

网络层

主机移动

网络协议

计算机网络

计算机科学 2000 Vol. 27 No. 10

2000, 27(10)

网络层支持主机移动的研究^{*}

Research on Network Layer Host Mobility Support

1-6

赵阿群 吴国新[✓] 顾冠群

(东南大学计算机科学与工程系 南京 210096)

(教育部计算机网络重点实验室 南京 210096)

TN 915.04

TP393

Abstract The development of computing techniques and communication techniques and requirements of personal communication make mobile computing and wireless networks possible and indispensable. Novel network environment offers new challenges to traditional network protocols. Especially, as middle layer protocols in the network architecture, the network layer protocols cannot support host mobility because of the hierarchical addressing and routing mechanisms and static name and address binding. New functions and protocols must be added in order to support host mobility in the network layer. In this paper we summarize the impact of host mobility on network protocols, the problems of traditional protocols to support host mobility, the architecture and practical schemes to support host mobility in the network layer, and the emphases, current status and direction of network layer host mobility support.

Keywords Host mobility, Network layer Addressing and routing, Handoff

1 引言

网络协议的发展受到计算技术、通信技术和网络应用的共同驱使^[1]。近年来,计算技术的发展使体积小功耗低的膝上型电脑和掌上型电脑日益普遍,它们的功能越来越接近于台式机和工作站;通信技术的进步使得各种无线传输网络甚为流行,出现了 PCS、PCN、UPT 和 UMTS 等设备和服

务;而应用也对“无论何时,无论何地”的个人通信服务提出了迫切需求。技术的进步和应用的需求使得在现有网络条件下支持主机移动成为可能和必要,图 1 示意了主机移动的情况,通

常用户携带的便携式电脑通过无线媒体与固定网络相连,用户可以在无线子网间移动而维持其通信的连续性。计算机网络中由固定主机向移动主机的演变与电信领域内过去 20 年发生的由固定电话向移动电话的转变类似。

新的网络环境和新的应用需求对传统的网络协议从功能和性能两个方面提出了新的挑战,特别是处于网络协议体系结构中间层次的网络层协议受主机移动影响最大。网络层的主要功能是为分组选择路由,而主机的移动可以看作网络接入点的不断改变,支持主机移动可以看作主机路由的不断改变,因此选择在网络层支持主机移动是较自然和合理的。传统的网络层协议(如 Internet 上的 IP 协议)假设主机的位置是固定的,不支持主机的移动,若要支持主机的移动必须增加新的功能和协议。在 Internet 环境下支持主机移动的研究工作从 90 年代初开始出现到目前一直都很活跃,吸引了学术研究机构、网络工业界和国际信息技术标准化组织的广泛参与,且有愈演愈烈之势。下文着重阐述传统协议支持主机移动所遇到的问题,网络层支持主机移动的体系结构,各阶段提出的网络层支持主机

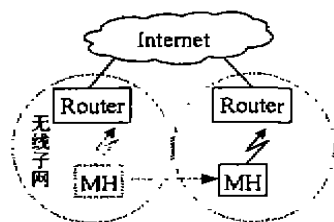


图 1 主机移动示意图

^{*} 本课题得到国家自然科学基金(编号 69873008)和国家教育部重点科学技术项目基金(编号 98046)资助。赵阿群 博士生,研究方向为高性能网络、移动网络。吴国新 教授,研究领域涉及计算机网络、CIMS 和 EDI 等。顾冠群 教授,博导,工程院院士,研究领域涉及计算机网络、分布式处理和 CIMS 等。

移动的方案以及网络层支持主机移动所研究问题的重点、发展现状和前景等。

2 传统协议支持主机移动所遇问题

在 Internet 中,为了获得可伸缩的路由,IP 协议采用了层次型寻址和路由机制^[2],每个 IP 地址由两部分组成:网络标识部分和主机标识部分,网络标识部分标识主机所在的网络,主机标识部分标识该网络中的一台主机。网络中继结点按照“子网”的粒度维护整个网络的拓扑信息,路由协议根据分组中目的 IP 地址的网络标识部分将分组路由到相应的子网,再由子网路由器进行转发,这种层次型的寻址和路由机制,显著减少了路由器维护的路由表的大小,降低了路由更新信息的交换量,简化了路由器的路由选择,是 Internet 规模得以快速增长的成功之处,然而也正是由于这种层次型的寻址和路由机制,使得主机的地址与其所在网络的位置相关。

