

文章编号: 1001-0920(2003)05-0513-04

关键链——一种项目计划与调度新方法

刘士新¹, 宋健海², 唐加福¹

- (1. 东北大学 信息科学与工程学院 系统工程研究所, 辽宁 沈阳 110004;
2. 上海宝钢软件股份有限公司 钢铁 ERP 事业部, 上海 201900)

摘要: 在简单介绍 TOC 技术的基础上, 对比分析了关键链管理方法与传统 PERT/CPM 方法的各自特点, 对关键链管理中工作执行时间估计、关键链确定、缓冲区设置以及项目执行过程中的控制方法进行了系统的介绍, 并讨论了关键链方法的优点和不足, 探讨了进一步的研究方向。

关键词: 项目管理; 计划与调度; 关键链; PERT/CPM

中图分类号: O223 **文献标识码:** A

Critical chain —— A new method for project planning and scheduling

LIU Shi-xin¹, SONG Jian-hai², TANG Jia-fu¹

- (1. School of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China; 2. Shanghai Baosight Software Limited Company Metallurgical ERP Business Department, Shanghai 201900, China)

Abstract: Differences between critical chain and PERT/CPM technique are compared after a brief introduction of TOC. The approaches of task duration estimating, critical chain identifying, buffer sizing and project controlling in critical chain technique by the numbers are systematically introduced. The merits, pitfalls, and future research directions of the critical chain technique are also discussed.

Key words: Project management; Planning and scheduling; Critical chain; PERT/CPM

1 引言

经济全球化导致市场竞争日趋激烈。现代项目日趋复杂, 要求周期更短、准时完工率更高、成本更低, 尤其对于越来越多地采用供应链管理方式的现代企业, 上游企业的输出作为下游企业的输入, 各企业紧密相互依存, 一个项目的拖期会导致整个供应链上相关项目的变化, 因此, 要求项目计划与调度具有更高的可行性、稳定性和准确性。然而, 由于项目本身和执行环境的不确定性以及越来越高的复杂性, 使得许多项目在实施过程中出现如下问题: 1) 成本

超出预算; 2) 拖期完成; 3) 为了控制成本或周期, 不得不牺牲项目的规模或设计内容。这些问题的出现表明, 传统的项目计划与调度方法已无法完全满足现代项目管理的实际需求, 需要完善或提出新的管理方法。1997 年, 约束集理论(TOC)的创始人高德拉特博士出版了继《目标》^[1]和《这不是靠运气》^[2]之后的第 3 部管理著作《关键链》^[3], 将 TOC 技术应用到项目管理领域, 提出了项目管理的全新方法。该方法已成功地应用于多个企业, 引起了企业界和学术界的广泛关注, 并在北美和欧洲等发达国家

收稿日期: 2002-10-21; 修回日期: 2003-02-14。

基金项目: 国家 863 计划 CIMS 主题资助项目(2002AA412010); 国家自然科学基金资助项目(70002009); 辽宁省博士启动基金资助项目(20021011); 沈阳市自然科学基金资助项目(1022036-1-04)。

作者简介: 刘士新(1968—), 男, 辽宁铁法人, 副教授, 博士, 从事制造执行系统、进化算法等研究; 唐加福(1965—), 湖南东安人, 教授, 博士, 从事生产计划与调度、进化算法和 Fuzzy 优化理论与方法等研究。

受到了相当的重视和研究。但就作者目前掌握的资料看,国内学者对此项工作的研究尚未见报道。因此,本文介绍“关键链”的主要思想和应用过程,希望能对有关研究者有所启发。

2 约束集理论(TOC)

TOC是由高德拉特博士于20世纪70年代末期基于OPT系统发展起来的,认为系统的制约因素决定系统的有效产出。因此,将管理重点放在系统的制约因素上,通过改进制约因素达到最大的有效产出。TOC主要有以下5个核心步骤^[1]:

- 1) 发现系统的制约因素;
- 2) 充分挖掘制约因素的潜能;
- 3) 围绕制约因素制定非制约因素决策;
- 4) 提升制约因素能力;
- 5) 假如步骤4)打破了原有的制约因素,则转步骤1)。

制约因素是指妨碍实现系统目标的主要因素,可分为两类:1)实物类制约因素,特点是潜能不足以满足需求;2)政策或制度约束,不合理的政策同样会制约企业的有效产出。挖掘制约因素的潜能就是对实物类或政策约束提出解决办法,从而实现有效产出的增加。

