

# 福建

FUJIAN  
TELECOMMUNICATIONS TECHNOLOGY

# 通信科技

二〇二〇年  
论文集

# 5G 数据 新时代



智能生活 互动不止眼前

福建省通信学会  
福建省互联网协会  
福建省信息通信行业协会  
福建省邮电规划设计院有限公司

2020年海峡科技专家论文集

闽内资准字K第111号  
内部资料 免费交流



## 序 言

在中国通信学会、省科协和省通信管理局的指导下，我会深入学习贯彻党的十九届三中、四中全会精神和习近平新时代中国特色社会主义思想，紧紧围绕中央网络强国战略和建设“数字中国”部署，不断创新学会工作，充分发挥科技群团的优势和企业与政府之间的桥梁纽带作用，以学术交流和科学普及为工作重点，坚持把开展学术交流、科普宣传和促进科技人才成长作为推动创新体系建设的重要途径，为我省广大信息通信科技工作者积极搭建多种形式、不同层次的学术交流平台，激发创新灵感，倡导学术原创。

2020 年注定是不平凡的一年，由于突发新冠肺炎疫情，许多技术交流会议无法如期召开，为贯彻党中央复工复产决策部署，我会应势及早启动了今年的工作安排，会员单位积极响应，广大科技工作者积极撰写论文，以表对复工复产的大力支持，近期，我会共收到海峡两岸通信界专家、学者关于 5G 及数字经济等相关论文 30 多篇，经组织专家评审，有 26 篇论文列入本汇编。在此，对参与单位及个人表示衷心感谢，我会将不断探索、开拓创新，搭建更多不同类型的学术交流平台，为广大科技工作者服务，为全省通信科技的发展做出应有的贡献。

长风破浪会有时，直挂云帆济沧海。随着 5G 时代的到来，数字经济迎来了发展的春天，建设数字经济恰逢其时，我们将更加关注“5G 发展与应用”、“工业互联网”、“网络安全与治理”等领域，助力福建省信息通信行业持续健康发展。

编者

2020 年 7 月 23 日

# 目 录

5G 超低时延工业互联网·····	陈平平 李晓丹 (1)
关于 5G 与工业互联网融合的若干思考·····	段建祥 王冬玲 黄晓明 (8)
在 5G 与云端支持的工业物联网环境建构云端智能制造生态系·····	梁宾先 (12)
基于 5G 的工业互联网平台及应用场景探索·····	葛振宇 刘昌海 孙柏宁 (18)
智慧用电物联网助力海西建设的实践探索·····	张健荣 曹一琅 (24)
基于大数据及人工智能的物联网客户感知保障研究及实践·····	陈俊杰 (30)
边缘计算与蜂窝车用无线通信技术融合应用·····	付道繁 (37)
以智慧社区为抓手, 推动智慧城市体系建设·····	段建祥 (44)
深度学习应用于 5G 智驾车之边缘运算侦测辅助系统·····	赖文政 张育恺 陈辉交 洪翊钧 郭庭嘉 (48)
透过二级式符元功率降低多模区块式索引调变之正交分频多任务之位错误率·····	许超云 (56)
小型化四臂螺旋天线·····	袁家德 林镇 (62)
物联网网络安全研究综述·····	林向阳 (67)
基于机器学习算法的移动视频业务端到端质量分析方法·····	李灵慧 蔡鸿祥 (72)
5G+工业互联网助力产业园区技术升级——以浦城荣华山组团为例·····	吴昊 (81)
大数据在智慧城市的应用探讨·····	庞源 许亮鹏 (87)
基于工业互联网标识解析体系 促进制造业数字化转型升级·····	任开迅 刘德生 (91)
疫情对我国数字经济的影响及对策建议·····	曹曦 (98)
加快 5G 与工业互联网融合 助力经济社会发展·····	颜宏达 (101)
基于物联网的智慧城市中间件的探索与实践·····	陈书熙 (105)
跨行业资源共享实现 5G 网络低成本快速部署·····	熊玮 严令玲 刘昌海 张河辉 朱丽英 (111)
持续深化共建共享, 从通信基础设施底层发力促进 5G 产业发展·····	罗尚寅 (118)
布局打造新台湾稳健转型新应用之愿景·····	邓添来 (123)
万物互联, 助力安溪茶业二次腾飞·····	姚志海 (125)
基于图匹配的边缘计算的资源分配机制·····	蒋志良 (133)
The Importance of Security IoT Module in 5G and AI Age·····	徐茂修 (143)
5G 基站场景下无源波分应用探讨·····	李晓雷 (148)

# 5G 超低时延工业互联网

陈平平 李晓丹

**摘要:** 基于 5G 通信系统超高可靠、超低时延、大连接量、低功耗的优势, 本文对其在工业物联网领域的应用进行分析和应用展望, 并重点对超低时延的实现进行技术分析。首先, 本文阐述了 5G 中的三大应用场景, 分别是增强型移动宽带(EMBB)、海量机器通信(MMTC)和高可靠低时延通信(URLLC)。其次, 结合了 5G 数据传输的精确性、低时延等优势以解决工业互联网的实际需求。以及, 为了实现 5G 的超低时延传输, 契合未来在工业互联网中的应用, 在物理层、MAC 层、RLC 层采用多种方案进行改进, 大大降低了时延。为了更好的满足工业互联网的需求, IEEE 802.1 工作组的 TSN 任务组提出了 TSN, TSN 是已经发布或正在开发的一组标准、标准修正案和项目的统称。未来, 随着超可靠低时延通信(uRLLC)和海量机器通信(mMTC)两项标准的实现和产业化的成熟, 5G 在工业领域会有更广阔的实现空间。

**关键词:** 工业互联网; 时间敏感网络(TSN); 滤波正交频分复用(F-OFDM); 5G 三大应用场景; 极化码(Polar Code)

## 1 引言

通信技术在工业控制系统中得到广泛的应用, 对控制指令的确定性、信号传输的实时性、恶劣环境下网络的可靠性及危险工业场合下网络的安全性提出了极高的要求。然而, 在 4G 时代, LTE 网络的延迟是理论延迟时间接近 20ms 左右的双向时延, 在实际中根据使用环境, 时延一般会 longer, 远远不足以支持汽车和工业自动化或其他行业中对时间极其苛刻的要求。相比之下, 5G 的信道容量和能量效率有极大的提升, 从而相应增加了接入设备的数量。5G 系统的峰值速率可以达到 10Gbps 以上, 同时系统延迟可缩短至 1ms 以内, 将在未来的工业互联网应用中可以发挥极其重要的作用。

## 2 5G 三大应用场景解析

如图 1 所示, 5G 无线接入技术主要围绕增强型移动宽带(Enhance Mobile Broadband, EMBB)、

海量机器通信(Massive Machine Type of Communication, MMTC)和高可靠低时延通信(Ultra-reliable and Low Latency Communications, URLLC)这三大类的应用场景进行优化设计的。在 EMBB 场景下 5G 技术提升了现有移动设备接入的数据传输速率, 降低了移动设备的通信时延, 同时又扩大了小区内的用户密度, 增大小区的容量。在 MMTC 场景下采用 5G 技术使得海量的物联网设备能够以低成本、低功耗的方式接入, 轻松实现智能抄表、智慧物流、现场传感器、身体传感器等等海量设备与后台的通信, 真正实现万物互联的时代。在 URLLC 场景下将 5G 应用到设备上, 可以使得机器之间实现低时延、超高可靠的通信, 为车联网通讯、工业控制、工厂自动化、远程手术、智能电网、公共安全等众多需要超低时延, 超高可靠的通信场景提供技术支持<sup>[1]</sup>。

## 作者简介:

**陈平平:** 福州大学物理与信息学院教授, 博导, 旗山学者, 高校杰出青年, 2012 年博士毕业于厦门大学通信信息专业, 长期从事物理层的高可靠低时延的通信研究。

**李晓丹:** 福州大学通信信息专业研究生。

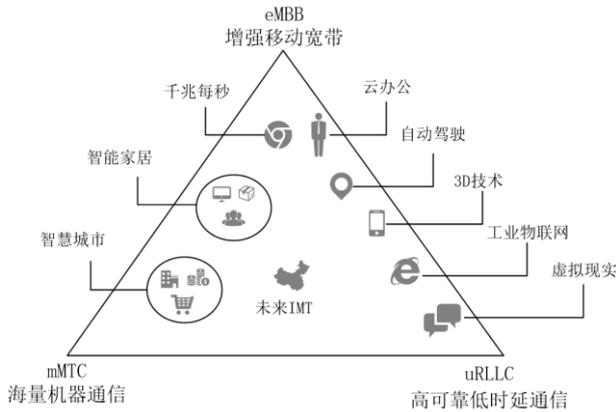


图 1 5G 三大应用场景

### 3 5G 工业互联网的优势

工业生产环境十分复杂，干扰因素众多，而且该领域使用的网络需要比普通网络有着更高的要求，需要占用更多的资源，因此对工业互联网有以下 4 个要求，分别是：数据确定性、传输实时性、网络安全性和高资源利用率<sup>[2]</sup>。5G 工业互联网针对这 4 个要求分别有如下改进：

#### 3.1 数据确定性

生产过程中发出的任何控制指令必须更加明确，不能有任何的含糊歧义。在任何一种通信环境下，信息由于在传输过程中受到信道失真、噪声和干扰等影响，而产生较高的误码率。根据香农定理

可知，数据传输速率小于信道容量时会存在一种编码方式使得数据无差错传输，对发送数据采用信道编码技术可以提升信息可靠度。LDPC 码和 Polar 码这两种线性分组码都是性能优异的信道编码。与 Turbo 码对比，LDPC 码具有较小的误码率和译码时延，并且在码长大于 200 时无错误平层，在硬件上也很好实现，在长码字的情况下算法复杂度优于 Polar 码，所以可在 5G 数据传输时使用。以及，3GPP 目前采用循环冗余校验(CRC)辅助的 Polar 码<sup>[3]</sup>方案，使 Polar 码获得接近甚至在短码上超过 Turbo 和 LDPC 码的纠错能力。在无线通信中，Polar 码在中长码配置下，能够获得大约 0.5dB 的增益，在短码配置下能够获得大于 1dB 的增益；在相同的误码率下，Polar 码对信噪比的要求要比 Turbo 码低 0.5~1.2dB；且无错误平层，可靠性相比 Turbo 码大大提升，这是因为 Polar 码的汉明距离和 SC 算法设计都有不错的效果，所以在远程实时操控的情况下做手术和无人驾驶等，Polar 码都能实现 99.999%的可靠性；Polar 码的译码采用了基于 SC 的方案，译码复杂度也大大降低，终端的功耗也降低了，在相同译码复杂度情况下相比 Turbo 码可以降低 20 多倍的功耗。

表 1 主流纠错编码技术对比

编码类型	距离香农限	码率	纠错能力	扩展性	延时	编译码复杂度	信道容量剩余度
低密度奇偶校验码 (LDPC)	有 0.0045db 距离	任意码率	连续的突发差错对译码的影响不大，编码本身就具有抗突发错误的特性	只有检错和纠错能力	需要在码长比较长的情况才能充分体现性能上的优势，所以编码时延也比较大	复杂度低	大于 0
涡轮码 (TURBO)	有 0.7 db 距离	多码率	最低，在 5g 标准投票中已被淘汰	只有检错和纠错能力	依靠反复迭代进行译码，延时较大	复杂度高	大于 0
极化码 (POLAR)	可达	多码率	不具备纠错能力，但理论上可极化出绝对干净的信道	无，需要结合循环冗余码、奇偶校验码等实现检错和纠错	低延时	复杂独较高，干净信道选择方法有待优化和发掘	等于 0

### 3.2 传输实时性

信号传输的高效和低时延往往决定了生产的效率。随着用户对网络速率的要求越来越高,工业应用中对效率的要求越来越高,5G 相对于 4G 最重要的改进点之一就是实时性。5G 会在将来用于很多产业,比如远程手术、无人驾驶,这些对其传输的实时性都有着很高的要求。5G 需要超低延迟 (ultra-low latency, ULL), 常见需求如表 2。5G 延迟低,所以在高速移动通信的时候也很好的传输信号,将来会应用于无人驾驶的方面。人与人之间进行信息交流,140 毫秒的时延是可以接受的,但是如果这个时延用于无人驾驶就不安全了。在高速行驶的情况,100 毫秒左右的时间车就会冲出几十米。无人驾驶需要中央控制中心和汽车进行通信,车与车之间也应进行通信。在任何的车辆上,仅仅安装

智能设备不是最安全的,而采用远程服务 AI 服务是较为可靠的。比如,现在很多自动驾驶都是用车上的摄像头来判断道路的红绿灯。但是天气不好的时候,需要十字路口有一个物联网设备,可以向周围的车辆广播当前信号灯的信息。其次,如果只是利用车上的智能设备识别周围过往的车辆,会受到很多干扰。如果车与车之间能有独立的一个通信,就会安全很多。并且,马路很多的行人靠车上的雷达和摄像头也很难识别到的。如果行人有网络通信设备,实现人与车之间的通信,也会安全很多。所以,依靠物联网的技术来及时识别周围的环境,才能实现真正的实现自动驾驶。在工业自动化中最需要的也是实时性,在生产车间,一个机械臂的需要做到十分精准,是需要极小的时延才能及时地做出反应。

表 2 典型 ULL 应用的端到端延迟和抖动要求

领域	应用	服务质量要求延时	抖动
医疗	手术, 触觉反馈	3-10 毫秒	<2 毫秒
工业	自动化, 控制系统	1 Gbit/s 连接速度时, 0.2 微秒-0.5 毫秒; 100 Mbit/s 连接速度时, 25 微秒-2 毫秒	符合最迟的需求
	电网系统	大约 8 毫秒	极少的微秒内
银行	高频交易	<1 毫秒	极少的微秒内
航空电子设备	Afdx 变体	1-128 毫秒	极少的微秒内
汽车	ADAS	100-250 微秒	极少的微秒内
	动力系统, 底盘控制	<10 微秒	极少的微秒内
	交通效率及安全	<5 毫秒	极少的微秒内
信息娱乐	增强现实	7-20 毫秒	极少的微秒内
	音频 / 视频	2-50 毫秒	<100 微秒

### 3.3 网络安全性

5G 应用于工业互联网, 传输的信息量大大提升, 工业网络的数据的保密性即网络安全性就显得尤为重要。在 5G 出现前, 互联网要解决的是信息速度、无阻碍的传输, 自由、开放、共享, 但是在 5G 出现之后, 需要建立的是智能互联网。智能互联网的基本精神是安全、管理、高效、方便, 被传

输的数据安全就显得尤为重要, 否则相应的会产生巨大的破坏力。比如, 上市公司的数据如果被盗用, 会造成极大损失。无人驾驶系统被攻破, 道路上的汽车可能会被控制。智能健康系统被攻破, 大量用户的健康信息被泄露。智慧小区系统被攻破, 业主安全得不到保障。在应用 5G 的工业物联网中, 从网络建设之初, 就应该加入安全机制, 对信息进行

加密,网络并不应该是开放的。对不同用途进行不同的程度的保护。比如普通用户上网,可能只有一套系统保证其网络畅通。但是对于智能交通体系,需要多套系统保证其安全运行,必须保证智能交通体系任何时候的网络畅通,而这个体系也不是一般终端可以接入实现管理与控制的,需要一个特殊的独立的区域里的终端对其进行控制。3GPP 在 Rel16 的版本中提出了非公众网络 NPN、垂直行业 LAN 类型组网服务 5G LAN、时间敏感型网络 TSN<sup>[4]</sup> 三种组网服务(需求定义在 3GPP TS 22.261,系统架构在 3GPP TS 23.501 中规定)。5G NPN 提供了一种安全隔离的独立网络建设模式。5G LAN 使能了各类终端之间或终端和应用之间的点到多点或多点到多点的通信。5G TSN 提供了基于以太网的确定性网络性能。

