

# 普及计算 — 让信息服务象空气一样无所不在

孙贤和 何晓珊 Nehal Mehta

伊利诺理工学院

Department of Computer Science

Illinois Institute of Technology

Chicago, IL 60616

Email: sun@iit.edu



随着信息技术的发展，人们已经无法适应没有电子邮件和互联网的生活，但可曾想过某天信息服务将象“氧气”一样环绕四周，随取随用？喧嚣一时的网络泡沫破灭之后，什么才是下一个信息技术的引爆点？而当计算机越来越小，性能越来越好时，人们除了更便利的携带方式之外，还能得到什么呢？

计算技术高度发展的结果是计算机的消失。许多电脑科学家的现行研究目标正是创造一个不见计算机的以人为本的信息服务新世界。正是这种信念，使得普及计算（Pervasive Computing）的研究冲破近年来信息产业的沉寂，唤来了新一代信息革命的春风。本文将从技术发展的角度为您勾画出普及计算的蓝图。文章将讲述被广泛应用，但鲜为人知的嵌入式系统（Embedded System）如何在日新月异的技术发展中愈发精良，从个体到互动，由量变到质变，脱胎换骨，发展出今天的智慧空间（Smart Space）。文章将讲述飞速发展的移动计算技术（Mobile Computing）如何与智慧空间相结合，使人们能够在智慧空间中自由活动，享受无所不在的信息服务，并能从一个智慧空间移动到另一个智慧空间，这就是普及计算。但是，每一个智慧空间只能覆盖一定范围，而另一项在紧锣密鼓开发中的新技术，网格计算（Grid Computing），能象电力网络输电一样传输计算和信息，于是，在网格计算的支持下，由智慧空间构成的网格使全球智慧空间（Global Smart Space）终成可能。在这个空间里，我们不再为我们的身躯所限，心念所至，信息即来，服务即到。人类的力量将在信息的空间里无限延伸。

# 1 普及计算 (Pervasive Computing)

## 1.1 前言

Pervasive Computing 被普遍翻译为普及计算。这个词从字面上不好理解。其实，这个名词更好的翻译是：无间计算。如果这个名词还是让你困惑，那么让我们从电影《无间道》讲起。这部大家耳熟能详的电影引用了佛经中的“无间地狱”这个专门名词，它出自《法华经》、《俱舍论》、《玄应音义》等佛经。那么什么是无间呢？据说，这与地狱里的刑罚永不间断有关。通常的理解中，无间就是不间断的意思。无间地狱里，这个不间断的定义范围有所扩大。传说中的无间有五种。第一个叫“时无间”，第二个是“空无间”，第三个，是“罪器无间”，第四个叫做“平等无间”，第五个叫“生死无间”。

有了这个基础，无间计算就好理解了。同样，这里的无间也有五种：第一，“时无间”，意思是信息服务的时间是没有间断的，日以继夜；第二，“空无间”，也就是说，针对你的个人信息服务，无论你在哪里，都会传递给你；第三，“罪器无间”，也就是信息服务的载体没有间断，你可以不停地以不同的工具获取信息服务；第四，“平等无间”，无论男女老幼，都是平等的，只要加入了无间计算，针对你个人的信息服务就总是有效；第五，“生死无间”，这个嘛，可以理解为无论系统出现什么异常，你能享受到的服务总是连续的，你感觉不到服务器转换等细节问题的处理。这就是无间计算，不同的是，地狱的无间在这里是信息的无间，人类视听触觉的无间，这是一个信息无间的天堂。

然而，通往天堂的路途并不是畅通无阻的，电脑大师们面壁十年，集五方乐土之灵慧，方使无间信息服务成为可能。但是，无间的信息服务带给人们的究竟是享受还是刑罚却因人而异，只有洞晓个中三味的人方可悠游其间。本文的目的正是给大家绘出未来信息天堂的蓝图。如果这篇文章能够燃起读者心中对科技的热情，能够带给科技工作者些许启发和灵感，我们将不胜荣幸。希望在中国的科技精英们的辛勤工作下，这个错失诸多发展良机的国度将会在信息科技的新一轮竞赛中迈进科技革命的第一集团。

## 1.2 普及计算蓝图

让我们来设想这样一个情景：

2007年九月的某一天，某IT公司的财务部部长凌野正在复查当月的报表，这时候他办公室响起悦耳的女声：“凌部长，税务局抽查的人员已到达，张秘书正在第三会议室接待他们，需要您去作上一季度的财务报告。”税务检查，这可是第一重要的大事，凌野马上放下手上的工作。但是他并没有手忙脚乱地收集上一季度的报表，相反，他不紧不慢地向第三会议室走去。

路上，他说道：“准备在第三会议室的上季度财务报告。”这句话以及他的容貌、声音被安装在各个房间和走廊的声音感应器、摄影头收录，送到信息处理器里处理，带在他身上的追踪纽扣也返回他的位置信息。他的身份同时被智慧标牌（smart badges），声音识别系统，和容貌识别系统所确认，系统知道命令由财务部长凌野发出。又经过语义分析，知道凌野需要上季度的报表及其PPT幻灯片传送到第三会议室，系统检查凌野对报表的权限。同时，系统也命令第三会议室的投影仪启动待机。

而我们的凌野部长在给完那条语音命令后，就不再考虑材料的事，他继续通过嵌入式的话筒和扬声器问系统：“请告诉我来者的姓名和资料。”张秘书已经告诉过系统来者的姓名，系统经过快速地搜索后告诉凌野：“来人有三个：税务局xx科李明科长、科员梁惠小姐和科员方家明先生。其中李科长和梁惠小姐曾经来过公司公干，方先生是第一次来本公司。”

这时，成竹在胸的凌野已经走到第三会议室门口。他稍事整理后推门而入，张秘书正简单地三位税务人员介绍公司的业务状况。凌野和三位一一打过招呼，并向初次见面的方先生自我介绍了一下。寒暄之后，凌野准备作报告，他站到屏幕前作了一个开始的手势，这个会议室里装有许多嵌入式的声音感应器、摄影头、扬声器，凌部长的手势被探测到并解析出，于是会议室的灯光慢慢暗了下来，幕墙亮了起来。整墙屏幕分别显示着各种工作或输入画面，最上面的是上季度的财务报表。

报告进行得很顺利，但是李科长提出要细查深圳分公司的一笔账，凌野立即表示合作。他对系统说：“通知深圳分公司的财务组余飞组长参与税务抽查会议。”这条命令也被会议室内的嵌入设备接收到，解析之后，系统定位出深圳分公司余飞的位置。而此时，分公司财务组余飞组长正在主持该组的例会。由于在会议室，余飞的手机、PDA已经自动处于无声状态，系统检测出这种状态，经过比较后，系统显然觉得税务检查比小组例会重要得多，于是在余飞所在的会议室的幕墙上，一条紧急提示滚动出现：“余飞组长，总公司财务部凌野部长请您参与正在进行的上一季度税务检查。”余飞立即回答：“收到，马上准备。”同样，凌野通过语音命令系统准备好材料，但是在材料显示的时候，系统发觉组员们还未完全离开，而材料中涉及的某些总部信息只应该被组长级以上的员工掌握，于是系统提示余飞清场。余飞告诉磨蹭的康秘

