****

**硕 士 学 位 论 文**

题 目 基于上下文感知的多Cloudlet联合调度策略研究

作 者 2014223040160 完成日期 2017年03月29日

培 养 单 位 四川大学

指 导 教 师

专 业 计算机技术

研 究 方 向

授予学位日期 年 月 日

基于上下文感知的多Cloudlet联合调度策略研究

专业：计算机技术

研究生： 指导教师：

摘要

关键词：

Research on Context-aware Cooperative Muti-Cloudlets Scheduling Strategy

**Major:** Computer Techology

**Graduate student:**  **Supervisor:**

**Abstract**

.

**Key words:**

目录

[第一章 绪论 1](#_Toc467577008)

[1.1 研究背景与意义 1](#_Toc467577009)

[1.2 研究现状 4](#_Toc467577010)

[1.3 本文主要工作 4](#_Toc467577011)

[1.4 本文的组织结构 5](#_Toc467577012)

[第二章 背景知识和相关技术 6](#_Toc467577013)

[2.1 移动云计算 6](#_Toc467577014)

[2.1.1 移动云计算概述 6](#_Toc467577015)

[2.1.2 移动云计算的模式 8](#_Toc467577016)

[2.1.3 移动云计算存在的问题及解决方案 8](#_Toc467577017)

[2.1.4 多Cloudlet联合调度模型 10](#_Toc467577018)

[2.2 上下文感知 10](#_Toc467577019)

[2.2.1 上下文基本概念 10](#_Toc467577020)

[2.2.2 上下文建模技术 13](#_Toc467577021)

[2.2.3 上下文获取技术 15](#_Toc467577022)

[2.2.4 上下文聚合算法 16](#_Toc467577023)

[2.3 优先指派算法 17](#_Toc467577024)

[2.3.1 优先指派算法概述 17](#_Toc467577025)

[2.3.2 优先指派规则 18](#_Toc467577026)

[2.4 遗传算法 18](#_Toc467577027)

[2.4.1 遗传算法概述 18](#_Toc467577028)

[2.4.2 遗传算法的过程和流程 18](#_Toc467577029)

[2.4.3 遗传算法基因操作 18](#_Toc467577030)

[2.4.4 遗传算法控制参数设定 18](#_Toc467577031)

[2.5 移动云环境下的任务调度问题 18](#_Toc467577032)

[2.5.1 任务调度问题描述 18](#_Toc467577033)

[2.5.2 任务调度方式 18](#_Toc467577034)

[2.5.3 任务调度问题的求解方法 18](#_Toc467577035)

[第三章 多Cloudlet联合调度系统模型 20](#_Toc467577036)

[第四章 基于优先指派和遗传算法的多目标优化算法(PA-GA) 23](#_Toc467577037)

[4.1 算法概述 23](#_Toc467577038)

[4.2 染色体编码及种群初始化 24](#_Toc467577039)

[4.3 适应度函数 26](#_Toc467577040)

[4.4 选择复制 28](#_Toc467577041)

[4.5 遗传操作 29](#_Toc467577042)

[4.5.1 交叉 29](#_Toc467577043)

[4.5.2 变异 31](#_Toc467577044)

[4.6 算法总结 31](#_Toc467577045)

[4.6.1 算法流程 31](#_Toc467577046)

[第五章 算法仿真和实验对比 32](#_Toc467577047)

[5.1 仿真环境 32](#_Toc467577048)

[第六章 总结和展望 32](#_Toc467577049)

[6.1 工作总结 32](#_Toc467577050)

[6.2 下一步研究工作 33](#_Toc467577051)

[参考文献 33](#_Toc467577052)

[作者在读期间科研成果简介 34](#_Toc467577053)

[声明 35](#_Toc467577054)

[致谢 36](#_Toc467577055)

# 第一章 绪论

## 1.1 研究背景与意义

近些年来,得益于移动智能设备和无线网络技术的快速发展,通过移动终端获取互联网内容已经成为人们生活中的又一主流形式。移动通信网络和互联网的相互融合形成了移动互联网的这种新兴的信息模式，它使得用户可随时随地的使用移动设备通过无线网络(3G/4G/WiFi等)访问互联网，解决了传统PC体积和重量较大、不易携带和可移动性差等缺点。尽管目前移动设备的处理能力和存储能力都得到了很大提升，但是针对日益复杂的移动任务，如计算密集型、实时交互型、高并发型等任务时，移动设备本身固有的一些缺陷包括处理能力、存储容量、电池续航、网络状况、可靠性等将成为性能瓶颈。

为了解决移动设备的固有限制,移动云计算应运而生。传统的解决方案是将移动任务通过无线网络（3G/4G）分流到远端云上，通过结合云计算和移动设备各自的优势，提升移动设备的处理能力和存储能力，延长移动设备的电池周期。然而，这种方式也存在着一些不可忽视的问题，如：1、移动设备和远端云通过无线网络（3G/4G）进行通信，由于距离较远，会产生比较大的通信时延，这对于实时性要求较高的任务来说是致命的。 2、3G/4G这种通信方式，将产生昂贵的通信费用。 3、3G/4G目前来说数据传输速率仍然有很大的提升空间，对于通信量较大的任务将产生较大的传输时延。 4、一些安全性要求较高的移动任务分流的企业的公有云上会带来一定的安全隐患。

移动云计算中一种新的移动终端-cloudlet-远端云的三层计算模型提供了另外一种思路[1]。Cloudlet是位于移动用户附近，由少数服务器，PC，移动设备等组成的一个移动设备和远端云通信的中转站或者直接服务移动设备的代理服务器，它以WiFi方式接入[2]。与终端-云端的两层计算模型相比，这种三层模型在保留了云端无限的计算能力和存储能力的优势下，将任务的执行尽可能的从云端移动到cloudlet上，这带来的好处是不言而喻的，如：接入方式从3G/4G过渡到WiFi，使得传输速度得到极大提升，移动终端保持连接所消耗能量减小，延长了移动终端续航时间。执行体由远端云过渡到位于移动终端附近的cloudlet，通信距离远远降低，使得通信时延和传输时延都得到极大程度的改善。另外，还消除了昂贵的3G/4G通信费用和企业云的租赁服务费用。

1.1.1研究背景

3G/4G等移动网络的发展以及智能移动终端的推广,使移动互联网与云计算的联系越来越紧密,移动云计算就是二者相结合的产物。移动云计算是以移动网络为传输介质,通过移动智能终端使用户获取硬件、软件、平台等IT资源的一种服务模式。可用的移动云计算服务,必须要有终端、移动网络带宽、端到端安全网关等因素的支持。作为云计算的扩展,移动云计算向移动用户提供云端的数据计算与存储应用⑴。在使用移动云计算服务时,用户体验的最基本要求是用户通过移动终端能够随时随地安全地使用应用程序并访问信息。

2009年7月,ABI Research的研宄报告提出[2],移动云计算很快将成为移动领域的爆破力,并成为移动业务的主导模式。根据ABI Research对移动云计算全球用户数的统计,2008年为4280万,占全球手机用户比例为1.1%;预计2014年移动云计算将达到200亿美元的商业价值,其全球用户数将达到9.98亿,占全球手机用户比例将为19%。随着用户对移动云计算的了解、认可与信任,以及越来越多的云提供商进入移动云计算领域,移动云计算产业将会进入高速发展的阶段。

2010年10月,国务院出台《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》,提出我国经济社会发展的核心引导力量是战略性新兴产业,认为云计算是IT产业的第四次革命。根据国际数据公司(IDC)的预测,2012年云计算的全球市场规模将为420亿美元,其 支增长将占IT支出总增长的25%,2013年这一数字将为33%左右。国际数据公司认为,云计算的快速发展为全球IT市场开启了一个充满竞争的新时代。

移动云计算具有以下优势:(1)摆脱手机硬件的限制。手机与PC机的处理能力相差较大,在处理大数据时,手机终端的硬件是最大的约束。但在移动云计算中,由“云”向用户提供数据存储和计算的功能,所以就不再依赖移动终端自身的处理算能力。(2)方便快捷的数据存取。因为移动云计算将数据存储在“云”上,所以移动云计算能够使用户拥有大型数据存储空间,并使用户在良好移动网络环境下访问云端数据时可达到本地访问速度,并便于用户间的数据共享。(3) 智能负载均衡。移动云计算可以通过利用多个应用之间周期的变化,针对负载变化较大的应用进行智能负载均衡,从而弹性地为用户提供资源。(4)减少管理成本。管理资源与管理成本成正比。移动云计算可以实现管理过程的标准化,从而使管理任务清晰化,管理成本合理化。(5)按用户需求提供服务。尽管定制化服务能够达成不同互联网业务用户的个性化要求,但是会带来超负载荷的问题。而使用移动云计算技术能够共享不同服务间的资源,向用户提供按需服务,从而使服务成本有效降低。

移动云计算也存在一些问题。(1)移动终端设备的资源缺乏。相对台式电脑,移动终端的屏幕更小,电池容量受限,且设备本身的计算能力也不是很强大,因此通常认为移动云计算是SaaS云,即用户以瘦客户端和web浏览器为媒介进行云访问,在云端执行数据的处理和计算。(2)受移动网络质量影响。尽管Wi-Fi减少了延迟,但在多个移动设备同时存在时带宽会降低。同时,用于3G手机的带宽可能会受到某些区域基站带宽的限制,可能会出现连接中断,在运营商优化移动网络后,连接中断和网速慢的情况会得到改善,但由于移动网络环境的复杂性依然可能会出1?连接不稳定和网速慢的现象。(3)移动终端存在安全隐患问题。因移动设备较台式电脑更易丢失,若通过该设备其他用户也可访问云平台中的重要数据,就会带来信息安全隐患。(4)无线网络的异构性。由于无线通信技术和组网技术的快速进步,产生了很多新型的异构网络,如蜂窝移动通信网(2G/3G/4G)、无线个域网(WPAN)、无线局域网(Wi-Fi)、无线城域网(WiMAX)、无线传感器网(WSN)等。对移动运营商和移动服务提供商而言,针对如此复杂的异构网络环境,如何向用户提供无缝漫游服务是很大的难题。

