

移动分布式环境下服务适配系统研究*

丛兰兰 金蓓弘 张英

(中国科学院软件研究所软件工程技术中心 北京 100080) (中国科学院研究生院 北京 100080)

摘要 移动环境给分布式资源共享特别是服务发现和资源定位带来了新的挑战。本文分析了移动性给服务发现和资源定位机制带来的特殊性,介绍了具有服务主动适配能力的服务适配原型系统 Service CatalogNet,给出了其中的关键技术:适应移动性需求的支持多样性的服务模型、服务主动适配策略以及基于模糊匹配的服务定位机制。

关键词 移动分布式环境,服务定位,模糊匹配,服务主动适配

A Service Adaptation System in Mobile Distributed Environment

CONG Lan-Lan JIN Bei-Hong ZHANG Ying

(Technology Center of Software Engineering, Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

(Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract Mobile environment has brought challenges to resource-sharing, especially at service discovery and resource location. This paper analyzes the characteristics stemmed from mobility to service discovery and resource location, and then introduces our prototype system Service CatalogNet, which enables proactive service adaptation for both device mobility and user mobility. This paper also presents the key points in the prototype, including service model for variety services and mobility requirements, proactive service adaptation method and location mechanism based on fuzzy matching.

Keywords Mobile distributed environment, Service location, Fuzzy matching, Proactive service adaptation

1 引言

分布式网络环境是当前实现资源共享和用户协作的基础。服务提供者可在网络上共享服务资源,服务请求者可通过网络发现和访问自己所需的服务。移动环境给分布式资源共享带来了新的机遇和挑战。移动环境通常具有如下一些特点:(1)移动设备存储、处理能力弱;(2)无线连接带宽有限,且连接不稳定;(3)用户与设备具有移动性。考虑到设备的存储、处理能力和无线网络正随着技术的发展不断增强,我们认为移动性将成为移动分布式环境的根本特性。由于移动性打破了传统分布式系统对计算环境的假定,使得传统的服务发现和访问机制不能满足无线应用的需求,例如,移动的服务资源提供者可能引起共享服务资源的变动,而移动的服务请求者又会带来动态变化的服务需求,因此,有必要研究移动分布式环境下的服务发现和资源定位及访问机制。

本文通过服务适配原型系统 Service CatalogNet,提出了一种具有主动自适应能力的服务定位和访问策略,以解决移动分布式环境下的服务适配问题。

2 相关工作

已有一些研究工作^[1]针对移动分布环境下的服务发现和资源定位问题,提出了一些较成熟的协议或框架。

Jini^[2]的查找服务(Lookup Service)支持分布式系统中的服务发现和查询。它使用属性-值对描述服务,用户使用服务

模板查询服务。UPnP(Universal Plug and Play)设备体系结构^[3]是针对包含智能家电、无线设备和各种 PC 的普适对等网络环境设计的。使用 UPnP 技术,一个设备能够完全自主地动态加入网络,获取 IP 地址,传达自身能力以及获取其它设备的存在和功能,并且设备之间可以直接地互相通信。UPnP 没有采用中心服务存储,而是利用多播消息来广播服务信息和查询服务资源。UPnP 使用 XML 描述设备特征和能力,与 Jini 的服务描述相比,XML 描述文件可以包含复杂的描述信息。SLP (Service Location Protocol)^[4]是一个适用于一定场所内的分布式、轻量级、可扩展的服务发现协议。SLP 可以在服务查询中使用布尔操作符、比较操作符以及子串匹配等,提供了比 Jini 更为强大的查询匹配功能。

INS(Intentional Naming System)^[5]是针对动态移动网络的资源发现和服务定位系统。INS 采用了基于属性和值的描述语言描述所要查找的资源,利用 Name-specifiers 来描述属性-值对及它们之间的依赖和正交关系。INS 解析器构造了一个基于生成树的应用层覆盖网络,通过延迟绑定机制将名字解析和消息路由的过程集成在一起,屏蔽了服务节点地址变化给客户请求带来的影响。INS/Twine 系统^[6]是 INS 系统在 P2P 环境的拓展,其中,服务资源和客户查询均采用 AVTree (attribute-value tree)的形式描述,INS/Twine 提出了 strand-splitting 算法用于资源的存放和查询(包括部分查询)。SDS(Service Discovery Service)^[7]是 Berkeley 提出的一个安全的、容错的、可扩展的服务发现框架。它也采用 XML

