

分布式学习 workflow：融合信息技术与实体校园的操作系统

顾学雍¹，王德宇¹，周硕彦²，杨富方¹，卢达溶¹
清华大学¹，北京大学²，北京，100084

摘要

本文提出了一种分布式的学习 workflow 系统，探索如何将不断演进的信息技术与实体校园的教学活动相结合。本文以 2013 年 1 月清华大学“跨学科系统集成设计挑战”等课程为例，从操作系统的角度分析了学习角色定位和权限管理、工作进程管理和学习任务的输入与产出。这一 workflow 概念的应用，旨在加快阶段性学习成果产生的速度、保证学习活动的规律性和帮助学生掌握一种系统化的全局意识。在信息技术不断更新的今天，借鉴信息技术中的分布式系统概念，并采取一种 workflow 的设计思路，可以将信息技术与实体教学机构融合，为未来学校的运行模式设计一种新的思路。

By proposing a distributed learning workflow system (DLWS), the article discusses how to integrate various emerging ICT technologies into on-campus learning activities. The article takes the course of 'Trans-disciplinary System Integration Design' first initiated at Tsinghua University, as an example. This example illustrates some key elements of orchestrating learning activities using ideas derived from the design principles of modern distributed operating systems. The article discusses role-based resource allocation, scheduling, as well as system I/O of the learning system. It is expected that by applying this DLWS methodology, the process of learning could be accelerated and carried out with rigor. Using an operating system point of view, students and instructors would adopt a systematic way of learning activity design. As information and communication technologies keep improving, it would be easier to integrate the concept of distributed operation system with the idea of workflow design. In the future, this would serve as a new paradigm to learning activity design in modern universities.

关键词：学习流程设计，分布式 workflow，信息技术应用，挑战式教学，极限学习

1. 现状与契机

不断更新的信息网络技术，以及新的知识内容发布方式，已经推动了一股崭新的学习模式的风潮，引领全球教育的各种机构，开始提出了对传统大学教学方式的公开挑战，甚至在社会上引发了未来学校存在合理性的争论 [1, 2]。例如，麻省理工学院与哈佛大学所共同开发的 edX、斯坦福大学等校建立的 Coursera.ORG 网站、TED 的免费名人讲堂、联合国教科文组织所倡议的开放教育资源 (Open Educational Resources, OER) 等，已经对学生吸收知识内容的来源产生了巨变性的冲击。另外，随着网络游戏和社群网的盛行，许多学生投入了大量的精力参与网络游戏，以社群网和同侪沟通并自主地提供内容和协助。已经有教育专家与知名的研究机构，尝试把学习活动与社群及网路游戏化过程相结合，以提升学生的学习兴趣、动力，甚至效果。如今，不会使用信息工具，甚至已经成为了学习过程或是社交行为上的一种障碍。

在知识内容的来源发生巨变的现实下，教育研究人员必须思考如何有效地运用各类快速演化的信息技术，将一个以教师授课为主体的集中式教学过程，过渡到一个能够适应学生个性化特长的高强度学习引导过程，从而进一步提升学生的学习效能。为此，需要将丰富的开放而高效能的知识，以及频繁的同侪互动精准地整合到学习过程中，形成“分布式学习工作流”，进而规划出一个对于分布在不同地点、不同时段及不同类型的学习过程，以规模化且个性化地服务各类需求的学校运行方式，使学习活动发挥最大的综合效能。此种运用信息技术有效达成个性化服务的“大量客制化” (Mass Customization) 理念，近年来于制造业和服务业中已有很多成功模式，但在教育领域，因材施教的理念仍与规模化运作方式存在相当大的矛盾。

一个理想的教育服务机构可以依照分布式工作流的理念，超越校园空间与专业知识体系的界限来调度教学资源，发挥实体校园的人文环境以及各种硬件设施与信息技术融合后所产生的“涌现综效”(Emergent Behavior) [3]。本研究迁移信息产业所发展出来的分布式操作系统 (Distributed Operating System) 的设计理念，设计出网络化学习工作流的平台架构，整合包含实体课堂在内的学习过程，发挥实体与虚拟学校的互补优势，建构出一个同时具有学习和知识创造的现代甚至是未来学校运作模式，为教育服务机构的设计者提供参考。

为了凸显将各地及不同专业的教学资源统合分布于分布式学习工作流的可行性和效能，本研究发展了一套突破传统思维限制的教学活动组织模式，称之为“极限学习过程” (eXtreme Learning Process)，其特色可以总结为以下三点：

1. 突破教学角色的界限：组织学生团队与教师在课前共同设计学习活动；
2. 突破空间的界限：通过网络采纳分布各地的信息内容、专家咨询服务等；
3. 超越专业的界限：让知识的应用领域尽可能地跨越传统专业的界限。

本文先简短地介绍多个运作方案的活动内容，用以展示此工作模式结合现有教育体制的可行性。接着针对“分布式工作流”的三个设计要素，利用“跨学科系统集成设计挑战”课程的活动组织开展作为实例，解释其工作机理。之后，本文会分析“分布式学习工作流”在一般教育机构实行的门槛，以及经验累积过程中可能发生的障碍。在本文结尾，我们将阐述“分布式学习工作流”的未来展望。

2. 分布式学习工作流的必要性

工作流一词，经常使用于信息技术在媒体出版行业的应用。凡是需要协同多个不同单位，按照规范化的既定程序，交换信息，从而推动工作进度的信息系统，就称为工作流 [4]。由于极限学习活动需要经常性地协调多种来自不同地区的人员组织以及具有相当科技含量的信息基础设施，所以需要采纳一种分布式工作流的工作协同方法。特别是对于课

程准备以及课堂教学活动中产生的各种数据，如源代码、教学视频、书面报告等数字化内容，都可以视为工作流中被加工的材料。据此，我们可以把所有学习活动，定义为规范化的学习工作单元，犹如信息系统中的计算模组。这些模组化的学习活动工作单元，可以经过排列组合，形成新的不同的学习工作流。极限学习活动需要经常性地协调多种来自不同地区的人员组织、学习工作单元、以及具有相当科技含量的信息基础设施，此种协同工作的方法必须有学习过程记录的管理、成果的快速回馈、学习者的全局意识。

