

SIGSDP:一种普适环境下服务信息导向的服务发现协议^①

马千里^{②*} 廖明宏^{*} 姜守旭^{*} 高振国^{***} 徐文旭^{*}

(^{*} 哈尔滨工业大学计算机科学与技术学院 哈尔滨 150001)

(^{**} 山西大学计算机与信息技术学院 太原 030006)

(^{***} 哈尔滨工程大学自动化学院 哈尔滨 150001)

摘 要 针对现有服务发现协议存在的问题,提出了一种普适环境下的服务信息导向的服务发现协议——SIGSDP。该协议基于普适环境下的服务发现协议 GSD(一种适用于无线自组网的基于群组的服务发现协议)的思想,提出服务请求转发基于服务群组下的服务信息思想,使得节点转发服务请求时能准确选择转发节点,避免不必要的转发。理论分析和仿真实验证明 SIGSDP 大大减少了服务请求包数量和服务响应时间,提高了服务发现效率。

关键词 普适计算, 服务发现, 基于群组, IEEE 802.11

0 引 言

普适计算(pervasive computing)环境下,大量分布系统的计算元件会随时间而动态地变化,缺少固定基础设施的支持成为普适环境的一种自然现象,这就导致需要依靠其他设备获得资源^[1],因此服务发现(service discovery)成为普适环境下的一个重要研究课题。服务发现是把服务消费者和服务提供者联系起来的纽带^[1],是在网络环境中发现必须使用的服务的能力。服务发现协议是一个能够发布和发现网络中可用服务的交换信息集合,高效的服务发现协议可以减少服务发现时间,降低服务发现代价,提高服务发现效率。普适计算环境的动态、异质的特点使得服务发现协议必须具有高度的自治性,在动态多变的环境中能够及时检测可用资源的变化,随时随地提供需要的服务和信息,而不需要人为进行干预。

目前,在服务发现方面已经出现了许多学术和工业研究成果,但有线网络环境下的服务发现协议 UPnP(通用即插即用协议)^[2]和 UDDI(通用描述、发现和集成协议)^[3]等不适于易变的无线环境,而基于无线网络环境的服务发现协议也存在着许多问题,如 Konark^[4]采用的广播机制造成了大量的带宽和能量消耗,协议 Service Rings^[5]需要建立和维护多层网

络结构,GSD(一种新型的基于群组的(group-based)分布式服务发现协议)^[6]和 PCPGSD(一种改进的GSD协议)^[7]则采用分组的方式对节点进行划分,既造成了服务匹配的不准确,又产生了大量冗余的信息包。本文提出一个新的服务发现协议——服务信息导向的服务发现协议(service information guided service discovery protocol, SIGSDP),该协议继承了GSD协议基于群组的智能转发和广播包 P2P 缓存的优点,提出了服务信息导向的(service information guided, SIG)设计思想,使得服务广播包中不仅包含了服务器节点 d -跳邻居节点的服务群组,还包含其服务信息,因此服务请求包能智能地转发到既满足服务群组要求又满足服务信息要求的节点,提高了服务发现效率。

1 GSD 概述

普适环境下的服务发现协议 GSD 是基于群组的分布式服务发现协议,它将服务广播与服务请求的广播结合在一起,服务广播基于 P2P 缓存,服务请求则采用基于群组的智能转发技术。GSD 将节点的服务按功能分成几个服务群组,每个群组中包含多种不同的服务信息。每个节点广播其拥有的服务到 d -跳的邻居节点,广播包中除该节点拥有的服务信息描述外还包括其周围所有邻居节点具有的服务信

^① 国家自然科学基金(60703090)资助项目。

^② 女,1969年生,博士,副教授;研究方向:普适计算,服务发现;联系人, E-mail: mymql123@163.com
(收稿日期:2008-06-20)

息所属的服务分组的列表,收到广播的节点根据存储的服务分组来智能地将服务请求转发到有可能发现服务的节点。

尽管 GSD 有很多优点,但仍存在着需要重新考虑的问题:当没有匹配成功的服务请求包需要被转发时,当前节点会根据本地服务信息缓存器(service information cache, SIC)的内容来选择那些其邻居节点中包含服务请求所属的服务分组的节点作为转发节点。由于每个服务分组可能包含多个不同的服务信息,服务分组满足要求并不代表服务信息就一定满足要求。当转发节点的 d -跳邻居节点中的服务信息与服务请求需要的服务信息不相同,向该节