Internet 寻址方案的另一特点是 IP 地址的双重作用,在 Internet 中,每台主机分配一个唯一的 IP 地址,它具有双重功能:一方面,它起“名”的作用,作为端系统的标识,被上层 TCP 协议用于连接管理(每个 TCP 连接由源和目的 IP 地址及源和目的端口唯一标识);另一方面,它起“地址”的作用,作为主机的位置标识,被 IP 协议用作路由的依据。

在主机位置固定的场合下,其“名”与“地址”的对应关系是固定的,不会引起任何问题;在主机移动的场合下,其“名”与“地址”的对应关系不再固定,而随主机的移动不断改变。当主机移动的同时还要保持通信的连续性时,出现了一对矛盾:一方面,为维护运输层 TCP 连接的完整性,需要保持主机 IP 地址不变;另一方面,为将分组正确路由至移动主机的当前位置,则需要改变主机的 IP 地址,这就是传统协议在支持主机移动时所遇到的问题,如何解决这对矛盾是网络层支持主机移动研究和探索的核心所在。

3 网络层支持主机移动的体系结构

3.1 两层地址方案

为了在网络层支持主机的移动,一般采用两层地址机制,每台移动主机与两个 IP 地址相联系:一个称为 Home Address(主地址),它是静态的,作为端系统的标识,用于 TCP 的连接管理;另一个称为 Care-of Address(转发地址),是动态的,随着主机的移动而不断改变,作为主机的位置标识,用于路由过程中。利用两层地址机制支持主机的移动,在分组的路由过程中需要进行显式的地址转换。

3.2 体系结构

• 2 •

两层地址方案支持主机移动的体系结构如图 2 所示,该体系结构中包含三个逻辑实体和三个基本的协议过程,这两个逻辑实体是:

(1)转发代理(Forwarding Agent,简称 FA)。位于移动主机(MH)的 Foreign Network(MH 当前访问的网络称为它的 Foreign Network,与此相对应,MH 初始注册的网络称为它的 Home Network),两层地址中的 Care-of Address 就是 FA 的地址,FA 的功能是:接受发往 MH 的分组,并将分组中的 Care-of Address 转换为 MH 的 Home Address,然后将分组转发给 MH。

(2)位置目录(Location Directory,简称 LD)。记录 MH 的 Home Address 与当前 Care-of Address 之间的映射,当 MH 移动到新的位置时,需要向 LD 发送位置更新消息以保证 LD 记录的准确性。从整个 Internet 的范围看,MH 数量巨大,故 LD 需分布实现,分布策略的设计需要考虑访问的代价,还要兼顾安全性等因素,通常采用一种称为 Owner-maintains 的规则,与某 MH 相关的 LD 在该 MH 的 Home Network 维护,其优点是安全性好,符合 Internet 的自治特性,且无需定位 LD 的额外机制。

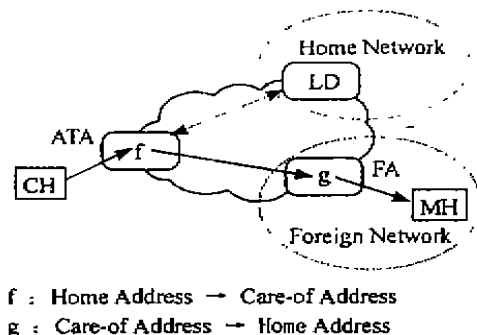


图 2 两层地址方案的体系结构

(3)地址转换代理(Address Translation Agent,简称 ATA)。与 MH 通信的主机(称为对等主机,简称 CH)将 MH 的 Home Address 插入发往 MH 的分组中,为了将分组送达 MH 的当前位置,在路由处理过程中,该地址必须被 MH 的 Care-of Address 取代,执行该操作的实体称为 ATA。ATA 进行地址转换前需要查询 LD 以得到当前与 Home Address 相对应的 Care-of Address,出于提高性能的考虑,可允许 ATA 缓存 LD 记录,但又引起了 LD 的一致性维护问题。

三个基本的协议过程是:

(1)Care-of Address 的获得过程 当 MH 移动到一个新的网络后,首要之事就是获得一个 Care-of Address,通常有两种方法:一是通过 MH 与 FA 之间的

交互,如 FA 周期性广播代理通知消息由 MH 接收,或 MH 主动广播代理请求消息由 FA 响应,这种情况下,FA 一般为一台独立的机器,MH 获得的 Care-of Address 即为 FA 的地址;另一种方法是 MH 通过动态主机配置协议(DHCP^[1])获得一临时 Care-of Address,这种情况下 FA 即为 MH 本身。

(2)位置更新过程 为了保证 LD 信息的准确性,在允许 ATA 缓存 LD 记录的情况下保证 LD 记录与其缓存之间的一致性,需要位置更新协议,位置更新协议与 LD 的分布策略及缓存策略有关。

(3)地址转换过程 在分组的路由过程中,需要进行 Home Address 与 Care-of Address 之间的转换,通常使用两种地址转换机制:一种称为封装法^[5],在原有 IP 分组的基础上再加上一个 IP 报头,该报头的目的地址域指明 MH 的 Care-of Address,当分组送达 FA 后再进行解封装,剥去加上的 IP 报头,将原分组送给 MH;另一种称为源路由法(Loose Source Routing),利用 IP 提供的源路由选项^[2],将 MH 的 Care-of Address 加入到 LSR 选项的地址列表中,使发往 MH 的分组必须经过 FA。

利用两层地址机制支持主机移动的分组转发过程是:CH 发出带有 MH 的 Home Address 的分组,中途被 ATA 截获,将分组的目的地址转换为 MH 的 Care-of Address,当分组送达 FA 后,再将 Care-of Address 转换为 Home Address,发往 MH。

该体系结构是 Bhagwat 和 Perkins 等人在 1996 年左右提出的,我们发现它很通用,目前提出的大部分网络层支持主机移动的方案都可以映射到该体系结构,它们之间的区别主要在于:(1)FA,LD 和 ATA 各逻辑实体的物理位置和表现形式不同;(2)各协议过程所用的机制和策略不同。

4 网络层支持主机移动方案的实例研究

4.1 早期的移动主机方案

这些方案是在 90 年代初提出的,包括哥伦比亚大学的 Columbia 移动主机方案^[6],IBM 公司^[7]和卡内基·梅隆大学^[1]的 LSR 方案等,它们是网络层支持主机移动问题的最早探索,虽然由于设计上的缺陷或实现上的困难,都未取得大规模的应用,但它们的一些设计思想一直为后继的研究者所继承,成为后继方案的基础。

4.1.1 Columbia 方案 引入一组支持移动的路由器(MSR),MH 通过 MSR 与网络相连,所有的 MSR 形成一个虚拟网络,在该网络上交换 MH 的可达性信息。CH 与 MH 通信时,先将分组送至最近的 MSR,该 MSR 若知道当前与 MH 相连的 MSR 的信

息,直接将分组投递至该 MSR,若不知道当前与 MH 相连的 MSR 的信息,则向所有的 MSR 广播一个 WHO-HAS 查询,由与 MH 相连的 MSR 响应。当 MH 移动时采用“懒散”的位置更新方案,仅改变当前和移动前与 MH 相连的 MSR 的 LD 信息,其他 MSR 缓存的 LD 记录通过错误反馈机制而更新。

Columbia 方案的优点是只有 MH 和 MSR 需要增加新的功能,不需要修改现有的主机和路由器软件;该方案的缺陷是 MSR 需要在所有与 MH 通信的子网上实现,且在全网广播 WHO-HAS 查询的开销很大,因此该方案的伸缩性较差,通常 Columbia 方案只在校园网范围内使用,不适用于全球性的 Internet。

4.1.2 LSR 方案 每台 MH 的 Home Network 有一移动路由器(MR),MH 访问的 Foreign Network 有一移动访问站(MAS);当 MH 移动到新的网络时,向其 Home Network 的 MR 通知当前所在网络的 MAS 的地址,MR 在路由表中记录该信息;CH 与 MH 通信时,第一个分组按正常路由送达 MH 的 MR,MR 在分组中插入 LSR 选项,使该分组必须经过当前的 MAS 到达 MH,在 MH 发往 CH 的确认分组中也插入 LSR 选项,CH 收到该分组时,倒转分组中所记录的路径,后续的分组合利用 LSR 选项直接发往 MH,不需要经过 MR。

