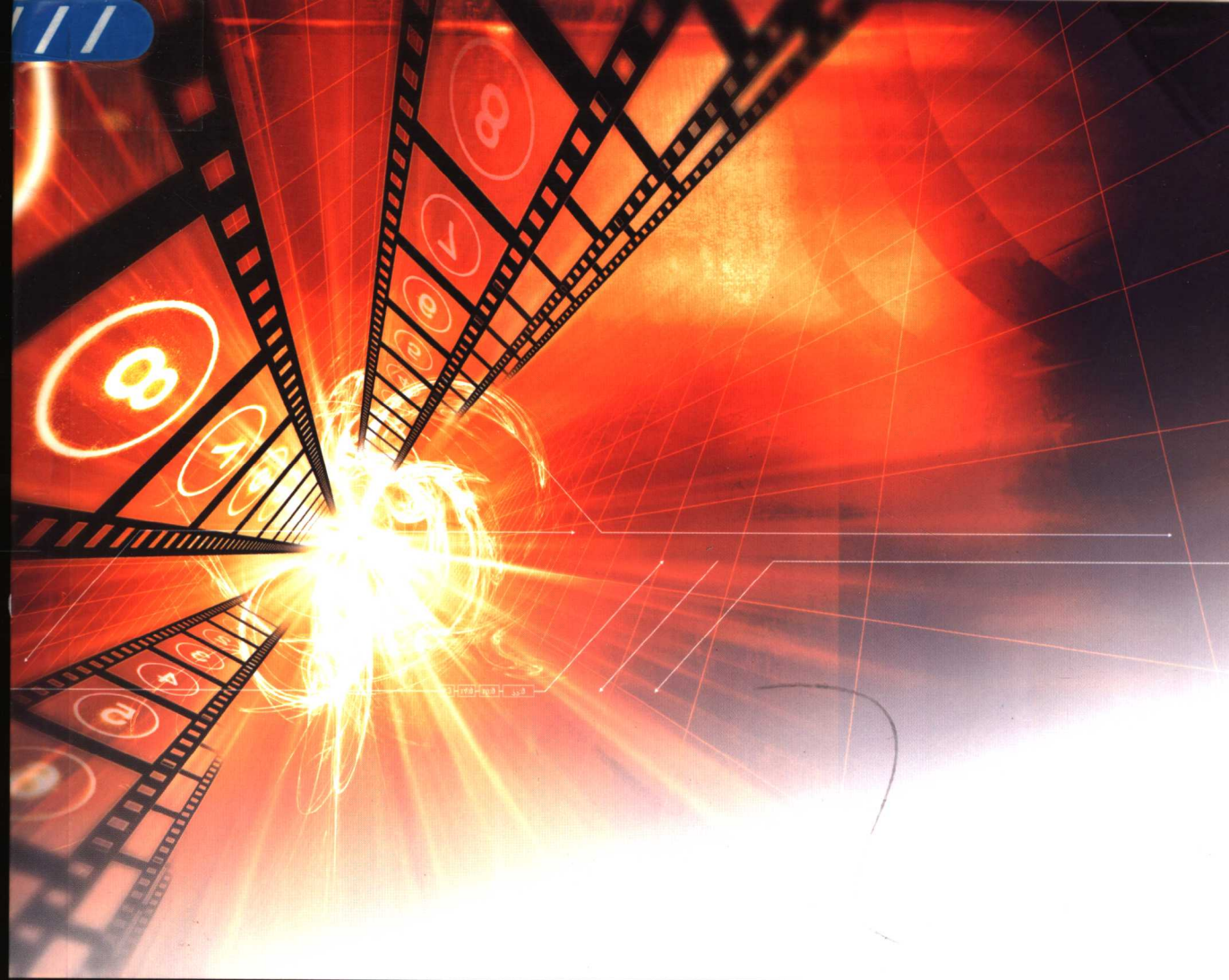




# 移动多媒体技术及其应用

YIDONG DUOMEITI JISHU JIQI YINGYONG

张德干 班晓娟 郝先臣 编著



国防工业出版社  
National Defense Industry Press

TN929.5  
52

# 移动多媒体技术及其应用

张德干 班晓娟 郝先臣 编著

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

多媒体的无缝移动主要研究随着用户的移动,如何保证用户的多媒体任务无缝地迁移到新的场景下能够主动地继续。其功能需求主要体现在连续性、自适应性及主动性上。本书在普适计算背景下,阐述了移动多媒体技术及其应用。其内容涉及多媒体移动机制、情境觉察、多媒体移动对环境的自适应、多媒体迁移方法、软件支撑平台以及移动过程中的信息安全等一系列问题,并以智能空间为试验床,以普适访问为应用需求,把计算、通信和数字媒体等技术有机地结合起来,从而呈现新的计算和应用模式。本书所阐述的内容是移动多媒体一整套技术的精髓所在。

本书适合从事移动多媒体通信的科研和工程开发技术人员阅读,也可供高校研究生、本科生学习和参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

移动多媒体技术及其应用/张德干,班晓娟,郝先臣  
编著. —北京:国防工业出版社,2006.2  
ISBN 7-118-04336-2

I. 移... II. ①张... ②班... ③郝... III. 多媒体  
技术—应用—移动通信—研究 IV. TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 010454 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

涿中印刷厂印刷  
新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 18 字数 415 千字

2006 年 2 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—5000 册 定价 29.00 元

---

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

# 前 言

普适计算(Pervasive/Ubiquitous Computing)被认为是继主机计算模式(Mainframe Computing)、桌面计算(Desktop Computing)模式之后的一种新型计算模式。它是计算、通信和数字媒体等多种技术的融合,它把信息空间与人们生活的物理空间集成为一个整体,从而使计算、通信和数字媒体成为像水、电、空气一样的生活必需品,它人们对人们的生活和工作中的各个方面能够产生革命性的影响。普适计算作为一种新型的计算模式,其研究涉及计算、通信和数字媒体技术的各个方面,包括从计算机的硬、软件,系统体系结构,网络通信,应用系统到人机交互等各个领域。

