

TaskShadow-V: 基于虚拟化的跨移动设备用户任务迁移*

徐羽琼, 谌宗佳, 潘纲⁺, 李石坚

(浙江大学 计算机科学与技术学院, 浙江 杭州 310027)

TaskShadow-V: User Task Migration Across Mobile Devices Based on Virtualization

XU Yu-Qiong, SHEN Zong-Jia, PAN Gang⁺, LI Shi-Jian

(College of Computer Science and Technology, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

+ Corresponding author: E-mail: gpan@zju.edu.cn

Xu YQ, Shen ZJ, Pan G, Li SJ. TaskShadow-V: User task migration across mobile devices based on virtualization. Journal of Software, 2011, 22(Suppl. (2)): 129-136. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/11033.htm>

Abstract: The rise of “Multiple devices per user” computing model and the mobility requirement of moving across physical environments bring great challenges to task migration in four aspects: continuity, transparency, heterogeneity and generality. This paper proposes the concept of “virtual user space”, and establishes a task migration framework based on a virtual user space, called TaskShadow-V, to address these challenges. Virtual user space guarantees the continuity of user tasks and capabilities of migrating across mobile devices. Meanwhile, the context-based mechanism of intelligent migration decision-making is proposed to ensure transparency of task migration. This mechanism employs virtual user space as the migrating granularity and uses context information to automatically make the decisions of migration. The study conducts an experiment to verify the effectiveness of proposed TaskShadow-V framework.

Key words: task migration, virtual user space, virtualization, context-aware, multi-device user experience

摘要: “一人多机”模式的兴起和用户在物理环境之间的移动需求,为任务迁移带来了多方面的挑战,如连续性、透明性、异构性、普遍性等.提出了基于虚拟化的“虚拟用户空间”概念,建立了基于虚拟用户空间的迁移框架 TaskShadow-V 来应对这些挑战.虚拟用户空间保证了用户任务的连续性和跨移动终端的迁移能力.同时,提出基于情境的智能迁移决策机制来保证任务迁移过程的透明性,其以虚拟用户空间为粒度来管理用户任务的迁移,并根据当前情境信息自动地做出迁移决策.通过若干迁移实验,验证了所提出的迁移框架的有效性.

关键词: 任务迁移;虚拟用户空间;虚拟化;情境感知;多设备用户体验

随着越来越多的设备尤其是移动设备的出现,越来越多的用户开始拥有多台设备^[1],例如桌面电脑、笔记本、平板电脑、智能手机等. David 等人调查发现,从事 IT 的年轻人群平均拥有 5.96 台设备^[2]. 为了获得更好的用户体验,用户使用的设备会随着他们的移动而发生变化,这使得用户的任务需要跨越多个设备才能够完成^[3,4]. 由于缺少跨终端的任务迁移支持,当用户更换设备之后,他们需要手工地配置新的运行环境. 这要求用户

* 基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)(2011AA010104); 浙江省自然科学基金(Y1090690); 浙江省钱江人才计划(2011R10078)

收稿时间: 2011-07-20; 定稿时间: 2011-12-01

花费大量的精力用于对繁琐的细节的处理,例如数据的传输和同步、应用的安装或重配置等.有研究^[5]表明,当用户在不同设备之间进行切换时,如何完成任务的跨终端是用户感到最为棘手的问题.云计算提供了数据和应用的统一存储和访问模型,这能够有效地帮助用户避免运行环境的重新配置.然而,Dearman^[2]发现,用户仍然会为如何恢复任务的执行状态而苦恼,例如,如何恢复视频的原先播放时间以便于继续欣赏.

“一人多机”模式的兴起和用户物理环境中的移动需求,为任务迁移带来若干挑战:

- 连续性:连续性是任务迁移的基本需求,即保证任务状态在不同终端上的一致性;
- 透明性:在用户移动过程中,用户注意力是最宝贵的资源^[6].任务迁移框架需要保证用户在迁移过程中不被任务无关的事件所干扰,从而尽可能地减少用户注意力资源的消耗;
- 异构性:在一人多机模式中,用户需要频繁地与各种具有不同的硬件和软件平台的异构设备进行交互.如何处理异构设备之间,特别是跨移动终端的任务迁移,是任务迁移框架需要解决的问题;
- 普遍性:用户使用面向不同平台和操作系统的各种应用来完成他们的任务.如何支持大量的甚至所有应用的迁移,是任务迁移框架在真实世界部署时所面临的巨大挑战.

