

大型R&D项目模块化集成管理研究

洪兆富,柴国荣,许 瑾

(兰州大学 管理学院,甘肃 兰州 730000)

摘 要:模块化是技术创新管理的有效途径,而网络优化原理则为项目进度优化提供了科学的方法。运用模块化组织理论,将大型R&D项目进行模块化分解,然后将各功能模块转化为项目活动,实现项目式集成管理,并运用网络优化原理对R&D项目的各模块进度实行优化,获得模块的进度安排以及各功能模块的截止日期,最终实现整个R&D项目的进度优化。

关键词:大型R&D项目;模块化;集成管理;进度管理

中图分类号:F062.4

文献标识码:A

文章编号:1001-7348(2009)11-0001-03

0 引言

现代经济增长理论表明,技术创新是经济增长的重要源泉^[1],研发(R&D)则是科技创新与进步的主要手段和动力,而且大型R&D项目越来越趋向于合作研发(cooperative R&D)^[2]。Baldwin和Clark^[3]指出模块化极大地提高了创新速度,是复杂产品研发的有效手段。大型R&D项目一般可以按照功能分解为多个功能模块,构成一个以模块为单元的模块化网络组织,功能模块由拥有不同核心能力的企业组成,通过功能模块间的研发合作完成整个R&D项目。各功能模块具有特定的功能并独立完成分配的任务,而且还可以将功能模块分解为相对简单的具体活动,整个R&D项目则通过对各模块进行功能整合得以完成。这种模块化组织通过对合作企业核心能力和资源的整合,极大地提高了整个R&D组织的技术研发能力和创新效率。很多学者从产品的研发、技术和制造方面对模块化的创新工作进行了研究^[4-6],但对模块化分解以及分解后集成管理的研究尚不多见。

时间是决定R&D项目成败的关键因素,科学的项目计划和进度安排至关重要^[7],但是一直以来R&D项目进度优化方面的研究较少^[7-8]。本文首先对大型R&D项目的模块化分解进行了研究,然后通过虚活动的引入提出了大型R&D项目的集成管理方法,最后以工期最小化为目标函数对R&D项目进度实行优化,为提高创新效率和缩短研发周期提供研究思路,为最优工期的实现提供有效的方法。

1 大型R&D项目的模块化与集成

本文研究假设:采用基于活动的研究方法,即项目网络采用(AON)(Activity-on-Not)表述方式,即箭线表示事件,节点表示活动^[9];活动具有多种离散的执行模式(multi-mode),每种模式的工期及资源需求确定^[10];活动遵从“结束—开始”(F-S)型优先关系,即活动只能在其紧前活动完成之后开始^[11];活动不具有抢先权,即活动一旦开始,在完成之前不能中止^[11];每种资源各个时期的自有量及单位只有成本确定;大型R&D项目通过多个企业进行研发合作完成;各功能模块间存在着紧前约束关系。

1.1 大型R&D项目的模块化

模块化就是把一个复杂系统分解为若干个独立的模块,各模块具有特定的功能并独立完成分配的任务,而且各模块还可以分解为相对简单的具体活动,整个系统的功能又通过这些模块的组合得以实现^[3]。模块化把复杂的结构简单化,把复杂的系统逐层分解为简单的子系统,从而易于实施。大型R&D项目的模块化就是将其所整合的各种资源和功能进行规划和组合,根据功能特点把合作企业划分为具有特定功能的模块。然后在模块分解的基础上,将各模块重新组合成一个具有特定结构和功能的“模块化组织”,这个组织是由各功能模块组成的网络组织。

在大型R&D项目中,R&D项目往往可以分解成多个不同的子任务,并通过盟友合作企业的R&D合作完成整个产品的研发^[2]。根据资源类型和核心能力,将合作企业划分在不同的功能模块中,各模块通过具体的子活动完成分配

收稿日期:2008-01-09

基金项目:国家自然科学基金项目(70702013);甘肃省自然科学基金项目(3ZS061-A25-040)

