

基于朵云的大规模移动云计算系统

郑东旭¹, 陈阳², 王勇³

(1. 湖南有色金属职业技术学院 机电工程系, 湖南 株洲 412006; 2. 安徽工程大学 现代教育技术中心, 安徽 芜湖 241000; 3. 安徽工程大学 计算机与信息学院, 安徽 芜湖 241000)

摘要: 移动云计算是解决移动计算中包括电池寿命、处理能力和存储容量等缺陷的最佳方案; 为了减少移动设备的功耗和网络时延, 提出了一种基于朵云的大规模移动云计算系统 CMCC (Cloudlet-based Mobile Cloud Computing); 使用多个朵云分布式部署, 移动设备通过 WiFi 接入朵云进而实现和云端服务器相连接; 该方案能够提供足够大的覆盖区域, 能够有效满足移动设备的移动需求, 并有效降低移动设备移动位置, 减少广播宽带通信需求; 仿真实验结果证明, CMCC 能够有效减少移动设备功率消耗和通信延迟。

关键词: 朵云; 无线通信; 移动云计算; 功耗; 时延

Cloudlet-based Large Scale Mobile Cloud Computing System

Zheng Dongxu¹, Chen Yang², Wang Yong³

(1. Department of Mechanical and Electrical Engineering, Hunan Nonferrous Metals Vocational and Technical College, Zhuzhou 412006, China; 2. Center of Modern Education Technology, Anhui Polytechnic University, Wuhu 241000, China; 3. School of Computer and Information, Anhui Polytechnic University, Wuhu 241000, China)

Abstract: The mobile cloud computing is the best solution for battery life, processing capacity and storage space in mobile computing systems. In order to reduce power consumption and network delay, this paper proposed a novel large scale cloudlet-based mobile cloud computing system called CMCC. CMCC deployed multiple cloudlets to be distributed in the area, and the mobile devices communicate to the near cloudlet according to Wi-Fi wireless connection for getting access to the remote enterprise cloud server. It provided enough coverage area to permit mobile devices moving from a place to another one for decreasing broadband communication requirements. Experimental and simulation results demonstrated that CMCC can reduce the mobile devices' power consumption and network latency.

Keywords: Cloudlet; wireless communication; mobile cloud computing; power consumption; delay

0 引言

云计算技术是由具有大容量存储功能的高性能服务器分布式集群连接互联网而实现, 利用网络资源共享实现降低经济和管理成本的目的, 给信息技术带来了革命性发展。尽管移动智能设备给生活带来了许多便利, 但仍存在待机时间过短、处理能力较低、存储容量不足等弱点。目前, 云计算技术和移动设备的集成一体化成为解决上述缺点的有效方法, 即为移动云计算^[1]。

移动云计算是解决移动计算中包括电池寿命、处理能力和存储容量等缺陷的最佳候选方案。移动云计算中, 移

动设备的数据存储和处理将在云系统中实现, 计算结果返回到移动设备, 实现计算任务完成所需功耗降低和处理时间的减少的目的。不过, 移动设备和云系统之间的互连一般会存在网络延迟高和传输功耗大的问题, 特别是在使用 3G LTE (3G Long Term Evolution) 网络时更为严重^[2]。目前, 移动云计算主要架构有传统集中式云架构、基于朵云的分布式架构和基于对等的 Ad hoc 云架构^[3]。由于使用分布式布置的朵云实现移动设备和云端服务器的互连互通, 所以基于朵云的分布式架构问题至关重要, 值得深入研究。

因此, 提出一种基于朵云的移动云计算系统 (cloudlet-based mobile cloud computing, CMCC), 并进一步扩大规模, 分布式部署多个朵云, 移动设备使用 WiFi 接入朵云。经实验仿真结果验证, CMCC 能够有效地降低网络延迟和传输功率。

1 相关工作

由于具有位置感知、计算能力强和数据备份等优点, 移动云计算是一种有效辅助移动计算的云计算技术。如图 1 所示, 移动云计算中的移动设备通常使用 3G LTE 网络连接云系统, 而由于 Wi-Fi 的使用局限性, 移动云计算很少使用 Wi-Fi。表 1 比较了移动云计算使用两种技术的性能