普适计算模式方便了信息访问和主动服务,提高了工作效率和生活质量,但要达到“透明”和“随时随地”的应用目标,还需要研究解决多媒体的无缝移动(Seamless Mobility)等方面的重要课题。多媒体的无缝移动主要研究随着用户的移动,如何保证用户的多媒体任务无缝地迁移到新的场景下能够主动地继续。其功能需求主要体现在连续性、自适应性及主动性上。连续性指无缝移动应用可以暂停,也可以继续,但不能丢失程序的状态信息和历史信息;自适应性指无缝移动应用不应该受设备资源配置和 Context 的制约,与环境自主适应;主动性指无缝移动应用不分散或极少分散用户的注意力,为用户提供伺候式服务。三者可简称为“无缝主动性”。

基于上述 3 个功能需求,本书在普适计算背景下,阐述移动多媒体技术及其应用。其内容涉及多媒体移动机制、情境觉察、多媒体移动对环境的自适应、多媒体迁移方法、软件支撑平台以及移动过程中的信息安全等一系列问题,并以智能空间为试验床,以普适访问为应用需求,把计算、通信和数字媒体等技术有机地结合起来,从而呈现新的计算和应用模式。本书所阐述的内容是移动多媒体一整套技术的精髓所在。

本书分为 12 章。其中第 1 章阐述普适计算模式,第 2 章至第 5 章阐述以普适计算模式为背景的移动多媒体的基础软、硬件环境与技术,第 6 章至第 10 章阐述多媒体移动的具体理论、方法与软件支撑平台,第 11 章至第 12 章阐述移动多媒体技术的试验床和综合应用。各章之间相对独立又相互联系。

作为编著者之一,郝先臣博士编写了第 2 章和第 3 章,班晓娟博士编写了第 4 章和第 5 章,其余各章均由张德干博士编著。本书得到国家自然科学基金(No. 60503024、No. 60375038)的资助。

本书经 Cartright Colin 教授、曾广平教授审阅。Portria Filefu 教授、张桦教授等为本书的编写提供了极大的支持,并提出了许多有益的意见和建议,在此谨表示衷心的感谢!本书是研究型专著,可供高校研究生、科研人员和工程开发技术人员参考。书中不当之处,请读者批评指正。

作者

2005 年 11 月

# 目 录

|                                  |    |                              |     |
|----------------------------------|----|------------------------------|-----|
| 第1章 普适计算 .....                   | 1  | 3.2 NGN .....                | 55  |
| 1.1 新计算模式产生的背景 .....             | 1  | 3.2.1 网络平台体系 .....           | 56  |
| 1.1.1 现有计算模式面临的<br>矛盾 .....      | 1  | 3.2.2 NGN的分层结构 .....         | 60  |
| 1.1.2 普适计算出现的必然性 .....           | 2  | 3.2.3 软交换技术 .....            | 62  |
| 1.2 普适计算的涵义 .....                | 4  | 3.2.4 NGN与3G的关系 .....        | 66  |
| 1.3 普适计算模式的特征和关键<br>技术 .....     | 7  | 3.3 Embedded Internet .....  | 67  |
| 1.4 普适计算的研究内容 .....              | 10 | 3.3.1 概述 .....               | 68  |
| 1.5 其他相关的计算方式 .....              | 10 | 3.3.2 EIDI模型 .....           | 69  |
| 1.6 小结 .....                     | 12 | 3.3.3 模型的软件结构 .....          | 70  |
| 第2章 移动信息设备 .....                 | 13 | 3.3.4 EIDI模型的设计与<br>实现 ..... | 71  |
| 2.1 概述 .....                     | 13 | 3.3.5 EIDI模型的应用 .....        | 74  |
| 2.2 个人移动信息设备 .....               | 14 | 3.4 小结 .....                 | 75  |
| 2.2.1 PDA .....                  | 15 | 第4章 移动多媒体通信协议 .....          | 76  |
| 2.2.2 Mobile Phone .....         | 16 | 4.1 协议概述 .....               | 76  |
| 2.3 嵌入式信息设备 .....                | 22 | 4.2 IPv6 .....               | 78  |
| 2.4 可穿戴计算机 .....                 | 25 | 4.2.1 发展历程 .....             | 79  |
| 2.5 GPS导航器 .....                 | 27 | 4.2.2 主要目标 .....             | 81  |
| 2.5.1 GPS系统及其定位原<br>理 .....      | 28 | 4.2.3 地址格式 .....             | 82  |
| 2.5.2 GPS/GIS集成的导航定<br>位功能 ..... | 32 | 4.2.4 DHCPv6 .....           | 88  |
| 2.6 其他新型信息设备 .....               | 33 | 4.2.5 IPv4/IPv6过渡技术 .....    | 91  |
| 2.7 小结 .....                     | 35 | 4.2.6 移动IP .....             | 94  |
| 第3章 新一代互联网 .....                 | 36 | 4.3 RTP .....                | 99  |
| 3.1 移动通信技术 .....                 | 36 | 4.3.1 流媒体传输 .....            | 100 |
| 3.1.1 蓝牙 .....                   | 36 | 4.3.2 RTP的结构 .....           | 102 |
| 3.1.2 HiperLAN/2 .....           | 38 | 4.3.3 RTP的工作原理 .....         | 107 |
| 3.1.3 Ad Hoc .....               | 42 | 4.3.4 RTP的典型应用 .....         | 108 |
| 3.1.4 CDMA .....                 | 46 | 4.4 SIP .....                | 109 |
|                                  |    | 4.4.1 协议简介 .....             | 109 |
|                                  |    | 4.4.2 SIP的应用结构 .....         | 110 |
|                                  |    | 4.4.3 SIP的消息结构 .....         | 111 |

