

## 基于移动Agent的分布式信息系统平台研究

刘一钊\* 张云勇 刘锦德

(电子科技大学计算机科学与工程学院 成都 610054)

**【摘要】**分析了分布式信息系统中信息共享的需求和特点,阐述了一个基于移动Agent技术的分布式信息系统平台的设计和构造,论述了多个互相协作、具有知识和目标的移动Agent在该系统对分布式信息管理和共享的有效实现。通过应用实例验证了该系统平台为分布式信息系统的实现提供了有效而灵活的应用框架和基础设施,说明了该系统平台因其对移动Agent技术的合理应用而具有的优势。

**关键词** 移动Agent; 决策; 多Agent协作; 目标驱动; 知识查询操作语言

**中图分类号** TP393

## Research on Distributed Information System Platform Based on Mobile Agent Technology

Liu Yifang Zhang Yunyong Liu Jinde

(College of Computer Science and Engineering, UEST of China Chengdu 610054)

**Abstract** Based on the analysis of distributed information, the design and structure of a distributed information system platform based on mobile Agent technology is proposed. In this platform, multiple mobile agents with belief, desire and intention collaborate to perform the task of managing and retrieving information in a distributed environment. Development of information system on it can be very convenient. Also, a sample system is provided to illustrate the application of this platform.

**Key words** mobile Agent; decision making; multi-agent collaboration; object-driven; knowledge query manipulation language

移动Agent是具有移动性的一类Agent,它具有自治性、反应性、目标驱动性等Agent的共有特性,并能在网络环境中移动,在移动的过程中保持自己状态的一致性。它为分布式计算提供了新的计算模式及具有灵活、开放、普遍性、适应性特点的应用框架,有广泛的应用前景。

分布式信息组织和共享是移动Agent最有潜力的应用领域之一。基于合理分工、组织良好、紧密协作的多个移动Agent组成的系统,可实现信息处理任务执行的高效性、自主性,乃至智能性。信息移动Agent系统IMAS(Informational Mobile Agent System)是一个基于移动Agent的信息系统平台。基于该平台,可根据不同的需要建立面向具体应用的分布式信息系统。本文主要阐述该系统的设计、关键实现,并通过一个应用实例对其进行说明。

Internet网的迅速发展,一方面为用户提供了丰富的信息资源和多种通讯手段,另一方面信息之间的联系更趋复杂,用户关心的问题所涉及的信息的深度和广度更大,需要在时间、精力、经济上付出更高的代价去搜索自己需要的信息。IMAS的目的就在于在分布式网络环境中为用户提供高效、

智能的方式对分布式信息进行搜索和共享。分布式信息共享系统要依照用户的愿望在已知信息库中自主地搜寻信息,为用户发掘新的信息需求和信息源,对动态变化的数据源进行监听,把用户所关心问题的一整套信息提供给用户。面对这样的应用需求,传统的分布式信息系统很难胜任。而移动Agent的自主性、目标驱动性、移动性为此提供了新的、更有效的解决方式。

## 1 IMAS分布式信息系统平台

### 1.1 IMAS的设计

IMAS按域对信息进行组织。提供同一类信息的服务器被组织在同一个信息域中。IMAS中的域按它们所提供信息的逻辑关系来划分。根据信息内容的类型,整个系统中的信息存在于一个多层次的树型域结构中。在同一个信息系统中可以同时存在不同的域组织方式。负责信息处理的移动Agent可以根据不同的需要依照不同的域划分方式(对应不同的信息组织方式)对系统中的信息进行访问。

在IMAS支持的信息系统中,代表用户信息查询意愿的Agent移动到所要访问的信息资源所在的节点上,通过与代表本地各信息资源的Agent的交互而获取所需信息,然后再将有效信息返回给用户,从而减轻网络负载,降低网络延时的影响。

移动Agent计算模式带来的不仅仅是系统性能的提高,IMAS支持的信息系统不同于传统的C/S计算模式之处还体现在它对自主执行、目标驱动的计算方式的支持。移动Agent根据用户的信息获取愿望,动态地对当时所获取到的信息进行分析,发现用户在提出请求时无法预见的情况,避开不可达的途径,为用户发掘新的信息需求,获取进一步的信息。

