

机载应答机 A/C 模式应答信号的识别方法

张 鹏^{1,2} 王运锋^{1,2}

(1. 四川大学计算机学院, 成都 610064; 2. 国家空管自动化系统技术重点实验室, 成都 610064)

摘 要: 本文针对民航机场地面接收系统和航路/航线的对空监视系统接收机载应答机发出的 A、C 模式应答代码的区分问题, 提出了一种结合民航应用实际的识别方法。该方法在分析机载应答机发出的 A、C 模式应答信息基本格式的基础上, 结合 A、C 模式的物理意义和应用特点, 给出了初步识别结果, 在此基础上, 根据机场附近和航路上 A、C 模式的编号特点, 以及中国民航规定的飞行高度层等实际情况, 对收到的应答信号做进一步的识别。通过现场试验, 本文方法解决了 A、C 模式应答代码的识别问题, 提高了 A、C 模式应答代码识别的准确性和可靠性, 在民航多点定位监视等领域具有重要应用价值。

关键词: 机载应答机; A/C 模式; 应答信号; 多点定位; 循环编码

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0530(2012)04-0559-06

The responsive signal's identification of airborne mode A/C transponder

ZHANG Peng^{1,2} WANG Yun-feng^{1,2}

(1. Computer School of Sichuan University, Chengdu 610064, China;

2. National Key Laboratory of Air Traffic Control Automation System Technology, Chengdu 610064, China)

Abstract: Aiming at the problem of the responsive signal's identification of airborne mode A/C transponder for civil airport ground receiving station and aviation surveillance system, a method that has a great practical value in the field of civil-aviation application is presented. This method gives the initial results based on the responsive signal's basic structure that generated by the airborne transponder and the responsive signal's physical meaning of mode A/C. On the basis of the initial results, some actual situations, such as the responsive signal's encoding rules of mode A/C for civil airport and aviation route and the flight level that generated by civil aviation of china, are used to identify the responsive signal. Field test results indicate that this paper propose a targeted solution to the responsive signal's identification of mode A/C. This technique improves accuracy and reliability of the responsive signal's identification for mode A/C. And it has a great value in civil-aviation surveillance application, such as multilateration.

Key words: Airborne transponder; Mode A/C; Responsive signal; Multilateration; Cyclic coding

1 引言

在民航机场、航路/航线的对空监视中, 主要依靠地基二次航管雷达监视系统^[2]或空基的卫星监视和通信系统实现主动监视的。但对繁忙机场的场面监视, 由于存在飞机、摆渡车、行李车、工作人员等多种移动目标, 使得监视场景更加复杂, 并且部分区域因建筑物遮挡等原因, 存在监视盲区, 常规的监视手段不能适应繁忙机场的场面监视。随着技术的发展, 以多点定位为代表的被动监视系统逐渐出现^[4-7]。多点定位监视系统主要利用在监视范围内布设大量的地面接收站点来接收目标发出的信号, 这种系统本身不发射询问信

号或发射少量询问信号(起辅助作用), 仅被动接收目标发出的信号, 因此是一种高效的被动监视系统。

在民航系统二次雷达监视区域, 飞机的机载应答机会因为地面二次雷达的询问信号而发出应答信号^[1], 应答信号是实现多点定位被动监视的主要信号来源之一^[8-10]。同样, 在机场的摆渡车、行李车上, 同样可以安装机载应答机设备, 通过多点定位被动监视系统实现目标的实时监视^[13]。目前民航机载应答机发出的应答信号包括 A 模式代码、C 模式高度以及 S 模式信息。其中 A 模式代码和 C 模式高度代码的脉冲形式是完全相同, 地面雷达站因知道询问模式而很容易通过询问脉冲来实现应答脉冲的模式识别, 而多

点定位系统中,因不知道地面雷达站发出的询问脉冲类别,也就无法知道收到的应答是 A 模式或 C 模式,因此如何识别收到的一个脉冲序列是 A 模式还是 C 模式就显得非常重要了。

本文旨在提出一种针对被动监视系统中,所接收的机载应答机 A 模式代码和 C 模式高度代码信号的识别方法,该方法根据二次航管雷达 A、C 模式编码规则和应用的物理意义^[3]和民航机场、航路/航线的对空监视的实际情况,解决了被动监视过程中,地面接收机所收到的 A、C 模式应答信号的识别问题。