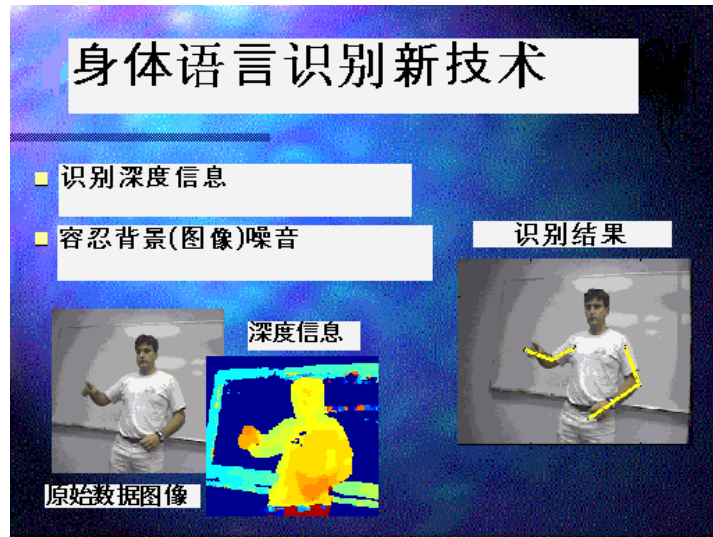
书快一点。在最后一位组员康秘书离去后，幕墙上左边显示出总部的第三会议室图像，而右边显示出深圳分部上季度的报表。

同样的，总部的幕墙也同时显示出分公司会议室的场景和余飞提供的上季度分公司报表。一台双向投影仪放在会议室里，以供双方有效地传送纸上材料到对方的屏幕上。余飞通过视频系统连接上总部，他们的对话被声音服务器的语音识别机转录成文字。在需要的时候，一组计算机代理系统还可以过滤这些文字并且将文字和图像送到幕墙上。

同时，会议室幕墙被分成了视频通讯区，各人的指令及数据

区。这些区域和任务用户模型一

起发送并解译语音的手写的和手势的指令。比如，扬声器和语音识别机共同通过讲话内容以及发令者来给命令分类，进而执行这些命令。而这些口头命令也被传送到幕墙上相应的用户区内。这样，幕墙上同时显示了输入和输出，而用不着那些笨拙的指示装置。这样的传感互熔（sensor fusion）技术突破了上一代人机界面的制约。



图一：手势识别技术

### 1.3 背景感知 (Context-Awareness)

在上述普及计算的例子中，凌野所在的公司在公司范围内已经实现了普及计算。这个环境里无处不在地装备了许多互熔的传感器，以支持各种协同任务。这些传感器协同工作，和后端的高性能分布式处理器一起提供了信息服务的智慧（Smartness）。这种智慧使得系统能够识别用户的身份，并且根据用户所处环境及交流习惯随时随地地提供高效的背景感知（Context-Awareness）信息服务。

普及计算涉及多项重大的技术革命。从软件的角度来看，其中影响最深远的莫过于背景感知。我们知道，任何行为都有进行这个行为所处的背景，这个背景提供了这个行为及其所处环境的额外信息。例如，在一场足球友谊赛中，我与队友积极配合，这是很容易被理解的，而我说不定还会因此受到称赞。但是，如果我在考试的时候还与同学合作，就会被赶出教室。这两

者的差别正是由不同背景所引起，一个是团队活动，另一个却是个人能力评价。这种情况下，背景可用来判断某种行为是否恰当。上述足球赛和考场的背景比较容易通过时间地点来区别。比如，这个学期的上课时间是周四晚上 6:25pm，地点是 113 教室；而校内足球联赛总是在周六下午 2:00pm 于足球场举行。尽管在这个例子中，背景很容易通过一些可观察的因素区别出来，然而在很多情况下，仅仅通过时间、地点是无法区分背景的。如果回想文章开头的场景，时间和地点就不能区分出背景。在那个场景中，凌野使用 LCD 投影仪来做报告。当凌野准备开始报告的时候，系统应该自动熄灯并将幻灯片投影到幕墙上。问题是，系统怎样才知道凌野准备报告？这就需要分析凌野的动作背景。有一些比较确定的信息对投影仪的控制有用，这些信息可以通过观察人们在类似情况下的动作总结出来。多数情况下，在准备开始报告的时候，作报告的人会走到幕墙前，会议室内会比较安静，作报告的人会给出一个开始的手势（比如指向屏幕）。当所有这些情况都发生时，我们可以比较保险地认为报告开始了。这里，三个背景信息用来告诉我们什么时候该启动投影仪：报告人的位置，屋内噪音大小，以及作报告人的手势。以上提到的每个信息都帮助我们来判断行为的背景。

我们用嵌入式系统来提供背景信息，计算机在后台处理这些背景信息并且传给应用程序。但问题是，计算机怎样处理背景信息。通常情况下，应用程序是由用户的指令来启动，否则的话，就需要一个信号来触发投影设备启动程序。目前大多数的程序启动技术还停留在用户参与的交互接口，比如对话框之类。这种交互对用户来说是一种干扰，分散了他们的注意力，并且降低了用户体验（User Experience）。

我们需要一种方法，使得应用程序通过最少的用户交流来了解所处背景。Schilit 和 Theimer 首次在文章[1]中描述了这种系统，并将其命名为“背景感知（context-aware）”。文章描述的背景为地点、周遭人群和物体，以及他们在这种场合下的各种变化。之后，有文章将这个定义扩展到包括时间、季节、天气以及其它自然特征。

#### 1.4 普及计算技术现状

普及计算涉及多项技术和产品。我们需要在一个集成环境中来加强工作协同，数据传输，以及分布式处理，从而使得各项技术和产品能够有效地合作。普及计算集中体现了计算技术新潮流的特性，这些特性包括：



- 不定存取及无形设备
- 嵌入式移动技术

- 连接上愈加普及的网络



普及计算旨在提供随时随地的信息服务。普及计算支持所有与互联网连接的信息环境，无论是固定的还是随机的。商业公司开发了各种便携嵌入设备来提供移动信息环境，包括 PDA，手机和活跃徽章（active badges）。

目前，包括蓝牙、IrDA 和 HomeRF 在内的无线技术都将这些设备通过宽带局域无线通讯网络连接起来，并且接入了全球互联网。

为了理解变化多端的人类活动，普及计算面临许多技术上的挑战，包括：

*无间性*—它得无处不在，任何入口都要连接到同一个信息基地；

*嵌入性*—它得适应人类世界，感知并影响这个世界；

*移动性*—它得允许用户及所需信息服务自由地按其需要移动；

*适应性*—面对用户需求和操作环境的变化，它得具有灵活性和自发性；

*强大，并且高效*—它得先将自己从硬件资源的局限中解放出来，进而使整个系统不受用户需求 and 可用能源或通讯带宽所限制；

*目的性*—它得允许用户直接用意图来描述所需服务和软件对象，而不是通过“地址”，譬如，“最近的打印机”而非“主楼实验室 2 号激光打印机”

*持续性*—它得“时无间”地运行，无需关闭或重启。部分功能可能会根据需要不停开关，但是普及计算系统作为一个整体将会“无间”地存在。

虽然我们现在还没有完全征服上述挑战，但是大部分基本技术框架已经初具规模，智慧空间已初显雏形，普及计算的成功箭在弦上，已是志在必得。目前，研究的重点是完善各项技术并使它们协同工作在一个完整的智慧空间中。