使用“分布式工作流”的理由可归纳为以下三点。

1. “分布式工作流”可以加快阶段性学习成果展现的速度。当阶段性的学习成果不断地出现在一个公开的信息平台时，这对营造群体的学习氛围必然有相当强的推动作用。由于阶段性的学习成果，可能产生于不同地点、发生在不同的时间段，当所有参与学习的成员被动地等待期中或期末成绩的发布时，学习群体的专注点自然就集中到了某个特定的时间或是发布成绩的地点。为了帮助学习团队高效地捕捉学习的过程记录，分布式工作流可以被当作一种搜集各类数字化学习过程数据的工具。
2. “分布式工作流”可以保证搜集学习记录的规律性。在学习过程中，从编写一个图文并茂的文档，到制作一个具有计算功能的网站，多种相关的媒体内容，如图片、照片、视频以及规划文档布局的设置文件，经常需要运用许多不同的软件做阶段性的处理，或是需要传送给不同的专家审阅。“分布式工作流”的数据存储规范，可以让学生养成保存学习记录的习惯，同时可以策略性地设定一些分享数据内容、搜集读者反馈的自动机制。“分布式工作流”的功能，将可以减少不同版本内容的混淆，同时可以系统化地分辨各类学习内容的贡献者与贡献数量。
3. “分布式工作流”有助于学生掌握一种系统全局的意识；这是最重要的一个理由。运用“分布式工作流”之时，学生们必须要注意到各类知识的来源与可能应用；相较之下，传统课堂学习过程中，学生经常只注意教师所传授的抽象知识。对规划一项复杂学习任务的同学，也可以利用“分布式工作流”来将任务分发给分布于身处各地的合作者。这样的全局意识，将促使学生关注、联系并运用各种相关专业的知识，这样就会产生提升学习动力的效果。

宽广的信息覆盖面与及时的信息反馈，有助于提高学习的效能。为满足此要求，可用分布式的信息系统全面搜集内容，并安排个人化的学习任务。由于信息化学习系统还需超越以教师为中心的集中式授课时程安排，转变为以学习任务团队为核心的分布式工作流程安排，所以大学的教学组织需要一种适合开展分布式学习过程的基础建设与管理方法。

3. 分布式工作流应用在教学环境规划的实例

为了介绍分布式工作流在教学环境的实用功能，我们将通过解说“跨学科系统集成设计挑战”课程的运作经验，来介绍分布式学习工作流的基本运作方式。该课程是一个由清华大学教务处发起的挑战式学习活动试验，2 学分课程¹，提供 75 到 100 名学生的课容量。课程目的是让新进学校的本科生，能够以一个开放性的视野，广泛地接触多个不同学科的知识。为了让学生能够专心地投入在一个沉浸式的环境中，该课程活动的过程设计为一个不间断的 4 天时间段落。整体课程用一个具有时事性的共同主题引导，由多个专业参与者组成的挑战方，在课程开始的数月前，根据时事新闻设计一个具有挑战性的任务。2013 年 1 月活动的主题为“自动化登岛救难系统”。这样主题的学习活动，除了需要开发运送工具的技术外，也牵涉了地理信息系统、物联网技术、国际关系、经济因素分析等多种类和多学科的元素。参与设计活动的师生超过 30 人，来自接近 20 个不同的院系，除了工业工程系、工程力学系、精密仪器与机械学系、交叉信息学院的研究生与高年级学生外，还包括

¹ 由工业工程系承办，基础工业训练中心提供场地，技术人员与物业服务支撑。

美术学院、新闻与传播学院、国际关系学系、教育研究院、以及心理学系等专业的研究生和本科生。在四天内必须完成的挑战任务包括建构自动化的陆海空运送系统的缩尺雏形、撰写数字化的方案企划书，记录每日的个人工作日志，设计团队的工作记录与宣传视频，以及最终提交并展示的成果报告等。这些数字化的内容将经由一个专用的云端数据服务，随时随地经由网络上传到一个用以协同工作进度的文件分享系统。

我们采用“跨学科系统集成设计挑战”做为案例，是要体现知识的获取可以超越课堂讲授知识的集中式 workflow。但是，完全开放学生去追寻个人的兴趣，又无法发挥利用学校实体校园教育的优势。因此，让师生们围绕着一个共同的学习项目，建立分布而不分散的学习生态系统，从“挑战方”开始筹备不同项目与不同专业科系之间的知性与感性联系，然后由“任务方”应战、实践并验证“挑战任务”的预期效果。学习过程的设计思路体现了一个重要的学习机制，这个机制可以用分布式计算系统的定义来说明：

“分布式计算系统是一个包含众多独立计算单元的系统，用户以一个整体系统的方式看待它，并对其进行操作”。Andrew S. Tanenbaum [5]。

根据此定义，我们可以联想开发课程项目本身可以是分布式的过程，但是必须要有一个协同的机制，在不同阶段，结合不同的专业，不断地集成，不断地修正。在学习过程的每一个阶段，所有分布各地的参与者，均可参与工作并看到共同努力的成果。所以学习的累积及成果，如同电话网络，可以是一个分布于各地的整体。换言之，此学习过程所希望达到的工作目标，就是将分布于不同时段、不同地点、不同专业的学习机会，尽可能地集成到一个包含了人群的分布式工作流的有机学习生态体系之中。运用此种规范调度学校的教学资源，亦得以支持教育机构持续地发掘潜在的服务功能。

由于概念新颖，课程还吸引了比利时的项目管理专家、北京大学、北京交通大学、中国人民大学、美国哥伦比亚大学、阿拉斯加大学、德州理工大学、以及马来西亚泰来大学的教授及学生等人士参与课程设计。这个案例，明显具有相当的地域以及专业内容分布性，特别可以呈现需要利用分布式工作流的管理方法与相应的数字内容协同工具之必要性。以下的三个子节，我们将分别阐述运作分布式学习工作流的基本规范：学习角色定位、学习活动进度管理、学习活动的输入与产出等三个方面，以极限学习过程进行对照介绍。

