

中华人民共和国交通运输行业标准

JT/T XXXXX—XXXX

海上数字广播系统技术要求

Technical requirements for a maritime digital broadcasting system, named  
navigational data (NAVDAT)

ITU-R M.2010, Characteristics of a digital system, named Navigational  
Data for broadcasting maritime safety and security related information  
from shore-to-ship in band, (NEQ)

在提交反馈意见时, 请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上

(征求意见稿)

- XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中华人民共和国交通运输部 发布



## 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语、定义和缩略语 .....	1
4 一般要求 .....	2
5 功能要求 .....	9
6 性能要求 .....	11
附录 A（规范性附录） 调制解调技术 .....	16
附录 B（规范性附录） 数据帧编码格式 .....	20
附录 C（规范性附录） DS 数据段编码格式 .....	27
参考文献 .....	29

## 前 言

本标准按照GB/T 1.1-2009给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准参考ITU-R M.2010建议书《500kHz频段岸到船广播水上安全和安保相关信息的数字系统特性》，与ITU-R M.2010建议书的一致性程度为非等效。

本标准由交通运输信息通信及导航标准化技术委员会提出并归口。

本标准起草单位：交通运输部东海航海保障中心、上海埃威航空电子有限公司。

本标准主要起草人：汤可成、陈涤非、高万明、郑德福。

# 海上数字广播系统技术要求

## 1 范围

本标准规范了中频海上数字广播（NAVDAT）系统的一般要求、功能要求和性能要求。  
本标准适用于中频海上数字广播的播发系统和船载接收设备。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

BD 410004 北斗/全球卫星导航系统（GNSS）接收机导航定位数据输出格式

IEC 61162 海上导航和无线电通信设备及系统 数字接口（所有部分）（Maritime navigation and radio communication equipment and systems-Digital interfaces）

ITU-R M. 493 建议书 用于水上移动业务的数字选择性呼叫系统（Digital selective-calling system for use in the maritime mobile service）

ITU-R M. 585 建议书 水上移动业务标识的指配和使用（Assignment and use of identities in the maritime mobile service）

ITU-R M. 2010 建议书 500kHz 频段岸到船广播水上安全和安保相关信息的数字系统特性（Characteristics of a digital system, named Navigational Data for broadcasting maritime safety and security related information from shore-to-ship in the 500kHz band）

ITU-R P. 368-9 频率在10 kHz和30 MHz之间的地波传播曲线（Ground-wave propagation curves for frequencies between 10 kHz and 30MHz）

ITU-R P. 372-10 无线电噪声（radio noise）

## 3 术语、定义和缩略语

### 3.1 术语和定义

#### 3.1.1

**波峰因子**（crest factor）

描述信号包络变化的参数，最大信号值与均方根之比。

注：本系统的OFDM信号由多个调制子载波信号合成，RF信号会出现较大的波峰因子。

#### 3.1.2

**海上数字广播系统**（Navigational Data）

一种通过数字通信技术广播航行数据，用于从海岸向船舶播发安全和安保相关信息的航行信息的系统。

### 3.1.3

#### 码率 (code rate)

纠错编码后的有效数据率和原始数据率的比例，

注：是衡量纠错编码效率的指标。

### 3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

BER: 误码率 (Bit Error Rate)

BMP: 图像文件格式 (Bitmap)

CDU: 显示控制单元 (Display and Control Unit)

CRC : 循环冗余检验 (Cyclic Redundancy Check)

DRM: 世界数字无线电广播 (Digital Radio Mondiale)

DS: 数据流 (Data Stream)

GIF: 图像互换格式 (Graphics Interchange Format)

GNSS: 全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System)

IMD3: 三阶互调抑制比 (Intermodulation Distortion From The Third Order )

JPEG: 联合图像专家组 (Joint Photographic Experts Group)

LDPC: 低密度奇偶校验码 (Low Density Parity Check)

MER: 信息错误率 (Message Error Rate)

MIS: 调制信息流 (Modulation Information Stream)

MMSI: 水上移动通信业务标识码 (Maritime Mobile Service Identify)

NAVDAT: 海上数字广播系统 (Navigational Data)

NAVTEX: 航行警告电传 (Navigational Telex)

OFDM: 正交频分复用 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

PDF: 便携式文档格式 (Portable Document Format)

PN: 伪噪声 (Pseudo-Noise)

PNG: 可移植网络图形 (Portable Network Graphic)

PRBS: 伪随机二进制序列 (Pseudo Random Binary Sequence)

QAM: 正交幅度调制 (Quadrature Amplitude Modulation)

RF: 射频 (Radio Frequency)

SIM: 信息和管理系统 (System of Information and Management)

SNR: 信噪比 (Signal Noise Rate)

TIS: 发射机信息流 (Transmitter Information Stream)

## 4 一般要求

### 4.1 系统组成

NAVDAT系统应至少包括下列5种子系统，见图1:

a) 信息和管理系统 (SIM)，包括:

- 1) 收集和控制各类信息;
- 2) 创建需传输的消息文件;

- 3) 根据文件的优先级和重复需求创建发射序列;
  - 4) 监测岸基播发台工作状态和播发质量;
  - 5) 控制岸基播发台工作参数。
- b) 岸基网络：确保消息文件和监控数据在 SIM 和岸基播发台之间的传输。
- c) 岸基播发台，包括：
- 1) 接收来自 SIM 的消息文件；
  - 2) 将消息文件转换成 OFDM 信号；
  - 3) 将 RF 信号通过天线辐射，向船舶广播；
  - 4) 监测工作状态并向 SIM 上报。
- d) 传输信道：传输 500 kHz 无线电信号。
- e) 船载接收机，包括：
- 1) 接收无线电信号，并解调 OFDM 信号；
  - 2) 重建消息文件；
  - 3) 根据消息文件的应用分类，显示消息内容或将消息文件提供给专用设备。

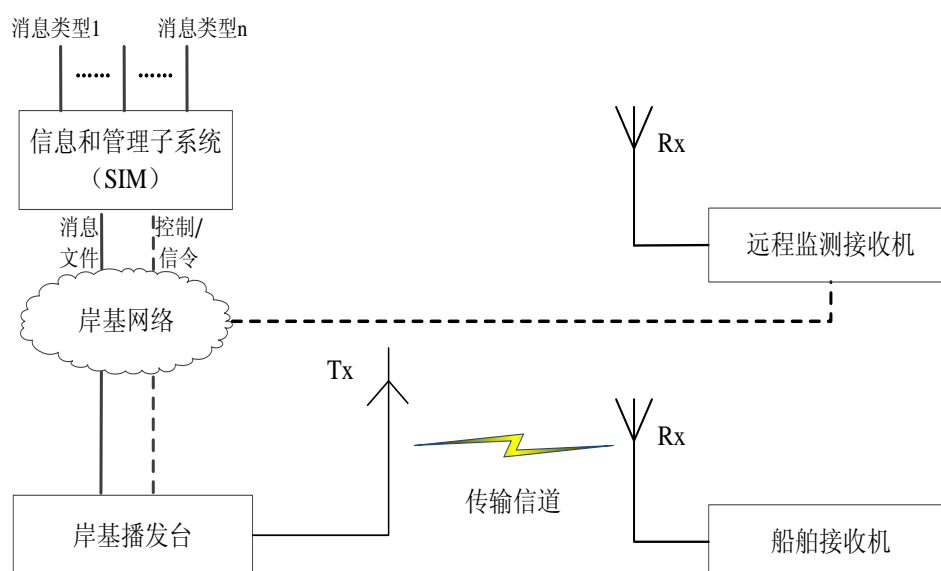


图1 NAVDAT 系统框图

## 4.2 信息和管理系统

### 4.2.1 组成

信息管理子系统包括：

- a) 提供文件消息的所有来源（如气象、安保部门等）；
- b) 文件多路复用器，一种运行在服务器上的应用程序；
- c) 文件多路复用管理器；
- d) 岸基发射机管理器。