我国拥有3.84亿互联网用户、7.03亿移动电话用户、2.77亿移动互联网用户,居世界首位。随着3G的发展与手机收费的下降,手机上网用户逐渐上升,使我国移动互联网可以持续发展。据艾瑞咨询2010年第二季度发布的中国移动互联网市场数据显示,中国移动互联网市场达到40.2亿的规模,同比增长比例为7.7%,环比下降比例为10.6%。手机游戏业务和移动电子商务的市场表现良好,其中移动电子商务达到4.3亿元的交易规模,同比增长比例为321.6%,环比增长比例为41.9%。手机搜索达到5800万元的市场规模,同比增长比例为48.7%,环比增长比例为5.5%。移动互联网用户规模的快速增加使得手机搜索需求也急剧增加,促进业务收入持续增长。手机游戏达到5.9亿元的市场规模,同比增长比例为40.5%,环比增长比例为9.3%。2006年网络终端数目为5亿,据分析预测,该数目到2011年会达到1万亿。由于这些网络设备的计算能力不可能都很强,且由各自的设备商分散管理数据会带来数据管理混乱、效率低下等问题,因此,如何有效管理这些网络设备成为一个亟待解决的大问题。移动云计算模式的出现能够较理想的解决网络终端有效管理的问题。

我国于2009年发放3G牌照,随后三家运营商开始大力建设3G网络。截至2010年5月,中国移动TD-SCDMA的基站数目已超过10万,全国有238个城市实现覆盖;截至2009年年底,中国联通WCDMA的基站数目达到9.7万,全国有335个城市实现覆盖;截至2009年7月底,中国电信完成全国342个城市的CDMA1XEV-D0网络覆盖。截至2010年7月底,我国3G用户累计达2808万户,环比增长比例为11.4%,同比增长比例为544.6%。2010年1-7月净增用户数为1482万,7月新增用户数为287万。截止2010年7月,中国移动、中国联通和中国电信的3G用户数目分别为1183万、850万和775万户,如表1-1。截止2010年底,我国3G用户总数己超越5000万户。

2010年-2012年是中国3G的快速发展阶段,赛迪咨询预测2012年我国将有超过2.4亿3G用户,将获得1872.5亿人民币的收入。主要3G业务到2012年用户数预测如表1-2所示,截止2012年底,将有1.23亿手机支付业务注册用户,会获得13.9亿元收入;WAP将突破1000亿元的市场规模;手机邮箱的注册用户数会达到2.91亿户,包含6500万活跃用户;基于位置服务的用户数会达到9400万户,会获得超越90亿元的市场规模;即时通讯注册用户数会达到3.6亿户,包含1.8亿活跃用户;手机电视会获得75亿元的业务收入;JAVA的市场规模会继续高速扩张,达到70亿元。

市场需求为移动云计算的良好发展带来机遇。(1)巨大的移动个人用户群是移动云计算的重要支撑。移动互联网与智能移动终端的高速发展使个人用户对移动云计算的服务需求不断增加,特别是移动云音乐、移动云存储、移动社交网络等服务。移动云计算使用户可以随时随地通过移动终端访问云端应用,从而能够显著提升用户体验。移动云存储不仅能够满足用户随时随地存储数据的需求,而且也是承载其他移动云应用的基础;移动云音乐使用户可以通过移动终端收听音乐;移动社交网络业务使用户可以分享信息,拓宽人际交往。(2)企业用户能够促进移动云服务持续发展。作为增强企业核心竞争力的重要方法,移动云服务可以改善企业运营效率并降低成本。当前企业级应用的移动云服务还相对较少,发展空间很大。据预测,到2015年,超过2.4亿的企业用户会使用移动云计算服务,这将使经济规模增加52亿美元。(3)行业用户的需求将促进移动云服务的快速发展。中国政府积极支持信息技术产业,特别是教育、交通、金融和环保等和民生紧密相关的行业。上述行业对移动云计算有非常大的需求,因此移动云计算的行业应用具有广阔的发展前景。

移动云计算技术在通信领域开启了全新的移动互联网时代。移动云计算更符合中国经济面向服务和高科技转型的国家政策,随着政府注资和政策扶植,移动云计算产业将持续改进商业模式并完善市场机制。技术的发展与终端的完善会促进移动云计算产业的良性发展,使移动云计算成为用户能够便捷生活与工作的有力保障。

## 1.2 研究现状

移动云计算在近些年来得益于移动智能终端和云基础设施的发展受到研究者的广泛关注,使用Cloudlet 策略在移动云计算领域变得越来越流行。在[11]中,作者预见未来Cloudlet基础设施会像今天的WiFi接入点一样分布在我们周围。不出意料地,任务分流[4,5,6,7,8]在移动云环境中也是研究的热点。[5]分析移动云计算相关背景和移动云计算中计算机分流框架的概况和存在的问题。[6]为分流应用和切换服务到其他的Cloudlet上提出了两个决策算法。提出的算法使得当用户在移动过程中也能提供无缝的Cloudlet服务。[7]为移动用户提出一个最优分流算法,考虑用户本地负载和Cloudlet的可用性。并提出一个位于Cloudlet系统中基于分流算法的马尔科夫决策方法(MDP)。[4]提出一个包括在移动设备和它们的云基础设施或者复制体中间的中间层的移动云计算的新的系统架构,这个中间层由Cloudlet组成,所以叫做Cloudlet层。另外,提出一个动态分流算法,创新性在于:当决定向哪儿offload时不止考虑一个分流位置作为参数。[8]提出了一个在这种间歇性连接的Cloudlet系统中基于移动用户的最优的分流算法,考虑用户的本地负载和Cloudlet的可用性。

移动性导致切换,服务质量退化和服务中断,这阻碍了透明的去访问计算云中服务的目标[9]。因此,移动性也是广大研究者热衷的研究课题[1,10,6,7,12]。[1]使用Cloudlet的访问概率、任务成功率、和任务执行速度来衡量移动性带来的影响。他们发现,Cloudlet访问概率可用来表示。[10]要解决的问题:在一个Cloudlet系统中,由于用户的移动性和cloulet的负载能力情况,移动用户和Cloudlet的连接将可能是间歇性的,这可能会导致用户分流的行为失败。[6]提出一个模型来处理移动云计算中两个比较严峻的挑战:移动性和高效。[7]考虑由用户和Cloudlets的移动性引起的分流失败的细粒度来做分流决策。[12]提出了一种基于Cloudlet的移动云计算模型,这个模型由特定区域内一些分布并彼此连接的Cloudlet集合组成。文中使用此架构来解决移动设备的移动性问题。[14]中首先应用一个细粒度的数据流模型来对移动交互式数据流应用进行建模,然后构建一个统一的优化框架,能够算出所有移动用户的总的使用率,并对该优化问题设计了一个高效的算法,这个框架能够在每个移动设备上权衡吞吐量和能耗。[15]文章提出两种管理模式,集中模式,cloud负责管理和跟踪移动用户信息和非集中模式,移动终端负责自己管理自己的移动信息。根据不同的移动场景进行Cloudlet和云端的选择性任务分流。[16]致力于移动云计算环境中的降低时延和能耗问题,文章提出一个混合本地移动云模型(HLMCM),并根据该模型提出了一个调度算法。[17]提出了一个Cloudlets之间通过特定的协议相互连接的模型。[19]提出一个Cloudlet中间件平台,它能处理应用分发并能动态配置应用,并且管理在网络中发现的资源,包括本地固定的虚拟化基础设施和在这个网络中支持该平台的所有设备。

## 1.3 本文主要工作

针对移动云环境下的任务计算模型及任务分流等问题，本文在深入钻研了大量现有的相关文献及研究成果的基础上，为了解决MCC中面临的诸多问题，如：扩展移动终端的处理能力和存储能力、降低任务开销、延长移动终端电池使用时间、降低响应时延、充分利用闲置资源······, 本文将提出一个移动终端-Cloudlet-云端的三层计算模型，并在此模型基础上，提出一个基于上下文感知的多Cloudlet联合调度算法，具体工作如下：

1）简要概述移动云计算面临的问题，以及当前的研究成果，并探讨本文是如何解决这些问题的。

2）分析目前现有的一些计算模型的不足，提出了移动终端-Cloudlet-云端的三层计算模型，并对该计算模型的优势进行说明。

3）针对在多Cloudlet协同工作的环境下，提出了一个基于上下文感知的多Cloudlet联合调度算法。

4）使用模拟实验对本文提出的计算模型和调度算法进行验证及对比。

## 1.4 本文的组织结构

论文总共包括六个章节，每个章节的主要内容如下：

第一章为绪论，首先本文的相关研究背景和意义，接着概述了目前移动云计算方面的研究成果及相关状态，最后叙述了本文所做的主要研究工作以及每个章节布局及主要内容。

第二章主要介绍移动云计算及移动云计算中Cloudlet的背景知识和相关技术。首先介绍了移动云计算的概念、常见场景以及面临的挑战；接着总结了目前移动云计算中常见的计算模式；然后，介绍了移动终端-Cloudlet-云端三层计算架构的特点、核心思想和要解决的问题。最后，对常见的多Cloudlet联合调度策略进行简单分析和总结。

第三章详细介绍本文提出的移动终端-Cloudlet-云端三层计算模型。

第四章为算法仿真和实验对比。

第五章为总结和展望，先对本文所做的研究工作进行了简单的总结，接着指出本文所提出的计算模型及调度策略的优势和缺陷，最后对下一步将要进行的研究工作进行了展望。

# 第二章 背景知识和相关技术

## 2.1 移动云计算

### 2.1.1 移动云计算概述

近年来随着移动通信技术的发展,特别是 3G 和 4G 蜂窝数据网络的快速发展和成熟[5],移动设备得以随时随地接入互联网获取所需信息和资源并对资源进行计算和处理，满足用户需求。但是，由于移动设备本身存在硬件资源限制，CPU 计算能力较弱，内存和电量有限加上蜂窝数据网络的不稳定,移动计算也遇到了很多的问题。网络不稳定等造成计算时间长、数据丢失出错等制约着移动计算的发展。 云计算的发展和成熟改变了过去使用资源的途径方法[6][7]。过去开发者在应用的开发和部署过程中需要定制系统资源，这种方式容易造成资源浪费或者资源不足。如今开发者只需要根据应用的具体需求向云计算服务提供商购买计算资源和存储资源，并在后期的应用和发展过程中根据使用的规模动态扩展所需资源。 通过将移动设备的计算任务后置迁移到云端执行，移动云计算能够突破终端硬件限制[8]，获得便捷的计算和数据存取能力，并在此基础上实现智能均衡负载和通过按需服务降低管理成本。云计算技术对移动移动应用带来的计算模式的改变必然会对应用的设计和开发来深远的影响，随着移动互联网的进一步发展和成熟，也必将对社会发展带来更加深远的影响。

