

导读:随着 5G、云计算的蓬勃发展,边缘计算成了学术圈、工业界新的研究热点。边缘计算由于接近数据接收源头,具备分布式、低时延等特点,并且可高效处理用户数据、缓解由于数据传输带来的流量压力,最终提升数据处理的效率及安全性。边缘计算也成为了国家“新基建”七大领域中“5G 基建”、“人工智能与工业互联网”的关键支撑技术。2020 年,工信部公布由工信部、应急管理部印发的《“工业互联网+安全生产”行动计划(2021-2023 年)》,其中提出推进边缘云和 5G+边缘计算能力建设,下沉计算能力,实现精准预测、智能预警和超前预警。

本专栏正是在上述背景的基础上展开,着重探讨边缘计算及其在工业等领域的应用情况。本专栏从投稿论文中精选了《面向工业互联网 OLT 融合边缘计算的探索》,该论文探讨了边缘计算在工业互联网的典型 3 种技术方案,并结合工厂的不同场景进行了适应性分析。考虑到工业领域计算系统所部署环境条件的特殊性,专栏选择了《雨燕敏捷智能计算系统及应用研究》这篇文章。其探讨了边缘计算的多层架构,并以风能发电为场景,分析了恶劣条件下的边缘计算适配问题。此外,考虑到边缘计算下沉计算能力,专栏还选取了《面向边缘计算的电力通信网告警归并技术研究》、《面向电力通信网边缘计算的缺陷诊断研究》等两篇文章,探讨了边缘计算的典型应用场景,即边缘提供计算能力、云中心进行协调调度的云-边协同应用。《能源互联网中需求侧资源参与电网控制的边云协同技术研究》,则以能源互联网为例进行了云边协同典型应用的论述。以上五篇文章构成了本期专栏的主要内容,从架构-技术-应用三个层面为读者全面阐述了边缘计算及其在工业领域应用的概念、架构、机理与应用等。期待读者在阅读上述论文的时候可以抓住三个层面的脉络,全面理解边缘计算的内涵。



特约主编:林荣恒,北京邮电大学网络与交换技术国家重点实验室副教授博导,中国计算机学会服务计算专委会专委委员。长期从事云计算、边缘计算与大数据等的研究,研究方向集中在工业大数据、边缘智能等方面,先后完成 30 余项国家及省部级项目。目前,从事多个物联网、大数据相关的产学研项目。长期担任《Transactions on Service Computing》、《通信学报》等国内外知名期刊的审稿人。作为教师,先后获得北京邮电大学优秀研究生授课教师、北京邮电大学教学成果奖,编著的教材《软件体系结构》先后被多个国内高校作为本科或研究生指定教材。

## 面向工业互联网 OLT 融合边缘计算的探索

甘雨莹,孙 慧,梁真铭

(中国电信股份有限公司上海研究院,上海 210043)

摘要:工业互联网现场存在大量异构设备和网络带来的复杂性以及工业生产的实时性和可靠性问题,如果数据分析和控制逻辑全部在云端实现,难以满足工业场景的网络需求,而通过边缘计算在服务实时性和可靠性方面能够满足工业互联网的发展需求。提出了面向工业互联网的 OLT 融合边缘计算三种技术方案,主要通过边缘计算和 OLT 的业务连接、路由转发以及管理功能等方面进行了分析。对比了具有增值功能的 OLT 内置型边缘计算、具有通用功能的 OLT 内置型边缘计算以及 OLT 外置型边缘计算三种方案的差异性,根据其差异性提出了适用于不同工厂的场景需求。

关键词:边缘计算;OLT;内置资源板卡

中图分类号:TN915

文献标识码:A

DOI:10.16157/j.issn.0258-7998.201072

中文引用格式:甘雨莹,孙慧,梁真铭.面向工业互联网 OLT 融合边缘计算的探索[J].电子技术应用,2021,47(4):5-8,23.

英文引用格式:Gan Yuying, Sun Hui, Liang Zhenming. Exploration of OLT converged edge computing for industrial internet[J]. Application of Electronic Technique, 2021, 47(4): 5-8, 23.

