

AIS 信号解调及其信息恢复

黄 标¹, 尚俊娜^{1*}, 陆 辉²

(1. 杭州电子科技大学 通信工程学院, 浙江 杭州 310018; 2. 中国电子科技集团第 36 研究所, 浙江 嘉兴 314001)

摘要: 船舶自动识别系统(AIS)广泛应用于实际船舶通信系统中,实现船舶交通管理系统的船-岸、船-船的通信及辅助导航,避免船舶间碰撞,用于提高航行的安全。针对获取船舶状态信息的需求,研究了 AIS 信号进行解调和信息恢复技术。首先介绍了 AIS 信号模型和解调原理,详细讨论了实际接收的 AIS 信号解调方法,采用相位差分解调方法实现解调,最后根据 AIS 协议给出了原始信源信息恢复方法,并根据实际采集的 AIS 信号,进行了解调和信息恢复实验。研究结果表明上述方法是有效的。

关键词: 船舶自动识别系统;GMSK;解调;协议

中图分类号:TH766

文献标识码:A

文章编号:1001-4551(2010)10-0123-04

Demodulation and information recovery of AIS signal

HUANG Biao¹, SHANG Jun-na¹, LU Hui²

(1. School of Communication Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China;

2. NO. 36 Research Institute of CETC, Jiaxin 314001, China)

Abstract: Automatic identification system(AIS) is already widely used in shipping communication systems to communicate between AIS base station and ship, ship and ship, assist navigation in marine traffic management system with the intention of making marine navigation safer. Aiming at meeting the requirements of getting the original information of ships, demodulation and information recovery techniques of AIS signals were researched. Firstly, the model and the demodulation principle of AIS signal were introduced. Then the demodulation method for received AIS signal was discussed in detail and AIS signal was demodulated with the method of phase difference, the original transmitted information recovery method based on AIS protocol specifications was presented. Finally experiments of demodulation and information recovery were done to the received AIS signal. The results indicate that the presented method is effective.

Key words: automatic identification system(AIS); GMSK; demodulation; protocol

0 引 言

自动识别系统 AIS 作为一种新型的助航系统,因其具有在船舶之间自动进行船舶信息交换和船舶识别的基本功能,从根本上提高船舶航行安全,提高船舶交通管理服务水平和监控能力。在各种信号密集的环境中,自动识别系统能有效地对信号进行解调、协议分析、信息恢复,对于有效识别 AIS 信号信息有着非常重要的作用。

AIS 信号的调制方式是根据带宽进行调整的调频高斯滤波最小频移键控(GMSK/FM)。GMSK 是 MSK(最小频移键控)在调制前经过窄带高斯滤波器形成的。基带码元经过窄带高斯滤波器以后,码元宽度展

宽,产生了码间串扰。它以误码换取较小的带宽,在实际中要对两者间进行平衡。对于 GMSK 信号,可以用维特比算法^[1-3]、差分算法^[4-6]和基于 PAM 分解方法进行解调,前两种算法研究相对比较多,Viterbi 算法实现比较复杂,基于 PAM 分解方法可以大大降低符号间干扰,使得接收机较简单。

本研究主要用相位差分法对实际接收的 AIS 信号进行解调,然后利用 AIS 信号协议恢复接收的信息。

1 实际 AIS 信号的解调

1.1 AIS 信号模型

(1) MSK 信号。

MSK 是 2FSK 的一种特殊情况^[8],它具有正交信

号的最小频差。在 FSK 方式中,每一码元的频率不变或者跳变一个固定值,而两个相邻的频率跳变码元信号的相位通常是不连续的。MSK 方式是 FSK 信号相位始终保持连续变化的一种特殊方式。

MSK 的信号可以表示为:

$$s_{MSK}(t) = A \cos \left[w_c t + \frac{\pi}{2T_b} a_m t + X_m \right] \quad (1)$$

$$mT \leq t \leq (m+1)T$$

其中, $a_m = \pm 1$, T 为 a_m 宽度, X_m 是为了保证在 $t = mT$ 处的相位连续而加入的相位常数。 X_m 满足以下递推关系:

$$X_m = X_{m-1} + (a_{m-1} - a_m) \cdot \frac{m\pi}{2} \quad m = 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

