

文章编号: 1001-0920(2009)09-1356-05

一种基于优先级调度的相控阵机动目标跟踪方法

贺丰收, 郑世友

(中航雷达与电子设备研究院 射频与仿真综合重点实验室, 江苏 无锡 214063)

摘 要: 在相控阵雷达跟踪加搜索(TAS)工作方式下,为跟踪较大的机动目标,提出一种目标机动检测器设计方法,得到归一化的目标机动系数.基于该方法,给出了一种动态计算优先级的调度算法,较好地解决了机动多目标跟踪的资源调度问题.与几种常用机动检测器相比较,结果表明了这种机动检测器具有更高的检测概率.最后在多目标环境下进行机动目标跟踪的蒙特卡罗仿真,仿真结果显示了多目标机动检测器和资源调度算法的有效性.

关键词: 相控阵; 跟踪加搜索; 资源调度; 机动检测; 多目标跟踪

中图分类号: TP273.2 **文献标识码:** A

Approach of tracking maneuvering targets based on priority scheduling for phased array radars

HE Feng-shou, ZHENG Shi-you

(Radio-frequency Simulation Lab, Radar and Avionics Institute of AVIC, Wuxi 214063, China. Correspondent: HE Feng-shou, E-mail: silverfox98@163.com)

Abstract: An algorithm for detecting maneuver is presented in order to accurately track targets with acute maneuver under the track and scan (TAS) mode. Then a scheduling algorithm based on priority calculation dynamically is proposed, which can distribute radar resource suitably among tasks. The algorithm is compared with other kinds of maneuvering detecting algorithms. And the results show that this algorithm has higher detecting probability. Finally, Monte Carlo simulation results show the effectiveness of the proposed approach.

Key words: Phased array radar; Track and scan; Resource scheduling; Maneuvering detection; Multi-target tracking

1 引 言

传统的机械扫描雷达进行多目标跟踪时,一般采用边扫描边跟踪(TWS)的技术.而相控阵雷达具有可以灵活分配雷达资源,波束能够无惯性地在任意时刻指向任意位置的特点,在进行多目标跟踪时,可以采用跟踪和搜索同时进行的跟踪加搜索(TAS)方式,充分发挥相控阵的优势.TAS工作方式的难点在于雷达的资源管理,而该方式下的机动目标跟踪问题涉及到目标的机动检测与数据率自适应,因此对雷达的资源管理提出了更高的要求.

机动目标跟踪一直是研究的热点.文献[1]对机动目标的关联和跟踪提出了一些经典的方法.文献[2,3]对机动目标的跟踪问题进行深入研究,比较了各类动态模型的优劣.总体而言,机动目标跟踪技术可分为以下几类:

1) 具有机动检测,需要检测并估计出机动加速度的值,然后修正目标模型参数或变维数滤波,其缺

点是存在机动检测带来的时间延迟问题.文献[4]提出一种基于马尔可夫链的蒙特卡罗数据关联方法,虽然对机动检测有效,但仍然具有计算量过大的缺点,不适于工程应用.

2) 不需要机动检测的自适应滤波^[5,6],将机动目标加速度直接补充到状态方程或作为输入量加入系统进行修正和补偿,其缺点是在目标非机动期间,精度反而较差.

3) 采用交互式多模型(IMM)^[7,8].如果所选模型集合不能包含目标当前运动状态,则会出现较大的跟踪误差,但模型越多,系统计算和存储资源的要求会越高,同时也会引起模型间的竞争,最终导致跟踪误差增大.

要达到对机动目标的高精度跟踪,除了使目标模型尽可能地贴近真实运动情况,还需要有较高的数据率.由于目标机动参数差别很大,传统固定数据率已经不能满足实际需求,相控阵雷达需要采取自

收稿日期: 2008-10-07; 修回日期: 2009-01-13.

作者简介: 贺丰收(1979—),男,湖南常德人,工程师,硕士,从事多目标探测与跟踪的研究; 郑世友(1972—),男,湖北松滋人,高级工程师,博士,从事雷达数据处理、多目标探测与跟踪等研究.

