

基于优先准则的电子产品订单交货期决策

祝 勇,潘晓弘,王正肖

ZHU Yong,PAN Xiao-hong,WANG Zheng-xiao

浙江大学 现代制造工程研究所,杭州 310027

Institute of Modern Manufacturing Engineering,Zhejiang University, Hangzhou 310027, China

E-mail:jinfalan@zju.edu.cn

ZHU Yong,PAN Xiao-hong,WANG Zheng-xiao.Delivery-date decision of electronic products orders for multiple assembly lines based on priority rule.Computer Engineering and Applications,2010,46(5):10-12.

Abstract: Order-oriented production is not only satisfactory to maximize the profit, but also to the due date of customer order. In such circumstances, scheduling orders has been an important decision in modern enterprise. Delivery date decision of orders for multiple assembly lines is studied. An assembling cost model of electronic product orders is constructed. By analyzing customer importance, delivery urgency, order profit and calculating order priority value, the sequence of scheduling orders is given. Assembly scheduling method for multiple assembly lines based on order priority rule is proposed, considering constraint of assembly resources and delivery date. According to customer importance, all orders are divided into two groups. A group of orders with more importance is scheduled by backward scheduling method, and other group is scheduled by forward scheduling method. The application demonstrates the efficiency of the proposed model and solution algorithm. Enterprise maximizes total profit and delivers production to significant customer on time.

Key words: delivery-date decision; order priority rule; two-way scheduling method

摘 要: 如何安排订单生产使得企业在获得最大效益的同时,也要满足客户对订单的交货期要求,这已经成为当今企业的一项重要决策问题。研究了多装配线情况下的订单交货期决策问题,建立了电子产品订单排产成本模型。通过对客户重要性、交货紧迫性和订单效益的分析计算,确定订单的优先执行顺序准则。基于订单优先准则,考虑装配资源约束和交货期约束,提出了多装配线条件下的装配模拟排产方法,根据订单的重要与否分为两类订单,分别采用后向排产方法和前向排产方法。应用实例的计算分析表明提出方法的有效性,企业获得较大效益并且能够满足重要客户的交货期要求。

关键词: 交货期决策; 订单优先准则; 双向排产方法

DOI:10.3778/j.issn.1002-8331.2010.05.004 **文章编号:**1002-8331(2010)05-0010-03 **文献标识码:**A **中图分类号:**F273.2;TP391

1 引言

电子制造企业通常都是装配型企业,其订单往往数量巨大,且交货期紧迫,企业在计划期内常常接到多个订单,而订单的交货日期多有重叠。在一计划期内,当接到一批客户订单后,首先要决策的问题是确定订单排产的优先顺序,不同的订单执行顺序会影响交货期和生产成本,然后才是基于订单的优先顺序准则来具体安排订单产品的生产。

近年来许多学者对订单排程的各种问题做了大量的研究^[1-5],对多种生产情况下的基于优先级调度规则的生产调度与排程分别进行了论述。Joseph Y.-T.Leung 等人研究了多产品在多机器上的生产调度^[1-2]。B.M.T.Lin^[4]和 Guo-qing Wang^[5]都采用启发式方法来解决在一定约束条件下使订单总的加工或完成时间最少。目前研究人员在生产调度方面做了很多工作^[6],但大多都只是从订单的完成或交货日期出发进行生产安排,没有区分重

要订单。而根据客户的重要程度来划分订单的优先级,为企业把握住重要客户,对企业的未来发展具有重要的意义。

通过对订单的客户重要性、交货紧迫性和订单效益三方面的分析计算,得到订单综合优先权数,并根据客户的重要与否将订单分为2大类,以装配费用最少作为目标,分别采用后向与前向的排产方法来确定订单的交货期,最后通过一个实例来验证。

2 问题描述

电子产品订单生产主要是面向装配,由于同一产品在不同装配线上的装配能力与费用是不同的,不同的安排生产的方法带来的效益是不同的,是一个决策问题。

假设 (1)零部件和原材料供应充足;(2)1条装配线在同一时间只能加工1个订单;(3)每条装配线可以装配所有产品,但装配能力与费用依产品不同而有差异。

基金项目:国家高技术研究发展计划(863)(the National High-Tech Research and Development Plan of China under Grant No.2009AA04Z151)。

