

基于AOE网络的关键路径方法研究

高巍巍 赵 磊 苍 圣 周洪玉
(哈尔滨师范大学恒星学院 黑龙江哈尔滨 150025)

摘 要:提出了一种基于AOE网络的关键路径算法。关键路径算法可以有效的降低工程时间和成本费用。该方法在确定关键路径,解决多源点多汇点问题,使基于AOE网的工程计划完成时间估算在实际项目管理中得到更广泛的应用。

关键词:AOE网络 关键路径 时间参数

中图分类号:TP3

文献标识码:A

文章编号:1007-9416(2010)09-0078-02

1 引言

对于一个项目而言,只有项目网络中最长的或耗时最多的活动完成之后,项目才能结束,这条最长的活动路线就叫关键路径(Critical Path),组成关键路径的活动称为关键活动^[1]。

本文主要是研究基于AOE网络的关键路径算法,以应用于解决大型的工厂中昂贵设备之间的平衡调度和使用的问题。

2 AOE网络

2.1 AOE网络的定义

一般情况把工程分为若干个叫做“活动”的子工程。完成了这些“活动”的子工程,这个工程就可以完成了。通常我们用有向图表示一个工程。在这种有向图中,用顶点表示活动,边表示活动间的先后关系的有向图,称为顶点活动网(Activity On Vertex network),或简称为AOV网, $\langle V_i, V_j \rangle$ 表示有向边, V_i 必须先于活动 V_j 进行。在AOV网中,工程起始的起点称为源点,结束点称为汇点,如图1所示。

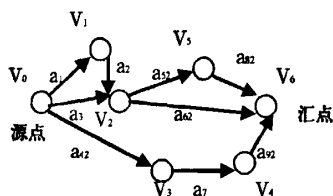


图1 AOE网

2.2 AOE网络图中活动之间的连接关系

为了使模型定义更加准确、合理,应该提供丰富的连接关系类型,以表达现实业务过程活动之间的连接关系,包括:顺序、并发、选择、竞争、与、或、条件转移、跳转和三种类型的循环。活动网络图直观地反映了组成工作流的活动之间的连接关系。下面简单介绍其中的几种连接关系:(1)并发关系:指前一活动结束后,后面并列的几个活动都提示发生。(2)竞争关系:指前一活动结束后,后面并列的几个活动都有可能发生,但是只能有一个发生,实际执行时,由工程计划人员决定哪个活动发生。(3)选择关系:指前一活动的结果是不完全确定的,不同执行结果致使后面并列的不同活动的发生。(4)条件转移关系:条件转移关系中的“条件”是实际系统运行的结果,在制定计划时,这个条件的结果是不能预先确定,不同的结果致使后面并列的不同活动的发生。(5)与关系:指只有前面并列的所有活动都完成后,后面的活动才能发生。(6)或关系:指前面活动之一完成后,后面的活动就可发生。在求解主关键路径的算法中,重点考虑了与、或这两种最常见的连接关系。

2.3 AOE网络活动时间参数

对于AOE图的每个活动节点,需要计算四个时间值:最早开始时间ES、最早结束时间EF、最晚开始时间LS、最晚结束时间LF。ES和EF是在从起始节点到终止节点,按时间上从前往后的顺序遍历活动网络图的

过程中,计算得到的。LS和LF则是在从EOP到EOP,按时间上从后往前的顺序遍历活动网络图的过程中,计算得到的^[4]。如果用 $d(k)$ 表示活动 k 的耗时,那么我们很容易得到: $EF(k)=ES(k)+d(k)$

$$LS(k)=LF(k)-d(k)$$

因此,在四个时间值中,实际上只有两个是独立的,其它两个可以通过上面的公式得到。活动的裕度(slack):

$$S(k)=LS(k)-ES(k) \text{ 或 } LF(k)-EF(k)$$

活动的裕度表示活动可以推迟于最早开始时间发生的时间量,而且活动的推迟发生不会导致EOP的延时。

工程计划人员填写了活动网络图中活动的时间属性:计划开始时间和计划结束时间。我们可以得到活动 k 的耗时:

$$d(k)=PF(k)-PS(k)$$

3 算法

3.1 算法描述

事件 V_j 可能的最早发生时间 $ve(j)$ 是从源点 v_l 到顶点 v_j 的最长路径的长度。即事件 v_j 的发生表明了以 v_j 为起点的各条出边表示的活动可以立即开始,所以事件 v_j 的最早发生时间 $ve(j)$,也是所有以 v_j 为起点出边 $\langle v_j, v_k \rangle$ 所表示的活动 ai 的最早开始时间 $e(i)$,即: $ve(j)=e(i)$ 。

