

一种基于 Agent 的移动应用框架设计与应用研究^{*}

马 凯 张小蕾 陶先平 吕 建

(南京大学计算机软件新技术国家重点实验室 南京大学计算机软件研究所 南京210093)

摘 要 随着无线网络的发展和移动设备的日益普及,人们对这种移动计算模式的应用需求逐渐增多,然而目前无线网络和移动设备同传统的固定网络和计算设备相比有很多局限性,基于传统计算模式的软件系统结构无法直接在新型的移动计算环境下应用。本文分析了移动计算环境的特点以及移动应用系统的设计需求,并提出一种基于 agent 的移动应用框架的设计方案,在该框架中我们还引入了中间层结构并且设计了无线交互协议,从而可以更好地适应移动计算的环境,本文最后把该框架应用于一个面向移动用户的服务发现系统中,从而验证了该框架在移动系统环境中具有较高的适应性和良好的使用性。

关键词 移动应用,移动计算,无线,Agent,服务发现

Research on the Design and Application of an Agent-Based Mobile Application Framework

MA Kai ZHANG Xiao-Lei TAO Xian-Ping LU Jian

(State Key Laboratory for Novel Software Technology, Institute of Computer Software, Nanjing University, 210093)

Abstract With the continuous development and popularity of portable information devices and wireless network, the requirements of mobile applications have become more and more popular. However, due to the inherent limitations of wireless network and portable devices, the traditional application model can not be effectively used in the new computing environment. Aiming at the special requirements of the mobile computing environment, we propose an agent-based framework, in which a special application protocol for wireless message communication is designed based on the middleware technology. Finally, the implementation and application effect of the framework is discussed by a service discovery system for mobile users.

Keywords Mobile application, Mobile computing, Wireless, Agent, Service discovery

1 引言

近年来,无线网络技术迅速发展,从802.11、Blue Tooth等的无线局域网,到GPRS、CDMA 1x等的无线广域网,都在逐步地普及。而各式各样的移动计算设备也层出不穷,从Pocket PC、Palm到各式移动通讯设备如寻呼机、手机等。无线网络和移动设备相结合,移动应用正以它灵活便利的优点占据越来越多的市场,下列都可能是未来移动应用的主要目标:移动商务、移动银行、移动游戏、移动资讯点播等。

然而,针对移动设备和无线网络的应用系统相对于传统设备和固定网络中的应用系统有很多局限^[1]:用户的移动随意性会影响应用的效果;手持移动设备都有输入输出不方便、计算能力弱、存储有限等缺点;无线网络覆盖范围小,带宽很低而且连接不稳定;服务和资源主要集中在固定网络中,而这其中的大部分是移动设备无法直接访问和利用的。这些缺陷都可能会制约移动应用的发展。

传统计算设备,如PC、服务器,和固定网络的发展水平是远高于移动设备和无线网络的,基于它们上面的软件系统,由于研究较早和应用广泛,也已相当成熟。但传统计算环境下的系统设计方式不能直接搬到移动计算环境下。比如,传统C/S结构的系统往往基于一个稳定的执行环境^[2],而移动应用环境却有很多不确定性;C/S结构系统中客户机常承担相当一部分的计算任务,但这对移动客户端却很难;在固定网络中,由于网络可靠性较好,客户机与服务器的交互可以直接用Socket方式,不但可以传递轻量级的参数和结果,如RPC,也

可以传递大字节量的对象,如Mobile Agents,而由于网络和设备的局限,移动应用中,更多的是采用异步的交互模式传递少量的信息。

针对移动应用的上述情况,相关的理论和应用的研究也逐渐增多,例如:为移动计算设计怎样的UI^[3],面向移动应用的中间件研究^[4],如何实现移动应用系统中的感知性和适应性^[5],等等。目前,Internet上无线网络和固定网络已经互通,在这样的环境下服务和资源仍然主要分布在固定网络中,而客户应用则同时分散在固定和无线网络中,尤其是无线应用的需求正日益增多。我们认为,如何在这种环境中搭建专门的框架,使得移动用户可以方便获取固定网络中的服务,是很值得研究的。在这篇文章里,我们分析了移动设备和无线网络的特点以及移动应用系统的设计需求,在此基础上提出一个基于Agent的移动应用框架的设计方案,然后把这种框架思想应用在一个服务发现系统中,从而使得移动用户可以便捷地发现并利用网络上的某些服务。