IMAS中的移动Agent具有三方面特性:能自主地对环境和信息进行分析,根据自己的任务处理知识和策略,作出决定,采取一系列行为以达成任务;具有信息获取意愿,以该意愿为目标来实施相应的行为;在依照自己的执行状态执行任务的同时,与系统中的其它Agent进行交互和协作,共同完成任务。

IMAS中,一个移动Agent对这些目标系统的认识和任务策略的表达是通过一套状态转移和行为决策规则来实现。状态向量从几个方面来表达环境、移动Agent和任务执行的状态。

状态向量= $X\{\text{original\_task, sub\_task, generated\_task, tasks\_synchronization, child\_agent\_status, parent\_agent\_status, route\_to\_servers}\}$

IMAS中移动Agent的信息获取意愿包括:什么样的信息满足要求,结果信息的搜索方式,对与相关联信息的需求等。

第 $i+1$ 个行为和第 $i+1$ 个状态(向量 $X_{i+1}$ )由第 $1\sim i$ 个行为( $A_1, A_2, \dots, A_i$ )和状态( $X_1, X_2, \dots, X_i$ )以及移动Agent的目标按具体的行为规则和策略产生<sup>[1]</sup>。移动Agent在实施任务的过程中的一系列决定则是依照这样的规则和策略来作出的。在不同的领域中进行信息搜索时,移动Agent只需要更换针对该领域信息获取的认识和策略表达对象。

IMAS的功能靠移动Agent之间以及移动Agent与系统中负责其他职能的Agent之间的通信和协作来完成。IMAS中Agent通信语言IMACL与KQML语言兼容,包括通信层、消息层、内容层。IMACL实现了与KQML一致的通信层,一套与分布式信息管理和共享相关的操作原语,适合信息传递和共享的消息内容语法。

除了直接问答式的交互,IMAS还支持KQML所定义的通信服务器(facilitator)。提供服务的Agent和接受服务的Agent通过facilitator来建立联系<sup>[2,3]</sup>。

### 1.2 IMAS的组成

IMAS中主要包括以下四种Agent: 1) 任务Agent(Task Agent)向移动Agent分派任务,与移动Agent协调任务的完成情况和任务之间的关系; 2) 移动Agent(Mobile Agent)根据信息查询意愿或总

任务产生若干子任务,在系统中的不同域、不同节点之间移动,与任务Agent、域Agent、资源Agent协作,获取信息,必要时产生子移动Agent、新任务移动Agent,提高任务执行的并行性;3) 域Agent(Domain Agent)驻留在域服务器上,与移动Agent交换域信息,帮助移动Agent在不同的信息域之间有目的、有策略、高效地移动以获取不同领域中的信息;4) 资源Agent(Resource Agent)驻留在信息服务器上,为移动Agent提供与本地资源的结构、组织方式无关的统一访问界面,同时为本地系统和资源提供一层安全屏障<sup>[4,5]</sup>。

移动Agent在系统中的移动和工作方式及与其他Agent的合作关系如图1所示。移动Agent的主要工作逻辑如下:

```

while (tasks are not fulfilled){
  while (target_domain is not reached){
    search_for(target_domain);
    move_to(next_domain);
  }
  while (new information exits){
    get_information(resource_agent);
    generate_new_demand_for_information(acquired_inforamtion);
    generate_task_agent(acquired_inforamtion);
  }
}
integrate_information(all information)