1. 学习角色定位与权限管理

为了解决特定的技术问题，任务团队需要应用专业的工具与技能。在“跨学科”的教学活动中，希望让学生们同时体验到知识的专业性与无界性，所有的知识，从政治、经济到工程、艺术都可能成为最终方案的决策依据。如何让学生体验这样的整合式的学习经验，最好的方法就是让学生参与活动的设计。所以“极限学习”的第一个特点，就是设定一种循环式动员人力的教学任务工作安排。首先将学习活动的参与者分为“挑战方”与“任务方”：教师和参与准备教学活动及内容的同学为“挑战设计方”（或简称为“挑战方”），以及实际参与学习活动的学员（或简称为“任务方”）。“挑战方”和“任务方”在课程中的相互作用方式，将在 3.3 节详细介绍。

“挑战方”的共同任务是设计一系列具有挑战性的学习任务，以在课程中交付给“任务方”，让他们在学习过程中，完成学习的任务。这样的人力配置，使得活动内容在课程开展之前，就可以得到类似受众的检验。更重要的是，参加“挑战方”的学生，为了设计出可行的任务，他们必须要在事前完成所有任务的可行性测试，还要撰写文档或是设计情景来引导“任务方”，在高度的时间压力之下完成任务。换言之，“挑战方”在课程开展之前，就要把知识的内容，经过前期的消化整理与测试，才能交付给“任务方”。为了保持任务的挑战性，只有当“任务方”感到手足无措的时候，“挑战方”才会适时地介入，提供启发式的引导。这样的教学任务安排，自然不可能全部由全职的教师担任，所以必须同时有相当数量的学生参与。对“挑战方”的学生而言，在准备过程中也产生一种探索性的学习经验，也适合配置相

当数量的学分认证以反映其学习的投入与效能。

把学生编入“挑战方”团队，让教学活动可以动员校园内最为充沛的人力资源，动员学生参与规划与协助学习过程的建设，才能掌握学习活动的深层社交信息，用以强化学习的过程。更重要的是，学生在参加课程准备的过程中，能够提前学习，同时教师也得以在准备课程内容的阶段，就得到来自学生的回馈，从而能够在正式学习活动前，改进学习服务质量。把教师编入“任务方”，则得以让教师加入到学生群体中，亲身体验学生在作为群体学习过程时的心路历程。而教师作为“任务方”投入不同的任务，还能得到跨越专业领域的学习机会。这种教与学的角色转变也充分体现了体现教学相长的校园文化氛围。从人才准备的工作流来看，这个循环式的角色转换，不但可以不断吸引与选拔新的成员参加“挑战方”，现有的教师也可以经由“任务方”的体验，重新理解学生的需要。

从信息传递工作流的运作来看，为了让学习资源有效地流通，数字化信息权限的管理将使用社交网络的关系数据，决定资源分享的权限。尤其是在四天的任务执行过程中，我们希望学生（任务方）能理解及运用现代社交网络数据平台的特性，将数字化学习内容经由社交网络的关系，自动化扩散到相关的师生受众。从信息传递的工作流的规范来看，当建设信息分享平台时，“挑战方”在系统中具有查阅相关“任务方”过程中所产生数据的权限，“任务方”则也可以自主设定其他“任务方”使用自己拥有的信息的权限。即使有不当的信息分享行为，也非常容易从自动化的信息下载日志得到明确的证据。这种信息权限的规范，将对整个学习活动的公正性，提出一个网络化的验证平台。为了保证任务方可以明确地感受到信息分享的重要性与合法性，我们在活动现场由中国人民大学知识产权法专业的四位研究生，设立了模拟的专利局以及知识产权法庭。这种角色扮演的活动设计，明显地建立了同学们的意识，在活动的第二天开始，每个小组都向模拟的专利局申请不同类别的技术专利保护。

2. 工作流进程管理：个性化学习计划制定与动态进度追踪

前期工作的筹备人员将规划各种学习项目的筹备细节，而有效地运用这些人力，就是分布式工作流的第二层功能。在活动生命周期之内，每一项工作任务，都可以被当作是一个“项目”，筹备活动的人员，首先必须建立一个项目的时程管理计划。“跨学科系统集成设计挑战”课程的学习活动，就是一个包含多个子项目的大项目，项目之间也会有前后的依存性，这些顺序依存关系可以用如甘特图（Gantt Chart）的进度管理工具来展示。

在“跨学科系统集成设计挑战”课程的设计过程中，我们组织了相当多不同专业领域的同学，共同开发一次多学科系统集成的学习体验。这个课程的整体开发项目包含了许多相对较小的开发项目，例如，开发一套对学生进行课前与课后调查的问卷，并且使用统计方法对课程现场进行观察后得出结论。这些小项目还可以被进一步分割为几层子项目，通过对项目进行分解，学生任务团队得到的是对整个项目的整体时程规划。

此外，每个项目必须有明确的项目信息记录规范，阐述每个项目的起始条件以及完成条件。除了让“挑战方”在前期准备的时候，明确地记录每一个项目的“输入与产出”，也将这些信息内容与项目进度的时间轴加以联系。这个联系可以经由一种“S-Curve”的进度图表，明确地显示出活动的实际进度与预期进度的差异，学习工作流的流畅程度与曲线结构可以直接挂钩。对协同大型的学习团队，此类网络化工具支撑分布各地的协作人员不可或缺的基础建设。

在一个实际课程运作过程中，多个子项目经常是同时进行。要在一个课程中协调不同项目之间的进度，就需要一套统一的时程管理，或是项目管理的方法。在“跨学科系统集成设计挑战”的执行过程中，我们采用了动态项目控制（Dynamic Project Control, DPC）理论与相应的网络信息工具[6]。采用DPC的主要理由有三：

1. 它提供了一个罗列子项目与集成子项目进度的数据标准，让参与规划工作的人员经过罗列工作项目的过程，思考整体项目的可行性与子项目间的协调性。

2. 它提供了一种 S 型曲线的分析图工具，便于工作过程中追踪计划与实际进度之差异。
3. DPC 也提供了对工作资源的计算，优化学习资源的配置。

课程开发小组，在一开始就让参与计划的学生们将讨论制定好的整体学习计划，以 DPC 的信息格式上传。然后随着课程内容开发过程的进行，随时更新计划各部分任务的执行情况。

