

5G 基站节能技术性能评估研究*

张化¹, 李鹏², 鲁娜², 蔡博文¹, 李晶¹

(1. 中国电信股份有限公司研究院, 北京 102209; 2. 中国电信集团有限公司, 北京 100033)

摘要: 相比于已商用的 4G 技术, 5G 需要支持更大的带宽、更多的通道数以满足 ITU 提出的性能需求, 但这也导致了 5G 能耗的显著增加。基站节能技术是通过在时和频域上关闭相应的发射资源来实现基站能耗的有效降低, 为了避免节能技术对网络覆盖和用户体验的影响, 在网络运营过程中需要寻找节能效果和网络性能间的相互平衡。首先分析了 5G 基站能耗模型, 并结合影响能耗的关键因素对 5G 节能技术进行了节能效果评估, 同时分析了相关节能技术对于网络性能的影响, 最后从网络运营的角度介绍了 5G 节能技术的发展趋势和面临的挑战。

关键词: 5G; 基站节能; AAU; BBU

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.200795

中文引用格式: 张化, 李鹏, 鲁娜, 等. 5G 基站节能技术性能评估研究[J]. 电子技术应用, 2020, 46(10): 20-24.

英文引用格式: Zhang Hua, Li Peng, Lu Na, et al. Study of performance evaluation on energy saving for 5G base station[J]. Application of Electronic Technique, 2020, 46(10): 20-24.

Study of performance evaluation on energy saving for 5G base station

Zhang Hua¹, Li Peng², Lu Na², Cai Bowen¹, Li Xiao¹

(1. China Telecom Research Institute, Beijing 102209, China; 2. China Telecom Group Co., Ltd., Beijing 100033, China)

Abstract: Compared to the commercial 4G network, 5G needs to support larger RF bandwidths and more Tx/Rx channels to cater for the target requirement proposed by ITU, however, which results in significantly increased energy consumption for 5G base station. Base station energy-saving technology realizes the effective reduction of base station energy consumption by turning off the corresponding transmission resources in the time and frequency domains. In order to avoid the impact of energy-saving technology on network coverage and user experience, it is necessary to look for the balance between energy-saving effects and network performance during network operation. This article firstly analyzes the energy consumption model of 5G base stations, and evaluates the effect of power saving of 5G energy-saving technologies in combination with key factors affecting energy consumption. It analyzes the impact of related energy-saving technologies on network performance at the same time, and finally introduces the technology development trends and challenges of 5G power saving from the perspective of network operations.

Key words: 5G; energy saving of base station; AAU; BBU

0 引言

相比 4G 技术, 5G 具备更高的传输速率、更大的系统容量、更低的传输时延以及更成熟的节能方式。在人口密集的地区, 5G 能够为用户提供 1 Gb/s 体验速率和 10 Gb/s 峰值速率; 在流量热点区域, 能实现每平方公里 10~100 Tb/s 的流量密度, 降低了网络拥堵和用户体验差的机率。除此之外, 低功耗大连接支持千亿网络连接能力, 低时延高可靠为用户提供毫秒级的端到端时延和接近 100% 的业务可靠性保证。传统的移动通信网络主要面向人与人之间的通信, 5G 则通过支持增强移动带宽(Enhanced Mobile Broadband, eMBB)、海量机器类通信(Massive Machine Type Communication, mMTC)和超高可靠

低时延通信(Ultra Reliable Low Latency Communications, URLLC)三大应用场景, 从而支持万物互联的愿景。

为了支持 ITU 提出的 5G 关键指标, 3GPP 在 5G 时代引入了大规模天线(Massive MIMO)、更大射频带宽等关键技术。大规模天线技术通过在发射器与接收器两者之间布置一定数量的天线系统, 能够在相同的无线信道上同时发送和接收不止一个数据信号的无线网络, 从而增大了数据的流量^[1]。作为 5G 的核心技术之一, 它有效提高了系统的频谱效率和传输可靠性, 也使得支持该项技术的基站设备成为 5G 的主流。但是随着带宽和天线数的增加, 5G 基站功耗远超 4G。据预测, 受限 5G 单站能耗的增加, 通信行业在 2025 年的电力消耗将占到全球电力总量的 20%。对运营商来说, 电费占其总运营成本的比例已经高达 15%, 能耗成本与收入呈剪刀差的