若 $X_0 = 0$, 则 $X_m = 0$ 或 $\pm \pi$ (模 2π)。上式明确地反映了前后比特区间的相位依赖关系,即本比特区间内的相位常数不仅与本比特区间的输入有关,还与前一个比特区间的输入以及相位常数有关。

(2) AIS 信号。

由 AIS 系统的技术标准可知, AIS 信号的调制方式是根据带宽进行调整的调频高斯滤波最小频移键控 (GMSK/FM), 所以 AIS 信号模型等价于 GMSK 信号模型, 可以表示为:

$$S_{GMSK}(t) = A \cos [2\pi f_c t + \phi(t)] \quad (3)$$

其中:

$$\phi(t) = 2\pi k \int_{-\infty}^t [h(\tau) \cdot \alpha(\tau)] d\tau \quad (4)$$

$h(t)$ 为高斯滤波器的冲激响应:

$$h(t) = \frac{\sqrt{\pi}}{\gamma} \exp \left(-\frac{\pi^2 t^2}{\gamma^2} \right) \quad (5)$$

参数 γ 和 3 dB 带宽 B 有关, 其取值可以是 0.5, 0.2, 0.3, 等。

且:

$$\alpha(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} a_m g(t - mT) \quad (6)$$

式中 $a_m = +1$ 或 -1 ; $g(t)$ —持续时间为 T 的矩形脉冲。

1.2 AIS 信号解调原理

(1) MSK 信号解调^[9]。

MSK 数字信号表达式为:

$$S(n) = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \left\{ A \cos \left[\left(w_c + \frac{\pi}{2T} a_m \right) n T_s + X_m \right] \right\} \quad (7)$$

式中 T —码元持续时间; T_s —采样间隔; a_m —输入码元, 且 $a_m = +1, -1$; X_m —为保证相位连续而加入的相位常数。

MSK 信号的解调同 FM, 对信号进行正交分解, 式 (7) 可写为:

$$S(n) = X_I(n) \cos(w_c n T_s) - X_Q(n) \sin(w_c n T_s) \quad (8)$$

其中, 同相分量 $X_I(n)$ 和正交分量 $X_Q(n)$ 为:

$$X_I(n) = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \left\{ A \cos \left(\frac{\pi}{2T} a_m n T_s + X_m \right) \right\} \quad (9)$$

$$X_Q(n) = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \left\{ A \sin \left(\frac{\pi}{2T} a_m n T_s + X_m \right) \right\} \quad (10)$$

基带信号的瞬时频率 $f(n)$ 的计算如下:

$$f(n) = \{ \phi(n) - \phi(n-1) \} / 2\pi = \left\{ \arctg \left[\frac{X_Q(n)}{X_I(n)} \right] - \arctg \left[\frac{X_Q(n-1)}{X_I(n-1)} \right] \right\} / 2\pi \quad (11)$$

计算出瞬时频率 $f(n)$ 后, 对 $f(n)$ 抽样判决, 即可恢复出码元。

(2) AIS 信号解调。

由于 AIS 信号的调制方式是 GMSK/FM, 所以可以由 GMSK 解调来实现。但利用式 (11) 的相位差分计算瞬时频率时, 计算 $\phi(n)$ 要进行除法和反正切运算, 这对于非专用数字处理器来说是较复杂的。

本研究采用如下方法对 AIS 信号进行解调, AIS 信号经过下变频和滤波后, 其基带的信号表示为:

$$R(n) = X_I(n) + jX_Q(n) = A \exp(j\phi(n)) \quad (12)$$

因为:

$$R(n)R^*(n-1) = A^2 \exp \{ j[\phi(n) - \phi(n-1)] \}$$

所以利用下式可以求出 $f(n)$:

$$f(n) = \{ \arg \{ R(n)R^*(n-1) \} \} / 2\pi = \{ \phi(n) - \phi(n-1) \} / 2\pi \quad (13)$$