步骤3)的目的是实现系统中其他因素与制约因素同步,从而充分利用制约因素的生产能力。步骤4)是步骤2)的延伸,指通过增加投入的方法提升制约因素的生产能力,例如加班、购买新机器等。这一步骤有可能使系统的制约因素发生转移,因此,需要重新回到步骤1)开始新的循环。

TOC在生产管理领域取得了巨大成功。然而,在项目管理领域,管理人员可以使用的管理工具仍是几十年不变的PERT/CPM,这些管理工具已不能很好地满足当代项目管理的需求。关键链正是基于TOC思想,针对项目管理而设计的一种全新方法,目前已经在许多先进的欧美企业获得了成功应用,一些著名的软件公司已经开始将关键链管理方法嵌入到项目管理软件中。

在理论界,研究关键链的论文也陆续出现。文献[4]对关键链技术进行了简单介绍,但未进行深入分析;[5]从行为科学角度对关键链方法进行了分析;[6]对关键链方法的优缺点进行了讨论,并通过仿真实验对关键链方法的调度计划与分支定界算法产生的调度计划进行了对比分析;[7]将传统的项目管理方法与TOC思想相结合,针对资源受限的项目调度提出了新的管理、实施和控制方法;[8]结合供应

链管理和关键链管理概念,针对项目管理的全过程提出了一种新的管理框架,体现了文化、过程和技术的内涵。

3 关键链方法与PERT/CPM对比

关键链管理方法用关键链代替PERT/CPM中的关键路径。关键链与关键路径的主要区别在于关键链不仅考虑了工作的执行时间和工作间紧前关系约束,而且考虑了工作间的资源冲突,是制约整个项目周期的一个工作序列。关键链方法强调制约项目周期的是关键链而非关键路径,并通过项目缓冲、输送缓冲和资源缓冲机制来消除项目中不确定因素对项目计划执行的影响,保证在确定环境下编制的项目计划在动态环境下的顺利执行。

3.1 工作执行时间的确定

不确定因素是所有项目的典型特征,首先表现为项目中各工作执行时间的不确定性。根据统计规律,项目中工作的完成时间通常表现为图1所示的对数正态分布统计规律。传统项目管理方法在估计各工作的执行时间时,为了能保证工作如期完成,通常会在执行时间中包含大部分的安全时间。但事实上,安全时间只能保证工作自身如期完成,却无法保证整个项目的如期完成,因为工作安全时间通常会由于学生综合症、帕金森定律、多任务以及工作间的依存关系等多种因素而浪费掉^[3]。

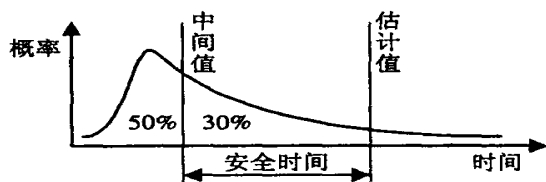


图1 工作执行时间的不确定性

关键链管理方法以50%可能完成的执行时间作为工作的估计执行时间。考虑图2所示的项目,图2中各工作的执行时间采用80%可能完成方法估计,即每项工作包含了大部分的安全时间,并且假定各种资源在每阶段的可用量为1个单位。不考虑资

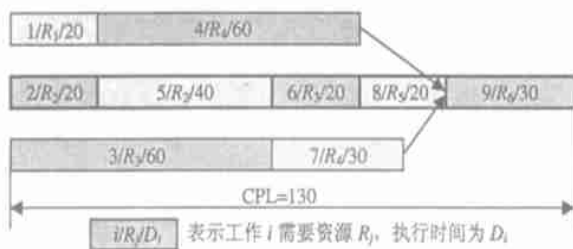


图2 各工作包含安全时间的项目网络图

源约束, 根据传统的 PERT/CPM 时间参数计算方法可计算出关键路径为 2-5-6-8-9, 关键路径长度为 130。

采用关键链方法(50%可能完成时间)估计各工作的执行时间, 得到图 3 所示的项目网络图。图 3 所示的项目中, 关键路径未发生变化, 只是由原来的 130 缩短为 65。

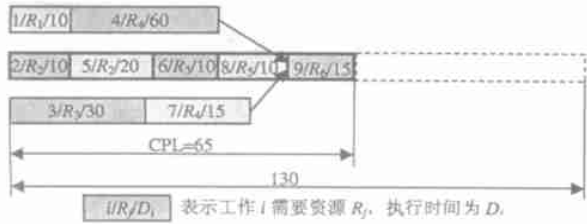


图 3 去除各工作安全时间的项目网络图

3.2 关键链与关键路径

对于图 3 所示项目, PERT/CPM 方法确定的关键路径为 2-5-6-8-9。考虑到资源约束, 人们会发现工作 3 和 6 的完成都需要资源 R_3 , 工作 4 和 7 的完成都需要资源 R_4 , 而工作 4 和 7 发生重叠, 出现资源冲突。因此, 从 TOC 观点看, 关键路径 2-5-6-8-9 并非缩短项目周期的制约因素。

