

ITU-R M.2084 报告*

自动识别系统消息的卫星检测

(2006 年)

1 引言

为了保障海上安全和提高导航效率以及为了帮助保护海上的环境, 1990 年代初期, 国际导航和灯塔当局海上设备联合会 (IALA) 首先提出了开发通用的船舶用系统的提案。在那个提案以后, 为了有助于达到这些目标, 国际海事组织 (IMO)、国际电信联盟 (ITU) 和国际电工委员会 (IEC) 采用了一种新的导航系统。该系统现在称为自动识别系统 (AIS)。AIS 的主要目的是便于在船舶之间和在船舶电台和海岸电台之间有效地交换导航数据, 以便显著改善导航安全和促进改善海上事件的控制和监测。现在的 AIS 系统采用时分多址技术 (TDMA), ITU-R M.1371 建议书详尽地描述了在 VHF 水上移动频带中工作的 AIS 系统的技术特性。

正如在该建议书中所描述的那样, 设计 AIS 是为了自主地工作和为了在 20 到 30 海里 (NM) (27-56 km) 的范围内, 主要使用自己组织的 TDMA 形式, 自动在船舶、海岸电台和导航设备之间自动交换短消息。消息包含诸如船舶标识、位置、路线和速度这类数据。

根据海上生命安全国际公约 (SOLAS) 的要求, 对于从事国际航行的 300 英吨或更大的所有船舶而言, 安装和使用 AIS 是强制性的要求。到 2008 年, 从事国内航行的 500 英吨及更大的船舶也必须配备 AIS。为这一强制性的对运载器具的要求所设计的 AIS 设备称为 A 类单元。一种称为 B 类单元的功率较低的用于自愿的对运载器具要求的设备目前正在进行研制。自从引入 AIS 以后, AIS 已经证明它很成功地满足了由 IALA 所设定的最初目标。

现在, 对侦测和跟踪在离海岸线比通常的地面通信能够达到的更远距离上的船舶的能力的需求已经改变。诸如更好地处理危险货物、改善安全性和对付非法行动这类长距离应用的要求提出了必须在离海岸 200 海里 (370 km) 或更长的距离上, 侦测正在开过来的船舶。

本报告提出 AIS 卫星侦测作为实现远距离船舶侦测的一个手段。本报告讨论了它的技术可行性、考查了在各种各样的条件下的卫星容量和探讨了几种可以提高卫星容量的方法。本文件的其余部分编辑成如下 8 个小节: AIS 的工作和技术特性, AIS 卫星侦测概述, 链路预算分析, 系统内部干扰分析 (只有 A 类、A 类和 B 类混在一起和不均匀的船舶分布), 与现有的移动通信系统的兼容性, 改善性能和频率共用的技术和结束语。

* 应提请国际海事组织 (IMO)、国际航标协会 (IALA) 和国际海事无线电委员会 (CIRM) 注意本报告。

2 船用 AIS 的工作和技术特性

为了帮助功能上描述和理解卫星 AIS 侦测的特性，在下一节中按照 ITU-R M.1371 建议书中的描述，对普通的地面 AIS 的基本特性作了综述。

AIS 功能是作为一个船舶到船舶、船舶到海岸的通信系统。在该系统中，装备了 AIS 的船舶定期发射固定长度的 TDMA 短消息，包括诸如标识、位置、路线、速度和其它状态信息那类数据。相关的船舶电台和海岸电台上的 AIS 接收机侦测来自所有附近的船舶的这一消息，从而，提供了本地环境的一个综合图像，以补充雷达和其它导航设备的信息。

TDMA 信号的结构是以一个分成 2 250 个时隙的一分钟的帧为基础的，通常每条消息占用一个时隙。在正常模式下，这些识别消息在已经为这一用途所指定的两个 VHF 海事通信频道上定期轮流发射。从船上的电子定位固定业务得到船舶的位置。从装在 AIS 电台内的 GNSS 接收机得到 TDMA 定时信号。在有二个通信频道的情况下，AIS 总容量为每分钟 4 500 条一个时隙的消息。

AIS 是根据称为自组形式 TDMA 的多址方案进行设计的。在这一技术中，该系统的功能和在固定指配的 TDMA 方案中的典型功能一样，没有中心 TDMA 控制器。通过连续地检测出本地环境中的 AIS 信号和“通报”它的下一个想要发射的时隙的方法，实现在本地环境中所有参与的船舶的协调，并将在使用一给定的时隙时发生冲突的可能性减至最小。对某些类型的消息，也使用其它 TDMA 接入方案。

表 1 汇总了 AIS 的射频 (RF) 和数据的技术参数。正如在该表中所描述的那样，基本的消息长度为 256 比特，其中最后 24 比特用作缓存器，以适应传播和中继的时延、定时抖动和由比特填充所产生的额外比特。通常，最后 20 比特的位置是空闲的。要安装在装备了 AIS 的船舶上的天线的特性和相关的传输线的参数在基本的 ITU 建议书中没有规定，但是这里为了更完整地规定 AIS 的特性，把它们加上了。实际上，一般使用两种类型的天线，即 $1/2 \lambda$ 的偶极子和 $5/8 \lambda$ 的端馈单极天线，其增益范围从 2 dBi 到 4.5 dBi。在这一研究中，为了有裕量，假设 $1/2 \lambda$ 偶极子的最大增益为 2 dBi，俯仰面内的增益图案呈简单的余弦平方形。传输线的类型和长度随安装条件而变化。本文中，假设电缆加上与 AIS 船舶发射机相关的其它各种损耗按 3 dB 来计算。表 2 表示出默认的数据包的比特结构。

表 1

船舶 AIS 的技术参数纵览

AIS 参数	数 值
频率	161.975 和 162.025 MHz
信道带宽	25 kHz
平台	A 类船舶、B 类船舶、海岸电台、导航设备
功率	12.5 W (A 类) ; 2 W (B 类)
天线类型 ⁽¹⁾	$1/2 \lambda$ 偶极子
天线增益 ⁽¹⁾	2 dBi, 俯仰面内方向图余弦平方形最小增益 = -10 dBi
电缆损耗 ⁽¹⁾	3 dB (估计值)

表 1 (完)

AIS 参数	数 值
接收机灵敏度	-107 dBm (误包率 (PER) 20%) (最小) -109 dBm (误包率 ≤ 20%) (典型值)
调制	9 600 比特 GMSK
多址模式	TDMA (自组型、随机、固定和递增的)
TDMA 帧长度	1 分钟; 2 250 个时隙
TDMA 时隙长度	26.7 ms; 256 比特 (见表 2)
消息类型	22 种类型
消息长度	1 到 5 时隙, 1 时隙是主要类型
消息的定期间隔	2 秒到 6 分钟发射间隔 (见表 3)
要求的 D/U 保护比	在 PER=20% ⁽²⁾ 的条件下, 10 dB

⁽¹⁾ ITU-R M.1371 建议书中未规定的典型参数。

⁽²⁾ IEC 61993-2 中所规定的参数。

表 2

默认的数据包比特结构

功率上升时间	8 比特	
训练序列	24 比特	为同步所必需的
开始标志	8 比特	
数据	168 比特	默认长度
循环冗余码	16 比特	为误码检测所必需
结束标志	8 比特	
缓存	24 比特 (通常, 最后 20 比特是空闲的)	为适应比特填充、传播和中继时延和抖动所必需
总数	256 比特	

为了适应由 AIS 所要实现的各种不同的功能, 标准中规定了 22 种消息类型。可以将它们分组为四类: 动态、静态和航行、安全和管理以及数据。动态消息是定期发送的, 它构成 AIS 环境中最大量的业务流量。一个关键的变量是不同的平台发送这些定期消息的速率。在标准中, 对几种平台规定了报告的时间间隔的范围, 它取决于船舶的动态情况, 如速度和路线。表 3 汇总了不同类型平台的消息报告时间间隔。

正如后面将要看到的那样, 消息报告的时间间隔在 AIS 的卫星侦测性能中起重要的作用。正如表 3 中所看到的那样, A 类船舶的报告时间间隔变化范围相当大, 从每 2 秒钟到每 3 分钟, 取决于船舶的动态的情况。为了确定 A 类船舶的长期平均发送间隔时间, 对各种不同的动态情况下的船舶分布必须有一个估计。表 4 列出了状态分类、它们相应的报告间隔时间和在任何给定时间上在每一类中船舶的百分数的估计值。根据这一数据, 确定有关报告时间间隔的总的估计值。

表 3
AIS 消息的报告时间间隔

AIS 平台	报告时间间隔
动态信息:	
海岸电台	$3\frac{1}{3}$ 到 10 秒钟 (标称 10 秒)
A 类船舶	2 秒到 3 分钟间隔 (平均约 7 秒钟) (见表 4)
B 类船舶	5 秒到 3 分钟间隔 (标称 30 秒)
搜索和营救飞机	10 秒间隔
导航帮助	3 分钟间隔
静态和航行信息	6 分钟间隔
安全和管理消息	按需要
数据消息	按需要

表 4
A 类船上移动设备报告时间间隔

船舶的动态条件	标称报告时间间隔	总百分数
抛锚或停泊和不快于 3 节移动速度的船舶	3 分钟	28
抛锚或停泊和快于 3 节移动速度的船舶	10 秒	
船舶 0-14 节	10 秒	30
船舶 0-14 节和正在改变路线	$3\frac{1}{3}$ 秒	12
船舶 14-23 节	6 秒	30
船舶 14-23 节和正在改变路线	2 秒	
船舶-23 节	2 秒	
船舶-23 节和正在改变路线	2 秒	
所有船舶的平均值	~7 秒间隔	

3 AIS 的卫星侦测

为了接收和解码 AIS 消息并将所得到的信息通过卫星的馈送链路转发给适当位置的地球站, 理论上, AIS 的卫星侦测将要涉及使用一个或多个在低地球轨道 (LEO) 中的卫星。低地球轨道卫星的典型高度范围为 600-1 000 km。现在能够工作的卫星 AIS 侦测系统现在还没有投入使用, 并且还没有规定这样一个系统的工作和技术参数。因而, 对这里的用途, 有必要假设各个合理的和技术上有可能达到的参数。

最初的一个示范系统将由一个在高度为 950 km 的极地轨道中的单个 (LEO) 卫星组成。对后来的工作系统, 可以想象将使用一个相当小的 LEO 卫星的星座, 因而, 一个给定的船舶位置的卫星覆盖将不是连续的。全球覆盖和使用数量适中的地球站迫使人们必须对接收到的 AIS 数据有必要使用存储和前转技术。然而, 为了侦测和监视离海岸达数千海里的船舶, 地球上大的卫星覆盖区将使得在可以见到卫星的时间期间有可能实时下载数据。

有几个关键的技术因素将卫星 AIS 侦测与普通的船舶到船舶和船舶到海岸的 AIS 侦测区分开来，特别是接收机灵敏度、天线增益辐射图和可靠性要求等因素。AIS 船用接收机所报告的测出的数据表明，市场上销售的接收机灵敏度通常比在 AIS 规范中所要求的接收机灵敏度要更高。使用低噪声放大器（LNA）和最佳检测方案，有可能进一步提高 AIS 卫星接收机的灵敏度。但是，为了适应高达约±3.5 kHz 的多普勒频移，带宽必须大于最佳接收机带宽，这样就抵消了这些改善。考虑了这些因素以后，对 AIS 卫星接收机，这里使用的接收机灵敏度的底线是误包率 1%时-118 dBm 和误包率 20%时-120dBm。

最初的卫星系统将使用宽射束卫星天线。在 LEO 卫星上使用的宽射束天线通常可以分为两大类。普遍使用的一个类型是峰值增益全方向朝地平线方向，而朝星下点方向有比较低的增益的天线。用这种天线，天线增益随偏轴角的变化部分补偿了传播损耗的变化，从而导致当偏轴角改变时，信号电平的变化比较少。另一类天线是更常规的类型，朝星下点方向增益最大。为了进行这一研究，假设后面那种天线的峰值增益为 6 dBi，-3 dB 射束宽度为 100°。而主瓣增益图，这里使用在 ITU-R 研究中经常使用的如下模型：

$$G(\theta) = G_{MB} - 12(\theta/\theta_{3dB})^2$$

其中：

$G(\theta)$ ：在偏轴角 θ （度）方向上的卫星天线增益（dBi）

G_{MB} ：卫星天线的主射束增益（dBi）

θ_{3dB} ：卫星天线的-3dB 射束宽度（度）

AIS 卫星侦测的性能要求与地面上的类似设备也有很大差别。与大多数通信系统类似，普通的 AIS 目的在于以中等的直到高的可靠性，成功地接收和解码大多数相关的所发射的消息。为了使用 AIS 卫星侦测来监视船舶，不需要高的通信可靠性。对离海岸数百海里以内的船舶来说，每小时更新一次船舶的位置可能已满足要求了，而对于更远的海洋中的船舶而言，每四小时或者甚至每十二小时更新一次位置可能就足够了。正如我们后面将要看到的那样，系统内部的干扰会导致所接收到的 AIS 船舶消息有很大的百分比被丢失掉。例如，在单次卫星在上面通过的情况下，可能会丢失多达 99%或更多的 AIS 船舶消息，但是仍然可以达到在定期的基础上更新船舶位置的目标。为了达到每 12 小时更新一次船舶位置的目标，在这段时间内，只需要从一给定的船舶所接收到的 360 条消息中能成功地解码一条消息（约 0.3%）就足够了。后面更详尽地解释这一问题。

已经指定作为水上移动业务内供地面 AIS 侦测功能用的频道的两个频率不是按专用来划分的。更确切地说，在全世界各个不同的地区，将这些频道和相邻的频道划分给其它移动业务的应用使用，包括水上移动业务中的 VHF 公共通信电台（VPCS）和陆地移动无线电系统。与一般的地面 AIS 系统不一样，地面 AIS 系统可以通过地理上分隔开的方法与其它同频的发射机共存，而卫星天线射束覆盖相当大的地理区域，因而同时接收到由多个 AIS 船舶发射机以及在内陆上运行的移动系统的发射信号。卫星 AIS 必须能够在有来自现有业务产生的干扰环境中正常地工作。在§9 中，研究分析了卫星 AIS 在有现有业务工作时的性能。

