

# 基于双赢合作机制的敏捷供应链管理系统

谢天保, 伍池宏

(西安理工大学工商管理学院信息管理学系, 西安 710048)

**摘要:** 敏捷供应链系统依据动态联盟运行的条件所设计, 具有分布、可重构、支持异构等特点。该文在分析敏捷供应链动态性和可重构性的基础上, 提出基于双赢合作机制的敏捷供应链管理系统模型, 研究了信息不完备(效用计算公式私有)条件下的双赢谈判模型及其实现算法, 实验结果证明了该模型的对称性、公平性, 谈判结果接近 Parreto 最优。

**关键词:** 动态联盟; 敏捷供应链; 双赢谈判模型

## Win-Win Cooperate Mechanism Based on Agile Supply Chain Management System

XIE Tian-bao, WU Chi-hong

(Department of Information Management, Business College, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048)

**【Abstract】** Agile Supply Chain Management System(ASCMS) is designed to meet the running process of dynamic alliance, with the characteristics of distribution, reconfiguration, and supporting heterogeneous etc. By analyzing the characteristics of dynamics and heterogeneous of agile supply chain, this paper puts forward an agile supply chain management system model based on win-win cooperate mechanism. Further, the research of win-win negotiation model is stressed under the condition of incomplete information (viz. Weight value information is private) and its realizing algorithms. Experimental result proves the symmetry, fairness of this model and negotiation result is close to Pareto optimal.

**【Key words】** dynamic alliance; agile supply chain; win-win negotiation model

### 1 概述

敏捷制造是指制造企业在全球范围内通过快速配置各种资源以响应用户需求, 实现制造企业的敏捷性。在敏捷制造模式下的供应链管理协调供应链上各企业之间的关系, 有效地控制物流、信息流、价值流, 保持灵活和稳定的供需关系。目前快速、持续、无法预测的竞争环境对企业的组织结构和产品的生产模式提出了新的要求。一方面, 快速决策和响应能力要求企业要规模小、结构简单; 另一方面, 大量新技术和新产品带来的市场机遇和高风险挑战, 要求企业要有足够的技术储备和在资金上抵抗风险的能力。目前, 一般认为解决这一矛盾的途径是建立全球范围内“基于双赢原则的动态联盟”<sup>[1]</sup>。本文就供应链的敏捷性、动态性进行探讨, 并重点围绕“双赢谈判机制”进行研究, 提出一个基于Agent的敏捷供应链系统模型。

### 2 基于 Agent 的敏捷供应链管理系统

在电子商务环境下, 各个实体不同的功能用不同的 Agent 来实现。相应地, 一个供应链管理系统(SCMS)就变成多 Agent 系统(MAS), 各 Agent 相互协作以实现系统功能。基于 Agent 的供应链管理系统的文献已经很多。文献[2-3]假定系统工作在一个封闭的环境, 通过层次结构管理链中节点, 协调机制通过投标机制实现。然而这些假设并不能反映敏捷供应链现状。(1)信息不完备性, 供应链的每个实体有其各自的兴趣和目标, 把供应链中各 Agent 协作模拟为一个纯数学上的调度问题是不现实的。(2)敏捷供应链的特点之一就是它的动态性。由于环境等因素的变化, 供应链结构可能会发生变化, 如新成员的加入或原有成员的退出, 有时甚至会发生供应链

的瓦解或重组。因此敏捷供应链管理系统要具有供应链联盟管理的能力, 通过联盟管理实现供应链的快速重构。(3)投标协作机制不允许双方交互协商, 数据流单向流动, 不能体现敏捷供应链互利良好的合作机制。文献[4]提出一种基于自适应谈判的供应链管理系统, 提出多种谈判方式, 但并没有给出每种谈判方式的具体算法。为此提出动态环境下基于双赢谈判机制的敏捷供应链管理系统。系统结构如图1所示。

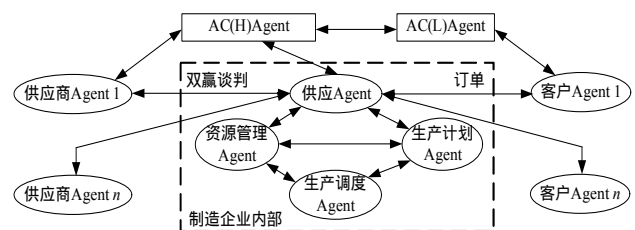


图1 基于 Agent 的敏捷供应链管理系统模型

系统包含2类 Agent, 一类是信息 Agent, 另一类是企业实体 Agent。信息 Agent 简称 Attestation Center(AC) Agent, 它负责向企业实体 Agent 提供需求信息, 对实体 Agent 进行身份认证; 实体 Agent 包括供应商、制造企业和客户, 实体