为了消除工作 3 和 6, 4 和 7 的资源冲突, 可将工作 3 和 6, 4 和 7 串行执行, 执行顺序可以是 3-6(或 6-3), 4-7(或 7-4)。若以项目周期最短为目标, 则选择执行顺序为 3-6 和 4-7, 如图 4 所示。由图 4 可见, 在考虑紧前关系约束、工作执行时间和资源约束情况下, 决定项目周期的工作序列应该是 1-4-7-9, 总长度为 70, 根据关键链的定义, 该工作序列为关键链。

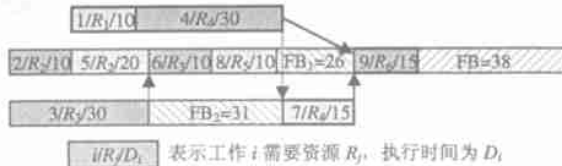


图 4 项目的关键链和缓冲区

由图 4 可见, 关键链上的工作 1 和 4 可以在最早的时间开始, 这与关键链的定义不矛盾。关键链是制约项目周期的最长工作序列, 处于关键链上的工作仍需要被特别关注。

3.3 缓冲区与自由时间

考虑到项目中的不确定因素和墨菲定律(一些可能发生的麻烦都必然会发生)出现的可能性, 根据关键链管理方法, 需要在非关键链到关键链的入口处设置输送缓冲区, 以及在关键链尾部设置项目缓

冲区。如图 4 所示, 在关键链(1-4-7-9)的尾部设置了项目缓冲(PB=38), 在非关键链(2-5-6-8, 3-6-8, 3)到关键链的输入点设置了输送缓冲(FB₁=26 和 FB₂=31), 以保证关键链上工作如期进行。

缓冲区尺寸的设置主要有两种方式:

1) 剪切-粘贴方法: 首先根据传统方法估计每项工作的执行时间, 然后从每项工作执行时间中剪去安全时间, 并根据剪切后的执行时间进行项目调度; 最后, 取关键链所有工作被剪掉的安全时间总和的 1/2 作为项目缓冲, 将非关键链上工作被剪掉的安全时间总和的 1/2 作为非关键链的输送缓冲。这种方法的优点是简单易行, 缺点是缓冲区的大小与工作链的长度成线性关系, 容易产生缓冲区过大或过小的现象。

2) 根方差法: 首先用两种方法估计各项工作的执行时间, 记采用传统方法估计工作 j 的执行时间为 s_j , 采用关键链管理方法估计工作 j 的执行时间为 a_j , 两者差为 $D = s_j - a_j$, 则项目缓冲区尺寸为

$$PB = \sum_{j \in CC} D^2$$

其中 CC 为关键链上工作的集合。非关键链 I 的输送缓冲区尺寸为

$$FB_i = \sum_{j \in I} D^2$$

根方差法的优点是项目管理者不必随意削减各项工作的预估时间, 从某种程度上避免了管理者与执行者之间的矛盾, 而且这种方法比较符合非确定执行时间累加的统计规律, 可避免缓冲区过长或过短现象发生。图 4 中的缓冲区尺寸就是根据根方差法计算的。

输送缓冲与 PERT 方法中非关键路径工作的自由时间不同, 工作的自由时间可能随机地出现在项目计划中, 一般不会受到特别关注, 而输送缓冲区总是设置在非关键链到关键链的入口处, 并且缓冲区尺寸是根据非关键链的长度与工作执行时间的不确定程度计算的。关键链管理方法是站在全局的角度, 将各工作的安全时间统一到时间缓冲中, 其出发点是保证整个项目的如期完成而非个别工作, 重点关注全局而非局部。通过项目缓冲和输送缓冲来消除项目中不确定因素对项目计划执行的影响。在项目的执行过程中, 这两类缓冲会得到更加有效地管理。

3.4 进度控制

关键链方法确保项目顺利进行的一个重要手段是缓冲区的设定。对于项目缓冲区, 如果关键链上的某项

工作产生拖期,那么拖期时间会被项目缓冲区吸收;反之,如果某些工作提前完成,则提前时间也会被加入到项目缓冲区中。输送缓冲区对于非关键链具有相同的作用。因此可以认为,缓冲区为项目管理者提供了项目当前进行状况的指示表,通过对剩余缓冲区的观察就可以对项目的当前执行情况一目了然,并在需要时采取必要的措施。