“移动云计算”的概念在 2007 年出现“云计算”概念不久后产生，一经推

出就引起了广大计算机领域学者和 IT 企业的关注。研究表明作为一种新技术，它即能给客户带来丰富和多样的用户体验，同时又能降低移动应用的开发和运行成本，符合现代人们绿色 IT 的理念。本节将从移动云计算的定义、框架、存在何种优势等方面对其作一个初步的了解。 1.1.1.1 移动云计算定义 移动云计算论坛[5]给出如下定义：“简单地说，移动云计算是指在数据存储和处理在移动设备以外的基础设施发生。移动云应用将数据计算和存储从移动设备搬到运程的云端；同时，这些应用并不单独地针对智能手机，而是面向广义上的移动设备。”Aepona[6]将移动云计算描述为一个将数据存储和处理等功能集中到云平台上的模型，移动设备用本地的客户端或 Web 浏览器通过无线网络连接来访问这些应用程序。

另外，很多学者认为，移动云计算就是移动计算和云计算的结合体，是移动用户访问 Internet 应用和服务的工具。此外，由于复杂的计算模块可以迁移到云端处理，一定程度上降低了对移动设备的配置（如 CPU 处理速度，内存容量等）要求。

1.1.1.3 移动云计算的优点

将云计算引入到移动计算的原因有很多（比如移动性、通信方面、便携性[7]等）。本节将描述如何应用云计算来克服移动网络中的各种障碍，从而了解云计算结合移动计算带来的各方面优势。

1) 延长电池待机时间。电池续航能力是移动设备最关心的问题之一，提高CPU 的性能，智能管理屏幕和磁盘都是降低能耗[8]的解决方案。但这些方法都需要从移动设备结构上发生改变，并不是所有的移动设备适合这些方法。计算卸载技术是指将复杂和大型的数据处理从资源有限的设备（如移动终端）转移到计算能力强大的服务器上，这就节约了移动设备长时间计算的大量功耗。A.Gmailagic和 M.ettus[9]在研究中通过大量实验来评估计算卸载技术的有效性。试验结果表明移动应用计算转移将大量的节省能源，这在大型矩阵计算中尤其明显，节省的能源高达 45%。此外，远程处理将为很多移动应用节省资源，比如，用于编辑和优化图像的处理程序能节省移动设备 41%的资源消耗[10]；使用内存算术单元和接口（MAUI）将移动游戏的组件转移到云服务器上能为设备节约 27%电能消耗[11]。

2) 提高数据存储和处理能力。存储容量小也是移动设备的一大劣势，移动云计算允许用户将大量数据通过无线网络存储到云端。亚马逊公司的简单存储服务[12]（S3）是成功较早的一个云存储服务，随后 Flickr 和 ShoZu 都成功地推出了图片服务的移动应用。移动图片分享服务允许用户拍照后快速地上传图片到云服务器上，用户可以用任何设备通过网络访问图片，所有的图片发送和处理过程都在云端完成。Facebook，谷歌也相继推出了基于移动云计算的社交网络应用和存储服务。 此外，移动云计算可以有效支持多数据仓储任务，在线管理和同步多个文件。例如，转码、下棋游戏[13]、广播多媒体服务等应用都将复杂和计算量大的运算交由高效的云服务处理。在移动云计算中，由于大量的数据都放在了云端，存储空间将不再是移动应用的瓶颈。

3) 提高数据可靠性。云存储将数据存储并备份到云服务器上，并由专业的团队管理，这与数据放在移动设备相比，提高了可靠性。另外，移动云计算可以专门为服务提供商或者用户设计成一个安全模型。例如，它可以保护视频，音乐等数字版权，防止被未授权滥用。于此同时，云计算还可以为移动用户提供远程木马检测、病毒扫描、恶意代码检测[14]等功能。此外，移动云计算还具有扩展性强、易整合、动态配置等很多优点。

移动通信网络和互联网的相互结合形成了移动互联网这种模式，这种全新的模式带来了更多的网络应用的发展空间，移动终端的发展造成了对移动互联网发展的大需求量，推动着各大终端和应用服务提供商都开始以发展移动互联网为主要的业务模式[4]。

在移动网络和云计算的背景下，移动终端的云计算服务应运而生，基于云计算的定义，移动云计算是指移动终端通过网络连接到远端的服务提供商，使用云端的硬件设备提供的网络、平台、计算存储能力和应用资源等服务。移动终端不进行数据的运算，只需要负责数据的输入和输出功能，减少了对计算和存储的需求，这样大大的降低了对移动终端的配置要求[7]。移动云计算的服务模式就是将移动终端需要处理的计算功能交给服务器端来完成，用户的数据也存储在云端，所有的资源的都是通过网络来进行传输。移动终端使用的应用由服务器端来提供，用户不需要去进行下载、安装和配置，可以不再局限于移动终端对应用的较低兼容性，只需要去使用应用的功能。移动云计算可以让多个用户终端来共享使用同一应用，增强了服务器计算和存储资源的利用率。

例如手机、平板电脑这样的移动通信终端，由于受限于自身的便携性等因素，其处理、运算能力和存储容量受到了极大的限制，而随着无线网络与通信技术的发展，网络带宽与稳定性正逐年提升，移动终端处理、运算和存储能力的不足得到了有效地补充和解决，其中的典型代表就是移动互联网和云计算技术。第三代通信技术解决了网络传输的速度和可靠性等技术难题，云计算技术则解决了移动终端的运算能力和存储容量瓶颈。根据 IBM 研究机构最近对美国、日本、印度、中国和德国的用户进行的调查显示，到2011年，移动软件市场的价值将达到800 亿美元，使用量增加将使业务提供迅速增长。同时，根据艾瑞咨询 2009 年 6 月市场调查预测 2011 年中国的移动互联网用户数量预计将达到 10 亿，比 2006 年增加 191%，年均复合增长率为 24%，而其中手机软件使用者将达到 1.13 亿。

### 

### 2.1.2 移动云计算的模式

### 2.1.3 移动云计算的优点和挑战

由于用户的移动性、以及移动互联网和移动终 端的限制,移动云计算除了云计算存在的问题外,还 面临一些特殊问题,下面分析移动云计算在应用中尚存在的主要问题及解决方案。

4.1 低带宽

相对有线网络来说,无线网络资源非常稀少,因 此低带宽是移动云计算应用面临的最大问题之一。 尽管已经有相当多关于解决带宽分配的方法, 但是由于移动用户和云计算用户使用者的数量急剧 增加,带宽受限依旧是主要问题。目前,考虑最有希 望解决带宽限制问题的主要技术有 4G 网络( IMT- Advanced) 和飞蜂窝( femtocell) [22]。 4G 网络[23]能够给用户提供终端、网络和应用 的无缝融合,并且显著提高带宽能力。4G 网络的优 势在于: 有更高的数据传输率; 更为宽泛的移动覆盖 面积; 更加平滑、快速地切换,提供高质量的多媒体 通信,与 WLAN、2G 和 3G 网络共存和互补,通信费 用更加便宜等。这些优势有利于解决目前移动云计 算领域低带宽问题,为移动云计算大量的应用服务 提供可能。 飞 蜂 窝 [ 2 4 ] 是 一 个 可 扩 展 、多 信 道 、双 向 的 超 小 型化移动基站,通过集成电信基础设施的所有主要 组件作为典型基站的扩展,覆盖一个小的范围并提 供一种经济上可行的方式来改善蜂窝系统的容量。 HSL 公司将飞蜂窝与云计算结合,为移动运营商提 供一个经济、可扩展、安全的飞蜂窝网络,即 Femto- Net Cloud[25]。在 FemtoNet Cloud 允许通过飞蜂窝 网络发送的移动服务资源根据用户的服务需求来增 加和减少,当有需要的时候,额外的资源会被自动地 添加进来,当有剩余资源存在时,将被自动删除。比 如根据白天和晚上用户需求的多少来决定资源的分 配。FemtoNet Cloud 中,家庭或办公室飞蜂窝的用 户通过互联网连接到云,在这个过程中,网络运营商 基于标准接口 A 和 Gb 连接到云,用户再通过接入 到他们的网络来连接到云。 文献提出的 2 个方案试图通过改变接入网来改 善低带宽问题,也符合目前移动通信系统的发展趋 势。除此以外,也可以考虑通过多用户资源共享来 分摊带宽,以达到提升区域整体带宽的效果。

4.2 迟延

与低带宽类似,迟延也是移动云计算要考虑的 另一重要问题,因为在移动云计算某些应用中,数据 的交互非常频繁,有些服务传输过程中数据量也很 大,比如 3D 视频、3D 游戏、网站图片组等。当传输 的 数 据 量 非 常 大 的 时 候 ,迟 延 就 会 显 著 增 加 [ 2 6 ] ,这 对实时性要求高的应用是无法忍受的。 为了增加云端数据接入的有效性,考虑使用本 地移动设备存储缓存,文献[27]提出了一个驻留在 移动设备非易失性存储器( nonvolatile memory, NVM) 里的云服务缓存结构—Pocket Cloudlets,该结 构利用个人用户和社区访问模式来最大化成功率, 降低总体服务延迟。在 Pocket Cloudlets 结构中,特 定云服务的部分或者全部将缓存其中,用户可以直 接访问他们所需信息,也可以做一些个性化服务设 置,达到减少甚至消除延迟的效果。同时,作者还设 计了一个包括数据选取和数据管理的方案来决定存 储哪些数据以及存储的数据量,引入了一个同步移 动终端与云端数据的机制,尽最大努力提高用户体 验。

