

文章编号:1001-893X(2011)06-0038-04

MARK XII IFF 信号一体化处理技术^{*}

董 海

(中国西南电子技术研究所,成都 610036)

摘 要:针对敌我识别信号侦察的需求,介绍了 MARK XII IFF 信号的格式和基本特征,提出了一种对 MARK XII IFF 信号识别处理、内涵信息提取和辐射源同源关联的一体化处理方法。该方法利用敌我识别信号的脉冲特征信息和格式化信息实现模式识别和内涵信息提取,并通过关联技术实现辐射源有效关联。仿真实验验证了方法的有效性和可行性,关联识别率达 90% 以上。

关键词:敌我识别;电子侦察;信号处理

中图分类号:TN971 **文献标识码:**A doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2011.06.009

Integrative Processing Technique for MARK XII IFF Signal

DONG Hai

(Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China)

Abstract: According to the requirement of the reconnaissance of Identification Friend or Foe(IFF) signal, this paper introduces the format and characters of IFF, and then proposes an integrative method to complete the signal identification, connotation information extracting and the same emitter clustering with IFF signal. This method utilizes the impulse character and signal format to realize model identification and connotation information extracting. Furthermore, the cluster technology is used to realize emitter cluster effectively. Simulations verify the validity and feasibility of the proposed method. The successful cluster rate is more than 90% .

Key words: IFF; electronic reconnaissance; signal processing

1 引 言

敌我识别信号作为一种主要的非通信信号,蕴藏着丰富的情报资源。从 20 世纪 90 年代初期的海湾战争直到新世纪的伊拉克战争都表明,敌我识别的作用显得越来越突出。对敌我识别信号进行分析,可以得到飞机的身份码、高度、国家/地区标志、飞行状态等诸多信息。因此,敌我识别信号侦测作为电子侦察的一个重要方向,日益受到重视。

对敌我识别信号的侦测,国内已做了大量的研究^[1,2],但工作主要集中在信号识别和脉冲编码的解码上,未能充分挖掘敌我识别信号中隐藏的内涵信息,存在一定的缺陷。

本文针对目前西方国家现役 MARK XII 敌我识别系统 IFF 信号的特点,提出了一种从前端信号侦收到后端信息处理的一体化处理方法,通过硬件实时完成 IFF 信号的模式识别和解码,由软件完成内涵信息的解译和同一敌我识别辐射源的信号关联,具有很好的工程应用价值。

2 MARK XII IFF 信号简介

MARK XII IFF 信号目前共有 5 种工作模式,分别称为 1、2、3/A、4、C 模式。其中,1、2、4 模式专用于军用识别;3/A 模式为军民两用身份识别模式;C 模式用于识别飞机的高度;A/C 模式主要应用于交通管制(ATC)。另外,B 模式预备用于美国民航飞机

^{*} 收稿日期:2011-01-30;修回日期:2011-05-17

的民用识别,但目前尚未使用。而 D 模式作为备用模式,目前尚未分配。

1、2、3 /A、C 模式询问信号都采用三脉冲体制,其询问格式如图 1 所示,采用脉冲幅度调制(PAM)。

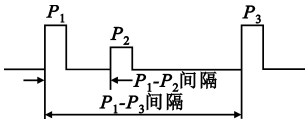


图 1 询问信号形式
Fig.1 Interrogator signal format

模式 4 询问信号首先有 4 个同步脉冲,脉冲间隔为 $2\mu\text{s}$,后面跟随 33 个脉冲,包括一个控制脉冲(ISLS)和最多 32 个加密信息脉冲,信号所有的脉冲宽度均为 $0.5\mu\text{s}$,如图 2 所示。

