息被可靠接收, A 站必须在所有呼叫频率上发 ACK 确认信息, 每次发确认信息的频率都不同, 且发一次计数 i 值加 1。

例: 经若干轮呼叫, A 站在 f_2 上检测到条件 (1) 满足, 则下一时隙在 f_3 上发 ACK1, 再下一时隙在 f_4 上发 ACK2, 直至在 f_1 上发 ACK M 为止, 确认完毕。以上确认信息的周期仍和呼叫周期相同, 但 A 站不再检测应答。

参数设计: 呼叫频率是该协议的设计重点, 通过大量模拟实现, 我们发现: 呼应频率数越少, 则达到呼应确认的时间越短, 但呼应失败概率较高, 而呼应频率越多, 到达呼应确认的时间越长, 但确

认的时延抖动小, 响应失败概率低, 通过模拟测试, 综合考虑响应确认时间和成功概率, 响应频率数宜取 4~6, 响应轮次应高于 5

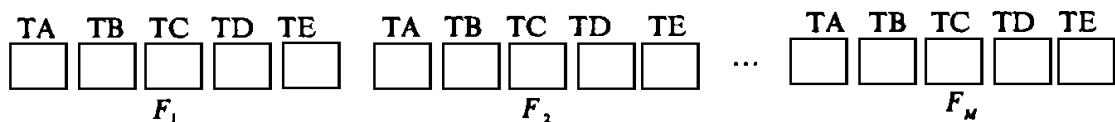


图 2 选频探测时序

2.2 选频协议通过确认后, 群中 A~E 五个节点就建立起基本连接, 这时各站就可以 TDM A 方式发射探测信号, 格式如图 2 所示。这样通过分配五个时隙, 在一个频率上就可以探测五个站之间共 20 条链路 (即 10 对双向链路) 的情况, 一轮探测就可获得 M 个频率共 20M 条链路信息, 探测信号的轮数可根据精度需要而定。由于探测包很短, 因此选频的效率很高。设探测包长 T_p 为 200 ms, 在包两端各加 150 ms 的保护时隙, 待选频率数为 10, 探测轮次为 10, 则 100 对双向链路的总探测时间为:

$$(0.2 + 2 \times 0.15) \times 5 \times 10 \times 10 = 250 \quad (\text{单位: } s)$$

另一种探测时序设计是: A 站在所有频率上先发一轮, 再是 B 站, 最后是 E 站, 这样可以使探测信息在单一频率上不存在连续性或长期性, 特别是如果规定各站的发送频率次序不同, 那么空中探测信息包的出现就会具有一定的不规则性, 我们可以设计一个算法 $F(x_1, x_2, x_3)$, x_1 表示站号, x_2 表示轮次, x_3 表示待选频率个数, 各站的算法都是一样的, A 站在第一轮发送时调用 $F(A, 1, M)$ 产生发送频率次序, 而 B~E 同样调用 $F(A, 1, M)$ 产生接收频率次序, 就可以正确接收 A 站的探测信息了。通过算法 F, 我们可以获得很不规则的时频二维发送图案, 这将给军事应用在抗干扰和抗截获方面带来很大的好处

2.3 回报协议

表 1 是文献 [2] 规定的 LQA 存储表格的典型格式, 对 A 站来说, 通过探测它只能获得所有信道上其他站的“FROM”信息, 而不知道“TO”信息, 这必须由 B~E 各站回报, 而且为了使其其他站了解对 A 的发射信道状况, A 站也必须将所有的“FROM”信息一发回, 当待选频率数为

表 1 MIL-141A LQA 存储表格

		信 道					
		G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	G ₅	G ₆
其他	B FROM	9	5	1	3	2	6
站址	TO X	7	4	3	5	12	

M, 群中站数为 L 时, 一个站共要回报 $M(L-1)$ 条信息, 而群内总共有 $(L-1)LM$ 条信息等待回报。随着站数的增加, 回报信息数会急剧增加, 所以短波网或群中不宜设置过多节点, 其节点数选 4~6 即可。针对回报, 我们提出了以下三种时序设计方案

