

一个新型嵌入式移动性支持方案

童 超, 高小鹏, 陈 炜, 彭凌云, 龙 翔

(北京航空航天大学计算机学院, 北京 100083)

摘 要: IETF 的移动 IP 协议存在代理的部署少、三角路由增加网络开销以及操作系统的支持有限等问题, 未得到广泛应用。该文针对移动 IP 协议的不足, 提出了一个新型的嵌入式移动性支持方案。该方案引入嵌入式移动代理和地址索引服务器来实现移动管理, 最大限度地减小了移动管理对网络基础设施的依赖, 为单个或成组移动设备提供了透明的移动服务。仿真实验表明, 该移动性方案开销小、效率高, 易于实现。

关键词: 嵌入式系统; 移动管理; 移动代理; 移动性

Novel Mobility Support Scheme Based on Embedded Technology

TONG Chao, GAO Xiao-peng, CHEN Wei, PENG Ling-yun, LONG Xiang

(Computer School, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083)

【Abstract】 Mobile IP has problems such as lack of agents, triangle routing and limitation of the support of the operating system. Therefore, mobile IP has not been put into widespread use. This paper proposes a novel mobility support scheme based on embedded technology. The scheme realizes the mobile management with embedded mobile agent and address trail server, reduces the dependence on the network infrastructure and provides the transparent mobile service for mobile equipments. Simulation study shows that this mobility scheme costs little, has high efficiency and is easy to realize.

【Key words】 embedded system; mobile management; mobile agent; mobility

随着无线通信技术的发展, 网络设备支持移动性已经成为当前研究的热点^[1~4]。针对IP协议缺乏对移动的支持, IETF移动IP工作组对IP协议进行了扩展, 制订了移动IP协议。但是由于移动IP协议仍然存在许多不足而未获得广泛应用。

本文针对移动IP协议的不足, 提出了一个新型的嵌入式移动性支持方案。通过引入嵌入式移动代理和地址索引服务器来实现移动管理, 使得移动设备在移动过程中与其他设备之间的通信不会因为移动而中断。由于实现了移动设备的透明移动, 因此移动设备用户无须关心自身是否移动, 也无须对移动设备进行手动设置, 有效地弥补了移动IP协议的不足。

1 关键技术

1.1 移动IP工作原理

移动IP^[2~4]协议由MN(mobile node)、HA(home agent)、FA(foreign agent)和CN(correspondent node)4个实体组成。每一个MN都拥有一个基于其家乡网络地址前缀的永久性IP地址, 称为HoA(home of address)。当MN位于其家乡网络中时, 它就是一个固定节点, 不执行任何移动的功能。当MN移动到一个外地网络时, 它获取一个外部网络地址前缀的临时地址, 称为CoA(care of address)。MN还可以使用代理发现机制在外地网络获得一个FA, 并向FA进行注册, 把FA的地址作为自己的CoA。CoA和HoA的映射关系称为“绑定”。MN或FA向其家乡网络中一个特定路由器即HA和绑定更新列表中包含的CN发送绑定更新消息, 使HA和CN及时得到MN当前的网络接入点。如果网络中某一节点不知道MN当前的CoA, 那么该节点发往MN的数据包要经过HA转发。当MN收到一个从HA转发来的数据包, 它就向发送数据包的源节点发送绑定更新消息, 使源节点可以直接向移动节点发送数据包, 而不需要

经过HA的转发。在相反的方向, MN发送出的数据包将被直接路由到它的目的地。

1.2 移动IP的不足

通过对移动IP协议的分析, 可以发现其存在问题如下:

(1)部署问题。移动IP协议对HA和FA有很强的依赖性。在HA和FA广泛部署之前, 无法获得广泛应用。

(2)三角路由问题。当CN给MN发送数据包时, 数据包首先到达MN的HA, HA再根据MN当前的CoA将数据包转交给MN, 这就出现了路由的“三角问题”。最差的情况是当发送数据包的CN靠近MN所在的外地网络或MN已经漫游到CN所在的网络时, 发送的数据包却仍要先到达MN的HA, 再由HA根据CoA转交给MN。三角路由问题增大了传输延迟, 浪费了网络资源, 增加了网络负担。