收稿日期: 2018-10-18; 修回日期: 2018-11-23。

基金项目: 国家自然科学基金 (61572033); 教育部在线教育研究中心在线教育研究基金 (全通教育) 2017 年一般项目 (2017YB101); 安徽省高校省级自然科学研究重大项目 (KJ2015ZD08); 安徽省高校优秀人才支持计划重点项目 (gxyqZD2016124)。

作者简介: 郑东旭 (1977-), 女, 河北廊坊人, 硕士, 讲师, 主要从事计算机网络与网络安全方向的研究。

王勇 (1979-), 男, 安徽舒城人, 博士, 副教授, 主要从事计算机网络与网络安全方向的研究。

差别。

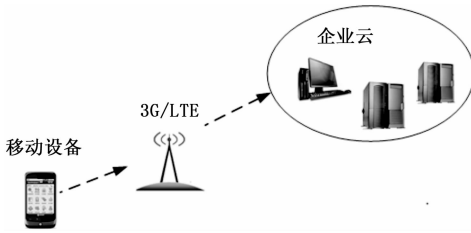


图 1 传统移动云计算架构

表 1 LTE 和 Wi-Fi 比较差别

性能指标	3G/LTE	WiFi
功耗	高	低
连接速率	2Mbps	400Mbps
延迟	高	低

据表 1 可知，相比 3G/LTE 网络，移动云计算使用 Wi-Fi 连接性能更优。朵云是由一台或多台具有高性能、能够连接 Internet 的计算机群组构成，通常沿 Wi-Fi 热点部署安装或者使用和热点集成化的方式供移动设备方便接入^[4]。并且，移动设备使用 Wi-Fi 接入最近朵云，通过使用这种具有低延迟、高带宽和一跳距离的无线链路接入，移动设备和朵云将获得趋近于实时的交互响应。在基于朵云的移动计算中，移动设备将计算任务发送到朵云进行计算处理并返回最终处理结果，不仅降低传输时延而且减少了移动设备功耗，给移动云计算带来了巨大进步^[5]。

文献[6]研究了朵云对交互式应用在移动云计算方面的影响，并且比较了朵云模型和传统云模型在系统吞吐量和数据转发时延等方面的性能差异，结果证明大多数情况下基于朵云的移动云计算模型性能优于传统移动云计算模型。文献[7]提出了一种应用于人脸识别的移动云计算模型 MOCHA，该模型将移动设备、朵云和云服务器集成化，有效减小了人脸识别过程中的响应时间。文献[8]讨论了针对跑步移动应用的朵云架构接入控制和资源分配等问题。文献[9]分析了朵云在移动计算中存在的技术障碍，并设计了一种朵云架构用于解决这些技术障碍，该架构在朵云中管理面向移动用户开放的会话服务，管理是在移动用户虚拟机 (Virtual Machine, VM)^[10-11]实例化基础上完成。文献[12]提出了基于可扩展朵云的移动云计算模型。借鉴文献[12]模型，使用 CloudExp 工具将其扩展到大规模朵云部署应用场景下，提出了基于朵云的大规模移动云计算。

2 CMCC 方案的架构

2.1 CMCC 系统概况

CMCC 模型由一系列互连互通的分布式朵云构成，并根据使用云服务的大多数移动用户位置分布去设定分布式朵云的部署位置，并且所有朵云均能够连接到远程企业云中，某些文献中也把朵云称为私有云。图 2 为 CMCC 基本的移动云计算架构图，移动设备直接和能够连接到企业

云的朵云建立通信。当处于以下 2 个情况时，即使朵云处于可用状态，移动设备依然需要直接和企业云建立通信：第一，移动设备需要接入并使用企业云存储的文件时；第二，朵云服务不可用时。

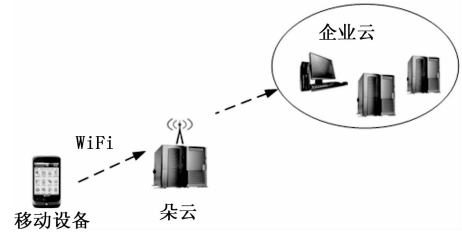


图 2 基于朵云的移动云计算系统 CMCC

移动设备通过通信运营商的移动互联网数据通道连接到朵云的服务器，移动设备的数据存储和处理将在朵云系统中完成，这样也降低了企业云的压力。朵云通过有线连接实现到企业云 EC (Enterprise Clouds) 的接入，这样就实现了移动设备、朵云、企业云之间的通信。和单纯的企业云比较起来，采用朵云架构可以获得以下优势：1) 便捷的数据存取；2) 智能均衡负载；3) 降低管理成本；4) 按需服务降低成本。