|                                                 |            |                                            |            |
|-------------------------------------------------|------------|--------------------------------------------|------------|
| 4.4.4 SIP 协议的特点 .....                           | 114        | 结构 .....                                   | 157        |
| 4.4.5 SIP 和 H.323 的比较 .....                     | 115        | 6.5.2 各 Agent 的功能及相互<br>关系 .....           | 160        |
| 4.5 WAP 协议 .....                                | 118        | 6.5.3 服务发现策略 .....                         | 161        |
| 4.6 H.264 视频编码 .....                            | 121        | 6.5.4 多媒体任务与可用服务<br>之间的主动映射 .....          | 163        |
| 4.6.1 视频编码技术简介 .....                            | 121        | 6.6 组件化的虚拟操作系统 .....                       | 164        |
| 4.6.2 H.264 的特点 .....                           | 122        | 6.6.1 关键技术分析 .....                         | 166        |
| 4.6.3 H.264 的错误恢复<br>工具 .....                   | 124        | 6.6.2 关键技术的实现 .....                        | 167        |
| 4.6.4 H.264 的应用场合 .....                         | 126        | 6.7 同类机制 .....                             | 169        |
| 4.7 小结 .....                                    | 127        | 6.7.1 以 MIT 为代表的基于 Jini<br>的应用迁移 .....     | 169        |
| <b>第 5 章 SIML .....</b>                         | <b>128</b> | 6.7.2 以 IBM 为代表的无缝移<br>动应用 .....           | 170        |
| 5.1 XML .....                                   | 128        | 6.7.3 其他平台 .....                           | 170        |
| 5.1.1 概述 .....                                  | 128        | 6.8 小结 .....                               | 171        |
| 5.1.2 TXML 类 .....                              | 130        | <b>第 7 章 情境觉察 .....</b>                    | <b>172</b> |
| 5.1.3 XML 的应用优势 .....                           | 133        | 7.1 情境分析 .....                             | 172        |
| 5.1.4 VoiceXML .....                            | 134        | 7.2 一种新的情境觉察计算方<br>法 .....                 | 174        |
| 5.2 SMIL .....                                  | 137        | 7.2.1 经典 D-S 理论基础 .....                    | 174        |
| 5.2.1 SMIL 简介 .....                             | 137        | 7.2.2 考虑证据可靠性因素的<br>融合计算方法 .....           | 175        |
| 5.2.2 SMIL 文档的结构 .....                          | 138        | 7.2.3 关注证据时效性因素的<br>融合计算方法 .....           | 177        |
| 5.2.3 SMIL 的应用示例 .....                          | 142        | 7.2.4 考虑证据独立性因素的<br>融合计算方法 .....           | 178        |
| 5.3 三者的比较 .....                                 | 145        | 7.2.5 权值因子确定方法的讨<br>论及整合后的证据理论<br>方法 ..... | 180        |
| 5.3.1 HTML 的不足 .....                            | 145        | 7.3 相关技术 .....                             | 181        |
| 5.3.2 XML 的特性 .....                             | 146        | 7.4 小结 .....                               | 182        |
| 5.3.3 SMIL 的优点 .....                            | 147        | <b>第 8 章 移动环境的自适应 .....</b>                | <b>183</b> |
| 5.4 小结 .....                                    | 148        | 8.1 网络的异构性 .....                           | 183        |
| <b>第 6 章 多媒体无缝迁移 .....</b>                      | <b>149</b> | 8.2 终端的不一致性 .....                          | 185        |
| 6.1 多媒体移动技术概述 .....                             | 149        | 8.3 自适应拥塞控制策略 .....                        | 186        |
| 6.2 相关概念 .....                                  | 153        | 8.3.1 拥塞的级别 .....                          | 186        |
| 6.2.1 多媒体任务 .....                               | 153        | 8.3.2 $T_{RT}$ 的测量 .....                   | 187        |
| 6.2.2 服务 .....                                  | 154        | 8.3.3 拥塞控制方法 .....                         | 189        |
| 6.2.3 Mobile Agent 以及用于迁<br>移的 Agent 角色类型 ..... | 155        |                                            |            |
| 6.3 支持多媒体任务迁移的网络<br>环境 .....                    | 155        |                                            |            |
| 6.4 多媒体任务的迁移粒度及迁移<br>基本策略 .....                 | 156        |                                            |            |
| 6.5 面向多媒体任务的无缝主动迁<br>移机制 .....                  | 157        |                                            |            |
| 6.5.1 多媒体任务迁移的组织                                |            |                                            |            |

|                                         |     |                                                |     |
|-----------------------------------------|-----|------------------------------------------------|-----|
| 8.3.4 方法的鲁棒性分析 .....                    | 192 | 10.4 小结 .....                                  | 232 |
| 8.4 自适应差错控制策略 .....                     | 193 | 第 11 章 智能空间 .....                              | 233 |
| 8.4.1 两类协议的对比 .....                     | 193 | 11.1 概述 .....                                  | 233 |
| 8.4.2 ACK 和缓冲区释放 .....                  | 193 | 11.2 智能空间的演进历程 .....                           | 235 |
| 8.4.3 NAK 和重传 .....                     | 194 | 11.3 智能空间系统 .....                              | 237 |
| 8.5 自适应编码变换 .....                       | 197 | 11.3.1 系统的构成 .....                             | 237 |
| 8.5.1 变换编码方法 .....                      | 198 | 11.3.2 系统的自发互操作 .....                          | 238 |
| 8.5.2 小波变换方法 .....                      | 200 | 11.3.3 系统的异构性 .....                            | 238 |
| 8.6 相关技术 .....                          | 201 | 11.3.4 系统的持久性 .....                            | 238 |
| 8.7 小结 .....                            | 202 | 11.3.5 系统的整合性 .....                            | 239 |
| 第 9 章 多媒体迁移方法 .....                     | 203 | 11.4 智能空间的软件系统 .....                           | 239 |
| 9.1 无缝性信任度的评价方法及<br>判定定理 .....          | 203 | 11.4.1 基本原则 .....                              | 239 |
| 9.2 触发主动服务的信任测度方<br>法及判定定理 .....        | 204 | 11.4.2 支持移动设备 .....                            | 240 |
| 9.3 基于 Mobile Agent 的无缝主<br>动迁移算法 ..... | 204 | 11.5 应用构造模式 .....                              | 241 |
| 9.3.1 算法主体 .....                        | 205 | 11.6 协调模型 .....                                | 243 |
| 9.3.2 算法中的问题分析与解<br>决策略 .....           | 206 | 11.7 资源管理策略 .....                              | 244 |
| 9.4 相关技术 .....                          | 211 | 11.7.1 资源的属性描述策<br>略 .....                     | 244 |
| 9.5 小结 .....                            | 211 | 11.7.2 知识的描述策略 .....                           | 245 |
| 第 10 章 多媒体移动的软件支撑<br>平台 .....           | 212 | 11.7.3 资源的请求语言策<br>略 .....                     | 245 |
| 10.1 多媒体无缝迁移平台 .....                    | 212 | 11.7.4 资源调度的协商机<br>制 .....                     | 246 |
| 10.1.1 软件支撑平台的设计 .....                  | 212 | 11.8 基于智能空间的应用示<br>例 .....                     | 247 |
| 10.1.2 实现的无缝迁移平台 .....                  | 219 | 11.8.1 情境觉察场景一 .....                           | 248 |
| 10.1.3 同类平台 .....                       | 225 | 11.8.2 情境觉察场景二 .....                           | 248 |
| 10.2 嵌入式多媒体系统支撑平<br>台 .....             | 226 | 11.8.3 情境觉察场景三 .....                           | 249 |
| 10.2.1 嵌入式多媒体系统概<br>述 .....             | 227 | 11.8.4 多媒体任务的无缝主动<br>迁移综合场景 .....              | 249 |
| 10.2.2 嵌入式多媒体系统支<br>撑平台示例 .....         | 228 | 11.9 现有的智能空间软件系<br>统 .....                     | 251 |
| 10.3 单兵数字化多媒体系统 .....                   | 229 | 11.9.1 MIT Metagluе/Rascal/<br>Hyperglue ..... | 251 |
| 10.3.1 数字化多媒体系统的<br>体系结构 .....          | 230 | 11.9.2 SRI OAA .....                           | 253 |
| 10.3.2 多媒体系统中的关键<br>技术 .....            | 231 | 11.9.3 Stanford EventHeap .....                | 254 |
|                                         |     | 11.10 小结 .....                                 | 254 |
|                                         |     | 第 12 章 普适访问 .....                              | 255 |
|                                         |     | 12.1 普适访问的背景 .....                             | 255 |