LSR 方案的特点是使用源路由作地址转换的手段,通过该方法自然地将 ATA 的功能与 CH 相联系而无需改变 CH 上的软件,自动的缓存更新(通过 MH 发往 CH 的分组中的 LSR 选项)使该方案能用于大规模网络和主机移动频繁的场所;然而由于目前 Internet 上的大部分主机都不能正确地执行链路倒转,甚至出于安全的考虑而丢弃具有 LSR 选项的分组,另外目前的路由器也不能有效地处理带选项的分组,所以 LSR 方案在目前环境下的实现面临很大的困难。

4.2 支持主机“宏观”移动的方案

所谓“宏观”移动是相对于“微观”移动而言的,指在广域网上或不同管理域之间的移动,我们以 IETF 移动 IP 工作组标准化的一些方案为例进行阐述。

4.2.1 IETF 的移动 IP 方案^[8] MH 的 Home Network 有一台称为 Home Agent 的机器,MH 在 Foreign Network 有两种获得 Care-of Address 的方法,一是通过与 Foreign Network 上一台称为 Foreign Agent 的机器交互,二是通过 DHCP 协议;MH 移动到新的网络后将获得的 Care-of Address 向其 Home Agent 注册;与 MH 通信的 CH 先将分组送到 MH 的 Home Agent,再由 Home Agent 将分组转发到当前的 Foreign Agent 或 MH 本身,分组的转发使用封装方法,IETF 提出的封装协议有 IP/IP 封装^[5]、最小封

装”等。

移动 IP 方案是 Internet 中支持主机移动的标准方案,它只需修改 MH、Home Agent 和 Foreign Agent 上的软件,位置更新过程非常简单,因此可伸缩性很好;但移动 IP 存在路由效率低的问题,即所谓的“三角路由”:从 CH 发往 MH 的分组必须经过 Home Agent,而从 MH 发往 CH 的分组直接发送。三角路由带来的问题有:增加分组传输的延时;增加 Home Network 及其邻近网络的负载。

4.2.2 带路径优化扩展的移动 IP 方案^[11] 为了克服移动 IP 中的三角路由问题,IETF 提出了移动 IP 的路径优化扩展,带路径优化扩展的移动 IP 方案与基本的移动 IP 方案有如下几点不同:①LD 信息存放在 MH 的 Home Agent 处,但允许在 CH 缓存;②ATA 为 MH 的 Home Agent 或 CH 本身,通常 CH 发送给 MH 的第一个分组需经过 Home Agent,后续分组直接发送到 MH;③由于允许 CH 缓存 LD 信息,需要保证缓存的一致性,因此该方案的位置更新过程比基本的移动 IP 方案复杂(具体过程参见协议文本)。

带路径优化扩展的移动 IP 方案克服了三角路由问题,大部分分组直接由 CH 发往 MH,提高了路由的效率,但它引起了一些新的问题:①可伸缩性问题。移动 IP 方案只需修改 MH、Home Agent 和 Foreign Agent 上的软件,而带路径优化扩展的移动 IP 方案需要在 CH 上增加新的功能(如支持封装协议),这对于大量正在使用的 Internet 主机是不太现实的;②鉴别问题。位置更新时,接收方需对位置更新信息进行鉴别,否则恶意攻击结点可假冒 MH 注册错误的 Care-of Address 从而使 MH 不可达,鉴别通常通过在两者之间共享秘密信息(如共享密钥)来实现。移动 IP 方案中,只需在 MH 与 Home Agent 之间共享秘密信息,而 MH 和 Home Agent 通常属于同一管理域,较容易实现信息共享;带路径优化扩展的移动 IP 方案中,所有的 CH 需对位置更新信息进行鉴别,而 CH 与 Home Agent 一般不属于同一管理域,由于缺乏全国范围内的密钥管理机制,它们之间的鉴别较难实现。