2.2 移动场景

图 3 为 CMCC 中移动用户可能面临的移动场景。据图可知，某移动用户在位置 A 即朵云 CL1 覆盖范围内使用 Wi-Fi 接入 CL1。当离开朵云 CL1 覆盖范围后，可能会移动到另一个朵云覆盖范围内的位置 B，或者移动到具有 3G/LTE 信号覆盖范围内的位置 C。朵云 CL1 和 CL2 通过有线连接实现到企业云 EC (Enterprise Clouds) 的接入。这里主要考虑如下移动场景：

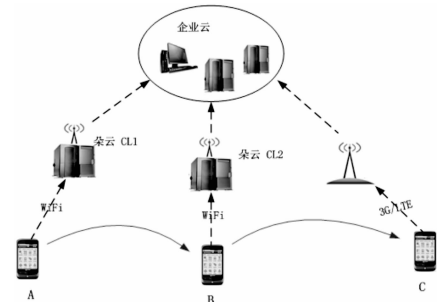


图 3 CMCC 移动场景

1) 移动设备从位置 A 移动到位置 B。移动设备通过朵云 CL1 接入企业云 EC，当已有任务未完成时，移动设备移出 CL1 区域并进入 CL2 区域，然后连接 CL2 去完成新任务请求或者在 CL1 中未完成的任务。如果之前有数据处理等尚在 CL1 中，则发送请求到 CL1，请求 CL1 将相关数据信息发送到 CL2 以完成任务。

2) 移动设备从位置 B 移动到位置 C。移动设备通过 CL2 接入到企业云 EC，当任务完成前移动设备离开原朵云 CL2。如果移动设备进入没有朵云覆盖区域的位置 C，移动设备则通过使用 3G/LTE 网络接入到 EC。通过使用此连接

移动设备完成新任务或之前未完成的任务。因此, 如果尚有待处理数据存留在 CL2 中, 移动设备将发送请求给朵云 CL2, 请求朵云将相关信息发送给 EC, 以完成后续处理。

3) 移动设备从位置 C 到位置 B。移动用户从 3G/LTE 覆盖区域移动到朵云覆盖区域内, 同理, 移动用户的数据处理将可转移到相应朵云中进行后续处理。

2.3 信息的管理

如上所述, 当移动设备在所有已启动任务结束前离开原朵云区域并进入另一个新区域时, 将存在如何完成已启动任务的问题。为了完成原朵云中正在运行的任务, 新朵云需要获得原朵云中所有和移动设备相关的文件和服务信息。如下, 将讨论两种管理信息方法。

1) 集中式方法。使用 EC 统一管理和跟踪系统中所有移动设备的运动轨迹。为实现集中式管理, EC 存储所有移动设备对应的跟踪信息, 其主要管理信息见表 2。

表 2 集中式方法中移动设备主要管理信息

参数	值
当前状态	连接, 未连接
连接类型	直接, 朵云
当前服务	名称
当前文件	名称
原朵云	朵云 ID
未完成任务	任务 ID

2) 分布式方法。移动信息管理由各移动设备通过存储其移动轨迹出予以实现, 并根据需要将移动信息在原朵云和新朵云中交互, 主要管理信息见表 3。

表 3 分布式方法中移动设备朵云和任务信息

参数	值
原朵云	朵云 ID
未完成任务	任务 ID

具体实现方法可以与移动终端的信息管理系统相结合, 采用数据二维表的方式予以存储与管理。目前的 iOS、Android、BlackBerry 等移动终端管理系统都支持二次开发的功能, 开放与有线连接的接口, 很容易实现这两种朵云的信息管理。上述两种方法均需要移动设备端管理具有简单易实现的特点。集中式方法要求管理处理过程对移动设备透明, 即所有管理工作在 EC 端完成。

3 实验结果与仿真结果

3.1 实验场景

本节建立三种不同的移动计算场景评估 CMCC 方案。

场景 1: 移动设备使用 3G 网络连接企业云 EC。

场景 2: 移动设备仅使用一个朵云连接 EC。

场景 3: 移动设备位置变化, 通过使用多个朵云连接 EC。场景 3 同时支持用户移动, 并保持和云端的连通性。用户移动性和连通性对于多媒体应用至关重要。

3.2 实验结果

上述实验均使用本实验室自主搭建的测试平台, 平台主要构成如下: 1) 朵云服务器: 由两台联想 ThinkPad 笔记本电脑 (英特尔 i5 处理器, 4 GB 内存, Windows 7 操作系统) 构成; 2) 接入点: 由 BandLuxe PR30 系列 HSPA + WLAN 路由器^[13]和 TP-Link TL-MR3220 路由分别接入互联网^[14]; 3) 移动设备: 三星盖世 Note7000。

