****

**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 Cloudlets Scheduling Strategy

**Major:** Computer Techology

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

**Abstract**

.

**Key words:**

目录

[第一章 绪论 1](#_Toc468287244)

[1.1 研究背景与意义 1](#_Toc468287245)

[1.2 研究现状 2](#_Toc468287246)

[1.3 本文主要工作 3](#_Toc468287247)

[1.4 本文的组织结构 3](#_Toc468287248)

[第二章 背景知识和相关技术 4](#_Toc468287249)

[2.1 移动云计算 4](#_Toc468287250)

[2.1.1 移动云计算概述 4](#_Toc468287251)

[2.1.2 移动云计算的模式 4](#_Toc468287252)

[2.1.3 移动云计算的优势和挑战 7](#_Toc468287253)

[2.1.4 移动云环境下多Cloudlet联合调度 8](#_Toc468287254)

[2.2 移动云环境下的任务调度问题 9](#_Toc468287255)

[2.2.1 任务调度问题概述 9](#_Toc468287256)

[2.2.2 任务调度分类及算法 9](#_Toc468287257)

[2.3.3 多目标优化问题 9](#_Toc468287258)

[2.3.4 多目标优化算法 9](#_Toc468287259)

[2.3 上下文感知 9](#_Toc468287260)

[2.3.1 上下文基本概念 9](#_Toc468287261)

[2.3.2 上下文建模技术 9](#_Toc468287262)

[2.3.3 上下文获取技术 10](#_Toc468287263)

[2.3.4 上下文聚合算法 10](#_Toc468287264)

[2.4 优先指派算法 10](#_Toc468287265)

[2.4.1 优先指派算法概述 10](#_Toc468287266)

[2.4.2 优先指派规则 10](#_Toc468287267)

[2.5 遗传算法 10](#_Toc468287268)

[2.5.1 遗传算法概述 10](#_Toc468287269)

[2.5.2 遗传算法的过程和流程 10](#_Toc468287270)

[2.5.3 遗传算法基因操作 10](#_Toc468287271)

[2.5.4 遗传算法控制及特点 10](#_Toc468287272)

[2.6 本章小结 10](#_Toc468287273)

[第三章 多Cloudlet联合调度系统模型 11](#_Toc468287274)

[3.1 移动协作Cloudlet计算系统架构(M3C) 11](#_Toc468287275)

[3.2 上下文感知模型 11](#_Toc468287276)

[3.3 任务分配模型 11](#_Toc468287277)

[3.4 网络模型及问题定义 11](#_Toc468287278)

[3.5 本章小结 13](#_Toc468287279)

[第四章 基于优先指派和遗传算法的多目标优化算法(PA-GA) 13](#_Toc468287280)

[4.1 算法概述 13](#_Toc468287281)

[4.2 染色体编码及种群初始化 15](#_Toc468287282)

[4.3 适应度函数 17](#_Toc468287283)

[4.4 选择复制 19](#_Toc468287284)

[4.5 遗传操作 20](#_Toc468287285)

[4.5.1 交叉 20](#_Toc468287286)

[4.5.2 变异 22](#_Toc468287287)

[4.6 算法总结 22](#_Toc468287288)

[4.6.1 算法流程 22](#_Toc468287289)

[4.7 本章小结 23](#_Toc468287290)

[第五章 算法仿真和实验对比 23](#_Toc468287291)

[5.1 仿真环境 23](#_Toc468287292)

[5.2 本章小结 23](#_Toc468287293)

[第六章 总结和展望 24](#_Toc468287294)

[6.1 工作总结 24](#_Toc468287295)

[6.2 下一步研究工作 24](#_Toc468287296)

[参考文献 24](#_Toc468287297)

[作者在读期间科研成果简介 25](#_Toc468287298)

[声明 26](#_Toc468287299)

[致谢 27](#_Toc468287300)

# 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使用时间。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强大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。