在计算瞬时频率后, 对 $f(n)$ 进行抽样判决, 利用过零判决, 即可恢复出码元。

1.3 解调的实现

由于实际 AIS 信号主要工作在 161.975 MHz 和 162.025 MHz 这两个频点上, 所以对射频信号采用 162 MHz 的本振下变频时, 就会产生 $\Delta f = \pm 25$ kHz 的频偏, 因此在解调前先要估计频偏。AIS 信号解调方法组成框图如图 1 所示。数据 A 就是经过 162 MHz 的本振下变频和采样频率为 $f_s = 204.8$ kHz 的采样 A/D 变换后的数字信号, 数据 B 是去掉频偏后的基带信号, $R(n)$ 是经过滤波后的基带信号, 然后由基带信号计算瞬时频率, 同步抽样判决可以恢复出原始的信息比特流。

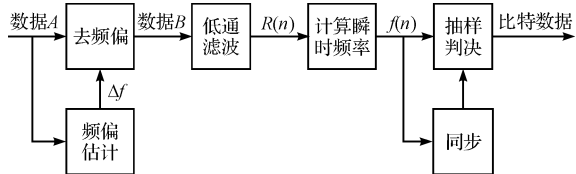


图 1 AIS 信号解调框图

(1) 频偏估计。

数据 A 的一段信号频谱如图 2 所示,图中所示的是经过搬移后的谱图,102.4 kHz 就是原来的零频点,由图中可以看出信号能量主要集中在 102.4 kHz 频点右边,因此可以根据信号能量估计频偏 Δf,从而估计得到 AIS 的工作频率。

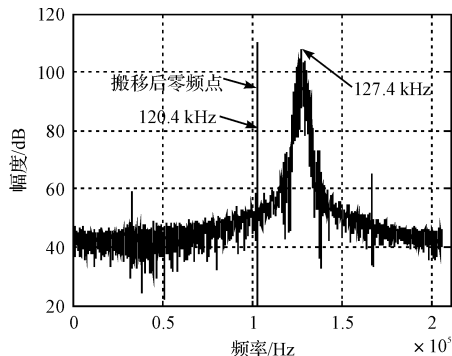


图 2 搬移后的频谱

设零频左边偏移 25 kHz,频点左右对称共 25 kHz 范围内信号能量为 p_1 ,零频右边偏移 25 kHz 频点左右对称共 25 kHz 范围内信号能量为 p_2 ;若 $p_1 > p_2$ 时,则频偏为 $\Delta f = -25 \text{ kHz}$;若 $p_1 < p_2$ 时,则频偏为 $\Delta f = 25 \text{ kHz}$ 。

图 2 所示这段数据的频偏为 $\Delta f = 25 \text{ kHz}$,所以这段 AIS 信号的工作频点是 162.025 MHz。得到频偏估计后,对信号去频偏,可得到未滤波前的基带信号 B。

(2) 滤波处理和瞬时频率估计。

由于根据信号 A 频谱峰值的 25 kHz 带宽内的能量判决频偏,因此设计的数字低通滤波器的带宽取 $BW = 25 \text{ kHz}$, $f_s = 204.8 \text{ kHz}$,FIR 低通滤波器的其他参数选择如下:

$$F_{\text{pass}} = BW/f_s \text{ (归一化频率)}, F_{\text{stop}} = 1.25 \cdot F_{\text{pass}},$$

$$A_{\text{pass}} = 1 \text{ dB}, A_{\text{stop}} = 80 \text{ dB}.$$

经过低通滤波后的 I, Q 两路信号的一段波形如图 3 所示。

利用式(13)可得到瞬时频率 $f(n)$ 如图 4 所示。

(3) 抽样判决和码元恢复。

先对 $f(n)$ 进行过零判决, $f(n) > 0$, 判为 1; $f(n) < 0$, 判为 0。由于 AIS 信号的同步头经过 NRZI 变换后为(11001100……)24 bit 位模式,利用其双 1 和双 0 交替出现特点,确定同步序列和第一个码元的采样点

