

文章编号:1001-9081(2005)03-0682-03

基于制造资源约束的供应链优化算法

李少波, 谢庆生

(贵州大学 CAD/CIMS 工程技术中心, 贵州 贵阳 550003)

(lsb@gzcad.com)

摘要:在基于 ASP 的网络化制造中,制造资源管理的目的是为了供应链的集成与优化,供应商的评价和选择是非常重要的。在研究基于制造资源约束的供应链关系的基础上,建立了基于制造资源约束的供应链优化数学模型。根据模型最优点应满足 Karush-Kuhn-Tucker (KKT) 一阶必要条件,考虑 Lagrangian 定理,提出了该问题在不同条件下的迭代求解算法。通过应用证明该方法算法效率高,在较少迭代次数时具有较好的收敛性。

关键词:网络化制造;制造资源约束;供应链管理;KKT;优化算法

中图分类号: TP391.73 **文献标识码:** A

Supply chain optimal algorithm based on manufacturing resource limits

LI Shao-bo, XIE Qing-sheng

(CAD/CIMS Institute, Guizhou University, Guiyang Guizhou 550003, China)

Abstract: This paper studied the supply chain optimal algorithm based on manufacturing resource limits, defined the mathematical model, established the first-order necessary conditions of Karush-Kuhn-Tucker (KKT) optimality for it. Considering the Lagrangian theorem, the iterative solution approaches in difference conditions were presented. Our computational testing indicates that both algorithms converge in a few iterations and are very efficient.

Key words: network manufacturing; manufacturing resource limits; supply chain management; Karush-Kuhn-Tucker (KKT); optimal algorithm

0 引言

全球性的激烈竞争、极短的产品生命周期、高度分散的经营以及由需求驱动的管理,这就是今天企业所面临的经营环境。在新的环境中,企业同其供应商、销售商的关系,已不再简单地是业务往来对象,而是结成了利益共享的战略合作伙伴关系。这种合作伙伴关系组成的供应链,构成的是“横向一体化”的战略联盟,企业之间的竞争表现为供应链的整体性竞争,供应链上的企业之间只有建立了良好的伙伴关系,才能使供应链协调、有效地运作。

基于 ASP 的网络化制造资源管理系统通过构建区域制造资源的管理数据库,并通过制造资源建模和有效的评价、搜索方法,为客户快捷、有效地组建企业动态联盟提供了基础平台,对主机产品制造商而言,供应商的确定、供应链的优化是企业运作的核心问题之一。本文在研究基于制造资源约束的供应链关系的基础上,建立了基于制造资源约束的供应链优化数学模型,并研究提出了其优化迭代算法^[1-6]。

1 供应链管理的数学模型

1.1 供应链关系图

设制造商(主机产品生产商)生产和销售 p 种不同的产品,使用 n 种不同的原材料,这些原材料由 m 个供应商提供,如图 1 所示。

制造商面临的问题是在当前的范围内,在供应商想得到最大利益的情况下,怎样确定从每一家供应商处购买多少零部件/原材料。假设市场对产品的需求是随机的,制造商具有限制它自己及其供应商的能力,且制造商是供应商很多客户中的一个,供应商提供的零部件/原材料市场情况比较好,供应商主要关注的是它的加工能力。则基于制造资源约束的供应链优化问题可以简单地理解为在最终产品实现之前,需要同时确定产品的生产数量及外购零部件/原材料的数量。