所有消息源均通过网络与文件多路复用器相连。

图2给出了SIM的框图：

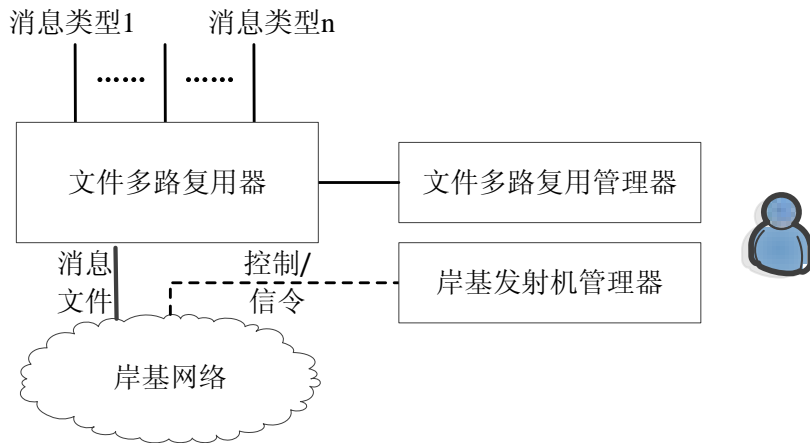


图2 SIM框图

#### 4.2.2 文件多路复用器

文件多路复用器的功能如下：

- a) 交付从数据源得到的消息文件；
- b) 如有要求，加密消息文件；
- c) 使用接收者信息、优先级状态和时间有效性等封装文件消息，使之格式化；
- d) 将消息文件发送至发射机。

#### 4.2.3 文件多路复用管理器

文件多路复用管理器是一种人机接口，支持用户执行包括以下任务在内的多项任务：

- a) 查看来自所有信源的消息文件；
- b) 指定消息文件的优先级和周期；
- c) 指定消息文件的接收方；
- d) 管理文件消息的加密。

上述部分功能可自动化执行。如消息文件的优先级和周期可根据其信源自动选择，也可由信源在消息中指定优先级。

#### 4.2.4 岸基播发台管理器

岸基播发台管理器是一种人机接口，通过网络与播发台连接，应能监视播发台的下列状态：

- a) 发射确认；
- b) 告警；
- c) 有效发射功率；
- d) 同步报告；
- e) 播发台发射质量。

岸基播发台管理器变更发射机的参数如下：

- a) 发射功率；
- b) OFDM 参数（导频子载波、调制方式、纠错编码方式等）；
- c) 发射序列。

### 4.3 岸基网络



岸基网络宜采用宽带连接、低速率连接或本地文件共享的方式。

#### 4.4 岸基播发台

##### 4.4.1 组成

岸基播发台最低配置如下：

- 一台控制器，为受访问保护的本地服务器；
- 一台 OFDM 调制器；
- 一台 500 kHz 频段的 RF 生成器
- 一台 500 kHz 频段的放大器；
- 一副带匹配单元的发射天线；
- 一台用于同步的 GNSS 接收机或原子钟；
- 一台带天线的监测接收机。

NAVDAT中频播发台的框图，见图3。

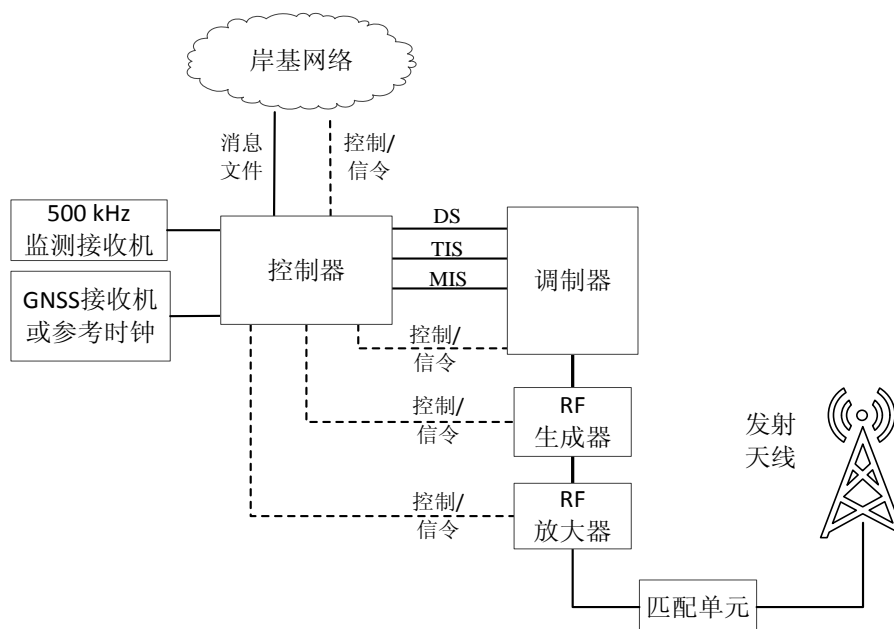


图3 NAVDAT 中频播发台框图

##### 4.4.2 控制器

控制器接收以下信息：

- 来自 SIM 的消息文件；
- 来自 GNSS 接收机或参考时钟的时间同步信息；
- 来自监测接收机的 500 kHz 信号；
- 来自调制器的 500 kHz 信号；
- 来自 RF 生成器和放大器的监测信号。

控制器的主要功能如下：

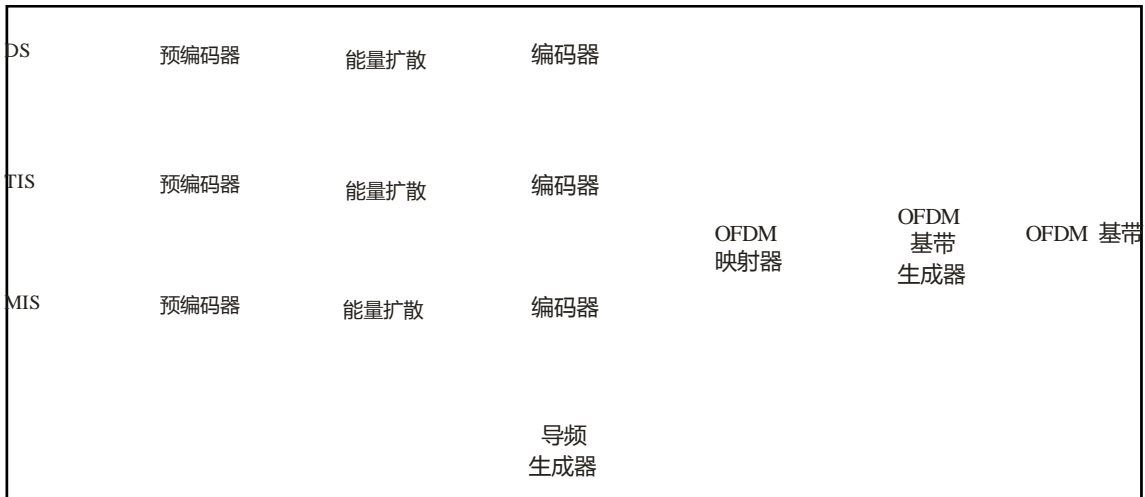
- 在传输前检查相关频段是否空闲；
- 将岸基播发台的所有信号与同步时钟信号同步；