为测试 CMCC 方案性能, 本实验分别上传大小为 1 048 KB、5 611 KB、10 220 KB 和 22 600 KB 大小的文件同时到朵云和企业云 EC。实验主要考察上传处理过程的功率消耗和完成上传任务所耗费时间成本。表 4 给出了不同文件大小条件下上传到不同服务器所耗费的实验结果数值对比。据表 4 可知, 相比 3G, Wi-Fi 能够降低 50% 功率消耗, 故在能量节省方面 Wi-Fi 性能更优, 同时使用 Wi-Fi 的网络吞吐量远远大于 3G 网络, 能够比 3G 连接下高 10 倍。而且, 上传大文件到企业云 EC 时系统会产生很高的时延, 而使用朵云所产生的时延则在系统可接受范围之内。图 4 和图 5 分别为朵云和企业云的时延和功率消耗实验结果对比, 这两个图的结果都表明使用朵云的 CMCC 云计算系统可以降低系统的延迟和功耗, 性能优于企业云系统。

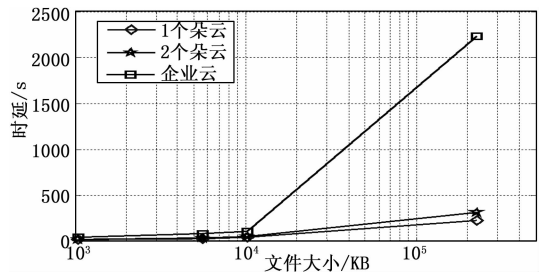


图 4 朵云和企业云的时延结果曲线对比

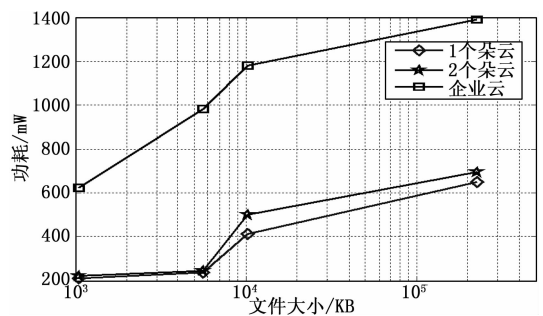


图 5 不同朵云数目条件下 CMCC 系统的性能

3.3 大规模仿真结果

本节还使用 CloudExp^[15]仿真工具构建基于朵云结构的大规模云计算系统 CMCC, 进一步仿真验证表 4 中相关结果。图 6 为方案部署架构示意。据图可知, 该方案由 7 个朵云构成, 每个朵云基于其传播距离形成蜂窝式小区覆盖。如图 3 所提供场景, 移动设备可以自由从一个蜂窝小区移至另一个蜂窝小区。一旦移动设备离开朵云覆盖区域, 将强制使用 3G 直接连接企业云服务器。单朵云 WiFi 信号传输距离为 100 米, 图 6 部署方案 WiFi 覆盖区域为 600 × 500

平方米，能够提供近 1000 部移动设备的连接服务。如果由 16 个子朵云构建的云系统覆盖区域能够达到中等规模的大学校园面积，可提供约 2 500 个用户的连接服务^[16]。

表 4 朵云和企业云时延结果数值对比

文件大小 (KB)	分类	功耗/mW	时延/s	吞吐量/(KB/s)
1048	1 朵云	220	1.6	655
	企业云	671	21.2	49.4
5611	1 朵云	267	8.9	630.4
	企业云	1000	81	69.7
10220	1 朵云	417	18	555.4
	2 朵云	513	40	255.5
	企业云	1100	105	97.3
226000	1 朵云	680	226	999.4
	2 朵云	721	328	690.1
	企业云	1400	2286	99

