

文章编号: 1001-2486(2011)02-0089-06

## 一种对地观测卫星应用任务描述模型\*

马满好, 祝江汉, 范志良, 罗雪山

(国防科技大学 信息系统工程重点实验室, 湖南 长沙 410073)

**摘要:**对地观测卫星(EOS)的应用任务建模是任务规划与调度的重要组成部分。从对地观测卫星系统的组成、应用任务特点以及建模基本要素等3个方面,对应用任务进行了详细的分析,其中特点包括任务周期性、严格的时间限制性、实体属性的复杂性以及任务的突发性等,建模基本要素主要包括约束条件和活动。在此基础上,使用规划领域定义语言(PDDL)对建模要素进行建模,主要包括约束条件和活动模型的标准化构建等。最后,给出了对地观测卫星对点目标的应用任务的建模案例,验证了任务建模适用于对地观测卫星任务规划。

**关键词:**对地观测卫星;应用任务;规划领域定义语言;建模

**中图分类号:**TP393.01;TP391.4 **文献标识码:**A

## A Model of Earth Observing Satellite Application Task Describing

MA Man-hao, ZHU Jiang-han, FAN Zhi-liang, LUO Xue-shan

(Science and Technology on Information Systems Engineering Laboratory, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** Modeling of earth observing satellite (EOS) application task is an important part in EOS mission planning and scheduling. From the perspective of the system components, characters of application tasks of EOS and modeling factors, a detailed analysis of EOS application task was accomplished. Among them, task periodicity, strict time limits, entity property complexity and suddenness of mission were investigated in characters of EOS application task. The constraints of task and actions were taken for the main modeling factors and applied to model EOS application task by plan domain define language (PDDL). Finally, through designing a case that EOSs take images from point target, the modeling method presented is illuminated and validated.

**Key words:** earth observation satellite; application task; plan domain define language(PDDL); modeling

根据客户的观测要求,对地观测卫星(EOS, Earth Observing Satellite)来获取地球表面特定区域的图像。卫星任务规划是合理安排信息获取和地面数据接收、优化观测系统的重要手段,也是卫星运控系统的主要工作之一。作为卫星任务规划的需求,在进行任务规划之前需要获取待规划任务的集合。传统上,该任务集合由卫星的一系列活动组成,较少考虑活动间关系<sup>[1]</sup>。而用户的观测需求是多种多样的,涉及对时间、目标、资源等各方面的要求,而这种要求可能导致卫星多次的观测活动(可能是单颗卫星的多次活动,也可能是多卫星联合多次观测)才能满足这种需求。对地观测卫星应用任务就是为达成特定的应用目标,而担负的一系列卫星和地面接收资源的活动。如何准确描述资源、活动及其约束关系是应用任务建模的关键。

当前卫星应用任务建模方面的研究主要集中在各类卫星任务规划方法上<sup>[2-5]</sup>,对于其中规划求解涉及的任务,主要考虑单次卫星观测活动或数据接收活动,较少考虑活动间约束关系。文献[6-7]利用PDDL对卫星任务规划问题进行描述,建立观测活动的域模型,其所描述的约束实际上是一次观测活动内卫星(传感器)内部各项活动间的约束,没有关注观测活动间的约束关系。本文首先对对地观测卫星应用任务进行分析,总结卫星应用任务特点,并得到应用任务中活动及约束建模的要素,然后建立应用任务的PDDL模型,最后通过规划案例验证任务模型的有效性。

### 1 对地观测卫星应用任务

#### 1.1 对地观测卫星系统的组成

对地观测卫星系统由卫星以及相应的测控系

\* 收稿日期:2010-12-11

基金项目:国家部委基金资助项目(51421070205KG01)

作者简介:马满好(1974—),男,讲师,博士生。

统和数传系统构成。卫星利用星载可见光相机、红外相机、多谱段相机和合成孔径雷达等遥感器,获取地面目标的高分辨率图像信息,并将图像信息通过数传系统实时地传回地面,供分析判读使用<sup>[8-9]</sup>。另外,对地观测卫星的正常运行离不开地基设备(地面控制中心、信息处理中心、地面测控站和数据接收站)的支持,对地观测卫星所获得的信息也需要返回地面加以利用。对地观测系统必须在卫星和地基支持系统之间建立一条交换信息的渠道,即测控和数传系统<sup>[10]</sup>。