1) 方案一 在图 3 中, 首先是 A 站在所有频率上回报, 其次是 B 站, 最后是 E 站, 回报包的内容就是链路分数, 如 A 站在频率 F_1 发送的 TO B, 即表示, “FROM B TO A” 在信道 F_1 上的分数。当回报结束后, 各站就可以填写本站的 LQA 存储表格的“TO”栏。

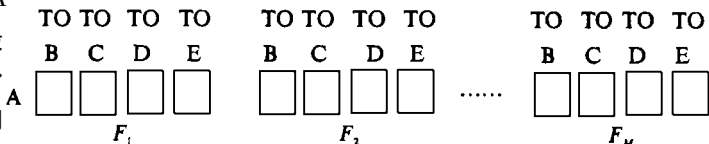


图 3 回报时序 1

2)方案二 方案二的回报时序和选频协议的改进时序类似,在图 4中首先由 A站调用算法 $F(A, 1, M)$ 生成回报发送频率,其余各站用 $F(A, 1, M)$ 生成回报接收频率, A站按此频率发送所有 TO B信息,再是 TO C,最后是 TO E A站回报后,再由 B站产生 $F(B, 1, M)$ 生成回报发送频率,并按约定完成回报。与选频协议不同之处是, F算法中的轮次只有一轮

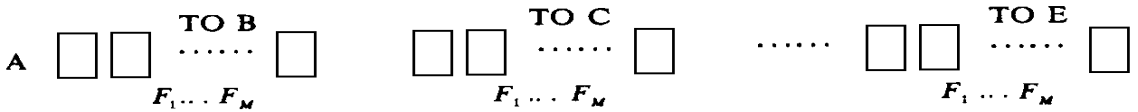


图 4 回报时序 2

3) 方案三 方案一、二虽然在发送次序上有所区别,但都是串行时序,即在任一时隙上都只有一个回报包,因此两种方案的回报时间都是 $(L-1)LMK T_p$, T_p 为单时隙宽度。但是这两种方案在回报时间上仍有潜力,以方案一为例: A站在频率 F_1 上发送 TO B信息时, CDE三站都处于空闲状态, C可以同时频率 F_2 上对 D站发送 TO D信息,这样就可变串行回报为并行回报,从而缩短回报时间。式 (1)是节省效率公式 (L 为群内节点数):

$$Y = \begin{cases} 1/2 & L \geq 4, L \text{ 为偶数} \\ (L+2)/2L & L > 4, L \text{ 为奇数} \end{cases} \quad (1)$$

