将应用程序从移动/物联网设备卸载到云端的分布式计算卸载

Arsalan Liaqat 计算机科学系 FAST-NUCES 拉合尔，巴基斯坦。
arsalan.liaqat@lhr.nu.edu.pk

Dr.Saqib Illyas 计算机科学系 FAST-NUCES 拉合尔，巴基斯坦。
Saqib.ilyas@nu.edu.pk

Ghazala Mushtaq 电气与计算机工程系 COMSATS-Lahore 拉合尔，巴基斯坦。
Ghazalamushtaq@cuilahore.edu.pk

摘要— 在新冠肺炎疫情期间，使用移动设备连接互联网

移动云主要将移动环境与云技术相结合，并通过为移动

关键词——移动云计算、物联网、卸载、分布式计算

I. 引言NTRODUCTION

随着信息技术领域中基于 IP 的设备不断增加．新的

云可以是公有云、私有云、社区云或混合云。一些知名的云服务提供商包括亚马逊、Microsoft AZUR 等。根据 [12] 给出的统计数据，2018 年移动设备数量为 45.7 亿台，预计 2020 年将达到 47.8 亿台。而 2007 年，台式电脑占互联网设备的 75%，到 2018 年这一比例仅降至 10% [13]。移动产业正在抢占市场。从 2017 年到 2018 年，SMD 数量增加了 1 亿。世界人口约为 75.93 亿，其中 60% 是 SMD 用户。至于所有连接到互联网的 IP 设备，包括 SMD、可穿戴设备、物联网设备等，Strategy Analytics [14] 表示，到 2020 年，所有 IP 设备的数量将达到 300 亿。但根据市场趋势，这一数字可能增至 500 亿。

移动云计算的动机在于，物联网和 SMD 设备的电池容量有限、内存有限且计算能力较低。通常，云端部署在人口较少的地区，并拥有充足的电力供应和备用电源，以不间断地完成分配给云端的所有任务。关于如何使数据中心保持稳定、持续运行并实现节能，已有大量研究进行探讨，但这不属于本文的讨论范围。

卸载是移动云中的一个难点。卸载是指将部分数据移至云端，但这并非易事。是否卸载应用程序，以及在决定卸载后是完全卸载还是部分卸载，都是至关重要的决策。影响这一决策的因素包括网络状况、可用带宽、数据丢失率、待卸载数据的大小、卸载组件在云端和移动设备上的执行时间、执行任务所需的资源、已卸载部分与未卸载部分之间的依赖关系，以及用户移动性。这些设备通过无线媒介连接到基站。每个基站负责管理其覆盖区域内的流量，并将数据包转发到目标位置。在无线连接中，带宽由多个设备共享，因此很容易发生冲突。尽管无线通信中采用了载波侦听多路访问与冲突避免技术，但仍无法保证不会发生冲突。如果我们通过无线信道发送大量数据时发生冲突，

XXX-X-XXXX-XXXX-X/XX/$XX.00 ©20XX IEEE

那么就意味着我们需要重新发送数据，而这一做法会额外消耗移动设备的电池电量。同样，即使避免了冲突，网络中发生拥塞也可能导致数据丢失。如果由于某种原因，数据在移动设备与云端之间的传输过程中任何一点发生丢失，导致我们不得不重新发送相同的数据，就会产生两方面的影响：首先会增加移动设备的电池消耗；其次会延长应用程序的执行时间，因为任务将从起始点重新开始，或者从执行停止前保存了指纹的那个位置重新开始。

执行时间的增加取决于需要重新发送的数据量和网络状况。因此，卸载决策及其方法至关重要。研究人员提出了多种卸载框架，各有优缺点。这些框架都将数据发送到云端的单个虚拟机中。我们的框架则根据可卸载数据之间的依赖关系，将任务卸载到多个虚拟机上。

II. 卸载与移动云概述

卸载是移动云计算中的一项关键决策。为实施卸载，研究人员提出了不同的划分算法，这些算法会考虑不同参数，并建议是否应该卸载以及以何种方式卸载。划分算法是决策的基础。在 [1] 中，作者对移动云计算进行了综述，并讨论了其架构以及与移动云计算相关的各种因素。在基本架构中，移动设备通过无线媒介连接到各自的基站，基站再通过回程网络连接到外部世界的网络。这些基站充当移动设备的网关，使设备能够通过相应的转换与广域网或局域网进行通信。随后，链路通向云端，那里部署着许多服务器。

