

文章编号: 1001-0920(2012)07-1082-05

模糊车间作业调度的三点满意度模型

王冰^{1,2}, 李巧云^{1,2}, 羊晓飞²

(1. 上海大学 机电工程与自动化学院, 上海 200072;

2. 山东大学威海分校 机电与信息工程学院, 山东 威海 264209)

摘要: 将不确定的加工时间用三角模糊数表示, 研究了梯形软交货期下的模糊车间作业满意调度问题. 通过梯形交货期和三角模糊完工时间确定的两个悲观点实现了客户对产品提前或拖期情形下的悲观满意度, 同时兼顾最可信满意度, 利用三点满意度的组合优化建立了优化目标. 仿真实验结果表明, 所建立三点满意调度模型相对传统悲观调度模型, 在保证决策者抗风险偏向的同时, 大大提高了最可信满意度水平, 实现了更加综合的满意调度.

关键词: 模糊车间作业调度; 软交货期; 满意度; 抗风险; 可信度

中图分类号: TP29

文献标识码: A

Three-point satisfaction-degree model for fuzzy job-shop scheduling problem

WANG Bing^{1,2}, LI Qiao-yun^{1,2}, YANG Xiao-fei²

(1. School of Mechatronics Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China; 2. School of Mechanical, Electrical and Information Engineering, Shandong University at Weihai, Weihai 264209, China.

Correspondent: WANG Bing, E-mail: susanbwang@gmail.com)

Abstract: A fuzzy job-shop satisfaction scheduling problem with a trapezoid due date soft constraint is discussed, where the uncertain processing times of operations are described by triangle fuzzy numbers. The pessimistic satisfaction degree in terms of earlier or later completion time than the due date is realized by identifying two pessimistic points while the possibility for the most possible result being considered, thus the satisfaction scheduling optimization objective is established to maximize the combination of three point satisfaction degrees. The simulation results show that the proposed three-point satisfaction-degree scheduling model can greatly improve the client's most possible satisfaction degree while keeping the decision maker's risk-resisting preference, and can realize a more comprehensive satisfaction schedule compared with a traditional pessimistic scheduling model.

Key words: fuzzy job-shop scheduling; soft due date; satisfaction degree; risk-resisting; possibility

1 引言

Just-in-time 是现代企业精益生产的要求, 客户对企业生产产品的交货期要求及时, 提前和拖期都要受到惩罚. 产品由零件组装而成, 零件在加工过程中称为工件, 工件的加工完成时间依赖于生产调度, 生产调度以客户满意度为优化目标时, 称为满意调度^[1-4].

实际的生产加工过程存在各种不确定因素, 如加工时间的不确定^[2-4], 这会导致产品交货时间的不确定, 因而交货期用具有一定弹性的软约束表达更加合理. 模糊理论为不确定性建模提供了一种工具, 模糊数可以用来表示调度环境中的不确定参数, 也可以用

来表达交货期软约束^[2-5].

典型的工件加工流程可建模为车间作业调度模型(即 Job-shop 调度模型), 对于其在软交货期下的满意调度国内外已经有了一定研究^[2-5]. 满意调度的目标主要有两类: 文献 [2-4] 采用交货期与完工时间两个模糊数的交集面积作为一种综合性满意调度优化目标, 但无法表达决策者的抗风险偏向, 不能避免最坏情形下目标值的恶化. 文献 [5] 采用悲观准则建立满意调度目标, 关注所有工件中满意度最小的单个工件, 表达了决策者的抗风险偏向. 但这种优化目标过于片面, 缺乏对产品整体交货时间以及最可能情形的

收稿日期: 2010-12-17; 修回日期: 2011-04-10.

基金项目: 国家自然科学基金项目(60874076).

作者简介: 王冰(1966—), 女, 教授, 博士生导师, 从事生产调度、优化方法等研究; 李巧云(1969—), 女, 工程师, 博士生, 从事鲁棒调度方法的研究.

关注, 实际实现的调度满意目标很可能并不理想.