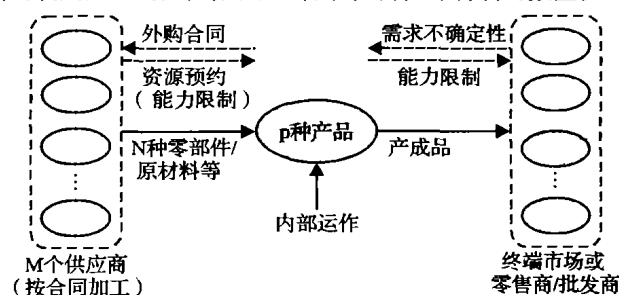


图1 基于资源约束的供应链关系图

1.2 变量、参数及符号说明

制造商必须确定 k 产品的生产数量 y_k 。设制造商每种产品产生销售收入 r_k , 其中 $k = 1, \dots, p$; 一个单位的 k 产品, 需要第 i 种原材料的数量为 b_{ik} , $i = 1, \dots, n, k = 1, \dots, p$; 参数 x_{ij} 为从 j 供应商处以每单位成本 c_{ij} 购买 i 原材料的总数。

设制造商生产一个单位 k 产品, 产生 d_k 的直接生产成本,

收稿日期:2004-08-24;修订日期:2004-11-15

基金项目:国家 863 计划项目(2003AA414013);贵州工业大学博士基金资助项目(2003-002)

作者简介:李少波(1973-),男,湖南岳阳人,副教授,博士,主要研究方向:制造业企业信息系统;谢庆生(1954-),男,贵州贵阳人,教授,主要研究方向:制造业企业信息系统。

同时消耗 t_k 种产能资源,虽然产能资源的消耗不产生额外的直接货币成本,我们假设这些资源的总数限制为 Q ;另外,考虑到供应商资源的约束, v_{ij} 代表供应商 j 为供应制造商生产每单位的第 i 种原材料所占用的内部资源,设供应商 j 对该制造商设定的资源总数限制为 q_j 。

z_k 描述产品 k 的市场随机需求, $f(z_k)$ 为该需求可能的概率密度函数。假设市场对每种最终产品的需求彼此独立(该假设并不总是成立,但可以证明当产品的相关性很低的时候,该假设成立,例如当产品是在独特的区域市场或高度分割的市场进行销售时)。

决策过程如下:在决策的开始,制造商只了解每种产品大致的市场需求统计分布情况,而不知道市场的准确实际需求。企业不得不同时作外购(从每个供应商处订购各种零部件/原材料数量)与生产(每种产品制造的数量)的决定,因此,在定单之前,制造商不仅要考虑自身的能力/资源约束,同时也要考虑供应商的能力/资源约束,获得各种定单零部件/原材料,制造出各种产品。在供应网络关系中,忽略供应商供货的提前或延后,在外购关系中,假设供应商不存在初级原材料短缺的情况,同时零部件/原材料的交付在计划的时期以内(通过合同是可以实现的)。

假设产品 k 的实际市场需求数 z_k 大于制造商能提供的产品数 y_k ,则存在未满足的需求 $z_k - y_k$;另一方面,如果产品生产过多,则有 $y_k - z_k$ 的产品销售不出去。出现生产不足或生产过多的情况都是不合算的,设 u_k 代表单位产品 k 生产不足的损失, w_k 代表单位产品 k 生产过多的损失。

1.3 数学模型定义

使用上述描述的符号,决策问题用公式表示如下:

$$(P): \begin{aligned} & \text{Maximize} \\ & y_k, k = 1, \dots, p, \\ & x_{ij}, i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m \end{aligned}$$

$$\sum_{k=1}^p \left\{ \int_0^{y_k} [r_k z_k - w_k(y_k - z_k)] f(z_k) dz_k + \int_{y_k}^{\infty} [r_k y_k - u_k(z_k - y_k)] f(z_k) dz_k \right\} - \sum_{k=1}^p d_k y_k - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

条件:

$$\sum_{k=1}^p b_{ik} y_k \leq \sum_{j=1}^m x_{ij}, i = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n v_{ij} x_{ij} \leq q_j, j = 1, \dots, m \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^p t_k y_k \leq Q \quad (4)$$

$$x_{ij} \geq 0, y_k \geq 0, \\ i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m, k = 1, \dots, p \quad (5)$$