未来普及计算发展基于以下四方面的技术革命以及它们的协同工作：

感知和感知界面	这些技术将会使人工作在一个不断改进的、难以察觉机器和服务存在的集成环境中。通过许多用户感觉不到的设备，系统可实现以人为本的实时协同工作环境。
移动技术和网络	未来许多无处不在的设备将会随着用户的移动而在不同的工作环境间转换。这就需要空前发达的移动和网络技术，设备需要尽快被定位并访问适当的信息和资源。在这样的移动技术中，安全性是个重大的挑战。



普及设备	不同功能的设备可被用户携带移动，它们需要装备低功耗的无线网络设备，并且完成日以继夜的长时间连续任务。低价格、小体积和高性能可使它们能普遍安装，并具有隐蔽性。
信息访问	信息访问的方式将会变得多样化和人性化，人们与机器交互时不再受机器的制约。

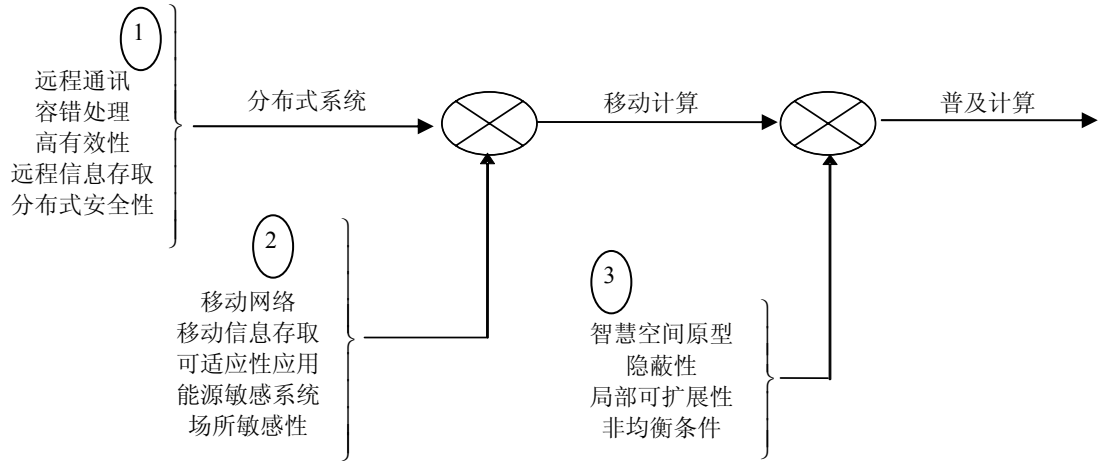
表一：普及计算技术难点

今天，针对上述四方面技术革命的研究已经初见成效，不少研究成果甚至已经商业化，比如手写输入，语音交互，远程传感，等等。尽管这些技术的最终融合还需假以时日，然而人们已经看到了普及计算的曙光。我们不妨看看表二，它对应表一给出了普及计算重要组成部分的一些技术革命实例：

感知界面	语音交互、手写输入，宽屏显示，形状敏感设备，目光跟踪，手势识别，声音识别，声音探测，声学成像，语音识别，传感器互熔等
移动技术和网络	移动层结构（NAT 等），目录服务，安全管理，无线通讯协议，服务发现，移动会话管理，远程传感，IP 语音技术，IP 图像技术
普及设备	智慧笔记本，便携传感器，电子书籍，掌上计算机，智慧标识
信息访问	虚拟文件索引，口头文件索引，分布式多媒体数据库，口头文件检索，文本检索

表二：普及计算基础技术初步实现

从技术发展上讲，普及计算（Pervasive Computing）是由嵌入式系统智慧空间（Smart Space）在移动计算（Mobile Computing）的影响下发展而来的。而移动计算则由分布式计算结合移动网络及其相关技术发展而来（参见图二）。从图中，我们可以看到，分布式系统正是由第一组（图二（1））远程通讯、分布式安全性等技术发展而来，我们第四章讲述的网格计算正是分布式计算的最新发展；接着在移动网络、可适应性应用等第二组技术（图二（2））的影响下，分布式系统发展成移动计算，这将是第三章讲述的内容；而第三组（图二（3））包含了更多的硬件技术，涉及由嵌入式系统构成的智慧空间，（设备）隐形性，服务的局部可扩展性，以及不同场合下服务设备的非均衡条件等。在这些技术的加入下，移动计算具有很多的“智慧”，由此衍生出今天的普及计算。



图二：智慧空间相关技术发展流图[2]

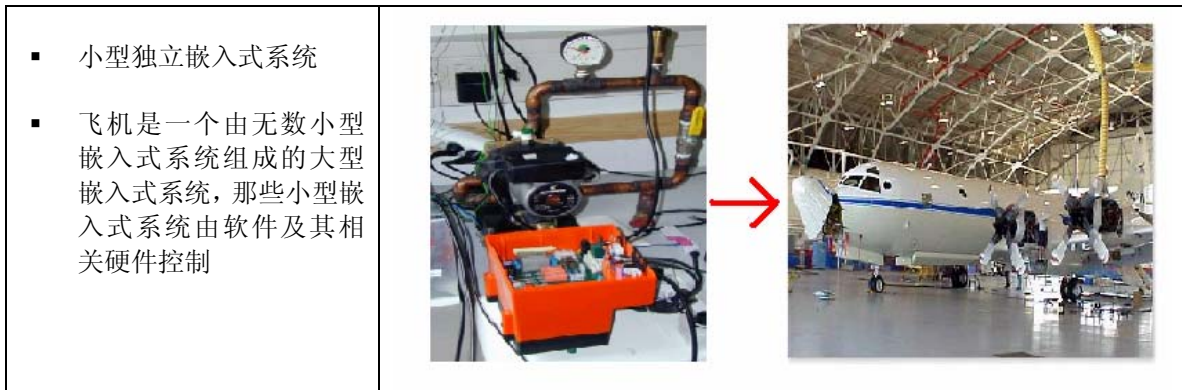
所以，我们将从嵌入式系统和智慧空间原型开讲，然后介绍移动计算和网格计算，最后是用户体验和全球智慧空间描述。希望能使读者对普及计算的发展及所涉及技术的有更深刻全面的了解。

## 2 嵌入式系统及智慧空间原型

嵌入式系统（Embedded System）是普及计算的一个重要组成部分。它工作在直接接触人类的前端。嵌入式系统采集人类的行为信息并提供给后台系统处理，同时它也用后台系统的决策来控制机械的工作。由此实现机械智能化。

原始社会中，人们使用的工具很少，随着工具为人类生产和生活带来越来越多的便利，人们不断地对工具进行开发。一方面机械工具被证明在劳动中是非常有效的，但是它们只具有行为上的自动化，而不具有自动完成任务的智能。另一方面，半导体的发明为硬件科技带来革命。人们开发出软件和硬件共同构成的平台来控制那些本来独立的机械设备。这样，单个嵌入式系统就诞生了。之后，随着有关软硬件技术的不断发展，嵌入式系统在体积上不断变小，所实现的功能却愈发全面。在大多数情况下，嵌入式系统都可以在很少的用户指令下自动运行。