#### 3.4 高资源利用率

追求更高的频谱效率始终是 5G 设计的目标,其可以降低运营商网络部署的成本以及促进整个产业链的成熟和繁荣。5G 下的 F-OFDM 方案大大提升无线频谱资源的利用效率。虽然传统的带有循环前缀的 OFDM<sup>[5]</sup> 因为传输效率高,实现简单,与 MIMO 系统天然适合等优点,但是 OFDM 系统普遍要求精确的时钟同步来维持载波间的正交性,在实际应用中,普遍采用的方案是增加更多的时间同步信号和循环前缀来保证载波同步,这样会产生时延,同时 OFDM 的带外辐射过高,峰均比过大等问题也需要解决。因此,各个通信厂商提出了滤波正交频分复用(Filtered-OFDM, F-OFDM)这种波形,来获得更高的时频效率和更好的带外辐射特性,以满足 5G 通信要求。4G 的 OFDM 将高速率数据通过串/并转 j 换调制到相互正交的子载波上去,并引入循环前缀,解决了码间串扰问题,但 OFDM 最主要的问题就是不够灵活。如果将系统的时频资源理解成一间教室,采用 OFDM 方案的结果是教室里所有人,不管身材如何,都只能坐在一个相同大小座位(子载波间隔)。但有时候有人可能需要坐两个位置,但是这种情况是不允许。5G 下的 F-OFDM 方案则是根据人们的身材灵活调整座位以及空间。F-OFDM<sup>[10]</sup> 通过优化滤波器的设计大大降低了带外泄露,不同子带之间的保护带开销

可以降至 1%左右,不仅大大提升了频谱的利用效率,也对碎片化的频谱实现了利用。所以,F-OFDM 在继承了 OFDM 的全部优点,又克服了 OFDM 的一些固有缺陷。通过 F-OFDM 已经实现了在频域和时域的资源灵活复用,并把保护带宽降到了最小,为了进一步提升频谱效率,还可以对空域和码域进行复用。5G 中对码域要进行复用,所以产生了新多址技术(Sparse Code Multiple Access, SCMA)。SCMA<sup>[10][11]</sup> 引入稀疏码本,相同时频条件下采用码域进行多址接入,大大提升无线频谱资源的利用效率,而且通过使用数量更多的子载波组,调整稀疏度,进一步地提升无线频谱资源的利用效率。在前面举的例子 F-OFDM 已经实现了座位(子载波间隔)根据不同的人(业务需求)进行了自适应,那么想要进一步提升频谱效率就需要在有限的座位上塞进更多用户。比如 4 个连在一起的座位,如果可以坐 6 个人,这就实现了 1.5 倍的连接数提升。综上,F-OFDM 使碎片化的频谱得到了利用,SCMA 提升了连接数,都实现了 5G 频谱的高利用率。

#### 4. 5G 为应用于工业互联网在 LTE 系统中的改进

长期演进(Long Term Evolution, LTE)由第三代合作伙伴计划(The 3rd Generation Partnership Project, 3GPP)组织制定的通用移动通信系统(Universal Mobile Telecommunications System, UMTS)技术标准的长期演进。LTE 系统通过引入正交频分复用(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM)和多输入多输出(Multi-Input & Multi-Output, MIMO)等关键技术,提高数据传输能力和频谱效率,通过多种带宽分配,使得频谱分配更加灵活,显着提升系统容量和覆盖范围。LTE 系统通过减少网络节点,使系统复杂度降低,即降低了数据传输的时延。LTE 系统的工作流程是数据在处理的过程中被分解成不同的协议层,下行数据以 IP 数据包的形式进行传送,这个 IP 数据包会在不同的协议层上进行处理后在进行信息的转发,这些协议层包括 MAC 层、RLC 层、RRC 层、PDCP 层、NAS 层等。5G 为了实现更低的时延,在 LTE 系统也进行了改进。接下来介绍 5G 在物理层、MAC 层、RLC 层的改进。

#### 4.1 物理层

物理层的主要作用是对信源信号进行编译码、调制/解调,多天线映射等,5G 网络在物理层主要通过包结构的改进,采用全新的信道编码,将发送频段拉高等方案降低时延。

包结构<sup>[6]</sup>(Packet structure):系统处理时间在时延中占比较大,并且改善较为不易。这部分时延包括接收包、获取控制信息、调度信息、解调数据、以及错误检测。4G LTE 采用方形的包结构,传输的信息包括导频信息(Pilot)、控制信息(control information)以及数据(data)。这种设计方式用来对抗信道衰落。但是在 5G 中,URLLC 包采用的是将导频信息、控制信息以及数据依次在时域上排列的结构,目的是信道估计、控制信道解码以及获取数据可以串行进行,从而减少处理时间。

信道编码:4G LTE 采用 Turbo 和 Simple code 来编译码数据提升无线传输的可靠性。而 5G 中使用 LDPC 和 Polar 码来提升数据和控制信道的编译码效率,提升码字的抗噪声能力,同时降低计算复杂度实现降低时延。

更短的传输时间间隔<sup>[7]</sup>:4G LTE 规定的单个子载波是 15KHz,时间域是 1ms。然而 5G 需要支持的频率范围非常广,中低频从 450MHz~6000MHz(FR1),高频从 24.25GHz~52.6GHz(FR2)。高频意味着更高的相位噪声,需要设计更加宽的子载波间隔来抵御相位噪声的干扰。4G LTE 想要降低的传输时间间隔在 5G 中只需要使用更高的频段,更宽的子载波间隔就能降低。并且根据不同的频段可以选择从 15KHz, 30KHz 到 120KHz 的子载波间隔,可以简单的理解为,5G 子载波间隔相比于 4G LTE 15KHz 增加了多少倍,那么在时域上的传输时间间隔就减少相应的倍数。

微时隙调度(Mini-slot):微时隙调度继承了 4G LTE 中减小传输时间间隔(subslot)的设计理念,将最小的传输时间间隔由子帧拓展到了符号上。第一优先级的调度间隔根据情况可以选择 2 个符号,4 个符号,7 个符号。

#### 4.2 MAC 层

MAC 层在 5G 网络中主要起到多路逻辑信道的复用、混合自适应重传请求(Hybrid Automatic

Repeat Quest, HARQ)以及调度相关的功能。MAC 层主要通过 HARQ、上行免调度和预清调度来降低时延。

混合自适应重传请求<sup>[8]</sup>(Hybrid Automatic Repeat Quest, HARQ):当无线环境出现问题造成传输的数据出错,MAC 层利用 HARQ 功能发起重新传输流程。在 4G LTE 中,HARQ 的时间间隔是固定的。而在 5G 中,HARQ 的时间间隔是动态指派的,更加的灵活,也符合低时延的设计要求。

上行免调度传输<sup>[9]</sup>(Grant free transmission):与 4G LTE 相比,5G 在周期性向用户分配上行资源(半静态调度)方面更进一步,以减少上行的传输时延。在 4G 中,半静态调度的资源一般是单独分配给每个用户。因此当网络中用户较多时,会造成极大的资源浪费,而为预留的无线资源终端不一定会被使用。在 5G 中,可以将预留资源分配给一组终端用户,并且设计了发生冲撞的解决机制,从而在降低时延的同时保证了资源的利用率。

预清调度(Downlink preemption Scheduling):预清调度是指为某个高优先级的用户清空原来已经分配给其他用户的资源。此方式对于时延要求高的用户可以立即传输数据,从而降低了时延。即假设用户 A 已经在时隙上被调用了数据,但是这时用户 B 被标记为对时延要求高的数据需要传输。如果这时有空闲的资源可用,用户 B 会被优先调度空闲的资源,但是如果此时网络负荷较大,没有空闲的资源可用,用户 B 就会抢占其他用户(例如用户 A)的资源。对于此种设计会影响原本被分配资源的 A 的用户的数据传输(在被用户 B 抢占的资源上)的弊端,5G 系统也设计了两种方案来解决这个问题。一是 HARQ 重传用户 A 受影响的传输数据;二是直接通过控制信令(DCI2-1)通知用户 A。

#### 4.3 RLC 层

RLC 层主要负责 RLC 数据的切分,重复数据去除,RLC 重传。在 4G LTE 中,RLC 层主要负责保证数据的按顺序传递。在 5G 中,如果之前发送的包丢失了需要重传,后面的包不需要等到前面的包重传完毕就可以直接向上层传递,降低了时延。

### 5 5G 为应用于工业互联网采用 TSN 技术

在过去的 10 几年里, IT 行业的进步有目共睹。从最开始的 10M 网络到现在常见的 10G 高速网, 网络给人们日常生活提供了极大的便利。为网络音频和视频传输设立技术标准, 是音视频行业过去二十多年来的目标。不断的研究发现, 单一的技术无法解决所有数字音视频网络的难题。传统异步以太网是以异步方式工作的, 网络中任何设备都可以随时发送数据, 因此在数据的传输时间上既不精准也不确定。

2005 年, 音视频桥接技术 (Audio Video Bridging, AVB) 的出现为所有具有实时传输需要的方案提供了思路。AVB 是一项新的以太网标准, 是一个基于新的以太网架构的用于实时音视频的传输协议集, 由 IEEE 802.1 任务组制定。AVB 具有带宽预留(Bandwidth Reservation Protocol)、精准时钟同步(Precision Time Protocol)、流量控制(Traffic Shaping)以及连接和控制(AVDECC)等协议。它有效地解决了数据在以太网传输中的时序性、低延时和流量整形问题。同时又保持了 100%向后兼容传统以太网, 是极具发展潜力的下一代网络音视频实时传输技术。

为了将以太网推广到工业、车载等需要低时延和确定性时延的网络场景下, IEEE 制定了 TSN 协议族。如图 2 所示, 表示了从 AVB 到 TSN<sup>[12]</sup>的转变过程。TSN 是改善物联网的互联效率的最佳途径。时间敏感网络 (Time Sensitive Network, TSN) 主要应用于各种支持低延时及基于时间同步数据传输的以太网协议。TSN 标准定义了通过 IEEE 802 网络提供确定性服务的机制, 例如在有限延迟、低

包延迟变化和低包丢失等有保证的包传输等应用场景下。表 3 列出了主要的 TSN 标准和项目。TSN 是一项从视频音频数据领域延伸到汽车领域, 并进一步推广至工业领域的技术。TSN 采用全局时间以及一个时间表让报文穿越多个网络组件, 确保了较低延时传输。对于 TSN 在实际中的具体应用方向有以下几个部分。首先是专业音视频, 在这个应用领域里强调的是主时钟频率。即所有的音视频网络节点都必须遵循时间同步机制。其次是在汽车控制领域。目前大多数的汽车控制系统非常复杂。比如刹车、引擎、悬挂等采用 CAN 总线。而灯光、车门、遥控等采用 LIN 系统。实际上, 所有上述系统都可以用支持低延时且具有实时传输机制的 TSN 进行统一管理, 降低了成本及复杂性。最后, 所有需要实时监控或是实时反馈的工业领域都需要 TSN 网络。比如机器人工业、深海石油钻井以及银行业等等。TSN 还可以用于支持大数据的服务器之间的数据传输。全球的工业已经入了物联网 (Internet of Things, IoT) 的时代。

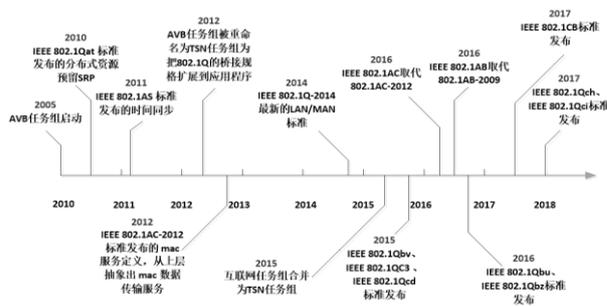


图 2 IEEE TSN 任务组 (TG) 的时间线

表 3 TSN 标准概述

名称	状态	编入	相关应用
P802.1AS-Rev: 定时和同步	正在进行	独立项目	音频, 视频, 汽车, 工业
802.1Qbu-2016: 帧抢占	已发行	802.1Q-2018	音频, 视频, 手机, 汽车, 工业
802.1Qbv-2015: 预定流量的增强	已发行	802.1Q-2018	汽车, 工业
802.1Qca-2015: 路径控制与预留	已发行	802.1Q-2018	工业
P802.1Qch: 循环排队和转发	已发行	802.1Q-2018	音频, 视频, 汽车, 工业
P802.1Qci: 逐流过滤	已发行	802.1Q-2018	音频, 视频, 汽车, 工业

名称	状态	编入	相关应用
P802.1CB: 帧复制和帧消除	已发行	独立项目	音频, 视频, 手机, 汽车, 工业
802.1CM-2018: 前端的时间敏感网络	已发行	独立项目	手机
802.1Qcc-2018: SRP 的增强和性能改进	已发行	改进的 802.1Q-2018	音频, 视频, 汽车, 工业
P802.1Qcp-2018: YANG 数据模型	已发行	改进的 802.1Q-2018	音频, 视频, 手机, 汽车, 工业
P802.1Qcr: 异步业务整形	正在进行	正在进行的项目	汽车, 工业
P802.1CS- 链路本地注册协议	正在进行	正在进行的项目	音频, 视频, 工业
工业自动化用 IEC/ IEEE 60802 TSN 配置文件	正在进行	正在进行的项目	工业

## 6 5G 超低时延工业互联网的未来

通过 2019 年 5G 工业互联网在我国制造业在方面的应用来看, 5G 工业互联网主要应用在了五个场景: 一是基于 5G 的高清图像回传与质量缺陷判别、二是基于 5G 的设备数据采集、三是基于 5G+AR/VR 辅助装配和设备维修、四是基于 5G 的移动巡检、五是基于 5G+AI 的车辆远程操控。这些应用主要还是利用 5G 高带宽和移动性特点, 即增强型移动宽带(eMBB)这一类的应用场景。未来, 随着超可靠低时延通信 (uRLLC) 和海量机器通信 (mMTC) 两项标准的实现和产业化的成熟, 5G 在工业领域会有更广阔的实现空间。基于 mMTC 的场景会有海量连接和室内定位等这些方面的应用。在海量连接方面, 比如工业生产线, 每台发动机都有对应的编号和条码, 对产品从上线到包装各个环节的所有信息都有传感器的数据检验和记录。通过引入 5G R16 标准的 NB-IOT 技术, 可以节省人力、及时采集生产数据、产出效率也提高很多。目前基本是靠蓝牙、激光、UWB 等设备进行室内定位。在 5G 中使用新型编码调制、大规模天线阵列等, 新型编码调制使得数据传输的带宽较大, 利于调节参数, 允许高精度的距离测量。大规模天线技术使得 5G 基站可实现 128 个天线阵子, 允许高精度的角度测量。基于 URLLC 场景会有工业机械远程控制、柔性机械臂等这些方面的应用。在工程机械远程控制的应用可以针对在特殊场景作业时, 人员成本高和危险性高等问题, 利用 5G SA (Stand Alone) 网络大带宽、高可靠、低时延的特性, 可以

对远端工程机械进行远程驾驶和操控。而柔性机械臂是通过 5G 实现对工厂内自动化装备的实时控制, 替代有线网络, 大大节省生产线调整时间。

5G 是新一代信息通信技术的基础, 工业互联网是当下制造业转型升级的发展趋势。5G 与工业互联网的结合, 开启了融合创新之路。5G 与工业互联网的结合, 这将会是制造业进行数字化转型的重要驱动力。

### 参考文献

- [1] 曾云光. 5G 新风口技术综述[C]. 2019 广东通信青年论坛优秀论文专刊. 2019.
- [2] Vitturi S , Zunino C , Sauter T . Industrial Communication Systems and Their Future Challenges: Next-Generation Ethernet , IIoT , and 5G[J]. Proceedings of the IEEE , 2019 , 107(6): 944-961.
- [3] 3GPP TS 38.212 V16.1.0 (2020-03)
- [4] Lo Bello L , Steiner W . A Perspective on IEEE Time-Sensitive Networking for Industrial Communication and Automation Systems[J]. Proceedings of the IEEE , 2019 , 107(6): 1094-1120.
- [5] 3GPP TS 38.211 V16.1.0 (2020-03)
- [6] Zhan M , Pang Z , Dzung D , et al. Towards High-performance Wireless Control :  $10^{-7}$  Packet Error Rate in Real Factory Environments[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics , 2019 , PP(99): 1-1.