点的转发将是多余的,并不会产生正确的匹配,这种情况的转发应该被去除。

2 SIGSDP 协议

2.1 SIGSDP 的数据结构

与 PCPGSD 协议相比, SIGSDP 协议在服务广播包和 SIC 的其他分组(other group)域中增加了信息标识(info id)子域,使得节点能准确选择与服务请求的服务信息相匹配的节点作为转发节点,提高匹配效率。SIGSDP 的部分数据结构如图 1 所示,修改的域用黑体字表示。

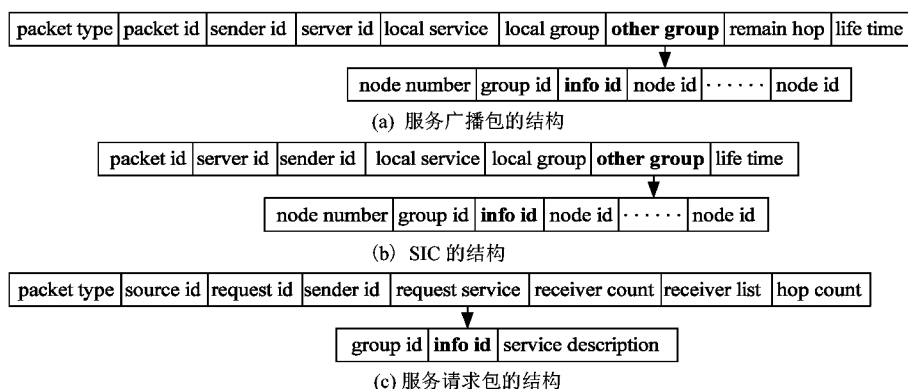


图 1 SIGSDP 的部分数据结构

2.1.1 服务广播包的结构

服务广播包在 other group 域中增加了子域 info id,用于存储服务分组下的服务信息,使得广播节点能将其 d -跳范围内的邻居节点包含的服务信息通知接收广播的节点。SIGSDP 服务广播包结构显示在图 1(a)中。

packet type 指信息包的类型;packet id 用于区别同一节点发出的不同广播包,节点每发出一个广播包,该值自动加 1;sender id 指广播包的当前发送者;server id 表示产生广播包的节点,即服务器节点;local service 存储服务器节点所提供的服务的详细描述;local group 是服务器节点具有的服务信息所属的服务分组;other group 存放着产生广播的节点的 d -跳邻居节点所具有的服务信息和服务分组,以及拥有这些服务信息的节点列表;remain hop 指广播包还能传送的跳数;life time 是广播包的生命期。

2.1.2 SIC 的结构

SIGSDP 协议对 SIC 的 other group 域进行了相应修改,增加了 info id 子域以存储广播信息的相应域,在服务请求智能转发时作为选择转发节点的依据。当节点产生新的服务广播包时,也需要参考 SIC 的

内容。SIC 的数据结构如图 1(b)所示,其各域的意义同服务广播包。

2.1.3 服务请求包的结构

服务请求源于其应用层需要某项服务的节点,当该节点在本地缓存中没有找到匹配的服务时就会发出服务请求包。SIGSDP 的服务请求包结构如图 1(c)所示。

packet type 表示信息包的类型;source id 指发出该服务请求包的节点;request id 用于区别同一源节点发出的不同服务请求包;sender id 指该服务请求包的当前发送者;receiver count 指的是该服务请求包被当前节点转发后将要经过的节点数,而这些接收节点的列表被存放在 receiver list 域中;hop count 是该包被传送的跳数;request service 包含多个子域,group id 表示请求的服务所属的服务分组,info id 存储请求服务的信息标识,service description 用于描述请求的服务。这里服务信息标识 info id 可以适用于任何 Web 服务类型,只要将所有可能的 Web 服务都对对应到一个不同的编号即可实现对不同类型 Web 服务的查找。