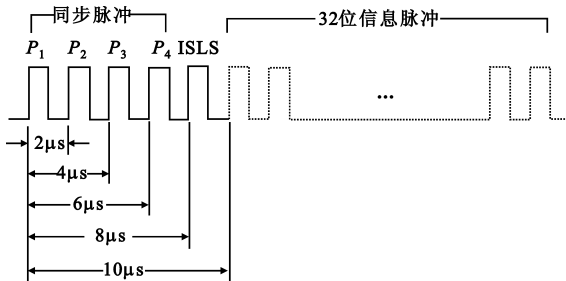


图 2 模式 4 询问信号形式
Fig.2 MODE 4 interrogator signal format

1、2、3/A、C 应答信号由 F_1 和 F_2 两个框架脉冲及位于 F_1 和 F_2 之间的信息脉冲组成,如图 3 所示。

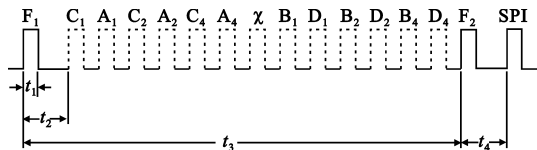


图 3 应答信号形式
Fig.3 Transponder signal format

模式 4 应答信号由一组脉冲组成,该脉冲组共有 3 个脉冲,如图 4 所示。

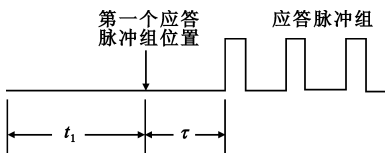


图 4 模式 4 应答信号形式
Fig.4 MODE 4 transponder signal format

由于诸多文献^[1,2,4]已经详细介绍过 MARKⅪ IFF 信号格式,因此本文不再赘述。

3 MARKⅪ IFF 信号处理方法

3.1 总体设计

如图 5 所示,某 MARKⅪ IFF 信号侦测系统由侦测天线阵、多通道接收机、信号处理机以及监控计算机组成。信号由侦测天线阵接收后,接收机对信号进行变频滤波放大,信号处理机对接收机输出的中频信号进行模数变换,得到数字信号后进行滤波、信号检测、参数测量、信号模式识别、分选和解码。解码后的数据进行内涵信息分析提取和辐射源关联等深入处理,最后进行侦测结果显示。其中,解码及解码前的信号处理在硬件中进行,以充分发挥硬件实时处理的优势,解码后的工作在软件中进行。

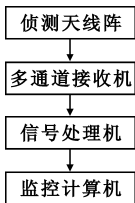


图 5 侦测系统功能框图
Fig.5 Block diagram of reconnaissance system

3.2 信号侦收

由于 MARKⅪ IFF 信号固定工作于 $1\,030\text{ MHz}$ 和 $1\,090\text{ MHz}$,因此采用定频超外差接收方法。由于 IFF 信号的带宽不大于 10 MHz ,因此选择接收带宽为 $B = 10\text{ MHz}$ 。

接收机将 IFF 射频信号变频到 70 MHz 中频,在中频直接对信号进行采样。根据带通采样定理^[5],采样频率 f_s 须满足:

$$2f_h/m \leq f_s \leq 2f_l/m - 1, 2 \leq m \leq [f_h/B] \quad (1)$$

式中, $f_h = f_0 + B/2 = 75\text{ MHz}$, $f_l = f_0 - B/2 = 65\text{ MHz}$ 。

采用全数字正交检波方案(图 6)时, f_s 确定为 40 MHz 。

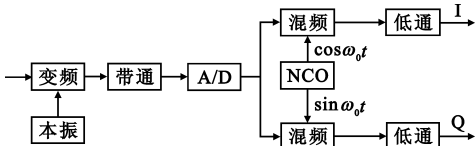


图 6 全数字正交检波器
Fig.6 Digital quadrature demodulator

此时,NCO 的输出为 $[0, 1, 0, -1]$ 序列,与输入信号相乘时运算量很小,大大简化了硬件设计,节省了硬件资源。采样数据经正交双通道输出,检波后

就得到了脉冲时域包络。图 7 显示了一个实测的 IFF 中频信号及其包络。

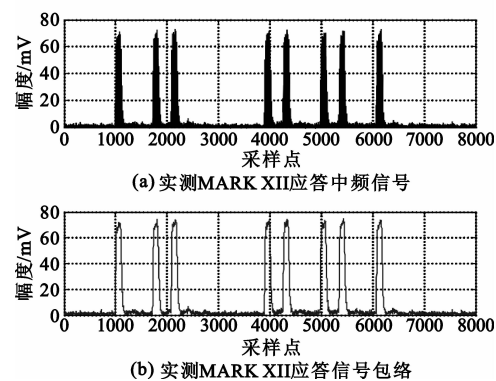


图 7 实测 IFF 应答信号
Fig.7 A measured transponder signal

3.3 信号检测及识别

对 IFF 信号的检测及识别分选在信号处理机中由硬件设备完成。

在 FPGA 中对 AD 后的中频信号进行检波,采用过门限检测方法判断脉冲信号的存在。对检测到的脉冲包络进行参数测量,可得到脉冲到达时间(TOA)、脉冲幅度(PA)、脉冲宽度(PW)、脉冲示向度(DOA)等特征参数,形成脉冲描述字(PDW)。在 DSP 中,根据 PDW 进行信号识别及分选。根据脉冲宽度参数,剔除掉非 IFF 信号,在剩余的脉冲中根据不同的脉冲示向度、幅度和宽度参数,将脉冲进行空间上的隔离和分组处理。分组处理后的数据再按照 IFF 信号模式的框架结构进行配对,识别出信号的模式,并形成一组的 IFF 信号编码。

