



并行策略与沟通策略 对新产品开发绩效的影响机理

林 军¹, 燕夏敏¹, 崔文田¹, 钱艳俊²

1 西安交通大学 管理学院, 西安 710049

2 西安交通大学 公共政策与管理学院, 西安 710049

摘要: 如何应用并行策略和沟通策略节约新产品开发的时间和成本。将上游演化速度、上下游之间的依赖性和上游不确定性作为影响并行策略的关键因素, 运用定性方法, 发现上游演化速度与最优并行度呈正相关关系, 上下游之间的依赖性和上游不确定性与最优并行度呈负相关关系; 运用定量方法, 建立单独的并行策略和伴随有沟通策略的并行策略两个模型, 帮助企业确定最优并行度和沟通次数, 最大限度地节约开发时间和成本。将模型应用于某种冰箱的产品开发过程中, 证明模型的有效性, 并说明模型的具体使用方法; 分析方法和模型可用于指导并行开发的研究, 并为企业产品开发流程的改进提供决策支持。

关键词: 产品开发; 并行开发; 并行策略; 沟通策略

中图分类号: F273.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-0334(2012)05-0001-09

1 引言

企业要在激烈的市场竞争中占据优势地位, 必须快速推出满足客户需求的新产品。统计结果显示, 整个产品生命周期中所耗费用, 产品开发阶段仅占18%, 但它对新产品价值的影响却高达80%以上^[1-3]。因此, 如何合理地统筹安排新产品开发过程中的各项活动、节约开发时间和成本一直是学术界和企业界关注的热点问题^[4-7]。

传统开发模式(串行开发模式)中, 新产品开发过程由一系列串行的、功能性的产品开发模块构成, 只有当上一个功能模块完成后, 信息才会传递给下一个, 因此延长了新产品开发周期, 并且不利于开发成员之间的合作与交流。为了弥补这一缺陷, 很多节约新产品开发时间和成本的方法应运而生, 并行开发模式就是其中较为重要的一种。相对于串行来说, 并行是指上游进程完成之前就开始下游进程。并行开发模式要求在新产品开发初期统筹兼顾整个开发过程、新产品的结构设计 with 相应工艺过程设计

并行进行, 因此使各进程间依赖性更强^[8]。

并行开发主要通过确定合理的开发阶段并行度、功能交互和沟通频率提高新产品开发绩效^[9]。并行度指上下游进程在时间上重叠的程度; 功能交互指通过下游进程的开发人员参与上游进程的开发和决策, 使上游进程的开发人员能了解下游进程的情况, 从整体上把握新产品开发过程, 减少因并行开发引起的返工; 沟通指上下游开发人员及时讨论并解决开发过程中的问题, 尽量减少其负面影响。目前, 已有很多成功的案例表明, 应用并行开发模式能够节约新产品开发时间^[10-13]。

并行开发已受到越来越多的企业青睐, 但并非所有的产品开发都适合采用并行模式^[14-15]。一些学者发现并行开发对于新产品开发绩效的影响因项目而异^[16-19]。并行开发中, 下游进程的开始基于上游一些不完全的早期信息, 这些信息在上游进程不断进展中很可能发生改变, 而下游进程需要针对这种改变进行修正, 这就导致返工, 当返工时间超过并行时

收稿日期: 2011-11-13 修返日期: 2012-05-06

基金项目: 国家自然科学基金(71001084, 71072128); 高等学校博士学科点专项科研基金(20100201120050)

作者简介: 林军(1976-), 男, 上海人, 毕业于新加坡国立大学, 获博士学位, 现为西安交通大学管理学院讲师, 研究方向: 产品开发和鲁棒优化等。E-mail: ljun@mail.xjtu.edu.cn

间时,采用并行开发反而延长产品开发周期。因此,在某些产品开发中采用并行模式会导致严重的副作用,合理运用并行开发缩短新产品开发周期仍然有很多难点^[20-22]。

本研究分析并行策略的3个主要影响因素对上下游之间最优并行度的作用以及采用单独的并行策略和伴随有沟通策略的并行策略对新产品开发绩效的影响,引导企业在产品开发过程中合理制定并行策略和沟通策略以实现产品开发时间和成本的节约。

2 相关研究评述

目前,有关并行开发的定性研究很多。Mitchell等^[1]研究如何通过对开发团队成员之间的合作和管理职能方面的集成来管理并行开发过程,从而优化整个开发过程;熊光楞等^[23]详细介绍并行工程在中国的项目研究、技术攻关和应用实施等情况;Yassine等^[24]提出几个最优决策准则来帮助项目管理人员合理运用上游传递过来的研发信息;Love等^[18-19]基于商业建筑项目中的返工有70%左右是由设计失误引起的这一发现,探讨出现设计失误的原因,并分析工程人员的经验、时间的紧迫性以及信息技术的运用等对设计效果的影响,然后运用系统动力学模型研究设计失误产生的原因。上述定性的研究存在很大的应用局限性,不能广泛地指导企业制定相关决策。

有关并行开发的定量研究也有一些,但研究成果的可操作性和普适性较差。Ha等^[25]于1995年在Management Science上发表的论文中首次给出产品开发过程管理领域的定量模型,之后学者们开始对产品开发过程进行深入的定量研究。陈建明等^[26]在信息系统开发过程中应用并行开发,但只提出实施思路,没有给出普适性的模型;钱晓明等^[27]利用设计结构矩阵,提出一种产品并行开发过程的资源调度和优化算法,但该方法主要针对资源配置;Gerk等^[11]研究并行策略与其他产品开发策略之间的交互作用,并证明并行度和产品开发成本之间表现为一种凸关系;Lin等^[14]在他们的系统动力学模型中对产品开发过程的返工按其产生的原因进行分类,并运用案例分析对模型进行验证;Lin等^[15]运用解析模型详细地描述产品开发过程中上游的设计更改对下游阶段的影响;Loch等^[28]假设设计的更改所产生的影响