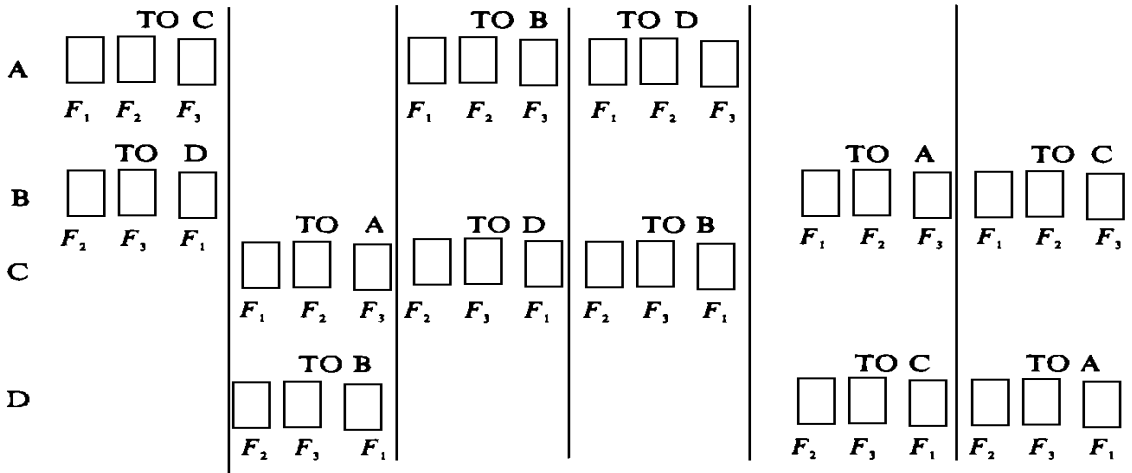


图 5 回报时序 3

在并行回报时序设计中,关键问题是要设计一时频调度算法,为各站点分配相应的回报时隙和频率,使之互不冲突,而且算法要能根据选频的规模(节点数),和参加选频的节点编号的变化自动调整分配方案,这和前文提到的时频调度算法 $F(\circ)$ 有很大不同。为了保证回报可靠,回报包必须进行特别设计,由于采用 TDM A方式,时隙标定了收、发双方的地址,所以不必在回报中附加地址信息,但回报包中应考虑加一短同步头,分数部分应采用纠错编码和冗余等措施,编码必须能以纠错检错两种方式工作,保证回报准确。在调制方式和速率上应选择可靠性和稳健性均较高的方案(例如采用低码率中速跳频技术)。由于回报信道质量没有保证,在同步头失检和发现错误过多时必须丢弃分数,并在 LQA表格的相应栏中填上“X”,表示信道质量差

以上三种方案都有明显的特点,方案一的设计时序是最简单的,没有复杂的时频调度算法,而

且由于单站换频周期长(在同一频率上发完对所有其他站的回报才换频),对信道机的特性要求比较低,即不需要快速调谐,进而可以减少保护时隙宽度,降低回报时间。方案二的优点是设计带有随机样式的时频二维收发图案,达到抗干扰和抗截获的目的,但是由于存在频率的快速切换,因此对信道机性能提出了较高的要求。方案三是一种并行回报方案,节省时间,符合网络中快速 ALE 的思想,但是其时频调度算法更为复杂,各站的处理实时性要求也大大提高,所以这一方案的应用,需要一些相关技术进行支持。

3 小 结

突发自适应选频的网络化应用,实现了 HF 通信网中的快速 ALE 和实时 LQA,当今的短波通信对选频系统的实时性要求越来越高,各国都在现有标准的基础上,大力发展 HF 网络选频和实时选频方法,由于突发选频“速而准”的优点,使其成为第三代 HF 链路建立和数据传输系统中极具吸引力的选频控制方案。

参 考 文 献

- 1 陈尚勤,李旭,李晓峰.高频突发通信中自适应选频控制系统的研究.电子科技大学学报,1992,21,增刊(下):142~151
- 2 Military standard interoperability and performance standards for medium and high frequency radio equipment. Philadelphia: Nava Publications office,1988
- 3 Baker M, Beamish W, Turner M. The use of MIL-STD-188-141A in HF data networks. IEEE Military Commun Conf, Boston, 1989, (1): 3. 1. 1~5
- 4 Furman William N, McRae Daniel D. Evaluation and optimization of data link protocols for HF data communication systems. IEEE Milcom, 1993(1): 67~72

Burst Adaptive Frequency Selection Techniques in HF Communication Nets

Luo Ning Chen Shangqing

(Inst. of Information Systems, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract The use of burst adaptive frequency selection(BAFS) in HF communication network is discussed in this paper. The specifications of BAFS and the advantages of its use in HF network are analyzed. The protocol of BAFS in HF network is designed only partly according to MIL-STD-188-141A, because the basic characteristics of BAFS and CAFS(Continuous AFS) are quite different. Then the performance of this protocol is simultaneously evaluated. Also some schemes optimal in different releases are discussed.

Key Words high frequency; communication net; burst communication; time division multi-access; adaptive frequency selection

编辑 徐安玉