

文章编号:1003-207(2014)10-0113-09

# 基于活动敏感性的动态缓冲监控方法研究

别 黎<sup>1,2</sup>, 崔南方<sup>2</sup>, 田文迪<sup>3</sup>, 赵 雁<sup>2</sup>

(1. 中南民族大学管理学院, 湖北 武汉 430074; 2. 华中科技大学管理学院, 湖北 武汉 430074;  
3. 武汉纺织大学管理学院, 湖北 武汉 430200)

**摘 要:**缓冲监控问题对于企业成功应用关键性项目管理,提高项目进度管理绩效和确保项目按时完工,都至关重要。本文针对现有缓冲监控方法在项目进度监控中所存在的忽视内部情况的问题,引入项目进度风险分析方法中的活动敏感性信息。研究了动态环境下活动敏感性指标的计算和监控阈值的设定,在缓冲的黄区监控中集成了考虑活动敏感性信息的动态监控过程。在综合考虑缓冲指标和活动关联度指标的监控指标体系,综合设置各指标的监控阈值的基础上,提出了基于活动敏感性信息的关键链动态缓冲监控方法。最后通过一个算例将所提方法与现有方法进行比较,实验结果表明,合理设置活动关联度的监控阈值后,所提方法在总赶工时间、总赶工活动数、超计划完工次数以及监控负荷这四个绩效方面的结果更优。

**关键词:**关键链项目管理;缓冲监控;进度监控;活动敏感性

**中图分类号:** F224 **文献标识码:** A

## 1 引言

Goldratt 于 1997 年将约束理论 (Theory of Constraint, TOC) 应用于项目管理领域提出了关键链项目管理方法 (Critical Chain Project Management, CCPM)<sup>[1]</sup>。CCPM 自提出以来,引起了企业界和学术界的广泛关注,出版了相关书籍<sup>[2-5]</sup>,发表了大量文献<sup>[6-11]</sup>。CCPM 引入了缓冲(Buffer)的概念,缓冲大小反映了项目工期的不确定性水平,通过插入缓冲来吸收项目中的不确定性以保护关键链,保持项目基准计划的稳定。同时,在项目执行阶段,通过分析缓冲的消耗情况来衡量项目进度绩效,从而适时采取赶工等管理行动,以使得项目按期完工。因此,缓冲的估计和监控对于成功应用 CCPM,确保项目按时完工和提高项目管理绩效,都至关重要。

目前,针对缓冲大小估计问题,已有许多学者提出了不同的计算方法<sup>[1, 2, 7, 12-16]</sup>。然而,关于缓冲监控方面的研究相对较少。Goldratt<sup>[1]</sup>提出将各种缓冲均分为三部分(红色区、黄色区和绿色区)进行监控。即当缓冲消耗量侵入到绿区时,表明各任务

按计划执行,进度良好;当缓冲消耗量侵入到黄区时,表明项目可能出现问题,要求项目管理者检查原因并拟定应对策略;当缓冲消耗量侵入到红区时,表示项目的执行出现了严重问题,必须立即采取相应的行动以缩减工期。这被 Leach<sup>[4]</sup>认为是一种静态的监控方法,可能发出错误的预警信息。Leach<sup>[4]</sup>认为两个监控触发点(红区和黄区的分界点,黄区和绿区的分界点)的设置应随着不同执行阶段而不同,并提出了随着链的完成线性增加两个触发点的相对监控法。然而对于如何确定这两条触发线并没有给出定量分析依据。别黎和崔南方<sup>[17]</sup>提出了在项目执行中动态设置两个监控触发点的决策依据,在动态计算缓冲大小的基础上,构建了一个动态缓冲监控模型。这种围绕缓冲的动态监控方法虽然能监控项目整体进度绩效,并为管理者判断是否要采取管理行动(如赶工)提供决策依据,但是存在两个问题:(1)它没有考虑项目活动的信息,即不同活动对项目工期有不同影响,这会产生不准确的预警信号,甚至导致项目已严重超期而无法恢复进度的现象产生;(2)它没有指出哪些活动应当重点监控,特别在项目进度出问题时哪些活动应优先控制,就可以有效恢复项目进度。

本文正是针对动态缓冲监控方法所存在的问题,引入项目进度风险分析技术中的活动敏感信息分析。从活动工期不确定性对项目工期不确定性的

收稿日期:2012-03-23; 修订日期:2013-04-30

基金项目:国家自然科学基金资助项目(71271097, 71201119);  
中南民族大学中央高校基本科研业务费专项资金项目  
资助(CSQ13014)

作者简介:别黎(1983-),男(汉族),湖北荆州人,中南民族大学  
管理学院,讲师,研究方向:项目管理。

影响程度角度,研究了动态环境下活动敏感性指标的设置及计算方法、敏感性指标监控阈值的动态设定方法。然后针对项目整体进度没严重延迟而关键活动严重延迟的情况,在缓冲的黄区监控中集成了考虑活动敏感信息的动态监控过程。在综合考虑缓冲指标和活动关联度指标的监控指标体系和动态设置各指标的监控阈值的基础上,提出了基于活动敏感性信息的关键链动态缓冲监控方法。最后,通过与现有动态缓冲监控方法的比较,验证了所提方法的在进度监控方面的优越性。

## 2 基于活动的项目进度监控方法

在 PERT 方法中,活动时间是服从某随机分布的随机变量,无法确定项目的最长时间以及哪个活动在关键路径上。自从 PERT 方法被提出以来,很多学者关注如何衡量活动敏感性的问题,提出了四种基础的活动敏感性指标:关键度指数(Criticality Index, CI)、重要度指数(Significance Index, SI)、关联度指数(Cruciality Index, CRI)、进度敏感性指数(Schedule Sensitivity Index, SSI)。这些指标用来反映网络中某一活动的相对重要性和对整个项目的影响程度,以使得管理者在项目执行中重点监控那些敏感性高的活动。

