

国 际 电 信 联 盟

# ITU-R

国际电联无线电通信部门

ITU-R M.2010 建议书  
(03/2012)

## 用于500kHz频段广播水上安全 和与海岸至船舶方向安全信息 的导航数据数字系统的特性

M系列  
移动、无线电测定、业余  
和相关卫星业务

150  
1869-2015



国际电信联盟

## 前言

无线电通信部门的职责是确保卫星业务等所有无线电通信业务合理、平等、有效、经济地使用无线电频谱，不受频率范围限制地开展研究并在此基础上通过建议书。

无线电通信部门的规则和政策职能由世界或区域无线电通信大会以及无线电通信全会在研究组的支持下履行。

## 知识产权政策 (IPR)

ITU-R的IPR政策述于ITU-R第1号决议的附件1中所参引的《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC的通用专利政策》。专利持有人用于提交专利声明和许可声明的表格可从<http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>获得，在此处也可获取《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC的通用专利政策实施指南》和ITU-R专利信息数据库。

### ITU-R 系列建议书

(也可在线查询 <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>)

系列	标题
<b>BO</b>	卫星传送
<b>BR</b>	用于制作、存档和播出的录制；电视电影
<b>BS</b>	广播业务（声音）
<b>BT</b>	广播业务（电视）
<b>F</b>	固定业务
<b>M</b>	<b>移动、无线电定位、业余和相关卫星业务</b>
<b>P</b>	无线电波传播
<b>RA</b>	射电天文
<b>RS</b>	遥感系统
<b>S</b>	卫星固定业务
<b>SA</b>	空间应用和气象
<b>SF</b>	卫星固定业务和固定业务系统间的频率共用和协调
<b>SM</b>	频谱管理
<b>SNG</b>	卫星新闻采集
<b>TF</b>	时间信号和频率标准发射
<b>V</b>	词汇和相关问题

**说明：** 该ITU-R建议书的英文版本根据ITU-R第1号决议详述的程序予以批准。

电子出版  
2015年，日内瓦

© 国际电联 2015

版权所有。未经国际电联书面许可，不得以任何手段复制本出版物的任何部分。

## ITU-R M. 2010 建议书

用于500 kHz频段广播水上安全和与海岸至船舶方向  
安全信息的导航数据数字系统的特性

(2012年)

## 范围

本建议书阐述了一种名为导航数据（NAVDAT）的中频（MF）无线电系统，供在500kHz频段操作的水上移动业务用于水上安全以及海岸至船舶的安全信息数字广播。附件1和2中包括此无线电系统的操作特性和系统构架。两种不同模式的详细广播数据，见附件3和4。

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 岸对船高速数据广播可提高操作效率和水上安全；
- b) 当前MF水上安全信息系统（NAVTEX）的能力有限；
- c) 国际海事组织（IMO）的电子导航系统增加了对岸和对船的数据传输需求；
- d) 500kHz频段为数字系统提供了良好的地理覆盖，

认识到

附件4参引的世界数字广播联盟（DRM）系统已被纳入ITU-R BS.1514-2建议书，

注意到

ITU-R M.2201报告构成了NAVDAT系统的基础，

建议

- 1 水上安全广播的操作特性和有关安全的信息应遵循附件1的规定；
- 2 水上安全广播系统的系统架构和有关安全的信息应遵循附件2的规定；
- 3 500kHz频段岸对船数字数据传输的技术特性和调制解调器协议应遵循附件3或4的规定。