为了应对这些挑战,我们提出基于虚拟用户空间的任务迁移框架 TaskShadow-V 来实现用户任务在移动终端和桌面终端之间连续和透明地迁移,引入虚拟化技术作为虚拟用户空间的构建基础,以便于屏蔽底层异构硬件并保证任务执行状态的连续性.同时,提出基于情境的智能迁移决策机制来保证任务迁移的透明性.TaskShadow-V 工作的初步进展已发表于 PCC'11 会议上.

本文第 1 节介绍相关的研究工作.第 2 节提出“虚拟用户空间”概念,并建立基于“虚拟用户空间”的任务迁移框架.第 3 节详细阐述如何实现 TaskShadow-V 框架的智能迁移决策机制.第 4 节是迁移性能评估实验及结果分析.第 5 节总结全文工作.

1 相关工作

在普适环境中,研究者们提出了若干框架来实现用户任务在终端之间的迁移.Aura^[6,7]提出了任务驱动计算的概念,并使用抽象的功能描述来描述用户的任务.这使得用户的任务能够在不同的平台利用不同的应用来继续执行;Gaia^[8]实现了在“active spaces”之间的应用迁移.它提出,基于 MVC 的开发模型来支持迁移应用的开发,并支持应用组件的运行时重构;Deepshot^[9]利用拍照作为迁移的触发机制来实现任务的跨移动终端迁移.这种新奇的触发机制能够帮助用户方便地选择需要迁移的应用和目的地;TaskShadow^[9]框架实现用户任务在不同智能环境之间的无缝迁移.它构建了任务模型和智能环境的语义描述,并提出任务-服务匹配算法作为任务与服务之间的桥梁.上面提到的这些框架都能实现用户任务的连续性,但是它们主要针对的是具有状态管理功能的特殊应用.

SoulPad 项目^[10]使用特殊的 USB 设备来实现用户工作环境的移动.他们在 USB 设备上部署了虚拟化软件,并在此基础上运行用户的操作系统和应用.SoulPad 通过 USB 设备物理移动和接入的方式来实现用户任务的迁移,因此,用户必须手动地管理整个迁移的过程.Satyanarayanan^[11]提出了 ISR 机制以实现桌面环境的计算迁移.ISR 使用虚拟化技术来封装桌面电脑的整个状态,使用户能够在任何地方恢复和继续运行他们原先的任务.但是,ISR 仅仅关注桌面终端之间的迁移,而没有考虑移动终端和桌面终端之间的迁移.Shivani^[12]等人对跨移动设备的虚拟化实时迁移进行了探索和研究.他们基于 KVM 软件和 QUEM 工具进行了上网本与笔记本之间的实时迁移实验,并且讨论了跨移动设备的虚拟化迁移中存在的研究问题.然而,他们的工作要求用户使用 QUEM 工具来手工地配置任务迁移的过程,无法实现透明和低干扰的任务迁移.

我们从以下 5 个维度来比较上述迁移框架(见表 1):

- (1) 用户透明度:在迁移过程中,用户是否需要处理底层细节以及被任务无关事件所干扰的程度;
- (2) 解决方案普遍性:迁移框架是否支持所有的应用,应用开发者是否需要使用特定平台或者语言进行开发;
- (3) 可部署性:框架在真实世界部署的难度,是否存在能够帮助管理员进行部署和维护的工具;

- (4) 跨终端能力:框架是否能够实现异构终端之间的任务迁移,特别是跨移动设备的迁移;
 (5) 网络负担:迁移过程中框架需要传输的数据量的大小.