适应数据率以满足不同机动目标的跟踪需求。

在众多的机动目标跟踪算法中,本文采用的是机动检测类算法:在相控阵雷达 TAS 工作方式的基础上,提出一种残差滑窗归一化的机动检测器设计方法,检测得到机动系数;在基于动态优先级计算的资源调度方法上,将机动系数代入优先级计算,提高了机动目标的数据更新率;同时根据机动系数调节目标模型参数,提高了对机动目标的跟踪精度。

2 TAS 工作方式

在 TAS 方式中,跟踪与搜索的波束完全独立,从而可对搜索和跟踪独立地进行最优设计。跟踪不必等到搜索结束后再进行,而是按照一定的数据率来安排跟踪照射波束和搜索波束。搜索任务和多目标跟踪任务是分时执行的,搜索任务负责对指定的空域搜索,系统按照一定的规律给出雷达波束指向,由波控系统实现对该空域的波束照射。

进入 TAS 方式后,雷达首先执行搜索任务,在检测到目标之前将始终处于搜索状态。如果搜索检测到目标,则首先进行截获,证实是真实目标后,初始化跟踪滤波器,执行跟踪任务。如果再次搜索到新目标,则按前一个目标的处理方式,初始化一个新的跟踪滤波器,实施目标跟踪。如果另外的跟踪目标精度已到达允许外推的时间,则转为对该目标进行跟踪;否则,执行搜索任务。执行对每一个目标的跟踪任务或执行搜索任务由调度逻辑安排,不能让单种类任务占据整个雷达的全部资源。

3 机动检测器设计

本文提出了一种基于残差进行滑窗平均的机动检测器设计方法。在检测到机动发生后,根据机动程度,同时调节滤波器模型参数和跟踪的数据率,达到对机动目标跟踪的目的。下面设定完整的机动检测和自适应规则,定义任务为

$$i(k) \triangleq \{Z_i(k) \text{ 源于目标}\}, i = 1, 2, \dots, m_k.$$

第 i 个量测 $Z_i(k)$ 源于目标的条件概率为

$$p_{ji} \triangleq P\{j_i | Z^k\} = \prod_{i=1}^L P\{i | Z^k\}^{\wedge_{j_i}(i)}. \quad (1)$$

其中: $P\{i(k) | Z^k\}$ 为可行关联任务概率; $\wedge_{j_i}(i)$ 为可行任务; L 为可行关联任务的总数; Z^k 为当前时刻的量测集合; m_k 为单次量测个数; 有

$$j_i = \begin{cases} 1, & \text{第 } j \text{ 个测量位于目标 } t \text{ 的跟踪门内;} \\ 0, & \text{第 } j \text{ 个测量不在目标 } t \text{ 的跟踪门内.} \end{cases} \quad (2)$$

设 $v_j^i(k)$ 为第 j 个量测矢量与目标预测之差,则

$$v^i(k) = \sum_{j=1}^{m_k} j_i(k) v_j^i(k), \quad (3)$$

$$d(k) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v^i(i). \quad (4)$$

其中: $v^i(k)$ 为组合残差矢量,又称为组合新息; m_k 为量测维数; $j_i(k) = 1; N$ 为滑窗宽度。在目标没有发生机动时,如果测量噪声为正态分布,则 $d(k)$ 也是一个服从正态分布的随机变量,其数学期望与方差见 5.1 节的分析。归一化后的残差为

$$\tilde{d}(k) = \max\left(\left|\frac{d(k)}{\sigma(k)}\right|\right), k = 1, 2, \dots, M. \quad (5)$$