## 附件1

### 操作特性

NAVDAT 系统使用与NAVTEX系统类似的，可同样通过IMO协调的时隙划分。

NAVDAT 系统亦可使用附件4所述单一频率网络（SFN）工作。在此情况下，发射机的频率同步且所有发射机的发射数据必须相同。

NAVDAT 500 kHz数字系统提供了岸对船方向各类消息的广播传输，并可加密。

#### 1 消息的类型

所有广播消息均应通过安全受控的来源提供。

消息类型广播可包括，但不限于以下种类：

- 导航安全；
- 安全性；
- 挟持；
- 搜救；
- 气象消息；
- 导航或港口消息；
- 船舶交通系统文件的传输。

#### 2 广播模式

##### 2.1 一般广播

这些消息的广播是为引起所有船只的注意。

##### 2.2 选择性广播

这些消息的广播是为引起特定航区内一组船只的注意。

##### 2.3 特定消息

这些消息使用水上移动业务标识，向某一船只发送。

## 附件2

### 系统构架

#### 1 广播链

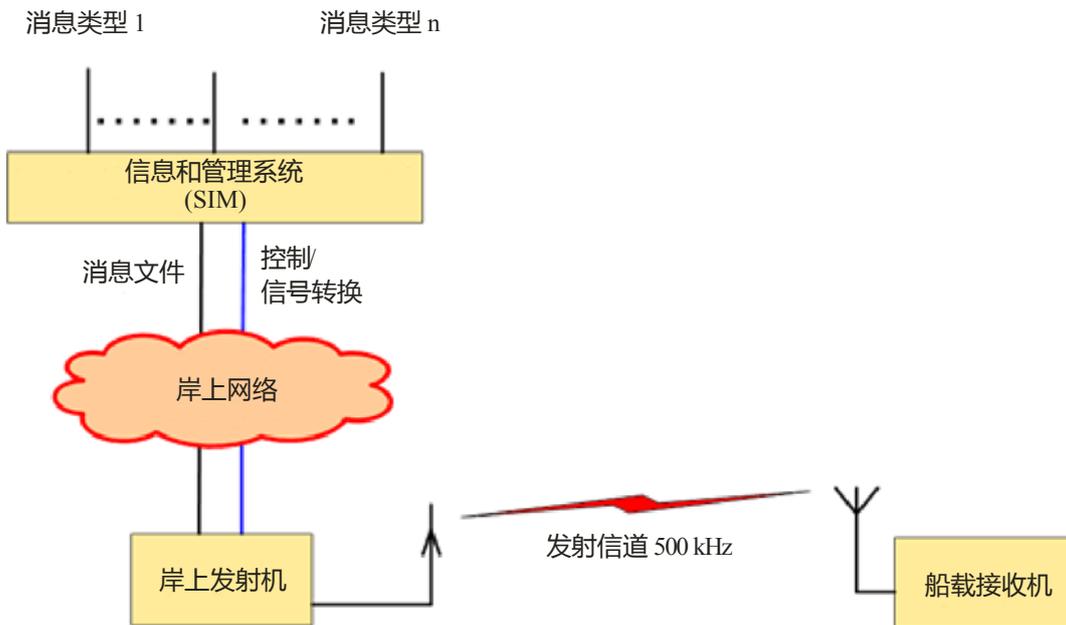
NAVDAT系统由五种矢量构成，执行以下功能：

- 系统信息和管理（SIM）：
  - 收集并控制各类信息；
  - 创建需传输的消息文件；
  - 根据文件的优先级和重复需求创建发射程序。
- 岸上网络：
  - 确保从信源到发射机的消息文件传输。
- 岸上发射机：
  - 接收来自SIM的消息文件；
  - 将消息文件转换为正交频分复用（OFDM）信号；
  - 为向船舶广播，将RF信号发送至天线。
- 传输信道：
  - 传输 500kHz射频信号。
- 船舶接收机：
  - 解调RF OFDM信号；
  - 重建消息文件；
  - 根据消息文件的应用分类，并将消息文件提供给专用设备。