图三：小型及大型嵌入式系统

大多数情况下,各种功能的嵌入式系统彼此独立,因而无法相互共享资源,难以合作构成一个大型系统。但是普及计算要求所涉及的嵌入式设备协同工作,提供最好的用户体验(User Experience)。在上文提及的例子中,所涉及的嵌入式设备包括摄像头、话筒、扬声器、投影仪、传真机等。在凌野边走边发命令的时候,我们需要各个话筒相互合作,根据凌野所处不同位置采集他的声音,走廊上的所有话筒也必须随着凌野的位置返回信息。同样地,摄像头和话筒都要为用户的身份验证采集信息。而投影仪、传真机也要通过摄像头、话筒等来支持背景感知。这样,在分布式计算,移动计算和无线通讯的技术支持下,传感器互熔(Sensor Fusion)使得多个嵌入式系统的合作成为可能。

在现有的技术条件下,美国国家标准技术局(National Institute of Standards and Technology)开发了一个集成环境来实现智慧空间(Smart Space)原型[3]。一般来说,这个原型存在于有限范围内的三维空间中,比如会议室、公寓等。这个环境内装备了许多嵌入式设备,他们以用户难以察觉的方式共同工作,为用户带来全新的体验。身处其中,用户甚至感觉不到这些嵌入式设备的存在,但是根据用户的行为和习惯,这些嵌入式系统以及后端的计算设备共同为用户进行服务。文初提到的会议室就是智慧空间原型的一个理想化状态,比如,当凌野开始做报告时,投影仪自动启动,灯光自动减弱,等等。



图四：从智慧空间(Smart Space)到普及计算

图四形象地展示了普及计算的发展历史和方向，及其以人为本的概念，信息服务将象空气一样无所不在，一个掌上电子设备将成为全球普及计算世界的通行证。

### 3 移动计算 (Mobile Computing)

在上一章我们提到，目前的智慧空间原型仅能在有限的空间内实现，但是人类从来不得意于小聪明，我们梦寐以求的是大“智慧”。在一个智能会议室或公寓里随心所欲并不能满足我们，我们要的是在整个世界里悠游，无处不在地享受信息服务。这就需要移动计算。

移动计算极大地拓展了信息服务的范围，为普及计算带来了移动性。它使人们在从一个智慧空间移动到另一个智慧空间时依然能够享受到计算服务。在文初的例子基础上，我们再设想一个场景，凌野正在向下属交待工作，这时候，办公室内又响起悦耳的女生：“凌野部长，董事长临时召集紧急部长级会议，其中需要您作一个财务报告，会议将在 10 分钟后于第一会议室召开。”听到消息后，凌野马上结束与下属的谈话，他用 8 分钟时间在他的台式电脑上大致整理出所需要的材料，然后随手拿上 PDA 步向第一会议室。在路上，他用 PDA 继续文件的编辑，甚至在资金流程图上加上了动画效果。于是，当他走进会议室时，他的文件已经传送到投影仪上，等董事长一到，凌野就可以立即开始报告。

在上述例子中，我们充分利用了移动计算的移动性。这里，移动性包括了用户的移动性，设备的移动性，以及信息的移动性。

所谓用户的移动性，就是移动计算允许用户自由移动，而仍旧享受不间断的计算服务。当我们在办公室时，我们用台式电脑访问信息，当我们离开办公室时，我们使用便携设备访问信息。方位的改变并不会中断我们的计算能力，不同的只是计算方式。

而设备的移动性意味着我们的计算能力可以在不同的设备上实现。在固定场所，比如办公室或家里，我们选择大屏幕，高性能的台式机进行计算；在行进中，我们可以通过便携设备连接后台计算系统进行计算，比如 PDA、手机。虽然便携设备由于体积限制了屏幕、处理器及存储设备的规模，因而具有不同计算能力交互和访问方式，通常说来，便携设备仅仅作为一个接口，使用户能够使用位于后台的更强大的处理系统。但这些细节对于用户来说并不重要，重要的是计算服务没有因此而中断。

信息的移动性使得信息在所有设备上都可被访问。在刚才的例子中，凌野的报告可以在他办公室里的台式机上，PDA 上，以及会议室里的投影仪上被访问，这就是信息的移动性。值得注意的是，这个移动性具有极高的自动化程度，凌野并不需要从台式电脑上将 PowerPoint 文件拷贝到 PDA 上，移动计算技术将这一切都以用户无法感知的方式完成。这样，凌野才有时间在最后两分钟内完成文件编辑，甚至还有时间添加动画功能。

移动计算的两个重要元素是：

1. 用户可随时随地携带的小型设备。关键是用户可随时进行操作，小型移动设备，手机或 PDA 都在不断地变小，同时具有越来越强大的计算功能。
2. 可以随时通过“无限的隐性无线连接”，在移动状态下与整个世界连接起来。在这个移动状态下，用户要与其他信息世界保持联系。由于有线网络在此毫无用处，无线通讯协议担任了重要的角色。此需求得到了无线技术的大力支持，现有许多基于 802.11x 的无线通讯标准。



图五：移动计算的重要元素

移动计算还强调了两个重要问题：第一，在移动状态下为用户提供无间的服务，这意味着当我们在场所转换的时候，有可能会接受不同后端服务器的服务，但是我们并没有感受到这个转换，我们享受到的服务一如既往，毫不中断；第二，移动技术要跟随用户移动进程的变化而变化，而不是用户处理变化中的移动进程。这就是说，所有的移动性都由系统处理，用户并不需要显性地给出指令或者配置。

移动计算应该主动对用户移动性进行支持。遗憾的是，现有的研究甚至还没有真正将“以人为本”的计算目的提上日程。这其中有不少技术限制，其中计算能力的限制就非常重要，尤其是对于便携设备来说。后端服务器的支持对这个目的至关重要，值得庆幸的是，分布式计算技术也在突飞猛进，向网格计算进军。网格计算将带来协同计算的革命，为普及计算提供有力的技术支持。

## 4 网格计算（Grid Computing）

### 4.1 什么是网格？

简单地讲，网格就是把整个因特网整合成一台巨大的超级计算机，以实现计算资源、存储资源、数据资源、信息资源、知识资源、专家资源的全面共享。

让我们来看看一个已经在商业上应用了的实例。设想这样的情景：一家网上售票公司要销售一场热门乐队的演出门票。令 IT 部门经理担忧的是，在网上售票开始后，公司现有的服务器

和软件能承受住巨大的访问量和交易量吗？在网格计算的协助下，公司并不需要增加数十个服务器和存储系统，工作人员只需接通开关，将公司的局域网与外部“计算网格”相联，这样从世界不同地方发来的交易请求就被分配到公司外部的“网格”中处理。结果公司在 3 分钟内销售了 90 万张门票，没有一个顾客因系统处理能力不足而被拒之门外。

在当前网格技术的支持下，上述情景完全可以被实现。更精彩的是，网格在处理计算请求的时候，充分发挥了分布式计算的优势来高效地完成任务。在刚才的例子中，购票的请求可能从全世界各处发来，当公司将交易处理权移交给网格后，网格可以根据购票请求的来源划分区域，使来自各地的购票请求可以在当地的网格节点上处理并且返回结果。这样，大量的网络资源被节省下来。而对全球用户来说，他们要连接的购票页面是一致的，至于分布式的处理则全由网格来进行。