本文针对加工时间为三角模糊数的车间作业满意调度进行研究, 将提前/拖期悲观满意度和最可信满意度组合为三点满意度优化目标, 实现既有抗风险性又有综合性的满意调度.

2 模糊车间作业调度描述

由于企业向客户交付的是整体产品, 客户满意度面向产品定义更加合理. 假设企业要生产 k 种产品, 产品 $i (i = 1, 2, \dots, k)$ 由 n_i 个零件装配而成, 因此共需加工 $n = \sum_i n_i$ 个零件, 这 n 个零件经过 Job-shop 调度加工完成.

Job-shop 调度的加工过程描述如下: n 个工件需在 m 台机器上加工, 每次加工为一个操作, 有一个操作加工时间. 同一时刻一台机器只能加工一个工件, 且不允许打断. 工件访问机器的顺序遵从事先给定的工艺约束. 假定零件装配成产品的耗时可以忽略不计, 即每种产品的交货时间也就是该产品的完工时间, 即是组成该产品的零件中的最大完工时间. 可行调度是满足加工工艺约束的每台机器上所有操作的加工顺序, 以及所有操作的开始加工时间, 优化目标为最大化所要设计的满意度目标.

在实际生产环境中, 由于工件材料、机床状况、人员等因素的影响, 各操作加工时间可以是不确定的, 常用三角模糊数来表示不确定的加工时间^[2-5]. 而 Just-in-time 生产环境下的交货期常用梯形模糊数来表达, 如图 1 所示的两种模糊数隶属度函数. 图 1 中, 横坐标 x 表示不确定参数的状态轴, 在这里代表所有可能的时间取值; 纵坐标 μ 表示时间取值的可能性, 也称为可信度, μ 取值范围为 $[0, 1]$.

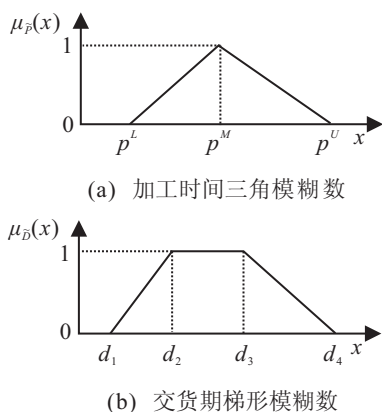


图 1 加工时间三角模糊数和交货期梯形模糊数

如果用图 1(a) 所示的三角模糊数 $\tilde{P} = (p^L, p^M, p^U)$ 表示不确定的加工时间, 则取值 p^M 的可能性最大, 偏离该取值可能性降低, 直到边界点 p^L 和 p^U 及以外的取值可能性降为零. 三角模糊数表征的加工时间可能性分布符合生产实际, 因此是合理的. 三角模

糊数具有相对简单的隶属度函数和成熟简便的操作运算规则^[2-3], 由三角模糊数的运算规则可推知, 加工时间为三角模糊数的模糊调度中, 工件的完工时间也是三角模糊数.

如果用图 1(b) 中的梯形模糊数 $\tilde{D} = (d_1, d_2, d_3, d_4)$ 表示软交货期, 则当交货时间在区间 $[d_2, d_3]$ 时, 客户满意度最高, 偏离该区域、提前或拖期交货, 客户满意度都下降, 直到交货时间提前或拖期到达边界点 d_1 和 d_4 及以外时客户满意度降为零. 梯形模糊数表达的交货期要求与提前或拖期都要受惩罚的情形相符, 因此是合理的.

工件完工时间与交货期二者的比较产生了客户满意度定义. 相对于两个刚性数的比较, 两个不同形状的模糊数的比较要复杂得多. 传统上将两个模糊函数具有最大的交集面积作为优化准则^[2-4], 而本文要建立一种更加综合的满意调度优化目标, 同时表达出决策者明确的抗风险决策偏向.