```

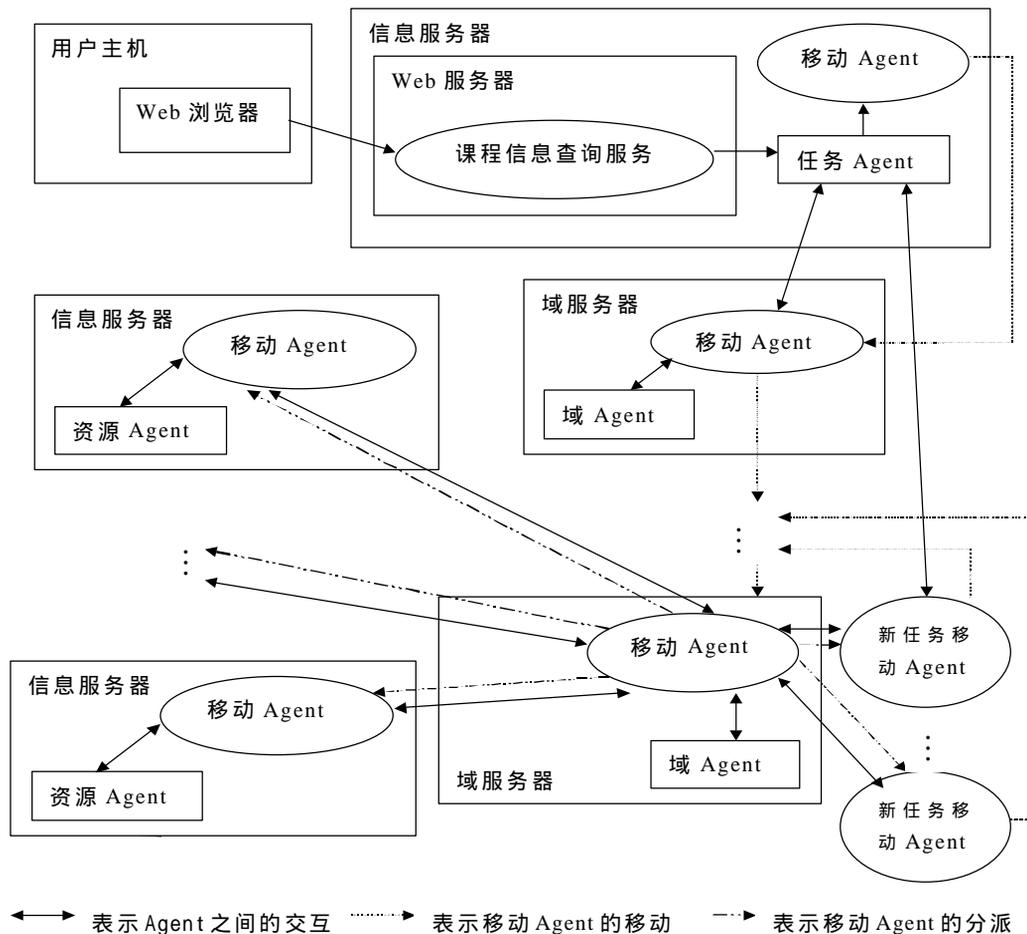


图1 IMAS的基本工作机制

## 2 IMAS在远程教学信息系统中的应用

### 2.1 IMAS-DL中的信息共享

本文以IMAS在远程教学信息系统(IMAS-DL)中的具体应用为例,对IMAS的实现加以介绍。该系统为Internet网上的远程教学用户提供Internet网上的教学课程和教学资源信息搜索服务,以使用户获取全面的、及时的教学信息。

在远程教学系统中的课程信息具有联系多、随时间变化等特点。IMAS-DL系统在信息组织和共享方面的两个特点将有利于远程教学信息的搜索。

1) 课程信息内容:课程信息不但要包括该课程信息本身,还要包括与该课程学习相关的信息(本课程的先行课、本课程学习所需要的辅助材料等)。

2) 课程信息的查询方式:IMAS远程教学信息系统(IMAS-DL)中的信息查询方式可以从查询的时间持续性和查询的深度考虑。从查询的持续性来看,有即时查询和持续查询;从查询的深度来看有简单查询和深度查询。具体地,在IMAS远程教学信息系统(IMAS-DL)中,有以下三种主要的信息共享方式:

简单即时查询:提供简单的课程信息查询。移动Agent得到信息后,立即返回给用户,该信息查询过程就此结束。

简单持续查询:提供信息推送服务。移动Agent到系统中寻找用户关心的课程。在持续查询结束条件满足以前,移动Agent周期性地查询课程信息,从新的课程信息中筛选符合用户要求的课程,并把这些信息推送给用户。持续查询过程可以因预先设置的查询时间用完而结束,也可以因用户期望的信息的获得而结束。

联系查询:提供深度查询。移动Agent不但要对用户在查询请求中直接提出的课程进行查询,还要对目标课程的相关信息查询,这些信息包括该课程的先行课信息、该课程学习所需工具或条件的获取信息。即移动Agent在联系查询过程中对已经获得的课程信息进行分析,产生与这些课程学习相关的信息的获取要求,并建立新任务,继续对相关信息进行查找,以获取与该课程的学习有关的全面信息。

