

# 二维正交矢量天线导向矢量的秩-1 模糊问题研究\*

徐友根, 刘志文, 王四平

(北京理工大学 信息科学技术学院电子工程系, 北京 100081)

**摘要:** 本文研究共点放置极化敏感二维正交矢量天线导向矢量 (PACS) 中隐含的秩-1 模糊问题。论文首先定义了同维数但具有不同形式的 PACS 之间的两种等价关系, 在此基础上分析和讨论了几类典型二维 PACS 的秩-1 模糊。研究表明, 在没有任何先验知识的情况下, 使用单个二维正交矢量天线并不能完成单个信号源二维角度和极化参数的唯一辨识。

**关键词:** 共点; 极化敏感; 秩-1 模糊

**中图分类号:** TN971.2 **文献标识码:** A

## 1 引言

在自适应或测向阵列系统中采用多个极化选择特性不完全相同的传感器以有效利用信号极化这一微观结构近二十几年来逐渐引起人们的关注<sup>[1~4]</sup>。在已报道的工作中关注较多的是一类又可称为矢量阵列的极化敏感阵列, 组成这种阵列的阵元为在空间同点放置亦即具有相同相位中心的  $N$  个具有不同极化选择特性的传感器组, 这一传感器组又可称为  $N$  维矢量天线。文献[6~8]即是考虑了由多个二维矢量天线组成的极化敏感阵列信号 2 维 DOA 和极化的同时估计问题, 其主要思想仍然是从空间相位信息中提取角度信息, 再将其代入极化—角度相干结构 (PACS) 中以获得信号极化估计。那么, 是否可以摒弃空间相位信息而只利用单个紧凑的 2 维矢量天线完成至少一个信号的角度和极化的唯一辨识? 本文的工作即是为了回答这一问题。首先研究同维数正交矢量天线 PACS 间的等价关系, 并在此基础上讨论几种典型的 2 维正交矢量天线 PACS 的秩-1 模糊。

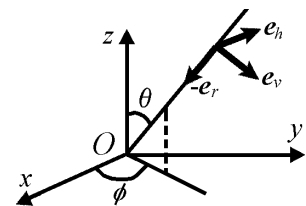


图 1 阵列几何及角度定义

## 2 基本假定和问题描述

考虑图 1 所示直角坐标系  $Oxyz$ , 并假定完全极化信号的方位角和俯仰角分别为  $\phi$  和  $\theta$ , 且  $0 \leq \phi < 2\pi$ ,  $0 \leq \theta \leq \pi$ 。信号极化状态分别用极化辐角  $\gamma$  和极化相位差  $\eta$  表征, 其中  $0 \leq \gamma \leq \pi/2$ ,  $-\pi \leq \eta \leq \pi$ 。在上述定义下, 没有指向误差的 6 维矢量天线的极化—角度导向矢量 (PACS) 可以表示为<sup>[3]</sup>:

$$F_{\Xi=\{1,2,3,4,5,6\}}^{\dim(\Xi)=6}(\phi, \theta, \gamma, \eta) = P \begin{bmatrix} -\sin \phi & \cos \phi \cos \theta \\ \cos \phi & \sin \phi \cos \theta \\ 0 & -\sin \theta \\ -\cos \phi \cos \theta & -\sin \phi \\ -\sin \phi \cos \theta & \cos \phi \\ \sin \theta & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \gamma \\ \sin \gamma e^{j\eta} \end{bmatrix} = P \Theta_{\Xi=\{1,2,3,4,5,6\}}^{\dim(\Xi)=6}(\phi, \theta) h(\gamma, \eta) \quad (1)$$

式中  $\dim(\Xi)$  表示对应 PACS 的维数;  $P$  为  $6 \times 6$  极化敏感矩阵, 它刻画矢量天线中各传感器的极化接收方式, 这里仅研究  $P$  为单位阵的情形, 即矢量天线可以感应  $N$  个相互正交的电、磁分量;  $h(\gamma, \eta)$  称为极化矢量。  $F_{\Xi=\{1,2,3,4,5,6\}}^{\dim(\Xi)=6}(\phi, \theta, \gamma, \eta)$  刻画了信号在极化-角度域的相干结构, 体现了矢量天线沿坐标系  $Oxyz$  三个坐标轴方向感应电、磁信号之间的幅相关系。方便起见, 进一步令:

\* 收稿日期: 2003-11-26 修订日期: 2004-07-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60272025); 北京理工大学基础研究基金资助项目 (BIT-UBF-200301F07)

$$\mathbf{e}_h = \mathbf{V}_1 = [-\sin \phi, \cos \phi, 0]^T, \quad \mathbf{e}_v = \mathbf{V}_2 = [\cos \theta \cos \phi, \cos \theta \sin \phi, -\sin \theta]^T,$$

它们分别为水平方向和垂直方向的单位矢量, 并与信号传播矢量  $\mathbf{e}_r$  组成一个与信号有关的右手局部坐标系。

定义 2 维极化—角度选择矩阵为  $\mathbf{T}_{\Xi \subseteq \{1,2,3,4,5,6\}}^{\dim(\Xi)=2}$ , 它可以提取矩阵  $\mathbf{F}_{\Xi=\{1,2,3,4,5,6\}}^{\dim(\Xi)=6}$  中某个  $2 \times 2$  维子矩阵, 这里所要研究的问题即是分析 2 维 PACS  $\mathbf{T}_{\Xi \subseteq \{1,2,3,4,5,6\}}^{\dim(\Xi)=2} \mathbf{F}_{\Xi=\{1,2,3,4,5,6\}}^{\dim(\Xi)=2} = \mathbf{F}_{\Xi \subseteq \{1,2,3,4,5,6\}}^{\dim(\Xi)=2}$  是否和在什么情况下含有秩-1 模糊, 亦即是否存在并在什么情况下参数  $(\phi_1, \theta_1, \gamma_1, \eta_1) \neq (\phi_2, \theta_2, \gamma_2, \eta_2)$  的两个信号, 它们对应的非零 PACS 满足:

$$\mathbf{F}_{\Xi \subseteq \{1,2,3,4,5,6\}}^{\dim(\Xi)=2}(\phi_1, \theta_1, \gamma_1, \eta_1) = \xi \mathbf{F}_{\Xi \subseteq \{1,2,3,4,5,6\}}^{\dim(\Xi)=2}(\phi_2, \theta_2, \gamma_2, \eta_2) \quad (2)$$

式中非零标量  $\xi$  为尺度模糊因子。

### 3 同维数极化—角度相干结构间的等价

在展开具体讨论之前, 首先给出 1 个约定和 2 个引理。

约定 1: 由于当信号为天顶或天底信号亦即  $\theta = 0, \pi$  时, 信号方位角  $\phi$  没有定义, 为此约定: 当信号为天顶或天底信号时, 其方位角  $\phi = 0$ , 并且此时两信号角度不同定义为  $\theta_1 \neq \theta_2$ ; 对于非天顶天底信号则定义为  $(\phi_1 - \phi_2, \theta_1 - \theta_2) \neq (0, 0)$ 。两个信号角度不同记作  $(\phi_1, \theta_1) \neq (\phi_2, \theta_2)$ , 相同则记作  $(\phi_1, \theta_1) = (\phi_2, \theta_2)$ 。

引理 1 (Tan, Ho, Nehorai<sup>[4]</sup>): 当  $(\phi_1, \theta_1) \neq (\phi_2, \theta_2)$  时 (此时, 存在秩-1 模糊会影响 DOA 的唯一辨识), 当且仅当  $\text{rank}\{[\boldsymbol{\Theta}_{\Xi \subseteq \{1,2,3,4,5,6\}}^{\dim(\Xi)=m}(\phi_1, \theta_1), \boldsymbol{\Theta}_{\Xi \subseteq \{1,2,3,4,5,6\}}^{\dim(\Xi)=m}(\phi_2, \theta_2)]\} < 4$  时,  $\mathbf{F}_{\Xi \subseteq \{1,2,3,4,5,6\}}^{\dim(\Xi)=m}(\phi_1, \theta_1, \gamma_1, \eta_1)$  和  $\mathbf{F}_{\Xi \subseteq \{1,2,3,4,5,6\}}^{\dim(\Xi)=m}(\phi_2, \theta_2, \gamma_2, \eta_2)$  线性相关。