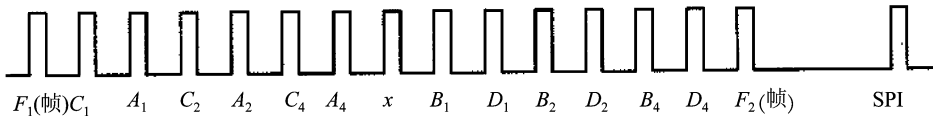


图 1 A、C 模式应答信号脉冲序列
Fig. 1 The pulse of responsive signal for mode A、C

所有信息脉冲包含在 F1 脉冲和 F2 脉冲之间,F1 和 F2 被称为框架脉冲,SPI 脉冲是位于 F2 脉冲后 4.35 微秒的位置,只出现在 A 模式代码中,飞行员根据需要设置应答机是否发送该脉冲。框架脉冲内的每个信息脉冲宽度为 0.45 微秒,连续两个脉冲上升沿相距 1.45 微秒。框架脉冲在每次应答中均必须出现,其他脉冲则根据信息不同而变化。中间的 X 脉冲为备用脉冲,恒为 0。

目前应答信息脉冲的编码规则是:
(1)A 模式应答代码编码规则:
机载设备应答的 12 位 A 模式识别代码分成了 4 组,即上图 1 中的 ABCD,每组由 3 个脉冲,下标分别为 1,2,4,表示权重,就是由三个脉冲位表示的八进制数。12 位信息从高位到低位的顺序为: A₄A₂A₁ B₄B₂B₁ C₄C₂C₁ D₄D₂D₁。

如 A 模式代码为八进制 6571 时,其表示 A 组为 6,由 A₂ 和 A₄ 信息码元组成,B 组为 5,由 B₁ 和 B₄ 码元组成,C 组为 7,由 C₁、C₂ 和 C₄ 码元组成,D 组为 1,由 D₁ 码元组成,其出现的脉冲序列如表 1 所示:

表 1 A 模式代码 6571 的脉冲序列组成

Tab. 1 The pulse sequence of code 6571 for mode A														
F ₁	C ₁	A ₁	C ₂	A ₂	C ₄	A ₄	X	B ₁	D ₁	B ₂	D ₂	B ₄	D ₄	F ₂
1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1

同时 A 模式代码中,还规定了三个特殊代码,具有

2 A/C 模式应答信息脉冲编码规则

本文的技术方案是分析应答机发出的 A 模式代码和 C 模式高度的物理意义,应用明确的识别规则进行分类区分,从而获得最终的识别分类。以下详细描述识别所用到的基本内容。

机载应答 A/C 脉冲编码规则:

机载应答机发出的 A 模式代码和 C 模式高度脉冲序列如图 1 所示。

特别的含义,分别为:7500 表示飞机受到劫持等非法干扰,7600 表示飞机通信故障,7700 表示飞机燃料、机械等紧急故障。

(2)C 模式高度代码编码规则:

对于 C 模式高度代码的编码,在文献[12]中利用伪代码进行了阐述。在本文中,C 模式高度代码由高到低的编码顺序为:D₁D₂D₄ A₁A₂A₄ B₁B₂B₄ C₁C₂C₄,其中高 9 位采用的是标准循环编码(格雷码)规则,最低有效位表示高度为 500ft,低 3 位为五周期循环码编码规则,最低有效位表示高度为 100ft。

根据循环码编码规则,当 D₁ 位为 1 时,表示的高度在 30000 米以上,超过了民航飞机的飞行高度,因此在民航系统的机载应答信号中 D₁ 位为 0。

低 3 位的五周期循环码编码规则如表 2 所示。

表 2 C 模式应答信息低 3 位五周期循环码编码规则

Tab. 2 The rules of five-cyclic code for mode C				
标准循环码 数值类别	五周期循环码 C ₁ C ₂ C ₄ (LSB)			五周期循环码 对应数值
偶数	0	0	1	0
	0	1	1	1
	0	1	0	2
	1	1	0	3
	1	0	0	4
奇数	1	0	0	0
	1	1	0	1
	0	1	0	2
	0	1	1	3
	0	0	1	4

