

相控阵天线数据率的自适应控制技术

未连保，单福悦，刘博，张雅坤

(中国人民解放军 63778 部队，黑龙江佳木斯 154000)

摘要 根据相控阵天线能够按照实际需求选择波束驻留时间的特点，提出了按照某种规定的最优准则对目标进行自适应采样的数据率控制技术。利用变采样间隔滤波技术，把数据率分成若干档，根据目标的运动轨迹，选择不同档次的数据率。对机动目标的采样率高于直线飞行目标的采样率，通过数据采样率提升，可以避免目标丢失，并能准确预测下一时刻的位置，实现目标的精确跟踪。

关键词 相控阵天线；变采样；数据率；自适应控制

中图分类号 TN958 文献标识码 A 文章编号 1003-3106(2009)12-0034-03

Adaptive Data Rate Control of Phased Array Radar

WEI Lian-bao, SHAN Fu-yue, LIU Bo, ZHANG Ya-kun

(The Unit 63778 of PLA, Jiamusi Heilongjiang 154000, China)

Abstract According to the Dwell time selectable on demand in phased array radar system, this paper presents an adaptive data rate control method by adaptive sampling to targets according to an optimal criteria specified. With variable interval sampling filter, the data rates can be graded and adjusted to different levels. A certain level of data rate can be chosen according to the track of a maneuvering target in order to control data rate adaptively. The sampling rate for maneuvering target is higher than the one for linear flight target. Through the increment of the data sampling rate, the target missing can be avoided and the position of the target at the next moment can be predicted precisely, which improves the tracking accuracy.

Key words phased array radar; variable sampling; data rate; adaptive control

0 引言

相控阵天线是一种多功能、高性能天线，通过控制阵列天线中各个单元的相位得到所需的方位图和波束指向，能够同时跟踪多个目标，在有源多目标跟踪的计算机控制方法下，利用的航迹的不断更新来控制天线波束，使天线波束指向下次观测时刻的预测位置，而下一次观测时刻也由计算机算出。在相控阵雷达系统中，可以按照特定的要求选择驻留时间（就是波束照射某目标的时间），驻留时间的增加预示着雷达数据量的增加。

相控阵天线具有短时间内在任意方向上安排波束的能力，使雷达能同时跟踪多个目标，它的这种波束控制能力，使得它能把搜索功能和跟踪功能分开，在相控阵雷达系统中，可以按照某种规定的最优准则对目标航迹进行采样。这样，雷达数据不再限于采用固定的数据率，可以应用变采样间隔滤波算法，对重点目标或者重点区域，增加驻留时间。全系统数据率的提高意味着跟踪目标的减少；数据率的降低，信息量的不足会使目标丢失。所以，如果对机动目标的采样率高于直线飞行的目标，采用自适应采样方法，可以使系统性能达到最佳。

1 变采样间隔滤波器及算法

采用变采样间隔滤波算法，通过平滑和预测能降低跟踪滤波器的误差。即使由于种种原因有某种信息量严重缺乏，如航迹初始条件不满足，也可以在很短时间内获得一个新的点迹。因此，航迹起始时间便可大大缩短。更重要的是在点迹丢失与雷达重复观测的时间之间，不需要明显地增大相关窗口尺寸，这样就限制了所需区域内出现虚假点迹的数目。

1.1 变采样间隔滤波器

相控阵雷达跟踪目标过程中常采用常增益的 $\alpha-\beta$ 滤波器。这个滤波器由下述一组常用的递推滤波方程所描述：

$$\begin{aligned}x_p(n) &= x_s(n-1) + v_s(n-1)T(n-1); \\x_s(n) &= x_p(n) + \alpha[x_m(n) - x_p(n)]; \\v_s(n) &= v_s(n-1) + \frac{\beta}{T(n-1)}[x_m(n) - x_p(n)].\end{aligned}$$

式中， $x_m(n)$ 为相应于采样时刻 $t(n)$ 量测位置； $x_p(n)$ 为相应的预测位置； $x_s(n)$ 为相应的平滑位置； $v_s(n)$ 为相应的平滑速度； α, β 为位置和速度滤

收稿日期：2009-09-06

波参数; $T(n)$ 为采样间隔, 即 $T(n) = t(n+1) - t(n)$ 。

采样数据间隔假定是分段均匀的。上面 3 个方程描述了某一坐标的参数关系, 而对其他坐标也是相同的。令

$$e(n) = x_m(n) + x_p(n)。$$

在常采样间隔 T 的滤波器的传递函数中, 位置传递函数是一个低通滤波器, 而速度传递函数是一个高通滤波器。但是, 当变采样间隔时, 就不能用传递函数的工具了, 这就必须用实时仿真方法来观察滤波器的行为。