在不推迟整个工程完成的前提下,一个事件 vk 允许的最迟发生时间 $vl(k)$,应该等于汇点 vn 的最早发生时间 $ve(n)$ 减去 vk 到 vn 的最长路径长度。因为事件 vk 的发生表明了以 vk 为终点的各入边所表示的活动均已完成,所以事件 vk 的最迟发生时间 $vl(k)$ 也是所有以 vk 为终点的各入边 $\langle v_j, vk \rangle$ 所表示的活动 ai 可以最迟完成的时间。显然,在不推迟整个工程完成的前提下,活动 ai 的最迟开始时间 $l(i)$ 应该是 ai 的最迟完成时间再减去 ai 的持续时间,即: $l(i)=vl(k)-\langle v_j, vk \rangle$ 的权。

我们把 $e(i)=l(i)$ 的活动 ai 称为关键活动。 $l(i)-e(i)$ 表示完成活动 ai 的时间余量,它就是在不延误整个工程的工期情况下,活动 ai 可以延迟的时间。

表1 参数估计

工序号	工序名称	最乐观时间/d	最可能时间/d	最悲观时间/d
1-3	预制设备结构	20	22	25
1-2	清理场地	5	10	15
2-3	基础施工	5	10	15
3-4	结构拼装	8	10	20
4-5	设备安装	0	10	11

表2 工期计算结果

模拟方法	工期/d			45d完工概率/%	工序是否在关键路径上/%				
	最短	最长	最可能		1-3	1-2	2-3	3-4	4-5
本文方法	38	51	42.6	72	84	16	13	100	100
CMP方法	无	无	42.4	75	On	off	off	on	on

由上述分析可知,若把所有活动 ai 的最早开始时间 $e(i)$ 和最迟开始时间 $l(i)$ 都计算出来,就可以找到所有的关键活动。为了求得AOE网的 $e(i)$ 和 $l(i)$,应该先求得网中所有事件 vj 的最早发生时间 $ve(j)$ 和最迟发生时间 $vl(j)$ 。

若活动 ai 由边 $\langle vj, vk \rangle$ 表示,其持续时间记为: $dut(\langle j, k \rangle)$,则有如下关系:

$$e(i)=ve(j) \\ l(i)=vl(k)-dut(\langle j, k \rangle) \quad (1)$$

由事件 vj 的最早发生时间和最迟发生时间定义,可求出 $ve(j)$ 和 $vl(j)$ 的方法如下:

(1) $ve(j)$ 的计算是从源点 $v1$ 开始,自左到右对每个事件向前计算,直到计算到汇点 vn 为止。通常将源点事件 $v1$ 的最早发生时间定义为零。对于事件 vj ,仅当其所有前趋事件 vi 均已发生,且所有由边 $\langle vi, vj \rangle$ 表示的活动已完成才发生。因此, $ve(j)$ 可用递推公式表示为:

$$ve(1)=0 \\ ve(j)=\max\{ve(i)+dut(\langle i, j \rangle)\} \quad \langle vi, vj \rangle \in T, \quad 2 \leq j \leq n \quad (2)$$

式中 T 是所有以 vj 为终点的入边的集合。计算顺序是按顶点的某一拓扑序列的次序进行的。

(2) $vl(j)$ 的计算是从汇点 vn 开始,自右向左逐个事件递推计算,直至计算到源点 $v1$ 为止。为了尽量缩短工期,通常把汇点事件 vn 的最早发生时间(即工程的最早完工时间)作为 vn 的最迟发生时间。显然,事件 vj 的最迟发生时间不得迟于其后继事件 vk 的最迟发生时间 $vl(k)$ 与活动 $\langle vj, vk \rangle$ 的持续时间之差。因此, vj 的最迟发生时间 $vl(j)$ 用递推共识表示:

$$vl(n)=ve(n) \\ vl(j)=\min\{vl(k)-dut(\langle j, k \rangle)\} \quad \langle vj, vk \rangle \in S, \quad 1 \leq j \leq n-1 \quad (3)$$