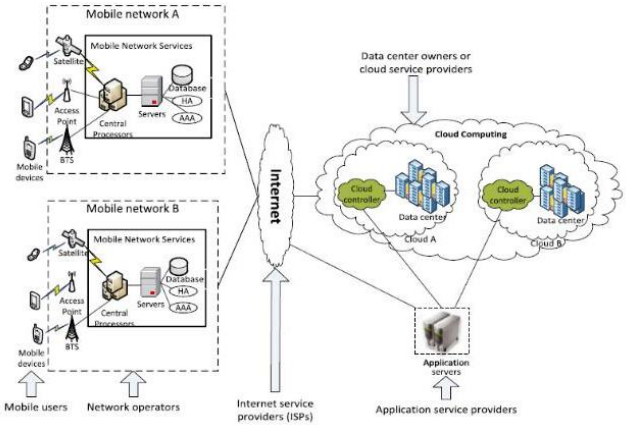

图 1 移动云架构

图 1 展示了移动云的基本架构。我们借用云服务，并为用于计算或存储的服务付费。云端可以分布在不同的地理位置，也可以位于一栋小建筑内；这完全取决于云的类型和规模。云由相应云端的云控制器进行控制和管理。云为用户提供三种服务：平台即服务（paas）、基础设施即服务（iaas）和软件即服务（saas）。我们需要哪种服务，取决于我们需要对云端虚拟机进行何种程度的控制。卸载可以是全部卸载，也可以是部分卸载 [2]。程序包含不同部分，其中一些可以卸载，另一些则不能卸载。它们之间可能存在依赖关系，也可能不存在依赖关系 [10]。不过，卸载并不总是最佳选择，因为卸载需要额外工作，将数据通过网络传输到云端，同时还要支付借用云端资源的费用。

卸载涉及两种成本：一种是计算成本，另一种是通

1. 用户偏好：用户是否希望数据保密？2. 网络规格，例如 WiFi、3G、4G 等。3. 设备规格。4. 应用程序规格，例如其资源需求。5. 应用程序卸载到的服务器规格。

考虑上述因素后，便可作出卸载决策。卸载可以是数据卸载，也可以是计算卸载。在数据卸载中，使用云端的存储能力，例如 iCloud 等；而在计算卸载中，则使用云端的计算能力。图2描述了这两种卸载之间的关系。卸载存在一些相关缺点，但我们将重点讨论其中两个问题。

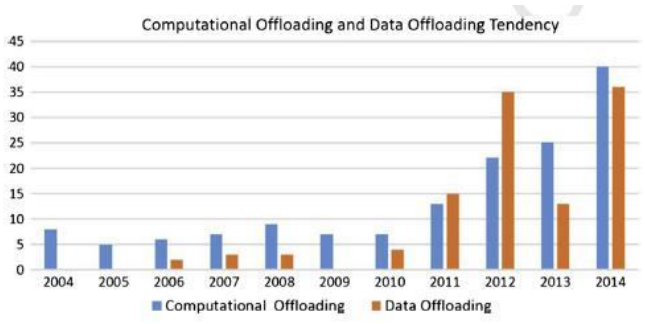

图 2. 计算卸载与数据卸载倾向：一是最大限度地缩短云端的执行时间；二是当虚拟机/服务器宕机或网络状况导致数据丢失时，尽量减少数据重传。

卸载过程中的通信。迄今为止，还没有任何卸载框架针对单个应用程序在卸载过程中应用并行计算技术。我们提出了一种并行卸载技术，可减少计算时间；如果虚拟机崩溃，则只需重新发送部分数据，而不必重新发送全部已卸载的数据。

III. 先前的卸载算法

现在我们将讨论一些先前提出的卸载技术。

A. Kumar 和 Lu 的分区算法

他们使用两个参数来决定是否卸载：一个是计算时间，另一个是通信时间 [8]。分区决策取决于上述两个参数之间的权衡。他们的结果表明，如果需要较少的通信来完成大量计算，卸载是有益的。他们提出了如下方程。参数说明如下：C=计算需求 M=移动处理器速度 S=服务器处理器速度 D=要发送的数据 B=带宽 P=其中 P 表示

$$P_c \times \frac{C}{M} - P_i \times \frac{C}{S} - P_{tr} \times \frac{D}{B}. \quad (1)$$

