

移动 IP 网络中基于遗传算法的多步寻呼策略及性能分析

李楠, 潘建, 田贤忠, 朱艺华
(浙江工业大学信息工程学院, 浙江杭州 310032)

摘要: 在移动 IP 网络中, 层次移动 IP 协议可降低移动 IP 位置管理的信令消耗. 该文研究支持寻呼的 HMIPv6, 提出了时延限制下的多步寻呼策略以及基于遗传算法的多步寻呼方案——根据移动节点的位置概率分布, 采用遗传算法对寻呼区域内的所有子网进行分组, 每步寻呼一个组, 使平均寻呼信令开销达到或接近最优. 此外, 对 HMIPv6、单步寻呼的 HMIPv6 以及基于遗传算法的多步 HMIPv6 寻呼方案的信令开销进行了比较分析, 得出寻呼节省信令开销的必要条件. 最后, 给出一组数值结果以说明所提出的寻呼策略的有效性.

关键词: 移动 IP; IP 寻呼; 多步寻呼; 遗传算法

中图分类号: TN92 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372 2112 (2008) 12 2333 06

Genetic Algorithm Based Sequential Paging Schemes and Performance Analysis for Mobile IP Networks

LI Nan, PAN Jian, TIAN Xiann zhong, ZHU Yr hua

(College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou, Zhejiang 310032, China)

Abstract: Hierarchical Mobile IP (HMIP) is able to reduce signaling cost for location management in mobile IP (MIP) networks. This paper focuses on paging-supported HMIPv6. Sequential paging schemes under limited paging delay are studied. In addition, a genetic algorithm (GA) based sequential paging scheme (GABSP) is proposed, in which all the subnets in a paging area are partitioned into groups by a GA making use of location probabilities of MNs, and then, each group is paged in one paging step. The GABSP can achieve the optimal or near optimal signaling cost. Moreover, the signaling costs of HMIPv6, the HMIPv6 with single step paging, and the GABSP are compared, and besides, the prerequisite conditions for single or sequential paging to reduce signaling cost are given. Further, numeric results show that the GABSP occupies the lowest signaling cost.

Key words: Mobile IP networks; IP paging; Sequential paging; genetic algorithms

1 引言

随着便携电脑等功能强大的移动设备以及无线网络的快速发展, 移动计算 (mobile computing) 已经进入到更高的层次, 人们在“任何时间、任何地方访问任何所需要的信息”的梦想将变为现实. 在 Internet 中, 数据分组 (data packet) 从信源传递到信宿是根据节点的 IP 地址进行路由的. 这种路由技术将带有移动节点的无线网络带入到两难的境地: 一方面, 网络中的节点需要一个固定、公开的 IP 地址, 使 Internet 的其它节点可以将数据分组发到这个地址; 另一方面, 如果节点的 IP 地址被固定下来, 那么它就难以移动了. 为了解决这一困境, IETF (Internet Engineering Task Force) 基于 IP 版本 4 提出了移动 IP (Mobile IP, 记为 MIPv4)^[1] 方案, 从网络层上解决了

节点的移动性问题. MIPv4 允许节点使用两个 IP 地址, 即家乡地址 (Home address) 和转交地址 (Care of Address, CoA). 家乡地址用于确认身份, 转交地址用于路由^[1]. 此外, HMIP (Hierarchical Mobile IP)^[2], CIP (Cellular IP)^[3], TIMP (Terminal Independent Mobility for IP)^[4], TeleMIP^[5], HAWAII^[6], 以及 DMA (Dynamic Mobility Agent)^[7] 等协议被提出用于支持节点的移动性管理.

由于移动节点由电池供电, 且电能耗尽会导致通信中断乃至网络分裂, 因此, 如何经济使用电能就成为一个非常重要的问题. 节点通常有两种状态: “活动” (active) 与“空闲” (idle). 前者指节点处于正在通信时的状态, 而当节点断开通信达到一定时间门限之后则转入空闲状态. 由于节点处于活动状态的时间远小于处于空闲状态的时间, 因此一些方案提出了在空闲状态时引入

收稿日期: 2007-06-18; 修回日期: 2008-04-22

基金项目: 国家自然科学基金 (No. 60473097, No. 60673177); 浙江省自然科学基金重点项目 (No. Z105185); 浙江省钱江人才计划项目 (No. 2007R10G2020022)

