

# 盲源分离技术在 AIS 中的应用

赵文红 王 巍

(中国电子科技集团公司第三十六研究所 嘉兴 314033)

**摘 要** AIS 自动识别系统是国际船舶组织统一使用的一种海上船舶运输系统。船上的 AIS 设备定时地报告该船的位置、航向以及其他相关的安全信息等,其他船只和岸上的基站同时可以收到这些汇报信息。它通过船舶之间以及船舶和岸台之间交换航行信息,进一步加强航行安全。AIS 采用 SOTDMA 技术来调配发送信息的时隙,但是信息冲突是不可避免的。引入盲源分离技术,一旦信息发生冲突,可以将信息分离出来,防止了信息的丢失,从而提高了信号的监测概率。

**关键词** AIS, 监测概率, 盲源分离

**中图分类号** TN911.7 **文献标识码** A

## Application of Blind Source Separation to AIS

ZHAO Wen-hong WANG Wei

(No. 36 Research Institute of CETC, Jiaxing 314033, China)

**Abstract** The Automatic Identification System(AIS), which is imposed by the International Maritime Organization (IMO), is a maritime safety and vessel traffic system. For security, the AIS-equipped ships broadcast position reports and short messages with information about the ship and the voyage that could be received by other ships and shore-based stations. AIS uses self-organizing TDMA(SOTDMA) for scheduled repetitive transmissions from an autonomous station. But the conflicts are difficult to escape. In the paper, once the conflicts appear, the technology of blind source separation will be introduced into AIS. It could separate each message from the coinciding transmissions, avoid messages losing, and improve the detection probability.

**Keywords** AIS, Detection probability, Blind source separation

## 1 序言

为了进一步加强海上安全,国际水上组织在国际会议上提出了船用 AIS 系统。2008 年开始全面使用 AIS 系统<sup>[1-5]</sup>,系统将覆盖所有 500 吨以及 500 吨以上的出海船只。AIS 系统是船与船、船与岸台信息交换的桥梁,是船舶数字化交通管理的重要组成部分;其主要作用在于防止船舶碰撞、提高水运交通安全;同时也为水运管理提供船舶航行信息,便于港岸管理。该系统通过在船上安装异频雷达来播报船舶的位置、航向及其他安全方面的信息。AIS 系统使用海上 VHF 波段,其有效区域依赖于 VHF 天线相对于地平线的位置,在海上一一般是 20nm。船只之间的通信范围为 20 海里,船与岸间的通信范围为 40 海里。AIS 设备提供 2 路远程通信,汇报率每小时达 2~4 次。在 AIS 基站覆盖范围内,AIS 系统采用自组织时分多址通信技术(SOTDMA)分配时隙和避免信息重叠。每分钟从 2250 个时隙中选择一个时隙用来发送消息报告船只的位置。每分钟两个信道最多可以发送 4500 条消息。每个时隙 168b 的数据由 150b 的信息和 18b 的对下一帧的预约信令组成。AIS 接收机在较低的环地轨道上纬度超过 1000nm 时也能接收到信号,这很有利于进行大范围的海上监

管。挪威的国防研究组织做了一个从太空接收 AIS 信息的可行性调查研究。研究结果给出了船只数和检测概率之间的关系等。在船只数不多的情况下,监测概率很高,甚至可以达到 90%以上,监测的性能随着船只数的增加逐渐下降。发挥 AIS 系统通信性能的关键在于如何有效地提高 AIS 系统的监测概率。AIS 系统单纯地采用 SOTDMA 来分配时隙,当信息发送出现重叠时没有相应的处理方法。盲源分离方法是分离重叠信号的一种行之有效的方法,其信号分离是通过分析信号的时域统计特性实现的(而不是通过频域滤波的方法),所以它可以避开频域的概念把频率上重叠的混合信号分离开来。当信息发送出现重叠时,本文中运用盲源分离将重叠信息进行分离,从而在很大程度上提高了船只的监测概率、AIS 系统的有效性。