学习活动的效能与活动时程的规划有密切的关系，更重要的是，师生必须在学习的过程中，利用各类学习数据内容，分析为何学生有不同程度的学习效果。换言之，极限学习的时程管理，除了要能提出活动安排的预设方案，还要有一个反馈机制。这种机制需要能够将实际完成的学习进度与预计的学习进度相比较。如此，才能掌握学习活动的未来改善方向。学生根据反馈的数据和图表信息(见图 1)可以了解计划的合理性、执行情况以及对后续计划的执行速度进行预估及调整，学习过程的可控性以及学习效果就得到了相当程度上的提高。

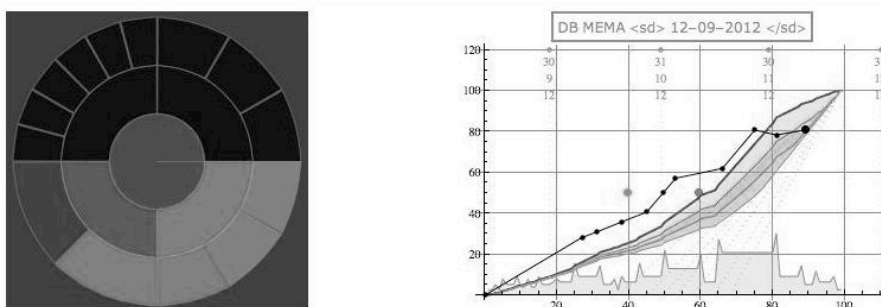


图 1. 进度显示图示

在极限学习过程中，学生将项目进行分解后，还需将项目计划制成特定格式后上传至网站。网站会对项目计划进行分析，根据一些设定的参数形成任务完成度的计划曲线。任务团队每次对项目进度进行更新，就会形成一个新的点，点连成线就形成了任务的实际完成曲线。通过对实际完成曲线和计划曲线进行比较，任务团队就会对项目的完成情况有比较清楚的认识。

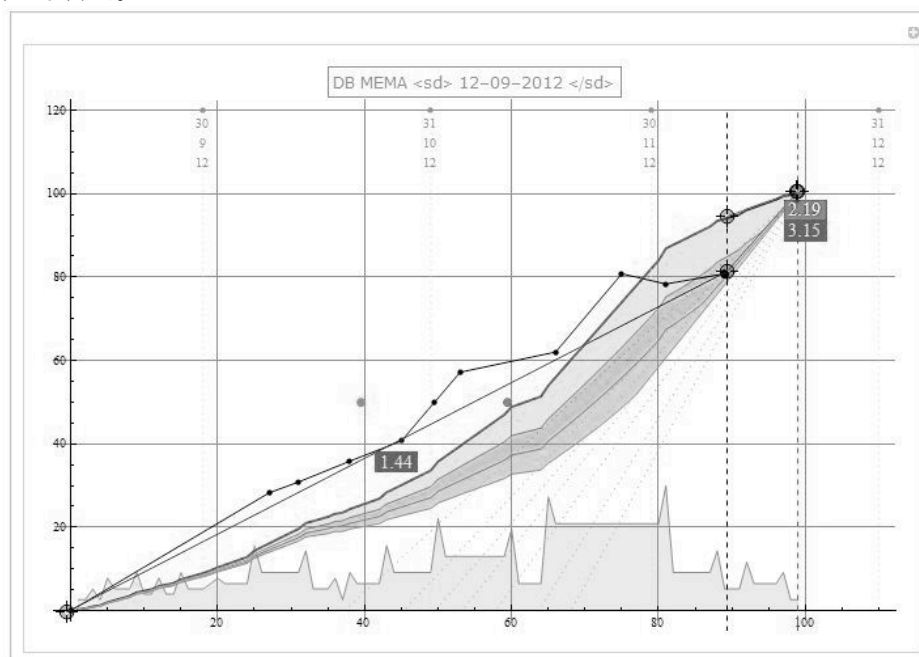


图 2. 进度反馈图示

学生可以使用一些项目管理工具分析工作进度与资源配置的策略。例如，DPC 的交互式图表可以比较如要按预期时间完成任务的工作强度与实际工作强度或计划工作强度的关系。如图 2 所示，任务团队要在活动最后时将任务全部完成，需要按此前实际平均工作强度的 3.15 倍强度工作，这个工作强度是按计划此阶段工作强度的 2.19 倍。这样的反馈，可以引导学生加大工作量，按时完成既定学习任务。极限学习的目标，不仅要求学生学会使用那一个特定的时间管理工具，而是希望“任务方”从亲身经历了一次高强度的工作后，能够大幅度地提高他们对时间管理精确度的期望。

3. 学习任务的输入与产出 (System I/O)

在确定工作角色，规划工作程序之后，在有纪律的项目执行过程中，每一项工作的输入需求以及输出的要求都必须有更进一步的规范。在这个信息技术密集的学习环境之下，许多工作成果均可利用信息技术的手段，制定一套数字化的输入输出格式，作为 workflows 系统的进度数据。没有这种输入与输出的规范，我们无法判断任何子项目的进度，也就无法统计整体项目的进度。在课程进行中，学生任务团队根据预先计划的时程规划获取信息、资源、支持（即输入），产出系统开发成果以及记录（即输出），每一个子项目的进度即可由这些产出得到。通过对子项目的叠加，我们也就可以得到整个项目的进度情况。

举例而言，展示活动成果最直观的呈现，莫过于一个精简的记录短片。让一群在四天内不眠不休的新生，围绕着一个一个刚上手的任务，拍摄并剪辑出纪录片，又是一个重大的体能与心智的挑战。所以，这个产出宣传短片的过程，就必须是一个由“挑战方”精心设计的工作流引导的任务。宣传短片的制作，必须依据四天活动任务中多个子项目的输出内容，才能撰写短片的内容脚本；在技术项目产出具有说服性的成果时，才能开始素材的拍摄。最后，这些素材，还需要熟练的剪辑人员，适用的视频处理软件，以及快速的计算机，才能在时间紧迫的安排之下，完成任务。总项目复杂度越高，工作流设计的优劣，包括文档命名与分类的纪律，以及是否能把任务分布到不同的地点、由不同的器材、不同的人员多管齐下的进行处理，就越变为项目成败的关键了。