以上信息查询方式分别由三种移动Agent:即时查询移动Agent、持续查询移动Agent、联系查询移动Agent实现。

### 2.2 IMAS-DL中的移动Agent实现

联系查询Agent是这三种移动Agent中较有代表性的一类移动Agent。这里以它为例介绍IMAS-DL中的移动Agent实现。

在IMAS-DL中,联系查询移动Agent的信息获取意愿通过一个3元组来表达:D(课程描述,课程信息获取方式,获取相关信息的需要)。其中持续信息查询方式是一个2元组F(查询持续的时间,对查询结束时所需获得信息的要求)。获取相关信息的需要是一个2元组R(先行课信息获取需要,学习辅助材料信息获取需要)。

联系查询Agent根据信息查询意愿和工作方式的状态和状态转换规则来搜索信息。联系查询Agent的先行课查询部分工作方式的粗略的状态转移和行为决策如图2所示。图中,圆圈中的文字表示状态,有向线段表示状态转换,有向线段上的字母代表移动Agent所获取到的信息或事件,数字代表移动Agent所采取的行为,本文只对其中的一部分进行介绍。

联系查询方式中查询阶段所涉及的一些引起Agent行为的信息和事件如下:

图2事件D:联系查询Agent收到最后一个子联系查询Agent的“任务完成”通知。

图2事件N:联系查询Agent收到它派遣的新任务连续查询Agent的“任务完成”通知。

图2事件O:联系查询Agent收到它所派遣的子联系查询Agent发送的“先行课”消息。

图2事件T: 接受子联系查询Agent的第一次查询完成通知。

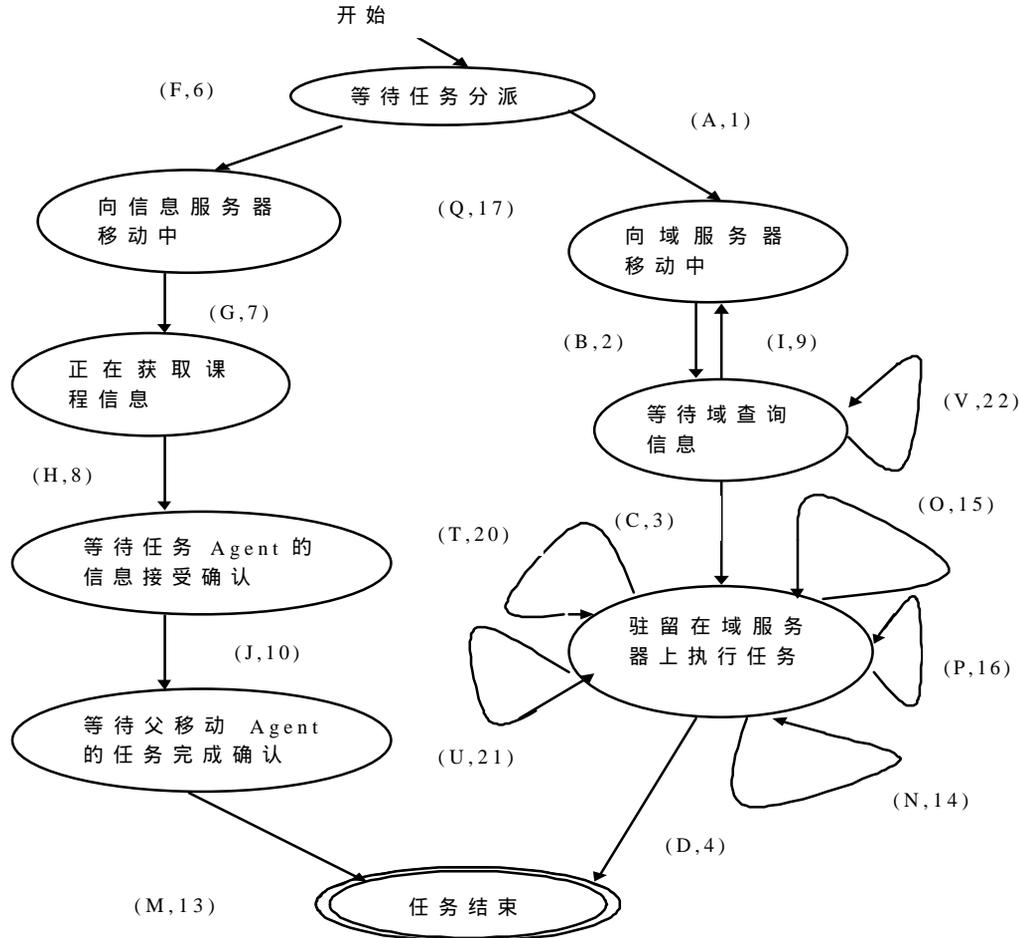


图2 联系查询Agent在先行课查询部分的状态转移

以下是联系查询方式中查询阶段所涉及的一些移动Agent行为：

图2中Agent行为4：联系查询Agent记载完成任务的子联系查询Agent或新任务联系查询Agent，回复子联系查询Agent或新任务联系查询Agent，向任务Agent发送“任务完成”通知。