2.2 SIGSDP 协议的设计思想 SIG

2.2.1 SIG 算法的主要思想

基于群组的服务发现协议在服务请求包转发时会根据当前节点 SIC 中存储的广播信息来确定转发节点,即 SIC 入口中哪个节点包含的服务信息所属的服务群组与服务请求信息所属的服务群组相同就将该节点作为服务请求包的下一跳转发节点。但当该转发节点所对应的服务信息与服务请求的信息不一致时,显然向该转发节点的转发就是错误的、无意义的,不会产生正确的匹配。由于服务请求包在转发时只基于服务群组,可能造成服务请求包在转发达到最大跳数时都不能产生真正的匹配,最后只好丢弃,这就造成了大量的有限资源的浪费。因此, SIGSDP 在服务广播包和 SIC 的 other group 中增加了

info id 子域,用来存储节点 d -跳邻居节点的服务信息标识。当确定服务请求包的转发节点时,不仅节点的服务群组必须满足要求,节点的服务信息也要满足要求,这样的转发节点才是真正应该转发服务请求的节点。SIGSDP 在转发节点选择时将选择条件不仅对应到服务群组,而且详细对应到服务群组下的服务信息,大大减少了不必要的服务请求包的转发,节省了网络资源,提高了服务发现效率。

由于服务广播包不存储详细的服务描述信息,而只是简单地像存储服务群组一样存储服务群组下的服务信息分类码,因此不会大量增加广播包的尺寸,也不会给无线带宽造成很大的压力。SIGSDP 与 GSD、PCPGSD 协议服务请求包转发情况比较如图 2 所示。