与下游进程已进展的时间有关,即认为下游的进程等价于下游进程已进展的时间。Loch等^[28]的这一假设极大地简化了模型,他们的所有结论也都是建立在这一假设之上的。然而,由于上游设计更改对下游进程的破坏作用,下游的实际进程应该小于下游进程已进展的时间^[29]。Loch等^[28]将演化速度表示为开发时间的一个线性函数,在实际应用中会有一些的局限性。早期Krishnan等^[30]将上游的演化速度进行分类,即快速演化和慢速演化。在产品开发的定量研究中,目标函数大多为产品开发所消耗的时间或者成本,也有学者将时间和成本进行权衡,如Roemer等^[20]和Chakravarty^[31],但这些研究大多建立在下游进程可估计的假设下,也就是说他们并没有考虑上游不确定性、上游的演化速度和上下游之间的依赖性这3个影响并行策略的主要因素对并行度的影响。

基于上述定性和定量研究的不足,本研究通过定性研究分析上游演化速度、上下游之间的依赖性和上游不确定性这3个影响并行策略的主要因素对并行度的影响,通过定量的研究方法帮助企业依据新产品自身特点确定并行开发中的并行策略和沟通策略,实现产品开发时间和成本的共同优化。

3 并行策略对新产品开发绩效的影响机理

采用并行开发的主要目的是缩短新产品开发周期,但某些情况下,采用并行开发并不一定能够实现此目的,这是因为并行开发的采用往往伴随着下游进程返工的风险。也就是说,当上游的设计变更发生在下游进程开始之前,它仅对本进程有影响,而如果这种改变发生在下游进程开始之后,则下游进程也将受到影响,并且耗费的返工时间还可能超过并行时间,从而使采用并行开发模式后整个新产品开发周期更长,因此在新产品开发前应当首先权衡采用并行开发的利弊。

3.1 并行策略的影响因素分析

在新产品开发过程中是否应用并行开发模式,首先要确定进程之间是否存在并行和并行度,而演化速度、依赖性和不确定性是确定最优并行度的关键因素,演化指上游信息随时间的变化过程^[9,30]。演化分为慢速演化和快速演化,如图1所示。

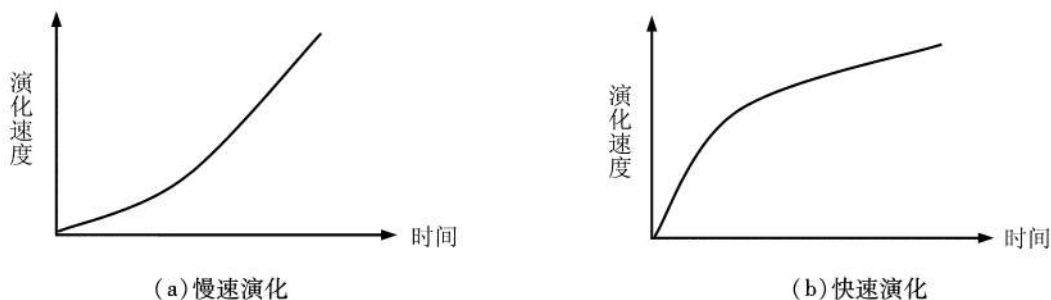


图1 慢速演化和快速演化
Figure 1 Slow Evolution and Fast Evolution

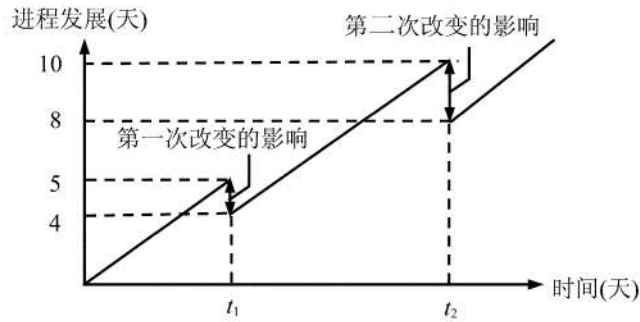


图2 下游进程的进展

Figure 2 Progress of Downstream Process

在慢速演化中,信息在上游进程临近结束时才发生重大改变;反之则为快速演化。依赖性指下游进程对于上游设计变更的敏感度以及为了适应这种变更所需花费的时间。依赖性分为高依赖性和低依赖性,高依赖性指上游设计变更对下游进程产生较大影响,低依赖性指上游设计变更对下游进程影响不大。不确定性指由上游传递过来的初始信息中包含设计错误的总量。

借助图2更直观地说明上述并行策略的关键因素如何发挥作用。假设整个新产品开发期间,上游在 t_1 时刻发生第一次设计变更,在 t_2 时刻发生第二次设计变更,在 t_1 时刻前,上游没有发生设计变更时,下游进程的进度为5;在上游发生设计变更并且上下游之间依赖度为20%时,下游进度下降到4,并额外增加1天的返工时间以对上游造成的影响进行修正。 t_2 时刻的情况与之类似(主要考虑上游进程的演化和两进程之间的依赖性)。

3.2 并行策略影响机理的定性分析

从定性角度分析,分别考虑上游进程演化速度、上游进程不确定性和上下游之间的依赖性等3个因素对上下游之间最优并行度的影响。这里定义的上游指所有相关的上游活动,而非仅指直接上游,如铸模活动的直接上游是机械和电子设计,但是不能因为机械和电子设计模块中的工程师工作经验丰富、所设计的新产品稳定性好就认为其不确定性低。还应当考虑其他相关的上游活动,如机械和电子设计的上游活动,即概念设计。如果概念设计的不确定性很高,仅依据直接上游活动情况制定的并行策略将会导致大量返工,从而使开发成本剧增、新产品上市时间延迟。

分析上游进程演化速度较快和较慢两种情况(即图1中的快速演化和慢速演化)对上下游之间最优并行度的影响。观察图2,比较上游进程第一次设计变更和第二次设计变更对下游进程的影响。第一次改变的时间较早,而第二次较晚,因此,相对来说第一次属于快速演化,而第二次属于慢速演化。上游的第一次改变传递给下游,使下游进程减少一天,并增加一天的返工;而第二次改变则使下游进程