除整个过程的记录短片外，为阶段性地检验学习过程的效果，以实现对课程的动态控制，对课程教学每阶段的输入和产出进行定义和检验就成了必要。基于合约的设计方法 (Design by Contract, DbC) [7] 之概念贯穿着这门课程的始终。在 2013 年 1 月清华大学的“跨学科系统集成设计挑战”课程中，对输入内容的定义，即“挑战方”对“任务方”的引导，是对学习过程的疏导；对输出结果的检验，即“任务方”向“挑战方”的展示，是对学习过程效果的检验。在课程的前期准备过程中，“挑战方”会筛选合适的对“任务方”的引导内容和方式，定义需要在课程中检验的输出结果。课程进行中，“挑战方”会根据“任务方”的输出结果判断“任务方”是否按期完成了任务。整个过程动态调整，“挑战方”根据“任务方”的情况对其进一步的引导。这些引导包括通过虚拟的专利局和法院来促进各小组之间的技术交流，通过模拟项目管理的方式对“任务方”的项目进行控制等，如图 3。



图 3. 跨学科系统集成设计挑战设计挑战课程一瞥

从更广泛的信息技术层面来探讨，全球的教育者和大学生，已经在大量地使用类似 Dropbox 的云储存服务。这些可以将个人硬盘上特定的文件夹与一群人随时同步的技术，提供了很多采集学习过程信息的便利，不但提供了数据分享与同步的服务，有些免费数据服务也提供了版本控制的功能，例如基于 Git 版本控制服务的 GitHub 分布式数据同步平台。这些数据服务，可以钜细靡遗地搜集到每一个学生在个人计算机上更新与特定项目相关信息内容的频率。这些高密度而且客观的使用者行为数据，对分析或是规划学习活动有相当高的参考可信度。最重要的是，这些信息同步与发布的工具，让学习的任务得以经由信息网络，分布到不同的地点或是不同专业的学习伙伴的工作过程中，使得数十人，甚至千百人，可以在某种信息交换的协议之下，并发地推动工作进度。这样的信息分享文化，是在近十几年来才逐渐形成气候。但是在中国的高等院校里，确实还没有成为工作方式的主流。

所以，为学生准备这些信息分享的工具，应该是学校在教学设计中必备的一种服务。在“跨学科系统集成设计挑战”课程中，这些工具，就是在第一天要求所有学员使用的必备过程记录工具。有了这些网络化的数据同步技术，精确地观察学生改变不同文档的频率，内容变化幅度，以及信息交流的发生时间，使得分析资料的取得成为相对容易的事。这一类信息共享或协调项目的技术，可以联系上现在最时尚的名词：“云计算服务”。简单说来，就是一种分布式的信息同步、分享、与处理的机制。在数据结构设计得当的前提下，这种接近全自动化的数字内容同步服务，可以提供深入的数字内容改变记录，用以分析个人与团队的工作进度，以及学习上的障碍或是项目的突破点。配合上前述的“动态项目管理”（Dynamic Project Control, DPC），整个学习工作过程，就是一个基于网络对信息加以协调的分布式工作流。

如果没有自动化的信息工具，上述的监控输入与产出的要求，就需要投入大量的资源来人为地记录学习过程。在传统的教学流程中，学生与老师无法投入足够的精力去消化这些信息内容。在基于分布式工作流的教学方法与信息平台之上，师生可以在部分自动化的信息工具辅助之下，快速地上传相关信息内容，例如学生每日的学习日志，教师或助教在网络平台上答疑的内容，或是在过程中所拍摄并经过剪辑的视频内容。这些信息内容，对反应学生需求以及吸引学生的专注力，具有极大的效果。而且这种学习模式，也因为计算机的提速，以及网络的便利性，近年来日益普及，所以分布式的学习工作流，是一个基于现代信息化技术的产物，在信息与社群化计算科技的推动之下，学习不再是个人的行为，它已经成为了一种基于信息网络所维系的群体行为。

4. 学习生态体系的软件与硬件

从学习组织的长期发展来看，分布式学习工作流的目的，是把各类学习资源从分散的独立元素，经由网络化的信息整合，在全球的范围内调度，形成“有机”的知识生态体系。因为有人群的参与，所以我们认为这个作业系统是一个有机的作业系统，而且，这个体系同时需要健全的软硬件的配置，缺一不可。未来的学校必须要有一个融合虚拟信息环境与实体内容的顶层设计，把宝贵的学习资源，稳固而灵活地在全球的范围内配送给所有需要知识的人与组织，在需要实体的学习空间或是昂贵的实验器材之时，发挥学校实体资源的优势，提供求知者不同层次的服务，包括文化与地域的特色性服务。我们把这个设计框架分成五个阶段，九个元素来介绍。如图 3 所示：