目标函数式(1)由三部分组成:第一部分是产品 k 的实际产量多于市场需求时的预期利润,第二部分是产品 k 的实际产量少于市场需求时的预期利润,这两部分对所有产品进行积分,第三部分是制造商内部制造成本及支付给供应商的成本。式(2)描述了产品的原材料需求;式(3)中的约束描述了供应商对制造商的约束;式(4)描述制造商自身能力/制造资源的约束。

1.4 问题(P)最优解描述

最优解应满足 Karush-Kuhn-Tucker (KKT) 一阶必要条件,考虑 Lagrangian 定理:

$$L = \sum_{k=1}^p \left\{ \int_0^{y_k} [r_k z_k - w_k(y_k - z_k)] f(z_k) dz_k + \int_{y_k}^{\infty} [r_k y_k - u_k(z_k - y_k)] f(z_k) dz_k \right\} - \sum_{k=1}^p d_k y_k - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^n \lambda_i \left(\sum_{j=1}^m x_{ij} - \sum_{k=1}^p b_{ik} y_k \right) + \sum_{j=1}^m \mu_j \left(q_j - \sum_{i=1}^n v_{ij} x_{ij} \right) + \eta \left(Q - \sum_{k=1}^p t_k y_k \right) \quad (6)$$

其中 λ_i 是原材料 i 的 Lagrangian 算子, μ_j 为供应商 j 的 Lagrangian 算子, η 为制造商能力的 Lagrangian 算子。根据上面 L 的定义,可以得出如下的 KKT 一阶必要条件:

$$\frac{\partial L}{\partial y_k} = -w_k F(y_k) + (r_k + u_k)(1 - F(y_k)) - d_k - \sum_i \lambda_i b_{ik} - \eta t_k \leq 0, y_k \geq 0 \quad (7)$$

$$\left\{ [r_k + u_k - d_k - \sum_i \lambda_i b_{ik} - \eta t_k] - (w_k + r_k + u_k) F(y_k) \right\} y_k = 0 \quad (8)$$

$$\frac{\partial L}{\partial x_{ij}} = -c_{ij} + \lambda_i - \mu_j v_{ij} \leq 0 \quad (9a)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad (9b)$$

$$(-c_{ij} + \lambda_i - \mu_j v_{ij}) x_{ij} = 0 \quad (9c)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_i} = \sum_j x_{ij} - \sum_k b_{ik} y_k \geq 0 \quad (10a)$$

$$\lambda_i \geq 0 \quad (10b)$$

$$\lambda_i \left(\sum_j x_{ij} - \sum_k b_{ik} y_k \right) = 0 \quad (10c)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \mu_j} = q_j - \sum_i v_{ij} x_{ij} \geq 0 \quad (11a)$$

$$\mu_j \geq 0 \quad (11b)$$

$$\mu_j \left(q_j - \sum_i v_{ij} x_{ij} \right) = 0 \quad (11c)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \eta} = Q - \sum_{k=1}^p t_k y_k \geq 0, \eta \geq 0, \eta \left(Q - \sum_{k=1}^p t_k y_k \right) = 0 \quad (12)$$

方程式(7)~(12)组成 KKT 一阶优化解决必要条件。如果存在一组数值 $y_k^*, x_{ij}^*, \lambda_i^*, \mu_j^*, \eta^*, k = 1, \dots, p, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m$, 满足方程式(7)~(12), 则值 $y_k^*, k = 1, \dots, p$ 与 $x_{ij}^*, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m$ 是(P)的最优解。

1.4.1 特征值 y_k^*

重新排列方程式(7), 得到:

$$\frac{r_k + u_k - d_k - \sum_i \lambda_i b_{ik} - \eta t_k}{r_k + u_k + w_k} \leq F(y_k) \quad (13)$$

由 KKT 最优条件(8)可知, 如果 $y_k > 0$, 则 y_k 可以通过下式计算得出:

$$y_k = \max \left\{ 0, F^{-1} \left(\frac{r_k + u_k - d_k - \sum_i \lambda_i b_{ik} - \eta t_k}{r_k + u_k + w_k} \right) \right\} \quad (14a)$$