为了减少噪声效应, 可以把 $e(n)$ 通过一个 α 滤波器, 即

$$e(n) = e_s(n-1) + \alpha_R [e(n) - e_s(n-1)]。$$

1.2 变采样间隔算法

由于常加速度输入 α 所引起的预测位置的稳态滞后误差对具有定常采样间隔 T 的 $\alpha - \beta$ 滤波器来说是 E , 且 $E = \alpha T^2 / \beta$ 。那么, 预测位置误差正比于加速度和采样间隔的平方。一个机动目标的加速度导致跟踪滤波器残差的增加。因此, 如果要保持残差为一常量, 采样间隔应以反比于加速度的平方根的规律来减少。

在实时估计时, 常常用归一化了的残差 $e_0(n)$ 。这里,

$$e_0(n) = \frac{|e(n)|}{\sigma}。$$

式中, σ 为测量噪声的标准偏差。于是得到 $T(n)$, 还可以给它以最大值和最小值限制,

$$T(n) = \frac{T(n-1)}{\sqrt{e_0(n)}}。$$

变采样间隔算法的数学模型如图 1 所示, 从图 1 中可以看出, 这个算法的输出给出了下一个对连续量 $m(t)$ 要采样的时刻。

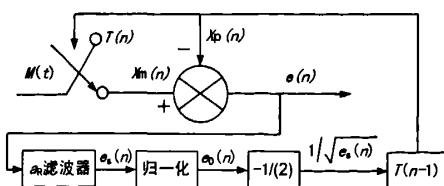


图 1 变采样间隔算法

2 仿真结果

根据机动目标的运动情况, 进行如下仿真, 所选择的目标航迹由 3 个部分组成, 速度是 600 节:

① 平行于 X 轴的非机动部分, 从 $x = 70$ n mile 到 $x = 50$ n mile;

② 一个加速度 $3g$, 90° 转变, 始于 $x = 50$ n mile 处, 结束于 48.3 n mile 处, 时间开始于第 10 s, 结束于 30 s;

③ 一个在 $x = 48.3$ n mile 处平行于 Y 轴延续到 $y = 0$ n mile 的部分;

为了验证自适应变采样间隔滤波算法所达到的效果。设定以下条件: 变采样间隔限制最大是 1 s, 采样 1 次/s; 最小是 0.25 s, 采样 4 次/s。 X 和 Y 方向上的残差 (e_x 和 e_y) 和采样间隔 (T) 的变化结果如下:

e_x 或 $e_y < \sigma$ 时, 取 $T = 1$ s; e_x 或 $e_y < 4\sigma$ 时, 取 $T = 0.5$ s;

e_x 或 $e_y < 16\sigma$ 时, 取 $T = 0.33$ s; e_x 或 $e_y < 64\sigma$ 时, 取 $T = 0.25$ s;

不同的采样速率计算机仿真结果如图 2 所示。

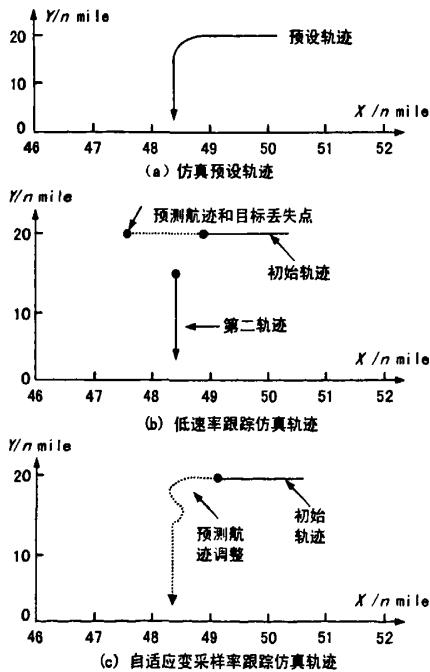


图 2 数据采样率的改变跟踪仿真结果

图 2(a) 为预设的目标航迹图, 假定目标沿平行于 X 轴匀速航行, 在 $x = 50$ n mile 处开始转弯, 然后沿平行于 Y 轴航行; 图 2(b) 为采用每秒一次的采样速率跟踪目标, 并预测下一时刻的航迹, 由于采样速率较低, 而目标速度过大, 在下一个预测点没有找到目标, 结果目标丢失, 而在下一个时刻发现第二条航迹; 图 2(c) 为自适应变采样率跟踪仿真轨迹, 并且采用滤波平滑残差, 这里取标准偏差取 0.1 n mile、 $\alpha_R = 0.9$ 时、 $\alpha = 0.5$ 、 $\beta = 0.167$ 、 $\delta = 0.1$ n mile、机动