据研究咨询机构IDC最新研究报告显示，2016年全球互联网用户数达到32亿人，约占全球总人口数的44%；其中，移动互联网用户总数达到20亿。IDC预计，如果没有新型联网设备出现，截至2020年移动互联网用户总数将以每年2%的比例增长，通过手机访问互联网的用户数将以年均25%的比例增长。巨大的市场需求为移动云计算的发展带来良好的机遇，主要体现在：第一，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,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。第二，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。第三， 行业用户的需求将促进移动云服务的快速发展。移动云计算属于信息技术产业,和教育、交通、金融和环保等行业紧密相关,因此移动云计算具有广阔的发展前景。

移动云计算是未来发展的热点，但仍然面临着较多问题，一方面移动智能终端的差异化和移动性，虽然移动终端的硬件配置正在飞速提升，但是由于智能终端多种多样、不同的操作系统、差异化的硬件配置等导致移动云环境下存在众多配置各异的终端，而且这些设备具有的移动性会带来一些数据传输和网络状况等方面的问题；另一方面是无线环境的复杂性，无线通信网络的迅速发展，导致了目前多种多样标准的无线通信技术如2G/3G/4G/Wi-Fi/蓝牙等共存的局面，不同的收费标准以及运营商之间的竞争也造成了无线网络的复杂局面。从以上情况可以看出，针对移动云计算环境进行任务分配的研究十分必要，只有综合考量移动设备和云端的性能差异、网络的传输速率和收费情况等因素，在移动设备和云服务器或者移动设备之间合理的分配任务，才能使应用的执行代价最小，也使用户获得最佳的使用体验。因此，本文研究移动云中的协同调度机制和高效任务调度方法具备较好的理论与实践意义。

## 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

近些年来，随着移动智能终端和无线网络通信技术的快速发展和成熟，随时随地通过移动设备接入互联网获取所需信息和服务变成了现实。但是，由于移动设备本身固有的一些限制，如处理和存储能力较弱、电池技术发展遇到瓶颈和无线网络的不稳定性等，移动计算也遇到了很多问题。今天，云计算的概念已经深入人心，云计算产品和应用层出不穷，云计算正在从1.0时代迈向更加成熟、更加实用的2.0时代。云计算的发展和应用很大程度改变了过去任务处理和使用资源的方式，云服务提供商利用分布式计算和虚拟资源管理等技术，通过网络将分散的ICT资源（包括计算与存储、应用运行平台、软件等）集中起来形成共享的资源池，并以动态按需和可度量的方式向用户提供服务，用户只需按照自己的具体需要向云服务提供商购买资源，并可在后期动态扩展所需资源。云计算的服务通常包含IaaS、PaaS、SaaS三个层次。就在2007年“云计算”的概念出现后不久，为了解决移动计算面临的问题，借助云计算强大的资源聚合能力，“移动云计算”这一概念应运而生，引起了很多学者和企业的广泛关注。

移动云计算是云计算技术与移动通信技术结合的产物，利用移动云计算的各种无线互联网的服务将深入到人们的生活中，它的出现和应用将成为通信产业发展的关键一环。移动云计算是指移动智能终端通过移动网络以按需、易扩展的方式获得所需的基础设施、平台、软件等的一种IT资源或服务的交付与使用模式，它是云计算技术在移动互联网中的应用。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。移动云计算的出现，使得应用的存储、计算等操作从本地转到了云端，用户只需要一台能够联网的移动智能终端，无需有超强的性能就能够实现诸如密集型计算、文件存储、实时翻译、语音搜索、在线服务等应用，这些服务都是依托云计算技术来实现的。作为云计算的扩展,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移动网络获取所需资源和信息。

### 2.1.2 移动云计算的模式

根据移动云计算应用场景和定义的不同，移动云计算的模式也以不同的方式出现。正如Niroshinie Fernando等人总结的一样，目前业内比较公认的主要有“移动设备—企业云”、“移动设备—移动设备云”和“移动设备—Cloudlet—企业云”三种基本模式以及这三种模式融合的其他混合模式。

