

基于多级时间窗的综合优先级雷达任务调度算法

鲁 金 畅 言 陈 春

(西安电子工程研究所 西安 710100)

摘 要: 针对相控阵雷达时间资源分配问题,提出一种基于多级时间窗的综合优先级雷达任务调度算法。该算法综合考虑静态任务属性和动态“时间窗”权值两个参数,以保证低优先级的任务随着时间的增加而提高其综合优先级,从而提高其被调度执行的机会。仿真结果表明,该算法能保证系统所有任务都能被执行;且随着负载的增加,各个任务的数据率会整体下降,符合相控阵雷达多功能一体化的需求。

关键词: 相控阵雷达; 任务调度; 多级时间窗

中图分类号: TN95

文献标志码: A

文章编号: 1008-8652(2021)03-039-04

引用格式: 鲁金,畅言,陈春. 基于多级时间窗的综合优先级雷达任务调度算法[J]. 火控雷达技术, 2021, 50(3): 39-41+52.

DOI: 10.19472/j.cnki.1008-8652.2021.03.009

A Radar Task Scheduling Algorithm Featuring Comprehensive Priority Based on Multi-Level Time Window

LU Jin, CHANG Yan, CHEN Chun

(Xi'an Electronic Engineering Research Institute, Xi'an 710100)

Abstract: To solve the time resource allocation problem of phased array radar, a radar task scheduling algorithm featuring comprehensive priority based on multi-level time window is proposed. In the proposed algorithm, both static task attribute and dynamic time window weight are considered to ensure that the comprehensive priority of a task with low priority increases with time, so that the probability of the task being executed is improved. The simulation results show that the proposed algorithm can ensure that all tasks of the system can be executed. In addition, the data rate of each task will decrease as a whole as the load increases. The algorithm can satisfy the multi-functional integration requirement of phased array radar.

Keywords: phased array radar; task scheduling; multi-level time window

0 引言

现代相控阵雷达往往集搜索、确认、跟踪、识别等多种功能于一体。而多功能一体化势必导致各种任务同时竞争雷达的时间、空间和能量等资源。这时就需要合理地安排各类任务的执行顺序,最优地利用雷达的各类资源,以满足作战任务的需求。这

是对雷达多任务的调度能力提出了新的需求。

传统的调度算法^[1-4]是基于任务工作方式的优先级调度算法,即按工作方式进行优先级排序,重要的任务(如确认任务、精确跟踪任务等)优先被执行;次要的任务(如气象任务、自检任务)随后被执行。该类算法着重考虑了任务重要性原则,但分隔了同一任务中驻留请求的相关性,在高负载情况下会导致低优先级一直不能被调度;文献[5]将 EDF

收稿日期: 2021-05-29

作者简介: 鲁金(1988-),男,工程师。研究方向雷达总体技术。

(Earlier Deadline First) 调度算法引入到雷达任务调度中,该算法假设每个任务都有一个截止时间,对于截止期最邻近的任务设置最高的优先级,进行优先调度,若过了这个截止时间还未被执行,则丢弃。文献[6]从理论上证明了该算法从截止期错失率(MTR, Missed Deadline Ratio)的角度是最优的。但该算法仅考虑了任务紧迫性,而未考虑任务的重要性。MEDF(Modified Earlier Deadline First)^[7]是EDF的推广模型,它将EDF和事件优先级相结合,综合考虑了任务的时间属性和事件属性,确保有些紧迫性的实时任务(如确认任务)未必是截止期最早的,也可以被优先调度。文献[8]在MEDF的基础上,提出了基于时间窗的任务调度算法,该算法允许任务的实际执行时间可以在期望执行时间的时间窗内移动,这大大提高了任务调度的成功率。

以上基于EDF的雷达任务调度算法本质上均属于硬实时调度算法^[9],即雷达任务的执行必须在某个时间点或者时间窗口内执行,过了这个时间点

或者窗口期则该任务就被丢弃。而雷达在实际应用中,尤其是在定向监视模式下,当负载较轻时,可以提前于窗口期执行,以提高任务的数据率;当负载较重时,也可以在窗口期后执行,此时虽然降低了任务数据率,但提高了任务的容量。基于此,本文提出了一种基于“多级时间窗的综合优先级”的调度算法。

1 调度模型

综合优先级由静态事件优先级和动态自适应优先级两部分叠加组成。即

$$p_i = p_i^e + p_i^d \quad (1)$$

其中 p_i^e 为静态事件优先级, p_i^d 为自适应动态优先级。

静态事件优先级 p_i^e 一般根据不同的任务属性设置不同的事件优先级,其典型值如表1所示。

表1 各类任务事件优先级典型值

| 任务类型 | 确认 | 跟踪 | 识别 | 搜索 | 气象探测 | 自检 |
|-------|----|----|----|----|------|----|
| 事件优先级 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |

动态自适应优先级 p_i^d 是基于“时间窗”的。区别于EDF模型中的“时间窗”(过了时间窗后沿即截止),本模型中假设任务过了时间窗后沿还未被执行时,该任务需要被执行的紧迫性就更强烈。通过增加它的动态权值来提高它的综合优先级,以促使它被优先执行。同时为了提高系统的调度分辨力,采用“多级时间窗”(如图1所示),从而增加调度性能。

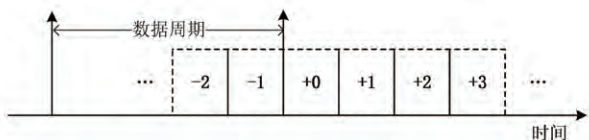


图1 “多级时间窗”动态权值

动态自适应优先级 p_i^d 可由式(2)表示

$$p_i^d = \xi_i \cdot (\tau_i - T_i) / T_i \quad (2)$$

其中 τ_i 为第 i 个任务距离上一次被执行经历的时间; T_i 为第 i 个任务指标要求的数据周期; ξ_i 是一个与“时间窗”相关的因子,表征该任务需要被执行的紧迫程度。当 ξ_i 是一个常数时,表征该任务需要被执行的紧迫性与时间是一个线性关系, ξ_i 也可以是

τ_i 表达式,如式(3)所示。

$$\xi_i = e^{k \cdot \tau_i} \quad (3)$$

此时,当 $k > 0$ 时,任务被执行紧迫性随时间的增加而指数级增加。

2 仿真分析

仿真选取两种工作方式,即搜索任务和跟踪任务,详细参数见表2所示。在仿真中,对于每个目标的跟踪时刻假定是从仿真起始时刻到该目标第一个跟踪采样周期随机选取,而跟踪目标的撤销时刻是仿真结束时刻。

表2 仿真参数

| 项目 | 数值 |
|----------|------------|
| 扫描范围 | 0 ~ 90° |
| 搜索波位个数 | 45(波束步长2°) |
| 搜索波位驻留时间 | 40ms |
| 搜索数据周期 | 5s |
| 跟踪波束驻留时间 | 20ms |
| 跟踪数据周期 | 1s |

仿真结果如图2所示,其中图2(a)分别给出了传统事件优先级算法(HPF)、最早截止期优先算法(EDF)、基于时间窗最早截止期优先算法(FEDF),以及本文提出的基于多级时间窗综合优先级算法(MF)的截止期错失率(未被调度成功的任务个数与参加调度的任务总数之比)与目标跟踪个数的曲线关系。从图2(a)中可以看出:

1) 若用截止期错失率衡量调度算法好坏的性能指标,则 $HPF < EDF < FEDF < MF$;

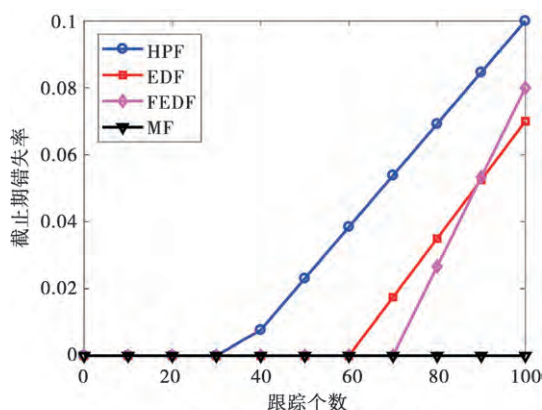
2) 基于多级时间窗的综合优先级算法(MF)的截止期错失率恒为0,表明所有任务均被调度。

而从图2(b)中搜索任务与跟踪任务随目标个数的变化曲线可以看出:

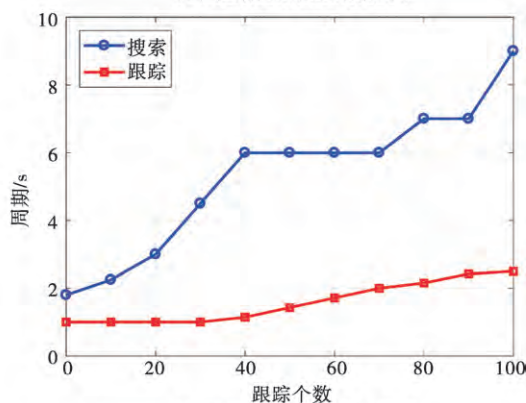
1) 低负载情况下,跟踪任务严格等于指标规定的的数据率,而搜索任务数据率随着负载的增加而变小(周期变大);