2 移动应用系统的设计需求分析

从前文移动应用的相关背景中我们看到,移动设备和无线网络的结合为移动应用带来了方便却也各有一些局限,这些局限就对移动应用系统的设计提出了许多新的要求。通常,一个完善的移动应用系统所带给用户的总体效果应该是:随时随地都能接入应用系统,操作方便,尽量减少用户的干预,能方便使用动态复杂的计算服务。而一个完整的移动应用主要涉及这几个重要的部分:移动用户、设备、无线网络和应用

^{*} 本文由973项目(No. 2002CB312002)、863项目(No. 2002AA1160101, No. 2001AA113110)、国家自然科学基金项目(No. 60273034, No. 60233010)、江苏省自然科学基金和高技术项目(No. BK2002203, No. BK2002409, No. BG2001012)资助。

服务。下面我们就将从这几个方面来分析一个完善的移动应用系统在设计上所应满足的需求:

·移动用户 1)面向移动用户的系统功能应该比较完备。用户应该只通过移动客户端就可以满足所有功能而不再需要再依赖其它方式,比如,不应该要求用户必须先通过PC和固定网络来注册某Email服务,然后才能利用移动客户端来使用它,但这却是现有部分移动应用系统存在的问题。提供给移动用户使用的系统不应该只作为某些传统应用系统的扩充方式,而要是一个独立的应用系统;2)用户界面要更注重简洁友好。用户随时处于移动状态,比如一边走路一边使用系统,复杂的界面或者操作过程必然导致应用效果的大大降低。

·移动设备 1)现有设备的计算能力通常较差,所以要避免复杂的计算任务;2)界面要以文字为主,辅以少量简单的图形控件。不同移动设备的I/O装置差别很大,界面设计要保证一定的通用性,还应结合设备的具体情况,如屏幕尺寸,输入方式等;3)因为存储容量很有限,设备端程序和本地数据存储量都应该尽可能的小;4)客户端开发环境应选择设备厂商支持较广泛的,这样开发出来的系统兼容性好,可以增加软件系统的复用性,缩短开发周期,降低开发成本。

·无线网络 1)精简设备端与固定网络端的信息传输,这样可以缓解由于较差的无线网络而导致的应用过程的延迟感;2)系统需要有一定的应用中断保护功能,以应对无线网络易中断的问题。

·应用服务 目前网络上提供的服务对于移动应用而言可分为三类:(1)可以直接供移动应用使用的,如WAP服务,这类服务现在非常有限;(2)可以间接使用的服务,如以信息访问为主要内容的服务,或者是一些为特定应用定制的服务,这些是传统应用系统中主要涉及的服务,也是目前移动应用中需求量最大的服务;(3)近期内无法被移动用户利用的服务,如视频点播,这往往是受无线网络和移动设备现状的约束。所以移动应用系统中涉及的主要是前两种服务。

3 移动应用框架的设计

根据前面对移动计算环境特点和移动应用系统的设计需求分析,我们设计了一种基于Agent的移动应用框架,它试图对移动应用系统的设计、部署和实现提供参考。图1展示了这个框架的结构,它主要分三部分:移动客户层、中间桥接层和应用服务层。这个框架的主要设计思想是引入中间层结构、采用Agent技术和遵循无线交互协议。本文下面先介绍框架设计的主要思想,然后具体说明框架的功能和结构设计。