- c) 控制传输参数、时间和序列;
- d) 按传输要求格式化需发射的消息文件。

#### 4.4.3 调制器

##### 4.4.3.1 组成

NAVDAT调制器的框图，见图4。



M.2010-04

图4 NAVDAT 调制器框图

##### 4.4.3.2 输入流

为进行操作，调制器应有以下三种输入流：

- a) 调制信息流（MIS），MIS 总是采用 4-QAM 子载波调制，提供以下信息：
  - 4) 频谱占用；
  - 5) 发射机信息流（TIS）和数据流（DS）的调制方式（4-、16-或 64-QAM）。
- b) 发射机信息流（TIS），TIS 流采用 4-或 16-QAM 子载波调制，向接收机提供以下信息：
  - 6) 数据流（DS）的纠错编码方式（对于白天的地波传播及夜间的地波+天波传播情况，采用的纠错编码应有所区别）；
  - 7) 发射机的标识；
  - 8) 日期和时间。
- c) 数据流（DS），包含要发送的信息文件，且该文件此前通过了文件多路复用器的格式化，调制器按数据帧编码格式（见附录 B）对输入数据流进行编码。

##### 4.4.3.3 纠错编码

为保障传输的鲁棒性，应采用纠错机制。考虑到传输效率，根据纠错机制和调制模式的不同，码率应在0.5~0.75间变化。

##### 4.4.3.4 OFDM 生成

MIS、TIS和DS等三种输入流以编码和能量扩散的形式进行格式化。

OFDM映射器通过单元映射组建OFDM单元，包括格式化的输入流和导频单元。接收机利用导频单元评估无线电信道并同步RF信号。

OFDM基带生成器根据映射器的输出产生OFDM基带信号。

#### 4.4.4 500kHz RF 生成器

500kHz RF生成器将基带信号变换到500 kHz的输出载波中，激励放大器将RF信号放大至期望的功率。

#### 4.4.5 RF 放大器

RF放大器将生成器输出的500 kHz信号放大至必要功率，以满足所需的无线电覆盖要求。为满足信息错误率（MER）要求，RF放大器输出端的波峰因子应控制在7 dB~10 dB。

#### 4.4.6 带匹配单元的发射天线

发射天线应具有阻抗匹配单元，RF放大器输出连接匹配单元，再连接至发射天线。

#### 4.4.7 GNSS 接收机和备份原子钟

该时钟用于同步本地控制器。

#### 4.4.8 监测接收机

监测接收机检查相关频率在发射前是否空闲，并用于检查RF发射。建议配置远程监测接收机，以监视播发质量。

### 4.5 传输信道

根据建议书ITU-R P. 368-9和ITU-R P. 372-10计算无线电覆盖范围。示例参见报告ITU-R M. 2201。

### 4.6 船载接收机

#### 4.6.1 组成

典型的NAVDAT接收机应包括以下组成部分，组成框图见图5：

- a) 中频接收天线；
- f) RF 前端；
- g) OFDM 解调器；
- h) 文件多路分配器
- i) 控制器；
- j) 显控单元；
- k) 数据接口；
- l) 供电。

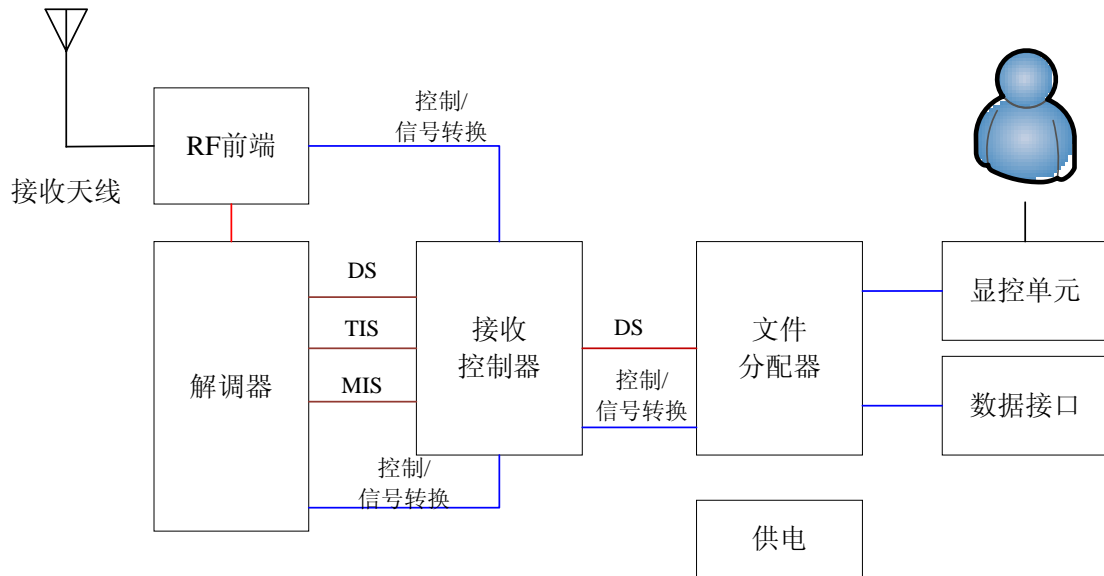


图5 NAVDAT 接收机框图

#### 4.6.2 中频接收天线

接收频率范围覆盖495 kHz~505 kHz的磁场（建议在大噪声船舶上使用）或电场的天线，天线宜覆盖486 kHz、490 kHz和518 kHz，以便与NAVTEX共用天线。

#### 4.6.3 射频前端

射频前端包含RF滤波器、RF放大器和基带输出，应具备高灵敏度和高动态范围。

#### 4.6.4 OFDM 解调器

对OFDM信号进行解调，以恢复出DS、MIS和TIS的数据流，重新创建包含已发送消息文件的数据流。此阶段实施：

- a) 时间/频率同步；
- b) 信道评估；
- c) 自动调制恢复；
- d) 纠错。

NAVDAT 接收机应能够自动检测以下调制参数：

- a) TIS 和 DS 的子载波调制方式（4-、16- 或 64-QAM）；
- b) 子载波方案；
- c) 纠错编码的方式。

除DS之外，它还负责上报TIS和MIS中填写的信息。此外，接收机还应上报如下有关信道的补充信息：

- a) 估算出的 SNR；
- b) BER；
- c) MER。

#### 4.6.5 文件多路分配器

文件多路分配器执行下列功能：

- a) 接收控制器发来的消息文件；
- b) 确保标出请其注意的消息文件（广播模式类型）；
- c) 在必要/可行的情况下解密消息文件；
- d) 将消息文件提供给使用这些文件的终端应用；
- e) 删除过期的消息文件。

根据最终应用的不同，消息文件应：

- a) 存储于可通过船舶网络访问的船载服务器上；
- b) 直接在接收机的显控单元显示；
- c) 直接发送给最终应用。

#### 4.6.6 控制器

控制器应执行下列功能：

- a) 从 DS 摘取消息文件（将数据包合并成文件）；
- b) 解释 TIS 和 MIS 以及解调器给出的其它信息；
- c) 从文件多路分配器中收集以下信息：
  - 1) 已解码消息文件的总量；
  - 2) 可用消息文件的数量；
  - 3) 差错事件（如解密差错）。

#### 4.6.7 显控单元

接收机应能提供 CDU。显控单元应：

- a) 用于显示专用消息并通过配置使该接口与专用船载设备应用相连（例如，电子导航），同时管理船舶的许可内容（船舶标识、加密）；
- b) 显示并检查接收参数；
- c) 根据消息文件的应用分类，显示消息内容。

该单元可以是在外部计算机运行的专门应用，即接收机可以是黑匣子设备。

#### 4.6.8 数据接口

接收机通过数据接口接收外部 GNSS 等设备的数据，控制器根据消息文件的应用分类，通过数据接口将消息文件提供给应用设备。

设备应提供符合 IEC 61162（所有部分）的要求的数据接口，宜提供以太网和 USB 接口，以便文件的高速传输和传递，设备可提供打印机接口。

#### 4.6.9 供电

主要供电设备应与船载主要供电单元适配。

### 5 功能要求

#### 5.1 消息类型

NAVDAT 系统应广播下列消息类型，且不限于下列所示：

- a) 航行安全;
- b) 安保;
- c) 海盗;
- d) 搜救;
- e) 气象消息;
- f) 引航或港口消息;
- g) 船舶交通管理系统文件的传输。