的起始位置,取一个码元的所有采样点的均值,若大于零,则判这个码元为 1,若小于零,则判这个码元为 0,即可恢复出码元。图 4 所示波形 $f(n)$ 解调出来的比特流如图 5 所示。

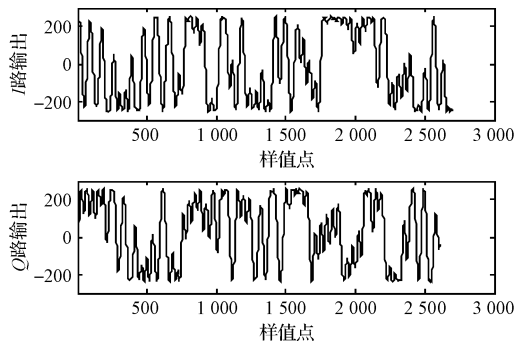


图 3 滤波后 I, Q 两路信号

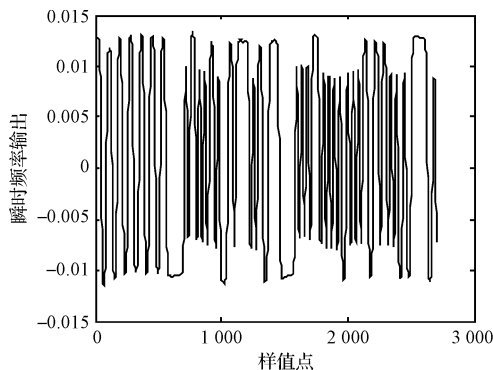


图 4 瞬时频率 $f(n)$

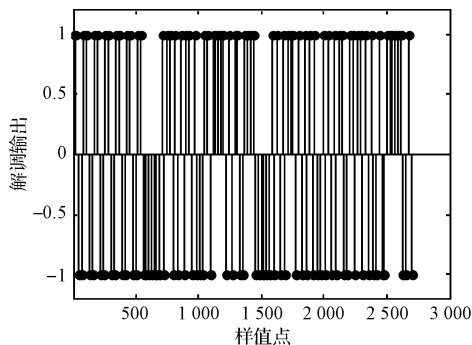


图 5 解调的比特流

2 根据协议恢复 AIS 信号的信息

2.1 协议中的数据分组格式

AIS 的数据传输采用面向比特的协议。位流受位填充控制,如果发现输出位流中连续出现 5 个 1 时,应插入一个 0。数据分组格式如图 6 所示。

(1) 同步序列: 未经 NRZI 变换的同步序列由 24 bit 交替的 0 和 1 组成的位模式(0101010101……)。

(2) 开始标记: 开始标记的长度为 8 bit, 为 01111110。该标记尽管包含 6 个连续的 1, 但不受位填充的影响。

(3) 数据:数据部分则根据待传输的消息内容具体给定,其长度也由消息识别码和具体的内容决定。

(4) 帧校验序列:帧校验序列为循环冗余校验(CRC),采用 GB/T 7496 - 1987 中所定义的 16 位多项式校验和来计算,在 CRC 计算开始时将 CRC 码元预设为 1,CRC 计算中只包括数据部分。