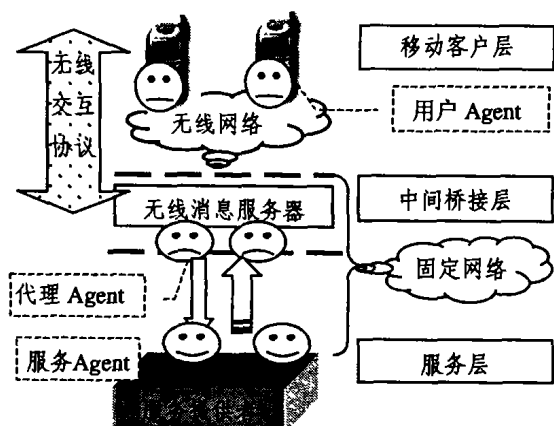


图1 基于Agent的移动应用框架

3.1 移动应用框架的主要设计思想

3.1.1 引入中间层结构 在传统网络上的计算环境中,我们普遍采用的是基于C/S结构的软件体系。这样结构的软件系统往往是基于固定的计算设备和稳定连接的网路,而且现有的很多软件标准让固定客户机可以很方便地访问网路中的应用服务。

然而,在(移动设备+无线网络)+(应用服务+固定网路)的计算环境中,存在诸多局限,作为客户机的移动设备性能很弱,整个网路是复杂而不稳定的,后台的应用服务又大多不能直接访问。要使得移动客户端能够便利地访问固定网路中的应用服务,我们认为有两种解决途径:(1)为移动设备端或者现有服务增加专门的接口,以适应移动计算环境下客户机和服务器直接交互,然而这种方式是不可行的。因为,移动设备种类繁多,系统的不同用户所使用的设备可能差别较大,而移动用户所需要访问的服务资源也是动态多样的,为每个设备或者服务配置专门的接口,这是很繁琐和不经济的做法,况且目前许多移动设备和服务的开放性有限,程序员可能根本无法实现这样的接口;(2)在移动客户端和应用服务之间增加定制的中间层,这个中间层将代替移动客户机对服务进行访问,并将结果相关信息返回给移动客户机,这就为用户屏蔽了后台服务的复杂性。在移动应用环境下,客户机和服务器的计算平台往往是异构的,网路是不稳定的,服务也是动态复杂的,在移动系统中引入中间层不但可以支持移动用户透明地访问固定网路中的某些应用服务,而且还可以设计如下功能:支持用户的动态加入和离开,这充分满足了用户的移动性;支持用户和后台服务的异步交互,实现了时间上的松散耦合;为移动设备端承担部分计算任务和缓存数据,这就一定程度的弥补了设备计算能力弱和存储有限的缺陷。

3.1.2 采用Agent技术 简单来说,Agent是一个能够代表其它实体来执行动作的实体,Agent技术现在广泛应用于计算机世界中可以代表人或者其他程序自动完成一定的任务的领域。经多年研究,南京大学软件新技术国家重点实验室在软件Agent的基本结构、计算模型^[6,7]以及通信机制^[8]、安全机制等方面^[9]都取得了一定的进展,为本文涉及的研究奠定了坚实的基础。

我们在移动应用框架中使用了Agent技术思想,在系统中我们定义了三种Agent,即用户Agent,代理Agent以及服务Agent。它们与运行环境以及其他实体交互,并能够自主完成预先设定的任务。其中:1)用户Agent运行于移动设备中,能根据设备的特点组织人机交互,同时代表用户与无线消息服务器进行交互,以消息的形式向外发出用户的需求任务,并获取任务执行情况以特定的形式表示给用户。2)代理Agent位于固定网络的中间层,它接收用户Agent的任务,负责完成服务的访问,并返回服务结果信息,是移动应用系统中的枢纽,它的存在大大降低了移动用户在应用过程中的参与程度,真正体现了“代理人”的作用。3)服务Agent是服务的代理,它是服务属性描述和服务接口的封装体,有了它,代理Agent与服务的交互就更加容易,而且让服务的设计者在开发的时候只需专注于服务的功能。在移动应用系统中,服务Agent是可选的部件,有时对于一些简单的标准服务,如Email服务,我们只需把代理Agent设计为可直接访问该服务的功能体,而省略了服务Agent的开发。

3.1.3 遵循无线交互协议 鉴于无线网路的特殊情况以及移动客户端和中间层之间平台的差异性,我们为移动端和中间层之间的通讯设计了一个基于XML^[10]、简单、轻量的