减少两天并增加两天的返工。所以,在其他情况相同的情况下,对于上游演化较快的项目,可以适当提高其上下游并行度,而相应地降低上游演化较慢项目的上下游并行度。因此,上游演化速度与上下游之间的最优并行度呈正相关关系。

上下游之间的依赖性对上下游之间最优并行度的作用显而易见,高依赖性必然使上游传递给下游的错误信息对于下游的影响较大,即二者呈负相关关系。

分析上游不确定性对上下游之间最优并行度的影响。上游进程不确定性越高,其传递给下游的早期信息中错误的数量越多,那么在后期,对于早期信息导致的错误,下游进程所需要进行的修正也就越多;反之亦然。因此上游不确定性与上下游之间的最优并行度呈负相关关系。

结论1 上游演化速度与上下游之间的最优并行度呈正相关关系(+),上下游之间的依赖性和上游传递过来的初始信息的不确定性与上下游之间的最优并行度呈负相关关系(-),如表1所示。

表1 关键因素对最优并行度的影响
Table 1 Effect of the Key Factors on the Optimal Concurrent Degree

属性	最优并行度
上游演化速度	+
上下游之间依赖性	-
上游不确定性	-

上述有关并行策略的定性研究,有助于进行最优并行度的粗略决策。根据已有项目采用的并行策略,比较上游演化速度、上下游之间的依赖性、上游不确定性3个因素,进行新项目的决策。对于精度要求不高的项目,企业可以据此快速决策。当新项目的上游演化速度相对已有项目较高时,可以适当提高并行度;当新项目上下游之间的依赖性或上游传递的初始信息不确定性相对较高时,应当适当降

低并行度。

3.3 并行策略影响机理的定量分析

制定精确的并行策略并考虑其具体实施细节时需要应用定量的研究方法,本研究建立的模型基于Krishnan等^[30]在1997年提出的假设,即只有当上游进程完成后才能对其传递给下游的信息进行更新。模型的另一个假设基于众多学者的研究结论^[14-15,21,28],即对于大多数新产品开发项目,上游进程的一次设计变更对下游进程的影响通常是下游进程进展的一个百分比,这种数字化的说明方式可以有效避免个人的主观臆断,使决策更加精确可靠。

首先建立一个简单的模型,定义两个参数, $p(t)$ 为在 t^- 时刻下游进程的进展, t^- 为无限接近时刻 t 但小于 t ; k 为上游的一次设计变更对下游进程影响的百分比。由模型的假设分析得到,如果在 t 时刻上游进程发生一次设计更改, $p(t)$ 将会有 k 的比率受到影响,即未受影响的部分为 $p(t)(1-k)$;如果在 t 时刻上游进程再发生一次设计变更,下游进程的进展将会在原来 $p(t)(1-k)$ 的基础上,减小为 $p(t)(1-k)^2$ 。将上述分析进行拓展,得到引理1。

引理1 假设 t_n 为上游进程结束的时刻, N 为上游进程从开始到结束这一时间段内发生设计变更的次数,那么如果在 t_n 时刻,上游进程将 N 个设计变更传递给下游,下游进程的进展将由原来的 $p(t)$ 减小为 $p(t)(1-k)^N$,并且上游进程每增加一次改变,下游进程的进展都将以 $(1-k)$ 的比率减小。

引理1表明,当 $p(t)$ 的函数与 k 值已知时, t 时刻下游进程的进展与上游进程发生改变的次数有关,那么在 t_n 时刻上游将 N 个改变传递给下游时,下游进程的进展为 $p(t)(1-k)^N$ 。这一结果相对于串行产品开发模式来说,截至上游进程结束的时刻,下游进程多进展了 $p(t)(1-k)^N$ (串行产品开发模式中,上游进程结束的时刻,下游进程进展为0)。那么单纯依靠上述分析制定的并行策略,其并行度显然越大越好,但实际产品开发中并非如此,必须要考虑并行策略所具有的返工风险。

在上述分析基础上引入返工这一因素,定义 r 为下游进程的返工速率,返工时间则为下游受到影响的进程与返工速率的比值。由于下游进程受到上游改变影响的进展为 $[p(t)-p(t)(1-k)^N]$,因此,修正该影响副作用的返工时间为 $p(t)[1-(1-k)^N]\frac{1}{r}$ 。

结论2 由于上游进程的设计变更,下游进程依据早期信息的进展需要返工进行修正。因此,采用并行策略相对于串行策略节约的新产品开发时间为 $p(t)(1-k)^N-p(t)[1-(1-k)^N]\frac{1}{r}$ 。

结论2表明,在新产品开发过程中,只要返工花费的时间不过量(返工时间小于并行时间),采用合理的并行策略就可以有效地节约新产品开发时间。但考虑到返工需要成本,作为利益驱动者的企业,在实现节约开发时间的同时必须要考虑成本因素,因

此即使一种并行策略能够有效节约开发时间,但如果它需要耗费过多成本,其对于企业或者项目也是不可行的。因此,有必要权衡时间的机会成本和返工成本,在上述时间分析的基础上进行成本核算。

结论3 考虑时间的机会成本和返工成本,假设单位时间的机会成本为 c_i 、单位返工的费用为 c_r ,采用并行策略相对于串行策略节约的新产品开发成本为

$$\left\{ p(t)(1-k)^N - p(t)[1-(1-k)^N] \frac{1}{r} \right\} c_i - \frac{1}{r} p(t)[1-(1-k)^N] c_r \quad (1)$$

通过调节上下游进程的并行度,可以最大限度地节约新产品开发成本。

证明:通过使(1)式取最大值得到最优并行度。设 t_0 为下游进程开始的时刻,那么 $p(t) = t_n - t_0$, $\int_{t_0}^t \mu(t) dt$, $\mu(t)$ 为上游进程的改变率。