根据式(14a), 我们也可以得出:

$$r_k + u_k \geq d_k + \sum_i \lambda_i b_{ik} + \eta t_k \quad (14b)$$

可以看出, 假设有多一个单位的 k 产品在市场上销售, 则 $r_k + u_k$ 可描述为制造商每生产一个单位的 y_k 所增加的收益。也就是说, 每多销售一单元的 k 产品, 制造商可以获得 r_k 的销售收入, 同时由于没有过多的库存, 节约了 u_k 成本。在方程式(14b)中, λ_i 表示单位零部件/原材料 i 的边界成本, $\sum_i \lambda_i b_{ik}$ 表示生产 y_k 产品所需要资源的整体成本; 另外, 制造商不得不发生实际制造成本 d_k 以及消耗具有单位边界成本 η

的内部资源 t_k , 因此, 可以判定方程式 (14b) 的右边部分为生产一单位的 y_k 产品所产生的包括内部和外部的整体成本。

基本上, 在式 (14b) 中, 除非 y_k 的边界价值远大于边界成本, 制造商不应该生产后来的额外 y_k , 最终 y_k^* 通过调整 w_k 以后确定。可以看出, 当存物过多、成本增加时, y_k^* 减少, 即 $\frac{\partial y_k^*}{\partial w_k} < 0$; 同样, 可以推导出 $\frac{\partial y_k^*}{\partial r_k} > 0, \frac{\partial y_k^*}{\partial u_k} > 0, \frac{\partial y_k^*}{\partial b_{ik}} < 0, \frac{\partial y_k^*}{\partial t_k} < 0$ 。

1.4.2 特征值 x_{ij}^*

从公式 (1) ~ (5) 可以得出, 我们期望制造商的最优解不仅决定于自身的生产决策, 同时也受供应商成本结构及生产能力的影 响。从 (12) 式可知, 当 $x_{ij} > 0$, 也就是 $\lambda_i = c_{ij} + \mu_j v_{ij}$ 时, (P) 具有最优解必须满足另一条件集, 该条件确保在最优解的时候, 制造商从供应商 j 处取得 x_{ij} 时, 供应商每单位 i 零部件/原材料的边界供应成本与制造商的 i 零部件/原材料的边界成本相一致。记 v_{ij} 是供应商 j 生产每单位的 i 零部件/原材料所需要的内部资源成本, μ_j 是内部资源的边界价值, c_{ij} 是制造商从供应商 j 处购买 i 零部件/原材料的价格, 反映出制造商的生产决定受供应商生产约束的影响。

2 迭代求解算法

考察 KKT 最优解条件, (9a) ~ (11c) 也是以下二重线性规划的可行条件

用参数表示 y :

$$P_2(y): \text{Minimize } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij}$$

条件为:

$$\sum_{k=1}^p b_{ik} y_k \leq \sum_{j=1}^m x_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (10a)$$

$$\sum_{i=1}^n v_{ij} x_{ij} \leq q_j, \quad j = 1, \dots, m \quad (11a)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m \quad (9b)$$

$$D_2(y): \text{Maximize } \sum_{i=1}^n \lambda_i \sum_{k=1}^p b_{ik} y_k - \sum_{j=1}^m \mu_j q_j$$

条件为:

$$-\lambda_i + \mu_j v_{ij} \geq c_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, n, j = 1, \dots, m \quad (9a)$$

$$\lambda_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, n \quad (10b)$$

$$\mu_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, m \quad (11b)$$

它们相应的补充松弛条件如下:

$$(\lambda_i - c_{ij} - \mu_j v_{ij}) x_{ij} = 0 \quad (9c)$$

$$\lambda_i \left(\sum_{j=1}^m x_{ij} - \sum_{k=1}^p b_{ik} y_k \right) = 0 \quad (10c)$$

$$\mu_j \left(q_j - \sum_{i=1}^n v_{ij} x_{ij} \right) = 0 \quad (11c)$$

因此, 给定优化值 y 和 η , x 的最优值可以通过解线性规划 ($p_2(y)$) 获得, 考虑到制造商资源能力约束不是很紧的时候, $\eta^* = 0$, 迭代求解过程如下:

1) 给 λ 和 η 赋初值 (初始值为 0), 通过式 (14a) 计算 y_k 的值, 使用得到的 y_k 的值解线性规划 ($p_2(y)$);

2) 通过优化二重参数, 修正 λ 和 η 的值, 通过式 (14a) 重新计算 y_k 的值; 使用向前向后迭代方法计算 y 和线性规划 ($p_2(y)$), 一直到 y, x, λ, μ 收敛。

在执行过程中, 特别注意参数的初始值、 y 修正的步长和收敛标准的选取。算法描述如下:

$$R(y, \lambda, \mu) = \sum_{k=1}^p \left\{ \int_0^{y_k} [r_k z_k - w_k (y_k - z_k)] f(z_k) dz_k + \right.$$

$$\left. \int_{y_k}^{\infty} [r_k y_k - u_k (z_k - y_k)] f(z_k) dz_k \right\} -$$

$$\sum_{k=1}^p d_k y_k - \sum_{i=1}^n \lambda_i \sum_{k=1}^p b_{ik} y_k + \sum_{j=1}^m \mu_j q_j$$

设 y', λ', μ' 分别代表 t 空间中的 p 维矢量 y, n 维矢量 λ 和 m 维矢量 μ 。

算法 A

1) 定 $\lambda^0 = 0, \mu^0 = 0, t = 0, s = 1$ (s 为步长);

2) 使用式 (14) 及 λ' 的值计算 y'^{s+1} ;

3) 解 $P_2(y'^{s+1})$ (同时解 $D_2(y'^{s+1})$), 得到 x'^{s+1}, λ'^{s+1} 和 μ'^{s+1} , 计算 $R(y'^{s+1}, \lambda'^{s+1}, \mu'^{s+1})$;

4) 如果存在 $\|y'^{s+1} - y'\| < \varepsilon_y$ (ε_y 代表公差范围), 则停止, 问题 (P) 的优化解为 (y'^{s+1}, x'^{s+1}) ;

5) 对于 $P_2(y')$, 如果所有的 $y_i'^{s+1}$ 在其上下界以内, 同时又满足所有的约束条件, 则停止; λ' 是 $D_2(y'^{s+1})$ 的最优解, 通过得出的 y'^{s+1} 及求解 $P_2(y'^{s+1})$, 得出问题 (P) 的最优解;

6) 如果 $R(y'^{s+1}, \lambda'^{s+1}, \mu'^{s+1}) < R(y', \lambda', \mu')$, 则定 $s = s/2$;

7) $\lambda'^{s+1} = \lambda' + s(\lambda'^{s+1} - \lambda'), \mu'^{s+1} = \mu' + s(\mu'^{s+1} - \mu')$;

8) $t = t + 1$, 返回到 2)。

当制造商能力约束很强的时候, η 不为零, 必须修改迭代过程, 迭代过程对 η 进行对分搜索操作, 详细迭代算法描述如下:

算法 B

1) 设 $\eta = 0$, 应用算法 A 进行计算, 如果最优解满足约束条件 (4) 式, 停止, 该解也是问题 (P) 的最优解;

2) 设 $\eta_{\min} = 0, \eta_{\max} = \max_k (r_k + t_k) / t_k$, (这是 μ 的实际上界, 否则 $y = 0$);

3) 设 $s = 0$;

4) 设 $\eta' = (\eta_{\min} + \eta_{\max}) / 2$;

5) 利用算法 A 得到 y' 和 λ' ;