引理 2: 当  $(\phi_1, \theta_1) = (\phi_2, \theta_2) = (\phi, \theta)$  时, 当且仅当  $\text{rank}\{\boldsymbol{\Theta}_{\Xi \subseteq \{1,2,3,4,5,6\}}^{\dim(\Xi)=m}(\phi, \theta)\} < 2$  时, 极化参数互异的两个信号对应的 PACS 才可能线性相关。

下面定义两种等价关系:

等价关系 1: 如果不同的 PACS 通过坐标系的旋转之后可以具有相同的形式, 则认为两者是等价的。不妨设新坐标系  $\mathcal{O}\tilde{x}\tilde{y}\tilde{z}$  基矢量矩阵为  $\mathbf{R}$ , 相应的信号参数为  $(\tilde{\phi}, \tilde{\theta}, \tilde{\gamma}, \tilde{\eta})$ , 由文献[4]中的分析, 可以得到:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{R} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{V}}_1 & \tilde{\mathbf{V}}_2 \\ -\tilde{\mathbf{V}}_2 & -\tilde{\mathbf{V}}_1 \end{bmatrix} \boldsymbol{\mathcal{Q}}(\tilde{\delta}) \mathbf{h}(\gamma, \eta) = \tilde{\mathbf{R}} \tilde{\mathbf{V}} \mathbf{h}(\tilde{\gamma}, \tilde{\eta}) = \begin{bmatrix} \mathbf{V}_1 & \mathbf{V}_2 \\ -\mathbf{V}_2 & \mathbf{V}_1 \end{bmatrix} \mathbf{h}(\gamma, \eta) \quad (3)$$

式中  $\tilde{\delta}$  为信号波前平面内两组基  $(\mathbf{V}_1, \mathbf{V}_2)$  和  $(\tilde{\mathbf{V}}_1, \tilde{\mathbf{V}}_2)$  之间的夹角,  $|\mathbf{R}|=1$ , 它保证新坐标系  $\mathcal{O}\tilde{x}\tilde{y}\tilde{z}$  可以由原坐标系的正交旋转得到。定义  $m$  维极化—角度选择矩阵为  $\mathbf{T}_{\Xi \subseteq \{1,2,3,4,5,6\}}^{\dim(\Xi)=m}$ , 它满足:

$$\mathbf{T}_{\Xi \subseteq \{1,2,3,4,5,6\}}^{\dim(\Xi)=m} \mathbf{F}_{\Xi=\{1,2,3,4,5,6\}}^{\dim(\Xi)=6} = \mathbf{F}_{\Xi \subseteq \{1,2,3,4,5,6\}}^{\dim(\Xi)=m} \quad (4)$$

如果存在  $\mathbf{T}_{\Xi_1 \subseteq \{1,2,3,4,5,6\}}^{\dim(\Xi_1)=m}$  和  $\mathbf{T}_{\Xi_2 \subseteq \{1,2,3,4,5,6\}}^{\dim(\Xi_2)=m}$  满足  $\mathbf{G}_m^1 \mathbf{T}_{\Xi_1 \subseteq \{1,2,3,4,5,6\}}^{\dim(\Xi_1)=m} \tilde{\mathbf{R}} = \mathbf{G}_m^2 \mathbf{T}_{\Xi_2 \subseteq \{1,2,3,4,5,6\}}^{\dim(\Xi_2)=m}$ , 其中  $\mathbf{G}_m^1$  和  $\mathbf{G}_m^2$  为行下标调整矩阵, 它可以使得 PACS 中的分量按行下标增加方式排列。此时, 称相应的 PACS 满足等价关系 1 并记作  $\mathbf{T}_{\Xi_1 \subseteq \{1,2,3,4,5,6\}}^{\dim(\Xi_1)=m} \sim \mathbf{T}_{\Xi_2 \subseteq \{1,2,3,4,5,6\}}^{\dim(\Xi_2)=m}$ 。由于  $|\text{diag}\{\boldsymbol{\mathcal{Q}}(\tilde{\delta}_1), \boldsymbol{\mathcal{Q}}(\tilde{\delta}_2)\}| \neq 0$ , 在等价关系 1 下有:

$$\text{rank}\{\boldsymbol{\Theta}_{\Xi_2 \subseteq \{1,2,3,4,5,6\}}^{\dim(\Xi_2)=m}(\tilde{\phi}_1, \tilde{\theta}_1), \boldsymbol{\Theta}_{\Xi_2 \subseteq \{1,2,3,4,5,6\}}^{\dim(\Xi_2)=m}(\tilde{\phi}_2, \tilde{\theta}_2)\} = \text{rank}\{\boldsymbol{\Theta}_{\Xi_1 \subseteq \{1,2,3,4,5,6\}}^{\dim(\Xi_1)=m}(\phi_1, \theta_1), \boldsymbol{\Theta}_{\Xi_1 \subseteq \{1,2,3,4,5,6\}}^{\dim(\Xi_1)=m}(\phi_2, \theta_2)\} \quad (5)$$

等价关系 2: 等价关系 2 无需考虑坐标系的旋转。假设极化-角度选择矩阵仍然用  $\mathbf{T}_{\Xi \subseteq \{1,2,3,4,5,6\}}^{\dim(\Xi)=m}$  表示, 则对于任意  $(\phi, \theta, \gamma, \eta)$ , 当下列恒等式:

$$\mathbf{T}_{\Xi_1 \subseteq \{1,2,3,4,5,6\}}^{\dim(\Xi_1)=m} \begin{bmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{I} \\ \mathbf{I} & \mathbf{0} \end{bmatrix} \mathbf{V} \equiv \mathbf{T}_{\Xi_2 \subseteq \{1,2,3,4,5,6\}}^{\dim(\Xi_2)=m} \mathbf{V} \quad (6)$$

成立时, 它们对应的 PACS 满足等价关系 2 并仍然记作  $\mathbf{T}_{\Xi_1 \subseteq \{1,2,3,4,5,6\}}^{\dim(\Xi_1)=m} \sim \mathbf{T}_{\Xi_2 \subseteq \{1,2,3,4,5,6\}}^{\dim(\Xi_2)=m}$ 。

由上述等价关系的定义可以看出: 等价但具有不同形式的 PACS 经过适当的坐标旋转之后, 总可以得到相同的秩-1 模糊产生条件, 所以, 可以选择等价关系下形式简单易于分析的 PACS 进行讨论, 同时不影响对问题本质的认识。

### 4 二维 PACS 的秩-1 模糊问题

当  $\dim(\Xi) = m = 1$  时, PACS 退化为一个标量, 此时天线即为传统的标量天线, 极化敏感性丧失, 极化参数无法唯一确定, 由其所构成的阵列只有空域相干结构可资利用。

当  $\dim(\Xi) = m = 2$  时, 显然有:

$$\text{rank}\left\{\left[\boldsymbol{\Theta}_{\Xi \subseteq \{1,2,3,4,5,6\}}^{\dim(\Xi)=m}(\phi_1, \theta_1), \boldsymbol{\Theta}_{\Xi \subseteq \{1,2,3,4,5,6\}}^{\dim(\Xi)=m}(\phi_2, \theta_2)\right]\right\} \leq 2 \quad (7)$$