## 5.2 广播模式

NAVDAT系统应提供下列广播模式:

a) 通播: 这些消息的广播是为引起所有船只的注意, 即不指定接收设备的广播模式, 所有安装接收设备的船舶都应接收;

b) 选择性广播: 这些消息的广播是为引起一组船只 1 或特定航区 2 内船舶的注意;

注1: 见 ITU-R M. 585 建议书附件 1 第一部分中同时呼叫一艘以上船舶的船舶电台群呼标识格式。

注2: 见 ITU-R M. 493 建议书附件 1 5.3 对地理位置坐标的定义。

c) 指定信息: 这些消息使用水上移动业务标识, 向某一船只发送。

## 5.3 播发文件类型与格式

NAVDAT系统应具备消息和文件播发功能, 文件播发应采用文件分组传输格式和差错控制方式, 见附录B。

典型的文件类型包括:

- a) 文本文件;
- b) BMP、JPEG、GIF 或 PNG 等图片;
- c) PDF 文档;
- d) ZIP 压缩文件;
- e) 电子海图文件。

## 5.4 船载接收机主要功能

### 5.4.1 信息接收

船载接收机应能接收NAVDAT信息, 并识别信息的广播模式、优先级和类型。

### 5.4.2 选择性接收

接收机应根据接收到的广播模式, 自动选择是否接收后续的数据, 要求如下:

a) 通播: 设备应能接收后续数据, 也可根据用户设置, 选择是否接收后续的等级为安全和常规的数据;

b) 选择性广播: 设备应根据本船位置或MMSI编号特征, 自动选择是否接收后续的数据;

c) 指定信息: 设备应根据本船MMSI, 自动选择是否接收后续的数据。

接收机不应接收重复信息。

### 5.4.3 自适应接收

接收机应根据接收到的调制信息流(MIS), 自动选择解调和纠错译码的方式。

### 5.4.4 文件修复

接收机应按文件分组传输格式和差错控制方式（见附录B），利用同一文件多次重发的分组数据，对错误的文件进行修复。

#### 5.4.5 接收状态处理

接收机应能显示并输出接收信号电平、信噪比SNR。

#### 5.4.6 信息显示

5.4.6.1 收到 NAVDAT 信息后，设备应给出提示，并显示接收状态（包括接收信号电平、信噪比 SNR、信息等级、信息类型、播发台信息等）、接收到的消息内容、接收到的文件名称和文件格式；

5.4.6.2 显示分辨率不应低于  $640 \times 480$  像素；

5.4.6.3 如接收到搜救信息，应能向驾驶室发出声报警，报警只能用人工复位；

5.4.6.4 如接收到的消息字符错误，应显示星号；

5.4.6.5 若接收 NAVDAT 错误，应给出警告；

5.4.6.6 接收机应根据 NAVDAT 播发时间规定，判断是否在预定时间接收到 NAVDAT 广播，若在预定时间没有接收到 NAVDAT 信息，应给出警告。

#### 5.4.7 信息存储和管理

5.4.7.1 接收机按先进先出方式动态存储接收结果，存储容量不应少于 1 GB，存储内容应至少包括接收时间、播发台标识、信息类型和信息内容；

5.4.7.2 存储的信息可人工锁定存储、解锁、显示、编辑、删除和查询；

5.4.7.3 存储的信息可人工选择通过数据接口输出；

5.4.7.4 当外部供电发生意外中断时，接收机应能保护存储的信息及用户设置的数据。

#### 5.4.8 数据输出

接收机应输出接收状态、接收到的消息、接收到的文件，或根据用户选择输出当前或存储的文本、图片和文件，接口符合 IEC 61162-2 和 IEC 61162-450 的有关要求。

#### 5.4.9 GNSS 位置数据输入

接收机应能从 BDS、GPS 等 GNSS 接收机获取位置和时间信息，GPS 数据格式符合 IEC 61162（所有部分）的有关要求，BDS 数据接口格式符合 BD 410004 中的有关要求。

#### 5.4.10 校时

接收机宜内置实时时钟，并通过 GNSS 接收机进行自动校准。

#### 5.4.11 自检

接收机应具有测试 OFDM 解调器、控制器等单元的功能，显示自检结果。

## 6 性能要求

### 6.1 调制指标

#### 6.1.1 调制参数

NAVDAT 系统采用 OFDM 调制技术，OFDM 的原理见附录 A。NAVDAT 的 OFDM 参数见表 1。

表1 OFDM 参数表

数据单元长度 $T_u$	子载波间隔 $1/T_u$	保护间隔长度 $T_d$	符号长度 $T_s=T_u+T_d$	每帧符号个数 $N_s$	帧长度 $T_f$
24ms	 Hz	2.66ms	26.66ms	15	400ms

6.1.2 信号带宽

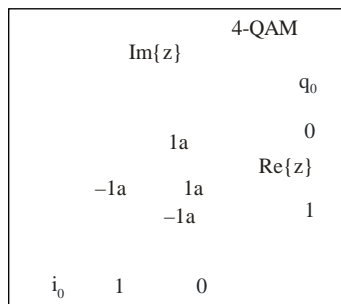
NAVDAT数字广播定义了不同的信道带宽，分别对应不同的频域占用率，同时决定了不同信号带宽条件下OFDM的子载波数，见表2。

表2 信号带宽与 OFDM 子载波数表

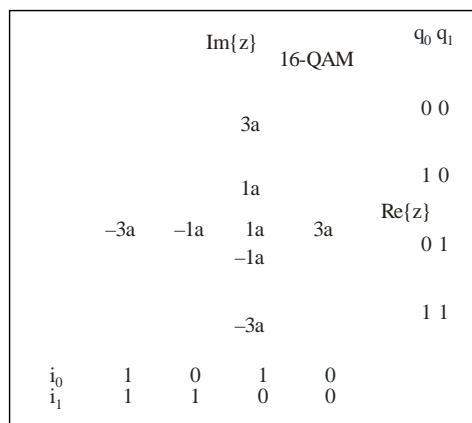
	频谱占用			
	1	2	3	4
信道带宽(kHz)	1	3	5	10
OFDM 子载波数	23	65	117	229

6.1.3 调制方式

对每个子载波进行QAM调制，调制方式包括64-QAM、16-QAM和4-QAM三种，采用的调制方式与期望的信号鲁棒性有关，其信号星座图见图6。

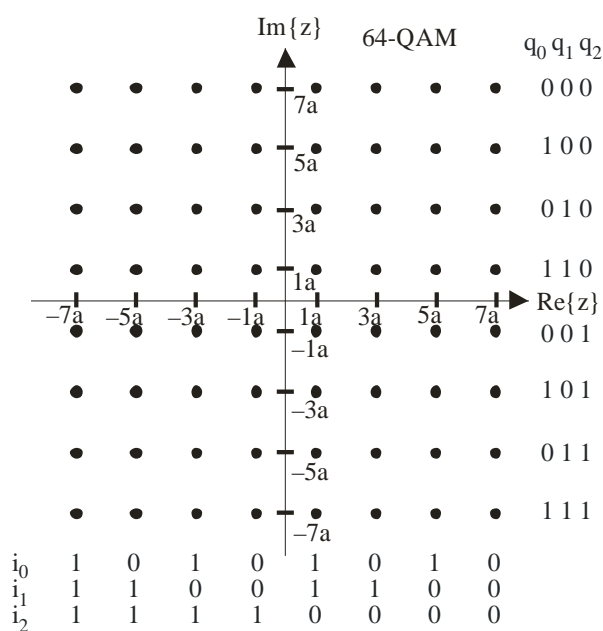


a) 4-QAM 星座图



b) 16-QAM 星座图





c) 64-QAM 星座图

图中:

Re {z} : 实部;

Im {z} : 虚部;

a: 单位长度;

$i_i$ : I支路, 下标为顺序编号, 0 为低位, 2 为高位;