|                       |                      |     |
|-----------------------|----------------------|-----|
| 12.2 支持普适访问的应用系       | 12.2.6 拥塞控制 .....    | 269 |
| 统 .....               | 12.2.7 负载均衡 .....    | 270 |
| 12.2.1 应用系统的设计 .....  | 12.3 普适访问的部署模式 ..... | 271 |
| 12.2.2 系统的松散耦合性 ..... | 12.4 应用示例 .....      | 274 |
| 12.2.3 底层传输协议 .....   | 12.5 小结 .....        | 276 |
| 12.2.4 可靠多播 .....     | 参考文献 .....           | 277 |
| 12.2.5 并发控制 .....     |                      |     |



# 第1章 普适计算

主机计算模式(paradigm)到桌面计算模式的革新,使计算机开始从实验室的“象牙塔”进入了办公室和家庭,从而极大地推动了计算机技术和产业的发展。普适计算(Pervasive/Ubiquitous Computing)被认为是继主机计算模式、桌面计算模式之后的又一种新型计算模式。在主机时代,人与计算机的关系是一对多的关系,在桌面时代这种关系发展成了一对一的关系。而在普适计算时代,人与计算机的关系发生了革命性的改变,变成多对多的关系。它通过计算、通信和数字媒体等多种技术的融合,把信息空间与人们生活的物理空间集成为一个整体,从而使计算、通信和数字媒体变成像水、电、空气这样的生活必需品。

## 1.1 新计算模式产生的背景

计算、通信和数字媒体技术的发展使计算机和互联网从数量和价格的角度看已具备了进入普通人的办公室和家庭的条件。但现有计算模式面临的矛盾,使得计算机还只是一种不太好用的工具,无法真正融入人们的工作和生活。这是当前计算机发展的主要障碍。因此,计算机技术的进一步发展迫切需要一种全新的计算模式,这就是普适计算。

### 1.1.1 现有计算模式面临的矛盾

当前计算机技术发展的特点如下。

(1) 计算、通信和数字媒体技术的发展互相渗透和结合。计算、通信和数字媒体是信息技术的主要支柱,这些技术互相渗透和结合的集中体现就是互联网的发展。现在互联网几乎连接了世界上所有的计算机,并以各种媒体(从文字、图像、语音到视频)为用户提供多种多样的服务(电子邮件,浏览,视频点播,远程会议……)。互联网的发展势不可挡,它将成为人们在工作、生活、娱乐和学习中获取信息、进行交互和访问的主要途径。

(2) 嵌入式计算和信息设备的快速兴起。从计算机制造技术来看,由 Gordon Moore 在 20 世纪 60 年代提出的 Moore 定律声称:微电子芯片上的计算能力,每 18 个月将翻一番。到目前为止,芯片技术发展的事实已证明这是比较准确的预言。计算机在计算能力和容量提高的同时,体积也越来越小,其发展趋势是把计算机嵌入到各种设备中去。目前全世界每年用于笔记本电脑的处理器大概是 1 亿 5 千万台,而用于嵌入式计算的处理器大概是 80 亿台,并且其增长速度远高于前者。与此相关的计算机存储器的容量也以指数形式增长。与此同时,具有相同功能的微电子器件的价格持续地下降;从通信技术来说,不但带宽是以指数函数增长,而且更为重要的是无线网络和移动通信技术的快速

发展和普及应用。

以上两方面的发展预示着计算机应用模式的转变：计算机主要不是以单独的计算机设备出现，而是把嵌入式处理器、存储器、通信模块和传感器集成在一起，以信息设备的形式组装在一起。这些信息设备集计算、通信、传感功能于一身，可方便地与其他设备，包括日常用品结合在一起。它们可通过无线网络与互联网连接，并非常廉价，可按用户的要求定做。

以上这些发展预示着即将进入一个计算、通信和数字媒体深入发展和渗透到人们的工作、生活和学习的各个方面的时代。与这样的发展形成鲜明对照的是一成不变的传统计算模式以及与此相应的计算机使用方式。这种模式的特点如下。

(1) 以计算机为中心的计算。①计算机的使用方法不符合人类的习惯，在使用计算机时用户要遵循计算机的操作规定，使用机器语言，通过键盘和鼠标等人为工具，而不是通过人类习惯的各种感官，如语音、听觉和视觉进行信息交流。②使用计算机时需要由人工配置计算机的软、硬件环境和把计算任务映射到应用程序中去，所以用户不但需要理解如何使用这些应用软件，而且要知道如何设置软、硬件环境。这使得用户在使用计算机时，计算机本身吸引了太多注意力，而不是解决的问题本身，从这个角度看计算机并不是一个好的工具。一个好的工具应该是不会吸引太多的注意力的。比如几千年来人类习惯于用笔和纸作为帮助思考问题的工具，但在用它的时候却从来都不会去注意笔和纸本身。