表 5 考虑了上面的讨论，综合了这一研究中所使用的 AIS 卫星的特性。

表 5
假设的 AIS 卫星链路的特性

AIS 卫星参数	数 值
卫星	
星座	1 到 6 颗卫星
高度 (km)	950
倾角 (度)	82.5
周期 (分钟)	104
地球覆盖区	半径 3 281 km (在水平面上)
天线	
增益 (G_{MB}) (dBi)	6
射束宽度 (θ_{3dB}) (度)	100
辐射图	$G_{MB} - 12 (\theta/\theta_{3dB})^2$
极化	接近圆极化
圆极化到线极化的变换损耗 (dB)	3
接收机	
在 LNA 输入端上的噪声系数 (dB)	3
BER = 10^{-5} 时要求的 E_b/N_0 (dB)	13 (包括实现损耗)
在 LNA 前的线路/滤波器损耗 (dB)	2.5
在 LNA 上的灵敏度 (dBm)	误包率 (PER) 1%时, - 118 误包率 20%时, - 120
保护比 (对同频道、同时发生的信号) (dB)	PER 1%时 15 PER 20%时 10
所希望的船舶位置更新周期	单个卫星通过, 4 小时和 12 小时

4 链路预算分析

任何卫星通信系统的最基本的性能量度标准之一是链路预算。对于正在研究的情况，它由计算在卫星上所接收到的来自一艘船舶的信号功率和与卫星的灵敏度进行比较两部分组成。若接收到的功率超过灵敏度，即有正的余量，则能够实现成功的通信。使用这里前面规定的 AIS 船舶发射机和 AIS 卫星接收机的参数，为 AIS 船舶到卫星的路径拟定链路预算。表 6 描述了可用于侦测从 A 类船舶来的 AIS 消息的几何参数和功率计算。

表 6
在最远距离上的船舶到卫星的链路预算

参 数	数 值
几何参数	
卫星高度 (km)	950
最小发射仰角 (度)	0
卫星天线偏轴角 (度)	60.5
最大倾斜距离 (km)	3 606
最大表面距离 (km)	3 281
功率	
发射功率 (dBm)	41.0
发射增益 (dBi)	2.0
发射电缆和各种各样的损耗 (dB)	3.0
在最大距离上的自由空间传播损耗 (dB)	147.8
极化失配损耗 (dB)	3.0
在地平面上的卫星天线增益 (dBi)	1.6
卫星射频线路或滤波器的损耗 (dB)	2.5
卫星上接收到的功率 (dBm)	- 111.7
PER 20%时卫星的灵敏度 (dBm)	-120.0
净余量 (dB)	8.3

曾经更详尽地研究过的一个因素是船舶天线在很低发射角上的传播损耗。对大多数卫星通信系统而言，在考虑技术因素如衰落和/或规章限制的条件下，通常对地球终端处的地平线以上的某些最小仰角，如 3° 或 5° 来设计该系统。对现在的研究而言，发现这些因素不可能应用于 VHF 地球到卫星的在海水上面的传播。使用为地球到卫星传播损耗预测所设计的无线传播模型，得到了图 1 所示的曲线，它表示了对在高度 950 km 上的卫星所估计的中值传播曲线¹。该曲线是根据平均海上温带气象条件和海洋状态条件求得的。所得到的数据的正弦形结构是由于从水面来的反射路径的同相和反相相加引起的信号周期性地增强和衰落所产生的。正如从该数据中所看到的那样，名义上的自由空间传播条件应用于直到光学地平线的所有路线，传播损耗在 2 dB 以内，超过光学地平线的距离以外，传播损耗快速增加。

为了描述净余量与从地球上的星下点到地平线的距离之间的关系，图 2 根据在表 5 中所导出的结果作了推广。对这一计算，将自由空间传播应用于地球上的地平线，但不包含前面所表示的同相/反相的衰落结构。正好在卫星下面的局部零点是由于在 AIS 船舶天线所使用的偶极子天线的天线增益中的零点造成的。因为 B 类船舶的链路预算技术参数除了功率降低以外，基本上与 A 类船舶相同，所以，也显示了一条平行曲线，代表卫星上接收 B 类船舶信号的余量。

¹ 见 <http://flattop.its.bldrdoc.gov/if77.html>。

图 1
在 162 MHz 上海水上面的地球到卫星的传播损耗
(卫星在高度 950 km)

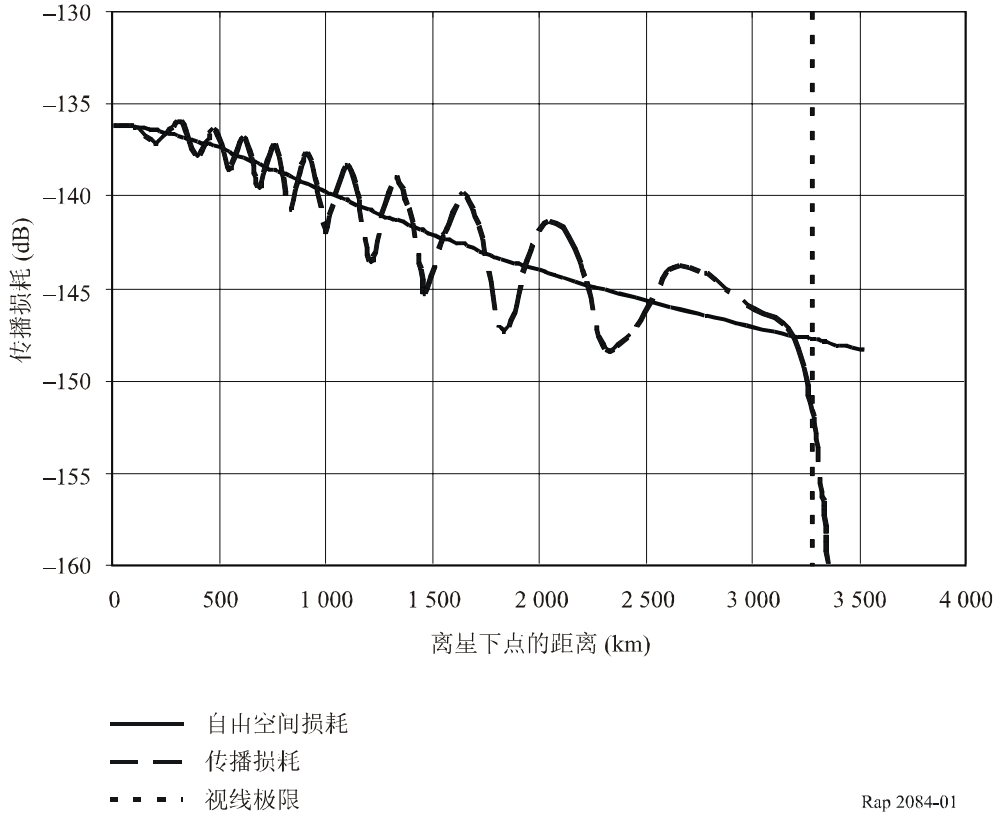
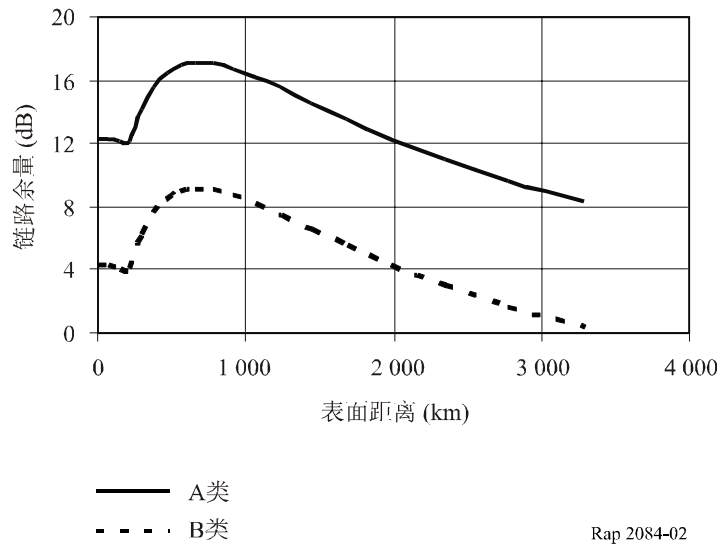


图 2
船舶到卫星的链路余量与离星下点的地球表面距离的关系



从这些结果可以得出结论，在卫星覆盖区以内的大多数船舶位置上，卫星侦测和解码 A 类和 B 类船舶的 AIS 信号都有足够的链路余量。

5 系统内部干扰分析（仅 A 类）

虽然链路预算表明了卫星覆盖区内的任何地方，侦测 A 类船舶的 AIS 消息有足够的链路余量，但是由于系统内部的干扰，对系统的侦测性能产生了相当大的限制。在随后的讨论中，描述了三种定量确定由系统内部干扰引起的对系统性能的限制方法。

5.1 分析法

正如前面所描述的那样，用于 AIS 自己组织的 TDMA (SOTDMA) 方案保证了时隙使用的协调性，所以，在一给定的局部地理区域内，在船上单元和岸上单元之间，发生时隙冲突的可能性减至最小。对 AIS 卫星侦测来说，就不是这样的情况。在天线射束以内，卫星看到许多这样的局部区域。既然一般在各局部之间没有进行协调，在卫星所接收到的许多信号之间，将出现时隙碰撞。当发生一次时隙碰撞时，取决于它们的相对功率电平，两条消息都可能被丢失。随着这些时隙碰撞出现概率的增加，成功地侦测和解码一给定船舶的 AIS 消息的概率将下降。

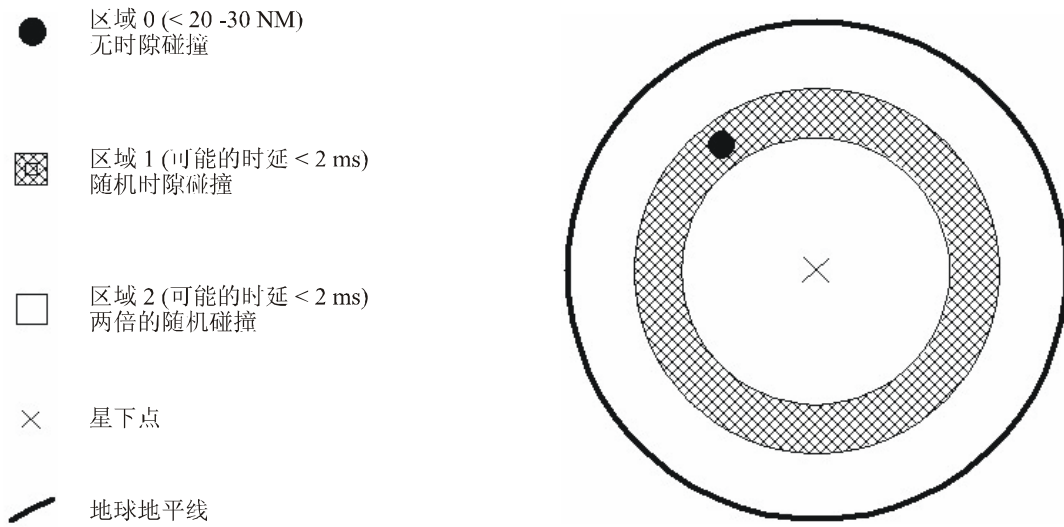
用单个有用的 AIS 消息 (D) 和一个或多个无用的 AIS 消息 (U) 可以对这些时隙碰撞进行研究。只要出现时隙碰撞和综合的 D/U 功率比小于 10 dB，将导致那些消息丢失。开始我们只考虑 A 类船舶，图 2 表明了接收到的最大 AIS 信号与接收到的最小 AIS 信号之比将为 9 dB 左右。因而，对发生的任何时隙碰撞而言，D/U 将不能够达到所要求的 10 dB 的值，从而导致大多数数据包丢失。后面将描述一些有可能减少包丢失的潜在的接收机处理技术。

在某些条件下，在时隙碰撞期间，将发生丢失两个数据包。图 3 对这一情况作了说明。在该图中，外圆代表地球表面上的覆盖区，而圆心是正好在卫星下面的点。小得多的黑色区域代表局部的 AIS 协调区。我们考虑一下来自位于该局部地区内的一艘船舶的消息的接收情况。由于 SOTDMA 的结构，来自位于同一局部地区的其它船舶的 AIS 消息将同时进行协调，所以，无论是当地还是在 AIS 卫星接收机上，将都不会发生时隙碰撞。但是，在比较大的阴影区内的位于该局部地区以外的船舶的消息将没有进行协调，因而将导致随机出现时隙碰撞和丢失一定百分比的有用消息。在这一区域内，只要从不同的船舶位置到卫星的传播时延的差值小于 2 ms 左右，GPS 定时同步保证了时隙将有效地对齐和只有一个时隙受影响。2 ms 的时延相当于在 AIS 消息的末尾的 20 个空闲比特位置。在阴影区以外的区域中，该区域由有界白色区域所代表，到卫星的传播时延差比较大将导致时隙的重叠和造成丢失两个时隙。

若我们只研究 A 类船舶，并假设在卫星的可见域内船舶的地理分布是均匀的这一理想化的状况，则可以用简单的分析法来计算与这种形式的系统内部干扰相联系的统计数据。

图 3

时隙碰撞区的说明



Rap 2084-03

首先，我们考虑一下最明显的情况，即卫星上正在接收来自一给定的船舶的单条消息并且在该环境中只有一艘其它的船舶。数据包碰撞的概率和成功侦测的概率由下式求出：

$$Q_{1,1} = k * D_C / 2$$

$$P_{1,1} = 1 - (k * D_C) / 2$$

$$P_{1,1} = 1 - (k * (\tau / \Delta T) / 2)$$

其中：

$Q_{1,1}$ ：时隙碰撞的概率（从船舶 1 来的有用消息；从另一艘船舶来的周期性的无用消息）

$P_{1,1}$ ：至少有一次不发生碰撞成功侦测的概率（1 条有用消息；从另一艘船舶来的周期性的无用消息）

D_C ：无用船舶消息的发射占空因数

k ：0, 1 或 2 代表来自位于区 0, 1 或 2 的船舶的干扰信息

ΔT ：消息发射平均间隔时间 (s)

τ ：消息长度 (0.0267 s)。

上面方程中包含因子 2 是考虑了 AIS 船舶消息在两个 AIS 频率之间交替发送这一事实。

作为一个例子，使用 ΔT 为 7 s 和从区域 2 来的竞争的船舶消息，就得到：

$$P_{1,1} = 99.6\%$$

将这一例子推广到卫星上正在接收来自一给定船舶的单个消息，并且在该环境中有 N 艘船舶的情况，成功侦测到信号不发生碰撞的概率由下式求出：

$$P_{1,N} = (P_{1,1})^{N-1}$$

一般情况下，在卫星可视周期期间，一给定的船舶发射 M 条消息，则在卫星可视周期期间至少成功侦测到一条所发射的消息的概率由下式求出：

$$P_{M,N} = 1 - [1 - (P_{1,1})^{N-1}]^M$$

其中：

$$M: T_{vis} / \Delta T$$

T_{vis} : 卫星可能见到的时间周期

在卫星天线的覆盖区（脚印）以内，船舶是均匀分布的这一假设条件下，显然，某些船舶可能位于区域 0、1 和 2 这三个区域中的每一区域中。这些区域的相对位置和大小是随每一条所接收的消息而变化的。在规定区域 0 的范围很小的情况下，从这一区域来的无用消息对总的卫星侦测性能的影响最小，可以将它忽略不计。因而， k 的平均值将是在 1 和 2 之间。对于在卫星覆盖区以内船舶均匀分布的状况下，已经发现， k 的平均值为 1.6 精确地描述了系统内部干扰的特性。使用 $k = 1.6$ 继续上面的例子就得到下面两个结果：