4. 3 无线连接的稳定性

目前,最广泛应用的移动终端仍然是手机设备, 随着智能手机的发展,一部手机不仅只提供单纯的 话音和短消息服务,还有很多应用程序的处理,这就 要求提供手机最大化容量。与 PC 机不同,一部移 动终端的容量始终是受限制的,为解决这一问题,可 将占用存储空间较多的应用程序卸载到云端[28],但 在用户使用云端提供的应用程序时,有可能由于地 理位置的问题出现信号中断的情况,也可能因为交 通拥挤等原因无法连接到云来获取云端提供的服 务。因此,为了确保应用程序卸载到云端之后依然 能够带给终端用户良好的服务体验,还需要保证无 线连接的稳定性。 以往对这个领域的研究表明[29]: 移动设备不仅 仅只作为一个用户,并且能够既作为用户又作为资 源提供者连接到云平台。基于此,文献[30]提出了 一个框架来创建虚拟移动云计算提供者。这个框架 使用用户附近的移动设备模拟传统的云提供者,检 测是否存在一个稳定模式下的附近节点,如果这样 的节点被发现,那么应用程序的目标提供者就发生 改变。因此,该框架能够帮助一个暂时无法连接到 云端的用户发现附近能够连接的节点,然后在找到 那个附近的节点后,自动切换应用到那个节点上,用 户以多跳的方式通过邻节点连接到云端。 这个方案可以很好地解决连接中断的情况,但 “通过邻节点连接到云端”的方式又引出了另一个 问题———信息的安全性。如果将此方案用于之前的 移动医疗系统,交互的信息涉及到病人的隐私,如果 被选定的邻节点正好被攻击,即使数据已被加密,但 仍有被破解的潜在威胁。因此,这种做法存在一定 的风险。

4. 4 无线网络的异构性 前面提到移动云计算的服务模型,其中的“管” 即是完成信息传输的无线通信网络。随着无线通信 技术飞速发展,出现了蜂窝移动通信网( 2G/3G/ 4G)、无线城域网(WiMAX)、无线局域网(Wi-Fi)、无线个域网( WPAN) 、无线传感器网( wireless sensor network,WSN) 等许多新型的采用不同组网技术的 异构网络( Ad Hoc 网络) [31]。在这样的异构网移动 环境中,对于移动运营商和移动服务提供商在这些 网络之间提供无缝漫游和服务是一个极大的挑战, 并且,这也是影响无线网络连接稳定性的因素之一。 文献[32]提出一个高效的、可信的身份管理技 术。它提供一个用于异构移动网络的灵活、通用架 构,来解决漫游以及相关的身份验证和授权问题。 此外,该技术基于网络统计数据提供给用户一些高 级的特性来改善用户体验。目前,关于异构网络存 在的其他问题以及解决方法还有待做进一步研究。

4. 5 服务质量 移动云计算本身是基于服务的理念提出来的, 并且移动环境存在着各种不稳定和限制因素,因此, 作为移动云计算服务的提供商,在提供海量应用和 计算的同时,如何确保它所提供的云服务的服务质 量( quality of service,QoS) 是必须考虑的性能指标之 一。 总 的 说 来 ,服 务 质 量 涉 及 传 输 速 率 、延 迟 、数 据 包丢失率、用户体验等诸多方面。目前,移动云计算 服务质量问题还面临着严峻的挑战[33],包括对移动 云计算 QoS 的全面了解和研究,移动设备软硬件的 限 制 ,移 动 网 络 的 信 号 强 度 等 ,因 此 ,只 有 提 供 更 优 秀的设备和更有效的机制才能确保移动云计算的服 务质量。文献[34]中为移动云计算提出了一个 QoS 感知系统,该系统提供的 QoS 架构用于监控各个云 服务终端的服务质量,使用大量的 QoS 性能参数来 评估 QoS,然后,根据评估结果,采用合适的 QoS 模 式,提供服务和执行时间,以确保服务质量。

### 2.1.4 多Cloudlet联合调度模型

## 2.2 上下文感知

### 2.2.1 上下文基本概念

大多数的研究人员认为“上下文”（Context）指的是与应用程序相关联的周围环境状况，以及应用程序执行环境特性的组合。目前，被学术界与工业界广泛认同与接受的“上下文”定义是由 K.Dey[15]等人提出的。该定义如下：“任何可以描述一个实体情况或特点的信息都可以称为上下文。这里的实体可以是一个人或一个地点，也可以是用户和应用程序之间的一个交互对象（包括用户和应用程序本身）。” “上下文”信息除了位置和身份之外，还有历史信息，时间等。主要分为计算上下文、用户上下文、物理上下文和时间上下文。1) 计算上下文：主要包括网络连接、通信成本、通信传输速率以及附近的资源（例如：打印机、显示器、工作站等）。2) 用户上下文：包括用户的配置信息、位置、附近的人们和它们所处的社会状况等。3) 物理上下文：包括灯光照明、噪音水平、交通状况以及气温等。4) 时间上下文：包括某天、某周、某月、某季度等。本文所讨论的上下文主要是用户的 QoS 偏好、移动设备的非功能性上下文信息，这些符合 Dey 提出的上下文定义。 虽然“上下文”有一个完整的定义，但是单从定义上理解上下文还是比较模糊，抽象的。Gregory D. Abowd 和 Elizabeth D. Mynatt[16] 就将“5Ws：Who， What， Where， When， Why”作为在普适计算环境中必要的上下文信息最小的集合，以下是对 5Ws 进行简单的介绍： Who：谁，参与系统交互的特定用户身份以及在环境中与该用户发生交流的人们的身份信息。人们将根据身边的人调整各自的活动。 What：干什么，当前系统的通过与用户的交互，感知去判断用户正在干什么或者为什么离开。感知和解释人类的活动是一个棘手的难题，上下文感知驱动设备通过不断地与用户交互，磨合，能够提供有用的信息。 Where：位置，是很多上下文研究的重点。把“Where”与其它上下文信息结合（例如，“When”），就会变得有很大的实际意义。一些旅游向导系统将显示生活中设备移动的历史记录理论化，用于定制用户感兴趣的路线，提供个性化的服务，尽管此类想法还需要更全面的研究和探索。 When：时间，记录用户特定行为发生的时间和持久时间，通过总结时间的规律和变化，有助于解析用户的活动。比如，在一个展览上停留的时间短可以预测用户对该展览缺乏兴趣；另外，根据一位年长的老人没有在常规的时间段内回家，可以给家人发送提醒。 Why：为什么，解析或感知人们为什么做此活动比感知人们做什么活动更加富有挑战。这需要上下文系统去感知用户的情感状态，比如声音、体温、皮肤电反应等。 这些集合主要用于描述用户相关的上下文信息，需要对这些集合进行有机的“上下文”融合后，才能比较准确地解析、推导出用户的活动和行为状态，提供更高质量的用户体验。然而 5Ws 的不足之处就是它并没有将用户周围的计算环境纳入到上下文信息的集合中。 自适应系统要求计算设备能够主动去感知用户所处环境的上下文变化，并自主地调整软件的组织结构或调整软件的功能，使得人机交互过程更加自然（甚至对人们透明），达到“以变应变”的目标，这就要求自适应系统运用上下文感知温等。4) 时间上下文：包括某天、某周、某月、某季度等。本文所讨论的上下文主要是用户的 QoS 偏好、移动设备的非功能性上下文信息，这些符合 Dey 提出的上下文定义。 虽然“上下文”有一个完整的定义，但是单从定义上理解上下文还是比较模糊，抽象的。Gregory D. Abowd 和 Elizabeth D. Mynatt[16] 就将“5Ws：Who， What， Where， When， Why”作为在普适计算环境中必要的上下文信息最小的集合，以下是对 5Ws 进行简单的介绍： Who：谁，参与系统交互的特定用户身份以及在环境中与该用户发生交流的人们的身份信息。人们将根据身边的人调整各自的活动。 What：干什么，当前系统的通过与用户的交互，感知去判断用户正在干什么或者为什么离开。感知和解释人类的活动是一个棘手的难题，上下文感知驱动设备通过不断地与用户交互，磨合，能够提供有用的信息。 Where：位置，是很多上下文研究的重点。把“Where”与其它上下文信息结合（例如，“When”），就会变得有很大的实际意义。一些旅游向导系统将显示生活中设备移动的历史记录理论化，用于定制用户感兴趣的路线，提供个性化的服务，尽管此类想法还需要更全面的研究和探索。 When：时间，记录用户特定行为发生的时间和持久时间，通过总结时间的规律和变化，有助于解析用户的活动。比如，在一个展览上停留的时间短可以预测用户对该展览缺乏兴趣；另外，根据一位年长的老人没有在常规的时间段内回家，可以给家人发送提醒。 Why：为什么，解析或感知人们为什么做此活动比感知人们做什么活动更加富有挑战。这需要上下文系统去感知用户的情感状态，比如声音、体温、皮肤电反应等。 这些集合主要用于描述用户相关的上下文信息，需要对这些集合进行有机的“上下文”融合后，才能比较准确地解析、推导出用户的活动和行为状态，提供更高质量的用户体验。然而 5Ws 的不足之处就是它并没有将用户周围的计算环境纳入到上下文信息的集合中。 自适应系统要求计算设备能够主动去感知用户所处环境的上下文变化，并自主地调整软件的组织结构或调整软件的功能，使得人机交互过程更加自然（甚至对人们透明），达到“以变应变”的目标，这就要求自适应系统运用上下文感知

4.1.1 移动环境的上下文感知

移动云计算中的移动应用载体通过无线网络与其它设备相连，它们的网络环境随着时间和空间的变化而动态变化。因此，执行动态环境下的服务，需要不断且快速地调整移动设备的操作状态来适应环境的变化，即服务需要主动感知移动设备周围环境的变化，进而通过改变自身行为来适应这些变化。这属于上下文感知（Context-aware）自适应的应用范畴。

