

## 第12章

### 第2节 无人驾驶和智能交通

包括无人驾驶技术在内的智能交通系统是解决目前经济发展所带来的交通问题的理想方案。本章学习智能交通的定义、发展和主要技术。

#### 1 无人驾驶与智能交通

##### 1.1 智能交通系统概述

###### 1.1.1 ITS 的定义

智能交通系统（Intelligent transportation system, ITS）是未来交通系统的发展方向，它在较完善的基础设施之上将先进的物联网、大数据、云计算、人工智能、传感器、数据通信、运筹学、电子控制与传感技术、自动控制技术、信息技术以及计算机处理技术等有效地集成运用于交通运输、服务控制和车辆等整个地面交通管理系统，加强车辆、道路、使用者之间的联系，从而形成一种保障安全、提高效率、改善环境、节约能源的综合运输体系，建立一种在大范围内全方位发挥作用的实时、准确、高效的综合交通运输管理系统[王耀鑫.2018]。

智能交通的发展跟物联网的发展是离不开的，只有物联网技术不断发展，智能交通系统才能越来越完善。智能交通是交通的物联化体现。21世纪是公路交通智能化的世纪。人们将要采用的智能交通系统，是一种先进的一体化交通综合管理系统。在该系统中，车辆靠自己的智能在道路上自由行驶，公路靠自身的智能将交通流量调整至最佳状态，借助于这个系统，管理人员对道路、车辆的行踪将掌握得一清二楚。

智能交通作为当今世界交通运输发展的热点，在支撑交通运输管理的同时，更加注重满足民众出行和公众交通出行的需求，构建一个绿色安全的体系。智能交通是未来交通系统的发展方向[黄志坚.2018]。

###### 1.1.2 ITS 的基本功能

###### (1)车辆控制

系统可辅助驾驶员驾驶汽车或替代驾驶员自动驾驶汽车。通过安装在汽车前部和侧面的雷达或红外线探测仪，可以准确地判断车与障碍物之间的距离，遇紧急情况，车载电脑能及时发出警报或自动刹车避让，并根据路况自己调节行车速度，人称“智能汽车”。

###### (2)交通监控

类似于机场的航空控制器，它将在道路、车辆和驾驶员之间建立快速通信联系。哪里发生了交通事故，哪里交通拥挤，哪条路最为畅通，该系统会以最快的速度提供给驾驶员和交通管理人员。

###### (3)车辆管理

该系统通过汽车的车载电脑、高度管理中心计算机与全球定位系统卫星联网，实现驾驶员与调度管理中心之间的双向通信，来提供商业车辆、公共汽车和出租汽车的运营效率。该系统通信能力极强，可以对全国乃至更大范围内的车辆实施控制。

###### (4)出行信息服务

系统提供信息的媒介是多种多样的，如电脑、电视、电话、路标、无线电、车内显示屏等，任何一种方式都可以。无论你是在办公室、大街上、家中、汽车上，只要采用其中任何一种方式，你都能从信息系统中获得所需要的信息。有了该系统，外出旅行者就可以眼观六路、耳听八方了。

###### 1.1.3 ITS 的组成

###### (1)先进的交通信息系统(ATIS)

ATIS 是建立在完善的信息网络基础上的。交通参与者通过装备在道路上、车上、换乘站上、停车场上以及气象中心的传感器和传输设备，向交通信息中心提供各地的实时交通信息；ATIS 得到这些信息并处理

后，实时向交通参与者提供道路交通信息、公共交通信息、换乘信息、交通气象信息、停车场信息以及出行相关的其他信息：出行者根据这些信息确定自己的出行方式与路线。更进一步，当车上装备了自动定位和导航系统时，该系统可以帮助驾驶员自动选择行驶路线。

#### (2)先进的交通管理系统(ATMS)

ATMS 有一部分与 ATIS 共用信息采集、处理和传输系统，但是 ATMS 主要是给交通管理者使用的，用于检测、控制和管理公路交通，在道路、车辆和驾驶员之间提供通信联系。它将对道路系统中的交通状况、交通事故、气象状况和交通环境进行实时的监视，依靠先进的车辆检测技术和计算机信息处理技术，获得有关交通状况的信息，并根据收集到的信息对交通进行控制，如信号灯、发布诱导信息、道路管制、事故处理与救援等。

#### (3)先进的公共交通系统(APTS)

APTS 的主要目的是采用各种智能技术促进公共运输业的发展，使公交系统实现安全便捷、经济、运量大的目标。如通过个人计算机、闭路电视等向公众就出行方式和事件、路线及车次选择等提供咨询，在公交车站通过显示器向候车者提供车辆的实时运行信息。在公交车辆管理中心，可以根据车辆的实时状态合理安排发车、收车等计划，提高工作效率和服务质量。

#### (4)先进的车辆控制系统(AVCS)

AVCS 的目的是开发帮助驾驶员实行本车辆控制的各种技术，从而使汽车行驶安全，高效。AVCS 包括对驾驶员的警告和帮助、障碍物避免等自动驾驶技术。

#### (5)货运管理系统(FMS)

这里指以高速道路网和信息管理系统为基础，利用物流理论进行管理的智能化的物流管理系统。综合利用卫星定位、地理信息系统、物流信息及网络技术有效组织货物运输，提高货运效率。

#### (6)电子收费系统(ETC)

ETC 是世界上最先进的路桥收费方式。通过安装在车辆挡风玻璃上的车载器与在收费站 ETC 车道上的微波天线之间的微波专用短程通信，利用计算机联网技术与银行进行后台结算处理，从而达到车辆通过路桥收费站不需停车而能交纳路桥费的目的，且所交纳的费用经过后台处理后清分给相关的收益业主。在现有的车道上安装电子不停车收费系统，可以使车道的通行能力提高 3~5 倍。

#### (7)紧急救援系统(EMS)

EMS 是一个特殊的系统，它的基础是 ATIS，ATMS 和有关的救援机构和设施，通过 ATIS 和 ATMS 将交通监控中心与职业的救援机构连成有机的整体，为道路使用者提供车辆故障现场紧急处置、拖车、现场救护、排除事故车辆等服务。具体包括：

- 车主可通过电话、短信、翼卡车联网三种方式了解车辆具体位置和行驶轨迹等信息；
- 车辆失盗处理：此系统可对被盗车辆进行远程断油锁电操作并追踪车辆位置；
- 车辆故障处理：接通救援专线，协助救援机构展开援助工作；
- 交通意外处理：此系统会在 10s 后自动发出求救信号，通知救援机构进行救援。

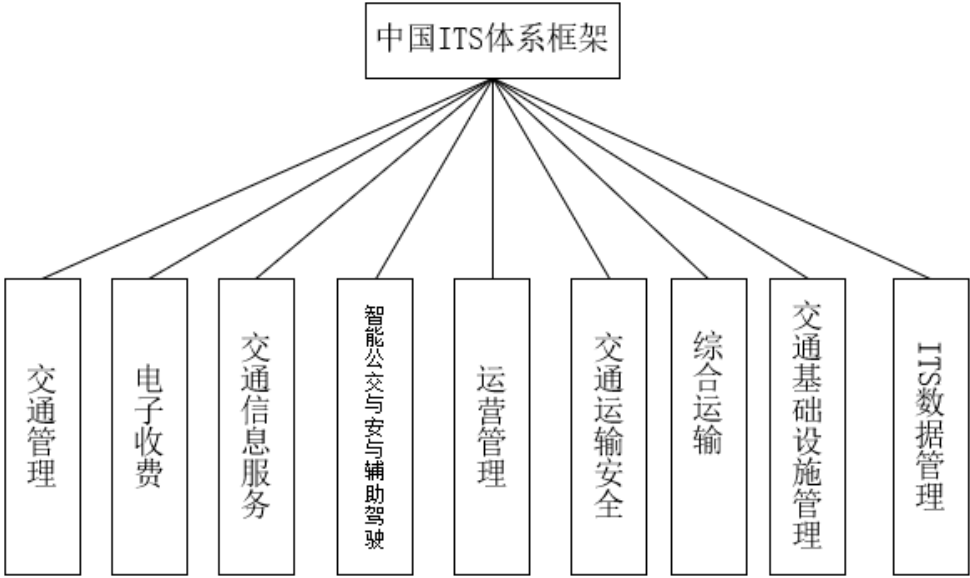


图 1.1 中国 ITS 体系框架

1.2 智能交通的关键技术

1.2.1 交通大数据挖掘技术

随着移动互联网及城市交通信息多元化采集技术的产生，交通行业已然进入大数据时代。数据挖掘是从大量数据中寻找规律的技术，是目前最强有力的计算机数据分析技术之一[李学龙, & 龚海刚. 2015]。交通大数据挖掘技术是推动智能交通系统领域发展的最为关键的技术之一，也是互联网+交通应用领域中的核心技术。

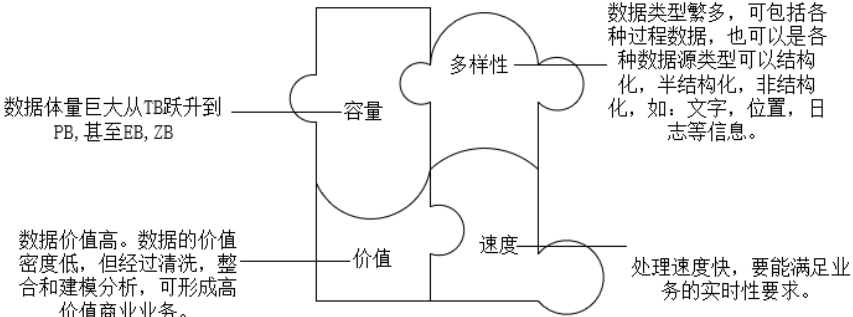


图 1.2 交通大数据挖掘技术

交通大数据分析，寻找交通数据中的规律，使交通参与者能快速、全面、准确地完成交通评估和决策，实现交通智能化管理。通过寻找交通数据中的规律，为智能交通系统的设计提供技术支持，有利于缓解交通拥挤、优化交通路网运行，向出行者提供精确交通信息、向管理者提供科学化政策决策，从而促进交通安全、高效发展。

基于交通大数据挖掘技术，可改变传统交通管理行政区域的限制，建立综合性、立体性的智能交通体系，综合多种公共交通信息系统，实现实时交通预测，由此提升交通事故监测与处理、交通信息诱导、驾驶员行为检测等交通预测水平，从而为交通监管、安全预警、高效管控等提供新技术，新手段。

1.2.2 无人驾驶车辆技术

无人驾驶车辆技术是集人工智能、计算机视觉、组合导航、信息融合、自动控制和机械电子等众多高技术于一体的车辆自动驾驶技术。它利用车载激光、视觉、超声波，红外线等传感器感知周围环境，并与全球导航系统相结合，基于感知所处的位置、车辆信息，障碍物信息，并通过车载计算机的高性能计算，得出车辆的启停、速度、转向等控制指令，从而自主控制车辆实现自动的安全、可靠行驶。基于以上特点，无人驾驶车辆在减轻驾驶人员劳动强度、改善车辆安全驾驶性能，降低交通事故发生率，在恶劣条件和极

限条件下作业等方面具有普通车辆无可比拟的优点。

无人驾驶技术从应用的角度可分为无人驾驶汽车、无人驾驶飞机、无人艇和无人潜航器。无人驾驶技术是衡量一个国家交通领域的科技水平与工业制造水平的重要标志之一，同时在国防和未来智能社会发展与建设中具有广阔前景。基于无人驾驶技术，可实现对位置、视觉环境感知、自主避障与导航、智能规划、自动控制、网络云计算等技术的融合发展，从而将环境信息与车身信息融合成为一个系统性的整体，实现全新方式的信息融合，使无人驾驶设备清楚地“知道”自己的速度、方向，路径等信息，并进一步提升和改善交通运行环境，降低成本，提高安全性和运行的效率。

### 1.2.3 车联网技术

车联网技术是以车内网、车际网和车载移动互联网为基础，按照约定的通信协议和数据交互标准，在车+（车、路、行人及互联网等）之间，进行无线通信和信息交换的大系统网络。汽车互联网以人为本，同时依靠云计算平台，连接保险行业、4S 或车行行业、政府企业车队，构建智能交通与智慧城市，通过云计算大数据提供的详细信息进行分析，为客户制订合理的服务和应用。其中包括 UBI 保费计算、查勘理赔、增值服务、咨询发布、智能交通管理、车管业务、环保监测管理等[王建强, 吴辰文, & 李晓军. 2011]。

车联网技术是物联网与智能化汽车两大领域的重要交集，是物联网技术在交通系统领域的典型应用。车联网实现了智能化交通管理、智能动态信息服务和车辆智能化控制的一体化。未来的车联网发展是打造一个智慧交通，并对传统交通进行颠覆式的创新，开创区别于传统的不同性能纬度的新模式，建立技术标准，打造开放平台；互联网服务于产品捆绑销售：声控互联、无人驾驶技术、车联网保险、车联网电商等都有无数颠覆式创新，跨界打造车联网生态圈(图 1-3)，最终回归车的本质，安全驾驶。



图 1.3 车联网生态圈

### 1.2.4 智能交通信息智能感知与服务技术

实时、准确地获取交通信息是实现智能交通的依据和基础。智能交通物联网感知互动层通过多种传感器、RFID[林基艳, 张慧, & 张雅琼. 2017]、二维码、定位、地理信息系统等数据采集技术，实现车辆、道路和出行者等多方面交通信息的感知(图 1-4)。

在数据挖掘的基础上，可解决跨越行政区域的限制，实现数据信息的共享。在信息集成优势和组合效率上，有助于建立综合性立体的交通信息体系；同时，在车辆安全、交通资源配置方面，通过交通信息的智能感知采集到的交通大数据的计算、挖掘与分析，提升车辆安全性、交通资源配置的效率，并利用交通大数据的快速性和可预测性，提高交通预测的水平。

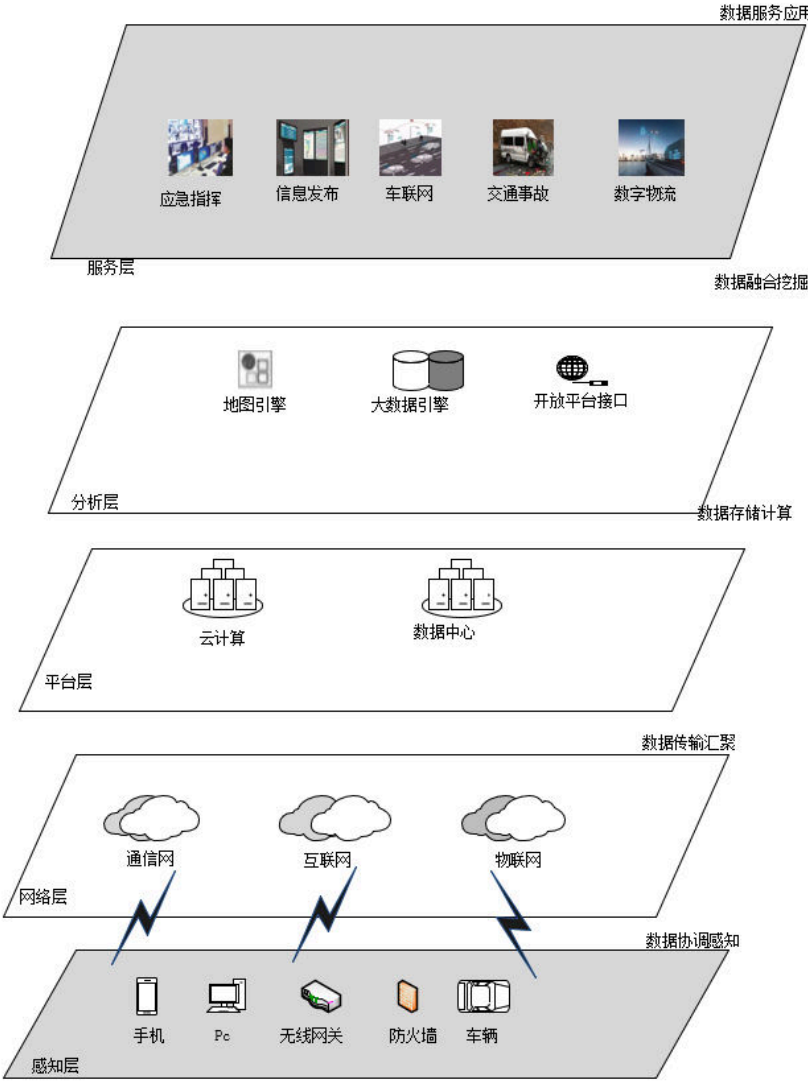


图 1.4 智能交通信息智能感知与服务

1.3 无人驾驶概述

汽车的发明给社会带来了诸多便捷和效率，汽车工业的发展也进一步促进了经济的发展与人类的创新。人们的不断需求，也使得汽车的年产量和汽车的保有量在增加，所以研发更加便捷安全的汽车成为重中之重[王子正, & 程丽. 2016]。科技的进步也带动着计算机控制技术不断进步，现在的汽车制造中越来越多地采用计算机自动控制技术，使无人驾驶技术不断趋于完善，从而提升其效率，使之更加安全与节能。

1.3.1 无人驾驶汽车的概念及其结构

无人驾驶汽车(self-driving car) 是一种主要依靠车内以计算机系统为主的智能驾驶仪来实现无人驾驶的智能汽车，又称为自动驾驶汽车、电脑驾驶汽车等。无人驾驶汽车能够在道路上安全可靠地行驶，主要通过车载传感对行驶车辆的周围环境进行感知与识别，对获取的车辆位置、交通信号、道路以及障碍物等信息经过分析处理，从而控制汽车的速度和转向。

无人驾驶技术是一门建立在信息感知、信息控制以及信息执行等环节基础上的多学科、跨行业的综合性技术。车辆智能化的基础包括信息感知、处理控制、动作执行，车辆智能将由高级驾驶辅助系统(ADAS)向整车自动驾驶发展。

无人驾驶技术一般分为 6 个等级，依次为完全手动驾驶，辅助驾驶、部分模块自动化、特定条件下自动化、高度自动化以及全自动化的无人驾驶。

无人驾驶汽车主要由基础平台、主控、运动控制、环境感知、自主导航等系统组成。

基础平台系统可根据实际需求选取,如在高速公路、城市道路等结构化道路上行驶,可以选取一般的小型汽车;在野外环境如乡村、山地等非结构化道路上行驶,可选择运动型或者越野型汽车;在月球或者其他星球表面等未知环境中行驶,则需要专门设计的月球车或者火星车作为基础平台。

主控系统是无人驾驶汽车的数据处理中心和控制中心,完成传感器数据的采集、处理和融合,路径规划计算,自主导航系统计算,发出控制指令等工作。

运动控制系统主要包含制动、调速、转向等控制系统,接收来自车载主控系统的指令信号,完成辅助驾驶或者自主导航功能。

环境感知系统主要由装配在车身的各种传感器构成,通过不同类型的传感器实时获取外部环境信息,建立外部环境模型并经过相应算法进行路径规划。常用的环境感知传感器有激光测距仪(laser range finder. LRF)、测距雷达(rader)、摄像头(可见光、红外线)等。激光测距仪发射多束激光射线,车辆周围的物体发射激光,测量激光从发射到返回的时间差即可计算出汽车与物体的距离;前方道路的三维图像经摄像头组成的光学立体视觉系统实时生成,用以检测行进道路潜在危险,并对其进行预测。无人驾驶汽车会把激光测距仪测量数据、雷达测量信息、实时光学图像数据和内置的实景(街景、地理)地图信息进行结合,分别形成相应的三维模型。

自主导航系统包括惯性导航、卫星导航,航位推算导航、“地表+地图”匹配和数据融合处理等系统[冯黎. 2019]。

### 1.3.2 无人驾驶的工作原理

图 1.5 所示为谷歌的无人驾驶系统,包括车载雷达、车载电脑、激光定位器、红外照相机、立体图像相机、GPS、车轮编码器等[翟启仁. 2018]。

无人驾驶汽车需要感知车辆和周围物体的距离,激光射线可以满足这一技术要求,车顶安装能够发射激光射线的激光测距仪,通过从发射到接触物体反射回来的时间,车载电脑便可计算出和物体间的距离。车辆为了能够避开道路路障和提前作出处理,需要车载雷达探测行驶中车辆周围的固定路障。车辆为了更好地探测路障,车载雷达的布局方式采用前三后一的安装格局。在车辆变换车道时安装在车后方的雷达探测左右后方是否有车,由于车顶的激光测距仪激光反射具有盲点区域,车后雷达弥补这一不足,防止车辆发生侧面撞击,同时在车辆倒车时,判断车辆的倒车距离,防止发生倒车碰撞。安装在车前的 3 个车载雷达,能够探知车前方是否有路口以及前车是否有刹车动作,雷达把探测信息传递给车载电脑,系统对探测信息进行判断和处理,并作出相应指示操作。如图 1.5 所示,在车辆底部装有雷达、超声波、摄像头等设备,能够检测出车辆行驶方向上的角速度、加速度等一些重要数据,再利用卫星定位系统 GPS 传输的数据进行整合处理,能够精确计算行驶车辆的具体位置。安装在车辆的微型传感器能够监控车辆是否偏离 GPS 导航仪指定的行驶路线,而道路的宽度、交通信号灯以及车辆行驶的道路信息是通过车载摄像机捕获的图像进行判断分析处理的。

