

# 基于盲源分离的抗同频干扰调幅通信接收机\*

马明

(空军第一航空学院, 河南 信阳 464000)

**摘要:** 设计了一种可以用于抑制干扰的接收机结构, 从互信息的角度分析了该接收机设计的合理性。仿真表明, 该调幅通信接收机在受到相同频率的调频、调幅噪声干扰时, 可以有效地抑制干扰。

**关键词:** 盲源分离; 同频干扰; 模拟通信

**中图分类号:** TN911.76

**文献标识码:** A

## A communication receiver scheme of amplitude modulation for reduction of co-channel interference using blind source separation

MA Ming

(The First Aeronautic Institute of Air Force, Xinyang 464000, China)

**Abstract:** A new receiver scheme to resist jam is designed for improving the performance of communication under interference, whose validity is analyzed from the view of mutual information. Computer simulations show that this AM receiver scheme can resist interference when it is corrupted by co-frequency AM or FM (frequency modulation) jam.

**Key words:** blind source separation; co-frequency interference; analog communication

盲源分离可以在对信源知之甚少的情况下, 分离出想要的信号<sup>[1]</sup>, 已成功地应用在生物医学信号处理(如心电图、肌电图、脑电图以及脑磁图等)、语音增强、图像增强、数字通信中同频干扰抑制、机械故障检测、雷达信号处理等方面<sup>[2]</sup>。

在军事通信对抗中, 摆脱敌方同频干扰的影响, 保证我方通信的正常进行是重要的研究课题。已有文献研究了利用盲源分离将频域重合的信号分离这一问题。如参考文献[3]采用3天线阵列接收, 利用盲源分离实现了3路同频PAM信号的分离, 参考文献[4]采用相干解调的方式实现了多路BPSK信号的分离。

本文研究了当我方通信系统采用幅度调制(Amplitude Modulation), 敌方采用调幅、调频噪声对我方通信系统实施干扰的条件下, 利用盲源分离对敌方进行干

扰抑制的问题, 设计了一种能够有效抑制敌方干扰的接收机, 理论分析和计算机仿真实验验证了该接收机的可行性。

### 1 盲源分离的数学模型

盲源分离中的“盲”指当传输信道的特性未知时, 从接收信号的阵列中估计出源信号的波形。当然, 在缺乏先验知识的情况下, 不可能唯一地确定源信号。导致信号在恢复出来时存在一定的模糊性: 排序的模糊性和幅度比例伸缩, 但恢复的信号依然保留了源信号的波形信息。在一定程度上, 这并不影响对信号的理解和处理。

盲源分离的基本模型, 假设有 $n$ 个信源, 通过线性混合后, 由 $n$ 个探测器(传感器)接收, 整个系统用矩阵表示如下:

\* 基金项目: 中国博士后科学基金(20070420561)

$$\mathbf{X}=\mathbf{A}\mathbf{S}+\mathbf{n} \quad (1)$$

式(1)中,  $\mathbf{S}$ 为未知的  $n$ 个源信号,  $\mathbf{A}$ 为  $n \times n$ 的混合矩阵,  $\mathbf{n}$ 为噪声,  $\mathbf{X}$ 为传感器接收到的信号。一般情况下, 假设源信号与观测信号维数相同, 在噪声不存在或者可以忽略不计的情况下, 这时盲源分离的模型如下:

$$\mathbf{X}=\mathbf{A}\mathbf{S} \quad (2)$$

盲源分离的目标是在一定准则下, 寻找矩阵  $\mathbf{A}$ 的逆矩阵的估计值  $\hat{\mathbf{A}}^{-1}$ , 得到对信源  $\mathbf{S}$ 的估计:

$$\hat{\mathbf{S}}=\mathbf{Y}=\mathbf{A}^{-1}\mathbf{X}=\mathbf{A}^{-1}\mathbf{A}\mathbf{S} \quad (3)$$

如果  $\hat{\mathbf{A}}^{-1}\mathbf{A}=\mathbf{I}$ , 则  $\mathbf{Y}=\mathbf{S}$ , 实现了对源信号的估计。一般情形下, 假设源信号统计独立。因此盲源分离问题有时也称独立变量分析(Independent Component Analysis)。