3 梯形交货期下的三点满意调度模型

3.1 悲观准则和悲观满意度

在满意调度模型的建立中, 决策者需要将抗风险的决策偏向通过一定的优化准则植入到满意度目标中来实现. 悲观准则关注最坏情形下的优化目标, 表达决策者的抗风险偏向.

模糊悲观准则^[6]来自模糊理论. 一般地, 以模糊数 $\pi(x)$ 表示问题输入状态集 X 中某输入状态 x 的可能性大小 (可能值集为 $L \subseteq [0, 1]$), 称为该状态 $x \in X$ 的可信度. 当决策 j 作用于状态 x 时会得到相应的决策结果 $r = j(x)$, 所有可能的决策结果的集合记为 R , 决策者对不同决策结果具有不同程度的偏爱 (满意) 信息, 将某结果 $r \in R$ 的满意度大小 (满意度集值为 $M \subseteq [0, 1]$) 称为该结果的效用, 效用函数 $u(r)$ 也用不确定的模糊数表示. 在本文中, 不确定状态的可信度函数 $\pi(x)$ 即为加工时间的三角模糊数函数, 决策 j 即是所求解的调度, 可能的结果集是所有可能调度解的完成时间, 也是不确定的三角模糊数, 而可能结果的效用函数 $u(r)$ 是梯形模糊数表达的交货期软约束. 悲观准则关注的是最坏的可能结果, 但在模糊调度中, “最坏可能结果” 如何界定是一个难题, 因为与可能结果相关的不仅有满意度, 还有可信度. 满意度最低的可能结果是 “最坏” 结果, 但可信度太低的结果, 没有考察价值, 所以这里考察的 “最坏可能结果” 应限定为可信度不是太低的前提下的最坏可能结果.

模糊理论利用悲观准则优化指标实现了优化上述具有一定可信度的最坏可能结果性能的抗风险决策偏向, 优化指标如下:

$$m(j) = \inf_{x \in X} \max(\lambda(\pi(x)), u(j(x))), \quad (1)$$

其中 λ 为 L 到 M 的逆序映射. 典型的逆序函数为 $\lambda(\pi(x)) = 1 - \pi(x)$. 该函数将可能结果的可信度空间映射到了满意度空间, 且将顺序逆反, 即可信度高的结果的满意度反而低, 可信度低的结果的满意度反而高. 经过这样的逆序, 式 (1) 中 $\max(\lambda(\pi(x)), u(j(x)))$ 的比较结果会在高可信度的结果中得到交货期约束定义的客户满意度, 而在低可信度的结果中得到逆序后的高满意度. 但由于式 (1) 的关注目标是取上述比较结果的下确界, 这里的低可信度结果虽有较高的满意度却得不到关注, 实际关注的是高可信度区域的最低点, 即 $u(j(x))$ 与 $\lambda(\pi(x))$ 的交点, 它是所界定的一个高可信度区域的边界点, 也是这个高可信度区域中客户满意度最低的情形. 式 (1) 就是这样巧妙地定义了具有一定可信度的“最坏可能结果”, 将这个“最坏可能结果”的客户满意度称为悲观满意度 $m(j)$. 悲观准则是要找到一个决策 j , 最大化悲观满意度 $m(j)$.

3.2 提前/拖期的两点悲观满意度

产品的完工时间或是提前、或是拖期, 两种情形不可能同时出现, 所以分别给出产品在提前或拖期情况下的悲观满意度. 为此, 可以通过两个特殊模糊数来表达产品单纯在提前或拖期受惩罚时的效用函数^[7]. 两个特殊模糊数的隶属度函数是基于产品 i 的梯形交货期软约束 $\tilde{D}_i = (d_{i1}, d_{i2}, d_{i3}, d_{i4})$ 的隶属度函数 $\mu_{\tilde{D}_i}(x)$ 来定义的. 即以 $(-\infty, \tilde{D}_i]$ 表示可能小于或等于 \tilde{D}_i 的模糊数, 其隶属度函数为 $\mu_{(-\infty, \tilde{D}_i]}(y) = \sup_{x \geq y} \mu_{\tilde{D}_i}(x)$; 以 $[\tilde{D}_i, +\infty)$ 表示可能大于或等于 \tilde{D}_i 的模糊数, 其隶属度函数为 $\mu_{[\tilde{D}_i, +\infty)}(y) = \sup_{x \leq y} \mu_{\tilde{D}_i}(x)$.