(3)操作系统的支持。目前仅少数操作系统存在移动IP的实验系统, 大多数操作系统不支持移动IP协议。

2 嵌入式移动性支持方案的设计与实现

2.1 嵌入式移动性支持方案基本原理

嵌入式移动性支持方案包括MN、嵌入式移动代理(embedded mobile agent, EMA)、地址索引服务器(address trail server, ATS)和Internet的各种网络基础设施(如路由器、基站等组成)。

基金项目: 微软亚洲研究院 2004 年嵌入式RFP计划基金资助项目
“Research on Embedded Mobile Agent”

作者简介: 童超(1978-), 男, 博士研究生, 主研方向: 移动通信网络; 高小鹏, 博士、讲师; 陈炜, 博士研究生; 彭凌云, 硕士研究生; 龙翔, 教授、博士生导师

收稿日期: 2006-10-13 **E-mail:** tongchao@buaa.edu.cn

方案的网络拓扑关系如图 1 所示。其中,ATS 集中管理 MN 的地址信息,但数据流量并不经过 ATS;EMA 为 MN 提供类似移动 IP 中的 HA/FA 的功能。MN 集成了 EMA 后,把 EMA 设置为默认网关。EMA 向 ATS 注册或更新(如移动后获得新的 IP 地址)MN 和它本身的 IP 地址。EMA 根据查询 ATS 中其他 MN 的地址构建隧道来转发 MN 的所有数据包。ATS 和 EMA 协同完成移动管理的工作使得 MN 无须做任何配置而获得透明的移动服务。通过把 EMA 集成到 MN 中,可以有效避免 HA/FA 部署和三角路由的问题,也不需要操作系统实现移动 IP 协议。

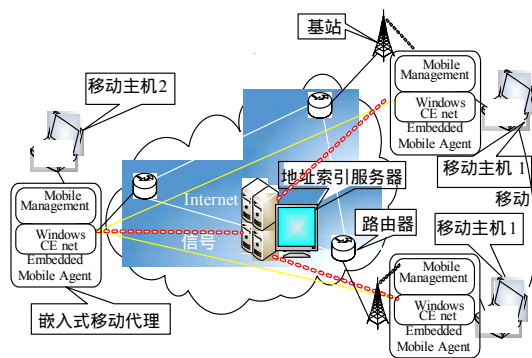


图 1 网络拓扑关系

2.2 嵌入式移动性支持方案基本内容

嵌入式移动性支持方案具体内容如下：

- (1)每个 MN 配备一个 EMA。EMA 设备以接口卡的形式插入 MN 中并随着 MN 一起移动。EMA 作为 MN 的默认网关,MN 的所有数据由 EMA 转发。EMA 的 IP 地址作为 MN 的 CoA;MN 的 IP 地址作为 EMA 的 HoA。对 MN 而言,MN 并不知道 EMA 的存在,即 EMA 对 MN 是透明的。
- (2)EMA 保存一个数据表,表内容是曾与该 MN 通信过的其他 MN 的 IP 地址和它们的 CoA。EMA 负责维护和更新表。
- (3)ATS 保存一个数据表,表内容是向其注册的 MN 的 IP 地址和它们的 CoA。ATS 负责维护和更新表。
- (4)MN 及其配备的 EMA 处于某基站的覆盖范围内时,EMA 的无线模块通过其所在的网络的 DHCP 服务器获得基于所在网络前缀的 IP 地址。EMA 获得 IP 地址后向 ATS 注册 MN 的 IP 地址和自身的 IP 地址。
- (5)当 MN₁同 MN₂进行通信时,MN₁的 EMA 截获 MN₁发给 MN₂的数据包后,查询数据包中的目的地址(即 MN₂的 IP 地址)的 CoA,然后把 CoA 作为数据包新的目的地址进行 IP 封装^[5]。为实现上述目的,EMA 首先从自身数据表中查询 MN₂的 CoA;若未命中,EMA 将向 ATS 查询;若仍未命中,EMA 放弃进行数据包的封装,直接转发数据包。封装好的数据包通过隧道被传送给 MN₂的 EMA(即 MN₂的 CoA),MN₂的 EMA 收到封装好的数据包后进行解封装,然后转交给 MN₂。MN₂发送至 MN₁的数据包进行上述类似的处理。
- (6)当 MN₁移动出原基站的覆盖范围而进入其他基站覆盖范围时,MN₁的 EMA 的无线模块获得当前网络 DHCP 服务器分配的新的 IP 地址后向 ATS 发出请求更新地址信息,即 MN₁的 CoA 更新为 EMA 新的 IP 地址。ATS 通知与 MN₁通信的