假设活动  $i$  的工期是  $d_i$ , 总时差是  $ts_i$ , 项目完工期是  $C_{max}$ 。CI 为活动位于网络中最长路径(即关键路径)上的概率<sup>[18]</sup>。活动  $i$  的 CI 的数学表达为:  $CI_i = Pr\{TS_i = 0\}$ 。SI 是用来表示各个活动对项目完工期的重要程度<sup>[19]</sup>。活动  $i$  的 SI 的数学表达为:  $SI_i = E(\frac{d_i}{d_i + ts_i} \times \frac{C_{max}}{E(C_{max})})$ 。CRI 是通过衡量活动工期与项目完工期之间的相关性,即活动的不确定程度占项目完工期不确定性的比例,来反映活动不确定性对项目工期不确定性的影响程度<sup>[19]</sup>。活动  $i$  的 CRI 的数学表达为:  $CRI_i = Corr(d_i, C_{max}) = \frac{Cov(d_i, C_{max})}{\sqrt{Var(d_i) * Var(C_{max})}}$ 。SSI 是通过将 CI 与活动和项目工期的标准差结合起来,来分析进度风险问题<sup>[20]</sup>。活动  $i$  的 SSI 的数学表达为:  $SSI_i = [\sqrt{\frac{Var(d_i)}{Var(C_{max})}}] * CI_i$ 。

基于活动的项目监控法就是针对这些活动敏感性指标设置一个监控阈值(行动触发点),如果某活动的敏感性高于此阈值,则被称为高敏感性活动。在项目执行中,这些高敏感性活动成为管理者重点

监控的对象,只要它们发生一定的延迟,则立即采取行动以缩短工期,如图 1 所示。监控阈值设定越高,使得高敏感性活动越少。监控阈值设定越低,使得高敏感性活动所占比例更高,项目执行中需监管的活动也更多。具体的活动赶工时间由总资源成本决定,同时也需符合最大可缩短时间。最大可缩短时间等于此活动工期乘以一个比例值(常为此活动的敏感指标值),这样越是高敏感活动赶工越多<sup>[21-22]</sup>。它的优点是能够区别不同活动对项目工期的敏感程度,使得监控重点突出,缺点是赶工决策与项目整体进度绩效无关,即不管项目的延迟程度,只要高敏感性活动延迟都要赶工。同时也是一种静态的监控方法。

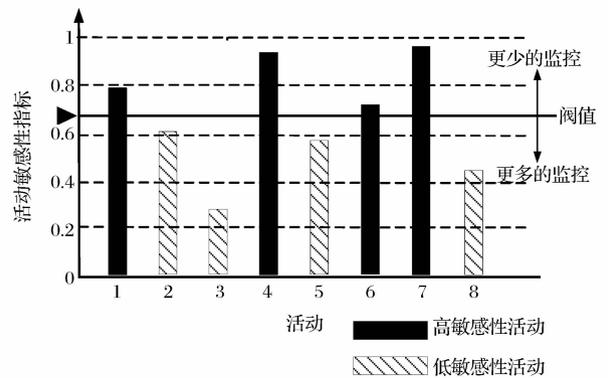


图 1 基于活动的项目监控法

## 3 基于活动敏感性的缓冲监控方法

### 3.1 活动敏感性信息的引入

动态缓冲监控方法在缓冲消耗量落到红区需要赶工时,会出现如下两个问题(假设每个活动的单位时间赶工成本相同):

(1)某个时刻,接驳网络中两个并行活动都出现延迟,并且导致消耗的接驳缓冲量是一样的。此情况下,是应该两个活动一起赶工,还是只用对其中一个活动赶工就可以恢复项目进度。

(2)某个时刻,活动链上的某活动进行一部分后出现延迟,需要赶工以使得此活动完成时缓冲消耗量恢复到黄区。但如果需要减少时间超过了此活动最大可减少时间,这样紧后活动也需赶工。此时应对这两个活动按照现有比例(前一活动按最大可减少时间,后一活动按剩余时间)进行赶工,还是按照其他比例赶工,可以更好减少项目不确定水平,以保证按期完工。

为解决上面的问题,本文在缓冲监控中引入活动敏感性信息,特别引入活动敏感性信息中的 CRI。由于关键链项目管理法中的缓冲大小是用来反映项目工期的不确定性水平,活动敏感性信息中的 CRI 是衡量活动不确定性对项目工期不确定性的影响程度的指标,两者都是针对项目工期不确定性的指标,所以在缓冲监控中引入 CRI 也比较适合。那么,针对第一个问题,CRI 高的活动对项目工期不确定的影响更大,因而只用对 CRI 高的活动进行赶工,就可以达到缩短工期的目的。针对第二个问题,如果前一活动的 CRI 更高,则需要对其赶工至最大可减少时间,剩下的都由后一活动来赶工。如果后一活动的 CRI 更高,那么前一活动不需赶工至最大可减少时间了。通过分析前一活动的 CRI 除以后一活动的 CRI 得到的比值,比值越接近 1,则需对前一活动尽可能多赶工;比例越接近 0,则需对后一活动赶工更多。此时两个活动的赶工时间可根据这个比值来分配。

### 3.2 活动敏感性指标的监控阈值设置

针对项目的动态特性,动态设置监控阈值,即随着项目的进展调整 CRI 的监控阈值。在项目前期,阈值设置高些,使得较少的活动被监控。这是因为在项目开始时设置低的阈值,使得大量活动都成为监控对象,并触发大量的行动是没有必要的,只会增加管理者的监控负荷。开始时活动并没有延迟,或者发生很少的延迟,不会对项目工期产生实质性的影响。在项目后期,阈值设置低些,使得更多活动都纳入到监控范围。这是因为此时成为监控对象的高敏感性活动很可能延迟了,对其采取行动对保证项目按期完工的作用更为明显。这样监控阈值呈现递减的趋势,也符合项目管理者随着项目进展增强监控力度的常识。