3 A/C 模式信号识别方法及实施方式

根据前述机载应答机发出的 A/C 模式脉冲编码规则,本文从编码规则入手,并结合航空应用环境,提出下述 A/C 脉冲识别代码算法^[11],具体实施步骤如下:

第一步:提取框架脉冲内的信息脉冲,由高位到低位按照 A₄A₂A₁ B₄B₂B₁ C₄C₂C₁ D₄D₂D₁ 的顺序排列,即按照 A 模式代码的顺序进行提取;并检查 SPI 脉冲是否出现,如果 SPI 脉冲出现,则判定为 A 模式识别代码,识别结束,否则进入第二步;

第二步:按照 A 模式代码解码规则进行解码, $M = \sum_k k \times M_k$,其中 M 为 A、B、C 或 D,k 为 1、2 或 4,M_k 为 0 或 1,并对计算结果 ABCD 按如下内容进行判断:

a、如果结果为 7500、7600、7700 之一时,判定为 A 模式识别代码,且为特殊代码,识别结束,否则进行下一步;

b、如果 C₄C₂C₁ 的解码结果 C 为 0、5、7 之一时,判定为 A 模式识别代码(根据表 2,C 模式高度代码中 C₄C₂C₁ 的解码结果只能是 1、2、3、4、6 之一),识别结束,否则进行下一步;

c、如果 D₄D₂D₁ 的解码结果 D 为 1、2、3、5、6、7 之一时,判定为 A 模式识别代码,识别结束,结果为 0、4 之一时,进行下一步;

第三步:按信号接收机的位置进行分类处理,将区域划分为机场附近起降区域(如机场为中心半径 50km)和机场外航路航线飞行区域(其他区域)。在机场附近起降区域内飞机处于起降阶段,其应答机发出的 A 模式代码固定不变,而 C 模式代码是不停的变化;在航路航线飞行区域,目标的 A 模式代码和 C 模式高度,通常情况下不会变化,在遇到恶劣天气等情况时 C 模式高度会发生小范围变化,除此之外 C 模式高度则是在中国民航规定的 5100 米~14900 米的高度层范围^[3]飞行,飞行高度层及对应的英制高度和编码详见如下表 3。

第四步:对机场附近起降区域和航路航线飞行区域的划分方法:以接收机载应答信号的地面接收机的位置来判断,即当地面接收机处于机场为中心半径 50km 的范围内时,其收到的信号按照机场附近起降区域 A/C 模式识别规则进行,否则按照航路航线飞行区域 A/C 模式识别规则进行;

第五步:机场附近起降区域内 A/C 模式信号的识别规则:机场附近起降区域内 A/C 模式信号识别规则:当每次获得一个应答代码后,与现维护的代码列表

进行比较,如果该代码已经稳定出现适应性次数(3~5 次)以上,则认为该应答代码为不变的代码,需要按下面第六步进行识别区分,否则作为待定代码存入维护代码列表。每个适应性处理周期(如 3~4 秒内)检查那些仅收到 1~2 次的应答代码,因在起降阶段高度是时刻变化的,可以判定这些代码为 C 模式代码,并按照 C 模式代码解码规则进行确认。

表 3 中国民航划定 5000 米以上的飞行高度层及对应的英制高度和编码

Tab. 3 The mapping table of the encoding for ABCD and the 5 000 meters or 16 700 feet above flight level for civil aviation of China

序号	公制高度(米)	对应英制高度(英尺)	对应 ABCD 编码(八进制数)
1	5100	16700	3240
2	5400	17700	3740
3	5700	18700	3140
4	6000	19700	7540
5	6300	20700	7340
6	6600	21700	7640
7	6900	22600	7060
8	7200	23600	5460
9	7500	24600	5260
10	7800	25600	5760
11	8100	26600	5160
12	8400	27600	1560
13	8900	29100	1230
14	9200	30100	1430
15	9500	31100	1034
16	9800	32100	1634
17	10100	33100	1334
18	10400	34100	1534
19	10700	35100	5134
20	11000	36100	5734
21	11300	37100	5234
22	11600	38100	5434
23	11900	39100	7034
24	12200	40100	7634
25	12500	41100	7334
26	13100	43000	3124
27	13700	44900	3264
28	14300	46900	2064
29	14900	48900	2364