作者简介:洪兆富(1984-),男,江西南康人,兰州大学管理学院硕士研究生,研究方向为项目进度管理、技术创新管理;柴国荣(1976-),男,甘肃会宁人,管理学博士,兰州大学管理学院副教授;许瑾(1982-),女,吉林通化人,兰州大学管理学院硕士研究生,研究方向为项目管理、供应链管理。

的R&D子任务。功能模块之间的关系可能是并行关系,也有可能是紧前约束关系,它们共同构成了以功能模块为单元的模块化网络组织。如图1所示,假设可以根据产品特点,将某个R&D项目中的各合作企业划分成9个功能模块(每个模块中可能包含一个或多个合作企业),每个功能模块有各自的R&D子任务并由具体的R&D子活动完成(注:本文称模块转化后的活动为“活动”,称模块中的活动为“子活动”)。

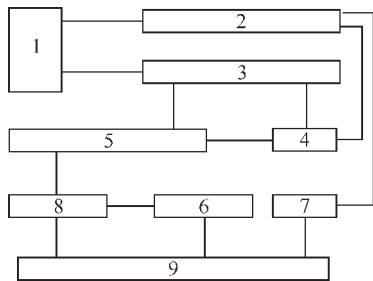


图1 大型R&D项目的模块化分解图

1.2 模块的集成管理

大型R&D项目集成管理就是将项目中的功能模块看作R&D项目中的活动,将模块化网络图转化为基于活动的项目进度网络图,然后运用网络优化方法对R&D项目中的各个模块进行综合管理,实现R&D项目中模块的进度优化。现用 $i, j \in V (i, j=1, 2, \dots, N)$ 表示R&D项目中的功能模块,用 $\langle i, j \rangle \in D$ 表示模块 i 与 j 的紧前约束关系,且 j 在 i 结束之后发生,那么模块网络可以表示为 $G=(V, D)$ 。现通过模块与项目活动的转化,实现R&D项目的集成管理。

功能模块的R&D子任务通过模块中具体子活动完成,因此模块间的紧前约束关系表现为:前一模块的最后一个活动和后一模块的第一个活动之间的紧前约束关系。然而,两个模块间的活动没有直接的活动约束关系,因此不能直接用网络优化的方法进行进度优化。本文通过在子模块间构建虚活动来衔接R&D项目中的各个模块,通过虚活动的引入把模块转化为具有严格优先约束关系的活动。在模块 i 的最后一个活动后面添加一个虚活动 ξ_i ,这个虚活动既是模块 i 的结束活动又是模块 j 的开始活动,虚活动 ξ_i 的工期为0且不消耗任何资源。引入虚活动后,各模块便构成了具有严格优先约束关系的模块化网络图。如果把各功能模块对应于项目中活动,把模块间的约束关系对应于项目网络图中的活动优先关系,那么模块化网络图便转化成了基于活动的项目进度网络图。

其中, $i, j \in V$ 表示R&D项目的活动 i 和 j ,二者之间的优先关系可以表示为 $\langle i, j \rangle \in D$,R&D项目的进度网络可以表示为 $G=(V, D)$ 。通过以上转换,对R&D项目中各模块的管理就转换为对项目中活动的管理,进而可以运用项目管理的方法实现模块的集成化管理。

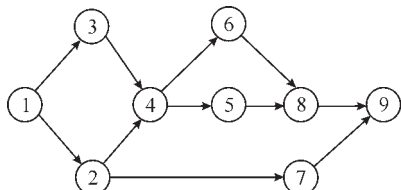


图2 基于活动的大型R&D项目网络

2 大型R&D项目的进度优化与求解

2.1 大型R&D项目的进度优化模型

由于缩短研发周期对R&D项目至为重要^[7],R&D项目追求的目标通常是项目工期的最小化,在技术创新竞争激烈的行业尤为如此^[8]。大型R&D项目的进度优化就是对各模块的进度安排实行优化(即对转化后的项目活动进度实行优化),获得最佳的进度安排,同时每个模块获得一个完成任务的截止日期。模块中的企业则根据截止日期实行进度优化,获得各个具体子活动的进度安排^[12]。由于研发型企业其资源有限,也就是说合作企业的进度安排受到自有资源的限制,因此本文的项目进度优化问题属于多模式项目进度问题(MMRCPSP)。工期最小化项目进度问题就是在自有资源约束和活动优先关系约束下,安排各项活动的执行时间,并通过进度优化使得项目工期最短。