固定 CRI 阈值的设置范围在各活动 CRI 值中的最大值与最小值之间,可以确定为各活动 CRI 的中位数,此时有 50% 的活动成为高敏感性活动而被监控,然后管理者根据项目的重要程度调高或者调低。比如,项目管理者重点关注此项目,可以在此基础上调低阈值。递减 CRI 阈值的设置在固定 CRI 阈值设置的基础上以一定斜率递减,如图 2 所示。

### 3.3 活动敏感性信息与缓冲监控的集成

动态缓冲监控方法能够实时衡量项目整体进度绩效并提供决策依据,但忽视活动层面信息。基于活动的项目进度监控法能监控重点活动进展,但其控制决策与项目整体进度无关。因此,将两者集成

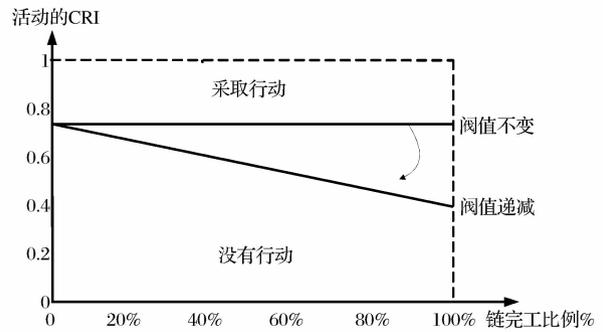


图 2 活动 CRI 阈值的设置

起来,利用两者的优势,形成一种综合的项目进度监控方法。

首先,建立动态的基于活动 CRI 的项目进度监控流程。即在时刻点,确定此时活动的 CRI 和此时的监控阈值,高于阈值的活动被认为是高敏感性活动,如果发生一定程度的延迟,则会对项目进度产生不利影响,使得项目发生延迟的风险增大。

其次,以动态缓冲监控法中的缓冲消耗程度,为重要的项目进展状况的衡量标准和预警机制。缓冲消耗落入红区,表明项目严重延迟,必须立刻行动。控制行动中利用活动 CRI 的大小,作为活动采取行动的优先权重。缓冲消耗落入黄区,表明进度可能出现问题,需要计划行动,实际属于不采取行动的区域。当此时重要活动发生严重延迟时,虽然项目总体进展还不是红色危险区,但是延迟的风险非常大,如不及时采取行动,会导致项目已严重超期而无法恢复进度的现象产生,从而失去及时采取行动的机会,增大项目延迟风险和控制成本。因此,在缓冲消耗落入黄区时,引入基于活动 CRI 的监控过程。即判断是否存在高敏感性活动发生延迟的情况,如果存在,则对此活动采取行动赶工,以恢复进度,降低项目延迟风险。

最后,综合基于活动 CRI 的项目进度监控流程和动态缓冲监控方法,提出了动态的基于活动敏感性的缓冲监控法(Buffer Monitoring Method with Activity Sensitivity, BMMAS)。

### 3.4 监控步骤

基于活动敏感性的动态缓冲监控法如图 3 所示,监控步骤为:

步骤 1:在项目执行开始前,构建项目调度基准计划。

步骤 2:计算每个活动的 CRI。

步骤 3:产生关键链调度计划并确定各缓冲大

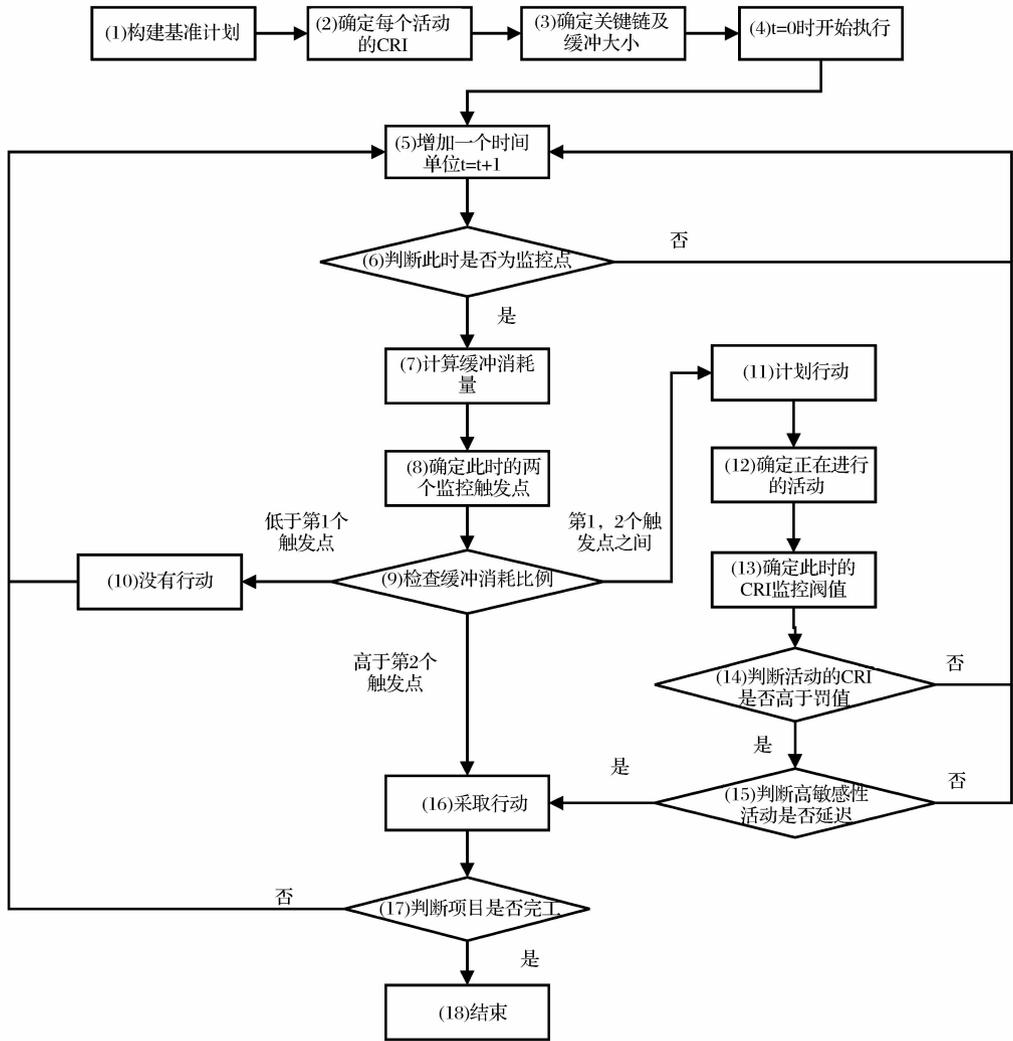


图 3 基于活动敏感性的动态缓冲监控法

小。

步骤 4:  $t=0$  时项目开始执行。

步骤 5: 到下一时刻,  $t=t+1$ 。

步骤 6: 判断此时是否为监控点。如果是, 执行第 7 步; 否则, 转到第 5 步。

步骤 7: 计算缓冲消耗量。

步骤 8: 确定此时两个监控触发点。

步骤 9: 检查缓冲消耗比例, 其控制规则如下:

(1) 如果缓冲的消耗比例低于第 1 个触发点, 执行第 10 步;

(2) 如果缓冲的消耗比例位于第 1 个和第 2 个触发点之间, 执行第 11 步;

(3) 如果缓冲的消耗比例高于第 1 个触发点, 执行第 16 步。

步骤 10: 表明项目进度正常, 按照目前情况能按时完工, 转到第 5 步。

步骤 11: 表明任务的执行可能出现问题, 要求

项目管理者检查原因, 拟定应对策略, 同时要加强对进度监控, 转到第 12 步。

步骤 12: 确定此时正在进行的活动的 CRI。

步骤 13: 确定此时的 CRI 监控阈值。

步骤 14: 判断正在进行的活动的 CRI 是否高于阈值, 如果是, 表明是高敏感性活动, 执行第 15 步; 否则, 转到第 5 步。

步骤 15: 判断此高敏感性活动是否发生延迟, 如果是, 需要采取行动, 执行第 16 步; 否则, 转到第 5 步。

步骤 16: 表明项目的执行出现了严重问题, 有可能会超出工期或预算, 必须立刻采取行动。采取行动的分为两种, 一种是缓冲消耗量到达红区, 此时需要对剩下活动赶工以使得缓冲消耗量恢复到黄区; 另一种是缓冲消耗量到达黄区, 并且此时有高敏感性活动延迟, 也需要对其赶工, 赶工时间需符合

最大可赶工时间。

步骤 17:判断项目是否结束,如果是,执行第 18 步;否则,转到第 5 步。

步骤 18:项目完成。

## 4 计算实验

### 4.1 随机工期的产生

考虑到工序工期的偏态分布特性,这里采用对数正态分布来描述<sup>[6-7]</sup>。

如果  $X$  为均值  $\mu$ , 方差  $\sigma^2$  的正态分布  $N(\mu, \sigma^2)$ , 则认为  $Y = e^X$  服从对数正态分布,其均值和方差为:  $\mu_y = e^{\mu + \sigma^2/2}$ ,  $\sigma_y^2 = e^{2\mu + 2\sigma^2}(e^{\sigma^2} - 1) = \mu_y^2(e^{\sigma^2} - 1)$ 。设置活动时间  $d_i$  为  $Y$  的均值,即  $d_i = e^{\mu + \sigma^2/2}$ , 则对  $Y$  有:  $\mu = \ln(d_i) - \sigma^2/2$ 。

本文设定活动时间  $d_i$ ,  $\sigma$  根据不同的不确定性程度可以取不同值,利用上面的公式得到不同的  $\mu$  值。对每组  $\mu$  和  $\sigma^2$ , 利用 MATLAB 中的对数正态分布的随机矩阵函数  $X = \text{lognrnd}(\mu, \sigma)$ , 产生项目模拟中的随机工期。

### 4.2 项目模拟

假设某项目包含 11 个活动,只需要一种资源,且资源可用量为 7。活动基本信息如表 2 所示。

表 2 活动信息

活动代号	工期/d	紧前活动	资源量/人
A	24	—	5
B	6	A	1
C	8	A	1
D	16	—	2
E	14	B	3
F	12	C	2
G	10	D, E	2
H	4	E, F	1
I	16	G	3
J	20	I, H	5
K	6	J	1

首先,根据表 1 中的活动工期,  $\sigma$  从  $[0.5, 1.5]$  的均匀分布函数上随机产生,用上面的随机工期产生法生产模拟工期,使用并行调度模式产生项目基准调度计划,计算项目完工期。使用 Monte Carlo 模拟方法计算每个活动的 CRI, 计算如公式(1)所示:

$$CRI_i = \frac{\sum_{k=1}^N (d_i^k - \bar{d}_i) * (C_{\max}^k - \bar{C}_{\max})}{(N-1) * S_{d_i} * S_{C_{\max}}} \quad (1)$$