本文第 2 节介绍了盲源分离技术;第 3 节提出了将盲源分离技术应用于 AIS 系统;第 4 节对盲源分离技术应用前后的信号分离性能进行了一系列分析;最后给出了结论。

## 2 盲源分离技术

所谓盲信号分离(BSS, Blind Signal Separation)技术,就是在未知传输信道和各个源信号的情况下,从传感器阵列接

本文受国家自然科学基金(60872041, 61072066)资助。

赵文红(1981—),女,硕士,工程师,主要研究方向为进化计算、盲源分离,E-mail: wzwzh@sohu.com;王 巍(1980—),男,博士,高级工程师,主要研究方向为智能计算。

收到的混合信号中分离出各个输入源信号。比较典型的情况是,被观测的混合信号为一系列传感器的输出,而每一个传感器接收到的是源信号的不同组合。盲信号分离它的主要任务是从观测数据中恢复出源信号,感兴趣的是真实的源信号。

盲源分离方面比较系统的研究一般认为始于 Herault 和 Jutten<sup>[6]</sup>。经过近几十年的发展,盲分离到现在取得了大量的成果,先后提出了独立成分分析(Independent Component Analysis, ICA)和稀疏成分分析、卷积盲分离等。ICA 比较经典的方法包括:(1)最大化非高斯性。这类算法中,代表性的方法有 FastICA<sup>[7,8]</sup>。该算法的收敛速度非常之快,可以达到 3 次收敛,且可以同时估计次高斯信号和超高斯信号。但是这类算法或者因为利用了高阶统计量,对噪声敏感;或者因为需要利用负熵,从而需要估计源信号的概率密度函数。(2)最小化互信息<sup>[9]</sup>。(3)最大似然估计<sup>[10,11]</sup>。所有 ICA 的这些方法均以源信号分量之间的相互独立性为假设前提。稀疏成分分析主要是解决欠定盲分离问题。卷积盲分离目前还没有特别突出的算法,仍充满挑战。在 2003 年, Lee 等人建立了基于信息理论 ICA 的统一框架<sup>[12]</sup>。盲信号处理技术近年来获得了飞速发展,并已成为现代信号处理中的一个极其活跃的领域。盲信号分离技术已经在很多领域获得了成功的应用。

### 3 盲源分离技术应用于 AIS 系统

AIS 的通信技术特性遵循 ITU-RM. 1371 国际标准,参照 OSI 开放式系统互连模式。在分析 AIS 系统时我们假设以下条件成立:

- 1)有效区域是正方形的。
- 2)每个正方形的管理域的大小为 40 海里 \* 40 海里。
- 3)海域上的船只服从均匀分布。
- 4)所有的船汇报间隔  $\Delta T$  相同,  $\Delta T=10s$ 。这里汇报间隔 10s 表明了假设船只航行速度小于 14 哩/小时。

基于以上假设,文献<sup>[13]</sup>中给出了管理域中的给定船只的监测概率,为:

$$1 - [1 - (1 - \frac{N}{75 \cdot M \cdot \Delta T})^{M-1}]^{\frac{T_{obs}}{\Delta T}} \quad (1)$$

式中,  $M$  为管理域的个数,  $N$  为船只数,  $\Delta T$  为汇报间隔,  $T_{obs}$  为观察时间。

式(1)中的 3 个参数  $M, N, T_{obs}$  直接与列宽相关,本文中  $T_{obs}$  的取值同文献中一致。有效范围内的船只数目  $N$  与观察的时间  $T_{obs}$  均对检测概率有着重要影响。

列宽增大,观测时间也会相应增大,因此已知船只在有效区域内的监测概率也会受到影响。

在 AIS 系统中使用 SOTDMA 分配时隙并尽量避免信息重叠,一旦信息发生重叠,就选择放弃这些信息。这种信息重叠的情况下,使用盲源分离技术在一定程度上可以解决各个 AIS 信号相互干扰的问题,而且在没有同频 AIS 信号相互干扰时,还可以提高信号的信噪比,进而提高信号的质量。下边介绍一下盲源分离技术对于 AIS 系统监测概率的影响情况。