Suppose the server is F times faster—that is, $S = F \times M$.
We can rewrite the formula as

$$\frac{C}{M} \times \left(P_c - \frac{P_i}{F}\right) - P_{tr} \times \frac{D}{B}. \quad (2)$$

功率。

B. Hengwang 和 Zhiyuan Li 的分区算法

他们提出了一种方案，将应用程序转换为服务器-客户端模型结构，并将代码划分为多个部分或子问题，其中每个部分或子问题都是一项任务 [5]。部分代码在客户端（移动设备）上运行，部分代码在服务器端（云端）运行。服务器端代码作为应用程序的一部分被卸载。他们的方案也考虑了通信成本和计算成本，但与先前方法的区别在于，他们还考虑了运行时记账的成本。运行时记账用于记录或分配信息，对于分布式执行非常重要。该算法采用分布式方式，因此客户端和服务器端任务的执行之间可能会出现时间间隔。

C. 自适应计算卸载

该算法使用网络状况和往返响应时间的在线统计数据，并据此计算盈亏平衡时间，即计算所需的最短时间 [9]。在客户端或移动设备上运行任何任务时，我们都会为其设置一个超时计时器；如果客户端或移动设备未能在规定时间内完成任务，就会将该任务转移到云端。该算法的缺点是，应用程序卸载到服务器时，已经消耗了盈亏平衡时间和相关能量，随后任务被发送到服务器，并从任务的初始位置重新开始。无需预先知道执行时间，因为我们在卸载决策中不使用执行时间，而是使用盈亏平衡时间。

D. Xiamoning Fu 分区算法

这种方法会考虑不同的参数，以决定是否进行卸载。该算法的依赖关系通过某种逆向工程工具识别算法中不同方法之间的依赖关系，并用调用链接图表示。它使用数据上传时间、返回时间、云端执行时间和移动设备执行时间。划分算法利用这些参数，决定算法中的哪些方法可以卸载，以及哪些部分将在移动设备上执行 [4].

$$U_i = \begin{cases} \max\limits_{1\le k\le K}\left\{\sum\limits_{j=1}^{k}\left(M_j - C_j\right) - I_1 - R_k\right\}, & \text{if } i = 1 \\ U_{i-1} - \left(M_{i-1} - C_{i-1} - I_{i-1}\right) - I_i, & \text{otherwise} \end{cases}.$$

IV. 分布式卸载

在 [4] 中已说明，应用程序由不同的方法组成。这些方法之间具有用于执行的调用层次结构。此外，这些方法分为可卸载方法和不可卸载方法。当我们希望在云端执行某些计算任务时，会将相应的方法卸载到云端。可卸载方法是指通信成本较低、计算收益较高的方法；而不可卸载部分的通信成本较高、计算收益较低。方法的调用层次结构可以通过构建调用链接[4] 图来表示。

我们观察到，某些应用程序内部具有树状结构，并按照一定顺序执行一系列方法。将其依据调用层次结构转换为调用链接图后，可以发现应用程序包含不同的方法调用链，且这些链彼此独立。这些链可以全部或部分卸载，也可以全部或部分不可卸载。我们可以将这些独立链以并行模式卸载到不同的虚拟机上，从而尽可能缩短执行时间，并在因任何原因发生数据丢失时减少数据重传。网络状况、虚拟机崩溃、服务器故障等都可能导致数据丢失。

我们将独立计算链以分布式方式卸载到不同的虚拟机上。我们使用模拟器 CloudSim 进行实验，并为同一应用程序创建了不同数量、配置相同的虚拟机，以观察其行为。我们的虚拟机配备 1024 MB 随机存取存储器、10000 每秒百万条指令的中央处理器和两个处理单元（PE）。模拟器运行在一台配备 4 GB 随机存取存储器和 Core m 处理器的系统上。Core m 是英特尔新一代处理器，专为移动技术设计，功耗较低。我们通过并行卸载来测量执行时间、数据重传率和功耗。为此，我们创建了多个云任务，并在配置相同的不同虚拟机上执行这些任务。

A. 分布式卸载情况下的时间节省

采用分布式卸载所节省的时间取决于两个因素

1. 应用程序中的独立链数量 2. 可卸载的方法数量

如果有十个可卸载的部分，但它们都属于同一条链，那么就不会节省时间。只有存在多条彼此独立且可卸载的链时，我们才能节省执行时间。任务的执行时间取决于所有链中耗时最长的那条链。执行时间取决于链所耗费的时间，而不是