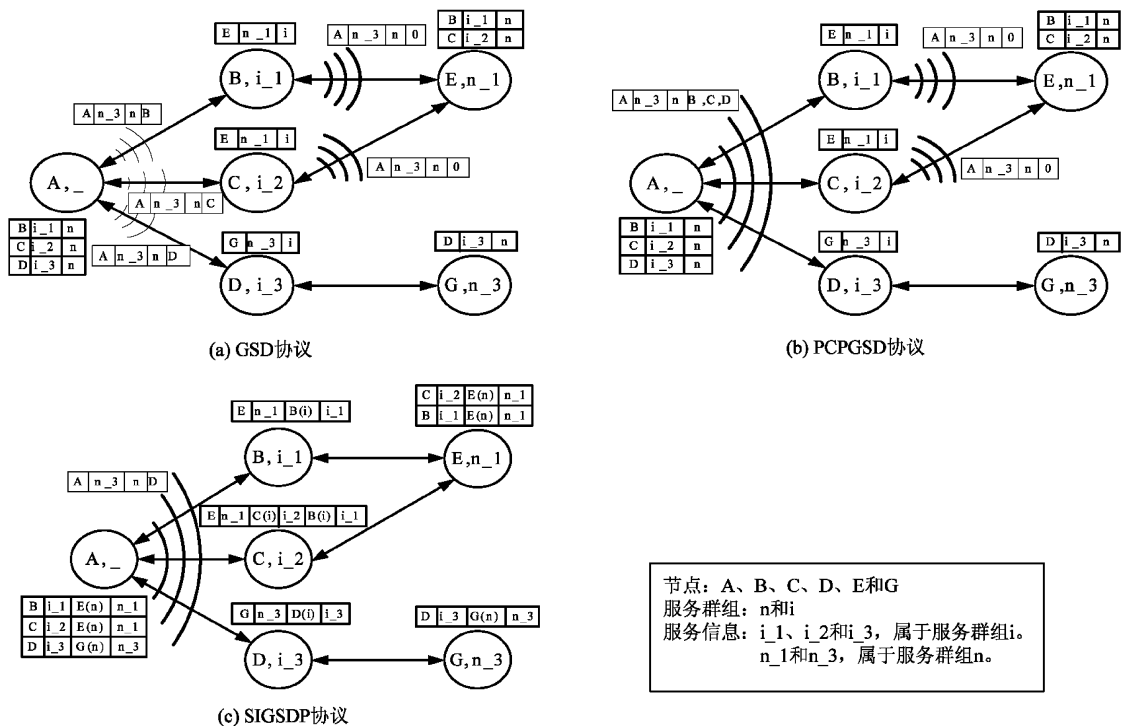


图 2 服务请求包转发情况的比较

图 2 中粗线圆弧表示广播服务请求包,细线圆弧表示单播服务请求包。细线矩形框表示服务请求包的部分内容,粗线矩形框表示节点 SIC 的部分内容。圆形表示一个节点,圆形中的字符表示节点 id 和该节点能提供的服务,例如:“B, i_1 ”表示 B 节点能提供的服务信息是 i_1 ,该服务信息属于服务群组 i。两节点间的双向箭头表示这两个节点能直接通讯。从图中可以看到,由于 SIGSDP 在 SIC 中增加了服务信息域,使得服务请求包在转发时能根据服务信息更准确地选择转发节点,直接指定节点 D 为服务请求包的接收转发节点,避免了服务请求包向

节点 B、C 的无效转发,节省了网络资源。

2.2.2 SIG 转发算法

由于 SIGSDP 协议服务请求包的转发准确到服务群组下的服务信息,因此理想情况下这种转发必然会产生最终的服务匹配及回复包的发送,这是一种确定性匹配。而 GSD、PCPGSD 等协议中,服务请求包的转发基于服务群组,可能会导致无效的转发,最后不能实现正确匹配,这是一种概率性匹配,其匹配概率依赖于每个服务群组中包含的服务信息数。SIGSDP 协议的服务请求包转发算法如下:

算法:SIGSDP 协议中节点对服务请求包的转发

处理;

输入: 收到的服务请求包 *Req*;

参数定义: *self_id* 当前节点的 id;

entry 当前节点的 SIC 入口;

MAX_GROUP_NUM 节点 SIC 中

other_group 数组的最大个数;

输出: 更新转发的服务请求包 *Req* 或服务回复包 *Reply*;

```

1  Req.remainhop-;
2  if Req.remainhop > 0 then
3    if Founditemnum( entry ) == 0 then
4      UpdatedandBroadcast( Req );//本节点无
      SIC 条目则修改并广播该服务请求包。
5    else if Matched( Req ) == self_id then
6      CreatedandUnicast( Reply );//本节点是
      匹配节点则创建并单播服务回复包。
7    else //在本节点的所有 SIC 条目中查找转发
      节点,将其插入转发节点列表。
8      while (Founditem( entry ) < > NULL)
9        for(i=0; i <= MAX_GROUP_NUM;
          i++)
10         if ( entry.othergroup[i].groupid ==
            Req.requestservice.groupid && entry.othergroup
            [i].infoid == Req.requestservice.infoid &&
            entry.lifetime < > 0) then
11           for(j=0; j <= entry.othergroup
            [i].nodenum-1; j++)
12             InsertnodeintoReceiverlist( entry.
            othergroup[i].nodeid[j]);
13           entry++;
14           UpdatedandForward( Req );
15     else
16       DiscardPacket( Req );
17     return

```

3 SIGSDP 协议理论分析

表 1 介绍了理论分析用到的一些符号。

表 1 数学分析使用符号

符号	含义
P_s	节点包含服务的概率
G_s	服务群组个数
I_s	每个服务群组中包含的服务信息数
d	服务广播包所传送的最大跳数
n_d	节点 d -跳邻居节点的平均数

定理 SIGSDP 协议中收到服务请求包的节点继续转发服务请求的概率为

$$P_{\text{NEW}} = \left(1 - \frac{P_s}{G_s I_s}\right) \cdot \sum_{i=1}^{n_d} C_{n_d}^i \cdot \left(\frac{P_s}{G_s I_s}\right)^i \cdot \left(1 - \frac{P_s}{G_s I_s}\right)^{(n_d-i)}$$

证明: 收到服务请求包的节点要继续转发该服务请求必须满足以下两点: (1) 该节点包含与服务请求不匹配的服务, 并且该节点的邻居节点中至少有一个节点的 SIC 中包含了与服务请求相匹配的服务信息。这种情况用概率 P_1 来表示。 (2) 该节点不包含任何服务, 可是其邻居节点中至少有一个节点的 SIC 中包含了与服务请求相匹配的服务信息。这种情况用概率 P_2 来表示。显然