其中,  $CRI_i$  是活动  $i$  的 CRI 的模拟值,  $N$  是模

拟总次数,  $d_i^k$  是活动  $i$  第  $k$  次的模拟工期,  $\bar{d}_i$  是活动  $i$  模拟  $N$  次的工期平均值,  $C_{\max}^k$  是第  $k$  次的项目完工期,  $\bar{C}_{\max}$  是项目完工期模拟  $N$  次的平均值,  $S_{d_i}$  是活动  $i$  工期的标准差,  $S_{C_{\max}}$  是项目完工期的标准差。

项目模拟 5000 次,其结果如表 3 所示。

其次,使用田文迪等<sup>[23]</sup>中提出的启发式算法确定关键链,再加入接驳缓冲和项目缓冲。其中,采用根方差法计算缓冲大小。关键链调度结果如图 4 所示。

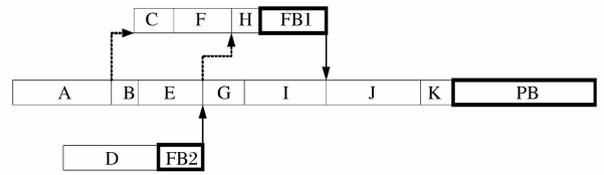


图 4 关键链调度计划

再次,在项目执行中,每次模拟的每个活动时间从其对数正态分布中随机产生。设定三种项目延迟的可能性水平:较小、较大、很大。这对应着模拟活动时间的不确定性程度为较低、较高、很高,即设定每个活动对应的正态分布的标准差  $\sigma$  取三个值  $(0.5, 0.9, 1.5)$ 。

最后,设定关键链上每个活动的完工时间点为监控点。在每个监控点,根据已完成活动的模拟工期和剩余活动的计划工期,采用并行调度模式进行模拟,得到项目模拟完工期。通过将模拟完工期与计划完工期进行比较,确定此时缓冲消耗量,并用缓冲消耗量除以缓冲大小从而得到缓冲消耗比例。

当缓冲消耗到黄区并且高敏感性活动发生延迟时,需赶工活动的最大可赶工时间为  $d_i * CRI_i$ , 模拟赶工时间从  $[0, d_i * CRI_i]$  的均匀分布函数上随机产生。

在以保证项目按期完工为最终目的的情况下,为了更好地显示不同方法的监控有效性,本文设定四个绩效评价指标:

总赶工时间:项目从开始到完成的所有活动赶工时间的总和,来衡量项目监控中活动赶工的长度。总赶工时间越大,所需的赶工费用越高。

总赶工活动数:项目从开始到完成的所有赶工活动数量的总和,来衡量项目监控中活动赶工的频度。总赶工活动数越多,管理复杂性越高,计划变更越大。

表3 活动的CRI

活动	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	中位数
CRI	0.019	0.204	0.093	0.342	0.226	0.261	0.231	0.039	0.403	0.663	0.154	0.226

表4 实验一的统计结果

CRI 阈值	总赶工时间(1)			总赶工活动数(2)			超计划完工期次数(3)			监控负荷(4)=(1) * (2)		
	L	H	EH	L	H	EH	L	H	EH	L	H	EH
0	0.263	1.820	5.261	0.139	0.217	0.178	0.013	0.073	0.088	0.037	0.394	0.935
0.1	0.258	1.814	5.258	0.089	0.166	0.148	0.013	0.073	0.088	0.023	0.301	0.777
0.2	0.258	1.814	5.258	0.089	0.166	0.148	0.013	0.073	0.088	0.023	0.301	0.777
0.3	0.391	2.219	5.743	0.100	0.188	0.151	0.023	0.100	0.108	0.039	0.416	0.869
0.4	0.391	2.219	5.743	0.100	0.188	0.151	0.023	0.100	0.108	0.039	0.416	0.869
0.5	0.401	2.277	5.765	0.097	0.187	0.151	0.027	0.103	0.109	0.039	0.425	0.872
0.6	0.401	2.277	5.765	0.097	0.187	0.151	0.027	0.103	0.109	0.039	0.425	0.872
0.7	0.382	2.256	5.761	0.091	0.181	0.150	0.027	0.103	0.109	0.035	0.408	0.865
0.8	0.382	2.256	5.761	0.091	0.181	0.150	0.027	0.103	0.109	0.035	0.408	0.865
0.9	0.382	2.256	5.761	0.091	0.181	0.150	0.027	0.103	0.109	0.035	0.408	0.865
1(DBMM)	0.382	2.256	5.761	0.091	0.181	0.150	0.027	0.103	0.109	0.035	0.408	0.865

超出计划完工期次数:项目从开始到完成,每个监控点时的模拟完工期超过计划完工期的次数总和。它来衡量项目监控中采取行动(活动赶工)后的危险程度。超出计划完工期次数越多,项目延迟的可能性越大。

监控负荷:总赶工时间 \* 总赶工活动数,它是衡量监控过程中的总工作量,是一个综合绩效。监控负荷越低,总赶工时间和总赶工活动数都会较小。因此,在保证按期完工的前提下,监控负荷值越低,表明监控效率值越高。

4.3 比较实验一及结果

将本文所提的 BMMAS 与文献[17]中所提的动态缓冲监控法(Dynamic Buffer Management Method, DBMM)进行比较。其中,假设 CRI 阈值随着项目的进展保持不变。设定 CRI 阈值为 0, 0.1, 0.2, 0.3, ..., 1, 共 11 种水平。其中 CRI 阈值为 1 时,表明没有活动是高敏感性活动,不会进行基于敏感信息的监控过程,此时本文法就是 DBMM。对此项目模拟 5000 次,其统计结果如表 4 所示。