图1展示了广播链。

图1

NAVDAT 500kHz广播链模块图



M.2010-01

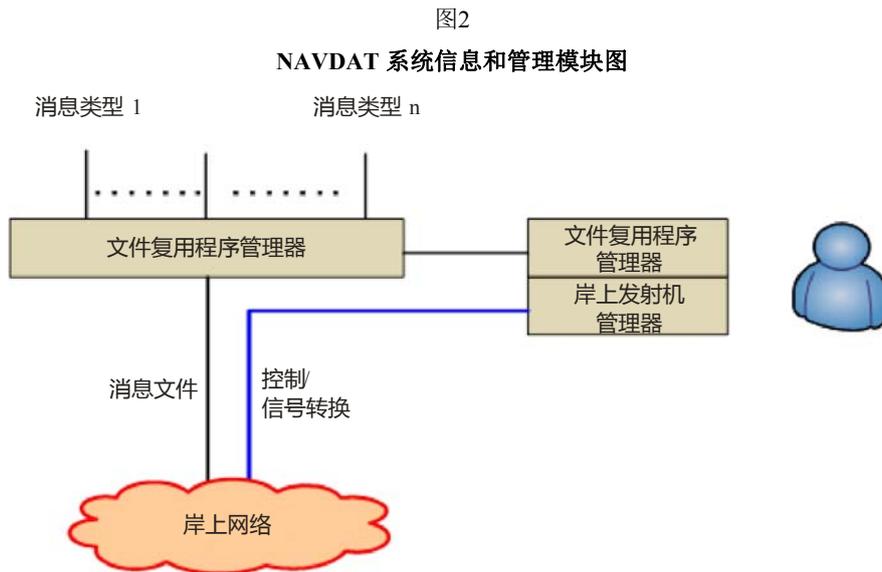
## 1.1 系统信息和管理

SIM的范围包括：

- 提供文件消息的所有来源（例如，气象局、安保组织等）；
- 在服务器上运行的一种重要应用，文件复用程序；
- 文件复用程序管理器；
- 岸上发射机管理器。

所有来源均通过网络与文件复用程序相连。

图2展示了SIM的总体布局。



M.2010-02

### 1.1.1 文件复用程序

文件复用程序：

- 交付从数据源得到的消息文件；
- 如有要求，加密消息文件；
- 使用接收者信息、优先级状态和时间有效性格式化文件消息；
- 将消息文件发送至发射机。

### 1.1.2 文件复用程序管理器

文件复用程序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：

- 察看来自所有信源的消息文件；
- 规范所有消息文件的优先级和周期；
- 规范所有消息文件的接收方；
- 管理文件消息加密。

上述有些功能可能实现自动化。例如，消息文件的优先级和周期可根据其信源选择，或由信源可在消息中指定优先级。