第六步：对机场附近起降区域（以机场为中心半径 50km 的范围内），连续收到稳定的应答代码时，有两种情况：其一为 A 模式代码，其二为飞越该机场上空的 C 模式代码。对这两种情况的识别规则为：将稳定代码按 C 模式规则解码，如果解码高度在表 3 的高度层范围（5100 米 ~ 14900 米）时，则认为该代码为 C 模式高度代码，否则认为该代码为 A 模式高度。

第七步：航路航线飞行区域 A/C 模式信号识别规则：按照表 3 的高度层对应的编码进行检测，如果收到的代码不在表 3 的范围内，则认为是 A 模式代码；否则根据 C 模式高度与飞机的飞行航向规则来判断，例如：收到的 ABCD 代码为 5734 时，按 C 模式解码得到是在 11000 米高度层，如果该高度层其他飞机的飞行方向与该目标的方向不一致时，则认为该代码为 A 模式代码而不是 C 模式代码，否则认为其为 C 模式代码。对于飞行方向的判断，民航规定：在表 3 中的相邻高度层，飞机飞行方向相反。我们利用此规则再结合实际飞机的飞行方向进行方向一致性判断。

机载应答机 A/C 脉冲识别算法的基本流程图如图 2 所示。

4 试验

试验所采集的数据在一个适应性处理周期（设定为 3 秒）内，机场附近试验情况所用的地面接收机处于

机场为中心半径约为 10km 的地方，航路航线飞行区域试验所使用的地面接收机则处于机场为中心半径大于 100km 的位置。

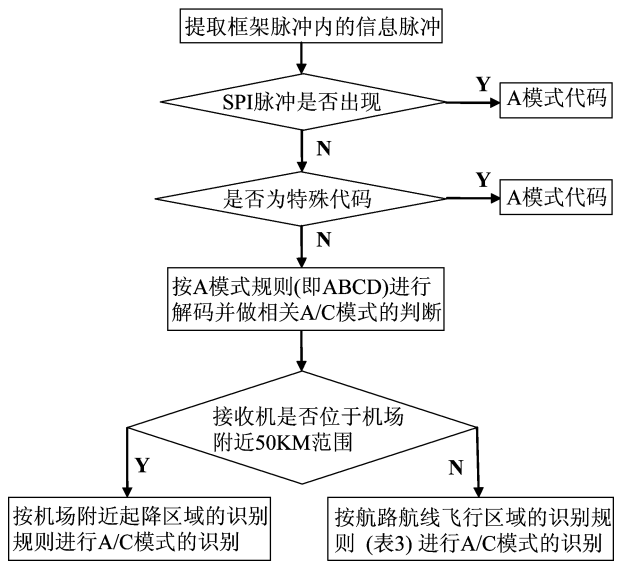


图 2 机载应答机 A/C 脉冲识别算法的基本流程图
Fig. 2 The flow chart of responsive signal's identification for airborne mode A/C transponder

4.1 机场附近收到信息试验情况

在机场附近起降区域内的应答代码，包含稳定的框架脉冲内信息脉冲序列以及不稳定的信息脉冲序列，本实验以出现适应性次数 3 次以上判断是否为稳定的应答代码，表 4 给出了在该区域内的实验结果。

表 4 机场附近起降区域收到的信息试验结果
Tab. 4 The field test results for civil airport ground

序号	信息脉冲序列 F ₁ C ₁ A ₁ C ₂ A ₂ C ₄ A ₄ XB ₁ D ₁ B ₂ D ₂ B ₄ D ₄ F ₂	识别结果	
1	100111101000101	A 模式代码	6560 (0)
2	111100100100001	A 模式代码	5031 (0)
3	100010100111001	A 模式代码	6203 (0)
4	100011001010001	C 模式代码	127 00 英尺
5	100011101000001	C 模式代码	107 00 英尺

对第一行信息脉冲 100111101000101 识别过程：
识别第一步：该序列无 SPI 脉冲，进入后续识别。
识别第二步：按 A 模式解码结果为 6560 (0)，a) 非特殊代码，b) C≠0、5、7，c) D=0，因 a)b)c) 均不满足第二步终止条件，进入后续识别。
识别第三步：在机场起降附近，按照机场附近识别规则，即第 6 步，该代码是稳定代码，短期内未发生变化，说明不是机场起降阶段的 C 模式高度，解析其高