(1)总赶工时间

图 5 给出了三种不确定水平下总赶工时间随着 CRI 罚值增加而变化的情况。对于每一种 CRI 罚值,随着项目不确定水平的增加,项目延迟的可能性增大,在保证按期完工下的总赶工时间增加。另一方面,对于每一种不确定性水平,随着 CRI 罚值的增加,总赶工时间的变化趋势较为类似。当 CRI 罚值为 0, 0.1, 0.2 时,大部分活动被认为是高敏感性

活动,此时总赶工时间较低;当 CRI 罚值为 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 时,少部分活动被认为是高敏感性活动,此时总赶工时间较高;当 CRI 罚值为 0.7, 0.8, 0.9, 1 时,没有活动被认为是高敏感性活动(所有活动 CRI 的最大值是 0.663),此时总赶工时间不变, BMMAS 就是 DBMM。因此,在这个项目中, CRI 阈值设置较低可以得到更少的总赶工时间。其中,阈值为 0 会使得所有活动都为高敏感性活动,需要赶工的活动数大大增加,这会给管理者带来更大的监控难度。当项目规模增大时,所有活动都监控显然也是不现实的。

(2)总赶工活动数

图 6 给出了三种不确定水平下总赶工活动数随着 CRI 阈值增加而变化的情况。针对每一种不确定性水平, CRI 阈值为 0 时总赶工活动数是最多的,这是因为此时所有活动都是高敏感性活动。此外,随着 CRI 阈值的增加,总赶工活动数先增加再减少后保持不变。其中, CRI 阈值为 0.1, 0.2 时总赶工活动数是最少的。另一方面,对于每一种 CRI 阈值,随着不确定性的增加,总赶工活动数先增加再减少。不确定性水平较低时,总赶工活动数很少,是三者中最低的;不确定性水平较高时,总赶工活动数是三者中最高的;不确定性水平很高时,总赶工活动数要低于不确定性水平较高时的水平。这表明相对于一般项目延迟的情况,严重项目延迟下的项目管理者对计划进行变更的频次反而较小。

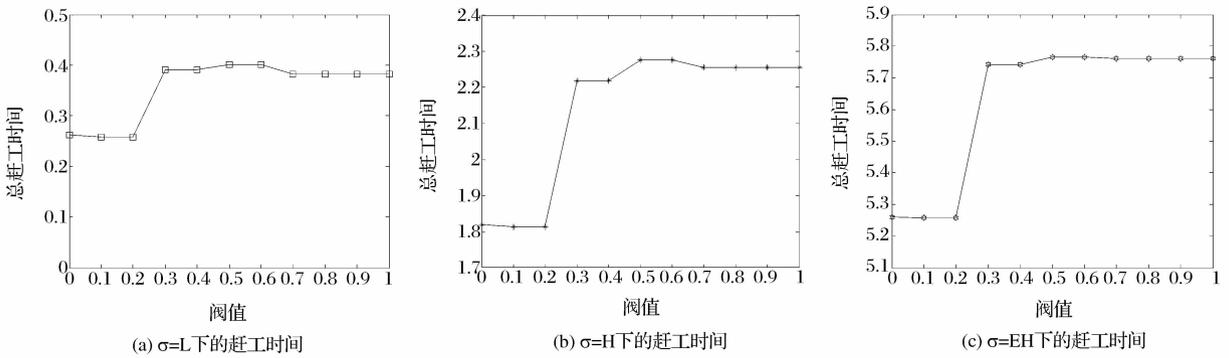


图 5 总赶工时间图(三种不确定水平)

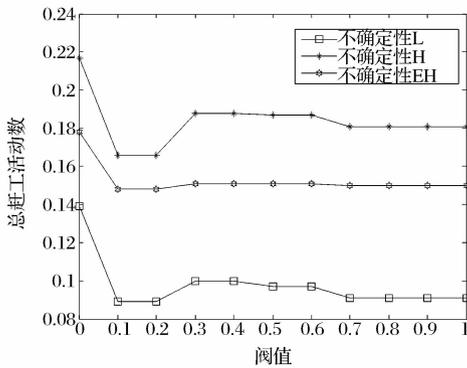


图 6 总赶工活动数图(三种不确定性水平)

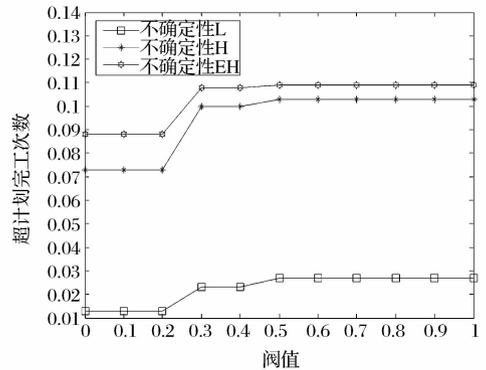


图 7 超计划完工次数图(三种不确定性水平)

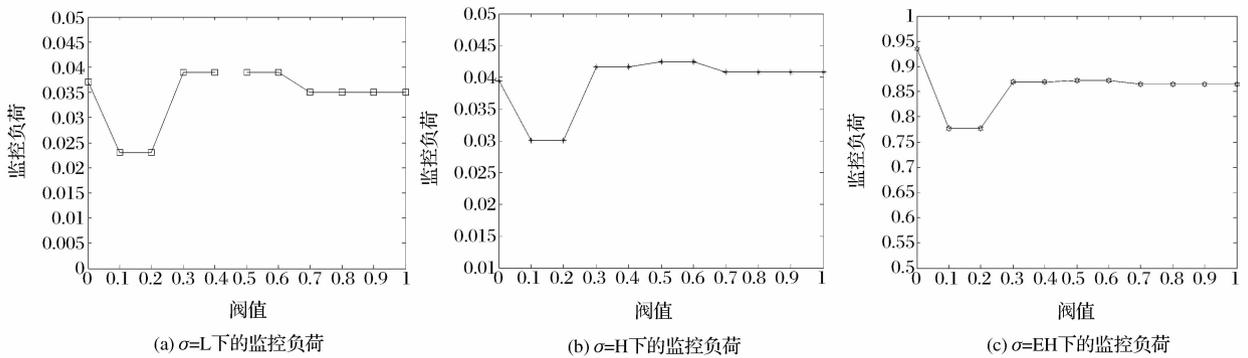


图 8 监控负荷图(三种不确定水平)