## 1.2 应用任务特点

对地观测卫星应用任务与一般的任务区别在于,任务执行的主体对地观测卫星都是在轨运行的,并且主要特点包括:

### (1) 任务周期性

周期性任务主要包括两类:事件特征的周期性任务和时间特征的周期性任务。事件特征的周期性任务是指对同一个目标而言,一旦资源和目标之间具备侦察条件即自动对其进行侦察活动,比如在作战过程中,针对一些特别重要的目标,要求只要卫星对该目标有侦察的过顶条件,就对其进行一次侦察活动;时间特征的周期性任务是指资源对同一个目标以某一时间为周期进行一次或多次侦察活动。

### (2) 严格的时间限制性

对地观测卫星应用任务执行受到严格的时间制约,包括:①任务计划中的时间限制  $C_T$ ;②资源和侦察目标的可见时间窗口限制  $C_W$ 。由于卫星资源是在轨运行的,卫星和目标之间有严格的可见时间限制,因此,任务的时间限制为  $C_T \cap C_W$ 。如图1所示,设卫星对目标有2个时间窗口,任务的实际可执行时间如图中阴影部分所示,为  $C_T$  和  $C_W$  的交集。

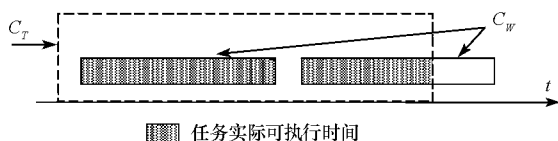


图1 任务的实际可执行时间  
Fig.1 Actual executing time of task

### (3) 实体属性的复杂性

对地观测卫星应用任务中的实体主要指资源和观测目标,而资源和观测目标不是简单的个体,比如卫星实体,包含了其携带的传感器、星载存储器等资源;再比如观测应用任务模型中的移动目标,其描述的参数多,在应用任务模型不能仅以抽

象的实体名称代替。

### (4) 任务突发性

应用任务是针对需求而预先制定的,观测目标的数量和任务完成的标准都是预先规定的,由于战场的瞬息万变,突发任务往往较多,这种情况下,需要对任务进行扩充,任务的扩充带来的难题是,可能导致调度方案的全盘改变。

对地观测卫星应用任务特性较多,这里列举的只是其中较重要的几点,这些特征的存在,增大了任务建模的难度,也使对地观测卫星应用任务区别于其他的任务。

## 2 对地观测卫星应用任务活动与约束

对地观测卫星应用任务建模的基本要素为:资源、约束、侦察目标、任务完成标准和活动。其中,资源为任务执行的主体存在物,例如对地观测卫星、地面站等;约束为制约任务的执行的限制条件,包括时间约束、资源约束等;侦察目标是指任务执行的客体存在物,例如点目标、区域目标等;任务完成标准指任务完成过程中应把握的准则;活动是任务规划调度的基本对象,是完成任务目标的一系列操作。下面,对最主要的两个要素——活动和约束条件,进行详细分析。

### 2.1 对地观测卫星应用任务活动

#### 定义1 活动(Action)

活动是任务规划调度的基本对象,是完成任务目标的一系列操作,或称元任务。

对于对地观测卫星应用任务而言,活动即为对目标的一次数据采集,例如对地观测卫星对点目标的一次拍摄即为一个元任务,即活动。活动包括:活动名称( $Action\_Name$ ),活动( $Action\_ID$ ),活动的优先级( $Action\_Priority$ :定义活动的重要程度),活动目的( $Action\_Purpose$ :执行活动的需求),活动约束( $Action\_Constraints$ :活动约束包括时间约束  $Time\_Constraints$ 、资源约束  $Resource\_Constraints$  和活动之间的约束  $A\_to\_A\_Constraints$ )等。

### 2.2 对地观测卫星应用任务约束

#### 定义2 约束条件(Constraints)

约束是指制约任务的执行的限制条件。对地观测卫星应用任务执行过程中需要明确的约束包括时间、资源、活动之间的约束和优先级约束等等。本文研究的约束都是以活动为中心进行的,下面主要就时间、资源和活动之间的约束进行分析。

(1)时间约束(Time\_Constraints)