(2) 桌面计算的方式。①用户要使用计算机，就需要坐到在计算机面前才行。而人是生活在三维空间中的，因此计算机并没有与人们的生活环境融合在一起。有人描述这种状态为：“计算机的作用与人与计算机之间的距离成反比”。②从本质上说，桌面计算是一种私有的计算模式。用户通常在固定的地方使用少数工作站或台式 PC 机完成他们的计算任务，并对他使用的所有设备、软件和配置有完全的控制。因此，难以适应未来的某个用户可能在不同地点和环境，甚至在移动中使用多台计算设备进行工作的情况。

### 1.1.2 普适计算出现的必然性

分布式计算技术是计算与通信技术结合的基础和先决条件，也是发展普适计算技术的基础和先决条件。移动计算则是分布式计算在无线通信和移动通信环境下的新发展。因此，考察分布式计算技术和移动计算技术的发展现状对开展普适计算研究具有重要意义。

(1) 分布式计算。初期的分布式计算是个人计算机与局域网的结合，这方面的研究从 20 世纪 70 年代中期到 90 年代初期建立了概念上的框架和算法的基础，这些成果已被证明对涉及由网络(无论是移动的或固定的，有线的或无线的，稀疏的或是无所不在的)连接起来的计算机系统所有都有非常重要的价值。这些知识的主体覆盖了许多方面，这也是普适计算的基础。其中包括以下内容。

① 远程通信：与此相关的技术包括分层协议、远程过程调用、超时的应用、在功能设置中的端到端的证据的使用。

② 高度的可用性：包括最优的和悲观的复制控制、镜向实现和最优恢复。

③ 远程信息访问：包括高速缓存(Caching)、功能转移、分布式文件系统和分布式数

据库。

④ 容错机制和安全：包括原子事务、分布和嵌套的事务和二阶段的承诺、基于密码的双向授权和隐私。

(2) 移动计算。无线网络技术和便携式信息设备的发展已造就了一种新的、称为移动计算的计算模式。在移动计算模式下，用户可使用便携式设备，通过共享的基础设施访问信息服务，而无需考虑他们的物理位置或运动的行为。这样的新环境在信息访问领域引入了新的技术挑战。传统的信息访问技术是基于分布式系统中主机的位置在计算过程中不改变，而在移动计算的环境中，这个假设就很少能满足。为此移动计算需要在以下方面取得进展。

① 移动网络：包括移动 IP 协议、自组织协议和用于改进在无线网情况下 TCP 性能的技术。

② 移动信息访问：包括断联操作、带宽自适应的文件访问和数据一致性的选择控制等。

③ 支持自适应应用：包括利用代理的代码转换和自适应资源管理。

④ 系统级的节能技术：诸如觉察功耗的自适应、变速的处理器调度和感知功耗的存储管理。

⑤ 位置敏感：包括位置感知、觉察位置的系统行为和服务。

由于人们是生活在三维空间中，所以移动性对用户是很重要的。按电信的术语来说：“移动性”可定义为可从任何地方访问一般情况下在固定连接情况下才有的所有服务的能力。例如可从世界的任何地方，通过常规电话号码或 IP 地址就找到该用户。移动计算的研究的最终目的就是使用户能在任何地方和任何时间都能访问互联网、企业的内部网或数据库、电子邮件和远程会议，也就是为用户提供普遍访问(Universal Access)的服务。

由上所述可知，移动计算的研究促进了计算与通信相结合，方便了用户的信息访问，但要使计算和通信真正进入人们生活，从而进一步提高工作效率和生活质量，还需要研究多方面的问题。对于移动计算中还没有解决而需要在普适计算的研究中解决的问题，将在以下的章节中作详细讨论。就移动计算技术本身而言也还有许多有待研究和解决的问题，这些很可能也是普适计算中不可避免、需要解决的问题。例如，在系统设计中，由于系统的移动性要求研究和解决以下4方面的专门技术：网络传输质量的不可预计的变化；移动设备相对较低的可信度和鲁棒性；由于尺寸和质量的限制使得设备上的计算、存储和网络带宽资源是有限的；需要考虑电池的使用寿命问题。总之，普适计算是移动计算的天然发展，而移动计算将随着普适计算技术发展得到进一步的发展和完善，图1.1描述了这一关系。

与传统的分布式计算和移动计算相比，普适计算具备了前两者所不具有的特点，即物理集成和自发互操作。

物理集成包括了两个方面的含义：一方面，信息空间的计算设备应该能够被集成到代表物理世界的物理环境与设备中；另一方面，从用户体验角度看，用户和计算机系统所能发生的交互往往是需要受到用户所处的物理环境的局限的。

自发互操作的含义是：信息空间中所存在的资源的形态、种类甚至使用方法都会千差万别，计算设备就是需要在这样一个高度动态的环境中完成和其他设备的交互，并且

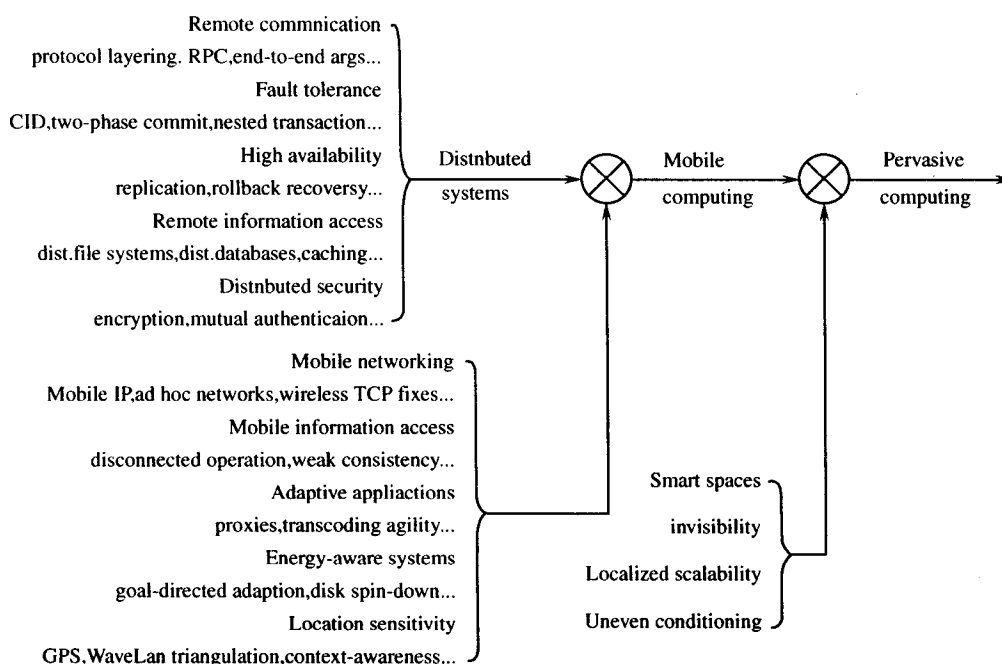


图1.1 普适计算的演进关系

尽可能少甚至不需要用户的干预。

自 1991 年已故的前 Xerox PARC 首席科学家 Mark Weiser 在杂志上发表的一篇和后续的几篇文章中首先提出了“普适计算”的思想以来，普适计算经历了如下发展过程。