图2中Agent行为14：记录已完成任务的新任务联系查询Agent，回应它的“任务完成”通知。

图2中Agent行为15：分派先行课查询任务给新任务联系查询Agent。

图2中Agent行为20：记录完成第一次查询的子联系查询移动Agent。

移动Agent行为产生策略如下：

$$\begin{aligned}
 &X_n\{\text{task\_cmpl} = 0, \text{sub\_task\_cmpl} = 0, \dots\} \text{ and} \\
 &X_i\{\text{task\_cmpl} = 0, \text{task\_cmpl} = 0, \text{new\_task\_cmpl} = 0, \} \text{ and} \\
 &A_i\{\text{new\_task\_occur}(A_i)\} \text{ and } I_n\{\text{new\_course\_occur}(K_i)\} \\
 &\rightarrow X_{n+1}\{\text{task\_cmpl} = 0, \text{sub\_task\_cmpl} = 1, \dots\}, A_{n+1}\{\text{new\_task\_dispatch}(A_i)\}.
 \end{aligned}$$

其中，X为状态向量，A为Agent行为，I为行为产生规则的输入，i [1,n-1]。

### 2.3 移动Agent使IMAS-DL具有的特点

用户在学习一门课程时需要的不仅仅是该课程的信息，而是与学习该课程相关的一整套信息，同时课程信息之间的联系具有多样性和可变性。这些情况使得传统的信息系统难以提供有效的解决方式。在传统的信息系统中，用户需要多次不断地介入，根据以前所得到的信息判断下一步的搜索目标，如根据从上一次查询结果中得到的先行课信息决定下一步对什么课程进行查找，根据该课程

的教学资料、学习工具信息决定对哪些学习辅助材料作进一步查找,然后据此向系统提出新的信息查询请求。如此重复,直到获得与所学课程相关的信息集。这样的课程查询方式耗用户的时间和精力,又可能遗漏有用信息。而在IMAS-DL中,用户只需一次性提出学习某一门课程的信息查询请求,系统中的移动Agent会根据课程信息之间的联系自主地对课程以及与该课程学习相关的信息进行全面地搜集,并将它们组织成一个有序的信息集提供给用户。搜索同样一门课程的相关信息集为

$$T_{\text{tradition}} = T_{\text{user}} + T_{\text{system}} = a^N t_{\text{user}} + a^N t_{\text{engine}}$$

$$T_{\text{IMAS-DL}} = T_{\text{user}} + T_{\text{system}} = t_0 + N t_{\text{engine}}$$

式中  $N$ 是课程所涉及的相关信息层数, $a$ 是一个信息查询需求所涉及的相关信息需求数目的平均值, $t_{\text{user}}$ 是用户进行一个简单查询所用的时间, $t_{\text{engine}}$ 是系统进行一个简单查询所用的时间。

信息搜索所用时间与所获得的信息量如图3所示。从图中可以看到在含相同信息量的系统中,由于传统方式需要用户的多次介入,在查询过程中,用户所耗费的时间随着所需的信息量的增加以  $t(n) \sim n^2$  的速度增涨,而IMAS-DL由于只需一次请求,用户所耗时间几乎不随信息量变化。同样,传统方式中整个搜索过程所用的时间因包含用户的分析和操作时间而比IMAS-DL中的查询时间多,相差的部分  $\Delta T(n) \sim n(n-1)$ 。

IMAS-DL中,信息获取任务的主要执行逻辑集中于移动Agent,所以,从信息的获取方式到具体的信息分析和搜索都由移动Agent决定,即由移动Agent的派出者(信息获取者)来决定。而移动Agent可以根据用户所要求的不同的信息类型、信息查询和处理需求、向用户提供信息的方式来安装不同的知识和策略对象,从而不但把计算分布到系统中,而且很好地实现服务的个性化。由于同样的原因,系统功能对分布式信息系统中提供信息的节点依赖性很小,因而无须改变分布式环境,只需要更换或添加移动Agent的策略模块,就可实现不同的系统功能,满足不同的需求。因此,基于IMAS构建的系统具有良好的扩展性和灵活性。