IFF 信号受实际环境的影响,难免会出现波形失真和脉冲混叠,此时如果严格按照额定参数进行识别分选,识别概率会大大降低。因此需要对参与识别分选的参数进行一定的容限范围设置,提高识别概率。

3.4 内涵信息提取

IFF 信号中,隐含有飞机代号、飞行高度、飞行任务代码、国家/地区标志等内涵信息。提取内涵信息是敌我识别信号侦测的一个重要步骤,从这些内涵信息中,我们可以积累并推断飞机的驻地、执行任务情况、行为方式,掌控飞机的活动规律情况。

下面以最常见的 A/C 模式应答信号为例,说明 IFF 信号内涵信息提取方法。

应答信号的编码格式是由询问模式来确定的,

由框架脉冲 F1 和 F2 之间的八进制 4 组(A、B、C、D)共 13 个脉冲组成。

当询问飞机代号时(A 模式),则应答信号编码脉冲由飞机的代号(即身份码)决定,每架飞机单独有一个专用的指定代号。飞机身份码的编码由 A4 A2 A1 B4 B2 B1 C4 C2 C1 D4 D2 D1 组成,脉冲出现的位置为 1,反之为 0。将每组八进制的字母的角标数字相加的和,即为飞机身份码。

例如,应答信号编码表示为 110110100010,将其恢复成 ABCD 4 组脉冲的形式为 A4 A2 B4 B2 C4 D2,角标分别相加后,得到 6642,这个即代表这架飞机的身份码。

当询问飞机高度时,应答机自动回答飞机气压高度信息。高度编码脉冲同样由 F1 和 F2 之间的信息脉冲组成,但其编码格式为格雷码,并且只使用 10 个脉冲,编排顺序为 D4 A1 A2 A4 B1 B2 B4 C1 C2 C4。这 10 个脉冲又分配为 3 组,D4 A1 A2 组成每 2.44 km 高度增量的 8 个格雷码;A4 B1 B2 B4 组成每 152.4 m 高度增量的 16 个格雷码;C1 C2 C4 组成每 30.48 m 高度增量的 5 个“五周期循环码(C1 和 C4 不能同时为 1,但 C 组脉冲中必须有一个为 1)。具体的脉冲编排格式和对应的高度真值表可参阅文献[3]。

在正确识别及分选高度信息脉冲后,可按照每组高度信息编码码字排列顺序和高度真值表推算出飞机的高度信息。

由于每个机场所分配的身份代号编码是预先分配好的,于是我们可以通过长期侦测和跟踪这些代号信息来分析和推断飞机的驻扎机场和飞机的数量。

对高度信息的跟踪分析,可能推测出飞机的行为模式,从而间接判断飞机的类型信息。

而对模式 4 询问信号来说,我们可以得到其加密脉冲的编码序列,并通过这种信号来判断目标的存在以及来自的方位。

3.5 辐射源同源关联

在侦测到 IFF 信号,进行识别分选以后,可以将同一 IFF 辐射源发射的信号进行关联。

关联的依据是身份码和身份码重复的周期,身份码重复周期可以通过每个相同的身份码到达时间差得到。

出于飞行安全及空管的考虑,身份编码具有唯一性,我们可以认为一个时间段内,同一个身份码肯定是由一架飞机发出的。因此我们可以以此为依据,将身份码相同的辐射源信号关联在一起。不同

的重复周期则反映了应答机回复不同的询问机的工作情况。

4 试验情况

在实验室通过信号源不间断地模拟产生 IFF 射频信号,信号产生的频率设定为1 s产生 200 个信号(即 PRI = 5 ms)。将射频信号输入某 MARK Ⅺ IFF 信号侦测系统进行处理,处理结果在显控上进行显示,显示的内容包括幅度大小、信号编码或模式、内涵信息等。

图 8 显示了信号源分别模拟输出模式 2 询问信号和编号为2262的应答信号时的处理情况(此时信号源输出功率为 - 85 dBm)。从图中可以看出,脉冲间隔参数(PRI)测量误差在纳秒量级,信号模式识别正确,对信号编码进行了解码,并提取了信号内涵信息(获得了飞机编号,即身份码)。同时,实现了辐射源的同源关联,将每一秒的相同身份码的信号关联在一起,从信号个数可以反映出信号正确截获和关联概率达到了 90% 以上。