### 1.1.3 岸上发射机管理器

岸上电台管理器是一种通过网络与发射机相连的人机接口；可通过以下指示，监视发射机的状态：

- 发射确认；
- 告警；
- 有效发射功率；
- 同步报告；

并变更发射机的参数，例如：

- 发射功率；

- OFDM参数（导频副载波、错误编码等）；
- 发射计划。

### 1.2 岸上网络

岸上网络可使用宽带链路，低数据链路或本地文件共享。

### 1.3 岸上发射机的说明

岸上发射电台包含以下最低配置：

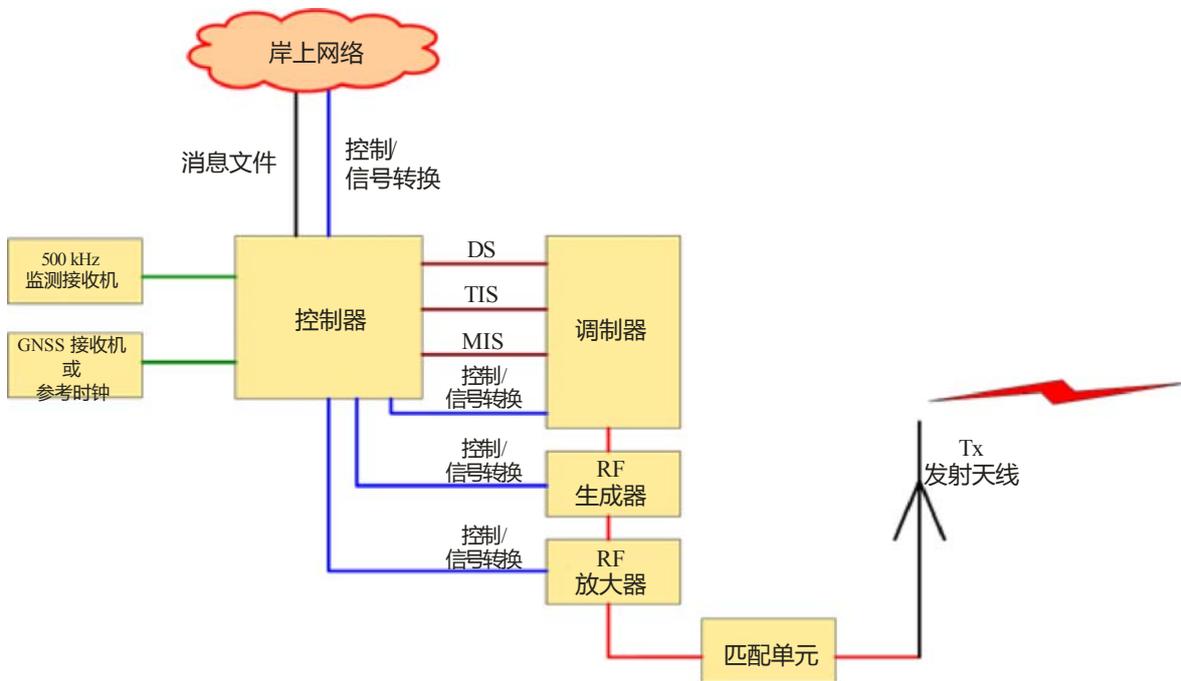
- 一台与受保护接入方式相连的本地服务器；
- 一台OFDM调制器；
- 一台500kHz放大器；
- 一部有对应单元的发射天线；
- 一台GNSS接收机或用于同步的原子时钟；
- 一台有天线的监测接收机。

#### 1.3.1 岸上系统构架

图3展示了500kHz数字发射机的模块图。

图3

NAVDAT 500kHz发射机的功能模块图



#### 1.3.2 控制器

此单元接收到部分信息：

- 来自SIM的消息文件；

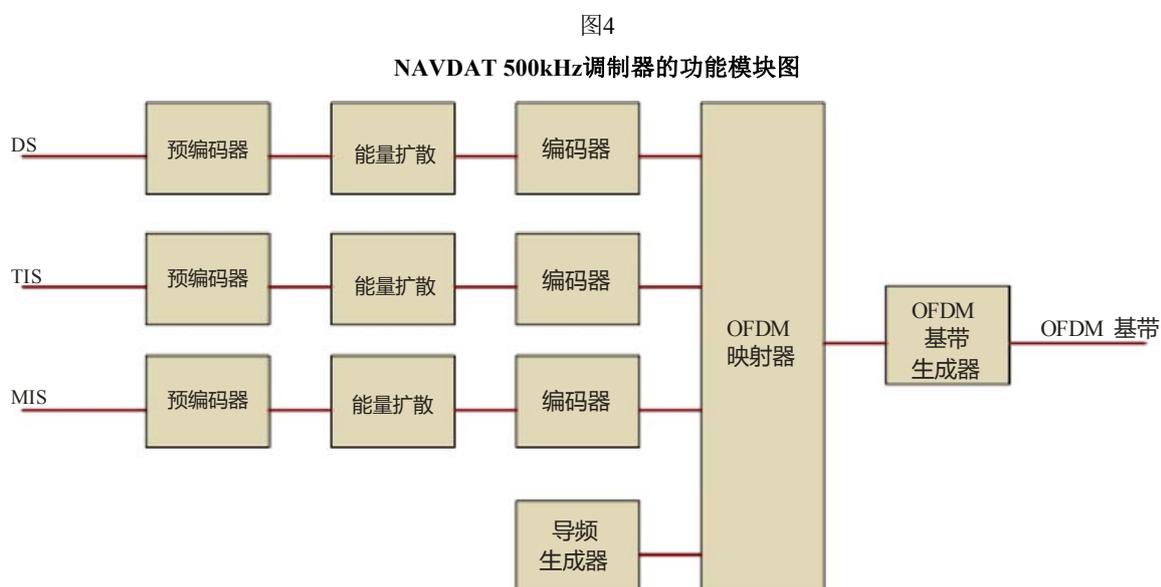
- GNSS或同步参考时钟；
- 来自监测接收机的500 kHz信号；
- 500 kHz调制器和发射机的控制信号。