**基金项目:** 国家“863”计划基金资助重点项目“关中区域网络化制造集成平台开发与应用”(2002AA414060-1); 陕西省教育厅基金资助项目“基于 workflow 管理的智能商务系统研究”(107-220420)

**作者简介:** 谢天保(1966 -), 男, 副教授、博士, 主研方向: 人工智能, 电子商务; 伍池宏, 硕士研究生

**收稿日期:** 2008-06-25 E-mail: xianxie@126.com

Agent 可以随时加入或离开供应链管理系统,在加入或离开时必须向 AC 注册。AC 是分层次的,低层次 AC(L)向高层次 AC(H)请求需求信息,高层次 AC(H)向低层次 AC(L)广播需求信息。

制造企业内部供应 Agent 在接到客户 Agent 的订单后,将订单信息发送给资源管理 Agent 和生产计划 Agent,生成具体的调度计划,然后供应 Agent 根据生产计划和库存状况,确定与供应商谈判的目标,最后在 AC Agent 的帮助下,与供应商 Agent 进行谈判,选择最好的供应商,这样就动态地生成供应关系。

### 3 双赢谈判模型

#### 3.1 报价效用计算和谈判信息模型

模型中使用效用理论<sup>[5]</sup>分派各属性权值大小,代表其兴趣点。 $A(S,B)$ 表示谈判的参与者, $S$ 代表供应方, $B$ 代表采购方。 $j(1,2,\dots,N_j)$ 表示谈判项目内容的属性, $N_j$ 是属性个数, $i$ 表示谈判轮次,则各谈判方报价效用值可由式(1)计算:

$$V^A = \sum_j^{N_j} V_j^A(x_j^i, w_j^A) \quad (1)$$

其中,  $V_j^A(x_j^i, w_j^A)$  为谈判者  $A$  在轮次  $i$  各属性报价  $x_j^i$  的效用值;  $w_j^A$  为 Agent  $A$  分配给属性  $j$  的权值,  $\sum w_j^A = 1$ 。

对于某一特定的属性  $j$ ,对供应方和采购方其效用函数是不相同的,如式(2)所示,在一般情况下,供应方效用是  $x_j^s$  的单调递减函数(2a),采购方效用是  $x_j^b$  的单调递增函数(2b)。

$$V_j^s = P_j(x_j^s, w_j^s) \quad (2a)$$

$$V_j^b = Q_j(x_j^b, w_j^b) \quad (2b)$$

供需双方的效用计算  $p_j, Q_j$  和  $w_j^s, w_j^b$  相互之间是未知的,即谈判信息是不完备的,如此条件下求解一个能使双方效用尽可能大的报价是本文谈判模型的核心内容。

#### 3.2 谈判协议

谈判双方采用多轮轮番报价形式,在每一轮谈判中,Agent 首先对对方提供的报价估算其效用值。如果其效用值大于或等于己方下一轮次报价的效用值,Agent 接受报价,否则提出反报价,同时反馈对方报价效用值。供需双方 Agent 报价时,先进行横向搜索若干次,如果不能达成协议,那么谈判进入下一轮,一方或双方降低效用(竖向搜索),双方再次进行横向搜索。如此反复进行爬山式搜索,最终达成谈判协议。这样可以保证最终的谈判结果使双方联合效用最大,接近 Parreto 最优。

##### 定义 1 效用层次曲线

针对某一效用值  $\theta$ ,在报价集合中效用值等于  $\theta$  的报价所组成的曲线称为 Agent 在效用值  $\theta$  层次的效用曲线,其数学表达式为

$$L(\theta) = \{x | V(x) = \theta\} \quad (3)$$

定义 2 假设 Agent  $S$  对 Agent  $B$  提供报价为  $x$ ,所对应的效用层次曲线为  $L(x)$ ,Agent  $B$  对 Agent  $S$  的反报价为  $y$ ,如果  $y$  对  $S$  的效用大于或等于  $S$  下一轮报价效用,Agent  $S$  接受报价,谈判成功;否则,Agent  $S$  提出反报价  $z$ :

