

阵列天线相位加权和测速精度影响分析

刘云飞 王鹏毅

(中国电子科技集团公司第五十四研究所·河北石家庄·050081)

摘要 主要针对阵列天线的相位加权对测速精度的影响进行了分析, 比较了同时多通道加权更新和分时串行加权更新两种方法的精度, 提出了串行分时相位加权更新的工程实现方法, 可以改善对测速环路的影响。

关键词 阵列信号; 相位; 加权; 测速精度

1 概述

随着技术的发展, 阵列天线的应用越来越多, 目前在相控阵雷达和移动通信的智能天线等方面都得到了较好的应用。随着航天技术的发展, 国外多星测控的应用发展很快, 其中, 阵列天线的测速性能是航天测控关心的主要指标之一。所以研究航天测控阵列天线的测速性能影响是非常有意义的。

2 阵列天线的基本原理

下面以接收系统为例, 说明阵列天线的简要工作原理。如图 1 所示, 阵列天线信号的处理可以将各阵元的接收通道信号进行加权和移相等处理, 形成所需波束。具体是: 阵列天线接收目标的信息后, 实时完成 N 个接收通道幅相权值计算和信号合成, 输出多个波束信号进行处理。

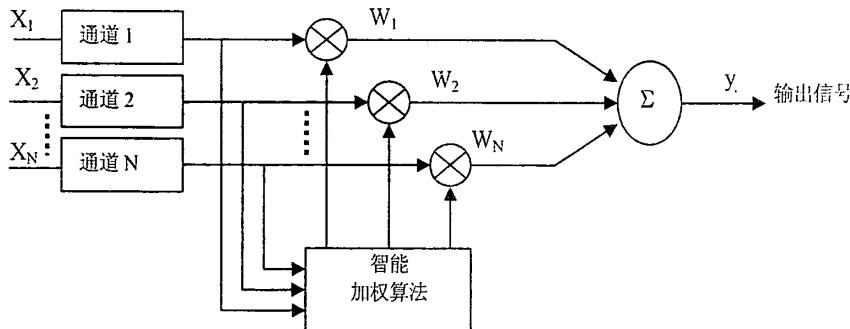


图 1 阵列天线基本原理

根据参考文献[1], 合成信号的时延随机误差 $\delta\tau$ 和单个通道的随机时延波动误差 $\delta\tau_i$ 的关系为

$$\delta\tau = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta\tau_i)^2}{N}}$$

其中 N 为阵列通道数量。同理, 折算到相位误差上, 合成信号的相位随机误差 $\delta\varphi$ 和单个通道的随机相位波动误差 $\delta\varphi_i$ 的关系为

$$\delta\varphi = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\delta\varphi_i)^2}{N}}$$

对应本阵列天线系统，由于阵列波束在跟踪空间目标电扫描时，各通道相位必然存在波动，这种波动合成后会引起合成信号的相位波动，从而引起多普勒频率的变化。下面分析这种影响。

3 阵列扫描相位波动对测速影响

假定阵列权值每秒钟更新 5 次，每次单通道最大相位波动误差为 2° ，这样单通道相位的每秒最大波动为 10° 。下面依此参数来计算其对测速影响。

因为 $\varphi_i = 10^\circ$ ，所以代入上面公式，得到

$$\delta\varphi = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (\delta\varphi_i)^2}}{N} = 0.59^\circ$$

其中 取通道数 N 为 300 左右。

即合成信号的相位每秒钟最大变化 0.59° 。这样

$$\dot{\varphi}_{\max} = \left| \frac{d\varphi}{dt} \right|_{\max} = 0.59^\circ/s$$

接收信号以典型的余弦波为例，接收信号形式为

$$r(t) = \cos(2\pi f t + \varphi)$$

显然， φ 如果随时间变化，将会引起附加的多普勒频率变化。由相位变化和角频率的关系，容易得到该部分附加的多普勒频率变化为

$$\delta f = \frac{1}{2\pi} \frac{d\varphi}{dt}$$

即

$$|\delta f|_{\max} = \frac{1}{2\pi} \left| \frac{d\varphi}{dt} \right|_{\max} = 0.0016 \text{Hz}$$

对 S 频段典型应用，波长取 0.133m ，则单向测速误差影响为

$$\delta v \leq \delta f \cdot \lambda = 0.0016 \times 0.133 = 2.1 \times 10^{-4} \text{m/s}$$

可见，阵列电扫描对测速精度影响可以忽略（传统测控系统测速精度为 2cm/s ）。

4 阵列相位扫描的工程优化

如果在同一时刻，对阵列天线所有通道的相位进行控制，就必然会引起接收信号的相位跳变，严重时会影响对接收信号的跟踪。例如，在上面例子中，相位波动误差为 2° ，如果每秒更新 5 次，每次的相位阶跃跳变的统计值可能达到 $0.59/5=0.12^\circ$ ，极端情况下每次相位阶跃可能有 2° 左右。这种情况下会对接收信号质量有影响，尤其对信号的相位噪声会有影响。

改善方法是采用串行方法逐一对每个阵元通道的相位进行更新控制，这样每次控制的误差量虽然仍是 2° 左右，但由于每次仅改变一路通道的相位，这样合成信号的相位阶跃最大为

$$\delta\varphi = \frac{\varphi_s}{N-1} = 0.0067^\circ$$

其中相位控制误差 $\varphi_s = 2^\circ$ ，通道数量 $N=300$ 。

可见通过改进控制方法，可以大幅度减小相位阶跃，从而可以改善接收信号质量，从而改善环路跟踪性能，顺利完成测速功能。

5 结 论

本文分析了阵列天线相位加权对测控系统的测速精度的影响，通过分析表明，多通道阵列天线对测速精度影响较小，但合成信号存在相位突变，有可能影响测速环路的跟踪，通过串行分时加权的方法可以减小对测速环路的影响。

参考文献

- 蔚保国, 王鹏毅, 姚奇松. 数字波束天线的测量误差分析. 2005 年航天测控技术研讨会论文集, 2005.11: 317-321.
- Robert J. Mailloux. Phased Array Antenna Handbook. Artech House, Boston|London, 1994.
- John D. Kraus, Ronald J. Marhefka. Antennas: For All Applications(Third Edition). McGraw-Hill, 2002.
- Borysenko A., Prokhorenko V. Phased-arrays Effect in Antennas with Transient Excitation. 2000 IEEE International Conference on Phased Array Systems and Technology, 2000: 469-472.
- 张光义. 相控阵雷达系统. 北京: 国防工业出版社, 1994.

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)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)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力于专注于微波、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),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>