Table 1 Comparison of different migration frameworks

表 1 不同迁移框架的比较

	User transparency	Solution generality	Deplorability	Ability of migrating across devices	Network load
Gaia ^[8]	Low	Low	Medium	Low	Medium
Aura ^[6,7]	Medium	Low	Low	Low	Low
Deepshot ^[3]	Medium	Low	Low	High	Low
TaskShadow ^[9]	High	Medium	Medium	High	Low
SoulPad ^[10]	Low	High	Medium	Medium	Low
ISR ^[11]	Medium	High	High	Low	High
Shivan ^[12]	Low	High	Medium	High	High
TaskShadow-V	High	High	High	High	High

2 基于虚拟用户控件的任务迁移框架

为了使用户从手工配置新的运行环境和恢复任务的执行状态中解放出来,一个支持任务迁移的框架是不可或缺的.同时,这个迁移框架还需要考虑如何处理上面提到的4个挑战.为此,本文提出了“虚拟用户空间”概念,类似张犁等人提出的智能影子^[13],来应对这些问题和挑战.虚拟用户空间是用户任务的实际执行环境,封装了用户自定义的应用集合和运行时的状态,它具有4个特性:

- 1) 如影相随特性.虚拟用户空间能够像影子一样跟随用户的移动而移动,这有助于保持用户操作空间的一致性和任务状态的连续性;
- 2) 自主性.虚拟用户空间能够自动地选择合适的时刻跟随用户到合适的运行终端中.这使得用户无需关注迁移的底层细节,而将注意力集中到任务本身;
- 3) 设备无关性.虚拟用户空间能够为用户应用提供虚拟的执行环境,从而屏蔽了底层硬件的异构性;
- 4) “沙盒”特性.不同的虚拟用户空间之间保持相对独立,这样能够提高系统整体的稳定性和安全性.

考虑到虚拟化技术具有硬件虚拟能力和良好的隔离性,我们采用虚拟化技术作为虚拟用户空间的构建基础,同时,提出基于情境的智能迁移决策机制来保证虚拟用户空间的自主性.在此基础上,我们建立了基于“虚拟用户空间”的任务迁移框架 TaskShadow-V,其体系结构如图 1 所示.TaskShadow-V 由负责运行虚拟用户空间的迁移应用端和负责智能迁移决策的迁移管理端组成.迁移应用端使用硬件虚拟化技术来屏蔽底层的异构硬件,并承载一个或多个虚拟用户空间来执行用户任务.迁移管理端负责情境信息的实时采集和维护,并根据这些情境信息自动地进行迁移决策.

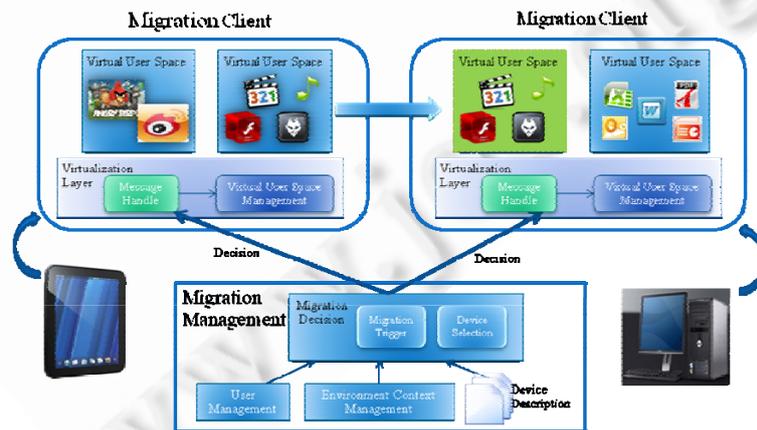


Fig.1 Architecture of task migration framework based on user virtual space

图 1 基于用户虚拟空间的迁移框架体系结构

以下的两个应用场景将具体展示 TaskShadow-V 给用户带来的好处.

场景 1. 小张父亲驾车带小张回家.途中,小张利用车载电脑和副驾驶上的显示器观看自己喜爱的影片.下车后,小张的娱乐空间从车载电脑迁移到智能手机上,使得他能够使用智能手机继续观看未完的电影.进入客厅后,小张的娱乐空间从智能手机迁移到客厅中的影音中心,他能够通过大屏幕的电视和震撼的音箱来继续欣赏,以便于获得更好的视听感受.