- ① 20 世纪 90 年代末，普适计算概念得到广泛关注，在世界范围内逐渐升温。
- ② 1999 年，召开第一届 Ubicomp(<http://www.ubicomp.org/>)国际会议。
- ③ 2000 年，召开第一届 Pervasive Computing 国际会议。
- ④ 2002 年，IEEE Pervasive Computing 期刊创刊。

从此以后，Ubicomp(<http://www.ubicomp.org/>)国际会议和 Pervasive Computing 国际会议每年召开一次。在学术界倾向于把普适计算称为 Ubiquitous Computing，其英文的本意是说计算在世界上无所不在的状态；而工业界更重视计算和通信技术的软、硬件发展趋势，也就是普适计算技术的实现技术和应用的可能性；产业界习惯于把普适计算称为 Pervasive Computing，它的英文本意是说计算向世界的各个领域无所不在地渗透的能力。现在一般情况下对这两个名称不加区分，认为是同义词。

## 1.2 普适计算的涵义

对普适计算的研究是多学科的交叉，不但包括信息技术的有关领域，而且包括人机交互、社会学、心理学以致涉及法律，因此，对普适计算这样的综合性领域的定义和研究也需要从多方面来进行，才能得到较全面的看法。

## 1. 计算机科学角度的普适计算

计算机是一种为人服务的工具，而成功的工具和成熟的技术应该在使用时不会分散用户的注意力和不为用户所觉察。例如，当人用笔在纸上写文章时，人的主要注意力全在构思文章的内容上，而不用注意笔和纸如何。从这个角度看目前的计算机不是一种好的工具和成熟的技术，这也是为什么对普通老百姓来说计算机还不是生活中像水，电，空气这样日常必需品的重要原因。这样的分析切中了当前以个人计算机为代表的计算机桌面计算技术的要害。尽管目前的个人计算机的性能价格比已有很大的提高，但从 20 世纪 90 年代末开始个人计算机的销售量还是持续下降。这说明促进计算机产业的健康发展，已不能单纯地从提高计算机的性能价格比着手，而应该从计算模式这个根本上着手。所以计算机应该嵌入到环境或日常工具中去，让计算机本身从人们的视线中消失，让人们们的注意中心回归到要完成的任务本身。也就是说计算应该是不可见的、平静的、不引人注目。

具体地讲，普适计算就是“要建立一个充满计算和通信能力的环境，同时使这个环境与人们逐渐地融合在一起”。简单地说，普适计算是要使计算成为人们生活中的一部分。从某种意义上说，普适计算要实现的目标与虚拟现实的正好相反。因为虚拟现实是试图让人们离开物理世界而进入计算机产生的虚拟世界中去，而普适计算则希望把计算机中的虚拟世界融入到人们存在的物理空间中去，即所谓增强现实。由于普适计算的研究涉及人们的生活环境和方式，所以它不但与计算机和通信有关，而且与社会心理学和人类工程学相关。各个领域对普适计算的具体定义又有不同的侧重方面。在人机交互界认为：“普适计算是通过把计算接口扩展到用户的环境中去，来打破传统的用户与计算服务关系的努力”。

从计算机科学的角度讲，普适计算本质上是一种继主机计算和桌面计算之后的全新的计算模式。在这样的计算模式下，计算和通信代表的信息空间将与人类的生活的物理空间相融合，在这个融合的空间中人们可以随时随地、透明地获得数字化的服务。其中“随时随地”是指人们可以在工作、生活的现场就可以获得服务，而不需离开这个现场去端坐在一个专门的计算机面前，这也是普适计算的英文翻译中Ubiquitous的含义，即像空气一样无所不在；而“透明”是指获得这种服务时不需要专门的关注，即这种服务的访问方式是十分自然的，甚至是在用户没有觉察的情况下由系统主动提供。在不少嵌入式计算系统中已能提供这样的服务。

未来世界中将会有越来越多的计算设备存在的环境，难以或几乎不可能由人工来与这些计算设备交互和管理。透明的人机交互将成为必不可少的性质。这时从某种意义上看计算机似乎消失了或是不可见的，这是普适计算最重要的特征。因此，有些重要的研究项目就是围绕这个特征开展的。例如，美国Massachusetts Institute of Technology (MIT) 的Oxygen(氧)计划是最有名的普适计算研究项目，它的名称来自希望计算成为像氧气一样对人们来说是看不见，又必不可少的生活必需品；欧盟的Disappearing Computer研究计划更是直接研究使计算机从人的视线中消失的途径；Carnegie Mellon University(CMU)大学的Aura计划被称为是“不分心的普适计算”(Toward Distraction-Free Pervasive Computing)，其研究的焦点是如何使计算不需要用户分心。

## 2. 技术应用角度的普适计算

信息技术和产业发展的最新趋势和动向如下。

(1) 信息技术的硬件在尺寸, 速度和成本方面迅速改进的趋势将继续和加速。更为廉价的微处理器可集成到日常生活的各个方面, 可广泛地应用于教育、娱乐、设计和制造、医疗保健和家庭安全等各个领域。近 10 年来, 把计算、通信、传感功能集成于一身的信息设备和嵌入式计算设备的应用有了显著增长。所有这些将导致一个计算、通信和信息真正无所不在的世界形成。

(2) 互联网事实上已把几乎所有的计算机连接在一起。通信特别是移动通信是把各种信息设备和计算环境组合在一起的胶黏剂。无线通信在过去几年中取得了飞速发展, 在未来几年中它将进一步加速。3G 将允许电话、传感器和个人手持 PDA(个人数字辅助)设备可相互定位和交换消息。