控制器的功能为：

- 在传输前检查相关频段是否空闲；
- 将岸上电台所有信号与同步时钟信号同步；
- 控制传输参数、时间和计划；
- 格式化需要发送的消息文件（将文件分割为分组数据包）。

### 1.3.3 调制器

图4展示了调制器的模块图。



M.2010-04

#### 1.3.3.1 输入流

为进行操作，调制器需要三个输入流：

- 调制信息流（MIS）；
- 发射机信息流（TIS）；
- 数据流（DS）。

这些流在实施转码后通过小区映射器放置于OFDM信号内。

##### 1.3.3.1.1 调制信息流

此流用于提供如下信息：

- 频谱占用；
- 发射信息流和数据流调制（4-、16- 或64-QAM）。

该MIS流总是使用4-QAM副载波编码，从而很好地在输入接收机前解调。

### 1.3.3.1.2 发射机信息流

此流用于向接收机提供如下信息：

- 天波传播的数据流错误编码（应有别于白天的表面波传播及夜间的表面+天波传播）；
- 发射机的标识符；
- 日期和时间。

该TIS流可使用4或16 QAM编码。

### 1.3.3.1.3 数据流

此流包括要发送的消息文件（这些消息文件此前通过文件复用程序格式化）。

### 1.3.3.2 误码编码

纠错机制决定了编码的强健性。有用数据速率与原始数据速率之比为码率。此参数可展示传输效率，根据纠错机制和调制模式的不同，可在0.5至0.75间变化。

### 1.3.3.3 正交频分复用（OFDM）的生成

三个流（MIS、TIS和DS）实施格式化：

- 编码；
- 能量扩散。

小区映射器用格式化后的流和导引小区来组织OFDM小区。导引小区被发射给接收机，用于评估无线电信道并同步RF信号。

OFDM信号生成器根据小区映射器的输出创建了OFDM基带。

### 1.3.4 500kHz RF生成器

500kHz RF生成器调整了发往500kHzRF输出载波的基带信号。

放大器将RF信号提升至所需功率。

### 1.3.5 RF放大器

此阶段的功能是将生成器输出的500kHz信号放大至必要水平，以获得所需的无线电覆盖。

OFDM发射引入了RF信号的波峰因数。为确保调制差错率（MER）正确，此波峰因数在RF放大器输出端必须在7至10 dB的范围之内。

### 1.3.6 装有匹配单元的发射天线

RF放大器通过阻抗匹配单元与发射天线相连。

### 1.3.7 全球导航卫星系统接收机和备份原子参考时钟

此时钟用于同步本地控制器。

### 1.3.8 监测接收机

监测接收机检查相关频率在发射前是否空闲，并提供了检查发射的可能性。

#### 1.4 发射信道：无线电覆盖估测

可根据ITU-R P.368-9和ITU-R P.372-10建议书计算覆盖。示例可见ITU-R M.2201报告。

### 附件3

#### NAVDAT的技术特性

##### 1 调制的原则

该系统使用OFDM，即一种用于数字传输的调制技术。

##### 1.1 引言

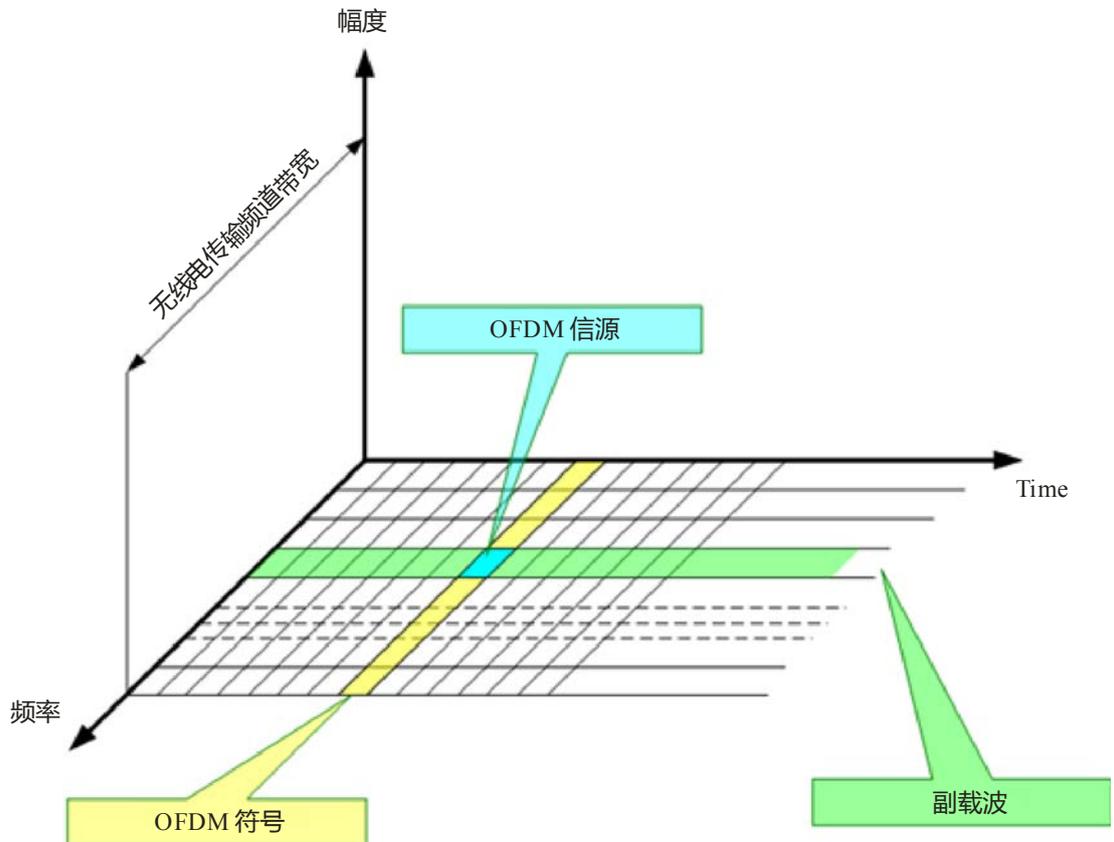
在频域将无线电传输信道的带宽分割成副载波。

无线电传输信道的占用，是按照形成OFDM符号的时间排列。

一个OFDM信元等效于OFDM符号中的副载波。

图5

## OFDM的介绍



M.2010-05

## 1.2 原理

OFDM利用大量间隔密集的（41.66 Hz）正交副载波获得高频谱效率，以发送数据。这些副载波是按频率间隔分开来的（ $F_u = 1/T_u$ ），其中 $T_u$ 是OFDM符号的周期。