其他 EMA(比如 MN₂的 EMA)更新数据表。MN₁和 MN₂根据新的 CoA 继续保持通信,MN₁和 MN₂之间的通信并未因 MN₁的移动而中断。移动对于 MN₁和 MN₂而言是透明的。

2.3 地址索引服务器

ATS 是集中管理 MN 的 IP 地址信息,协同 EMA 进行移动管理的服务器。由于 ATS 处于网络中有公开且固定的 IP 地址,因此 EMA 无论其自身是否移动都能够和 ATS 进行通信。ATS 的功能如下：

- (1)它有向其注册的 MN 的 IP 地址数据表,数据表内容包括 MN 的 IP 地址及其 CoA。
- (2)接收 EMA 的注册请求并把 MN 的 IP 地址和 CoA 入库。
- (3)接收 EMA 的更新请求并把 MN 的 IP 地址和 CoA 更新。
- (4)如果通信双方中的某一 MN 向其提出更新请求,它将向另一方主动发送通信一方更新后的地址和 CoA,尽量保持通信双方的通信。ATS 的功能由注册/更新(ATS 端)模块实现。注册/更新(ATS 端)模块采用 SOCKET 编程实现 ATS 和 MN 之间的通信。

2.4 嵌入式移动代理

EMA 为 MN 提供类似移动 IP 中的 HA 和 FA 的功能。EMA 的功能如下：

- (1)包转发:EMA 是 MN 的默认网关,MN 的所有数据都经 EMA 进行转发。
- (2)移动管理:EMA 将向 ATS 注册其 HoA 和 CoA。如果移动代理改变了它的接入点,它将向 ATS 注册其新的 CoA。
- (3)隧道:MN 之间的通信使用隧道技术。EMA 将对 MN 间通信的数据包进行封装和解封装。

2.4.1 硬件体系结构

EMA 是一个典型的嵌入式系统,最终以 PCMCIA 或 PCI 等多种接口形式提供给 MN。

如图 2 所示,EMA 硬件包括 CPU、RAM、Flash、以太网芯片、WLAN 以太网芯片和 PCMCIA 接口等。EMA 和 MN 可以通过共享内存或 PCMCIA 接口的方式进行通信。硬件的选择需考虑到:(1)EMA 上运行的操作系统及运行其上的数据包封装/解封装、移动管理模块、基于安全性扩展等软件运行需求;(2)EMA 采用 PCMCIA 的接口供电,供电有限;(3)PCMCIA 卡等形式要求尺寸较小。