* 本文研究得到国家重点基础研究发展规划 973 资助项目(编号 2002CB312005)的资助。丛兰兰 硕士研究生,研究方向:分布式计算、软件工程;金蓓弘 博士,副研究员,研究方向:分布式计算、软件工程;张英 硕士研究生,研究方向:分布式计算、软件工程。

描述服务和查询条件,其中,特别考虑了代价、性能、位置、设备特定的能力和服务特定的能力等因素,同时采用了高效的 XML 搜索引擎 XSet 完成服务查找。

上述研究均未考虑移动环境下的服务失效和非最优化问题,即在移动环境下,设备和用户的移动会造成用户对服务资源需求的动态变化,会引发已知服务的失效和非最优化;上述系统均不能针对服务失效和非最优化现象进行服务的主动适配。此外,网络环境下服务资源的多样性带来了服务信息描述和查询的复杂性,而上述框架中大多采用的精确匹配的服务查询方式限制了其在实际环境中的可行性。本文对移动分布式环境下的服务适配系统进行了研究,介绍了服务适配原型系统 Service CatalogNet,并给出了其中的关键技术,主要包括:支持多样性的服务模型、支持移动性的服务主动适配策略和基于模糊匹配的服务定位机制。

3 系统体系结构

我们针对移动环境下的服务适配问题,构建了服务适配原型系统 Service CatalogNet。服务提供商和服务请求者是系统的使用者。服务请求者通过客户软件提交服务查询请求,完成对服务资源的查询和调用功能。服务提供商需要获知 Service CatalogNet 系统提供的对外访问接口(即 URL),通过浏览器注册服务资源信息。同时,服务提供商也是在分布式环境下提供共享服务资源的实体。

Service CatalogNet 采用客户/多服务器结构。其中,服务器(我们称之为代理服务器)位于有线网络之上,多个代理服务器在逻辑上构成应用层的覆盖网络。客户可以位于有线网络上,也可以位于无线网络上。

Service CatalogNet 中,代理服务器软件负责维护覆盖网络的拓扑结构,与客户软件交互并向服务提供商提供访问接口,它包含服务信息管理、服务查询、查询转发、服务复制、网络拓扑信息维护、用户信息管理六个组件。其中,服务信息管理组件提供服务注册与更新功能,并存储服务资源描述。我们采用基于“软状态”的服务资源维护机制,即,服务资源提供“生存期”信息,超过“生存期”的服务资源将自动失效并从代理服务器节点上删除。采用这种机制,可以为代理服务器节点上服务描述的有效性提供一定的保障,避免了在代理覆盖网络中存放大量无效的服务信息,同时省去了服务提供商注销服务信息的烦恼;服务查询组件侦听并接受用户的查询请求,与本地存储的服务资源进行匹配,匹配成功则向用户返回与用户环境匹配的查询结果,否则将查询请求送查询转发组件;查询转发组件负责在代理覆盖网络上按照“最近”原则转发本地未匹配成功的用户查询;服务复制组件对代理服务器节点上的服务查询和匹配情况进行记录和分析,将服务资源信息向用户请求密集节点复制,以更快地满足用户的查询请求,提高查询效率。用户信息管理组件负责存储、管理和查询用户描述与服务定制信息,监控用户位置变化,完成服务重定位功能,为用户移动性提供支持。网络拓扑信息维护组件负责构建和维护网络拓扑结构所需信息。

Service CatalogNet 中,客户软件主要包含服务管理、服务调用、上下文信息监控和用户交互四个组件。其中,服务管理模块是客户软件的核心部分,它主要用于:

- 与上下文信息监控组件交互,接受客户位置变化信息,

查询有无因位置变化而失效的服务,透明地发送服务重定位消息,获取恰当的服务资源,以实现服务的透明适配;

- 与用户交互组件连接,接受用户输入的查询,发送查询请求,接收相应的查询结果信息;