式中 S 是所有以 vj 为起点的出边的集合。计算顺序是按顶点的某一拓扑序列的逆序进行的。

3.2 算法实现

以VC++6.0为开发工具,编程实现确

定活动网络图主关键路径的算法。创建两个类: $cActivity$, $cActNode$, $Ctivity$ 里存放与活动有关的时间属性, $CActNode$ 由 $CActivity$ 继承而来,存放活动节点在活动网络图中的拓扑属性如下:

```
Class CActivity:public CObject
{
Public:
CTimem-Planstart, //活动计划开始时间
CTimem-PlanEnd, //活动计划结束时间
CTimem-Earlieststart, //活动最早开始时间
CTimem-Lateststart, //活动最晚开始时间
CTimespanm-duration, //活动耗时
intIslnKeypath, //标志值0,1;该活动在主关键路径上为1,否则为0
}
...
Class CActNode:public CActivity
{
Public:
Int m_InDegree, //活动节点的入度
Int m_OutDegree, //活动节点的出度
...
Public:
CTypedPtrList<COBList, CActNode*> m_Pre-Act, //该活动的前续活动链表
CTypedPtrList<COBList, CActNode*> m_PostAct, //该活动的后续活动链表
...
}
```

确定主关键路径的程序代码封装在函数OnFind-KeyPath()里。程序运行后,计划人员绘制出 workflow 活动网络图,并填写活动的有关属性,然后得到主关键路径。

4 实例

是一个简单的锅炉厂生产设备制造流程,有关参数则用主观方法做出估计。各工序的参数估计如表1所示。用上文提到的方

法和传统的CPM法求工期,所得结果如表2所示。表中涉及到的概率计算是根据实际情况假设得到的。

从结果可以看出本文方法可以给出更多的量化信息,同时在机器上运算的效率也有所提高,这在实际工程的大型网络图中效果将更为明显。对于工序是否在关键路径上这个问题,本文方法给出了每个工序出现在关键路径上的概率,而传统的关键路径法只能给出结果,是或者不是,即工序在或不在关键路径上。试想如果例子中由于参数估计的差别使得1-3工序在关键路径上的概率变为55%,而1-2和2-3两个工序成为关键路径的概率就将成为100%-55%=45%,施工管理人员为了确保总工期的按时完成就不能只关注关键路径上的1-3工序,对有可能因为突发事件而导致关键路径变化的工序1-2、2-3也要予以关注,只有这样才能有效的在事前做出风险管理决策,确保工程按时完成。

5 结语

通过增加虚拟源点和虚拟汇点的办法,解决了基于多源点、多汇点的AOE网可以进行工程计划完成时间的估算,使AOE网估算工程计划的完成时间的使用范围不再局限于只通过单源点、汇点计算。该算法在实际企业生产管理中,有较大的实用价值。

参考文献

- [1] 石威,郑郑民.相关人物图的均衡动态关键路径调度算法[J].计算机学报.24(9),2001,9:991-997.
- [2] 徐凤生,黄倩.关键路径求解的新算法[J].计算机应用.24(12),2004,12:108-109.
- [3] 徐凤生.一种求关键路径的新算法[J].计算机工程与应用.24,2005:82-84.
- [4] 徐长盛,谢立.关键路径算法的面向对象解决[J].计算机应用研究.4,2005:96-97.

(上接77页)

用。该院办公大楼分散,人员流动性较大,给人员管理,尤其是考勤管理带来了很大的不便。本系统的安装引入,在方便员工出入的同时,自动记录院内各门禁信息,提高了安防监控能力;TCP/IP与RS485结合的网络控制方式,实现了分布式互联,与纯RS485网络架构相比,门禁权限下发的平均响应时间缩短了约0.5秒;在硬件成本上,与带网络功能的门禁控制器相比,以该院120个门禁计算,能节约成本42万(取6家硬件供应商报价平均值对比);无缝接入的考勤系统,无需员工上下班专门刷卡,能从数据库中读取读卡时间信息做为考勤记录,简化了员工上下班流程,同时减少了考勤机投入5万余元。

除考勤功能外,在系统硬件基础上,管

理软件可扩展至在线巡更、人员卡务管理、住房管理、车辆进出管理,鉴于其具有的上述优势,值得在企业,尤其是大规模门禁应用中进一步推广。

参考文献

- [1] 戴日梅,袁会杰.基于TCP/IP协议的门禁控制系统的设计与开发.沈阳工程学院学报(自然科学版),2008,4(2).
- [2] 刘华,祖立峰.基于ARM和射频识别技术的门禁系统设计.ARM开发与应用,文章编号:1008-0570(2010)01-2-0101-02.
- [3] 李建军,周晓中,桂卫华.Mifare系列射频卡读写器的研制.电气应用.2006(1).
- [4] 杜明芳.ARM&Linux架构下智能门禁控制器以太网接口开发,计算机工程,

2007,33(16).