以上的发展使得移动和嵌入设备越来越无所不在, 因而用户与计算机交互的本质以及对计算环境的要求也在变化。具体的表现如下所述。

(1) 计算应用需要变得更为自主和不可见。这是由于计算结点的数量和移动情况下带来的复杂性, 使得人工交互来管理和操作变得很困难。

(2) 情境(Context)信息将起重要作用。因为通过利用情境知识可减少与用户的交互, 提高交互的效率。因此对觉察情境计算(Context-Aware Computing)的研究受到高度重视, 它将影响到整个系统的体系结构。

(3) 要求能处理高度动态的应用环境。由于现在更为强调任何时间和任何地点的信息访问和服务, 应用必须能处理高度动态的环境。在这样的动态环境中资源, 如网络连接、带宽安全和软件服务将随时间变化。因此, 应用的行为和功能需要能适应当前的可用资源和约束。应用环境的动态变化的另一个重要因素是来自用户可能要求使用多个和很可能是异构的计算设备并在这些设备之间切换(例如, 从工作站到移动的笔记本电脑, 或 PDA 到移动电话)而同时保持参加分布的计算操作。

因此, 迫切需要能处理上述问题、把计算和通信技术融合在一起的新计算模式和应用技术——普适计算。普适计算可在相对不需要干预的方式及影响和支持人们工作和生活的各个方面完成计算任务。普适计算需要能觉察自己的环境和能根据变化来调整式适应它们的功能和行为。普适计算系统是一个环境, 这是一个通过高速的有线和无线网络把各种计算、通信和信息设备(可由计算、通信模块, 传感器以及操作器组成)以及信息源连接在一起的无所不在的结构(Fabric), 这些联网的设备能协调一致地为用户提供透明的服务。这就要求联网的设备能觉察到它们的周围环境和相合作的设备, 并能自发地向相邻的设备提供服务和利用相邻设备的服务。普适计算系统所覆盖的范围可有一个由小到大的扩展的过程。例如, MIT 开始研究的是智能房间(Intelligent Room)如图 1.2 所示, 现在已经扩展到智能大楼(Intelligent Building), 以后可能进一步扩展到一个区域, 或把若干个普适计算系统连接在一起形成更大的普适计算系统。美国标准技术研究所(NIST)已在着手研究智能空间(Smart Space)的互联标准问题。当然, 普适计算系统的范围也可以是一个企业, 甚至是跨地区的企业, 然后是企业之间的连接。人们设想, 未来的普适计算世界, 很可能不是一个统一的普适计算系统, 而是许多普适计算系统连接成的一个世界。

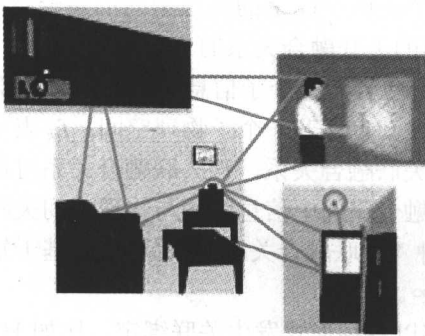


图 1.2 智能房间示例

### 1.3 普适计算模式的特征和关键技术

由上述分析可知, 普适计算是通过利用先进的计算、通信和数字媒体技术把相关的信息空间与物理空间融合成一个和谐的人机交互环境或空间, 在此环境或空间中人们可以随时随地、透明地获取所需要的信息或服务。此涵义强调了其 3 方面的特征。

(1) 关联性。信息空间和物理空间是组成普适计算的两个重要元素, 通过先进的计算、通信和数字媒体技术的关联与融合, 相关的信息空间和物理空间组成了一个提供服务的环境。它们之间的关联关系既可用图示方式直观地表示出来, 也可以用数学形式化的方式描述出来。

从图 1.3 不难看出, 信息空间与物理空间之间、信息空间与信息空间之间、物理空间与物理空间之间都可根据某种需要通过某种关联融合关系联系起来, 这种联系体现了关联性。



图 1.3 信息空间和物理空间的关联关系

用数学形式化的方式可描述这种关联性。任意一个具有关联性的环境/空间  $C_r$  用三元组描述为

$$C_r = (I_r, F_r, P_r),$$

$$I_r = \{i_{r1}, i_{r2}, \dots, i_{rk}, \dots, i_{rm}\},$$

$$F_r = \{f_{r1}, f_{r2}, \dots, f_{rk}, \dots, f_{rs}\},$$

$$P_r = \{p_{r1}, p_{r2}, \dots, p_{rk}, \dots, p_{rm}\},$$

$$f_r = \{(i_r, p_r) | i_r \otimes p_r, i_r \otimes i_r, p_r \otimes p_r\}$$

式中:  $C_r$  (Combination Environment) 表示第  $r$  个关联空间,  $I_r$  (Information) 表示第  $r$  个关联

空间中的信息空间的集合； $P_r$  (Physical)表示第  $r$  个关联空间中的物理空间的集合； $F_r$  (Fusion)表示第  $r$  个关联空间中信息空间与物理空间的关联融合关系的集合； $i_{rk}$  表示第  $r$  个关联空间中的第  $k$  个信息空间，该信息空间可嵌套包含若干个子信息空间； $p_{rk}$  表示第  $r$  个关联空间中的第  $k$  个物理空间，该物理空间可嵌套包含若干个子物理空间； $f_{rk}$  表示第  $r$  个关联空间中的第  $k$  个信息空间与物理空间的关联融合关系，该关联融合关系可嵌套包含若干个子关联融合关系； $f_r$  表示第  $r$  个关联融合空间中信息空间与物理空间关联融合关系的三种可能情形，而符号“ $\otimes$ ”描述了这种“关联融合关系”，它可以是基于知识、规则、表达式等的计算过程； $0 < r, m, s, n < \infty$ 。

物理空间  $P_r$  中的实体与信息空间  $I_r$  中的对象将以各种形式发生关联绑定，比如 HP 的 Cool Town 试图为每个物理实体和空间  $P_r$  附着一个编码有 URL 的标签，URL 指向与这个物体相关的信息或者控制网页，计算机系统将充分地识别和利用物理空间中各种情境信息，如位置、空间中有谁、旁边有哪些设备可用、用户是否忙等，进而展现不同的行为；信息空间  $I_r$  中各对象间的关联融合  $F_r$  将产生新的信息和效应，如  $00000000 \wedge 11111111 = 00000000$ ，两条证据信息决策某个动作；物理空间  $P_r$  中各硬对象间的关联组合  $F_r$  也将产生新的效应和服务，如多路音频设备的组合会产生混合音响。普适计算模式下，这种关联绑定关系的一个显著特点是主动完成的，无需分散用户的注意力。

