第 47 卷 第 4 期 天 文 学 报 Vol.47 No.4
2006 年 10 月 ACTA ASTRONOMICA SINICA Oct., 2006

罗兰 -C 数据链在 BPL 授时中的应用研究 *

苏建峰 [1,2] 吴海涛 [1] 王玉林 [1] 边玉敬 [1]

(1 中国科学院国家授时中心 西安 710600)
(2 中国科学院研究生院 北京 100039)

摘要 用户在利用中国 BPL 长波授时技术时，首先需要粗同步，然后才可以得到精确时间信息. 介绍当前常用的罗兰 -C 数据链调制方式. 提出了一种 BPL 时码信号调制方法及编码格式，从而使 BPL 具有自主授时功能，更好地为用户服务.

关键词 时间，罗兰 -C 调制， BPL, 纠错编码
中图分类号： P 127.12; **文献标识码**： A

1 引言

中国科学院国家授时中心主管我国长波 BPL 授时台，其信号覆盖我国大部分国土. 但是所发播的信号中没有时码信息，所以用户接收机在定时时需要粗同步 [1]，即先通过其他手段确定年、月、日、时、分、秒，再实现精确定时，也没有 UT1 和 UTC 的预测量差值，即 DUT1. 这在很大程度上使 BPL 长波授时资源不能得到充分的利用. 本文基于现有的罗兰 -C 信号调制方式，给出了在 BPL 加入调制时码信息的具体方法及电文格式.

2 罗兰 -C 信号调制

对罗兰 -C 信号调制是建立在不影响现有导航系统的正常工作和导航用户的定位要求之上. 即首先保证第 1 和第 2 脉冲的闪烁报警功能，所以前两个脉冲不能做调制；其次保证用户的接收锁定且具有一定的抗干扰性. 这里介绍 3 种基本的调制方式 [2]:

(1) 脉冲位置调制 (Pulse Position Modulation), 简称脉位调制 (PPM); 它是将每 8 个脉冲组中的后 6 个脉冲在时延上进行平衡调制. 当前通用的做法是将单个脉冲作前后 $1\mu s$ 的发射时延调制，产生 3 种信号模式： $+1$ 、 0 、 -1, 见图 1.

罗兰脉冲频率调制 (Intrapulse Frequency Modulation), 简称频率调制 (IFM); 脉冲频率调制是单个脉冲内逐渐改变罗兰 -C 信号频率 (介于 90 kHz 和 110 kHz 之间), 从而产生

2005-09-09 收到原稿， 2005-12-07 收到修改稿
* 国家自然科学基金 (批准号： 10443001) 资助项目

不同的相位差，进而产生不同的信号模式．在 100μs 内产生 90° 相位差可有 90° 、 0 、 −90° 三种相位模式，也可在 120μs 内产生 120° 相位差可有 120° 、 0 、 −120° 3 种相位模式．同理 45° 、 90° 产生 90° 、 45° 、 0 、 −45° 、 −90° 5 种模式， 135° 、 45° 产生 135° 、 45° 、 0 、 −45° 、 −135° 5 种模式．在不影响现有性能的前提下，要求从每个脉冲的第 6 个过零点开始调制频率．图 2 为从 45μs 开始到 165μs 时产生 120° 相位差示意图．