$q_i$ : Q支路, 下标为顺序编号, 0 为低位, 2 为高位。

图6 调制方式星座图

### 6.1.4 输入流的调制方式

不同输入流采用的子载波调制方式, 见表3。

表3 输入流的子载波调制方式

调制信息流 MIS	发射机信息流 TIS	数据流 DS
4QAM	4、16QAM	4、16 或 64-QAM

### 6.1.5 传输数据率

各个模式数据传输比特速率见表4。

表4 各模式传输速率表

模式	OFDM 子载波调制方式 (nQAM)	编码速率	速率 (kbps)
0	4-QAM	0.5	6.36
1	4-QAM	0.75	9.56
2	16-QAM	0.5	12.76
3	16-QAM	0.75	19.16

表 4 (续)

模式	OFDM 子载波调制方式 (nQAM)	编码速率	速率 (kbps)
4	64-QAM	0.5	19.16
5	64-QAM	0.75	28.76

### 6.1.6 数据帧编码

数据帧编码见附录B。

### 6.1.7 能量扩散编码

能量扩展编码应当使用9次多项式，表示为：

$$P(x) = x^9 + x^5 + 1$$

式中：

$P(x)$ ：输出函数；

$x$ ：输入变量。

## 6.2 发射机

### 6.2.1 频率范围

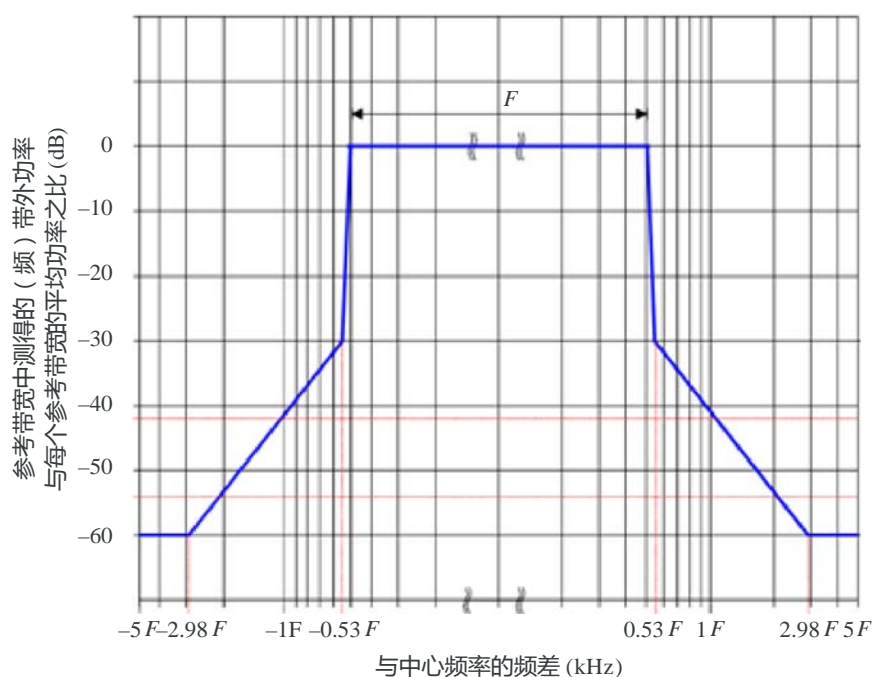
频率范围为495 kHz ~ 505 kHz。

### 6.2.2 频率稳定度

载波频率误差不应超过标称频率的±2.5 Hz。

### 6.2.3 RF 信号的频谱占用

带宽F为10 kHz的NAVDAT RF信号的频谱占用应符合图7的要求。



M.2058-13

图7 带宽  $F$  为 10 kHz 的 NAVDAT RF 信号的频谱占用

#### 6.2.4 发射互调抑制比

发射机IMD3应至少为40 dBc。

### 6.3 船载接收机主要性能

#### 6.3.1 接收频率

设备接收信号的中心频率应为500 kHz，频率范围为495 kHz ~ 505 kHz。

#### 6.3.2 灵敏度

当接收信号载波电平为-100 dBm时，调试信号为16-QAM或64-QAM，设备纠错后BER不应大于 $10^{-4}$ 。

#### 6.3.3 接收动态范围

应能接收输入信号载波电平在-100 dBm~-20 dBm范围内的信号。

#### 6.3.4 接收选择性

有用信号电平为-94 dBm时，对于500 kHz  $\pm$  10kHz的单载波干扰信号，接收选择性不应小于40 dB。

#### 6.3.5 噪声系数

接收机的噪声系数不应大于20 dB。

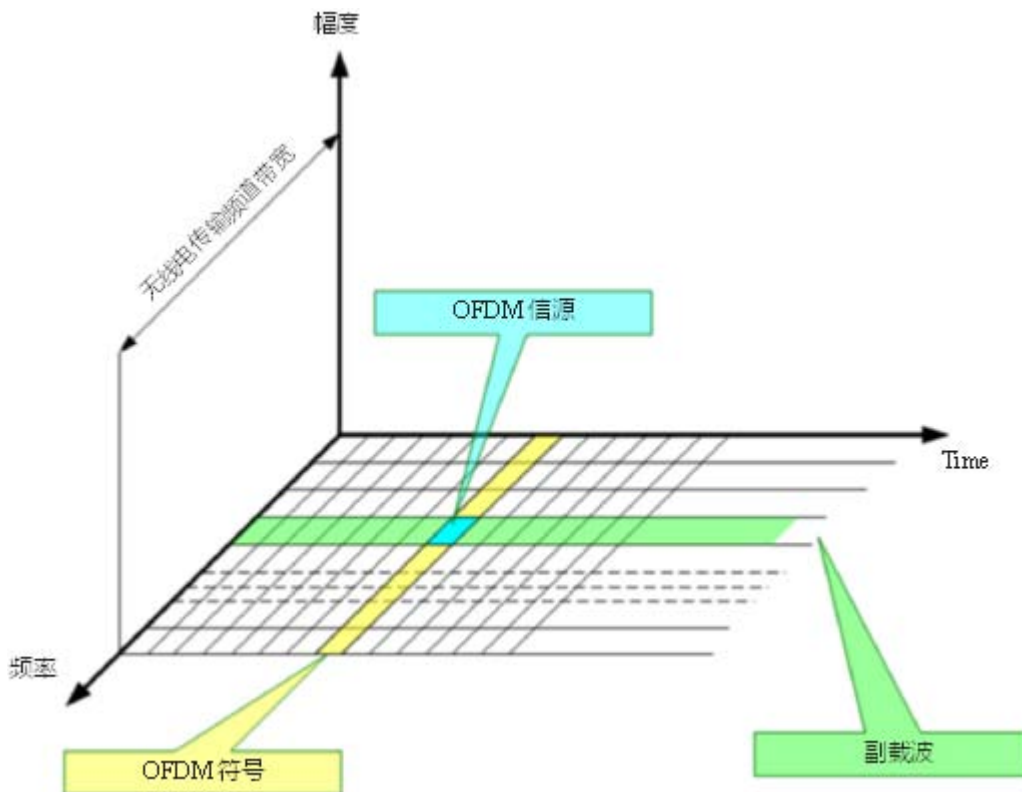
#### 6.3.6 最小可用场强

最小可用场强（含相应的接收天线）不应小于25 dB $\mu$ V/m。

附录 A  
(规范性附录)  
调制解调技术

A.1 OFDM原理与参数定义

NAVDAT系统采用OFDM调制技术，是一种用于数字传输的调制技术。OFDM调制技术在频域中将无线电传输信道的带宽分成多个子载波，在时域中按时间将信号分成多个OFDM符号。一个OFDM单元等效于一个OFDM符号中的一个子载波，见图A.1。



图A.1 OFDM 单元图

OFDM是利用大量间隔密集（41.66 Hz）的正交子载波，从而获得高效数据传输频谱利用率的一种调制方式。这些子载波是按频率间隔分开来的（ $Fu = 1/Tu$ ），其中 $Tu$ 是OFDM符号的周期。