场景 2. 李博士应邀在某个学术会议上进行演讲.开会前,李博士在办公室里使用功能强大的桌面电脑制作演讲的内容.从办公室出发前往会场时,他的工作空间透明地迁移到随身携带的平板电脑上,从而使李博士能够在途中利用平板电脑来检查和回顾要演讲的内容.到达会议地点时,李博士的工作空间透明地迁移到会场的服务器上,帮助他快速和方便地进行演讲和展示.

3 支持透明迁移的智能迁移决策机制

基于情境的智能迁移管理机制被引入来保证任务迁移过程的自主性和透明性.该机制以虚拟用户空间为粒度来管理和维护用户任务的迁移,并根据当前情境信息自动地做出迁移决策.

3.1 面向任务的虚拟用户空间管理机制

任务是用户需要完成的工作,具有高度抽象和面向用户的特点.一个任务可能需要多个应用协同完成,而且不同用户完成同一个任务的方式也存在差异.这使得传统的任务管理机制,即以应用/服务为粒度来维护用户任务,变得相当复杂和难以维护.此外,这种方式不可避免地要求运行的应用/服务具有状态管理接口.

本文使用虚拟用户空间作为用户任务的执行环境和迁移对象.虚拟用户空间由用户自定义的应用集合和底层的操作系统组成,用户能够根据自己的使用习惯来配置.我们使用成熟的虚拟化技术作为虚拟用户空间的构建基础,通过监控已激活的虚拟用户空间方便地建立任务与相应执行空间的联系.这样做能够减少任务管理的复杂度,并保证用户操作空间的一致性.

同时,以虚拟用户空间作为迁移粒度还能够减轻应用开发者的开发负担.由于虚拟用户空间封装了应用和系统的所有运行状态,因此,开发者不必局限于特定的编程语言或者开发平台来进行开发,也不需要实现特定的状态接口来保证应用的迁移能力.

3.2 位置感知的迁移触发

位置感知的迁移触发,即通过动态跟踪用户的移动轨迹变化自动地判断是否进行迁移触发,能够显著提升任务迁移过程的透明性.实现位置感知的迁移触发需要解决两个问题:位置信息的获取和位置信息的平滑处理.目前已有若干较成熟的实时定位系统,如 Radar^[14],Cricket^[15],Ubisense^[16]等.这些系统能够有效地帮助我们实时地获取用户的当前位置信息.但由于实际部署中障碍物和其他信号造成的干扰,使得这些系统采集的位置数据会发生抖动甚至得到错误的信息.

用户位置数据的不稳定性使得位置数据的平滑处理变得尤为重要.为了避免抖动数据或者错误数据引起的不必要的迁移,我们设计了简单的位置平滑方法来解决这个问题.

位置平滑算法以原始位置信息集合作为输入,将平滑后的位置信息集合作为输出.平滑算法首先判断采集的位置信息是否为误差数据.如果当前位置数据与上一次记录的位置数据之间的距离超过误差阈值,系统将其标记为误差点.将误差点过滤后,平滑算法使用两点取中间值的方法对用户位置路径进行曲线拟合.我们注意到现有的定位系统可能存在“定位盲区”,即在这些区域中系统无法获取用户的位置信息,这使得当用户经过这些区域时会造成用户位置的突变.为了防止突变后的位置数据被错误地标记为误差点,于是平滑算法引入连续误差阈值的概念.当连续误差计数 $Count_{ce}$ 大于该阈值时,算法将当前误差点视为当前的用户位置.该算法的伪代码如图 2 所示.

Input: The set of raw location information $p=\{p_0,p_1,\dots,p_n\}$, which $p_i=(x_i,y_i)$;

Output: The set of smoothing location information R .