## 2 提出的 AM 接收机

模拟调幅通信(包括上边带和下边带)系统是一种实现简单且常用的通信系统<sup>[5]</sup>。在广播通信和军事中得到广泛的应用。但这种通信系统在受到同频干扰后, 通信质量会严重下降。尤其是在军事应用中, AM通信信号经常容易受到敌方干扰机所施放的同频干扰的影响。

本文考虑了当模拟调幅 AM(Amplitude Modulation)调制信号受到同频干扰后的干扰抑制问题。此处假设我方采用模拟调幅发射机发射语音信号, 敌方采用随机噪声对我方调幅通信系统进行同频干扰。

假设 AM 发射机发射的语音信号记为  $S(t)$ , 该语音信号被调制到某一频率后通过天线发射出去, 此射频信号经过信道到达 AM 接收机, AM 接收机对此信号进行解调, 得到发射的语音信号。在电子对抗中, 敌方为了干扰我方信息的传输, 经常将基带干扰信号(记为  $I(t)$ )调制到与我方相同的频率上, 该射频干扰信号就会进入到我方 AM 接收机, 影响我方对语音信号的正确接收。

一般情况下, 语音信号  $S(t)$ 与随机噪声  $I(t)$ 是相互独立的, 因此可以采用盲源分离将这两种信号分离开。但经过 AM 调制后的已调信号分别记为  $S_M(t)$ 和  $I_M(t)$ 不再保持此独立性。因此采用图 1 所示的接收机结构, 首先将接收到的信号进行解调得到基带信号, 然后通过对基带信号的分离, 实现对干扰的抑制。

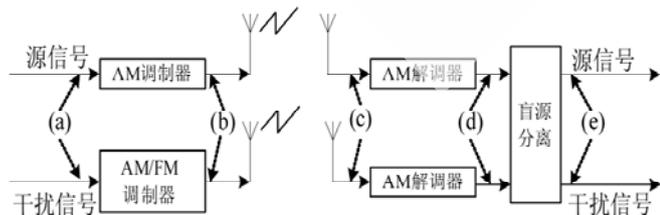


图 1 提出的接收机结构

语音信号  $S(t)$ 经过幅度调制后的信号记为  $S_M(t)$ ,二者有如下关系:

$$S_M(t)=(1+\mu_s)S(t)\cos(2\pi f_s t+\varphi_s) \quad (4)$$

式中,  $\mu_s$ 为调制系数,  $f_s$ 为调制载波的频率,  $\varphi_s$ 为载波的初始相位。

基带干扰信号  $I(t)$ 采用幅度调制后的信号记为  $I_M(t)$ , 二者有如下关系:

$$I_M(t)=(1+\mu_I)I(t)\cos(2\pi f_I t+\varphi_I) \quad (5)$$

式中,  $\mu_I$ 为调制系数,  $f_I$ 为调制载波的频率,  $\varphi_I$ 为载波的初始相位。

当  $f_s=f_I$ 时, 敌方干扰机频率等于我方通信频率, 形成同频干扰。

将调幅发射机和干扰机发射的信号写成矩阵的形式:

$$\mathbf{S}=[S_M(t) \ I_M(t)]^T \\ = \begin{bmatrix} (1+\mu_s)S(t)\cos(2\pi f_s t+\varphi_s) \\ (1+\mu_I)I(t)\cos(2\pi f_I t+\varphi_I) \end{bmatrix} \quad (6)$$

2路调制后的信号经过不同的路径到达接收机的2根天线, 总共形成4条路径, 这4条路径组成矩阵:

$$\mathbf{A}=\begin{bmatrix} a_{11}(t) & a_{12}(t) \\ a_{21}(t) & a_{22}(t) \end{bmatrix} \quad (7)$$