* 基金项目: 国家科技重大专项课题(2017ZX03001015)

5G R16 演进技术 5G R16 Evolution Technology

趋势在加速,因此减少网络每字节的传输能耗是运营商关注的焦点。

LTE 时代有 4 种节能策略在 3GPP 会议中被研究和讨论:(1)将基站侧某些子帧配置成 MBSFN 子帧,在低业务时段对其实行关断来减少基站下行发送时间来实现节能;(2)通过减少特殊时隙中 DwPTS 的长度来进一步减少基站发射的时间;(3)基于下行单个资源单元(Resource Element, RE)功率不变来减少基站发射带宽,从而降低系统整体能耗;(4)通过减少 LTE 下行发射的天线端口数目来降低基站的能耗^[2]。4 种节能策略在低业务时段都可以满足一定的网络设计指标,节能效果差异很大。对于 5G 单小区节能技术来说,符号关断、通道关断、载波关断、深度休眠、PA 调压、降低下行功率发射、调整下行射频带宽以及人工智能(AI)节能技术等,对于网络无线关键性能指标(KPI)影响各不相同,需要测试研究来评估具体性能。

基于以上背景,本文首先从基站能耗构成的角度,分析了耗能大户有源天线单元(Active Antenna Unit, AAU)和射频拉远单元(Remote Radio Unit, RRU)设备原理。随后针对单站节能管理技术(例如符号关断、通断关断、载波关断和深度休眠)进行了介绍和对比。最后对当前节能技术部署所面临的挑战和发展趋势进行了分析。

1 单站能耗模型

基站内部结构包含基带处理单元(Baseband Unit, BBU)、射频单元、功率放大器(Power Amplifier, PA)、主电源、天线接口、散热系统等。5G 基站不仅要支持多种制式还要兼顾多个频段,其典型配置是 1 个 BBU 和 3 个 AAU,如图 1 所示。在 CU-DU-AAU 架构中,CU 和 DU 两个物理设备共同构成 5G 基带单元。AAU 作为 RRU 与天线融合的有源设备,可以通过调整多天线的幅度和

相位,使无线信号能量集中于更窄的波束上进行发射,在频谱效率、覆盖以及抑制干扰方面相较 4G 有着显著提升。

BBU 基带处理单元由电源板、风扇、基带板和主控板组成^[3]。主控板能够处理高层协议,完成与基站系统的同步;还能够实现 BBU 内部的业务和信令交换处理,以及对基站的管理;同时它还具备与核心网的接口及接口协议处理功能。基带板主要完成物理层的处理功能和通用公共无线接口(Common Public Radio Interface, CPRI)接口功能。上行方向,基带板接收 AAU 的天线数据,进行天线的解调成帧;下行方向,基带板由 NG 接口接收来自 5GC 的业务和控制数据,进行解帧和基带数据的调制,然后通过 CPRI 接口将天线数据传输给 AAU。室外 5G 宏基站支持 TDD 频段的 AAU 一般采用 192 个天线单元,支持 64 路发射和接收信号,下行可稳定支持 24 路数据信号同时发送,上行也能同时接收 12 流信号接收。从技术原理和配比数量来看,AAU 的功耗都远远高于 BBU,是 5G 基站能耗主要来源。

基站功耗可分为三大类型:传输功耗、计算功耗和额外功耗。传输功耗由 PA 和射频部分的耗电量构成,主要包括基带信号与无线信号之间的信号转换,以及馈电线的功耗等。计算功耗指 BBU 消耗的电量,例如数字部分处理、与核心网和其他基站间通信等相关功耗。额外功耗则是指从市电引入到基站直流供电的整个转换过程中的消耗。其中传输功耗占比最高。