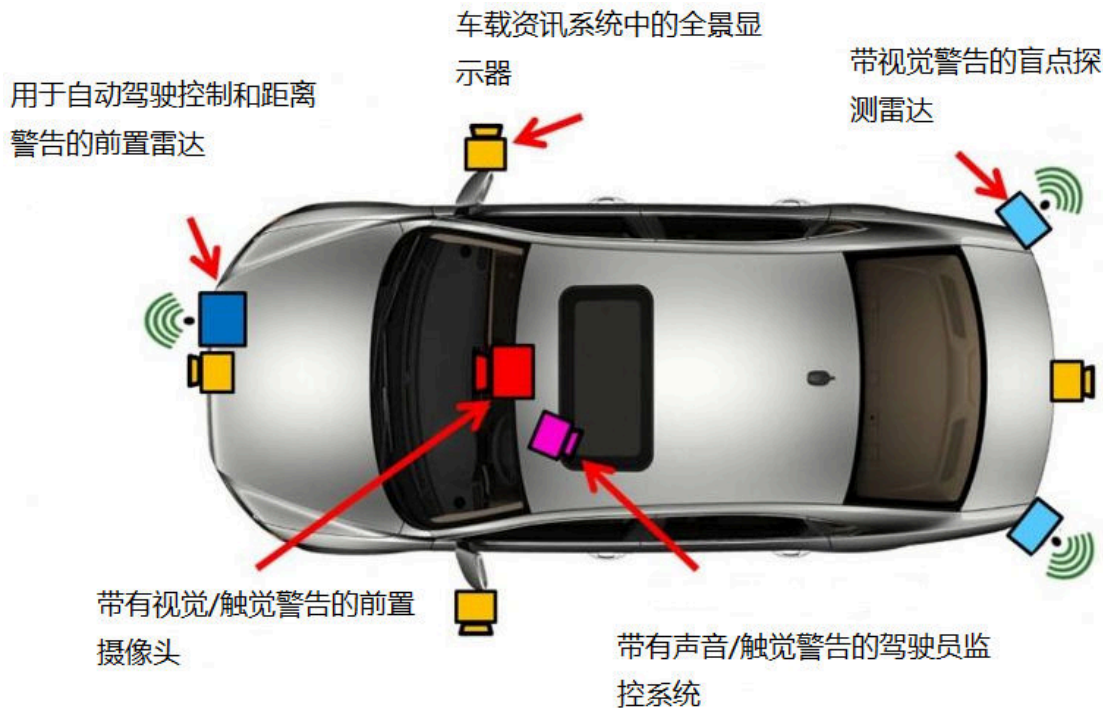


图 1.5 无人驾驶汽车中雷达、超声波、摄像头范围及应用

如图 1.5 所示，无人驾驶汽车为保障车辆在道路上正常行驶，符合交通法规，必须在车辆车头安装摄像头对道路地面进行分析判断，避免发生占道、偏离路线以及行驶错道。车辆在通过交通岗时，要利用车载雷达进行对人、车、物的分析判断，避免发生交通事故。车辆对交通信号的判断是通过车载摄像机捕获的实时图像，再结合雷达测量的路口距离，分析处理后对车辆作出停车、行驶、加速、减速等指示，提高交通效率，达到无人驾驶的目的。

1.4 无人驾驶的主要技术

无人驾驶汽车是车辆通过车载传感器系统感知汽车行驶过程中周围的道路环境状况，同时对获取的信息进行分析处理，自动规划行车路线并对车辆进行导航，从而达到预定目的地的智能汽车。能够保障无人驾驶汽车行驶安全可靠的核心技术主要有环境感知技术、高精度地图技术以及路径规划与决策技术 3 个方面。

1.4.1 环境感知技术

作为无人驾驶汽车系统中最基础的模块，环境感知技术的功能如同人类的眼和耳一样，其主要由激光雷达、视觉摄像头、毫米波雷达等设备组成，用来获取无人驾驶汽车周围详细的环境信息，为车辆正确的行为决策提供必要的信息支持，从而达到无人驾驶。

- 激光雷达 利用激光技术、GPS 系统以及惯性测量装置从而获得相关数据，并自动生成高精度的数字高程模型，输送给车载电脑。无人驾驶汽车中的激光雷达有 2 个核心功能：其一是 3D 建模进行环境感知，通过激光扫描得到汽车周围环境的 3D 模型，运用相关算法比对上一帧和下一帧环境的变化探测出周围的车辆和行人；其二是同步建图加强定位，通过将实时得到的全局地图和高精度地图中特征物进行比对，加强车辆导航与定位的精准度。其工作原理为[time-of-flight](飞行时间或飞行时间技术)方式[董辉. 2017]。所谓[time-of-flight]工作方式，即在用传感器测定距离的方向上照射激光，通过测量此激光遇到某种物体后再返回的时间，测定至某种物体距离的方法。采用激光测量的方法，可以实现高速、准确地测量。当然，按激光雷达种类的不



图 1.6 谷歌车上的激光雷达

图 1.6 谷歌车上的激光雷达

同，也可以不采用红外线，而采用其他激光。[time-of-flight]工作方式的工作原理如图 1.7 所示。

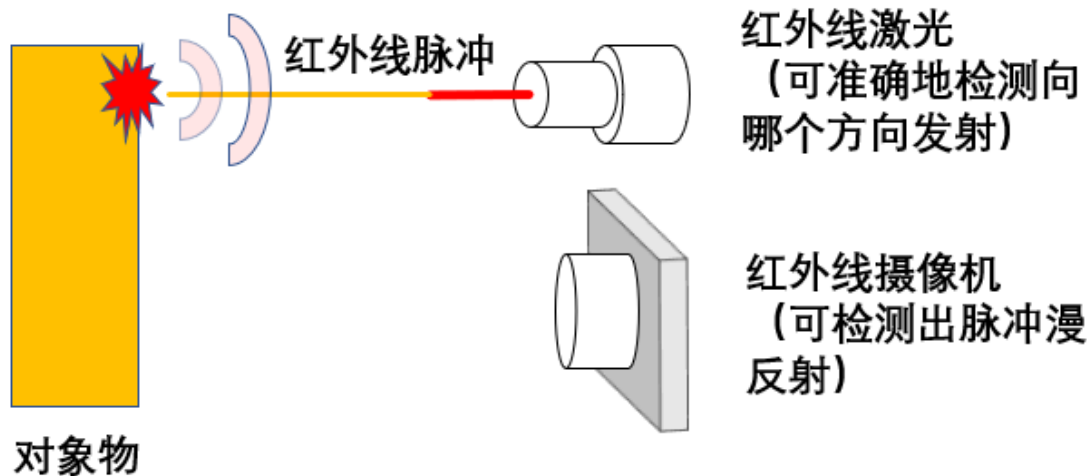


图 1.7 time-of-flight 工作原理

- 视觉摄像头具有人工智能中的图像识别功能，实现对驾驶员状态、障碍物以及行人的检测和对交通标志，路标的识别等功能。
- 毫米波雷达 无人驾驶里极其重要的传感器，是智能汽车商级驾驶辅助系统的标配传感器。雷达采用的毫米波的波长为 1~10mm,其频率为 30~300GHz,具有非常强的穿透力。毫米波雷达与超声波雷达以及激光、红外线等光学传感器相比，具有体积小、质量轻以及全天候全天时的特点，而且其空间分辨率高、穿透障碍物的能力强，极大提高了信息感知的准确性。

1.4.2 高精度地图技术

高精度地图和动态交通信息是无人驾驶汽车的重要信息资源，在辅助感知、路径规划、辅助决策中起到了重要作用。高精度地图是无人驾驶汽车的重要辅助技术，能够提前使车辆获知车辆行驶前方的方向和路况。动态交通信息通过互联网和 GPS 系统能够获取实时的交通信息状况，并传递给行驶车辆，同时车载电脑对信息进行分析处理，来判断道路拥堵的程度，并选择最佳行驶路径对车辆进行导航。

1.4.3 路径规划与决策技术

路径规划是决策技术的初级环节，其中涉及的是路径搜索算法，并结合提供的实时动态交通信息，在传统静态路径规划基础上，实时动态调整及修改车载电脑最初对车辆所规划好的行驶路径，最终寻找出到达目的地的最优路径。决策技术的高级环节便是机器学习中的深度学习，在前两个核心技术对无人驾驶汽车提供的实时环境数据和交通大数据的基础上，深度学习能够不断对无人驾驶系统进行改进完善，使无人驾驶汽车在面对复杂交通状况和交通环境的时候，系统可以作出智能、合理的判断，并进行最优处理。这也是目前无人驾驶整个环节中最核心的技术，受益于谷歌、特斯拉、百度等科技巨头的潜心研究，算法已加速成熟。



## 第12章

### 第3节 智能医疗

医疗领域是一个知识密集型、关于民生的重要行业。基于医疗行业大数据,通过智能化方法和技术实现的智能医疗系统是解决目前人民生活发展所带来的医疗要求提高的理想途径。本章学习智能医疗的定义、发展和主要技术。

#### 2 智能医疗

近年来,信息技术的不断发展在很大程度上促进了我国医疗事业的建设。在日常生活中,“互联网+”的概念已经深入人心,并且在生产生活以及经济发展等方面产生了一定程度的影响,“互联网+医疗”模式也逐渐出现在人们的生活中。在我国医疗领域的不断改革中,医疗信息化建设发展迅速,并且在许多地区已经开始建立电子健康档案。通过这种方式,进一步促进了我国区域医疗信息平台的建设,从而使电子病历成为医院信息化建设的核心,进而促进了智慧医疗建设。

##### 2.1 智能医疗概述

###### 2.1.1 智慧医疗的概念

由于智慧医疗是基于“互联网+医疗”而形成的一个新名词,使得智慧医疗到现在为止并没有一个统一的概念。在20世纪初期,有人将智慧医疗定义为远程医疗,认为智慧医疗是通过信息化技术建立个人健康档案平台,并且利用最先进的计算机网络技术,最终实现患者与医务人员的互动。另外,有一部分人员则认为智慧医疗是运用计算机信息技术等,通过智能化的方式将与医疗建设有关的信息以及相关设施等紧密联系起来,并且能够智能响应医疗工作的实际需求。

智慧医疗是智慧城市巨大系统中的一个部分,是通过医疗物联网、医疗云、移动互联网、数据融合、数据挖掘、可穿戴设备,将医疗基础设施与IT基础设施进行融合,并在此基础上进行智能决策,跨越了原有医疗系统的时空限制和技术限制[裘加林等.2015]。

###### 2.1.2 智慧医疗的特点

智慧医疗将以居民健康为核心,通过城市公共卫生基础环境、基础数据库、软件基础平台以及数据交换平台、卫生信息化体系(包括卫生综合运用体系、公共卫生体系、医疗服务体系、医疗机构信息化体系)、保障体系的建设,构建城市医疗卫生信息化支撑平台,将分散在不同机构的健康数据整合为逻辑完整的信息整体,满足与该系统相关的各种机构和人员的需求。

总体来说,智慧医疗具有互连性、协作性、预防性、普及性、可靠性以及创新性等特性。

(1)互连性。互连性是指不论人身在何处,被授权的医疗健康服务者都可以通过网络,浏览个人的健康档案、病历、服务记录等内容,并可以同其他专家联合进行网上会诊或健康咨询,为人们提供最好的医疗健康服务。

(2)协作性。协作性是指通过信息网络,记录、整合和共享医疗健康信息和资源,实现不同部门、机构之间的信息交换和协同工作,为人们提供预防、体检、诊疗报销、康复等一体化服务。

(3)预防性。预防性是指智慧医疗可以实时地发现重大疾病即将发生的征兆,提前进行提示,并在发生前进行快速、有效的反应。

(4)普及性。普及性是指通过信息网络,突破城市与乡镇、社区与大医院、医疗机构与健康服务机构之间的观念限制,提供全民性的高质量医疗健康服务。解决“看病难”的问题,实现健康全程管理。

(5)可靠性。可靠性是指任何关于健康的电子档案,在没有得到个人同意的情况下,不会向任何人提供,确保个人网络信息安全。

(6)创新性。创新性是指借助丰富的医疗健康信息,可以在伦理和法律许可范围内,变革传统的医学模

式，激发更多医疗健康领域内的创新发展。

2.2 智慧医疗建设的主要内容

智慧医疗是一个庞大、复杂、动态的系统，要注重顶层设计，避免浪费和信息孤岛。总体来说，智慧医疗建设需要谨慎制定具有战略远见、符合城市医疗健康现状的总体规划，还需要在充分考虑各部分以及与智慧城市其他领域之间的关系，制定具体的规划方案、设计方案、实施方案、保障体系等，以切实推进智慧医疗建设。

近年来，我国的智慧医疗市场需求不断增长，市场规模迅速扩大，已成为仅次于美国和日本的世界第三大智慧医疗市场。我国 2 千余家智慧医疗企业中，北京、广东、上海、江苏、浙江五大产业集聚区已经形成。在物联网、云计算、移动互联网的应用背景下，围绕医疗健康的迫切需求，涌现出众多创新的智慧应用。因此，我国智慧医疗的建设是基于电子病历、电子健康档案、数字医院、区域医疗等医疗信息化建设，针对城市医疗健康现状和需求，对城市智慧医疗体系进行调整和完善的过程。

尽管不同城市医疗信息化发展的基础和需求不同，侧重点不同，但是从整体来看，按照作用和支撑关系，智慧医疗的核心建设内容主要包括智慧医疗的基石、智慧医院、智慧的区域医疗、互联网医疗等，如图 2.1 所示。

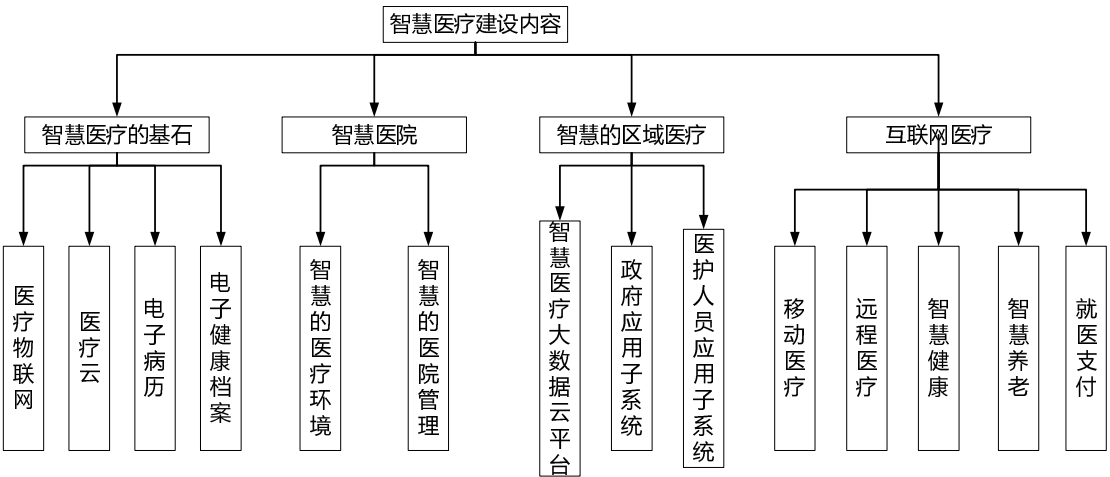


图 2.1 智慧医疗建设的主要内容

2.2.1 智慧医疗的基石

智慧医疗的智慧基础类建设内容是整个智慧医疗体系的基础技术支撑，为丰富多彩的应用奠定信息共享和信息联通基础，主要包括医疗互联网、医疗云、电子病历、电子健康档案。

(1) 医疗物联网

医疗物联网技术是智慧医疗的核心[姬晓波等.2010]。医疗物联网的应用方式是指依据医疗过程的需求，将各种信息传感设备，如射频识别装置、感应器、移动智能手机、激光扫描器、医学传感器、全球定位系统等装置，与互联网结合起来而形成的巨大的网络，并将这些信息传感设备通过医疗物联网技术与所有的资源连接在一起，进而实现资源的智能化、信息共享与互联。

(2) 医疗云

医疗云是在医疗健康领域采用现代计算技术，使用“云计算”的理念来构建医疗健康服务的系统，形成具有医疗健康领域特色的行业云，支撑云医疗的推广应用，有效地提高医疗健康服务的质量、成本和便捷性。

(3) 电子病历

电子病历即电子化的病历，是医疗机构在特定时间对门诊、住院患者临床诊断治疗过程的系统、规范记录，它贯穿整个医疗过程，完整集中地记录了各种医疗服务者下达的医疗指令及执行结果，并被诊疗过程的各个环节使用，具有高度的共享性，是医院信息系统的核心。电子病历主要由门（急）诊电子病历、住院电子病历和其他医疗电子记录（包括病历概要、健康体检记录、转诊记录、法定医学证明及报告、医

疗机构信息等)基本医疗服务活动记录构成。

#### (4) 电子健康档案

电子健康档案也称为电子健康记录,是居民健康管理(疾病防治、健康保护、健康促进等)过程的规范、科学记录,电子健康档案是以居民个人健康为核心,贯穿整个生命过程,涵盖各种健康相关因素,实现信息多渠道动态收集,满足居民自身需要和健康管理的信息资源(文件记录)。电子健康档案中的个人健康信息包括基本信息、主要疾病和健康问题摘要、主要卫生服务记录等内容。健康档案信息主要来源于医疗卫生服务记录、健康体检记录和疾病调查记录,并将其进行数字化存储和管理,电子健康档案与电子病历联系密切,互相补充,且电子病历是电子健康档案的主要信息来源和重要组成部分。

### 2.2.2 智慧医院

智慧医院是在数字化医院的基础上,更佳注重物联网、云计算、大数据技术的应用,更佳注重内外信息资源的联动共享和整体的协调性,构建高效经济的医院信息化系统和丰富便捷的医疗服务。智慧医院建设包括智慧的医疗环境和智慧的医院管理两个方面[陈秋晓等. 2013]。

#### (1) 智慧的医疗环境

智慧的医疗环境主要是指通过对医院建筑设计、楼宇智能化设计,使医院拥有一个绿色、环保、人性化的环境。智慧的医疗设施主要包含建筑智能化、通信自动化、业务专业化三部分组成。

#### (2) 智慧的医院管理

智慧的医院管理主要是通过信息化的手段,推进临床诊疗的网络化、自动化、智能化,促进医院资源有效利用,获取医院的最大效益。智慧的医院管理可提供更好的临床医疗服务,促使资源更有效的利用,构建更开放的医疗服务体系。智慧医院重要建设内容还包括一些具有显著技术特征的应用,比如医疗物联网、移动医疗、远程医疗等。这些应用是智慧医疗的建设亮点,增强了医院满足自身管理和服务质量等需求的能力。

### 2.2.3 智慧的区域医疗

智慧的区域医疗是指围绕“看病难、看病贵、看病烦”等就医问题,遵循以人为本、服务于人的理念,采用新一代信息技术加强卫生防控。加快资源协同调度,优化卫生管理决策,提高卫生资源利用率,实现预防、保健、医疗、康复等相结合的全方位智慧医疗保障和智慧健康管理。智慧的区域医疗建设主要围绕智慧医疗大数据云平台及配套基础系统优化。智慧医疗大数据云平台从建设和最终应用的角度,围绕政府应用、百姓应用、医护专业人员应用角度进行思考、规划和设计。

#### (1) 智慧医疗大数据云平台

智慧医疗大数据云平台应用云计算新技术,建设资源易整合、基础设施易扩展、系统易维护的系统平台,充分利用资源,节省建设成本。主要包括基础设施,云融合平台、云数据中心以及云应用。

#### (2) 政府应用子系统

智慧的区域医疗提升政府管理者医疗卫生监督管理效率及为民服务的能力。政府应用子系统主要有卫生应急指挥系统、疾病预防控制信息系统、合理用药电子预警管理系统、公共卫生监督系统等。

#### (3) 医护人员应用子系统

智慧的区域医疗注重为医护人员提供技术支持,提升基层医疗服务的质量。医护人员应用子系统包括基本的医疗信息化和辅助系统,涉及体检、临床、药品管理、转诊、付费等环节,有双向转诊系统、先诊疗后付费监管系统、区域卫生信息发布平台、区域 HIS 移动客户端等。

### 2.2.4 互联网医疗

互联网医疗就是把传统医疗的生命信息采集,监测、诊断治疗和咨询,通过可穿戴智能医疗设备、大数据分析移动互联网相连[陈睿. 2013],提供多种形式的医疗服务和健康管家服务,互联网医疗代表医疗行业新的发展方向,有利于解决中国医疗资源不平衡和人们日益增加的健康医疗需求之间的矛盾,是国家卫生和计划生育委员会积极引导和支持的医疗发展模式。目前主要包括移动医疗、远程医疗智慧健康、智慧养老、就医支付几个重点应用领域。

#### (1) 移动医疗 移动医疗是现代通信技术、互联网技术和临床医学等多个交叉学科的发展而催生的,

通过无所不在的网络和智能移动终端来提供医疗和公共健康服务的最新医疗服务模式。

(2) 5G 远程医疗 为了让患者方便就医,能够更快接受权威专家的治疗,远程会诊技术孕育而生。然而传统的远程会诊采用有线连接方式进行视频通信,建设和维护成本高、移动性差。随着 5G 网络的到来,远程会诊将实现质的改变。5G 网络高速率的特性,能够支持 4K/8K 的远程高清会诊和医学影像数据的高速传输与共享,并让专家能随时随地开展会诊,提升诊断准确率和指导效率。

利用医工机器人和高清音视频交互系统,远端专家可以对基层医疗机构的患者进行及时的远程手术救治。5G 网络能够简化手术室内复杂的有线和 Wi-Fi 网络环境,降低网络的接入难度和建设成本。利用 5G 网络切片技术,可快速建立上下级医院间的专属通讯通道,有效保障远程手术的稳定性、实时性和安全性,让专家随时随地掌控手术进程和病人情况,实现跨地域远程精准手术操控和指导,对降低患者就医成本、助力优质医疗资源下沉具有重要意义。

(3) 智慧健康 智慧健康就是围绕家庭及个人健康管理和护理,将医疗卫生系统充分对接到基层医疗卫生平台,借用医疗健康终端和系统,通过健康管理平台和设备,由医护人员和健康护理专职人员,向家庭和个人提供个性化的医疗健康服务。智慧健康建设的主要内容包括健康管理跟踪平台、健康管理应用系统以及健康管理终端。

(4) 智慧养老 智慧养老是在全国智慧城市建设的背景下提出来的,是指利用信息技术等现代科技技术(如互联网、社交网、物联网、移动计算等),围绕老人的生活起居、安全保障、医疗卫生、保健康复、入了休闲、学习分享等各方面支持老年人的生活服务和管理,对涉老信息自动检测、预警甚至主动处置,实现这些技术与老年人的友好、自助式、个性化智能交互。

(5) 就医支付 为解决医院“三长一短”现象,以服务就医者为本,采用先进信息技术,实现医院之间资源共享和部分资源对外开放,优化就医流程和就医环节,致力为就医者提供便捷、经济、轻松的高质量就医体验。在就医支付方面,主要的建设包括预约挂号平台、医院分诊导医系统、医疗电子支付。在传统的银医一卡通基础上,诊间结算、床边结算、手机支付、信用账户等方式日渐盛行,提供了更便捷、更广泛的支付渠道。

### 2.3 5G时代智慧医疗健康应用发展趋势

5G 医疗健康是指以第五代移动通信技术为依托,充分利用有限的医疗人力和设备资源,同时发挥大医院的医疗技术优势,在疾病诊断、监护和治疗等方面提供的信息化、移动化和远程化医疗服务,创新智慧医疗业务应用,节省医院运营成本,促进医疗资源共享下沉,提升医疗效率和诊断水平,缓解患者看病难的问题,协助推进偏远地区的精准扶贫。