$$P_{\text{NEW}} = P_1 + P_2 \quad (1)$$

先来计算 P_1 。则根据上述条件(1)可知,

$$P_1 = P_{1,1} \cdot P_{1,2} \quad (2)$$

其中 $P_{1,1}$ 是节点有服务, 但该服务与服务请求不匹配的概率。因为服务群组数为 G_s , 每个服务群组中的服务信息数为 I_s , 因此总共的服务信息数为 $G_s I_s$ 。由于该节点的服务与服务请求不匹配, 则其服务信息必然属于 $(G_s I_s - 1)$, 于是可知

$$P_{1,1} = P_s \cdot \left(\frac{G_s I_s - 1}{G_s I_s}\right) \quad (3)$$

$P_{1,2}$ 是某节点的邻居节点中至少有一个节点的 SIC 中包含与服务请求相匹配的服务信息的概率, 也就是说收到服务请求的节点的 d -跳邻居节点集 n_d 中至少有一个节点有匹配的服务, 而其余 $n_d - 1$ 个节点中没有匹配的服务或没有服务, 即

$$P_{1,2} = \sum_{i=1}^{n_d} C_{n_d}^i \cdot \left(P_s \cdot \frac{G_s I_s - 1}{G_s I_s} + 1 - P_s\right)^{(n_d-i)} \cdot \left(P_s \cdot \frac{1}{G_s I_s}\right)^i \quad (4)$$

将公式(3)和(4)代入(2)得

$$P_1 = P_s \cdot \left(\frac{G_s I_s - 1}{G_s I_s}\right) \cdot \sum_{i=1}^{n_d} C_{n_d}^i \cdot \left(P_s \cdot \frac{1}{G_s I_s}\right)^i \cdot \left(P_s \cdot \frac{G_s I_s - 1}{G_s I_s} + 1 - P_s\right)^{(n_d-i)} \quad (5)$$

接下来计算 P_2 。则根据上述条件(2)可知

$$P_2 = P_{2,1} \cdot P_{2,2} \quad (6)$$

其中 $P_{2,1}$ 是节点没有任何服务的概率, 显然

$$P_{2,1} = 1 - P_s \quad (7)$$

$P_{2,2}$ 是某节点的邻居节点中至少有一个节点的 SIC 中包含与服务请求相匹配的服务信息的概率, 则

$P_{2,2}$ 等同于 $P_{1,2}$, 即

$$P_{2,2} = \sum_{i=1}^{n_d} C_{n_d}^i \cdot \left(P_s \cdot \frac{G_s I_s - 1}{G_s I_s} + 1 - P_s \right)^{(n_d-i)} \cdot \left(P_s \cdot \frac{1}{G_s I_s} \right)^i \quad (8)$$

因此将公式(7)和(8)代入公式(6)得

$$P_2 = (1 - P_s) \cdot \sum_{i=1}^{n_d} C_{n_d}^i \cdot \left(P_s \cdot \frac{1}{G_s I_s} \right)^i \cdot \left(P_s \cdot \frac{G_s I_s - 1}{G_s I_s} + 1 - P_s \right)^{(n_d-i)} \quad (9)$$

于是,将公式(5)和(9)代入公式(1)并经过整理可以得到本定理公式:

$$P_{\text{NEW}} = \left(1 - \frac{P_s}{G_s I_s} \right) \cdot \sum_{i=1}^{n_d} C_{n_d}^i \cdot \left(\frac{P_s}{G_s I_s} \right)^i \cdot \left(1 - \frac{P_s}{G_s I_s} \right)^{(n_d-i)} \quad (10)$$

4 SIGSDP 协议的仿真研究

4.1 仿真参数的定义

定义 1 服务请求包数目 (request packet number): 每次会话发送的服务请求包数量。

定义 2 服务回复率 (service reply ratio): 每次会话服务回复包数量与请求包数量的比值。该参数反映了服务请求成功的开销。

定义 3 平均最短响应时间 (average first response time): 发出服务发现请求到接收到第一个回复包的时间的平均值。该参数用于检测服务发现协议的响应灵敏度,与请求源和第一个回复节点间的