Exploration of OLT converged edge computing for industrial internet

Gan Yuying ,Sun Hui ,Liang Zhenming

(Chinatelecom Corporation Shanghai Research Institute ,Shanghai 210043 ,China)

**Abstract:** The industrial internet site has the complexity brought by a large number of heterogeneous devices and networks, as well as the real-time and reliability problems of industrial production. If data analysis and control logic are all implemented in the cloud, it is difficult to meet the network requirements of industrial scenarios. However, edge computing can meet the development needs of the industrial internet in terms of service real-time and reliability. This paper proposes three technical solutions for optical line terminal(OLT) converged edge computing for industrial internet,mainly through the edge computing and OLT business connection, route forwarding and management functions and other aspects of the analysis. Comparing the differences among the three solutions of OLT built-in edge computing with value-added functions, OLT built-in edge computing with general functions, and OLT external edge computing, according to their differences, the scene requirements applicable to different factories are proposed.

**Key words:** edge computing;optical line termina;built-in resource board

0 引言

随着工业互联网的快速发展,工业场景中对边缘计算的应用需求越来越多,其中包括数据预处理、低时延、多接入以及安全和隐私等。这也导致数据传送量不断增加,海量终端接入及数据传输、处理、存储的需求极大地增加了网络负荷,并对网络带宽提出了更高的要求。表1列举了一些工业典型场景对边缘计算的需求。

表1 典型工业场景对边缘计算的需求

业务类型	典型场景	对边缘计算的需求
大带宽无时延要求	AGV 小车	存储、计算
大带宽低时延	工厂 360°VR、视频监控	本地分流
极低时延高可靠	智能辅助驾驶、生产控制	低时延、计算
大连接	传感器数据采集、工厂环境监测	多接入,数据不出厂
数据本地化	生产数据、隐私数据	数据不出厂

随着工业 PON 技术的不断成熟,在性能、成本、可靠性和可管控等方面均具有了优势。工业 PON 已成为工厂内连接的全新可选方案。相比于普通 PON 技术,工业 PON 在网络性能(如时延、抖动、QoS 等),网络安全性(如数据安全、用户认证等)和接口多样性等方面具有更高的要求。OLT 融合边缘计算在工业 PON 领域的应用可以在边缘完成数据采集,保证数据的安全性,并且通过短距数据分析和近实时操作下发,满足工业领域低时延应用的要求。

1 OLT 融合边缘计算的技术方案

1.1 OLT 内置型边缘计算

1.1.1 具有增值功能的 OLT 内置型边缘计算

OLT 内置型边缘计算业务板卡提供增值功能的场景下,内置型边缘计算业务板卡不具有独立管理能力,与普通 OLT 板卡一样,通过 OLT 内部的控制通道和转发通道进行通信,设备外部不可见。主控板、PON 板卡、

ETH 板卡的 CPU 之间采用控制通道进行通信,转发面之间通过交换矩阵、线卡 NP、内置型边缘计算业务板卡服务器之间通过转发通道进行通信。

如图 1 所示,OLT 的主控板由控制 CPU 和交换芯片构成,通过以太网/ATM 交换。线卡由控制 CPU 和 MAC 芯片及 NP/ASIC 芯片构成。主控板的控制 CPU 和线卡的控制 CPU 之间的通信通道叫控制通道,而主控板交换芯片和线卡 MAC/NP/ASIC 芯片之间的通信通道叫转发通道。控制通道承载控制信息,转发通道转发用户数据。内置型边缘计算业务板卡用于 OLT 增值功能时,其控制 CPU 与主控板的控制 CPU 通过控制通道通信,其处理业务的服务器相当于其他板卡中的 MAC/NP/ASIC 芯片,与主控交换芯片通过转发通道联系。控制通道和转发通道都是通过以太网模块实现板间连接,控制通道一般采用简单的二层以太网交换实现,转发通道可以是以太网技术。

当工厂终端设备与内置型边缘计算业务板卡中的应用在同一个 VLAN 内,则 OLT 只需在 PON 板卡 NP/ASIC 芯片和内置型边缘计算业务板卡的以太网模块之间配置相同二层 VLAN,如图 2 所示。