Initialization: $R=NULL, Count_{ce}=0$;
 Insert p_0 into set of R , and assign p_0 to p_{cur} ;
FOR each p_i except p_0 in the set of P
 IF the distance between p_i and p_{cur} is greater than *Error Threshold* **THEN**
 Mark p_i as *Error Point*, and $Count_{ce}++$;
 IF $Count_{ce}$ is greater than *Continuous Error Threshold* **THEN**
 Insert p_i into set of R ;
 Assign p_i to p_{cur} and reset $Count_{ce}$ to 0;
 ENDIF
 ELSE
 $p_{cur}=(x_{cur}+x_i)/2,(y_{cur}+y_i)/2$;
 Insert p_{cur} into the set of R ;
ENDFOR

Fig.2 Pseudo-Code of smoothing algorithm of location

图2 位置平滑算法的伪代码

3.3 个性化的设备自动选择机制

当用户到达某个环境后,他们可能会为选择哪个设备来继续执行而感到困扰,特别是普适计算环境能够为用户提供大量的可用设备.如何自动地为用户选择适合的设备是实现透明和低干扰任务迁移所需要解决的问题.因此,我们提出了个性化的设备自动选择机制来增强用户的移动体验.

本文使用设备适宜度 $\Psi(d,u)$ 定量地表示设备 d 对用户 u 的适合程度,并综合考虑用户的使用偏好、设备的计算能力和用户与设备的相对位置这3个方面来计算:

$$\Psi(d,u) = \alpha_1 \times \Psi_p(d,u) + \alpha_2 \times \Psi_C(d,u) + \alpha_3 \times \Psi_L(d,u) \quad (1)$$

其中, $\Psi_p(d,u)$ 表示偏好适宜度, $\Psi_C(d,u)$ 表示计算能力适宜度, $\Psi_L(d,u)$ 表示位置适宜度, α_1, α_2 和 α_3 表示权重系数且它们的和为1.

偏好适宜度表示用户是否习惯于使用该设备.不同的用户拥有不同的使用习惯,而使用熟悉的设备能够提高用户的工作效率.偏好适宜度 $\Psi_p(d,u)$ 被定义为

$$\Psi_p(d,u) = \begin{cases} 1, & d \in U_p \\ \text{Max}_{d_p \in U_p} (\text{sim}(d, d_p)), & d \notin U_p \end{cases} \quad (2)$$

其中, U_p 表示用户偏好的设备集合, d_p 表示用户偏好的设备, $\text{sim}(\bullet, \bullet)$ 函数用来从设备输入/输出类型、显示分辨率等方面来计算设备之间的类型相似度.

计算能力适宜度量化地表示设备计算资源的丰富程度.对于用户来说,使用具有丰富计算资源的设备能够显著地提升他们的使用体验.设备的计算资源可以被划分为 N 个维度,其中每个维度可以是 CPU 性能、内存、显示分辨率等.计算能力适宜度 $\Psi_C(d,u)$ 被定义为

$$\Psi_C(d,u) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \delta_i \times \varphi_i, \quad \sum_{i=1}^n \delta_i = 1 \quad (3)$$

其中, φ_i 表示第 i -th 维度的计算能力适宜度,而 δ_i 表示该维度的权重系数.

位置适宜度表示用户与设备之间的空间关系.当用户选择本地设备时,他们偏向于使用附近的交互设备来继续执行.我们提出了“舒适的交互范围”这一概念.在该交互范围内,用户能够舒适地与其他设备进行交互.利用设备与用户的相对位置和用户舒适交互范围两者之间的关系,位置适宜度 $\Psi_L(d,u)$ 能够被定义为

$$\Psi_L(d,u) = \begin{cases} 1, & L_d = L_u \\ 0, & L_d \notin Z_u \\ (0,1), & L_d \in Z_u, L_d \neq L_u \end{cases} \quad (4)$$

其中, L_d 表示设备的位置信息, L_u 表示用户的位置信息, Z_u 表示用户的舒适交互范围.

4 实验和评估

本文实现了 TaskShadow-V 框架的一个原型系统来验证该框架的有效性.我们借助 TaskShadow^[9]中的智能环境表示方法来语义化地描述用户和设备信息,并使用 J2SE 1.6 来实现系统的智能迁移决策机制.原型系统使用 Xen^[17]来管理虚拟用户空间的运行和跨终端的虚拟机迁移.框架中的消息处理模块被部署到 Xen 的 Dom0 域中,以便于实现自动化的虚拟机迁移.