无线交互协议。无线交互协议由两部分组成:协议消息体和交互规则。

协议消息体 它是一个树状结构的消息框架,是把交互双方所要传输的数据以类似 XML 的结构封装成一个整体消息。它通常包含消息名,消息节点名和消息结点内容等。为了减少交互过程中的信息传输量,我们在目前的消息设计中只使用了 XML 的命名规则、标记、元素嵌套和字符数据等概念,这也简化了消息体的内容。

交互规则 规则是和应用相关的,它根据具体业务流程定义多组消息体,每组消息体通常都由一个请求消息和一个响应消息构成。一套完整的交互规则体现了系统中的主要数据流。图2给出一组示例消息。

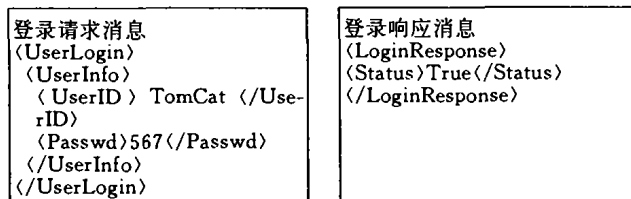


图2 登录协议示例

目前大多数移动设备对网络的支持较弱,通常只支持一些应用层的协议,如 HTTP。这个无线交互协议就是绑定在 HTTP 上来实现移动端和中间层的交互过程,采用这种交互协议有很多优点:

1) 标准化 XML 现在已成为互联网上系统之间传递信息的标准语言,而这个协议正采纳了它的优点,移动设备端和固定网络端的软件平台都对 XML 有很好的支持。

2) 结构化 消息体是一个树状结构,树中节点保持特定层次关系,每个节点用严格的嵌套标记约束消息元素,每个消息元素和系统实际使用的变量有着直接的对应关系。

3) 自描述 消息中每个用来约束信息元素的标记都有特定语义,且节点之间的层次关系也遵循特定语义,这便于程序自动处理的同时也方便人对消息的理解和使用。

4) 处理规范化 这种结构的消息便于程序解析和处理,可参考 XML 解析器的一些现有规范,如 DOM^[11], SAX 等,很容易对消息内的数据进行操作。

每一个移动应用系统都有一个相应的业务流程,系统设计者根据流程以及涉及到的相关数据来设计多组消息体,并在移动端程序和中间层程序中实现消息的处理,如封装和解析。

3.2 移动应用框架的结构设计

3.2.1 移动客户层 移动客户层主要是由移动设备和运行在设备上的用户 Agent 构成,用户 Agent 负责组织人机交互,代替移动用户通过无线网络同中间层平台进行交互。图3是用户 agent 的功能图。我们选择目前被移动设备厂商最为广泛支持的 J2ME^[12]作为开发用户 Agent 的平台,以满足多种移动设备的兼容性。用户通过与具体设备 I/O 状况相适配的界面,控制相应的功能模块,操作简单,更好地支持了用户的移动随意性。用户 Agent 提供了数据的本地存取,这样用户可以在断开网络连接的时候做一些本地处理,然后在网络恢复的时候继续应用的过程。我们从 DOM 中只选择了那些和消息解析密切相关的 API,并用 J2ME 实现,用户 Agent 中的消息处理器则主要由它们构成,在本地数据和结构化消息之间提供封装和解析处理。

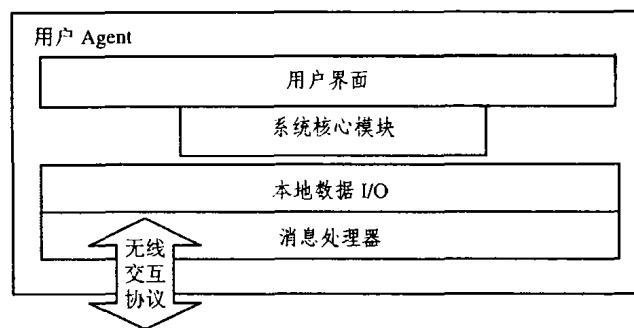


图3 用户 Agent 功能结构图

3.2.2 中间桥接层 中间层是运行在固定网络上能为移动客户端和应用服务之间的交互起到连接和支持作用的软件平台,它主要由无线消息服务器和代理 Agent 组成,见图4。