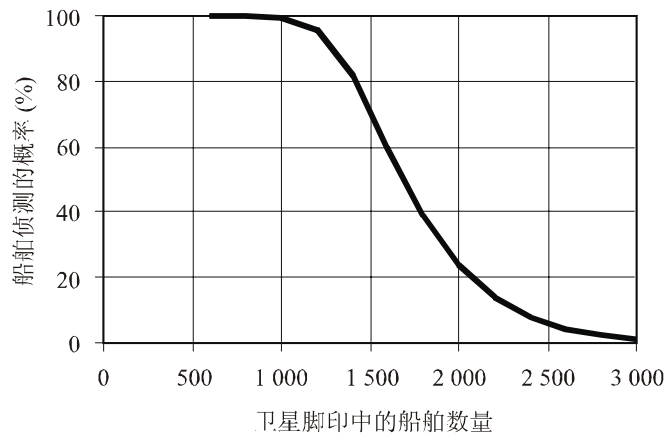
$$P_{1,1000} = 4.8\%$$

$$P_{100,1000} = 99.3\%$$

上面所描述的分析方法是与有关这一题目所完成的其它研究工作²的分析方法相一致的。图 4 给出了一个简单情况下的典型曲线，即只有一颗卫星和卫星一次在空中经过的情况下的典型曲线。

图 4

卫星侦测统计



Rap 2084-04

上面所介绍的计算代表了在一规定的卫星可见周期期间侦测到一给定船舶的概率。另一个和可能更有用的统计数据将是被侦测到的船舶的百分比。既然假设逐个船舶的侦测概率是独立的，被侦测到的船舶的平均数 (S_{ave}) 由下式求出：

$$S_{ave} = N \cdot P_{M,N}$$

若用侦测的总船舶数的百分比来表示这一平均数，就可以得到与图 4 中所表示的结果相同的一条曲线，只不过坐标的标度标上被侦测船舶的百分数。

² Hoyer, Gudrun K.等。[无日期] 用于全球水上业务监测的基于空间的 AIS, Kjeller, 挪威: 挪威国防研究院 (FFI)。

关注的第三个统计数据是在给定的卫星可见周期期间，将侦测到卫星覆盖区中所有船舶的概率。这一重要得多的标准由下式来确定：

$$P_{All} = (P_{M,N})^N$$

因为指数值极高，这一曲线实际上是全部都有或什么都没有。这就是说，在侦测单个船舶的概率非常接近于 1 的条件下，则 100% 的船舶将被侦测出来。但是，当侦测单个船舶的概率下降到小于 1 时，则 100% 的船舶被侦测到的概率很快下降到接近于零。

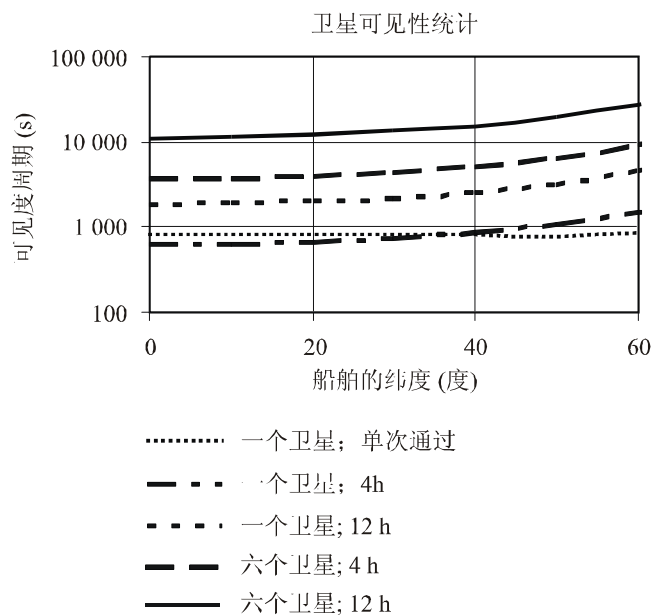
考虑了上面的讨论以后，显然，由于时隙碰撞可能造成所发射的许多消息被破坏和丢失，但是在一定的卫星可见周期期间，仍然达到了所要求的更新船舶位置的目标。

要确定的最后一个因素是可见到卫星的时间周期。对于这里正在考虑的有代表性的卫星高度 950 km 的情况，一个卫星一次正好越过头顶的可见周期约为 16.8 分钟。然而，大多数卫星通过不是正好在头顶出现，而是以某个较低的仰角通过，该仰角取决于卫星轨道的倾角和船舶位置的纬度。通过使用一个商业上可以取得的卫星分析模型，推导出平均卫星可以看见的时间周期与船舶的纬度和观察时间的关系，如图 5 所示³。给出了一次越过头顶的值以及在更长的延长的观察时间周期内，如 4 h 和 12 h 内的平均值。还考虑了六个卫星的星座情况下多个卫星的覆盖，星座中卫星有足够的间距，以避免地球上覆盖区的重叠。

图 5

卫星可见性统计

(在极轨中在 950 km 高度上的卫星)



Rap 2084-05

³ 在整个这个报告中，术语“观察周期”的使用与“船舶位置更新周期”是可以相互交换使用的，这两个术语都指希望至少得到一次给定船舶的识别和位置的更新的时间周期。术语“可见度周期”指在一给定的船舶和该卫星之间存在视距路径的观察周期以内的总秒数。

为了简化，这里所说到的大多数例子中，船舶的纬度都是北纬 40°。表 7 给出了一艘位于 40° N 的船舶的具体的可见度的值。

表 7

卫星可见度统计

(卫星在极地轨道中，目标船舶在北纬 40° 上)

卫星星座	单次通过	4 小时观测	12 小时观测
1 颗卫星	818 s	853 s ⁽¹⁾	2 560 s
6 颗卫星	818 s	5 118 s	15 360 s

⁽¹⁾ 对单颗卫星星座，4 小时观测时间代表了长期平均值，可能存在超过 9 小时看不见卫星的时间。

现在可以将分析方法和卫星可见度统计组合起来，以便描述被侦测到的船舶的百分比和侦测出所有船舶的概率。图 6 显示了一典型的卫星通过的结果。在这个报告的整个其余部分，将使用这些曲线作 A 类船舶的 AIS 卫星侦测的底线。图 7 将其它观察周期和多卫星星座情况下的结果与底线的曲线进行了比较。

图 6

单颗卫星和单次通过时 AIS 卫星侦测的底线曲线

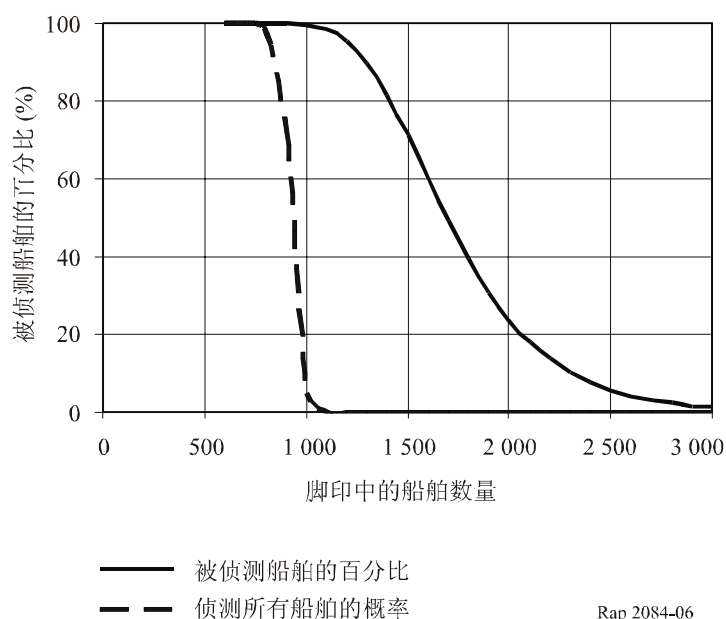
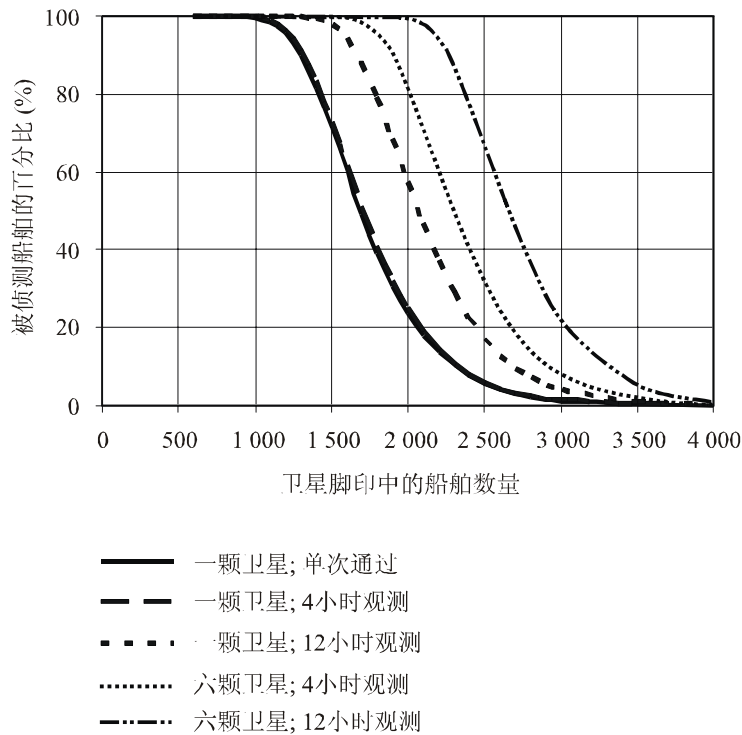


图 7
AIS 卫星侦测
(一颗卫星和六颗卫星的场景)



Rap 2084-07

为了这一研究，在两个点上规定该卫星的容量，在一个点上，在卫星天线覆盖区中的 80%的船舶被侦测到和在另一点上，100%船舶被侦测到。因而，对上面所描述的情况，表 8 汇总了在所研究的各种不同情况下的卫星容量。

表 8
计算出的卫星 AIS 侦测的容量

(在高度 950 km 上的极轨卫星；船舶在纬度 40° 上；80%侦测)

卫星星座	容量定义	单次通过	4 小时观测	12 小时观测
1 颗卫星	80%	1 420 艘船	1 430 艘船 ⁽¹⁾	1 790 艘船
6 颗卫星	80%	1 420 艘船	2 018 艘船	2 381 艘船
1 颗卫星	100% ⁽²⁾	738 艘船	753 艘船	797 艘船
6 颗卫星	100% ⁽²⁾	738 艘船	1 052 艘船	1 382 艘船

⁽¹⁾ 对单颗卫星星座，4 小时观测周期代表长期平均值，注意，可能有 9 小时以上的时间看不见卫星。

⁽²⁾ 在 99.9%上计算出的容量。

5.2 仿真法

采取另一种途径，即用蒙特卡洛仿真法来研究 AIS 卫星侦测的容量限制。使用微软公司生产的 Excel[®] 电子制表软件创建数据库，数据库中的每一记录包含代表位于卫星覆盖区内的一艘船舶的技术参数。通过将每一 AIS 单元的关键参数作随机化处理 and 重复计算，在一给定的时隙中在卫星上得到的所接收到的综合功率的方法，就能够与前面的分析方法中相同的格式得到统计的结果。为这一研究所拟定的蒙特卡洛仿真法的主要假设如下：

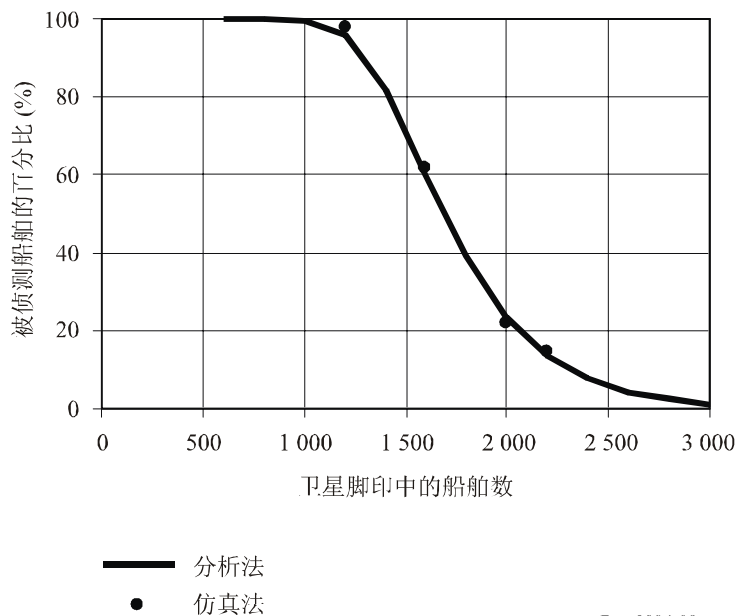
- 在以星下点为中心的半径为 3 281 km 的圆形地理区域内，船舶是均匀分布的。
- 船舶随机在 AIS 频道 1 或 2 上和在和 2 250 时隙中的一个时隙上发射消息。
- 每一艘 A 类船舶以前面所描述的功率和平均时隙间隔发射。

除了计算卫星上的综合功率外，还有必要计算从每一艘被仿真的船舶来的传播时延，以便适当地考虑时隙碰撞的因素。为了在传播时延改变的情况下，将在一给定的有用信号时隙中接收到的干扰功率适当地相加，有用信号的时隙进一步分成一些子时隙。对这一研究而言，已经发现，使用十个子时隙可提供足够的精度，即使用大量子时隙不会显著地改变结果。第一个和最后一个子时隙的长度为 20 比特，它们代表在缓存器中包含 20 空闲比特的重叠时隙。其它 8 个子时隙的长度为 27 比特，总共 256 比特。若在这些中间的八个子时隙的任一子时隙中的综合功率导致 D/U 小于 10 dB，则判定丢失一条消息。