下文将从两个方面来评估 TaskShadow-V 框架:设备自动选择机制的性能评估和任务迁移的性能评估.此外,本文还将探索和讨论不同的网络传输速度对任务迁移的影响.

4.1 实验1:设备自动选择机制的性能评估

在本实验中,我们使用 Protégé来构建用户和设备本体,并使用程序来自动生成相应的本体描述文件以模拟真实世界.本实验使用的本体包含 21 个 OWL 类和 18 个 OWL 属性.模拟实验在一台配置有双核 2.66GHz 酷睿处理器和 3.26G 内存的桌面上进行.

本实验分别计算当设备数目从 50~1600 之间变化时设备自动选择机制所需要的时间开销,其中,每次计算重复进行 10 次.实验的最终结果见表 2.通过观察,我们发现设备选择的时间开销随着设备数目的增加而呈线性增长.而且,与本体解析的时间开销相比,设备选择的时间开销可以忽略不计.幸运的是,本体解析的时间开销并未随设备数目的增加而呈线性增长,而是呈现缓慢增长的趋势.这是因为本体解析的时间开销主要由本体模型的分析而引起,而本体模型与设备数目的多少无关.

Table 2 Time overhead of automatic device selection mechanism (ms)

表 2 设备自动选择机制的平均时间开销 (毫秒)

Device number	Time overhead of ontology parsing (\pm std.)	Time overhead of device selection (\pm std.)
50	826.96(\pm 38.17)	0.97(\pm 0.12)
100	883.60(\pm 15.66)	1.90(\pm 0.33)
200	987.89(\pm 29.66)	3.18(\pm 0.47)
400	1 123.20(\pm 53.88)	5.18(\pm 0.20)
800	1 355.83(\pm 39.62)	10.02(\pm 0.83)
1 600	1 763.99(\pm 50.06)	18.83(\pm 0.59)

4.2 实验2:任务迁移的性能评估

本实验使用汉王 TouchPad B10-C1 作为移动设备,处理器为 Intel Core u3500 1.4GHZ,内存为 2GB;使用的桌面终端是 DELL T5500 系列,配置为 Intel Xeon 2.0GHZ 的处理器和 4GB 的内存.这两个设备都安装了 Xen 4.0.2 虚拟化管理软件.此外,我们将迁移管理端部署到联想 ideacentre K320 微型服务器上,并使用 Ubisense 定位系统来获取用户的实时位置信息.Xen 实时迁移技术为避免传输大数据量的磁盘空间,要求源设备和目的设备共享同一个磁盘空间.考虑到用户的移动性,我们采用 NFS 技术将共享磁盘空间部署到平板电脑上.本实验部署了两个虚拟用户环境:一个是面向视频观看任务,具体配置为单核处理器、128M 内存、10G 硬盘并运行 Ubuntu 操作系统;另一个是面向简单文档编辑任务,具体配置为单核处理器、64M 内存、100M 硬盘并运行 tinyCore Linux 操作系统.

8 位志愿者被邀请参与进行整个迁移实验,其中 4 位志愿者执行视频观看任务,另 4 位志愿者执行文档编写任务.每位志愿者首先使用汉王平板电脑执行各自的任务,然后,他们选择任意一个时刻移动到部署有桌面终端的房间.每位志愿者被要求重复迁移 5 次.

表 3 说明了两个任务迁移过程中迁移管理和总体的时间开销.迁移管理时间开销包括相关本体信息解析、设备自动选择、用户任务维护和关联所需的时间.实验结果发现,迁移管理时间开销与任务类型和网络环境无关,其平均时间开销为 2.19s.总体时间开销是指从迁移触发开始到虚拟机迁移结束的时间间隔.在带宽为 54Mbit/s 的无线环境下,文档编写和观看视频任务迁移的平均总体时间开销分别为 59.47s 和 229.09s.为了对比,该实验在带宽为 100Mbit/s 的有线网络环境下被重复进行.经测试后,我们发现在该网络环境下的文档编写和观

看视频任务迁移的平均总体时间开销分别为 21.27s 和 68.16s.