无线消息服务器 其主要职责是为无线设备和固定网络之间提供消息存储和转发,它的存在将移动用户与服务访问过程解耦。具体地说,无线消息服务器应提供的功能有:

- 无线消息的接收/发送。无线消息服务器与移动设备的交互信息都被组织成格式化的消息,通过无线消息的接收/发送接口实现消息的实际传送。

- 消息管理。无线消息服务器最主要的功能之一,就是为每一次应用的会话过程提供消息解析、暂存以及管理。它将交互消息按应用的会话过程归类存放,当此过程完成之后,它将自动清除该过程的相关纪录。

- 消息存储区。所有的与应用会话过程相关的消息,都以预定义的格式存储在消息存储区,以供应用过程查询使用,物理上可以用文件系统或者数据库系统实现。

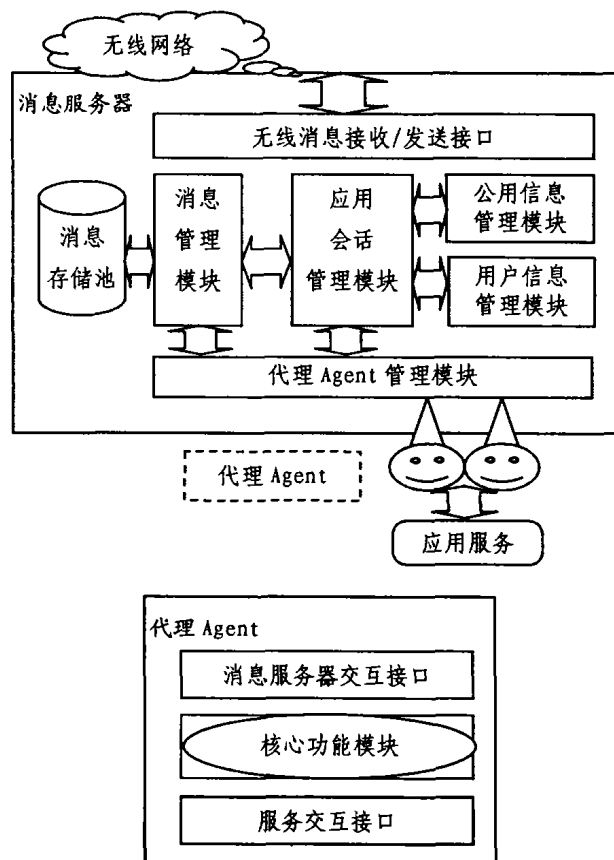


图4 中间层的消息服务器和代理 Agent

- 应用会话管理。无线消息服务器需要为每一次应用建立会话管理档案,包括用户信息,服务信息等等,在每次应用完

成之后将自动或被动清除档案。

·用户信息管理。移动用户欲使用应用系统,必须首先向无线消息服务器注册。无线消息服务器对用户信息进行管理,提供注册,更新,删除等功能。

·公用信息管理。在移动应用系统中,无线消息服务器与用户 Agent,代理 Agent 之间都有交互,所以除用户信息外还需要提供一些和具体应用相关的公共信息,它们可能同应用需要访问的服务有关,公用信息管理负责动态创建和更新这些信息。

·代理 Agent 管理。本系统框架中,服务的具体访问过程是由驻扎在固定网络上的代理 Agent 组织完成的。当一个用户 Agent 接入系统开始一次应用后,消息服务器将根据用户需要触发一个特定的代理 Agent,代理 Agent 同服务进行交互过程中还需要有相关信息的处理,这都需要代理 Agent 管理模块提供一些支持。

代理 Agent 代理 Agent 主要由消息服务器交互接口,服务交互接口和核心功能模块组成。代理 Agent 驻扎在固定网络上,更多的时候是直接建在消息服务器处,不同情况下代理 Agent 与消息服务器交互的实现方式可能不同。核心功能模块是与具体应用有关,如下文提到的服务发现 Agent,其核心模块功能就是组织服务的发现。代理 Agent 通过服务交互接口对服务进行访问。