其中: M 为量测维数, $\sigma(k)$ 为测量噪声方差。通过归一化后, $\tilde{d}(k)$ 服从标准正态分布, $\tilde{d}(k) \sim (0, 1)$ 。当给定检测门限时,以 $\tilde{d}(k)$ 为检验统计量可以保证恒定的虚报概率。因此完全能够查找标准正态分布表,得出一个满足所选虚报概率的门限 (TH), 只要 $\tilde{d}(k) > TH$, 就可以认定已经发生机动,并可由此得出机动系数

$$P_k = \begin{cases} k_0 \sqrt{\tilde{d}(k)}, & \tilde{d}(k) > TH; \\ 1, & \tilde{d}(k) < TH. \end{cases} \quad (6)$$

其中: k_0 为优先级调节常数,由试验决定,也可以根据系统要求和实际跟踪情况动态变化; k_0 为根据要求达到归一化预测精度而事先计算出的常数。通过机动系数 P_k 调节跟踪目标的优先级,进而改变目标的数据率。

在标准的卡尔曼滤波器中,将过程噪声协方差 Q 设为常数矩阵,影响了该算法的性能,限制了对机动目标的跟踪。需要引入调节因子 反映当前过程噪声协方差的幅度,即将目标机动系数的变化反映在状态噪声协方差上,滤波增益就会根据目标机动的变化而自适应地进行调整。在跟踪机动目标时,调节滤波器模型参数,使之适应当前目标的机动变化。状态噪声系数 $Q(k)$ 也由 $\tilde{d}(k)$ 决定,为

$$Q(k) = \begin{cases} \frac{1}{(\tilde{d}(k))^2} Q, & \tilde{d}(k) < TH1; \\ Q, & TH1 < \tilde{d}(k) < TH2; \\ (\tilde{d}(k))^2 Q, & \tilde{d}(k) > TH2. \end{cases} \quad (7)$$

其中 TH1 和 TH2 分别为较小机动和较大机动的门限。

4 优先级调度器设计

TAS 工作方式的核心是任务调度器。被调度的任务共有 4 类:搜索、截获、跟踪和其他高等级任务。其他高等级任务包括电子对抗、制导等特殊功能。相控阵雷达要实现多任务、多功能,就需要任务调度器对各种任务分配雷达时间和能量资源,优化雷达的整体性能。调度器接收来自于各个任务的请求,根据

雷达当前的资源以及被调度任务的紧急程度,决定可调度执行的雷达任务.图1是调度器在整个雷达系统中的结构.显然,调度间隔时间不可选择得太长,如果太长,则无法实现系统对某些任务的频度要求;也不可太短,否则会造成额外的雷达资源浪费和处理程序的多余开销.因此,调度间隔应在满足系统对响应时间要求的条件下尽可能选择得长一些.

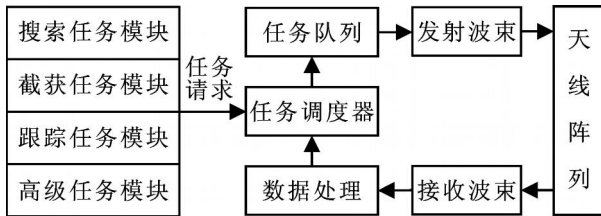


图1 调度器系统结构

文献[9]提出了期望时间窗的概念,使雷达可以在期望的时间之内执行,本文据此提出了调度时间间隔 $f(k)$,即

$$f(k) = T_{uc}(k) P_b(k). \quad (8)$$

其中: T_{uc} 为调度时间间隔,即任务当前系统时间与上次被调度时间之差,保证任务的时间响应特性; $P_b(k)$ 是基础优先级,各种不同的任务对应不同的具体数值,可以根据实际应用而自适应变化.下面列出了4种任务的优先级计算方法:

1) 搜索.搜索任务的优先极为

$$P_{scan} = f(k) W_{scan} / V_{scan}. \quad (9)$$

其中: W_{scan} 和 V_{scan} 分别为扫描空域和扫描速率; W 为扫描系数,由试验决定.这样可以保证在大的搜索空域下,也能快速扫描整个目标空域,避免在目标密集的情况下,其他任务一直占用雷达资源.