- [5] 魏振钢,宋庆国,张建军,张子振.基于以太网的分布式智能门禁系统.计算机工程与设计,2007,28(4).
- [6] 基于ARM的RFID阅读器设计.微计算机信息(嵌入式与SOC).2006年第22卷第10-2期.
- [7] 黄科,张诚,容锋.基于TCP/IP协议的非接触式IC卡智能门禁系统.文章编号:1671-1041(2008)04-0050-03.
- [8] 张国华.智能门禁系统及其扩展性应用研究.
- [9] 李长春.基于ARM2Linux的网络门禁控制器软件研究与实现.计算机与数字工程,2009,5.

作者：[高巍巍](#)，[赵磊](#)，[苍圣](#)，[周洪玉](#)
作者单位：[哈尔滨师范大学恒星学院, 黑龙江, 哈尔滨, 150025](#)
刊名：[数字技术与应用](#)
英文刊名：[DIGITAL TECHNOLOGY AND APPLICATION](#)
年，卷(期)：2010 (9)
被引用次数：1次

参考文献(4条)

1. 石威, 郑纬民 [相关任务图的均衡动态关键路径调度算法](#) [期刊论文] - [计算机学报](#) 2001 (9)
2. 徐风生, 黄倩 [关键路径求解的新算法](#) [期刊论文] - [计算机应用](#) 2004 (12)
3. 徐风生 [一种求关键路径的新算法](#) [期刊论文] - [计算机工程与应用](#) 2005 (24)
4. 徐长盛, 谢立 [关键路径算法的面向对象解决](#) [期刊论文] - [计算机应用研究](#) 2005 (4)

本文读者也读过(10条)

1. [申龙青](#), [韩毅](#), [杨海成](#), [李原](#), [SHEN Long-qing](#), [HAN Yi](#), [YANG Hai-cheng](#), [LI Yuan](#) [航空产品工程网络计划关键路径算法研究](#) [期刊论文] - [计算机集成制造系统](#) 2006, 12 (2)
2. [谢志强](#), [刘秋杉](#), [丛璟](#), [谭光宇](#), [XIE Zhi-qiang](#), [LIU Qiu-shan](#), [CONG Jing](#), [TAN Guang-yu](#) [基于缩短装配设备空闲时间的车间装配方法](#) [期刊论文] - [黑龙江大学自然科学学报](#) 2007, 24 (3)
3. [徐风生](#), [Xu Fengsheng](#) [一种新的关键路径求解算法](#) [期刊论文] - [计算机应用与软件](#) 2005, 22 (6)
4. [李军红](#) [关于工程网络计划技术规程的一点探讨](#) [期刊论文] - [基建优化](#) 2002, 23 (1)
5. [杨轻云](#), [孙吉贵](#), [YANG Qing-yun](#), [SUN Ji-gui](#) [产品网络计划及其算法的研究](#) [期刊论文] - [计算机集成制造系统](#) 2005, 11 (4)
6. [董世武](#), [龙洋](#), [孙建森](#), [李晓松](#), [应大君](#) [实施关键路径方法管理提高遗体捐献工作服务](#) [期刊论文] - [医学与社会](#) 2008, 21 (11)
7. [范文](#) [船舶制造企业的标杆管理初探](#) [期刊论文] - [现代商业](#) 2008 (26)
8. [李建兵](#) [浅谈关键路径的探寻策略及其在工程项目中的应用](#) [期刊论文] - [黑龙江科技信息](#) 2010 (10)
9. [曹瀚](#), [刘大昕](#), [富锐](#), [CAO Han](#), [LIU Da-xin](#), [FU Rui](#) [基于活动的工作流关键路径算法](#) [期刊论文] - [哈尔滨工程大学学报](#) 2006, 27 (4)
10. [于炯](#), [田国忠](#), [曹元大](#), [孙贤和](#), [Yu Jiong](#), [Tian Guozhong](#), [Cao Yuanda](#), [Sun Xianhe](#) [基于关键区间可靠度的网格工作流资源分配算法](#) [期刊论文] - [计算机研究与发展](#) 2009, 46 (11)

引证文献(1条)

1. [刘彩云](#), [张雨辰](#), [徐伟](#) [项目管理方法在X公司中的运用](#) [期刊论文] - [项目管理技术](#) 2014 (03)

引用本文格式：[高巍巍](#), [赵磊](#), [苍圣](#), [周洪玉](#) [基于AOE网络的关键路径方法研究](#) [期刊论文] - [数字技术与应用](#) 2010 (9)