# 关于 5G 与工业互联网融合的若干思考

段建祥 王冬玲 黄晓明

**摘要:** 本文提出了 5G 赋能工业互联网的具体方式和步骤, 结合在泉州的实际案例, 对于 5G 在工业互联网方面的应用给出了建议。

**关键词:** 5G、工业互联网

## 一、目前工业互联网体系架构

工业互联网体系架构包括“两大联接场景+三大业务闭环+四大应用模式”。

**两大联接场景:** 工厂内和工厂外全面联接。其中工厂内网络主要采用有线方式, 包括单对双绞线以太网、工业无源光网络 PON 等。5G 网络将为工厂无线网络部署提供更大可能性。工厂外网络主要包括互联专线、上云专线、上网连接等。

**三大业务闭环:** 面向机器设备运行优化的闭环、面向生产运营优化的闭环、面向企业系统/用户交互/产品服务优化的闭环。

**四大应用模式:** 智能化生产、网络化协同、个性化定制和服务化延伸。其中智能化生产包括预测性运维、产品良率、资产优化、虚拟仿真、智能控制、智能管理等; 网络化协同包括设计协作、供应协作、制造协作等; 个性化定制包括 C2B 定制、B2B 定制等; 服务化延伸包括智能服务等。

根据 5G-ACIA 白皮书《5G for Connected Industries and Automation》, 5G 应用场景贯穿了工业制造的全过程, 覆盖了供应链管理、AGV、柔性制造、生产过程控制、机器协作、库存管理、产品交付管理等各个环节。5G 将成为未来工厂的中枢神经, 为工业生产带来颠覆性的变化。

目前的企业的网络存在明显弊端(下文将具体阐述), 为满足工业智能化进一步发展的需求, 工业互联网迫切需要具有低时延、高可靠、广覆盖特点的无线网络基础设施, 5G 发展恰逢其时。“5G+工业互联网”将形成新一代信息通信技术与先进制造业深度融合的新兴业态与应用模式。

## 二、5G 由浅入深赋能工业互联网

相对于 4G 网络, 5G 网络能更好地根据业务类型保障上下行带宽、时延、可靠性及多连接能力, 能更好地保证数据安全, 在网络架构上支持 MEC。中国通信运营商机 5G 于近期正式商用, 将助力工业互联网实现从工业数字化转型阶段到全面互联阶段, 再到自主智能阶段的不断跨越。具体 5G 将从四个方面由浅入深赋能工业互联网。

### 1 从工业企业外围层向核心层延伸

工业企业 OT (operational technology, 操作技术) 代表运营与自动化技术, 它和 IT 底层网络通常是基于有线网络, 占比高达 90%。随着工业现场环境的复杂化、变化多端、灵活性等影响, 很多的工业通信逐步采取无线传输方式。但在工业领域使用到的无线通信协议和通讯行业相比, 存在协议众多, 标准缺失, 难以互联互通等弊端。

传统工业无线网络包括如下几类: WiFi 网络,

## 作者简介:

**段建祥:** 教授级高级工程师, 原中国电信福建公司总经理, 福建师范大学、福州大学、福建农林大学客座教授, 福建省互联网经济促进会会长, 中国通信学会会员。享受国务院政府特殊津贴。

**王冬玲:** 中国电信福建分公司泉州网络测试中心, 工程师, 主要研究核心网新技术、移动通信无线网。

**黄晓明:** 中国电信福建公司网络发展部, 高级工程师, 长期从事电信网络测试、研发和规划工作。

用于 AGV 调度、巡逻机器人通信、仓储移动扫码等,但很明显 WiFi 覆盖范围小,性能不稳定,存在较高的安全隐患;蓝牙、RFID 射频技术等,用于资产管理和定位、传感器数据采集等,但是该类技术通常存在覆盖范围受限的短板;2G/3G/4G/NB-IOT,用于车辆远程监控等场景,但该类技术很难完成大带宽、低时延要求高的场景。

5G 网络本身具备的大带宽、广连接、高可靠低时延特性,令 5G 成为支撑工业互联网的无线网络最佳选项。虽然当前工业通信连接中无线连接占比仅 10%,但在未来几年会进入高速发展期。预计到 2026 年,工业通信连接中无线连接占比将达 60%,其中 5G 将发挥重要作用。

工业企业的 OT 和 IT 系统采取分级架构。其中 OT 系统从下往上包括:

Level 0 级外部仪器、传感器、执行器等;

Level 1 级控制系统 PLC, DCS 等;

Level 2 级监督控制和数据采集 SCADA。

IT 系统从下往上包括:

Level 3 级生产管理系统 MES、PMS;

Level 4 级商业和物流系统管理 ERP、MRP、CRM 等;

Level 5 级云计算、数据分析和 AI 等。

5G 的无线接入技术和网络技术对 OT 和 IT 系统的支撑,将从架构底层向上层逐步延伸。另外,现有的 OT 和 IT 系统分层架构,数据难以跨层交互,存在明显弊端。未来 5G 网络技术,尤其是网络切片、边缘计算等的使用,将加速工业企业 OT 和 IT 系统深度融合,从传统的分级架构过渡到基于微服务的新型网状交互架构。

## 2 从辅助功能向生产过程控制扩展

当前进行的 5G 工业应用,大多聚焦在辅助功能上,比如基于 5G 的远程监控、AR 装配辅助、运维和巡检辅助等。

**远程监控:**生产设备监控系统需要根据生产任务,配合产线频繁地进行调整,因此采用有线组网的方式极为复杂,且工期长。可以将生产视频监控数据和设备运行状态数据通过 5G 网络进行回传。

**AR 装配辅助:**应用场景主要有装配工艺复杂、

工人需经过严格培训认证等。而 AR 眼镜及其后台技术,可实现基于空间定位和物体识别的数模全息显示。例如可做到自动识别线缆,然后直观地在连接器上指示这根线缆对应的孔位,工人根据指示直接插入即可。利用该解决方案,装配时间大幅缩短,而装配准确性也会进一步提高,同时整个装配过程会通过视频自动记录在云端,方便后续查验。

**AR 运维和巡检辅助:**借助 AR 远程协助系统,可由经验丰富的技术专家,协助一线运维人员进行“面对面”的远程指导服务。不仅可以帮助工作人员进行设备巡检、故障排查和维修,减少专业人员昂贵差旅费用,还可节省时间,提升工作效率。

基于 5G 的远程监控、AR 装配辅助、运维和巡检辅助等都是起到辅助作用,而并非取代生产过程控制。比如生产过程中经常碰到的机器人间控制场景,要实现多控制器/多台独立机器人间协助完成一个功能,那么高效率、零停机、低时延和高稳定可靠是刚需,因此目前工厂里基本采用有线网络,而还没有采用 5G。随着 5G 网络部署工作的推进和完善,那应用范围其将从辅助功能向生产过程控制逐步延伸。

## 3 从大带宽向大连接和低时延扩展

典型的工业应用场景契合了 5G 三大场景(eMBB、mMTC、uRLLC),5G 其他性能如移动性、安全性等也促进了 5G 在工业应用场景中的应用。①.在大带宽方面,5G 将支持下行速率达 20Gb/s 和上行速率达 10Gb/s;②.在广连接方面,可达每平方公里 100 万连接;③.在低时延可靠性方面,可实现 0.5~1ms 的时延以及超过 99.999%的可靠性;④.在移动性方面,对于 AGV、机器人等在内的移动设备和非固定式产线,5G 提供了极强的灵活性;⑤.在安全方面,5G 具备较高的端到端安全性,支持终端和网络之间的互相认证。

综上分析,基于 5G eMBB 和移动性特点的工业应用场景包括基于视觉的照相检测、AGV、云化机器人等。基于 mMTC 特点的工业应用场景包括海量连接和室内定位等。基于 uRLLC 特点的工业应用场景包括工业机械远程控制、柔性机械臂等。具体阐述如下:

1) 基于 5G 的机器视觉检测应用:传统的生产

过程质量检测依赖人工和经验，标准化程度低，人力成本高，且易受主观因素影响，整体效率低，准确度不高。通过产线部署内置 5G 通信模组的工业相机和 MEC，可进行移动、自动检测。

2) 基于 5G 的 AGV 小车应用：例如在智能仓库中，基于单机智能进行视觉导航的 AGV 单台成本高，不利于大规模应用。而除视觉导航以外的其他方式均需对 AGV 工作环境进行改造，灵活性较差，部署和改造困难。另外，基于 Wifi 信号传输容易被干扰，且带宽不足以支撑视觉导航，而激光导航在高密度运行时互相存在干扰。而将 5G 技术应用于 AGV，将彻底解决 Wifi 方案引起的接入受限、切换失败、小车停驶等难题，提升仓库的整体运营效率和稳定性。

3) 基于 5G 的云化机器人应用：例如物流仓储领域，采用无线网络将摆脱线缆束缚，机器人可以装上轮子（或其它装置）随心所欲地自由移动，工厂可以实现迅速且低成本地在不同种类的产品生产线之间转换生产。云化机器人通过 5G 连接到云端控制中心，通过大数据和人工智能对生产制造过程进行实时运算控制，由自组织和协同机器人来满足柔性生产的需求。

4) 基于 5G 的条形码识别应用：对于生产线，每台机器、每个工序都借助条形码通过传感器进行数据检验，并对产品从上线到包装各个环节的所有信息进行记录。通过纳入 5G R16 标准的 NB-IOT 技术，可以减少人工干预、及时采集生产数据，合理编排生产计划，生产线人员将大幅减少，作业自动化率和自动纠错防错能力将大幅提升，人均产出效率也将显着提升。

5) 基于 5G 的工程机械远程控制应用：例如针对工程机械，在偏远、有毒、有害等特殊场景作业时人员成本高、危险性高等问题，利用 5G 网络大带宽、高可靠、低时延等特性，通过“工程机械驾驶室远程控制台”和“真实工程机械现场实景屏幕”来对远端工程机械进行远程驾驶和操控。

6) 基于 5G 的柔性机械臂应用：通过 5G 实现对工厂内自动化装备的实时控制，替代有线网络，节省线缆及布线工作量，大大节省生产线调整时间，支持工厂越来越柔性化。控制系统部分功能上

移至边缘计算设备（MEC）进行控制，降低单体本身及后续维护升级成本。

### 三、泉州某企业的实例

中国电信泉州公司借助政府推广 5G 的政策资源，打造 5G 标杆工业园区，提升产业园的影响力和知名度，同时，通过引入应用合作伙伴，将 5G 的应用场景落地企业，为某制造企业提供基于 5G 的智能园区服务，提高企业生产效率，降低企业运营成本，实现产业升级。

该项目根据工业互联网在网络、平台、安全的三大优化闭环的相关要求，2019 年经过中国电信泉州公司和客户双方经过多次沟通探讨，重点从设备管理、标准化作业、质量管理、能源管理、订单管理、智慧化仓储管理等方面进行工业互联网整合，先解决 TOP10 的迫切痛点问题，再实现高度数字化工厂。具体地实施了以下工作：基于 5G 的无线专网实现了工业网络互连，为工厂的云化 AGV 小车、机器视觉类应用提供了可移动性、大带宽、低时延、安全保密的网络基础。引入 NB-IOT、传感器、等物联网新技术，实现对生产区域的能耗、安全生产、园区的日常管理等方面的智慧化管理和智能处理。

经评估，该项目基于中国电信 5G 组网技术，实现 MES、SCADA 等系统无缝集成，一体化应用，通过项目实施应用，已取得如下应用效果：利用 5G 等移动通信技术，减少生产线综合布线建设一次性投入成本，节省几十万元；对能耗数据自动采集及异常预警可降低一定比例的能耗费用；对设备数据自动采集及异常预警，降低了设备及生产的损失，同时产品合格率可提升 3 个百分点左右达到 98%左右；对人员不规范行为实时预警，可规范产线的标准化作业、进一步提升员工工作效率。总体看提高了企业生产效率，降低企业运营成本，实现产业升级。

### 四、5G 在工业互联网应用的策略

工业制造的环境是复杂的，例如无线干扰和电池兼容性问题，对 5G 在工业互联网的应用与传统消费领域的应用要求差异很大。5G 在工业上的应用，是增量的应用，还是在替代既有的应用值得探讨。当前推广的 5G 工业应用，大多聚焦在辅助功能上，比如基于 5G 的远程监控、AR 装配辅助、

运维和巡检辅助、AGV 车、云化机器人、机械臂等。对于 5G 在工业互联网方面的应用建议步骤如下四方面。

一是应该采用从易到难、由简到繁的方式：泛在化的感知就是把传感器的信息接上来（即信息采集），这是相对比较简单的应用，应该从这样的应用来入手，还可以从一些控制系统的增量应用入手，从增量做了以后，未来再考虑对现有的成熟系统进行替代或改造。

二是 5G 的发展不能只关注建网，而必须把数据平台和典型的工业 APP 的应用同步发展，以解决工业生产中的关键的挑战性的问题为导向，找到一些杀手级的应用。把 5G 数据平台和工业 APP 集成起来，以解决工业中的某些痛点问题，从而形成解决方案，测试成功后把这种解决方案向全行业推广，带动 5G 的推广应用。

三是建议在 5G 建网过程中要关注与企业原有工业系统的融合。因为用户要保证原有的投资，原来的控制系统要运行几十年，长时间不能更换。因此一定要把 5G 和原有工业控制系统的接口和互操作的技术解决好，再实现原有自动化系统的功能扩展，保证 5G 与原有工业控制系统的共存共融。

四是建议重视工业大数据和 AI 的应用。工业大数据是指在工业产品全生命周期的信息化应用中所产生的数据，是工业互联网的核心，是工业智能化发展的关键。而将人工智能引入工业制造，其实就是让人工智能作为我们的代理人，帮助我们管理工厂，管理整个制造生产流程，甚至包括采购、物流和销售流程。随着人工智能的不断演进，工业互联网这个系统将会实现工况自感知、工艺自学习、装备自执行、系统自组织。

# 在 5G 与云端支持的工业物联网环境建构云端智能制造生态系

梁宾先

台湾物联网协会理事长

**摘要：**在工业物联网与智能制造领域，近年来基于信息技术/通讯技术/物联网等技术的成熟与汇流，提升了许多新的服务模式与商务模式的可行性，也需集结众多跨领域的服务厂商组成团队共同建构生态系，加速寻找这些新服务模式与商务模式的解决方案以及最佳实践方式，因此多样化的应用浮现了基础平台提升的需求，也带来更大的技术挑战 [1]，成功的契机在于平台要能横跨边缘运算与云端运算来统整这些地端与云端的应用生态，让工业物联网场域与云端服务能够更顺畅。

**关键词：**工业物联网，5G 通信，智能制造，信息安全。

5G 技术的兴起与演进，针对大量成长的感知设备数量，高带宽，低延迟的关键应用需求，提供了各种场景的解决方案与部署建议，让通讯层加诸于应用部署的限制大幅解除[2]。5G 技术所提供的多样化弹性化网络组态[3]，让运行环境不再受限网络层的速度或联机数的限制，因此我们也提出 IT/OT/CT 三个领域的整合应用场景，能够透过 5G 设备导入生产场域而无缝结合，提供创新的产业服务，让智能制造场景的解决方案更加妥善。

本文将逐项说明如何在工业物联网场域中，以 5G 技术所致能的工业物联网的智能制造应用范例。另也结合区块链与工业物联网整合的趋势[4][5]，规划跨厂商的产品溯源与供应链金融应用需求。最后，因应 IT/OT/CT 网络密切整合，各种异质的网络设备与节点互联，资安议题更显重要[6][7][8]，因此在场景中也规划了物联网资安规范与扫描机制来增进工业场域的运作安全性。

## 1 简介

在工业物联网与智能制造领域，因应新服务模式与商务模式的解决方案以及最佳实践方式，其关键点在于能否有合宜的架构来实践 IT/OT/CT 能够无缝结合，随着 5G 技术的进展，在通讯节点

的数量提升，带宽与延迟控制方面都有长足的进展，替无缝整合架构带来许多弹性。然而，藉助 5G 之力，在跨多方的异质化系统整合，不仅在应用的发想与方案实施的复杂度都还是相当大的挑战。

即便是近年来智能制造场域在物联网与机联网方面，基于感测组件与控制技术的提升与联网化，以及软件物联网平台厂商的助力，透过 Ethernet, Wifi, GPRS, 3G, NB-IOT 等基础的通讯技术，已经有多样化的在各个垂直业种陆续部署上线。然而在这一波的实际引用实证的过程中，也浮现了许多实务上值得改善的应用议题以及进阶应用需求，这需要异质系统的深化整合，以及个别(IT/OT/CT)技术的强化才能系统性的解决。基于这些现况的观察，我们归纳出以下几个需强化的应用特征，并透过本文提到的各项技术支撑策略来满足：