对 IP 寻呼功能的支持,即在网络需要传递数据分组给移动节点时,采用寻呼(paging)的方式查找该移动节点,以有效地节约电能消耗、减少信令负载。寻呼是无线网络查找移动节点的过程,它已经被广泛应用于移动通信网络中^[8-10]。CIP, HAWAII, P-MIP^[11]及其它协议^[12-16]支持 MIP 的寻呼功能。

考虑到基于 IP 版本 6 的层次移动 IP 协议(Hierarchical Mobile IPv6, 记为 HMIPv6)^[2]可以减少 MIP 用于家乡代理(home agent, HA)与移动节点之间位置更新所产生的信令开销,本文将寻呼植入到 HMIPv6,并根据移动节点位于各子网的概率,研究时延约束下的最优或接近最优的多步寻呼策略。由于最优多步寻呼的必要条件是,以概率非增的顺序寻呼移动台^[9],也就是对所寻呼的区域内的子网进行分组,每步寻呼一个组,且按移动台在各组中的概率从大到小的顺序进行寻呼。在 MIPv6 中,由于在时延约束下将寻呼区域内各子网分成概率非增的一些组并使寻呼代价最优,是非常耗时的,在子网个数较大时尤为明显,因此,我们将采用遗传算法对寻呼区域进行划分,并降低计算开销并使寻呼代价达到最优或接近最优。

2 多步寻呼策略

在 HMIPv6 中,网络被分成一些域(Domain),每个域由一些子网组成,且由一个称之为移动锚点(Mobility Anchor Point, MAP)的路由器管辖^[2]。移动节点一旦进入到一个子网,就有一个对应的默认路由器(Access Router, AR)。本文提出的寻呼策略是对 HMIPv6 的一种扩展,与文献[15]类似,赋予移动锚点新的功能以支持 IP 寻呼,这些功能包括:跟踪代理(Tracking Agent, TA)、寻呼代理(Paging Agent, PA)、空闲监视代理(Dormant Monitoring Agent, DMA)以及寻呼配置代理(Paging Configuring Agent, PCA)等。以 P-MAP 表示附加了上述功能的 MAP。

我们称移动节点(Mobile Node, MN)从一个子网进入到另一个子网为“跨网移动”。HMIPv6 中,位置管理方案如下^[2]:在 MN 的一次跨网移动中,如果它进入到一个域,则进行域间切换——向家乡代理 HA(Home A-

gent)和对端节点 CN(Correspondence Node)进行远程绑定更新(Binding Update, BU);否则,进行域内切换——向 P-MAP 进行局部绑定更新(Local Binding Update, Local BU)。局部绑定更新比远程绑定更新的信令开销及通信延迟小。如图 1, P-MAP1 与 P-MAP2 分别管辖 AR1、AR2、AR3 与 AR4、AR5、AR6,当 MN 从 AR1 移动到 AR2 只须进行域内切换(需要局部绑定更新),但当 MN 从 AR3 进入到 AR4 时需要域间切换(需要远程绑定更新)。

我们对上述位置管理方案引入寻呼策略:对处于活动状态的节点采用上述位置管理方案;对处于闲置状态的节点不作域内切换位置更新,即当 MN 处于闲置状态且在同一个 P-MAP 辖域内移动时不作位置更新。若有数据包发给处于闲置状态的 MN 时,相应的 P-MAP 截获数据包并发送给节点最近注册的 AR,若该 AR 发现节点已经离开,则丢弃数据包,并向 P-MAP 发送寻呼发起消息(Paging Initiation, PI)以告知 P-MAP 所要寻找的 MN 处于失联状态。P-MAP 收到 PI 消息后,根据该 MN 的位置概率分布按照遗传算法对寻呼区域分组,并按从大到小的概率逐组寻呼,一旦 MN 接收到寻呼,立即向 P-MAP 进行位置更新并转入活动状态,此时 P-MAP 便将数据包发送给这个 MN。