2) 截获.截获任务的优先极为

$$P_{cfm} = f(k) \ln \left[\frac{SNR}{\sqrt{N_{det}}} \cdot \frac{F_b}{F_{static}} \right]. \quad (10)$$

其中: SNR 为信噪比; T_{det} 为信号处理检测门限; F_b 为基础虚警率,通过地面试验确定; F_{static} 为统计虚警率,通过雷达运行期间出现的虚警和雷达运行时间确定; f 为调节参数,通过试验确定.

3) 跟踪.跟踪任务的优先极为

$$P_{track} = f(k) P_{up}(k) P_k T(k). \quad (11)$$

其中: P_k 是由式(6)计算得到的机动系数,根据机动检测器得出的机动程度决定其大小; $T(k)$ 为目标威胁度; $P_{up}(k)$ 为更新次数系数,在更新次数没有达到一定程度时会比较大,在达到一定次数后维持较小常值,可以使跟踪目标精度尽快稳定,且有

$$P_{up}(k) = 1 + (1 - \min(N_{up}, N_{th}) / N_{th}), \quad (12)$$

N_{up} 为更新次数, N_{th} 为更新门限次数.

不同优先级的目标,数据率不一样.通过优先级

的实时计算,对机动目标进行高数据率照射.

4) 对于其他高级任务.有

$$P_{hp} = T_{uc} P_b P_p, \quad (13)$$

其中 P_p 为高级任务优先级,可以给高级任务更多的照射波束和雷达资源.特殊任务有其特殊的调度规则,在此不作详细叙述.需要特别说明的是,一旦此类任务未被调度时间大于门限,则需要立即被调度,所以直接将这类任务加入了链表的头部,下一雷达周期立即执行,以免造成电子对抗没有及时启动或者导弹脱靶的严重后果.

图2给出了调度器的流程.

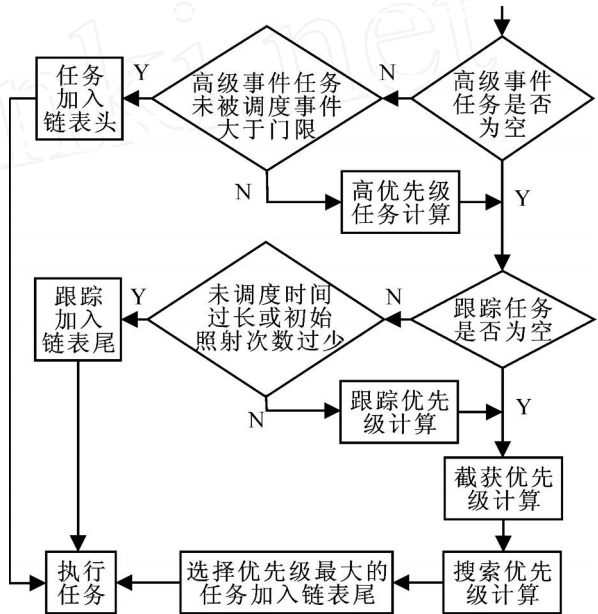


图2 调度算法流程

5 分析与仿真

5.1 机动检测器性能分析

将这种新的检测器与其他几种经典的机动检测器相比较.机动检测算法1由文献[10]提出.这种机动检测器是计算归一化的新息,与设定门限相比较,如果

$$v^T(k) S^{-1} v(k) > TH, \quad (14)$$

则判定有机动发生.其中: $v(k)$ 为残差矢量, S 为残差协方差.归一化的统计距离服从自由度为4的 χ^2 分布.经过推导可知,在目标发生机动后, $v^T(k) S^{-1} v(k)$ 的分布不再服从简单的 χ^2 分布,其概率密度函数为 χ^2 和 \cosh 函数的乘积.分析可知,该方法的本质还是采用单次的残差进行判别.为了简便起见,直接分析归一化后的单次残差的机动检测性能.令

$$d_1(k) = v(k) / \sigma(k), \quad (15)$$

其中 σ 为距离测量噪声.容易证明,非机动时, $d_1(k)$ 的分布服从 $(0, 1)$.目标机动后,数学期望发生变化,

而测量噪声方差与目标的运动特性无关,保持不变,此时它服从(v/σ , 1)的正态分布.