移动通信经过了几十年的发展以及持续不断的消费升级,通信制式从 1G 的模拟通信时代进入了当前的 5G 全数字、全连接通信时代,带动了各行各业对连接的重新定义与产业升级。从 1G 到 4G 通信时代,通信所提供的服务尽量从各个维度满足人们的数字化消费需求,而对物体的连接缺乏总体规划和思考,伴随着可穿戴设备、VR、AR 等新兴应用的广泛普及,以及对封闭式场景的数字化变革(工业 4.0,智慧园区,智慧医疗等)对网络提出了新的需求。同时在“互联网+”国家战略中明确指出:未来电信基础设施和信息服务要在国民经济中下沉,满足农业、医疗、金融、交通、流通、制造、教育、生活服务、公共服务、教育和能源等垂直行业的信息化需求,改变传统行业,促进跨界创新。因此,5G 网络不仅带来用户体验速率的提升、时延的减少、移动性的增强等,同时还满足各类垂直行业多样化的业务需求。国内一些大型医疗机构的移动医疗服务平台初具规模。以华西医院、华西附二院为代表的龙头医疗机构,针对 5G 远程医疗、互联网医疗、应急救援、医疗监管、健康管理、VR 病房探视等方面展开 5G 智慧医疗探索与应用创新研究,一方面提升医疗供给,实现患者和医疗的信息连接,最大程度提高医疗资源效率,便利就医流程,另一方面医疗数据的价值被进一步挖掘,产生新的移动医疗应用服务。

## 第12章

### 第4节 智能家居

智能家居是与人民生活息息相关的新兴行业。本章学习智能家居的定义、发展和主要技术。

#### 3 智能家居

##### 3.1 前言

在消费升级的趋势下，智能家居市场正呈现出勃勃生机。在政策支持、人工智能与 IoT 技术发展、消费升级等诸多利好因素的影响下，智能音箱、智能锁等智能家居细分品类已然迎来全面爆发之势，单品优化趋势下的智能家居数据价值凸显。

##### 3.1.1 智能家居的定义

智能家居是一个居住环境，是以住宅为平台，安装有智能家居系统的居住环境，实施智能家居系统的过程就称为智能家居集成。

智能家居集成是利用综合布线技术、网络通信技术、安全防范技术、自动控制技术、音视频技术将家居生活有关的设备集成。由于智能家居采用的技术标准与协议的不同，大多数智能家居系统都采用综合布线方式，但少数系统可能并不采用综合布线技术，如电力载波，不论哪一种情况，都一定有对应的网络通信技术来完成所需的信号传输任务，因此网络通信技术是智能家居集成中关键的技术之一。安全防范技术是智能家居系统中必不可少的技术，在小区及户内可视对讲、家庭监控、家庭防盗报警、与家庭有关的小区一卡通等领域都有广泛应用。自动控制技术是智能家居系统中必不可少的技术，广泛应用在智能家居控制中心、家居设备自动控制模块中，对于家庭能源的科学管理、家庭设备的日程管理都有十分重要的作用。音视频技术是实现家庭环境舒适性、艺术性的重要技术，体现在音视频集中分配、背景音乐、家庭影院等方面。

通俗地说，它是融合了自动化控制系统、计算机网络系统和网络通讯技术于一体的网络化智能化的家居控制系统。智能家居将让用户有更方便的手段来管理家庭设备，比如，通过家触摸屏、无线遥控器、电话、互联网或者语音识别控制家用设备，更可以执行场景操作，使多个设备形成联动；另一方面，智能家居内的各种设备相互间可以通讯，不需要用户指挥也能根据不同的状态互动运行，从而给用户带来最大程度的高效、便利、舒适与安全。

##### 3.1.2 三次信息化浪潮中的智能家居

智能家居正在借着物联网浪潮之势，踏着传统家居的“互联网+”之道，来到人们的日常生活中。随着实施成本的降低和功能的提升，这股智能化的力量更是势不可挡。

##### （1）随着物联网来到人们身边

物联网，被誉为继互联网、移动互联网之后的第三波信息化浪潮，并且将更加深入地影响人们的生活，如图 3.1 所示。

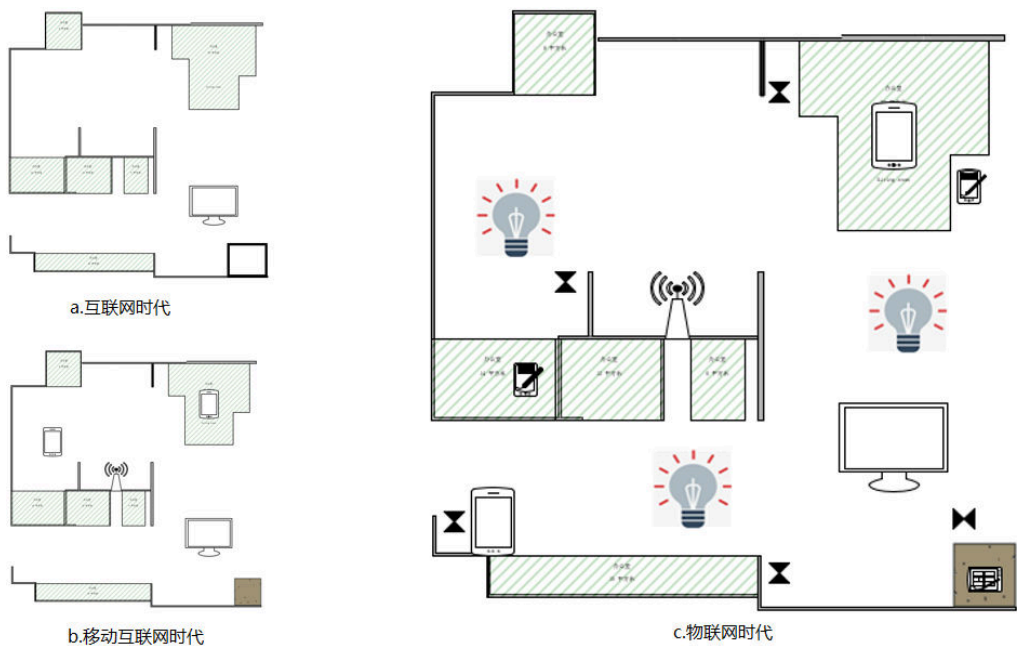


图 3.1 三次信息化浪潮对家居生活的影响，a 表示互联网时代，b 表示移动互联网时代，c 表示物联网时代

在互联网时代，正如比尔·盖茨所梦想的“每个家里都能有一台电脑”[Beaumont, C. 2008]，每个家庭通过一台电脑的联网，实现了与世界的连接。虽然只是有线的网络，而且必须在家中一个固定的位置上网，但毕竟实现了互联的从无到有。

在移动互联网时代，无线网络覆盖了全家的每个区域，而且笔记本电脑、智能手机、平板电脑等便携设备的普及，能让我们更加便捷地与世界连接。这一步完成了从固定到移动的互联，但我们的目光已然离不开那几块屏幕。

在正在发生的物联网时代，传统设备的智能化创造了更多的触点，让智能家居真正来到人们身边。这一步，将完成从局部到全部的互联，我们也将把目光从屏幕上移开，回到原本的生活中。在物联网时代有了更多的连接网络的可能，对家居生活的影响也最为广泛。

(2) 当传统家居遇上“互联网+”

从供应方的角度来看，传统家居的产品和市场都已成形，行业的参与者都在努力寻求新的增长点。“互联网+”的提出，给了传统家居参与者很多启发，都在努力探索如何践行互联网思维。一台传统的电视，如果可以连入网络，不但提供的内容会更加丰富，还可以实现手机控制等新奇的功能；一个传统的地产项目，如果在预装时，就实施了智能家居解决方案，业主入住的时候，推开的将是智能生活的大门。

从需求方的角度来看，人们对家居生活有了更多的期待。随着生活水平的提高和中产阶级的不断壮大，对生活品质的追求变得日益迫切。而智能家居的出现，恰恰可以解决这方面的需求。早晨起床时，一杯新鲜的豆浆已经做好；夜里起床时，智能夜灯会自动亮起；智能家居就这样从身边的小事做起，逐渐走进了人们的生活。此外，节能环保意识的提高，也促进了人们对智能家居的向往。

(3) 实施成本的降低

根据高盛的报告[Simona Jankowski,etc. 2014]，在过去的 10 年间，智能硬件终端、网络连接和数据处理三个方面的成本都有所降低。

- 更廉价的传感器：传感器的平均成本从 1.30 美元降至 0.60 美元。
- 更廉价的带宽：带宽的成本下降了约 40 倍。
- 更廉价的数据处理成本：数据处理的成本下降了约 60 倍。

综上所述，整个物联网的实施成本有了很大幅度的降低，而智能家居作为物联网的一部分，也受惠于成本的降低。

提到元器件成本，就离不开摩尔定律 (Moore’s Law)，它是由英特尔的戈登·摩尔在 1965 年提出来的：

集成电路上所集成的电路数目，约每 18 个月会翻一番；换一句话说，微处理器的性能每 18 个月会提高一倍，或者价格下降一半。不过此定律被认为是一种推测，并没有基于什么物理法则。而实际情况也证明，这种技术发展的增速有放缓的迹象，但成本的降低，是一种不可抵挡的大趋势。

(4) 性能与功能的提升

从智能家居技术的基础层来看，性能有了很大的提升。

- 计算速度的提升，提供了更强大的数据处理能力。
- 大数据技术的发展，可以从数据中发掘更多的价值。
- 广泛的网络覆盖，让基于 Wi-Fi 通信的智能设备更容易实现联网。

此外，在安全性、功耗管理、远程控制方面技术的突破，都提升了智能家居的性能。从智能家居用户的应用层来看，功能也有了一定的改进。

- 人工智能和机器学习技术的发展，能为用户提供更加贴心的体验。
- 智能手机的普及，让很多简单的设备可以借助手机完成计算和联网，从而提供更丰富的功能。

综上所述，在宏观层面上，智能家居将借力物联网和“互联网+”的趋势；在微观层面上，智能家居将借助技术发展的有利趋势。因此，蓄势已久的智能家居即将爆发。

3.2 智能家居技术标准化及现状

3.2.1 智能家居产品的技术架构

对技术架构的了解，将有助于从整体的层面去掌握技术。这里的架构是在迈克尔·波特和詹姆斯·贺普曼提出的“物联网的新技术架构”[詹姆斯.2015]的基础上，做了一点改编。所以，其不只局限于智能家居产品，也可以供其他智能产品参考使用。

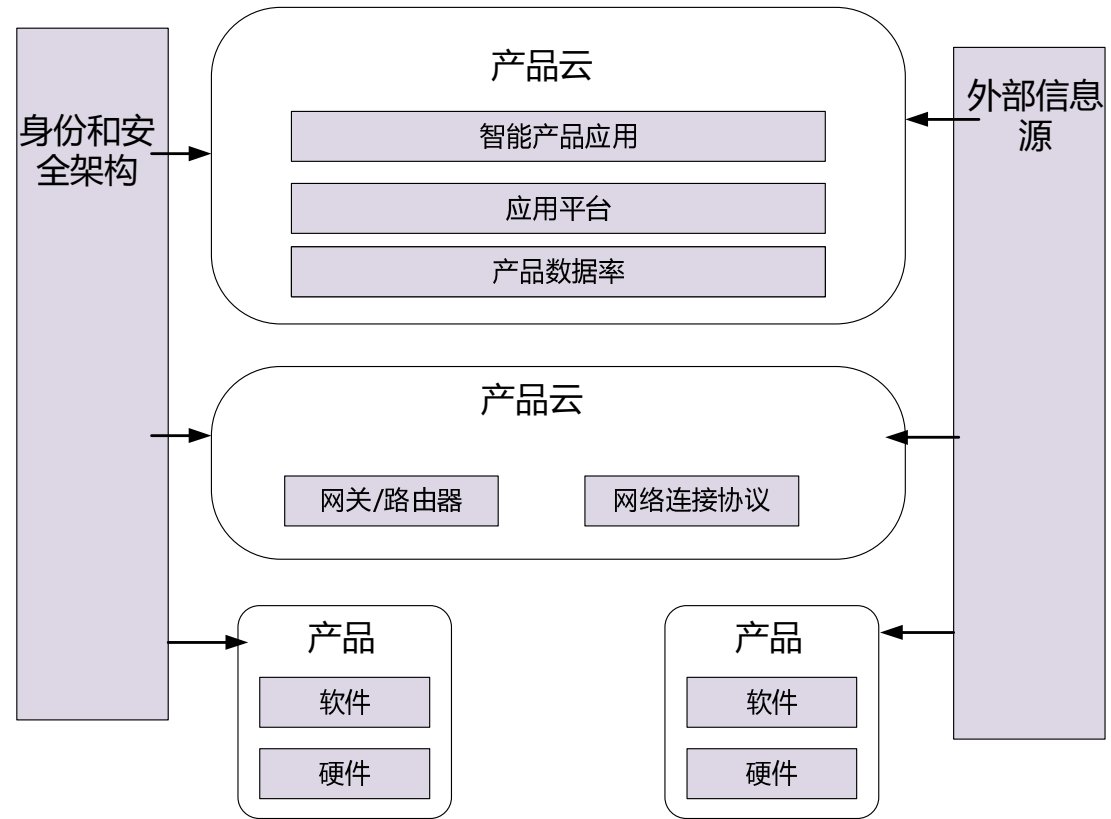


图 3.2 物联网产品的技术架构

(1) 产品部分

从技术层面来说，产品包括硬件和软件两个部分。其中硬件包括：设备原有的物理部件、智能部件（传感器、处理器、数据存储装置、控制装置）、连网部件（接口、天线、网络连接模块、网络连接协议）。软件部分包括：操作系统、软件应用、用户交互系统。

(2) 互联部分

与迈克尔的观点不同，这里把网关、路由器之类的连网设备也归于该部分，而且网络连接协议不仅局限在产品 and 产品云之间的通信，还包括产品和产品之间的直接通信。此外，将在 2.3 节中对通信协议做更多的介绍。

(3) 产品云部分

产品云由三个部分组成：产品数据库、应用平台、智能应用平台。其中产品数据库是最底层的数据存储环节，需要实现对产品实时数据和历史数据进行存储与管理。应用平台，是通过对产品数据库的利用，以实现产品基础的智能功能，还包括与智能手机 APP 的连通。智能应用平台，是一个采用了大数据分析技术的智能控制中心，包括一些智能规则库，以实现高层次的智能管理，并可以与 CRM ( Customer Relationship Management, 即客户关系管理)等业务系统相连接。

(4) 身份和安全架构

对于用户来说，包括用户身份的验证、设备的授权管理。  
对于系统管理员来说，包括后台系统的权限管理、云平台的权限管理。例如当遇到技术故障时，如何向工程师、客服人员授权，并管理器查看的数据范围和操作权限等。

(5) 外部数据源

外部数据源，指外部数据的接口，包括天气、交通、地理位置等信息。其中，包括一些开放数据，需要通过 API 接入系统。另外，这里也值得介绍一下 SDK 和 API 两个概念。SDK ( Software Development Kit, 即软件开发工具组)是一整套供开发者用来开发程序的工具。例如，Android SDK 就是用来开发 Android 系统的应用程序。

API ( Application Programming Interface, 即应用程序界面)是一个用来让同一平台下的程序调用其他功能的函数库。例如，需要在自己的网站上嵌入地图服务，就可以使用地图提供商的 API。通常 SDK 中也会包含一些 API。

综上所述，需要明确的是，技术框架的提出往往只是为了理解问题，并没有一个固定的标准，也没有严格的界限。例如在产品部分的连网部件中，也有用于网络连接的元器件和通信协议。

3.2.2 传感器

传感器，一个听上去有些距离感的科技词汇，其实早已经遍布生活的各个角落。从感应水龙头到电饭煲，从声控灯到光电鼠标，从遥控器到智能手机，都是传感器在发挥着作用。

根据郎为民在《大话物联网》[郎为民. 2015]中的介绍，传感器就是把一些非电学物理量，转换成电学量(如电压、电流、电容等)的元器件，从而可以进行测量、传输与处理。非电学物理量,包括速度、压力、温度、湿度、光照度、流量等。如图 3.3 所示，传感器通常由敏感元件、转换元件和测量电路构成，有时还需要加上一个辅助电源。其中，敏感元件可以直接感受被测量的非电信号，是传感器的核心，也是设计与制作传感器的关键。

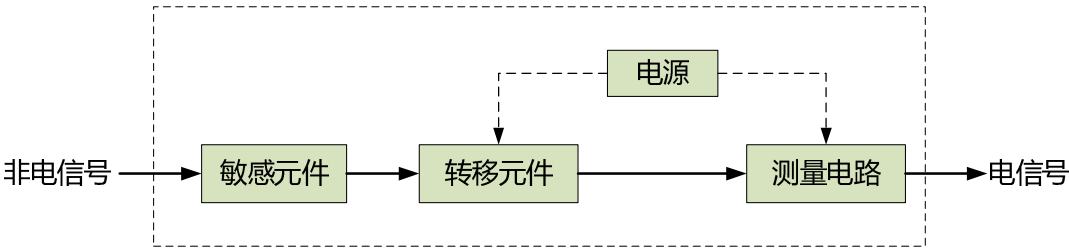


图 3.3 传感器的组成

智能手机已经成为人们日常生活的一部分，其中丰富的传感器发挥着感知的作用，增强了手机的智能化。如今，越来越多的智能产品正在挑战手机的一些功能，这背后正是把一些手机中的传感器迁移到了智能产品中。下面将梳理一下手机中常见的传感器。

加速度传感器-又称为加速计、重力加速度传感器等，也是最为成熟的一种 MEMS( Micro electro mechanical Systems, 即微机电系统)装置。用于测量手机自身的运动，可以监测到手机的摆放方向和角度。



通常与陀螺仪一起使用。

陀螺仪传感器-可以提供更高精度的角度信息，能识别出手机逆时针旋转、顺时针旋转和朝上下左右4个方向的旋转。在智能产品中，可以用于监护类设备对跌倒事故的识别。

方位传感器-又称为电子罗盘，通过地磁场确定北极的方向，配合GPS信息后，可以提供导航功能。通常在使用前需要运用8字校准法进行校准。

距离传感器-由一个光脉冲发射和探测器组成，通过测量发射出的光脉冲反射回来的时间，去计算与物体之间的距离。常用情景是，当人们打电话时，手机接近面部后屏幕便会熄灭，另外，这一功能可以帮助手机实现节能。在智能产品中，该传感器可以带来一种非接触式的操作方式。

光线传感器-可以测量手机周围的光线明亮程度，并进一步自动调节屏幕的亮暗。该传感器可以很好地被用在室内光线的监测上，并与照明系统和窗帘产生联动。

声响传感器-利用声电转换器件，把声响转换为电信号，话筒便使用了这种传感器。在智能产品中，声控灯是最常见的情景，也可以用于安防。

正如传感器的“感”来自于“感觉”一词，在物联网中，传感器就像触角一样可以感知到周边的环境。那么在智能家居中，传感器需要做到像人的五官一样，去感受声音、光线、温度等外界环境，更需要去感知一些人无法觉察到的信息。除了上节介绍的那些手机中常见的传感器，更多传感器的引入，进一步增强了智能家居的感知能力。

在环境监测与管理类的智能产品中，可以借助温度传感器、气体传感器、气压传感器等，去感知家中的环境情况。在安防类的智能产品中，可以借助震动传感器、红外传感器、压力传感器等，去识别一些事件的发生。

综上所述，一些传感器的引入，并与原有功能产生联动，这便是一种智能化的思路。其中，传感器是信息的输入端，可以触发产品的原有功能，从而构成一个智能的整体。

### 3.2.3 智能设备互联的语言：通信协议

产品在经过了部分智能化升级之后，设备拥有了一定的感知能力。而实现这些设备之间的互联，则像是让其可以互相通话。本节将首先介绍三种无线互联的语言，也就是通信协议，并对比每种协议的优缺点。此外，还介绍了iBeacon这种新兴技术。

#### (1) 点对点通信

点对点通信协议，即两个设备之间的连接协议，其代表是蓝牙协议。蓝牙，是一种基于2.4GHz频段的、短距离通信技术，能在手机、笔记本电脑、蓝牙耳机等智能设备之间进行无线信息交换。

通过蓝牙技术，可以将原本没有连网能力的设备间接地连入互联网。基于其低功耗的特点和智能手机的普及，蓝牙依然是很多智能产品的首选，例如智能秤、运动手环、水杯、音箱等。

在实际应用中，如图所示，蓝牙协议可以实现一种简单的设备连接方案。智能产品通过蓝牙协议与智能手机相连，进而通过互联网与产品云相连。不过，该连接过程需要手机保持蓝牙功能的开启。通过图也可以看出，由于受蓝牙协议的通信距离的限制，用户只能在家中对产品进行查看和控制，所以该方案不支持远程控制。

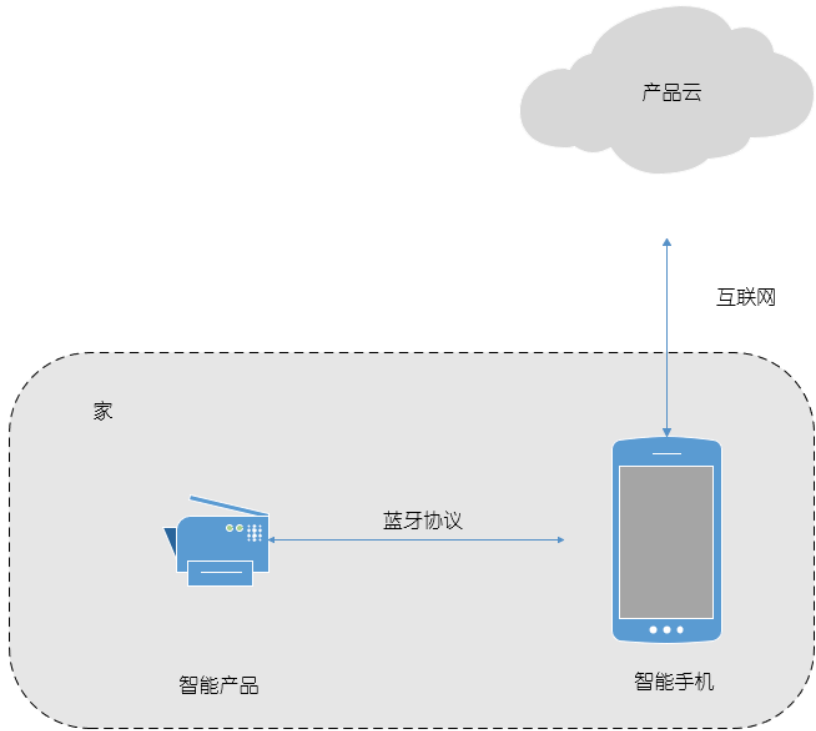


图 3.4 采用蓝牙协议的产品连接示意图

(2) 星状通信网络

在星状结构中，通常以一个设备为中心，向其他设备节点辐射。其中，Wi-Fi 作为一种代表性的通信协议，已经被广泛地使用。值得一提的是，Wi-Fi 一词是"Wireless Fidelity" 的缩写，意思是“无线高保真”。基于其广泛普及度和传输速率，Wi-Fi 是很多智能产品的首选，例如安防摄像头、电视、智能插座等。