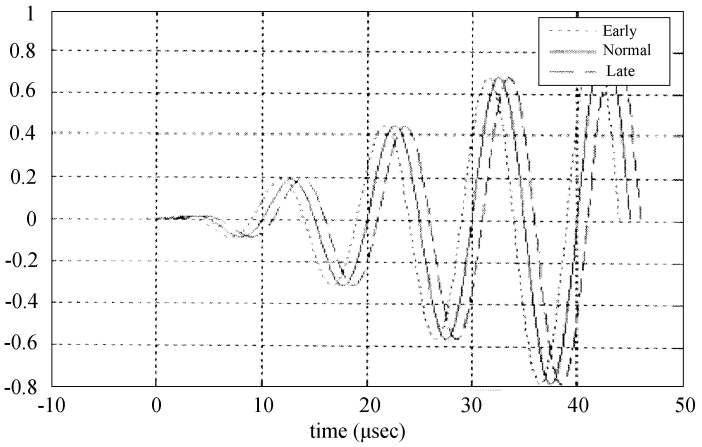

图 1　罗兰 -C(PPM) 调制

Fig. 1　Loran-C Pulse & PPM Loran-C Pulse

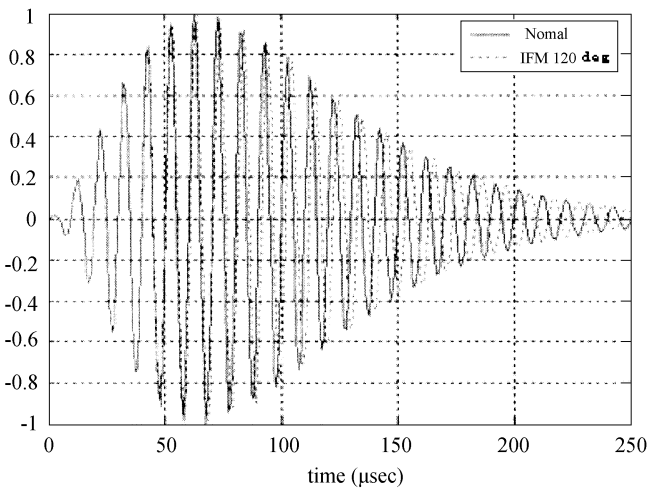

图 2　罗兰 -C(IFM) 调制

Fig. 2　Loran-C Pulse & IFM Loran-C Pulse

额外脉冲调制 (Supernumerary Interpulse Modulation), 简称脉冲调制 (SIM), 见图 3. 该调制方法是每隔 500μs 发射一个脉冲，即增加 8 个脉冲，共播发 16 个脉冲．由于增加

脉冲的原因, 所以也增加了发射机的功率. 为了制相关干扰和有利于信号锁定, 对增加的脉冲也进行交叉相位调制, 即增加的脉冲相位与原脉冲相位相反, 并保持周期性变化, 见图 4. 除了 “传统的” 前两个脉冲要保留闪烁报警的原因, 不能在上面作调制外, 其余的脉冲, 包括增加的脉冲, 可以有多种方式在信号上调制数据, 包括前面提到的 PPM/IFM 调制.