将上述参数代入(1)式,得

$$\left\{ (t_n - t_0)(1-k)^{\int_{t_0}^t \mu(t) dt} - (t_n - t_0)[1-(1-k)^{\int_{t_0}^t \mu(t) dt}] \frac{1}{r} \right\} c_i - \frac{1}{r} (t_n - t_0)[1-(1-k)^{\int_{t_0}^t \mu(t) dt}] c_r \quad (2)$$

因为

$$\left[(1-k)^{\int_{t_0}^t \mu(t) dt} \right]' = (1-k)^{\int_{t_0}^t \mu(t) dt} \cdot \ln(1-k) \cdot [-\mu(t_0)]'$$

所以,(2)式的一阶导数为

$$-\left[\frac{(r+1)c_i + c_r}{r} \cdot \mu(t_0) \cdot \ln(1-k) \right] (t_n - t_0)(1-k)^N - \frac{(r+1)c_i + c_r}{r} \cdot (1-k)^N + \frac{c_i + c_r}{r}$$

令上式等于0得到驻点,将这些驻点带入(2)式,在(2)式取得最大值时得到最优并行度,并同时得到节约成本的最大值。

下面考虑一种特殊情况,即当上游进程为快速演化时的最优并行度。

(2)式的二阶导数为

$$\frac{(r+1)c_i + c_r}{r} \cdot (1-k)^N [-\mu'(t_0) \cdot \ln(1-k) \cdot (t_n - t_0) + \mu(t_0) \cdot \ln(1-k) \cdot \mu^2(t_0) \cdot \ln^2(1-k) + \ln(1-k)\mu(t_0)]$$

观察上式,因为 r, c_i, c_r 和 N 大于0, $0 \leq k \leq 1$ (上游进程的设计变更对下游进程进展没有影响时取0,对下游进程的全部进展都产生影响时取1),所以有

$$\frac{(r+1)c_i + c_r}{r} > 0 \quad (1-k)^N > 0$$

再观察 $[-\mu'(t_0) \cdot \ln(1-k) \cdot (t_n - t_0) + \mu(t_0) \cdot \ln(1-k) \cdot \mu^2(t_0) \cdot \ln^2(1-k) + \ln(1-k)\mu(t_0)]$ 的取值情况,因为 $(t_n - t_0) > 0, \ln(1-k) < 0$,上游的改变率 $\mu(t) > 0$,在快速演化中 $\mu(t)' < 0$,因此有

$$\begin{aligned} & -\mu'(t_0) \cdot \ln(1-k) \cdot (t_n - t_0) < 0 \\ & \mu(t_0) \cdot \ln(1-k) \cdot \mu^2(t_0) \cdot \ln^2(1-k) < 0 \\ & \ln(1-k)\mu(t_0) < 0 \end{aligned}$$

显然, $[-\mu'(t_0) \cdot \ln(1-k) \cdot (t_n - t_0) + \mu(t_0) \cdot \ln(1-k) \cdot \mu^2(t_0) \cdot \ln^2(1-k) + \ln(1-k)\mu(t_0)] < 0$,所以二阶导数小

于0。令一阶导数为0,即可求得最优解,该解为快速演化情况下的最优并行度,将该解带入(1)式即得节约成本的最大值。

结论2中关于并行策略节约新产品开发时间的分析对于一些急需物品的产品开发非常有效,此时的时间机会成本远远大于返工成本,主要关注的是时间的节约;结论3中关于并行策略节约新产品开发成本的分析在实际中应用更广泛。

4 沟通策略对新产品开发绩效的影响机理

上一节只关注并行开发中的一个关键因素,即并行策略,它有一个前提假设,即只有当上游进程完成后才能与下游进行沟通。已有的研究表明,在新产品开发过程中,采用并行策略必须要伴随有沟通策略^[21,29,32],如果没有与之相适应的沟通策略作为支撑,单独的并行策略很可能会降低开发绩效。因此,有必要将沟通策略纳入考虑因素,研究伴随有沟通策略的并行策略对新产品开发绩效的影响以及沟通策略在其中所起的作用。

根据对并行开发中沟通策略的已有研究,下游进程开始和上游进程结束时,上下游之间各会发生一次沟通,即一旦考虑沟通策略,这两次沟通是确定的和必不可少的。考虑沟通策略对新产品开发过程的影响,假设一次沟通耗费的时间为 β ,下游进程开始时的沟通使上下游进程的并行时间延长了 β 。下游进程的开始时间为 t_0 ,上游进程的结束时间由 t_n 延长到 $(t_n + \beta)$,并行期间的施工时间由原来的 $(t_n - t_0)$ 延长到 $(t_n + \beta) - (t_0 + \beta)$,下游进程的动工时刻由 t_0 推迟到 $(t_0 + \beta)$,时间长度没有改变。因此,下游进程开始时的初次沟通并没有改变上下游进程在并行期间的进度,但是使整个产品开发周期延长时间 β 。

在下游进程开始而上游进程未结束这段时间嵌入一次沟通,沟通的时刻设为 $(t_1 + \beta)$,由于下游进程动工时刻为首次沟通结束时刻 $(t_0 + \beta)$,因此,此时下游进程实际施工时间为 $[(t_1 + \beta) - (t_0 + \beta)]$ 。此次沟通后,下游进程再次动工,时刻为 $(t_1 + 2\beta)$,根据上述分析,此次沟通同样延长上下游进程的并行时间 β ,上游进程结束的时刻为 $(t_n + 2\beta)$,下游进程在此次沟通后的施工时间为 $[(t_n + 2\beta) - (t_1 + 2\beta)]$ 。因此,下游进程施工的总时间为 $[(t_1 + \beta) - (t_0 + \beta)] + [(t_n + 2\beta) - (t_1 + 2\beta)]$,与原来的 $(t_n - t_0)$ 一致,得到与初次沟通相同的结论。