由引理 1 可知, 任意两个角度不同的信号所对应的 PACS 都有可能线性相关。

2 维 PACS 共有  $C_6^2 = 15$  种形式, 如果不考虑 PACS 内部元素顺序, 则存在三个等价组, 分别是:

$$\text{TWER1: } \boldsymbol{F}_{\Xi_1=\{1,2\}}^{\dim(\Xi_1)=2} \sim \boldsymbol{F}_{\Xi_2=\{1,3\}}^{\dim(\Xi_2)=2} \sim \boldsymbol{F}_{\Xi_3=\{2,3\}}^{\dim(\Xi_3)=2} \sim \boldsymbol{F}_{\Xi_4=\{4,5\}}^{\dim(\Xi_4)=2} \sim \boldsymbol{F}_{\Xi_5=\{4,6\}}^{\dim(\Xi_5)=2} \sim \boldsymbol{F}_{\Xi_6=\{5,6\}}^{\dim(\Xi_6)=2}$$

$$\text{TWER2: } \boldsymbol{F}_{\Xi_1=\{1,4\}}^{\dim(\Xi_1)=2} \sim \boldsymbol{F}_{\Xi_2=\{1,5\}}^{\dim(\Xi_2)=2} \sim \boldsymbol{F}_{\Xi_3=\{3,6\}}^{\dim(\Xi_3)=2}$$

$$\text{TWER3: } \boldsymbol{F}_{\Xi_1=\{1,5\}}^{\dim(\Xi_1)=2} \sim \boldsymbol{F}_{\Xi_2=\{1,6\}}^{\dim(\Xi_2)=2} \sim \boldsymbol{F}_{\Xi_3=\{2,4\}}^{\dim(\Xi_3)=2} \sim \boldsymbol{F}_{\Xi_4=\{2,6\}}^{\dim(\Xi_4)=2} \sim \boldsymbol{F}_{\Xi_5=\{3,4\}}^{\dim(\Xi_5)=2} \sim \boldsymbol{F}_{\Xi_6=\{3,5\}}^{\dim(\Xi_6)=2}$$

下面对三个等价关系组分别举例说明。

#### 4.1 TWER1 情形

以  $\Xi = \{1,2\}$  为例讨论 TWER1: 当信号角度相同时, 由于  $|\boldsymbol{\Theta}_{\Xi=\{1,2\}}^{\dim(\Xi)=2}(\phi, \theta)| = -\cos\theta$ , 根据引理 2, 只有当  $\theta = \pi/2$  时, 对应的 PACS 才有可能相关, 此时两个信号的极化参数满足  $\cos\gamma_1 = \xi \cos\gamma_2$ ,  $\xi > 0$ 。

如果信号的角度不同, 并且:

1) 当  $\theta_1 \neq \pi/2$  (或者  $\theta_2 \neq \pi/2$ ) 时, 有:

$$\boldsymbol{h}(\gamma_1, \eta_1) = \begin{bmatrix} -\sin\phi_1 & \cos\phi_1 \cos\theta_1 \\ \cos\phi_1 & \sin\phi_1 \cos\theta_1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -\sin\phi_2 & \cos\phi_2 \cos\theta_2 \\ \cos\phi_2 & \sin\phi_2 \cos\theta_2 \end{bmatrix} \boldsymbol{h}(\gamma_2, \eta_2) \quad (8)$$

其中  $(\phi_2, \theta_2, \gamma_2, \eta_2)$  在限定的范围内可以取任意值;

2) 当  $\theta_1 = \theta_2 = \pi/2$  时, 有:

$$\begin{bmatrix} -\sin\phi_1 & -\sin\phi_2 \\ \cos\phi_1 & \cos\phi_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\gamma_1 \\ -\xi \cos\gamma_2 \end{bmatrix} = 0 \quad (9)$$

当  $|\phi_1 - \phi_2| = \pi$  时, 有  $\cos\gamma_1 = -\xi \cos\gamma_2$ ,  $\xi < 0$ ; 当  $|\phi_1 - \phi_2| \neq \pi$  时, 有  $\gamma_1 = \gamma_2 = \pi/2$ , 此时两个 PACS 均退化为零矢量 (电场能量在  $xy$  平面内没有投影分量, 所以整个天线的输出功率为零)。

根据上面的讨论并结合等价关系原理, 可以得出下面的结论:

定理 1: 存在某一坐标系  $O\tilde{x}\tilde{y}\tilde{z}$  使得: 属于 TWER1 中的任何一种形式, 任意两个角度不同的信号所对应的 2 维 PACS 都可能是线性相关的; 当不共线的两个信号同时落入  $\tilde{x}\tilde{y}$  平面内且不沿垂直方向线极化时, 天线输出功率不为零, 对应的 PACS 线性无关, 否则会出现极化失配现象; 如果两个信号同时落入  $\tilde{x}\tilde{y}$  平面内且入射角度相同或相反时, 则无论信号极化状态如何其 PACS 必然线性相关。

由此也表明, 当只关心一维方位角且  $-90^\circ < \phi < 90^\circ$  时, 只要天线输出功率不为零, 可以利用单个 TWER1 型 2 维矢量天线完成角

度的唯一辨识, 但是极化参数仍然无法唯一确定。显然, 此时天线的输出矢量为  $\boldsymbol{y}_i = \mu(t)[- \sin\phi \cos\gamma, \cos\phi \cos\gamma]^T$ , 其中  $\mu(t)$  为信号复包络,  $\gamma \neq \pi/2$ 。显然  $\phi = \tan^{-1}[-\boldsymbol{y}_i(1)/\boldsymbol{y}_i(2)]$ 。图 2 和图 3 画出的是天线的极化—方位角域方向图, 指向方位角分别为  $0^\circ$  和  $30^\circ$ 。

#### 4.2 TWER2 情形

以  $\Xi = \{1,4\}$  为例研究 TWER2。

当两个信号角度相同时, 由于  $|\boldsymbol{\Theta}_{\Xi=\{1,4\}}^{\dim(\Xi)=2}(\phi, \theta)| = \sin^2\phi + \cos^2\phi \cos^2\theta$ , 根据引理 2, 只有在信号角度满足  $\phi = 0, \pi$ ,  $\theta = \pi/2$  时, 对应的 2 维 PACS 才有可能相关, 但此时又有  $\boldsymbol{F}_{\Xi=\{1,4\}}^{\dim(\Xi)=2}(\phi_1, \theta_1, \gamma_1, \eta_1) \equiv 0$ , 所以该类结构存在一个角度盲区, 此时入射场中不存在沿  $x$  轴方向的电场和磁场分量。

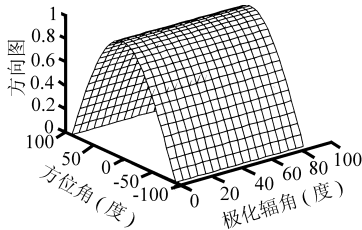


图 2  $\Xi = \{1,2\}$ ,  $\phi = 0^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ ,  $\gamma = 45^\circ$ ,  $\eta = 0^\circ$

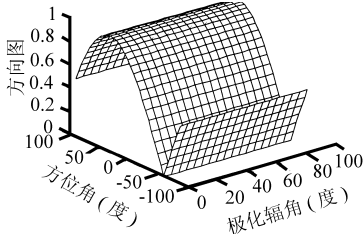


图 3  $\Xi = \{1,2\}$ ,  $\phi = 30^\circ$ ,  $\theta = 90^\circ$ ,  $\gamma = 45^\circ$ ,  $\eta = 0^\circ$

当信号角度不同且  $\phi_1 \neq 0, \pi$  或  $\theta_1 \neq \pi/2$  时, 有:

$$\mathbf{h}(\gamma_1, \eta_1) = \begin{bmatrix} -\sin \phi_1 & \cos \phi_1 \cos \theta_1 \\ -\cos \phi_1 \cos \theta_1 & -\sin \phi_1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -\sin \phi_2 & \cos \phi_2 \cos \theta_2 \\ -\cos \phi_2 \cos \theta_2 & -\sin \phi_2 \end{bmatrix} \mathbf{h}(\gamma_2, \eta_2) \quad (10)$$

由此得到下面的结论:

定理 2: 在某一坐标系  $O\tilde{x}\tilde{y}\tilde{z}$  下, 对于属于 TWER2 中的任何一种形式, 位于非角度盲区内的任意两个角度不同的信号所对应的 2 维 PACS 都有可能是相关的, 对应的极化状态可以是任意的。

#### 4.3 TWER3 情形

利用同样的方法可以得到关于 TWER3 中 PACS 的一些主要结论:

定理 3: 在某一坐标系  $O\tilde{x}\tilde{y}\tilde{z}$  下, 任意两个角度相同或不同的信号所对应的 2 维 PACS 都可能是相关的; 在某些角度区域内, PACS 相关的两个信号同时表现为线极化; 不存在角度盲区。

## 5 总结

本文研究了 2 维正交矢量天线 PACS 的秩-1 模糊问题, 理论分析表明任意两个角度相同或者不同的信号所对应的 PACS 都可能存在秩-1 模糊, 在没有任何先验知识的情况下, 仅使用单个 2 维矢量天线并不能完成角度和极化参数的唯一辨识, 必须使用多个空间散开的 2 维矢量天线组成具有空域相干结构的阵列, 并从空间相位信息中恢复出角度信息, 进一步根据极化—角度相干结构提取极化参数信息, 例如文献[6~8]中进行的相关工作。

#### 参考文献:

- [1] Ferrara E R, Parks T M. Direction finding with an array of antennas having diverse polarizations [J]. *IEEE Trans.*, 1983, AP-31(2): 231-236.
- [2] Compton R T. The tripole antenna: an adaptive array with full polarization flexibility [J]. *IEEE Trans.*, 1981, AP-29(6): 944-952.
- [3] Nehorai A, Paldi E. Vector sensor array processing for electromagnetic source localization [J]. *IEEE Trans.*, 1994, SP-42(2): 376-398.
- [4] Tan Kah-Chye, Ho Kwok-Chiang, Nehorai A. Linear independence of steering vectors of an electromagnetic vector sensor [J]. *IEEE Trans.*, 1996, SP-44(12): 3099-3107.
- [5] Deschamps G A. Geometrical representation of the polarization of a plane electromagnetic wave [J]. *Proc. IRE*, 1951-05, 39: 540-544.
- [6] Li Jian, Compton R T. Angle and polarization estimation using ESPRIT with a polarization sensitive array [J]. *IEEE Trans.*, 1991, AP-39(9): 1376-1383.
- [7] 王建英, 陈天麒. 用四阶累积量实现频率、二维到达角和极化的联合估计 [J]. *中国科学*, 2000, 30(5): 424-429.
- [8] 王建英, 陈天麒. 频率、二维到达角和极化联合估计 [J]. *电子学报*, 1999, 27(11): 74-76.

作者简介: 徐友根 (1975-), 北京理工大学电子工程系 2001 届博士研究生, 研究兴趣为矢量传感器阵列信号处理及其应用; 刘志文 (1962-), 北京理工大学电子工程系教授, 博士生导师, 研究兴趣为阵列信号处理及其应用, 雷达成像技术, 图像处理, 文本识别技术研究等。

## Rank-1 ambiguity of steering vector of an array with two co-localized and orthogonally oriented sensors

XU You-gen, LIU Zhi-wen, WANG Si-ping

(Dept. of Electronic Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

**Abstract:** In the paper, we investigate the rank-1 ambiguity problem involved in the polarization-angular coherence structure (PACS) of a two-dimensional co-localized vector antenna whose elements are orthogonally oriented. We define two kinds of equivalence relations under which several typical and easy-analyzed 2-D PACSs are studied. The present analyses also show that with only one 2-D vector antenna DOA and polarization of even one signal can not be uniquely determined.

**Key words:** co-localized sensors; polarization sensitive; rank-1 ambiguity

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深, 让许多工程师望而却步, 然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上, 我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识, 借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养, 推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程, 化繁为简, 直观易学, 可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛, 让天线设计不再难...



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书, 课程从基础讲起, 内容由浅入深, 理论介绍和实际操作讲解相结合, 全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程, 可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计, 让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程, 由经验丰富的专家授课, 旨在帮助您从零开始, 全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程, 边操作边讲解, 直观易学; 购买套装同时赠送 3 个月在线答疑, 帮您解答学习中遇到的问题, 让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程, 培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合, 全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作, 同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习, 可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



## 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com)),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果,又能免除您舟车劳顿的辛苦,学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲,结合实际工程案例,直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>