它包含的方法数量。例如，如果有两条链，链 A 有 5 个方法，而链 B 有 2 个方法，我们不能仅仅因为链 A 的方法更多，就断定它耗时更长。也许链 A 中的方法所需的计算量比链 B 中的方法少，因此链 B 的方法反而比链 A 的方法耗费更多执行时间。

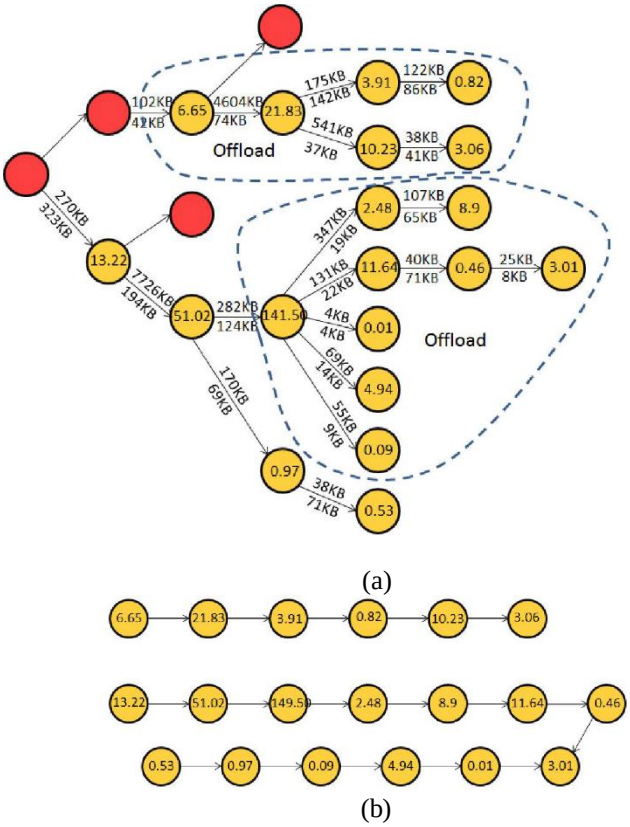

图3　　人脸识别应用程序的调用链接图

我们使用人脸识别和蒙太奇应用程序来验证我们的想法和结果。人脸识别应用程序的调用链接图如图3所示。每个圆圈表示一个方法，连线表示它们之间的调用依赖关系 [4]。红色圆圈表示不可卸载的方法，黄色圆圈表示可卸载的方法。图3(b)展示了两个彼此独立的不同调用链接。朴素的方法是按顺序卸载整个图，而在分布式卸载中，我们会将这些相互独立的调用图卸载到不同的虚拟机上。表1显示，采用分布式卸载后，执行时间减少了27.5%，这是相当显著的提升。