假设整个网络有 N 个 AR,且一个 P-MAP 管辖 n 个 AR。以 p_j 表示 MN 在第 j 个 AR 所在的子网中的概率。此外, $S_i(q_i, n_i)$ 表示第 i 步被寻呼的子网集合,其中, q_i 表示 MN 在 S_i 中被找到的概率, n_i 表示 S_i 所包含的子网个数。易知, $q_i = \sum_{j \in S_i} p_j$ 。设寻找一个子网的平均代价为 1,则在 D 步寻呼策略下,寻呼的平均代价为^[17]:

$$E(C(D)) = \sum_{i=1}^D q_i \sum_{k=1}^i n_k \quad (1)$$

且平均寻呼次数(如果网络中没有拥塞出现,则寻呼次数与寻呼时延相同)为:

$$E(D(D)) = \sum_{i=1}^D i q_i \quad (2)$$

由(1)、(2)式可以看出,当 $D=1$ 时,即单步寻呼(一步寻呼域内所有 AR 所在的子网),寻呼时延最短,而平均寻呼代价却最大;而当 $D=n$ 时,即每步寻呼只搜索一个子网,此时时延最长,而平均寻呼代价却最小。

3 基于遗传算法的多步寻呼策略

遗传算法^[18]是模仿自然界生物进化机制发展起来的随机全局搜索和优化方法,它借鉴了达尔文的进化论和孟德尔的遗传学说。其本质是一种高效、并行、全局搜索的方法,它能在搜索过程中自动获取和积累有关搜索空间的知识,并自适应地控制搜索过程以求得近似最优解。遗传算法操作是依据生物进化以群体的形式共同进化的,具有遗传基因染色体的个体对环境有不同的适应

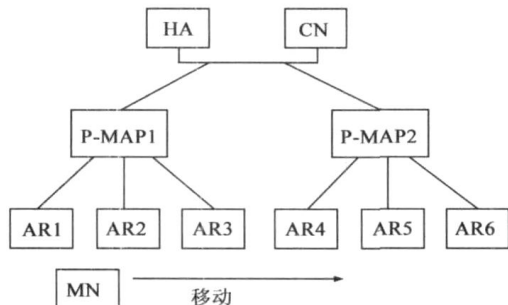


图1 HMIPv6的结构示意图

性, 通过基因杂交和变异产生适应强者, 在遗传进化中“适者生存”的自然选择下, 使得适应环境的个体被保留下来. 基本的遗传算法的主要步骤如图 2 所示.

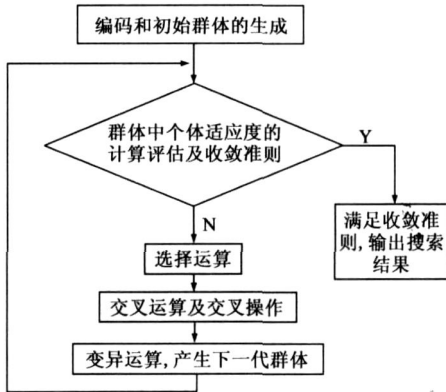


图2 遗传算法的运算基本流程

我们将基于上述遗传算法的、寻呼次数限制为 D 的、多步寻呼策略记为 D -PHMIPv6. 此外, 将 HMIPv6 单步寻呼策略记为 P-HMIPv6.

4 代价分析

本节将对 HMIPv6、P-HMIPv6、 D -PHMIPv6 的信令开销作比较分析. 首先引入一些符号:

- λ : 单位时间内数据分组到达率;
- μ : 单位时间内 MN 的跨网移动率;
- $\beta \equiv \lambda \mu$: 数据分组到达与 MN 跨网移动比率;
- η : MN 处于活动状态同时作跨网移动的概率;
- θ : 需要寻呼的数据分组占所到达的数据分组总数的比例;

C_{P-MAP} : MN 向 P-MAP 进行一次位置更新所需的信令开销;

C_{HA} : MN 向家乡代理进行一次位置更新所需的信令开销;

$C_{one\ step\ paging}$: P-HMIPv6 作一次寻呼所需的信令开销;

$C_{D\ step\ paging}$: D -PHMIPv6 作一次寻呼所需的信令开销;

a_{HA} : HA 处理信令所需的开销;

a_{P-MAP} : P-MAP 处理信令所需的开销;

a_{AR} : AR 处理信令所需的开销;

$g_{HA-P-MAP}$: 信令在 HA 与 P-MAP 之间传输时所需的开销;

$g_{P-MAP-AR}$: 信令在 P-MAP 与 AR 之间传输时所需的开销;

g_{AR-MN} : 信令在 AR 与 MN 之间传输时所需的开销;

δ_u : 单位距离有线传输的开销, 同时假设单位距离的无线传输开销为 δ_u 的 ρ 倍;

$l_{HA-P-MAP}$: 为 HA 与 P-MAP 之间的距离;

$l_{P-MAP-AR}$: 为 P-MAP 与 AR 之间的距离.