当天线按照一定规律架设时, 此矩阵为满秩矩阵。假设信道为时不变信道, 则信道矩阵可以写为:

$$\mathbf{A}=\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \quad (8)$$

2根天线接收到的信号可以写成如下形式:

$$\mathbf{X}=\begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} \\ =\mathbf{A}\mathbf{S} \\ =\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}[S_M(t) \ I_M(t)]^T \\ =\begin{bmatrix} a_{11}(1+\mu_s)S(t)\cos(2\pi f_s t+\varphi_s) \\ \quad +a_{12}(1+\mu_I)I(t)\cos(2\pi f_I t+\varphi_I) \\ a_{21}(1+\mu_s)S(t)\cos(2\pi f_s t+\varphi_s) \\ \quad +a_{22}(1+\mu_I)I(t)\cos(2\pi f_I t+\varphi_I) \end{bmatrix} \quad (9)$$

采用非相干解调, 将2根天线接收到的信号变换到基带:

$$\mathbf{X}_{Dem}=\begin{bmatrix} Dem(x_1(t)) \\ Dem(x_2(t)) \end{bmatrix} \\ =\begin{bmatrix} a_{11}\mu_s S(t)+a_{12}\mu_I I(t) \\ a_{21}\mu_s S(t)+a_{22}\mu_I I(t) \end{bmatrix} \\ =\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \mu_s S(t) \\ \mu_I I(t) \end{bmatrix} \\ =\mathbf{A}\mathbf{S}' \quad (10)$$

这里  $Dem(\cdot)$ 为 AM 非相干解调操作。  $\mathbf{S}'=\begin{bmatrix} \mu_s S(t) \\ \mu_I I(t) \end{bmatrix}$ 。  $\mathbf{S}'$ 与  $\mathbf{S}$ 仅多了一个尺度因子, 也就是幅度上的比例因子。从式中可以看出, 解调之后得到的信号是源基带信号与干扰基带信号的线性混合, 采用盲源分离的方法将这两个信

号分离后就可以得到较为纯净的 AM 发射机发射的源基带信号,从而降低干扰信号的影响,提高了通信的质量。

### 3 理论分析

在图 1 中的(a)点,两信号可以看作是独立的,它们的互信息为零。经过 AM 调制后,由于两信号受到载波的影响,独立性会减弱。理论上严格的分析比较困难,但通过大量实例的互信息计算表明,AM 调制后两信号的互信息会显著增大,也就是独立性会显著减弱,两信号不再保持独立。

例如当一语音信号(此段语音见图 2 中的上图)与高斯噪声独立时,由于互信息<sup>[6]</sup>的计算比较复杂,采用相关系数计算可得两信号的相关系数为  $1.2 \times 10^{-3}$ 。经过同一频率载波 AM 调制后,已调信号的相关系数为 0.6。因此利用盲源分离直接将语音信号和干扰信号的已调波分离开是不可能的。只有将载波对互信息的影响去除,才能将语音信号和高斯噪声分离开,达到去除干扰的目的。从图中可以看出,调制后信号之间的互信息不再保持独立。

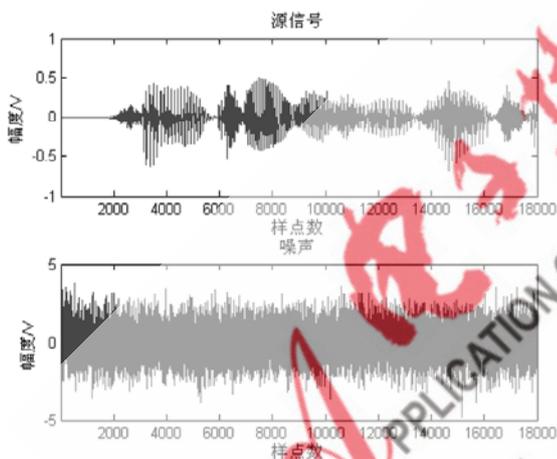


图 2 图 1 中(a)点信号时域波形图

AM 调幅发射机和干扰机发射的射频信号经过不同的路径到达两部接收天线,采用如图 1 所示的结构接收信号。图中(c)点与(b)点的关系由公式(9)给出。经过 AM 非相干解调,载波对源信号和干扰信号的影响彻底消除。(d)点所得到的信号可以写成盲源分离的标准形式。

在这个过程中,消除载波对信号的影响所采用的方法是 AM 解调。由于 AM 调制是线性调制,所以不会改变射频信号的线性混合关系。从而能够在解调之后利用盲源分离进行分离。当语音信号的调制方式为非线性调制时,不能采用图 1 所示的方法进行分离。这是因为标准的盲源分离实际上是一种线性逆变换,调制的非线性会不会产生盲源分离模型。