表1：人脸识别应用程序的执行时间

卸载策略	执行时间（秒）
顺序/非并行	1.2
分布式/并行	0.87

表2：蒙太奇应用程序的执行时间

卸载策略	执行时间（秒）
顺序/非并行	0.76
分布式/并行	0.43

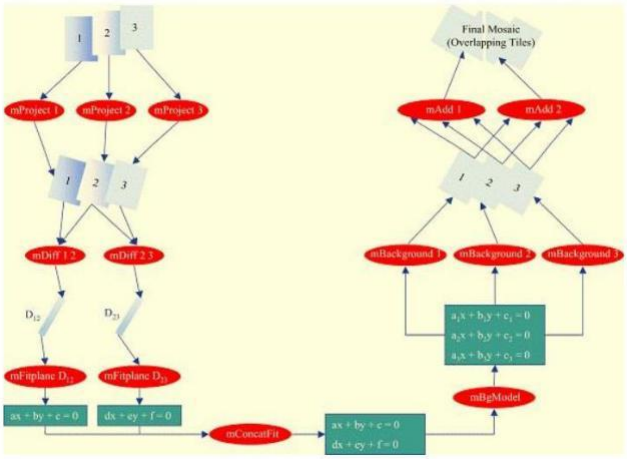

图4　　蒙太奇应用程序的流程图

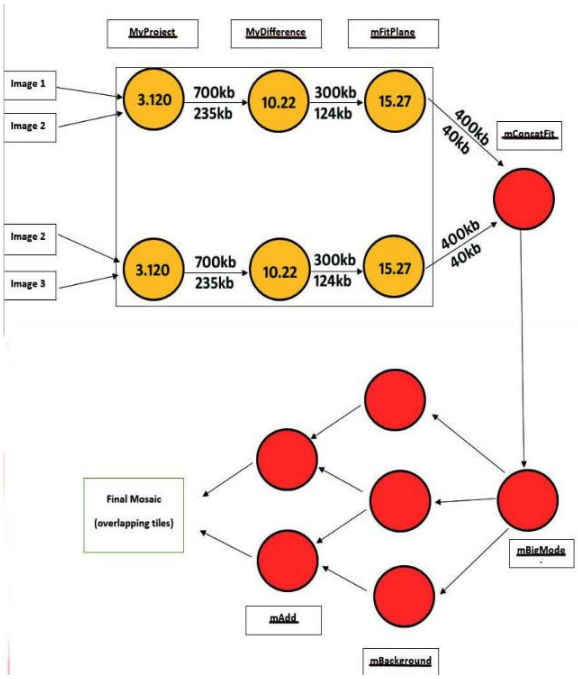

图5 蒙太奇应用程序的调用链接图

对于蒙太奇应用程序，在研究图4所示的图表后，我们可以看到其中一些部分可以并行卸载。图5中的虚线区域表示可以卸载到云端的应用程序部分，这样可以缩短应用程序的执行时间。

由于没有关于其在云端和移动设备上的执行时间数据，我们因此假设了一些数据，并据此进行了实验。实验结果表明，在表2所示的分布式执行情况下，执行时间缩短了43.43%。

B. 分布式卸载情况下虚拟机崩溃时的数据重传

卸载需要将数据发送到云端。根据待执行任务的类型，数据量可能只有几 KB，也可能高达数百 MB。将大量数据从移动/物联网设备发送到云端，需要消耗电池电量，也会给这些计算能力和资源有限的设备带来负担。如果数据丢失了怎么办？这些设备还需要重新发送数据，这会增加额外的工作量。

如果采用分布式卸载，在发生数据丢失时，我们可以在一定程度上减轻这些设备的负担，并节省电池电量。假设有两条独立链，并将它们卸载到云端。假设每条链的数据量为 100 Mbs，那么我们总共卸载 200 Mbs。如果虚拟机被销毁，需要将其副本发送到云端，那么采用传统方法时，我们会重新发送 200 Mbs；但如果采用建议的分布式方法，将数据卸载到两台虚拟机上，每台虚拟机对应一条独立链，假设虚拟机 A 宕机，那么我们只需重新发送与虚拟机 A 相关的数据，在这个例子中即 100 Mbs。

发生数据丢失时，无论是由于虚拟机崩溃还是网络状况所致，需要重传多少数据，取决于相应应用程序的调用链接图中的并行度，以及与相应虚拟机相关的数据量。

可卸载方法之间的并行度越高，需要重传的数据就越少，如表3所示；此处假设由于虚拟机是分布式部署的，任一时刻最多只有一台虚拟机崩溃。显然，不同独立调用链接之间的并行度越高，发生虚拟机崩溃或其他导致数据丢失的情况时，需要重传的数据就越少。

表3：不同并行度下的数据重传

总计% 可卸载	%已卸载 至虚拟机1	%已卸载 至虚拟机2	最大数据量 重传率%
70%	70%	0%	70%
70%	60%	10%	60%
70%	50%	20%	50%
70%	35%	35%	35%

C. 能耗比较

使用多个虚拟机而非单个虚拟机，是减少执行时间和数据重传的更好选择。目前，所有云和数据中心都在朝着绿色云的方向发展，这意味着它们在能耗方面正变得更加高效。为了在这一范式下衡量我们的方法，我们创建了多个相同类型的云任务，并在两种场景下运行它们。首先，我们在单个虚拟机上运行这些任务，并测量云端的能耗；然后将任务分成两部分，分别在两个虚拟机上运行。我们在两个虚拟机上测试了10个云任务，结果显示能耗相近；但如果承载这些虚拟机的真实硬件过载，能耗可能会略有增加。结果见图6。