$(-\infty, \tilde{D}_i]$ 和 $[\tilde{D}_i, +\infty)$ 的隶属度函数如图 2 中点划线标注所示. $(-\infty, \tilde{D}_i]$ 为完工时间在拖期受惩罚时的效用, 在只考虑产品拖期受惩罚的情况下, 当产品的完工时间小于等于 d_{i3} 时, 其满意度为 1, 若产品的完工时间增大, 则满意度逐渐下降, 当增大到 d_{i4} 时, 满意度变为 0. $[\tilde{D}_i, +\infty)$ 为完工时间在提前受惩罚时的效用, 在只考虑产品提前受惩罚的情况下, 当产品的完工时间大于等于 d_{i2} 时, 其满意度为 1, 若产品的完工时间减小, 则满意度逐渐下降, 当减小到 d_{i1} 时, 满意度变为 0.

令 s 为车间作业调度问题的一个可行解, $\tilde{C}_i(s) = (c_i^L(s), c_i^M(s), c_i^U(s))$ 为所得到产品 i 的模糊完工时间, $\mu_{\tilde{C}_i(s)}(x)$ 为 $\tilde{C}_i(s)$ 的隶属度函数, $\mu_{\tilde{C}_i(s)}(x)$ 为在调度解 s 下产品 i 的完工时间取不同值时的可信度. 不同产品可能对应不同的客户, 因此重要程度不同, 受惩罚的程度也不同. 以各产品对客户满意度具有不同

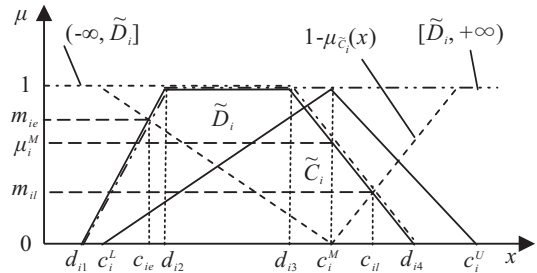


图 2 梯形软交货期下提前或拖期的悲观满意度

权重系数来表达, w_i 为产品 i 的权重系数. 考虑产品提前和拖期两种都要受惩罚的情况, 则定义两点悲观满意度优化目标如下:

$$RM_2(s) = \sum_{i=1}^k w_i [m_{ie}(s) + m_{il}(s)]. \quad (2)$$

其中: w_i 为产品的权重系数, 且有

$$\sum_{i=1}^k w_i = 1;$$

$$m_{ie}(s) = \inf_x \max(1 - \mu_{\tilde{C}_i(s)}(x), \mu_{[\tilde{D}_i, +\infty)}(x)),$$

$$m_{il}(s) = \inf_x \max(1 - \mu_{\tilde{C}_i(s)}(x), \mu_{(-\infty, \tilde{D}_i]}(x)),$$

$m_{ie}(s)$ 和 $m_{il}(s)$ 分别为在调度解 s 下产品 i 的完工时间因提前或拖期受惩罚的悲观满意度.

