



# 选择隐形天线的阵列

频率选择表面用作 RF 滤波器，可降低天线的雷达散射截面，它由按某种阵式排列的几何对象组成。存在成千上万种的可能性，实际测试每一种可能性将需要大量的时间。但是借助于仿真，我们只需几分钟就可以找到期望的候选方案。

---

作者：FRANCESCA DE VITA、SIMONE DI MARCO、FABIO COSTA 和 PAOLO TURCHI (ALTRAN ITALY)

**近** 30 年来，Altran Group 一直是高科  
技工程创新与咨询领域的全球领先企  
业，为航空航天、汽车、能源、铁路、金融、  
医疗和电信等部门的主导企业提供从战略规划  
到制造的服务，涵盖项目开发的每一个阶段。

## 天线成为薄弱点

我们团队的主要工作集中在航空航天和国防工  
业，我们开展了与天线放置和雷达散射截面预  
测与控制研究相关的项目。其中之一是实现国  
防技术中近年来发展的最大飞跃之一——研

发能够躲避雷达探测的隐形飞机和舰船。他们  
一般需要通过整合几种技术来实现，包括改变  
目标表面的形状，使能量反射远离探测源，以  
及采用吸收雷达波的材料。但是，如果舰船或  
飞机的天线需要正常工作，就不能完全掩蔽  
它——这也使其成为剩余的具有很大雷达散射  
截面 (RCS) 的组件之一，而这基本上会破坏整  
个系统对于雷达的隐形性。

RCS 取决于入射波的极化方式和频率。当电  
磁波入射到某个目标上时，目标中会产生感应  
电流，该目标的二次辐射会产生散射波。散射

场的一部分会被直接反射回到入射波源，这就  
是雷达所基于的原理。峰值反射波与标准天  
线增益及其峰值有效表面积有关。天线设计  
师通常要最大程度提高天线增益，但为了减  
小 RCS，他们必须做与他们通常所做的相反的  
事，尤其是降低增益。

解决该问题的一种方法是使用频率选择表  
面(FSS)。它由在基片上按某种阵式排列的型孔  
或型面组成，实质上构成一个带通滤波器。  
在预定的频率范围（例如，无线电操作员发射  
或接收的范围），天线正常工作；在其他频率

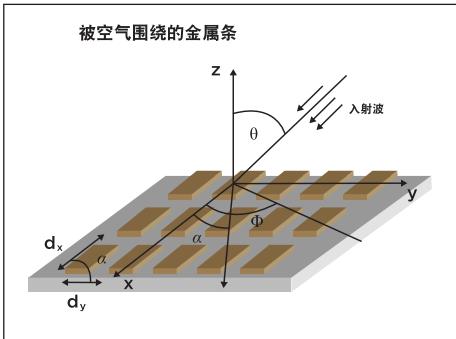


图 1：由一系列金属条组成的频率选择表面 (FSS) 的示例。

下，FSS会吸收而不是散射入射波。天线一般被安置在被称为天线罩的保护外壳中；对于飞机而言，通常位于鼻翼。如果该外壳由这种 FSS 制成，则除工作频率之外的其他所有频率下，RCS 会显著减小。

### 几何阵式用作滤波器

频率选择表面通常由任意几何形状的金属式样周期性排列而成。它们类似于金属网内的网片空缺结构（见图1）。FSS的性能与其形状、厚度、基片选择和各个单元之间的定相有关。我们主要关注某些带宽的物理配置和谐振频率。COMSOL Multiphysics 已经成为了这些研究中的一个重要工具。

“用户可以尝试任意数量的形状，这突显了该软件帮助我们高效寻找良好解决方案的能力。”

如图1所示，FSS由一系列几何对象组成。FSS从波长角度来说属于大电尺寸，并具有很多几何对象，这使仿真其整个表面变得极其繁琐，从计算能力和时间的角度来说代价高昂。幸运的是，COMSOL Multiphysics 在周期性边界条件 (PBC) 功能中为这种问题提供了非常方便的解决方案。它允许仿真单个单元体，