在实际应用中，如图 3.5 所示，Wi-Fi 可以实现一定规模的设备连接方案。家中的智能产品通过 Wi-Fi 与路由器相连，进而通过互联网接入产品云。用户也可以在手机有网络的地方，通过互联网去控制智能产品，包括远程查看和控制。不过，由于路由器的限制，智能产品必须位于路由器的信号范围内，且数量不能过多。此外，由于一些智能产品交互界面的限制，把其接入 Wi-Fi 网络的设置过程始终有着一定的操作门槛。

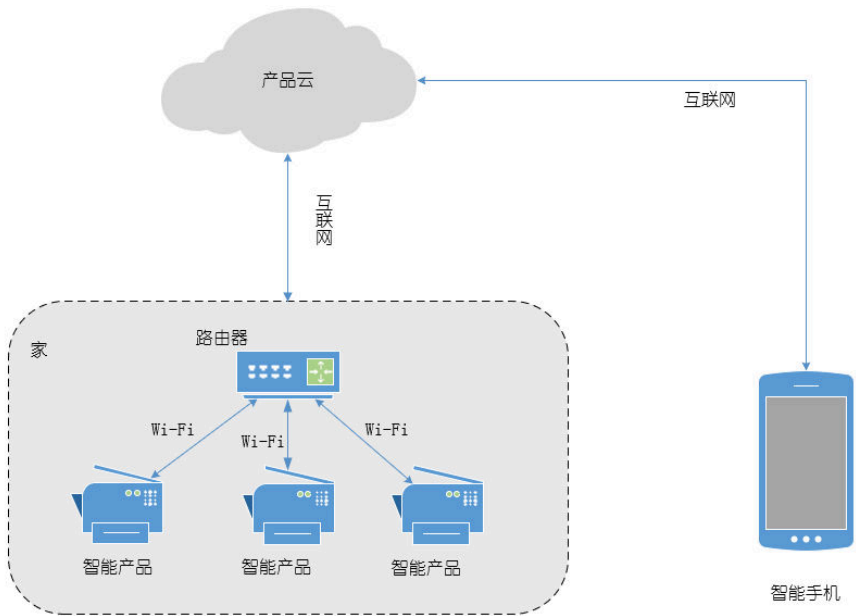


图 3.5 星状网络结构

(3) 网状通信网络

网状结构，顾名思义是指设备之间能组成一个网络，更多的设备可以直接互相通信，具有更强的稳定性和拓展性。所以这种协议可以在智能家居中很好地发挥作用，进而也涌现出了多种协议，如 Zigbee、Zwave 以及后起之秀 Thread 等。在网状结构中，通常有一个中心设备—网关，它创建并管理着这个网络。有的设备不仅是一个节点，还可以参与数据的转发。转发路径是唯一的，并且需要一定的算法去确定。而有的设备则只是接收数据的节点，大多数时候处于休眠状态，以实现设备的低功耗。在完成组网后，为了进一步把设备接入互联网，还需要把网关和路由器相连。

在实际应用中，如图 3.6 所示，网状结构也可以实现一定规模的设备连接方案。家中的智能产品首先通过自组网，直接或间接地与网关连接，而网关又与路由器相连，进而实现了智能产品和产品云的相连。进一步讲，用户也可以通过手机去进行远程控制。

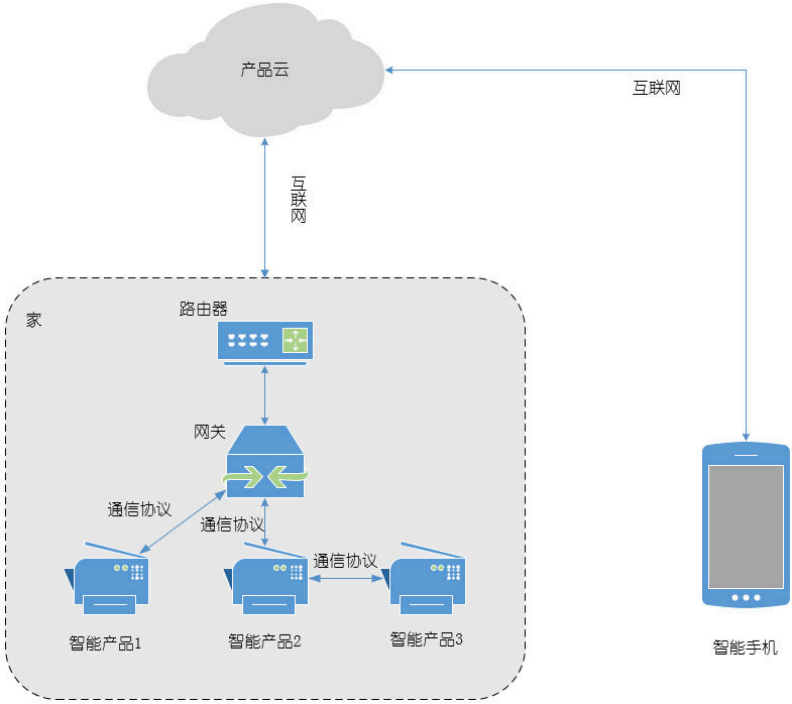


图 3.6 网状通信示意图

(4) 通信协议的对比

在分别介绍了三种通信协议之后，本节将对其做一个对比。这种对比，也是厂商在自我宣传时和用户在选购产品时常要做的。但其实一种协议就像一门语言，有其丰富各异的特点，而没有绝对的优劣之分。

首先，简单地对比一下两种广泛使用的通信协议：星状结构和网状结构。如图所示，星状结构对其中心设备的依赖度较高，该设备必须保持连接状态，且其他设备需要在中心设备的信号范围内。其实，这正是普遍使用的以 Wi-Fi 为通信协议的智能家居方案，而这里的中心设备就是路由器。当房屋面积过大时，若想使全家设备都实现连接，则需要通过其他途径扩大 Wi-Fi 的信号范围。

而相比之下，网状结构则具有较强的抗灾性和可扩展性。设备之间可以自组网，所以即使某设备出现故障，其他设备依然可以互相通信。虽然网状结构依然需要一个中心设备与外界相连，但基于强大的自组网能力，其通信范围可以无限拓展。此外，星状结构中的设备数量容易受通信效果的限制，而网状结构则具有“设备越多、信号越强”的特点。

下面将通过一些客观的数据去对比这三种通信协议，下表整理自 Jin-Shyan Lee 的一份研究报告[Jin-Shyan Lee,etc. 2007]。从表中可以看出，每种协议都有在特定情形下的优点：如果只是简单快捷地尝试一下智能产品，蓝牙协议是一种选择；如果产品对带宽要求较高(如安防摄像头)，Wi-Fi 便是最好的选择；如果智能家居系统中有很多设备，且部分设备需要考虑功耗问题，则 Zigbee 是一种不错的选择。

表 3.1 三种通信协议对比

	Bluetooth 蓝牙	Wi-Fi	Zigbee
IEEE 标准	802.15.1	802.11	802.15.4
网络结构	点对点	星状	网状
最大传输速率	1MB/s	54MB/s	250KB/s
传输范围	10m	100m	10-100m
功耗情况	中等	高功耗	低功耗
网络最多节点数	8	32+	6400+
连接延迟	10s+	3~5s	30ms-

综上所述，不同的协议，就像风格迥异的语言，共同丰富着智能设备的互联技术。在设计产品时，需要针对不同的产品需求，去选择相应的通信协议，以充分发挥其技术特性，并达到产品性能的提升。

(5) iBeacon 技术

iBeacon 技术是由苹果公司提出的一种基于低功耗蓝牙（BLE）的室内定位技术，具有低功耗、低成本的特点。通过这种技术，可以检测到 iBeacon 基站附近智能设备的出现，然后该设备可以根据收到的 iBeacon 信息执行一些任务。除了苹果的 iOS 设备外，也支持部分安卓 4.3 及以上的机型。

iBeacon 的传输距离分为 3 个范围：几厘米、几米和大于 10 米。因此，可以根据设备与 iBeacon 之间距离的变化，判断设备携带者的行为。但是，其局限性是设备必须保持蓝牙功能开启。幸运的是，像智能手环之类的智能设备，在推广的过程中也在一起教育市场，培养用户保持蓝牙开启的习惯。

自 2013 年该技术提出以来，在零售业中已经有了很成熟的应用。例如，当你在商场内路过某家店铺时，可能通过该商场的 APP 收到一条该店铺的打折消息。再如，iBeacon 技术已经整合到了微信的“摇一摇周边”功能里，用户可以在商家附近通过摇取折扣券，以实现更多的消费。

此外，这一室内定位技术，可以在商店之外发挥更多的作用。比如识别到用户在家中走动；比如嵌入到孩子的棒球手套里，可以确定孩子与家的距离，甚至还可以通过宠物佩戴定位产品，确保其不会走丢。

3.2.4 智能设备的数据同步

在信息时代，人们不再受空间的限制，可以自由地进行信息的交换和共享，这便造成了数据同步的问题。对于基于网络的服务来说，数据同步始终是一项重要的工作，而且在物联网时代，数据同步将面临更大的挑战。

在人们熟悉的互联网服务和移动互联网服务中，离不开数据同步的问题。例如，在线购票时，如何确保剩余票数的实时展示，如何应对交易流程中出现的异常。再如，和好友聊天时，“对方正在输入”这种实时的提示是如何实现的。当然，随着网络技术的发展，这些问题都有了很好的解决方案。

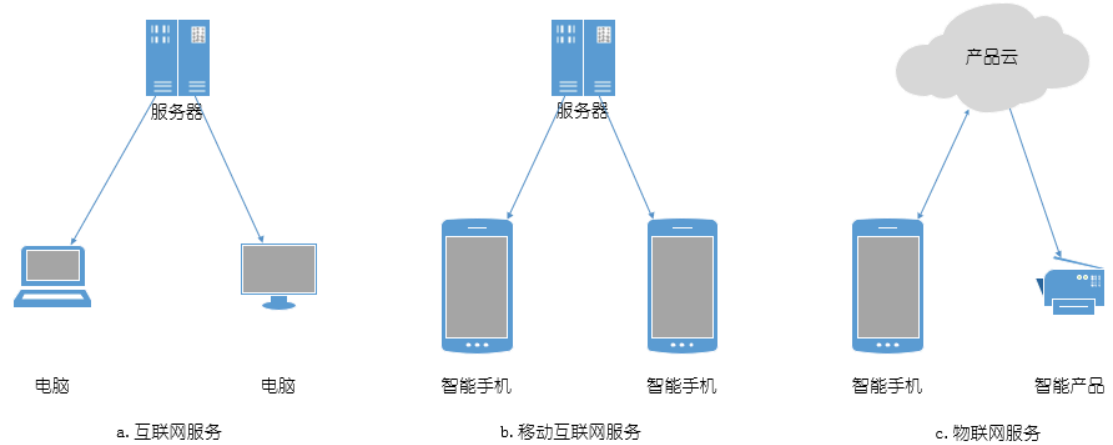


图 3.7 三次信息化浪潮下的服务架构

但在物联网时代，随着连网能力的普及，设备之间的数据同步面临着更加复杂的环境。不像智能手机

有着一套较为完整的体系，智能产品从形态到技术都有较大的差异，更有可能使用着不同的网络通信协议。此外，还需要考虑到某些设备的低功耗特性。下面对数据同步的实例和协议的介绍，将有助于理解同步问题的难点。

### 3.3 技术推动力与新技术应用展望

智能家居包括围绕家庭的一切智能，智能电视、智能电器、智能灯光、智能开关、智能插座、智能厨卫、智能温控、智能安防、智能音响、智能空气监测以及智能路由器等等。“家”正在成为科技要接管的下一个重镇。随着科技的发展，尤其是云计算、物联网、智能穿戴的出现，智能家居的概念频频出现在各大媒介上，进入公众的视线，也是当前创客们最关注的产业之一。

巨头寻找新的增长点、创业者寻找新的创业机会，资本和媒体助推，一起让智能家居发展呈现百花齐放态势。苹果 WWDC 上 HomeKit 平台发布，Google 收购 Nest、Dropcam，凭借 Android 构建 OHA 联盟，微软与智能家居公司 Insteon 合作，三星依托强大的软硬件全产业链能力打造 Smart Home 智能家居软件平台，国内的海尔、长虹、美的等传统家电厂商纷纷抢推智能化产品，更有小米、乐视、腾讯等互联网企业跨界而来，就连互联网“大佬”百度也没能忍住强势切入智能家居市场。智能家居巨大的市场潜力下面，已经开始了一场“没有硝烟的战争”，智能家居热潮席卷全球，未来这种形势还将愈演愈烈。

在接下来的很长一段时间内，智能家居产业将一直保持极高的热度，直到一切的家居产品都被智能化，并被融入到整个物联网中之后，整个智能家居产业的热度才会开始趋于一种相对平稳的常态。对于创业者来说，智能家居无疑是一个充满着梦想的产业，尽管今天有些纠结，但明天充满着无限机会。

# 第 12 章

## 第 5 节 智慧城市

智慧城市是把新一代信息技术充分运用在城市中各行各业基于知识社会下一代创新的城市信息化高级形态。本章学习智慧城市的定义、发展和主要技术。

### 4 智慧城市建设

随着物联网、云计算、移动互联网、大数据分析等热门技术的兴起，智慧城市概念炙手可热，智慧环境、电子政务、智慧旅游、智能医疗、智能交通、智能教育等智能领域技术研究及商业应用成为业界热点。同时，运营服务商、解决方案提供商、终端制造商、应用开发商等纷纷布局智慧城市产业链。我国智慧城市建设全面铺开，各级政府陆续制定了“十四五”智慧城市建设规模，智慧城市建设成为云计算、物联网、大数据分析等新技术的重要实验场地，这些技术也推动着智慧城市建设的纵深发展和技术融合。

#### 4.1 概述

##### 4.1.1 智慧城市的定义

所谓“智慧城市”，就是借助新一代物联网、云计算、大数据分析等信息技术，将城市运行的各个核心系统整合到一个大平台上，植入智慧的理念，从而更好地理解和控制城市运营，并优化城市的资源使用。智慧城市是物联网、云计算等新一代信息技术和形形色色的网络平台集成并与现实社会相结合的代名词，是城市发展模式转型升级的结果。IBM 最早于 2008 提出“智慧地球”与“智慧城市”的概念，之后智慧城市成为许多国家政府施政的愿景和目标。根据欧盟委员会发表的《欧盟智慧城市报告》，智慧城市可以从 6 大坐标维度来界定，即智慧经济、智慧流动、智慧环境、智慧公众、智慧居住和智慧管理。简而言之，智慧城市的本质在于信息化与城市化的高度融合，是城市信息化向更高阶段发展的表现。智慧城市将成为一个城市的整体发展战略，作为经济转型、产业升级、城市提升的新引擎，达到提高民众生活幸福感、企业经济竞争力、城市可持续发展的目的[涂平等. 2013]。

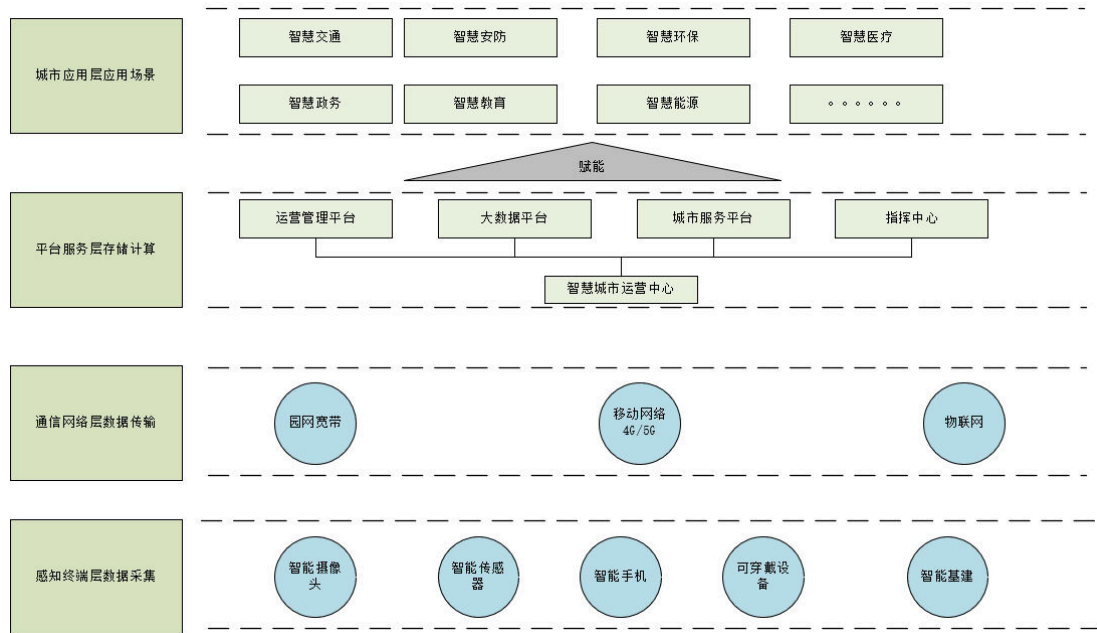


图 4.1 智慧城市整体框架

#### 4.1.2 中国智慧城市规划与建设情况

智慧城市建设的3种模式：

智慧城市是以全面信息基础设施和平台为基础，由政府投资拉动和居民需求结合驱动的多层次综合应用体系。作为将先进技术全面融入到城市精细化管理中的有效手段，智慧城市本身就是一个涵盖了新一代信息技术各个领域的综合应用体系。“智慧城市”的建设分为前期基础设施建设、中期数据处理设施建设和后期的服务平台建设[王根祥等.2012]，相关的建设涉及通信设备制造企业、系统集成企业、数据采集分析企业、通信运营商和数据服务企业，对整个产业链将起到巨大的拉动作用。中国智慧城市建设的三种模式为：

- 以物联网产业发展为驱动的建设模式

重点发展物联网相关产业，出台物联网产业扶持政策，大规模建设物联网产业聚集区，吸收、培养科研人才，扶持一批重点企业，形成一批示范项目，按照先培育产业发展，再拉动社会应用的模式来进行智慧城市的建设。代表城市有：北京、上海、重庆、武汉等。

- 以信息基础设施建设为先导的建设模式

大力建设城市信息基础设施，铺设光纤骨干网，实现有线网络入户、无线网络覆盖公共区域，增加网络带宽，提高网络覆盖率，推进三网融合，大规模部署无线信息设备，以建成无论何时何地都可以互联互通的城市信息网络。代表城市有：上海、南京、福州、大连等。

- 以社会服务与管理应用为突破口的建设模式

重点建设一批社会应用示范项目，在公共安全、城市交通、生态环境、物流供应链、城市管理等领域开展一大批示范应用工程，建设一批示范应用基地，重点突破、以点带面、逐步深入地进行智慧城市的建设。代表城市有：北京、上海、重庆、武汉等。从智慧城市产业链投资策略的角度，国内智慧城市建设主要有三种模式：政府主导推进模式、运营商推进模式、IT厂商推进模式。

#### 4.1.3 智慧城市建设意义

一个城市的生态主要由资源环境、基础设施、经济产业、市政管理、社会民生五大功能系统组成，近20年来，在城市快速发展的过程中，五大功能系统也面临前所未有的挑战。进一步推进城镇化迫切需要提高城市建设和管理的科学水平。

提高城市建设和管理的效率，是事关国家稳定、居民幸福的迫切需求，而智慧城市是在科学的城市发展理论指导下，综合运用新一代信息技术的城市建设理念，是解决当前城市运行问题的有效方式。智慧城市将通过建设宽带多媒体信息网络、云计算等基础设施平台，在一个统一的云平台上整合城市信息资源、为市民提供无处不在的公共服务，为政府公共管理（市政监控、智能交通、电子医疗、智慧旅游、城市安全等层面需求）提供高效而有竞争力的手段，为企业提升工作效率，增强产业能力，最终使城市在信息化时代的竞争中立于不败之地。

## 4.2 技术问题

#### 4.2.1 时空大数据平台及其在智慧城市中的应用

随着全球化进程的加快，当今社会的一个重要特点是，世界（区域、国家、城市）管理和治理对时间和空间的依赖程度越来越高，时空大数据正日益成为全球（区域、国家、城市）治理体系和治理能力现代化的核心驱动力。时空大数据一般包括三个维度的属性：

时间维（ $T_i$ ）——指地理信息随时间变化，具有时态性，需要有一个精确的时间基准。

空间维（ $S_i \rightarrow X_i Y_i Z_i$ ）——指地理信息具有精确的空间位置或空间分布特征，具有可量测性，需要一个精确的空间基准。

属性维（ $D_i$ ）——指空间维上可加载随时间变化的要素（现象）的各种相关信息（属性信息），具有多维特征，需要有一个科学的分类体系和标准编码体系。

时空大数据平台就是把各种分散的（点数据）和分割的（条数据）大数据汇聚到一个特定的平台上（GIS），这使之发生持续的聚合效应。这种聚合效应就是通过数据多维融合和关联分析与数据挖掘，揭示事物的本质规律，对事物做出更加快捷、更加全面、更加精准和更加有效的研判和预测。从这个意义上讲，时空大

数据平台式大数据的核心价值，是大数据发展的高级形态，是大数据时代的解决方案。

新型智慧城市时空大数据平台的构建根据对时空信息服务的四种模式的综合分析，提出如下兼顾“云服务”与“网格服务”的智慧城市时空大数据平台构建的技术方法。

- 构建一个开放的体系架构，强化共用，整合共用，开放共用
- 构建一个天地一体的信息服务网格（Grid），为实现范围更加广泛的信息资源共享与多层次多节点的协同工作提供崭新的运行环境
- 构建一个科学实用的城市信息数据体系，为时空大数据平台提供一致性的数据集支持
- 构建一个通用的功能平台，通过服务化封装，实现各类信息资源的高效调度、支撑信息服务的智能化
- 构建一个高效运行的指挥体系，实现信息资源的汇聚共享和跨部门的协调联动，为时空大数据平台安全可靠运行提供支撑
- 建立一套标准体系，保证时空大数据平台规范、有序、健康、安全、可持续运行

4.2.2 云计算平台

云平台（统一信息平台）就是基于云计算技术的平台[宋刚,& 郭伦. 2012]，它是智慧城市的基础设施，是整个智慧城市系统的统一信息平台，一个没有基于云平台的智慧城市系统就谈不上真正的智慧。

云计算不仅仅只在应用软件层，它还包括了硬件和系统软件在内的多个层次。简单来说，云计算包含以下三层，如表 4.1 所示：

表 4.1 云计算的三层结构

云服务 (智慧政务服务，智慧环境服务，智慧旅游服务，企业管理服务等)
云平台 (服务的运行和支撑平台)
硬件平台(数据中心) (服务器，网络设备，存储设备等作为一个服务来提供)