对地观测卫星侦察目标时,必须满足时间约束,即卫星只有在飞经地面目标上空时才能执行观测任务,这是对地观测卫星应用任务最重要的约束。取一个可见时间窗口( $t_s, t_e$ ),如图 2 所示,假设活动的开始时间为  $t_1$ ,  $t$  为活动所需的持续时间,那么在时间窗口( $t_s, t_e$ )内卫星可以采集数据,同理,对地观测卫星和数据中继卫星、地面站之间也必须存在可见时间窗口,才能进行数据传输活动。



图 2 时间约束示意图  
Fig.2 Time constraint

当时间窗口表示为卫星和地面站的可见时间窗口时,如图 3 所示为卫星与地面站数传过程示意图,假设卫星和某地面站天线之间需要进行一次数传,两者之间的可见时间窗口为( $t_s, t_e$ ),则卫星  $S$  与地面站天线  $A$  之间的一次数传过程为:当卫星  $S$  运转到  $t_s$  前某个时刻时,地面站天线  $A$  开始进行接收数据的准备工作; $t_s$  时刻,即  $S$  与  $A$  开始可见,调整  $A$  对准  $S$ ,并且随  $S$  进行转动;当  $A$  的仰角等于最小捕获仰角时, $A$  开始对  $S$  进行捕获,即与  $S$  的天线对准;当  $A$  的仰角等于最小跟踪仰角且与  $S$  的天线捕获成功时, $A$  对  $S$  开始转入跟踪状态,即与  $S$  的天线成功建立链路, $S$  开始通过该链路向  $A$  下传数据;当  $A$  的仰角等于最小释放仰角时, $A$  对  $S$  跟踪结束,两者之间的链路断开, $S$  结束下传数据,此时  $A$  开始释放所占用的资源,直至释放完毕。至此  $S$  与  $A$  之间的一次数传结束。

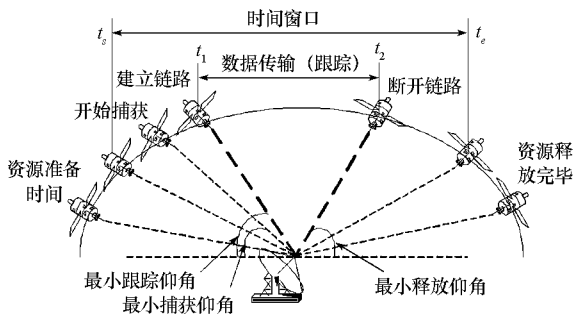


图 3 对地观测卫星和地面站数传活动  
Fig.3 Data transmission action of EOS to ground station

由于对地观测卫星与目标之间有多次过顶飞行,因此时间窗口是一组由开始时间和结束时间组成的二维数组,即

$$TimeWindow = (st_{i,j}^k, et_{i,j}^k) \quad (1)$$

其中,  $st_{i,j}^k$  和  $et_{i,j}^k$  分别表示第  $j$  个资源对第  $i$  个活动的第  $k$  个时间窗口的开始和结束时间,另外,时间窗口可以通过 STK 仿真软件计算得到。

活动的持续时间也是一维数组,即  $t_j, j = 1, 2, \dots, m, m$  表示活动的个数,另外,假设活动的开始时间为  $t_{1,j}$ ,则可见时间约束为

$$st_{i,j}^k \leq t_{1,k} \leq t_{1,k} + t_k \leq et_{i,j}^k \quad (2)$$

除(1)式和(2)式表示的时间约束之外,还包括传感器的准备时间和任务执行的有效期等约束,在此不过多阐述。

(2)资源约束

资源约束,又可称为资源需求,通过资源的可用性来限制活动的执行。

资源约束较复杂,首先资源需求可以是分配型和供给型,即活动可以消耗资源,也可以产生资源,例如,对数据采集活动会消耗存储器的容量,而数据传输活动则会清空恢复存储器的容量。其次,活动可能是由不同的资源完成,定义这样的资源约束时,采取的方法是将可选的资源列出组成资源列表(Variable\_Resource\_List),或是将活动只与某种资源类相关联,而不与具体的对象关联,这样关联的资源类所对应的所有对象即为可选资源。