表 5 实验二的统计结果

$\sigma$	总赶工时间(1)		总赶工活动数(2)		超计划完工期次数(3)		监控负荷(4)=(1) * (2)	
	固定	递减	固定	递减	固定	递减	固定	递减
L	0.469	0.401	0.108	0.097	0.025	0.02	0.051	0.039
H	2.284	2.079	0.175	0.157	0.093	0.082	0.401	0.327
EH	5.049	4.906	0.157	0.152	0.111	0.102	0.792	0.745

(3)超计划完工次数

图 7 给出了三种不确定水平下超计划完工次数随 CRI 阈值增加而变化的情况。对于每一种 CRI 阈值,随着不确定水平的增加,项目延迟的可能性增大,超计划完工次数相应的增大。另一方面,对于每

一种不确定水平,随着 CRI 阈值的增加,超计划完工次数变化的趋势大体相同。当 CRI 阈值为 0, 0.1, 0.2 时,超计划完工次数几乎不变,然后随着 CRI 阈值增加而增大,当 CRI 阈值 0.7, 0.8, 0.9, 1 时,超计划完工次数再次保持不变。这表明 CRI 阈

值较小时,较多活动为高敏感性活动而需要被监控,此时延期的危险程度较低。CRI 阈值较大时,包括 CRI 阈值大于等于 0.7 时(此时等同于 DBMM),较少甚至没有活动为高敏感性活动而需要被监控,此时延期的危险程度较高。

(4) 监控负荷

图 8 显示了三种不确定水平下监控负荷随 CRI 阈值增加而变化的情况。很明显,随着不确定水平增加,监控负荷相应增大。对于每一种 CRI 阈值,三种不确定性水平下的监控负荷变化情况相似。具体的,CRI 阈值设置为 0.1,0.2 时的监控负荷最小,即监控效率最高。此时 BMMSA 的监控绩效要优于 DBMM(即 CRI 阈值为 1 时的结果)。相反的,监控阈值设置为其他值时,BMMAS 的监控绩效要差于 DBMM。

综上所述,合理设置 CRI 阈值对 BMMAS 的绩效有重要影响。当 CRI 阈值设置为活动 CRI 的中位数附近时,无论是单项指标,还是综合指标,BMMAS 的绩效都要优于 DBMM。

4.3 比较实验二及结果

实验一的结果显示,CRI 阈值在项目进展中保持不变并且在活动 CRI 中位数附近的情况下,BMMAS 的监控绩效优于 DBMM。实验二将比较 CRI 阈值随项目进展而减小时 BMMAS 的绩效和 CRI 阈值随项目进展而不变时的 BMMAS 绩效。设定 CRI 阈值的固定值为 0.3,CRI 阈值随项目进展而递减的斜线方程为  $Y = 0.3 - 0.2 * X$ ,其中 Y 代表 CRI 阈值,X 代表链完工比例,变化区间在 0 到 1 之间。对此项目模拟 5000 次,其统计结果如表 5 所示。

表 5 显示了三种不确定水平下两种 CRI 阈值设置方式的绩效。随着不确定性水平的增加,项目延迟的可能性加大,总赶工时间和总赶工活动数增加,超计划完工期次数增多,相应的监控负荷也增大。另一方面,对于每一种不确定性水平,递减设置方式的四种绩效指标都要优于固定设置方式。这说明递减设置方式符合随项目进展而需要加紧关注并控制项目绩效的事实,同时通过这样的努力能带来更好的项目管理绩效。特别的,对于三种不确定性水平(低,高,很高),递减方式比固定方式减少的监控负荷比例分别为  $(0.051 - 0.039) / 0.039 * 100\% = 30.8\%$ ,  $(0.401 - 0.327) / 0.327 * 100\% = 22.6\%$ ,  $(0.792 - 0.745) / 0.745 * 100\% = 6.3\%$ 。这表明随着不确定性的增加,递减设置带来的绩效

改进程度减小。在不确定性较低或者较高的情况下,这种递减设置的方法能够比固定设置方法带来更好的监控绩效结果,因而更为适用。而在不确定性很高时,项目严重延迟,递减设置方法与固定设置方法的绩效结果差不多,改进的效果不明显。

5 结语

本文从项目进度监控的角度研究了动态缓冲监控问题。针对现有缓冲监控方法存在的问题,在其中引入活动敏感性信息分析,即对于黄区的监控提出了更为详细的应对策略。当缓冲消耗量到达黄区时,在计划行动同时,需要考虑活动的 CRI 信息,并加入基于活动 CRI 的监控过程。在动态设置 CRI 的监控阈值基础上,提出了基于活动敏感性信息的关键链动态缓冲监控模型;最后,通过一个算例,第一次是将 CRI 的监控阈值设置不变下的所提方法与动态缓冲监控法进行了比较,结果显示,在合理设置 CRI 阈值后,在总赶工时间、总赶工活动数、超计划完工次数以及监控负荷这四种方面,所提方法得到的监控绩效更优。第二次比较了所提方法在 CRI 阈值随项目进展而减少和不变两种情况下的绩效,结果显示,在不确定性较低或者较高的情况下,这种递减设置的方法能够比固定设置方法带来更好的监控绩效结果。而在不确定性很高时,项目严重延迟,递减设置方法相对于固定设置方法改进效果不明显。

需要指出的是,本文假定每个活动的单位时间赶工成本是一样的,因而在比较不同方法的监控绩效时,只考虑了时间方面的绩效,没有考虑成本方面的绩效。在监控中考虑不同活动的控制成本对结果的影响将是进一步的研究方向。

参考文献:

[1] Goldratt E M. Critical chain[M]. Great Barrington, Mass,USA:The North River Press Publishing Corporation,1997.