图 8 是通过使用微软公司生产的 Excel[®] 电子制表软件实施这一方法所得出的。该曲线显示了用仿真法的几个数据点计算结果与图 5 中给出的底线值的比较，比较结果表明几乎完全一致。

图 8

使用仿真法时 AIS 卫星侦测的底线曲线



5.3 随机法

Tunaley⁴ 描述了研究侦测 A 类船舶统计的第三种方法。在这一方法中，将来自这些船舶的 AIS 消息到达卫星的时间看作具有泊松分布的随机变量。从这一方法导出的表示式中，除了 $P_{1,N}$ 这一项用下式替代外，总的形式与以前的分析法相同：

$$P_{1,N} \approx e^{(-\lambda\tau/2)}$$

其中：

λ : $k \cdot (N - 1) / \Delta T$

k : 考虑如前面 (1.6) 中所描述的那样的两倍时隙碰撞因子的因子

τ : AIS 消息长度 (26.7 ms)

N : 船舶数目

ΔT : 消息发送时间间隔

对于在均匀分布的船舶环境中的 A 类发射机的情况下，很容易发现，用这一方法得到的结果实际上与这一节中前面所描述的分析法的结果相同。只要注意到下面的指数函数的近似表达式，就可以解释这一问题：

$$e^{(-x)} \approx 1 - x \quad \text{当 } x \ll 1 \text{ 时}$$

通过这个近似式的适当替代和将各项重新排列，可以发现，发射占空比低的情况下，分析法和随机法得到相同的方程。

用三种不同的分析方法得到接近相同的结果足以确认从这里所得到的结果的正确性。在随后的讨论中，不同场景下的分析结果将与上面导出的底线值进行比较。由于三种分析途径是等效的，只使用最便于描述任何一种给定的场景的分析方法。

6 系统内部干扰分析 (A 类和 B 类混合时)

现在研究由 A 类和 B 类船舶一起组成的环境中侦测 A 类船舶的问题。上面描述的随机法对研究这一情况是方便的。由于 B 类单元功率较低，不是每一时隙碰撞都会导致消息的丢失。例如，从图 2 可以看出，来自位于远离星下点的单艘 B 类船舶的 AIS 消息与来自位于星下点附近的 A 类船舶的 AIS 消息发生碰撞将导致 D/U 达到 +17 dB。这已远超过 10 dB 的干扰标准，因而将仍然会正确地接收这一 A 类船舶的消息。偶然可能会有多个这样的信号叠加在一起聚合到对这个例子将会造成信号丢失的那一点。因而，不能使用前面所描述的简单分析程序，因为它假设，每一次碰撞都会造成消息丢失。

⁴ Dr. J.K.E. Tunaley 博士[无日期] 用于空载 AIS 的随机模式。

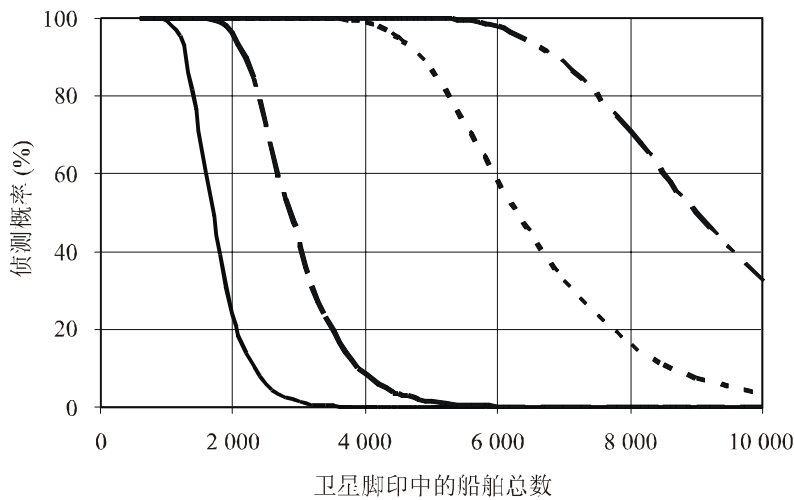
为了使用随机法，有必要作某些修正。特别是，因子 λ 要用下式来替代：

$$\lambda = k_A (N_A - 1) / \Delta T_A + k_B (N_B) / \Delta T_B$$

其中下标是指 A 类和 B 类的相应参数。常数 k_A 是与在前面的方程中的 k 相同的值。然而，常数 k_B 开始只能大致估计。它考虑了只有部分 B 类时隙碰撞才会产生消息丢失这一事实，信号丢失取决于卫星接收机上的相对功率。提供更精确的常数 k_B 的估计值的一种技术是对单个数据点运用前面所描述的仿真模型。用这些结果导出 k_B 的值为 1.2。

图 9 到图 11 显示了在各种不同条件下，在 A 类和 B 类混合的环境中，侦测出 A 类 AIS 消息的概率。

图 9
A 类和 B 类混合环境中的侦测概率
(一颗卫星、单次卫星通过)*

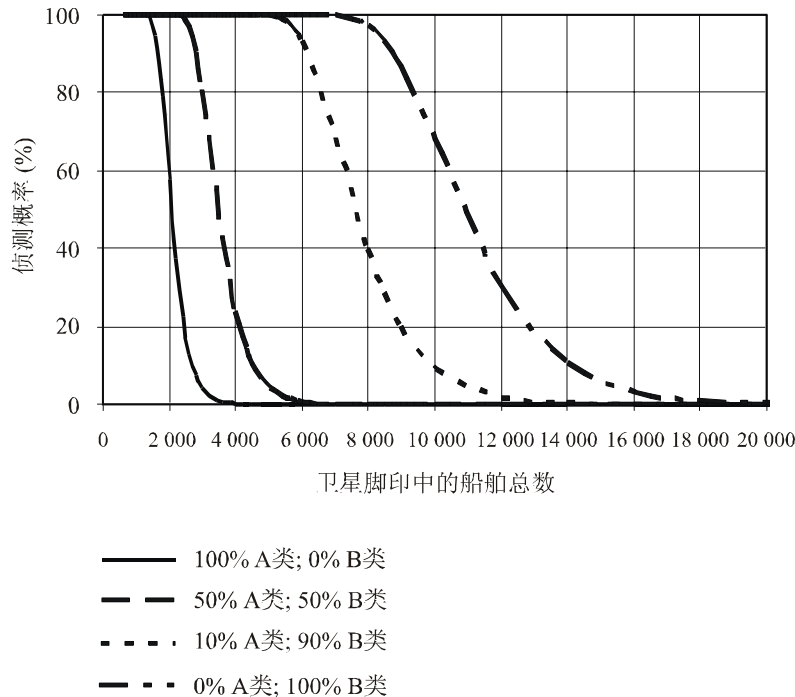


- 100% A类; 0% B类
- - - 50% A类; 50% B类
- . - . 10% A类; 90% B类
- - - - 0% A类; 100% B类

* 标有“0%A类; 100%B类”的曲线表示一种假设的极限情况。在这种情况下，研究目标是一艘A类船舶，而在该环境中的所有其它船舶都是B类船舶。

图 10

A 类和 B 类混合环境中的侦测概率
(一颗卫星, 12 小时观测时间) *



* 标有“0%A类; 100%B类”的曲线表示一种假设的极限情况。在这种情况下, 研究目标是一艘A类船舶, 而在该环境中的所有其它船舶都是B类。

Rap 2084-10

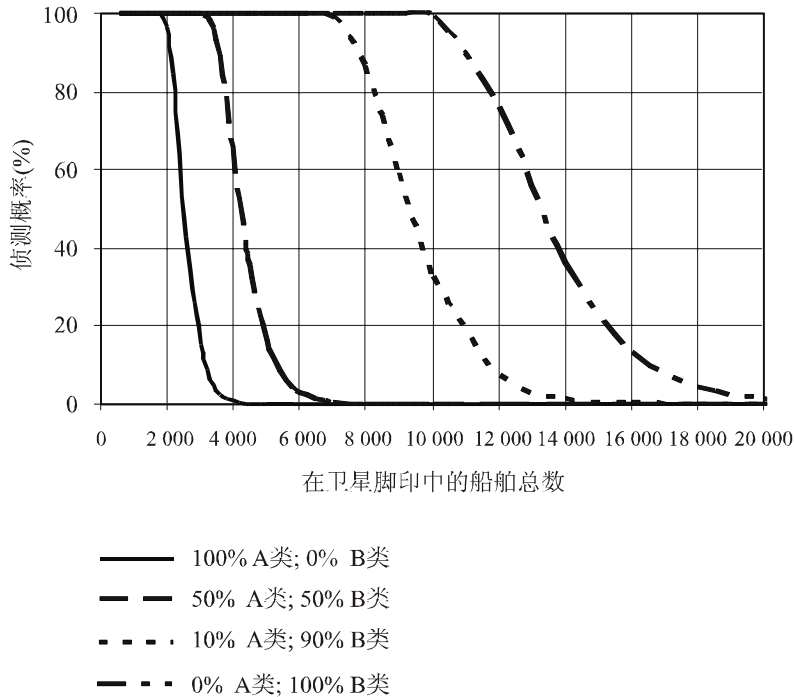
7 系统内部干扰分析 (船舶不均匀分布)

上面所讨论的只有 A 类以及 A 类和 B 类混合的环境都是在假设在卫星天线的覆盖区内船舶的地理分布是不变的均匀的条件下进行研究的。虽然这一假设使侦测概率的计算简化, 但是, 船舶的实际环境不可以用这一简化的假设来充分地代表。为了进一步探讨这一问题, 进一步为这一研究拟定了一个经修正的仿真方法, 以便考虑船舶不均匀分布、更典型的实际环境。然而, 这样做要引进大量的需要涉及的附加变量, 包括:

- 世界上装备了 AIS 的船舶总数。
- 所要研究的目标船舶的地理位置 (纬度和经度)。
- 装备 AIS 的船舶的全世界分布。
- 卫星的地面跟踪信息。

对这一研究而言, 不可能获得全世界正在工作的装备 AIS 的船舶数的权威性数据。除了根据 SOLAS 条约所要求的运载器具外, 数量日益增长的更大的私人拥有的游艇和工作船正在装备 A 类 AIS 单元。根据各种资料来源, 估计数量的范围从 50 000 左右到超过 80 000。为了进行这一研究, 使用 2005 年全世界有 70 000 艘装备 A 类单元的船舶的估计值。

图 11
A 类和 B 类混合环境中的侦测概率
(六颗卫星; 12 小时观测时间) *



* 标有“0%A类; 100%B类”的曲线表示一种假设的极限情况。在这种情况下, 研究目标是一艘A类船舶, 而且在该环境中的所有其它船舶都是B类船舶。

Rap 2084-11

很显然, 目标船舶的位置对侦测概率有很大影响。例如, 对位于远离大量使用的航道的船舶, 几乎有 100% 可靠性可以侦测到。而对于位于靠近更密集地使用地区的船舶将不是这种情况。对于这一研究而言, 使用位于下面四个地点的任何一个地点的目标船舶: 选择离美国纽约市和洛杉矶市的海岸 1 000 km 的地点, 靠近墨西哥湾的一个地点, 大西洋中部的一个地点。

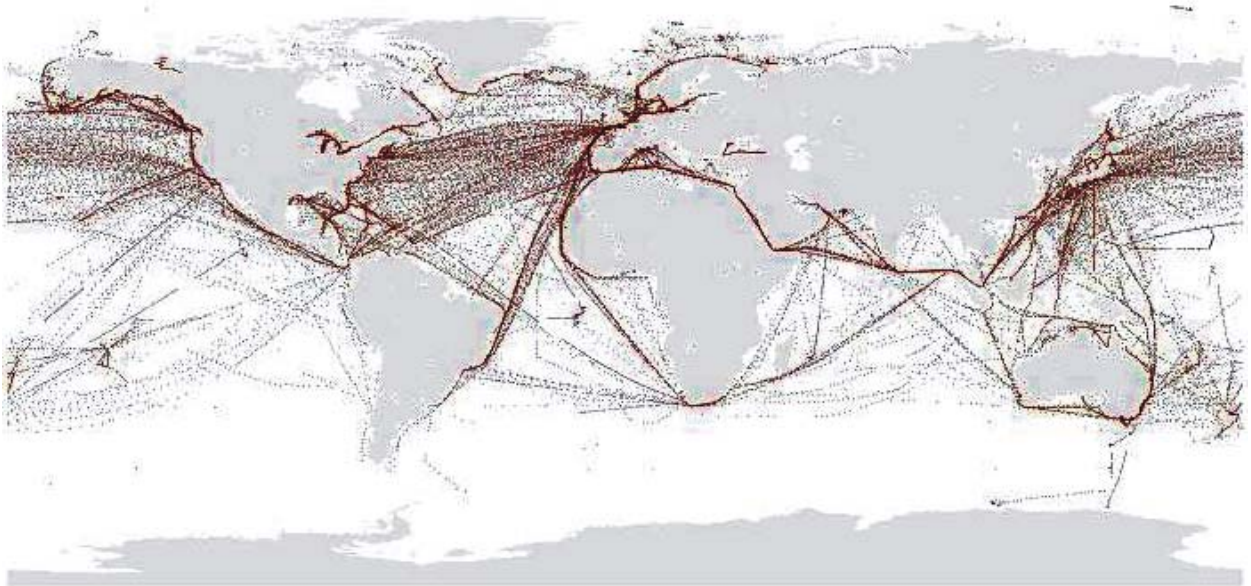
描述船舶的地理分布是有点儿更具挑战性的工作。根据由海上的船舶所报告的自愿气象观察的情况可以推断出全世界船舶密度的一个有用的代表。2004 年 10 月那个月一套可以得到的数据包含有超过 80 000 份气象观测报告, 报告来自约 800 艘船舶, 包含相关的纬度/经度数据。图 12 表示了这一分布。正如从这一数据中可以看到的那样, 位置的密集程度大大高于海岸区域和主要的船舶航道, 并且正如我们所预计的那样, 在广阔的大洋区域, 密度相对比较低。为了提供一个合理的全世界 A 类船舶的表达式, 对在这一数据中船舶分布的相对分布作了假设。这一分布将不能充分代表将来的 B 类船舶的分布, 因为预料这些 B 类船舶主要局限于海岸附近地区。

图 12

全世界 A 类船舶的典型分布

自愿气象观测船舶报告的位置

2004 年 12 月



Rap 2084-12

为了用更实际的全世界的船舶分布来研究 A 类船舶的侦测问题，使用这一数据库是能够采取的一个最初的步骤。

用这一数据和与上面所描述的相类似的但有如下附加变化的蒙特卡洛仿真程序，能够完成不均匀船舶分布的分析：

- 使用在气象观测数据中所包含的船舶位置的随机子集，而不是在卫星覆盖区内均匀分布的位置。
- 根据所假设的卫星轨道参数，沿着通过目标船的一个有代表性的卫星轨道，将卫星位置分段。