2) 随着负载的增加,搜索任务数据率增加至特定值后保持不变,而跟踪数据率开始下降(等效于事件优先级算法的优先级反转);

3) 再增加负载,搜索任务和跟踪任务的数据率同时下降,且搜索任务下降的速率大于跟踪任务。



(a) 搜索任务截止期错失率



(b) 搜索与跟踪任务数据率

图2 任务截止期错失率和任务数据率随跟踪目标数的变化曲线

3 结束语

高效的任务调度算法是实现相控阵雷达多功能一体化的基础。本文在传统相控阵雷达任务调度算法的基础上,提出一种新的基于多级时间窗的综合优先级调度算法。该算法综合考虑静态任务属性和动态“时间窗”权值两个参数,以保证低优先级的任务随着时间的增加而提高其综合优先级,从而提高其被调度执行的机会。仿真结果表明,该算法能保证系统所有任务都能被执行。且随着负载的增加,各个任务的数据率会整体下降。这符合相控阵雷达多功能一体化的需求。但在一些特殊应用场景,如雷达正在执行跟踪制导射击时,此时系统需全力保证被射击对象的精密跟踪。针对此类特殊的应用场景,还可以在以后的研究中做进一步的探索。

参考文献:

- [1] WINTER E, BAPTISTE P. On Scheduling a Multifunction Radar [J]. Aerospace Science and Technology, 2007, 11(4): 289-294.
- [2] KUO T W, CHAO Y S, KUO C F, et al. Real-Time Dwell Scheduling of Component-oriented Phased Array Radars [J]. IEEE Transactions on Computers, 2005, 54(1): 47-60.
- [3] MIR H S, GUITOUNI A. Variable Dwell Time Task Scheduling for Multifunction Radar [J]. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 2014, 11(2): 463-472.
- [4] JEFFAY K, STANAT D F, MARTEL C U. On Non-preemptive Scheduling of Periodic and Sporadic Tasks [C]. Twelfth Real-Time Systems Symposium, San Antonio, 1991: 129-139.
- [5] HONG S M, JUNG Y H. Optimal Scheduling of Track Updates in Phased Array Radars [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1998, 34(3): 1016-1022.
- [6] MIR H S, ABDELAZIZ F B. Cyclic Task Scheduling for Multifunction Radar [J]. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 2012, 9(3): 529-537.

(下转第52页)

- [4] 母其勇,王永良,高飞,等. 基于 SRapidIO 及 PCIe 协议的雷达多通道数据光纤高速记录系统[J]. 计算机应用 2015 35(S2): 30-33.
- [5] 宋思盛,肖开健. 基于 TS 201 的通用并行信号处理板设计[J]. 火控雷达技术 2008 37(2): 65-68 + 72.
- [6] 张静. 数字信号处理模块中的串行 RapidIO 设计[J]. 火控雷达技术 2011 40(1): 64-67.

(上接第 38 页)

施压制干扰的方案要求及应用场景,通过对灵巧噪声干扰的产生原理、仿真分析以及对舰载雷达的实际干扰效果等的论述,进一步阐明了灵巧噪声的压制干扰特性,对新体制雷达具备优良的干扰作用,在未来电子战中具备广阔的研究前景。

参考文献:

- [1] 赵国庆. 雷达对抗原理[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社 2012.
- [2] ADAMY D L. 电子战原理与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2017.
- [3] 乔安哲. 灵巧噪声干扰效能仿真研究[D]. 西安: 西安电子科技大学 2011.
- [4] 王幸. 雷达有源干扰技术研究[D]. 西安: 西安电子科技大学 2017.
- [5] 李辰梓,余建宇,徐伟,郝万兵. 基于时频分析的灵巧干扰特征研究[J]. 火控雷达技术, 2019 48(3): 42-47.
- [6] 张汉伟,徐才宏. 对 LFM 脉冲压缩雷达的干扰研究与仿真分析[J]. 船舶电子对抗 2010 33(6): 22-26.

(上接第 41 页)

- [7] 张浩为,谢军伟,盛川. 综合优先级规划下的相控阵雷达自适应调度方法[J]. 兵工学报, 2016, 37(11): 2163-2169.
- [8] 孙铭才,张秦,陈光陆. 动态时间窗下的相控阵雷达自适应调度算法[J]. 雷达学报, 2018, 7(3): 303-312.
- [9] 杨善超,等. 基于价值优化的相控阵雷达任务调度算法[J]. 电子与信息学报, 2020, 42(2): 465-471.