副载波的相位相互正交，以便在多径情况下加强信号分集，特别是在长距离的情况下。

将一种保护间隔（ $T_d$ ）插入OFDM符号中以减轻多径效应，这样就会减少符号间的干扰。

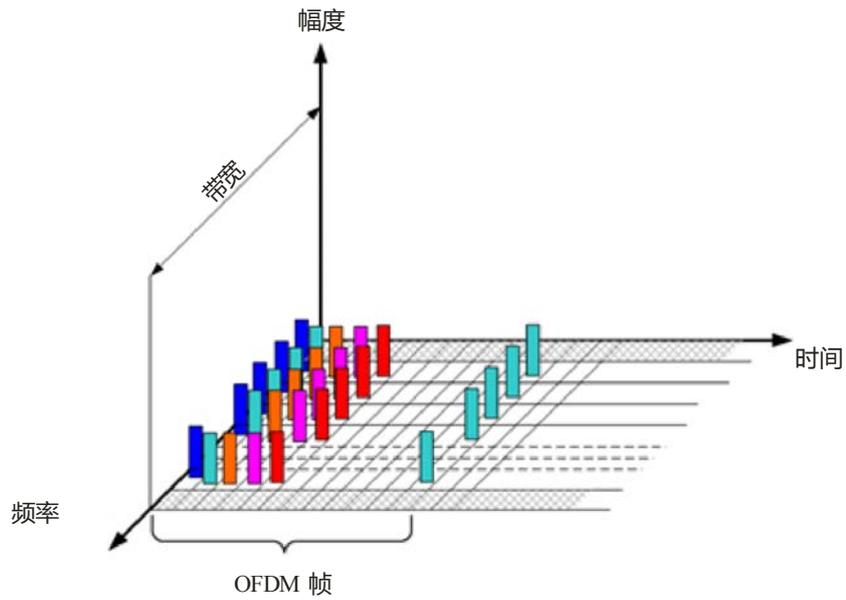
OFDM的符号间隔是 $T_s = T_u + T_d$ 。

然后将OFDM符号串接起来构成OFDM帧。

OFDM帧的时长是 $T_f$ 。

图6

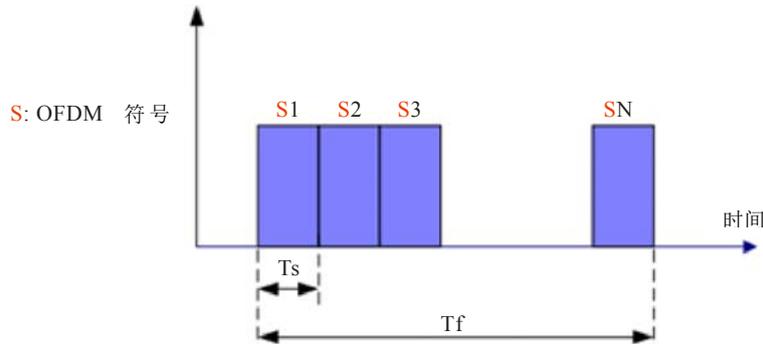
OFDM帧的频域表示



M.2010-06

图7

OFDM帧的时域表示



M.2010-07

### 1.3 调制

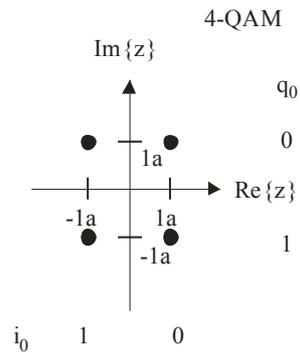
对每个副载波进行幅度和相位的调制（QAM：正交调幅）。

调制图形可能是64态（6比特，64-QAM）、16态（4比特，16-QAM）或4态（2比特，4-QAM）。

调制方式与有用信号的强度有关。

图8

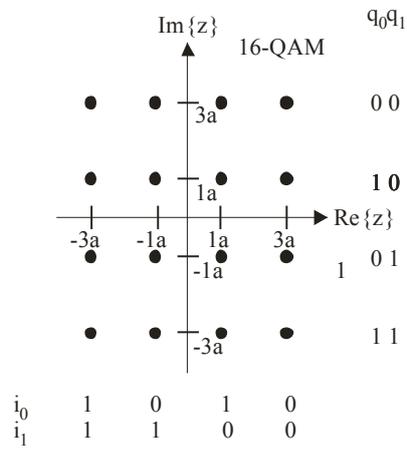
4-QAM构象



M.2010-08

图9

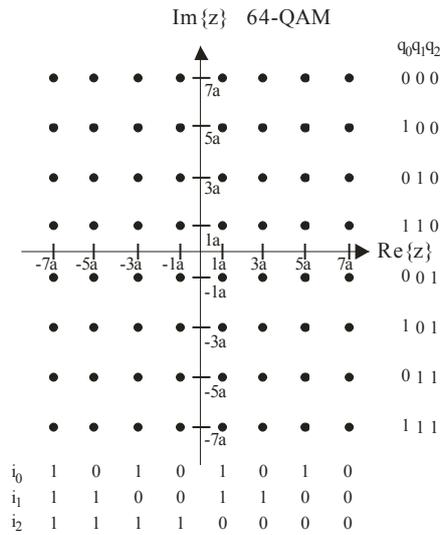
16-QAM构象



M.2010-09

图10

64-QAM构象



M.2010-10

1.4 同步

为使每个副载波有一个完善的解调，必须对每个副载波确定无线电传输信道的响应并应采用均衡措施。为此，有些OFDM符号的副载波可携带导频信号。

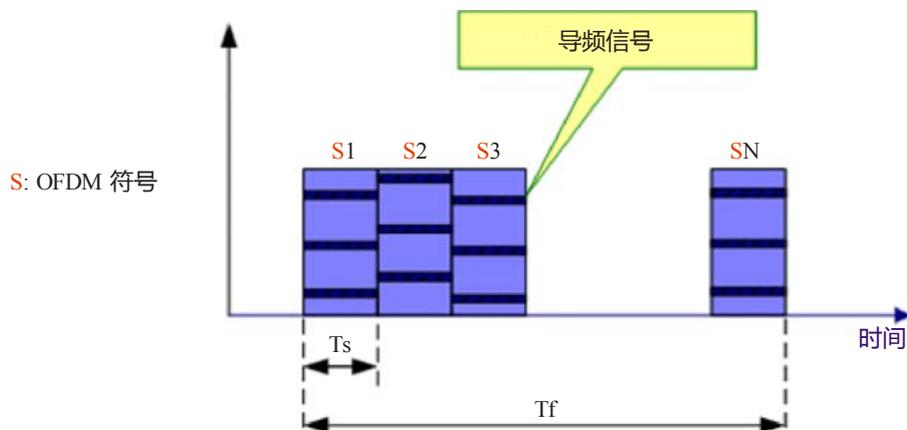
有了导频信号接收机就能完成下列工作：

- 检测是否接收到信号；
- 估算频（率）偏（移）；
- 估算无线电传输信道。

导频信号的数量取决于有用信号的强度。

图11

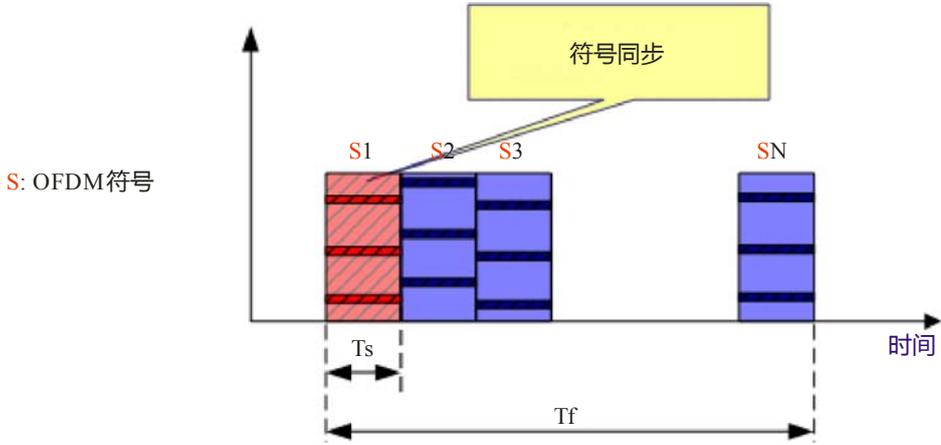
带导频的OFDM信号



M.2010-11

每个OFDM帧发送的第一个符号中，所有副载波均被用作时间基准，使接收机同步。

图12  
同步符号

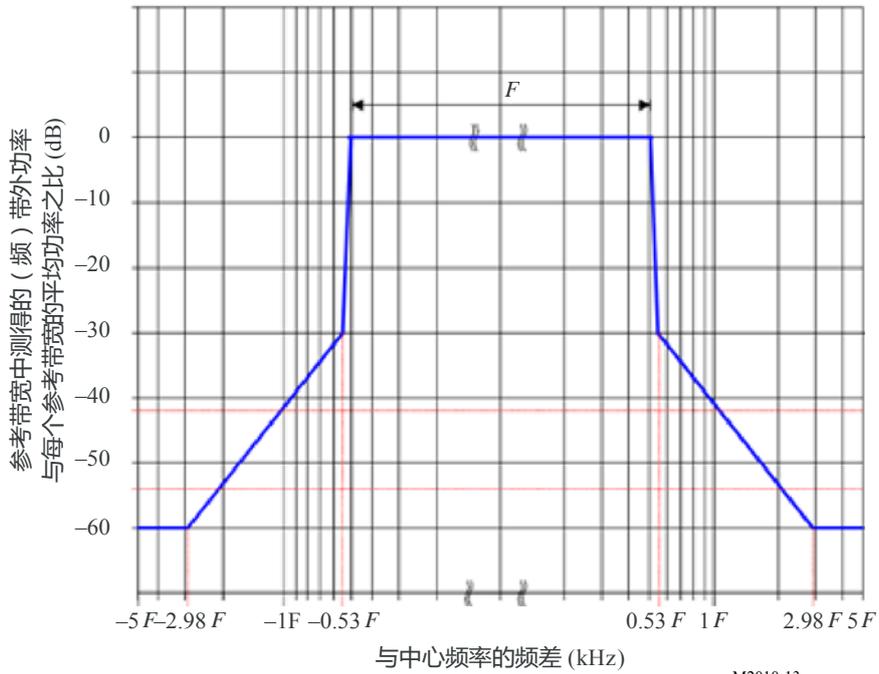


M.2010-12

1.5 射频信号的频谱占用

图13

带宽  $F = 10 \text{ kHz}$  的NAVDAT RF信号的频谱占用



M2010-13

M.2058-13

## 2 估计的可用数据速率

在使用500kHz传播的10 kHz信道带宽中，可用于数据流（DS）的16-QAM信号原数据速率通常在25 kbit/s左右。