盲源分离技术可以分离的信号个数与接收的信道数有关,这里我们假定有 3 只以内的船只同时发送汇报信息时混合信号可以用盲源分离技术分开,如下我们可以得出利用概率盲源分离技术以后船只的检测率。

对于某只船发送某个报告而言,发送该报告时有某个区域的船与其发送的时隙冲突的概率为:

$$\frac{N}{75 \cdot M \cdot \Delta T}$$

在该船发送该报告的过程中,发送时隙与其冲突的船只恰好为两只的概率为:

$$C_{M-1}^2 (\frac{N}{75 \cdot M \cdot \Delta T})^2 (1 - \frac{N}{75 \cdot M \cdot \Delta T})^{M-2}$$

在该船发送该报告的过程中,发送时隙与其冲突的船只恰为一只的概率:

$$C_{M-1}^1 (\frac{N}{75 \cdot M \cdot \Delta T}) (1 - \frac{N}{75 \cdot M \cdot \Delta T})^{M-2}$$

在该船发送该报告时没有船只在此时隙发送报告的概率为:

$$(1 - \frac{N}{75 \cdot M \cdot \Delta T})^{M-1}$$

在该船发送该报告时与其在同一时隙发送报告的船只个数大于等于 3 的概率为

$$1 - (1 - \frac{N}{75 \cdot M \cdot \Delta T})^{M-1} - C_{M-1}^0 (\frac{N}{75 \cdot M \cdot \Delta T}) (1 - \frac{N}{75 \cdot M \cdot \Delta T})^{M-2} - C_{M-1}^2 (\frac{N}{75 \cdot M \cdot \Delta T})^2 (1 - \frac{N}{75 \cdot M \cdot \Delta T})^{M-3}$$

在观测时间段内该船发送所有报告期间与其同时隙发送报告的船只个数均大于等于 3 的概率为:

$$[1 - (1 - \frac{N}{75 \cdot M \cdot \Delta T})^{M-1} - C_{M-1}^0 (\frac{N}{75 \cdot M \cdot \Delta T}) (1 - \frac{N}{75 \cdot M \cdot \Delta T})^{M-2} - C_{M-1}^2 (\frac{N}{75 \cdot M \cdot \Delta T})^2 (1 - \frac{N}{75 \cdot M \cdot \Delta T})^{M-3}]^{\frac{T_{obs}}{\Delta T}}$$

在观测时间内至少有一次与其冲突的船只数目小于 3 的概率为:

$$1 - [1 - (1 - \frac{N}{75 \cdot M \cdot \Delta T})^{M-1} - C_{M-1}^0 (\frac{N}{75 \cdot M \cdot \Delta T}) (1 - \frac{N}{75 \cdot M \cdot \Delta T})^{M-2} - C_{M-1}^2 (\frac{N}{75 \cdot M \cdot \Delta T})^2 (1 - \frac{N}{75 \cdot M \cdot \Delta T})^{M-3}]^{\frac{T_{obs}}{\Delta T}}$$

因此, AIS 系统在引入盲分离技术以后,船只的监测概率为:

$$1 - [1 - (1 - \frac{N}{75 \cdot M \cdot \Delta T})^{M-1} - C_{M-1}^0 (\frac{N}{75 \cdot M \cdot \Delta T}) (1 - \frac{N}{75 \cdot M \cdot \Delta T})^{M-2} - C_{M-1}^2 (\frac{N}{75 \cdot M \cdot \Delta T})^2 (1 - \frac{N}{75 \cdot M \cdot \Delta T})^{M-3}]^{\frac{T_{obs}}{\Delta T}}$$