另外,资源约束还包括星载存储器容量约束,即针对某一个活动,预安排的资源在采集数据过程中,将采集的数据存储在其自身的存储器中,如果该活动所需的目标信息量较大,那么星载存储器就有可能不能满足需求而使采集活动受到限制。卫星进行数据传输,即清空星载存储器的方式有实拍实传和存储转发两种。数据传输的这两种方式中,实拍实传方式不用考虑星载存储器容量的约束,但必须满足比较苛刻的时间约束,即卫星与目标和地面站之间必须同时存在可见时间窗口;而在存储转发方式中,数据采集活动和数据传输活动是分先后进行的,在两个活动之间的时间段里,采集到的数据必须存储在星载存储器中,这样采集活动就受到存储容量的限制,当目标信息较大而不能完全存储时,需要对侦察目标进行一定的取舍。

(3)活动之间的约束

一个复杂任务需要分解为多个活动,即元任务,两个或多个活动之间的时序关系及逻辑关系即为活动间的约束,多个活动之间的关系一般可以转化成一组二元关系集。时序关系在时间限定了两个活动的相对执行时间,而某个任务在另一

个任务执行与否的基础上是否执行取决于逻辑关系。

活动的时序关系实际上就是活动执行开始时间和结束时间的先后关系,是一种定性的时间约束。针对时间约束的表达,可以采取定性时间区间表达法,定义7种基本的时间区间关系:超前(Before),连接(Meets),交叉(Overlaps),开始时间一致(Starts),包含(Contains),相等(=),结束时间一致(Ends)。

间一致(Ends)。定义活动X的执行时间为 $(X_s, X_e)$ , $X_s$ 为开始时间, $X_e$ 为结束时间,同法定义活动Y。如图4所示,活动X和活动Y之间的时序关系图,图中(a)、(b)、(c)、(d)、(e)、(f)、(g)依次表示:超前(Before),连接(Meets),交叉(Overlaps),开始时间一致(Starts),包含(Contains),相等(=),结束时间一致(Ends)。当然,活动X和活动Y之间是对称关系。

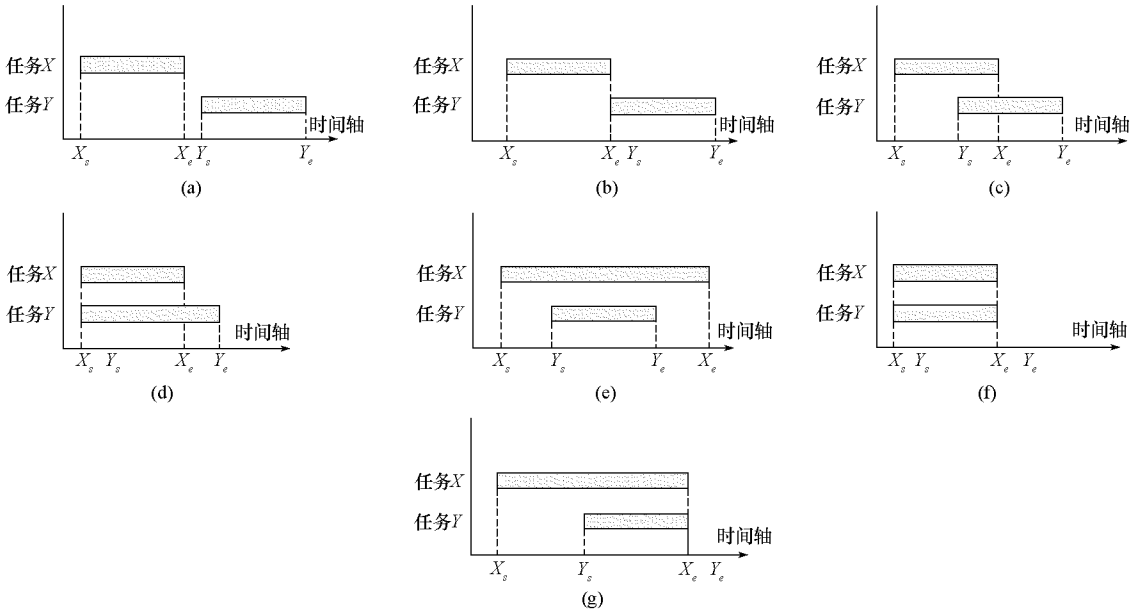


图4 两个活动之间的时序关系图  
Fig.4 Time sequence diagram of two actions

另外,逻辑关系表示活动之间的逻辑关系,包括蕴含、与、或、异或、一致和互斥等。

### 3 对地观测卫星应用任务建模

PDDL(Planning Domain Definition Language)在STRIPS和ADL等语言的基础上发展而来,建模能力已经得到了很大扩展和增强,逐渐成为规划领域定义域模型的标准语言<sup>[11]</sup>。利用规划领域定义语言,可以将问题领域知识转化为计算机可以接受的形式,最终建立系统的规划域模型<sup>[12]</sup>。

