

# 智能楼宇与计算机技术

王丹  
香港理工大学

关键词：智能楼宇 计算机技术

在人类的能源消耗中，楼宇占比约为40%，香港等城市楼宇能源消耗的比例更大一些。节能减排问题使得楼宇研究成为热点。但楼宇研究的意义远不止于此。人类80%的工作和生活都在楼宇中度过，楼宇的智能化甚至时尚化对于提高人们的工作效率和生活舒适度都有重要意义。因而，智能楼宇也是智慧城市的重要组成部分。楼宇又是大量先进工业产品的“使用方”，楼宇的智能化程度引领工业品的制造、运行、维护，又关系着中国制造2025<sup>1</sup>。因此智能楼宇在这一波能源革命、城市社会生活变革和工业革命中占据重要地位。

智能楼宇有很多定义，有人用智能楼宇指代智能家居，这属于广义上的智能楼宇。有人认为智能楼宇是一个有机体，可以自发地学习、适应和服务。笔者认为，人们对楼宇的新需求和计算机技术的新发展在短时间内的碰撞，会带来楼宇能力在短时间上和上一代楼宇形成代差，而这种代差无法找到合适的描述词汇，就简单的用“智能”二字去做区分。本文也将从这两方面进行论述。

## 智能楼宇的新兴需求

### 节能减排

楼宇是一个复杂系统，楼宇能耗优化也是一个长久的问题。近年来楼宇新功能的大幅增加，如太阳能板等新型微电力供给系统，电池、蓄水箱等新型电能存储系统等，既大幅提高了楼宇的灵活性，也产生了一系列新的优化问题。随着智能电网的发展，越来越多的可再生能源的使用，电力供给方的稳定性大大下降，这要求楼宇作为重要的电力需求方应该有更大的适应功能。美国劳伦斯伯克利国家实验室在2014年的一份报告中提到，美国所有新建的10万平方英尺以上的楼宇都需要有在规定的时间内改变15%能耗的能力。不少研究者以智能电网为研究主体，在优化中对楼宇做一些简化假设，比如楼宇用电可以简单增减。香港理工大学王盛卫教授提出了可灵活地面对智能电网的智能楼宇的概念，以楼宇为研究主体，研究如何进行楼宇控制，从而更加灵活地面对智能电网电力供应的变化。

从电网角度看，楼宇是需求方；从人们活动角度看，楼宇则是供给方。人们的活动是楼宇的一个重大变量，因此对人类能耗的各层次进行建模成为重要问题。在较宏观层面，研究者们对一个空间区域建立了热力学模型，包含这块空间的隔绝材料性质、空间内外温度和使用空间的人数。随着传感器网络的出现，笔者等计算机研究者发现可以更加细粒度地获取时空的各种特性，来校准之前的热力学

<sup>1</sup> 指《中国制造2025》，是2015年5月国务院发布的中国实施制造强国战略第一个十年的行动纲领（2015-2025）。纲领通过“三步走”实现制造强国的战略目标：第一步，到2025年迈入制造强国行列；第二步，到2035年中国制造业整体达到世界制造强国阵营中等水平；第三步，到新中国成立一百年时，综合实力进入世界制造强国前列。——编者注

模型。人们在楼宇中使用电器的情况也是一个长久的研究领域。特别是从用电负荷的变化中无干扰地识别电器使用情况 (Non-Intrusive Load Monitoring, NILM)。随着数据量的增加和机器学习的进展, 计算机研究者们提出了一批更精准的计算。

### 人类习惯与智慧城市

楼宇管理人员最在意的是能否为人们提供更优质的服务。楼宇资源优化也应该以此为基础, 否则难以被采纳。以热舒适度为例, 现代高端写字楼的温度都由楼宇主动控制, 如何进行温度设置以满足人们需求是一个基础问题。从上世纪70年代开始, 研究者希望计算一个“平均人”来代表人类, 并用这个平均人的舒适度作为温度设置标准。研究者们从生理学和心理学两方面建立了大量的模型, 从科学上解释了一系列影响人类舒适度的因素。例如, 从生理学角度, 范格尔 (Fanger) 提出了热平衡模型, 即, 如果一个人的热产生小于他的热散失, 他就会觉得冷, 反之则会觉得热。研究者们以此为基础分别为热产生、热散失的各种因素建立了模型。这些模型为楼宇温度设置提供了标准。但是, 这些模型复杂, 温度设置恒定, 在现代楼宇中越来越难以满足人们需求。笔者在2014年首次提出了结合生理学模型和数据矫正方法建立热舒适度模型, 并设计了能主动进行温度调节的系统, 取得了良好效果。产业化方面, 谷歌的 Nest 产品专注于学习区域温度需求, 以此来减少保守设置带来的浪费。除了舒适度以外, 楼宇还面临其他需求, 比如, 安全, 楼宇期望能自动识别人的身份。又如, 楼宇期望灯光可以随着时空情景甚至人的心情转变而进行自动调节。