(2) 普遍性。若干个分散的信息空间与物理空间的关联融合组成了一个和谐的人机交互环境。在此交互环境中，人们可以在工作、生活的现场就可以获得所需要的服务，这种服务就像空气一样无所不在，而不需离开这个现场端坐在一个专门的计算机面前。移动互联网事实上已把几乎所有类型的计算机连接在一起，特别是移动或无线通信技术把各种移动设备、嵌入式信息设备和计算环境组合  $F_r$  在一起，使和谐的人机交互环境逐渐变成了现实。

在桌面计算模式下，信息空间  $I_r$  和物理空间  $P_r$  是隔离的孤岛，例如，关联融合空间  $C$  的绑定是稀疏的，唯一的绑定点就是计算机本身；关联融合空间  $C$  的交互是由人驱动的，即人先察觉物理空间  $P_r$  的改变，然后用一定的方式输入到信息空间  $I_r$ 。可以说这种隔离正是桌面计算模式各种不足的根源。而普适计算模式下，这种绑定  $F_r$  和自发交互将变得无所不在，从空间中的物体、用具、房间以至整个空间本身，信息世界和物理世界的界限将变得模糊，正是这种界限的消失提供了人们可以随时随地透明的访问到数字化服务的可能。Ishii 形象地将这种融合  $F_r$  称为 Tangible Bits——即信息空间中的基本单位比特——将像物理世界中的基本单位原子一样，是看得见摸得着的。

(3) 主动性。计算机是一种为人服务的工具，而成功的工具和成熟的技术应该在使用时不会分散用户的注意力和不为用户所觉察。CMU Aura 计划强调的，人的注意力不满足摩尔定律，它始终是一个稀缺资源，需要研究尽量少需要人注意力的(Distraction-free)计算机制，使人可以集中精力处理人擅长的推理、综合分析等工作，而不是如何操作计算机。计算机应该嵌入到环境或日常工具中去，让计算机本身从人们的视线中消失，让人们注意的中心回归到要完成的任务本身。也就是说，计算应该是不可见的和平静的，人无需特意去寻找计算机，计算机有主动提供伺候式服务的能力，而不只是被动地等待命令，在提供对人的服务时，所需的计算、组织与协调等过程应该自主化。

由此可见，普适计算的研究目标是要使计算和通信真正无所不在地进入人们的生活，



为人们提供便捷、优质、高效的服务或信息，从而提高人们的工作效率和生活质量。普适计算的关键技术，学者们基于“分布式计算  $\Rightarrow$  移动计算  $\Rightarrow$  普适计算”这条演进的思路认为重点应包括如下4个方面。

(1) 和谐人机交互环境/空间的开发与应用。“和谐”的含义包括便捷(主动、自发)、优质、高效。和谐人机交互环境/空间是一个抽象的概念，它可以是一个如会议室，办公室这样的封闭的智能空间，也可以是若干个由这样的智能空间组成的集合，大到可以把整个“地球村”作为一个智能空间等等。通过嵌入在该空间中的计算设施，智能空间把由信息技术组成的虚拟世界与人们生活的现实世界融合成一个三维立体空间，使得关联融合空间C可相互感知和控制，例如，针对智能家居中房间的供热，空调和光照两种途径可根据住户的电子化的说明来便捷(主动、自发)地调节，而计算机上的软件的行为会随住户当前的位置自发地作出相应合适(优质、高效)的调整。有人指出“将来不太可能存在一个全球一统的普适计算系统，而是存在许多因为管理区划、地域区划和文化区划而分离的有明确边界的普适计算系统，这些普适计算系统之间可以有一定的交互，人和各种可携带设备可以无缝地在它们之间移动”，这里有明确边界的普适计算系统实际上就是指人机交互环境/空间。

(2) 计算过程的透明技术。“透明”是指获得某种服务时不需要花费人们专门的关注，即这种服务的访问方式是十分自然的甚至是在用户没有觉察情况下由系统主动提供，这是一种伺候式的服务。例如，汽车上的防滑刹车系统ABS (Anti-Skid Brake System) 是为了防止汽车在湿滑的路面上刹车或在严重刹车时发生车轴被死锁。汽车电子控制单元ECU中的嵌入式处理器，通过检测车轮和车身的速度来监控和预计是否会出现车轴被死锁的危险，并通过调节刹车的压力来自动地避免出现死锁。在此过程中，用户可能完全没有觉察，而是由处理器自行预计情况和主动提供服务的。要使计算机为人们服务，但同时又不引起人们的注意，这需要研究Context-Aware、模式识别等众多技术。

(3) 人机交互随距离进行多分辨率分析的技术。多分辨率(Multi-Resolution)技术已在信号处理中得到了很好的应用，该技术可借鉴到人机交互随距离进行多分辨率分析之中。在基于互联网的人机交互研究中，对物理距离是不加考虑的，即互联网的服务器将处理尽可能多的客户，而不论他具体位置是在隔壁房间还在国外，是长距离还是短距离，是大范围还是小范围。而当计算和通信在人们的生活中无所不在时情况就完全不同了。人机交互的强度(即能够享用交互环境所提供服务的概率)应该随用户距离、交互环境的大小、远近而进行多分辨率分析。例如，距离远，则强度弱；反之，强度大。距离和强度的关系可遵照多分辨率分析进行变化，否则，用户或计算机系统将有可能被不太相关的远程交互所占满。因此，这时用户的交互应以近距离的交互为优先。

(4) 屏蔽异构条件。计算和通信渗透到人们的生活中去是一个过程，而且，这个过程在各个地方和区域很可能是不平衡的，这会导致各个人机交互环境的异构性，其具体表现在硬设施和软配置上。例如，参与计算和通信的设备的型号、CPU 处理速度、存储容量、组网方式、网络类型、协议配置、OS 平台等。对于用户来讲，他不关心硬设施和软配置的差异，而只关心能否得到他所需要的信息或服务。因此，普适计算需要研究如何去屏蔽上述的异构环境条件。屏蔽的过程应当不被用户察觉，当然，要完全不被察觉是不可能的，只能尽可能地减小其程度。