如果用 $t (t=1, 2, \dots, T)$ 表示活动 i 的执行时间,用 $k (k=1, 2, \dots, K)$ 表示活动的执行模式,用 $[E_i, L_i]$ 表示活动 i 的执行时间窗,用 D_{ik} 表示活动 i 以模式 k 执行时的工期,用 C_i 表示虚活动 ξ_i 的执行时间(C_i 既是前一活动的结束时间又是后一活动的开始时间),那么式(2)保证每个活动只有一种执行模式;式(3)保证活动 i 在活动 ξ_i 之前结束;式(4)保证下一个活动必须在前一活动结束后开始。

如果用 r_{ikm}^p 表示时期 t 内活动 i 以模式 k 执行时需要的可更新资源 $m (m \in \square^p)$ 的数量, SA_t 为时期 t 内所有活动的集合;用 r_{ild}^v 表示活动 i 以模式 k 执行时需要的不可更新资源 $l (l \in \square^v)$ 的数量(\square^p 和 \square^v 分别是可更新资源 m 和不可更新资源 l 的资源集合),那么可用式(5)表示时期 t 内的可更新资源约束,式(6)表示整个项目中的不可更新资源约束。

综上所述,大型R&D项目进度优化模型由工期最小化目标函数、活动优先关系和资源约束关系构成,其问题规划如下:

$$\min \sum_{i=1}^N tX_{ik} \tag{1}$$

$$X_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{活动} i \text{ 采取执行模式} k \quad \forall i, k \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \tag{2}$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{k=1}^{K_i} \sum_{t=E_i}^{L_i} (t+D_{ik})X_{ik} - C_i \leq 0 \quad \forall i \in V \tag{3}$$

$$\sum_{k=1}^{K_j} \sum_{t=E_j}^{L_j} tX_{jk} \geq C_i \quad \forall i, j \in V, \forall \langle i, j \rangle \in E \tag{4}$$

$$\sum_{i \in SA_t} r_{ikm}^p \leq R_m^p \quad t > 0, m \in \square^p \tag{5}$$

$$\sum_{i \in V} r_{ild}^v \leq R_l^v \quad l \in \square^v \tag{6}$$

在将模块转换成项目活动的基础上,通过以上网络优化方法对R&D项目的各模块实行进度优化后,得到各功能模块合理的执行时间(即为各模块的任务完成时间确定了截止日期)。然后,模块中的各个企业则可以根据截止日期对各子活动进行基于截止日期的项目进度优化^[14],从而使

得大型R&D项目中所有子活动的进度得以优化,进而获得R&D项目的最佳工期。

2.2 优化模型的求解

MMRCPSP属于NP-难问题^[9],当解空间规模较大时一般采用启发式算法进行求解。在文献[13]的基础上,开发了两阶段模拟退火遗传混合优化算法(TSSAGHH)求解以上问题。在这一算法中遗传进化控制着整个运算过程,模拟退火控制着进化过程中接受劣解的概率。本算法分两阶段进行,第一阶段为活动时间搜索阶段,第二阶段为活动序列搜索阶段,这种混合启发式算法提高了解的搜索效率和收敛性。通过本算法求解出R&D项目的最小工期T,各模块的进度安排 $\Pi=|K, T|$,同时获得各模块完成任务的截止日期 $[D_1, D_2]$ 。

3 算例

某大型软件研发项目包含9个功能模块,其模块的分解如图1所示,将R&D的模块进行转化后得到活动网络图,如图2所示。每个活动有两种可选模式,表1为活动的执行模式。资源R1和R2为可更新资源,R3为不可更新资源。R1、R2和R3的自有量分别为62、9和9个单位。