$$P_{s \rightarrow b} = \max\{Q(z, w^b)\} \quad (4)$$

满足  $v^s(x) = v^s(z)$ 。

若 Agent 在己方最低可接受的效用曲线上横向搜索若干次后,依然不能达成协议,则 Agent 退出谈判,谈判破裂。

定义 3 在谈判过程中,假定 Agent 的状态发生了变迁,即权值大小分布发生变化,则只能在本轮结束后,下一轮谈

判开始时进行调整,并规定己方的效用不能发生变迁,然后进行横向搜索。

#### 3.3 神经网络学习法

Agent 从等效用报价集合中,为了选择使对方效用尽可能大的报价,考虑到信息不完备特点以及在谈判过程中 Agent 的状态发生变迁的可能,应用 BP 神经网络对历史数据样本进行训练,获取对方谈判效用计算知识。

BP 网络是一种三层前向式网络,具有较强的输入输出映射功能。BP 网由输入层、隐含层和输出层组成。各层有多个神经元,相邻 2 层单元之间单方向连接,结构如图 2 所示。

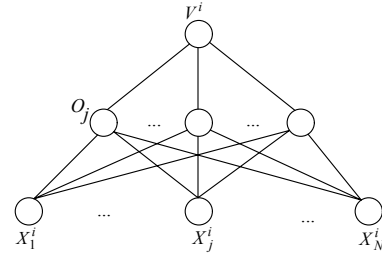


图 2 神经网络训练模型

在图 2 中,输入层  $x_j^i$  是谈判者在  $i$  轮次对属性  $j$  的报价;输出层  $V^i$  为对方反馈的对该报价的总效用值。

若给定的输入模式为  $x_j^i, j=1,2,\dots,N_j$ ,则隐含层单元的输出为

$$O_j = f_1(W_{ji} \times x_j^i + \theta_j)$$

其中,  $W_{ji}$  连接权值;  $\theta_j$  为节点阈值。输出层输出

$$V^i = f_2(\Gamma_{vj} \times O_j + \theta)$$

其中,  $\Gamma_{vj}$  为连接权值;  $\theta$  为节点阈值。

为加快网络训练的速度,在迭代公式中增加修正项,即

$$W_{ij}(k+1) = W_{ij}(k) + \eta \delta_i O_j + \alpha (W_{ij}(k) - W_{ij}(k-1))$$

其中,  $\alpha$  成为松弛因子,如果误差函数值下降,则  $\alpha > 1$ ;如果误差函数值不变或上升,则取  $0 < \alpha < 1$ 。学习速率  $\eta$  由样本平均误差  $E$  的大小来调整,计算公式为

$$\eta^{n+1} = \eta^n \times E^{n-1} / E^n$$

其中,  $n$  为迭代次数,当权值致使  $E$  远离稳定点时,学习速率  $\eta$  取较大值,而当接近稳定点时,  $\eta$  取极小值。

#### 3.4 谈判策略

Agent 在不降低己方效用层次的情况下,如何在多维谈判空间中选择最接近令对方效用值较大的报价,类似深度优先或宽度优先的穷举法的蛮力搜索技术可能无法在可行时间限度内找到解。本文提出爬山(hill climbing)搜索技术。爬山策略在搜索过程中先横向搜索,在等效用线上以上一次报价作为种子随机生成  $M$  个报价,使用 3.3 节训练好的网络模型计算  $M$  个报价对对方的效用预测值;选择预测值最大的报价作为己方  $x$  报价。

横向搜索算法:(以供应方 Agent  $S$  为例)

假定  $i$  轮次己方报价为  $sx^i$ :  $sx_j^i (j=1,2,\dots,N_j)$  表示供应方在  $i$  轮次对属性  $j$  的报价。

(1)使用 3.3 节神经网络模型训练已有的己方报价样本,用训练好的网络计算  $sx^i$  对对方效用的预测值  $y_{cs}(sx^i)$ 。

(2)依据式(2)计算报价  $sx_j^i$  对己方各属性  $j$  的效用值  $Sv_j$ 。

j=1

Do while j<=Nj

$$Svj(j)=P_j(x_j^l, w_j^s)$$

Loop

(3)随机生成整数  $k(1 \leq k \leq N_j)$ ，降低属性  $k$  的报价效用值  $\Delta v$ 。

$$k=\text{rand} \times N_j+1$$

$$Svj(k)=Svj(k)-\Delta v$$

其中， $\text{rand}$  为(0,1)之间的随机函数； $\Delta v$  为常数； $N_j$  为谈判属性个数。 $\Delta v$  取值越小，横向搜索次数越多，谈判结果越接近最优。由于等效用搜索，降低某一属性报价效用  $\Delta v$ ，必然要提升另一属性报价效用  $\Delta v$ 。