从以上分析可以看出,当我方采用与标准 AM 类似的调制方式,如双边带、上边带、下边带进行通信,敌

方施放同频干扰时,也可以采用图 1 所示的方式进行干扰抑制,后面的计算机仿真验证了该接收机的可行性。需要注意的是,标准的 AM 解调可以采用非相干解调,载波频率、相位的影响会完全消除掉。而双边带、上边带、下边带需要采用相干解调,载波的相位会影响抗干扰的性能。

在上面的分析中,假设敌方采用 AM 调制干扰我方通信,在实际中,FM 干扰机会更有效。下面假设敌方频率调制干扰信号:

$$I_M(t) = \cos(2\pi f_i t + \int_0^t I(t) dt + \varphi_I) \quad (11)$$

由于接收机采用的解调方式仍为 AM 解调,所以此时干扰信号不能恢复出来。但我方 AM 发射机发射的源信号仍可以恢复出来。

$$X_{Dem} = \begin{bmatrix} Dem(x_1(t)) \\ Dem(x_2(t)) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11}\mu_S S(t) + a_{12}I'(t) \\ a_{21}\mu_S S(t) + a_{22}I'(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mu_S S(t) \\ I'(t) \end{bmatrix} \quad (12)$$

这里  $I'(t)$  是被 AM 解调得到的信号,称为误解调信号。利用盲源分离可以将误解调信号与源信号分离开。这说明,当干扰机采用其他调制方式时,如 PSK,该接收机仍可以起到干扰抑制作用。

### 4 计算机仿真

下面通过 2 个计算机计算验证该系统的可行性。

仿真 1 设置参数如下:

- (1)电台发射机发送信号:一段中文语音;
- (2)电台调制方式:幅度调制;
- (3)载频:160 kHz;
- (4)干扰信号:高斯噪声;
- (5)干扰机调制方式:调幅;
- (6)信号混合方式:随机混合。

干扰信号对语音信号形成同频压制性干扰。各仿真点的波形如图 2 所示。图 3 给出的是 2 个接收天线接收到信号与噪声混合之后解调得到的信号,直观上看不出语音信号的特征。图 4 是采用 FastICA 算法<sup>[7]</sup>将图 4 所示的信号进行盲源分离后得到的信号,从图中可以看出,图 4 中(a)图与发射的语音信号波形基本保持一致,图 4 中(b)图为带限高斯噪声的时域波形图。这说明本文提出的方法可以较好地去除干扰信号。

仿真 2 与仿真 1 相比,只改变干扰机的调制方式为调频。采用如图 1 所示的接收机结构,恢复出来的信号(图 1 中 e 点)如图 5 所示。其中(b)图为恢复出来的语音信号,(a)图为 AM 解调器解调 FM 信号得到的波形图。虽然干扰没有恢复出来,但语音信号可以较好地恢复出来。