在移动计算中，上下文感知计算本身并不是一个新的概念，它已经受到广泛的重视和大量的研究。美国哥伦比亚大学 Schilit 在他的博士论文中提到的移动计算的上下文感知模型应该是上下文感知在移动计算方面较早的研究[49]。移动云计算处于一个动态而复杂的无线网络环境下，移动终端与周遭环境会连续不断地进行隐形交互。在这个过程中，系统是根据用户与应用程序的上下文相关的信息来提供服务，但是由于移动终端设备资源的受限性以及环境的不可预测性，系统和应用都不太可能预先判断或准备好所有可能的服务与资源，现有的服务和资源可能都是暂时的，它们可能随时失去效应，或者随时加入或离开应用程序所处的环境。另外，移动设备自身也是高度动态的，它可能随时到达或者离开去一个不同的环境，也可能随时要求系统提供新的需求支持。与此同时，移动应用本身也可能需要根据它所处上下文运行环境的改变而动态响应。因此，一方面需要上下文感知系统根据它所处环境的改变动态自适应，来确保更好地支持和运行移动应用。另一方面，为确保继续为用户提供尽可能好的服务，移动应用也需要自适应于其运行环境的不断变化。进一步地，用户自身也需要自适应地感知、调整对系统与应用的要求。由于无线通讯链接质量等问题显得比较突出，早期支持的自适应移动系统的研究主要集中在网络服务质量（QoS）上。然而，最近的一些研究也将其它方面的特征考虑进来了。例如，移动应用的需求变化、电池的能量供应等问题，但这些考虑基本上都是针对单个问题来进行独立处理，通过下层的相关机制通知应用，由移动应用本身来负责激活自适应机制并进行自适应处理。目前，将各种自适应问题综合起来研究还处于初级阶段。

根据移动应用的不同位置、时序逻辑和应用逻辑，移动应用中每个计算单元有一个不同的上下文。从原理上讲，一个服务所依赖环境中的任何信息都可以被看作是上下文数据，它们由大量可观察，可控制参数组成。一般说来，移动环境中的上下文具有如下几个基本特点：

1) 时效性：上下文信息可以分为静态上下文和动态上下文两种。静态上下文信息不会随环境和时间的变化而改变，它们往往是由应用程序或者服务明确赋值的，如用户的账户，生日等信息。而移动环境中的绝大多数上下文信息属于动态信息，这些上下文信息的取值不同会随着时间和位置动态改变，例如由硬件传感器获取的行为和声音等。

2) 非完整性：由于技术上的局限，基于传感器获得的上下文信息会缺失完整性而出现误差；上下文信息的发现、产生与使用之间会有时间延缓，从而造成获取上下文信息不能反映当时的真实情况；另外，移动系统网络下的不稳定性和动态性使得某些的上下文信息在通过网络传播时发生丢失，造成部分上下文信息未知。

3) 表达多样性：应用程序使用对象所要求的上下文数据与从物理环境或逻辑环境中采集的原始上下文数据在表现形式上可能有很大不同。于此同时，同一个数据源提供的上下文信息可能被不同使用对象共享，因此上下文信息需要支持各种不同表达方式间的转换。

4) 高度相关性：上下文信息之间可以有继承关系，即有的上下文信息是从其它的上下文中派生过来的。因此，某个上下文信息的变化可能导致另一个上下文信息发生对应变化，即上下文信息之间可能存在着依赖关系。由此得出，很多上下文信息之间是高度相关的。

在研究上下文感知相关技术之前，需要了解什么是上下文。上下文的概念最早由 Schilit 和 Theimer 提出，他们对上下文的定义是：使用位置和周围的人和物的集合以及变化情况[10]。Ryan 等人将上下文定义为用户的位置，用户周围的环境，用户的身份和当前的时间[11]。Brown 将上下文定义成计算机所能感知到的用户环境中的各种元素[34]。Dey 将上下文定义为任何可以用来描述实体周围情形的信息，实体可以是一个人、场所或对象，只要与用户和应用之间的交互有关系，也包括用户和应用本身[8]。学者们对上下文概念的定义都不一样，其侧重点不一样，那么在本文中，对上下文的定义是： 任何移动终端能感知到的周围环境信息，和移动终端自身的各种硬件信息、软件信息。 对于某一些应用来说，单独一个设备的上下文信息可能没有任何意义，但是，当众多设备的所有上下文信息综合在一起的时候，可能就会产生很重要的价值信息。本文中根据移动云计算的研究背景，将上下文综合定义为： 在移动云计算环境下，将大规模的上下文信息聚合成一种更加上层的、对应用直接有用的信息。 在传统的上下文感知计算中，单个设备或少数设备收集到上下文信息之后，就利用这些上下文信息能够得到有意义的信息。但本课题针对有些上下文信息，在聚集了大规模的该数据之后，产生的另一种非常有意义的信息，如一些网站统计软件的整体下载次数来给出软件的受欢迎程度。本课题中重点研究如何从大规模上下文综合信息中聚合出有意义的信息来为用户提供更好的服务，包括如何将众多移动终端收集的上下文信息综合在一起，以及如何对综合的上下文信息进行处理。 在上下文感知技术中，上下文建模技术、上下文获取技术和上下文聚合算法是比较重要的三种技术，其中上下文建模技术涉及到如何对上下文信息建立模型，而且所建立的上下文模型应该具有通用性、跨平台性、一致性等等；上下文获取技术涉及到如何高效地获取上下文信息、如何使得获取的方式具有可移植性等等；上下文聚合算法涉及到如何高效地将大量原始的上下文信息计算处理成对具体应用有用的信息。上下文建模技术是上下文感知技术的基础，其为上下文获取技术和上下文聚合算法提供支撑，一个好的上下文模型能够简化上下文获取和上下文聚合的研究，而且还能提高上下文获取和上下文聚合的效率。上下文获取是上下文感知技术的前提，只有在获取了上下文信息之后才能对所获取到的上下文信息进行研究，从传感器获取到的原始数据采用上下文模型进行统一的描述，上下文获取是上下文聚合的前提条件。上下文聚合是上下文感知技术的核心，将大量原始的上下文信息进行计算分析、处理得到对应用有用的信息，才能使得上下文信息真正有用。与上下文感知技术相关的研究都离不开对这三种技术的研究，本章重点描述这三种技术的研究。

### 2.2.2 上下文建模技术

对上下文进行建模的形式多种多样，学术界根据问题领域的不同，或者期望得到一种统一的上下文建模方式，提出了多种上下文模型，本节将分别描述比较典型的五种上下文模型：标记模型、键值对模型、图形模型、基于逻辑模型和基于本体模型。

2.2.1 标记模型

标记模型一般采用 XML 格式来描述上下文，XML 具有很强的描述性，通过XML 中的标签来表示上下文名称，属性值来表示对应的上下文的值，表 2.1 是Held[35]在研究上下文感知计算中用 XML 方式来描述上下文信息的一个示例。从XML 的特性可以看出标记模型描述上下文信息具有很强的可理解性，而且具有很好的可移植性以及通用性。但其中也存在着一些不足之处，XML 描述一条上下文信息显得有点冗余，特别是 XML 文件头的一些声明对于具体上下文信息的描述不是很有意义，这些因素使得 XML 描述上下文会浪费多余的内存或硬盘空间。

2.2.2 键值对模型

键值对模型是最简单的上下文建模方式，其键一般表示上下文的名称，值对应相应上下文的值，Schilit 是最早采用键值对的方式来对上下文信息进行建模的，表 2.2 是 Schilit 在他的研究中对上下文信息进行建模的一个示例[10]。从键值对的描述方式可以看出这种方式少了很多冗余的附加信息，上下文的主要信息都表达清楚了，和 XML 的标记模型相比当上下文规模较大时，键值对的描述与 XML 相比可读性上会有所损失，但是键值对模型精简的描述信息使得其在内存或硬盘空间的占用上大大地减少了。

2.2.3 图形模型

图形模型一般是采用 UML[36]（Unified Modeling Language，统一建模语言）来进行描述，UML 中具有丰富的建模元素，可以清晰地描述清楚上下文信息。Bauer在空中交通管理中使用了 UML 的扩展来描述上下文相关的一些方面[38]。另外，Henricksen 等人设计了一种面向图形的上下文模型，其主要使用对象规则建模[37]（Object-Rule Modeling，ORM）的方法来建模上下文，如图 2.1 所示，在 ORM 中基本的元素是事实（fact），该示例可以简单地描述一个人能够使用的设备和一个人所处的位置。这种描述方式直观上非常的清晰，能够很容易明白上下文的含义，但是比较不适合用程序来进行处理。2.2.4 基于逻辑模型 基于逻辑的上下文模型中一般会使用事实、描述、规则来定义一个上下文，在系统中上下文信息通常是被添加进去、删除、更新，这些都是根据逻辑推理来实现的。根据应用领域的不同，所使用的逻辑描述方式也会有所区别，图 2.2 是Akman 和 Surav 在他们的扩展情景理论（Extended Situation Theory）[39]中描述一个上下文上的约束信息，即各种规则。基于逻辑的上下文模型对语义的逻辑性要求很高，而且其适合应用在一些推理系统中，在人工智能的领域中如涉及到上下文的使用，则比较适合使用基于逻辑的模型对上下文建模。

2.2.5 基于本体（Ontology）模型

本体能够清晰描述事物概念及相互关系，非常适合用来描述日常生活中的一些信息，并转化成一些适合计算机处理的数据结构。在 CoBrA[40]系统中提供了一系列的本体概念来描述与上下文相关的一些实体，并且使用了一个中间代理 agent来使得系统能够在运行时不停地获取上下文信息。这种基于本体的上下文建模被很多研究者广泛使用，但是不同系统之间一般都会采用领域特定的描述方式，一个系统中的上下文建模方式很难在另一个系统中有效使用，因此这种上下文建模方式与特定的领域应用相关，不适合系统之间的通用。 从表 2.3 中可以看出，在描述性和通用性方面，标记模型和键值对模型都好于其他的三种模型，在空间占用性方面键值对模型的表现效果最好，而对于逻辑性来说，基于逻辑的模型效果最好。因此，对于一些逻辑性比较高的系统中，比较适合采用基于逻辑的模型，而系统中不涉及逻辑推理时，从描述性和通用性来考虑，可以考虑采用标记模型或者键值对模型。 在本课题中，研究移动云计算环境下的上下文综合，其各种移动设备之间的异构性和云端对上下文的处理不涉及到逻辑推理等，需要上下文的模型具有很好的描述性和通用性，因此课题中兼容性支持标记模型和键值对模型。