2.1.2.1 “移动设备—企业云”模式

如图1所示，在这种模式下，移动终端的计算任务或存储任务将通过移动网络上传至远端的企业云服务器上进行处理，借助于企业云强大的计算能力和存储能力，任务的真正执行者其实是云服务器，而移动终端只是作为一个“瘦”客户端传输和接收数据。显而易见，该模式对网络要求较高，且对流量消耗较大，因此对于传输数据量非常大的应用是非常有局限性的，仅仅比较适合数量量不大的应用。该模式常见的案例如：苹果公司的存储同步应用iCloud、Facebook的位置信息服务、在线搜索、实时翻译等。



图 1 “移动设备—企业云”模式

该模式的优势在于能够充分的利用企业云资源，移动设备作为云服务的“瘦”客户端，只需要承担任务数据的输入和结果的展示，不但能大幅度减少移动终端自身执行移动任务带来的巨大能量消耗，延长电池使用时间，还能避免由于移动终端本身硬件限制以及操作系统的差异而带来的负面影响。同样地，该模式的劣势也非常明显，那就是对网络环境的高度依赖。由于无线网络的不稳定性，当移动设备处于网络信号差或者网络覆盖范围之外时，任务的执行将会受到很大的影响甚至失败。另外，该模式大多使用2G/3G/4G移动网络，任务的传输将需要消耗大量流量，从而产生大量的流量费用，对于移动用户来说是非常大的一个负担。

2.1.2.1 “移动设备—移动设备云”模式

如图2所示，“移动设备—移动设备云”模式和传统意义上的移动云计算不同，它是云计算技术和移动设备网络的结合，“云”端不再仅仅局限于服务器集群。在该模式中，多个移动设备位于同一个局域网内，每个移动设备都可以成为云计算服务的计算节点，也可以作为云计算的客户端，他们通过特定协议连接组成一个移动设备网络，该网络扮演着“云”的角色，向网络内或网络外其它的移动设备提供服务，在很多地方被称之为“本地云”或“微云”。该模式常见的应用案例有：无线传感器网络(WSN)数据分析应用、恶劣网络环境下的并行的计算密集型应用等。



图 2 “移动设备—移动设备云”模式

在这种模式下，移动设备的闲置资源得以最大限度的充分利用的同时，还能有效避免移动设备通过移动网络产生的巨大流量消耗。当前移动设备的数量以及硬件性能大幅提升，给予了该种模式发展的无限可能。然而，截至目前为止，该模式仍然缺乏普适性，大部分成果都还处于理论研究阶段，这是因为一方面尚未有成熟的机制和商业动机使得移动用户都能“无私”地分享自己的移动设备资源，另一方面，移动设备本身固有的性能限制、电池的使用时间和个人信息安全保证等也成为了不可忽视的问题。尽管如此，由于移动智能终端的高速发展，对该模式的研究必然会成为移动云计算领域的一个热点。

2.1.2.1 “移动设备—Cloudlet—企业云”模式

如图3所示，Satyanarayanan等人提出Cloudlet的概念来作为移动云计算的另一种解决方案，在该模式中，Cloudlet可以扮演多种角色。一方面，Cloudlet可以作为移动终端与云端通信的中继器，这样可以将移动终端通过移动蜂窝网络连接到云端的方式过渡为无线网+有线网络的通信方式，不仅能大幅缩减通信延迟，还能避免移动用户使用移动蜂窝网络产生的巨大的流量费用。另一方面，由于Cloudlet本身是由少数具备一定计算能力和存储能力的服务器或者普通台式电脑等组成的，故它也可以被认为是一个位于本地的“微云”，它也可以向移动终端提供资源和服务，在该种服务模式下，移动终端和云端的通信延迟被降到最低。该模式除了能应用到之前两种模式所能应用的案例外，还比较适合实时性要求较高的任务，如：在线大型游戏、实时网络交互、高响应比任务执行等。