作者简介:祝勇(1979-),男,博士研究生,主要研究领域为生产管理,工业工程;潘晓弘(1954-),男,博士,教授,主要研究领域为制造业信息化;王正肖(1972-),男,博士,副教授,主要研究领域为工业工程。

收稿日期:2009-11-02 **修回日期:**2009-12-17

某电子企业有 N 条装配线,用 $AL_h(h=1,2,\dots,N)$ 表示,生产 M 种产品,用 $P_j(j=1,2,\dots,M)$ 表示。用矩阵 A 的元素 a_{hj} 表示装配线 AL_h 每天装配产品 P_j 的能力,用矩阵 F 的元素 f_{hj} 表示装配线 AL_h 装配单位产品 P_j 所需的费用。 S_{ht} 表示装配线 AL_h 在时段 t 是否空闲,若是空闲则为 1,否则为 0。

企业在计划期内(开始日期为 T_1 ,终止日期为 T_2)接到一批客户订单,用 $O_i(i=1,2,\dots,L)$ 表示。

订单可用四元组表示: $O=(i,E_1,E_2,E_3)$, i 为订单号, E_1 为客户属性, E_2 为订单属性, E_3 为产品属性。

客户属性 E_1 可表示为 $E_1=(i,c,C_r,C_m,C_y)$, c 为客户号, C_r 为客户类别, C_m 为交易额, C_y 为交易年限。

订单属性 E_2 可表示为 $E_2=(i,T_i,P_j,q_{ij})$, T_i 为订单交货期, P_j 为产品种类, q_{ij} 为产品 j 的数量。

产品属性 E_3 可表示为 $E_3=(j,b_j,G_j,g_{hj})$, j 为产品号, b_j 为 j 的单位销售价格, G_j 为加工 j 的资源集, g_{hj} 为产品 j 消耗装配线 h 的工时。

设 x_{jih} 表示订单 O_i 中产品 P_j 选择装配线 AL_h 装配的数量,则以订单的装配费用最小为目标,建立如下的订单装配排产模型:

$$\min C_m = \sum_{i=1}^L \sum_{\{P_j\} \in O_i} \sum_{h=1}^N x_{jih} \times f_{hj} \quad (1)$$

s.t.:

$$\sum_{h=1}^N x_{jih} \geq q_{ij}, \forall i, j \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^L \sum_{\{P_j\} \in O_i} x_{jih} \times g_{hj} \leq \sum_{t=1}^{T_2-T_1} S_{ht}, h=1, 2, \dots, N \quad (3)$$

$$OP_{k-1} < OP_k, k=2, 3, \dots, L, k \in i \quad (4)$$

式(2)表示需求满足约束;式(3)表示所有订单消耗某装配线的工时总额不能超过该装配线的总空闲时间;式(4)表示订单按综合优先顺序准则排产。

3 订单优势分析和优先准则

客户订单的优势可从客户重要性、交货紧迫性、订单效益三方面考虑。

3.1 客户重要性

评价客户重要性一般分为非常重要、重要、一般、不重要、非常不重要 5 个等级,可从客户类别 C_r 、交易额 C_m 、交易年限 C_y 等方面进行评价。 C_r 分为长期合作客户、大单客户、批发商、零售商、临时客户; C_m 分为大于 500 万、100~500 万、50~100 万、10~50 万、10 万以下; C_y 分为 5 年以上、3~5 年、1~3 年、6 个月~1 年、6 个月以下。三项权重系数分别为 0.5、0.3、0.2,可采用通过专家“打分”,然后用 AHP 求得客户的综合重要权值,记为 $u_i(i=1,2,\dots,L)$ 。

3.2 交货紧迫性

计划截止期 T_2 与订单交货期 T_i 之差不能准确反映交货的紧迫程度,还与占用装配线资源有关。

订单 O_i 占用装配线的时间 $Tocc_i$ 可用式(5)表示:

$$Tocc_i = \sum_{\{P_j\} \in O_i} \max_{h \in G_j} q_{ij} \times \delta_{hj}, i=1, 2, \dots, L \quad (5)$$