### 2.2.3 上下文获取技术

在上下文感知计算中，对于上下文获取的技术主要有三种方式：应用直接从传感器获取数据，通过软件抽象层的方式获取数据，通过 CS 模式在 Server 处获取数据。这三种方式各有利弊，本节将分别描述这三种上下文获取技术。

2.3.1 直接从传感器获取

在一些应用中，特别是早期的上下文感知计算中，应用直接与传感器进行交互，并从传感器上获取上下文信息，如图 2.3 所示，当应用需要需要某种上下文的时候，直接访问具体的传感器，从其获取数据信息。 在这种方式中，应用需要与具体的传感器进行绑定，也就是说在应用中需要包含传感器的驱动程序，使得应用开发者需要根据应用的特性来专门开发传感器的驱动程序，大大增加了应用开发人员的工作量，同时也使得应用难于维护。但是这种方式有一个好处就是，应用直接与传感器进行交互使得应用与传感器交互的效率具有很大的优势。

2.3.2 软件抽象层

为了使应用具有更强的可移植性，不需要依赖于具体的硬件设施，在传感器的上层开发出一套软件抽象层，将具体的应用与传感器隔离开，使得应用可以直接从软件抽象层获取各种上下文信息，如图 2.4 所示，当应用需要某种上下文的时候，访问软件抽象层，然后由软件抽象层与具体的传感器进行交互获取到相应的数据，最后将数据交给应用。 在这种方式中，应用不需要与具体的传感器进行绑定，只需要熟悉软件抽象层的使用方法，使得开发人员不需要关心底层传感器的硬件特性，只需要开发出与软件抽象层的交互代码即可实现从传感器获取上下文信息的功能，这种方式大大降低了开发人员的工作量，同时也使得应用能够在多种安装有软件抽象层的传感器设备上运行。但这种方式也存在着一个问题就是应用获取上下文信息的效率与软件抽象层的工作效率密切相关，与直接从传感器获取上下文的方式相比在效率上会有所降低。

2.3.3 CS（Client/Server）模式

在移动设备没有足够的计算能力对该设备收集到的上下文信息进行处理操作时，则会考虑将这些上下文信息交给外部设备来进行处理，一般这种情况是专门采用一台中心服务器来处理上下文信息，如图 2.5 所示，移动设备 A，B 和 X 等收集到各自的上下文信息之后并不直接进行处理，而是通过网络将信息发送至中心服务器，然后中心服务器对上下文进行处理之后就将所得到的结果与领域特定的应用相结合。在这种方式中，应用并没有与直接的传感器进行交互，上下文信息是通过网络的方式从其他移动设备上获取，这种方式使得应用并不需要与传感器进行交互，而只需要与接收上下文信息的中心服务器进行交互即可。但是采用这种模式需要中心服务器支持能够接收各种应用需要的上下文信息的能力，而且移动设备将上下文信息传输给中心服务器之间产生的延迟对实时性要求比较高的应用很不适合，其产生的网络带宽也会影响整个应用的效率。

2.3.4 比较与结论

针对三种上下文获取技术的分析，下面从对应用性能的影响，对开发人员工作量的影响，对应用维护及移植性的影响三方面进行比较，结果见表 2.4。 表 2.4 三种上下文获取技术的比较结果表 比较方面

上下文获取技术

直接从传感器获取 软件抽象层 CS 模式

对应用性能的影响 低 中 中

对开发人员工作量的影响 高 低 中

对应用维护及移植的影响 高 低 低

从表 2.4 中可以看出，从开发人员的角度出发，他们最喜欢软件抽象层的上下文获取方式，CS 模式其次，直接从传感器获取的方式虽然性能较好，但随着科技的发展硬件设备的性能将越来越好，这种方式的优势将会越来越不明显。在本课题中，研究移动云计算环境下上下文综合的态势感知，需要考虑两方面的问题，即如何在移动终端更好地获取到上下文信息，然后将各个移动终端的上下文信息汇集到云端，因此结合软件抽象层和 CS 模式两种上下文获取技术，其示意图如图2.6 所示。

### 2.2.4 上下文聚合算法

移动设备通过传感器以及其他手段获取到各种上下文信息之后，需要对这些上下文信息进行处理，将原始的、低级的上下文信息处理层高级的、对具体应用有用的信息的过程称之为上下文聚合。对于上下文聚合的过程，根据不同的上下文类型和上下文数据规模有不同的聚合算法，目前主要有两种方式：基于规则的聚合方式和基于用例的聚合方式，本节将分别描述这两种聚合方式。

2.4.1 基于规则的聚合

基于规则的上下文聚合一般需要先由开发人员自定义好一系列的规则，然后当某个上下文获取之后就由规则匹配器将该上下文与定义好的规则依次匹配下去，直到有一条规则满足条件之后就停止匹配，并触发该规则中定义的行动。图2.7 是 David 等人在 RCSM（Reconﬁgurable Context-Sensitive Middleware）[42]中使用的基于规则的上下文聚合的实现，左边部分是专门定义的一种规则语言CA-IDL，用于描述某一种操作会在上下文得到满足时会被自动触发，而右边部分则是 CA-IDL 语言编译器在 RCSM 系统中的工作方式。从 RCSM 系统以及其他的一些文献中可以看出，基于规则的上下文聚合算法比较容易实现，而且可以由开发人员自定义规则来决定应用在获取不同上下文时所采取的不同的行动，另外，这种方式对应用的结果具有很好的预期效果。

2.4.2 基于用例的聚合

基于用例的上下文聚合方式一般会采用贝叶斯概率法[43]、机器学习[44]、神经网络[45]等主要的研究方法，这些方法一般都会将上下文信息作为输入条件，然后经过聚合系统的计算之后会输出相应的结果信息。图 2.8 是神经网络对上下文进行聚合的算法示意图，输入信息为加速度、压力等各种上下文信息，经过神经网络的黑盒系统之后就会产生结果，并经过特殊的格式转换之后，应用就可以获取到上下文聚合的结果。采用神经网络来聚合上下文信息首先需要大量的样本信息来对网络进行训练，得到一个稳定的网络之后才可以用于上下文聚合。从神经网络的聚合算法可以看出，这种聚合算法的输出结果具有不可预期性，因为该聚合算法的内核是一个完全黑盒的系统，开发人员完全不了解上下文聚合的整个完整过程。类似的，其他如贝叶斯概率法，机器学习法等其他的基于用例的聚合算法，都存在聚合结果不可预期的缺点。

2.4.3 比较与结论

基于用例的上下文聚合算法相对于基于规则的上下文聚合算法在实现上比较复杂，且需要用到其他的一些技术，而且其中存在着结果预期性较差的缺点。 本课题中上下文聚合的工作是在云端完成的，根据云计算现有的技术还不是很成熟的现状，云计算中对于分布式计算的实现主要还是采用简单的 MapReduce[46]模型。那么用 MapReduce 的编程模型来编写基于用例的上下文聚合算法，其在实现上复杂，而且针对现有云计算平台的底层实现，基于用例的上下文聚合算法由于其复杂的实现机制对于云的资源利用率与性能提升的效果都不够理想。而基于规则的上下文聚合算法，与云计算平台的底层实现有比较大的相关性，在云计算中采用基于规则的上下文聚合算法能够更有效地利用云计算的各种资源，使得这种方式能优于基于用例的上下文聚合算法。因此，本课题中重点研究基于规则的上下文聚合算法在云计算中的使用。

## 2.3 优先指派算法

### 2.3.1 优先指派算法概述

2.1 优先指派算法

优先指派算法的核心思想是制定一组优先权规则，根据该规则，每一个工件的工序都有一个权重值，按照权重值的大小降序排列，依次选取一个工序加入到调度序列中，这样就可以得到一个调度方案。本节将介绍一些传统的优先指派规则，并详细阐述 A0算法。

2.1.1 传统优先指派算法概述

Panwalkar 以及 Wafik Iskander[34]在 1977 年对当时超过 100 种的优先规则进行了总结；Oliver Holthaus 以及 Chandrasekharan Rajendran[35]提出了几种评价标准，并给出了以这些标准为目标的优先指派规则算法；Tatsunobu Kawai 以及 Yasutaka Fujimoto[36]提出了几种将优先权规则结合的方法。优先指派算法中最关键的要素就是优先权规则。一般而言，优先指派规则可分为简单规则、复杂规则两大类。

简单优先指派规则可以根据作业时间长短、工序时间长短、已加工的工序数目、未加工的工序数目、已加工的工序时间长度和以及未加工的工序时间长度和等因素为标准来制定优先规则，典型的指派规则包括：最多剩余工序个数优先规则（Most Operation Num Remaining, MONR），最少剩余工序个数优先规则（Least Operation Num Remaining, LONR），剩余处理时间最长优先规则（Longest Work Remaining, LWR），剩余处理时间最短优先规则（Least Work Remaining, LWR），最长处理时间优先规则则（Longest Processing Time, LPT），最短处理时间优先规则（Shortest Processing Time, SPT）等等。

复杂优先指派规则通过设置优先级别来实现，一般会从高到低设定二到三个级别，每一个级别使用相同的比较原则，级别的组合唯一确定一个加工工序。第一级优先权级别高的工序优先加工；如果相等，则第二级优先权级别高的工序优先加工……以此类推。

### 2.3.2 优先指派规则

## 2.4 遗传算法

### 2.4.1 遗传算法概述

遗传算法是一种仿生优化算法,它模仿的机制是一切生命与智慧的产生与进化过程。它通过模拟达尔文“优胜劣汰、适者生存”的原理激励的结构;通过模拟孟德尔遗传变异理论在迭代过程中保持己有的结构,同时寻求更好的结构。作为一种随机的优化与搜索方法,遗传算法有鲜明的特点:1)遗传算法的操作对象是一组可行解,而非单个可行解;搜索轨道有多条,而非单条,因而具有良好的并行性。2)遗传算法只需利用目标的取值信息,而无需梯度等高价值信息,因而适用于任何大规模、高度非线形的不连续多峰值函数的优化以及无解析表达式的目标函数的优化,具有很强的通用性。3)遗传算法择优机制是一种“软”选择,加上良好的并行性,使它具有良好的全局优化性和稳健性。4)遗传算法可行解集是编码化的,因而具有良好的可操作性和简单性。