图 3 “移动设备—Cloudlet—企业云”模式

事实上，“移动设备—Cloudlet—企业云”这种模式是均衡了云计算强大的资源能力、平台能力与移动蜂窝网络资源匮乏的一种折中的方案，使用该种模式一定程度上不仅能利用云端丰富的资源，还能尽可能降低通信延迟以及移动蜂窝网络产生的巨大的流量费用，优势是显而易见的。综上，“移动设备—Cloudlet—企业云”这种模式的优势在于：第一，在“移动设备—企业云”模式基础上，加入了Cloudlet中间层，使得移动终端和云端的通信方式从移动蜂窝网络(2G/3G/4G)过渡到无线网络(Wi-Fi/蓝牙)，降低了通信延迟和通信开销，增加了灵活性。第二，充分利用了移动用户周围的闲置资源，使得中小企业的移动云环境的可定制性和可实现性大大增加。然而，由于Cloudlet中间层的引入，也增加了架构的复杂性和异构性，对于任务执行的一致性和正确性等也会带来诸多挑战。从以上讨论可以看出，“移动设备—Cloudlet—企业云”这种模式不仅具有良好的理论意义，也具有非常好的实践意义，因此，本文将会在该种服务模式的基础上展开研究。

### 2.1.3 移动云计算的优势和挑战

为了解决传统云计算在移动环境下的诸多限制，移动云计算结合云计算和移动计算带来了很多方面的优势，主要如下：

（1）延长电池使用时间。相对现今移动智能终端在处理能力和存储能力上都得到的飞跃式发展，电池的续航能力仍然是一个非常难以解决的问题。因此，如何延长电池的使用时间成为移动设备最关心的问题之一。移动云计算通过分流技术，将复杂的计算密集型任务从资源有限的移动终端转移到计算能力强大的服务器上或其它资源充足的设备上执行，从而节约了移动终端进行长时间大量计算所消耗的能量，达到延长电池使用时间的目的。

（2）扩展移动终端的处理和存储能力。尽管移动设备的处理和存储能力得到很大程度上的发展，但是相对于云计算环境中无限的计算资源和存储能力来说，移动端的处理和存储能力仍然是一大劣势，当需要执行大量计算或存储大量数据时，这两种能力将成为移动任务的瓶颈。但在移动云计算环境中，通过”云”向用户提供计算和存储功能，移动任务就可以使用云中丰富的计算资源和强大的存储能力，进而完美地扩展了移动终端的处理和存储能力。

（3）增强数据可靠性。移动智能设备为了达到便携，美观等特点，也相应地会在一些方面做出一些牺牲，如易发生故障，易丢失，易发生误操作等。移动云计算把数据处理和数据存储都转移到了云端，通过云服务提供商强大的安全策略，不仅可以对用户数据进行保护和备份，还能为移动用户提供远程的病毒扫描、木马检测，恶意攻击拦截等功能，可达到全方位地保护用户数据安全。

此外，移动云计算还有动态配置、降低成本、智能均衡、易整合和扩展性强等优点。

由于用户的移动性和移动终端固有的一些限制，移动云计算中除了存在着传统云计算中常见的问题外，还引入了一些特殊的问题，主要如下：

（1）移动性。在移动云环境中，移动性是一个最基本的特性。由于移动终端移动的不确定性，网络服务提供商很难保证移动用户始终处于移动网络的覆盖范围内，换言之，移动性使得移动终端的网络连接具有间歇性，这不仅仅会导致网络连接信号强度产生波动，还可能导致网络频繁切换，任务分流失败等情况。另外，移动设备移动过程中的网络吞吐量要明显低于移动设备静止时的网络吞吐量。为了解决这个问题，很多学者提出了一些优秀的解决方案，如数据缓存、预先配置、移动预测等。