- 保存用户请求和使用的服务资源,提供对服务资源信息的查询和管理操作。

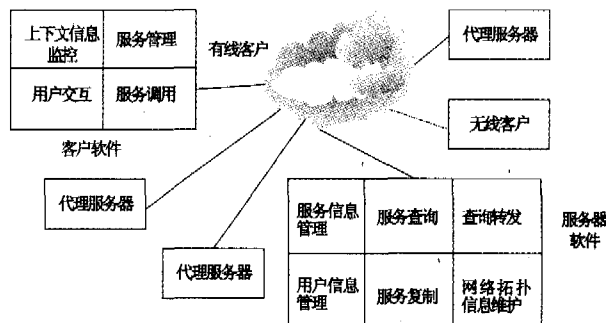


图 1 Service CatalogNet 体系结构

4 关键技术

移动分布式环境下的服务适配系统 Service CatalogNet 主要研究服务资源的定位和访问机制在移动环境下的扩展,以及支持设备移动性和用户移动性的服务资源主动适配策略。针对现有的移动分布式环境下服务资源发现协议及框架的不足,我们重点对支持多样性的服务模型、支持移动性的服务主动适配、基于模糊匹配的服务定位机制进行了研究。

4.1 支持多样性的服务模型

网络分布式环境中服务资源具有多样性和异构性的特点,因此一个完善的服务资源适配系统需要能够提供对多样性服务资源的支持。我们提供了基于 XML 的统一的服务资源描述方式与访问支持。其中,服务资源描述涵盖两类信息:

- 一类是服务的基本属性信息,以固定标签(tag)和结构进行标识。此类信息包括:服务注册信息、服务分类和访问模式、服务内容描述(含关键字)、服务使用信息(含使用代价和服务“生存期”),以及服务的上下文相关信息。

我们将可共享的服务资源分为三种类型:(1)第一类是可以直接复制和访问的文档或软件资源,如:MP3 文件、视频文件以及可在客户端设备上独立运行的游戏等;(2)第二类是提供资源或应用访问点信息的资源,如:IP 地址、URL 或者 WSDL 文件等;客户获取资源和应用的访问点信息后,需要自行完成对服务资源的调用;(3)第三类是需要通过客户程序进行联网访问的服务资源,例如,联网游戏,SOA 应用等。我们把调用此类服务资源所需要的客户程序统一称为“服务代理程序(Service Stub)”。

针对上述 3 种不同类型的服务资源,我们提供了两种不同的服务调用方式:(1)直接调用方式:对第一和第二类服务资源,由服务提供商注册服务时将其保存在代理覆盖网络中,在用户查询匹配成功时提供下载。用户可以在下载后利用浏览器、MP3 播放器、Picture Viewer 等设备附带的工具完成对服务资源的使用。其示意图如图 2a 所示。(2)间接调用方式:对第三类服务资源,由服务提供商注册服务时上传 Service Stub,用户请求服务时下载 Service Stub。用户借助于 Service Stub 完成对服务资源的调用,这种方式可以屏蔽调用

方式的异构性和通信机制的复杂性。其示意图如图 2b 所示。

我们支持服务的多种上下文相关信息,包括适用地理范围(文字描述的位置信息, GPS 数据和偏差范围)、适用设备的属性(设备类别, 设备显示属性, 设备内存大小、处理能力、电源能力)、网络带宽要求等。上述全面的上下文信息, 是进行上下文感知服务适配的基础。

另一类是服务提供商的自定义信息, 用于更精确地描述服务属性、特征, 如打印服务的彩色打印支持、打印分辨率等。此类信息往往与服务类别相关, 难以利用固定标签和结构的方式描述, 通过提供灵活的服务属性自定义功能, 可以更好地支持多样性的服务资源。此外, 系统还提供了同义词词表和可配置功能, 服务提供商可以方便地定义自己所需的属性描述标签和结构, 并在同义词词表中添加相关条目, 以方便用户查询。