(1) 硬件平台（数据中心）是包括服务器、网络设备、存储设备等在内的所有硬件设施。它是云计算的数据中心。硬件平台首先要具有可扩展性（scaling），用户可以假定硬件资源无穷多（这是因为云计算的出现才提出的一个新概念）。根据自己的需要，用户动态地使用这些资源，并根据使用量来支付服务费。用户不再为“系统正常运转后，需要多少硬件设备来支持当前的访问量”这样的问题而烦恼了。当前的虚拟技术可以让多个操作系统共享一个大的硬件设施，使得硬件平台的提供者灵活地提供各类云平台的硬件需求。

在云计算平台中，数据如何放置是一个非常重要的问题。在实际使用时，需要将数据分配到多个节点的多个磁盘当中。当前有两种方式能够实现这一存储技术：一种是使用类似于 Google File System 的集群文件系统，另外一种是基于块设备的存储区域网络（SAN）系统。总体上来说，云计算的存储体系结构应该包含类似于 Google File System 的集群文件系统或者 SAN。另外，开源代码 Hadoop HDFS（Hadoop Distributed File System）也实现了类似 Google File System 的功能。Hadoop HDFS 将磁盘附着于节点的内部，并且为外部提供一个共享的分布式文件系统空间，并且在文件系统级别做冗余以提高可靠性。

(2) 云平台首先提供了服务开发工具和基础软件（如：数据库），从而帮助云服务的开发者开发服务。另外，它也是云服务的运行平台，所以，云平台要具有 Java 运行库、Web 2.0 应用运行库、各类中间件等等。最重要的是，云平台要能够管理数据模型、工作流模型、具备统一的安全管理、存储管理等。云平台要能够集成多个应用系统，这是非常重要的。云平台提供商和硬件平台提供商一起构筑一个大型的数据和



运营中心。用户不再需要建立自己的小型数据中心。

(3) 云服务就是指可以在互联网上使用一种标准接口来访问的一个或多个软件功能。调用云服务的传输协议不限于 HTTP 和 HTTPS，还可以通过消息传递机制来调用。

4.3.3 移动互联网

过去十年 IT 技术给人们带来最大的变化就是从 PC 转向移动设备，比如：2012 年第四季度，每天通过移动设备访问 Facebook 的人数首次超过了通过 PC 访问的人数。智慧城市的建设当然也离不开移动互联网这个主题。在智慧上海等智慧城市系统中，无一例外都要求建设无线城市门户，要求所有智慧系统（如：智慧旅游、智慧环境、智慧政务等等）提供手机客户端系统。还有，对于智慧城市所推出的市民卡，政府也都要求提供相应的手机市民卡。

我国的移动互联网产业发展进入稳定增长周期，根据中国信息通信研究院的相关数据，过去几年，移动互联网快速爆发，全球移动智能终端出货量连续三年年均增长率超过 50%，年出货量达到 10 亿部，移动计算平台的流量占比在社交、电商、视频等主要互联网平台均超过 50%。随着颠覆性创新减缓，移动互联网云端两侧发展进入平缓期，移动应用数量月增长约 10 万款，智能终端出货量年增长约 5% 左右。

截至 2020 年 3 月，我国网民使用手机上网的比例达 99.3%，较 2018 年底提升 0.7 个百分点；网民使用电视上网的比例为 32.0%，较 2018 年底提升 0.9 个百分点；使用台式电脑上网、笔记本电脑上网、平板电脑上网的比例分别为 42.7%、35.1%和 29.0%，台式电脑使用比例下降较为明显。

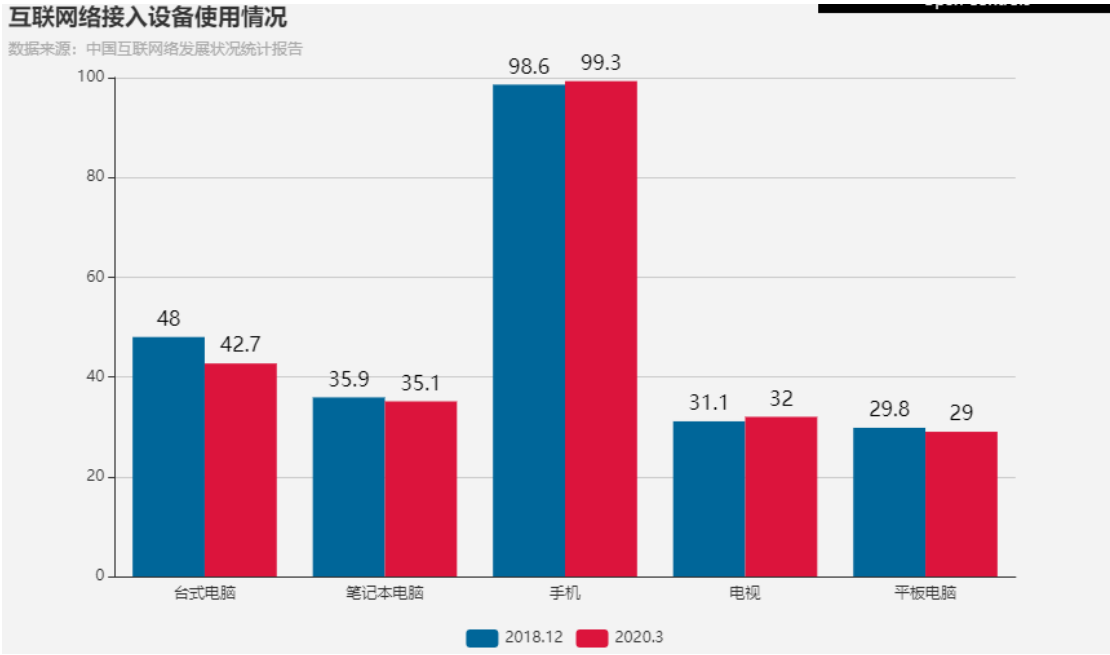


图 4.2 CNNIC 第 45 次《中国互联网络发展状况统计报告》

手机网民规模在不断增长，手机上网快速普及的意义，一方面在于推动了当前移动互联网领域持续不断的创新热潮，以智能手机为主流的智能移动终端，因全新的终端交互方式与用户使用环境和习惯，为互联网从业者提供了广阔的创新空间。另一方面，手机上网的发展为网络接入、终端获取受到限制的人群和地区提供了使用互联网的可能性，推动了互联网的进一步普及。

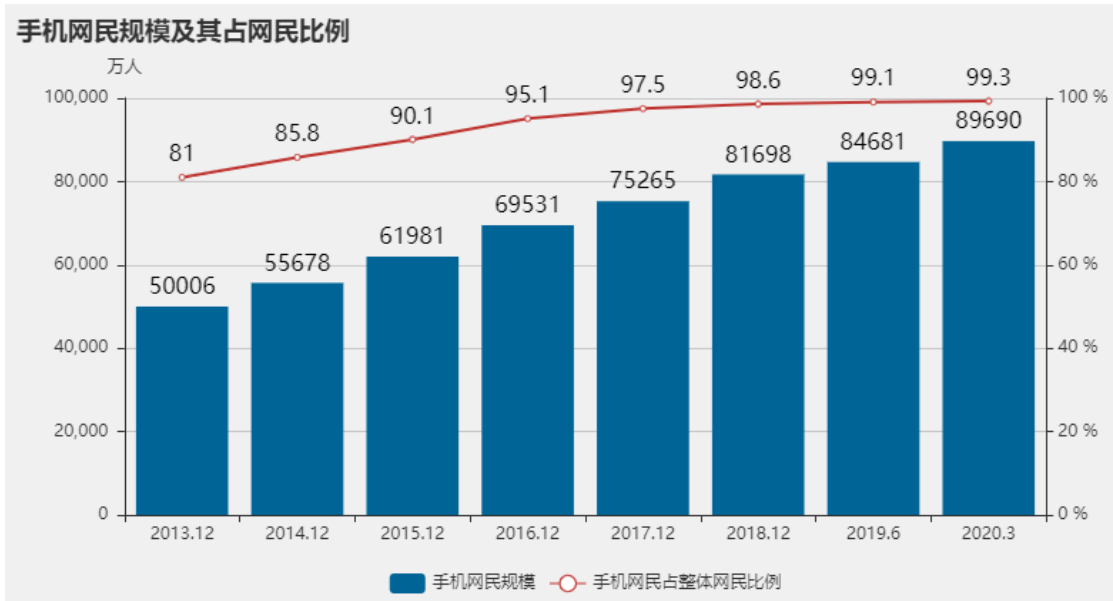


图 4.3 CNIC 第 45 次《中国互联网络发展状况统计报告》

“小巧轻便”及“通讯便捷”两个特点，决定了移动互联网与 PC 互联网的根本不同之处，发展趋势及相关联之处。可以“随时、随地、随心”地享受互联网业务带来的便捷，还表现在更丰富的业务种类、个性化的服务和更高服务质量的保证，当然，移动互联网在网络和终端方面也受到了一定的限制。与传统的桌面互联网相比较，移动互联网具有几个鲜明的特性：

1、便捷性和便携性。移动互联网的基础网络是一张立体的网络，3G、4G、5G 和 WLAN 或 Wi-Fi 构成的无缝覆盖，使得移动终端具有通过上述任何形式方便联通网络的特性；移动互联网的基本载体是移动终端。顾名思义，这些移动终端不仅仅是智能手机、平板电脑，还有可能是智能眼镜、手表、服装、饰品等各类随身物品。它们属于人体穿戴的一部分，随时随地都可使用。

2、即时性和精确性。由于有了上述便捷性和便利性，人们可以充分利用生活中、工作中的碎片化时间，接受和处理互联网的各类信息。不再担心有任何重要信息、时效信息被错过了。无论是什么样的移动终端，其个性化程度都相当高。尤其是智能手机，每一个电话号码都精确的指向了一个明确的个体。移动互联网能够针对不同的个体，提供更为精准的个性化服务。

3、感触性和定向性。这一点不仅仅是体现在移动终端屏幕的感触层面。更重要的是体现在照相、摄像、二维码扫描，以及重力感应、磁场感应、移动感应，温度、湿度感应等无所不及的感触功能。而基于 LBS 的位置服务，不仅能够定位移动终端所在的位置。甚至可以根据移动终端的趋向性，确定下一步可能去往的位置。使得相关服务具有可靠的定位性和定向性。

4、业务与终端、网络的强关联性和业务使用的私密性。由于移动互联网业务受到了网络及终端能力的限制，因此，其业务内容和形式也需要适合特定的网络技术规格和终端类型。在使用移动互联网业务时，所使用的内容和服务更私密，如手机支付业务等。

5、网络的局限性：移动互联网业务在便携的同时，也受到了来自网络能力和终端能力的限制。在网络能力方面，受到无线网络传输环境、技术能力等因素限制；在终端能力方面，受到终端大小、处理能力、电池容量等的限制。

以上这五大特性，构成了移动互联网与桌面互联网完全不同的用户体验生态。移动互联网已经完全渗透到人们生活、工作、娱乐的方方面面了。

4.4.4 物联网

在 IBM 提出“智慧地球”概念中，把感应器嵌入和装备到全球每个角落的电网、铁路等各种物体中，普遍连接形成物联网，然后通过超级计算机和“云计算”将物联网整合，最终形成“互联网+物联网=智慧的地球”。所以，建设好物联网是建设智慧城市必不可少的环节。

物联网就是物物相连的网络。顾名思义，物联网三个字中“物”就是物体智能化，“联”就是物体智能后信息的传输，“网”就是建立网络后的应用服务。简单来说，是指物体通过智能感知装置，经过传输网络，到达指定的信息承载体（云计算平台），实现全面感知、可靠传送和智能处理，最终实现物与物、人与物之间的智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种智能网络。

从技术架构上来看，物联网可分为三层：感知层、网络层和应用层。感知层由各种传感器以及传感器网关构成，包括温度传感器、湿度传感器、二维码标签、RFID 标签[李如年.2009]和读写器、摄像头、GPS、二氧化碳浓度传感器等感知终端。感知层的作用相当于人的眼耳鼻喉和皮肤等神经末梢，它是物联网获识别物体，采集信息的来源。网络层由各种私有网络、互联网、有线和无线通信网、网络管理系统和云计算平台等组成，相当于人的神经中枢和大脑，负责传递和处理感知层获取的信息。网络层也叫传输层，即通过现有的互联网络、广电网络、通信网络或未来的 NGN 网络，实现数据传输。应用层是物联网和用户（包括人、组织和其他系统）的接口，它与行业需求结合，实现物联网的智能应用。应用层包括应用基础设施、中间件和各种物联网应用。应用基础设施和中间件为物联网应用提供信息处理、计算等通用基础服务设施、能力及资源调用接口，以此为基础实现物联网在众多领域的各种应用。这些应用可以基于现有的手机、PC 等终端进行。

#### 4.4.5 5G

5G 作为最新一代的无线通信技术，其超高速率、超低时延、超大连接特性对智慧城市建设产生巨大的影响[孙亮等.2020]。以其为基础的泛在传感网络实现智慧城市万物智联，人、机、物深度融合发展；同时，与云计算、大数据、人工智能以及物联网等为代表的新一代信息技术的深度融合，通过使 5G 网络根据末端应用场景灵活配置网络资源，满足智慧城市对网络差异化需求，成为支撑城市发展的重要毛细血管，为智慧城市赋能。

电信运营商依托其 5G 通信网络资源的关键能力、大数据、云计算服务的天然优势，在智慧城市基础建设中发挥着不可替代的重要作用。针对智慧城市建设中的多种挑战，如何在提供高效的基础网络设施和连接服务同时，与智慧城市生态中的合作伙伴一起共同承接智慧应用的开发和建设，通过搭建生态环境，构建共建共治共享的新格局是电信运营商在 5G 时代新智慧城市建设中需要思索的重要课题。

### 4.3 智慧城市建设行业发展前景

未来随着智慧城市的深入开展，将有更多的垂直领域开发为城市大脑。比如医疗行业的健康大脑可以在城市医院、疾控系统、社保中心、药店等系统中进行数据互通，从而可以及时分析判断城市中市民的健康状况，提出城市的健康发展政策和进行重大传染疾病应急指挥。城市生态大脑可以对城市环境传感器终端、卫星数据、气象数据、环境监测数据进行综合判断，并分析城市的生态质量，例如通过复杂科学管理手段分析环境生态数据可以预判雨季城市内涝点和进行灾情防备。城市舆情大脑可以实时分析城市内发生的公共事件的群体反应现状，并及时采取应急措施。

智慧城市是人们对美好生活向往的期待，未来 10 年内，中国将有 70%的人口生活在城市，而城市（城镇）创造了 80%的国民收入、90%以上的财政收入，城市发展得好，经济发展才更有动力。未来 10 年，我国将实现从工业大国到工业强国的转变。城镇化带动了相关产业的发展，人们对美好生活的向往体现在最基本的吃、穿、住、用、行、教育、医疗、创业、就业等方面。

## 第12章

### 第6节 智能艺术

艺术是用形象来反映现实但比现实有典型性的社会意识形态。智能艺术指用人工智能技术实现一些艺术的形式，推进艺术与科技的深度融合。本章学习智慧艺术的定义、发展和主要技术。

#### 5 智能艺术

##### 5.1 人工智能艺术的定义

劳动的性质和社会、经济的关系随着科学技术的进步而发生改变，智能化生产为艺术设计行业带来了一系列变化，关于“设计师是否会被人工智能替代？”这样的问题被多次提出。未来主题明确的标准化、简单化、重复性、规则性的流程体验将交由机器完成，传统设计行业将会萎缩，如果还沿用现有的传统设计模式和设计思维，不更新进化设计知识体系，将会制约设计师的创造性思维的发展，终身教育理念的缺失还严重阻碍了设计师的可持续发展。

设计人工智能是当下最火的高新技术产业。设计人工智能包括人工智能平面设计、人工智能产品设计、人工智能建筑景观室内设计、人工智能服务设计等，人工智能环境下，人机协同的工作流程和设计思维都将产生变化，在对人工智能的艺术设计工具与平行研究和探讨，能够帮助人类设计师在艺术设计领域中，提升创新思维，熟悉人工智能人机协同设计与开发的流程，能够胜任艺术设计及相关领域的分析、设计、策划、开发、应用等方面的工作。

通过人工智能技术，可以让机器掌握对设计主题的理解、元素的搜集和处理、设计美学等设计思维活动，高效地对画面元素、字体、色彩进行合理组合，按照深度学习形成的数据模型，形成多种可供选择的的作品。大数据支撑下的海量模型、素材、案例，以及各种设计软件的智能化趋势，将促使人类设计师协同人工智能轻松地完成各种类型的设计并达到一定的水准。在设计方法的创新上，数字化、智能化技术的应用能够提高设计的精度和效率，大幅度提升艺术设计水平，在数字资产管理和企业管理方面，将对业务需求调研和分析过程、AI+设计的技术流程的研发流程、智能设计软件运营数据统计及分析方法、智能设计运营效果的优化、企业内外研发沟通、需求提交及产品功能完善等方面展开深入调查和研究。

人工智能时代的人机协同设计思维是让设计师创建完美集成的解决方案的重要桥梁。设计师具有挑战的工作，时常面临复杂、不确定和有争议的挑战，设计思维要可持续发展，就要与可持续性的科学相结合。

##### 5.2 智能艺术的应用

目前人类已经研究了在设计的上游使用 AI，其中所有关键概念都已确定，并且基于经验的人类洞察力是必要的。机器智能能否帮助设计的早期阶段超越常规设计，以产生优质和新颖的设计？科学家们提出的解决方案是使用混合智能，这是一种人类智能与机器智能共同演化的方法。例如：虚拟设计助手（VDA）是一个基于深度学习的设计助手，用于在功能需求的语法中理解设计者的自然语言，实现良好设计决策的设计原则。作为混合智能的第一步，它结合了通过经验增长的人类智能和可以从过去的成功和失败中学习的机器智能。

利用深度学习的最新进展，我们期望通过有效地整合人机智能，找到一种将设计艺术转变为科学课解决问题的方法。VDA 将对包括未来先进制造系统在内的各种工程系统的设计产生重大影响，将使人/计算机协作的典型案例成为智能和智能产品设计和制造的典范。本章主要介绍目前人工智能在艺术设计中的应用，对协同艺术设计进行探讨和研究。

###### 5.2.1 海报、logo 设计

在 logo 设计工作中，创意部分是最关键的环节，传统的设计流程是由设计师团队进行头脑风暴，尽可能地挖掘创意元素，提出多个方案。在人工智能时代，智能 logo 设计平台可以根据用户输入的文案内容，

如名称、行业、口号等进行自然语言理解，提供相关的图形作为 logo 图案。当然，这项技术需要大量“喂养”形成大规模数据集，才能让系统理解人类的意图，设计出符合行业风格的 Logo 作品。

Brandmark 认为 Logo 设计是一个由约束定义的创意领域，一个好的标志不仅是对品牌的说明，而且足够简单，从远处能看清楚。它也必须足够独特，不要与我们周围的无数符号和图标混淆。Logo 基本上是抽象插图，但显然并非所有插图都能形成良好的 Logo。为了系统地创建 Logo，我们需要一些关于什么能使 Logo 在视觉上让人感觉很好的概念。

Brandmark 使用名词项目作为图标存储库，使用单词向量来确定颜色方案生成器的主要色调、亮度和振动。单词向量捕获用户提供的相应单词的上下文，提取语言的实际语义，识别整体的色调方向。在字体和背景的排版方面，使用字体向量来发现字体和背景之间的关系。对于每个图标，使用卷积神经网络计算可读性分数，以及从该网络的最后层进行神经嵌入，然后可以使用嵌入来确定图标之间的视觉相似性。传统的计算机视觉方法对线条样式、填充和其他标记敏感，而神经网络方法可以将这些图标分组，尽管它们中的一些在视觉上非常不同。颜色也应当与 Logo 信息相吻合，Brandmark 尝试使用 GAN 创建新颖的颜色组合，目前采用预先生成大量颜色方案的方法，然后通过亮度和振动对它们进行排序。通过一些单词关联，可以确保生成结果在主题是合适的。

Logo 设计是一个非常主观的领域，细微之处和对细节的关注非常重要。卷积神经网络确实打开了新工具的大门，可能会在不久的将来取代设计师，这些新工具可以使设计过程民主化，并使每个人都能更容易地完成设计。

### 5.2.2 图片风格迁移

在人类视觉系统中，图像的形成经理了人眼-物体-大脑的无数层神经元的传播，在绘画中，人类掌握了通过在图像的内容和样式之间进行复杂交互来创造独特视觉体验的技能。但计算机如何模仿人类视觉处理图像呢？到目前为止，该过程的算法基础是未知的，并且还没有功能相似的人工系统。这里即将介绍两个基于深度神经网络的人工系统 Deep Art。

2016 年，三名德国研究者就希望将计算机调教为著名画家梵·高。具体来说，该算法是通过训练多层卷积神经网络（CNN），架构深度卷积神经网络（VGG）来传输图像图案，需要大量的计算，让计算机识别并学习梵·高的“样式”，深度学习中枢神经网络的每一层提取图像的特征，而“艺术风格”是各层提取结果的叠加，最后将任何普通照片与梵·高的名画“繁星点点的天空”进行叠加。三名德国研究者发表了论文，之后不久，他们成立了一家 Deep Art 公司，讲论文中提出的想法付诸实践。

Deep Art 提供了多种迁移风格进行选择，接下来只需要选择多个风格进行预览，最终确定喜欢的风格即可。用户可以自行上传一些风格图片，让 Deep Art 使用深度学习进行迁移。



图 5.1 选择迁移风格



图 5.2 生成图片

5.2.3 人工智能作画

微软小冰团队经过 22 个月的研究，训练出了一名 18 岁的“少女画家”——夏雨冰，又称小冰。她通过对 200 名以上的著名人类画家的画作进行学习，从技法和表现力等角度进行大量学习，可以理解自然语言的文本内容，激发灵感完成原创的绘画作品。小冰参加了 2019 届中央美术学院研究生毕业展，她的画在构图、用色、细节表现等方面接近人类画家，得到了专家的认可。

向小冰输入一段文字，如图 5-3 所示，小冰就会在 5min 分钟左右，进行抽取意向、选择主题、起草线稿、颜色涂抹、细节打磨等一系列绘画工作，如图 5-4 所示。几分钟之后，一幅原创的画作就生成了，小冰还可以给自己的画作进行评价打分，如图 5-5 所示。