算法 2 参见文献[11].这种检测器统计量为

$$d_2(k) = d_2(k-1) + (1 - \alpha)R(k), \quad (16)$$

由于 $d_2(k)$ 不是归一化的,其检测门限与测量噪声方差有关.令

$$d_2(k) = \tilde{d}_2(k)/\sigma^2, \quad (17)$$

同样可以证明,在机动情况下, $d_2(k)$ 的方差为 $(1 - \alpha^2 + \alpha^2 \sigma^2)$.显然,当 $\alpha = 0.5$ 时,方差达到最小值 0.5. $d_2(k)$ 服从 $(\sum_{i=1}^k (0.5)^i v_i/\sigma^2, (1 - 2^{-k} + 2^{-k} \sigma^2))$ 的正态分布.

将文献[10, 11]提出的检测算法 1 和算法 2,与本文提出的算法 3 进行比较.

由式(4)和(5)可知, $\tilde{d}_2(k)$ 的数学期望和方差分别为

$$\tilde{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i, \quad \tilde{\sigma}^2 = N \left(\frac{1}{N} \right)^2 = \frac{1}{N}. \quad (18)$$

已知机动检测器的数学特性,对这几种检测器进行数学分析,它们均服从正态分布,可以通过线性变换转化到标准正态分布下进行比较.定义机动噪声比

$$MNR = v/\sigma. \quad (19)$$

设定目标更新数据率为 4 Hz,即每 0.25 s 进行一次照射.这里取窗口长度为 4.在恒虚报概率为 0.5% 时,机动发生后不同时刻计算出的检测概率和机动噪声比的函数关系如图 3 所示.对于其他窗口长度,结果也大致相同,由于篇幅所限,具体曲线略.

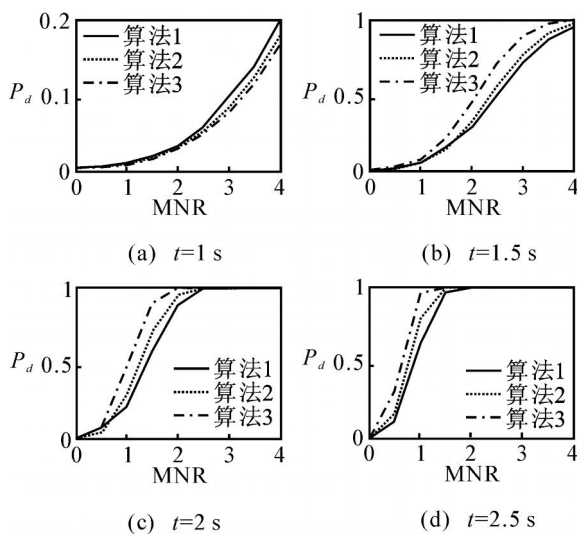


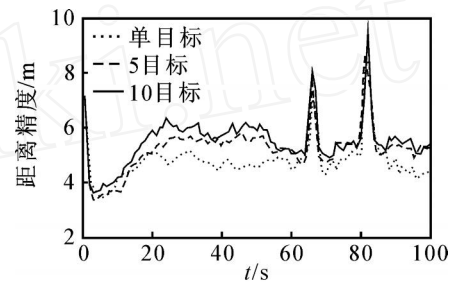
图 3 机动检测器比较

在机动噪声比一定的情况下,刚出现机动时,窗口越小,机动检测概率越高.算法 1 在机动刚刚出现时,检测概率是最高的,如图 3(a) 所示.这是因为算法 3 中的检测器仍然以和的方式利用了前几个残差

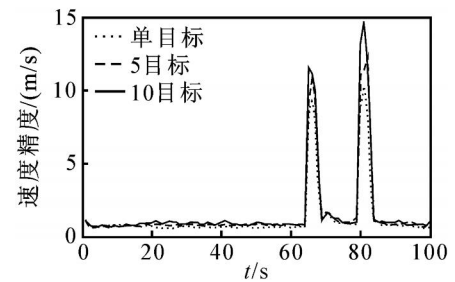
信息,而这些信息没有机动引起的误差.随着时间的推移,本文提出的算法 3 的检测性能明显地超过其他两种算法,窗口越大,检测概率越高.某种程度上,检测概率和检测快速性是互相冲突的,需要根据使用环境进行选择 and 取舍.另外,虚警和漏警对算法 3 的影响较小,而其他两种算法对虚警和漏警比较敏感.