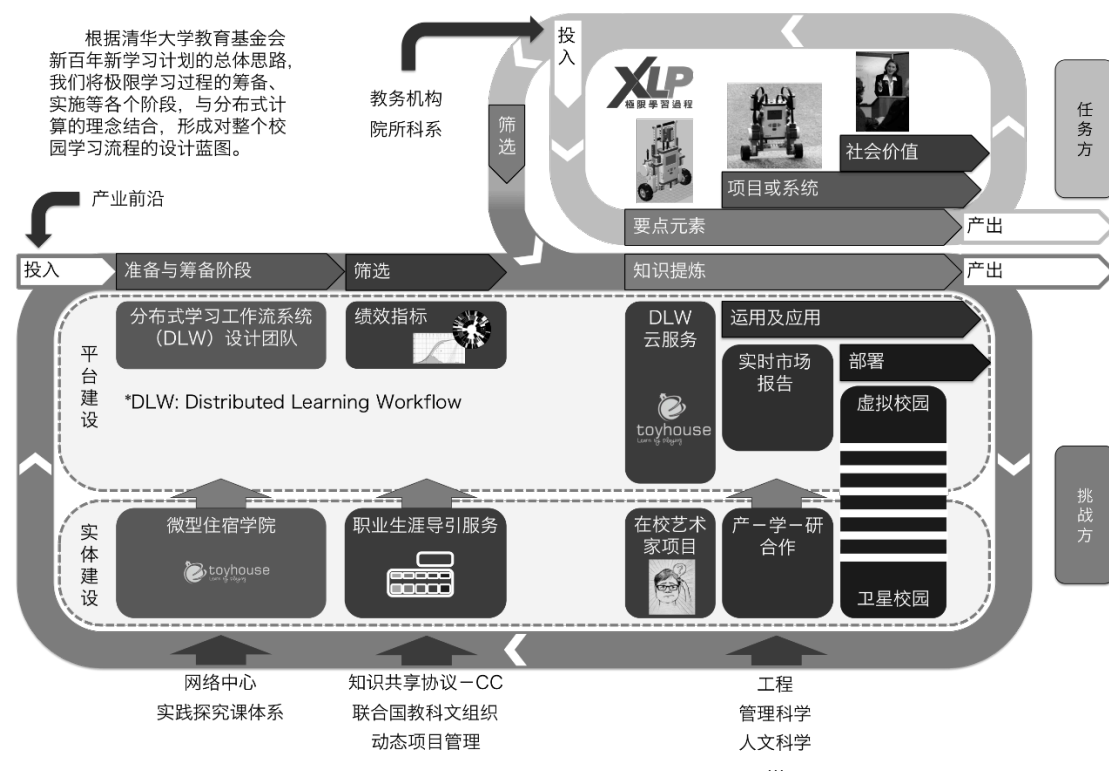


图 3 基于分布式学习工作流的知识生态循环系统

首先，挑战方与任务方分别担任了在设计学习过程中不同的角色。在第一阶段，挑战方必须从一开始就把任务方当成学习内容的受众，为他们设计学习的过程。从信息技术的环境考量，挑战方需要掌握分布式工作流的核心设计理念，开始收集与测试相应的信息工具。在实体的生活环境中，学科交叉的社会活动是保障学生拓宽视野的必要条件，所以我们建议学校创建微型住宿书院，让学生与不同学科的同学，生活在同一个屋檐下。在第二阶段，挑战方应当经过充分的准备后，筛选学习内容和参与学习活动的成员的过程，保障学习活动的质量。同时，同学们，应当在筛选过程中，不断地与学校的职业生涯规划中心交流，探讨自己长期的职业规划，从而找到自己应当选择的课程。在第三个阶段开始，挑战方与任务方共同经历学习活动的交互体验。这个过程，不但是任务方的学习时段，更是检验挑战方课程思考、设计及实施运作成效的环节。这个反馈的过程，通常对挑战方有更大的冲击。在上课的起点，师生就应当采用前沿的学习工作流信息服务，最好是由前期挑战方测试过的信息平台，在实体校园的方面，参与学习活动设计的驻校艺术家需要配合课程的内容制作与发表的进度，让具有艺术素养的专家来引导师生，共同增添，修改，编辑学习活动的过程性内容，第四个阶段，我们需要运用实时信息的服务，与时俱进地更新学习的内容。校园中的产学研合作组织，也可以成为辅助课程活动的支持者。第五个阶段，也就是课程活动的收尾时刻，活动的成果应当被投放到虚拟的校园，或是某种数字化的展示空间，让学生意识到自己的工作成果，将会是提供后人参考的知识财富。在实体空间

中，我们也该把这些知识财富，经过网络，让全球的校友在“卫星校园”，或是校友的信息网络中，不断分享，联系校友对学校的情感。

图 3 的知识生态循环系统是一个整合了角色定位(挑战方 / 任务方)，五个阶段性的时程安排，以及各个学习活动环节输入 / 产出的架构图。我们希望经由这一张架构图，粗略地表现学校系统的服务效果，是来自三种不同作业系统机能的配合，这些机能与相应的实体基础建设，甚至是学校的行政机关，无法单独存在，它们必须要基于一个共同的服务目标互补性地合作。也就是说，信息技术所带来的学习机会，必须要由相应的实体学习环境来支撑，就如同计算机系统的实际计算能力，必须要同时搭配软件与硬件的协调配置，缺一不可。

4. 问题讨论

本文的主要论点，是说明运作基于信息化技术的教学机构与分布式工作流的设计思路是无法分割的。换言之，分布式工作流提供了执行极限学习的运营条件，列举如下：

1. 对群体学习行为的度量，必须借助于信息产业所开发的多种理念与成熟的数据采集工具。
2. 借用信息科学中对集成复杂系统过程中的各类工具，包括系统仿真、优化与设计的工具与方法，用于设计未来学校的基本功能与服务项目；
3. 与实体融合的信息技术，尤其是物联网的技术，已经成为物理环境中的一部分，所以这些系统的功能，必须要使用信息技术的术语和思路加以描述；
4. 信息化社会的素养，已经成为现代社会中一个主要的交流基础能力。提高学生与教师利用信息系统功能来完成任务的能力，是现代知识工作者不可或缺的基本素质。

由于极限学习的目的是尽可能地调动各类的学习资源以提升学习的效能，学习活动的承办方，也就是运作极限学习活动的学校，需要一种融合行政工作流与信息工作流的操作系统。这个包括人员组织与信息平台的系统，必须要有下列三类的基础功能模块：

1. 对不同参与者对学习资源的权限控制。
2. 对活动工作的先后顺序的时程安排，以及事后的工作进度与效能分析。
3. 对所有阶段活动输入与产出信息内容的明确规范。

这些功能，如同计算机的操作系统一般，具有权限管理、信息内容的输入与产出以及事件运行的进度安排等三大功能。这个功能上的类比关系，可以为一般学校提供一套顶层设计方法论，用以融合实体建设与信息系统建设。但是，极限学习还须考量超越校园物理界限的协调问题，所以，极限学习过程可以说是建构在一个以分布式计算为理论架构的知识传播与创作体系。这一体系以学习记录的过程与内容数据为管理对象，保证参与者人数及数据传递量都上升到更大规模时，该工作流系统仍然可以提供合理的服务。换言之，为极限学习过程服务的信息系统，除了上述的三样操作系统的功能之外，还应具有以下几个分布式工作流的特点：