[2] Newbold R C. Project management in the fast lane-applying the theory of constraints[M]. Boca Raton:The St Lucie Press, 1998.

[3] Newbold R C. The billion dollar solution: Secrets of prochain project management[M]. Lake Ridge:Prochain Press,2008.

[4] Leach L P. Critical chain project management[M]. 2nd ed. London: Artech House Incorporation,2005.

[5] 马国丰,尤建新,杜学美. 项目进度的制约因素管理[M]. 北京:清华大学出版社,2007.

[6] Herroelen W, Leus R. On the merits and pitfalls of crit-

- ical chain scheduling[J]. *Journal of Operations Management*, 2001, 19(5): 559—577.
- [7] Tukul O I, Rom W O, Eksioglu S D. An investigation of buffer sizing techniques in critical chain scheduling [J]. *European Journal of Operational Research*, 2006, 172(2): 401—416.
- [8] Rabbani M, Ghomi S M T, Jolai F, et al. A new heuristic for resource constrained project scheduling in stochastic networks using critical chain concept[J]. *European Journal of Operational Research*, 2007, 176(2): 794—808.
- [9] Watson K J, Blackstone J H, Gardiner S C. The evolution of a management philosophy: The theory of constraints[J]. *Journal of Operations Management*, 2007, 25(2): 387—402.
- [10] Blackstone J H, Cox J F, Schleier J G. A tutorial on project management from a theory of constraints perspective [J]. *International Journal of Production Research*, 2009, 47(24): 7029—7046.
- [11] 蔡晨, 王伟. 基于 PERT/CPM 的关键链管理[J]. *中国管理科学*, 2003, 11(6): 35—39.
- [12] Bie Li, Cui Nanfang, Zhang Xiaoming. Buffer sizing approach with dependence assumption between activities in critical chain scheduling[J]. *International Journal of Production Research*, 2012, 50(24): 7343—7356.
- [13] Long L D, Ohsato A. Fuzzy critical chain method for project scheduling under resource constraints and uncertainty[J]. *International Journal of Project Management*, 2008, 26(6): 688—698.
- [14] 刘士新, 宋健海, 唐加福. 资源受限项目调度中缓冲区的设定方法[J]. *系统工程学报*, 2006, 21(4): 381—386.
- [15] 褚春超. 缓冲估计与关键链项目管理[J]. *计算机集成制造系统*, 2008, 5(14): 1029—1035.
- [16] 别黎, 崔南方. 关键链多项目管理中能力约束缓冲大小研究[J]. *计算机集成制造系统*, 2011, 17(7): 1534—1540.
- [17] 别黎, 崔南方. 关键链动态缓冲监控方法研究[J]. *中国管理科学*, 2010, 18(6): 97—103.
- [18] Van Slyke R M. Monte Carlo methods and the PERT problem[J]. *Operations Research*, 1963, 11(5): 839—860.
- [19] Williams T. Criticality in stochastic networks [J]. *Journal of the Operational Research Society*, 1992, 43(4): 353—357.
- [20] Pmbok A. A guide to the project management body of knowledge[M]. 3rd ed. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2004.
- [21] Vanhoucke M. Using activity sensitivity and network topology information to monitor project time performance[J]. *Omega-International Journal of Management Science*, 2010, 38(5): 359—370.
- [22] Vanhoucke M. On the dynamic use of project performance and schedule risk information during project tracking[J]. *Omega-International Journal of Management Science*, 2011, 39(4): 416—426.
- [23] 田文迪, 崔南方. 关键链项目管理中关键链和非关键链的识别[J]. *工业工程与管理*, 2009, 14(2): 88—93.

## Research on Activity Sensitivity Index based Dynamic Buffer Monitoring Method

BIE Li<sup>1,2</sup>, CUI Nan-fang<sup>2</sup>, TIAN Wen-di<sup>3</sup>, ZHAO Yan<sup>2</sup>

(1. School of Management, South-Central University for Nationalities, Wuhan 430074, China;

2. School of Management, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;

3. School of Management, Wuhan Textile University, Wuhan 430200, China)

**Abstract:** The problem of buffer monitoring has a significant impact on successful application of the critical chain project management in many enterprises, and it can improve the performance of project schedule management and ensure the on-time delivery of projects. The current buffer monitoring methods neglect the project structure and activity information. To solve this defect, the activity sensitivity information in the schedule risk analysis method is introduced as a basis for decision making. The calculation of activity sensitivity index and the setting of action threshold are studied. An activity sensitivity index based dynamic monitoring process is triggered and integrated into buffer control when buffer consumption penetrates into the yellow region. Then an activity sensitivity index based dynamic buffer monitoring method is proposed. In detail, a indicator system with considering buffer index and activity cruciality index is established, and the action threshold of each indicator is set during project execution. Finally, a computational experiment is carried out to compare the proposed method and the current methods, the results show that the proposed method do better than the current buffer monitoring method in four performance indicators, such as the total crashing time, the total number of crashing activities, the frequency of completion time exceeding plans and monitoring load, when reasonably setting the action threshold of cruciality index.

**Key words:** critical chain project management; buffer monitoring; schedule monitoring; activity sensitivity