缓冲区可分成3部分,分别为绿色、黄色和红色。如果缓冲区“表针”指示绿色部分,则可以认为项目如期进行;如果“表针”指示黄色部分,则应密切关注或采取一些改进措施;如果“表针”指示红色部分,则认定项目进行非常不顺利,必须采取果断措施改善项目的执行。

在项目执行过程中,关键链方法对资源的管理采用缓冲机制,即设置资源缓冲区。资源缓冲区设置在关键链上工作的前面,目的是保证当关键链上工作开始执行时需要的资源已经就绪。在具体实现时,采用资源预报机制,即在关键链上工作的前序工作开始执行、完成前一周、完成前3天、完成前1天等几个时刻对相关资源发出通知,以便资源能够做好准备执行关键工作。资源缓冲机制可能会产生某些资源的空闲时间,但可以保证关键工作的如期开始。

由于不确定因素的存在,项目在实施过程中经常会发生某些工作拖期现象,导致某些原本不是关键链上的工作成为制约项目如期完成的工作。对于这种情况,传统的处理方法是进行重调度。关键链管理的处理方法是尽量不重新调度,因为关键链方法的一个核心目的就是让管理人员关注那些项目周期的制约因素。如果某些工作严重拖期,其相关的输送缓冲会被消耗很多甚至缩短为零,这些工作自然会得到管理者的高度关注,并采取必要的措施,保证项目的如期完成。

4 进一步研究方向

关键链方法用于项目管理与TOC用于生产管理一样,已引起人们的广泛关注。比较关键链与关键路径,可以发现关键链具有如下优点:

1) 关键链不仅考虑了工作间的紧前关系约束,而且考虑了工作间的资源冲突,因此更加符合实际应用;

2) 关键链标识了项目周期的制约因素和资源瓶颈,指出了项目中的关键因素,即关键链上的工作和瓶颈资源,为项目管理人员缩短项目周期指明了方向;

3) 关键链为项目管理人员保证项目的如期完成提供了有效途径,即在非关键链到关键链的入口处和关键链尾部设置缓冲区,缓冲区的设置可以大大降低项目重计划的频率。

关键链作为一种新兴的项目管理方法,并不能解决项目管理的所有问题,在以下几方面尚有待于进一步研究:

1) 关键链的确定:关键链的确定与资源冲突的调整策略密切相关,不同的调整方法会产生不同的关键链,不同的关键链又会决定不同的项目计划。在一个复杂项目中,通常包含上百项工作,涉及到几十种资源约束,这时确定关键链就会更加困难。目前的关键链方法并没有对这一问题给出有效的解答。作者认为,采用基于资源受限工程调度问题的优化方法^[9,10]设计求解最短关键链的算法是一个值得深入研究的方向。

2) 缓冲区尺寸的确定:缓冲区是保证项目计划如期进行的有效措施。本文介绍的两种缓冲区尺寸的计算方法都是基于工作的估计执行时间确定的,未考虑资源的约束情况。事实上,仅根据工作执行时间确定缓冲区尺寸有可能产生资源的冲突。因此,缓冲区尺寸应结合资源约束情况设置,而关键链方法没有对这一问题进行详细说明,需要进一步深入研究。

3) 多目标函数和多执行模式情况:关键链方法主要以项目周期最短为目标,而且各工作的执行模式只有一种,但在实际应用中,项目管理问题往往是多目标优化问题,比如成本最低、资源消耗水平最低、净现值最大等^[11]。各工作的执行模式也可能不只一种^[12],对于这些问题,关键链方法尚没有论述。

4) 多项目应用:现实中的企业大多同时实施多个项目,关键链管理方法目前针对多项目问题提出了5个管理步骤:¹ 设定各个项目的优先权;² 按关键链方法计划和调度每个项目;³ 交错各个项目,避免资源冲突;⁴ 设定各项目缓冲及每个项目的输送缓冲;⁵ 对缓冲区进行有效管理。以上5个步骤只给出了多项目管理的总体步骤,如何具体实行需要进一步研究。

5 结 语

本文系统地介绍了关键链管理方法,对关键链管理方法与传统的PERT/CPM方法进行了对比分析,指出了该方法所具有的优点和存在的不足,并讨论了进一步的研究方向。

则系统(5)的半全局分散控制问题可解。此时, 状态反馈为

$$u_i = -(1+Q)B_i^T P_i(E)x_i$$

$$Q > 0, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (10)$$

证明 对于系统(5), 由于

$$w_{ij} = \begin{cases} \frac{K_i(Q_i(E))}{2K_i(P_i(E))}, & i = j \\ -\|A_{12}\|, & i \neq j \end{cases}$$