网格作为一种能带来巨大处理、存储能力和其它 IT 资源的新型网络，可以应付临时之用。网格计算通过共享网络将不同地点的大量计算机相联，从而形成虚拟的超级计算机，将各处计算机的多余处理器能力合在一起，可为研究和其它数据集中应用提供巨大的处理能力。有了网格计算，那些没有能力购买价值数百万美元的超级计算机的机构，也能利用其巨大的计算能力。届时，计算能力将象电力一样，即插即用，用户并不需要费神维护计算设备。

#### 4.2 计算的“乌托邦”？

网格计算的灵感来自于电力网络。我们今天已经习惯于遍布屋内的插座，当我们需要用电时，只需将设备接入插座，就可以享受到便捷的电力服务。事实上，这是如此便捷，我们甚至想不出除此之外，还可以怎样。但是，在当今的计算世界中，这并不是自然而然的。每个人，每个机构都有自己的计算设备，尽管这些计算设备在分布式计算的推动下，实现了局部的共享，但是，我们在计算上基本还是处于各自为政的状态。其实，对比电力网络的例子，每户人家都有电脑，就相当于在每户人家里都有一个发电机一样。这根本就是资源的浪费！为什么不可以将各自的计算资源联合起来，由一些计算中心作为“发电站”，构成一个巨大的网格，每个用户都可以在自己需要的时候使用网格上的计算资源，而这些计算资源也被集中维护管理。届时，计算也作为一项资源出现在家家户户，我们不必担心升级、杀毒等等细节问题，同时，比电力更方便的是，我们甚至不需要“插座”。无线技术进一步使得所有技术细节消失，用户要做的不过是进入这个服务网格！



网格是实现全球智慧空间的一项关键技术基础，网格本身也是计算机科学的一个重要研究领域。目前中国也开始了自己的网格研究，作为国家项目在建立自己的网格。在上海召开的第二届网格与协同计算国际学术会议已经吸引了世界各国的学术带头人，各大公司的代表及来自20多个国家500多篇论文[4]。中国已成为网格开发的重镇。下面我们看看科学家们将如何把这个“乌托邦”带给人类。

### 4.3 网格计算技术挑战

#### 安全性

资源互享带来的安全性问题是网格计算中的一大难题。由于互享，计算资源及使用者的加入和离开都变得随意，中央控制不可避免地被削弱，这就使得对文件的存取和权限的控制变得困难。并且，用户不希望繁琐的身份验证出现，比如，当我在一台机器上进行计算，其中可能会用到另一台计算机上的数据，我绝对不希望系统要我再次证明我是我本人，我希望我对整个网格计算资源的使用权一次验证通过。这里，我们要实现的是：一次验证，全球通行。

#### 异构性

在共享时，资源的自治性使得整个网格在硬件上和软件上都是异构的。也就是说，由于网络的各个节点可能属于不同机构和个人，而网格在技术上赋予节点最大的自由性，因此，各个节点可能拥有不同的硬件结构和软件平台。这个特性带来的挑战是，怎样在异构的硬软件平台上实现分布式计算，也就是如何在不同的硬软件平台间共享计算资源。这样，用户将在技术上畅通无阻地享用四方的服务。

#### 硬件支持

资源的互享离不开骨干网络的支持。试想在本地上10秒钟能解决的问题，人们是不愿意花20秒将它传送到一个3秒钟能完成计算的远程设备上去计算的。并且，很多超级计算应用对时间有极高的要求，几秒甚至零点几秒的传送时间已嫌太多。在这点上，现有的网络还不能满足网格计算的要求。美国境内所有网格节点的连接都是由专用骨干网支持，这极大地阻碍了网格的民用和普及，对此，正在研究中的Internet2十分令人期待。

#### 资源互享



在所有重大技术问题解决之后，我们还要面临许多琐碎的资源互享问题。比如说，如何共享资源。一般说来，资源的拥有者当然希望共享资源不会妨碍他自己对资源的使用，这样，专用资源和非专用资源的共享方式绝对不一样。同样出现的问题还包括其它资源使用者的优先级问题，以及是否允许预订，怎样预订。在此基础上，我们还可以考虑资源的有偿共享。我们甚至可以允许资源使用权的拍卖，这样一来，网格上的财务结算和交易也在我们考虑范围之内了。

#### 4.4 网格计算目前的商业应用

尽管网格计算的普及时间还无法预计，但是已经有商业公司勇于尝试这项新技术。现有网格的商业应用包括提供药品开发人员所需的计算能力，用以研究药物和蛋白质分子的形态与运动；用网格计算进行复杂的仿真与设计；帮助石油加工、货物运输、甚至零售企业在出现突发事件时（比如系统崩溃时或交易量异常时）存储和处理所有交易；辅助特殊效果设计，等等。

让我们来看看这个来自《IT 经理世界》的消息：2002 年 12 月 18 日，德国 Deutsche 银行与 IBM 签订了价值 25 亿美元的 10 年期外包合同。这家银行的整个欧洲大陆的数据中心将交由蓝色巨人接管。该银行 CIO Hermann-Josef Lamberti 认为，通过这种方式，他们预计可以节约资金 10 亿美元左右。“因为，从此以后，这家银行不用再支付固定的使用和维护费用，只需根据实际使用资源付费，就像每月交纳水电费一样。” IBM 全球服务部负责金融服务的总经理 Paul Sweeny 解释说。这类服务就是一种实用性服务（Utility），属于 e-business on demand 的内容。而后者是其新任主席 Sam Palmisano 于 2002 年 10 月 30 日提出的 IBM 的又一努力方向。他们希望使 IT 应用以服务形式出现，而用户可以像使用其它公共设施那样，在任何时间和任何地点安全地、稳定地、高效地获得有偿信息和服务。这种方式可以较容易看到投资回报，而且一次投资也不会过大。因此，当人们经济拮据时，这种方式也许比较容易被接受。IBM 的 Business On Demand 的战略正是网格商业化的勇敢尝试，而这则消息也让我们看到网格商业化的良好经济效益。

还值得一提的是由美国阿岗国家实验室主持的访问网格（Access Grid）项目[5]。AG 是一个全球范围的虚拟网络环境，包括即时视频、音频和文件的交互共享合作。它已能帮助美国大学举行视频会议，数十名研究人员在相隔千里的不同地点通过大屏幕进行交流。如此看来，网格计算并非是不可望而不可及的乌托邦，其商业应用的广阔前景就在眼前。



图六：Access Grid 实景[5]

## 5 用户体验（User Experience）

在前几章里，我们介绍了普及计算相关技术，并描绘了一个人类随心所欲使用信息服务的美妙前景。但是，在这个曲折的征途上，我们到底走了多远呢？全世界的科学家在不同的领域辛勤开拓。在这章里，我们将介绍一个和用户极为相关的技术概念：用户体验（User Experience），并给出两个实例。

在计算机发展的四十年中，科学研究的重心都放在机器上，人类自己的需要多少被忽略了。为了迎合昂贵的设备，我们精心地把它们安置在冷气房里，或者小心翼翼地放在真皮包里携带。在为人类服务的旗下，机器享受着人类的供奉。而它们又是如此地难以取悦，人们得讲机器的语言，还只能提及机器懂得的术语，甚至必须用属于机器的鼠标和键盘去和它们交流。机器不在乎人类的需要，它们甚至不需要理会人类的存在。而现有的“虚拟现实”技术非但没有改进这个状况，反而使人类陷入了另一个尴尬的境地，那就是我们不但要服务于机器，而且还被迫活在它们创造的世界里！