当工厂终端设备与内置型边缘计算业务板卡中的应用不在同一个 VLAN 内,则工厂终端设备与边缘计算业务板卡中的应用之间需要跨 VLAN 的三层路由通信,而三层路由通信一般由 OLT 上层设备(如 BRAS)提供。不同二层 VLAN 连接如图 3 所示。

1.1.2 具有通用功能的 OLT 内置型边缘计算

OLT 内置型边缘计算业务板卡提供通用功能的场景下,通过内置以太网模块与 OLT 背板连接,业务连接同增值功能相似,内置型边缘计算业务板卡具有独立管理能力。

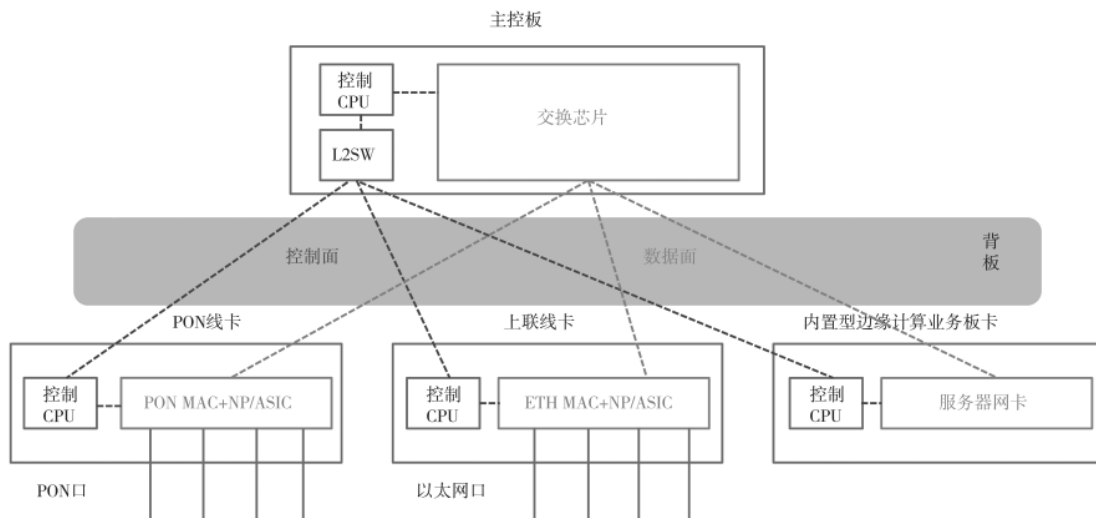


图 1 OLT 内置型边缘计算方案(增值功能)

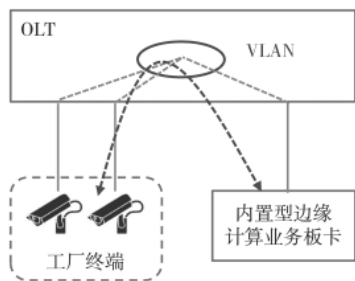


图 2 相同二层 VLAN 连接

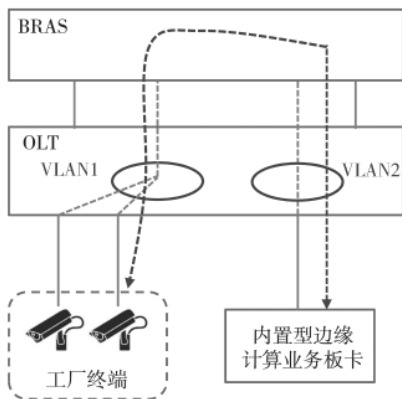


图 3 不同二层 VLAN 连接

OLT 作为网络设备由 EMS 管理,内置型边缘计算业务板卡具备面板独立的网络接口连接 PIM 管理系统,通过 PIM 纳入符合 ETSI NFVI 的整体管理体系,实现管理配置的自动化,如图 4 所示。

硬件资源管理(PIM),管理功能如下:

(1)配置管理功能:①内置型边缘计算业务板卡上电、下电、重启操作;②基本输入输出系统(BIOS)配置,满足用户对系统从不同介质启动的需求;③基板管理控制器(BMC)配置。



图 4 独立网络接口连接 PIM 管理系统

(2)告警管理功能:告警解析、当前告警、历史告警、告警确认、告警清除、告警导出、告警屏蔽、事件浏览、远程通知等。

(3)性能管理功能:提供测量任务和门限任务的管理功能、提供性能指标数据的实时监测功能、提供监视指标的历史数据查询功能等。

上层软件管理由 VNF/APP 的相应管理系统承担。

OLT 内置型边缘计算采用内置板卡的形式,支持工业互联网大视频、大流量、低时延等典型应用场景,其价值体现在:(1)利用 PON 接入的高带宽、就近服务、低时延、低丢包等特性,可以有效提升视频类网络质量;其次是有有效卸载流量,节约上层网络带宽,降低网络开销;(2)在无需改造机房的条件下按需引入边缘计算存储资源,有效利用 OLT 已有资源,无需额外的机房占用空间,支撑接入网络 NFV 化和高带宽边缘计算业务的开展。

## 1.2 OLT 外置型边缘计算

工厂中设备接入到工业网关,工业网关上行流量经过 OLT 上联口,根据 VLAN ID 识别业务流,通过 L2 转发到交换机,交换机转换为 L3 路由至对应服务器。下行流量由服务器转发给交换机,交换机根据终端目的 IP 路由至特定 LAN 口,在 LAN 口封装为 L2 后转发给 OLT,如图 5 所示。

(1)路由转发

边缘计算平台与 APP 之间:①边缘计算平台基于转

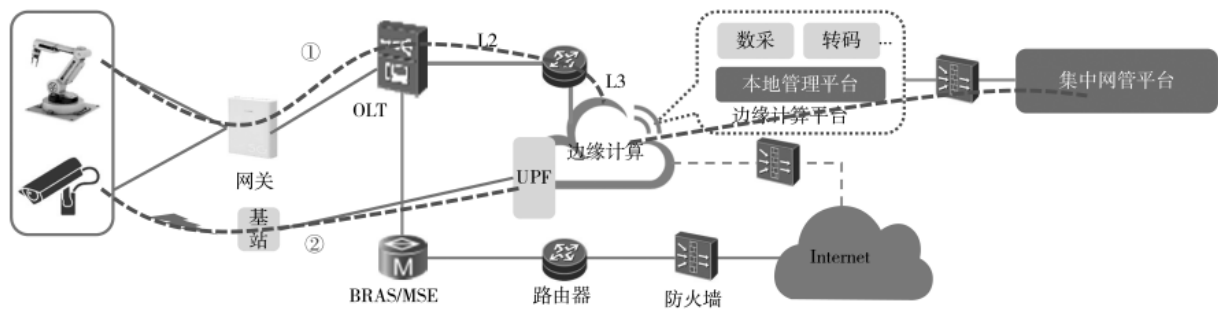


图5 OLT 外置型边缘计算方案

发规则向转发平面下发指令；②数据转发平面并在各种应用、服务和网络之间进行流量的路由；③边缘计算平台支持DNS代理服务器的配置，将数据流量重定向到对应的应用和服务。

(2)管理功能

边缘计算平台包括数采、转码等APP和本地管理平台等，对工厂现场网络进行管理，当本地无法处理时，可以通过集中网管。

本地管理平台：①APP生命周期管理，包括边缘应用程序的创建和终止；②APP规则和需求管理，包括认证、流量规则、DNS配置和冲突协调等。

集中网管平台：①掌控边缘计算网络的资源和容量，包括所有已经部署好的边缘计算平台和服务、可用资源、已经被实例化的应用以及网络的拓扑等；②工厂需要进行的边缘计算平台切换。

OLT外置型边缘计算与工厂5G网络UPF实现固移融合，统一承载工业场景的移动接入、Wi-Fi接入以及固网接入。通过云边协同的设备接入管理，在云端能够对云直连接入或通过边缘计算节点接入的设备进行统一管理，便于对工厂大范围内的设备统一监管掌控。