- 时空分布性：为学生提供不同时间、不同地点、不同方式的接口，尽可能及时地为学习活动的信息需求提供完整而透明的服务；
- 使用者的自主性：参照标准工作流，师生可以自主设计学习流程，定制不同数字化内容的标准或可接受的格式。这种由使用者自定义的工作流，把管理工作流的权利，分布到所有使用者手里，所以称之为分布式工作流；
- 内容储存的分布性：为了让学习参与者可以快速地阅览高质量的多媒体数字内容，数字化内容的存储与同步机制，必须要采用分布式数据库的技术，方能达到便利学习的要求；
- 专业领域的分布性：校园环境内的工作任务，经常牵涉到多种不同的专业人才，不同的行政单位，或是不同类别的技术任务，这些系统原本就不可能以集中的方式管理。

从宏观的角度来看，教育工作的主要挑战来自于在学习服务中同时满足个性化与规模化的双重需求。如何利用信息与网络技术，规模化且个性化地向个人提供高效学习的服务，本身就是一个教学与研究应探讨的课题，且早在 2007 年，这一课题就被美国国家工程院选为全球 14 项巨大的工程挑战之一²。为了强化知识传递、应用与创造的过程，如何提升学习能力、突破个人或团队能力的现状，已成为一个跨越教育界、产业界并且与社会各方面人士息息相关的问题。因此，极限学习的潜在服务对象，并非仅限于在校的学生。此外，参与开发极限学习的人士，亦可包括许多国内外的志愿者，在知识共享协议 (Creative Commons) 的前提之下，提供设计的建议与技术的指导。这使得在开发过程当中，理念观点的记录与共享、工作任务的协调与整合，都完全仰赖于多种分布式的信息管理技术。为了更有效地吸收这些分布于全球的人才与经验资源，整个极限学习模式的开发，就必须依照分布式信息系统的工作原理来开展。

为了将“分布式工作流”的理念引入学校环境中，展现如何利用信息技术突显实体校园功能的现实可行性，在此以表格的形式(见表 1)简短地介绍过去数年间，依照该理念所组织的教学活动，以及在这些教学活动中所观察和归纳出的学习现象和效能。

这种基于分布式工作流理念的学习过程设计，不仅适用于 4 天的短期课程，也适用于 16 周的常规课程。下表是对依照该理念所组织的教学活动的总结：

表 1 极限学习应用在不同类型的课程

课程名称	课程基本信息	学生自主学习主题	信息交换节点	学习活动的地点	学习重心前移
数据库原理	16 周 2 学分 清华大学本科生	利用数据库知识，设计一个网站，收集、管理数据，并实现特定的功能	每周上课前教师督导主导该周学习活动学生的课程准备工作，修正错误，提出建议，保证课程内容的准确性，并建立每节课之间的逻辑联系	教室 学习团队交流会 教师办公室 实验室	学习团队在学期初制定项目目标，每周完成既定的工作量，课上展示交流阶段性工作成果。
全球制造战略	16 周 2 学分 清华大学硕士留学生	分析全球最具影响力的经济体，研讨全球制造战略。结合本地调研或项目开发学习相关知识		教室 学习团队交流会 周边社区 教师办公室 实验室	授课团队提前一周时间准备知识点讲解的内容，反复理解并提炼，传授给全班其他学生
工程管理导引	4 天 2 学分 清华大学工程管理硕士	搭建一套自动化转运系统，包括物联网、自动导向车辆等，并整合为完整产品，制作商业计划向模拟投资人筹款	每天固定时间进行全面进度检查，全体学生交流经验，保证全员按照既定学习计划完成相应工作，并进入下一学习阶段。同时通过云技术建立日常信息交换通道，保证学习团队内部与学习团队之间的持续信息沟通	教室 实验室 教师办公室	课程准备团队由教师指导，由部分学生执行，提前数月进行课程设计。确定知识点，并相应设计课程主题和学习任务，开发课程教具，进行课程演练，最终将前期准备的内容浓缩到 4 天课程之中，呈现给参与课程的学生。
跨学科系统集成设计挑战	4 天 2 学分 清华大学本科生	制定并演戏登岛救援快速响应，结合政经形势进行初步分析，制定演习方案，制作演习设备		工厂 实验室 教师办公室	
微积分教学示范课程	4 天 教学指导课程 天津交通职业学院专科生	结合车辆维修、营销、物流等专业应用学习微积分知识，整理学习材料，制作讲解材料		教室 宿舍	

上述课程在执行过程中的信息(虚拟)平台，提供了多种分享信息的工具，除了博客、编辑视频工具、线上视频资料，还有数据内容(包括源代码)同步服务、版本控制服务

² 美国国家工程院的“工程大挑战”网页：
<http://www.engineeringchallenges.org/cms/8996/9221.aspx>

等。这些信息技术的支援多有免费的开源工具，可以在校园范围内，对所有学生提供服务。在基础建设（实体）平台方面，则让学生在安全的前提之下，主动地调整教学的环境，包括重新布置教室的桌椅布局等。当学生在加班加点地工作时，适宜的工作环境，以及便捷的住宿，也是极限学习活动运作的重要基本条件。在以往的几次教学活动中，这些元素的正常运行及交互作用，对学习文化的改变产生了巨大的效应。

由于实体校园的诸多物理空间的限制，顺带产生的包括出席率、社交行为、以及各种饮食起居等生活习惯培养，是无法纯粹使用信息工具取代的教育功能。在前述的教学实验中，学生与教师们同一个实体空间教学环境中，会潜移默化地被周遭的各种信息，触发学习动机，而只有经过这种沉浸式的，于物理环境中的互动，师生才容易发掘他们个别的特长或短板。这种社群性的认知经验，也是成长过程中不可或缺的经历。所以实体校园的存在价值是必然的，但是也必须要有信息技术配套地应用于实体环境的建设，充分发挥其对学习过程的影响。