图 2 描述了某调度结果 s 下的产品完成时间与交货期约束的关系. 为了描述简便, 图 2 中符号 m_{ie} 和 m_{il} 分别为在调度 s 下 $m_{ie}(s)$ 和 $m_{il}(s)$ 的值; c_i^L, c_i^M, c_i^U 分别为调度 s 下 $c_i^L(s), c_i^M(s), c_i^U(s)$ 的值; μ_i^M 为 c_i^M 在软交货期约束下实现的满意度. m_{ie} 由 $1 - \mu_{\tilde{C}_i}(x)$ 的左边与 $\mu_{[\tilde{D}_i, +\infty)}(x)$ 的交点所决定, 表示产品 i 在最差结果下完工时间小于到期时间的可能性; m_{il} 由 $1 - \mu_{\tilde{C}_i}(x)$ 的右边与 $\mu_{(-\infty, \tilde{D}_i]}(x)$ 的交点所决定, 表示产品 i 在最差结果下完工时间大于到期时间的可能性. 显然, 由图 2 可知, 两点悲观满意度优化指标关注的最坏结果为 c_{ie} 和 c_{il} 两点, 分别对应提前和拖后两种情况下的最坏结果. 所以, c_{ie} 越大, 完工时间受提前的惩罚越小, 效用 m_{ie} 越好; c_{il} 越小, 完工时间受拖后的惩罚越小, 效用 m_{il} 越好. 显然, 最大化两点悲观满意度的调度将使可能性大的完工时间尽可能多地落入满意度也大的交货期内, 这样即可在实现时受提前/拖期的惩罚最小, 总效用最高.

m_{ie} 的取值有 3 种可能: 1) 当 $c_i^M \leq d_{i1}$ 时, $m_{ie} = 0$; 2) 当 $c_i^L \geq d_{i2}$ 时, $m_{ie} = 1$; 3) 当 $c_i^M > d_{i1}, c_i^L < d_{i2}$ 时, $m_{ie} = c_i^M - d_{i1} / (d_{i2} - d_{i1}) + (c_i^M - c_i^L)$. 相应地, m_{il} 的取值也有 3 种可能: 1) 当 $c_i^M \geq d_{i4}$ 时, $m_{il} = 0$; 2) 当 $c_i^U \leq d_{i3}$ 时, $m_{il} = 1$; 3) 当 $c_i^U > d_{i3}, c_i^M < d_{i4}$ 时, $m_{il} = d_{i4} - c_i^M / (c_i^U - c_i^M) + (d_{i4} - d_{i3})$.

3.3 三点满意调度模型

悲观准则关注具有一定可信度的可能结果区域

的“最坏可能结果”, 但该“最坏可能结果”仍是所关注可能结果区域中可信度最低的, 该区域中可信度最高的可能结果(即三角模糊函数的顶点代表的可能结果)在优化中如果没有得到关注, 则得到的调度结果虽具有了抗风险性. 但在现实中由于“最坏可能结果”实现的可能性较小, 实际实现的调度也可能并不真正使客户满意. 在考虑决策者抗风险偏向的同时, 兼顾优化可信度最高的可能结果具有更现实的意义.

对于产品 i 的完工时间 $\tilde{C}_i(s)$, 可信度最高的完工结果为 $c_i^M(s)$, 设其对应交货期 \tilde{D}_i 的满意度为 $\mu_{\tilde{D}_i}(c_i^M(s))$, 图 2 中简记为 μ_i^M . 本文建立如下满意调度优化目标:

$$RM_3(s) = \sum_{i=1}^k w_i [m_{ie}(s) + m_{il}(s) + \mu_{\tilde{D}_i}(c_i^M(s))]. \quad (3)$$