一个航天任务的规划模型的基本要素主要包括约束条件、活动和规划目标,就这三个方面建立PDDL的对地观测卫星应用任务模型。

#### 3.1 任务约束条件建模

针对2.2节中分析的时间约束和资源约束,设置约束谓词来建模。例如,设置谓词 $Only_j(r_i)$ ,表示活动 $a_j$ 只能使用一个 $r_i$ ,其个体域为 $r_i \in R$ ;  $RelatedResource_j(r_i)$ 表示 $r_i$ 是活动 $a_j$ 的关联资源等。另外,文中涉及的约束谓词还包括: $Available_{j,i}(st_{j,i}^k, et_{j,i}^k)$ ,表示活动 $a_j$ 如果占用 $r_i$ ,

则活动时间的可选时间窗口为 $(st_{j,i}^k, et_{j,i}^k)$ ,个体域为 $st_{j,i}^k \in St_{j,i}$ 和 $et_{j,i}^k \in Et_{j,i}$ ;  $\neg Overstep[(st_j, st_j \text{ increase } t_j), (vst_j, vet_j)]$ 表示活动 $a_j$ 预安排时间不能超过活动 $a_j$ 的有效期,如该谓词为假,则活动 $a_j$ 对“规划尺度V”无贡献;“increase”表示“+”,需要在requirements中添加[:fluents]进行声明。

以上4个约束谓词是主要的约束,建模时针对其他的约束可自行设置约束谓词,需要注意的是,约束条件必须是以活动为中心的,非以活动为中心的约束可设置添加到问题文件中。

#### 3.2 活动建模

PDDL对地观测卫星任务模型中任一活动 $a_j$ 包括参数 $Par(a_j)$ 、前提 $Pre(a_j)$ 和效果 $Eff(a_j)$ 3个组成要素,从这3个组成要素考察模型的代表方法。

##### (1)参数 $Par(a)$

参数 $Par(a)$ 为活动中的对象、常量或变量。活动模型主要包括:Action\_Priority、Action\_Purpose和Action\_Constrains。各部分的参数可设置为活动a中的参数 $Par(a)$ ,如表1为活动 $a_j$

主要的参数设置。

表 1 活动的参数描述

Tab.1 Parameters of action

参数	描述
$t_j$	活动 $a_j$ 对应的持续时间
$st_j$	活动 $a_j$ 的开始执行时间
$ut_j$	活动 $a_j$ 的有效期,其中 $ut_j = (vst_j, vet_j)$
	活动 $a_j$ 占用资源 $r_i$ 时所允许的时间窗口集合
	$St_{j,i} = (st_{j,i}^1, st_{j,i}^2, \dots, st_{j,i}^n)$
$TimeWindow_{j,i}$	$Et_{j,i} = (et_{j,i}^1, et_{j,i}^2, \dots, et_{j,i}^n)$
	$st_{j,i}^k$ 为活动 $a_j$ 占用资源 $r_i$ 的第 $k$ 个时间窗口的开始时间, $et_{j,i}^k$ 为结束时间, $n$ 为时间窗口个数
	活动 $a_j$ 占用的资源队列,其中 $R_j = (r_1, r_2, \dots, r_m), r_k$ 表示活动 $a_j$ 占用的第 $k$ 个资源。
$R_j$	
	表示活动 $a_j$ 的优先级或价值量
$v_j$	
$Image, Signal$	虚对象:图像 $Image$ 、电子信号 $Signal$

如图 5 所示,以上参数的描述表示活动  $a_j$  安排了所需的资源队列  $R_j$  和资源队列中的资源  $r_i$  被活动  $a_j$  占用的可见时间列表。