则订单交货紧迫度可定义为:

$$Turg_i = \frac{T_2 - T_i + Tocc_i}{T_2 - T_1}, i=1, 2, \dots, L \quad (6)$$

交货紧迫度也可分为 5 个等级:(1)最紧迫, $Turg_i \geq 1$;(2)紧迫, $0.8 \leq Turg_i < 1$;(3)比较紧迫, $0.6 \leq Turg_i < 0.8$;(4)一般, $0.4 \leq$

$Turg_i < 0.6$;(5)不紧迫, $Turg_i < 0.4$ 。订单交货紧迫权值可按交货紧迫度“打分”得到,取值范围为[0.8, 1.2],记为 $v_i(i=1,2,\dots,L)$ 。

3.3 订单效益

订单效益可用订单销售收入减去订单生产成本表示。

订单销售收入 Pr_i 表示为:

$$Pr_i = \sum_{\{P_j\} \in O_i} b_j \times q_{ij}, i=1, 2, \dots, L \quad (7)$$

订单的可加工资源有多个,费用有多有少,以最大占用资源的费用来表示订单生产成本:

$$ALC_i = \sum_{\{P_j\} \in O_i} \max_{h \in G_j} q_{ij} \times f_{hj}, i=1, 2, \dots, L \quad (8)$$

则订单效益为:

$$Be_i = Pr_i - ALC_i = \sum_{\{P_j\} \in O_i} (b_j \times q_{ij} - \max_{h \in G_j} q_{ij} \times f_{hj}) \quad (9)$$

根据订单效益值给其“打分”,得到订单效益的权值 $r_i(i=1,2,\dots,L)$ 。

3.4 订单优先权数和优先准则

将上述三个权重相乘可得订单 O_i 的综合优先权数为:

$$OP_i = u_i \times v_i \times r_i, i=1, 2, \dots, L \quad (10)$$

根据订单客户是否长期合作客户和大单客户将订单分成两类:一类是重要订单集 D_1 ,含有 L_1 个订单;另一类是一般订单集 D_2 ,含有 $(L-L_1)$ 个订单。

选择订单执行顺序遵循以下规则:(1)第一级规则是重要订单 D_1 优先于一般订单 D_2 加工;(2)第二级规则是综合优先权 OP_i 大的订单优先执行。

4 电子产品订单双向排产方法

对于 D_1 类订单采用后向排产法,为保证交货期,倒推排产,从后向前占用装配线的生产能力。而对 D_2 类订单采用前向排产法,利用装配线的空闲时间来安排加工,将装配线的空余能力尽量利用起来。设 D_3 为不能满足交货期要求的订单集合。

4.1 后向排产算法

(1)将 D_1 中订单按综合优先权数 OP_i 从大到小排列,得到新集合 D_1^{new} :

$$D_1^{new} = \{O_k, k=1, 2, \dots, L_1 | OP_k > OP_{k+1}, k=1, 2, \dots, L_1 - 1\}$$

(2)按 k 从小到大从 D_1^{new} 中每次取一个订单 O_k ,其交货期为 T_k ;

(3)针对 O_k 中的所有产品,依次取一个产品 P_j ,令集合 $H=G_j$;

(4)若 $H=\Phi$,则说明没有装配线可满足订单 O_k 中的产品 P_j 的加工要求,交货期 T_k 不能满足,将订单 O_k 加入 D_3 中,转(10);若 $H \neq \Phi$,由于优化目标是加工费用最少,所以从可加工装配线集合 H 中选择加工 P_j 所耗费用最少($\min f_{hj}$)的装配线 AL_h ;

(5)令 $x_{kjh} = q_{kj}$,按下式计算加工时间 Δt_{kh} : $\Delta t_{kh} = x_{kjh} / a_{hj}$;

(6)令 $t_{h1} = T_k - \Delta t_{kh}$, $t_{h2} = T_k$;

(7)统计在时段 $[t_{h1}, t_{h2}]$ 内装配线 AL_h 占用情况,得到占用天

数 $d_h = \sum_{t \in [t_{h1}, t_{h2}]} (1 - S_{ht})$, $d_h \geq 0$,则 $q_{kj} = q_{kj} - (t_{h2} - t_{h1} - d_h) \times a_{hj}$;