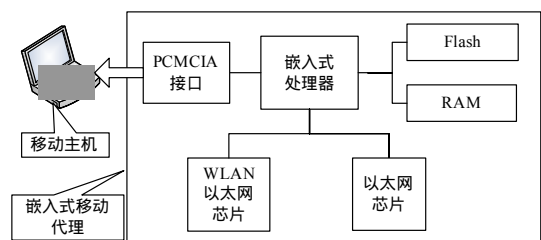


图 2 嵌入式移动代理硬件组成

2.4.2 软件体系结构

EMA 的软件体系结构如图 3 所示。EMA 运行嵌入式操作系统 Windows CE.net,应用层包括注册/更新模块等用户空间模块;数据链路层和 IP 层间包括网络切换监测模块、数据包封装/解封装模块等内核空间模块。

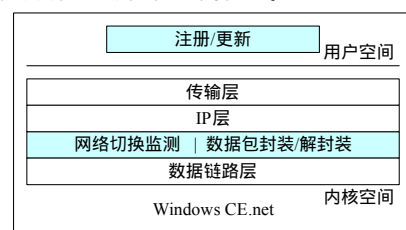


图3 嵌入式移动代理软件体系结构

方案中 EMA 的移动管理功能由注册/更新模块和网络切换监测两个模块完成,前者用于 EMA 向 ATS 注册或更新 MN 的地址和 CoA,后者监测 EMA 网络切换,以便通知前者尽快向 ATS 更新地址。关于移动管理的操作过程将在本文第 2.5 节中详细讨论。

数据包封装/解封装模块用于 MN 之间通信的隧道传输,在数据链路层中截获 IP 数据包进行封装和解封装。

注册/更新模块采用 SOCKET 编程实现,网络切换监测模块和数据包封装/解封装模块以 NDIS 中间层驱动程序方式实现。

(1)数据包封装

模块截获数据包后查看 IP 数据包包头中的源地址和目的地址以及 IPv4 头的协议(protocol)字段或 IPv6 头的下一个首部(Next Header)字段,若该数据包未经封装,进行如下操作来构建新的 IP 头。

1)若为 IPv4 包,则把总长度字段增加 20B。若超过 IP 包的 MTU,则将数据包进行分段处理。协议字段改成 IP in IP 封装的标识 4。源地址保持不变,目的地址字段改成原目的地址的 CoA。最后对新的 IPv4 头进行首部校验和计算,把计算结果填入校验和字段。

2)若为 IPv6 包^[6],则把有效载荷长度字段增加 40B。下一个首部字段改成经过封装的 IPv6 包头标识 41。源地址保持不变,目的地址字段改成原目的地址的 CoA。

构建好新的 IP 头后,把新的 IP 头放在原 IP 数据包前形成新的数据包传递给 IP 层。

(2)数据包解封装

当模块收到已封装数据包且数据包目的地址为当前 EMA 的 IP 地址时,对数据包解封装。丢弃数据包外部 IP 头而采用内部 IP 头作为新的 IP 头形成新的数据包传递给 IP 层。

2.5 移动管理

移动管理的操作过程如图 4 所示。受篇幅所限,本文不详细讨论消息格式,只介绍移动管理协议的基本工作原理。MN₁(集成了EMA₁)和MN₂(集成了EMA₂)进行通信(因为MN与所集成的EMA直接通信,所以在图中没有画出MN)。在一段时间后,移动代理 2 获得了新的 CoA,变为 EMA_{2'}。“||”代表载荷的链接。