由子遗传算法是由进化论和遗传学机理而产生的直接搜索优化方法故而在这个算法中要用到各种进化和遗传学的概念。这些概念如下

(1)串(i)

它是个体(divid)的形式,在算法中为字符串,并且对应于遗传学中的染色体(Chromosome)。

(2)群体(Population)

个体的集合称为群体,串是群体中的元素。

(3)群体大小(P即ulationsize)

在群体中个体的数量称为群体购大小。

(4)基因(Gene)

基因是串中的元素,基因用于表示个体的特征。例如有一个串S=1011,则其中的元素l,0,l,l分别称为基因。它们的值称为等位基因(Alleles)。

(5)串结构空间ss

在串中,基因任意组合所构成的串的集合。基囚操作是在串结构空间中进行的。串结构空间对应于遗传学中的基因型(Genoytpe)集合。

(6)参数空间sp

这是串空间在物理系统中的映射,它对应于遗传学中的表现型(PhenoPyte)的集合。

(7)适应度(FitneSS)

表示某一个体对环境的适应度。

### 2.4.2 遗传算法的过程和流程

自从1975年.J.HHollnad系统地提出遗传算法的完整结构和理论以来,人们一直推动遗传算法的发展,对编码方式、控制参数的确定、选择方式和交叉机理等进行深入的研究,提出了各种变形的遗传算法(varinatsofCnaonicalAlgorithms(vCGA)。其基本途径概括起来主要有以下几个方面:.:.改变遗传算法的组成成分或使用技术,如选用优化控制参数、适合问题特性的编码技术;

.:.采用混合遗传算法;

.:.采用动态自适应技术,在进化过程中调整算法控制参数和编码粒度;

.:.采用并行遗传算法;

采用混合遗传算法的三个基本原则是:①尽量采用原有算法的编码;②利用原有算法全

局搜索的优点;③改进遗传算子。

混合遗传算法的流程图基本同于一般遗传算法,其流程图如图2一2所示。由图中可以看

出,混合遗传算法主要包括以下六个步骤:

第一步随机产生群体,个体数目一定,每个个体表示为染色体的基因编码;

第二步 计算个体适应度，并判断是否符合优化准则,若符合,输出最佳个体及其代

表的最优解,并结束计算,否则转向第三步;

第三步依据适应度选择再生个体,适应度高的个体被选中的概率高,适应度低的个体

可能被淘汰;

第四步按照一定交叉概率和交叉方法,生成新的个体;

第五步按照一定的变异概率和变异方法,生成新的个体;

第六步由交叉和变异产生新一代的种群,返回第二步。

遗传算法中的优化准则,一般依据问题的不同有不同的确定方式。例如,可以采用以下

的准则之一作为判断的条件:

.种群中个体的最大适应度超过预先设定值;

.种群中个体的平均适应度超过预先设定值;

.世代数超过预先设定值;

实际工作中,在进行遗传算法程序设计时,需要预先确定以下问题:1、定义终点集;2、

定义初始函数集;3、适应度值评价方法;4、确定运行控制量;5、终止运行的标准。

GP程序设计除了包括基本的选择、交叉和变异外,还可加入次操作来反映遗传程序结构的变化。

### 2.4.3 遗传算法基因操作

### 2.4.4 遗传算法控制及特点

遗传算法中需要选择的参数主要有串长l,群体大小n,交换概率凡,变异概率凡等。这些参数对GA性能影响很大。二进制编码时,串长的选择取决于特定问题解的精度。GoldbegrD.E提出了变长度串的概念,并显示了良好性能。为了选择合适的n,Pc,几,许多学者进行了研究,通常认为:若种群过小,算法就可能收敛于局部最优解,而不能收敛到最优结果或最优结果附近。这主要是因为种群规模过小,导致种群内个体多样性减小,从而可能丢失一些有意义的搜索点或最优点。然而种群过大,每次迭代所需要的计算量就会很大,这又可能导致一个无法接受的慢收敛率。一般,当种群规模增大时,将育利于改善种群的多样性,从而可能有利于使算法收敛到最优解或最优解附近。Shcaeffr.JD建议的最优参数范围是:n二20一30,Pc=.075一.095,凡=.0005一.001。但在某些情况下,当种群达到一定规模时,再增大种群规模,对搜索结果的改善并无多大帮助,甚至有可能变差,因此席欲庚等经研究建议n的选择应与所求问题的非线性程度相关,非线性越大,n越大,目前常用的参数范围是:n二20一200,Pc=0.5一1.0,凡=O一0.05。在简单遗传算法(sG)或标准的遗传算法(CGA)中,这些参数是不变的。目前许多学者认识到这些参数需要随着遗传进程而自适应变化。这种有自组织性能的遗传算法具有更高的鲁棒性、全局优化性和效率,DvasiL提出一种Pc和凡随着基因操作的在线性能自适应变化的有效方法,性能提高则Pc增加,反之则凡增加;Fogarty.TC研究了凡随遗传代数变化的效果,仿真显示凡随指数下降有较好性能,席欲庚等自适应有效基因突变也有类似效果,WhitleyD提出一种自适应变异策略,凡与一对父串间的海明距离成反比,结果显示能有效保持基因的多样性。SrinivasM提出一种Pc,凡随父串的适应度自适应变化的新方法,进行了详细的理论分析和广泛的试验研究,结果显示该法在非线形和多模型问题的优化中性能优异。

(1)遗传算法从问题解集开始搜索,而不是从单个解开始。

这是遗传算法与传统优化算法的最大区别。传统优化算法是从单个初始值开始迭代求最优解的,容易误入局部最优解。遗传算法从串集开始搜索,覆盖面大,利于全局择优。

(2)遗传算法求解时使用特定问题的信息极少,容易形成通用算法程序。

在标准的遗传算法中,基本上不用搜索空间的知识或其它辅助信息,而仅用适应度函数值来评估个体,并在此基础上进行遗传操作。需要着重提出的是,遗传算法的适应度函数不仅不受连续可微的约束,而且其定义域可以任意设定。对适应度函数的唯一要求是,对于输入可计算出加以比较的正确输出。遗传算法的这一特点使它的应用范围大大扩展。

(3)遗传算法有极强的容错能力。

遗传算法的初始串集本身就带有大量与最优解甚远的信息,通过选择、交叉、变异操作能迅速排除与最优解相差极大的串;这是一个强烈的滤波过程,并且是一个并行滤波机制。故而,遗传算法有很高的容错能力。

(4)遗传算法中的选择、交叉和变异都是随机操作,而不是确定的精确规则。

这说明遗传算法是采用随机方法进行最优解搜索,选择体现了向最优解逼近,交叉体现了最优解的产生,变异体现了全局最优解的覆盖。

(5)遗传算法具有隐含的并行性。

## 2.5 移动云环境下的任务调度问题

### 2.5.1 任务调度问题描述

### 2.5.2 任务调度方式

### 2.5.3 任务调度问题的求解方法









# 第三章 多Cloudlet联合调度系统模型

集中式指派算法优点 缺点

分布式指派算法优点 缺点

优先级组





**3.1 Cloudlet系统网络模型**

本文使用图来描述Cloudlet系统网络，给出一个图, 代表了图中的K个Cloudlet节点，他们的处理能力分别为，每边上有非负权值代表两个直接相连的Cloudlet之间的通信开销。定义序列为上的任务队列中的任务序列，，任务从用户终端到的传输时延为。定义为网络时延矩阵，为到之间任务的传输时延,若和直接相连，则，否则。定义为Cloudlet的转发时延矩阵，为转发任务到的转发时延，同样地，若和直接相连，则，否则。

多用户移动任务分流模型可用一个排队网络来描述，假定中放置了K个Cloudlet,每个用户将任务分流到Cloudlet，对任意以的速率接收任务，代表K个Cloudlet任务到达速率,。

使用代表Cloudlet的平均排队时间，该Cloudlet由个速度为的主机构成，任务到达速率为，函数为著名的Erlang公式[18]。

(3-2)**错误!未指定顺序。**

设任务被调度到，且任务传输路径为，中间共经过m跳，在上执行时间为。

任务的响应时延为：

则上任务的平均响应时延为：

系统的平均等待时间为：

设任务序列中每个任务分别对应任务执行松弛度权重为，设为松弛度函数，则上基于松弛度优先的任务的平均响应时延为：

系统基于松弛度优先的平均等待时间为：

代表K个Cloudlet的平均负载，

使用K个Cloudlet负载的标准差作为负载均衡因子 (load balancing factor, LBF)：

综上，在Cloudlet网络G中的任务调度问题即是一个多目标优化问题，可描述如下，给定系统参数(，对系统任务进行调度，以使得系统平均响应时间，系统基于松弛度的平均响应时间和K个Cloudlet负载标准差最小，即：

# 第四章 基于优先指派和遗传算法的多目标优化算法(PA-GA)

## 4.1 算法概述

设在任意时刻，任意上存在待处理的任务序列序列，系统的调度策略分为两步：首先，对执行基于上下文的优先指派算法处理，任务序列发生变化为，接着，对各个调整后的序列采用基于遗传算法的多目标优化混合启发式算法进行任务调度到相应的cloudlet上进行处理。

本文采用的基于上下文的优先指派算法的优先指派规则为rule-X：，对于任务而言，TL表示的任务量，p(x)为的松弛度，C表示所需的资源大小，U表示所属的移动终端资源消耗。设规则rule-X的单一映射函数为,

根据问题描述，对任意任务采用基于遗传算法的多目标优化混合启发式算法调度到合适cloudlet，是一个属于NP完全问题的多目标优化问题，

## 4.2 染色体编码及种群初始化

遗传算法中常见的染色体编码方式有很多种形式，常见的如二进制编码和浮点数编码等，考虑到移动云环境下特殊的任务调度问题，本文采用直接路径表示编码方式，染色体用一维字符串表示，染色体长度为从任务接收Cloudlet节点到任务处理节点的传输路径上Cloudlet个数，即||，每个基因取值为该位置所对应的Cloudlet的字符编号，具体编码如下图所示：



该示例是一条符合编码要求的染色体，它代表编号为S的Cloudlet接收到任务，并依次通过e,F,B,a,h传输到编号为E的Cloudlet上执行。这样的染色体反应出了任务的传输路径和待分配的目标Cloudlet。