图 13 到图 16 显示了对于前面所确定的四个测试地点上所得到的 A 类船舶的侦测概率与全世界装备 A 类单元的船舶的数量的关系。请注意，指示全世界装备 A 类的船舶总数的横坐标有变化。

8 候选的提高卫星容量的技术

这里所提交的分析结果证明了使用卫星侦测 AIS 来提供远距离船舶监视的能力的技术生存能力和容量的限制。使用各种不同的卫星场景和全世界装备 A 类 AIS 的船舶的密度估计值，研究结果提出，在某些地区中，特别是在北大西洋地区中，船舶的密度可能超过所发射的卫星的船舶处理容量。着手进一步研究，探讨各种不同的提高卫星 AIS 容量的概念和技术，以便更好地适应这些所预期的更大的船舶密度。为了探讨这些不同的技术，通常从均匀的船舶分布的观点来讨论这一问题就足够了，并且更方便。使全世界的船舶数据库可能得到的容量提高（按照百分比）将是与这里使用均匀船舶分布得到的结果非常相似的。下面介绍四种可能用的技术。

图 13

使用全世界的船舶数据进行侦测统计
 (目标船舶位置离美国加州洛杉矶海岸 1 000 km)

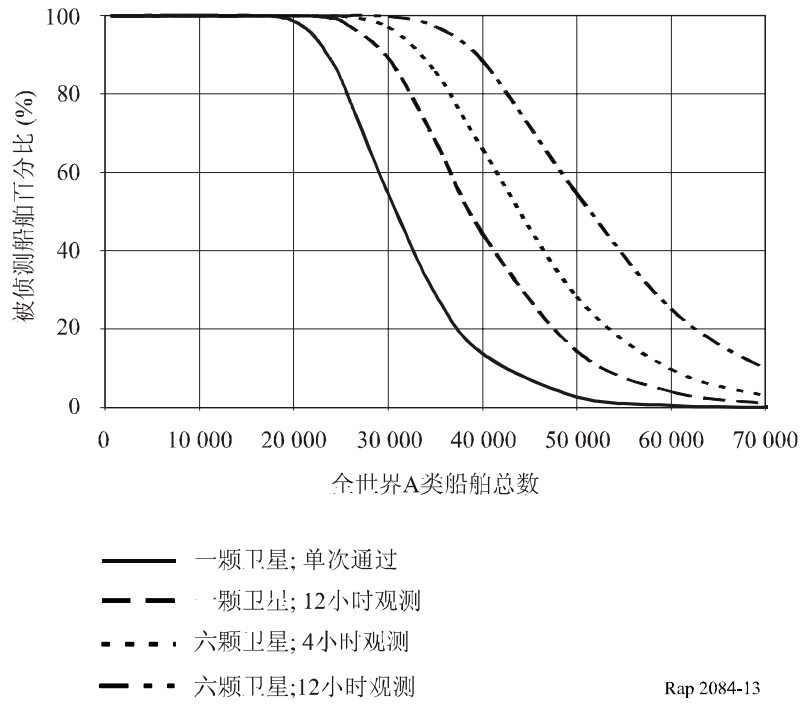


图 14

使用全世界的船舶数据进行侦测统计
 (目标船舶位置离美国纽约州纽约市海岸 1 000 km)

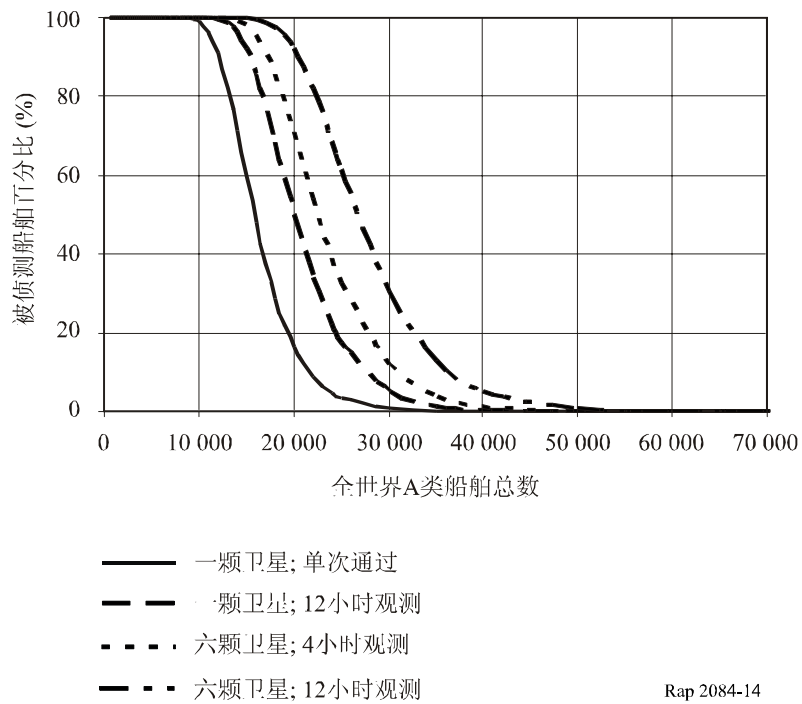


图 15
使用全世界的船舶数据进行侦测统计
(目标船舶位于墨西哥湾)

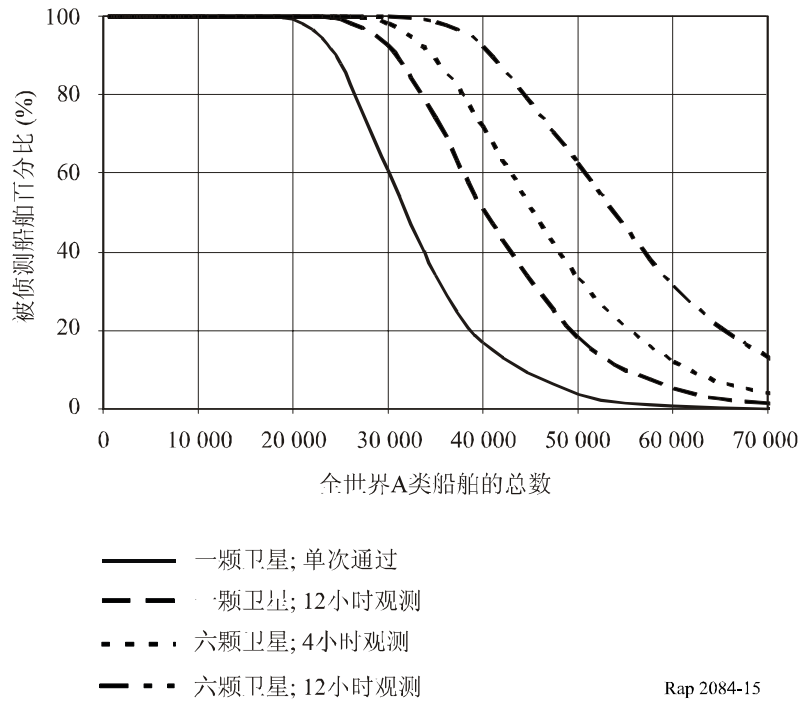
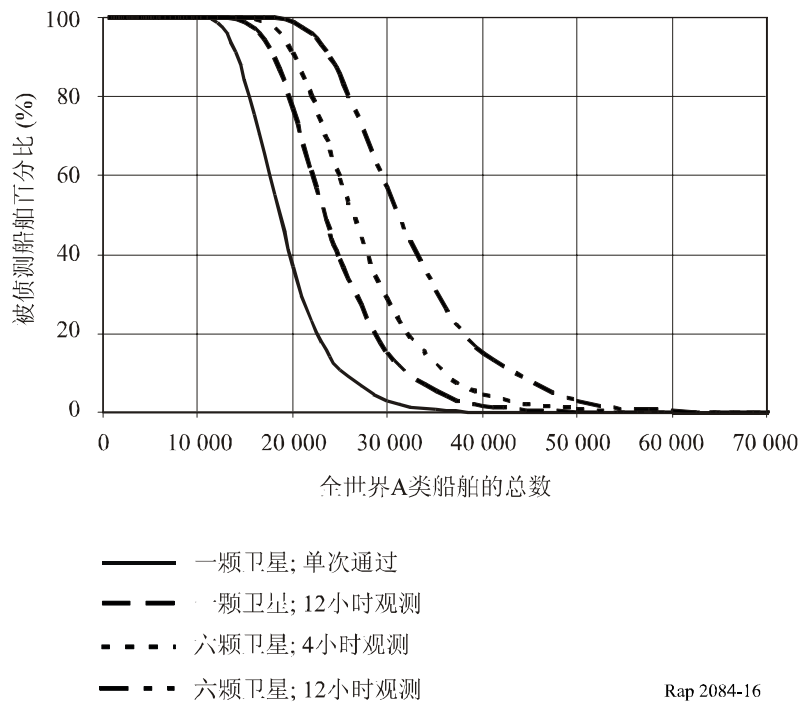


图 16
使用全世界的船舶数据进行侦测统计
(目标船舶位于大西洋中部)



8.1 卫星天线

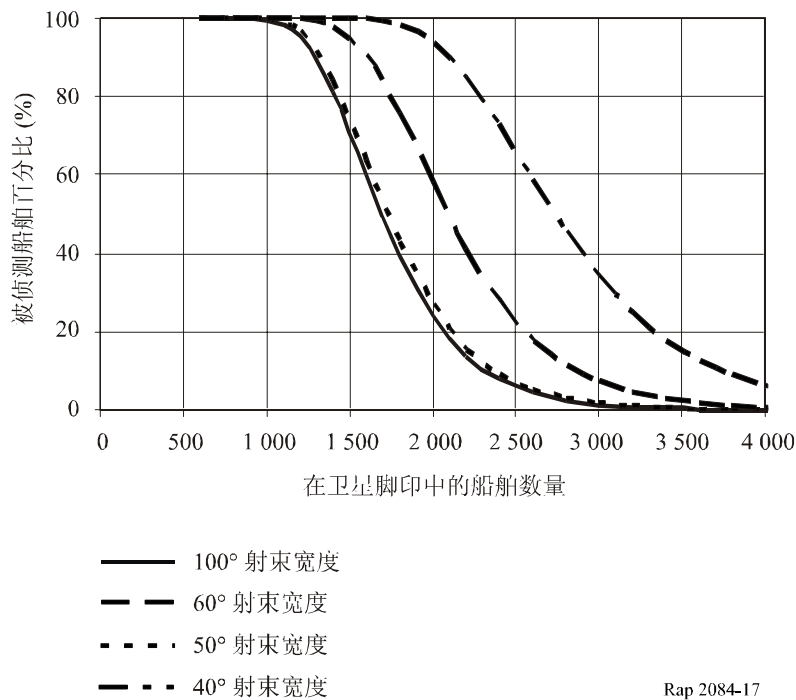
假设的用于这一研究的 AIS 卫星天线是一个宽射束天线（射束宽度 100° ），它的峰值增益指向星下点。为了确定使用射束宽度比较窄的天线是否能够有效提高卫星的容量，研究了一个有较窄射束宽度的天线的使用问题。减小天线射束宽度降低了在任一给定的时间上卫星上竞争的 AIS 船舶消息的数目。减少 AIS 消息数目反过来提高了侦测概率，从而有效地提高了卫星的容量。

然而，有两个因素往往会减少潜在的容量增加。首先，尽管减小了 -3 dB 射束宽度，但朝地平线方向的旁瓣增益可能仍然足以侦测出在地平线上或其附近的竞争的船舶的 AIS 消息。其次，若卫星的覆盖区更小，从一给定的目标船舶可以看见该卫星的时间将更短。从§5 中给出的方程可以看出，比较短的卫星可视性时间往往会降低卫星容量。

图 17 显示出这三个竞争的因素的组合效应。正如图中看到的那样，将天线射束宽度缩窄到 60° 或更窄一些，提高了卫星容量。然而，容量的这一增加可能要付出相当大的代价，因为天线的射束宽度更窄必然需要使用更大的卫星天线，这一点无法与小的 LEO 卫星的想法相一致。

图 17

不同的卫星天线射束宽度的侦测统计
(一颗卫星；单次通过的场景)



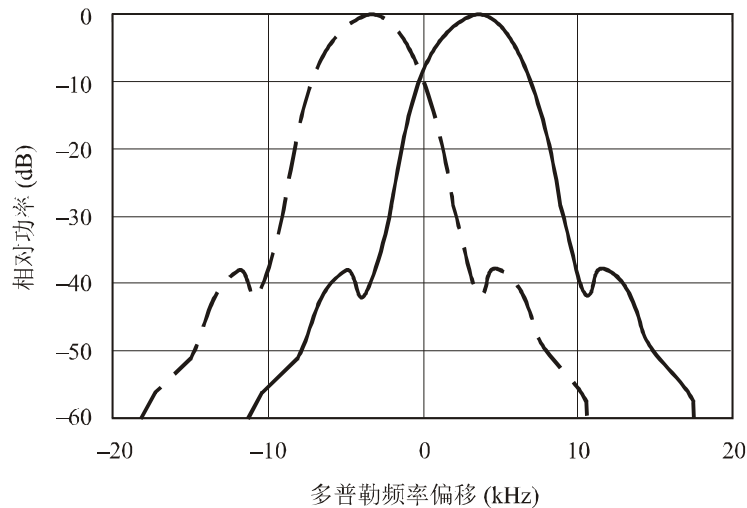
8.2 多普勒跟踪

在一个早期的示范卫星上正在实施的一个途径是使用多普勒跟踪。因为由于卫星移动所产生的多普勒频移高达 ± 3.5 kHz，所以，最初，AIS 卫星接收机的频带宽度必须大于对 GMSK 调制所要求的最佳带宽。比较大的带宽使得有可能在任何多普勒频移条件下，接收到有用的 AIS 信号；它也使得在任何多普勒频移条件下，能够接收到在同一频道上的所有竞争船舶的 AIS 信号。

自动跟踪有用的 AIS 信号的多普勒频移和相应地调整频率结合起来使得有可能使用比较窄的接收机频带宽度，并因而对具有不同的多普勒频移的其它竞争船舶的 AIS 信号提供某种程度的鉴别。虽然，这里不必要描述多普勒跟踪技术的细节，但是还是可以探讨一下由此在卫星容量方面的得益。图 18 表示了两个 9.6 k/s 的 GMSK 信号的典型射频发射频谱，一个信号代表有用的 AIS 信号，而另一个信号是具有不同的多普勒频移的竞争的 AIS 信号。在这一例子中，有用的 AIS 信号是多普勒频移低于标称中心频率 3.5 kHz 的信号，而无用信号的多普勒频移高于标称中心频率 3.5 kHz。因而，两个信号的中心频率之差为 7 kHz。多普勒频移的这一差别提供了对其它竞争船舶的 AIS 消息加以鉴别的可能性。