5.2 跟踪精度仿真分析

仿真环境如下:跟踪滤波器使用卡尔曼滤波器,关联算法使用标准 JPDA 算法^[12],做 100 次蒙特卡罗仿真;检测概率 0.6,波束宽度 2.5°,方位搜索范

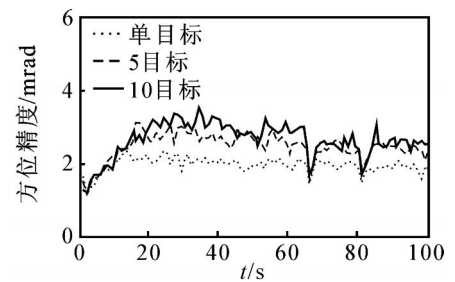


(a) 距离精度

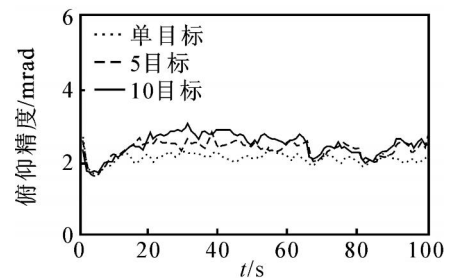


(b) 速度精度

图 4 距离和速度精度



(a) 方位精度



(b) 俯仰精度

图 5 方位和俯仰精度

表1 TAS工作方式性能分析表

	P_R/m	P_R^*/m	$P_{Az}/mrad$	$P_{Az}^*/mrad$	$P_V/(m/s)$	$P_V^*/(m/s)$	T_T/s	T_{scan}/s	$N_L^*/\%$
单目标	4.67	5.61	2.00	1.90	0.91	3.50	0.11	1.97	0.6
5目标	5.11	5.86	2.56	2.31	1.02	4.25	0.20	2.79	3.2
10目标	5.44	5.94	2.76	2.39	1.11	4.56	0.25	5.20	6.6

围 120° , 扫描波束每次步进量为 1.5° ; 距离、方位、俯仰、速度测量噪声方差分别为 20m , 0.008rad , 0.008rad , 3m/s ; 帧周期固定为 20ms , 跟踪时间 100s . 仿真中机动目标的航迹为: 当 t 在 $0 \sim 65\text{s}$ 和 $80 \sim 100\text{s}$ 之间时, 目标作匀速直线运动; 当 t 在 $65 \sim 80\text{s}$ 之间时, 目标作匀加速直线运动, 加速度为 $5g$, 初速度为 130m/s . 选取 100 次蒙特卡罗仿真后的距离、速度、方位、俯仰进行精度分析, 结果如图 4 和图 5 所示.

由图 4 和图 5 可以看出, 在跟踪的初始阶段, 由于给定的数据率较高, 各项精度也比较高. 在目标的机动段, 距离和速度精度有明显变大, 但可以看到, 距离的绝对误差仍然在 10m 以内, 维持在较低水平. 而方位和俯仰的精度反倒有所提高, 这是由于数据率的大幅度提高从而使角精度也相应地提高了. 两个误差尖峰的出现, 位于机动发生和结束的时刻, 这是因为滤波器需要一定时间滤波稳定得知机动的发生与消失, 此时滤波器模型与实际情况有一定偏差.