幅度(mV)	信号个数	示向度(°)	PRI(ms)	模式一	模式二	模式三	模式四
63	31		5.00	2			
58	188		5.00	2			
62	195		5.00	2			
62	195		5.00	2			
58	193		5.00	2			
56	190		5.00	2			
57	185		5.00	2			
57	189		5.00	2			
62	187		5.00	2			
58	191		5.00	2			
60	191		5.00	2			
56	190		5.00	2			
64	190		5.00	2			

幅度(mV)	信号个数	示向度(°)	PRI(ms)	编码一	编码二	编码三	编码四
57	196		5.02	2262	编号: 2262		
58	191		5.02	2262	编号: 2262		
59	184		5.02	2262	编号: 2262		
56	189		5.02	2262	编号: 2262		
55	186		5.02	2262	编号: 2262		
52	185		5.02	2262	编号: 2262		
52	179		5.02	2262	编号: 2262		
57	186		5.02	2262	编号: 2262		
52	173		5.02	2262	编号: 2262		
57	182		5.02	2262	编号: 2262		
50	184		5.02	2262	编号: 2262		
54	184		5.02	2262	编号: 2262		
54	189		5.02	2262	编号: 2262		
58	173		5.02	2262	编号: 2262		
58	193		5.02	2262	编号: 2262		
52	185		5.02	2262	编号: 2262		
55	182		5.02	2262	编号: 2262		
53	187		5.02	2262	编号: 2262		
EC	199		5.02	2262	编号: 2262		

图 8 IFF 信号处理显示
Fig.8 The display of processing result

由于系统的灵敏度设计为 - 85 dBm,因此当信号源输出功率增大时,信号截获和关联概率的准确性会大大提高,如图 9 所示。

幅度(mV)	信号个数	示向度(°)	PRI(ms)	模式一	模式二	模式三	模式四
672	200		5.00	3			
672	200		5.00	3			
670	200		5.00	3			
673	200		5.00	3			
672	200		5.00	3			
671	200		5.00	3			

图 9 信号源输出功率增大时处理结果显示
Fig.9 The display of processing result when the output power of signal generator increases

5 结束语

本文针对 MARK Ⅺ IFF 信号的特点,提出了一种从前端信号侦收到后端信息处理的一体化处理方法,通过经信号源模拟产生信号,信号侦测设备接收处理,实现了信号的模式识别、内涵信息解译和辐射源的同源关联,具有很好的工程应用价值,能大大提高敌我识别信号侦测的效能,目前已在某系统中得到应用。

本文的下一步工作是充分挖掘 IFF 信号询问和应答之间的规律,以实现询问辐射源和应答辐射源之间的关联。

参考文献:

[1] 解文斌.脉冲信号的特征分析和辐射源识别研究[D].长沙:国防科技大学,2003.
XIE Wen - bin. The Research of Pulse Signal Features and Emitter Identification [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2003. (in Chinese)

[2] 钱眺,茅玉龙,查荣. IFF 信号的分析与识别研究[J]. 雷达与对抗,2008(3):45 - 48.
QIAN Tiao, MAO Yu - long, ZHA Rong. A study on the analysis and identification of IFF signals[J]. Radar & Ecm, 2008(3): 45 - 48. (in Chinese)

[3] 黎廷璋. 空中交通管制机载应答机[M]. 北京:国防工业出版社,1992.
LI Ting - zhang. Aircraft Transponder for Air Traffic Control [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1992. (in Chinese)

[4] STANAG 4193 Part I, Technical Characteristics of IFF Mark XA and Mark XII Interrogators and Transponders General Description of the System[S].

[5] 曹志刚,钱亚生.现代通信原理[M].北京:清华大学出版社,1992.
CAO Zhi - gang, QIAN Ya - sheng. Modern communication theory [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1992. (in Chinese)

作者简介:

董海(1971—),男,河北文安人,2003 年获电子科技大学工学硕士学位,现为工程师,主要从事系统总体技术、非通信信号处理等方面的研究。

DONG Hai was born in Wen'an, Hebei Province, in 1971. He received the M.S. degree from University of Electronic Science and Technology of China in 2003. He is now an engineer. His research concerns system design technology, non-communication signal processing, etc.

Email:sead21@21cn.com