3.2.3 应用服务层 该层中提到的服务是泛指,可以由网络为应用提供某种特定功能的实体,硬件或者软件,且能

提供相应的接口。它可能是第三方提供的,也可以是为应用系统所特别定制的。如果是一些业已存在的标准服务,如 Email 和 DBMS 等,可以根据实际情况忽略服务 Agent 的设计,而把代理 Agent 设计成可以直接访问这些服务的功能体;如果是和应用密切相关的可定制性较强的服务,建议为这样的服务设计专门的服务 Agent,它提供服务的有关描述,提供标准的接口,负责同代理 Agent 进行功能性交互,这样可以提高服务访问过程的效率。

4 移动应用框架在服务发现系统中的应用

随着计算机的应用日益深入到人类生活的各个领域,未来我们的生存环境中计算将无处不在,这计算主要体现为一系列服务的获取和使用过程。传统的从固定网络使用服务的方式已经比较普遍了,而利用移动设备通过无线网络来访问服务的模式目前尚不多见。本文下面将介绍我们设计的一个面向无线用户的基于 Agent 的服务发现系统(Agent-based Service Discovery System,简称 ABSD 系统),这正是利用了前文描述的移动应用框架的一个示例。

4.1 系统结构和应用过程

图5描述了 ABSD 系统的结构和应用过程。该系统是架设在移动应用框架和 Jini^[13]框架之上的,除了 Jini 的查找服务等模块以外,本系统主要由以下几个部分组成:用户 Agent、无线消息服务器、发现代理 Agent、服务 Agent、需求描述表单库、规则服务器等。

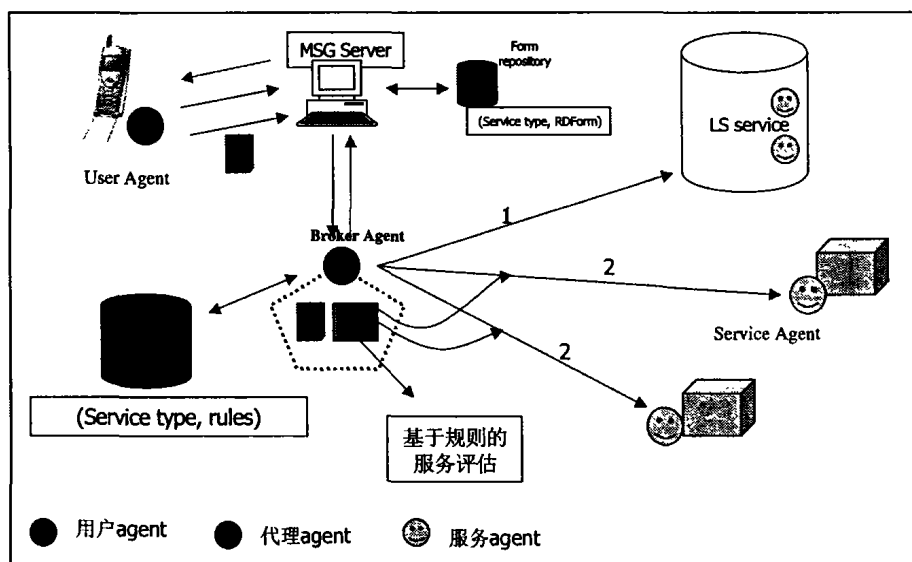


图5 ABSD 系统结构和服务发现过程示意图

简单来说,该系统的服务发现过程是这样的:移动用户通过设备提交服务类型需求,用户 Agent 将需求描述成消息发送给消息服务器;消息服务器接收并解析消息,根据服务类型取得需求描述表单,并反馈给用户 Agent;用户填写好表单再经过消息服务器交给代理 Agent;代理 Agent 将根据描述表单并结合 Jini 的查找服务来查询符合要求的服务 Agent 信息,在查找的过程中还可能利用到服务 Agent 所提供的服务动态信息和服务选择规则,以提高服务查询质量;代理 Agent 最终将服务查询结果通过无线消息服务器返回给用户。下面将只说明该系统中与本文前面提到的框架密切相关的部分,本系统中,用户 Agent 即前面框架中的移动客户端;无线消息服务器和服务发现代理 Agent 则是框架中的中间层;我们