若用 S 表示所有可行调度的集合, 则式 (3) 的目标是求得一个最大化该目标值的可行调度 s^* , 使得

$$RM_3(s^*) = \max_{s \in S} RM_3(s). \quad (4)$$

其中 $\mu_{\tilde{D}_i}(x)$ 是决策者给出的信息, 优化不能改变其形状, 仅对 $\mu_{\tilde{C}_i(s)}(x)$ 起作用, 可以改变 $\mu_{\tilde{C}_i(s)}(x)$ 的形状和相对位置. 由式 (3) 可知, 要求得给定调度 s 下的目标值 $RM_3(s)$, 只需求得 $m_{ie}(s), m_{il}(s), \mu_{\tilde{D}_i}(c_i^M(s))$. 由图 2 可知, $m_{ie}(s), m_{il}(s), \mu_{\tilde{D}_i}(c_i^M(s))$ 由 $(c_{ie}, m_{ie}), (c_{il}, m_{il}), (c_i^M, \mu_i^M)$ 三点的位置所决定. 前两点决定了 $\mu_{\tilde{C}_i(s)}(x)$ 的形状, 后一点决定了 $\mu_{\tilde{C}_i(s)}(x)$ 相对于 $\mu_{[\tilde{D}_i, +\infty)}(x)$ 的位置. 式 (3) 增加了 $\mu_{\tilde{D}_i}(c_i^M(s))$ 项, 实际上是对隶属度函数 $\mu_{\tilde{C}_i(s)}(x)$ 的顶点 (c_i^M, μ_i^M) 相对软交货期的梯形隶属度函数的相对位置有了要求, 希望顶点 (c_i^M, μ_i^M) 尽量落在梯形隶属度函数的高满意度位置. 在梯形软交货期约束下, 将基于悲观满意度和最可信满意度而建立的式 (3) 优化目标下的调度模型称为三点满意调度模型, μ_i^M 的取值可由交货期 \tilde{D}_i 的隶属度函数直接获得. 三点满意调度模型在优化的综合效果上与交集面积满意度模型具有一致性, 具有优化的三点满意度目标的调度解也会具有

优化的交集面积满意度目标. 而三点满意度目标与文献 [3] 的交集面积满意度目标相比, 不仅明确地表达了决策者的抗风险偏向和优化最可信满意度偏向, 而且求解更加简便, 便于操作. 完工时间与交货期的相对位置有 30 多种情况, 且由于交集图形的不规则性, 在每种情况下求交集面积都很繁琐, 而三点满意度只需计算 $(c_{ie}, m_{ie}), (c_{il}, m_{il}), (c_i^M, \mu_i^M)$ 三点的位置即可, 极大简化了求解计算.

4 仿真计算与分析

实验测试的 10×10 模糊 Job-shop 调度问题包含 10 个工件构成的 3 种产品, 表 1 给出了 10 个工件 100 个操作的模糊加工时间和 3 种产品各自的模糊交货期及权重系数, 标注为 $10(3) \times 10$ 模糊 Job-shop 调度问题.

根据文献 [8] 的 GSA 算法, 求解所建立调度模型算法参数选择如下: 种群规模 $P_{size} = 20$, 最大进化代数 $MaxGen = 60$, 交叉概率 $p_c = 0.8$, 变异概率 $p_m = 0.2$, 初温 $T_0 = 3.0$, 退温速率 $\eta = 0.9$, 抽样步数采用最后 10 代, 取为 10 000, 其他进化代数的抽样步数取 100. 对问题进行 20 次求解, 取其中最好解作为求解结果.

为了表明三点满意调度实现了决策者兼顾抗风险和优化最可信满意度的决策偏向, 将单纯抗风险的两点悲观满意度 $RM_2(s)$ 目标下的调度解与三点满意度 $RM_3(s)$ 目标下的调度解进行对比. 对于 $10(3) \times 10$ 模糊 Job-shop 调度问题, 若以两点满意度 $RM_2(s)$ 为目标, 则运行的调度解目标函数最好结果为 1.308, 3 种产品的完工时间分别为 $\tilde{C}_1 = (36, 53, 69)$, $\tilde{C}_2 = (36, 52, 69)$, $\tilde{C}_3 = (27, 41, 53)$. 3 种产品的完工时间与交货期隶属度函数的位置关系如图 3 所示, 图 3 中虚线为产品完工时间隶属度函数的逆序函数.