度，不在表 3 的高度范围，说明该代码不是飞越机场的 C 模式高度，所有最终判定该代码为 A 模式代码。
对第二行信息脉冲 111100100100001 的识别过程：
识别第一步：该序列无 SPI 脉冲，进入后续识别。
识别第二步：按 A 模式解码结果为 5031 (0)，a) 非特殊代码，b) C≠0、5、7，c) D≠0、4，因 c) 满足 A 模式判断条件，识别结束，判定为 A 模式代码。

对第三行信息脉冲 111100100100001 的识别过程:
识别第一步:该序列无 SPI 脉冲,进入后续识别。
识别第二步:按 A 模式解码结果为 6203 (0),a) 非特殊代码,b) C=0,因 b) 满足 A 模式判断条件,识别结束,判定为 A 模式代码。

序号 4 的信息脉冲序列在适应性周期内仅收到 1 ~ 2 次,为不稳定的脉冲序列。信息脉冲序列 100011001010001,该序列无 SPI 脉冲,进入后续识别。按照 A 模式代码解码规则进行解码后得到 ABCD 为 2340,由此可知 ABCD 不是特殊代码,C 的结果不是 0、5、7 之一,D 的结果为 0 需要进行下一步识别;因在起降阶段高度是时刻变化的,可以判定该不稳定的应答代码为 C 模式代码,按照 C 模式高度解码规则进行确

认后得到 127 00 英尺,故为 C 模式代码。
序号 5 的信息脉冲序列在适应性周期内仅收到 1 ~ 2 次,为不稳定的脉冲序列。信息脉冲序列 100011101000001,该序列无 SPI 脉冲,进入后续识别。按照 A 模式代码解码规则进行解码后得到 ABCD 为 6140,由此可知 ABCD 不是特殊代码,C 的结果不是 0、5、7 之一,D 的结果为 0 需要进行下一步识别;因在起降阶段高度是时刻变化的,可以判定该不稳定的应答代码为 C 模式代码,按照 C 模式高度解码规则进行确认后得到 107 00 英尺,故为 C 模式代码。

4.2 航路上收到信息试验情况

在航路航线飞行区域的信息脉冲序列实验结果如表 5 所示:

表 5 航路航线飞行区域收到的信息试验情况
Tab.5 The field test results for aviation route

序号	信息脉冲序列 F ₁ C ₁ A ₁ C ₂ A ₂ C ₄ A ₄ XB ₁ D ₁ B ₂ D ₂ B ₄ D ₄ F ₂	识别结果	
1	111011001100011	A 模式代码	3155(0)
2	111100000000011	C 模式代码	31 100 英尺
3	111100001010011	C 模式代码	33 100 英尺

序号 1 信息脉冲序列 111011001100011,该序列无 SPI 脉冲,进入后续识别。按照 A 模式解码规则得到 ABCD 为 3155,可知 ABCD 不是特殊代码,C 的结果是 5,据此可以判定序号 1 的脉冲序列为 A 模式代码,且代码值为 3155。

序号 2 信息脉冲序列 111100000000011,该序列无 SPI 脉冲,进入后续识别。按照 A 模式解码规则得到 ABCD 分别为 1034,可知 ABCD 不是特殊代码,C 的结果不是 0、5、7 之一,D 的结果为 4 则进入下一步,因在航路航线飞行区域,按照该区域的 A/C 模式信号识别规则,即按照表 3 的高度层对应的编码进行检测,序号 2 表示的高度值分别为 31 100 英尺,在表 3 范围内,再利用其飞行方向与该高度层的其他飞机的飞行方向进行一致性判断,得出应答代码为 C 模式代码。

序号 3 信息脉冲序列 111100001010011,该序列无 SPI 脉冲,进入后续识别。按照 A 模式解码规则得到 ABCD 分别为 1334,可知 ABCD 不是特殊代码,C 的结果不是 0、5、7 之一,D 的结果为 4 则进入下一步,因在航路航线飞行区域,按照该区域的 A/C 模式信号识别规则,即按照表 3 的高度层对应的编码进行检测,序号 3 表示的高度值为 33 100 英尺,在表 3 范围内,再利用其飞行方向与该高度层的其他飞机的飞行方向进行一致性判断,得出应答代码为 C 模式代码。

