



北京大学

## 博士研究生综合考试报告

题目： 云计算环境下的人工智能相关  
技术研究

姓 名： 李炎  
学 号： 2001111305  
院 系： 信息科学技术学院  
专 业： 计算机软件与理论  
研究方向： 云计算与普适计算  
导 师： 梅宏

二〇二一年四月



## 版权声明

任何收存和保管本论文各种版本的单位和个人，未经本论文作者同意，不得将本论文转借他人，亦不得随意复制、抄录、拍照或以任何方式传播。否则一旦引起有碍作者著作权之问题，将可能承担法律责任。



## 摘要

21 世纪 10 年代以来, 云计算和人工智能可谓计算机科学领域最为炙手可热的两个研究方向。以虚拟化、资源管理和服务化为代表的云计算核心技术在近十余年里取得了丰硕的研究成果。当前, 云计算已成为工业化社会重要的信息基础设施, 支撑并推动着大数据和人工智能产业的快速发展。与此同时, 人工智能技术在近十年内也相继在计算机视觉、自然语言处理等多个领域取得了突破, “智能化”已然成为现代社会的重要标签之一。

本文将以上述两大技术的蓬勃发展为背景, 研究云计算与人工智能相互影响、相互支持、相辅相成的相关技术。本文将按照如下几章展开。

第一章对相关的技术背景做出介绍。首先对云计算近十年的发展做简要回顾, 并介绍具有代表性的若干核心技术。其次对人工智能近十年的发展做简要概述, 阐述其在计算机视觉、自然语言处理等子领域的代表性科研成果。最后分析二者在交叉领域现有的相关研究, 即利用人工智能技术解决云计算中的资源配置与调度问题, 以及云计算环境中在软件和硬件层面对人工智能应用的支撑情况。

第二章开始探究二者的关系。本章从“服务于云计算系统架构的 AI 技术”这一视角展开, 研究人工智能对云计算的增强技术。云计算本质上是一个巨大的公共资源池, 用户如何在资源池中选取资源, 云厂商如何为不同的用户调度资源, 是云计算领域两个重要的话题。近五年来, 该领域的研究者开始尝试利用一系列基于机器学习的算法来辅助解决上述两个问题, 本章将重点讨论与上述算法相关的研究。

第三章从另一角度, 研究云计算环境中用以支持人工智能的系统软件技术。随着人工智能算法和系统研究的发展, 其训练-测试-部署的流程愈发复杂。很多云厂商基于本地化的云原生技术, 构建了一站式的人工智能开发-部署软件栈供用户使用。同时, 伴随着新的云计算模式(如无服务计算 `serverless`)的产生, 工业界和学术界也在探究将其应用在人工智能领域, 使相关的应用在云上具有更高的弹性。本章将重点讨论与上述话题相关的系统软件研究工作。

第四章讨论近些年来云环境下出现的新硬件, 如 GPU, AI 专用芯片, Intel-SGX 等, 为人工智能技术带来的新的机遇与挑战。硬件的发展(如 GPU, AI 专用芯片等)导致的算力的提升, 也是人工智能近年发展迅速的重要原因之一。同时, 某些硬件层面安全机制(如 Intel-SGX)的产生, 使增强人工智能应用的安全性有的新的潜在解决方案。本章将关注近十年来的新硬件为人工智能带来的新的机遇与挑战。

第五章总结了上述三个方向的重要文献和相关研究团队概况。

第六章介绍了作者下一步的研究计划。

**关键词：**云计算，人工智能，机器学习，新硬件

## 目录

第一章 引言	1
1.1 云计算的基本概念 . . . . .	1
1.1.1 云计算的服务模型 . . . . .	1
第二章 章节	3
第三章 结论和展望	5
参考文献	7
附录 A 附件	9
致谢	11
北京大学学位论文原创性声明和使用授权说明	13