这真是难以容忍，所以科学家提出未来的计算机发展必须以人为本。计算机提供的信息服务要无处不在，像今天的电力技术，更或者，像我们呼吸着的空气。这些服务得在人类的世界中，为人类的目的和需要服务，让我们事半功倍。届时，人们不再需要随时携带个人设备，可配置的通用掌上设备或者嵌入设备会随时随地地提供我们需要的信息服务。在我们和这些通用设备的交流中，它们自会适应我们的交流方式，它们尊重我们对隐私权和对安全的需要。再也

不用什么输入和点击，我们甚至不用学习那些计算机“黑话”，我们将轻松地用语言和手势表达我们的意图，剩下的全都交给机器。

这个新系统将会提高人类的生产力，它将手工劳动自动化，控制机器组的运行，搜索出我们真正需要的信息（这意味着当我们查询信息的时候，再也不用瞪着上千行的查询结果发愣），并且，我们还可以通过这个系统超越时间和空间的限制与他人合作[6]。

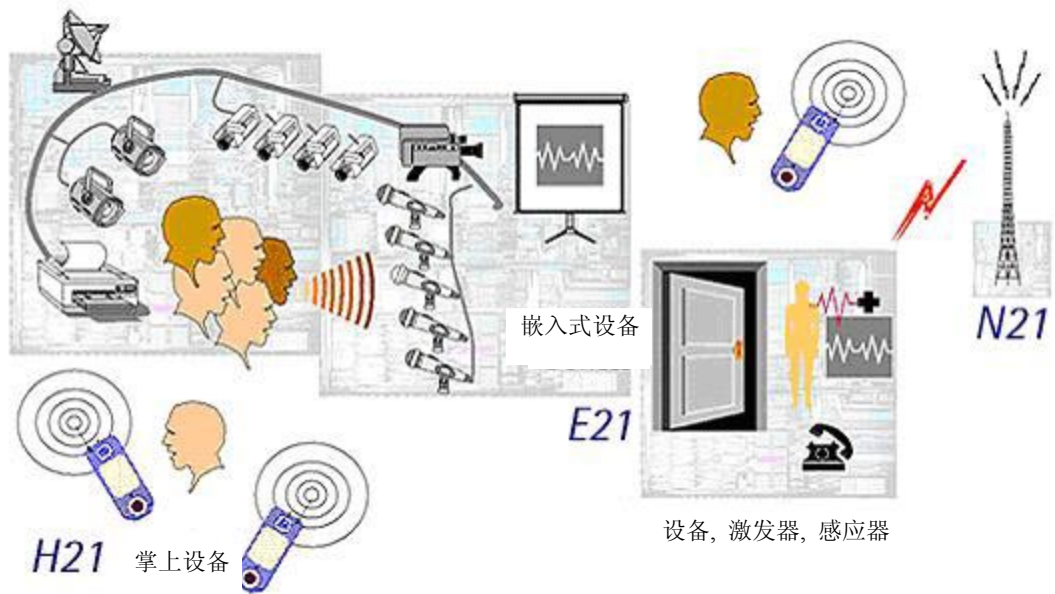
这里，我们很高兴地介绍三个已经小有成果的研究：开发以人为本的人性化电脑为目的的“氧气”项目[6]；为老年人开发人性化交流方式的 AHRI 项目[7]；背景感知校园导游应用程序[8]。

### **氧气，氧气，氧气！**

*“赐给我们丰盛的信息和通讯吧，像那自由而无所不在的空气，如此自然地出现在人们的生活中！”* 氧气（OXYGEN）项目的主要目的是研发新一代以人为本的人性化电脑，使信息服务像氧气一般，成为人们生活中的必需，天衣无缝地融合到建筑和日常用品中。氧气项目由麻省理工学院主持开发。

“氧气”的研究在智慧空间、移动计算、通讯和语音识别等多方面全面展开。如图七所示，氧气开发的 Enviro21s (E21s)通过名叫“蟋蟀（cricket）”的方位支持系统，与能够自动适应环境和用户需求变化的软件(O2S)建立智慧空间原型，提供有限的信息服务。名叫 Handy21s (H21s)的掌上电脑可以自动识别主人，接受口语指令，遥控嵌入式系统。名叫 networks (N21s)的动态可自动设置的网络帮助设备相互定位，并且帮助设备定位感兴趣的人、服务以及资源。

氧气项目的 H21 的原型是在一个装有 200Mhz StrongArm 处理器的康柏 iPaq 上，扩展了 BackPAQ 插件，以此来控制 iPaq 上的摄像头，话筒及声频解码。这个 H21 原型可以部分支持用户友好的交互方式。更多成果还有针对低功耗嵌入式系统的软件控制体系结构等，详细信息请参照[6]。



图七：氧气项目重要组成部分

## AHRI

AHRI (Aware Home Research Initiative) 是佐治亚理工大学正在开发的一个跨学科项目，旨在挑战未来的家政科技。AHRI 拥有一个比较特别的实验室，名叫佐治亚理工宽带学院住宅实验室。实验室是一幢三层楼高，面积为 5040 平方英尺的别墅。它为跨学科地设计、开发和评估提供了一个绝佳的现场。



这个项目的研究重点是独居老人的生活。在纷繁忙碌的现代科技社会中，老人似乎是被遗忘的一群。他们较难掌握现有的 IT 技术。更糟的是，随着经济全球化和跨国公司的全球化战略，人才流动的周期、频率、半径只会越来越大，儿孙们由于各自的事业生活，尽孝的机会大大减少，这就与传统家庭要求的“孝”产生了冲突。

子曰：“父母在，不远游，游必有方”。如何留在父母身边尽孝成为难题，尤其是现代中国社会，以独生子女家庭为主体的核心家庭结构在伦理上、家政学上提出了挑战。而解铃还需系铃人，我们提到过，科技的目的是为人类服务，而不是带给我们更多的困扰。**AHRI** 就是在这个挑战下被开发出来，现有成果包括了不少方便独居老人的技术。例如，辅助记忆（**Memory Aids**）技术和日常助理（**Everyday Home Assistants**）技术。其中，值得一提的是手势垂饰（**Gesture Pendant**）系统。这项技术的实质是一个万能遥控器，但是它采用了最接近人类交流方式的途径来接收指令。用户将一个装有数字相机的垂饰挂在胸前，需要时只要在这个垂饰前用手势给出指令，就可以控制从家庭影院到灯光，到厨房用品等各种家用电器。这个垂饰系统甚至可以通过手势分析用户的健康和起居状况，比如从手势的力度和颤抖来发现一些病状的先兆。同样，系统也可以记录用户的活动量和饮食作息。这项技术不但方便了独居老人的生活，同样也是开发用户友好人机接口的一个成功尝试。

## HawkTour

**HawkTour** 是一个在伊利诺理工学院开发的背景感知校园导游应用程序。此程序可以针对用户需求提供校园信息。它可在 **PDA**、掌上电脑及其它移动设备上运行，同时校园信息也可显示在移动设备或者附近的显示屏上。**HawkTour** 通过无线的方式由一个全校范围内的背景感知中间件支持，程序一旦启动，就会完全由用户的位置及意图驱动，基于用户现处的位置（或 **PDA**）和朝向，程序搜索出其所需的校园信息并通过用户友好界面把它呈现给用户。它可以显示用户现处方位的地图和相应的校园信息，比如，附近的教室，洗手间，咖啡屋，建筑的历史等。在这个程序中，关键的是呈现给用户的信息是基于用户现处方位，程序的行为也是基于用户的意图。**HawkTour** 应用程序也可以根据用户的意图改变路线。这个程序将带来一个全新的提供导游信息的方式。