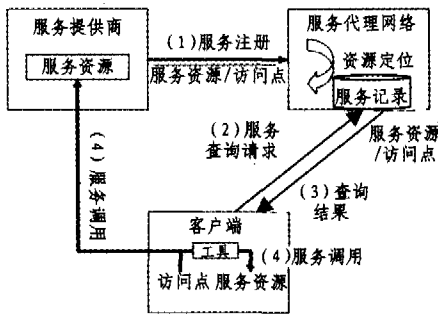


图 2a 服务直接调用方式示意图

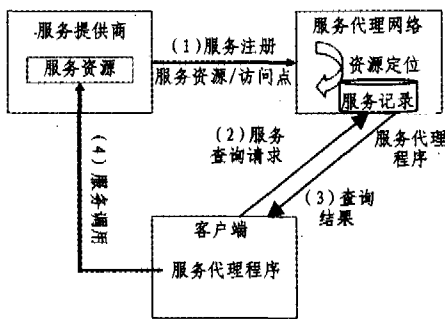


图 2b 利用服务代理程序的服务间接调用方式示意图

4.2 移动性条件下的服务主动适配

在移动环境下, 设备和用户的移动会造成用户对服务资源需求的动态变化, 从而引发已知服务的失效和非最优化。针对设备移动性, 我们实现的服务主动适配算法如下:

服务适配算法一(设备移动性支持):

```

(Service)
  (Desc) Tour Guidance Service(/Desc)
  (Place) Forbidden City (/Place)
  (Effect) Audio(/Effect)
  (Language)
    Multi-language Support
    (including; English, French, Italian)
  (/language)
(/Service)
    
```

图 3a 故宫向导服务描述片断

资源描述与客户请求服务时对自身需求的描述很难精确一致, 因此基于精确匹配的服务查询策略往往容易错过一些看似不匹配实则匹配的服务资源。例如: 故宫提供的一个游

- Step 1: 客户端的上下文信息监控模块通过 GPS 设备, 按时间间隔 Δt_1 定期获取 GPS 位置数据 $Loc(Latitude, Longitude)$;
- Step 2: 上下文信息监控模块计算 Δt_1 时间内 GPS 位置数据的变化率 $\Delta Loc(Latitude, Longitude)$, 当 $\Delta Loc(Latitude, Longitude) \in \epsilon$ 或发送时间间隔 $\Delta t + \Delta t_1 \geq \theta$ 时, 上下文信息监控模块将当前位置数据 $Loc(Latitude, Longitude)$ 发送给服务管理模块, 同时置 $\Delta t = 0$; 否则, $\Delta t = \Delta t + \Delta t_1$;
- Step 3: 服务管理模块利用接收到的 GPS 位置数据 $Loc(Latitude, Longitude)$, 查询客户端因位置变化而失效的服务集合 $Set(InvalidServ_i)$;
- Step 4: 若 $Set(InvalidServ_i) = \emptyset$, 返回; 否则, 继续执行;
- Step 5: 对于 $gSet(InvalidServ_i)$ 中的每一个 $InvalidServ_i$, 循环执行下列步骤:
 - Step 6: 从客户端的服务信息记录中抽取 $InvalidServ_i$ 的查询条件 $Query_i$, 用当前 GPS 位置数据 $Loc(Latitude, Longitude)$ 替换 $Query_i$ 中的位置属性值, 生成新的查询条件 $NewQuery_i$;
 - Step 7: 向服务代理网络发送带有查询条件 $NewQuery_i$ 的新的查询请求, 等待查询结果返回;
 - Step 8: 若查询结果返回匹配的服务资源 $Service_j$, 则将其替代失效资源 $InvalidServ_i$, 并通知用户新环境下的匹配结果, 跳出本次循环;
 - Step 9: 否则, 通知用户 $InvalidServ_i$ 失效, 且在当前环境中无法找到合适的可替代资源。

采用上述算法, 带有 GPS 设备的客户端能够智能地感知到自身位置的变化, 检测失效服务, 透明地向服务代理网络发送服务重定位消息, 寻找当前环境下匹配的替代服务, 因此具有很好的服务主动适配能力。

支持用户移动性的服务适配算法如下:

服务适配算法二(用户移动性支持)
感知用户位置变化:

- Step 1: 服务代理网络将用户登录的位置信息 $\Delta Loc(Latitude, Longitude)$ 与用户上次登陆位置相比较, 若变化在一定范围之内, 即: $\Delta Loc(Latitude, Longitude) < v$, 则返回; 否则, 继续下列步骤;
- Step 2: 服务代理网络查询用户信息索引, 抽取记录用户申请服务信息的代理节点集合 $Set(Server_i)$;
- Step 3: 将用户 id 及其当前位置数据 $\Delta Loc(Latitude, Longitude)$ 发送给 $Set(Server_i)$ 集合中的每一个代理节点; 更新服务;
- 1: 节点接收到上述操作 Step 3 中发送的相关信息后, 在该用户的申请服务记录中, 查询因位置变化而失效的服务集合 $Set(InvalidServ_i)$;
- 2: 若 $Set(InvalidServ_i) = \emptyset$, 返回; 否则, 对于 $Set(InvalidServ_i)$ 中的每一个 $InvalidServ_i$, 循环执行下列步骤:
 - 3: 从服务申请记录中抽取 $InvalidServ_i$ 的查询条件 $Query_i$, 用当前 GPS 位置数据 $Loc(Latitude, Longitude)$ 替换 $Query_i$ 中的位置属性值, 生成新的查询条件 $NewQuery_i$;
 - Step 4: 在服务代理网络中匹配和传递带有查询条件 $NewQuery_i$ 的新的查询请求, 寻找匹配结果;
 - Step 5: 若匹配到合适的服务资源 $Service_j$, 将其替代失效资源 $InvalidServ_i$, 并通过用户新环境下的匹配结果, 跳出本次循环;
 - Step 6: 否则, 通知用户 $InvalidServ_i$ 失效, 且在当前环境中无法找到合适的可替代资源。

采用上述算法, 利用服务代理网络监控客户端位置变化, 检测失效服务, 重新定位合适的服务资源, 因此在用户移动性条件下也提供了很好的服务资源动态适配能力。

4.3 基于模糊匹配的服务定位

为了查询满足用户需求和上下文环境的服务资源, 我们采用 XML 描述服务资源和客户查询条件。服务描述文件在代理服务器节点上被进一步构建成 DOM 树, 而服务查询条件被包装成 XPath 表达式。若匹配成功, 则返回相应的服务资源标识, 供用户下载和使用服务。

```

/Service[Place="Forbidden City"]
[Desc="Tour Guidance Service"][Language="French"]
    
```

图 3b 法国游客查询向导服务的 XPath 表达式

客向导服务(见图 3a)与法国游客所需的游客向导服务(见图 3b)在描述上存在如下一些匹配“不精确”之处, 若采用传统的

(下转第 108 页)

作更细致的设置。需要完成的主要工作包括:第一,创建网络初始化线程;第二,调用初始化函数 NC_SystemOpen()。该函数完成对协议栈及其所需要的内存的初始化;第三,创建系统配置,该系统配置用于对协议栈的控制和管理,可用 CfgNew()和 CfgLoad()等函数操作;第四,调用 NETCTRL 函数 NC_NetStart()启动网络。NC_NetStart()函数的参数中包含三个回调函数指针,分别处理“Start”、“Stop”和“IP Address Event”事件,其中“Start”和“Stop”只执行一次,“IP Address Event”则响应每次 IP 地址的变化。由于 NDK 已经提供了完整的 TCP/IP 库函数,程序员开发的代码只须按需要进行配置即可。

参 考 文 献

1 李方慧,王飞,何佩琨著. TMS320C6000 系列 DSPs 原理与应用

(第 2 版). 北京:电子工业出版社,2003

- (美)Incorporated TI 著, TI DSP 集成化开发环境 (CCS) 使用手册. 彭启琮,张诗雅,常冉,等编译. 北京:清华大学出版社,2005
- TMS320DM642 Video/Imaging Fixed-Point Signal Processor Manual. May 2003. Texas Instruments Incorporated
- DSP/BIOS Workshop: A Real-time Software Designer's workshop (student guide). July 2003. Texas Instruments Incorporated
- Texas Instrument. TMS320C6000 Chip Support Library API Reference Guide, June 2003
- Wiegand T, Sullivan C J, Bjontegaard G, Luthra A. Overview of the H. 264/AVC Video Coding Standard. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, July 2003

(上接第 99 页)

精确匹配策略,很难匹配成功:

- 处于正交关系的“Desc”和“Place”属性颠倒,这需要“对称翻转匹配”策略的支持;
- 服务查询条件中缺少“Effect”属性描述,这需要“部分匹配”策略的支持;
- 查询表达式与服务描述中“Language”属性值虽有语义包含关系,但无法精确匹配,这需要“模糊匹配”策略的支持。