TAS 工作方式下机动目标跟踪的性能仿真如表 1 所示. 其中: P_R, P_{Az}, P_V 分别为非机动段距离、方位、速度精度; P_R^*, P_{Az}^*, P_V^* 分别为加速度段的距离、方位、速度精度; T_T, T_{scan}, N_L^* 分别为跟踪任务平均调度时间间隔、目标建立后空域扫描一周时间和失跟率.

由表 1 可知, 在目标数量发生较大变化的情况下, 由于调度合理, 并没有发生机动目标跟踪精度发生较大变化的情况. 目标数增加对目标空域的扫描时间有一定的影响, 考虑到维持目标跟踪必需的回访照射, 该影响仍在可以接受的范围. 通过工作方式的侧重(跟踪或搜索)和目标的多少, 自适应地调节 P_b , 还可以继续优化这一指标.

6 结 论

本文给出了 TAS 工作方式下一种基于优先级的资源调度逻辑设计方法, 并提出了一种计算量较小, 触发可靠, 适于工程应用的机动目标检测方法. 与其他几种机动检测器进行比较, 表明了该检测器有更高的机动检测能力. 在检测到机动后, 根据机动程度, 同时调节数据率和滤波器模型. 最后通过仿真验证了本方法. 结果表明, 采用本文给出的资源调度

和机动检测方法是合理有效的, 能够最大限度地发挥相控阵雷达的优势和潜力, 有效地实现相控阵雷达的多功能操作任务和对机动目标的高精度跟踪.

参考文献(References)

- [1] Bar S Y, Fortman T E. Tracking and data association [M]. Boston: Academic Press, 1988.
- [2] Li X R, Jilkov V P. A survey of maneuvering target tracking[J]. IEEE Trans on Aerospace and Electronic Systems, 2003, 39(4): 1333-1363.
- [3] Li X R, Jilkov V P. A survey of maneuvering target tracking[C]. Proc 2001 SPIE Conf on Signal and Data Processing of Small Targets. San Diego, 2001: 423-446.
- [4] Songhwei O H, Shankar Sastry. An efficient algorithm for tracking multiple maneuvering targets [C]. 44th IEEE Conf on Decision and Control. Seville, 2005: 4010-4015.
- [5] Song T L, Ahn J Y. Suboptimal filter design with pseudomeasurement for target tracking[J]. IEEE Trans on Aerospace and Electronic Systems, 1988, 21(1): 23-38.
- [6] 周宏仁, 敬忠良, 王培德. 机动目标跟踪[M]. 北京: 国防工业出版社, 1991.
(Zhou H R, Jing Z L, Wang P D. Tracking of maneuvering targets [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1991.)
- [7] Lang H, Shan C. Bias phenomenon and compensation in multiple target tracking algorithms [J]. Mathematical and Computer Modelling, 2000, 31(9): 147-165.
- [8] Sumedh Puranik, Jitendra K Tugnait. Tracking of multiple maneuvering targets using multiscan JPDA and IMM filtering[C]. Proc of the 2004 American Control Conf. Boston, 2004: 4096-4101.
- [9] Huizing A G, Blomen A A F. An efficient scheduling algorithm for a multifunction radar [C]. Proc of the IEEE Int Symposium on Phased Array Systems and Technology. Boston, 1996: 359-364.
- [10] 安凌凌, 顾怀瑾, 徐振来. 一种新的机动目标跟踪滤波的模型方法[J]. 电子科学学刊, 1988, 10(5): 400-407.
(An L L, Gu H J, Xu Z L. A new modeling filtering method for tracking maneuvering targets [J]. J of Electronic Science, 1988, 10(5): 400-407.)

(下转第 1366 页)

在收入共享契约中的获利比批发价下零售商利润的改善幅度减小;同时,图 1(b) 中制造商在收入共享中的利润损失比批发价中制造商利润损失的幅度减小. 由上面的讨论可知,在零售商驱动的多对一供应链结构中,产品的可替代性对供应链双方均产生负面的影响.