子载波之间相位的相互正交能够在多径信道下，特别是在长距离传输时，加强信号分集。

为降低多径效应引起的码间干扰，将保护间隔（ $Td$ ）插入OFDM符号。

一个OFDM的符号长度为 $Ts$ ，其计算公式如下：

$$Ts = Tu + Td \dots\dots\dots (A.1)$$

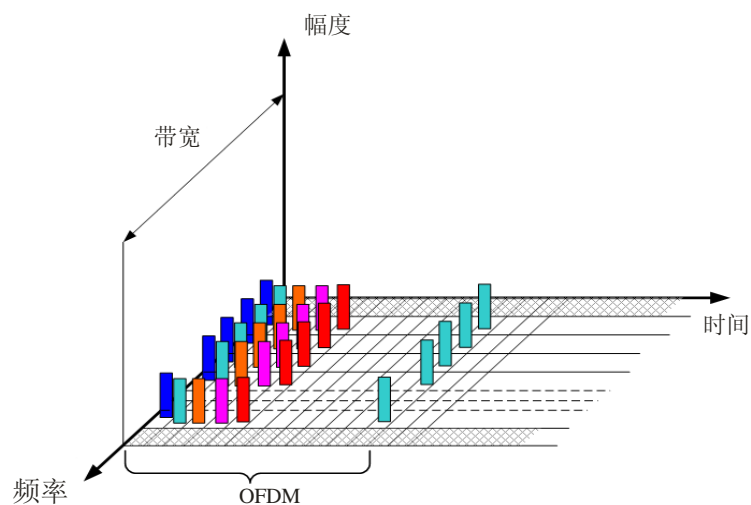
式中：

$Ts$ ：OFDM的符号长度；

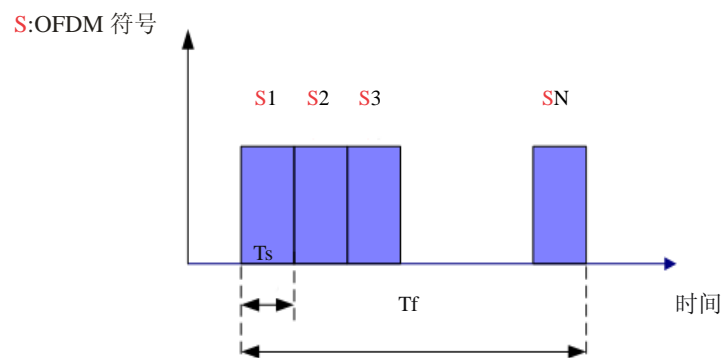
$Tu$ ：OFDM符号的周期；

$Td$ ：保护间隔。

将多个OFDM符号串接起来就构成OFDM帧, OFDM帧的长度为  $T_f$ , 其频域和时域示意图见图A. 2和图A. 3。



图A. 2 OFDM 帧频域图



图A. 3 OFDM 帧时域图

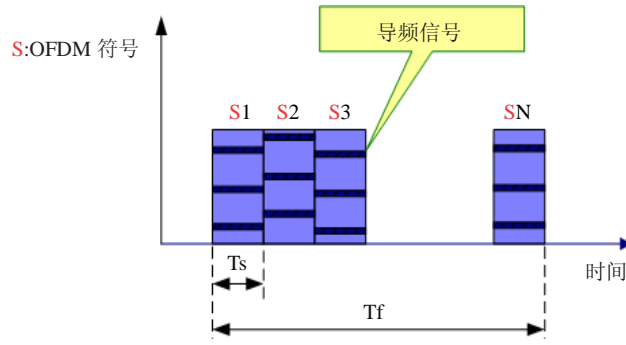
## A. 2 同步

为使每个子载波有一个完善的解调, 在接收时应估计每个子载波的无线电传输信道的响应, 并采用均衡措施。因此, 应在某些OFDM符号的子载波中插入导频信号。

对于接收机, 导频信号具有以下功能:

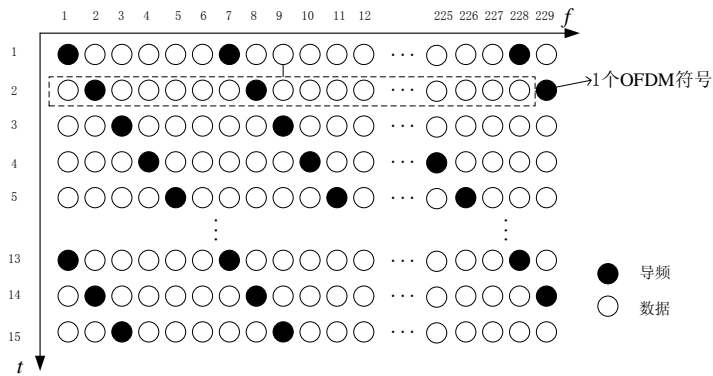
- 接收信号检测;
- 频偏估计;
- 信道估计。

导频信号的数量取决于期望的信号鲁棒性。导频信号的示意图见图A. 4。



图A.4 带导频的 OFDM 信号示意图

每帧OFDM符号中的导频信号的分布见图A.5。



其中：

t: 时域方向；

f: 频域方向；

黑色点：导频符号；

白色点：数据子载波。

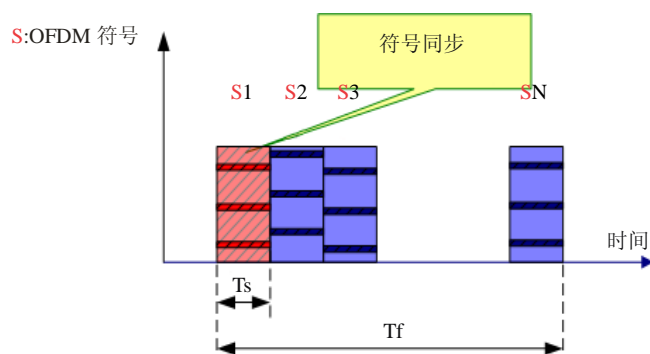
图A.5 导频信号分布示意图

OFDM符号上的导频序列为，其映射方式为2-QAM，导频符号见图A.6。

导频序列																									
-1	1	-1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1
-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

图A.6 导频序列图

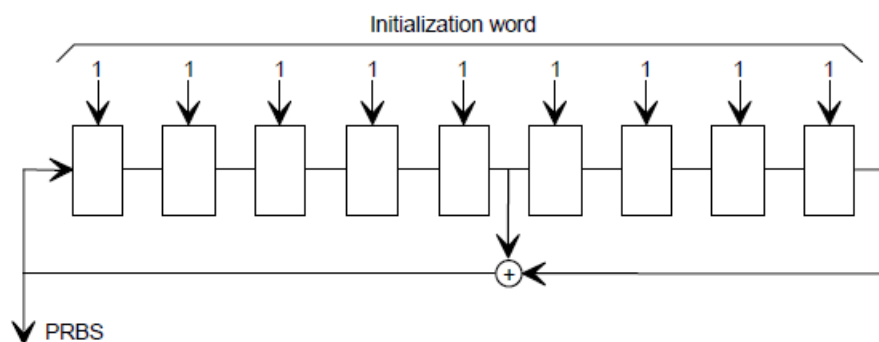
每个OFDM帧发送的第一个符号中，所有子载波均被用作时间基准，为接收机提供同步。同步符号的示意图见图A.7。



图A.7 OFDM 同步符号示意图

### A.3 能量扩散编码生成器

能量扩散编码的目的是避免发射信号呈现不期望的规律性。在信道编码之前，发送的信息序列与伪随机二进制序列（PRBS）进行模2加。该PRBS由反馈移位寄存器加权生成，见图A.8。