(5) 结束标记:结束标记与开始标记相同,也不受位填充影响。

(6) 缓冲码:缓冲码则包括位填充、距离延迟、转发器延迟和同步晃动等引入的比特。

(7) 数据编码:数据编码采用不归零反转(NRZI)波形,在位流中每遇到 0 就发生电平的变化。

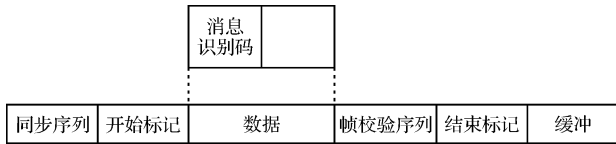


图 6 数据分组结构图

2.2 解码

根据 AIS 协议中的数据分组结构,本研究提出的对 AIS 解调后的比特流解码及分析流程如图 7 所示。

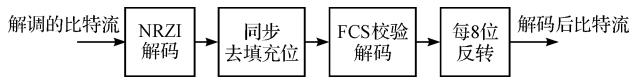


图 7 解码流程

先对解调后的比特流进行 NRZI 解码,即当前后比特变化时,则判为 0,反之为 1。由数据分组结构中的同步序列进行同步,先找到同步头,然后找到一个消息的开始标记和结束标记,提取出开始标记和结束标记之间的比特流后进行去填充位和 FCS(帧校验序列)校验解码。根据协议,每个消息的内容是按照 8 bytes 进行组合的,且每个字节的输出是从低有效位开始,所以恢复信息时按 8 bytes 反转,这样才能正确恢复信息,得出解码后的比特流。根据上面流程,从上一节解调后的比特流得到解码后的比特流为:0000010001100010011110011010100011111011110000000000000000001000101010010000011111101000010001100000001000111001110001111110010100111100110000000000100100000110。

2.3 信息恢复

AIS 的消息有 22 种^[10],根据消息协议可以从解码后的比特流中恢复出信息。经过分析上面的一段码,它是消息 1(船位报告),由消息 1 协议恢复信息如下:

消息:1(船位报告),转发次数:0 次,MMSI(用户识别码):413035070,航行状态:未被定义使用,转向

率:0°,对地航速:0 kn,船位精度:低(>10 m),经度:东经 121° 4' 45",纬度:北纬 30° 35' 3",对地航向:319.9°,真航向:83°,报告产生时:51",RAIM(接收机自主完整性监测)状态:未使用,通信状态:处于 SOTDMA 通信状态,同步状态:直接获取 UTC,时隙超时:该时隙最后一次传输。

3 结束语

本研究讨论了 AIS 信号的解调和信息恢复方法,采用相位差分的方法实现 AIS 信号解调,并根据 AIS 协议对解调后的比特流进行信息恢复,对实际 AIS 信号的解调和信息恢复结果表明,所介绍的方法是有效的。为了正确恢复信息,要注意每 8 bytes 的反转。在解调存在误码的情况下,帧校验环节即判信息传输出错,由于 AIS 没有采用纠错编码机制,此时就无法完全正确的恢复原始信息,因此保证接收信号的高信噪比非常关键。

AIS 系统在海上平台方面的应用已经非常广泛,它能使船只间有效的相互定位,对 AIS 信号的解调以及信息恢复是 AIS 得以应用的保证,因此本研究对 AIS 的工程应用具有重要价值。

参考文献(References):

- [1] 于志贤. 利用维特比算法解调 GMSK 信号[J]. 海军大连舰艇学院学报,2003,26(3):49-51.
- [2] 曾佐祺,李 赞. 基于 Viterbi 算法的 GMSK 信号解调性能分析与仿真[J]. 重庆邮电大学学报,2008,20(2):132-138.
- [3] TSAI K, LUI G L. Coherent viterbi and threshold demodulators for pulse-driven GMSK signals[J]. MILCOM 99,1999(1):291-295.
- [4] SMITH W S, WITTKKE P H. Differential detection of GMSK in rician fading[J]. IEEE Transactions on Communications,1994,42(234):216-220.
- [5] MATHIS H. Differential detection of GMSK signals with low B/sub t/T using the SOVA[J]. IEEE Transactions on Communications,1998,46(4):423-430.
- [6] JIAN G, STUBER G L. A new differential detector for GMSK[J]. IEEE International Conference on Communications,1995(1):336-341.
- [7] 李振华,谢 军,王 宁. GMSK 全数字解调[J]. 空间电子技术,2004,1(2):23-28.
- [8] 曹志刚,钱亚生. 现代通信原理[M]. 北京:清华大学出版社,2005.
- [9] 杨小牛,楼才义,徐建良. 软件无线电原理与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2005.
- [10] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 20068-2006 船舶自动识别系统技术要求[S]. 中国国家标准化管理委员会,2006.

[编辑:张 翔]