加速度为 $3g$ 。可以看出：由于目标的转弯，计算机预测的航迹会略滞后实际轨迹某个位置，并有调整震荡过程，直到与实际轨迹完全重合。

图3为此次仿真图2(c)过程所采用的不同时间段内，计算机自适应采用的采样率。可以看出：目标正常行驶时，只要采用1次/s的采样率就能够完成目标的跟踪，而当目标转弯、或者加速时，其采样率迅速提升可以避免目标丢失，并能准确预测下一时刻的位置。这里假设了最高采样率为4次/s，所以才有图2的预测滞后现象。

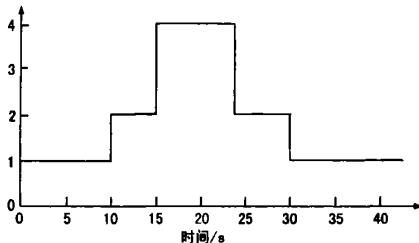


图3 变采样间隔滤波器的每秒采样次数

仿真结果验证了自适应变采样时间间隔滤波的有效性，变采样滤波算法能够减少由于目标机动所产生的动态误差，具有很好的滤波效果。并且能够

(上接第30页)

2 着陆引导技术分析

传统的飞行器着陆引导，有仪表着陆引导技术、微波着陆引导技术、二次雷达引导技术等，仪表着陆引导精度较低，微波着陆引导系统造价较高，受技术体制的限制，它们只能同时引导一架飞行器着陆。二次雷达引导技术虽然能同时引导多架飞行器等待或着陆，但其引导精度也不能达到自动着陆的要求(3 m左右)。相比差分卫星导航(DGPS)和局域导航的组合引导技术，则引导精度较高，从仿真和实测数据表明可达3~5 m的引导精度，其引导数据频率也可达20 Hz以上，完全满足无人机自动着陆或控制着陆的要求。

由于差分卫星导航和局域导航的组合引导的信号是广播信号，飞行器可以自行进行定位解算，适合多架飞行器的等待或着陆引导。不仅适合单架无人机的着陆，也适合于多架无人机的起飞/降落，为未来的无人战斗机集群的作战提供了有力的保证。局域导航着陆引导技术，需要的高精度时间同步技术和高精度测距技术，是需要进一步研究的课题。

根据目标的运动情况，变换采样间隔，对机动目标的采样率高于直线飞行的目标，而当目标机动过后，较长的采样间隔又能自动的恢复，实现了数据率的自适应控制。

3 结束语

本文采用变采样时间间隔滤波算法，在相控阵天线跟踪时，不再限于采用固定的数据率，而是按照最准则对目标航迹进行采样，并且根据目标运动轨迹，对数据采样速率进行自适应控制，能够减少机动目标的动态误差，提高相控阵雷达的跟踪精度，非常适用于相控阵天线的跟踪。

参考文献

- [1] 蔡庆宇,薛毅.相控阵雷达数据处理及仿真技术[M].北京:电子工业出版社,1997.
- [2] 张伯彦,蔡庆宇.舰载相控阵雷达跟综波束的计算机控制[J].电子学报,1996(12):28~31.
- [3] 周宏仁.机动目标跟踪[M].北京:国防工业出版社,1991.

作者简介

朱连保 男,(1979-),中国人民解放军63778部队工程师。主要研究方向:空间信息技术。

3 结束语

本文提出的组合着陆引导技术，可提高无人机系统的作战效能、减少起飞/着陆事故的发生。从国内外无人机着陆引导技术来看，其涉及的技术领域很多，包括无线电测量定位技术、卫星定位技术、雷达引导技术和视觉测量定位技术等。其应用范围包括固定翼无人机和无人直升机系统。因此，对无人机着陆引导技术的研究和开发，有着广泛的应用前景。

参考文献

- [1] WILLIAMS K W, PH D. A Summary of Unmanned Aircraft Accident/Incident Data: Human Factors Implications Vehicles [J]. In Proc. of the 9th International Conference on the Principles of Knowledge Representation and Reasoning, 2004(6):731~732.
- [2] DOHERTY P, HASLUM P, HEINTZ F, et al. A Distributed Architecture for Autonomous Unmanned Aerial Vehicle Experimentation [J]. In Proc. of the 7th International Symposium on Distributed Autonomous Robotic Systems, 2004(6):221~230.

作者简介

杨亮 男,(1968-),哈尔滨工业大学硕士研究生。主要研究方向:航空测控、信号处理。

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>