1. 工业物联网应用已经多元化，但实际部署却有碎片化现象，异质化系统之间的整合度也不深入。因此，在 OT/IT/CT 各层的解决方案，必须采用平台化的策略，将碎片化的应用服务，迁移整合到各层的共通平台，在开发/部署/效能与稳定性监控等面向，采取一致性的做法，才能有效降低复

复杂度，增强维运的可控性。这也是联盟体系内的各解决方案商，将零散碎片的小方案，结合为高价值的工业物联网 turn-key system 的必经之路。

2. 工业垂直领域所部署的多个应用子系统，未来需要深化串接，但其各自底层的技术实施与实行的标准，在早期多半采取因地制宜作法，其数据格式与服务指令集多为专属格式，彼此尚未统整，也替未来彼此整合造成阻碍。因此，需要调整封装旧有技术与接口，兼容于通用的物联网标准/通讯标准，降低彼此整合的复杂度。

3. 上一波的应用，着眼在自动化/联网化的功能性，先以能够达成运作目标为主，尚未考虑子系统之间互相串连后的联网化所带来的资安风险。因此，需要专属的工业物联网领域的监测扫描工具，全面性的针对整体解决方案中的生产设备/网络设备/应用服务进行分析，以便能找出潜在风险加以修正。

4. 在目前应用所遭遇通讯技术痛点，包含装置管理与授权方式的迭床架屋，联机数受限，响应时效不稳定等等议题，随着 5G 通讯技术的来临，这些问题获得新的统整解决架构，在普及度 (ubiquitous)，稳定性，扩充性，以及量产后的性价比优势，能够成为大规模实施工业物联网解决方案的驱动力。

5. 目前的产业价值链的生产数据商务数据，可以产生应用价值，但数据的质量与真伪缺乏信任。在生产场景中，机器运转条件，半成品/成品的质量数据，入出库的数量等等，经过客观的机制确认其可信度之后，可以成为产品溯源，供应链金融等应用的可信数据来源。因此我们在工业物联网的数据可信度方面，导入了区块链解决方案，确保体系内各个价值链的参与者，能够在可信的数据平台上，快速导入各项需要认证数据的加值应用。

6. 随着大量节点与传感器的部署，工业互联网内的架构充斥许多新旧技术版本的设备，资安议题不易掌控管理。因此须引入物联网资安框架，进行入侵检测与设备防护，提升制造环境的安全。

这样的整合方案具有以下优势：

- 解决方案平台化，针对典型制造服务业的业态，贯穿 OT/IT/CT 信息流利于整厂输出。

- 5G 技术深度融入制造场域与云端应用支持更复杂的场景。

- 结合资安侦测技术排除系统弱点，降低生产停顿与营运中断的损失。

- 结合区块链技术，在工业物联网解决方案中，建立跨厂商之间的数据互信基础，加速跨厂商价值链的应用模式创新，如跨厂商间的产品溯源，以及融合制造与金融业的供应链金融应用。

- 此方案场域将针对产业的 domain 特性与营运模式建置设计，系统造价合理有能力负担，并且具有弹性因应用产业在未来几年的数字转型升级。

## 2 技术目标说明

工业 4.0 目标与以前不同，并不是单单创造新的工业技术，而是着重于现有的工业相关的技术、销售与产品体验统合起来，透过工业人工智能的技术建立具有适应性、资源效率的智能型工厂，并在商务计划及生产价值过程中整合客户需求与商业伙伴资源，提供完善的售后服务。其技术的基础是透过智能型感应装置及设备物联网的整合。建构出一个有感知意识的新型智能型工业世界，透过物联网所收集到的巨量数据进行分析，并在资源最大效用下提供充分满足客户需求产品方案，更可利用计算机预测，例如生产原物料供应状况、设备运转状态、质量预测等等，以达到及时精准生产或调度现有资源、减少多余成本与浪费等等，以建立高质量、高技术、高阶产品之制造商服务形象。

本场域所建置的底层 iMES 智能制造执行系统服务，架构如[图一]，可依场域应用需求部署于云



图 1 : iMES 智能制造应用服务系统

端或雾端，与智能型感应装置及设备物联网整合。建构出一个有感知意识的新型智慧工厂，透过物联网所收集到的巨量数据进行分析，例如生产原物料供应状况、设备运转状态、质量预测等等，以达到及时精准生产或调度现有资源、减少多余成本与浪费，提供建立高质量、高技术、高阶产品的服务制造能力。

整合区块链提供供应链金融的应用将包含资金需求端、供应链金融服务平台、资金供给端，因应不同的参与角色而提供或取得相关信息，信息的来源及储存都存放于区块链内，达到完全的数据可

信。

为加强场域整体的资安防范能力，针对云对云及场域雾端等部署在 kubernetes 容器平台上之 Docker 所提供之微服务，将进行服务上架前的资安检测及服务封装后上线运作的实时监控，以期能对整体云平台提供之服务在 DevOps 运作模式下能符合资安规范的要求，确保服务过程的安全性。

### 3 iMES 管理系统

此管理系统包含以下几个模块，体系如[图 2]所示：

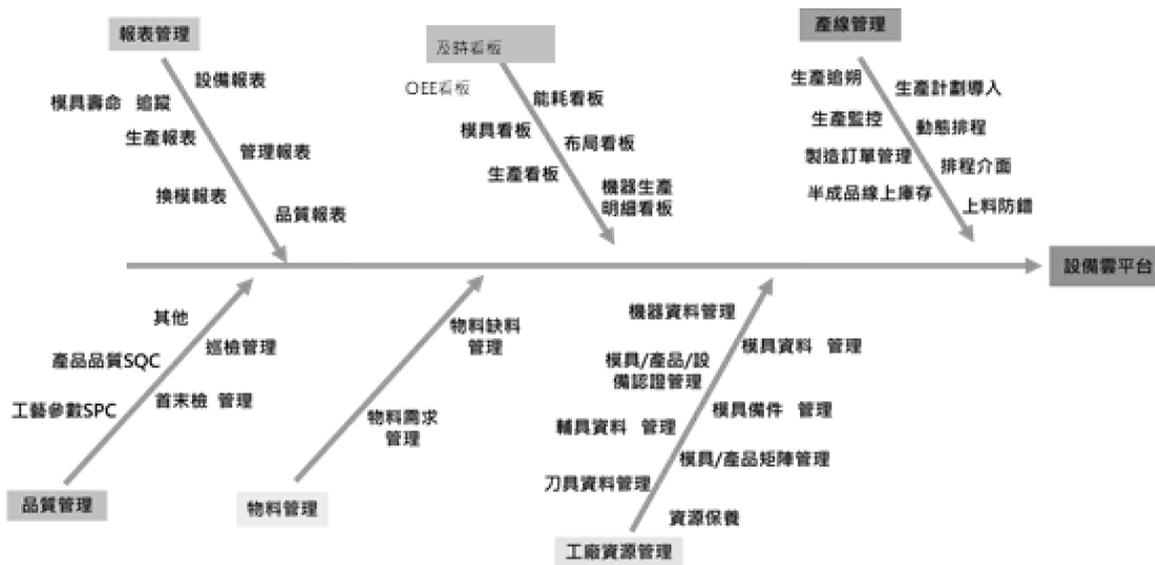


图 2 : iMES 管理系统图

#### 3.1 报表管理

主要针对机台、模具、生产、质量状况等做报表的相关管理，让使用者与管理者能了解生产制造的问题，整理出一系列的状况，进行初步的工作分析与决策，以便进行进一步的动作。

#### 3.2 实时广告牌

透过 OEE、模具、生产、能耗布局、机器生产明细广告牌，能了解各个情况，做实时的应变，反应现在的问题与动向，进行处理。

#### 3.3 产线管理

生产逾期、生产监控、制造订单管理、半成品在线库存、生产计划导入、动态排程、排程接口、

上料防错，可以在产线管理作业里得到满足，进行生产作业程序，达到 E 化执行，减少人工不必要的作业，透过标准程序 E 化，将生产动线更加流畅，降低产线管理不良问题。

#### 3.4 质量管理

首末检管理、巡检管理、工艺参数 SPC、产品质量 SQC 等，是质量管理的基本配置，透过质量管理的项目，把关产品的问题，把关不良率与不良品流入消费市场，减少公司营运不必要的损失。

#### 3.5 物料管理

物料缺料管理、物料需求管理，物料的需求是生产的第一个步骤，物料的短缺与通知，影响产

在线排程时间, 华苓的 iMES 系统可与 ERP 的仓库管理系统结合, 达到料况确认的实时性, 通知负责单位进行采购与备料, 减少逐笔查料况的时间, 提高工作效率。

### 3.6 工厂资源管理

机器数据管理、模具/产品/设备认证管理、辅具数据管理、刀具数据管理、模具条件管理、模具数据管理、模具/产品矩阵管理、资源保养等, 以上管理均为工厂配备类的主要器具, 该配备的实时

性寻找、到期性、损坏的情况, 均可在 iMES 系统做记录查询, 以了解该器具的情况。

### 3.7 整合应用场景

在此整合的应用场景中, 属于 IT 领域的 ERP/iMES 彼此整合, 底层的 5G SmallCell 小基站作为 OT 几台串连机制。于此场景, AI 数据收集, 数据分析的应用模块, 结合 iMES 内的装置管理/配方管理/规则管理, 达到协同操作的应用情境。

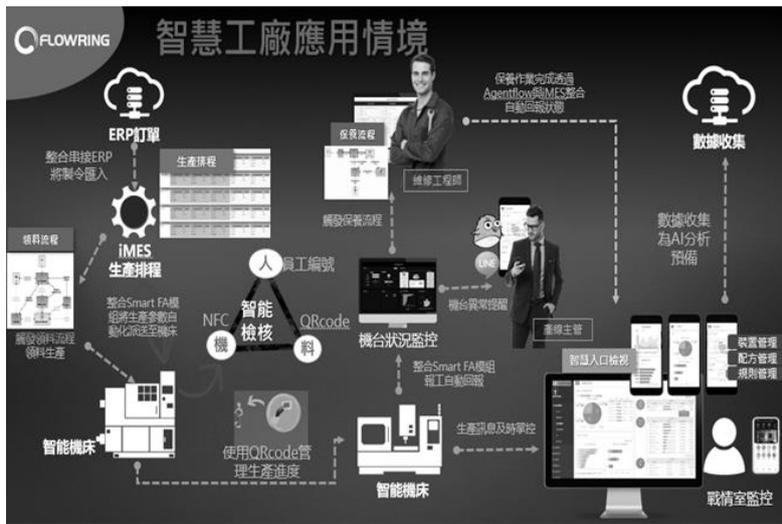


图 3: 智慧工厂架构情境

## 4 区块链应用

### 4.1. 基于制造业的区块链+供应链金融系统:

#### 4.1.1 订单融资

o该产品的还款保障来源有三重: 大型企业支付信用、融资人承诺买回、第三方资产管理公司买回保障。

o这类产品的风控标准关键点是: 筛选并监控支付核心: 大型企业, 包括严格大型企业准入和核心大型企业动态监测。

o供应链金融平台在提供融资之前, 先通过自主研发的大型企业准入模型, 实行定性指针、定量指标相结合的方式严格大型企业准入标准, 从源头控制风险。

o贷后, 供应链金融平台自建企业动态跟踪监测系统, 通过自主获取信息、公开市场披露信息、媒体报导信息、社交网络信息等, 提前预判核心大

型企业的信用风险, 一旦出现预警, 立刻停止新增业务开展。

#### 4.1.2 仓单融资

o是下游采购商向平台申请贷款, 用于支付上游核心供货商在未来一段时期内交付货物的款项, 同时供货商承诺对未被提取的货物进行回购, 并将提货权交由金融机构控制的一种融资模式。

o在产品销售较好的情况下, 库存周转较快, 因此资金多集中于预付款阶段, 预付款融资时间覆盖上游排产以及运输时间, 有效缓解了流动资金压力, 货物到库可与存货融资形成“无缝对接”。

o一般在上游企业承诺回购的前提下, 中小型企业以供应链指定仓库的仓单向供应链企业申请融资来缓解预付款压力, 由供应链企业控制其提货权的融资业务, 一般按照单笔业务来进行, 不关联其他业务。

○具体过程中，中小企业、上游企业、第三方物流企业以及供应链企业共同签订协议，一般供应链企业通过代付采购款方式对融资企业融资，购买方直接将货款支付给供应链企业。

○预付款融资方式多用于采购阶段，其担保基础为购买方对供货商的提货权。

○目前供应链贸易企业中常用的方式为先票/款后货贷款，在供应链贸易业务中，供应链企业可提供预付款融资服务，尤其在较为成熟的供应链条中，当中小企业在采购阶段出现资金缺口时，向供应链贸易企业缴纳保证金并提供相关业务真实单据，供应链贸易企业在对商业供货商进行资格审查后，代替中小企业采购货物，并掌握货权，随后由中小企业一次或分批次赎回。

○按照中小企业与供应链企业实际协议、以及双方合作情况，货物可由供货商直接运送至中小企业或运送至供应链贸易企业指定的仓库，而此时，供应链贸易企业可在采购甚至物流、仓储以及销售阶段实质性掌握货权。

4.1.3 存货融资

存货融资是企业以存货作为质押向金融机构办理融资业务的行为。所以融通仓服务不仅可以为企业提供高水平的物流服务，又可以为中小型企业解决融资问题，解决企业运营中现金流的资金缺口，以提高供应链的整体绩效。

随着参与方的延伸以及服务创新，存货融资表现形式多样，主要为以下三种方式：

静态抵质押：

动态抵质押：

仓单质押：

4.2 基于物联网+区块链信用评估的金融贷款服务

○建立交易主体信用模型，需对当前行业内征信机构进行数据交换，取得有公信力的信用信息。

○对于信用的累积提供一套有效的管理方法，订定信用额度。

○对于融资方、担保、监管机构进行授信、控制交易额度。

○对于信用进行动态跟踪，数据统计和监管，设定信用安全阈值。

○区块链技术保障，信用不可篡改

5 资安防护

5.1. 工业控制网络之多层次入侵检测系统

在资安防护方面，引入工业控制网络之多层次入侵检测系统 ICTD (Industrial Cyber Threat Detector)

a、侦测 OT 层网络之攻击事件，为非侵入性、免疫概念之资安防护行为。提供多层次协同侦测防护：

i.Man-in-the-middle (MITM) Detection：侦测伪装 IP 进行中间人介入操控之攻击

ii.整合 Snort Rules & IDS：侦测违反正常操控与存取原则之异常行为

iii.OT State Based 异常侦测：学习并建立正常之 OT 操控与数据行为状态，藉以侦测非预期状态之异常事件

iv.横跨 OSI 网络层 2-7 层封包进行全方位分析判断异常

5.2 防御能力：

项目	说明
侦察 (reconnaissance) 攻击	欲渗透至工业网络首先需建立设备网络拓谱地图(topology)，掌握设备地址、使用到之 function code、data block 等相关信息 ○Address Scan：在 TCP 网络先利用 SYN scanning 测试各个地址是否有响应，可连上时再发送 modbus 查询命令确认回应是否为 PLC 设备 ○Function Code Scan：对每个存在之 PLC 设备逐步测试其可支持之 function code 列表 ○Point Scan：对 PLC 设备各 data point 进行读写测试，从 function code 与 data point 之读写关系大致可判断其为数据采集读取或控制命令写入使用

项目	说明
响应注入 (response injection) 攻击	尝试响应不正确之传感器信息、程序量测值、设备状态讯号给 HMI 或 PLC, 影响决策, 涵盖以缺乏系统信息之混乱数据响应, 或是回放历史数据响应; 攻击方式可以类似 ARP Spoofing 之中间人攻击方式伪装 PLC 进行响应攻击。
命令注入 (command injection) 攻击	尝试注入不正确控制命令或参数设定, 引起不正确之控制动作, 例如改变过程控制状态、频繁切换开关与设定点与回放控制等; 攻击方式只要修改或产生 Modbus 攻击封包送到指定 PLC 地址即可。
DoS (Denial of Service) 攻击	尝试瘫痪 SCADA 系统网络服务, 让远程监控或控制响应失效; 攻击方法为产生大量不易解析之命令注入封包到网络中, 使 PLC 疲于处理要求。
MITM 等攻击	从中「窃听」两端通讯内容的攻击手法, 由于黑客不仅能从中接收数据, 还能从中插入自己的数据, 因此企业所传输的数据不仅可能外流, 更可能遭到窜改。

## 6 结论

Small-cell 的引进, TSN/AR/VR/Robot 的应用。

区块链的引进, 机器保养履历, 生产履历与供应链金融。

解决方案的应用框架 - 要说明到, 这些框架如何一气呵成把这些应用串起来。团队联盟厂商寻求的不仅是片面的机器自动化联网化解决方案, 而在于是否能在 IT/OT/CT 能够无缝结合, 提供创新的产业服务, 开展新的营运模式。

## 参考文献

- [1] Stefano Vitturi, Claudio Zunino, Thilo Sauter: Industrial Communication Systems and Their Future Challenges: Next-Generation Ethernet, IIoT, and 5G. Proceedings of the IEEE 107(6): 944-961 (2019)
- [2] S. Mumtaz, A. Bo, A. Al-Dulaimi and K. Tsang, "Guest Editorial 5G and Beyond Mobile Technologies and Applications for Industrial IoT (IIoT)", in *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 14, no. 6, pp. 2588-2591, June

2018, doi: 10.1109/TII.2018.2823311.