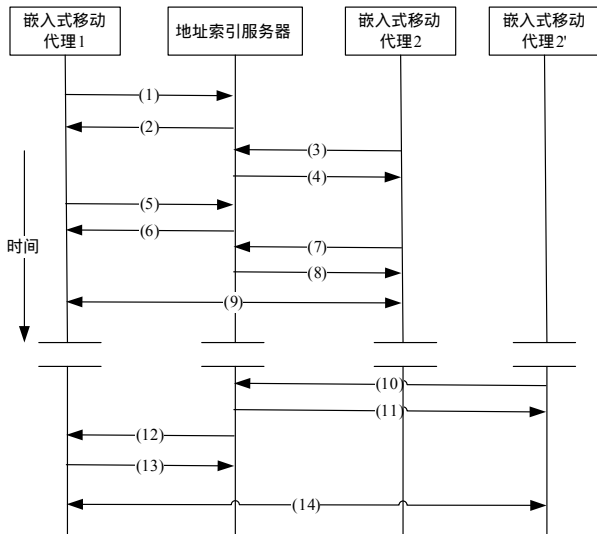


图4 移动管理过程

(1)EMA₁→ATS :Type(Register) || LifeTime || HoA(MN₁) ||

CoA(EMA₁)。这条消息是注册(Register)消息。系统启动时,EMA₁向ATS注册MN₁的CoA。Type表示消息的类型(如注册消息,订阅消息等);LifeTime表示注册的有效期。

(2)ATS→EMA₁Type(RegisterAcknowledge) || LifeTime || HoA(MN₁) || CoA(EMA₁)。这是ATS对EMA₁注册消息的回应,指示服务器是否接受移动 1 的注册。

(3)EMA₂→ATS :Type(Register) || LifeTime || HoA(MN₂) || CoA(EMA₂)。这条消息是注册(Register)消息。EMA₂向ATS注册MN₂的CoA。

(4)ATS→EMA₂Type(RegisterAcknowledge) || LifeTime || HoA(MN₂) || CoA(EMA₂)。

(5)EMA₁→ATS :Type(Subscribe) || TargetHoA(MN₂) || HoA(MN₁)。这条消息是订阅(Subscribe)消息。EMA₁通过向ATS提供MN₂的HoA,订阅EMA₂的CoA,表示MN₁关心MN₂的当前位置。

(6)ATS→EMA₁Type(SubscribeAcknowledge) || LifeTime || TargetHoA(MN₂)。这是ATS对EMA₁订阅消息的回应,表示服务器是否接受移动 1 的订阅。

(7)EMA₂→ATS :Type(Subscribe) || TargetHoA(MN₁) || HoA(MN₂)。这条消息是订阅(Subscribe)消息。EMA₂通过向ATS提供MN₁的HoA,订阅EMA₁的CoA。

(8)ATS→EMA₂Type(SubscribeAcknowledge) || LifeTime || TargetHoA(MN₁)。这是ATS对EMA₂订阅消息的回应,表示服务器是否接受移动 2 的订阅。

(9)MN₁和MN₂之间通过EMA₁和EMA₂进行通信。

(10)EMA₂→ATS :Type(Update) || LifeTime || HoA(MN₂) || CoA(EMA₂)。这条消息是更新(Update)消息。EMA₂获得新的CoA,将新的CoA通知ATS。

(11)ATS→EMA₂Type(UpdateAcknowledge) || LifeTime || TargetHoA(MN₂) || CoA(EMA₂)。这是ATS对EMA₂更新消息的回应。

(12)ATS→EMA₁ :Type(Notify) || HoA(MN₂) || CoA(EMA₂)。这条消息是通知(Notify)消息。ATS将EMA₂新的CoA通知给EMA₁。

(13)EMA₁→ATS :Type(NotifyAcknowledge) || HoA(MN₁)。这条消息是移动代理对ATS通知(Notify)的回应。

(14)MN₁和MN₂之间通过EMA₁和EMA₂进行通信。

3 仿真实验与分析

3.1 仿真实验环境

仿真实验网络拓扑如图 5 所示,实验目标是仿真 MN 在移动过程中与 CN 的通信。MN 由 1 台笔记本电脑模拟,CN 与 ATS 分别由 1 台 PC 模拟。为了简化工作量,本文采用了 2 块评估板来模拟 EMA(详见后文),并分别通过以太网与 MN 和 ATS 连接。