**HawkTour** 的独特性能之一是在建筑内部提供方位信息。著名的 **GPS** 系统仅提供户外方位信息，但是一到屋内就无能为力。**HawkTour** 采用了某挪威公司的软件包 **Ekahau**，这个软件帮助我们用无线访问点感知的信号强弱来定位用户。





HawkTour 的另一个独特性能是它采用了背景感知中间件 **Scarlet**[9]来收集和提供背景信息给用户。**Scarlet** 还允许各项服务相互发现和通讯。应用软件和方位及内容服务的通讯和协作均通过 **Scarlet** 进行。**Scarlet** 是一个通用背景服务结构软件，是一个跨平台、可扩展，可扩放的系统，也就是说它可在多种硬件和软件系统上运行，可以随意添加新的服务和应用，可在各种规模的设备上有效运行。更多关于 HawkTour 细节可在[8]找到。

## 6 全球智慧空间（Global Smart Space）

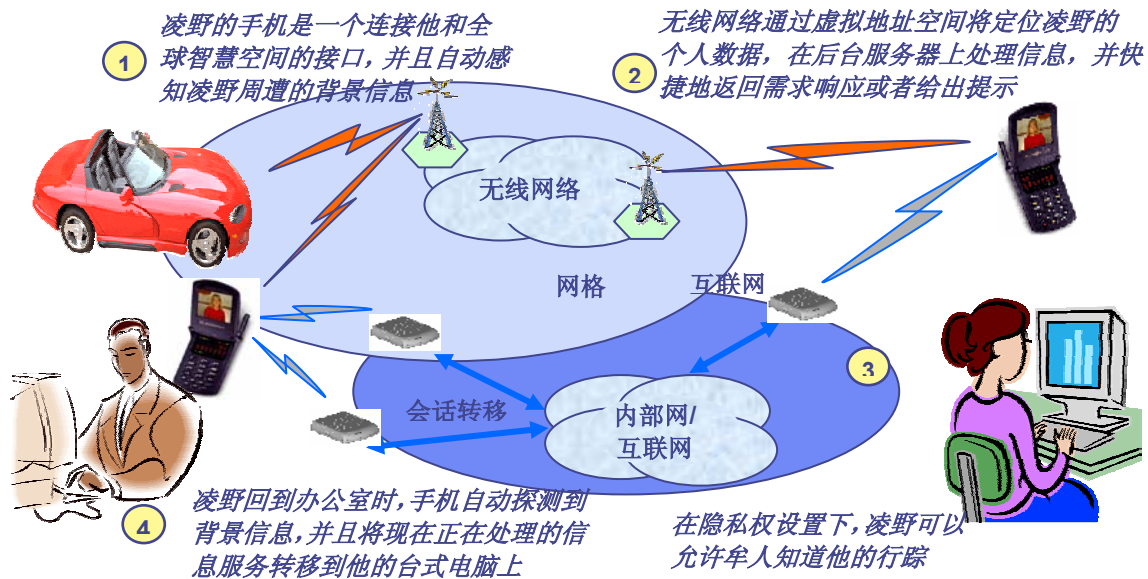
在移动技术飞速发展的今天，人们不再满足于在某个固定空间里才拥有智慧，我们不要走进某个区域内才享受到强大的信息服务，我们要这种智慧随着我们的移动而无处不在。网格计算的出现，有望解决所需的计算能力互享和资源互享的技术难点。于是，科学家们的脑海里浮现出全球智慧空间的蓝图。在这个蓝图里，大量的高效计算和网络资源在全球范围内构建起一个智慧空间。我们将象在文章开头提到的智慧会议室里那样，在足迹所到之处，都享受那种奇妙的信息服务。

毋庸置疑，我们在技术支持上已经非常接近这个乌托邦般的网络计算模型，但是，对于用这个模型最大地造福于人类，我们还无能为力。在人们自由地移动于不同的背景（context）中时，设备、环境以及人机的交互必须天衣无缝地连接。可是目前这种交互还仅仅基于粗糙的人机交互模型，计算机仍然没有“消失”。举例来说，现有的互联网通讯的目的地仍然是某个固定地点的固定机器，移动中的用户必须通过这个机器来通讯。于是，我们开始提出一种网络计算模型，在这个模型里，“计算机”被一个逻辑表达代替。这种模型的潜在优点很明确，但是如何实现它还需要大量的研究。我们对这个新生信息网络的人机交互尤其感兴趣，特别是怎样在用户移动时，最大限度地利用这个网络。假设用户携带一个便携设备，如 PDA，这个设备可以将用户与全球网络连接起来。在这个设备通过标准互联协议传输信息流的同时，我们期望它也能提供用户的身份和在定义过的背景空间（Context Space）中的位置。我们研究工作的本质是，在这样的物理情景中，什么样的模型才能将不必要的人机交互信息减少到最小，从而最大化有用的信息流？这涉及多个学科，如计算机科学、心理学和工业设计等。在一个集成的框架中，各个学科的科学通过合作研究来解决这些问题。纵观现有的互联网交互，大多都是情景无关的（context-free）。本质上，连接发出方的背景与这些通向网络服务器或电邮服务器的连接是无关的。对这些用户请求的个性化设置通常在用户机器上进行，比如说，通过电子书签或 cookie 来实现。网络服务器将这些来自不同 IP 的请求分别处理。但是这种方式开销很大，而且一般只用于局域网的安全功能等情况。



将 IP 地址空间扩展到便携设备上应该可以解决不少问题，但同时，我们付出了便携设备的物理背景丢失的代价。我们提出的方案涉及到用逻辑点来表达用户的存在，同时用户的行为与他所在的物理位置紧密地连接起来。用户与他自己的逻辑点进行信息交互并且自动地或明确地交换重要信息。这些信息允许系统以可控制的和确定的方式预估可能出现的交互，这些交互可能涉及到其它的用户、组织或物理背景。预估的基础是所涉及到的所有实体的信息。

这种预估使不必要的人机交互信息最小化。科学家们现在正在研发的系统已与这个目标很接近了。在这个系统里，如图八，当凌野处于移动状态的时候（图八（1）），他的手机自动获取他的信息背景，这个背景信息通过无线网络与网络连接起来，而网格中存有凌野个人爱好、习惯行为以及计划等相关信息，根据这些信息以及凌野所处背景，系统会对需求准确响应或者提示凌野相关的行为（图八（2））。例如，在凌野经过某便利店时，他的手机自动探测到这个信息，结合服务器里的信息，系统发现凌野冰箱里的啤酒已经只剩最后一瓶了，于是凌野的手机友好地询问凌野是否愿意停下来带一箱啤酒回去。并且，凌野也可以允许他的妻子随时了解他的方位（图八（3））。这项技术对家长有效监控独自行动的未成年子女的行为尤其有效。在凌野结束移动，回到固定场所，比如回到办公室或家里的时候，手机会把信息服务的提供权转移给凌野的台式电脑（图八（4）），以此提供更全面迅速的服务。