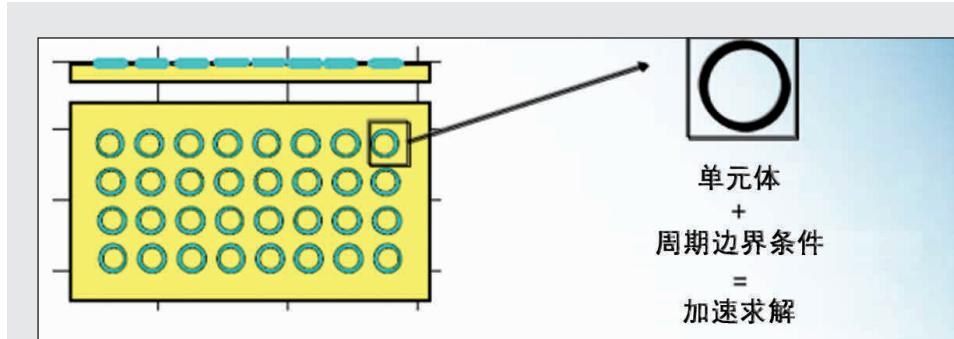


图 2：COMSOL 的 PBC 功能允许仅仿真一个单元体，可以显著加快 FSS 研究的求解速度。

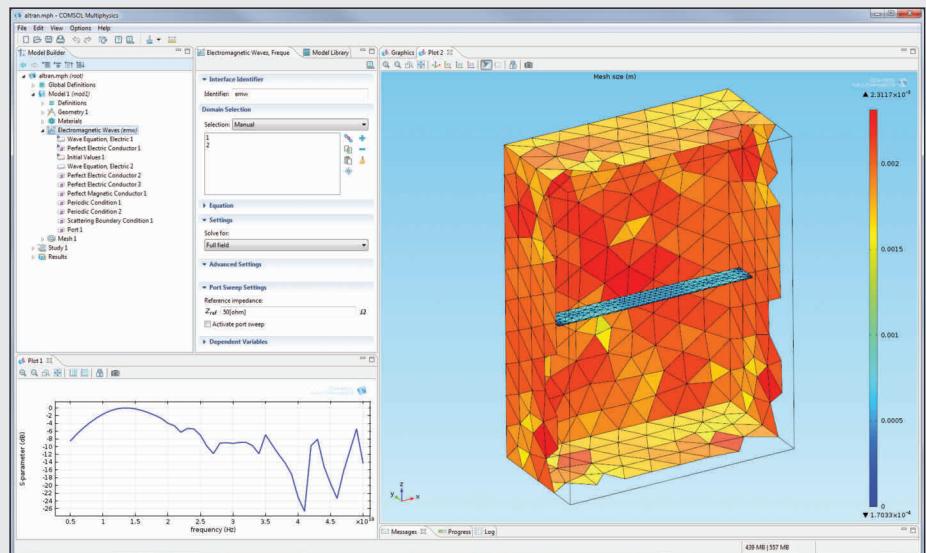


图 3：基于金属条阵列的简单示例 FSS，以及它经过网格剖分的几何（右）和频率响应曲线（左下）。后者显示了以 dB 为单位的 S11 参数，其量级为  $10^{10}$ ，谐振频率约为 40 GHz。凹点对应于最大发射功率。

因而是一个耗时较少的过程（见图 2）。该功能满足电场和磁场的连续性，所以我们可以得

到如同仿真整个阵列对象的等效结果。

对于使用 PBC 可能节省的时间和内存，同时保持研究给定几何行为所需的精确度，我们印象非常深刻。对于无介质基片的简单结构，我们估计它可以将仿真时间缩短到原来的 1/100；对于非常大的电气结构，甚至可能达到 1/1000 或更低。

图 3（正上方）显示了由被空气围绕的简单金属条组成的示例 FSS。为其中一个金属条创建了仿真网格，从频率图（右下）中可以看到它具有处于 40 GHz 区域的通带。

为了验证我们的仿真，我们先分析文献中一个已经处理过的案例，并在 COMSOL Multiphysics 中复现已知的结果，目的是优化仿真过程。之后我们借助这个经过验证的模型，建立其他类型的FSS模型，同时改变几何形状和材料并评估这些变化对FSS性能的影响。



Altran 的仿真团队，从左到右：Fabio Costa、Simone Di Marco、Francesca De Vita 和 Paolo Turchi。

我们使用该软件研究了一系列简单形状和尺寸下的频率响应，以及它们在表面上的分布。此外，通过使用两种具有互补行为的结构还可以使设计变得更复杂。举例来说，我们可以创建具有多种谐振频率的设计。用户可以尝试任意数量的形状，这突显了该软件帮助我们高效寻找良好解决方案的能力。另一种选择是实际制作用于FSS的各种形状并对它们进行物理测试，这将花费大量的时间和费用。通过建模，我们可以在几分钟内确定某种阵式是否值得细究。

我们正在扩展我们的模型，使之考虑介质基片的影响。此外，我们希望尽快开始开发优化算法，以帮助处理面临最大单元尺寸之类制约因素的情形。

**免费订阅！**  
如果您从事仿真驱动的设计，您需要立即注册吧！  
[www.deskeng.com/subscribe](http://www.deskeng.com/subscribe)

DE  
Desktop Engineering®  
TECHNOLOGY FOR DESIGN ENGINEERING

May 2012 / deskeng.com  
Optimize Designs for Analysis P.42  
COMSOL Review P.30

SPECIAL SECTION:  
Test and Measurement

Simulation helps engineers reach new heights. P.26

Composites Take Off

TESTING HEV POWERTRAINS P.16  
RE-USING CAD MODELS P.37  
PRINT & SCAN VIA THE CLOUD P.40

DE  
Desktop Engineering®  
TECHNOLOGY FOR DESIGN ENGINEERING

December 2011 / deskeng.com  
Super Truck Modeled in SolidWorks P.46  
Altair Engineers a Better Bus P.50

SPECIAL SECTION:  
Visionary Voices

Nanotech Simulation  
Engineering on the molecular level relies on new modeling techniques P.14

CPU & GPU UNITE P.18  
NEW RAPID TECH APPLICATIONS P.22  
REVIEW: BUNKSPEED PRO SUITE 2012 P.42

DE  
Desktop Engineering®  
TECHNOLOGY FOR DESIGN ENGINEERING

February 2012 / deskeng.com  
Simulation Data Management P.37  
PLM in the Cloud P.26

Engineering the Mars Rover  
How NASA engineers designed and tested the Mars Science Laboratory before blasting it off to the red planet. P.28

THE NEW MULTICORE P.32  
3D SCANNING & PRINTING P.36  
DESIGN BOTTLENECKS P.39

Mars Rover image credit: NASA/JPL-Caltech