考虑到只有 MN 处于闲置状态才需要进行寻呼, 而且不是每个数据分组到达时 MN 都处于闲置状态, 因此不是每个数据分组到达都需要寻呼. 于是, 假设需要寻呼的数据分组占所到达的数据分组总数的比例为 θ .

易知, MN 移出当前所在 P-MAP 管辖域的概率为: $p = \frac{N-n}{N-1}$. 由于在时间长度 T 内, MN 跨网移动次数为 μT , 因而它作域间切换的次数为: $\mu T \frac{N-n}{N-1}$ 次, 其余跨网移动次数为: $\mu T \left(1 - \frac{N-n}{N-1}\right) = \mu T \frac{n-1}{N-1}$ 次. 考虑到处于活动状态的移动节点在作跨网移动时需要作域内切换, 设 MN 处于活动状态同时作跨网移动的概率为 η , 则在时间长度 T 内, MN 在活动状态下作域内切换的次数为 $\mu T \frac{n-1}{N-1} \eta$. 因此, 在时间长度 T 内, HMIPv6、P-HMIPv6、 D -PHMIPv6 用于位置管理所需的信令开销分别为:

$$C_{HMIPv6} \equiv \mu T \left(\frac{N-n}{N-1} C_{HA} + C_{P-MAP} \right) \quad (3)$$

$$C_{P-HMIPv6} \equiv \left[\mu T \frac{N-n}{N-1} (C_{HA} + C_{P-MAP}) + \mu T \frac{n-1}{N-1} \eta C_{P-MAP} \right] + T \lambda C_{one\ step\ paging} \quad (4)$$

$$C_{D-PHMIPv6} \equiv \left[\mu T \frac{N-n}{N-1} (C_{HA} + C_{P-MAP}) + \mu T \frac{n-1}{N-1} \eta C_{P-MAP} \right] + T \lambda C_{D\ step\ paging} \quad (5)$$

式(3)仅包含绑定更新的开销; 式(4)、(5)中, 前面方括号内表示位置绑定更新的开销, 后面部分表示寻呼开销. 其中^[19]:

$$\begin{aligned} C_{HA} &= a_{HA} + 2a_{P-MAP} + 2a_{AR} + 2g_{HA-P-MAP} \\ &\quad + 2g_{P-MAP-AR} + 2g_{AR-MN} \\ &= a_{HA} + 2a_{P-MAP} + 2a_{AR} + 2(l_{HA-P-MAP} \\ &\quad + l_{P-MAP-AR} + \rho) \delta_u \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} C_{P-MAP} &= a_{P-MAP} + 2a_{AR} + 2g_{P-MAP-AR} + 2g_{AR-MN} \\ &= a_{P-MAP} + 2a_{AR} + 2(l_{P-MAP-AR} + \rho) \delta_u \end{aligned} \quad (7)$$

此外,

$$C_{one\ step\ paging} = n(a_{AR} + g_{P-MAP-AR} + g_{AR-MN}) + C_{P-MAP} \quad (8)$$

$$C_{D\ step\ paging} = E(C(D))(a_{AR} + g_{P-MAP-AR} + g_{AR-MN}) + C_{P-MAP} \quad (9)$$

利用式(1)、(7), 得:

$$C_{one\ step\ paging} = a_{P-MAP} + (n+2)[a_{AR} + (l_{P-MAP-AR} + \rho) \delta_u] \quad (10)$$