Table 3 Migration time overhead of two users' tasks in different network environment (unit: s)

表 3 两个用户任务在不同网络环境下的迁移时间开销 (单位:秒)		迁移管理时间开销	总体时间开销
用户任务	网络环境		
“文档编写”任务	54Mbit/s 无线网络环境	2.19	59.47
	100Mbit/s 有线网络环境		21.27
“视频观看”任务	54Mbit/s 无线网络环境		229.09
	100Mbit/s 有线网络环境		68.16

4.3 网络传输速度对任务迁移的影响评估

通过对不同网络环境下相同任务迁移所需时间开销进行比较(见表 3),我们发现随着网络带宽的提升,任务迁移所需的总体时间开销会随之减少.为了进一步验证上述猜测,本文设计了一个实验来评估网络传输速度对任务迁移的影响.该实验采用 WonderShaper 软件^[18]来控制网络的最大传输速度,并在不同网络速度下重复进行“观看视频”任务的迁移.

实验的最终结果如图 3 所示.从图中可以看出,当传输速度较小时,网络传输速度的提升能够显著地减少迁

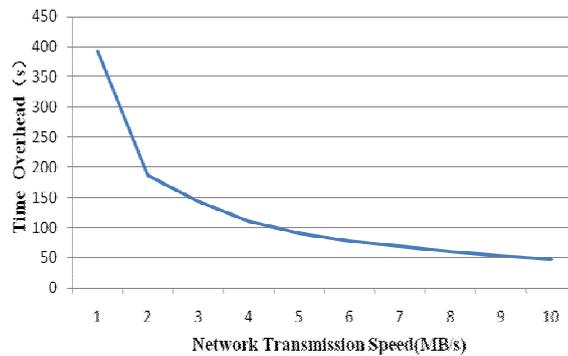


Fig.3 Time overhead of task of watching movie at different network transmission speed

图 3 “视频观看”任务在不同网络传输速度下迁移的时间开销

移所需的时间开销,特别是在网络传输速度小于 2MB/s 的情况下.而随着传输速度的不断变大,时间开销的减少幅度会慢慢变小(曲线慢慢趋向于水平),但是仍能有效地减少总体的时间开销.目前,新出现的无线 802.11n 标准所支持的理论最大带宽已经达到 600Mbit/s^[19,20],而未来用户所处的无线网络环境能够提供超过 100 Mbit/s 甚至超过 600 Mbit/s 的带宽.因此,在可见未来的网络环境条件下,本文提出的任务迁移框架能够在十几秒内完成用户任务的迁移.

5 结论和未来工作

本文提出了基于虚拟用户空间的任务迁移框架 TaskShadow-V 以解决用户移动性和“一人多机”带来的若干挑战.我们采用虚拟化作为 TaskShadow-V 的底层基础设施,并提出基于情境的智能迁移决策机制来实现用户任务的透明迁移.TaskShadow-V 支持任务跨移动设备的透明和连续性的迁移,并且能够支持所有用户应用的运行和迁移.我们通过实验验证了 TaskShadow-V 能够有效实现用户任务透明地跨移动终端迁移.

TaskShadow-V 实现了整体用户环境的迁移,包括所有的用户应用和运行时的状态,而不仅仅局限于一个应用或服务.这种方式一方面能够减轻应用开发者的开发负担,另一方面能够保证用户操作空间的一致性.然而,整体用户环境的迁移要求框架在迁移过程中传输更多的数据.这使得系统很难保证迁移的实时性,特别是在低带宽的网络环境下.在未来的工作中,我们将进一步优化 TaskShadow-V 框架的迁移性能,例如研究如何减少迁移过程中所传输的数据量或者优化虚拟化迁移中的预拷贝策略等方法来降低总体迁移的时间开销.

References:

- [1] Pierce JS, Nichols J. An infrastructure for extending applications' user experiences across multiple personal devices. In: Proc. of the 21st Annual ACM Symp. on User Interface Software and Technology. New York: ACM, 2008. 101-110.
- [2] Dearman D, Pierce J. It's on my other computer! computing with multiple devices. In: Proc. of the 26th Annual SIGCHI Conf. on Human Factors in Computing Systems. New York: ACM, 2008. 767-776.