图 18

具有最大多普勒频移的有用信号和无用信号



Rap 2084-18

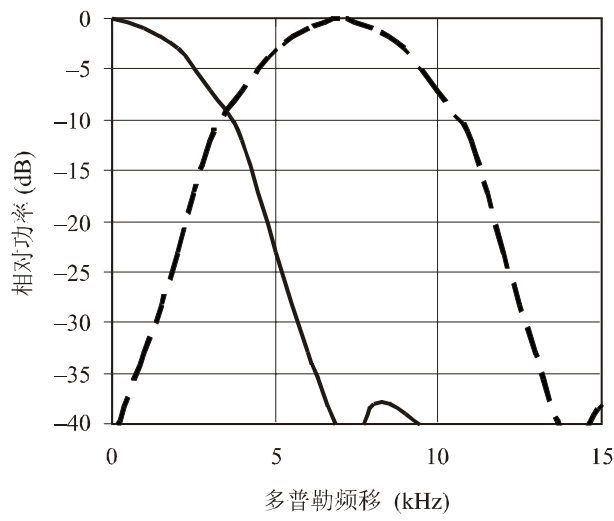
通过对一给定的有用信号使用实时跟踪多普勒频移的方法，可以抵消多普勒频移。图 19 表示了与上面相同的例子，在基带上已经确定了有用信号的多普勒频移并已对它进行了补偿，而用多普勒频移的差别（在这一例子中为 7 kHz），在频率上分开无用信号。

用上面的信号通过一个窄带低通滤波器的方法，可以使干扰信号电平大大降低。然而，上面的例子代表了具有最大的多普勒频移差的最好情况。根据船舶的分布，预计平均多普勒频移约为 2.7 kHz。图 20 表示了所得到的多普勒鉴别率与在一原型系统中已经达到的多普勒频移之差的关系。

为了估计这一技术的有效性，需要使用仿真分析法。将早先所描述的仿真方法进一步推广到包含对有用的 AIS 信号和每一个无用的 AIS 信号的多普勒频移的计算，并且在单次卫星通过情况下，相关的功率电平的减小量如图 20 所示。结果示于图 21。

图 19

抵消多普勒频移后在基带上的有用的和无用的 AIS 信号

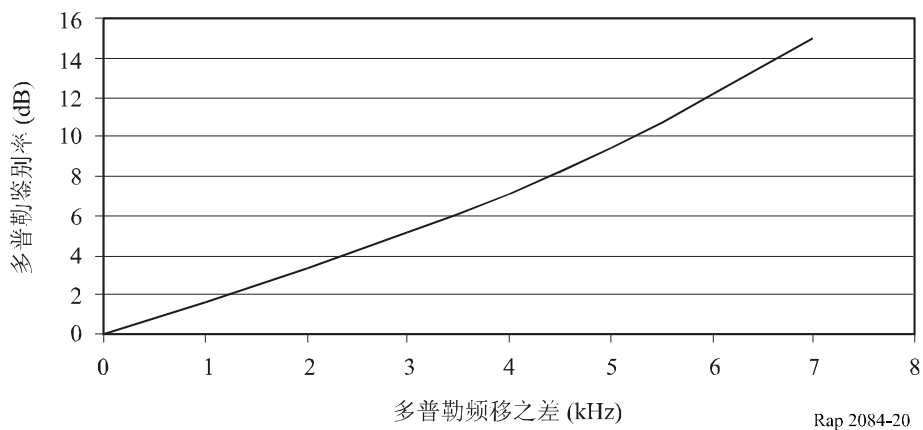


—— 有用信号发射
 - - - 无用信号发射

Rap 2084-19

图 20

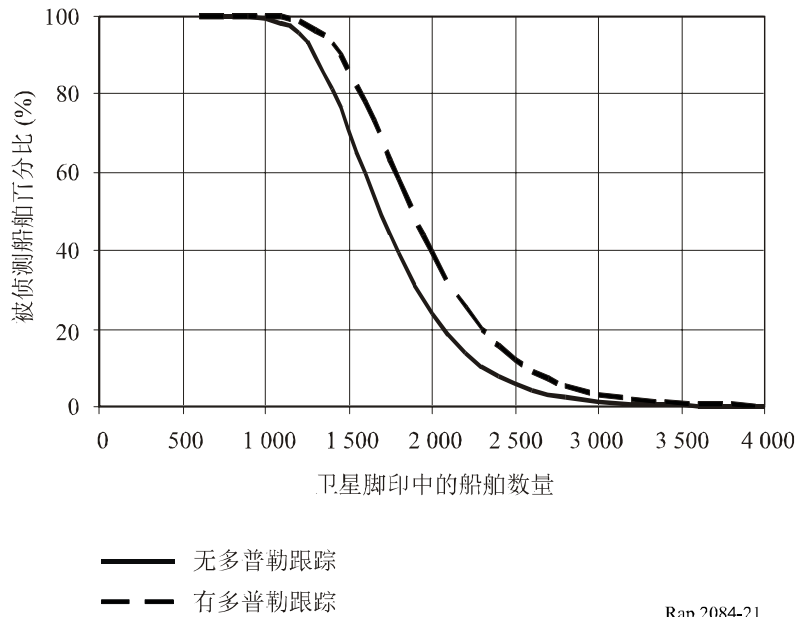
在窄带滤波后的多普勒鉴别率



Rap 2084-20

图 21

有多普勒跟踪时的卫星侦测统计



Rap 2084-21

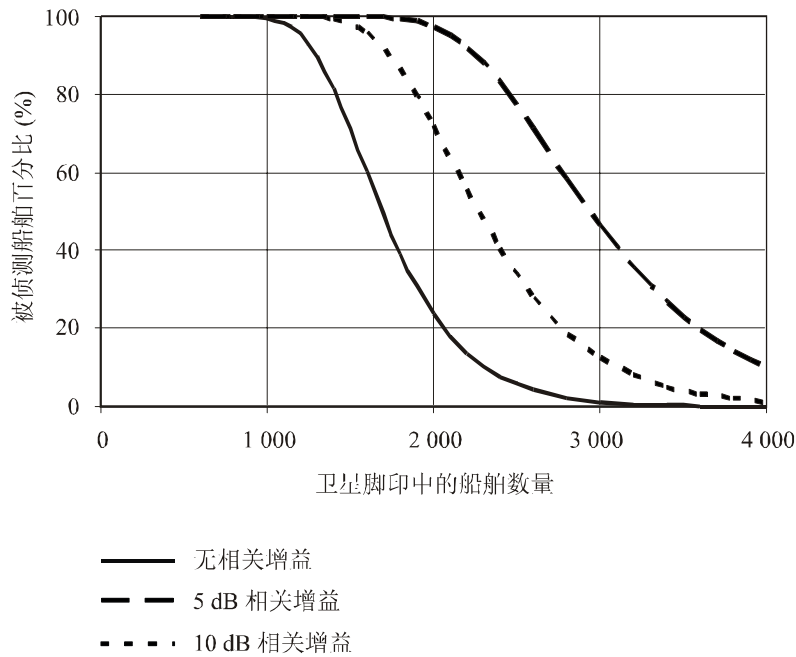
8.3 相关处理

提高卫星容量的另一可能的技术将需要对卫星的结构作修正，以便提供星上处理或者给在两个 AIS 频道上所接收到的数据提供连续的下行链路，供地面上的地球站中处理用。这一方法利用了从一给定的船舶所发出的消息中相邻消息之间有高度相关性这一事实。例如，典型的一次卫星通过头顶的 13 分钟可见卫星期间，一给定的船舶将发射约 116 条 AIS 消息。在这一期间，这些 AIS 船舶消息中的每一个消息中，约有 60% 的比特是同样重复的。特别是每一消息都重复 MMSI 船舶识别码。通过把两个接收到的 AIS 信号与前一 13 分钟时间内所接收到这些信号的数字化复制信号作连续相关处理的方法，可以得到某种程度的相关增益。若 AIS 传输的数据速率相当低，有可能使用整体平行相关器技术，以便有可能连续实时处理所接收到的下行数据。

虽然还需要作进一步研究，以确定使用这一技术可以达到的相关增益的大小，但是可以估计对卫星 AIS 侦测容量的有效影响。通过这一技术，有用信号得到的任何相关增益将按照 1 dB 对 1 dB 的比例对其它的无用 AIS 消息提供鉴别率。结果将是比其它方式可能侦测需要的更低的 D/U 比，实现成功的侦测，从而 D/U 保护标准比参考值 10 dB 大大降低。用早先描述的 AIS 侦测仿真模型，可以确定改变 D/U 比保护标准对侦测概率的效应。图 21 a) 表示在单次卫星通过的情况下，和无相关增益时的参考曲线相比，有 5 dB 和 10 dB 相关增益的假设条件下的侦测统计曲线。

图 21 a

具有相关处理条件下的卫星侦测统计



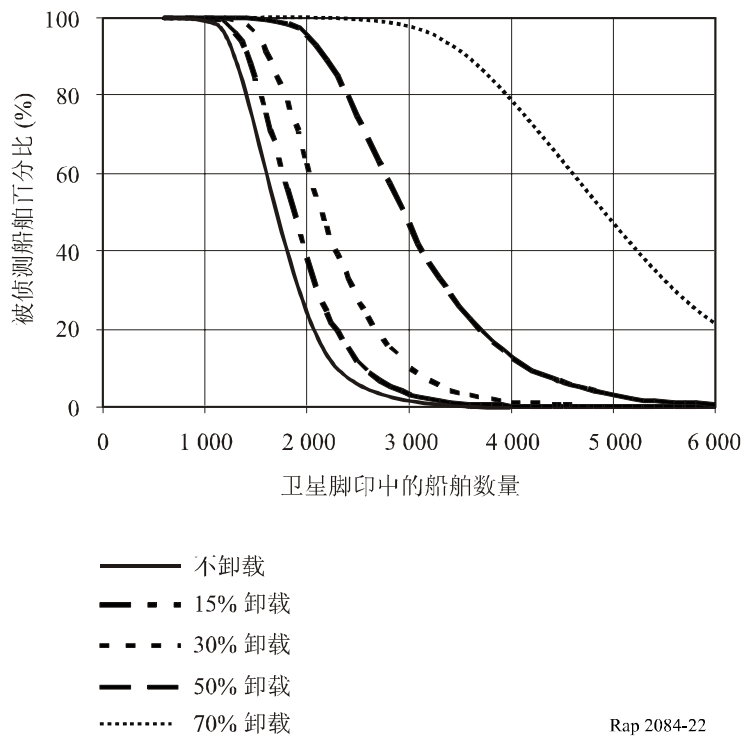
Rap 2084-21

8.4 沿海船舶通信流量的卸荷

AIS 的结构给 AIS 海岸电台提供了针对在它的通信范围内的船舶的一种功能，即自动将其中一个 AIS 频道转移到 VHF 水上频带中的另一频率。船舶的频率切换对船舶的操作人员是透明的，并且它对正常的船到船及船到岸的 AIS 通信功能有最小的影响。按常规在频繁使用的沿岸地区使用这一能力将减轻在 AIS 卫星侦测上来自沿岸船舶业务流量的负荷。因而，卫星侦测到来自海洋上的船舶的 AIS 消息的概率可以得到提高。试验这一想法的一个方法是从早先在图 12 中规定的船舶分布数据库中修改沿岸的船舶电台，使得只有 AIS1 是可以工作的，并重新启动仿真分析。然而，确定和修改在有 80 000 艘船舶记录的数据库中的沿岸船舶已证明是一项挑战性的工作。已经观察到，由于卫星的覆盖区很大和卫星运动的随机化效应，简单地整个数据库中修改同一部分船舶，而不是只修改沿岸的船舶，实际上会得到相同的结果。图 22 表示了使用早先描述的相同的不均匀船舶分布，在单次卫星通过期间有不同的 AIS2 的业务量被卸载的条件下得到的侦测概率。这一数值的范围将包含只命令主要港口地区附近的船舶将 AIS2 卸载到另一频道和所有沿岸的船舶都被卸载的情形。

图 22

沿岸船舶卸载 AIS 2 时的卫星侦测概率

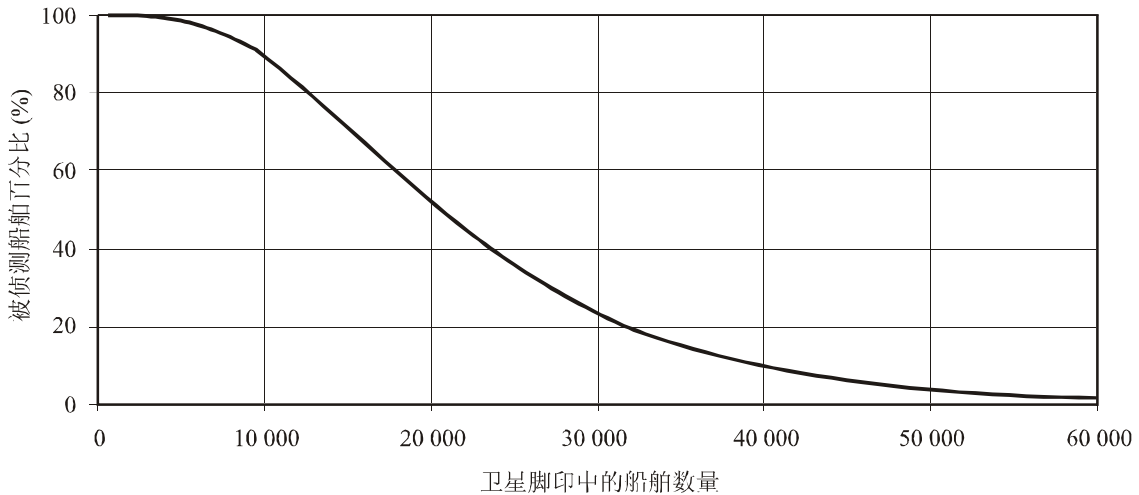


8.5 长期研究/解决方案

为了进一步提高卫星侦测概率，在长期的基础上同时实施上面所描述的几种技术可能是切实可行的。

作为一个可供选择的长期研究工作，在国际海事组织（IMO）内已经提出了使用具有为卫星侦测优化的消息结构的第三个 AIS 频道的可能性。关于第三种频率选项所使用的可能工作频带或具体的频道，这个构思还没有最终定案。在确定可能的工作频带或工作频道时，必须考虑到在那些频带中由现有业务所产生的干扰环境，确定在任一给定的频带或频道中适应卫星 AIS 的可行性。不管工作频带如何，使用更短的消息长度和更长的发射时间可以显著地提高卫星的容量。例如，在使用前面所描述的分析法的情况下，如图 23 所示，若消息长度为 128 比特和发射时间为 3 分钟，卫星容量能够提高到在卫星覆盖区内超过 10 000 艘船舶。这一可选方案将要求修改所安装的基础和将来安装 AIS 船上设备。