（2）低带宽。当前大多移动设备都是使用2G/3G/4G/Wi-Fi无线网络享受网络服务，相对有线网络来说，无线网络资源非常稀缺，因此低带宽也是移动云计算中面临的主要问题之一。低带宽会明显增加延迟，这对一些实时性应用来说是灾难性的。解决该问题的途径一般有两种思路，一种思路是寻找更先进、具有更大带宽和具有更大覆盖面积的无线网络方案或尽可能使用有线网络来代替无线网络传输，另一种思路则是通过其他渠道尽可能避免大量的网络数据传输。

（3）无线网络异构和不稳定。随着无线通信技术的飞速发展，出现了诸如蜂窝移动网络(2G/3G/4G)、无线局域网(Wi-Fi)、无线城域网(WiMAX)、无线传感器网(WSN)等各式各样的采用不同组网技术的异构网络。在这样的异构移动网络环境中，无缝的网络切换服务是一个严峻的挑战。另外，用户移动性和异构的网络环境也是导致网络连接不稳定的因素之一，异构网络的身份验证、允入控制和授权问题等也会导致网络的不稳定，关于这些问题的解决方案还有待做进一步研究。

（4）服务质量。事实上，不管是传统云计算或是移动云计算，服务质量都是移动服务提供商和移动用户共同追求的目标。在移动云环境中，服务质量会涉及延迟、网络传输速率、任务成功率、数据包丢失率、用户体验等诸多方面。一方面，良好的服务质量才能保证用户和移动服务提供商之间的双赢局面，而完善的QoS评价体系和优化模型对于移动用户和移动服务提供商来说也都非常重要，具有很好的理论和实际意义。因此，如何保证移动云计算中的服务质量的研究显得尤为重要。

此外，诸如移动任务分割、安全、移动上下文管理等也是移动云计算中重要的问题和研究热点。

### 2.1.4 移动云环境下多Cloudlet联合调度



## 2.2 移动云环境下的任务调度问题

### 2.2.1 任务调度问题概述

### 2.2.2 任务调度分类及算法

### 2.3.3 多目标优化问题

### 2.3.4 多目标优化算法

## 2.3 上下文感知

### 2.3.1 上下文基本概念

### 2.3.2 上下文建模技术

### 2.3.3 上下文获取技术

### 2.3.4 上下文聚合算法

## 2.4 优先指派算法

### 2.4.1 优先指派算法概述

### 2.4.2 优先指派规则

## 2.5 遗传算法

### 2.5.1 遗传算法概述

### 2.5.2 遗传算法的过程和流程

### 2.5.3 遗传算法基因操作

### 2.5.4 遗传算法控制及特点

## 2.6 本章小结

# 第三章 多Cloudlet联合调度系统模型

## 3.1 移动协作Cloudlet计算系统架构(M3C)

## 3.2 上下文感知模型



## 3.3 任务分配模型

## 3.4 网络模型及问题定义

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]。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3-1) |
|  |  | (3-2) |

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：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3-3) |

则上任务的平均响应时延为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3-4) |

系统的平均等待时间为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3-5) |

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：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3-6) |

系统基于松弛度优先的平均等待时间为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3-7) |

代表K个Cloudlet的平均负载，

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3-8) |

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

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3-9) |

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：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3-10) |

## 3.5 本章小结

# 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，

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





## 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：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (4-1) |

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：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (4-2) |

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：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (4-3) |

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：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (4-4) |

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：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (4-5) |

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：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (4-6) |

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：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (4-7) |

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：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (4-8) |

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：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (4-9) |

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：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (4-10) |

累积概率为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (4-11) |

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：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (4-12) |

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：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (4-13) |

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**

## 4.7 本章小结

# 第五章 算法仿真和实验对比

## 5.1 仿真环境

## 5.2 本章小结

# 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。