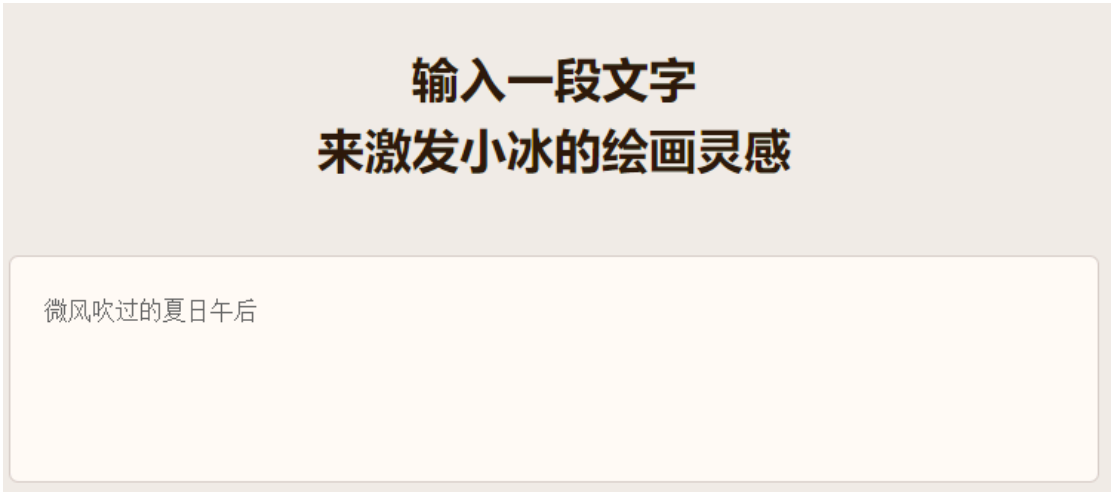


图 5.3 输入文字



- 抽取意象 Extracting imagery ..... done
- 激发创作灵感 Getting inspiration ..... done
- 选择内容主题 Choosing the main subject ..... done
- 尝试画面构图 Composition of painting ..... done
- 起草线稿造型 Preliminary drawing ..... done
- 底层颜色涂抹 Preliminary layer ..... done
- 画面层次深入 Applying layers of paint ..... done
- 细节反复打磨 Touching up ..... done

图 5.4 开始作画





图 5.5 生成画作

5.3 智能艺术的主要技术

5.3.1 VGGNet

在学习原始的图像风格迁移之前，可以先了解一下 ImageNet 图像识别模型 VGGNet[Simonyan, K., & Zisserman, A. 2014]。

事实上，可以这样理解 VGGNet 的结构：前面的卷积层是从图像中提取“特征”，而后面的全连接层把图片的“特征”转换为类别概率。其中，VGGNet 中的浅层（如 conv1\_1, conv1\_2），提取的特征往往是比较简单的（如检测点、线、亮度），VGGNet 中的深层（如 conv5\_1、conv5\_2），提取的特征往往是比较复杂（如有无人脸或某种特定物体）。

VGGNet 的本意是输入图像，提取特征，并输出图像类别。图像风格迁移正好与其相反，输入特征，输出对应这种特征的图片，如图 5.6 所示。

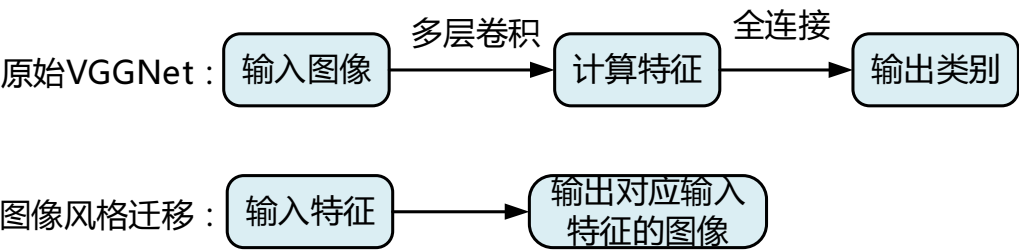


图 5.6 图像风格迁移和对图像提取特征的过程对比



为了将风格图的风格和内容图的内容进行融合，所生成的图片，在内容上应当尽可能接近内容图，在风格上应当尽可能接近风格图，

因此需要定义内容损失函数和风格损失函数，经过加权后作为总的损失函数。实现步骤如下：

- 随机产生一张图片
- 在每轮迭代中，根据总的损失函数，调整图片的像素值
- 经过多轮迭代，得到优化后的图片

### (1) 内容损失函数

两张图片在内容上相似，不能仅仅靠简单的纯像素比较。CNN 具有抽象和理解图像的能力，因此可以考虑将各个卷积层的输出作为图像的内容。以 VGG19 为例，其中包括了多个卷积层、池化层，以及最后的全连接层。

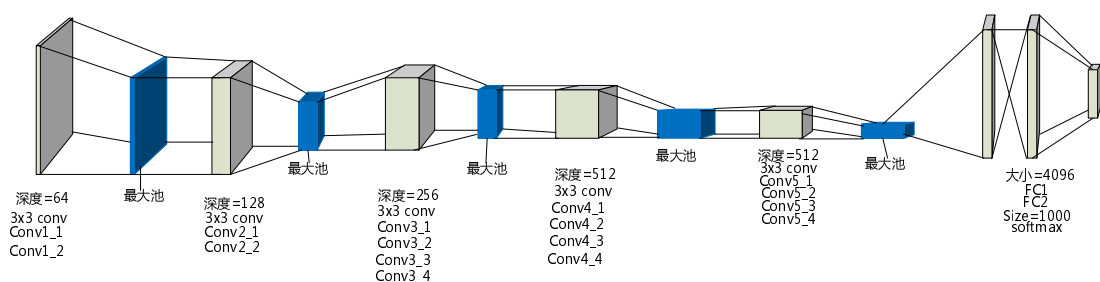


图 5.7 VGG19 网络结构

这里我们使用 conv4\_2 的输出作为图像的内容表示，定义内容损失函数如下：

$$L_{content}(\vec{p}, \vec{x}, l) = \frac{1}{2} \sum_{i,j} (F_{ij}^l - P_{ij}^l)^2$$

## (2) 风格损失函数

风格是一个很难说清楚的概念，可能是笔触、纹理、结构、布局、用色等等。这里我们使用卷积层各个特征图之间的互相关作为图像的风格，以 conv1\_1 为例：

- 共包含 64 个特征图即 **feature map**，或者说图像的深度、通道的个数
- 每个特征图都是对上一层输出的一种理解，可以类比成 64 个人对同一幅画的不同理解
- 这些人可能分别偏好印象派、现代主义、超现实主义、表现主义等不同风格
- 当图像是某一种风格时，可能这一部分人很欣赏，但那一部分人不喜欢
- 当图像是另一种风格时，可能这一部分人不喜欢，但那一部分人很欣赏
- 64 个人之间理解的差异，可以用特征图的互相关表示，这里使用 **Gram** 矩阵计算互相关
- 不同的风格会导致差异化的互相关结果

Gram 矩阵的计算如下，如果有 64 个特征图，那么 Gram 矩阵的大小便是  $64 \times 64$ ，第  $i$  行第  $j$  列的值表示第  $i$  个特征图和第  $j$  个特征图之间的互相关，用内积计算。

$$G_{i,j}^l = \sum_k F_{ik}^l F_{jk}^l$$

风格损失函数定义如下，对多个卷积层的风格表示差异进行加权。

$$E_l = \frac{1}{4N_l^2 M_l^2} \sum_{ij} (G_{ij}^l - A_{ij}^l)^2$$

$$L_{style}(\vec{a}, \vec{x}) = \sum_{l=0}^L \omega_l E_l$$

这里我们使用 conv1\_1、conv2\_1、conv3\_1、conv4\_1、conv5\_1 五个卷积层，进行风格损失函数的计算，不同的权重会导致不同的迁移效果。

### 5.3.2 LSTM

自然语言处理是教会机器如何去处理或者读懂人类语言的系统,目前比较热门的方向, Long Short Term

Memory (LSTM)[ Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. 1997]是循环神经网络的改进，在自然语言处理方面有明显的优势，在当前卷积神经网络流行的时期依然担当者重要角色。

继去年“机器学习生成恐怖图像”后，MIT 研究人员在今年的万圣节推出了“AI 写恐怖故事”的项目，利用 RNN 和在线学习算法，结合 Reddit 上人类写的恐怖故事资料，生成恐怖故事，生成的句子包括“它的皮肤冰冷苍白，好像在我的肺里来回移动，试图留在我的灵魂里”。Shelley 每小时就会在推特上写一个新的恐怖故事的开头，并以#yourturn (#该你了#)的话题标签邀请人类续写，然后 Shelley 会回复人类的续写，如此循环往复。从上面的例子我们也可以看到循环神经网络在自然语言的应用潜力很大，但可以看到在自动生成小说时，还需要人类来丰富故事的内容，AI 进行创作还是需要人类辅助。

在介绍 LSTM 网络之前，需要先介绍一般的循环神经网络 (RNN)，结构如图 5.8 所示。

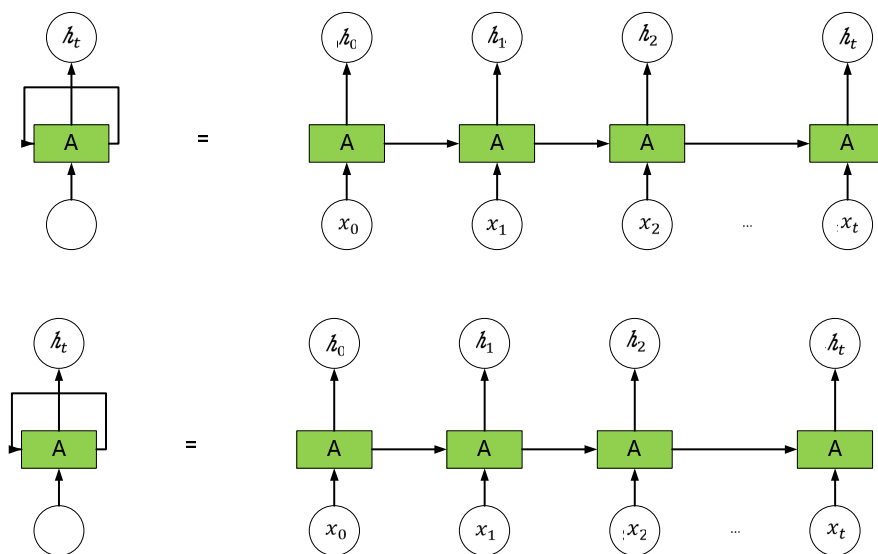


图 5.8 普通的循环神经网络结构

循环神经网络采用的是参数共享的方式，也就是实际上一层循环神经网络只有一个 cell（图 5.8 中的 A 区域），在深入学习研究之后，发现 cell 内部存在的权重也是在训练的，但这部分权重不需要人为去定义，而且也不能直接查看，而在模型加载时会加载这部分权值，这是循环神经网络和卷积神经网络很大的一个区别。我们给出了当循环神经网络输入数据维度为一维，内部单元数只有一个时的 cell 内部结构。图 5.9 详细阐述了 RNN 内部的参数传递。

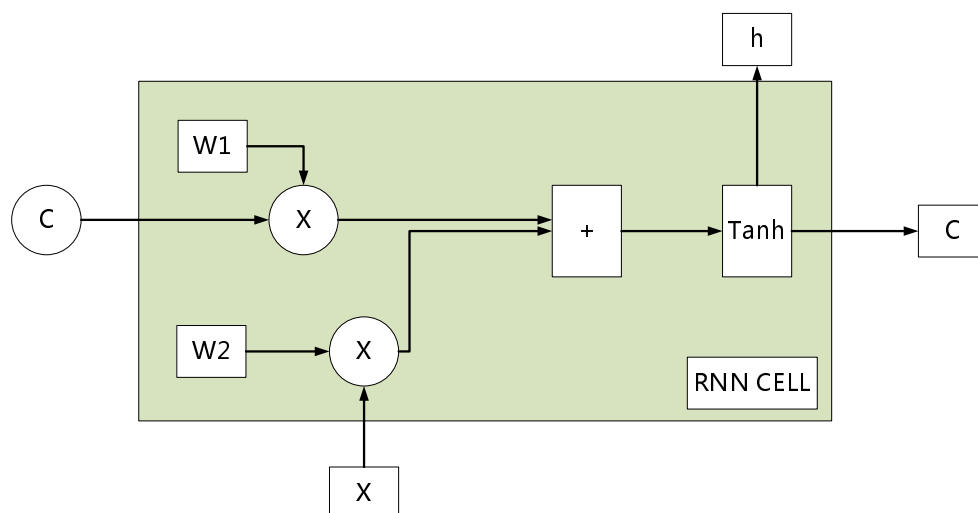


图 5.9 RNN cell 结构

而我们使用的 LSTM 网络和循环神经网络也是采用的链式结构，只是在 cell 内部设计更为复杂，LSTM

在结构上增加了三个门，包括输入门，遗忘门，输出门。LSTM 内部参数较多，但是参数之间的联系紧密。

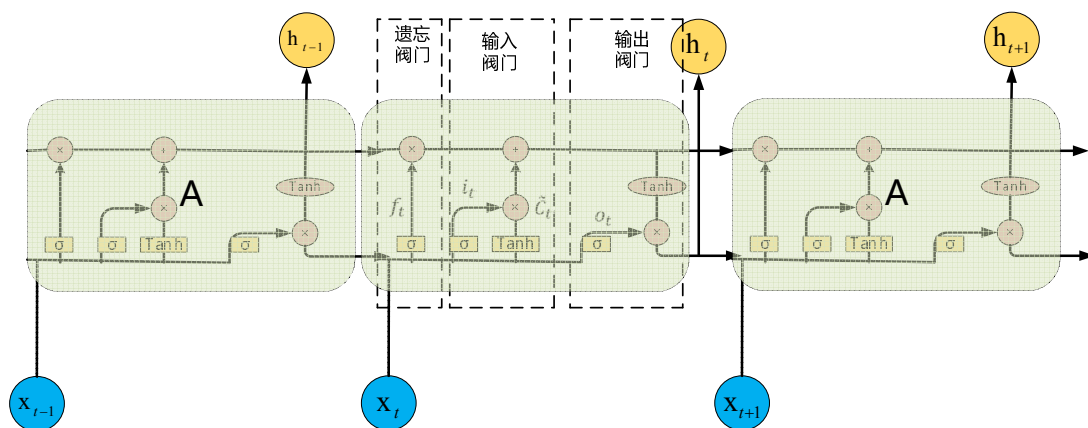


图 5.10 LSTM 主要结构

长短期记忆（long short-term memory,LSTM）是一种特殊的 RNN，主要是为了解决长序列训练过程中的梯度消失和梯度爆炸问题。简单来说就是比普通 RNN 在更长的序列中有更好的表现。标准 RNN 由简单的神经网络模块按时序展开成链式。这个重复模块往往结构简单且单一，如一个 tanh 层。这种记忆叠加方式显得简单粗暴。而 LSTM 内部有较为复杂的结构，如图 5.10 所示。能通过门控状态来选择调整传输的信息，记住需要长时记忆的信息，忘记不重要的信息。

LSTM 关键在于增加一条贯穿与链上的信息传送带，称为细胞状态（cell state）。LSTM 通过精心设计的门结构来对 cell state 上的信息进行增添和移除。门是使得信息选择式通过的方法。包含一个 sigmoid 神经网络层和一个 pointwise 乘法操作。Sigmoid 层输出 0 到 1 之间的数值，描述每个部分有多少量可以通过，0 代表“不许任何量通过”，1 代表“允许任意量通过”。LSTM 通过三个门结构来维护 cell state 上的信息。

首先使用 LSTM 的当前输入  $x^t$  和上一个状态传递下来的  $h^{t-1}$  拼接训练得到四个状态。

$$\begin{aligned}
 Z &= \tanh \left( \begin{bmatrix} w \\ h^{t-1} \end{bmatrix} x^t \right) \\
 Z^i &= \sigma \left( \begin{bmatrix} w^i \\ h^{t-1} \end{bmatrix} x^t \right) \\
 Z^f &= \sigma \left( \begin{bmatrix} w^f \\ h^{t-1} \end{bmatrix} x^t \right) \\
 Z^o &= \sigma \left( \begin{bmatrix} w^o \\ h^{t-1} \end{bmatrix} x^t \right)
 \end{aligned}$$

图 5.11 LSTM 的四种状态

其中， $z^f, z^i, z^o$  是由拼接向量乘以权重矩阵之后，在通过一个 sigmoid 激活函数转换成 0-1 之间的数值，来作为一种门控状态。而  $Z$  则是将结果通过一个 tanh 激活函数转换成 -1 到 1 之间的值（这里使用 tanh 是

因为这里是将其作为输入数据，而不是门控信号）。

下面进一步介绍这四个状态在 LSTM 内部的使用，如图 5.12 所示。

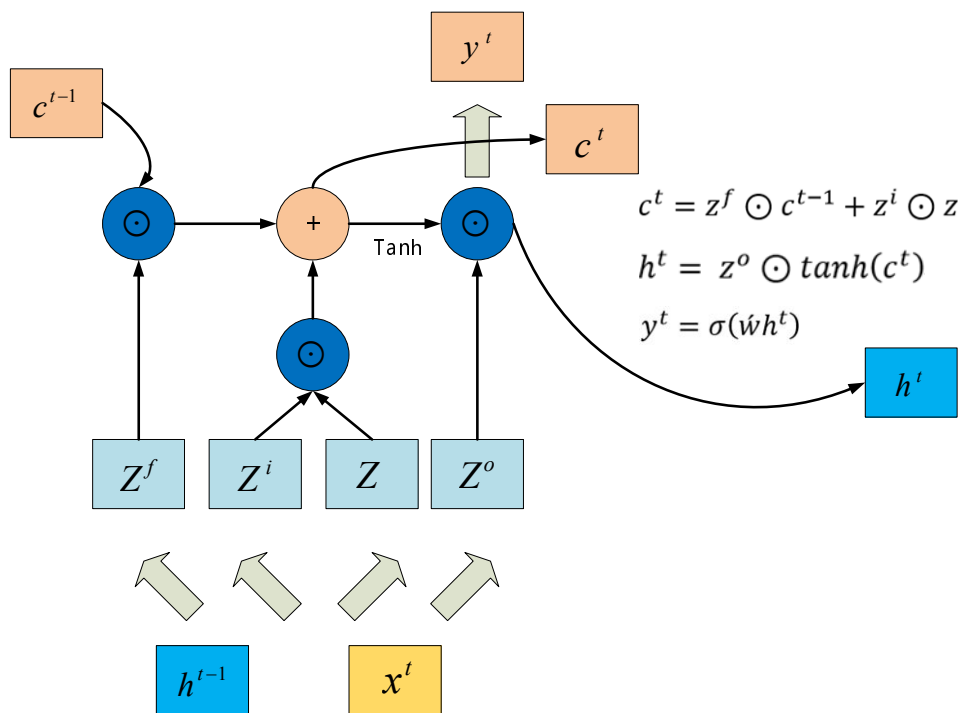


图 5.12 四种状态在 LSTM 内部的使用

$\odot$  是 Hadamard Product，也就是操作矩阵中对应的元素相乘，因此要求两个相乘矩阵是同型的。 $\oplus$  则代表进行矩阵加法。

LSTM 主要有三个阶段：

1. 忘记阶段。这个阶段主要是对上一个节点传进来的输入进行选择性忘记。简单来说就是会“忘记不重要的，记住重要的”。具体来说是通过计算得到的  $z^f$  (f 表示 forget) 来作为忘记门控，来控制上一个状态的  $c^{t-1}$  哪些需要留哪些需要忘。
2. 选择记忆阶段。这个阶段将这个阶段的输入有选择性地“记忆”。主要是会对输入  $x^t$  进行选择记忆。哪些重要则着重记录下来，那些不重要，则少记一些。当前的输入内容由前面计算得到的  $z$  表示。而选择的门控信号则是由  $z^i$  来进行控制。
3. 输出阶段。这个阶段将决定哪些将会被当成当前状态的输出。主要是通过  $z^o$  来进行控制的。并且还对上一阶段得到的  $c^o$  进行了放缩（通过一个  $\tanh$  激活函数进行变化）。

与普通 RNN 类似，输出  $y^t$  往往最终也是通过  $h^t$  变化得到。

#### 5.4 智能艺术实例-图像风格迁移

代码使用的是 Pytorch 实现，但不是直接下载 Pytorch 的预训练模型，而是使用 [https://bethgelab.org/media/uploads/pytorch\\_models/vgg\\_conv.pth](https://bethgelab.org/media/uploads/pytorch_models/vgg_conv.pth) 这个链接的模型[Gatys, L. A., Ecker, A. S., & Bethge, M. 2016]。

我们将会使用以下软件包：

```

from __future__ import print_function
import torch
from torchvision import transforms
import torchvision.models as models
from torch import optim
import torch.nn as nn
import torch.nn.functional as F
import matplotlib.pyplot as plt
from PIL import Image
import copy

```

为了方便实现，我们导入相同维度的样式和内容图像。然后，我们将它们缩放到所需的输出图像尺寸（在本例中为 128 或 512，取决于 **gpu** 的可用性）并将它们转换为 **Torch** 张量，准备提供给神经网络：

```

imsize = 512
loader = transforms.Compose([
    transforms.Resize(imsize),
    transforms.ToTensor()])

def image_loader(image_name):
    image = Image.open(image_name)
    image = loader(image).unsqueeze(0)
    image = image.cuda()
    return image

```

导入的 PIL 图像的值介于 0 和 255 之间。转换为值在 0 到 1 之间的 **Torch** 张量。注意：**Torch** 库的神经网络用 0-1 张量图像进行训练。如果你想要提供给网络 0-255 张量的图片，激活的特征映射将没有反应。**Caffe** 库以前训练过的网络并相同：他们接受 0-255 张量图像训练。

**Content loss**，这个模块虽然被命名，但 **Content Loss** 并不是真正的 **PyTorch Loss** 功能。如果你想将你的 **Content Loss** 定义为 **PyTorch Loss**，你必须手动在 **backward** 创建一个 **PyTorch autograd** 函数来重新计算/执行梯度。

```

class ContentLoss(nn.Module):
    def __init__(self, target, ):
        super(ContentLoss, self).__init__()
        self.target = target

    def forward(self, input):
        self.loss = F.mse_loss(input, self.target)
        return input

```

风格损失：

```
def gram_matrix(input):
    a, b, c, d = input.size() # a=batch size(=1)
    # b=number of feature maps
    # (c,d)=dimensions of a f. map (N=c*d)

    features = input.view(a * b, c * d) # reshape F_XL into \hat F_XL

    G = torch.mm(features, features.t()) # compute the gram product
    return G.div(a * b * c * d)
```

N 特征映射维数越长，gram 矩阵的值越大。因此，如果我们不用进行 N 归一化，则在梯度下降期间，在第一层（在合并层之前）计算的损失将具有更重要的意义。我们不希望这样，因为最有趣的风格特征在最深层！

然后，风格损失模块的实现方式与内容丢失模块完全相同，但我们必须添加一个 gramMatrix 参数：

```
class StyleLoss(nn.Module):
    def __init__(self, target_feature):
        super(StyleLoss, self).__init__()
        self.target = gram_matrix(target_feature).detach()

    def forward(self, input):
        G = gram_matrix(input)
        self.loss = F.mse_loss(G, self.target)
        return input
```