距离有关。

定义 4 服务发现会话成功率 (succeeded SDP ratio): 收到回复的会话数量与总会话数量的比率,该参数体现了服务发现的效率。

4.2 仿真实验模型

由于普适环境的最极端情况为无线自组网^[8],所以本实验的仿真场景选用 100 个随机分布在 1000m × 1000m 范围内的节点组成的无线自组网。仿真实验采用 Glomosim 对泛洪方式的服务发现协议(用 BASIC 表示)及 GSD、PCPGSD 和 SIGSDP 协议进行比较。用 IEEE 802.11 作为媒体访问控制 (MAC)协议,节点的移动采用随机路点模型 (random waypoint model, RWM) 方式。在 RWM 模型中,节点先以某随机速度 V 朝某位置移动,到达目的地后该节点随机等待一段时间 P , 然后再随机选择新的目标和速度进行移动,如此周而复始。为了尽可能反映普适环境的异质和动态特性,本实验采用了多种方式:(1)仿真过程中服务器节点更改其在线离线状态 4 次,改变发生的时刻随机确定;(2)仿真过程中所有服务器节点所提供的服务改变 1 次,改变发生的时刻随机确定,新服务也随机确定(虽然现实中这种变化情形很少出现,但仿真中仍模拟了服务的这种动态性);(3) RWM 移动方式实现了节点位置的动态变化;(4)每次仿真都随机抽取 50 个节点作为服务器节点可以适应服务器节点的动态变化和状态差异;(5)通过仿真过程中周期性发布的服务广播包来动态调整节点的服务类型和服务状态,等等。此外,仿真实验还设置了一些可以动态调整的参数,本试验基本参数的设置如表 2 所示。

表 2 仿真基本参数

仿真参数	对应值	仿真参数	对应值
仿真场景	1000m × 1000m	服务广播包间隔	20s
节点数量	100	SIC 有效期	21s
服务器节点数量	50	服务请求包跳数	3
仿真时间	1000s	服务群组数	2
无线带宽	1Mbps	服务信息数	5
服务请求会话数	50	节点随机等待时间	0

4.3 仿真实验结果

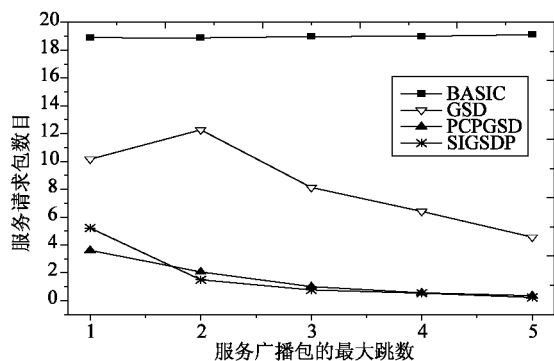
图 3 显示了服务广播包最大跳数对仿真实验的影响。这组实验的节点速度设置为 0, 每组仿真实验由 50 组随机会话组成,并将服务广播包的最大跳数分别设置为 1、2、3、4 和 5。实验结果显示除了服务广播包最大跳数为 1 时由于网络中各节点收到的广播包数量有限,不能很好体现 SIGSDP 协议的优越

性外,当服务广播包跳数变化时 SIGSDP 协议性能均优于 BASIC、GSD 和 PCPGSD 协议。

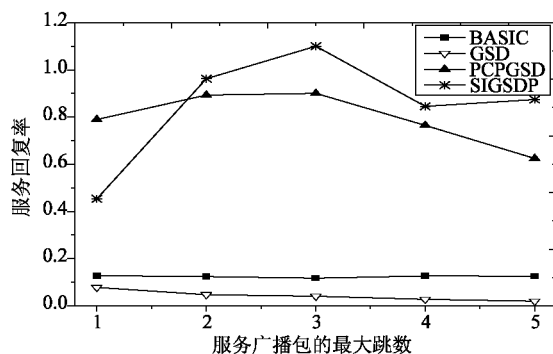
图 4 显示了节点移动速度对仿真实验的影响。每组实验由 50 个随机会话组成,节点的服务信息数设置为 7,节点的移动速度分别设置为 3、6、9、12 和 15。实验结果显示, SIGSDP 和 PCPGSD 当节点移动时各项性能都大大优于 BASIC 和 GSD, SIGSDP 则明