(4)生成另一随机整数  $k'$ ， $k \neq k'$ ，并且满足

$$Svj(k')+\Delta v \leq P_k(x_k^u, w_k^s)$$

其中， $x_k^u = \min(\max(sx_k), \max(bx_k))$ ，令  $Svj(k') = Svj(k') + \Delta v$ 。

(5)依据式(2)，计算新一轮属性  $k$  和  $k'$  报价，得到新报价  $sx^{i+1}$ 。

(6)使用训练好的网络计算  $sx^{i+1}$  对对方的效用值  $y_{cs}(sx^{i+1})$ 。

(7)如果  $y_{cs}(sx^{i+1}) > y_{cs}(sx^i)$ ， $sx^{i+1}$  取代  $sx^i$ ，否则不取代。

(8)重复执行步骤(2)~步骤(7)。

横向搜索若干次后，如果还不能达成协议，一方或双方降低效用(竖向搜索)，再进行横向搜索。

竖向搜索算法：(以供应方 Agent 为例)

假定  $i$  轮次报价为  $sx^i$ ，效用值降低  $\Delta v'$ 。

(1)训练已有的己方报价样本。

(2)依据式(2)计算报价  $sx^i$  对己方各属性的效用值  $Svj(j)$ 。

(3)Do while  $j \leq N_j$

If  $Svj(j) > \Delta v'$

$$Svj(j)=Svj(j)-\Delta v'$$

依据式(2)，计算属性  $j$  报价  $sx_j^{i+1}$ ，其他属性报价不变，

使用训练好的网络模型计算其对对方效用的预测值  $y_{cs}(sx^{i+1})$ 。

$j=j+1$

Loop

(4)选取预测效用最大值所对应的报价作为己方下一轮报价。

## 4 实验结果

系统有供应方 Agent S、采购方 Agent B，为简单起见，假定谈判项目有 3 个属性：商品价格  $P$ ，采购数量  $N$  和供货日期  $T$ 。谈判属性有效值域为双方本属性有效值域的交集，双方私有信息及谈判域公共信息如表 1 所示。

表 1 谈判双方及谈判域信息

项目属性	双方私有信息		公共信息		有效值域
	卖方		买方		
	效用函数	权值	效用函数	权值	
价格(P)	$P_p$	0.8	$Q_p$	0.1	800~1 500
数量(N)	$P_N$	0.1	$Q_N$	0.6	40~110
供货日期(D)	$P_d$	0.1	$Q_d$	0.3	5~16

双方初始报价分别为

$$Sp=1\ 450, Sn=100, St=15, Bp=850, Bn=45, Bt=6$$

供应方效用计算函数  $P$  为

$$V_j^s = P_j(x_j^l, w_j^s) = w_j^s \times (x_j^l - x_j^l) / (x_j^u - x_j^l)$$

采购方效用计算函数  $Q$  为

$$V_j^b = Q_j(x_j^l, w_j^b) = w_j^b \times (x_j^u - x_j^l) / (x_j^u - x_j^l)$$

其中， $x_j^u, x_j^l$  分别为属性  $j$  有效取值范围的上下限，实验中假定不同属性  $j$  的效用计算公式一样， $P_j, Q_j$  也可以随着  $j$  不同计算方法不同。

为了提供足够多的样本，在第一轮谈判的前 3 个回合并不进行训练、预测。横向搜索算法步骤(2)中  $j$  值依次取  $p, n, d$ ，效用差值  $\Delta v$  取 0.002。从 4 轮后，训练已有的数据样本，采用横向搜索算法进行 50 次迭代运算后得到新报价，如果对方不满意，返回其对报价的效用，把新报价和效用加入样本集，再次训练。10 个回合后，如果不能达成协议，谈判双方降低己方效用  $\Delta v'=0.01$ (采用竖直方向搜索)，进入下一轮谈判，再次采用横向搜索。9 轮后供应方接受采购方报价，谈判成功。谈判结果： $P=1\ 500, N=40, T=7$ ，供应方效用=0.72，采购方效用=0.75，谈判过程中双方报价效用曲线如图 3 所示。