- [3] Chang TH, Li Y. Deep shot: A framework for migrating tasks across devices using mobile phone cameras. In: Proc. of the 2011 Annual Conf. on Human Factors in Computing Systems. New York: ACM, 2011. 2163–2172.
- [4] Sohn T, Li FCY, Battestini A, Setlur V, Mori K, Hori H. Myngle: Unifying and filtering Web content for unplanned access between multiple personal devices. In: Proc. of the 13th Int'l Conf. on Ubiquitous Computing. New York: ACM, 2011. 257–266.
- [5] Li Y, Landay J. Activity-Based prototyping of ubicomp applications for long-lived, everyday human activities. In: Proc. of the 26th Annual SIGCHI Conf. on Human Factors in Computing Systems. New York: ACM, 2008. 1303–1312.
- [6] Garlan D, Siewiorek DP, Smailagic A, Steenkiste P. Project aura: Toward distraction-free pervasive computing. IEEE Pervasive Computing, 2002,1(2):22–31.
- [7] Wang Z, Garlan D. Task-Driven computing. Technical Report, CMU-CS-00-154, Mellon University, 2000. <http://reports-archive.adm.cs.cmu.edu/cs2000.html>
- [8] Roman M, Ho H, Campbell R. Application mobility in active spaces. In: Proc. of the 1st Int'l Conf. Mobile and Ubiquitous Multimedia. Oulu, 2002.
- [9] Pan G, Xu YQ, Wu ZH, Yang L, Lin M, Li S. TaskShadow: Towards seamless task migration across smart environments. IEEE Intelligent Systems, 2011,26(3):50–57.
- [10] Caceres R, Carter C, Narayanswami C, Raghunath M. Reincarnating PCs with portable SoulPads. In: Proc. of the 3rd Int'l Conf. on Mobile Systems, Applications, and Services. New York: ACM, 2005. 65–78.
- [11] Satyanarayanan M, Kozuch MA, Helfrich CJ, O'Hallaron DR. Towards seamless mobility on pervasive hardware. Pervasive and Mobile Computing, 2005,1(2):157–189.
- [12] Sud S, Want R, Pering T, Lyons K, Rosario B, Gong MX. Dynamic migration of computation through virtualization of the mobile platform. In: Mobile Networks and Applications. 2011.
- [13] Pan G, Zhang L, Li SJ, Wu ZH. SmartShadow: A model of pervasive computing. Journal of Software, 2009,20:40–50 (in Chinese with English abstract). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/09006.htm>
- [14] Bahl P, Padmanabhan VN. RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system. In: Proc. of the 19th Annual Joint Conf. of the IEEE Computer and Communications Societies, Vol.2. 2000. 775–784.
- [15] Priyantha NB, Chakraborty A, Balakrishnan H. The cricket location-support system. In: Proc. of the 6th Annual Int'l Conf. on Mobile Computing and Networking. New York: ACM, 2000. 32–43.
- [16] <http://www.ubisense.net/en>
- [17] <http://xen.org/>
- [18] <http://lartc.org/wondershaper>
- [19] IEEE Computer Society. IEEE 802.11n-2009—Specifications Amendment 5: Enhancements for Higher Throughput. New York, 2009. [doi: 10.1109/IEEESTD.2009.5307322]
- [20] How does 802.11n get to 600Mbps? 2007. <http://www.wirevolution.com/2007/09/07/how-does-80211n-get-to-600mbps/>

附中文参考文献:

- [13] 潘纲,张犁,李石坚,吴朝晖.智能影子(SmartShadow):一个普适计算模型.软件学报,2009,20:40–50. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/09006.htm>



徐羽琼(1986—),男,浙江余姚人,博士生,CCF 学生会员,主要研究领域为普适计算.



潘纲(1976—),男,博士,副教授,博士生导师,CCF 会员,主要研究领域为普适计算,计算机视觉,模式识别.



谌宗佳(1988—),男,硕士生,CCF 学生会员,主要研究领域为普适计算.



李石坚(1979—),男,博士,副教授,CCF 会员,主要研究领域为普适计算,移动计算,传感器网络.