6 结 论

本文在多个竞争的制造商和一个独立的零售商组成的供应链结构中考虑零售商驱动的收入共享契约下的生产决策问题. 针对该系统结构中零售商具有较高议价能力的特点,建立了零售商为主方、制造商为从方的 Stackelberg 主从对策模型,证明了零售商驱动的收入共享契约下制造商生产存在对称的唯一最优纳什均衡解. 分析了零售商契约参数制定决策问题,讨论了收入共享契约下分散供应链同集中供应链决策的关系. 最后通过仿真实验验证了契约参数和产品的可替代性对供应链绩效影响的分析,对于研究多对一供应链结构下的收入共享契约的协调、契约参数对供应链绩效的影响问题具有普遍意义. 但不足之处是仅考虑了线性需求、对称的制造商基础上的决策问题,面对更加普遍的不对称的制造商、报童随机需求模型的情况未予考虑. 同时,对于多对一供应链结构契约协调下的“共赢”分析,也是一个必要的研究内容. 另外,将该问题的分析扩展到多制造商、多零售商的供应链结构中,将会有更加广泛的研究空间. 上述问题将是本文进一步研究的方向.

参考文献(References)

- [1] Cachon G P. Supply chain coordination with contracts [C]. Handbooks in Operations Research and Management Science: Supply Chain Management. North Holland, 2003.
- [2] Dana J, Spier K. Revenue sharing and vertical control in the video rental industry[J]. J of Industry Economics, 2001, 59(3): 223-245.
- [3] Yao Z, Stephen C H Leung, Lai K K. Manufacturer's revenue-sharing contract and retail competition [J]. European J of Operational Research, 2008, 186(2): 637-651.
- [4] Cachon G P, Lariviere M A. Supply chain coordination with revenue-sharing contracts: Strengths and limitations [J]. Management Science, 2005, 51(1): 30-44.
- [5] Veen J, Venugopal V. Using revenue sharing to create win-win in the video rental supply chain [J]. J of Operational Research Society, 2005, 56(3): 757-762.
- [6] 黄宝凤, 仲伟俊, 梅姝娥. 供应链中完美共赢收入共享契约的存在性分析[J]. 系统工程理论方法应用, 2005, 14(3): 247-251.
(Huang B F, Zhong W J, Mei S E. The existence analysis on the revenue-sharing contracts of perfect win-win coordination in the supply chain [J]. Systems Engineering Theory Methodology Applications, 2005, 14(3): 247-251.)
- [7] Choi S C. Price competition in a channel structure with a common retailer [J]. Marketing Science, 1991, 10(4): 271-296.
- [8] Martinez de Albeniz, Roels V G. Competing for shelf space [R]. Los Angeles: University of California, 2007.
- [9] Cachon G P. Competing manufacturers in a retail supply chain: On contractual form and coordination [R]. Philadelphia: University of Pennsylvania, 2007.
- [10] Chen F R. Auctioning supply contracts [J]. Management Science, 2007, 53(10): 1562-1576.
- [11] 徐经意, 杨德礼. 生产商竞争的供应链系统退货决策分析[J]. 控制与决策, 2006, 21(4): 391-395.
(Xu J Y, Yang D L. Decision analysis on return-policy of supply chain system under manufacturer competition [J]. Control and Decision, 2006, 21(4): 391-395.)
- [12] Cheng S F, Reeves D M, Vorobeychik Y, et al. Notes on equilibria in symmetric games [C]. Proc of the 6th Int Workshop on Game Theoretic and Decision Theoretic Agents. New York, 2004: 62-71.
- [13] Lariviere M A, Porteus E L. Selling to the newsvendor: An analysis of price-only contracts [J]. Manufacturer and Service Operations Management, 2001, 3(4): 293-305.

(上接第 1360 页)

- [11] McAulay R J, Birniwal K. Variable dimension filtering for maneuvering target tracking [J]. IEEE Trans on Aerospace and Electronic Systems, 1982, 8(5): 621-628.
- [12] Chang K C, Bar Shalom. Joint probabilistic data association for multi-target tracking with possibly unresolved measurements and maneuvers [J]. IEEE Trans on Automatic Control, 1984, 29(7): 585-594.