### 4 性能分析

图 1 和图 2 比较了该监测概率与文献中未利用盲分离技术时得到的监测概率,可以看出在列宽为 80nm,区域内船只数为 1000 的情况下,未使用盲分离技术时,监测概率为 41% 左右,但是在使用盲分离技术以后监测概率可以提高到接近 100%。管理区域列宽为 200nm,船只数为 2000, AIS 系统的监测概率在 23%,使用盲分离技术以后,监测概率达到 94%;管理区域的宽度为 400nm 时,船只数为 2500, AIS 系统的监测概率在 24%,使用盲分离技术以后,监测概率达到 97%;管理区域列宽为 600nm,船只数为 2500 时, AIS 系统的监测概率在 19%,使用盲分离技术以后,监测概率达到 96%;管理区域列宽为 800nm,船只数为 3000 时, AIS 系统的监测概率在 24%,使用盲分离技术以后,监测概率达到 98%;管理区域列宽为

1200nm, 船只数为 2500 时, AIS 系统的监测概率在 15%, 使用盲分离技术以后, 监测概率达到 97%; 管理区域列宽为 1900nm, 船只数为 2500 时, AIS 系统的监测概率在 24%, 使用盲分离技术以后, 监测概率达到 100%; 管理区域列宽为 2880nm, 船只数为 3000 时, AIS 系统的监测概率在 12%, 使用盲分离技术以后, 监测概率达到 98%。因此, 明显地可以看到, 将盲分离技术应用于基于星载的 AIS 系统中, 可以大大地提高船只的检测概率, 一定程度上改进了 AIS 系统的性能。

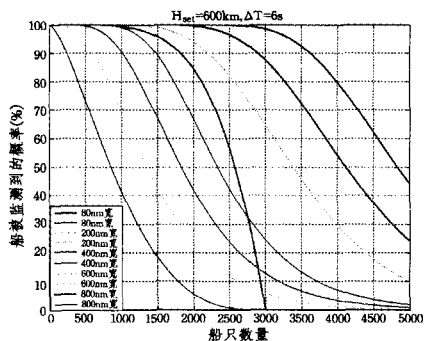


图 1 使用盲分离技术前后船只的监测概率(同颜色的曲线中, 细的为文献中的, 粗线条的为加入盲分离技术后的)

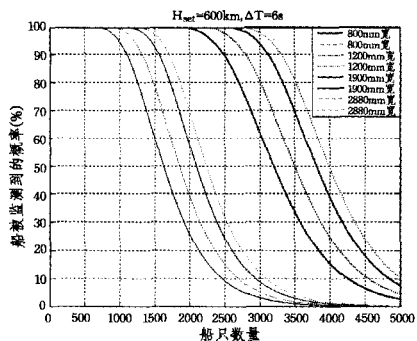


图 2 使用盲分离技术前后船只的监测概率(同颜色的曲线中, 细的为文献中的, 粗线条的为加入盲分离技术后的)

**结束语** AIS 系统由岸基(基站)设施和船载设备共同组成, 是一种新型的集网络技术、现代通讯技术、计算机技术、电子信息显示技术为一体的数字助航系统和设备。文中针对 AIS 系统在船只数目增多时, 汇报信息时隙冲突增多, 从而导致 AIS 性能急剧下降的问题, 提出了将盲源分离技术应用