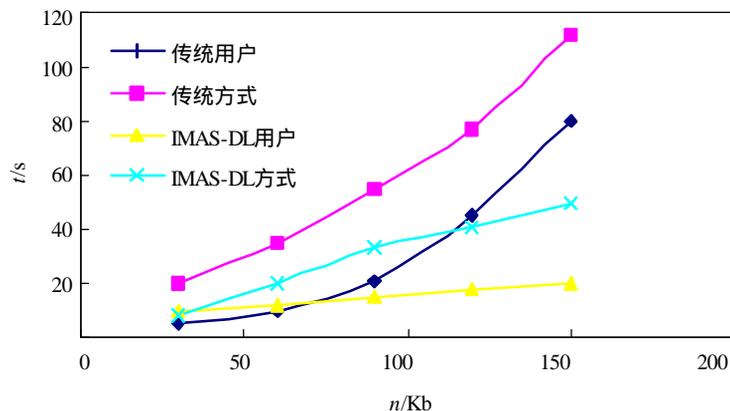


图3 IMAS-DL信息搜索效率

### 3 结束语

IMAS是一个通用的分布式信息系统平台。它的特点是提供了一套基础设施和应用框架,以便于开发基于移动Agent技术的分布式信息系统,并赋予此框架内的移动Agent在信息管理和搜索中所需的知识、策略和意愿,使其具备根据具体环境、信息和目的,自主地进行决策和行为的能力。IMAS-DL是IMAS应用的一个例子,远程教学信息系统的特点也是许多其他类型信息系统共同具有的特点,不同的只是它们的具体表现。针对具体领域的信息特点和需求,制定相应的移动Agent状态集和行为策略就可以基于IMAS实现在不同领域中的应用系统。信息之间的联系以及对信息分析所产生的结果是IMAS智能实现的基础也是其希望达到的目的之一。Agent在信息系统应用中的发展

空间十分广阔, 本文在这方面进行了一些探索, 该系统进一步的工作是研究如何把移动 Agent 工作模型由目前的状态机改进为有规划的行为方式<sup>[6, 7]</sup>, 使信息管理和共享的工作更有效、更智能。

### 参 考 文 献

- 1 Nils J. Nilsson, Artificial Intelligence, A new synthesis. Beijing: China Machine Express, 1998
- 2 史忠植. 智能主体及其应用. 北京: 科学出版社, 2000
- 3 Danny B. Lange and Mitsuru OshiMAS. Seven Good Reasons for Mobile Agents. Communication of the ACM, March, 1999, 42(3): 88-89
- 4 杨 鲲, 刘大有, 郭 欣. 一个具有高度安全性的移动 Agent 系统模板结构, 软件学报, 2002, 13(4): 130-135
- 5 李金厚. 智能 Agent 自我的统一与分离. 电子科技大学学报, 2001, 30(1): 77-81
- 6 张云勇, 刘锦德, 郭维娜. 基于 ACL 的移动 Agent/智能 Agent 互操作插件. 电子科技大学学报, 2001, 30(4): 407-413
- 7 徐德智, 阳绿云, 曾广平. 服务于检索的 Multi-Agent 模型. 计算机工程及应用, 2002, 38(5): 116-118

· 成果与专利 ·

### 光电无源测距装置及其测量方法

发明人员: 刘炎焱 王俊波 吴 健 杨小丽

光电无源测距装置及其测量方法涉及到光电对抗技术, 该方法适用于对机动光电辐射的目标, 尤其是激光辐射源的距离进行光电无源测量。

### 一种辐射式水负载

发明人员: 王文祥 孙嘉鸿 张兆镗 周 鹏

一种辐射式水负载可让波导内传输的微波通过波导终端的辐射口向外辐射, 利用直接连接在辐射口上的水来吸收微波。水室由覆盖在辐射口上的介质薄板与金属空腔构成, 水的密封采用密封橡皮圈, 因而可以做到不破损、无粘结、不漏水、功率容量大, 同时使水负载实现小型化。

· 甬 江 ·