楼宇中人的行为还可以影响城市的其他领域。如楼宇中人的数量和楼宇附近道路的车速之间的关系。笔者通过研究发现, 二者在上下班时段有很强的相关性。为此, 我们建立了一个数据驱动的学习模型, 使用香港国际贸易中心大楼的二氧化碳的含量来预测大楼里的人数变化, 进而对人数和大楼附近连接香港岛和九龙半岛的西区海底

隧道的车速进行数据融合。仅用楼宇的数据进行训练, 就可以准确地预测车速。加入楼宇可以使得长久研究的人的移动模型向三维扩展, 让分钟级的移动模型更加准确。

### 工业制造2025

如何了解和优化楼宇中大量设备的使用, 是工业制造 2025 的关键一环。以维护为例, 生产商会按时对自己的设备进行维护。维护的时间间隔根据设备磨损的先验模型或者先验知识来设置。虽然这些先验模型可以在实验室中进行大量检验, 但是设备是为人服务的, 在不同楼宇中被使用的方式各不相同, 在生产阶段无法准确了解。如空调中氟利昂的消耗和使用强度相关, 先验模型一般设计保守, 浪费巨大。再以运行为例, 设备的实际运行和能达到的最优系统差距更大。比如中央空调系统一般由若干个离心冷水机组组成, 中央空调在面对一个冷负荷 (cooling load) 需求时, 以何种模式运行这些离心机组 (chiller sequencing), 使得空调能够支持冷负荷需求并且使总电量最优化是一个经典的问题。每个离心机在一定电量输入下可以产生一定的冷负荷, 而每个离心机的性能和现场装配、老化程度和使用环境相关。笔者发现, 如果通过相互学习来对每个离心机做画像, 则可以更准确地预测离心机的当前性能, 进而大大优化中央空调的运行。

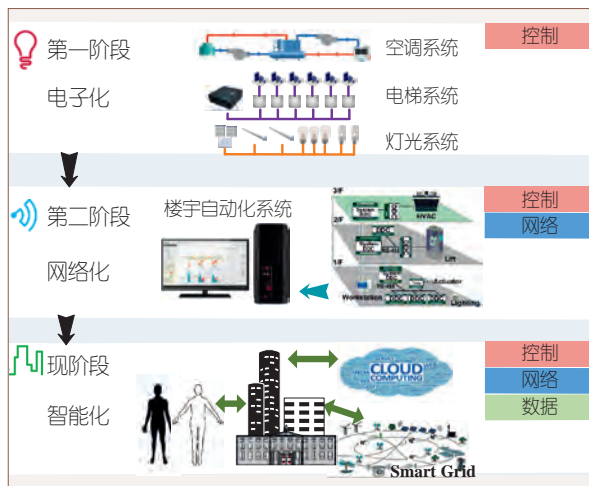


图1 楼宇的架构转变

## 智能楼宇中的计算机研究

智能楼宇中还有大量的优化问题可以研究，但是，下一代楼宇的信息架构现在并没有研究清楚。图1显示了楼宇架构历经的转变。在第一阶段，楼宇设备从机械手工控制转变为电子控制。不过这个时候楼宇中的工业设备都是单独控制，如独立的空调系统和独立的电梯系统。在第二阶段，随着互联网技术发展和楼宇设备的协作，逐渐出现了专门的楼宇自动控制系统 (building automation systems)，并通过这个系统来管理不同公司的设备。这些系统已经广泛使用互联网技术和理念，如使用以太网进行设备的连接，规定标准协议 (BACnet) 等。楼宇架构目前进入第三个阶段。随着物联网、云计算和数据学习的发展，楼宇面对更多的应用需求，希望能够更方便地和人交互，和不同楼宇的设备交互，以及和外界（如智能电网、交通系统）交互。现有的楼宇控制系统远远不能达到要求，根据美国国家标准技术研究所 (NIST) 的统计，美国楼宇产业因为标准不同而进行转换所付出的代价每年达 158 亿美元。

### 软件定义楼宇

对于单幢楼宇，加州大学伯克利分校提出软件定义楼宇的概念，对楼宇数据和物理资源进行抽象，和楼宇应用进行分离。其中最早的工作 sMap 对不同设备的数据进行了统一的设计，并设计了数据查询方法。在 sMap 基础之上设计了楼宇操作系统 BOSS。BOSS 进一步统一了历史数据和实时数据，还通过事务处理设计了对设备并发访问的冲突处理机制和授权机制。最新的 Brick 对楼宇设备之间的层次等级进行了定义，还开发了楼宇设备的词库，包含了 90% 的设备命名。当然，软件定义有很多层面，笔者认为对相同设备也有抽象的价值，比如软件定义空调系统。