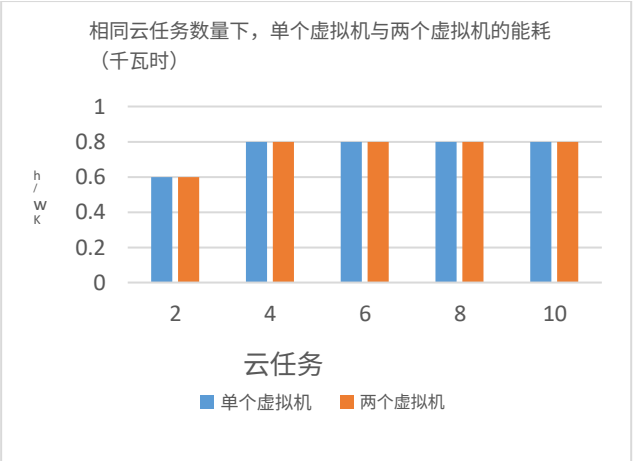

图6：相同云任务数量下，一个虚拟机与两个虚拟机的能耗（千瓦时）

V. 结论

结果表明，如果应用程序包含多个相互独立且可卸载的方法/作业，那么将它们部署在不同的虚拟机上执行更有利，因为这样可以节省执行时间；如果虚拟机发生故障，数据重传率也会更低，从而延长电池续航时间。云能耗不会受到影响，因为能耗主要与真实硬件相关。使用多个虚拟机可能会产生一些额外成本，但应用程序的速度和稳定性会提高。我们提出的方法将人脸识别应用程序的执行时间缩短了27.5%，将蒙太奇应用程序的执行时间缩短了43.43%。

REFERENCES

[1] Hoang T. Dinh、Chonho Lee、Dusit Niyato* 和 Ping Wang，2015。移动云计算综述：架构、应用与方法。《无线通信与移动计算》（WIRELESS COMMUNICATIONS AND MOBILE COMPUTING），Wirel. Commun. Mob. Comput. 2013[2] Pavel Mach，IEEE 会员；Zdenek Becvar，IEEE 会员。《移动边缘计算：架构与计算卸载综述》。2017 年 3 月。[3] Muhammad Shiraz1*、Abdullah Gani1、Raja Wasim Ahmad1、SyedAdeel Ali Shah1、Ahmad Karim1、Zulkanain Abdul Rahma。《面向移动云计算中计算卸载的轻量级分布式框架》。《www.plosone.org》，2014 年 8 月[4] Nan Zhang、Xiaolong Yang*、Min Zhang、Yan Sun。《众筹：移动云计算的一种新型资源协作模式》。《www.plosone.org》，2016 年 12 月 28 日[5] Li Z、Wang C、Xu R。《将计算卸载至手持设备以节省能量：一种分区方案》，载于《2001 年嵌入式系统编译器、架构与综合国际会议论文集》（CASES），2001；238246[6] Hunt GC、Scott ML。《Coign 自动分布式分区系统》，载于《第三届操作系统设计与实现研讨会论文集》（OSDI），1999；187200。[7] Ou S、Yang K、Liotta A、Hu L。《移动无线环境中卸载系统的性能分析》，载于《IEEE 国际通信会议》（ICC）论文集，2007；1821。[8] Kumar K、Lu Y。《面向移动用户的云计算：卸载计算能否节省能量？》IEEE 计算机学会，2010；43(4)。[9] Xian C、Lu YH、Li Z。《面向电池供电系统节能的自适应计算卸载》，载于《并行与分布式系统国际会议》，2009；[10] Yuan Zhang、Hao Liu*、Lei Jiao、Xiaoming Fu。《卸载还是不卸载：一种面向移动云计算的高效代码分区算法》，2012

[11] Khadija Akherfi、Micheal Gerndt、Hamid Harroud, 《面向计算卸载的移动云计算：问题与挑战》, 爱思唯尔, 2018, [12] https://www.statista.com/statistics/274774/forecast-of-mobile-phoneusers- worldwide/[13] https://advizex.com/2016/06/02/3-devices-per-person-not-anymore/
[14] https://www.strategyanalytics.com/strategy-analytics/news/strategyanalytics-press-releases/2017/10/26/smart-Strategy Analytics表示，家庭将推动互联网连接设备达到500亿台
[15] https://www.smartinsights.com/mobile-marketing/mobile-marketinganalytics/mobile-marketing-statistics/[16] Arsalan Liaqat、Faiza Liaqat。新冠肺炎对巴基斯坦互联网、用户体验和经济的影响, 2021年第六届国际多主题信息与通信技术会议。