1.1 AAU 能耗模型

AAU 由时钟模块、光模块、基带和数字中频处理单元、收发信模块、射频电联模块(PA/LNA)、滤波器及天线组成,其原理框图如图 2 所示。光模块接口实现面向 BBU 的接口功能;基带和数字中频模块完成基带的信号处理,以及削峰、PDP(Packet Data Protocol)、数字成型滤波等数字中频处理;收发信模块由收发机和信号放大电路组成,完成收发信机调制解调、DA/AD 转换、混频、T/R 开关等;射频电联模块主要负责射频信号的处理,完成下行信号功率放大功能;滤波器对接收和发送信号进行滤波处理,以满足辐射杂散要求;天线实现空口无线信号的接收和发射。

AAU 的功耗主要分布在功放模块、基带和数字中频处理单元的现场可编程门阵列(Field Programmable Gate Array, FPGA)和收发信机单元(TRX)、PA 等芯片,其他组成模块的功耗水平基本恒定。AAU 功耗的典型占比为功放功耗约占 60%,FPGA 约占 20%,TRX 约占 6%。基带及数字中频的处理能力,随着通道数和处理带宽的增加而提升,收发信机的数量和功耗也大幅增加。其中射频电路 PA 作为关键器件,其功耗与网络负载直接相关,随着功放输出功率的增加而增加。除此之外,温度升高也会导致数字模块功耗增加和 PA 效率的下降。

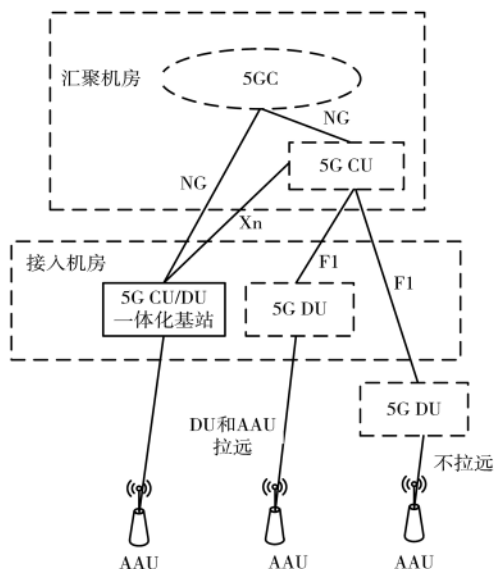


图 1 基站部署方案

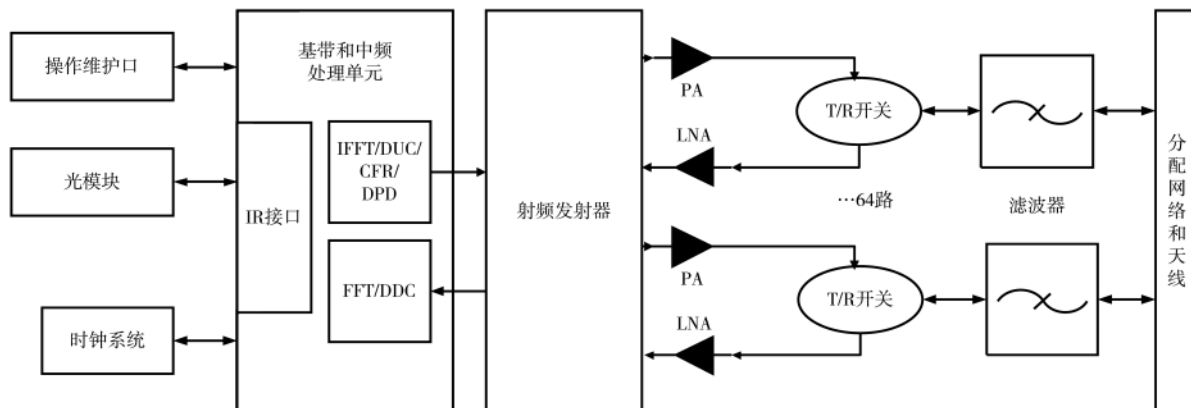


图2 AAU原理框图

为了优化AAU的能耗指标,主流设备商通过采用先进的设计和材料来降低相关部件的功耗水平。通过高集成度专用集成电路(Application Specific Integrated Circuit, ASIC)芯片降低基带和数字中频的功耗。收发信机完成数模转换,对半导体工艺以及电路设计的要求较高,需通过低功耗高集成度器件来降低功耗。PA小型化以后,高效氮化镓(GaN)功放降低功耗是业界技术的发展方向^[4]。