上游进程结束时的沟通使上游进程的结束时刻从 $(t_n + 2\beta)$ 推迟到 $(t_n + 3\beta)$,下游进程与上游进程的并行时间延长 β (一次沟通时间)。同样延长整个新产品开发周期,但对并行期间的进度造成影响。

引理2 伴随有沟通策略的并行策略中,沟通会同时消耗上下游的时间,使上下游进程的并行时间延长,但沟通并不会改变下游进程在并行期内的施工时间,对并行期间双方进度不会造成影响。

下面讨论在并行策略中嵌入一次沟通和多次沟通时,并行策略所节约的时间和成本。

首先讨论嵌入一次沟通的并行策略。假设截至 $(t_1 + \beta)$ 时刻,上游进程发生改变的次数为 N^* ,那么从 $(t_1 + \beta)$ 时刻到上游进程结束的时刻,上游进程发生改变的次数为 $(N - N^*)$ 。根据引理1, $(t_1 + \beta)$ 时刻下游进程的进展为 $[(t_1 + \beta) - (t_0 + \beta)](1 - k)^{N^*}$ 。由于 $(t_1 + \beta)$ 时刻存在一次沟通,下游进程在沟通后才再次开始,因此下游进程再次动工的时刻为 $(t_1 + 2\beta)$,上游进程也由于前面两次沟通而延长了 2β 的时间。所以此次沟通后到上游进程结束为止,下游进程又进展了 $[(t_n + 2\beta) - (t_1 + 2\beta)]$ 时间。因此,嵌入一次沟通的并行策略,在上游进程结束时下游进程的进展为

$$\{ [(t_n + 2\beta) - (t_1 + 2\beta)] + [(t_1 + \beta) - (t_0 + \beta)](1 - k)^{N^*} \} (1 - k)^{N - N^*}$$

比较嵌入一次沟通的并行策略与串行策略对新产品开发绩效的影响。由于该并行策略原有的两次沟通与嵌入的一次沟通,上游进程结束的时刻推迟到 $(t_n + 3\beta)$ 时刻,而串行策略中上游进程结束的时刻为 $(t_n + \beta)$ (上游进程结束时,上下游之间仅发生一次沟通)。相对于串行策略,将上述伴随有一次沟通的并行策略应用于新产品开发将上游进程延长 2β 。

因此,伴随有一次沟通的并行策略相对于串行策略节约的时间为

$$\{ [(t_n + 2\beta) - (t_1 + 2\beta)] + [(t_1 + \beta) - (t_0 + \beta)](1 - k)^{N^*} \} (1 - k)^{N - N^*} - 2\beta$$

即

$$[(t_n - t_1) + (t_1 - t_0)(1 - k)^{N^*}] (1 - k)^{N - N^*} - 2\beta$$

对伴随有一次沟通的并行策略进行拓展,研究伴随有多次沟通的并行策略。假设在 t_0 与 t_n 之间嵌入多次沟通,沟通的时刻定在 $t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_{n-1}$,如图3。

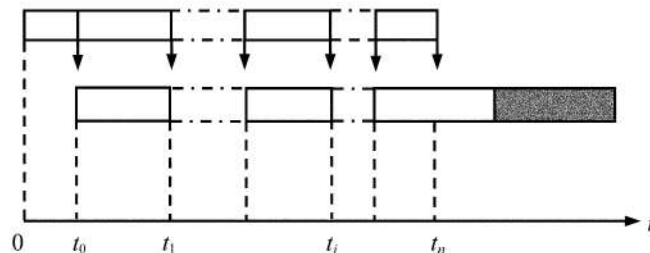


图3 伴随有多次沟通的并行策略

Figure 3 Concurrent Strategies with Several Communications

i 为嵌入在 t_0 与 t_n 之间的沟通次序 (不包含 t_0 时发生的沟通), 即 t_i 为 t_0 与 t_n 之间发生的第 i 次沟通, t_n 为最后一次沟通发生的时刻。那么在整个并行过程中, 沟通进行了 $(n+1)$ 次, 分别发生在 $t_0, t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_{n-1}, t_n$ 时刻。因此, 与串行的新产品开发相比, 其增加的沟通次数为 n 次, 因而也相应的增加了 $n\beta$ 的新产品开发时间。图 3 中 \rightarrow 表示信息交换。

引理 3 伴随有多次沟通的并行策略, 相对于串行策略节约的新产品开发时间 T 为

$$T = \{[(t_1 - t_0)(1-k)^{N_1} + (t_2 - t_1)](1-k)^{N_2} + \dots + (t_n - t_{n-1})\}(1-k)^{N_n} - n\beta$$

其中, N_i 为 t_i 时刻上游进程传递给下游进程的改变次数, $i = 1, 2, \dots, n$ 。

延续上一节的思路, 在引理 3 的基础上纳入返工这一因素, 得到伴随有沟通策略的并行策略所导致的返工时间 R 为

$$R = [(t_n - t_1) - T] \frac{1}{r} \\ = \{(t_n - t_1) + [((t_2 - t_1) + (t_1 - t_0)(1-k)^{N_1})(1-k)^{N_2} + \dots + (t_n - t_{n-1})](1-k)^{N_n}\} \frac{1}{r}$$

由此得到, 采用伴随有沟通策略的并行策略比采用串行策略节约的新产品开发时间为 $(T - R)$ 。

根据上述分析, 并行策略中嵌入相适应的沟通策略可以实现缩短新产品开发周期的目的, 但由于沟通需要成本, 因此不能仅依据沟通节约的时间来制定最优沟通策略, 有必要引入沟通费用这一变量。假设单次沟通的费用为 c_β , 那么在并行策略中嵌入沟通节约的成本为节约时间的机会成本与沟通和返工产生成本的差值, 即 $(T - R)c_i - Rc_r - nc_\beta$, 将 T 和 R 的表达式带入得

$$(T - R)c_i - Rc_r - nc_\beta = \frac{(r+1)c_i + c_r}{r} \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} (1 - k)^{\int_{t_{i-1}}^{t_i} \mu(t) dt} - nc_i\beta - nc_\beta$$