根据定理1和引理3, 系统(5)分散半全局镇定的充分条件是

$$-\|A_{12}\| < 0$$

$$K_i(Q)/2K_i(P) - (N-1)\|A_{12}\| > 0$$

即 $\frac{K_i(Q)/2K_i(P)}{\|A_{12}\|} > N-1$ \square

5 结 语

本文运用M矩阵理论, 研究了一类具有输入饱和的组合系统在半全局分散状态反馈控制作用下的镇定问题, 得到了该系统可镇定的充分条件。这一方法同样适用于广义系统^[8]。

参考文献(References):

[1] Yang G H, Zhang S Y. Decentralized control of a class of large scale systems with symmetrically inter-

connected subsystems[J]. IEEE Trans on Automatic Control, 1996, 41(5): 710-713.

[2] Yang G H, Zhang S Y. Stabilizing controllers for uncertain symmetric composite systems[J]. Automatica, 1995, 31(2): 337-340.

[3] Sussmann H J, Sontag E D, Yang Y D. A general result on the stabilization of linear systems using bounded controls[J]. IEEE Trans on Automatic Control, 1994, 39(12): 2411-2425.

[4] Saberi A, Lin Z, Teel A R. Control of linear systems with saturating actuator[J]. IEEE Trans on Automatic Control, 1996, 41(3): 368-378.

[5] Lunze J. Dynamics of strongly coupled symmetric composite systems[J]. Int J Control, 1986, 44(6): 1617-1640.

[6] Sundareshan M K, Elbanna R M. Qualitative analysis and decentralized controller synthesis for a class of large-scale systems with symmetrically interconnected subsystem[J]. Automatica, 1991, 27(2): 383-388.

[7] Hovd M, Skogestad S. Control of symmetrically interconnected plants[J]. Automatica, 1994, 30: 957-973.

[8] 张庆灵. 广义大系统的分散控制与鲁棒控制[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1997.

(上接第516页)

参考文献(References):

[1] Goldratt E M, Cox J. The Goal[M]. 2nd ED. Aldershot: Gower, 1993.

[2] Goldratt E M. It's Not Luck[M]. Aldershot: Gower, 1994.

[3] Goldratt E M. Critical Chain[M]. MA: The North River Press, 1997.

[4] Rand G K. Critical chain: The theory of constraints applied to project management [J]. Int J of Project Management, 2000, 18(3): 173-177.

[5] Steyn H. An investigation into the fundamentals of critical chain project scheduling[J]. Int J of Project Management, 2000, 19(6): 363-369.

[6] Herroelen W, Leus R. On the merits and pitfalls of critical chain scheduling[J]. J of Operations Management, 2001, 19(5): 559-775.

[7] Wei C C, Liu P H, Tsai Y C. Resource-constrained project management using enhanced theory of constraint[J]. Int J of Project Management, 2002, 20(7): 561-567.

[8] Yeo K T, Ning J H. Integrating supply chain and critical chain concepts in engineer-procure-construct (EPC)

projects[J]. Int J of Project Management, 2002, 20(4): 253-262.

[9] 刘士新, 王梦光, 唐加福. 资源受限工程调度问题的优化方法综述[J]. 控制与决策, 2001, 16(增刊): 647-651.

(Liu S X, Wang M G, Tang J F. The optimization algorithms for solving resource-constrained project scheduling problem: A review [J]. Control and Decision, 2001, 16(Supp1): 647-651.)

[10] 刘士新, 王梦光, 唐加福. 求解资源受限工程调度问题的遗传算法[J]. 系统工程学报, 2002, 17(1): 1-7.

(Liu S X, Wang M G, Tang J F. GA for solving resource-constrained project scheduling problem [J]. J of Systems Engineering, 2002, 17(1): 1-7.)

[11] Brucker P, Drexel A, Mohring R, et al. Resource-constrained project scheduling: Notation, classification, models, and methods[J]. European J of Operational Research, 1999, 112(1): 3-41.

[12] 刘士新, 王梦光. 多执行模式资源受限工程调度问题的优化算法[J]. 系统工程学报, 2001, 16(1): 55-60.

(Liu S X, Wang M G. Optimization algorithm for solving multi-mode resource-constrained project scheduling problem [J]. J of Systems Engineering, 2001, 16(1): 55-60.)