基于 XPath 的查询很好地解决了“对称翻转匹配”与“部分匹配”的问题。但“模糊匹配”却因为常常与语义相关,尚未被现有的服务发现和定位相关工作所涉及。我们为提高服务定位过程的准确性和效率,引入了如下基于模糊匹配的服务查询策略:

(1)为服务描述中的每个属性根据属性重要性及对匹配精确度的要求设置一个权重值 W ,取值于 $[0,1]$ 区间,其中,固定标签的服务属性通常定义一个较大的权重值,而自定义标签的属性通常定义一个较小的权重值,易精确匹配的服务属性,如服务类型通常赋予较大的权重值,而难于精确匹配的服务属性,如服务描述通常赋予较小的权重值;

(2)匹配过程中,对每个属性的匹配程度 M 提供形式化度量, M 也取值于 $[0,1]$ 区间:

a)对于服务描述中出现,而查询条件中未出现的服务属性,设置匹配程度 $M=1$,以提供对部分查询的支持;

b)对于数值描述的服务属性,提供属性标准值 v 及偏差范围 π ,若查询条件中属性取值为 λ ,则以 $M=1-|\lambda-v|/\pi$ 计算属性匹配程度;

c)对于文字描述的服务属性,假设服务描述中属性值字符串长度为 l_1 ,查询条件中属性值字符串长度为 l_2 ,计算属性描述与查询条件的最大匹配子串,设其长度为 l_3 ,则属性匹配程度 M 可以通过如下公式计算:
$$M = \sqrt{\frac{l_3}{l_2} * \frac{l_3}{l_1}} = \frac{l_3}{l_1 * l_2} * \sqrt{l_1 * l_2}$$

(3)设置属性权重值的边界值 ω ,对于 $W \geq \omega$ 的所有属性,其匹配程度 M 不得小于阈值 ϵ ;若 $W \geq \omega$ 且 $M < \epsilon$,则认为该属性节点匹配失败,匹配过程结束。

(4)若遍历了 XPath 表达式的所有查询条件,均未匹配失败,则计算总的查询匹配相似度 $Z = (\sum_{i=1}^N (W_i * M_i)) / N$, N 为服务描述中总的属性个数。设定匹配相似度阈值 k ,若 $Z \geq$

k ,则认为找到了与查询条件相匹配的服务资源,其匹配相似度为 Z 。

(5)按匹配相似度由大到小的顺序向用户返回匹配的服务资源,供用户选择。

采用上述模糊匹配策略,可以弱化服务信息描述与用户请求描述无法精确一致带来的影响,提高服务资源匹配的 success 率和准确性。

小结 本文分析了移动环境对分布式条件下服务资源定位和访问机制带来的影响,介绍了一个在移动性条件下、具有服务资源主动适配能力的服务适配系统:Service CatalogNet,研究了其中的关键技术问题。服务适配系统在广域网环境下的扩展,具有分级结构的代理覆盖网络,以及代理服务器上的并发访问、负载均衡和失效恢复机制将是我们的继续研究的重点。

参 考 文 献

- Lee Choonhwa, Helal S. Protocols for Service Discovery in Dynamic and Mobile Networks. International Journal of Computer Research, 2002, 11(1):1~12
- Sun Microsystems. Jini Community Resources; Jini Technology Architectural Overview. January 1999. <http://www.sun.com/jini/whitepapers/architecture.html>
- Microsoft Corporation. Universal Plug and Play Device Architecture Version 1.0. June 8, 2000. <http://www.upnp.org/download/UPnPDA10-20000613.htm>
- Guttman E. Service Location Protocol: Automatic Discovery of IP Network Services. IEEE Internet Computing, 1999, 3(4):71~80
- Adjie-Winoto W, Schwartz E, Balakrishnan H, et al. The Design and Implementation of an Intentional Naming System. 17th ACM Symposium on Operating System Principles (SOSP'99), published as Operating System Review, 1999, 34(5):186~201
- Balazinska M, Balakrishnan H, Karger D. INS/Twine, A Scalable Peer-to-Peer Architecture for Intentional Resource Discovery. In: Proceedings of the First International Conference on Pervasive Computing. Switzerland, August 2002. 195~210
- Czerwinski S E, et al. An Architecture for a Secure Service Discovery Service. In: Fifth Annual International Conference on Mobile Computing and Networks (MobiCom '99). Seattle, WA, 1999. 24~35