为调整信道保护，承载数据的副载波数量可有变化。更高水平的信道保护（防止多径衰落、衰减、延迟等）会减少有用副载波的数量。

接下来，必须对原数据速率使用误码编码，以取得有用的数据速率。当码率在0.5至0.75之间时，有用的数据速率在12至18 kbit/s上下。

更高的码率可提供更高的有用数据速率，但会相应地降低无线电覆盖面积。

## 3 NAVDAT船舶接收机

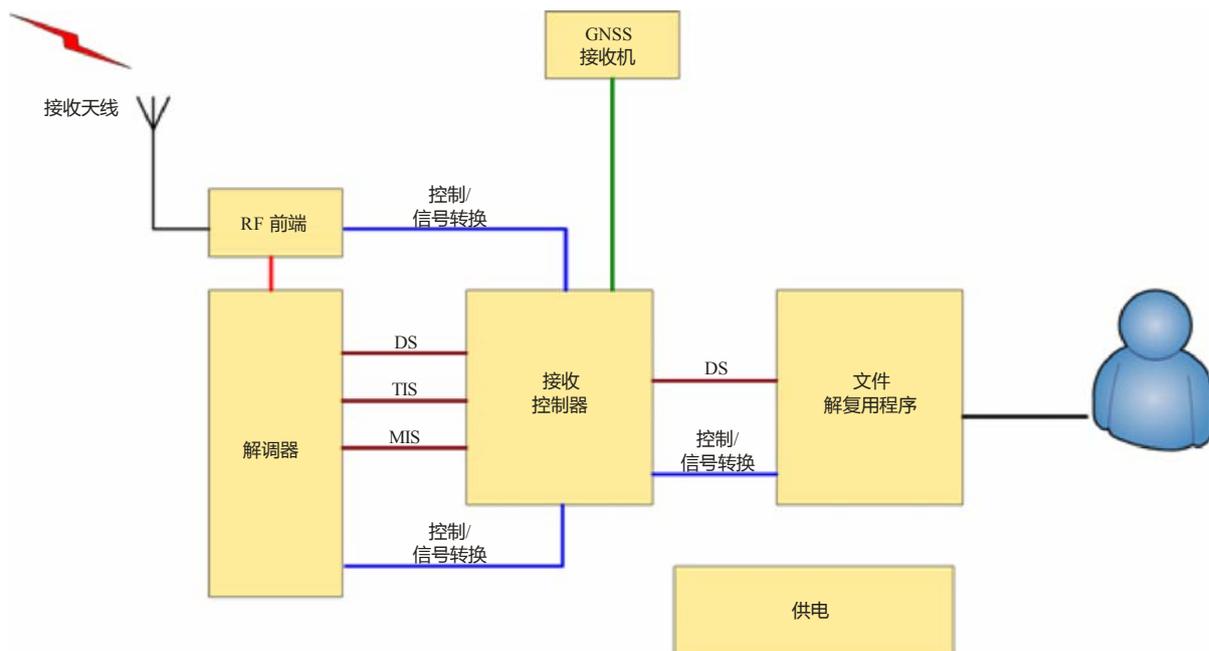
### 3.1 NAVDAT船舶接收机的说明

船舶接收机模块图请参见图14。

典型的NAVDAT 500 kHz数字接收机由若干基本模块构成：

- 接收天线和GNSS天线；
- RF前端；
- 解调器；
- 文件解复用程序；
- 控制器；
- 供电。

图14  
NAVDAT 接收机逻辑图



### 3.1.1 接收天线和全球卫星导航天线

500 kHz接收天线可以是H场天线（建议在大噪声船舶上使用）或E场天线。

此外，还需要GNSS天线（或与现有船舶GNSS接收机连接）来获得船舶定位信息。

### 3.1.2 RF前端

此模块包含RF滤波器、RF放大器和基带输出。

需要高灵敏度和高动态范围。

### 3.1.3 解调器

此阶段解调基带OFDM信号并重新创建包含有已发送的消息文件的数据流。

此阶段实施：

- 时间/频率同步；
- 信道评估；
- 自动调制恢复；
- 纠错。

NAVDAT 接收机应能够自动检测以下调制参数：

- 16- 或64-QAM；
- 副载波方案；
- 错误编码的类型。

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

- 估算出的SNR；
- BER；
- MER。

### 3.1.4 文件解复用程序

文件解复用程序：

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

根据最终应用的不同，消息文件可以：

- 存储于可通过船舶网访问的船载服务器上；
- 直接发送给最终应用。

应提供一个人机接口，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）。此接口可能是在外部计算机运行的专门应用，接收机可能是黑匣子设备。

### 3.1.5 控制器

该控制器：

- 从DS摘取消息文件（将数据包合并成文件）；
- 解释TIS和MIS以及解调器给出的其它信息；