结论 4 考虑返工的时间和成本时, 相对于串行策略, 伴随有沟通策略的并行策略节约的新产品开发时间为 $(T - R)$, 节约的新产品开发成本为 $(T - R)c_i - Rc_r - nc_\beta$, 其中

$$T = \{[(t_1 - t_0)(1-k)^{N_1} + (t_2 - t_1)](1-k)^{N_2} + \dots + (t_n - t_{n-1})\}(1-k)^{N_n} - n\beta$$

$$R = [(t_n - t_1) - T] \frac{1}{r} \\ = \{(t_n - t_1) - [((t_2 - t_1) + (t_1 - t_0)(1-k)^{N_1})(1-k)^{N_2} + \dots + (t_n - t_{n-1})](1-k)^{N_n}\} \frac{1}{r}$$

结论 4 可以指导企业制定最优的沟通策略, 在上式某些变量确定的情况下, 通过前后项的比较可以确定最优沟通次数。

在并行的新产品开发过程中, 沟通次数并非越多越好。Patrashkova-Volzdoska 等^[33] 通过对 60 个跨职

能团队的调查表明, 沟通次数和新产品开发绩效呈非线性的 U 型关系。那么沟通次数应当存在一个最大值, 通过沟通策略所节约成本与消耗成本的比较即可求得该值。考虑沟通策略所节约的成本, 在单独的并行策略中, 上下游之间并行的时间为 $(t_n - t_0)$, 因此, 下游进程需要返工的进程必然小于 $(t_n - t_0)$, 所需要进行的返工时间也就小于 $\frac{1}{r}(t_n - t_0)$, 那么, 在时间的机会成本为 c_i 、返工成本为 c_r 时, 通过采用沟通策略减少返工而节约成本的最大值为 $\frac{c_i + c_r}{r}(t_n - t_0)$;

再考虑沟通费用所消耗的成本, 与原始仅有两次沟通的并行策略相比, 沟通的成本增加了 $(n-1)(c_i\beta + c_\beta)$ 。而采用沟通策略所节约成本的最大值应大于所消耗成本, 即

$$\frac{c_i + c_r}{r}(t_n - t_0) > (n-1)(c_i\beta + c_\beta)$$

结论 5 伴随有沟通策略的并行策略中, 沟通次数要满足

$$n^* < 1 + \frac{(c_i + c_r)(t_n - t_0)}{r(c_i\beta + c_\beta)}$$

本节研究伴随有沟通策略的并行策略, 将沟通的时间和成本纳入考虑因素, 对上一节模型进行拓展。由于在现实生活中沟通的时间和费用不可能为 0, 因此本节模型对实际的拟合程度更好, 应用更广泛, 据此制定的决策也更精确。但当在某一特定情况下, 实际计算出的最优的沟通次数为 0 时, 该模型等同于上一节的模型, 因此是否在并行策略中同时采用沟通策略需要结合具体的企业和产品情况考虑。可以说伴随有沟通策略的并行策略这一模型包含了单独采用并行策略的模型, 但对单独的并行策略进行的定量研究得出的结论对于特定情况 (只有当上游进程完成后才能对其传递给下游的信息进行更新) 下的项目有更好的指导意义。

5 案例分析

将上述模型应用于一种冰箱的产品开发过程中, 说明沟通策略的重要性。该款冰箱隶属于一家世界领先的白色家电制造企业, 该企业目前生产包括电冰箱、冷冻柜、空调、洗衣机、电视机、手机、家庭影院、电脑、热水器、DVD 播放机和综合家具等 96 类、15 100 种不同规格的产品, 并在世界各地拥有大约 50 000 名员工。

模型所用数据部分来自项目记录 (如设计中的问题列表和项目进度表), 部分来自项目工程师的估计。在多数企业, 这两种方式获取的数据都是可靠的^[18,24,27], 因此基于这些可靠数据进行的分析和结论也是可信的。

该项目的上游进程共花费 48 天, 下游进程在上游进程的第 27 天开始, 因此上游进程结束时下游进程已进行 21 (即 48 - 27) 天。上游进程改变对下游进程影响的比率 k 为 0.65%, 返工速率 r 为 1, 因此在上

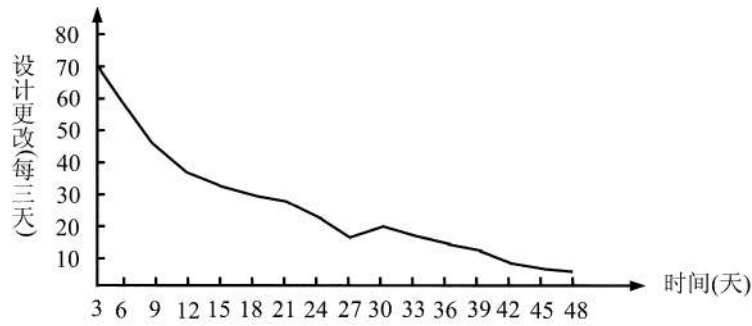


图4 演化过程

Figure 4 Evolution Process

游进程结束的時刻將100个改变(取该企业的均值)传递给下游时,得到下游进程的进度为 $(48 - 27)(1 - k)^{100} - (48 - 27)$ 天,结果为负。因此,该项目中采用单独的并行策略延长了产品开发时间。上游进程的演化过程如图4所示。

在上述并行策略中引入沟通策略,考虑嵌入一次沟通的情况(一次沟通时间为1天),假设沟通发生在下游进程开始(第27天)到上游进程结束(第48天)这段时间的中间时刻,即第37.5天。则

$$T = [(48 - 37.5) + (37.5 - 27)(1 - k)^{74}](1 - k)^{26} - 2$$

$$R = \frac{1}{r} \{ (48 - 27) - [(48 - 37.5) + (37.5 - 27)(1 - k)^{74}](1 - k)^{26} \}$$