(8)若 $d_h = 0$,可得订单 O_k 中的产品 P_j 的开始加工时间 $ST_{kj} = t_{h1}$,转(9);若 $d_h > 0$,令 $t_{h2} = t_{h1}$, $t_{h1} = t_{h2} - d_h$,转(7);

(9)若 $ST_{kj} < T_1$,则装配线 AL_h 不能全部完成订单 O_k 中的产品 P_j ,令 $S_{ht} = 0, t \in [T_1, T_k]$ 。从 H 中去掉装配线 AL_h ,转(4);否则,

令 $S_h=0, t \in [ST_{ij}, T_k]$, 转(10);

(10)循环(3)~(9), 直至订单 O_k 中的所有产品处理完毕;

(11)循环(2)~(10), 依次排完所有订单。

4.2 前向排产算法

(1)将 D_2 中订单按综合优先权数 OP_k 从大到小排列, 得到新集合 D_2^{new} :

$$D_2^{new} = \{O_k, k=1, 2, \dots, L-L_1 | OP_k > OP_{k+1}, k=1, 2, \dots, L-L_1-1\}$$

(2)按 k 从小到大从 D_2^{new} 中每次取一个订单 O_k , 其交货期为 T_k ;

(3)针对 O_k 中的所有产品, 依次取一个产品 P_j , 令集合 $H=G_j$;

(4)若 $H=\Phi$, 则说明没有装配线可满足订单 O_k 中的产品 P_j 的加工要求, 交货期 T_k 不能满足, 将订单 O_k 加入 D_3 中, 转(10); 若 $H \neq \Phi$, 由于优化目标是加工费用最少, 所以从可加工装配线集合 H 中选择加工 P_j 所耗费用最少 ($\min f_{ij}$) 的装配线 AL_h ; 确定装配线 AL_h 的最早空闲时间作为订单 O_k 中的产品 P_j 的开始加工时间 ST_{ij} ;

(5)令 $x_{kjh}=q_{ij}$, 按下式计算加工时间 Δt_{kh} : $\Delta t_{kh}=x_{kjh}/a_{ij}$;

(6)令 $t_{h1}=ST_{ij}, t_{h2}=ST_{ij}+\Delta t_{kh}$;

(7)统计在时段 $[t_{h1}, t_{h2}]$ 内装配线 AL_h 占用情况, 得到占用天

$$数 d_h = \sum_{t \in [t_{h1}, t_{h2}]} (1 - S_{ht}), d_h \geq 0, 则 q_{ij} = q_{ij} - (t_{h2} - t_{h1} - d_h) \times a_{ij};$$

(8)若 $d_h=0$, 可得订单 O_k 中的产品 P_j 的完工时间 $FT_{ij}=t_{h2}$, 转(9); 若 $d_h>0$, 令 $t_{h1}=t_{h2}, t_{h2}=t_{h1}+d_h$, 转(7);

(9)若 $FT_{ij}>T_k$, 则装配线 AL_h 不能全部完成订单 O_k 中的产品 P_j , 令 $S_{ht}=0, t \in [ST_{ij}, T_k]$ 。从 H 中去掉装配线 AL_h , 转(4); 否则, 令 $S_{ht}=0, t \in [ST_{ij}, FT_{ij}]$, 转(10);

(10)循环(3)~(9), 直至订单 O_k 中的所有产品处理完毕;

(11)循环(2)~(10), 依次排完所有订单。

分别经过 D_1 类订单反向排产和 D_2 类订单前向排产后, 若 $D_3=\Phi$, 说明所有订单都能满足交货期, 否则, D_3 中的订单不能满足交货期要求。

5 应用案例

下面通过一个实例来说明如何进行订单交货期决策。

某企业有 4 条装配线, 生产 6 种产品。装配线的能力矩阵 A 和费用矩阵 F 分别为:

$$A = \begin{bmatrix} 1100 & 1000 & 900 & 1100 & 800 & 1200 \\ 1000 & 1200 & 1000 & 900 & 1100 & 1000 \\ 1200 & 800 & 1100 & 1000 & 1200 & 900 \\ 900 & 1000 & 800 & 1200 & 1000 & 1100 \end{bmatrix}$$