4.2.3 移动 IPv6 方案^[12] IPv6 中支持主机移动的思想与 IPv4 基本一致,但由于 IPv6 还处于标准化阶段,尚未大规模开发,因此可将一些需要的功能(如支持路径优化)增加到 IPv6 结点,使 IPv6 中支持主机移动更为自然和高效。移动 IPv6 方案具有如下几个特点:①该方案中不需要 Foreign Agent,FA 即为 MH 本身,MH 通过 DHCPv6 等协议获得一个 Care-of Address;②位置更新时,由 MH 直接向 Home Agent 及近期与之通信的 CH 发送 Binding Update,所使用的 Binding Update 和 Binding Acknowledgement 均为

IP 报头的选项,可单独发送,也可搭载在任意分组中发送;③移动 IPv6 方案中的地址转换使用 IPv6 的路由头(Routing Header)选项,该选项类似于 IPv4 中的源路由,IPv6 中解决了主机和路由器处理源路由的低效问题;④IPv6 结点期望实现强加密和强鉴别,因此对 Binding Update 的鉴别问题较易解决。

4.3 支持主机“微观”移动的方案

所谓“微观”移动,指在管理域之内的移动,“微观”移动的特点是区域范围小,主机移动频繁,上节介绍的支持主机“宏观”移动的方案具有下列问题:①MH 移动时,需要通知其 Home Agent 或 CH,如果它们之间相隔较远,移交过程会招致大的延时和延时抖动;②从移交开始到新路径收敛这段时间,会发生较多的分组丢失;③大量主机频繁移动引起的控制信息交互给网络增加了很大的负载。这些问题对高层协议性能,特别是交互式多媒体应用的性能有很大的影响,下面将介绍的两个方案就是针对以上问题而提出的。

4.3.1 层次移交方案^[13] 是 Bell 实验室的 Caceres 等人提出的,该方案中主机移动分为两类:一类是管理域之间的移动,采用 4.2 小节中所述的协议;另一类是管理域内的移动,采用专门设计的本地移交协议。为了与移动 IP 兼容,该方案采用了如下的结构:整个管理域有一个域 Foreign Agent,管理域内的每个子网有一个子网 Foreign Agent,子网 Foreign Agent 将域 Foreign Agent 的地址包含在它们广播的代理通知消息中,并将它们收到的来自 MH 的代理请求消息转发给域 Foreign Agent,因此,从整个管理域的角度看,MH 的 Foreign Agent 即为域 Foreign Agent,MH 的 Care-of Address 即为域 Foreign Agent 的地址。本地移交协议是专为管理域内的主机移动而设计的,它通过本地的协议交互使 MH 的控制权由旧子网 Foreign Agent 移交给新子网 Foreign Agent,并通知域 Foreign Agent,从而避免了与 Home Agent 或 CH 的交互,因此减少了移交时分组的延时、丢失率以及加于网络上的负载。

4.3.2 Daedalus 方案^[14] 是加州大学伯克利分校的 Seshan 等人提出的,该方案中,分组从 CH 到 MH 的投递分为两个阶段:第一阶段从 CH 到 MH 的 Home Agent,该阶段与移动 IP 的相应阶段完全一致;第二阶段将分组转发到 MH 的当前位置,该阶段与移动 IP 的相应阶段有很大差别。第二阶段中,为 MH 分配一临时的 multicast 地址,利用 multicast 组织 MH 附近子网的一些 Foreign Agent,使它们都接收送往 MH 的分组,其中只有一个 Foreign Agent 将分组转发给 MH,其他 Foreign Agent 缓存最近的分组,当移交发生时,新的 Foreign Agent 已有缓存的分组,可直接

转发给 MH,从而可获得与非移交时一致的性能。该方案使用 multicast 路由完成分组从 Home Agent 到多个 Foreign Agent 的转发,该方案的另一个优点是移交时不需要通知 MH 的 Home Agent,因为 multicast 路由本身提供快速的路径更新。

Daedalus 方案是解决移交时分组延时和丢失率问题的另一种思路,但它有两个缺陷:一是占用大量的资源,包括网络上的带宽和 Foreign Agent 上的缓冲区空间;二是当前 multicast 路由尚未成熟和大规模开发。

除了两层地址方案外,还提出了一些支持主机移动的方法,如基于多点投递体系结构的主机移动方案^[15],利用多点投递提供的位置无关的寻址和分组转发特性来支持主机移动;另外还有在运输层^[16]以及网络层和运输层^[17]共同支持主机移动的方案。表 1 列出