通过实验得到的所有 C 模式高度解码的结果与文献[3]附录 A 的原始值相符,可以看出本文的方法在 A/C 模式的识别上的准确性。

5 结束语

本文的有益效果是:本文针对多点定位等通过接收机载应答机发出信号实现被动定位的技术中,如何区分机载应答机发出的代码类别而提出的解决方案的。目前本技术已经成功在成都、贵阳、太原、石家庄以及呼和浩特等地运用并且产生了很好的效果。该技术从应答信号脉冲的组成分析开始,并结合实际飞行情况,开展 A 模式代码和 C 模式代码的识别技术,为多点定位系统的中心处理站进行信号分选和识别提供有益帮助,有效提高了多点定位系统的信号识别效率和定位精度,具有较大的应用前景和使用价值。

参考文献

[1] 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. Air Traffic Control Airborne Transponders [M]. Beijing: National defense industry Press, 1992. (in Chinese)
[2] Michael C. Stevens, Secondary Surveillance Radar [M]. Boston: Artech House 1988.

- [3] MH/T 4010-2006, 空中交通管制二次监视雷达设备技术规范 [S].
MH/T 4010-2006, The Technical Specifications of Air Traffic Control Secondary Surveillance Radar Equipment [S]. (in Chinese)
- [4] Piracci E. G., Petrochilos N., Galati G. Mixed SSR sources separation exploiting sparsity: a geometrical approach [C]. Radar Conference, 2009. EuRAD 2009. European.
- [5] Petrochilos N., Galati G., Piracci E. Separation of SSR Signals by Array Processing in Multilateration Systems [J]. IEEE Transactions on AES, 2009, 45(3): 965-982.
- [6] Jasch A., Feuerle T., Scoor G., Hecker P. Geometrical siting considerations for wide area multilateration systems [C]. Position Location and Navigation Symposium (PLANS), 2010 IEEE/ION.
- [7] Ning X., Cassell R., Evers C., Hauswald S., Langhans W. Performance assessment of Multilateration Systems - a solution to nextgen surveillance [C]. Integrated Communications Navigation and Surveillance Conference (ICNS), 2010.
- [8] Beutler F., Hanebeck U. D. A two-step approach for offset and position estimation from pseudo-ranges applied to multilateration tracking [C]. Information Fusion (FUSION), 2010 13th Conference on.
- [9] Petrochilos N., van der Veen A. -J. Algebraic Algorithms to Separate Overlapping Secondary Surveillance Radar Replies [J]. IEEE Transactions on SP, 2007, 55(7): 3746-3759.
- [10] Mazuelas S., Lorenzo R. M., Bahillo A., Fernandez P., Prieto J., Abril E. J. Topology Assessment Provided by Weighted Barycentric Parameters in Harsh Environment Wireless Location Systems [J]. IEEE Transactions on SP, 2010, 58(7): 3842-3857.
- [11] 王运锋, 潘卫军. 机载应答机 A/C 模式应答信号的识别方法 [P]. 国家发明专利: 201010563658. 5, 2011. 04. 13.
- [12] 高伟, 陆海静, 郑海波. 某型空管应答机高度源模拟器电路设计 [J]. 现代电子技术, 2008(21): 57-59.
GAO Wei, LU Hai-jing, ZHENG Hai-bo. Circuit Design of Simulated Altitude Source for Certain Aircontrol Transponder [J]. Modern Electronics Technique, 2008(21): 57-59. (in Chinese)
- [13] Payne W. E. Surveillance at Colorado mountain airports [C]. Digital Avionics Systems Conference, 2008. DASC 2008. IEEE/AIAA 27th.

作者简介

张 鹏(1987-), 男, 四川峨眉山人, 毕业于四川大学获得学士学位, 现为四川大学硕士研究生, 主要研究方向: 雷达数据处理。E-mail: zhangpeng20999@163.com

王运锋(1975-), 男, 河南南阳人, 毕业于电子科技大学获博士学位, 现为四川大学研究员, 硕士生导师, 主要研究方向: 雷达数据处理、多源信息融合、航空电子技术。
E-mail: yfwang@scu.edu.cn