用服务 Agent 封装了 ABSD 系统中的应用服务。

4.2 系统实现的相关情况

我们在 Motorola A6288 PDA 手机上,采用了 J2ME 并结合移动信息设备简表^[14](MIDP 1.0)实现了用户 Agent。移动用户可以利用这个客户端,在任何时间和地点通过中国移动提供的无线 GPRS 网络服务接入 Internet,实现服务的查找。图6是客户端系统运行时的部分功能界面,左边的是用户登陆界面,右边的是服务需求描述表单界面。

在本系统中,我们利用 Mysql 数据库来设计消息缓冲池,采用 Apache TomCat 服务器作为无线消息服务器的核心引擎,其它信息管理模块都是使用 JSP/Java Servlets 实现。移

(下转第44页)

- ACM/IEEE Mobicom'98, Oct. 1998
- 27 Clauser T, Jacquet P, Laouiti A, et al. Optimized Link State Routing Protocols. draft-ietf-manet-olsr-04. txt. June 2001. (work in progress)
 - 28 Ko Y-B, Vaidya N H. Location-Aided Routing (LAR) in Mobile Ad Hoc Networks. In: Proc. of ACM/IEEE MOBICOM'98, Oct. 1998
 - 29 Carter S, Yasinsac A. Secure Position Aided Ad hoc Routing Protocol. In: Proc. of the IASTED Intl. Conf. on Communications and Computer Networks (CCN02), Nov. 2002
 - 30 Hu Y-C, Perrig A, Johnson D B. Ariadne: A Secure On-Demand Routing Protocol for Ad Hoc Networks. In: Proc. of the 8th ACM Intl. Conf. on Mobile Computing and Networking (MobiCom), September, 2002
 - 31 Hu Y-C, Johnson D B, Perrig A. SEAD: Secure Efficient Distance Vector Routing for Mobile Ad Hoc Networks. In: Proc. of the 4th IEEE Workshop on Mobile Computing System and Application

(WMCSA), June, 2002

- 32 Hu Y-C, Perrig A, Johnson D B. Rushing attacks and defense in wireless Ad hoc network routing protocols. In: Proc. of the 2003 ACM workshop on Wireless security (WiSe'03), San Diego, CA, USA, 2003
- 33 Hass Z J, Pealman M R, Samar P. The Zone Routing Protocol (ZRP) for Ad Hoc Networks. draft-ietf-manet-zrp-04. txt. July 2002. (work in progress)
- 34 Hass Z J, Pealman M R, Samar P. The IntraZone Routing Protocols (IARP) for Ad Hoc Networks. draft-ietf-manet-zone-iarp-02. txt. July 2002. (work in progress)
- 35 Hass Z J, Pealman M R, Samar P. The InterZone Routing Protocol (IERP) for Ad Hoc Networks. draft-ietf-manet-zone-ierp-02. txt. July 2002. (work in progress)
- 36 Zhou H. A Survey on Routing Protocols in MANETs; [Technical Report. MSU-CSE-03-08]. Department of CSE in Michigan State University. Mar. 2003

(上接第35页)

动设备端的 J2ME 程序通过 HTTP 协议经由无线网络同中间层进行交互以实现应用过程。

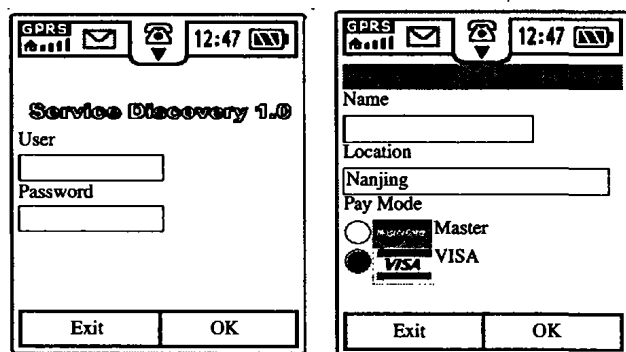


图6 用户 Agent 运行界面

根据系统的应用流程,我们设计了登录,服务请求,表单报告以及结果查询等四组协议。通过交互协议规范了服务发现系统中各模块之间的数据流动。

服务发现代理 Agent 是整个发现过程的中枢部件,它通过和无线消息服务器的交互得到移动用户的有关指令,并同系统中其它部件如服务 Agent 交互,负责组织服务的发现。本系统中,代理 Agent 驻扎在消息服务器上,所以和消息服务器的交互比较方便实现。