- 从文件解复用程序中收集以下信息：
  - 已解码消息文件的总量；
  - 可用消息文件的数量；
  - 差错事件（例如，解密差错）。

或可为显示并检查接收参数提供一个人机接口。

### 3.1.6 供电

主要供电设备必须与船载主要供电单元适配。

## 4 NAVDAT船载接收机的性能规范

下文假设的船载接收机规范，旨在为良好的OFDM解调提供最小SNR（16-QAM或64-QAM）。

表 1

NAVDAT 船载接收机的性能规范

频段	495至505 kHz
相邻信道保护	> 40 dB @ 5 kHz
噪声因子	< 20 dB
纠错后的可用BER灵敏度 = $10^{-4}$	< -100 dBm
动态	> 80 dB
最小的可用RF场（配有适配的接收天线）	25 dB ( $\mu\text{V}/\text{m}$ )

## 附件4

### 世界数字广播联盟的单一频率网络模式

#### 1 世界数字广播联盟的解释

世界数字广播联盟（DRM）的国际数字无线电广播标准，用于MF和HF的数字无线电广播。DRM是一种经过实践检验的技术，可提供优越的覆盖，提升信号的保真度（通过数字纠错编码）并消除多径干扰（包括天波干扰）以拓展天波传播的覆盖范围。DRM广播可根据覆盖要求、发射机的位置和天线高度同时在16-QAM 和64-QAM调制模式中使用。

#### 1.1 单一频率网络的操作模式

DRM系统可支持所谓“单一频率网络（SFN）操作”。此情况下，一批发射机将使用同一频率，在同一时间并采用相同的数据信号发射。通常，这些发射机拥有相互交叉的覆盖区，在此范围内收音机将能接收到来自多个发射机的信号。如果这些信号到达的时差小于保护间隔，则其将为信号提供积极的补充。因此，该位置的服务覆盖范围与仅有一台发射机提供服务相比有所提高。通过慎重的设计并在SFN中使用一系列发射机，可使用单一频率全面覆盖一个地区或国家，且由于此应用中只有一个时隙，因而大幅提升了频谱效率。

## 附件5

### 词汇

BER	误码率
DRM	世界数字广播联盟
DS	数据流
GMDSS	全球水上遇险和安全系统
GNSS	全球导航卫星系统
HF	高频
IMO	国际海事组织
ITU	国际电信联盟
LF	低频
MER	调制差错率
MF	中频
MIS	调制信息流
NAVDAT	导航数据（系统名称）
NAVTEX	导航电传（系统名称）

NM	海里（1 852米）
OFDM	正交频分复用
QAM	正交振幅调制
PEP	峰包功率
RMS	均方根
SFN	单一频率网络
SIM	系统信息和管理
SNR	信噪比
TIS	发射机信息流

---