### 面向智能楼宇的新型网络系统与边缘计算

软件定义楼宇是从一个楼的视角来看待问题。

如果从一个设备生产商的角度来看待问题并进行智能运维，则需要这个生产商把自己在不同楼宇设备的数据传输到云端进行运算。楼宇中众多数据在网络上的传输看似简单，实则不然。如果数据传输借用楼宇管理系统 BAS，或者楼宇中其他网络（如 Wi-Fi），则需要此设备生产商和不同楼宇逐一谈判，来获得网络使用权。从单幢楼宇角度，楼宇管理员要面对几十个设备生产商，如果对每个设备生产商都给出权限，楼宇管理员要背负很大责任。本质上，智能运维这张网应该和楼宇 BAS、楼宇中的 Wi-Fi 等是不同的网络。智能运维网络目前尚未建成。

根据这些需求，网络运营商提出了窄带物联网 (NB-IoT) 概念，它使用蜂窝网的资源，以较低的价格提供较小的流量和较低速率的服务。LoRa 作为新一代无线通信方式，则可以通过购买 LoRa 设备，以很低的速率免费通信。在这些基础设施之上，如何设计工业设备智能运维网目前还没有定论。笔者做了一些初始工作，发现 IoT 设备需求的异构性极大，而网络运营商不可能提供大量异构的 NB-IoT 选择。我们提出并设计了一个物联网信道共享架构 Sharing Tube (sTube)，可以大大降低通信费用。

当然，工业智能运维是否需要把所有数据都传输到云上进行运算尚无定论。比如楼宇设备的运行优化，比维护需要更加频繁的数据获取，通信需求更大，但笔者发现其实不需要从所有设备上进行学习，就可取得不错的效果。如何结合目前正在兴起的边缘计算进行设计，应该是未来的研究方向。

### 面向智能楼宇的感知系统

对人的精确感知也是计算机可以在楼宇中大展身手的方向。如研究一个空间内是否有人、人的数量、人的行为以及人对环境和舒适度的喜好等。楼宇中的特殊性体现在，除了可以通过手机所携带的传感器进行感知外，还可以使用楼宇结构的特性进行感知。这个思想在数百年前的日本“莺声地板”的设计中就有体现——人们走在京都二条城的地板上会听到黄莺鸣叫般的声响。这声音来自地板下嵌入的钉子和人在地板上走动时的摩擦。其实，这是

当时幕府统治者为了能得知刺客进入而设计的报警机关。随着传感器的发展，现在建筑结构的微小震动都可以被感知，进而可以根据每个人走路时产生的不一样的震动做成签名，为一系列的安全问题提供解决方案。

智能楼宇既享受着计算机发展带来的新技术，又为计算机进一步发展提供新的研究场景。作为计算机研究者，我们愿意相信智能楼宇的发展将和智能手表、智能汽车一样，计算机技术在其中起到关键性作用。有人说苹果手机的成功是因为和上一代诺基亚、摩托

罗拉等手机设计有理念上的区别，上一代手机首先考虑的是电话功能，然后增加了一些记事本、音乐和游戏功能。而苹果公司将手机做成了计算机平台，可以轻易地安装各种应用，然后再具备电话功能。那么，智能楼宇未来是否会先被做成一个计算机，然后再在其中增加生活和工作的功能呢？ ■



王丹

CCF 专业会员。香港理工大学计算学系副教授。主要研究方向为计算机网络、工业 4.0、智能楼宇。  
dan.wang@polyu.edu.hk

## 2018 CCF CCD

### 计算机课程改革导教班 (8月11~18日)



学术主任：

李晓明 北京大学教授  
CCF 会士，CCF 王选奖、杰出教育奖获得者



徐志伟

中国科学院大学教授  
CCF 会士、理事，王选  
奖获得者

课程：  
计算机科学导论



杜小勇

中国人民大学教授  
CCF 会士、常务理事，  
卓越服务奖获得者

课程：  
数据库与大数据



马殿富

北京航空航天大学教授  
CCF 杰出会员，卓越  
服务奖获得者

课程：  
离散数学与 Python

- ◆ 开课时间：2018 年 8 月 11~18 日
- ◆ 开课地点：北京怀柔区中国科学院大学国际会议中心
- ◆ 注册费：CCF 会员 3300 元，非会员 4300 元，食宿交通自理。  
(新疆大学、青海大学、贵州大学、云南大学、宁夏大学、西藏大学的 CCF 会员可申请两个免费名额)
- ◆ 报名方式：<https://jinshuju.net/f/K65ycI> 或扫描二维码
- ◆ 报名截止：2018 年 4 月 30 日

联系：李红梅 adl@ccf.org.cn 188 1066 9757