2 OLT 融合边缘计算方案比较

目前，工厂在实时业务、数据聚合、数据本地化等需求愈加迫切，针对工厂的典型应用场景，如工业视觉检测、机器人巡逻车等，在OLT融合边缘计算方案中进行探索。

工业视觉检测：基于内置型边缘计算实现对生产车间内各种设备质量的自动化检测，检测数据回传到边缘计算进行实时分析。该方案需在有限的板卡内引入更强的图形计算能力。

机器人巡逻厂区：基于5G技术与外置边缘计算融合，实现对园区巡逻机器人的控制、视频回传。该方案由于巡逻区域在室外，需通过5G网络与边缘计算的结合，实时进行监控危险行为分析、安全监测。

通过对以上方案的分析，从适用工厂场景情况、优缺点几个维度进行比较。如表2所示，工厂可根据对边缘计算不同的场景需求选择不同的方案。

3 结论

边缘计算的兴起和接入网络的虚拟化潮流，使得运营商在接入机房引入计算存储设施日益迫切。通过OLT融合边缘计算业务板卡满足边缘计算和网络虚拟化对计算存储基础设施的需求。利用PON接入和边缘计算技术的高带宽、就近服务、低时延以及低丢包等特性，有效支撑工业互联本地业务的智能化处理，满足网络的实时需求。工业互联网领域典型行业由于数字化、智能化水平不一，对边缘计算的需求也不尽相同，还需芯片、模组、通信技术、网络、系统平台等整个边缘计算生态链的伙伴们共同推动工业互联网的发展。

参考文献

[1] 中兴通讯股份有限公司. OLT 内置刀片技术白皮书[Z]. 2019.

表2 OLT 融合边缘计算三种方案的比较

方案	原理	场景	优点	缺点
方案一 具有增值功能的 OLT 内置型边缘计算	在 OLT 内置板卡，包含边缘计算能力	工厂对边缘计算的场景需求单一（≤3 个场景）	(1)OLT 功能强、设备单一 (2)只需部署和维护一个设备	(1)边缘计算业务场景有局限性 (2)需要开发内置板卡
方案二 具有通用功能的 OLT 内置型边缘计算	在 OLT 内置板卡，包含边缘计算能力	工厂对边缘计算的场景需求多样化（>3 个场景）	OLT 功能强，设备单一	(1)需要开发内置板卡 (2)需要考虑边缘计算和 OLT 协同管理问题
方案三 OLT 外置型边缘计算	两者独立，OLT 经交换机做二层到三层的转化接边缘计算。所有处理都在边缘计算上，基于二层分流	工厂对边缘计算的场景需求多样化、工厂设备在室外	(1)不需要对 OLT 进行改造 (2)便于固移融合，UPF 可以直接访问 MEC (3)便于云边协同	需要部署和维护两个设备

(下转第 23 页)



- [25] RIVERA J, NASIRIFARD P, LEIMHOFER J, et al. Automatic generation of real power transmission grid models from crowdsourced data[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2019, 10(5): 5436–5448.
- [26] SHI Z, ZENG Y, SUN L. Operation and maintenance analysis for power communication networks based on big data[C]. 2016 China International Conference on Electricity Distribution (CICED), 2016.

(上接第 8 页)

- [2] ETSI. GS MEC 003. Mobile Edge Computing (MEC); framework and reference architecture[S]. 2016.
- [3] ETSI. GR MEC 004. Mobile Edge Computing (MEC); service scenarios[S]. 2015.
- [4] ETSI. GR MEC 010–2. Mobile Edge Computing (MEC); Part 2: Application lifecycle, rules and requirements management[S]. 2017.
- [5] ETSI. GR MEC 017. Mobile Edge Computing (MEC); Deployment of mobile edge computing in an NFV environment[S]. 2018.
- [6] 沈彬, 李海花, 高腾. 工业互联网技术洞察[J]. 中兴通讯技术, 2020, 26(6): 34–37.
- [7] 李庆, 刘金娣, 李栋. 面向边缘计算的工业互联网工厂内网络架构及关键技术探究[J]. 电信科学, 2019, 35(S2): 160–168.
- [8] 钮丹, 乐兰娟, 李欣, 等. 边缘计算在工业互联网平台建设中的应用探讨[C]. 中国造船工程学会会议论文集, 2019.
- [9] 穆域博, 柴瑶琳, 宋平, 等. 边缘计算发展现状及标准体系研究[J]. 信息通信技术, 2020, 14(4): 23–30.
- [10] 马吉军, 贾雪琴, 寿颜波, 等. 基于边缘计算的工业数据