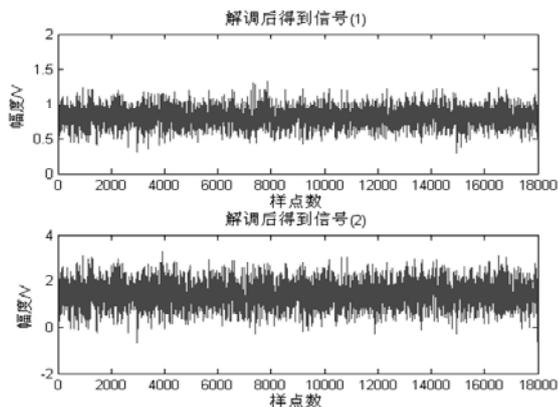


图3 接收机c点接收到的信号

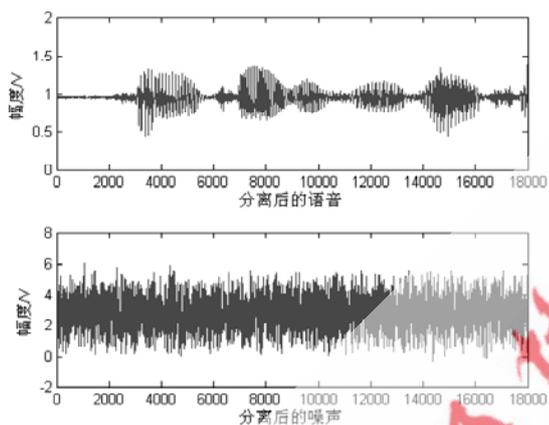


图4 接收机e点得到的信号

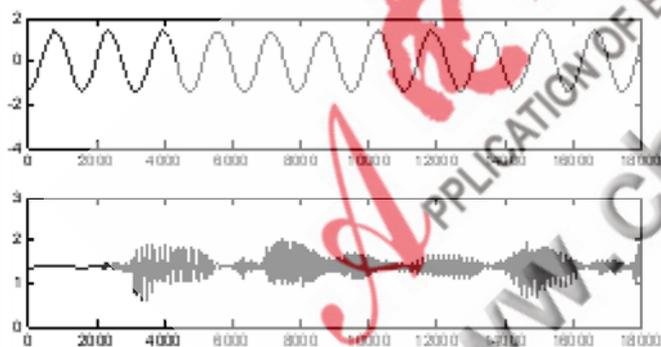


图5 干扰机FM干扰时,接收机e点信号时域波形图

以上仿真表明,无论干扰机采用调幅还是调频干扰,本文所设计的接收机均能将电台发射的语音信号恢复出来。

针对AM通信受到同频AM或FM噪声干扰的问题,提出了一种抑制同频干扰的接收机结构,理论分析和仿真验证了抑制干扰的有效性。在仿真中,发现当干扰采用FM调制时,由于此接收机结构只对AM信号进行解调,所以干扰信号经过AM解调后会形成正弦波。当有用信号采用FM等其他调制方式(如数字调制方式)时,本文提出的接收机结构不具有抑制干扰的功能。此外,本文只讨论了源信号与干扰信号的时间独立性问题,

且假设传播环境和天线增益形成的空间增益具有独立性,这只是一种理性情况。以上两个问题有待进一步研究。

#### 参考文献

- [1] AAPO H, JUHA K, ERKKI O. Independent component analysis [M]. Chichester, England: John Wiley. 2001. Chap1-3.
- [2] CICHOCKI A, AMARI S. Adaptive blind signal and image processing: learning and applications [M]. John Wiley, Sons, Ltd, 2002.
- [3] 张昕,胡波,凌燮亭.盲信号分离在数字无线通信中的一种应用.通信学报,2000,21(2):73-77.
- [4] KOSTANTE I, MIKHAE W. Blind source separation technique for reduction of co-channel interference. ELECTRONICS LETTERS, 2002, 38(20): 1210-1211.
- [5] 樊昌信,曹丽娜.通信原理(第6版)[M],北京:国防工业出版社,2007:86-114.
- [6] LIAM P. Estimation of entropy and mutual information, Neural Computation, 2003, (15): P1191-1253.
- [7] HYVARIINEN A. Fast and robust fixed-point algorithm for independent component analysis. IEEE Trans. On Neural Network, 1999,10(3): 626-634.

(收稿日期:2009-03-16)

numonyx™

## 瞄准亚洲存储增长商机 恒忆积极开拓经销商网络

2009年6月16日,全球非易失性存储领导厂商恒忆(Numonyx)宣布与益登、联强、世平、文晔、东棉、金龙等授权经销商合作,在中国大陆地区销售恒忆产品,并提供支持服务。通过这个稳固的经销商网络,恒忆在亚洲区的产品与技术布局将更加完整,足以满足亚洲快速增长的嵌入式与无线市场需求,尤其是在数字消费电子、通信和手持装置等领域。

恒忆亚洲区嵌入式业务部副总裁龚翔(Grace Gong)表示,为了向亚洲客户提供完整而本地化的服务,恒忆高度关注亚洲市场的部署与投入。恒忆将为亚洲客户提供最完善的技术、销售和业务支持。这些经销伙伴丰富的业界经验、广泛的经营范围、强大的技术支持能力将充分加强恒忆的实力,同时也将推动恒忆在亚洲市场的成长。(恒忆供稿)