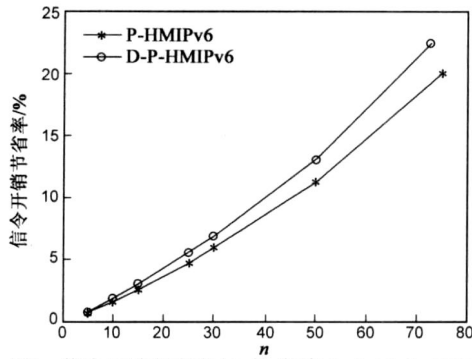
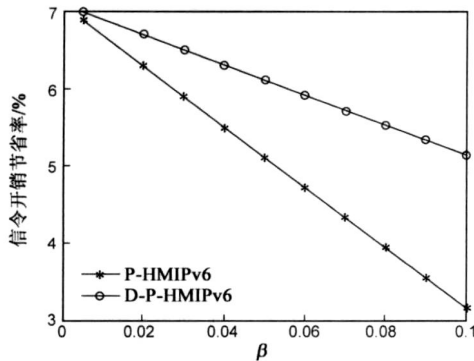
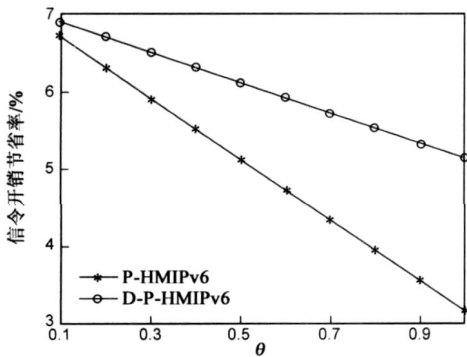
$$C_{D\ step\ paging} = a_{P-MAP} + \left(\sum_{i=1}^D q_i \sum_{k=1}^i n_k + 2 \right) [a_{AR} + (l_{P-MAP-AR} + \rho) \delta_u] \quad (11)$$

我们定义信令开销节省率如下:

$$R_{PHMIPv6} \equiv (C_{HMIPv6} - C_{P-HMIPv6}) / C_{HMIPv6}$$

$$R_{D-PHMIPv6} \equiv (C_{HMIPv6} - C_{D-PHMIPv6}) / C_{HMIPv6}$$

由式(3)-(11)得:

图3 信令开销节省率与 n 的关系($\beta=0.02, \theta=10\%$)图4 信令开销节省率与 β 的关系($n=30, \theta=10\%$)图5 信令开销节省率与 θ 的关系($n=30, \beta=0.02$)

寻呼的 P-HMIPv6 方案能节省更多的信令开销, 并且随着 P-MAP 管辖域中 AR 数目(即 n) 的增大, 这一效果将更加明显。图 4~ 5 则表明, 随着 β 或 θ 的增大, 引入寻呼并不能带来明显的信令开销节省(这一点从式(12)及式(13)也可以看出), 因此 D-P-HMIPv6 及 P-HMIPv6 仅适用于 β 或 θ 较小的场合。在实际情况中, 移动节点在移动过程中大部分的时间是处于闲置状态的, 数据包到达率相对较低, 所以在一般情况下引入寻呼是能够节约信令开销。

6 结论

本文所给出的基于遗传算法的 HMIP 的多步寻呼策略, 可以降低移动 IP 网络中用于移动节点位置管理的信令消耗, 这种策略在 HMIP 网络的 MAP 所包含的子

网个数较多时尤为有效。

参考文献:

- [1] D Johnson, C Perkins, J Arkko. Mobility Support in IPv6 [R]. New York: Network Working Group, RFC 3775, 2004.
- [2] H Soliman, C Castelluccia, K El Malki, et al. Hierarchical mobile IPv6 mobility management (HMIPv6) [R]. New York: Network Working Group, RFC 4140, 2005.
- [3] Andras G Valko. Cellular IP: a new approach to Internet host mobility [J]. ACM Computer Communication Review, 1999, 29 (1): 50- 65.
- [4] A Grilo, P Estrela, M Nunes. Terminal independent mobility for IP (TIMIP) [J]. IEEE Communications Magazine, 2001, 39 (12): 34- 41.
- [5] S Das, A Misra, P Agrawal, et al. TeleMIP: Telecommunications enhanced mobile IP architecture for fast intradomain mobility [J]. IEEE Pers Commun, Special Issue on IP Based Mobile Telecommunications networks, 2000, 7 (4): 50- 58.
- [6] R Ramjee, T L Porta, S Thuel, et al. HAWAII: a domain based approach for supporting mobility in wide area wireless networks [A]. Proc of IEEE Int'l Conf Network Protocols [C]. IEEE, 1999. 283- 292.
- [7] A T Campbell, et al. Design and performance of cellular IP access networks [J]. IEEE Pers Commun, Special Issue on IP Based Mobile Telecommunications networks, 2000, 7 (4): 42- 49.
- [8] Yr hua Zhu, Victor C M Leung. Derivation of moving distance distribution to enhance sequential paging in distance based mobility management for PCS networks [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2006, 5 (11): 3029- 3033.
- [9] Yr hua Zhu, Victor C M Leung. Optimization of sequential paging in movement based location management based on movement statistics [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2007, 56 (2): 955- 964.
- [10] 朱艺华, 肖刚, 史定华, 高济. 小区分层依概率寻呼的位置管理策略 [J]. 电子学报, 2004, 32 (11): 1810- 1814. Zhu Yr hua, Xiao Gang, Shi Ding-hua, Gao Ji. A location management strategy with layered cells and terminal paging in probability order [J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32 (11): 1810- 1814. (Chinese)
- [11] X Zhang, J G Castellanos, A T Campbel. P MIP: paging extensions for mobile IP [J]. Mobile Networks and Applications, 2002, 7: 127- 141.
- [12] Xiao Hu, Mei Song, Junde Song et al. A novel IP paging scheme and performance analysis [A]. Proc 2004 IEEE Workshop on IP Operations and Management [C]. Beijing: IEEE Communication Society, 2004. 198- 204.
- [13] Jiang Xie. User independent paging scheme for mobile IP [J]. Wireless Networks, 2006, 12: 145- 158.

- [14] 胡博, 李昕, 时岩, 陈山枝. 一种 HMIPv6 网络中链式 IP 寻呼方法[J]. 北京邮电大学学报, 2006, 29(6): 67-71.
Hu Bo, Li Xing, Shi Yan, Chen Shan zhi. A link based IP paging method in hierarchical mobile IPv6 network[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2006, 29(6): 67-71. (Chinese)
- [15] Rafael Vidal Feré, Josep Paradells Aspas. IEEE 802.11 networks with dormant mode support: An IP paging approach and its performance analysis[A]. MobiWAC'06[C]. New York: ACM, 2006. 1-9.
- [16] 宋健, 张宝杰, 孙伟, 等. HMIPv6 中基于节点特征的快速切换算法研究[J]. 通信学报, 2006, z1, 27: 168-172.
Song Jian, Zhang Bao jie, Sun Wei, et al. Study on fast handover in HMIPv6 based on character[J]. Journal on Communications, 2006, z1, 27: 168-172. (Chinese)
- [17] Wenye Wang, Iran F. Akyildiz, Gordon. Effective paging schemes with delay bounds as QoS constraints in wireless systems[J]. Wireless Networks, 2001, 7: 455-466.
- [18] John H. Holland. Adaptation in Natural and Artificial Systems [M]. Cambridge: MIT Press, 1992.
- [19] Jiang Xie, Ian F. Akyildiz. A novel distributed dynamic location management scheme for minimizing signaling costs in mobile

IP[J]. IEEE Transaction on Mobile Computing, 2002, 1(3): 163-175.

作者简介:

李楠女, 1982年出生于浙江宁波, 硕士研究生, 主要研究方向为移动 IP 网络关键技术.

Email: 4105@163.com

潘建男, 1976年出生于浙江温州, 博士研究生, 讲师, 主要研究方向为移动计算、上下文感知计算、嵌入式系统等.

Email: pj@zjut.edu.cn

田贤忠男, 1968年出生于浙江杭州, 硕士, 讲师, 主要研究方向为移动计算、性能分析与优化.

Email: txz@zjut.edu.cn

朱艺华男, 1961年出生于浙江玉环, 博士, 教授, 博士生导师, IEEE 高级会员, 中国电子学会高级会员, 主要研究方向为移动计算以及通信网络的路由、算法、性能分析与优化. 在《IEEE Transactions on Wireless Communications》, 《IEEE Transactions on Vehicular Technology》, 《IEEE Communications Letters》, 《Journal of Computer Science and Technology》, 《电子学报》, 《计算机研究与发展》及 IEEE 国际会议论文集上发表学术论文 100 余篇.

Email: yhzhu@zjut.edu.cn