[3] 5G ACIA, "5G for Connected Industries and Automation (White Paper - 2nd Edition)", download available from <https://www.5g-acia.org/publications/5g-for-connected-industries-and-automation-white-paper/>

[4] Zhao, Shanshan & Li, Shancang & Yao, Yufeng. (2019). Blockchain Enabled Industrial Internet of Things Technology. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*. PP. 1-12. 10.1109/TCSS.2019.2924054.

[5] Alladi, Tejasvi & Chamola, Vinay & Parizi, Reza & Choo, Kim-Kwang Raymond. (2019). Blockchain Applications for Industry 4.0 and Industrial IoT: A Review. *IEEE Access*. PP. 1-1. 10.1109/ACCESS.2019.2956748.

[6] J. Wan, J. Li, M. Imran, D. Li and Fazal-e-Amin, "A Blockchain-Based Solution for Enhancing Security and Privacy in Smart Factory", in *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 15, no. 6, pp. 3652-3660, June 2019, doi: 10.1109/TII.2019.2894573.

# 基于 5G 的工业互联网平台及应用场景探索

葛振宇 刘昌海 孙柏宁

**摘要：**当前制造业正处在由数字化、网络化向智能化发展的重要阶段，其核心是基于海量工业数据的全面感知，通过端到端的数据深度集成与建模分析，实现智能化的决策与控制指令，形成智能化生产、网络化协同、个性化定制、服务化延伸等新型制造模式。

新型信息技术重塑制造业数字化基础。云计算为制造企业带来更灵活、更经济、更可靠的数据存储和软件运行环境，物联网帮助制造企业有效收集设备、产线和生产现场成千上万种不同类型的数据，人工智能强化了制造企业的洞察能力，实现智能化的管理和控制，这些都是推动制造企业数字化转型的新基础。

工业互联网平台本质是通过工业互联网网络采集海量工业数据，并提供数据存储、管理、呈现、分析、建模及应用开发环境，汇聚制造企业及第三方开发者，开发出覆盖产品全生命周期的业务及创新性应用，以提升资源配置效率，推动制造业的高质量发展。

工业互联网平台承载和使能上层工业应用，提供多种中台能力，是工业互联网解决方案的核心和基础。平台主要包括数据中台、开发中台、业务中台、大数据基础平台、通用 PAAS 平台、物联网平台、视频云平台、平台安全服务、鲲鹏 IAAS 云服务、智能边缘平台、统一运营运维服务等组件。工业互联网平台匹配工业企业业务诉求，给工业应用提供平台+智能+敏捷的通用引擎。

**关键词：**5G；工业互联网；边缘计算；数字化中台；工业应用

## 1 引言

2008 年金融危机以来，全球新一轮产业变革蓬勃兴起，制造业重新成为全球经济发展的焦点。世界主要发达国家采取了一系列重大举措推动制造业转型升级，德国依托雄厚的自动化基础，推进工业 4.0。美国在实施先进制造战略的同时，大力发展工业互联网。法、日、韩、瑞典等国也纷纷推出制造业振兴计划。各国新型制造战略的核心都是通过构建新型生产方式与发展模式，推动传统制造业转型升级，重塑制造强国新优势。与此同时，数字经济浪潮席卷全球，驱动传统产业加速变革。

特别是以互联网为代表的信息通信技术的发展极大地改变了人们的生活方式，构筑了新的产业体系，并通过技术和模式创新不断渗透影响实体经济

领域，为传统产业变革带来巨大机遇。伴随制造业变革与数字经济浪潮交汇融合，云计算、物联网、大数据等信息技术与制造技术、工业知识的集成创新不断加剧，工业互联网平台应运而生。

## 2 企业需求分析

### 边缘层需求分析：

随着 5G、物联网时代的到来以及云计算应用的逐渐增加，传统的云计算技术已经无法满足终端侧“大连接、低时延、大带宽”的需求，边缘计算应运而生。边缘计算可有效减小计算系统的延迟，减少数据传输带宽，缓解云计算中心压力，保护数据安全与隐私

### 平台层需求分析：

基于通用 PaaS 叠加大数据处理、工业数据分

## 作者简介：

葛振宇：中国移动通信集团福建有限公司计划建设部副总经理。

刘昌海：中国移动通信集团福建有限公司 5G 融创中心技术经理。

孙柏宁：中国移动通信集团福建有限公司 5G 融创中心方案经理。

析、工业微服务等创新功能，构建可扩展的开放式云操作系统。一是提供工业数据管理能力，将数据科学与工业机理结合，帮助制造企业构建工业数据分析能力，实现数据价值挖掘；二是把技术、知识、经验等资源固化为可移植、可复用的工业微服务组件库，供开发者调用；三是构建应用开发环境，借助微服务组件和工业应用开发工具，帮助用户快速构建定制化的工业 APP。

**应用层需求分析：**

形成满足不同行业、不同场景的工业 SaaS 和工业 APP，形成工业互联网平台的最终价值。一是提供了设计、生产、管理、服务等一系列创新性业务应用。二是构建了良好的工业 APP 创新环境，使开发者基于平台数据及微服务功能实现应用创新。

**3 整体设计**

**模块化建设原则：**对各工业业务进行抽象建模，业务数据与业务逻辑解耦，平台和应用解耦，实现模块化、积木化建设，可将平台和应用产品聚合。

**服务化/组件化原则：**以服务、数据为中心，构建数字平台的服务化、组件化架构，具备灵活，按需组合的能力。

**统一性原则：**采用一个工业互联网数字平台，构建一套管理运营系统，接入所有业务子系统，集成所有业务数据，提供统一的数据湖和业务服务，支撑所有综合业务应用。

**可扩展性：**基于云化架构，支持分布式部署，数字平台服务具备横向扩展能力，支撑高性能、高吞吐量、高并发、高可用业务场景。提供支持未来扩展的部署方式。

**安全原则：**构建物理安全、网络安全和应用系统 E2E 综合安全体系，确保方案中系统、网络和数据机密性、完整性、可用性、可追溯性。

**统一运维原则：**数字平台、边缘节点及其他系统在同一运维平台上高效快速完成日常维护、问题处理等运维工作。能够支持远程、高效地安装、部署、调测、验收、软件升级、打补丁。

**4 方案架构**

方案整体架构如下：



总体架构分 5 层，自上而下是平台运营、生态应用服务、数字化平台、工业边缘、端侧。

**平台运营：**主要提供工业互联网运营中心，实现对平台、业务、客户的运营运维，包括应用市场、服务计量、运营 IOC 广告牌、监控运维等功能。

**工业应用服务：**提供工业应用，如 MES、能效优化、设备预测性维护等服务，面向工业企业等最终客户，在应用市场中呈现，主要由工业应用开发商提供，由工业互联网平台承载和集成。随着工业企业客户需求的不断涌现，工业应用服务也会不断

的增加、扩展。

**数字化平台：**

**业务中台：**对工业场景的业务进行抽象和沉淀，封装通用的、公共的能力为服务，从而实现共享复用，包括 MES 业务资产、能效业务资产、设备预测性维护业务资产等，随着工业应用的不断增加，业务资产也会不断扩展。

**开发中台：**提供 UI 编排，流程编排，API 编制，数据编排，服务编排等能力，能够实现 No Code、Low Code 等开发模式，帮助客户和集成商快速开发应用。

**数据中台：**包括数据采集，数据集成，数据开放，数据存储/计算，数据治理等能力，并包括由工业应用中沉淀和积累的数据资产，如设备主题库、能效主题库、MES 主体库等，各类主体库也会不断扩展。

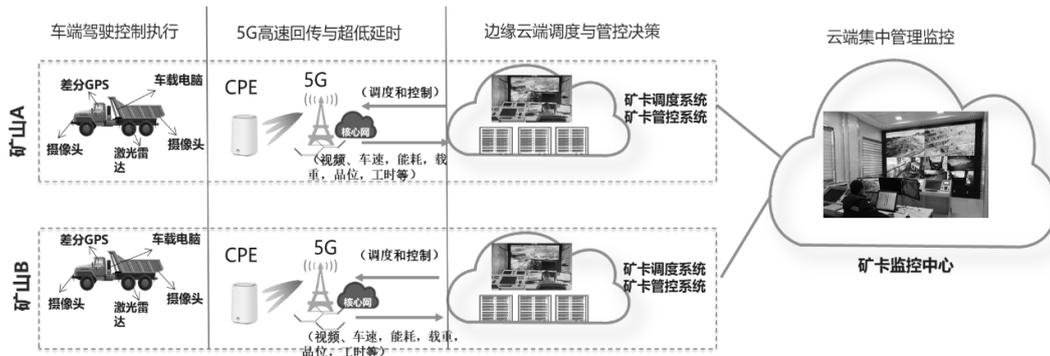
**通用 PAAS 平台：**容器服务，微服务框架，统一云服务目录，应用生命周期管理，视频云平台，物联网平台，通用软件服务，人工智能，统一通讯平台，大数据平台。

**工业边缘包括：**物联网网关，视频边缘节点，5G 移动边缘计算，其它边缘应用。

**端侧包括：**部署到企业现场的设备，如传感器、智能终端、智能设备、摄像头、AGV 小车等。

### 5 5G 应用场景举例

#### 基于 5G 技术的矿卡无人驾驶场景



#### 5G+矿卡无人驾驶方案架构

**感知层：**由 GPS 定位，毫米波雷达、车头摄像头、车尾摄像头组合完成路面、环境感知及故障识别，由单车车载电脑计算分析形成驾驶控制指令。

**网络层：**5G 高速回传，将车端视频、车速、能耗载重、品位、工时等数据信息快速上伟边缘端平台进行调度、监控和相应分析。

#### 场景需求

5G 大带宽实现单台矿卡 5-7 路 720P 视频实时回传至矿卡调度系统，5G 低时延保障矿卡调度任务及无人驾驶路线规划实时下达无人驾驶矿卡，实现无人驾驶、倒车入位、精准停靠等任务。

**场景一：**车端通过 GPS 定位数据、雷达数据、高清摄像头等传感器数据采集和分析，实现车辆无人驾驶；并通过 V2V 协议感知，实现车与车、车与其他机械设备之前的协同，提高运输效率和安全性。

**场景二：**通过高速、低时延的网络实时将车辆运行状态数据、环境感知数据以及视频数据传感至边缘端进行有效收集分析，实现高效的车辆调度、路线智能规划和车辆精准驾驶辅助功能，并且能够远程实现车辆行驶监控管理。

**场景三：**将各边缘端的数据汇集到远程云端，实现对多个矿山无人矿山系统运行状况进行总体管理监控和现场作业的实时展示。

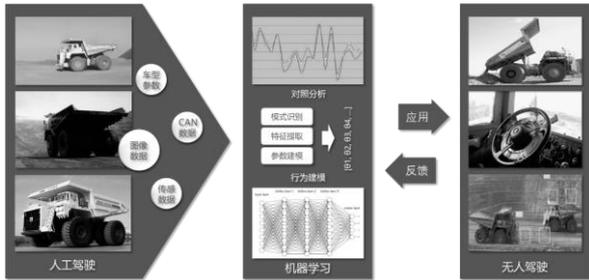
#### 场景方案

5G 矿卡无人驾驶系统总体架构分为车端感知层、网络层、边缘平台层和云端监控展示层四层，整体架构如下图所示：

带宽	上行：10-14Mbps/每台
	下行：100Kbps/每台
时延	20-30ms 边缘端到端网络时延，边缘云端控制时延要求不高，视频时延要求高

边缘平台层：监控整体运行情况，可人工干预启、停调度，并能根据实时采集车端数据进行分析，实现车辆智能调度和驾驶辅助。

云端监控展示层：实现对多个矿山无人矿山系统运行状况进行总体管理监控和展示。



### 6 自主避障、主动防撞技术

基于路线智能规划的自主避障、主动防撞技术。

#### 设备预测性维护

##### 场景需求

场景一：企业需要了解关键设备的实时状态信息，不同工况下的设备状态信息能及时进行对比分析。

场景二：避免关键设备出现故障、停机，需要预测设备未来可能出现的状况，并提前判断出哪些设备需要维护哪些设备需要更换。

场景三：系统能提前预警设备的故障发生概率是多少，提示做好相关维修计划、备品备件计划。

场景四：持续监控设备状态，设备故障报警能定位出具体原因，给出分析建议和给出具体的维护操作建议。

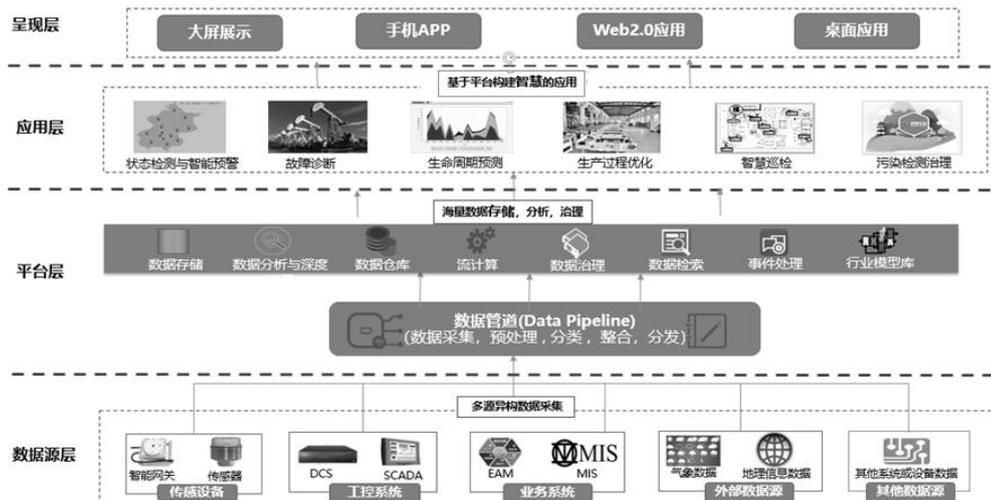
场景五：根据设备告警的提示，做出针对性的备件准备和建议的合理库存。

场景六：依据数据分析，调整计划性维护和合理的预防性维护时间。减少传统的计划维修时间。

场景七：实时健康指数和预估出设备的剩余寿命值。

##### 场景方案

预测性维护场景总体架构分为数据源、平台、应用和呈现层四层，整体架构如下图所示：



预测性维护逻辑架构

数据源层：由各种传感器、传感器网关和相应的系统构成，包括温度传感器、振动传感器、物联网网关、边缘计算、DCS 系统、SCADA 系统、MES 或者其他外部系统，数据源层是预测性维护获取识别物体、采集信息来源，实现对各类数据的采集的基础层级。

平台层：包括 PaaS 平台和数据平台，重点是对

数据源层采集的数据进行数据采、存、算、管、用全生命周期是核心。工况数据接入、现有系统数据采集等批量数据、日志数据等采集工具数据存储用到：分布式文件系统、非结构化数据库、时序数据库、关系数据库、分布式数据仓库。