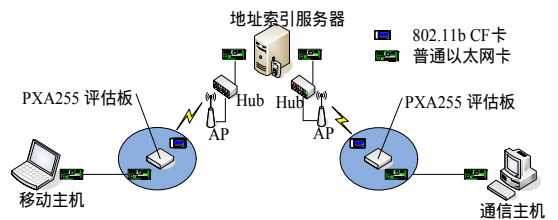


图5 仿真实验网络拓扑

EMA 上运行注册/更新模块、网络切换监测模块和数据包封装/解封装模块等程序。ATS 运行注册/更新(ATS 端)模块程序。

3.2 嵌入式移动代理仿真

本文采用亿道XSbase255 评估板^[7]仿真EMA。评估板基本配置为：嵌入式处理器(XScalePXA255，主频 400MHz)，64MB SDRAM，32MB Flash，WLAN网卡(符合 802.11b)及 10Mb/s以太网卡。

3.3 测试方法

本文采用Ping工具测量仿真实验网络的ICMP丢包率^[8,9](ICMP packet loss rate)和ICMP往返时延^[10](round trip time, RTT)。每次ping发送 2000 个ICMP数据包，重复 20 次。ICMP包大小按照 32B~1408B分别测量。每测试 2000 个ICMP包，模拟MN切换网络 0~6 次。

采用Iperf工具测量TCP带宽、UDP带宽、UDP时延抖动(Jitter)和UDP丢包率。Iperf的UDP的缺省带宽为 1Mb/s，UDP缓冲尺寸为 8KB，TCP窗口尺寸为 8KB。每个测试重复 20 次。测试过程中，模拟MN在 30s内切换网络 0~6 次。实验采用泊松抽样^[11]，抽样时间间隔服从泊松分布(泊松抽样对测量结果的无偏估计、测量结果不可预测，不会产生同步现象)，抽样按照如下方法实现。

- (1)决定平均测量间隔时间的参数 λ 。例如：对于 30s 的平均抽样间隔，有 $\lambda=1/30$ ，时间单位为秒。
- (2)产生(伪)指数分布随机数 E_1, E_2, \dots, E_n 。产生 0-1 之间服从均匀分布的(伪)随机数 U_1, U_2, \dots, U_n 。产生 $E_i = -\ln(U_i)/\lambda$ 。
- (3)计算测量进行时间 T_1, T_2, \dots, T_n 。其中， $T_i = E_1 + \dots + E_i$ 。
- (4)在时间 T_1, T_2, \dots, T_n 分别做一次测量。

本文测试时间间隔均采用泊松抽样产生的时间间隔。

3.4 测试结果及分析

(1)丢包率

ICMP 丢包率是指通信过程中 ICMP 包丢失数占所有发送包数的比率。

ICMP 丢包率如图 6 所示，ICMP 包大小对 ICMP 丢包率影响不大，但是随着网络切换次数的增加，ICMP 丢包率略有增加。整体而言，ICMP 丢包率不大，在每 ping2000 个包内最多切换 6 次的测试中，ICMP 丢包率最高为 1.3%。由此可见，网络切换对丢包率的影响较小。

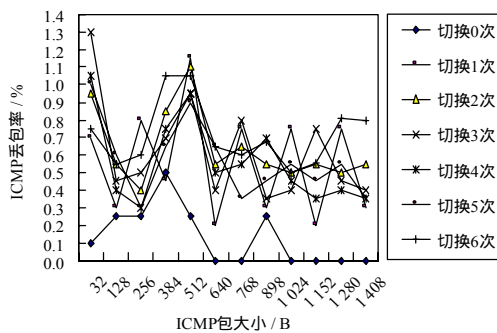


图6 ICMP丢包率

(2)往返时延

往返时延是数据包从发起通信方到接受通信方然后再返回发起通信方所花费的时间。

ICMP 往返时延如图 7 所示。随着 ICMP 包大小的增加，ICMP 往返时延也随着增加。随着网络切换次数的增加，ICMP 往返时延略有增加，切换造成的时延增加在 4ms 内。整体来看网络时延较低，完全可以满足对实时性要求较高的视频和音频传输对时延<150ms 的要求。在移动 IP 中，通过 HA 和 FA 的转发增加了时延。其中增加的时延计算公式为

$$\Delta t = t_{CN-HA} + t_{encapsulation} + t_{HA-FA} + t_{decapsulation} + t_{FA-MN} - t_{CN-MN} \quad (1)$$