根据前述学习实验的经验，虽然学生的学习动机各有不同，但当他们在一个或是多个实体环境中与他人共享学习经验时，都更容易意识到自己的任务与其他学习成员的工作内容息息相关。除了对自己的任务理解更深，他们会开始对其他环节的知识内容发生强烈的兴趣。从活动内容来看，学习任务涉及的知识越广，牵连的学生越多，越能够激发群体学习的效应，所以学习活动需要涉及宽广的信息覆盖面。一方面，使用网络化技术，搜集各类信息内容；另一方面，把许多跨学科专家，带到沉浸式的学习环境之中，让学生能够即时获得专家的点拨，或相关信息内容的提示。根据案例经验，当学生能够在任务进行的过程中对某种知识产生需求，此时若能够投放知识内容，将会产生最大的学习效应，激发学生的学习热情。然而，由于每个项目的进度不同，不太可能对每一个团队或学生安排统一的时间表，因此，需要一个柔性的、及时性的知识投放机制，通过网络分发或通过现场学习能力较强的学生带动其他学生的方式来实现，并保证知识传递的及时性。

5. 结论

本文借鉴信息产业常用的工作流管理技术，阐述了一个融合信息化技术与实体教学机构的操作系统。这个未来学校的运行模式也借鉴了分布式操作系统的设计思路，就是把整理或消化知识的大量工作，发送到不同地点、不同专业的参与团队，经由分布式的工作过程，突破集中式教学工作流在容量或是活动格式方面的瓶颈。

以分布式工作流引导学习行为的理念，不只是一个在教育技术或是学习方法的反思，它是知识传递与展现方式的新方法，知识内容当然可以经由教师的演说介绍给学生，但是这样的知识展现方式，只是方法之一。分布式的学习工作流，让学生在多个不同的时空背景下共同地关注一个大的“挑战性主题”，在面对挑战的实务工作背景之下，寻找不同的方式，获得能够解决问题的知识。由第一人称的视角考虑知识的价值，比起被动地接受知识的内容细节应当要更能烙印在心中。学生在经历多次的任务挑战，或是设计挑战任务的过程之后，他们应当可以发现，知识可以来自不同的社会人士，也可以有多种的表现方式。尤其在设计教学活动的过程中，对知识的内涵与表达形式经常会有更加深入的认识。

从技术的层次来看，分布式工作流让交换数字化信息内容的过程尽可能地支持多种个性化而规模化的群体学习过程。对知识性的数字化内容，例如网络公开课的视频，各种电子书籍或是期刊文章，必须要经由分布式工作流的基础建设，便利地交付给所有需要的学习者。对于挑战方与任务方在创造知识的过程中，分布式工作流的角色就是要让阶段性的知识内容，不断地经由具有版本控制功能的网盘，让信息内容流畅地投送到所有相关的工作地点。当学习任务的密度与深度，或是学习团队的人数，成长到一定的规模，如同在文中所提到的“跨学科系统集成设计挑战”，分布式工作流就成为了一个必要的工作支撑平台。

从学习者心理的层面来看，极限学习过程的教学理念，就是希望经由能够支持分布式

workflows的信息与实体基础建设，创造一个持续而且沉浸式的学习氛围。所谓的学习氛围，就是让学生在学的过程中，随时随地能够意识到各种学习的机会。因为同样的学习方法对不同个性的学生，以及学生在不同工作环境下的心理动机，经常有所差异。学习活动不必要局限于固定的课堂讲述与答疑活动之中，而是要整合学习情景中千丝万缕的知识线索，用以提高学习的效能。

从学校的层次来看，分布式工作流不仅是一种激发学习动机的学习工作规划方式。将学校提供的各类学习活动以一种工作流的方式来看待，就是要有意识地联系不同专业、不同特性的师生团体与工作环境，让整个学校的人、事、物，交互性地激发学生看到校内以及校外的各种学习机会，甚至包括激发整体教学组织的创新动力与学习潜能。大学之所以可以持续地传承鲜活的知识，不仅来自分散各地的大师言论，也需要孕育未来大师的大楼，一个耐得住时间考验的大学顶层设计，不会是偏颇于信息技术或是实体资源的架构，而应当是一套分布而不分散的有机操作系统。而这种运用无限的想像力，串联分布于各地与多个时间段的学习资源的群体认知模式，我们称之为：“极限学习过程”。

6. 致谢

本文的相关研究来自国家自然科学基金（编号：70971073）的支持。在撰写过程中，笔者必须提到张剑南、陈思源等同学在组织挑战性教学活动实验中所作的工作。潘涛等同学对于分布式学习工作流系统雏形的初步开发，更是项目开发中最宝贵的经验。联合国教科文组织产学合作讲席教授查建中老师在过去数年来的全力支持，微纳米力学交叉学科研究中心的负责人，郑泉水教授多面向的投入，也是一大助力。最后，我们必须特别感谢清华大学工业工程系，研究生院、钱学森力学班、教务处、基础工业训练中心等单位对活动的资金与环境支持，以及清华大学教育基金会的李冰所提出的“新百年，新学习”计划对本文的启发。他们对于“极限学习过程”开发工作的支持，是项目顺利进展的保障，也是运行学习活动最大最直接的动力来源。

7. 参考文献

- [1] S. Mitra, R. Dangwal, Limits to self-organising systems of learning-the Kalikuppam experiment, British Journal of Educational Technology, 2010
- [2] D. Stephen, The UnCollege Manifesto, <http://www.uncollege.org/manifesto/> 下载时间，2013，1
- [3] 顾学雍，查建中，Ed Crawley,《影响教学服务质量的四种力量》，高等工程教育研究 2009 年第 4 期
- [4] 罗海滨，范玉顺，吴澄，《工作流技术综述》，软件学报 2000，11（7）
- [5] A. Tanenbaum, Distributed Operating System, Prentice Hall, 1995
- [6] JP Tollenboom, Dynamic Project Control Handbook, (electronic publication), 2010
- [7] B. Meyer, Applying Design by Contract, IEEE Computer, 1992, 10