## 第一章 引言

### 1.1 云计算的基本概念

云计算（Cloud Computing），根据美国国家标准技术研究所（NIST）的定义，指的是一种可以实现对可配置计算资源共享池（如网络、服务器、存储、应用和服务）进行随时随地、便捷、按需网络访问模型。这些资源可以迅速地配分配和释放，并且这个过程只需要足最低限度的资源管理工作以及与服务提供商最少的交互。美国亚马逊公司再 2006 年 3 月推出了 Amazon Web Service（AWS），这一事件一般被认为代表着云计算时代的正式开启。经过十几年的发展，凭借着“方便易用、弹性伸缩、按需服务”的技术特征，云计算概念已被广泛接受，云计算产业取得了商业上的巨大成功，云计算平台已成为当今社会的关键信息基础设施，云计算技术为大数据、人工智能的领域的蓬勃发展特工了重要的支撑作用。

#### 1.1.1 云计算的服务模型

NIST 将云计算分为了三种服务模型。

这三种服务模型分别是基础设施即服务（Infrastructure as a Service, IaaS）、平台即服务（Platform as a Service, PaaS）以及软件即服务（Software as a Service, SaaS）。IaaS 为消费者提供用来运行应用的计算资源，包括服务器、存储、网络等。其中虚拟机是云厂商提供的最核心的 IaaS 产品。与 IaaS 只提供最基础的底层资源不同，PaaS 强调为消费者提供云开发环境，除计算资源意外，PaaS 为用户提供中间件开发，运行平台及工具，帮助用户更方便地开、管理、测试和运行应用。SaaS 是厂商提供的基于云的软件，用户无需下载安装软件，通过浏览器即可访问服务。

图1.1给出了云计算三种服务模型的代表产品。亚马逊公司的 AWS EC2，谷歌公司的 Google Compute Engine 以及阿里云公司的 ECS 都是典型的 IaaS 产品。其主要服务形态是云厂商向消费者售卖虚拟机或者裸金属服务器以及连带的网络、存储等附属产品。

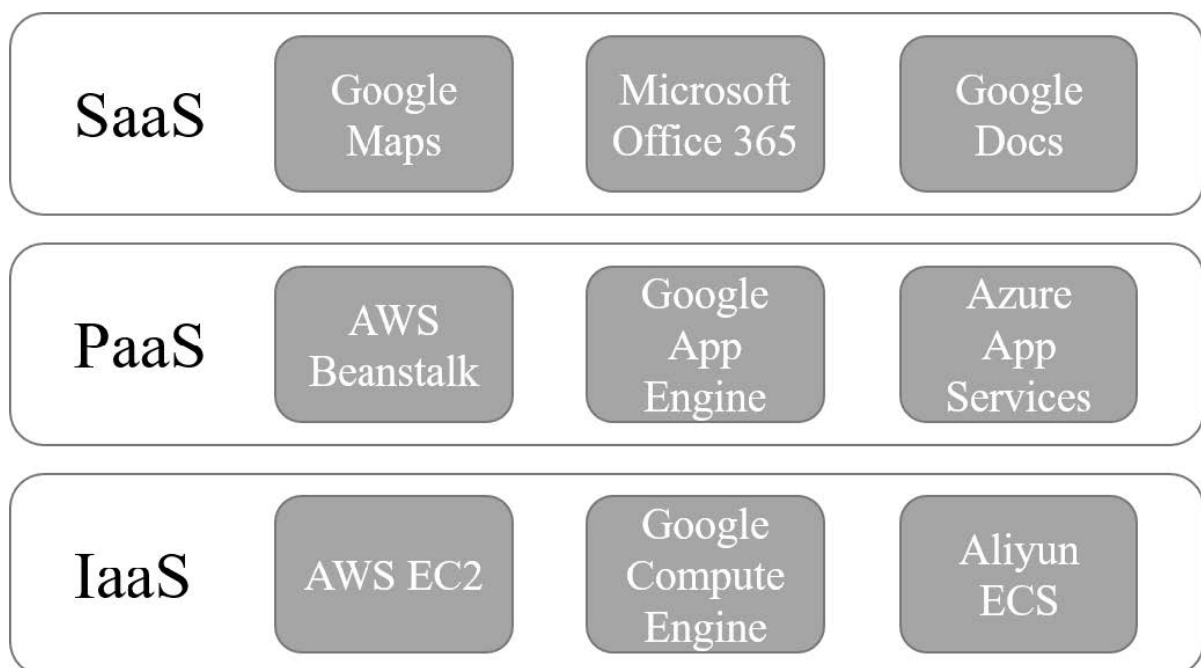


图 1.1 云计算服务模型代表产品

## 第二章 章节

*pkuthss* 文档模版最常见问题:

`\cite`、`\parencite` 和 `\supercite` 三个命令分别产生未格式化的、带方括号的和上标且带方括号的引用标记: 1, [2]<sup>[1,2]</sup>。

若要避免章末空白页, 请在调用 *pkuthss* 文档类时加入 `openany` 选项。

如果编译时不出参考文献, 请参考 `texdoc pkuthss` “问题及其解决”一章“上游宏包可能引起的问题”一节中关于 `biber` 的说明。

因无法假定用户使用哪种方式排版表格, 用户须自行保证表格字号符合学校规定。



## 第三章 结论和展望

*pkuthss* 文档模版最常见问题:

`\cite`、`\parencite` 和 `\supercite` 三个命令分别产生未格式化的、带方括号的和上标且带方括号的引用标记: 1, [2]<sup>[1,2]</sup>。

若要避免章末空白页, 请在调用 *pkuthss* 文档类时加入 `openany` 选项。

如果编译时不出参考文献, 请参考 `texdoc pkuthss` “问题及其解决”一章“上游宏包可能引起的问题”一节中关于 `biber` 的说明。

因无法假定用户使用哪种方式排版表格, 用户须自行保证表格字号符合学校规定。



## 参考文献

- [1] Author. “*Title*” [J]. *Journal*, 2014-04-01.
- [2] 作者。“标题” [J]。期刊，2014-04-01。





## 附录 A 附件

*pkuthss* 文档模版最常见问题:

`\cite`、`\parencite` 和 `\supercite` 三个命令分别产生未格式化的、带方括号的和上标且带方括号的引用标记: 1, [2]<sup>[1,2]</sup>。

若要避免章末空白页, 请在调用 *pkuthss* 文档类时加入 `openany` 选项。

如果编译时不出参考文献, 请参考 `texdoc pkuthss` “问题及其解决”一章“上游宏包可能引起的问题”一节中关于 `biber` 的说明。

因无法假定用户使用哪种方式排版表格, 用户须自行保证表格字号符合学校规定。



## 致谢

*pkuthss* 文档模版最常见问题:

`\cite`、`\parencite` 和 `\supercite` 三个命令分别产生未格式化的、带方括号的和上标且带方括号的引用标记: 1, [2]<sup>[1,2]</sup>。

若要避免章末空白页, 请在调用 *pkuthss* 文档类时加入 `openany` 选项。

如果编译时不出参考文献, 请参考 `texdoc pkuthss` “问题及其解决”一章“上游宏包可能引起的问题”一节中关于 `biber` 的说明。

因无法假定用户使用哪种方式排版表格, 用户须自行保证表格字号符合学校规定。



# 北京大学学位论文原创性声明和使用授权说明

## 原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品或成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本声明的法律结果由本人承担。

论文作者签名：                    日期：      年      月      日

## 学位论文使用授权说明

（必须装订在提交学校图书馆的印刷本）

本人完全了解北京大学关于收集、保存、使用学位论文的规定，即：

- 按照学校要求提交学位论文的印刷本和电子版本；
- 学校有权保存学位论文的印刷本和电子版，并提供目录检索与阅览服务，在校园网上提供服务；
- 学校可以采用影印、缩印、数字化或其它复制手段保存论文；
- 因某种特殊原因须要延迟发布学位论文电子版，授权学校在 ☐ 一年 / ☐ 两年 / ☐ 三年以后在校园网上全文发布。

（保密论文在解密后遵守此规定）

论文作者签名：                    导师签名：                    日期：      年      月      日