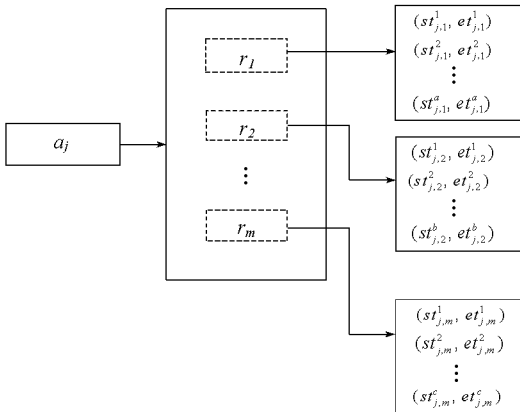


图 5 参数  $Par(a)$  描述主要内容

Fig.5 Description content of parameter  $Par(a)$

(2)前提  $Pre(a)$

前提  $Pre(a)$  的内容主要包括时间约束和资源约束,实现方法为添加的约束表达谓词。

(3)效果  $Eff(a)$

效果  $Eff(a)$  的主要内容包括完成任务的定性描述和规划尺度的数值效果。

①定性描述即表述完成任务即可,例如,对地观测卫星的拍摄活动,在效果中添加谓词  $On\_board(Img\_Sat, Image)$ ,表示图片信息  $Image$  由  $Img\_Sat$  携带。

②规划尺度的数值效果体现在问题文件中设置了“规划尺度  $V$ ”,在初始状态中进行了初始化,然后在效果中添加数值效果来表示如果安排活动的贡献量。表示方法为设置函数  $f(V) = V + v_j$ ,将函数作为参数添加到谓词中。

4 仿真案例

为了使本文设计的对地观测卫星系统资源更加切合未来作战要求,从国外已投入使用的对地观测卫星中选取了 2 颗具有代表性的卫星,如表 2 所示。

表 2 对地观测卫星表

Tab.2 List of EOSs

卫星名称	卫星国际编号	所属国家	ID
KH MSN - 1116	1972 - 032A	USA	Sat_01
KH MSN - 9010	1960 - 012A	USA	Sat_02

卫星运行的开始时间为 2008 年 1 月 1 日 12:00:00,结束时间为 2008 年 1 月 2 日 12:00:00。另外,设置 8 个点目标,具体的地理位置描述、价值量(用优先级代表)和周期性如表 3 所示。

表 3 点目标的设计表

Tab.3 Point target in case

Target ID	经度(°)	纬度(°)	优先级	持续时间(s)
1	132.06	34.38	1	10
2	134.68	35.25	2	15
3	136.30	34.64	1	10
4	139.19	35.69	1	15
5	139.01	36.35	1	15
6	139.72	37.00	2	10
7	140.53	35.63	1	10
8	140.58	38.43	1	15

任务的目标是使用表 2 所示的两颗对地观测卫星最大限度地完成对表 3 中的 8 个点目标的观测。只列举  $a_1$  和  $a_2$ ,如图 6 所示。

针对以上对地观测应用任务模型,采用贪婪算法<sup>[13]</sup>求解的调度结果如表 4 所示。

5 结论

本文从对地观测卫星系统的组成、应用任务特点以及建模的基本要素 3 个方面,对对地观测卫星应用任务进行了详细的分析,其中特点包括任务周期性、严格的时间限制性、实体属性的复杂性以及任务的突发性等,建模基本要素主要包括