两点悲观满意度目标使得 3 种产品在悲观情形下两点满意度的加权和最大, 即在图 3 中, 完工时间的逆序函数与梯形交货期的两个交点具有较大纵坐标, 但不能保证产品完工时间的三角模糊函数与交货

表 1 $10(3) \times 10$ 模糊 Job-shop 调度问题的各参数数据

产品号	工件号	机器号(加工时间)										交货期	权重系数
1	1	8(2, 3, 4)	6(3, 5, 6)	5(2, 4, 5)	2(4, 5, 6)	1(1, 2, 3)	3(3, 5, 6)	9(2, 3, 5)	4(1, 2, 3)	7(3, 4, 5)	10(2, 3, 4)	(15, 30, 45, 60)	0.2
	2	4(2, 3, 4)	2(2, 3, 4)	3(1, 2, 3)	5(2, 4, 5)	6(1, 3, 4)	8(1, 3, 4)	7(3, 4, 5)	9(1, 2, 3)	10(2, 4, 5)	1(1, 3, 4)		
	3	3(2, 3, 4)	5(1, 4, 5)	4(1, 3, 5)	1(3, 4, 5)	9(2, 3, 4)	7(3, 4, 5)	2(1, 2, 3)	10(3, 5, 6)	8(3, 5, 6)	6(1, 2, 3)		
	4	9(3, 4, 5)	4(1, 3, 4)	10(1, 3, 5)	2(2, 3, 4)	3(3, 5, 6)	6(2, 4, 5)	8(1, 3, 4)	1(3, 4, 5)	5(1, 2, 3)	7(3, 4, 5)		
2	1	10(2, 3, 4)	7(2, 3, 5)	4(2, 4, 5)	6(1, 2, 3)	8(4, 5, 6)	3(2, 4, 6)	2(2, 3, 4)	1(1, 3, 4)	5(2, 3, 4)	9(3, 4, 5)	(30, 40, 50, 60)	0.3
	2	7(3, 4, 5)	1(1, 2, 3)	9(3, 4, 5)	6(2, 4, 5)	10(1, 3, 4)	2(2, 3, 4)	5(1, 2, 3)	3(2, 4, 5)	4(3, 4, 5)	8(2, 3, 5)		
	3	7(2, 4, 5)	5(1, 2, 3)	2(3, 4, 5)	4(2, 3, 4)	1(1, 2, 3)	8(3, 4, 5)	10(2, 4, 5)	6(3, 4, 5)	3(1, 2, 3)	9(1, 2, 4)		
3	1	6(2, 4, 5)	9(1, 2, 3)	10(2, 3, 5)	8(1, 2, 4)	1(3, 5, 6)	7(1, 3, 4)	4(1, 3, 5)	2(1, 2, 4)	5(2, 4, 5)	3(1, 3, 5)	(25, 40, 50, 65)	0.5
	2	1(1, 2, 3)	5(3, 4, 5)	8(1, 3, 5)	9(2, 4, 6)	10(2, 4, 5)	6(1, 2, 4)	7(3, 4, 5)	2(1, 3, 5)	4(1, 3, 6)	3(1, 3, 4)		
	3	2(2, 3, 4)	7(1, 3, 4)	3(1, 3, 4)	5(1, 2, 3)	8(1, 3, 5)	9(2, 3, 4)	10(3, 4, 5)	6(1, 3, 4)	1(3, 4, 5)	4(1, 3, 4)		

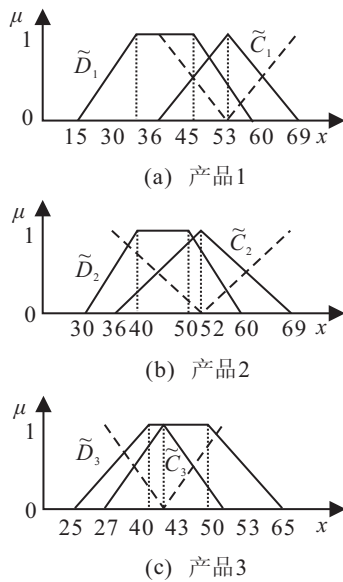


图 3 两点满意度目标所得 3 种产品的完工时间

期的梯形模糊函数具有最好的相对位置,使得最可信结果具有好的满意度。

以三点满意度 $RM_3(s)$ 为优化目标对 $10(3) \times 10$ 问题进行仿真, 所得最好结果为 2.248, 3 种产品的完工时间分别为 $\tilde{C}_1 = (30, 46, 63)$, $\tilde{C}_2 = (30, 47, 63)$, $\tilde{C}_3 = (28, 45, 61)$, 与交货期的关系如图 4 所示。