于其中的设想, 在时隙发生冲突时, 将重叠的汇报信息分开, 从而提高了信号的监测概率, 避免了反复选择时隙、发送汇报信息的过程, 提高了 AIS 系统的效率。

## 参考文献

- [1] 刘彤, 吴建华, 雷金平. AIS 通信系统性能分析[J]. 交通科技, 2004(4): 134-136
- [2] 常青. 通用船载自动识别系统 AIS 的研究与实现[D]. 北京: 清华大学, 2004
- [3] 张京娟, 郝燕玲. AIS 系统时隙预约选择算法的分析[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2002(5): 52-56
- [4] Høye G, Narheim B, Eriksen T, et al. EUCLID JP9. 16: Space-Based AIS Reception for Ship Identification [M]. FFI/RAP-PORT-2004/01328(Restricted distribution, EUCLID PMOU), 2004
- [5] Eriksen T, Høye G, Narheim B, et al. Maritime traffic monitoring using a space-based AIS receiver[J]. Acta Astronautica, 2006(58): 537-549
- [6] Jutten C, Herault J. Blind separation of sources, Part 1: An adaptive algorithm based on neuromimetic architecture [J]. Signal Processing, 1991, 24(1): 1-10
- [7] Hyvarinen A. Fast and robust fixed-point algorithms for independent component analysis [J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 1999, 10(3): 626-634
- [8] Hyvarinen A. The FastICA Matlab package. V2. 5 [CP/OL]. <http://www.Arocmag.com>, 2005
- [9] Yang H H, Amari S. Adaptive On-Line Learning Algorithms for Blind Separation-Maximum Entropy and Minimum Mutual Information[J]. Neural Computation, 1997, 9(7): 1457-1482
- [10] Cardoso J F. Infomax and maximum likelihood for blind source separation [J]. IEEE Signal Processing, 1997, 45(2): 434-444
- [11] Hyvarinen A. The fixed-point algorithm and maximum likelihood estimation for independent component analysis[J]. Neural Processing Letters, 1999, 10(1): 1-5
- [12] Lee T, Girolami M, Bell A J, et al. A unifying information theoretic framework for independent component analysis[J]. Computers & Mathematics with Applications, 2003, 31(11): 1-21
- [13] Eriksen T, Høye G, Narheim B, et al. Maritime traffic monitoring using a space-based AIS receiver[J]. Acta Astronautica, 2006, 58(10): 537-549

(上接第 183 页)

- [4] Ng A Y, Jordan M I, Weiss Y. On spectral clustering: Analysis and an algorithm [C]//Neural Information Processing Systems, Cambridge, MA, MIT Press, 2002: 857-864
- [5] Meila M, Shi J. Learning segmentation by random walks[C]//Neural Information Processing Systems, 2000: 873-879
- [6] Tziakos I, Theoharatos C, Laskaris N A, et al. Color image segmentation using Laplacian eigenmaps [J]. Journal of Electronic Imaging, 2009, 18(2): 1-10
- [7] 彭宏京, 陈松灿, 张道强. 一种基于局部学习的自然图像景物提取方法[J]. 软件学报, 2009, 20(4): 834-844
- [8] Cai W L, Chen S C, Zhang D Q. Fast and robust fuzzy c-means clustering algorithms incorporating local information for image segmentation[J]. Pattern Recognition, 2007, 40(3): 825-838
- [9] 田军委, 黄永宜, 于亚琳. 基于直方图偏差约束的快速模糊 C 均值图像分割法[J]. 西安交通大学学报, 2007, 41(4): 430-434
- [10] Belk M, Niyogi P. Laplacian eigenmaps and spectral techniques

for embedding and clustering[C]//Advanced in Neural Information Processing Systems 14. Cambridge, MA: MIT Press, 2002

- [11] Saul L K, Rowels S T. Think globally, fit locally: Unsupervised learning of low dimensional manifolds [J]. Journal of Machine Learning Research, 2003, 4(6): 119-155
- [12] 阮秋琦, 阮宇智. 数字图像处理(第二版)[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009
- [13] Liu Ru-jie, Wang Yue-hong, Baba T, et al. Semi-supervised learning by locally linear embedding in kernel space[C]//International Conference on Pattern Recognition, 2008
- [14] Fowlkes C, Martin D, Malik J. The Berkeley Segmentation Dataset and Benchmark(BSDB) [OL]. <http://www.eecs.berkeley.edu/Research/Projects/CS/vision/grouping/segbench/>
- [15] Unnikrishnan R, Pantofaru C, Hebert H. Toward objective evaluation of image segmentation algorithms [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2007, 29(6): 929-944