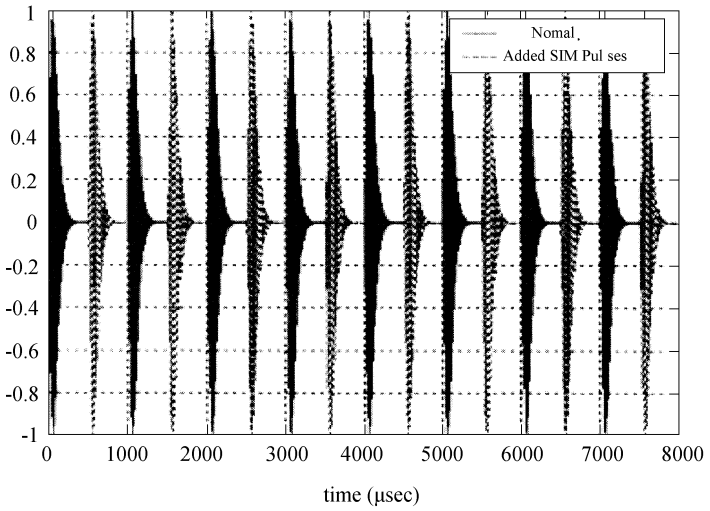

图 3 罗兰 -C(SIM) 调制

Fig. 3 Loran-C Pulse & SIM Loran-C Pulse

表 1 部分调制状态与 ASCII 码对应表

Table 1 Example of modulation pattern & ASCII symbol

modulation pattern	ASCII	Char	modulation pattern	ASCII	Char
-+0000	1000001	A	+0+-0-	1100001	a
-+00+-	1000010	B	+0+–0	1100010	b
-+0-0+	1000011	C	+-0000	1100011	c
-+0-+0	1000100	D	+-00-+	1100100	d
-+0+0-	1000101	E	+-00+-	1100101	e
-+0+-0	1000110	F	+-0-0+	1100110	f
...	...	...	...	...	...

在脉位调制中, “0” 表示零时延, “+” 表示延迟 1μs 调制, “$-''$ 表示提前 1μs 调制, 且延迟 1μs 调制个数与超前 1μs 调制个数相等. 根据排列组合, 我们知道 6 个脉冲共有 3^6=729 种不同的状态, 根据平衡调制的原则, 在 729 种调制状态中有 141 种平衡状态, 而标准的 ASCII 码为 7 位长, 每位有两种符号 “0” 和 “1” 的序列集合, 共有 2^7=128 种不同的序列, 这样我们就可以在 141 种平衡调制状态选出 128 种与 128 种 ASCII 码相

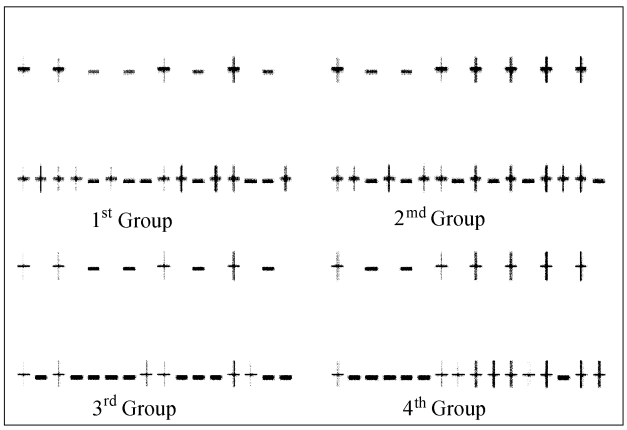

图 4　额外脉冲调制编码

Fig. 4　Loran-C Pulse Phase code & SIM Pulse Phase code

对应起来，部分对应关系见表 1. 发射信息时，将所要发射的信息 (字符 / 二进制数据) 先转换成相应的调制状态，然后通过调制控制电路再发射出去.

3　BPL 时间编码及电文

BPL 长波信号在传播中, 主要有 3 种干扰, 大气噪声的干扰, 其引起的误码位置是随机的，通常叫做随机错误、连续波干扰；其他罗兰 -C 导航台链之间的干扰为交叉干扰，其干扰的特点具有突然发生和连续发生几个错误的特点，称做突发错误.

借鉴 Eurofix (PPM 调制)DGPS 信息 (RTCM type 9) 电文格式 [3], 对数据链采用 “级连码”, 利用不同编码的不同纠错特性，分别纠正不同类型的错误. 选择循环冗余校验码 (CRC(70,5 6)) 作为内码，首先对要播发的 “信息” 编码， CRC 码是一种高性能的检错和纠错码，应用广泛，常用于对随机误码的检错纠错. 选择里德 - 索洛蒙码 Reed—Solomon (RS(127,107)) 码作外码 [4], 它将 “信息” 及 CRC 码一起进行编码. RS 码的最大特点是一个码矢的每一个码元，都取自 q 进制符号的域 GF(q) 中的元素，而它生成多项式的根也在 GF(q) 中，这一特点使它既具有抗随机错误的能力，也具有很好的抗突发错误性能，恰好适用于我们的应用环境.