通常一般的遗传算法都会采用随机的方法产生初始种群，以保证初始种群的多样性。采用这种方式产生初始种群一般都是基于种群内的个体都是独立的个体，然而在本文中，种群中的个体并非是独立的个体，是和Cloudlet系统的网络拓扑相关的，因此，为了提高算法的效率，我们将根据高度拟合网络拓扑的方式产生初始种群，具体如下：

设当前选中Cloudlet为,与其直接相连的Cloudlet为,所对应的边的数量分别为(),则选择为下一跳的概率为：

从上式可以看出，Cloudlet相连的边越少，选中的几率越大。另外，设最后的执行目标Cloudlet为，距离的最小跳数为,很明显越大的选中几率越小，但是越大的的个数通常也会相应更多。综合考虑，本文随机生成一个随机数，则生成子个体的长度为，为网络拥塞因子，可根据网络实时状况进行调节。算法选择当前Cloudlet为第一个Cloudlet，从第二个开始，根据上一个已选Cloudlet对应边表中Cloudlet的边数，按照以上选择概率函数选择下一个编码。同时，为了避免循环，当选择了一个Cloudlet之后，将该Cloudlet从边表中移除。这样的过程反复执行次，就得到一个新个体。

如，假定=5,第一步，选择a。第二步，选择b,c,d的概率分别为9/28,9/28,10/28，假设选择d。第三步，选择c,h,j的概率分别为1/3,1/3,1/3，此处选择h。第四步，选择c,g,i,j的概率分别为16/63，15/63，16/63，16/63，假设此处选择i。第五步，选择g,j,l,m的概率分别为16/66，17/66，15/66，18/66，此处假设选择m。结束，由此产生了一个新个体为(a,d,h,i,m)。



## 4.3 适应度函数

遗传算法通过使用各个解的适应度函数值来评价该解的优劣程度，从而决定下一代的进化方向，因此适应度函数设置是否恰当尤为重要。大部分的遗传算法都是使用单一目标来设计适应度函数，然而，本文所研究的移动云环境下的多任务调度问题是一个多目标优化问题，显然传统的遗传算法适应度函数的设计思路并不适用。本文通过引入任务调度效率函数这一概念，结合移动云环境下的任务调度目标，选取任务响应时延、任务执行开销、任务成功率以及负载均衡这4个目标来量化系统对不同任务的调度效率。

**定义1** 任务调度效率函数。当任务实际调度效果与任务期望调度效果相近时，则称任务调度效率达标。设某一任务的某一个单一目标的调度效果为,任务期望的调度效果为,则任务的调度效率函数定义为：

式中为均衡常量，且，当任务实际调度效果与任务期望调度效果相等时，函数值为0，此时刚好达标。若，则说明实际调度效果值高于期望的调度效果值，反之若，则说明实际调度效果值比较期望的调度效果值低。

为了保证适应度函数非负，我们对以上介绍的调度效率函数做出进一步的变换：

设为任务的用户期望完成时间，根据任务调度效率函数的定义，任务基于响应时延的调度效率函数为：

任务执行开销会很大程度影响到系统吞吐量，是常见的QoS考虑目标之一。设对任务所使用的资源量化开销，总的执行开销为：

式中为使用的各个量化资源数量，分别为CPU，内存和带宽单位开销。设任务的期望执行开销为相应地，根据任务调度效率函数的定义，任务基于执行开销的调度效率函数为：

设根据系统监控获得的某个资源平均故障率为,任务期望的任务成功率为, 则任务基于任务成功率的调度效率函数为：

设任务的任务量为，则任务基于负载均衡的调度效率函数为：

移动云环境下的任务调度需要同时考虑多个目标，本文考虑以上列出的4个目标，从用户和系统综合考虑来说，任务响应时延越短越好，任务执行开销越少越好，任务成功率越高越好，系统负载均衡程度越高越好，因此，本文选用多目标加权法来决定任务的调度适应度函数：

式中任务各目标权重系数，且，，根据不同的任务需求，可设置相对应的权重系数，以使系统整体性能最优。

## 4.4 选择复制

遗传算法通过选择操作来促使优良染色体个体得以遗传到下一代，本文采用“轮盘赌”和精英保留机制相结合的策略。对于一个适应度为的染色体个体，其选择概率为：

累积概率为：

具体步骤如下：



## 4.5 遗传操作

### 4.5.1 交叉

交叉操作是遗传算法产生新个体的主要途径。设交叉概率为，当前种群规模为*M*，则有个个体被选择进行交叉操作。遗传算法的参数中的交叉概率和变异概率的选择是影响遗传算法行为和性能的关键所在，直接影响算法的收敛性，因此我们使用Srinvivas等提出的自适应交叉率和变异率的计算方法，交叉概率计算如下：

式中，——群体中最大的适应度值，——每代群体的平均适应度值；要交叉的两个个体中较大的适应度值；；

本文不仅要考虑Cloudlet的位置和顺序，还要考虑Cloudlet之间的连接关系，Cloudlet之间的连接关系定义为边(edge)，为了让子个体能够继承父个体中边的信息，本文使用改进的Whitley等提出的边重组(Edge Recombination,ER)交叉操作，ER操作根据继承两个父个体中Cloudlet之间的连接情况生成子个体。

考虑下面两个父个体表示：

其中(g i)属于重复的边，故在边表中将重复的边打上标记“\*”，另外，再将在两个父个体中只出现一次的边打上标记“+”，根据生成的边表，ER操作产生子个体的时候最优先考虑选择打有标记“+”的Cloudlet，次优先考虑打有标记“\*”的Cloudlet,最后才考虑其它的Cloudlet，这样可以让子个体能够充分继承父个体中边的信息。在该例子中，每个Cloudlet的边表为:

Cloudlet a: 通向其他Cloudlet的边有b +c +d;

Cloudlet b: 通向其他Cloudlet的边有a c e f g;

……

Cloudlet g: 通向其他Cloudlet的边有b c f h \*i l;

……

Cloudlet i: 通向其他Cloudlet的边有g h j +l +m;

……

Cloudlet q: 通向其他Cloudlet的边有n o p;

设随机生成的交叉产生的子个体的长度为k，子个体的第一个Cloudlet和父个体一样，从第二个开始，根据以上概率函数选择下一个编码，如果有打有标记的Cloudlet则优先选择，这样可以让子个体能够继承父个体中边的信息。这样的过程反复执行k次，就得到了子个体。

### 4.5.2 变异

变异操作是遗传算法中为了避免过早收敛，增加种群多样性的遗传算子，是产生新个体的一种辅助手段。设变异概率为，当前种群规模为*M*，则有个个体被选择进行变异操作。同理以上自适应交叉率的计算，自适应变异率的计算如下：

式中：——要变异的个体的适应度值；；

为了保证变异操作的效果，在执行变异操作的时候，我们在边表中将父个体中出现的边打上标记“-”，根据生成的边表，变异操作产生子个体的时候优先没有任何有标记“+”的Cloudlet，再考虑打有标记“-”的Cloudlet，这样可以保证子个体的多样性。

## 4.6 算法总结

### 4.6.1 算法流程



**终止条件**

# 第五章 算法仿真和实验对比

## 5.1 仿真环境

# 第六章 总结和展望

## 6.1 工作总结

## 6.2 下一步研究工作

参考文献

[1] Niroshinie Fernando,Seng W.Loke and Wenny Rahayu. Mobile cloud computing:A survey[J].Future Generation Computer Systems, 2013,29(1):184-106.

[2] Magurawalage, C. M. S., Yang, K., Hu, L. and Zhang, J. Energy- efficient and network-aware offloading algorithm for mobile cloud computing[J]. Computer Networks, 2014, 74: 22-33.

作者在读期间科研成果简介

在校期间发表论文：

1. \*\*\*，\*\*\*. 公有云环境基于路径聚簇的工作流费用优化算法[J]，现代计算机，2016（3）：8-12.
2. \*\*\*，\*\*\*，\*\*\*，\*\*\*. 基于分层的河流水下传感器网络路由算法[J]，计算机应用，已录用.

投稿论文：

1. \*\*\* ，\*\*\* ，\*\*\* ，\*\*\*.基于科学工作流分层概率聚簇的资源优化配置方法[J].系统工程理论与实践 (外审中).

声明

本人郑重声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作以及取得的研究成果。

据本人所知，除了文中特别加以标注的地方外，论文中不包含其它人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得四川大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与本人一同工作的老师或同学对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明，并表示谢意。

本学位论文成果是本人在四川大学读书期间在导师指导下取得的，论文成果归四川大学所有，特此声明。

指导教师（签名）：

学生（签名）：

致谢

光阴似箭，研究生学习和生活正走向尾声。回首这三年的教育经历，我获益良多，令我终生难以忘怀。我忘不了“海纳百川，有容乃大”的博大胸襟，忘不了老师们的谆谆教诲，忘不了同学们的殷切关怀。在家人、老师、同学和朋友的鼓励和帮助下，我逐渐成为一位优秀的川大人，期望成为一位优秀的社会人。

在论文付梓之际，我借此向所有人表示致谢。

感谢川大老师，特别是导师—\*\*教授的指导和教诲。在求学过程中，我遇到过许多难题，但在老师们的帮助下，我顺利地将其解决。实验室老师教会我如何开展研究，如何进行论文写作。特别是，导师的创新思维和严瑾做事，令我心悦诚服，对我影响很深。这些研究方法和治学态度，让我终生受用。在此，感谢老师这几年来给我的帮助与关心，感谢老师对我研究方向上的指导以及对我毕业论文所付出的时间与精力。

感谢家人，特别是父母的默默奉献和支持。父亲对我说，家里的事情不用担心，让我努力学习。母亲经常对我嘘寒问暖，让我保重身体。这些叮呤嘱咐，让我多远都有家的温暖。

感谢川大同学，特别是实验室的兄弟姐妹的照顾和关心。共同学习和一起进步，让我在这三年体会到学生生活的美好。另外，感谢所有给我的安慰、劝解和鼓励的朋友们，希望未来的人生一直都有你们。

最后，感谢各位论文评审专家和答辩委员会的老师，感谢您们对我的论文的悉心指正，感谢您们的辛勤劳动。