图A.8 PRBS 生成器

### A.4 可用数据速率的估算

在495 kHz~505 kHz的传输信道带宽上，16-QAM调制的数据流（DS）的典型原始数据率在25 kbps左右。

为调整信道保护水平，承载数据的子载波数量可有变化。较高水平的信道保护（对抗多径、衰减、延迟等）会减少有用子载波的数量。

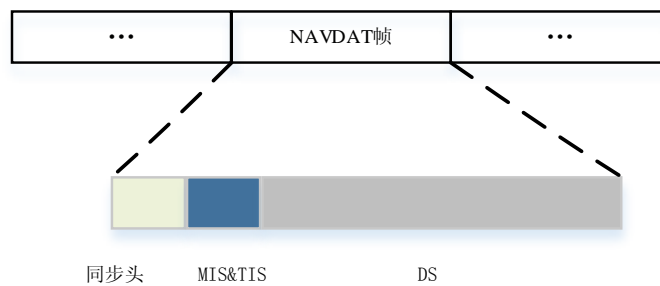
原始数据速率应与纠错编码效率（即码率）相乘，得到有效的数据率。当码率在0.5~0.75之间时，有效的数据速率在12 kbps~18 kbps之间。

更高的码率可提供更高的有效数据率，但会相应地降低无线电覆盖范围。

**附录 B**  
(规范性附录)  
**数据帧编码格式**

**B.1 帧结构**

NAVDAT帧中包含了用于同步头、MIS、TIS以及用于传输数据的数据流，其结构示意图见图B.1。



**图B.1 NAVDAT 帧示意图**

**B.2 同步头**

接收端信号首先需要进行同步，因此需要在OFDM帧的开始设置同步符号，利用它进行帧同步和符号同步。

同步头由长度为255的PN序列截短得到，截短后长度为229的，见图B.2。

同步PN序列
-1 1 1 1 1 1 1 1 -1 -1 -1 1 -1 -1 1 1 1 1 1 1 -1 1 1 -1 -1 1 -1 1 1 1 1 1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 1 1 1 1 1 -1 1 -1 -1 -1 -1 1
1 -1 1 1 1 1 -1 -1 -1 1 1 1 -1 1 1 -1 1 1 -1 1 1 -1 -1 -1 1 -1 1 -1 -1 -1 1 1 1 -1 -1 -1 -1 1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
-1 1 -1 1 1 1 -1 -1 1 -1 -1 -1 1 1 -1 1 -1 -1 1 -1 1 1 -1 1 -1 -1 -1 1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
1 1 1 -1 -1 1 1 -1 1 -1 -1 -1 1 1 1 -1 1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 1 1 -1 1 1 1 1 1 -1 1 1 1 1 1 -1 1 1 1 1 -1
-1 -1 -1 1 1 1 -1 -1 1 1 1 -1 1 1 1 -1 1 1 -1 -1 1 1 -1 -1 1 1 -1
-1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 1 1 1

**图B.2 同步头 PN 序列**

**B.3 调制信息流 (MIS)**

**B.3.1 MIS结构**

MIS用于提供信道频谱占用信息以及TIS和DS调制信息：

- a) 频谱占用信息：2 比特，见表 B. 1；
- b) TIS 调制信息：1 比特，见表 B. 2；



- c) DS 调制信息: 2 比特, 见表 B. 3;  
 d) 填充位: 1 比特, 值为 0;  
 e) CRC: 8 比特, 编码方式见 B. 7。

表B.1 频谱占用信息表

比特编码	频谱占用 (kHz)	比特编码	频谱占用 (kHz)
00	1	10	5
01	3	11	10

表B.2 TIS 调制信息表

比特编码	调制方式	比特编码	调制方式
0	4-QAM	1	16-QAM

表B.3 DS 调制信息表

比特编码	调制方式	比特编码	调制方式
00	4-QAM	11	64-QAM
01	16-QAM		

### B.3.2 MIS编码方式

MIS利用GF(128)的RS(4,2)进行编码, GF(128)本源多项式表示为:

$$p(x) = x^7 + x^3 + 1 \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

$P(x)$ : 输出函数;

$x$ : 输入变量。

## B.4 传输信息流 (TIS)

### B.4.1 TIS结构

传输信息流用于给接收机提供DS编码方式信息、发射机信息以及时间信息:

- a) DS 编码方式: 4 比特, 见表 B. 4;  
 b) 发射机信息: 30 比特, 见表 B. 5;  
 c) 时间信息: 40 比特, 见表 B. 6;  
 d) 填充位: 1 比特, 值为 0;  
 e) CRC: 8 比特, 编码方式见 B. 7。

表B.4 DS 编码方式表

比特编码	DS 编码方式
0000	LDPC (2560, 4960)
0001	LDPC (3840, 4960)
0010	LDPC (2560, 4960) × 2
0011	LDPC (3840, 4960) × 2
0100	LDPC (2560, 4960) × 3

表 B. 4 (续)

比特编码	DS 编码方式
0101	LDPC (3840, 4960) × 3

表B. 5 发射机信息表

比特编码	发射机 ID
D <sub>1</sub> D <sub>2</sub> D <sub>3</sub> D <sub>4</sub> D <sub>5</sub> D <sub>6</sub> D <sub>7</sub> D <sub>8</sub> D <sub>9</sub> D <sub>10</sub>	10 位数字

表B. 6 时间信息表

比特编码	时间信息	比特编码	时间信息
年: 14 比特	1-9999	时: 5 比特	0-23
月: 4 比特	1-12	分: 6 比特	0-59
日: 5 比特	1-31	秒: 6 比特	0-59

B. 4. 2 TIS编码方式

TIS利用GF(128)的RS (29, 9) 进行编码, GF(128)本源多项式表示为:

$$p(x) = x^7 + x^3 + 1 \dots\dots\dots (B. 2)$$

B. 5 数据流 (DS)

B. 5. 1 DS结构

数据流通常由文本信息或信息文件组成。通用的分组传送允许在相同数据流中传送用于各种业务数据的文本信息和文件, 并且业务数据可由一系列分组数据包传送。

分组的结构如下:

- 报头: 16 比特;
- 数据段: n 字节, 见附录 C;
- CRC: 16 比特, 编码方式见 B. 7。

报头包括:

- 类型: 1 比特;
- 切换位: 1 比特;
- 起始标志: 1 比特;
- 结束标志: 1 比特;
- 分组 ID: 8 比特;
- 分组填充指示标志: 1 比特;
- 连续性指标标志: 1 比特。

类型包括:

- 0: 文本信息;
- 1: 文件信息。

切换位: 当分组传输的是同一文本消息或文件消息时, 该位应保持相同的状态。当不同文本消息或文件信息发送第一个分组时, 该位应相对于其先前状态反转。如包含几个分组组成的文件信息或者文本消息被重复, 则该位应保持不变。

起始标志、结束标志: 这些标志是用来识别连续模式的特定分组包。标志的含义见表B. 7。

表B.7 起始标志和结束标志编码表

起始标志	结束标志	分组含义
0	0	一个中间分组
0	1	数据单元的最后一个分组
1	0	数据单元的第一个分组
1	1	数据单元的唯一分组

分组ID：该8比特字段指示分组的ID编号。

分组填充指示标志：该1位标志指示数据字段是否进行填充，如下所示：

——0：不存在填充：数据字段中的所有数据字节都是有用的；

——1：存在填充：前两个字节给出数据字段中有用的数据字节数。

连续性指标标志：对于具有该分组ID的每个分组，该3比特字段应递增1并模8。

数据段：包含用于特定业务的有用数据，可以是文本信息或文件信息。

CRC：这个16位CRC应从报头计算至数据段结束，编码方式见B.7。

### B.5.2 DS编码方式

NAVDAT数据流根据不同的模式，具有不同的调制方式和编码方式，见表B.8。

表B.8 DS数据流信息表

模式	调制方式	编码方式
0	4-QAM	LDPC (2560, 4960)
1	4-QAM	LDPC (3840, 4960)
2	16-QAM	LDPC (2560, 4960) ×2
3	16-QAM	LDPC (2560, 4960) ×2
4	64-QAM	LDPC (2560, 4960) ×4
5	64-QAM	LDPC (2560, 4960) ×4

