

张静文：基于鲁棒性的关键链二次资源冲突消除策略

关键链方法(critical chain method, CCM)是Goldratt提出的一种较新的项目进度管理技术,通过在初始的基准调度计划中设置缓冲以消除不确定因素对项目实施过程的扰动。一些学者将CCM归类为一种不确定型项目调度理论,为表述方便,我们的研究中将Goldratt提出的关键链雏形称为传统CCM。

应用CCM时,理论上将输入缓冲(Feeding Buffer, FB)插入基准调度计划就可获得二次调度计划,且二次调度计划能够吸收活动工期一定程度的波动;然而,当插入FB时,通常在基准调度计划中引起二次资源竞争冲突,这种现象被称为传统CCM中的“二次资源冲突困境”。目前,此问题已成为制约传统CCM在项目管理实践中广泛应用的瓶颈。鲁棒性(robustness)项目调度作为一种不确定型项目管理理论,指进度计划在内外环境变化时仍保持稳定性的能力或易调整的灵活性。缓冲机制表明CCM也是一种鲁棒性项目调度理论,因此“二次资源冲突困境”可归类为鲁棒性项目调度研究中的一个子问题。对于不确定环境下的项目执行过程,“二次资源冲突困境”具有普遍的现实背景,其解决方案对实施过程具有重要的现实意义。“二次资源冲突困境”也是鲁棒性项目调度理论中需要解决的一个理论问题,目前鲁棒性调度已成为不确定型项目调度中的一个研究热点。

为了解决传统CCM在项目进度管理中面临的“二次资源冲突困境”,西北工业大学管理学院管理科学与工程系的张静文教授及其合作者从鲁棒调度优化角度开发了一种消除策略。首先,采用量化建模对问题进行数学描述和表达,剖析插入FB引起二次资源冲突的原理,进而采用场景分析法从复杂的冲突表象中分解出四种基本的冲突场景构成要素。其次,基于鲁棒调度优化理论,探究各种冲突子问题的有效对策并归类,据此开发出一种消除二次资源冲突的局部重调度启发式协调策略;根据策略设计基于两次调度进程和两类缓冲动态消耗的鲁棒性指标,采用鲁棒性关键链项目调度问题输出鲁棒性最大的调度方案。再次,设计仿真程序检验消除策略及鲁棒性指标的使用效果。研究结论表明:基于鲁棒调度优化的二次资源冲突消除策略及设计的关键链鲁棒性指标在项目实施中具有较好的稳定性效果。

传统CCM以基准调度计划S对应的项目工期最短为目标,确定关键链和非关键链,对于如何将FB插入S仅给出定性地阐述。现实中,工期最短下的基准调度

方案不一定具有好的抵御外界环境变化的鲁棒性,所以传统的關鍵链概念是一种狭隘意义上的关键链。据此,作者首先从鲁棒性视角将传统的關鍵链拓展为广义的关键链概念,即对任何一个基准调度计划来说,都包含有关键链和非关键链。在一个基准调度方案中,制约项目工期的活动构成关键链活动集合,其余的活动构成非关键链活动集合。对于不同的S,由于关键链不一样,确定出的FB位置和尺寸、项目缓冲(Project Buffer, PB)的尺寸也不同,进而FB在S中的分布状态(插入位置)也有差异,因此不同的S将具有不同鲁棒性。

为了探究表象复杂的二次资源冲突的本质,作者遵循从简单到一般化的解剖思路,首先分析了插入单个FB引起局部二次资源冲突的场景,再次研究多个FB导致的多次二次资源冲突之间的相互影响。结合图解法和理论分析,对于复杂的二次资源冲突过程给出清晰的表述。从解决二次资源冲突的角度,以冲突涉及的非关键活动为基准参照,分析在时刻 t 冲突涉及的活动类型及组合。从理论上总结出15种二次资源冲突子场景,根据关键链理论,以定理的形式排除了三种不可能存在的冲突子场景。对于余下的12种冲突子场景,探究每种子场景下解决资源冲突的策略,从鲁棒性调度优化角度开发出一种解决二次资源冲突的启发式协调策略。整体思路为:从项目起始时间开始,根据时间进度从前向后依次插入每个FB;当发生冲突时,为了避免频繁地重调度后续的进度计划,同时为了尽可能维持每个FB插入时刻点的初始资源分配状态,仅解决当前FB插入处到下一个邻接FB插入处之间的冲突,即采用局部重调度的思路,进而给出采用启发式的局部重调度协调策略消除二次资源冲突的详细过程。

根据CCM的两次调度进程,主要考虑第二次调度中两类缓冲(FB和PB)的动态消耗过程,针对开发的局部重调度启发式协调策略,一种度量关键链调度方案的鲁棒性指标被提出。通过仿真实验研究消除二次资源冲突的策略和鲁棒性关键链指标的有效性。实验设计包括三部分:第一,测试算例的产生及参数配置;第二,仿真算法和测试指标的设计;第三,输出数据的统计分析。采用项目实际按期完工率、活动开始时间偏差绝对值之和及偏差绝对值的方差三个测试指标;基于ProGen随机地生成测试算例集合进行数值实验。输出数据的统计结果发现,以鲁棒性调度方案为依据安排项目的实施过程,三个统计指标值都优于以传统关键链调度方案为依据时相对应的指标值。

研究工作从量化建模和鲁棒调度优化的角度,剖析了关键链中的二次资源

冲突困境问题并提出了有效的解决方案。主要贡献包括三个方面：第一，从鲁棒调度优化角度开发了一种启发式的局部重调度策略，以消除二次资源冲突问题；第二，基于开发的策略，设计了考虑两次调度进程和两类缓冲动态消耗的指标来度量关键链调度方案的鲁棒性；第三，随机地产生标准算例集，设计仿真实验和测试指标，通过对大量随机算例的测试发现：以鲁棒性关键链调度方案为依据安排进度时，项目的按期完工率、活动开始时间偏差绝对值之和及偏差绝对值的方差三个统计指标值都优于以传统CCM调度计划为依据实施项目时的情形。研究结论表明在项目的实施过程中，开发的消除二次资源冲突的启发式协调策略和设计的鲁棒性关键链指标表现出了较好的稳定性。研究工作从新的理论视角拓展了传统CCM，同时提高了CCM在项目进度管理实践中的适用性，对于项目经理科学地运用CCM提供理论依据。

张静文，西北工业大学管理学院教授，博士生导师，研究方向为项目管理、应急管理、运筹及优化。本文发表于《管理科学学报》2017.20(3):105-118，作者：张静文，乔传卓，刘耕涛。