1.2 BBU内部模块与功耗占比

BBU功耗主要来自基带板,在双载波三扇区的配置下,主控板功耗占比10%~15%,基带板功耗占比70%~75%。主控板和基带板的功耗主体为数字处理芯片,包括FPGA和X86主处理器。5G新空口对大带宽和多通道处理的需求,需通过基带处理能力的提升得以满足,因此基带处理芯片的功耗将会大幅提升,BBU降低功耗的主要方案是推进高集成度低功耗ASIC芯片。

2 单站节能管理技术

2.1 符号关断

AAU功耗依据其特点可分为功放功耗和驱动功耗两部分,功放功耗与负载相关,驱动功耗与通道数相关。对于功放功耗,负载越接近满载,工作状态越佳。基于业务调节功能,人为创造负载接近100%的状态能够实现节能,即在低负载的情况下,调度部分时频资源来制造满负载的工作状态,对无业务的符号实施关断就是符号关断节能方案,其原理如图3所示。将时域上的符号汇聚到同一频域位置发送,虽然在频域上增加了负荷且造成一定时延,但这些远不及时域上连续发射信号所致能源消耗。因此将数据优先汇聚到广播或公共信道参考信号所在的时隙上集中发送,增加符号关断机会更为划算。

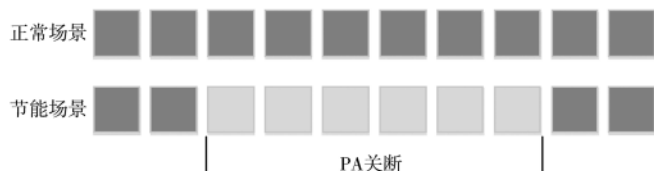


图3 符号关断示意图

此功能由两部分组成:(1)MAC层的集中调度,由BBU侧软件实现。开启节能后,MAC层将时延不敏感的数据缓存,集中到几个符号中发送,并尽量在时域上和不可关闭的公共信息资源重叠。(2)AAU的PA关断,节能效果的优劣取决于可关断的符号数量。上述两部分密切协作才能发挥出最好的效果。

2.2 通道关断

通道关断对于功放功耗的影响并不大,而对驱动功耗较敏感,通道数越少功耗越低。通道关断功能与硬件设计和波束赋形密切相关,分为水平关断、垂直关断和极化关断3种方案,当网络业务比较低时,通过关闭冗余通道降低功耗。通道关断功能可以根据覆盖场景配置为不同方案,例如当AAU覆盖道路的时候,建议开启水平关断,此时广播波束赋形因子无须调整;如果AAU覆盖高层楼宇,建议开启垂直关断,此时广播波束赋形因子需要配置新的参数。通道关断原理图如图4所示,其中水平关断和垂直关断,涉及信号功率与赋型增益,性能损失3~6dB,极化关断性能损耗3dB左右。极化关断方案最简单,支持关闭一个极化方向,此时所有通道相关的中频FPGA都还在工作,这部分电路不参与节能。

为了保证覆盖和业务不受影响,物理层支持SSB发射功率提升3~6dB的补偿措施,保证小区远点用户可以正常接收小区广播,同时还对相应的物理下行共享信道(Physical Downlink Shared Channel, PDSCH)发射功率支持等比下降,保证所有资源均可用,或限制可用资源块(Resource Block, RB)数提高功率密度等方案。

通道关断通过实时监测上下行业务量,当业务量低于阈值,将触发执行关闭部分射频通道以节省能耗,其余射频通道正常工作,这里主要是指关闭对应通道的PA,以及PA对应的TRX和DPD。