显好于 PCPGSD,尤其是 SIGSDP 比 PCPGSD 的服务发现会话成功率平均高出 37%。因此当节点移动

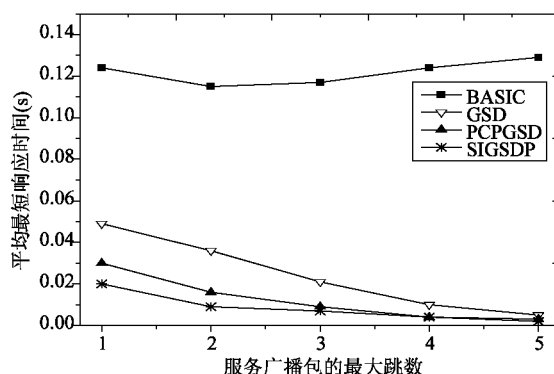
速度变化时 SIGSDP 协议的性能优于 BASIC、GSD 和 PCPGSD。



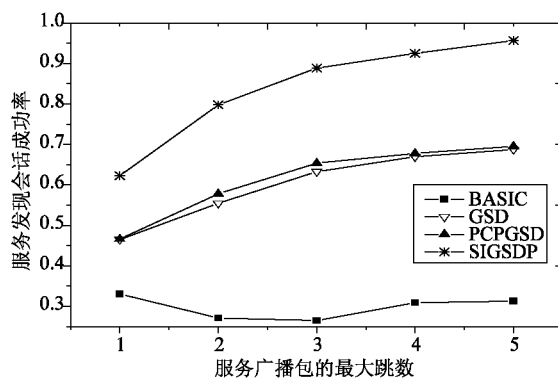
(a) 服务广播包最大跳数对服务请求包的影响



(b) 服务广播包最大跳数对服务回复率的影响

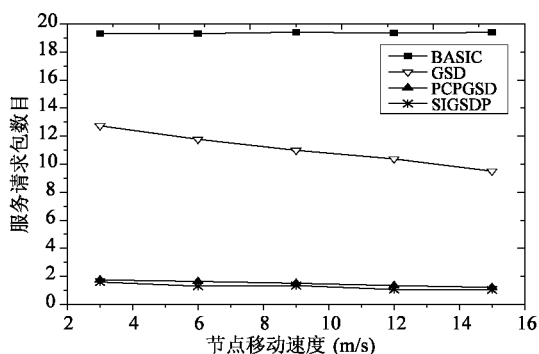


(c) 服务广播包最大跳数对平均最短响应时间的影响

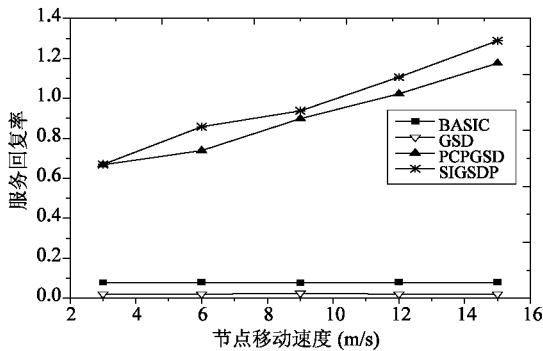


(d) 服务广播包最大跳数对服务发现会话成功率的影响

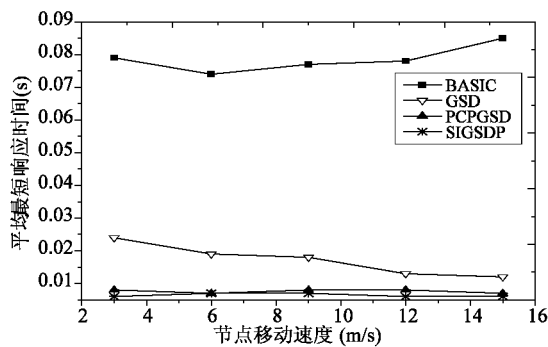
图3 服务广播包的最大跳数对各协议性能的影响



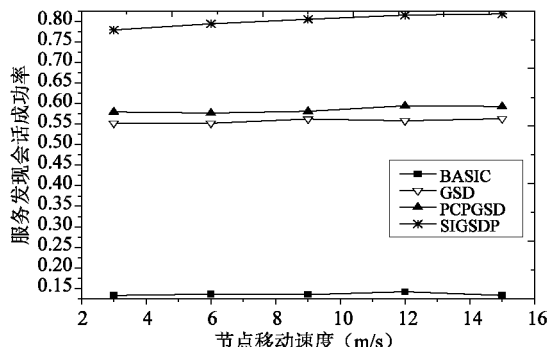
(a) 节点移动速度对服务请求包的影响



(b) 节点移动速度对服务回复率的影响



(c) 节点移动速度对平均最短响应时间的影响



(d) 节点移动速度对服务发现会话成功率的影响

图4 节点移动速度对各协议性能的影响

5 结 论

本文提出一个新的服务发现协议 SIGSDP, 该协议突破了基于群组的服务发现协议在服务请求包转发时只基于服务群组的限制, 提出服务信息导向的 (SIG) 思想使得服务请求包转发到既满足服务群组要求又满足服务信息要求的节点, 大大减少了冗余服务请求包, 缩短了服务响应时间, 提高了服务发现效率。理论分析和仿真实验证明, SIGSDP 在服务响应时间、传输的信息包数和服务发现效率等方面优于 BASIC、GSD 和 PCPGSD, 是一种较好的普适环境下的服务发现协议。

SIGSDP 协议有其特点和优越性, 但还有很多方面可以进行深入研究, 如如何缩短服务回复包的跳数和如何减少回复包冗余等问题, 以往各种服务发现协议都很少考虑, 这些问题是本课题的下一步的研究目标。

参考文献

- [1] Sharmin M, Ahmed S, Ahamed S I. An adaptive lightweight trust reliant secure resource discovery for pervasive computing environments. In: Proceedings of the 4th Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PERCOM 2006), Pisa, Italy, 2006. 258-263
- [2] John R. UPnP, Jini and Salutation—a look at some popular coordination frameworks for future network devices. <http://www.calsoftlabs.com/whitepapers/upnp-devices.html>; California Software Labs, 2006
- [3] OASIS UDDI Specification Technical Committee. Universal description discovery and integration platform. <http://www.oasis-open.org/specs/index.php#uddiv3.0.2>; OASIS, 2006
- [4] Choonhwa L, Helal A, Desai N, et al. Konark: a system and protocols for device independent, peer-to-peer discovery and delivery of mobile services. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A*, 2003, 33(6): 682-696