了上面介绍的各种主机移动方案到第 3 节中体系结构的映射及各自的优点和缺陷。

5 我们的观点

从以上各节的分析研究中我们可以看出网络层支持主机移动的大致发展过程,提出的方案尽管很多,但它们都有一个共同的目标,即追求简洁、高效、可伸缩性好以及能与原有系统兼容,如何充分利用现有的协议机制和过程构造所需的功能也是各个方案所努力追求和探索的。其中第 3 节所介绍的网络层支持主机移动的体系结构的提出是该方向发展中的一个重要的里程碑,它既是对前人已提方案的一个很好总结,又为后续研究者设计新的方案提供了指导。另外,IETF 对移动 IP 的标准化对该领域的发展也具有积极意义,它为网络层支持主机移动的实际应用奠定了基础。

表 1 各主机移动方案到体系结构的映射及各自优缺点比较

	Columbia 方案	LSR 方案	移动 IP 方案	路径优化移动 IP 方案	移动 IPv6 方案	层次移交 方案	Daedalus 方案
FA	MH 端 MSR	MAS	Foreign Agent 或 MH 本身	Foreign Agent 或 MH 本身	MH 本身	与使用的管理域间的移动方案有关,其中域 Foreign Agent 相当于移动 IP 的 Foreign Agent	Foreign Agent
LD	在各 MSR 间 分布实现	在 MR 存放, 允许缓存	在 Home Agent 存放, 不允许缓存	在 Home Agent 存放, 允许缓存	Home Agent 存放,允许 缓存		Home Agent 存放,不允许 缓存
ATA	CH 端 MSR	MR 或 CH 本身	Home Agent	Home Agent 或 CH 本身	Home Agent 或 CH 本身		Home Agent
Care-of Address 的获得	与 MSR 交互	与 MAS 交互	与 Foreign Agent 交互 或 DHCP	与 Foreign Agent 交互 或 DHCP	DHCPv6 或其他		分配一临时 Multicast 地址
位置更 新过程	"懒散"更 新方案	刷新主记录, 自动更新缓存	MH 向 Home Agent 注册	较复杂	MH 通知 Home Agent 及 CH		利用 multicast 路由的路径更 新机制
地址转 换机制	封装	源路由	封装	封装	IPv6 路 由头选项		封装
优点	只需在 MSR 增 加新功能	将 ATA 功能 与 CH 相联而不 改变 CH 软件	简单,可伸 缩性好	克服了三 角路由问题	更自然 和高效	移交时降低分 组延时和丢失 率及网络负载	移交时降低 分组延时和 丢失率
缺陷	可伸缩 性不好	目前环境 下难于实现	三角路 由问题	可伸缩性和 鉴别问题	—	—	占用带宽和 缓冲区资源

但是,上述各种方案存在一个共同的问题:MH 的移交都是当 MH 已经移动到新的位置后通过一系列的协议交互过程(如 Care-of Address 的获得,位置的更新等)完成的,这种被动的移交必然会导致移交时通信质量的下降(延时和分组丢失率增大),从而对应用和上层协议造成影响。层次移交方案虽然通过本地移交协议对管理域内的移动避免了远程的交互,但本地交互不可避免;Daedalus 方案中通过 multicast 的方法预先将分组发送到未来可能移交的区域进行缓存,但

其发送的目标是盲目的,往往造成大量不必要的带宽和缓存浪费,所以它们解决上述被动移交问题是不彻底的。

针对上述问题,我们提出了主动移交的思想,考虑到每台主机的移动都存在一定程度的规则性(这种规则性主要是由携带主机的人的移动行为的重复性所引起的,并且呈现不同的周期),如果能用数学的方法描述这种规则性,或者通过智能的方法(如神经网络方法)学习这种规则,就可以根据主机的移动历史预测其

未来的位置, 我们的主动移交思想就是基于对主机移动行为的预测, 在移动发生前主动预测主机的下一移动位置, 并根据预测的结果预先完成部分移交工作, 做到资源预分配和数据预发送, 从而使得移交时 MH 可以获得稳定的通信质量。我们下一步的研究重点之一就是建立主机移动的数学模型, 并设计主动移交方案的具体协议过程。