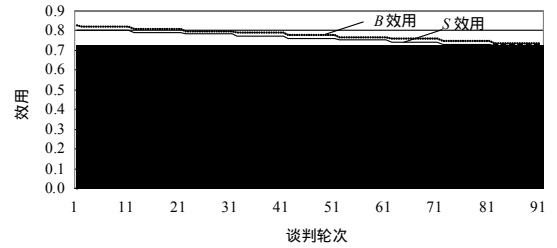


图 3 权值不变时谈判效用曲线

分析谈判结果不难发现，由于供应方的兴趣点在价格，采购方的兴趣点在数量和供货日期，因此最后谈判结果商品价格  $P=1\ 500$  接近采购方最高限价，采购数量 40，供货日期 7 天，都比较低，接近采购方最低限价(40 和 6)，实验结果与理论分析相符。

第 2 节中提到在谈判的过程中，Agent 的状态、意图可能会发生变迁，为了验证神经网络学习算法的自适应能力，采购方初始权值分布为

$$w_p^b = 0.1, w_n^b = 0.3, w_d^b = 0.6$$

从第 4 轮开始状态发生了变迁，权值调整为

$$w_p^b = 0.1, w_n^b = 0.6, w_d^b = 0.3$$

和图 3 中采购方权值分布一样，调整权值引起当前报价对己方效用的变迁，采购方 Agent 需要对己方的报价进行修正，修正算法如下：

假设：上轮次报价为  $x^i$ ，效用值降低

(1)训练已有的己方报价样本。

(2)依据式(2)计算权值变迁前后报价  $x^i$  对己方的效用值  $bv(x^i)$  和  $b'v(x^i)$ 。

$$bv(x^i) = \sum_{j=p,n,d} b_j v_j(x_j^i) = \sum_{j=p,n,d} Q_j(x_j^i, w_j^b)$$

$$b'v(x^i) = \sum_{j=p,n,d} b'_j v_j(x_j^i) = \sum_{j=p,n,d} Q_j(x_j^i, w_j^{b'})$$

(3)计算效用的变迁量  $\Delta v$

$$\Delta v = bv(x^i) - b'v(x^i)$$

(4)依次修正各属性报价，并预测其对对方的效用

Do while  $j=p, n, d$

If  $b'v_j(x_j^i) + \Delta v - 0.01 \leq b'v_j(x_j^i)$

$$b'v_j(x_j^i) = b'v_j(x_j^i) + \Delta v - 0.01$$

谈判协议规定进入下轮谈判己方效用必须降低 0.01。依据式(2)，计算新一轮属性  $j$  报价  $x_j^{i+1}(x)$ ，其他属性报价不变，使用训练好的网络模型计算其对对方效用预测值。

Loop

(5)选取预测效用最大值所对应的报价作为己方下一轮

报价。

供应方如何判定采购方权值分布发生变化呢？当己方降低效用 0.01 进行报价，而对方对该报价的反馈效用值反而降低时，供应方就得知对方权值效用发生了变迁，丢弃以前的样本数据，只对本轮次开始及后续样本进行训练，后面的谈判过程完全依照 3.4 节中提到的谈判策略进行，谈判过程效用曲线如图 4 所示，最终报价： $P=1\ 500$ ， $N=40$ ， $T=7$ ，供应方效用=0.72，采购方效用=0.75。

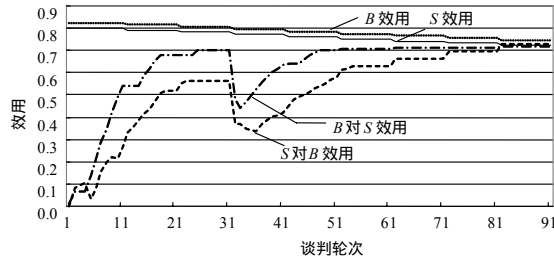


图 4 权值变化时谈判效用曲线

从图 4 看出，权值信息不变时，在谈判的前几轮，由于网络中样本数据比较少，训练好的网络预测精度不高，致使对方效用曲线处于波动状态。随着谈判的进行，谈判样本数据的增多，经过训练的网络预测精度提高，双方报价对方效用的增加量逐渐增大，对方效用增加曲线趋于稳定上升。当采购方存在权值信息发生变化时，供应方 Agent 需要一个学习的过程，其报价对采购方 Agent 的效用开始出现波动，随着样本数据的增加，其报价对供应方的效用呈现稳定增加趋势。从谈判结果可以看出，2 种情况谈判结果非常接近，充分说明谈判模型的可行性、有效性。