表1 活动的执行模式

活动代号	模式 u			模式 v		
	工期(周)	资源需求量(单位/周)	资源需求量(单位/周)	工期(周)	资源需求量(单位/周)	资源需求量(单位/周)
1	2	5	0	3	3	0
2	5	4	1	3	6	0
3	4	2	1	6	1	1
4	3	4	2	5	3	1
5	6	4	2	4	5	0
6	5	2	0	6	1	2
7	5	12	0	3	24	0
8	6	16	0	5	16	4
9	4	6	2	3	6	0

通过计算得出,当R&D项目的活动执行模式为 $K=\{v, u, u, u, v, u, u, u, v\}$,而且进度安排为 $T=\{3, 6, 7, 6, 11, 11, 16, 18, 19\}$ 时(这里的进度安排时间是活动完成的时间),可获得最小项目工期19周。同时获得各模块的截止日期,然后对R&D项目的各子活动进行基于截止日期的进度优化,进而使整个项目的进度得到优化。以第3个模块为例,它在第7周完成(即以天为单位的截止日期为 $[42, 49]$),因此以 $[42, 49]$ 为截止日期对模块3内部的子活动进行进度优化^[14],从而使整个项目的进度得以优化。

4 结语

大型R&D项目通过将合作企业的核心能力和资源进

行模块化,形成了一种高度柔性化的模块化组织,促进了研发成本的降低和研发周期的压缩。本文对大型R&D项目中的合作企业按功能进行模块化分解,构建出模块化网络图;然后通过虚活动的引入将功能模块转化为具有严格约束优先关系的项目活动,进而实现对模块的集成管理;最后以工期最小化为目标,运用网络优化原理对各模块的进度进行优化,获得模块的进度安排和模块内子活动的截止日期,最终使整个项目的进度得以优化。因此,模块化集成管理为R&D项目创新效率的提高提供了思路,为项目工期的压缩提供了有效的方法。

参考文献:

- [1] LUCAS, ROBERT E. On the Mechanics of Economic development[J]. Journal of Monetary Economics, 1988(XXII): 3-42.
- [2] HIROYUKI OKAMURO. Determinants of successful R&D cooperation in Japanese small businesses: The impact of organizational and contractual characteristics [J]. Research Policy, 2007, 36(2): 758-767.
- [3] BALDWIN C Y, CLARK K B. Managing in an age of modularity [J]. Harvard Business Review, 1997, 75(5): 84-93.
- [4] DAVIES A, BRADY T. Organizational capabilities and learning in complex product systems: Towards repeatable solutions [J]. Research Policy, 2000, 29: 931-953.
- [5] SHENHAR A. A new conceptual framework for modern project management [A]//Khalil TM, Bayraktar BA (Eds). Management of technology, IV. New York: Institute of Industrial Engineers, 1994.
- [6] 姜华,熊光楞,张和明. 动态联盟环境下集成化产品开发方法研究[J]. 中国机械工程, 1999, 10(7): 773-776.
- [7] HONGYI SUN, TIANCHAO MA. A packing-multiple-boxes model for R&D project selection and scheduling [J]. Technovation, 2005, 25(11): 1355-1361.
- [8] JIUTE WANG. Constraint-based schedule repair for product development projects with time-limited constraints [J]. Production Economics, 2005, 95: 399-414.
- [9] DE REYCK B, HERROELEN W. The multi-mode resource-constrained project scheduling problem with generalized precedence relations [J]. European Journal of Operational Research, 1999, 119(2): 538-556.
- [10] BRIAN TALBOT. Resource-constrained project scheduling with time-resource tradeoffs: The non-preemptive case [J]. Management Science, 1982, 28(10): 1197-1210.
- [11] LAWRENCE KAPLAN. Resource-constrained project scheduling with preemption of jobs[D]. University of Michigan, 1988.
- [12] 柴国荣,徐渝,雷亮. 合同双方联合角度的R&D项目激励机制优化研究[J]. 科研管理, 2006, 27(4): 110-115.
- [13] 柴国荣. 多模式柔性资源约束项目进度问题研究[D]. 西安: 西安交通大学, 2005.

(责任编辑:王尚勇)