BPL 的电文信息每一帧对应 30 个 GRI, 其中前 8 个 GRI 为有效信息，其后依次为 2 个 GRI 的 CRC 编码和 20 个 GRI 的 R-S 编码. 电文数据帧周期为 1.8 秒，同步头为 28bits 的巴克码列，选用 “1727454600” (八进制). 同步头占用 4 个 GRI. 在 “备用” 信息位置可以加发一些修正量或者其他信息. 表 2 、 3 给出了 BPL 电文中主要信息的长度、单位、取值范围及更新率.

这里需要提到的是 RS (127,107) 实际发送的只有对 56bit 电文进行 CRC (70,56) 编码后，加上 14bit 校验码，成为一个 70bit 的码组，而 70bit 长的 CRC 码只是 10 个 7bit 的

ASCII 码符，所以这里的 RS (127,107) 是对 10 个 ASCII 高端补齐 97 个 ‘0’ 后的码符进行 RS (127,107) 编码，生成编码长度为 127, 其中高端 97 位是 ‘0’. 只将低端 30 位字符通过发射机调制发射出去. 接收时，先在前面补 97 个 ‘0’, 然后按 RS(127,107) 解码，因为前 97 个 ‘0’ 没有差错，实际只对后 30 个字符查错纠错. 理论上的 RS(127,107) 是在 127 个字符中可以纠正 10 个错误，纠错比例为 10:127, 而这里是在 30 个字符中纠正 10 个字符，纠错比例为 10:30. 由于采用该种编码方式，既提高了数据传输速率，又具有很高的纠错比例，是罗兰 -C 数据链具有应用价值的关键.

表 2 BPL 电文第一帧信息

Table 2 BPL message format subtype 1

message Item	length (bit)	unit	range	update rate (GRI)
Synchronizing sequences	28(1 28)			4
Frame number	4(29 32)	1	16	4/7
Leap seconds	8(33 40)	sec	256	8/7
TOT	10(41 50)	10ns	10.24ūs	10/7
Spare	6(51 56)			6/7
CRC	14(57 70)			2
R-S	140(71 210)			20

表 3 BPL 电文第二帧信息

Table 3 BPL message format subtype 2

message Item	length (bit)	unit	range	update rate (GRI)
Frame number	4(1 4)	1	16	4/7
TOT	29(5 33)	10ūs	5368sec	29/7
Year	7(34 40)	1year	99year	1
Hour	5(41 45)	1hour	16384 hour	5/7
Spare	11(46 56)			11/7
CRC	14(57 70)			2
R-S	140(71 210)			20

4 结束语

罗兰 -C 数据链的调制和编码技术是独一无二的. 它经几十年研究、实验得以实现和应用. 将其应用于 BPL 长波授时信号中，不仅可以实现自主授时，还可以播发其他信息，如 ASF 修正等，从而可更好地为用户提供授时服务.

参 考 文 献

1 鹿署虎. 陕西天文台台刊， 1992, 15(1): 88

2 Sherman C Lo, Per Enge. Data Transmission Using LORAN-C Department of Aeronautics and Astronautics, Stanford University. 2002, 6
3 Offermans G W A, Helwig A W S, Willigen D van. The Eurofix Datalink Concept: Reliable Data Transmition Using Loran-C. the 25th Annual Technical Symposium of the International Lorah Association. San Diego,CA,November, 1996. 3-7
4 樊昌信，徐炳祥等．通信原理．北京：国防工业技术出版社． 2001

The Study of Loran-C Datalink Application in BPL Time Service

SU Jian-feng[1,2] WU Hai-tao[1] WANG yu-lin[1] BIAN Yu-jing[1]
(1 *National Time Service Center, Chinese Academy of Sciences, Xi'an* 710600)
(2 *Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100039)

Abstract Before get the precision time signal, the users of BPL time signals need 'initiative synchronization'. In this paper, Loran-C datalink is introduced and the suggested method of BPL time code modulation is recommended, which would offer more effective time service.

Key words time, Loran-C modulation, BPL, error correcting coding