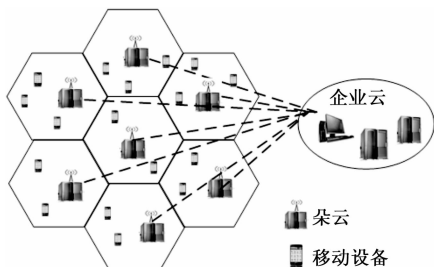


图 6 七个朵云构造的 CMCC 云系统结构

本仿真实验中，将分别仿真不同朵云数目条件下云系统 CMCC 性能，朵云数目从 4 到 16，所有朵云为同质节点，并设定每个朵云能够同时处理 150 个移动设备的接入请求。因此，16 个朵云构成的移动云系统能接收总共 2 400 个移动用户，故本次仿真使用能够同时支持 2 400 用户接入的企业云。移动设备移动方式使用随机路点移动模型^[17-18]。信息大小从 10~100 KB，所有节点随机发送。

表 5 给出了不同朵云数目条件下移动云系统 CMCC 的性能仿真结果。据图可知，随着移动云系统规模增加，单移动用户的时延和功率消耗会出现下降趋势，这是因为移动设备使用了更低能耗成本的 WiFi 无线接口。此外，由于使用 3G 无线连接，直接连接企业云的性能最差。再者，每增加 2 个朵云，CMCC 的功耗和时延性能将提升大约 8% 至 15%。当移动云系统使用 16 个朵云时，移动设备的功耗需求只有直接连接企业云条件下的 6%，而处理时延能缩小至 5.5%。因此可以得出的结论是基于朵云的移动云系统 CMCC 性能优于企业云系统。

4 结论

提出了一种基于朵云的大规模移动云计算系统 CMCC，通过使用多个朵云构建移动云系统，移动设备通过 WiFi 接入朵云进而实现和企业云服务器的连接。该系统在兼顾移动设备移动性和移动特征的前提下，进一步降低了移动设

表 5 CMCC 云系统仿真结果

朵云数目	功耗/mW	处理时延/s
4	294	45
6	265	41
8	251	38
10	223	33
12	198	31
14	171	29
16	157	24
企业云(0 朵云)	2554	437

备的功耗和处理时延。仿真实验结果证明，CMCC 相比传统企业云系统，不仅大幅降低移动设备功耗，而且降低了远程连接所需的通信和处理延迟。CMCC 为移动云计算进一步应用于具有高业务需求和大规模应用特点的多媒体应用场景提供了技术支撑。

参考文献:

- [1] 王素贞, 杜治娟. 基于移动 Agent 的移动云计算系统构建方法 [J]. 计算机应用, 2013, 33 (5): 1276 - 1280.
- [2] Simoens P, Deturck F, Dhoedt B. Remote display solutions for mobile cloud computing [J]. Computing, 2011, 44 (8): 46 - 53.
- [3] Fangming L, Peng S, Hai J, et al. Gearing resource-poor mobile devices with powerful clouds: architectures, challenges, and applications [J]. Wireless communication, 2013, 20 (3): 14 - 22.
- [4] 柳兴, 袁超伟, 杨震, 等. 移动云计算中基于移动代理的用户切换与接入控制 [J]. 北京邮电大学学报, 2014, 37 (2): 88 - 92.
- [5] Jararweh Y, Tawalbeh L, Ababneh F. Resource efficient mobile computing using cloudlet infrastructure [A]. 2013 IEEE 9th International Conference on Mobile ad hoc sensor networks [C]. 2013: 373 - 377.
- [6] Fesehaye D, Yunlong G, Nahrstedt K. Impact of cloudlets on interactive mobile cloud applications [A]. 2012 IEEE 16th International Enterprise Distributed Object Computing Conference (EDOC) [C]. 2012: 123 - 132.
- [7] Soyata T, Muraleedharan R, Funai C. Cloud-vision: real-time face recognition using a mobile-cloudlet-cloud acceleration architecture [A]. 2012 IEEE Symposium Computers and Communications [C]. 2012: 59 - 66.
- [8] Dinh T H, Niyato D, Ping W. Optimal admission control policy for mobile cloud computing hotspot with cloudlet [A]. 2011 IEEE Wireless Communications and Networking Conference [C]. 2012: 3145 - 3149.
- [9] 李波. 移动云计算中基于多属性决策的计算卸载任务切换管理 [D]. 昆明: 云南大学, 2013.
- [10] 王溢琴, 秦振吉, 芦彩林. 基于形式概念分析的云中虚拟机调度研究 [J]. 计算机与数字工程, 2014, 42 (12): 2243 - 2246.