### B.5.3 LDPC编码

LDPC码是一种线性分组码，用校验矩阵H唯一定义。因为校验矩阵H中“1”的个数远小于“0”的个数，所以被称为低密度校验码。选用的校验矩阵H具有双对角线的特征。

校验矩阵表示为指数矩阵，如下所示：

$$H = \begin{bmatrix} P_{0,0} & P_{0,1} & \cdots & P_{0,N-M} & 0 & \cdots & -1 & -1 & -1 \\ P_{1,0} & P_{1,1} & \cdots & \cdots & 0 & 0 & \cdots & -1 & -1 \\ \cdots & \cdots & \cdots & P_{i,N-M} & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & -1 \\ P_{M-2,0} & P_{M-2,1} & \cdots & \cdots & -1 & \cdots & 0 & 0 & -1 \\ P_{M-1,0} & P_{M-1,1} & \cdots & P_{M-1,N-M} & -1 & -1 & \cdots & 0 & 0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (B.3)$$

式中：

每个数字：一个  $L \times L$  的矩阵；

-1：全零矩阵；

0：为单位矩阵；

P：单位矩阵向右移位p所得到的置换矩阵。

将上述的双对角线矩阵分为信息块与校验块两个部分，即：

$$H = [H_s H_p] \dots\dots\dots (B.4)$$

式中：

- H: 校验矩阵；
- H<sub>s</sub>: 信息块；
- H<sub>p</sub>: 校验块。

编码输出符号组成的向量也分为两个部分，表示为：

$$C = [S P]^T \dots\dots\dots (B.5)$$

式中：

- C: 编码后的码字；
- S: 信息位；
- P: 校验位；
- T: 矩阵的转置运算。

将  $H_p$  进一步划分为两个子矩阵，即  $H_p = [H_{pa} H_{pb}]$ ，其中  $H_{pa}$  为  $M \times 1$  列块矩阵， $H_{pb}$  为  $M \times (M - 1)$  列块矩阵。其中， $H_{pa} = [c(0,0), -1, \dots, c(i,0), \dots, c(M-1,0)]^T$ 。

令  $v = H_s S = [v_0, v_1, \dots, v_{M-1}]^T$ ，根据校验方程  $H_s S + H_p P = 0$ ，得到校验信息位：

$$\begin{aligned} p_0 &= \sum_{i=1}^M v_i, \\ p_1 &= v_0 + c(0,0)p_0, \\ p_2 &= v_1 + p_1, \\ &\dots \dots \dots \end{aligned} \dots\dots\dots (B.6)$$

式中：

- P<sub>i</sub>: 校验信息位；
- M: 检验矩阵中的行数；
- V<sub>i</sub>: 信息向量中的一个标量；
- C: 编码后的码字。

因此，先根据输入信息求解，表示为：

$$v = H_s S \dots\dots\dots (B.7)$$

式中：

- v: 信息向量；
- H<sub>s</sub>: 信息块；
- S: 信息位。

然后利用公式B.6的前向迭代方法，就可得到相应的校验比特。

NAVDAT所使用的六种模式中LDPC码的码长均为4960，编码效率分别为1/2和3/4，其中1/2编码效率的LDPC使用的校验矩阵为：



附 录 C  
(规范性附录)  
DS 数据段编码格式

### C.1 信息报文

信息报文是NAVDAT信息在应用层进行打包后的数据，见表C.1。

表C.1 信息报文表

参数	比特数	说明
广播模式	2	00: 通播; 01: 选择广播-坐标; 10: 选择性广播-群呼标识格式; 11: 指定消息。
广播模式描述	30	1) 当播发类型为 00 时, 为 0; 2) 当播发类型等于 01 时, 由 10 个数字的地理位置坐标组成(见 ITU-R M. 493 建议书), 30 比特; 3) 当播发类型等于 10 时, 船舶电台群呼标识格式(见 ITU-R M. 585 建议书), 30 比特。 4) 当播发类型等于 11 时, 为 MMSI 号(见 ITU-R M. 585 建议书), 30 比特。
优先级	2	00: Safety 01: Urgency 10: Distress 11: 预留未来使用
报文长度	32	信息报文的总长度, 单位: 字节, 范围 1~65535
描述长度	16	数据域 1~6 的总计长度
数据描述长度	可变长度	传输信息相关描述信息, 描述信息用分号隔开: 文件的描述: 文件名, 文件的校验 (CRC32 或 MD5)、文件长度等所有的文件属性 文字信息的描述: 文字信息标题, 文字信息长度、文字信息的校验 (CRC32 或 MD5)
预留字段	32	0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF 填充
数据体	可变长度	信息分包内容, 根据信息的播发模式来进行分包, 单位字节
报文校验	128	整个报文的 MD5 码校验

### C.2 帧报文

帧报文是NAVDAT在链路层进行打包后的数据，见表C.2。

表C.2 帧报文表

参数	比特数	说明
帧头	32	固定数据内容：0x00, 0x00, 0x00, 0x00
版本编号	8	版本编号从 0x01 开始
消息类型	16	8bit~15bit: NAVDAT 信息类型编码: 0x00: 文件 0x01: 文字信息 0bit~7bit: NAVDAT 信息内容类型编码: A: 航行警告 B: 气象警告 C: 冰况报告 D: 搜救信息 E: 气象预报 F: 引航服务信息 N: 海图更新 Z : 无信息发布
数据包编号	16	信息流水号 MMddxxx (MM: 月, dd: 日, xxx: (0~127)) 发送数据包的唯一编号, 接收端用于判断是否为同一条数据包的唯一依据。 14bit~15bit: 数据包发布日期的月, 范围从 1~12; 9bit~13bit: 数据包发布日期的日, 范围从 1~31; 0bit~8bit: 数据包发布编号, 通过依次累加获得, 范围为 1~511。同时保留流水号 0x03 (0x003) 专门用于测试链路状态
信息校验	96	信息标示、时间戳以及流水号的校验信息, 用于对信息进行检错与纠错。 32bit~95bit: 信息标示、时间戳以及流水号取反 0bit~31bit: 信息标示、时间戳以及流水号的校验 (CRC32)
帧总数	64	此部分数据分三部分 (长度为 2, 2, 3 字节): 第一部分是 NAVDAT 信息帧的总包数 第二部分是第一部分的求反 第三部分是对前面 2 个部分的校验 (CRC32)
帧序号	64	此部分数据分三部分 (长度为 2, 2, 3 字节): 第一部分是 NAVDAT 信息帧的序号 第二部分是第一部分的求反 第三部分是对前面 2 个部分的校验 (CRC32)
预留字符	32	用于协议后续版本拓展的预留字节。
描述校验	32	对字段 2~10 的所有数据进行校验
信息数据	可变长度	根据播发模式, 分包长度不同
信息校验	32	对字段 9 的信息数据进行校验 (CRC32)
报文校验	32	对字段 1~13 的所有数据进行校验 (CRC32)
发送次数序号	16	显示当前发送次数序号, 用于统计接收端接收状
报文尾部	32	固定数据内容 0xff, 0xff, 0xff, 0xff

### 参 考 文 献

- [1] ITU-R M. 2201 495-505kHz频段岸对船播发安全和安保相关信息的海事移动服务数字
  - [2] ETSI ES 201 980 世界数字无线电广播(DRM)系统特性
  - [3] MSC. 148(77)决议 通过经修改的关于接收航行警告、气象信息和紧急信息(NAVTEX)窄带直接打印电报设备的性能标准
  - [4] ITU-R M. 2201 495-505kHz频段岸对船播发安全和安保相关信息的海事移动服务数字
-