另外, 采用新型的网络体系结构和协议是未来网络的发展趋势, 如何将现有网络条件下支持主机移动的研究成果应用到新型网络体系结构和协议的设计中使其“天生”高效地支持主机的移动也是我们将要研究和思考的。

结束语 我们认为网络层支持主机移动是一个值得研究的课题, 它的成功将给计算机网络带来新的机遇, 目前的研究工作已经取得了一些成果, 但离需求还远远不够, 只有深入的研究, 才能把握发展的方向。

参考文献

- Perkins C. Mobile Networking. IEEE INFOCOM'99, Tutorial, March 1999
- Postel J. Internet Protocol. RFC 791, Sep. 1981
- Bhagwat P, et al. Network Layer Mobility: an Architecture and Survey. IEEE Personal Communication, June 1996
- Droms R. Dynamic Host Configuration Protocol. RFC2131, March 1997
- Perkins C. IP Encapsulation Within IP. RFC2003, May 1996
- Ioannidis J, Maguire G. The Design and Implementation of a Mobile Internetworking Architecture. In Proc. of Winter USENIX. San Diego, CA, Jan. 1993
- Perkins C, Bhagwat P. A Mobile Networking System based on Internet Protocol. IEEE Personal Communication Magazine, Feb. 1994
- Johnson D. Mobile Host Internetworking Using IP Loose Source Routing. [Technical Report CMU-CS-93-128]. Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA 15213, Feb. 1993
- Perkins C. IP Mobility Support. RFC 2002, Oct. 1996
- Perkins C. Minimal Encapsulation Within IP. RFC 2004, May 1996
- Perkins C, Johnson D. Route Optimization in Mobile IP. Internet Draft, Feb. 1999
- Johnson D, Perkins C. Mobility Support in IPv6. Internet Draft, Nov. 1998
- Caceres R, Padmanabhan V. Fast and Scalable Handoffs in Internetwork. In: Proc. of the First ACM Conf. on Mobile Computing and Networking. Nov. 1996
- Seshan S, et al. Handoffs in Cellular Wireless Networks. The Daedalus Implementation and Experience. Kluwer Journal on Wireless Personal Communications, 1996
- Mysore J, Bharghavan V. A New Multicasting-based Architecture for Internet Host Mobility. In: Proc. of the Annual Intel. Conf. on Mobile Computing and Networking (Mobicom). Sep. 1997
- Funato D, et al. TCP-R, TCP Mobility Support for Continuous Operation. In: Proc. of the Intl. Conf. on Network Protocols. Oct. 1997
- Xun Q, Xu Y. Analysis of Mobile TCP/IP Solutions. In: Proc. of the Intl. Conf. on Information, Communications and Signal Processing. Sep. 1997

《计算机科学》继续被编入 《中文核心期刊要目总览》2000 年版

《中文核心期刊要目总览》(2000 年版)编委会依据文献计量学的原理和方法, 经过研究人员对相关文献的检索、计算和分析, 并请学科专家鉴定, 《计算机科学》被确定为自动化技术、计算机技术类的核心期刊, 并被编入《中文核心期刊要目总览》2000 年版(即第三版)。

此次重新研制筛选中文核心期刊, 被列为“国家教委人文社会科学研究‘九五’规划项目”。研制者认真总结前两次研制工作的经验, 参考了大量国内外相关文献, 对核心期刊的理论和方法进行了深入的研究和探讨, 力求使研制方法更加科学合理, 采用了中国科学院文献情报中心、中国社会科学院文献信息中心、上海图书馆、中国人民大学书报资料中心及西南信息中心等单位编制的文献数据库作为统计工具, 经过严格的筛选, 从我国正在出版的近万种中文期刊中确定了 1568 种期刊为核心期刊, 《计算机科学》名列其中。

筛选和确定核心期刊的工作, 是运用科学方法对各种刊物在一定时期内所刊载的论文质量和水平进行综合评价的一种科研活动, 其研究工作不受外界因素影响。经过筛选所确定的各类核心期刊表是一项建立在科学研究基础上的学术成果, 具有权威性, 备受高等院校、期刊管理部门及广大期刊编辑部的关注和充分重视, 而且有利于促进我国科技期刊的发展和公平竞争。得到业界人士好评。