加载神经网络。现在，我们必须导入一个预先训练好的神经网络。就像在这篇论文中，我们将使用一个 19 层的预训练 VGG 网络（VGG19）。

PyTorch 的 VGG 实现是一个模块，分为两个子 Sequential 模块：(features 包含卷积和合并层)和 classifier（包含完全连接的层）。我们只对 features 感兴趣：

```
cnn = models.vgg19(pretrained=True).features.cuda().eval()
cnn_normalization_mean = torch.tensor([0.485, 0.456, 0.406]).cuda()
cnn_normalization_std = torch.tensor([0.229, 0.224, 0.225]).cuda()
```

Sequential 模块包含一个有序的子模块列表。例如，vgg19.features 包含以正确的深度顺序对齐的序列（Conv2d, ReLU, Maxpool2d, Conv2d, ReLU ...）。正如我们在 Content loss 部分所说的，我们在我们的网络中以理想的深度添加我们的样式和内容损失模块作为附加“透明”层。为此，我们构建了一个新 Sequential 模块，我们将 vgg19 按照正确的顺序添加模块和我们的损失模块：

```
def get_style_model_and_losses(cnn, normalization_mean, normalization_std,
                              style_img, content_img,
                              content_layers=content_layers_default,
                              style_layers=style_layers_default):

    cnn = copy.deepcopy(cnn)

    # normalization module
    normalization = Normalization(normalization_mean, normalization_std).cuda()

    # just in order to have an iterable access to or list of content/syle loss
    content_losses = []
    style_losses = []

    # assuming that cnn is a nn.Sequential, so we make a new nn.Sequential
    # to put in modules that are supposed to be activated sequentially
    model = nn.Sequential(normalization)
    i = 0  # increment every time we see a conv
    for layer in cnn.children():
        if isinstance(layer, nn.Conv2d):
            i += 1
            name = 'conv_{}'.format(i)
        elif isinstance(layer, nn.ReLU):
            name = 'relu_{}'.format(i)
            # The in-place version doesn't play very nicely with the ContentLoss
```

```

        # and StyleLoss we insert below. So we replace with out-of-place ones here.
        layer = nn.ReLU(inplace=False)
    elif isinstance(layer, nn.MaxPool2d):
        name = 'pool_{}'.format(i)
    elif isinstance(layer, nn.BatchNorm2d):
        name = 'bn_{}'.format(i)
    else:
        raise RuntimeError('Unrecognized layer: {}'.format(layer.__class__.__name__))

    model.add_module(name, layer)

    if name in content_layers:
        # add content loss:
        target = model(content_img).detach()
        content_loss = ContentLoss(target)
        model.add_module("content_loss_{}".format(i), content_loss)
        content_losses.append(content_loss)

    if name in style_layers:
        # add style loss:
        target_feature = model(style_img).detach()
        style_loss = StyleLoss(target_feature)
        model.add_module("style_loss_{}".format(i), style_loss)
        style_losses.append(style_loss)

    # now we trim off the layers after the last content and style losses
    for i in range(len(model) - 1, -1, -1):
        if isinstance(model[i], ContentLoss) or isinstance(model[i], StyleLoss):
            break

    model = model[:i + 1]
    return model, style_losses, content_losses

```

为了再次简化代码，我们拍摄图像尺寸与内容和样式相同的图像。此图像可能是白色噪点，也可以复制内容图像。这里我们使用直接复制的内容图像，如图 5.13 所示。

```

input_img = content_img.clone()
plt.figure()
imshow(input_img, title='Input Image')

```



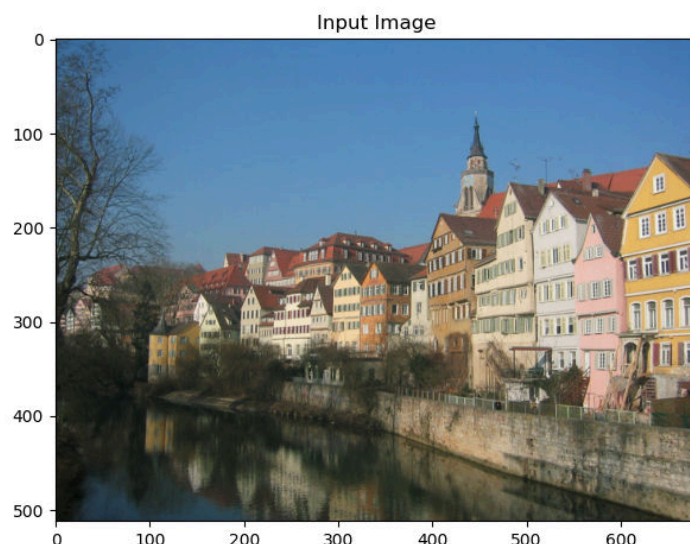


图 5.13 需要进行风格迁移的输入图像

正如算法作者 Leon Gatys 在这里所建议的那样，我们将使用 L-BFGS 算法来运行我们的梯度下降。与训练网络不同，我们希望对输入图像进行训练，以尽量减少 content/style 的损失。我们只想创建一个 PyTorch L-BFGS 优化器，将我们的图像作为变量进行优化。但是 optim.LBFGS 首先需要一个梯度下降的 PyTorch Variable 列表。我们的输入图像是一个 Variable 但不是需要计算梯度的 tree。为了显示这个变量需要一个梯度，可能会 Parameter 从输入图像构造一个对象。然后，我们只是将包含这个的列表提供给 Parameter 优化器的构造函数：

```
def get_input_optimizer(input_img):  
    # this line to show that input is a parameter that requires a gradient  
    optimizer = optim.LBFGS([input_img.requires_grad_()])  
    return optimizer
```

最后一步：梯度循环下降。在每一步中，我们必须向网络提供更新后的输入以计算新的损失，我们必须运行每个损失的 backward 方法来动态计算它们的梯度并执行梯度下降的操作。优化器需要一个“闭包”作为参数：一个重新评估模型并返回损失的函数。

然而，这有一个小问题。优化后的图像可能取值在 $\pm\infty$ 之间，而不是保持在 0 和 1 之间。换句话说，图像可能会被很好地优化并且返回无价值的值。事实上，我们必须在约束条件下进行优化，以保持对我们输入图像的正确识别。有一个简单的解决方案：在每个步骤中，纠正图像以将其值保持在 0-1 之间。

```
def run_style_transfer(cnn, normalization_mean, normalization_std,
                      content_img, style_img, input_img, num_steps=1000,
                      style_weight=1000000, content_weight=1):
    """Run the style transfer."""
    print('Building the style transfer model..')
    model, style_losses, content_losses = get_style_model_and_losses(cnn,normalization_mean,
n                                                                    ormalization_std, style_img,content_img)
    optimizer = get_input_optimizer(input_img)

    print('Optimizing..')
    run = [0]
    while run[0] <= num_steps:
```

```

def closure():
    # correct the values of updated input image
    input_img.data.clamp_(0, 1)

    optimizer.zero_grad()
    model(input_img)
    style_score = 0
    content_score = 0

    for sl in style_losses:
        style_score += sl.loss
    for cl in content_losses:
        content_score += cl.loss

    style_score *= style_weight
    content_score *= content_weight

    loss = style_score + content_score
    loss.backward()

    run[0] += 1
    if run[0] % 50 == 0:
        print("run {}".format(run))
        print('Style Loss : {:.4f} Content Loss: {:.4f}'.format(
            style_score.item(), content_score.item()))
        print()

    return style_score + content_score

optimizer.step(closure)

# a last correction...
input_img.data.clamp_(0, 1)

return input_img

```

最后，运行算法：

```

output = run_style_transfer(cnn, cnn_normalization_mean, cnn_normalization_std,
                           content_img, style_img, input_img)

plt.figure()
imshow(output, title='Output Image')
plt.ioff()
plt.show()

```

```
Optimizing..  
run [50]:  
Style Loss : 91.595917 Content Loss: 33.840412  
  
run [100]:  
Style Loss : 26.668898 Content Loss: 29.190556  
  
run [150]:  
Style Loss : 10.799277 Content Loss: 23.711535  
  
run [200]:  
Style Loss : 5.897112 Content Loss: 19.545174  
  
run [250]:  
Style Loss : 3.962692 Content Loss: 16.650055  
  
run [300]:  
Style Loss : 2.949107 Content Loss: 14.621337
```

得到的输出如图 5.14 所示。

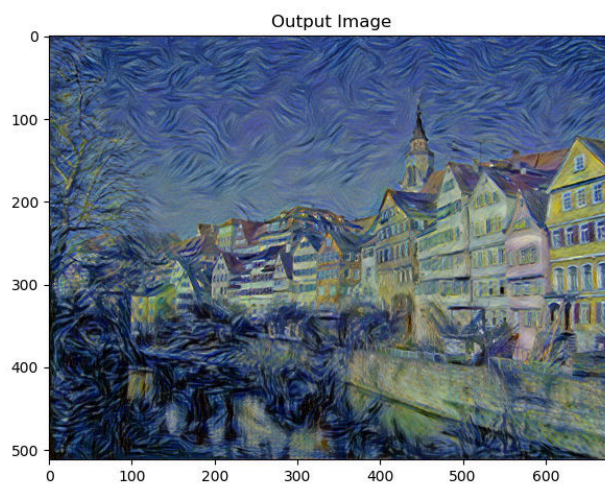


图 5.14 风格迁移之后的输出图像

## 第 12 章

### 第 7 节 机器人

机器人学是与机器人设计、制造和应用相关的科学，主要研究机器人的控制与被处理物体之间的相互关系。机器人技术目前已成为一个很有发展前景的行业，机器人对国民经济和人民生活的各个方面已产生重要影响。本章学习机器人的定义、发展和主要技术。

#### 6 机器人学

##### 6.1 机器人学绪论

###### 6.1.1 机器人定义

1920 年，捷克作家卡雷尔·凯佩克（Karel Capek）发表了科幻剧本《罗萨姆的万能机器人》。在剧本中，凯佩克把捷克语“Robota”写成了“Robot”，“Robota”是奴隶的意思[Capek, K. 2004]。该剧预告了机器人的发展对人类社会的悲剧性影响，引起了人们的广泛关注，被当成了“机器人”一词的起源。目前国际标准化组织对机器人的定义是：机器人是一种能够通过编程和自动控制来执行诸如作业或移动等任务的机器。

随着人们对机器人技术智能化本质认识的加深，机器人技术开始源源不断地向人类活动的各个领域渗透。结合这些领域的应用特点，人们发展了各式各样的具有感知、决策、行动和交互能力的特种机器人和各种智能机器人。现在虽然还没有一个严格而准确的机器人定义，但是我们对机器人的本质做些把握：机器人是自动执行工作的机器装置。它既可以接受人类指挥，又可以运行预先编排的程序，也可以根据以人工智能技术制定的原则纲领行动。它的任务是协助或取代人类的工作。它是高级整合控制论、机械电子、计算机、材料和仿生学的产物，在工业、医学、农业、服务业、建筑业甚至军事等领域中均有重要用途。

###### 6.1.2 机器人学的发展

机器人的历史要比人们想象的更丰富、更悠久。我们将从许多角度思考机器人技术历史的各个方面包括工业革命时期的机械机器人、电影和文学中的机器人以及 20 世纪早期的机器人。

在工业革命期间，机器人的发展极其迅速。其中一件作品是詹姆斯·瓦特(James Watt.人们认为他在 1783 年左右发明了第一台实用蒸汽机)设计的一种机械。1788 年，瓦特设计了一个“飞轮调速器”具有两个能够通过离心力向外摆动的旋转球（见图 6.1）。它与蒸汽机连接，这样我们可以通过飞球的向外摆动测量发动机的速度；此外，向外的摆动使用另一个连杆控制了保持其当前速度的值。实质上，这组成了世界上第一台反馈控制机械。1868 年，詹姆斯·克拉克·麦克斯韦(James Clerk Maxwell.他发现了麦克斯韦的电磁方程)发表了《On Governors》,这是关于反馈控制的第一个系统研究。最终，这成了 20 世纪机器人的一个基本要素。

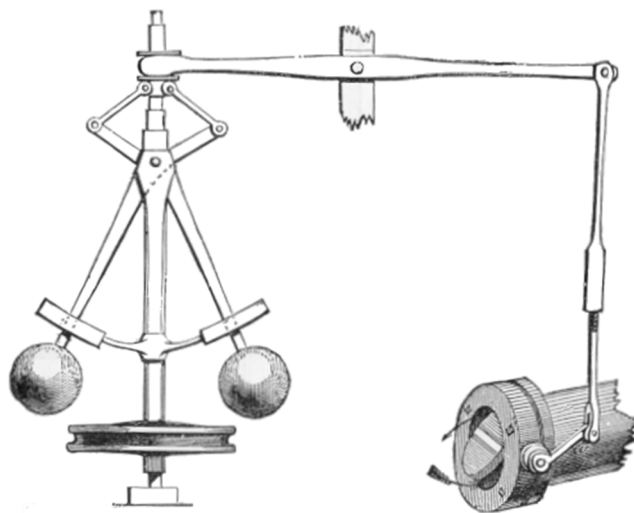


图 6.1 瓦特的飞轮调速器

1912 年,由 Leonardo Torresy Quevedo 使用齿轮建造的自动、机械的国际象棋机器,可以通过一套明确的规则,在基础残局(王和车对抗王)中博弈,无论起始的棋局如何,它都可以在有限的移动步骤中将死。人们认为这是第一台不仅能处理信息,还能基于信息做出决策的机器。

文学作品《R.U.R.》(《Rossum's Universal Robots》)带来了用作通用劳动者的机器人,这些机器人没有人类的感受和情绪,被用作战争中的士兵。《R.U.R.》中,一名助理最后发现如何将痛苦和情绪赋予机器人。于是机器人开始反抗人类,几乎消灭了人类,但是,它们无法自我繁殖。最后一幕是,两个机器人相爱,这预示着出现了新亚当和夏娃。

我们必须记住,在第一次世界大战刚刚结束时,《R.U.R.》就出现了。另一部与之一脉相承的作品是 1926 年的经典电影, Fritz Lang 的《Metropolis》, Fritz Lang 是一位非常受欢迎和受人尊敬的德国电影制作人。这部电影是基于其妻子 Thea Harbou 写的一本。《Metropolis》重点关注住在城市地下室工人的悲惨生活。这部作品中的机器人玛丽亚(Maria)是受工人信任的领导人。结果,玛丽亚引导机器人自我毁灭,最后地被绑在木桩上焚毁,变成了金属。

读到在电影、艺术和文学中对机器人技术做出的贡献,我们必须介绍艾萨克·阿西莫夫(Isaac Asimov)的作品,1942 年,作为一名年轻的科幻作家,他为银河科幻(Galaxy Science Fiction)贡献了(The Caves of Steel)的故事。在这个故事中,他首先提出了经常被重复的机器人三大定律(Three Laws of Robots)。

- (1)机器人不得伤害人类,不得看到人类受到伤害而袖手旁观。
- (2)机器人必须服从人类给予的命令,除非这种命令与第一定律相冲突。
- (3)只要与第一或第二定律没有冲突,机器人就必须保护自己的生存。

几十年过去了,在诸如《禁止星球》(1956 年)和“星球大战”三部曲《1977 年星球大战》,1980 年《帝国反击战》以及 1983 年《绝地回归》等此类电影中,阿西莫夫(Asimov)的想法依然有迹可循。

到了 20 世纪,人们建造了许多成功的机器人系统。20 世纪 80 年代,在工厂和工业环境中,机器人开始变得司空见惯。在这里,我们仅限于讨论对该领域的研究和进步特别有用的机器人。

20 世纪机器人的发展离不开控制论领域(cybernetics)的发展。这个领域被视为人工智能的早期先驱,是在生物和人造系统对通信和控制过程进行研究和比较。麻省理工学院的诺伯特·维纳(Norbert Wiener)为定义这个领域做出了贡献,并进行了开创性的研究。这个领域将来自神经科学和生物学与来自工程学的理论和原理结合起来,目的是在动物和机器中找到共同的属性和原理。马特里(Matari)指出:“控制论的一个关键概念侧重于机械或有机体与环境之间的耦合、结合和相互作用。”[Matarić, M. J., & Maja, J.2007]我们将会看到这种相互作用相当复杂。

她将机器人定义为:“存在于物质世界中的自治系统,可以感知其环境,并可以采取行动实现一些目标”。根据这定义,Matari 教授称威廉·格雷·沃尔特(William Grey Walter)的“乌龟”是第一个根据控制论的基

本目标而建造的机器人。Walter(1910-1977)出生于堪萨斯城，但在英国生活并接受教育。他是名神经生理学家，对大脑如何工作感兴趣，发现了在睡眠期间人们产生的 $\theta$ 波和 $\delta$ 波。他建造了类似动物行为的机器来研究大脑的工作原理。Walter 确信即使是具有非常简单的神经系统的生物，也可能出现复杂和意想不到的行为。

Walter 的机器人与之前的机器人不同，它们以不可预知的方式行事，能够做出反应，在其环境中能够避免重复的行为。“乌龟”由 3 个轮子和一个硬塑料外壳组成[Levy, D. 2005]。两个轮子用于前进和后退，而第三个轮子用于转向。它的“感官”非常简单，仅由一个可以感受到光的光电池和作为触摸传感器的表面电触点组成。光电池提供了电源，外壳提供了一定程度的保护，可防止物理损坏。

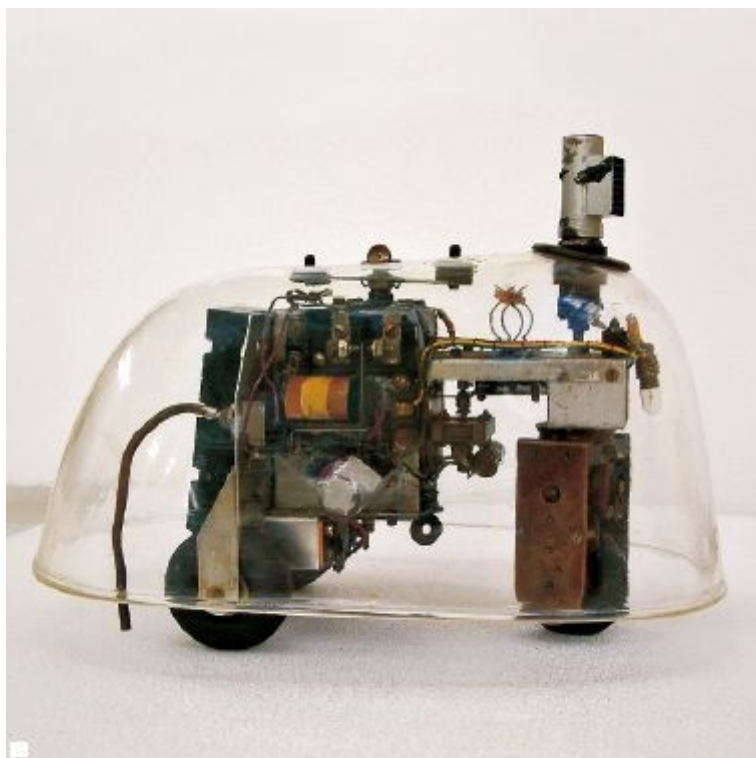


图 6.2 Walter 的“乌龟”——第一个公认的机器人

到了 21 世纪，机器人人工智能的发展为解决机器人技术领域出现的复杂而细致的技术问题提供了可能性。这里简要介绍一下 21 世纪开发的三大机器人系统：大狗（Big Dog）、亚美尼亚（Asimo）、和 Cog。每个项目都代表了 20 世纪晚期以来，科学家数十年来的重大努力。大狗（Big Dog）主要关注运动和重载运输，特别用于军事领域；亚美尼亚（Asimo）展现了运动的各个方面，强调了人类元素，即了解人类如何移动；Cog 更多的是思考，这种思考区分了人类与其他动物，被视为人类所特有的。

### 6.1.3 机器人学理论基础简介

在本书中，到现在为止的每一章和每个主题都与机器人领域有关或可能与机器人领域有关。无论是探索搜索、博弈、逻辑、知识表达、产生式和专家系统，还是神经网络、遗传算法、语言，规划等，都可以轻松而又自然地与机器人产生联系，不会不着边际或者力机器人技术很遥远。现在，我们更细致的考虑其中的一些联系。

机器人和搜索——从机器人技术的早期（在机器试图完成任务、服务人类这个意义上），搜索已经成为机器人技术的一个组成部分。例如，在 a~b 章中讨论的那些类型的搜索问题，包括广度优先搜索和深度优先搜索、启发式搜索和博弈中的搜索，在构建系统时，机器人技术必须解决所有这些典型的问题。也就是说，必须编程机器人，使其以最有效的方式从 A 点到 B 点。或者机器人必须绕过一些障碍，才能达到目的地或目标，这与在这些章节中介绍的各种迷宫问题类似。

机器人技术、逻辑和知识表达——无须多说，机器人和逻辑是密切相关的。逻辑问题是机器人的基础，

如反演证明和合一，此类方法是建立语音机器人系统的基础。在任何人工智能系统建成之前，人们都必须思考如何表示该系统的元素。无论是使用基于智能体的方法，如群体智能、树、图形、网络，还是其他方法。这些思考的内容都是机器人系统的基础。

产生式系统和专家系统——作为专家系统的基础，产生式系统与控制系统密切相关。控制系统是机器人系统的基础。将机器人引导到工厂车间，让机器人在亚马逊工厂接收包裹——为了能够完成更大的任务(层次结构)，还需要完成什么任务。这些都是机器人如何依靠产生式系统和专家系统的例子。此外，人类在各个领域(例如机械工具、工厂装配线、用于涂料生成的颜色混合、选择合适的包装等)的专业知识，是由专家系统组成的产生式系统的自然表演场地。

模糊逻辑——即使在机器人的世界中，结果也不是非黑即白、非正即负的，而是“在一定程度上”的结果。例如，机器人在到达目标的路径上可能会遇到阻碍并被绊倒。机器人必须坚持实现目标，换句话说，机器人的世界不仅是离散的，它也取决于某些“自由度”，某些属性具有程度的变化，而不只是产生“开”或“关”“是”或“否”的结果。

机器学习和神经网络——随着这些人工智能方法复杂性的提高，机器学习和神经网络有机会出现在机器人应用中。Google Car 就是一个主要的例子。

机器人系统很自然地采用了遗传算法、禁忌搜索和群体智能等技术，特别是当它们必须分组工作时，例如模拟人群行为或走在纽约市街道上，或模拟人们匆忙地赶去上班，同时避免撞上迎面而来的人，或挡住了别人的路。

自然语言处理和语音理解——这是第 13 章的主题。我们不断看到机器(机器人)的改进，看到了它们在涉及语言和语音理解这些相对高级的任务中如何取代了人类。因此，这些学科的进步对于机器人技术来说是一个重要的组成部分。其所涉及的问题和因素都是巨大的，例如语义、语法、口音和变音。