- [5] Klein M, König-Ries B, Obreiter P. Service rings—a semantic overlay for service discovery in ad hoc networks. In: Proceedings of the 14th International Workshop on Database and Expert Systems Applications (DEXA'03), Washington, DC, USA, 2003. 180-185
- [6] Chakraborty D, Joshi A, Yesha Y, et al. GSD: a novel group-based service discovery protocol for MANETS. In: Proceedings of the 4th IEEE Conference on Mobile and Wireless Communications Networks (MWCN'02). Stockholm, Sweden: IEEE Press, 2002. 140-144
- [7] Gao Z G, Wang L, Yang X Z, et al. PCPGSD: an enhanced GSD service discovery protocol for MANETs. *Computer Communications*, 2006, 29(12): 2433-2445
- [8] Chakraborty D, Joshi A, Finin T, et al. Toward distributed service discovery in pervasive computing environments. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2006, 5(2): 97-112

SIGSDP: a service information guided service discovery protocol in pervasive environments

Ma Qianli^{***}, Liao Minghong^{*}, Jiang Shouxu^{*}, Gao Zhenguo^{***}, Xu Wenxu^{*}

(^{*} School of Computer Science and Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

(^{**} School of Computer and Information Technology, Shanxi University, Taiyuan 030006)

(^{***} School of Automation, Harbin Engineering University, Harbin 150001)

Abstract

In consideration of the problems existing in the present service discovery protocols, this paper proposes an efficient service information guided service discovery protocol (SIGSDP) in pervasive environments. Based on the concept of the GSD, a novel group-based service discovery protocol for mobile ad hoc networks (MANETs), the SIGSDP presents the request forwarding detailed to information to select the forwarding nodes exactly, so that the unnecessary forwardings can be avoided. The results of the theoretical analysis and the Glomosim simulation verifies that the SIGSDP can save the response time, reduce the number of service request packets, and improve the efficiency of service discovery.

Key words: pervasive computing, service discovery, group-based, IEEE 802.11