其中,74为从第0天到第37.5天之间发生的设计变更次数,26为从第37.5天到第48天之间发生的设计变更次数。因此,伴随有一次沟通策略的并行策略节约的时间为 $(T - R)$,计算得5.665天,实现了产品开发时间的节约。

比较上述实例中采用单独的并行策略和伴随有一次沟通策略的并行策略,很容易发现沟通策略的重要作用。

在上面优化新产品开发周期的基础上考虑成本的节约。由于成本与时间呈线性相关关系,因此根据项目实际情况(一次沟通成本为2单位、单位时间的机会成本为7单位),嵌入一次沟通后节约的成本为 $(5.665 \times 7 - 2 \times 2)$ 单位,即35.655。

考虑嵌入两次沟通的情况,沟通时刻为第34天和第41天,即并行时段的三等分点,那么有

$$T = \{ [(34 - 27)(1 - k)^{58} + (41 - 34)](1 - k)^{29} + (48 - 41) \} (1 - k)^{13} - 3$$

$$R = \frac{1}{r} [(48 - 27) - 15.401]$$

采用嵌入两次沟通策略的并行策略,相对串行策略节约的时间为 $(T - R) = 5.599$,节约的成本为 $5.599 \times 7 - 2 \times 3 = 33.193$ 。

基于上述实例分析,发现该项目中采用单独的

并行策略不能实现节约开发时间和成本的目的,但通过引入适当的沟通策略就可以实现此目的,可见沟通策略在并行开发中的重要作用。进一步分析得到,该项目中嵌入两次沟通的并行策略节约的时间大于嵌入一次沟通节约的时间,但其节约成本却小于嵌入一次沟通节约的成本,主要原因在于增加了一次沟通成本,这也说明并行策略中嵌入沟通的次数并非越多越好。

6 结论

本研究采用定性和定量的分析方法,研究并行开发中并行策略和沟通策略对新产品开发绩效的影响机理,得到如下研究成果。

(1)定性研究将上游演化速度、上游不确定性、上下游之间的依赖性作为并行策略最重要的影响因素,分析表明上游演化速度与最优并行度呈正相关关系,上游不确定性和上下游之间的依赖性与最优并行度呈负相关关系。

(2)定量研究中主要建立两个模型,一个是只考虑并行策略的模型(只有当上游进程完成后才能对其传递给下游的信息进行更新),一个是将沟通时间和费用考虑在内的并行策略模型,这两个模型几乎覆盖了所有的新产品开发项目。对两个模型都进行详细说明的原因在于,通过两个模型比较可以发现沟通策略的重要性,也就是说虽然并行策略可以有效地节约新产品的开发时间和成本,但将沟通策略引入到其中后,效果更显著。

(3)案例分析比较单独的并行策略和伴随有沟通策略的并行策略对新产品开发绩效的影响,发现单独的并行策略没有节约该新产品的开发成本,而将沟通策略引入后的并行策略实现了此目的,进一步说明沟通策略的重要性,呼应了文中的定量分析。

在实际应用过程中,可以针对项目情况(沟通的时间和费用的大小),采用只考虑并行策略的模型或者将沟通时间和费用考虑在内的并行策略模型,案例分析可以有效指导企业根据模型制定并行策略和沟通策略。对于精度要求比较低的项目,或者在影响最优并行度的3个主要因素难于度量时,可以应

用本研究的定性分析,通过与其他项目的比较制定粗略决策。

为了降低模型的使用门槛、有利于定量分析方法在企业中的应用,本研究建立比较简单的模型,后续研究可以根据具体情况对该模型进行细化,使其对实际新产品开发的拟合度更好。

参考文献:

- [1] Mitchell V L, Nault B R. Cooperative planning, uncertainty, and managerial control in concurrent design [J]. *Management Science*, 2007, 53(3): 375-389.
- [2] Erat S, Kavadias S. Sequential testing of product designs: Implications for learning [J]. *Management Science*, 2008, 54(5): 956-968.
- [3] Ferrer G, Swaminathan J M. Managing new and differentiated remanufactured products [J]. *European Journal of Operational Research*, 2010, 203(2): 370-379.
- [4] Terwiesch C, Xu Y. Innovation contests, open innovation, and multiagent problem solving [J]. *Management Science*, 2008, 54(9): 1529-1543.
- [5] Bhaskaran S R, Krishnan V. Effort, revenue, and cost sharing mechanisms for collaborative new product development [J]. *Management Science*, 2009, 55(7): 1152-1169.
- [6] Chao R O, Kavadias S, Gaimon C. Revenue driven resource allocation: Funding authority, incentives, and new product development portfolio management [J]. *Management Science*, 2009, 55(9): 1556-1569.
- [7] Wang J, Lin Y I. An overlapping process model to assess schedule risk for new product development [J]. *Computer & Industrial Engineering*, 2009, 57(2): 460-474.
- [8] Liker J K, Sobek D K, Ward A C, Cristiano J J. Involving suppliers in product development in the United States and Japan: Evidence for set-based concurrent engineering [J]. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 1996, 43(2): 165-178.
- [9] Lin J, Qian Y, Cui W, Miao Z. Overlapping and communication policies in product development [J]. *European Journal of Operational Research*, 2010, 201(3): 737-750.
- [10] Dzeng R J. Identifying a design management package to support concurrent design in building wafer fabrication facilities [J]. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2006, 132(6): 606-614.
- [11] Gerck J E V, Qassim R Y. Project acceleration via activity crashing, overlapping, and substitution [J]. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 2008, 55(4): 590-601.
- [12] Hartmann S, Briskorn D. A survey of variants and extensions of the resource-constrained project scheduling problem [J]. *European Journal of Operational Research*, 2010, 207(1): 1-14.
- [13] 李萍, 华贲, 陆明亮. 基于并行工程的中药制造企业业务过程建模 [J]. *系统工程理论与实践*, 2006, 26(1): 48-52, 96.
Li Ping, Hua Ben, Lu Mingliang. A business process model for traditional Chinese medicine manufacturing enterprises based on concurrent engineering [J]. *Systems Engineering - Theory & Practice*, 2006, 26(1): 48-52, 96. (in Chinese)
- [14] Lin J, Chai K H, Wong Y S, Brombacher A C. A dynamic model for managing overlapped iterative product development [J]. *European Journal of Operational Research*, 2008, 185(1): 378-392.
- [15] Lin J, Chai K H, Brombacher A C, Wong Y S. Optimal overlapping and functional interaction in product development [J]. *European Journal of Operational Research*, 2009, 196(3): 1158-1169.
- [16] Eisenhardt K M, Tabrizi B N. Accelerating adaptive processes: Product innovation in the global computer industry [J]. *Administrative Science Quarterly*, 1995, 40(1): 84-110.
- [17] Terwiesch C, Loch C H. Measuring the effectiveness of overlapping development activities [J]. *Management Science*, 1999, 45(4): 455-465.
- [18] Love P E D, Edwards D J, Irani Z. Forensic project management: An exploratory examination of the causal behavior of design-induced rework [J]. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 2008, 55(2): 234-247.
- [19] Love P E D, Edwards D J, Irani Z, Walker D H T. Project pathogens: The anatomy of omission errors in construction and resource engineering project [J]. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 2009, 56(3): 425-435.
- [20] Roemer T A, Ahmadi R, Wang R H. Time-cost trade-offs in overlapped product development [J]. *Operations Research*, 2000, 48(6): 858-865.
- [21] Roemer T A, Ahmadi R. Concurrent crashing and overlapping in product development [J]. *Operations Research*, 2004, 52(4): 606-622.
- [22] Chakravarty A K. Overlapping design and build cycles in product development [J]. *European Journal of Operational Research*, 2001, 134(2): 392-424.
- [23] 熊光楞, 张和明, 李伯虎. 并行工程在我国的研究与应用 [J]. *计算机集成制造系统*, 2000, 6(2): 1-6, 45.
Xiong Guangleng, Zhang Heming, Li Bohu. Research and application of concurrent engineering in China [J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2000, 6(2): 1-6, 45. (in Chinese)
- [24] Yassine A A, Sreenivas R S, Zhu J. Managing the