2.3 载波关断

载波关断技术适用于多载波站型,在GSM、UMTS、LTE和NR这4种制式的载波下区分容量层和基础覆盖

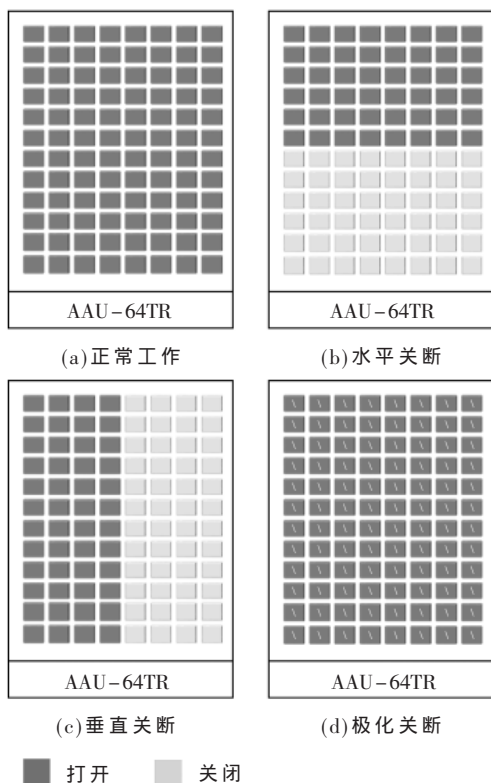


图4 通道关断示意图

层,实时监测各层的业务量且智能关断低负荷量的载波,可以有效地节约能耗^[4]。

在双连接场景下,通常NR是容量层,LTE作为基础覆盖层。在低话务时段关闭NR载波,同时将流量转移到LTE上;当LTE的业务量超过门限值,再智能唤醒NR小区。载波关断恢复时间在分钟级,关闭的器件为PA、TRX、DPD芯片和部分数字基带。

2.4 深度休眠

基站深度休眠功能主要应用于室分系统,特别是商场、地铁等典型潮汐场景^[5]。开启节能功能,判断室内覆盖分布式皮站(Pico Radio Remote Unit, pRRU)下是否有业务以及终端驻留,如果没有用户,BBU就使之进入深度休眠态,即直接给pRRU下电,数字器件大部分功能关闭不再提供服务,如图5所示。设定深度休眠的启动

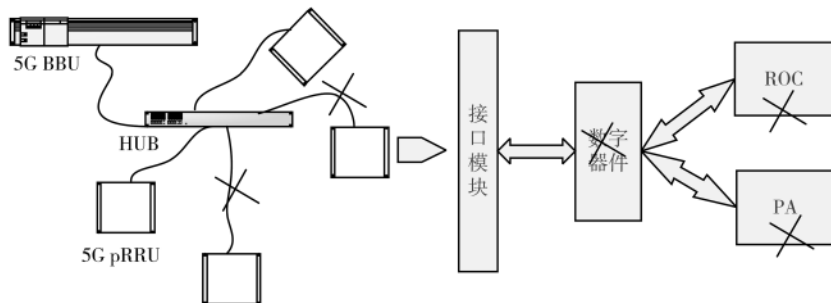


图5 室分系统深度休眠机制

时间、停止时间以及检测周期来检测小区是否有终端驻留和发起业务是该节能方式的重要指标。如果达到节能启动时间,pRRU下无业务且无终端驻留,则启动pRRU掉电或低功率运行;如果有业务或有终端驻留,则下一个周期再执行检测;如果达到节能停止时间点,则BBU触发pRRU恢复到正常工作状态。通常情况下,基站从休眠状态恢复到正常工作态的时间应小于3 min,每关断一个pRRU,能降低约60 W的功耗。

宏站深度休眠BBU根据业务需求动态关闭AAU侧所有载波,AAU关闭功放、低噪放等模块,仅保留OM通道。开启深度休眠功能,AAU功耗可降至200 W左右,从休眠状态恢复到正常工作态的时间小于5 min。

2.5 性能评估

上述4种节能方案应用场景不同,节能效果以及对小区的覆盖、容量和系统性能指标的影响也不尽相同。符号关断方案的应用场景最广,对基站BBU的MAC层调度和AAU功放控制有影响,对覆盖及容量的影响极小;通道关断多用于低负荷多通道场景,对BBU物理层算法、AAU收发信机、中频FPGA和功放有影响,基站覆盖有所收缩;载波关断适用于多载波覆盖小区,该方案影响AAU的功放且会对小区容量产生影响;深度休眠技术可应用于无用户区域,涉及关闭AAU可关闭所有器件,仅保留唤醒最小单元,会对整个覆盖区域内的信号产生影响。4种方案最大节能效果对比图如图6所示。