我们在此基础上设计了一个发现购书服务的模拟实例,用户可以随时随地通过手机端登录到系统去查询获取购买图书的服务。

我们通过这个实例验证了基于 Agent 的移动应用框架的可行性,并得到了一些和移动应用系统的设计、部署相关的实践经验,为进一步研究奠定了基础。

结论和展望 在本文中,我们仔细分析了无线网络和移动设备的特点,提出了基于 Agent 的移动应用框架的设计方案,并在一个服务发现系统中应用了这个框架设计思想。

无线网络和移动计算设备等相关技术正在不断的发展,关于移动计算领域的研究也越来越多,我们将结合已有工作在以下几个方面作进一步的研究:

1)我们将进一步拓展移动应用的场景。任何一个研究都不能脱离应用,我们拟在移动银行、移动商务等领域部署实现该框架,在应用中我们肯定还会发现一些新的问题,得到一些新的启示,将会对移动系统的框架作改进和补充。

2)移动中间件方面的研究。从本文可以看出,移动应用系统的中间层是非常重要的,我们将尝试把一些新型技术如移动 Agent 技术、MOM 技术等运用到移动应用系统的中间层中,使得移动中间件在面向移动用户的系统中更好地发挥作用。

3)移动应用的安全研究。随着移动应用的日益广泛,移动系统的安全性要求越来越高,而目前,无论在底层无线网络,还是在其上面的移动应用系统,安全性能都还很薄弱,我们将把研究的重点放在后者,将安全特性加到我们的设计框架中来。

参考文献

- 1 Duchamp D. Issues in Wireless Mobile Computing IEEE Computer Society Press, 1992. 2~10
- 2 Gte J, Helal A. Client-Server Computing in Mobile Environments. ACM Computing Surveys, 1999, 31(2)
- 3 Eisenstein J, Vanderdoncki J, Puerta A. Adapting to Mobile Contexts with User-Interface Modeling. In: the 3rd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, Dec. 2000. 83~92
- 4 Mascolo C, Capra L, Zachariadis S, Emmerich W. A Data-Sharing Middleware for Mobile Computing Int. Journal on Personal and Wireless Communications
- 5 Abowd G, Atkeson C, Hong J, et al. A mobile context-aware tour guide ACM Wireless Networks, 1997, 3: 421~433
- 6 陶先平, 吕建, 马晓星, 胡昊. 移动 Agent 系统基准模型的研究. 电子学报, 2002, 12: 2019~2021
- 7 陶先平, 吕建, 张冠群, 李新. 一种新的移动 agent 结构化迁移机制的设计和实现. 软件学报, 2000, 11(7): 918~923
- 8 Feng Xinyu, Cao Jiannong, Lü Jian, Chan H. An Efficient Mailbox-Based Algorithm for Message Delivery in Mobile Agent Systems, Lecture Notes in computer science, 2001, 2240: 135~151
- 9 李新, 吕建, 张冠群, 冯新宇, 曹春, 陶先平. 移动 Agent 的安全性研究. 软件学报, 2002, 13(10): 1991~2000
- 10 XML 1.0 Recommendation. <http://www.w3.org/TR/2000/REC-xml-20001006>
- 11 W3C, Document Object Model (DOM) Level 1 Specification. <http://www.w3.org/TR/REC-DOM-Level-1/>
- 12 Sun Microsystems. Java 2 Platform Micro Edition (J2ME) Technology for Creating Mobile Devices, White Paper, May 2000
- 13 Sun Microsystems. Jini Architecture Specification. <http://www.sun.com/software/jinni/specs/>
- 14 Sun Microsystems. Midp Specification. <http://java.sun.com/products/midp/>