6.2 机器人类别

关于机器人如何分类，国际上没有制定统一的标准，有的按负载重量分，有的按控制方式分，有的按自由度分，有的按结构分，有的按应用领域分。一般的分类方式见表 6.1：

表 6.1 机器人的分类

分类名称	简要解释
操作型机器人	能自动控制，可重复编程，多功能，有几个自由度，可固定或运动，用于相关自动化系统中。
程控型机器人	按预先要求的顺序及条件，依次控制机器人的机械动作。
示教再现型机器人	通过引导或其它方式，先教会机器人动作，输入工作程序，机器人则自动重复进行作业。
数控型机器人	不必使机器人动作，通过数值、语言等对机器人进行示教，机器人根据示教后的信息进行作业。
感觉控制型机器人	利用传感器获取的信息控制机器人的动作。
适应控制型机器人	机器人能适应环境的变化，控制其自身的行动。
学习控制型机器人	机器人能“体会”工作的经验，具有一定的学习功能，并将所“学”的经验用于工作中。
智能机器人	以人工智能决定其行动的机器人。

我国的机器人专家从应用环境出发，将机器人分为两大类，即工业机器人和特种机器人。所谓工业机器人就是面向工业领域的多关节机械手或多自由度机器人。而特种机器人则是除工业机器人之外的、用于非制造业并服务于人类的各种先进机器人，包括：服务机器人、水下机器人、娱乐机器人、军用机器人、农业机器人、机器人化机器等。在特种机器人中，有些分支发展很快，有独立成体系的趋势，如服务机器



人、水下机器人、军用机器人、微操作机器人等。目前，国际上的机器人学者，从应用环境出发将机器人也分为两类：制造环境下的工业机器人和非制造环境下的服务与仿人型机器人，这我国的分类是一致的。

### 6.3 机器人的主要技术

开发机器人的技术问题及其纷杂，在某种程度上，这取决于人们实现精致复杂的机器人功能的雄心。从本质上讲，机器人方面的工作是问题求解的综合形式。

机器人的早期历史着重于运动和视觉（称为机器视觉）。计算几何和规划问题是与其紧密结合的学科。在过去几十年中，随着如语言学、神经网络和模糊逻辑等领域成为机器人技术的研究与进步的一个不可分割的部分，机器人学习的可能性变得更加现实[Minsky ML.1985]。

#### 6.3.1 运动

这可能是机器人技术中最古老的问题。无论你是想让机器人踢足球，还是登上月球，或是在海面下工作，最根本的问题就是运动。机器人如何移动？它的功能是什么？我们所能想到的典型执行器如下。

- 轮子用于滚动。
- 腿可以走路、爬行、跑步、爬坡和跳跃。
- 手臂用于抓握、摇摆和攀爬。
- 翅膀用于飞行。
- 脚蹼用于游泳。

一旦开始考虑运动，就必须考虑稳定性。毕竟，孩子通常至少需要一年才能学会如何走路。对于人和机器人，还有重心的概念，这是我们在走路的地面上方的一个点，它使我们能够保持平衡。重心太低意味着我们在地面上拖行前进，重心太高则意味着不稳定。

与这个概念紧密联系的是支持多边形(polygon of support)的概念。这是支持机器人加强稳定性的平台。人类也有这样的支持平台，只是我们通常没有意识到，它就是我们躯干中的某个位置。对于机器人，当它有更多的腿时，也就是有 3 条、4 条或 6 条腿时，这个问题通常不大。

#### 6.3.2 机器人路径规划

点机器人是一个非常简单的自主机器人概念，这种机器人在一些明确定义的环境(通常是笛卡儿平面)中进行单点操作。因此，点(x,y)就足以描述机器人的状态。

最基本的问题是，找到机器人从某一个起始配置  $S=(a,b)$  到某个目标状态  $T=(c,d)$  的路径。如果这条路径存在，如何找到这样一条连续的路径？这个问题最基本的解决方案就是众所周知的 Bug2 算法。这个算法相当简单。如果在自由空间中，S 和 T 之间存在着一一条直接的直线路径，则机器人应该使用它。如果路径被阻挡，则机器人应该沿着该路径前进，直到遇到障碍物(点 P)，然后机器人应绕行障碍物，直到它能够重新返回 ST 线，朝目标 T 移动。

如果遇到另一个障碍物，则机器人应该再次绕行它，直到在这个障碍物上找到另一个点。机器人可以从这个点离开障碍物，朝方向 T 移动，并且这个点比起点 P (它开始绕行障碍物的起点)离 T 更近。如果不存在这个点，那么机器人就确定从 S 到 T 不存在路径。

虽然 Bug2 算法是完备的(见第 2 章),如果存在这样的路径，机器人就能够确定找到到达目标的路径，但是没有办法保证这是最短路径[Dudek, G., & Jenkin, M. 2010]。为了在任何时候都感知机器人的位置并进行适当的规划，传感器必须不断改进环境地图，并更新其对机器人位置的估计。在机器人世界中，这称为 SLAM，也就是即时定位与地图构建算法(simultaneous localization and mapping algorithm)

#### 6.3.3 机器人结构与驱动

在深入研究机器人学家所面临的典型问题之前，我们应着重思考构成典型机器人的组件。机器人的组件如下。

- 身体或实体。
- 感知环境的传感器。
- 实现动作的效应器和执行器。

- 实现自主行为的控制器。

对于这4个组件,我们将逐一考虑其要求。

(1)可以想象,具有物质身体(physical body)意味着机器人可能产生自我的感觉,也就是说,它可以思考这样的问题:我在哪里、我的状态(或条件)以及我要到哪里去。这也意味着它符合我们赖以生活的物理规律,占用一定的空间,也需要能量来执行感应和思考等功能[Minsky ML.1985]。

似乎值得一提的是,人们认为生命的基本要素之一是活动或移动的能力。因此,当考虑机器移动的可能性时,我们选定机器人移动作为人们普遍接受的最基本的生命要素之一。

(2)控制器是使机器人能够独立自主的硬件或软件,因此这个装置控制了机器人的决定,是它们的大脑。如果机器人部分或完全由人类控制,那么它们就不是自主的。

值得注意的是,机器人电力供应与人类之间存在一些重要的类比。人类需要食物和水来为身体运动 and 大脑功能提供能量。目前,机器人的大脑并不发达,因此需要动力(通常由电池提供)进行运动和操作。现在思考,当“电源”快没电了(即当我们饿了或需要休息时)会发生什么。我们不能做出好的决定,犯错误,表现得很差或很奇怪。机器人也会发生同样的事情。因此,它们的供电必须是独立的,受保护和有效的,并且应该可以平稳降级(degrade gracefully)。也就是说,机器人应该能够自主地补充自己的电源,而不会完全崩溃[Matarić, M. J., & Maja, J. 2007]。

(3)电动机和齿轮。人们认为,从人类发明了轮子以来,约瑟夫·亨利(Joseph Henry)于1831年发明的电磁铁是最伟大的发明之一。艾蒂安·勒努瓦(Etienne Lenoir)于1861年发明的电动机与电磁铁紧密相关,具有同等重要的意义。电动机与电源关联,对运动的影响具有同等的重要意义,因此电动机对机器人也非常重要。

通常,机器人使用由电磁体和电流组成的直流电动机来产生磁场,转动电机轴。电动机必须使用适合的电压来运行被要求执行的任务,以免受到磨损。由于直流电动机提供恒定电压,提供与所完成工作成正比的电流。因此它是首选。碰到高电阻的电动机(例如机器人撞入固定的墙壁里)将最终在停电后停止。回顾物理学的方式:

$$V(\text{电压}) = I(\text{电流}) \times R(\text{电阻})$$

因此  $V/I = R$ , 电压与电阻成正比。但是,功=力×距离。在机器人卡在墙壁里的情况下,距离变得非常小(或零),此时尽管动力高(电压),实际执行的功却很少或根本没有。也许可以进行一个简单的类比来证明这个想法,一辆汽车陷在雪地里,电动机提高了转速,轮子一直旋转。如果这种情况持续了太长时间,车也将最终熄火。

电动机产生的电流越多(单位时间内电子的移动,以安培为单位),电动机轴产生的扭矩(旋转力)也越大。因此,电动机的功率等于其扭矩和轴转速的积。

大多数直流电动机的运行速度为每分钟 3000 到 9000 转(rpm)。这意味着它们产生了高速度,但是扭矩很小。然而,机器人通常需要执行的工作要求转速较小和扭矩较大,例如转动车轮、运输负载和起重。

通过理解和巧妙运用齿轮工作理论,人们可以缓和机器人电动机需要更大的扭矩而不是更快的旋转速度的问题。通常,与机器人技术一样,可以组合容易理解的简单想法,开发出更复杂的工作系统。小齿轮转得更快,但力量不大;大齿轮转得较慢,但力量较大。这是多档/多速自行车所基于的齿轮原理。因此,如果用较小的齿轮驱动较大的齿轮,则会按比例产生较大的扭矩,这个比例等于小齿轮的齿数比上大齿轮的齿数。这种齿轮对称称为联动齿轮。图 6.3 所示的“复式轮系”的联动齿轮诠释了这种原理。例如,如果轮轴的输入输出比为 40:8,化简为 5:1。



图 6.3 联动齿轮

第二对啮合齿轮可以是一个 8 齿齿轮的输入来驱动一个 24 齿的齿轮。这个转换比例为 3:1。现在，我们注意到，第二对齿轮的 8 齿齿轮可能与第一对的 40 齿的齿轮在同一个轮轴上，这使得组合齿轮的比例为  $(5:1) \times (3:1)$ ，等于 15:1。因此，第一轴(具有较小齿轮)必须转动 15 次，第二轮轴才转动 1 次。因此，第二轮轴产生了更大的扭矩(以 15:1 的比例)。

机器人电动机的另一个概念是伺服电动机。这种电动机可以旋转，使轴到达指定位置。它们在玩具中很常见，用于遥控器中调整转向或在远程控制飞机中调整机翼位置。伺服电动机由直流电动机制成，附加部件如下。

- ① 扭矩减速。
- ② 电动机轴的位置传感器，用于说明电动机转动的量和方向。
- ③ 控制电动机的电子电路，告诉电动机要转的量和方向。

(4) 自由度。在机器人领域中，一个常见的概念是物体运动度。这是表达机器人可用的各种运动类型的方法。例如，考虑直升机的运动自由度(称为平移自由度，**translational degrees of freedom**)。一般来说，有 6 个自由度(DOF)可以描述直升机可能的原地转圈、俯仰和偏航运动(见图 15.10)。原地转圈意味着从一侧转到另一侧，俯仰意味着向上或向下倾斜，偏航意味着左转或右转。像汽车(或直升机在地面上)一样的物体只有 3 个自由度(DOF)(没有垂直运动)，但是只有两个自由度可控。也就是说，地面上的汽车通过车轮只能前后移动，并通过其方向盘向左或向右转。如果一辆汽车可以直接向左或向右移动(比如说使其每个车轮转动 90°)，那么这将增加另一个自由度。由于机器人运动更加复杂，例如手臂或腿试图在不同方向上移动(如在人类的手臂中有肌腱套)，因此自由度的数量是个重要问题。



图 6.4 一架直升飞机及其自由度

### 6.3.4 机器人感知

对真正的机器人的一个要求是感官知觉(sensory perception)。它必须能够感知环境，对环境做出反应并采取行动。通常，这种反应涉及运动，这是机器人的基本任务。正如在计算机科学硬件中常见的，电子系统的状态通常由 1 和 0 或二进制数字表示。根据所涉及的这些传感器的数量，机器人可以有  $2^N$  种感知(传感器状态)的组合。传感器用于表示机器人的内部和外部状态。内部世界是指在机器人感知到自己的情况下其自己的状态。外部状态是指机器人如何看待与之交互的世界。机器人的内部和外部状态(或内部模型)的表示是一个重要的设计问题。

末端执行器和驱动器。末端执行器是使机器人能够采取行动的组件。它们使用基本的机制(如肌肉和电动机)来执行各种功能，但是主要为了运动和操作。运动和操作构成了机器人技术的两个主要子领域。前者涉及移动(即机器人的腿)，而后者关注处理事物(即机器人的臂)。

### 6.3.5 移动机器人运动学

运动学是关于机械系统如何运行的最基础的研究。在移动机器人领域，这是一种自下而上的技术，需要涉及物理、力学、软件和控制领域。像这样的情况，这种机器人技术每时每刻都需要软件来控制硬件，因此这种系统很快就变得相当复杂。

为此，关于运动学的许多知识是从早期机器操纵器的编程中得到的。这里的主要任务是控制机器人的手臂。在将工作空间约束和轨迹约束时，考虑这种情况的动力学(力和质量)是很重要的。上一节介绍了运动的概念。这里我们思考进步的因素，即定位估计(position estimation)和运动估计(motion estimation)的重要组成部分，而定位估计和运动估计本身就是非常有挑战性的任务[Siegwart, R., Nourbakhsh, I. R., & Scaramuzza,

D. 2011]。

要考虑移动机器人的位置和运动，就必须考虑每个轮的位置和角度。我们应该考虑每个轮子对机器人运动的贡献，并组合这些运动约束，来表示整个机器人的运动约束。

在简单的 X-Y 平面上，起点是机器人的位置，并考虑其角度，这有利于为机器人的运动方向创建参考点。这个方向使用相对于 x 轴的角度来表示。

因此，机器人的全局参考坐标可以表示为

$$I = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ \theta \end{bmatrix}$$

由 X、Y 和  $\theta$  组成的向量定义了机器人的“姿态”。根据这个等式，在全局平面  $\{X_1, Y_1\}$  中，相对于局部参考框架  $\{X_R, Y_R\}$  机器人的所有移动都可以用正交旋转矩阵(orthogonal rotation matrix)来表示。

因此，机器人位置的瞬时变化可以通过机器人轮子角度变化的矩阵操作来表示。当然，这种建模是必要的，而且模型会变得越来越复杂。在可能不同的方向和维度上添加更多的轮子、速度和各种运动的概念，这引入了更多的复杂性，已经超出了本书的范畴。对于进一步研究运动学、机器人感知、移动机器人局部化以及规划和导航的技术细节，我们推荐一个很好的参考来源，即 Siegwart、Nourbakhsh 和 Scaramuzza 的文章[Siegwart, R., Nourbakhsh, I. R., & Scaramuzza, D. 2011]。

#### 6.4 智能机器人发展展望

智能机器人具有广阔的发展前景，目前机器人的研究正处于第三代智能机器人阶段，尽管国内外对此的研究已经取得了许多成果。但其智能化水平仍然不尽人意。未来的智能机器人应当在以下几方面着力发展：面向任务，由于目前人工智能还不能提供实现智能机器的完整理论和方法，已有的人工智能技术大多数要依赖领域知识，因此当我们把机器要完成的任务加以限定，及发展面向任务的特种机器人，那么已有的人工智能技术就能发挥作用，使开发这种类型的智能机器人成为可能；传感技术和集成技术，在现有传感器的基础上发展更好、更先进的处理方法和其实现手段，或者寻找新型传感器，同时提高集成技术，增加信息的融合；机器人网络化，利用通信网络技术将各种机器人连接到计算机网络上，并通过网络对机器人进行有效的控制；机器学习，各种机器学习算法的出现推动了人工智能的发展，强化学习、蚁群算法、免疫算法等可以用到机器人系统中，使其具有类似人的学习能力，以适应日益复杂的、不确定和非结构化的环境；智能人机接口，人机交互的需求越来越向简单化、多样化、智能化、人性化方向发展，因此需要研究并设计各种智能人机接口如多语种语音、自然语言理解、图像、手写字识别等，以更好地适应不同的用户和不同的应用任务，提高人与机器人交互的和谐性；多机器人协调作业，组织和控制多个机器人来协作完成单机机器人无法完成的复杂任务，在复杂未知环境下实现实时推理反应以及交互的群体决策和操作。

## 参考文献

- 李学龙, & 龚海刚. (2015). 大数据系统综述. 中国科学:信息科学, 45(1), 1-44.
- 黄志坚. 智能交通与无人驾驶[M]. 化学工业出版社:北京,2018.
- 王建强, 吴辰文, & 李晓军. (2011). 车联网架构与关键技术研究. 微计算机信息, 27(4), 156-158.
- 冯黎. (2019). 无人驾驶汽车自主导航策略与控制算法研究 (Master's thesis, 电子科技大学).
- 翟启仁. (2018). 浅析人工智能在汽车设计中的应用——以谷歌无人驾驶汽车为例. 科技创新导报, (2), 50.
- 林基艳, 张慧, & 张雅琼. (2017). 基于 RFID 的交通信号灯智能控制系统研究. 河南科学, 35(8), 1214-1220.
- 王子正, & 程丽. (2016). 无人驾驶汽车简介. 时代汽车, (8), 82-85.
- 董辉. (2017). 谷歌无人驾驶汽车装用的雷达传感器. 汽车电器, (6), 17-19.
- 裘加林, 田华, 郑杰, 等. 智慧医疗[M]. 清华大学出版社:北京,2015.
- CNNIC. CNNIC 发布第 45 次《中国互联网络发展状况统计报告》[EB/OL]. [https://www.cnnic.net.cn/gywm/xwzx/rdxw/20172017\\_7057/202004/t20200427\\_70973.htm](https://www.cnnic.net.cn/gywm/xwzx/rdxw/20172017_7057/202004/t20200427_70973.htm), 2020-04-28.
- 姬晓波, 曾凡, & 张敏. (2010). 物联网技术及其在医疗系统中的应用. 医疗卫生装备, 31(12), 102-103.
- CCTIME 气象网.“云医疗”是大势所趋[EB/OL]. [http://science.china.com.cn/2016-12/15/content\\_9226867.htm](http://science.china.com.cn/2016-12/15/content_9226867.htm), 2016-12-15.
- 陈骞. (2013). 全球移动医疗发展现状与趋势. 上海信息化, (2), 80-82.
- IDC: 中国智慧医疗 30 个城市的评价和推荐[DB/OL]. <http://cio.zdnet.com.cn/cio/2014/0605/3022791.shtml>, 2014-10-11.
- 陈秋晓, 张莹, 姚志刚, & 姜忠. (2013). 智慧医院建设存在的问题与建议. 医院管理论坛, (3), 52-54.
- 国家卫生和计划生育委员会信息化工作领导小组: 基于健康档案的区域卫生信息平台建设指南(试行)[EB/OL]. <http://www.moh.gov.cn/mohbgt/s6718/200912/45413.shtml>, 2009-12-25.
- 互联网医疗健康产业联盟. 5G 时代, 智慧医疗健康发展前景分析[EB/OL]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1640213988854675246&wfr=spider&for=pc>, 2019-07-27.
- 智能家居的定义与简介[EB/OL]. <https://wenku.baidu.com/view/07edd591854769eae009581b6bd97f192279bf8d.html>, 2019-04-07.
- Beaumont, C. (2008). Bill Gates's dream: A computer in every home. *The Telegraph*.
- Jankowski, S., Covello, J., Bellini, H., Ritchie, J., & Costa, D. (2014). The Internet of Things: Making sense of the next mega-trend. *Goldman Sachs*.
- 詹姆斯, & 贺普曼. (2015). 物联网时代的企业竞争战略. 中国经济报告, (5), 74-76.
- 郎为民. (2015). 大话物联网. 信息安全与通信保密, (5), 93.
- Lee, J. S., Su, Y. W., & Shen, C. C. (2007, November). A comparative study of wireless protocols: Bluetooth, UWB, ZigBee, and Wi-Fi. In *IECON 2007-33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society* (pp. 46-51). Ieee.
- What is iBeacon? A Guide to iBeacon [EB/OL]. <http://www.ibeacon.com/what-is-ibeacon-a-guide-to-beacons/>
- Jen Quinlan. 25 beacon uses you won't find in a store [EB/OL]. <http://thepu.sh/trends/25-beacon-uses-wont-find-store/>
- 智慧的地球[EB/OL]. <https://www-31.ibm.com/ibm/cn/ibm100/icons/smarterplanet/index.shtml>, 2008-11-6.
- 涂平, & 陈磊. (2013). 国外智慧城市建设对我们的启示. 科技智囊, (008), 64-69.
- 王根祥, 李宁, & 王健会. (2012). 国内外智慧城市发展模式研究. 软件产业与工程, (4), 11-14.
- MNR. 智慧城市时空大数据平台建设 [EB/OL]. <https://www.ciyew.com/wp-content/uploads/2019/02/8a9adca27b6fc7ab215c.pdf>, 2019-1.
- 宋刚, & 郭伦. (2012). 创新 2.0 视野下的智慧城市. 城市发展研究, 19(9), 53-60.
- 杜方. 移动互联网的发展现状和发展趋势 [EB/OL]. [http://www.360doc.com/content/16/1027/11/30480520\\_601750649.shtml](http://www.360doc.com/content/16/1027/11/30480520_601750649.shtml), 2016-10-27.
- 孙亮, 郭中梅, 单斐, & 梁芳. (2020). 5G 时代智慧城市概念模型的研究与思考. 邮电设计技术, (2), 9-12.
- 李如年. (2009). 基于 RFID 技术的物联网研究 (Doctoral dissertation).
- 杨正洪. 智慧城市——大数据、物联网和云计算之应用[M]. 清华大学出版社:北京,2014.
- 张婷. 人工智能在艺术设计中的应用[M]. 中国铁道出版社有限公司:北京,2020.
- 微软. 微软小冰人工智能作画[EB/OL]. <https://paintingpoem.msxiaobing.com/painting>, 2019.

图像风格迁移[EB/OL]. [https://blog.csdn.net/czp\\_374/article/details/81185603](https://blog.csdn.net/czp_374/article/details/81185603),2019-04-27.

Gatys, L. A., Ecker, A. S., & Bethge, M. (2016). Image style transfer using convolutional neural networks. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 2414-2423).

Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. *Neural computation*, 9(8), 1735-1780.

Simonyan, K., & Zisserman, A. (2014). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *arXiv preprint arXiv:1409.1556*.

Capek, K. (2004). *RUR (Rossum's universal robots)*. Penguin.

Matarić, M. J., & Maja, J. (2007). *The robotics primer*. MIT press.

Levy, D. (2005). *Robots unlimited: Life in a virtual age*. CRC press.

Minsky ML.(1985). Chapter 1, Introduction. In *Robotics*, edited by M.L. Minsky. Omni Press:New York.

Dudek, G., & Jenkin, M. (2010). *Computational principles of mobile robotics*. Cambridge university press.

Siegwart, R., Nourbakhsh, I. R., & Scaramuzza, D. (2011). *Introduction to autonomous mobile robots*. MIT press.

智能机器人的现状及发展趋势[EB/OL]. [https://www.sohu.com/a/320891699\\_466950](https://www.sohu.com/a/320891699_466950),2019-06-05.