6) 如果 $|Q - \sum_{k=1}^p t_k y_k'| \leq \varepsilon_\eta$, 停止, 得到最优化解;

7) 如果 $\eta_{\max} < \varepsilon_\eta$, 同时 $\sum_{k=1}^p t_k y_k' \leq Q$, 停止, (y', x') 是最优化解;

8) 另外, 如果 $Q < \sum_{k=1}^p t_k y_k'$, 则定 $\eta_{\min} = \eta'$; 如果 $Q >$

$\sum_{k=1}^p t_k y_k'$, 则定 $\eta_{\max} = \eta'$;

9) $s = s + 1$; 重复 4)。

3 应用验证

可以判断出目标函数在 y 和 x 上是凹函数, 通过本文提供的算法 (满足 KKT 一阶必要条件) 得到的最优解可以确保它是全局最优解。本文研究的方法应用于中国西部制造网网络化制造资源管理系统的研发之中。该系统在制造商具有外包业务需要寻找加工合作伙伴或制造商需要重新优化企业的供应链时, 能为制造商提供一种寻找适当的供应商/加工商来完成该任务的支撑平台。在该系统中注册有大量具有特定制造能力、零部件/原材料供应能力的企业集群, 根据任务的需

(下转第 687 页)

各 Marker 信号采集完后,打包一次发送,则待传输的数据量和速度为: $4 \times 25 \times 30 \times 10\text{B/s} = 30\text{KB/s}$ 。系统 USB 传输部分完全能满足要求。

3.2 端口使用与数据传输控制

USB 有批量传输、中断传输、同步传输和控制传输 4 种方式,本系统采用批量(Bulk)传输。数据由支架传输给上位机,可供使用的 IN 端点有 1-IN ~ 7-IN 共 7 个,每个端点有最大 64B 的缓冲区,其中,偶数端点可与下一个连续编号的奇数端点配对使用,提供双缓冲区,系统在实际应用中端点使用情况如表 1 所示。

表 1 USB 端点使用情况(3 个数据包共 300B)

pipeNum	端点	使用情况	缓冲区大小	实际传输
3	4-IN	单独使用	64B	60B
1	2-IN	与 3-IN 配对	128B(双缓冲)	120B
5	6-IN	与 7-IN 配对	128B(双缓冲)	120B

传输数据时,固件程序与应用程序要协调配合:1) 固件程序首先进行端点有效性定义和配对定义,在端点配对寄存器(USBPAIR)中置需要配对的端点位为“1”,将 1 帧中该支架 3 个 CCD 镜头对 30 路 Marker 检测到的一组 na、nb 数据(300B)分段写入表 1 中的 3 个缓冲区(如前 60B 数据写入 IN4BUF 等),将传输字节数写入 IN 字节计数器(如将数 60 写入 IN4BC),启动传输。当通过 IN 控制与状态寄存器(IN4CS)中相关位判断为“闲”时,再启动其他端点传输,直至将 3 个包发出。2) 应用程序首先调用 bOpenDriver() 函数打开设备(支架),分别从相应管道(pipeNum)依次读取上述 3 个数据包,如读取 4-IN 对应的 60B 数据包时函数调用为:

```
bulkControl.pipeNum = 3;
bResult4IN = DeviceIoControl(hDevice,
    IOCTL_EZUSB_BULK_READ, &bulkControl,
    sizeof(BULK_TRANSFER_CONTROL), Buffer4IN,
    Length4IN, &nBytes4IN, NULL);
```

所传数据写入 Buffer4IN 缓冲区,包大小(60)写入 nBytes4IN 变量。3 个包合并,则得到 1 帧中从某支架传输上来的完整数据包(300B)。

4 数据包解析与数据预处理

从 4 个支架传输上来的 4 个数据包要进行解析和预处理后,才能用于计算,求得 1 帧中各 Marker 点的支架坐标并转化为地面坐标,最终提供给人体建模和虚拟空间 3D 图像动态显示。