图 23
具有第 3 个 AIS 频道的卫星实例



Rap 2084-23

9 与其它现在的固定和移动系统的兼容性

已经指定作为水上移动业务内用于地面 AIS 功能的频道的两个频率不是按照单独使用来划分的。而是，将这些频道和相邻的频道分配给和在全世界各不同地区使用的其它业务应用，包括水上移动业务中的 VHF 公共通信电台（VPCS）和陆地移动无线电（LMR）系统。VPCS 要继续在沿海岸地区的数量有限的某些地理区域内部署。大多数主管部门已经选定离沿岸地区和通航水道的一定距离上的 LMR 基站保证水上移动业务和陆地移动业务之间互相兼容。然而，因为卫星天线的射束覆盖了相当大的地理区域，由内陆工作的移动通信系统的发射仍然可以在卫星上收到。

可以取得的频率指配记录表明，在这些 AIS 频道上现在 LMR 系统的部署密度低于在 156-162 MHz 中其它频道上的密度，并且与划分给陆地移动业务的其它 VHF 频率的典型密度相比，已大大降低了。

以下几节描述当 AIS 卫星侦测与同频道的和相邻频道的移动系统一起工作时的性能。一开始，研究工作将集中在使用均匀船舶分布的简单场景，以后再研究使用更现实的早先描述过的不均匀分布的几个例子。

9.1 同频道移动通信系统

研究与移动通信系统一起工作的 AIS 卫星侦测工作的第一步是选定 LMR 和 VPCS 系统的技术参数。表 10 列出了 VPCS 和 LMR 系统的典型技术参数。正如在该表中所看到的那样，VPCS 和 LMR 系统一般使用的有效辐射功率（e.r.p.）都可能比共用这些频率的船舶 AIS 发射机要高，最多高 14 dB。只要距离间隔足够远，这些 e.r.p. 的差别表明在两种地面业务之间不存在兼容性问题。然而，对 AIS 卫星侦测而言，就不是这种情况。正如在前面介绍过的那样，LEO 卫星在地球上的覆盖区的半径可能有约 3 281 km。对于每天几个时间段而言，在这一半径内的任何同频道的移动通信系统与卫星将有一视线路径。

表 9

典型的 VPCS 和 LMR 的技术参数

参 数	陆地移动基站（宽频带）	陆地移动基站（窄频带）	VHF 公共通信海岸电台
发射 e.r.p.	37 至 56 dBm (典型值 54 dBm)	37 至 56 dBm (典型值 54 dBm)	50 dBm
调制	16F3E	11F3E	16F3E
频道宽度	25 kHz	12.5 kHz	25 kHz
天线增益	0 至 9 dBd (典型值 6 dBd)	0 至 9 dBd (典型值 6 dBd)	
天线辐射图	全向	全向	全向

规定了典型的移动通信系统有更高的 e.r.p.，由位于卫星覆盖区内的单个同频道的 VPCS 或 LMR 可能导致有用信号/无用信之比 (D/U) 的值变为负数。初步研究结果表明，对一典型的场景，在这些卫星在视线范围内的时间期间，D/U 的值可能会从-17 dB 变化到+5 dB，平均值为-6 dB，这些数值都低于实际 AIS 侦测的标称 D/U 门限⁵。在那个研究中所计算出的平均 D/U 值-6 dB 是与在那一研究中所用的移动通信发射机的有效全向辐射功率 (e.i.r.p.) 比 AIS 船舶发射机高 6 dB 相一致的。表 10 提供了从对在美国中部的典型 LMR 发射机和在大西洋中装备 AIS 的船舶在两次卫星通过期间的研究中得到的抽样计算结果。若这些同频道的移动业务发射机是按 100% 占空比进行工作的，将直接得出如下最主要的结论，即 AIS 卫星侦测不可能与其它同频道移动业务的应用相兼容。

⁵ 对该研究，使用了如下简化方法：在北半球，移动通信的 e.i.r.p. 为常数，50 dBm；在北半球，船舶 AIS 的 e.i.r.p. 为常数，44 dBm；朝地球方向的卫星天线增益是不变的；没有极化鉴别率；在卫星可见期间使用自由空间传播。

表 10

对典型环境的 D/U 计算的例子，美国中部的地面电台与大西洋中的船舶进行卫星通信

与卫星同频道的系统			船舶到卫星			
方位 (度)	仰角 (度)	距离 (km)	方位 (度)	仰角 (度)	距离 (km)	D/U (dB)
第 1 次通过						
9.1	24.8	1 838.9	316.7	1.5	3 470.7	-11.5
16.1	33.6	1 534.4	310.3	3.4	3 274.1	-12.6
28.7	44.6	1 285.6	303.1	5.0	3 115.5	-13.7
54.4	55.4	1 131.2	295.3	6.2	3 001.5	-14.5
95.4	57.0	1 112.1	286.9	6.9	2 937.7	-14.4
125.8	47.4	1 234.7	278.2	7.0	2 927.4	-13.5
140.9	35.9	1 463.6	269.7	6.5	2 971.0	-12.1
149.0	26.5	1 757.3	261.6	5.4	3 066.1	-10.8
153.8	19.1	2 087.8	254.1	3.9	3 207.5	-9.7
157.1	13.2	2 439.3	247.4	2.1	3 388.9	-8.9
159.4	8.3	2 803.1	241.4	0.1	3 603.5	-8.2
112.6	3.1	3 290.4	217.1	28.2	1 693.2	-0.2
117.9	0.5	3 556.0	208.7	21.1	1 982.8	-0.9
第 2 次通过						
93.9	0.5	3 568.8	184.1	65.3	1 038.1	4.7
87.0	1.5	3 464.2	63.6	89.3	956.9	5.2
79.8	2.1	3 401.9	7.3	64.9	1 043.2	4.3
72.4	2.3	3 384.5	6.7	45.9	1 262.7	2.6
65.0	2.0	3 413.0	6.6	32.7	1 559.6	0.8
57.8	1.4	3 486.3	6.7	23.3	1 897.0	-0.7
51.1	0.3	3 601.3	6.8	16.4	2 255.9	-1.9
52.6	1.5	3 477.2	3.9	18.4	2 142.9	-1.8
59.9	1.3	3 487.0	7.7	25.6	1 802.5	-0.3
67.0	0.9	3 536.0	13.9	35.0	1 493.1	1.5
73.8	0.1	3 622.7	25.7	47.3	1 239.7	3.3
144.3	4.7	3 122.4	230.7	5.0	3 098.7	-5.9
147.3	1.2	3 472.4	225.4	2.1	3 376.8	-5.8
38.5	1.1	3 514.7	358.1	8.2	2 841.9	-4.2
94.2	1.5	3 457.1	201.5	65.5	1 036.2	4.5
150.9	20.4	2 021.3	255.4	4.9	3 115.2	-9.8
154.7	14.3	2 366.4	248.4	3.1	3 288.7	-8.9
157.4	9.3	2 725.9	242.2	1.0	3 497.6	-8.2
102.9	13.2	2 445.7	261.2	30.3	1 627.0	-2.5
92.5	14.8	2 347.1	279.3	32.7	1 554.9	-2.4
81.3	15.3	2 315.9	298.2	31.7	1 584.9	-2.7
70.3	14.7	2 354.9	314.5	28.0	1 711.4	-3.2
59.9	13.1	2 460.7	326.9	22.9	1 914.9	-3.8
50.9	10.9	2 625.1	336.0	17.8	2 173.2	-4.4
43.2	8.2	2 837.4	342.7	13.1	2 468.1	-4.8

幸运的是，大多数移动通信系统以小于 100% 的占空比进行工作。根据美国在 138-174MHz 频带中选择好的部分所进行的无线频谱测量结果和其它数据来源，可以将移动业务发射机大致分为三类，即高占空比（30-100%），中占空比（10-30%）和低占空比（<10%）。表 11 列出了每一种类的例子。

表 11
移动通信系统发射占空比的例子

高占空比（30-100%）	中占空比（10-30%）	低占空比（<10%）
寻呼系统	多用户 LMR 商业/工业中继站 (即团体的中继站)	大多数单用户私人 LMR 系统
中继系统控制信道	公共安全调度	大多数主管政府的 LMR 系统
广播型系统（如气象广播）	中继系统通信信道	某些类型的 LMR 固定控制链路
某些可搬运的遥测系统（如地震传感器）	VHF 水上移动工作的系统	
VHF 公共通信海岸电台		
某种类型的 LMR 固定控制链路		

可以用与早先描述的系统内部性能分析相类似的方式完成发射占空比小于 100% 的 VPCS 和 LMR 发射机的同频道工作的分析。如系统内部干扰分析中那样，要考虑的关键技术参数是发射机 e.i.r.p.、天线俯仰面内的辐射图和发射机占空比。来自 VPCS/LMR 发射机的同频道影响的分析可以使用适当的 e.i.r.p.、天线和占空比参数，通过简单地将附加的发射机加到前面描述的仿真模型中去的方法来完成。对这一研究而言，使用的移动通信系统的 e.i.r.p. 为 50 dBm，使用垂直极化和它的天线俯仰面内的辐射图为余弦平方型。使用表 5 中列出的 AIS 参数。唯一必须改变的是要考虑到大多数移动通信系统是单个频率工作，而不是 AIS 发射机有两个交替频率工作这一事实。

图 24 到图 27 显示了在各种不同的条件下，有关基本的单颗卫星/单次通过场景下的结果。图 24 表示了卫星覆盖区中有 1 000 艘 A 类船舶，并且使用两个 AIS 频道，这两个频道都有各种发射占空比的同频道移动通信系统条件下的被侦测船舶的百分比。图 25 是除了只有一个频道，即 AIS1 或 AIS2，与同频道移动通信系统一起使用外，其它条件都是相同的。图 26 是第三个例子。在这个例子中，同频道移动通信系统的占空比在 AIS1 和 AIS2 上是不均衡分布的。图 27 是卫星正以在主射束中有 1 415 艘船舶的容量（80% 的船舶被侦测）有效地工作，而且同频道的移动通信系统仅在一个 AIS 频道上共用频率。除了使用 6 颗卫星/12 小时观察的场景以外，图 28 与图 27 相似。表 12 汇总了为得出图 24 到图 27 的结果所使用的标准。

表 12
为得到图 24 到图 28 的结果所使用标准的汇总

图 号	卫星数	观察时间	覆盖区内的船舶数	在 AIS1 上移动频道的占空比	在 AIS2 上移动频道的占空比
24	1	单次通过	1 000	改变 ⁽¹⁾	改变
25	1	单次通过	1 000	改变	无移动频道
26	1	单次通过	1 000	改变	都为 10%
27	1	单次通过	1 415 ⁽²⁾	改变	无移动频道
28	6	12 小时	2 381 ⁽²⁾	改变	无移动频道

⁽¹⁾ 改变：在卫星覆盖区内的所有同频道移动通信系统的占空比按照每一图上所标出的值。

⁽²⁾ 卫星的容量是对该给定场景下的容量（定义为侦测 80%的船舶）。

图 24
具有同频道移动通信系统条件下卫星侦测性能统计
(在每一 AIS 频道上等等的同频道工作)

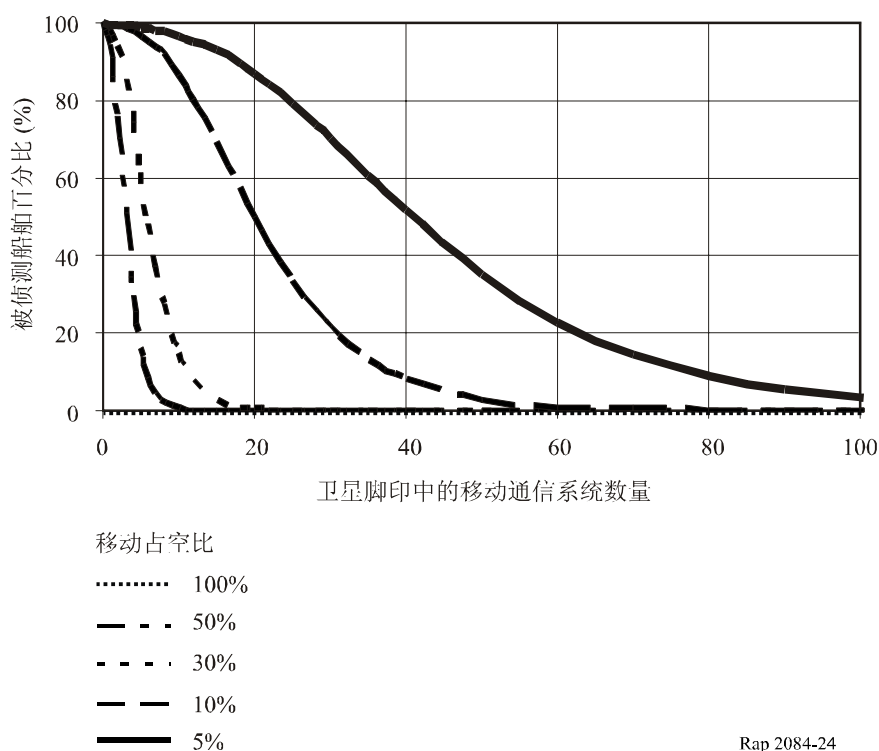
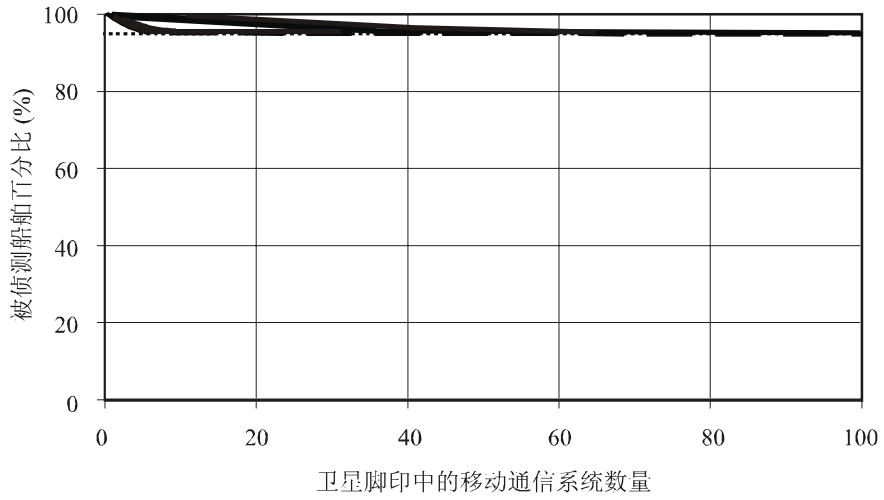