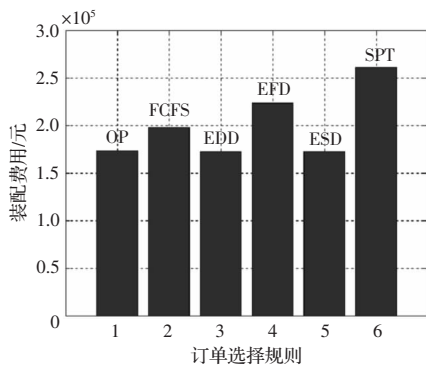


图1 各订单选择规则下的总装配费用

$$F = \begin{bmatrix} 3.1 & 2.7 & 2.5 & 3.5 & 2.0 & 5.0 \\ 3.0 & 3.1 & 2.6 & 3.1 & 2.3 & 4.8 \\ 3.2 & 2.5 & 2.7 & 3.3 & 2.4 & 4.6 \\ 2.8 & 2.8 & 2.4 & 3.6 & 2.2 & 4.9 \end{bmatrix}$$

装配线 1 在第 2、3、9、10、11 天被占用; 装配线 2 在第 1、4、5、6 天被占用; 装配线 3 在第 3、4、7、8、9 天被占用; 装配线 4 在第 2、3、6、7、12、13 天被占用。

某电子制造企业订单如表 1 所示, 其中各订单的需求量为 q_j, C_k 为订单 O_k 的客户, T_k 为订单 O_k 的交货期, β_k 为订单 O_k 的拖期惩罚权重, OP_k 为订单 O_k 的优先级。其中, C_1 和 C_2 为长期合作客户, C_3 为大单客户, C_4 为零售商, C_5 为批发商, C_6 为临时客户。

表 1 某电子制造企业计划期内订单需求

| O_k | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----------|------------|-------|------------------|-------|------------|------------|
| P_j | P_2, P_5 | P_1 | P_1, P_2, P_4 | P_3 | P_4, P_6 | P_2, P_3 |
| q_j | 6000, 2500 | 9500 | 4000, 4000, 2000 | 10500 | 7000, 4000 | 5000, 3000 |
| C_k | C_1 | C_2 | C_4 | C_3 | C_5 | C_6 |
| T_k | 10 | 23 | 19 | 14 | 23 | 25 |
| β_k | 1.5 | 1.2 | 1 | 1.2 | 1 | 1 |
| OP_k | 1 | 3 | 4 | 2 | 5 | 6 |

首先计算确定各订单的综合优先权数 OP_k (如表 1)。然后根据订单客户 C_k 是否长期合作客户和大单客户将订单分成两组: 一组是重要订单集 $D_1=\{O_1, O_2, O_4\}$; 另一组是一般订单集 $D_2=\{O_3, O_5, O_6\}$ 。

根据订单优先准则分别对 D_1 类订单采用后向排产法, 对 D_2 类订单采用前向排产法。并将结果与以下常用的订单选择规则作比较:

(1)FCFS(First Come First Served)规则, 即先到先服务规则: 根据订单到达的先后次序安排加工顺序, 先到先加工。

(2)EDD(Earliest Due Date)规则, 即最早交货期规则: 按照交货期从早到晚进行排程, 优先安排完工期限最紧的订单。

(3)EFD(Earliest Finish Date)规则, 即最早完成日期原则: 基于最早完成日期。

(4)ESD(Earliest Start Date)规则, 即最早下达日期原则: 按照最早开始日期优先。

(5)SPT(Shortest Processing Time)规则, 即最短加工时间规则: 把加工时间由短到长进行排程, 优先选择加工时间最短的订单。

依次按照 5 种订单选择规则确定的订单执行顺序, 选择装配订单费用最少的装配线加工产品, 并计算总订单装配成本。

经过 MATLAB 仿真计算得到总装配费用和完成日期分别如图 1 和图 2 所示。

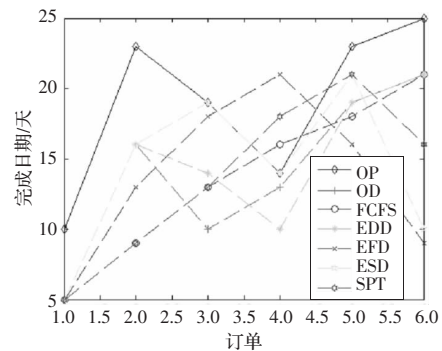


图2 各订单的交货期和完成日期