(上接第 684 页)

求,制造企业能主动或被动地(指制造商主动联系)找到一批能满足它们供应链优化的供应商。通过该系统证明,本方法算法效率高,在较少迭代次数时具有较好的收敛性。限于篇幅,具体算例不作描述。

参考文献:

- [1] 谢庆生. 我国制造业 ASP 的模式与发展策略[J]. 中国制造业信息化, 2003, 1(1): 66-70.
- [2] SEGEV A, GEBAUER J. B2B Procurement and Marketplace Transformation[J]. Information Technology and Management, 2001, 2(2): 241-260.
- [3] JANNYM B, LEUNG Y. Configuring a manufacturing firm's sup-

各支架传输的 300B 数据包中,每 10B 为 1 组,第 1~30 组按顺序分别对应第 1~30 路 Marker 发光时的探测数据。以 1 组为例(表 2),na、nb 以 12 位 2 进制数存入,支架上 3 个 CCD 镜头探测该路 Marker 时 3 组(na,nb)数据占 9 字节,最后 1 个字节决定上述 6 个数的有效性,由固件程序根据 CCD 扫描和双跳变计数值的特征来确定。

表 2 每组 10 字节(B1~B10)原始数据编码

字节	内容	编码
B1		na 低 8 位
B2	CCD1	nb 高 4 位, na 高 4 位
B3		nb 低 8 位
B4		na 低 8 位
B5	CCD2	nb 高 4 位, na 高 4 位
B6		nb 低 8 位
B7		na 低 8 位
B8	CCD3	nb 高 4 位, na 高 4 位
B9		b 低 8 位
B10	有效位	0 0 X X X X X X

按下列几个步骤对数据包进行解析和预处理:

1) 解析与有效性判断。通过移位等计算将数据包还原成整型数据并存入 3 维数组[Marker][支架][CCD],当由有效位决定某个数无效或该数超出实际允许范围时,该数记为 0。

2) 数字滤波。由于 CCD 像敏元很小(本系统 CCD 芯片像敏元宽为 8 微米)、CCD 镜头采用固定像距的成像方式,受 CCD 增益和温度变化等因素影响,Marker 点位置固定时,传输并显示的数据在很小范围内跳动,在保证探测精度的前提下,进行限跳、平滑等数字滤波处理,使 Marker 点稳定时,数据稳定;Marker 点移动时,数字变化具有相应的敏感度。

3) 遴选。如果某 Marker 点被 2 个以上(包括 2 个)支架探测到时,系统按一定的数据选优原则,遴选其中 1 个支架的数据。

经上述预处理,得到有效和相对稳定的探测数据,还要经过较为复杂的计算,才能得到各 Marker 点坐标数据。

参考文献:

- [1] EZ-USB Technical Reference Manual Version 1.9 [EB/OL]. <http://www.cypress.com>, 2000-05.
- [2] EZ-USB General Purpose Driver Specification [EB/OL]. <http://www.cypress.com>, 1999-02-23.
- [3] 武安河,周利莉. Windows 设备驱动程序(VxD 与 WDM)开发实务[M]. 北京:电子工业出版社, 2001.
- [4] 王有庆. CCD 应用技术[M]. 天津:天津大学出版社, 2000.

plynetwork with multiple suppliers[J]. IIE Transactions, 2002, 34(2): 663-677.

- [4] KLASTORIN TD, MOINZADEH K, SON J. Coordinating orders in supply chains through price discounts[J]. IIE Transactions, 2002, 34(2): 679689.
- [5] ZHAO W, WANG Y-Z. Coordination of joint pricing-production decisions in a supply chain[J]. IIE Transactions, 2002, 34(2): 701-715.
- [6] MUCKSTADT JA, MURRAY DH, RAPPOLD JA, et al. Guidelines for Collaborative Supply Chain System Design and Operation[J]. Information Systems Frontiers, 2001, 3(4): 427-453.