- exchange of information in product development [J]. *European Journal of Operational Research*, 2008, 184 (1): 311-326.
- [25] Ha A Y, Porteus E L. Optimal timing of reviews in concurrent design for manufacturability [J]. *Management Science*, 1995, 41 (9): 1431-1447.
- [26] 陈建明, 张仲义, 宋一凡. 信息系统开发的并行工程方法 [J]. *系统工程理论与实践*, 2000, 20 (7): 7-12.
Chen Jianming, Zhang Zhongyi, Song Yifan. Information system development method based on concurrent engineering [J]. *Systems Engineering - Theory & Practice*, 2000, 20 (7): 7-12. (in Chinese)
- [27] 钱晓明, 王宁生, 唐敦兵. 基于 DSM 的产品开发过程资源优化算法 [J]. *系统工程学报*, 2008, 23 (2): 238-242.
Qian Xiaoming, Wang Ningsheng, Tang Dunbing. Algorithms for resource optimization of PDP based on DSM [J]. *Journal of Systems Engineering*, 2008, 23 (2): 238-242. (in Chinese)
- [28] Loch C H, Terwiesch C. Communication and uncertainty in concurrent engineering [J]. *Management Science*, 1998, 44 (8): 1032-1048.
- [29] Carrascosa M, Eppinger S D, Whitney D E. Using the design structure matrix to estimate product development time [C] // *Proceedings of ASME Design Engineering Technical Conferences*. Atlanta, 1998: 1-10.
- [30] Krishnan V, Eppinger S D, Whitney D E. A model-based framework to overlap product development activities [J]. *Management Science*, 1997, 43 (4): 437-451.
- [31] Chakravarty A K. Overlapping design and build cycles in product development [J]. *European Journal of Operational Research*, 2001, 134 (2): 392-424.
- [32] Helms R M. Framework for releasing preliminary information in product development [J]. *Advanced Engineering Informatics*, 2004, 18 (4): 231-240.
- [33] Patrashkova-Volzdoska R R, McComb S A, Green S G, Compton W D. Examining a curvilinear relationship between communication frequency and team performance in cross-functional project teams [J]. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 2003, 50 (3): 262-269.

Effects of Concurrent and Communication Strategies on New Product Development Performance

Lin Jun¹, Yan Xiamin¹, Cui Wentian¹, Qian Yanjun²

1 School of Management, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China

2 School of Public Policy and Administration, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China

Abstract: This paper studies how to apply concurrent and communication strategies to save the time and cost of new product development. Taking the evolution rate of upstream, the dependencies between downstream and upstream, and the uncertainty of upstream as the key factors of affecting concurrent strategies. By qualitative analysis, we find that there is a positive correlation between the evolution rate of upstream and optimal overlapping, yet the dependencies between downstream and upstream and the uncertainty of upstream have negative effect on optimal concurrent degree. By quantitative analysis, we establish two models to study concurrent strategies alone and the interrelationship between concurrent and communication strategies, which can be used by companies to determine the optimal concurrent degree and communication times and save development time and cost. The methodology was applied to a refrigerator development process so as to prove its utility and illustrate its specific use. The analytical method and model can be used to guide studies of concurrent development, and provide decision support for companies to improve new product development performance.

Keywords: product development; concurrent development; concurrent strategies; communication strategies

Received Date: November 13th, 2011 **Accepted Date:** May 6th, 2012

Funded Project: Supported by the National Natural Science Foundation of China (71001084, 71072128) and the Special Research Funded Projects for the Doctoral Program of Higher Education (20100201120050)

Biography: Dr. Lin Jun, a Shanghai native (1976 -), graduated from National University of Singapore and is a lecturer in the School of Management at Xi'an Jiaotong University. His research interests include product development, robust optimization, etc. E-mail: ljun@mail.xjtu.edu.cn

□