数据分析：离线数据批量处理，流式数据处理，数据挖掘和深度学习，AI，数据算法库。

数据治理：数据集成，元数据，数据分类和标签管理。

同时结合算法+数字化模型，沉淀各种故障预警、诊断应用模型。

应用层：预测性维护应用，是工业互联网设备管理场景的核心，与行业发展应用需求相结合，实现设备的智能化服务应用，包含状态监测和智能预警、故障诊断和系统配置等模块。

智能预警包括：阈值告警，根据 ISO 标准，国标或企标设定；自适应阈值告警，根据历史运行数据自适应生成报警阈值；动态趋势监控，帮助提前发现早期故障并有效捕捉设备的劣化程度。

故障诊断包括：

行业应用诊断模型，离心泵诊断模型、立式泵诊断模型、多级泵诊断模型、风机诊断模型、压缩机诊断模型、往复机诊断模型等。

呈现层：主要通过 C/S, B/S 和 APP 客户端以及大屏幕显示系统，展现预测性维护系统，展现方式包括浏览器、客户端、手机和其他。系统支持所有设备关键信息的集中展示功能，包括：设备名称、设备形貌缩略图、设备告警状态、告警持续时长、设备连续运行时长、设备故障原因等，同时支持设备关键信息的统计功能，包括：设备总数、设备运行率、异常告警分布状况等。

### 基于 5G 技术的智能 AGV 应用

#### 场景需求

随着无线技术和自动导航技术的发展及不断攀升的用工成本，在厂区广泛使用了自动导引机器人（Automated Guided Vehicle）替代传统人工配送物料。结合远程调度系统，实现物料在仓库与车间工位间的自动无人精准配送，为工厂柔性制造及生产奠定坚实基础。

AGV 控制、调度对通信实时性、可靠性、并发能力提出了前所未有的要求，而针对传统上网或人工仓储应用的现有 WiFi 网络难以满足特性和规格要求：

(1) 终端与网络来自不同供应商，由于 WiFi 协议没有规定终端应在什么状态下漫游，因此终端的漫游行为往往依赖于芯片厂商提供的默认保守配置——在情况及其恶劣的情况下再发生漫游，而此时 SNR 信噪比已经极差。

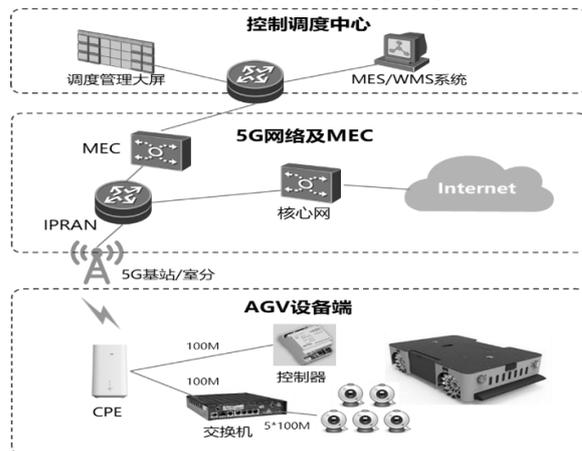
(2) 11v、11r 等提高漫游速度的协议并非强

制，相当比例的终端并不支持，这一问题导致终端在与前一 BSS 连接断开、漫游前需进行全信道扫描，这对于连续的、延迟敏感的网络业务来说是灾难性的。

(3) 工业级场景下 AP 的挂高较高，覆盖区域内可能存在大量小车并发的时候大量空口交互、退避，导致一定比例的终端无法得到及时调度，从而产生一片区域瘫痪情况。

#### 场景方案

5G AGV 场景的解决方案架构图如下：



AGV 控制调度中心对接至企业 MES/WMS 等系统，与生产环节打通，提升整体生产效能。AGV 视觉感知和调度控制的业务与控制流量分流到边缘云，为 AGV 提供园区虚拟专网，基于 MEC 平台 AI 与计算能力对采集视频感知进行定位与导航计算处理，以及与激光雷达等融合感知处理。基于 MEC 平台为多 AGV 调度管理提供边缘云主机和计算处理，并与 MES/WMS 等系统互联。

AGV 设备端可采用 5G 行业终端或 USB Dongle 方式，更适配工业场景，2020 年可逐步采用 5G 工业模组，支撑商用。

### 基于 5G 技术的无人机巡检

#### 场景需求

场景一：电力巡检。使用无人飞机大面积巡查电力线路，对冰冻等自然灾害发生预警有着较为良好的应用效果，同时利用高精度视频设备对线路进行可见光和红外热成像观测，通过观察识别和相关数据对比，精确找出电力设备故障发生点，保障电力设施的有效运行。

场景二：河道巡检。无人机水务巡检既克服了“流域广、面积大、地形复杂”等诸多因素限制，

又能全方位掌握河域的基本情况。对河道实施完善的河道监测监控，通过科学布设入湖河流以及湖泊水情、水质、水生态、漂浮物等监测站点，积极运用物联网、无人机航拍、视频监控等新技术，对湖泊岸线、水下地形、水生态水环境变化情况进行动态监测，基础信息和实时数据纳入水务巡检无人机管理信息平台，无人机摄制下的影像也可通过平台随时查阅、方便历史资料对比，通过对比及时发现隐患或测评治理效果。

场景三：管道巡检。由于我国国土面积较大，地形复杂，在进行油气管道铺设时线路较长，并且经常需要穿越森林、沼泽、沙漠等地质条件复杂的区域，这些复杂的区域人类很难进入并且进行准确的勘探，无人机管道巡检日常监管与巡检工作，最大限度保障管道安全，为了确保油气管道安全运

行。同时降低巡检成本，减少人力投入，避免人员遭遇危险。

场景四：光伏电站巡检。由于我国国土面积较大，地形复杂，在进行油气管道铺设时线路较长，并且经常需要穿越森林、沼泽、沙漠等地质条件复杂的区域，这些复杂的区域人类很难进入并且进行准确的勘探。通过使用无人机，方便快捷的进行了光伏板航拍检查、输电塔航拍检查、升压站设备航拍检查等各类巡检任务，结合可见光数据和红外数据，能快速便捷的检查光伏板表面有无破损、污渍，并通过红外热量信息直观的观察光伏板工作状态。

场景方案

无人机巡检总体架构分为感知、网络、平台、应用和展现层四层，整体架构如下图所示：



无人机巡检逻辑架构

感知层：搭载 Altas、红外热成像&可见光相机的无人机。

网络层：通过 4G/5G 提供的大带宽低时延的能力，实现 4K 高清视频回传。

平台层：平台层包括大数据、GIS、图像视频解析、视频存储、机库管理、AI 等能力。其中图像视频解析主要是机器人通过采集需要检测部分的图像，然后进行图像预处理（去噪声、灰度变换、图像增强等），再进行人工智能自动学习更深层次的特征，图像匹配算法，显示出图像关键部位的变化。

应用层：无人机巡检应用， 包含

1) 巡检任务管理：巡检任务记录、飞行架次创建。

2) 巡检数据管理：成果云端上传、100M 照片秒开、POS 自动匹配。

3) 高效工单系统：DIY 工单模板、核查进度跟踪、工单地图展示。

4) 巡检报告：一键自动生成、DIY 报告模板。

5) 智能预警：通过图像视频解析出来的设备预警可以实时在电子地图上呈现。

参考文献

[1] 工业互联网产业联盟. 工业互联网平台白皮书 (2019). <http://www.aii-alliance.org/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=23&id=673>,

# 智慧用电物联网助力海西建设的实践探索

张健荣 曹一琅

**摘要：**本文首先针对智慧城市用电痛点问题进行了分析，提出了创新的智慧用电典型系统设计方案，然后介绍了从项目实践中总结出的智慧用电关键技术，最后展望智慧用电技术在未来海西建设中更广阔的应用前景。

**关键词：**智慧城市 智慧用电 物联网 大数据

## 引言

“十三五”时期，我国经济发展进入新常态，创新是引领发展的第一动力，促进物联网、大数据等新技术、新业态广泛应用，培育壮大新动能成为国家战略。智慧用电作为物联网新技术应用的重要领域之一，迎来海西智慧城市建设的重大的发展机遇，现已进入跨界融合、集成创新和规模化发展的新阶段。

### 一、用电现状

与此同时，我国许多城市仍面临着环境污染、交通堵塞、能源紧缺和建筑能耗高等方面的挑战，而配用电作为城市能源结构中最重要的组成部分，已经渗透到城市运行中的方方面面，因此配电系统已成为解决智慧城市发展综合问题的重要突破口。

#### 1 用电安全事故多发

我国近年各类火灾统计的数据显示，由电气火灾是引发各类火灾最直接、最主要的原因，占据了总火灾发生比例的 30%，远高于欧美日等发达经济体。国外以日本为例，电气火灾仅占了火灾总数的 2%，根本原因就是日本政府 1978 年就已出台政策——强制要求安装电气火灾预测、预警、预报系统，能够在电气火灾发生之前消除隐患。

除了电气火灾，国内的用电设施漏电导致的触

电事故风险也较大，如：道路边的监控杆、路灯杆、配电箱等漏电引发的触电事故、校园、商业楼宇等集中用电场景线路老化等引起漏电触电等触电事故。因此急需建设各类用电安全监测、预警、处置系统。

#### 2 用电节能策略管理缺失

国家电网/南方电网给用户安装的计费电表已有较大比例普及远程抄表技术，但是企事业单位内部的用电分表大多还是普通电表，需定期人工抄表，存在效率低、抄漏、抄错等现象，更无法对能耗精细化情况长期监测，获取运行数据，再制定相应节能策略降耗。

#### 3 维护手段落后低效

智慧城市近年在公共场所安装的信息化设备，很大比例的配套用电设施却是信息化程度很低，普遍采用“电表+空开+插排”配电。一旦发生停电或其他电源类故障，只有到现场人工排查一种手段，效率极低。为此急需对信息化设备的配套电源部分建设远程监测、精准定位故障、利用互联网实时告警通知维护人员等新技术，提升维护效率。

## 二、城市级智慧用电物联网典型系统设计

城市级智慧用电物联网系统，整体技术方案原理如下图所示：

### 作者简介：

**张健荣：**中邮科通信技术股份有限公司，创新研究院院长、公司技术专家。

**曹一琅：**中邮科通信技术股份有限公司，项目经理。

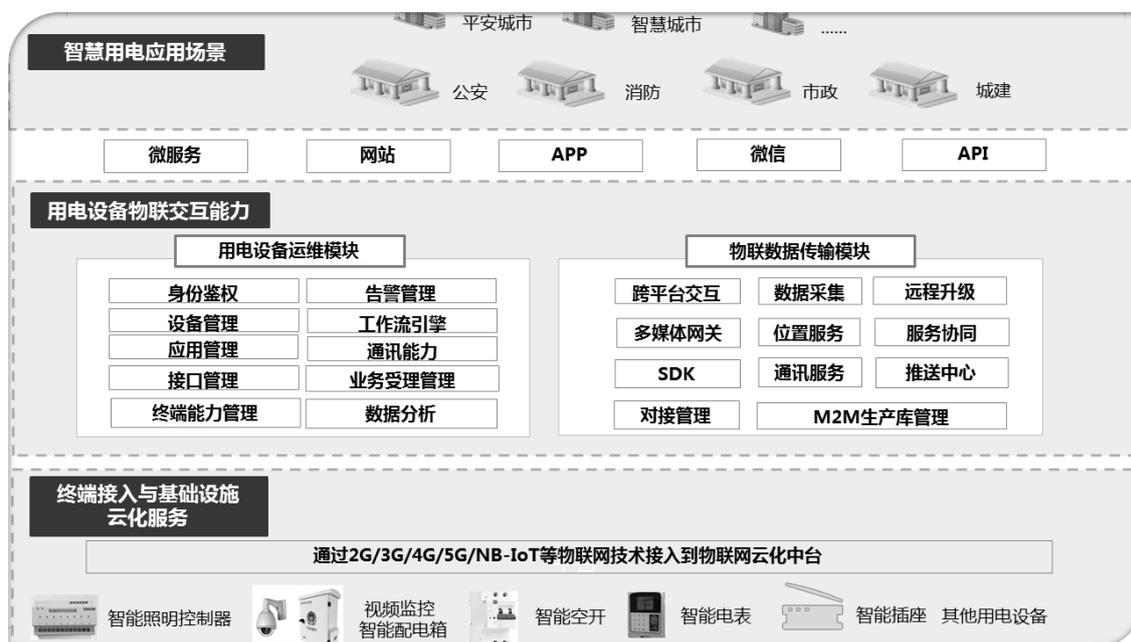


图 1

该技术方案主要通过底层前端的智慧用电硬件终端，如：智能照明控制器、视频监控智能配电箱、智能空开（智能微型断路器）、智能电表等进行电气参数采集和上报，通过 2G/3G/4G/5G/NB-IoT 等物联网传输技术接入到物联网云化中台；

中间层是物联网物联交互能力云化中台，由用电设备运维软件模块实现：终端的身份鉴权、设备管理、应用管理、接口管理、终端能力管理、告警管理、工作流引擎、通讯能力、业务受理管理、数据分析等；再通过数据传输模块实现：跨平台交互、数据采集、远程升级、多媒体网关、位置服务、服务协同、SDK、通讯服务、推送中心、对接管理和 M2M 生产库管理等；

上层的智慧城市各行业应用平台：通过 API、微服务、WEB、APP 等接口调用智慧用电能力中台数据，实现各类用电数据监测、采集、上报以及远程控制等。

近年来，作者就职企业在海峡西岸智慧城市建设中，积极推动智慧用电物联网在多个领域实践落地，如：城市视频监控智能配电、城市照明智能配电、校园智能配电等，下文作为典型示范例进行介绍。

#### 1 城市视频监控智能配电物联网系统

该系统重点解决智慧城市视频监控系统的多个痛点问题：夏季台风雷暴天气频发，海西城市路面积水后，频发路边杆体电源漏电险情，严重威胁人民身体监控安全；感应雷击容易导致户外监控设备大面积跳闸停电，人工恢复费时费力；路边配电箱常被盗电却无法被管理者及时发现和处置等。

通过构建一个完整的物联网系统，让升级后的视频监控智能配电箱具备：对各类电气监测数据的采集和上报、锁控管理、用电负载控制、漏电险情告警与处置管理、温湿度环境监测等功能，整体上实现了配电箱管理的安全、高效、直观、准确。

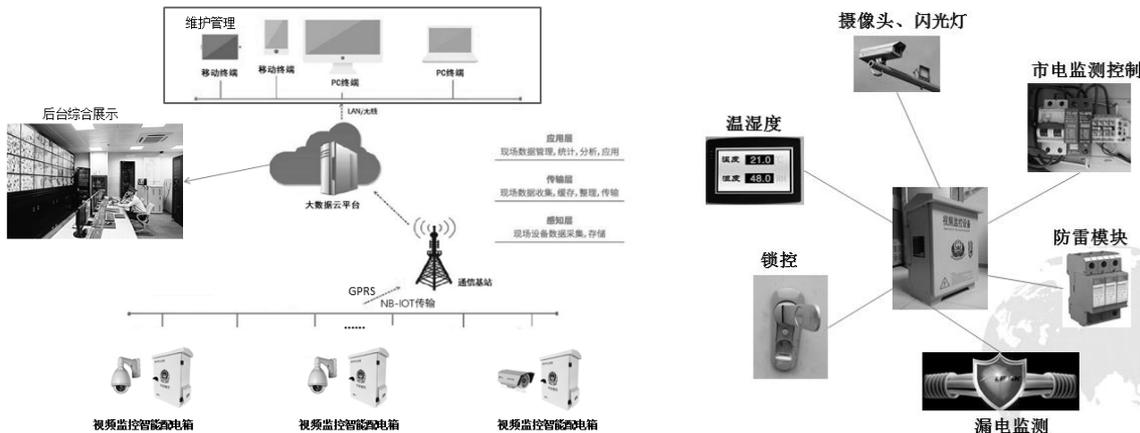


图 2

该物联网系统的技术特点有：1) 杆体及箱体漏电监测技术，及时上报到管理平台并向维护人员推送告警信息，做到用电安全预警预防；2) 二维码扫码开箱技术，实现开箱“实名制”管理，减少