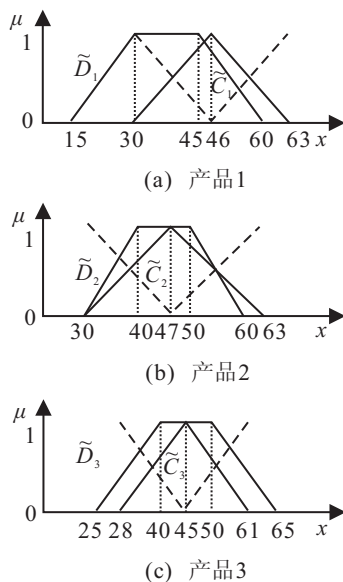


图 4 三点满意度目标所得 3 种产品的完工时间

将图 4 与图 3 相比, 显然在三点满意调度下, 产品完工时间的三角模糊函数与交货期的梯形模糊函数的相对位置有了明显改善, 最可能完工时间的满意度大大提高, 从而完工时间的三角模糊函数与交货期的梯形模糊函数有了更大的重叠区域, 使得完工时间与交货期二者的分布函数具有更大的交集面积。 $10(3) \times 10$ 问题最大化三点满意度目标所得的调度解的两点满意度为 1.261, 与两点满意度模型相比只下

降了 3.5%。由此可见, 三点满意度模型优兼顾了调度的两点悲观满意度和最可信满意度, 在保持两点悲观满意度的情况下大大优化了最可信满意度, 实现了抗风险前提下对最可信满意度优化的决策目标。

5 结 论

本文研究了梯形软交货期约束下的模糊车间作业满意调度问题。为了实现决策者的抗风险偏向, 将客户对产品提前或拖期两种情形下的悲观满意度通过两个悲观观点的确定来实现。优化目标中又兼顾最可信结果的满意度。通过对三点满意度的组合优化, 既保障了悲观情形下决策者的抗风险偏向, 又兼顾了实际实现时的最可能情形。仿真实验结果表明, 本文所建立的三点满意调度模型, 实现了决策者抗风险前提下优化最可信满意度的满意调度目标, 相比于已有满意调度模型更加优势。

参考文献(References)

- [1] Chanas S, Kasperski A. On two single machine scheduling problems with fuzzy processing times and fuzzy due dates[J]. European J of Operational Research, 2003, 147(2): 281-296.
- [2] Sakawa M. Fuzzy programming for multiobjective job shop scheduling with fuzzy processing time and fuzzy due date through genetic algorithms[J]. European J of Operational Research, 2000, 120(2): 393-407.
- [3] 耿兆强, 邹益仁. 基于遗传算法的作业车间模糊调度问题的研究[J]. 计算机集成制造系统, 2002, 8(8): 616-620. (Geng Z Q, Zou Y R. Study on job shop fuzzy scheduling problem based on genetic algorithm[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2002, 8(8): 616-620.)
- [4] Lei D M. Fuzzy job shop scheduling problem with availability constraints[J]. Computers and Industrial Engineering, 2010, 58(4): 610-617.
- [5] Fortemps P. Job shop scheduling with imprecise durations: A fuzzy approach[J]. IEEE Trans in Fuzzy Systems, 1997, 5(4): 557-569.
- [6] Dubois D, Prade H. Qualitative possibility theory and its applications to constraint satisfaction and decision under uncertainty[J]. Int J of Intelligent Systems, 1999, 14(1): 45-61.
- [7] Wang J. A fuzzy project scheduling approach to minimize schedule risk for product development[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2002, 127(2): 99-116.
- [8] Wang L, Zheng D Z. An effective hybrid optimization strategy for job-shop scheduling problems[J]. Computers and Operations Research, 2001, 28(6): 585-596.