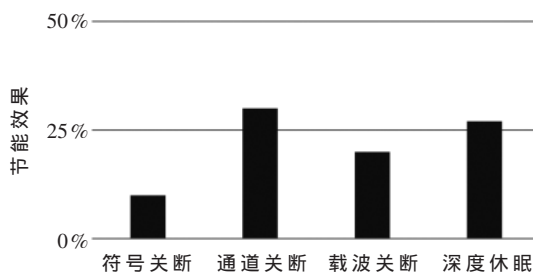


图6 节能效果对比图

3 基于云网融合的5G网络节能方案

基于4G/5G协同的节能方案:5G多制式网络的复杂情况,使得网络间协同实现节能成为人们关注的问题。针对4G/5G同覆盖的场景,应基于时间和业务负载情况,考虑将NR小区业务迁移到LTE小区来降低整网能耗。在网络重叠覆盖区域下,NR与4G协作节能,根据业务量高低智能关断NR制式的载波,以实现节能减排。基于软件的各种节能技术各有优劣,需要不断对算法进行优化设计来提高性能,各方案的节能效果以及对性能损失的影响,仍需要通过进一步测试来评估。

基于网管 AI 的节能方案:传统的节能技术依赖于人工设定好的门限值,节能效果有限。随着人工智能(Artificial intelligence, AI)的发展,通过 AI 模型的计算对基站业务量进行预测及参数训练,在保证网络 KPI 的前提下,对基站设备上报网关平台的数据进行分析和策略生成,并且触发基站进入节能状态,同时通过不断训练修正模型来下发最佳节能策略,能够让网络达到更好的节能效果^[6]。

无线网节能新技术:绿色无线通信已是 5G 行业发展的趋势,能源效率(数据速率与总消耗功率之比)是关键性能指标。新的节能功能,在低负载情况下删除始终在线的参考信号,增大广播同步信号间隔和基站休眠机制等已经被引入 3GPP 最新规范版本中^[7]。

4 结束语

5G 基站节能的真正实现除了各软件节能技术的协同配合,系统硬件和芯片的优化也是重要考量,加之 AI 技术对各参数的智能预测和优化,5G 网络一定会是高效能的绿色网络。

参考文献

- [1] 徐婧.5G 通信技术以及其应用趋势[J].卫星电视与宽带多媒体,2002(3):21-22.

- [2] 许森,凌泽军,刘晴,等.LTE 基站内节能方案的性能评估[C].2014 全国无线及移动通信学术大会论文集,2014.
- [3] 吕婷,张猛,曹亘,等.5G 基站节能技术研究[J].邮电设计技术,2020(5):46-50.
- [4] 黄俊,田森,张诗壮.5G-NR 基站软节能技术[J].中兴通讯技术,2019,25(6):19-23.
- [5] 邢剑卿.NR 基站智能节能技术应用研究[J].广东通信技术,2020,40(5):46-49.
- [6] 张志荣,许晓航,朱雪田,等.基于 AI 的 5G 基站节能技术研究[J].电子技术应用,2019,45(10):1-4.
- [7] CHIH-LIN I, Han Shuangfeng, Bian Sen. Energy-efficient 5G for a greener future[J]. Nature Electronics, 2020, 3: 182-184.

(收稿日期:2020-07-31)

作者简介:

张化(1994-),女,硕士,助理工程师,主要研究方向:移动通信网络。

李鹏(1976-),男,硕士,工程师,主要研究方向:移动通信网络。

鲁娜(1982-),女,硕士,高级工程师,主要研究方向:移动通信和无线网络技术。



月刊 定价:26 元/期

ISSN 2096-5133
刊号: CN10-1543/TP

广告

欢迎订阅, 2021年度 《信息技术与网络安全》

中国科技期刊数据库来源期刊

主管单位: 中国电子信息产业集团有限公司

主办单位: 华北计算机系统工程研究所

(中国电子信息产业集团有限公司第六研究所)

编辑部电话: (010) 66608908 66608981

电话订阅: (010) 82306084

邮局订阅: 邮发代号 82-417



版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所