(上接第 16 页)

- Service and Applications (BigDataService). IEEE, 2016.
- [9] SHAO Z, WANG L, ZHANG H. A fault line selection method for small current grounding system based on big data[C]. 2016 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC). IEEE, 2016.
- [10] KNORR E, GRUMAN G. What cloud computing really means[J]. InfoWorld, 2008(7): 20.
- [11] DENG R, LU R, LAI C, et al. Optimal workload allocation in fog-cloud computing toward balanced delay and power consumption[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2017, 3(6): 1171–1181.
- [12] ZHAO Z M, LIU F, CAI Z P, et al. Edge computing: platforms, applications and challenges[J]. Computer Research and Development, 2018, 55(2): 327–337.
- [13] HAMEED Z, HONG Y S, CHO Y M, et al. Condition monitoring and fault detection of wind turbines and related

(收稿日期: 2020–12–31)

#### 作者简介:

李霁轩(1991–), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 边缘计算、电力通信调度管理、人工智能无监督学习。

吴子辰(1988–), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向: 边缘计算, 电力通信。

郭焘(1988–), 男, 工程师, 工程硕士, 主要研究方向: 电力通信。

采集[J]. 信息技术与网络安全, 2018, 37(4): 91–93.

- [11] 路璐. 工业互联网中数据集成和边缘处理技术国际态势分析[J]. 高科技与产业化, 2020(2): 42–48.
- [12] 孙念, 傅为. 对 5G 工业互联网的边缘计算技术架构与应用探讨[J]. 数字通信世界, 2020(3): 211, 213.
- [13] 黄智国, 李宏杰, 钱岭, 等. 一种云边协同的工业应用云化方案[J]. 电信科学, 2019, 35(S2): 84–88.
- [14] 李辉, 李秀华, 熊庆宇, 等. 边缘计算助力工业互联网: 架构、应用与挑战[J]. 计算机科学, 2021, 48(1): 1–10.
- [15] 刘炜, 张为等. 基于边缘智能 2.0 的工业互联网平台架构及应用[J]. 光通信研究, 2020.
- [16] 乔爱锋. 边缘计算多业务融合架构及关键技术[J]. 通信与信息技术, 2020(6): 27–28, 33.

(收稿日期: 2020–11–03)

#### 作者简介:

甘雨莹(1991–), 通信作者, 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向: MEC 关键技术的研究, E-mail: ganyy@chinatelecom.cn.

孙慧(1986–), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 工业互联网的工业 PON、MEC 和 5G 典型行业应用。

梁真铭(1993–), 男, 本科, 工程师, 主要研究方向: 接入网网络重构。

algorithms: a review[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2009, 13(1): 1–39.

- [14] LIU W Y, TANG B P, HAN J G, et al. The structure healthy condition monitoring and fault diagnosis methods in wind turbines: a review[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015, 44: 466–472.
- [15] 任玉亭. 振动监测技术在风力发电机组的应用[J]. 内蒙古电力技术, 2010, 28(2): 8–12.
- [16] DC 轴承故障检测数据集[EB/OL]. http://www.js.dclab.run/v2/cmptDetail.html?id=248.

(收稿日期: 2021–01–25)

#### 作者简介:

方科(1979–), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向: 信号处理及敏捷智能计算。

宁琨(1985–), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向: 智慧风电应用。

潘灵(1981–), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向: 嵌入式平台软件、分布式计算框架。

## 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