图 25

具有同频道移动通信系统工作下的卫星侦测性能统计
(只有一个 AIS 频道上有同频道工作)



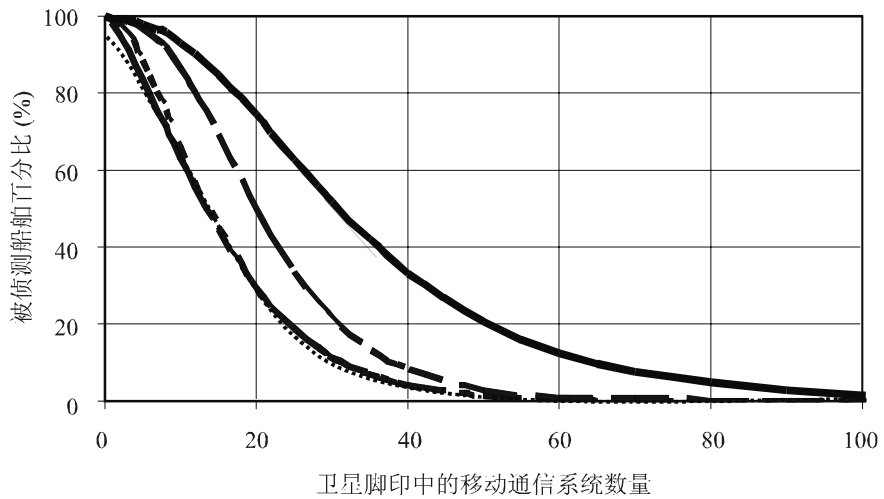
移动占空比

- 100%
- - - 50%
- . - . 30%
- - - 10%
- 5%

Rap 2084-25

图 26

具有同频道移动通信系统工作下的卫星侦测性能统计
(只有一个频道上占空比 10%)



移动占空比

- 100%
- - - 50%
- . - . 30%
- - - 10%
- 5%

Rap 2084-26

图 27

具有同频道移动通信工作下的卫星侦测性能统计
 (卫星正以 (80% 侦测到) 的容量工作; 在一个 AIS 频道上同频道工作)

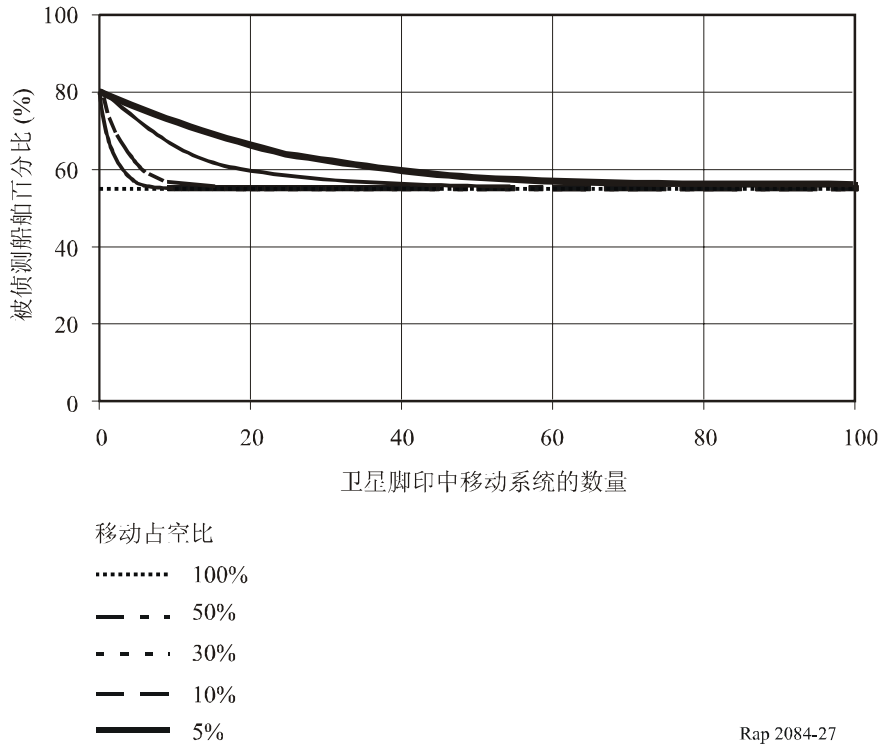
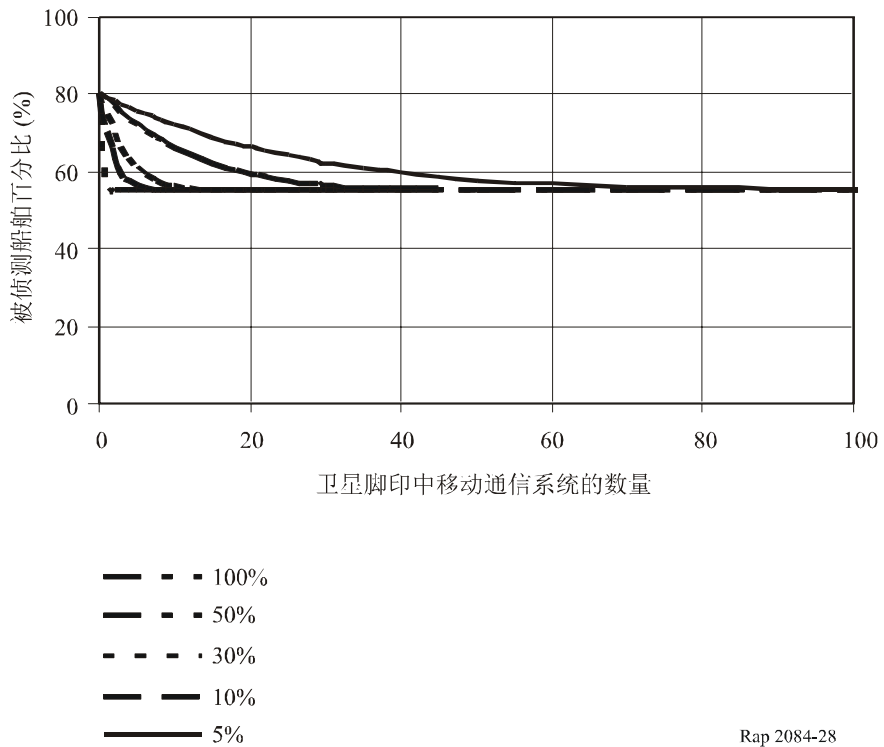


图 28

具有同频道移动通信系统工作下的卫星侦测性能统计
 (卫星以 (80% 侦测到) 容量工作; 仅在一个 AIS 频道上同频道工作; 六颗卫星的场景)



上面各图中举例说明了在各种各样的假设条件下的 AIS 卫星侦测的性能。由于这些曲线的多维特性，要讨论所有可能的条件是不现实的。某些主管部门对 AIS 使用的两个频率共用的状态是不相同的。在这样的状态下，图 27 和图 28 提供的约束条件是在一个 AIS 频道上存在频率共用，而另一频道上，AIS 是按单独使用工作的。对一颗卫星和六颗卫星两种场景，这两个图表明了，在卫星覆盖区内，数量有限的低占空比的同频道移动通信系统对 AIS 卫星侦测性能的影响最小。对于在卫星覆盖区内有比较大量的同频道移动通信系统的情况下，AIS 卫星侦测仍然是可能的，只不过被侦测到的船舶的百分比比较低。

9.2 相邻频道移动通信系统的兼容性

和所有移动通信系统相同，与相邻频道的系统的频率共用也是一个要考虑的因素。已经认识到，卫星的工作必须考虑现有的按照现有的带外发射要求工作的相邻频道的系统。

对现在的研究而言，必须讨论如下两种场景：

情况 1：考虑 AIS 发射机和相邻频道移动通信系统的接收机之间的兼容性，

和

情况 2：考虑相邻频道的移动通信系统发射机和卫星接收机之间的兼容性。

当然，第一种情况不是一种新的情况，它的存在与卫星 AIS 侦测无关。在美国的公开文件上的详尽的测量和分析报告⁶中已经探讨和证明了这一点。研究中考虑了一种最坏情况，即 AIS 信号（发射时间间隔为 2 s）和有模拟的频率调制（FM）的语音和数字数据两种工作模式的移动通信接收机。在 FM 语音模式中，研究工作得出的结论是当频率间隔为 25 kHz 和天线之间接近到只有 3 m 时，性能劣化是最小的，将不妨碍移动通信系统的正常使用。研究进一步得出结论，当以数字数据模式工作时，为了保证能够兼容工作，在移动系统接收机中必须使用前向纠错。这些研究结果将可以应用于在 156-162.025 MHz 水上移动频带中的任何频率上的任一对相邻频道。

第二种情况是卫星 AIS 侦测的特有问题。正好与在同频道工作情况下相同，其它移动通信系统将也正在与 AIS 所使用的频道相邻的频道上工作。与 AIS1 和 AIS2 相邻的三个频道是 161.950、162.000 和 162.050 MHz。讨论相邻频道所要考虑的问题带来要研究一些附加的维数，即移动通信系统在五个频道上的分布和在卫星接收机中可能有的相邻频道抑制制度。这一相邻频道分析的主要焦点是将在相邻频道上工作的移动通信系统对 AIS 卫星检测的特殊效应分离出来。

相邻频道抑制：为了满足可以适用的 IEC 规范，要求一般船舶用的 AIS 接收机对相邻频道至少有 70 dB 的抑制能力。然而，卫星的 AIS 接收机必须按照灵敏度最高进行优化，可能无法达到这一水平的相邻频道性能。为了这一研究，考虑了 30 dB、40 dB 和 50 dB 三个相邻频道抑制制度的值。

⁶ Roberts, Melvin S 等[2004 年 2 月] VHF 水上频段的通用自动识别和公共通信系统的 EMC 分析。美国，马里兰，Annapolis 联合频谱中心。

移动通信系统的分布：因为不同的主管部门可能以各种各样的方式使用这里所考虑的关于移动通信系统的五个频道，所以，在不同的地理区域，在每一频道上工作的移动通信系统的数量变化范围可能相当大。然而，它已经超出了探讨在三个相邻频道上不同的移动通信系统的用法这一研究课题的范围。为了这一研究，假设在位于卫星天线的覆盖区内与 AIS 相邻的各频道上工作的移动通信系统的数量在所有三个频道上都是相同的。

装备 AIS 的船舶的地理分布：由于所讨论的问题的多维特性，下面讨论的各种情况只考虑单一的船舶密度，具体地说，1 000 艘 A 类的装备 AIS 的船舶均匀分布在卫星的覆盖区内。

结果：使用前面所描述的仿真模型，探讨了由于相邻频道的移动通信系统所造成的对 AIS 卫星侦测的效应。所使用的分析方法是将在卫星接收机上相邻频道移动通信系统的发射功率减小一个等于所表示的相邻频道抑制制度的量，减小方式是 dB 对 dB。表 13 列出了分析结果，结果用被侦测船舶的百分比与各种不同参数的关系。在这一表中，在每一相邻频道上所研究的移动通信发射机的最大数量为 240 台，而所使用的最大发射占空比为 30%。

表 13

相邻频道研究的结果*

船舶数量	在 AIS1 和 2 上移动系统的数量	相邻频道移动系统的数量 ⁽¹⁾	移动通信系统的占空比	相邻频道抑制	被侦测船舶的百分数
1 000	0	0	—	—	100%
1 000	0	40	5%	30 dB	100%
1 000	0	80	5%	30 dB	97%
1 000	0	160	5%	30 dB	70%
1 000	0	240	5%	30 dB	15%
1 000	0	20	10%	30 dB	100%
1 000	0	40	10%	30 dB	90%
1 000	0	80	10%	30 dB	60%
1 000	0	160	10%	30 dB	0%
1 000	0	待定	30%	30 dB	待定
1 000	0	待定	30%	30 dB	待定
1 000	0	240	5%	40 dB	100%
1 000	0	240	10%	40 dB	100%
1 000	0	160	30%	40 dB	100%
1 000	0	240	30%	40 dB	80%
1 000	0	240	30%	50 dB	100%

* 所研究的所有情况都假装备 AIS 的船舶在地理上是均匀分布的，并且移动通信系统都位于卫星天线的覆盖区以内。

⁽¹⁾ 在与 AIS1 和 AIS2 相邻的三个频道中的每一频道上的移动通信系统的数量。

正如所预期的那样，分析结果表明，在存在共存的相邻频道移动通信系统情况下，AIS 卫星侦测的性能主要取决于在卫星接收机中可以应用的相邻频道抑制度的大小和移动通信系统的发射占空比。分析表明，在相邻频道抑制度只有 30 dB 的条件下，只要有中等数量的共存的相邻频道的移动通信系统，就能够使 AIS 卫星侦测的性能劣化。在有共存的相邻频道移动通信系统时，若相邻频道抑制度为 40 dB，则 AIS 卫星侦测变得健壮得多，性能不易劣化。在相邻频道抑制度为 50 dB 的条件下，已经确认，在所研究的各参数范围内，卫星侦测的性能不降低。

10 结论

本报告对现在的地面 AIS 系统提出了卫星侦测 AIS 消息的概念，并论证了在一套给定的假设条件下，AIS 卫星接收机在有大量装备 AIS 的船舶的环境中工作的技术可行性和容量。包含五种场景，它们规定了装备 AIS 的卫星的数量（1 颗和 6 颗卫星）和更新船舶位置所容许的时间（单次卫星通过到 12 小时）。对这些场景的（以侦测 80% 的船舶规定的）系统容量范围从 1 415 到 2 380。使用全世界装备 AIS 的船舶的典型分布所进行的分析结果表明，预计在世界的许多区域内，船舶的密度会超过这些计算出的 AIS 容量极限。

为了提高卫星容量，调查研究了四种候选技术，这些技术中有个别显示出容量的提高达 175%。

研究工作调查研究了在两个有其它移动通信系统的所指定的 AIS 频道间同频道工作的问题。由于卫星天线的覆盖区相当大，在离航道数千千米的地方工作的移动通信系统能够影响 AIS 卫星侦测的性能。研究表明，AIS 卫星侦测能够与数量有限的低占空比的同频道移动通信系统共存。研究结果进一步表明，当仅在一个由 AIS 使用的频道上存在与移动通信系统同频道频率共用时，AIS 卫星侦测要健壮得多。