了暴力开箱、偷电等行为；3) 雷击感应统计及自动重合闸技术，大幅度提升维护效率，实现对避雷器寿命提早预知更换，保障设备长期可靠运行。



图 3

## 2 城市照明智能配电物联网系统

该系统重点实现城市公共照明用电的多个技术提升：1) 在 LED 灯头替换钠灯头的节能方案基础上，实现节能效果再次大幅度提升；2) 依托运营商高可靠的 NB-IoT 网络（或其他网络），一灯一卡（物联网 SIM 卡），快捷部署；3) 实现多 LED 灯头单独/统一启闭，花样调光，节假日场景模式预设等软件化节能管理。



图 4

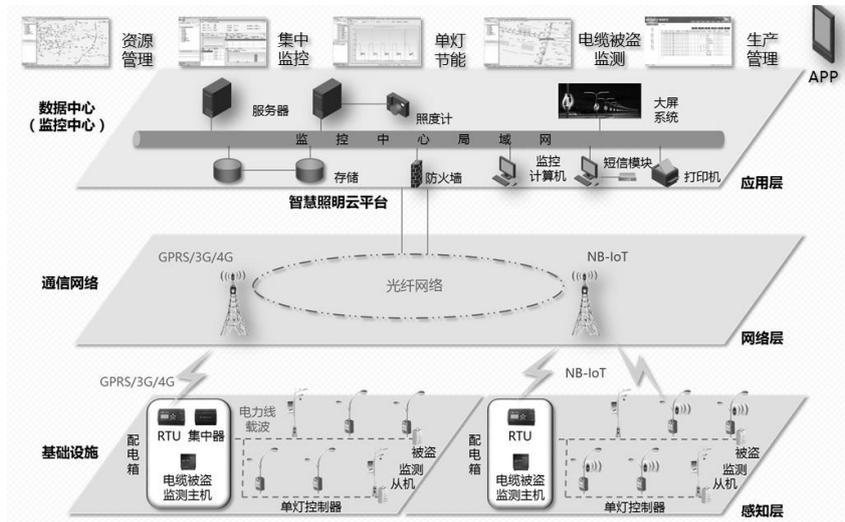


图 5

如上图所示物联网系统，可软件预设场景策略调光、AI 策略调光的智能 LED 路灯；制定场景策略：依据纬度、四季、天气改变开关灯时间，人车活动高低峰时段调节亮度等；可增加 AI 策略：通过外接车感/人感雷达等传感器来实现事件联动。总体上，多种物联网节能策略叠加后，与传统钠灯照明方案相比较，节电率高达 78%（普通 LED 灯替换钠灯节电率约为 50%）。

### 3 校园智能配电物联网系统

该系统聚焦解决校园用电的多个痛点难点问题：1) 校园宿舍内的学生用电行为缺乏有效监管手段，违规使用电器引起的火灾事故频发；2) 教室、办公楼独立式空调无法精确管控启停时间，造成大量电能浪费；3) 重点实验室、图书馆等重要场所的大功率用电线路缺乏 24 小时监测，无法定位线路老化破损的隐患位置以及及时预判排除险情。

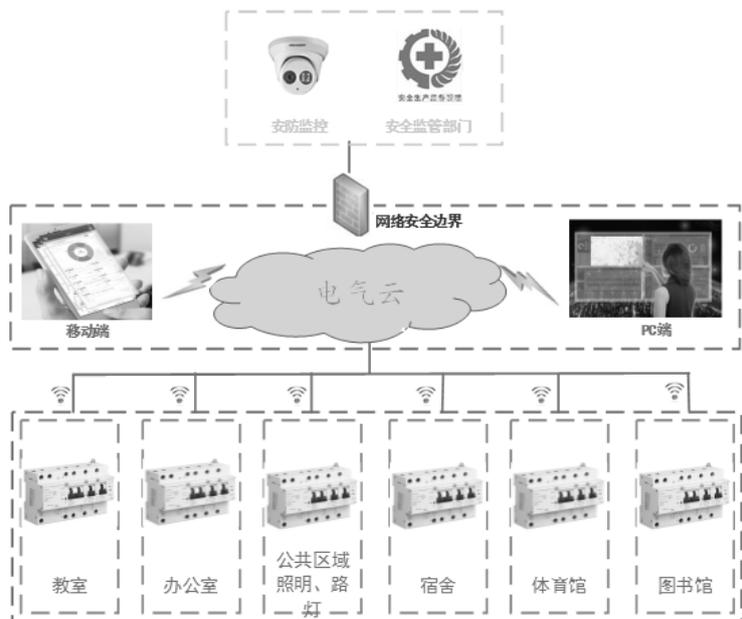


图 6

该系统的核心创新产品是高集成度的智能微型断路器（简称智能微断或智能空开），内部集漏

电、温度、短路、打火、漏电自检、三相不平衡、窃电判决等多种传感器，提供短路保护、漏电保护、

过压保护、雷击保护、打火断电保护等多项安全防护功能。

### 三、智慧用电物联网关键技术

#### 1 实名扫码开电箱技术

智慧用电的应用平台融合用户权限管理、电控锁、二维码技术、手机 APP，综合实现实名认证的扫码开箱功能，具体流程如下图：



图 7

通过手机扫码开箱“实名制”管理，在提高维护人员开箱便捷度的同时，可以做到及时识别非法开箱行为，只要管理流程上跟进落实处置措施就能震慑、杜绝暴力开箱、偷电开箱等行为。该技术的应用为解决困扰管理者多年的问题解决提供了有效技术保障。

#### 2 漏电告警与联动关断保护技术

城市路面积水后若发生杆体、设备漏电险情，极易造成人民群众触电伤亡事故。智慧用电物联网系统融合配电箱内漏电监测、箱外漏电探测、平台告警信息推送（含 AI 语音助手播打维护人员电话）以及软件远程关断技术，可以有效做到及时发现、及时处理漏电险情。

系统原理图如下：

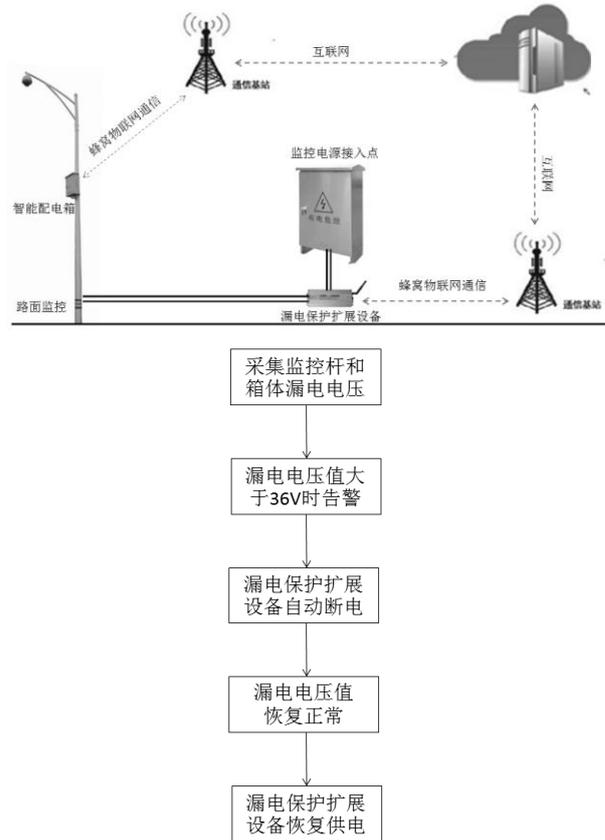


图 8

该技术实现的原理为：当配电箱监测到杆体或箱体存在漏电压差（对地电压超过 36VAC）时，初判为漏电险情将信息上报管理平台，管理平台结合视频图像是否淹水等信息二次判决是否启动联动关断保护机制，若启动保护机制则通过平台在数秒内联动到监控电源接入点的漏电保护扩展设备，切断前级供电线路对淹水现场予以保护，同时自动通知维护人员赴现场处理。

#### 3 智慧用电大数据分析技术

智慧用电物联网系统部署以后，平台常年累积

大量运行数据，利用大数据分析技术挖掘其整体数据价值，例如：分析用户变压器内的用电负荷峰值及相应降费措施；量化对比评价各种节能措施的有

效性；通过故障统计分析量化评估设备品牌、型号的质量差异；量化评估环境工程因素对用电设备可靠性的影响；量化评估维护工作效率等等。

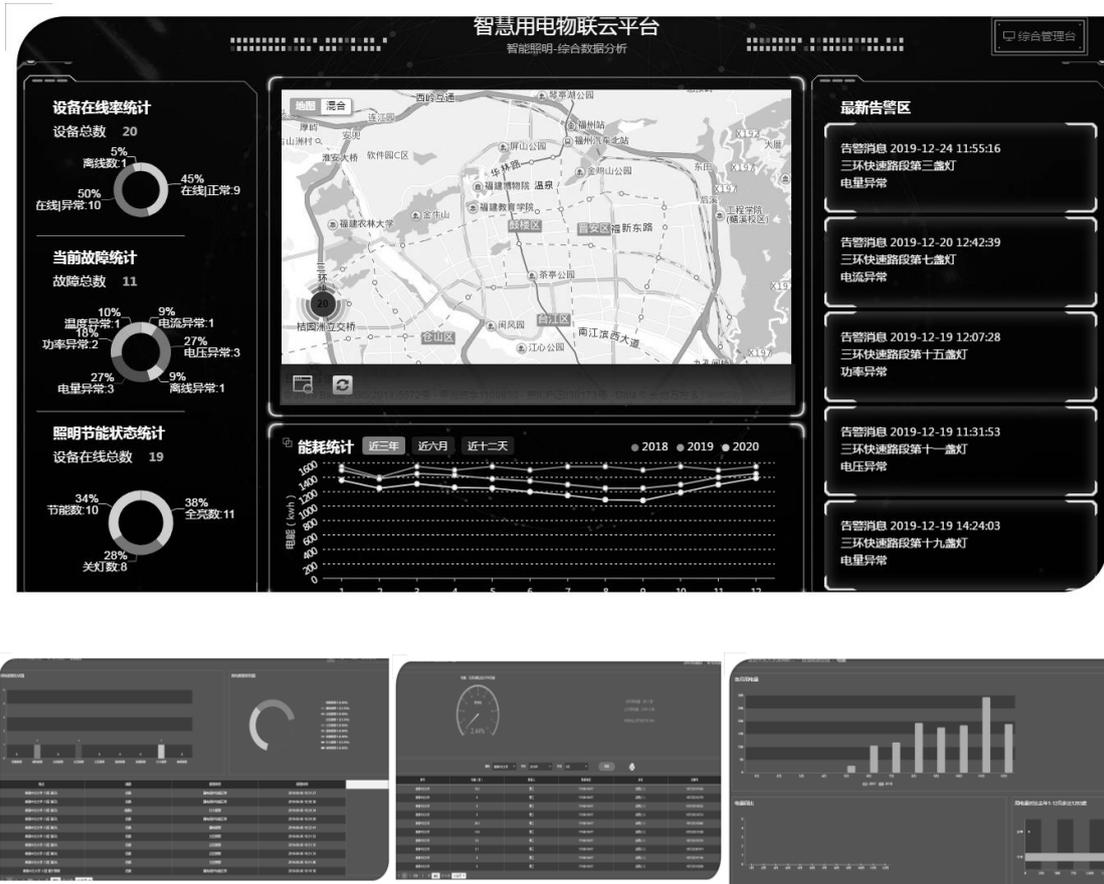


图 8

结束语

“智慧用电物联网”是“新基建”、“电力泛在物联网”的代表性应用，它让城市用电“更安全、

更节能、更便捷”，在海西智慧城市建设大潮涌动的未来，我们相信它必将得到更加广泛的应用，为海西建设提供更大助力。

# 基于大数据及人工智能的物联网客户感知保障研究及实践

陈俊杰

中国移动通信集团福建有限公司

**摘要:** 针对现网中存量物联网卡难管理、客户业务难以识别的现状, 基于网络大数据, 开展物联网行业端到端保障能力研究, 以“四层三维”感知评估模型和“定性分类”方法为理论基础, 充分挖掘和分析物联网卡网络数据, 摸清不同制式、不同行业、不同客户的业务特性, 做到“看得清”, 再通过人工智能技术与大数据能力相融合, 使运维能力智能化、自动化升级, 做到“管得好”, 最终实现物联网行业客户感知主动运维保障。本成果填补了行业内面向物联网业务端到端保障能力的空白, 在缩短故障处理时长、提升网络质量、减少人工运维成本等方面发挥了重要作用, 提升了客户满意度。

**关键词:** 物联网; NB-IoT; 客户感知; 主动运维; 评估模型; 智能监测; 自动定界

## 1 引言

5G 时代已来, 未来的网络生活除开存量的移动用户外, 物联网终端的连接数量占比也将越来越高, 尤其随着广连接、低时延技术的成熟和行业生态的发展, 物联网的连接数、客户数也必将迎来爆发式的增长, 对于便利人民生活水平、社会文明发展水平具有重要的助力。物联网概念是在“互联网概念”的基础上, 将其用户端延伸和扩展到任何物品与物品之间, 进行信息交换和通信的一种网络概念。其比较广泛的定义是: 通过射频识别 (RFID)、红外感应器、全球定位系统、激光扫描器等信息传感设备, 按约定的协议, 把任何物品通过物联网域名相连接, 进行信息交换和通信, 以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理, 简而言之, 是物与物、物与人的泛在连接。

而“物”相对又是静默和无主观感知的, 因此就造就了物联网业务的保障相较于传统移动网络或者说人网, 带来了许多新的难点。首先, 物联网的保障对象是“物”而非“人”, 终端侧并不会像移动用户一样“主动反馈”使用体验即业务感知(包括这些物联网卡终端是否有在使用、什么时段使用、在什么地方使用等), 需要更为精准的网络感

知指标及体系来评价某个物联网行业业务质量的好坏, 以能在业务发生异常时及时监测到和预警。其次, 物联网业务属于政企业务类型, 面向的是行业客户, 在端到端运维的过程中(业务流程经过终端<->无线网<->核心网<->服务器<->业务平台)各个维度的分析和保障均需要区分出不同行业、不同客户, 而不仅仅是像传统运维一样借助网管工具对单一网元进行统一监控, 因此就需要借助大数据甚至是人工智能的手段对行业客户进行识别, 这就对 IT 支撑提出了更高的要求。

本论文基于运营商网络采集的海量用户上网信令日志数据, 对大数据进行充分挖掘和识别, 研究不同物联网行业、客户的不同业务特性, 在此基础上, 研究和设计了一套面向物联网客户感知的保障方案和应用系统。主要以多层感知保障评估模型和“定性分类”方法作为基础方法论, 借助大数据分析技术和人工智能方法, 实现“三横三纵”的物联网客户全景视图, 以及客户业务感知异常自动监测和自动定界能力, 提升了问题发现的精确度和问题处理的智能化, 提升了客户满意度。

## 2 物联网客户感知保障体系

### 2.1 可扩展的多层感知保障评估模型

针对物联网中不同行业客户业务行为差异较大（如电力抄表行业关注业务成功率、车联网行业关注端到端时延、视频监控行业关注回传速率等等），但网络管道层面数据流及路由又基本一致的特点，构建物联网面向行业的多层感知保障评估模型，不仅具备通用性可以涵盖全量物联网行业客户的网络保障需求，同时在网络业务层之上进一步面向不同重点行业设置了感知层的分行业指标（“通用”+“特性”组合），以对不同行业客户开展针对性 SLA 保障，并且通过分层的保障模式还可以实现自上而下对客户业务问题进行定界定位。

指标模型分为“四层三维”：四层分别为网元

层、网络层、业务层和感知层；三维包括接入性、保持性和可用性，接入性主要关注用户与网络的连通性，保持性指用户使用业务过程中不掉线以及切换等移动性管理，可用性指接入后用户业务的可用性。同时在通用指标基础上，针对不同物联网行业客户，研究其网络路由、业务特征以及客户需求，制定相应一对一的感知层端到端指标，力求指标体系的“精准”和“实效”。“精准”体现在感知层指标的获取上，选取最能表征该业务特性的指标值；“实效”则是精简指标体系，将各个层级最关键、必要的指标挑选出来，便于后期支撑系统的实现，提高运维人员的监控效率。