表 4 案例调度结果  
Tab.4 Scheduling result of case

活动	资源	开始时间	结束时间
$a_1$	KH MSN - 9010	2 Jan 2008 01:58:30	2 Jan 2008 01:58:40
$a_2$	KH MSN - 1116	2 Jan 2008 03:40:53	2 Jan 2008 03:41:08
$a_3$	KH MSN - 9010	2 Jan 2008 05:19:00	2 Jan 2008 05:19:10
$a_4$	KH MSN - 9010	2 Jan 2008 06:57:50	2 Jan 2008 06:58:05
$a_5$	KH MSN - 1116	2 Jan 2008 08:41:00	2 Jan 2008 08:41:15
$a_6$	KH MSN - 9010	2 Jan 2008 10:25:00	2 Jan 2008 10:25:10
$a_7$	KH MSN - 9010	2 Jan 2008 03:36:01	2 Jan 2008 03:36:11
$a_8$	KH MSN - 1116	2 Jan 2008 01:58:50	2 Jan 2008 01:59:05

```
( : Action  $a_1$ 
: Parameters(?  $st_1$ ?  $t_1$ ?  $vst_1$ ?  $vet_1$ 
? Sat _01? TimeWindow $_{1,1}$ 
? Sat _02? TimeWindow $_{1,2}$ 
? Point _Target $_1$ ?  $v_1$ ? Image $_1$ ? V)
: Precondition (( Only $_1$ ( $r_i$ ))
(  $\neg$  Overstep ((  $st_1$ ,  $st_1$  increase  $t_1$  ), (  $vst_1$ ,
 $vet_1$  )))
(Available $_{1,1}$ ( $st_{1,1}^k$ ,  $et_{1,1}^k$ ))
(Available $_{1,2}$ ( $st_{1,2}^k$ ,  $et_{1,2}^k$ ))
( Related _Resource $_1$ ( Sat _01))
( Related _Resource $_1$ ( Sat _02))
( On _board(Point _Target $_1$ , Image $_1$ )))
: Effect(( On _board( $r_i$ , Image $_1$ ))
( Contribute $_1$ ( $f(V)$ )))
)
```

```
( : Action  $a_2$ 
: Parameters(?  $st_2$ ?  $t_2$ ?  $vst_2$ ?  $vet_2$ 
? Sat _01? TimeWindow $_{2,1}$ 
? Sat _02? TimeWindow $_{2,2}$ 
? Point _Target $_2$ ?  $v_2$ ? Image $_2$ ? V)
: Precondition (( Only $_2$ ( $r_i$ ))
(  $\neg$  Overstep ((  $st_2$ ,  $st_2$  increase  $t_2$  ), (  $vst_2$ ,
 $vet_2$  )))
(Available $_{2,1}$ ( $st_{2,1}^k$ ,  $et_{2,1}^k$ ))
(Available $_{2,2}$ ( $st_{2,2}^k$ ,  $et_{2,2}^k$ ))
( Related _Resource $_2$ ( Sat _01))
( Related _Resource $_2$ ( Sat _02))
( On _board(Point _Target $_2$ , Image $_2$ )))
: Effect(( On _board( $r_i$ , Image $_2$ ))
( Contribute $_2$ ( $f(V)$ )))
)
```

图 6 活动模型  
Fig.6 Models of action

约束条件和活动。在此基础上,使用规划领域定义语言 PDDL 对建模要素进行建模,主要包括约束条件和活动模型的标准化解构等。最后,给出了对地观测卫星对点目标的侦察应用任务的建模应用案例,验证了任务建模适用于对地观测卫星任务规划。

参考文献:

[1] 凌云翔,邱涤珊,徐培德,等. 航天装备军事应用[M]. 长沙:国防科技大学出版社,2005.

[2] Lee S. Task Scheduling Algorithm for the Communication, Ocean, and Meteorological Satellite[J]. ETRI Journal, 2008, 30(1): 1-12.

[3] 郭玉华,李军,赵珂,等. 多星联合任务规划中的启发式求解方法研究[J]. 宇航学报, 2009, 30(2): 652-658.

[4] 李云峰,武小悦. 基于多星联合侦察的卫星数传调度问题模型[J]. 北京航空航天大学学报, 2008, 34(8): 948-951, 960.

[5] Bianchessi N, Cordeau J F, Desrosiers J, et al. A Heuristic for the

Multi-satellite, Multi-orbit and Multi-user Management of Earth Observation Satellites [J]. European Journal of Operational Research, 2007, 177(2): 750-762.

[6] 张正强,谭跃进. 自主航天器的规划系统建模研究[J]. 计算机工程与应用, 2006, 42(32): 197-199.

[7] 陈克伟,安蓓,王炎娟,等. 基于 PDDL 的成像卫星任务规划建模[J]. 网络与信息技术, 2008, 27(12): 41-44.

[8] 周志鑫,吴志刚,季艳. 空间对地观测技术发展及应用[J]. 中国工程科学, 2008(6): 28-32.

[9] 冯少栋,汪宏武,胡景明. 对地观测系统概述及发展趋势[J]. 卫星与网络. 2007(4): 60-64.

[10] 总装备部卫星有效载荷及应用技术专业组应用技术分组. 卫星应用现状与发展[M]. 北京:中国科学技术出版社, 2001.

[11] Gerevini A, Long D. Plan Constraints and Preferences in PDDL3[R]. Italy: Department of Electronics for Automation, University of Brescia, 2005.

[12] 张友红,谷文祥,刘日仙. 非确定规划及带有时间和资源的规划的研究[J]. 计算机应用研究, 2005, 22(3): 37-42.

[13] 卢盼,徐培德. 基于贪婪算法成像侦察卫星调度方法研究[J]. 计算机仿真, 2008(2): 37-40.