## 5 结束语

动态联盟的动态特性确定了敏捷化供应链管理系统动态特性，它要求协调联盟企业协同工作的供应链管理系统能

够迅速重组，以满足联盟企业优化运行的需要。本文在分析敏捷供应链动态性和可重组性的基础上，提出了基于双赢合作机制的敏捷供应链管理系统模型，并就不完整信息条件下，双赢谈判模型及其实现算法进行了重点研究，实验结果证明了该模型的对称性、公平性，谈判结果接近 Pareto 最优。敏捷供应链管理是一个相对复杂的问题，要开发出真正实用的系统是一个复杂的系统工程，还有需要进一步研究的问题，如各联盟企业信息系统的无缝互联、安全机制、系统的开放性以及异类 Agent 的接口问题等。

## 参考文献

- [1] Neubert R, Golitz O, Teich T. Automated Negotiations of Supply Contracts for Flexible Production Networks[J]. International Journal of Production Economics, 2004, 89(2): 175-187.
- [2] Barbuceanu M, Fox M S. The Information Agent: An Infrastructure Agent Supporting Collaborative Enterprise Architectures[C]//Proc. of the 3rd Workshop on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprise. Morgantown, West Virginia, USA: IEEE Computer Society Press, 1996: 81-96.
- [3] Sadeh N. MASCOT: An Agent Architecture for Multilevel Mixed Initiative Supply Chain Coordination[R]. Intelligent Coordination and Logistics Laboratory, Carnegie Mellon University, USA, 1996: 55-60.
- [4] Wang Chun, Shen Weiming. An Adaptive Negotiation Framework for Agent Based Dynamic Manufacturing Scheduling[C]//Proc. of International Conference on Systems, Man and Cybernetics. [S. l.]: IEEE Press, 2003: 1211-1216.
- [5] Gmytrasiewicz P J, Durfee E H. Elements of a Utilitarian Theory of Knowledge and Action[C]//Proc. of the 13th International Joint Conference on Artificial Intelligence. [S. l.]: IEEE Press, 1993: 396-403.

(上接第 16 页)

- [3] Simunic T, Benini L, Micheli G D, et al. Source Code Optimization and Profiling of Energy Consumption in Embedded Systems[C]//Proceedings of the 13th International Symposium on System Synthesis. NY, USA: [s. n.], 2000: 193-198.
- [4] Wragg B, Carpenter P. An Optimised Software Solution for an ARM Powered MP3 Decoder[M]. Cambridge, UK: ARM Corporation, 2000.
- [5] Gurkhe V. Optimization of a MP3 Decoder on the ARM Processor[C]//Proc. of TENCON'03. NY, USA: [s. n.], 2003: 1475-1478.
- [6] Anguita M, Martínez-Lechado J M. MP3 Optimization Exploiting Processor Architecture and Using Better Algorithms[J]. IEEE Micro, 2005, 25(3): 81-92.
- [7] Bhaskaran V, Konstantinides K, Lee R B, et al. Algorithmic and Architectural Enhancements for Real-time MPEG-1 Decoding on a General Purpose RISC Workstation[J]. IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, 1995, 5(5): 380-386.
- [8] Hans M C, Bhaskaran V. A Compliant MPEG-1 Layer II Audio Decoder with 16-B Arithmetic Operations[J]. IEEE Signal Processing Letters, 1997, 4(5): 121-122.
- [9] 赵永刚, 唐 昆, 崔慧娟, 等. MPEG2 音频解码算法优化[J]. 电声技术, 2003, (12): 10-12.
- [10] Parthasarathy V, Bharathi S A, Uthariaraj V R. Performance Analysis of Embedded Media Applications in Newer ARM Architectures[C]//Proceedings of the 2005 International Conference on Parallel Processing Workshops. NY, USA: [s. n.], 2005: 210-214.
- [11] Lee B G. A New Algorithm to Compute the Discrete Cosine Transform[J]. IEEE Trans. on Acoustic Speech Signal Processing, 1984, 32(6): 1243-1245.
- [12] ISO/IEC 13818-3 Information Technology-generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio[S]. 1994.
- [13] Paver N C, Aldrich B C, Khan M H. Programming with Intel Wireless MMX Technology[M]. NY, USA: Intel Press, 2004.
- [14] Konstantinides K. Fast Subband Filtering in MPEG Audio Coding[J]. IEEE Signal Processing Letters, 1994, 1(2): 26-28.
- [15] ISO/IEC 13818-4 Information Technology—Coding of Moving Pictures and Associated Audio-compliance[S]. 1994.