本文提出的移动性方案中，增加的时延计算公式为

$$\Delta t = t_{MN1-EMA1} + t_{encapsulation} + t_{EMA1-EMA2} + t_{decapsulation} + t_{EMA2-MN2} - t_{MN1-MN2} \quad (2)$$

因为EMA和MN可以通过共享内存通信，它们之间通信消耗的时间同整个通信过程中消耗的时间相比可以忽略不计，所以可以认为 $t_{MN1-EMA1} \approx 0$ ， $t_{EMA2-MN2} \approx 0$ 。因为EMA随着MN一起移动，所以可以认为 $t_{EMA1-EMA2} \approx t_{MN1-MN2}$ 。由此得到本方案时延的近似计算公式：

$$\Delta t \approx t_{encapsulation} + t_{decapsulation} \quad (3)$$

由式(3)可以看出本方案所增加的时延主要是由数据包封装/解封装带来的。由于数据包封装/解封装是在操作系统内核空间以驱动程序的形式实现，效率很高，因此相应时延同数据包在网络环境中的传输时延相比很小。

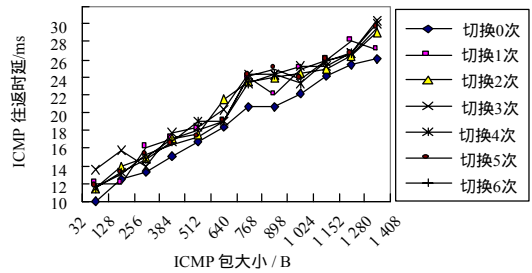


图7 ICMP往返时延

(3)TCP/UDP性能

TCP 带宽、UDP 带宽、UDP 时延抖动和 UDP 丢包率如图 8 所示。随着切换次数的增加，TCP 带宽和 UDP 带宽略有下降，UDP 时延抖动上升，UDP 丢包率也上升。即使网络在 30s 内切换了多达 6 次，UDP 时延抖动也仅为 12ms，完全满足对时延抖动要求高的网络视频/音频传输对时延抖动的要求。

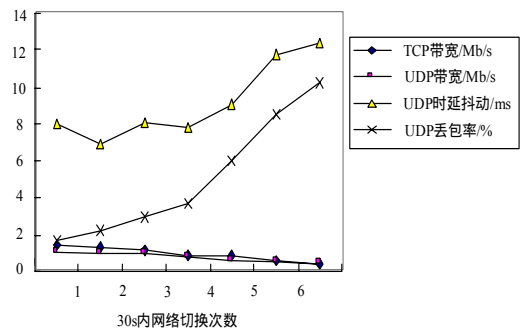


图8 TCP/UDP性能

4 结论及展望

针对移动 IP 技术标准中的缺陷，提出了一个新型的嵌入式移动性支持方案。方案具备以下几个优点：

(1)EMA 和 ATS 的部署，可以避免在基础网络设施大量地部署 HA 和 FA、三角路由问题和在操作系统实现移动 IP 协议。这样方案有效地弥补了移动 IP 协议的不足。EMA 由移动用户部署，方便快捷。ATS 一次性地集中部署在 Internet 上，则可以一劳永逸。

(2)除了能够为单个移动设备提供透明的移动服务外，还能够支持局域网络整体移动。如果为某个局域网的接入 Internet 的服务器配备 EMA 并让它作为移动网关转发整个局域网络和外界通信的数据包，那么整个局域网络可以同时移动仍然能够保持和外界节点的通信。

(3)可扩展性好，开销小，效率高，易于实现。

嵌入式移动性支持方案的安全机制问题和解决集中的 ATS 可能带来的问题将是下一步的工作。

(下转第 14 页)