图八：全球智慧空间工作实例

我们面临的问题可以归结为几点：

### 什么样的计算模型才适合全球网络互联下的计算？

所有现存模型都是基于自治的资源和机器。为了将网络的效率最大化，“后备”机器的概念显得尤其重要，这样，一些固定的机器可提供便携设备功能的备份。这样的资源成本并不会增加多少，但是现有的操作系统和编程模式还不能适应这样灵活的计算模型。

### 什么样的人机交互模式可以用来有效地收集和发布所需的信息？

用户的路线、目的和兴趣的表达和收集需要一个确定的模型，但是系统交互的对象却通常不是专家。于是，我们需要从人类习惯表达方式到机器语言的转换。但是，便携式设备的 HCI 带宽十分有限，并且如何在袖珍屏幕上表达和收集信息也十分具有挑战性。

### 怎样使需要的交互和模型的物理空间联系起来？

我们能够理解层次空间，比如，“城市”、“公司”、“人事部”以及“1117 号房间”。人们的移动是在严格的三维空间内，当用户的抽象环境随着物理环境改变时，用户期待不同的交互方式。比如说，当你跨入机场大门后，你应属于“机场类”而不是“某市”，这些信息在我们设计交互空间时必须考虑到。我们希望通过不同学科专家间的合作和反馈来解决这些问题。

## 7 结束语：未来信息世界

普及计算的概念是 1991 年由 Palo Alto 研究中心的 Mark Weiser 第一次提出的。他说，廿一世纪的计算机将会彻底改变以往的计算方式，“影响最为深远的技术是那些‘消失’的技术，它们将自己织入日常生活经络中，直到与之融为一体。”

观察近年来 I T 的技术发展，我们更加坚信：未来的信息世界是计算机“消失”的世界，人类能够感知的只有象氧气一样存在的信息服务。我们甚至感受不到它，我们只需要享用它；我们无需刻意使用它，我们享用它就像呼吸一样自然。纵观人类发展史，在每一时刻，在世界的每一角落，人类都没有停止摆脱身躯限制的努力。然而，人类在摆脱身躯限制的过程中，还得正视作为人的局限：伦理、情感。现代科技是否使人们相互隔离已经是被大量讨论的话题，类似的疑问还包括计算机是否对人类的思维和行为产生负面影响。令人欣慰的是，“水能载舟，

亦能覆舟”。《黑客帝国》毕竟只是科幻片，IT 技术使用的主动权还牢牢地掌握在人类手中。而现有的普及计算应用尝试，从 Aware Home 到 Smart Space，无不在关怀人类的需要。我们十分清楚，我们为之奋斗的彼岸不是海市蜃楼。站在现有的网格计算时代，遥望即将到来的普及时代，彼处迷人的美景令我们陶醉，全世界勤奋的科学家们正带领我们一步一步向彼处开进。全球智慧空间不是梦中的乌托邦，它是科学家们致力打造的人间天堂。

回望上个世纪，那是怎样的一个信息技术黄金时代。来到廿一世纪，信息时代步入短暂的沉寂，然而故事远未结束，科学力量正在默默地积蓄，孕育着下一个信息革命。在这个新世纪里，三个 o（信息 Info, 生物 Bio, 纳米 Nano）你争我赶，谁会统领这百年风骚？我们拭目以待。可是，谁也不能否认，科学就是力量，明天会更美好！

### 参考文献：

- [1] Bill Schilit and Marvin Theimer, “Disseminating active map information to mobile hosts”, IEEE Network, 8(5):22 - 32, 1994.
- [2] Satyanarayanan, M., “Pervasive Computing: Vision and Challenges”, IEEE Personal Communications, August 2001.
- [3] “智慧空间”项目主页: <http://www.nist.gov/smartspace/>
- [4] GCC03 主页: <http://www.cs.sjtu.edu.cn/gcc2003/index.htm>
- [5] Access Grid 项目主页: <http://www.accessgrid.org>
- [6] “氧气”项目主页: <http://oxygen.lcs.mit.edu>
- [7] AHRI 项目主页: [www.cc.gatech.edu/fce/ahri](http://www.cc.gatech.edu/fce/ahri)
- [8] HawkTour 项目信息: <http://www.cs.iit.edu/~scs/>
- [9] Patrick Wagstrom, “Scarlet: A Framework for Context Aware Computing”, MS thesis, Illinois Institute of Technology, 2003.

### 作者介绍：



孙贤和, Ph.D., 美华学社理事兼副会长。美国伊立诺理工学院计算机系教授。1982 年毕业于北京师范大学数学系, 1985 年、1987 年、1990 年分别获得密歇根州立大学数学硕士, 计算机硕士, 计算机博士学位。他曾任美国能源部艾姆斯实验室博士后, 美国国家航空与航天管理局兰利研究中心科学研究员, 现任伊立诺理工学院 (IIT) 计算机系教授, 可扩展计算软件实验室主任和美国阿岗国家实验室客座科学家。他已发表了百余篇专业著述, 有 7 项

已批和待批专利，是多项国家项目的主持人。他的移动技术研究是美国国家自然科学基金第一批支持的九个中间件创新项目之一。他的存储限制模型（又名 Sun-Ni 法则）被称为必知性能评估模型。芝加哥《太阳报》称他最近的跨网络服务工作为变“POTS” (Plain Old Telephone Service 普通老式电话服务) 为 PANS (Pretty Amazing New Stuff 颇为迷人的新事物)，让电话搭上互联网的快车”。孙贤和是 IIT 校务委员会委员，IEEE CS Society 杰出讲授者。他是 5 个国际专业杂志的编辑及客座编辑以及多个国际会议的主席或组委会委员。他现任即将在上海召开的 2003 年网格与协同计算学术研讨会（GCC'03）会议主席。网址：<http://www.cs.iit.edu/~sun/>。



**何晓珊：**何晓珊 (Ph. D. candidate) 本科毕业于电子科技大学计算机系 (1999)，并于 2000 年赴美进入伊利诺理工学院学习，于 2002 年获计算机硕士学位，2002 年至今在伊利诺理工学院计算机系攻读博士学位。她的硕士论文“A QoS Guided Scheduling Algorithm for Grid Computing”在 GCC' 02 上发表，其后续工作“QoS Guided Min-Min Heuristic for Grid Task Scheduling”被收录到 Journal of Computer Science and Technology。她现在的研究兴趣着重于网格计算的资源管理和调动算法，包括网络上资源分配的 QoS 控制，网络上资源预约，以及非专用网格资源的调配。



**Ms. Nehal Mehta:** 本科毕业于 Dharamsinh Desai Inst of Tech (1996)，并于 1999 年获该校电子硕士学位，于 2001 年获伊利诺理工学院计算机硕士学位，2002 年至今在伊利诺理工学院计算机系攻读博士学位。她的研究工作开始于一个名叫自然研究实验室的印度著名国家实验室。在那里，她开发了基于“心脏电波”的微型控制器。她现在的博士研究方向着重于普及计算，特别是背景感知和方位感知。她目前正在研究背景感知的结构软件以及可以感知背景和用户意图的背景感知应用程序。其它的研究兴趣包括分布式计算和移动计算，以及面向方面 (Aspect-Oriented) 软件开发方法。