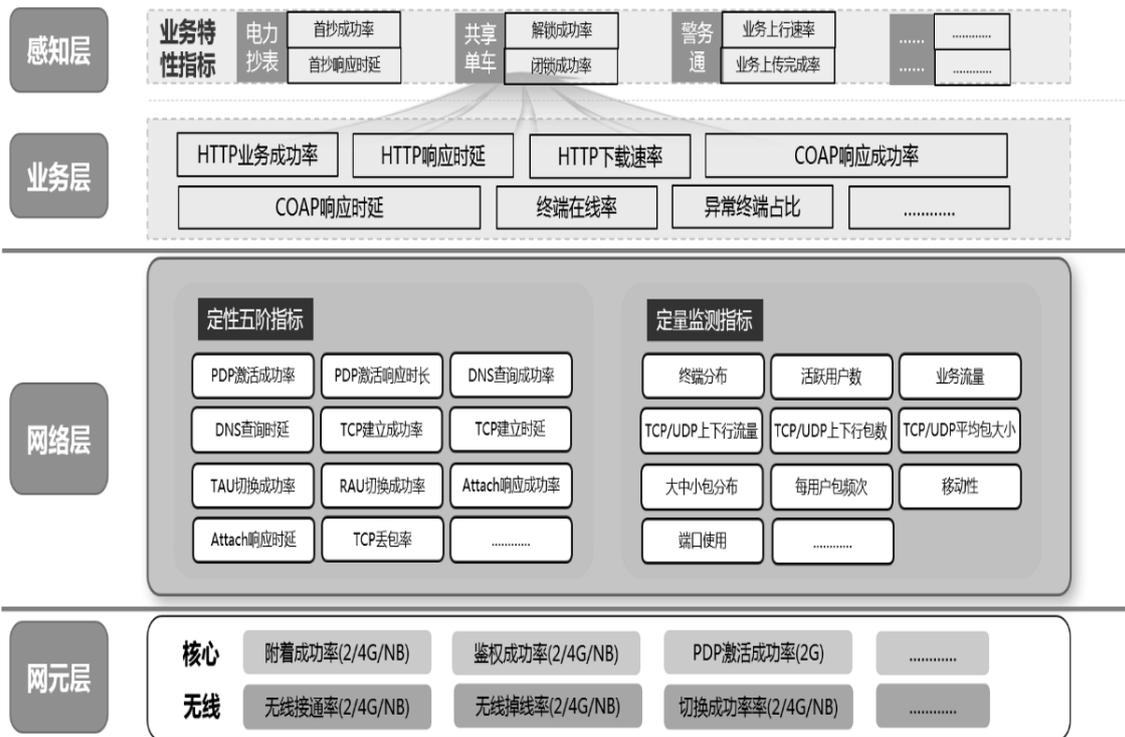


图1 “四层三维” 多层感知指标评估模型

整体指标保障模型构建流程应当包括三个环节：1) 制定通用指标集（面向网元层、网络层、业务层）。考虑在业务承载层级以下不同行业客户的业务流程基本是统一一致的，因此在网元层、网络层、业务层制定通用化、精简化的指标集，将各个层级最关键、必要的指标挑选出来作为保障依据。其中，网元层主要是设备层级的性能指标，包括核心网和无线侧两部分；网络层是传送网络（如

TCP、UDP）相关性能指标；业务层为网络协议中的业务承载层性能指标（HTTP、COAP等）。2) 面向行业制定分行业指标集（面向感知层）。在业务层之上再设计一层“感知层”指标集，以面向不同行业客户选取最能表征该业务特性的指标值，简言之，感知层是从物联网应用的业务流程、客户角度看到的感知指标，如电力抄表成功率、共享单车解闭锁成功率等。3) 构建四层三维指标模型和指

标保障等级要求，最终完成面向客户的多层感知保障评估手段指导建议。

基于以上构建的“四层三维”指标模型，可进一步构建面向行业客户的不同网络指标保障等级要求。指标层级越上层与业务相关性越强，其指标出现劣化时表征客户业务受影响的可能性越大，因此四层自上而下保障等级设置逐层降低：感知层保障等级最高为关键级、业务层指标为重要级、网络层指标为较重要级、网元层指标为一般级。

### 2.2 可识别的客户业务“定性分类”方法

针对运营商售卖物联网卡后对于存量的物联网客户业务缺乏掌控和业务特性识别的问题，基于大数据分析技术，创新制定五象限维度的“定性分类”评估模型，通过不同象限维度的评估结果来反映该行业客户的业务行为特点（如高移动性客户业

务、上报数据型客户业务等），从而进一步制定面向不同业务特性的保障方案。

从交互性、移动性、频次、流量、保密性五个维度出发，每个维度再分别定义高低区间将业务行为相似的物联网客户分类输出至同一特征象限内，提取重点关注感知指标，通过定量数据进行定性，从而实现分行业客户的“全覆盖”精准管理。

特性分类如下：

- ✓交互性：交互型、上报型、下载型。
- ✓移动性：固定、缓慢、高速。
- ✓频次：高频、低频。
- ✓流量：高流量、低流量。
- ✓保密性：高保密性、一般保密性。

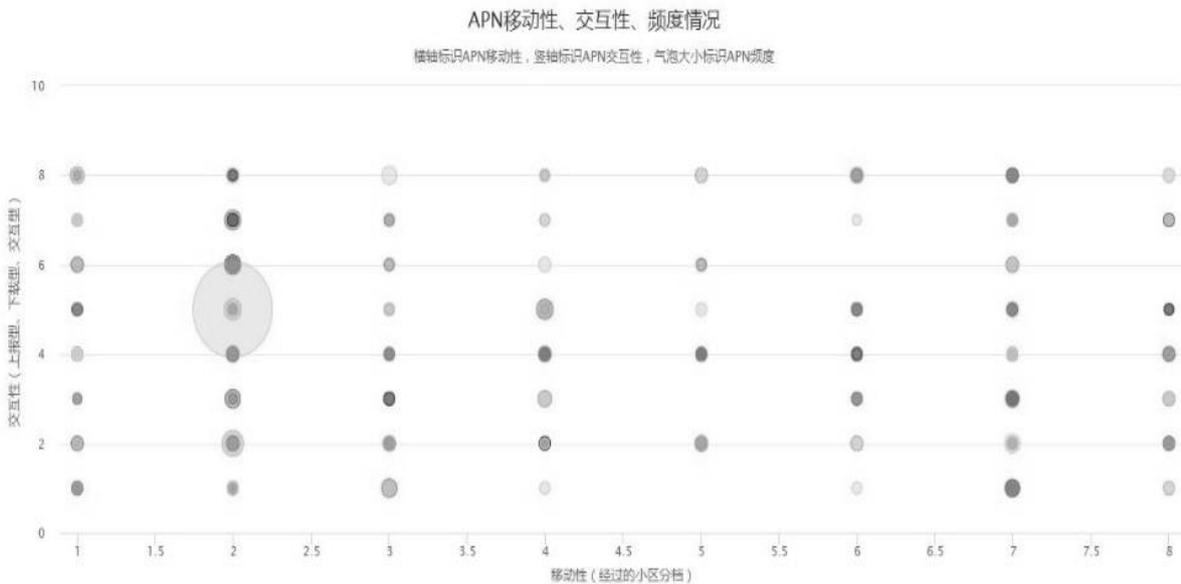


图 2 不同客户业务特性气泡图评估情况

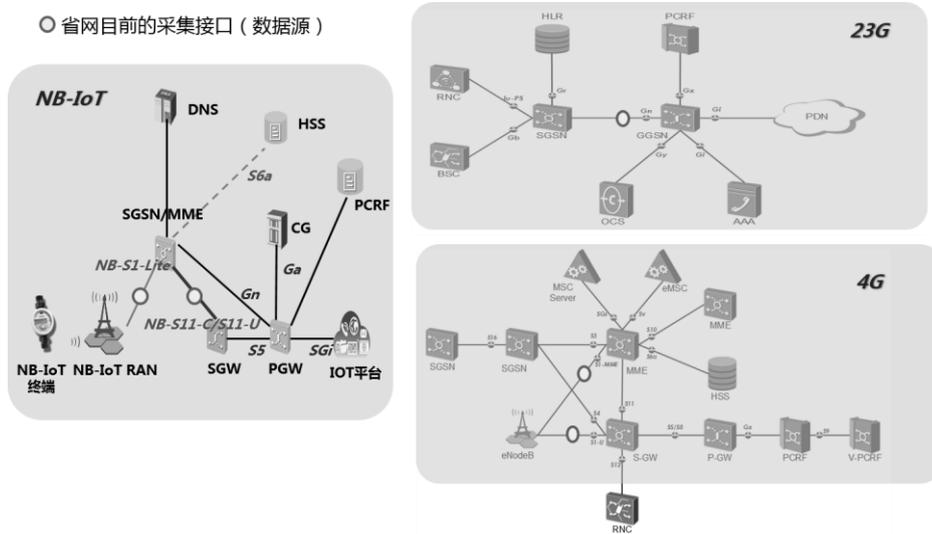


图 3 网络信令大数据采集组网接口

在本文接下来的内容中将基于以上所介绍的感知保障理论体系来研究及构建运维能力。

### 3 系统应用与实践

#### 3.1 应用场景

本论文的研究主要针对的是基于网络大数据的应用场景。下图为物联网大数据分析基础的信令采集网络架构及相关接口。2G 制式物联网分析主要采集 Gb、Gn 网络接口数据；4G 制式物联网分析主要采集 S1-MME、S1-U 等网络接口数据；NB-IoT 制式物联网分析主要采集 S1-Lite、S11-C、S11-U 三个网络接口数据。本论文所提供的方法适用于广义物联网涵盖的 2G、4G、NB-IoT 三种网络制式下的全量物联网用户评估分析，以及较强的通用性和扩展性（也适用于 5G 后的物联网业务分析和保障），通过通用的大数据统计手段即可实现指标体系内各个关键指标的多维汇聚统计。

#### 3.2 现有的技术方案

目前，进行物联网业务的运维支撑方法主要有两种：（一）基于测试人员现场测试抓包联合设备上指标人工分析的方式；（二）在客户侧平台及物联网卡终端上部署软件采集功能，获取客户及终端回传上报信息进行监测的方式。

传统的运维模式存在明显的弊端：

1) 依赖专业人员现场拨测抓包和分析，费时费力；

2) 设备侧网管 OMC 的指标反映的是某层级网络设备的质量，而不是面向业务层端到端的感知反映，易出现网管指标正常、但客户反馈业务异常的情况，同时设备侧指标是无法细分客户业务的；

3) 现网网络运维人员以专业进行区分，往往只关注分析本专业内的问题，技术人员很难从端到端角度（用户、终端、无线网小区、核心网、业务平台）出发快速定界定位问题点，依靠人力处理难度大；

4) 物联网业务种类多种多样，存在业务多样性、协议不断迭代更新等特性，很难再像传统网络用一个固定的指标门限标准去衡量所有业务质量的好坏；

5) 客户和终端侧信息上报能力需提前部署，要提前跟客户协商好监控机制并提前部署软件功能在硬件上，但我们知道物联网终端的制造和应用门槛较低，市面上大部分的终端是都不具备监控能力的，这种方案只适用于部分特定客户，无法实现全量物联网客户的通用保障能力。

#### 3.3 细分客户的全制式应用保障能力

基于理论体系和大数据智能识别技术，快速匹配现网全量物联网卡对应客户名称，保障粒度由面向 APN 专网维度进一步细化至面向客户维度，完成涵盖 2G/4G/NB-IoT 全制式物联网的细分客户视图的构建，充分支撑政企客户保障工作。

应用能力上实现了“三横三纵”的物联网行业

全景视图，横向上包括 2G、4G、NB-IoT 三张物联网网络，纵向上自上而下包括行业、APN 专网、企业客户三级钻取。目前实现业务自动监测的客户已超过 2000 家，监测能力包括业务规模展示、端到端感知指标评估、业务异常及问题自动定界、业务

特性评估、地市/小区/客户维度呈现、特定行业分析等，填补了我省物联网业务保障无法细分到具体客户以及存量客户无法管控的痛点，提升 SLA 保障能力。



图 4 2/4G 物联网应用保障

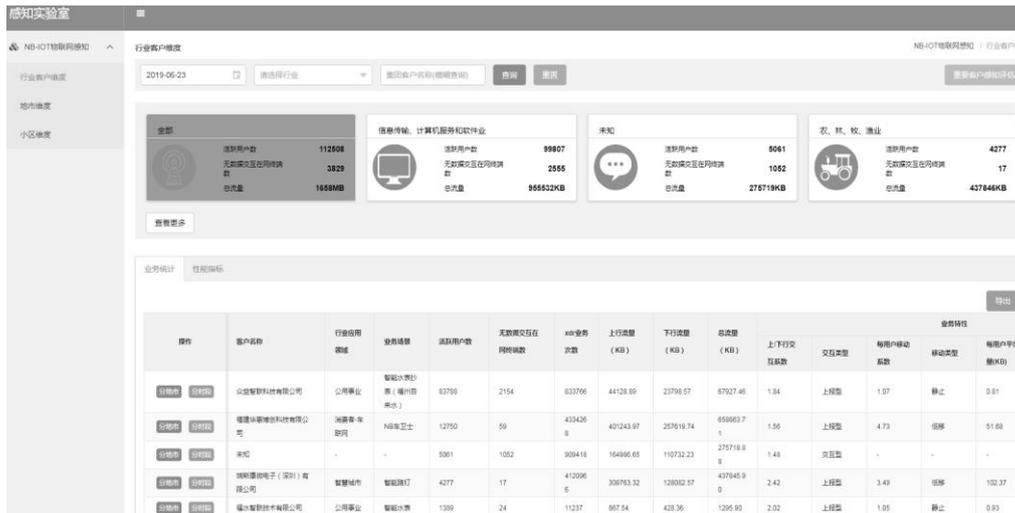


图 5 NB-IoT 物联网应用保障

### 3.4 基于人工智能的客户感知异常自动监测及问题定界能力

传统人网的异常监测和问题定界是通过固定门限比对发现劣化，而在物网中由于业务差异性和短期随机波动性（但长期又具备周期规律），不能再通过单纯的数值或者业务间比较进行判断，更多是要通过客户业务当前值和自身日均趋势、周均趋势、月均趋势、预测值进行比较，看波动情况来判

断感知异常和定界。基于此，创新采用时间序列预测方法进行客户感知异常监测（提升问题发现精准度），并通过样本空间聚类分析、与人网数据关联分析实现问题自动定界、定位（提升问题处理智能化）。

#### （一）异常事件类型

针对物联网各个行业客户，根据不同行业特征，由传统的统一告警规则向差异化、适配化的动

态预警规则转变，提升异常发现准确性。监测的异常事件类型包括但不限于用户数异常、流量异常、激活次数异常、附着次数异常、激活成功率异常、附着成功率异常等。

(二) 异常动态基线预测

采用时间序列预测模型来预测物联网中每一个客户专网业务的异常基线和阈值门限。基于历史数据（包括但不限于最近半年数据）及发现的噪声点（无效波动数据，需予以剔除）和离群点（业务异常数据），输出各客户专网质差规则模型。

时间序列预测过程采用季节 ARIMA 模型训练获取动态预测基线与阈值，大体过程包括：

- ✓模型建立，通过自相关函数来确定模型  $ARIMA(p, d, q) \times (P, D, Q)_s$  中三个主要参数的值，周期性可设置为三个月或半年；
- ✓系数估计，采用极大似然估计方法计算模型其余系数  $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$  等；
- ✓学习预测，导入历史季度统计数据作为训练集（同时先进行数据预处理滤除白噪声干扰），为保证精度采用一步预测方式，并假设预测误差符合

正态分布；

✓置信区间及阈值计算，利用预测值可以计算指标实际值  $X_n$  在置信度  $1-\alpha$  下的置信区间（考虑偶时波动置信度可设置为 80%）。

(三) 异常自动监测及问题自动定界

问题自动定界大体过程包括：

- ✓利用通过模型训练构建好的动态客户专网质差规则模型对物联网客户专网进行实时质量监测，并根据动态预测值自动触发客户专网异常自动定界流程；
- ✓首先通过自身业务波动情况判断是否是业务侧自身问题引起；
- ✓其次与大网指标汇聚对比（核心网物网与人网共享，可关联判定），确定是否是 APN 专网及客户自身问题；
- ✓再通过区域对比、聚类交叉对比（小区/终端/核心网）、失败原因值分析，定界问题原因到用户侧（终端）、无线侧、核心侧、平台侧四个维度。

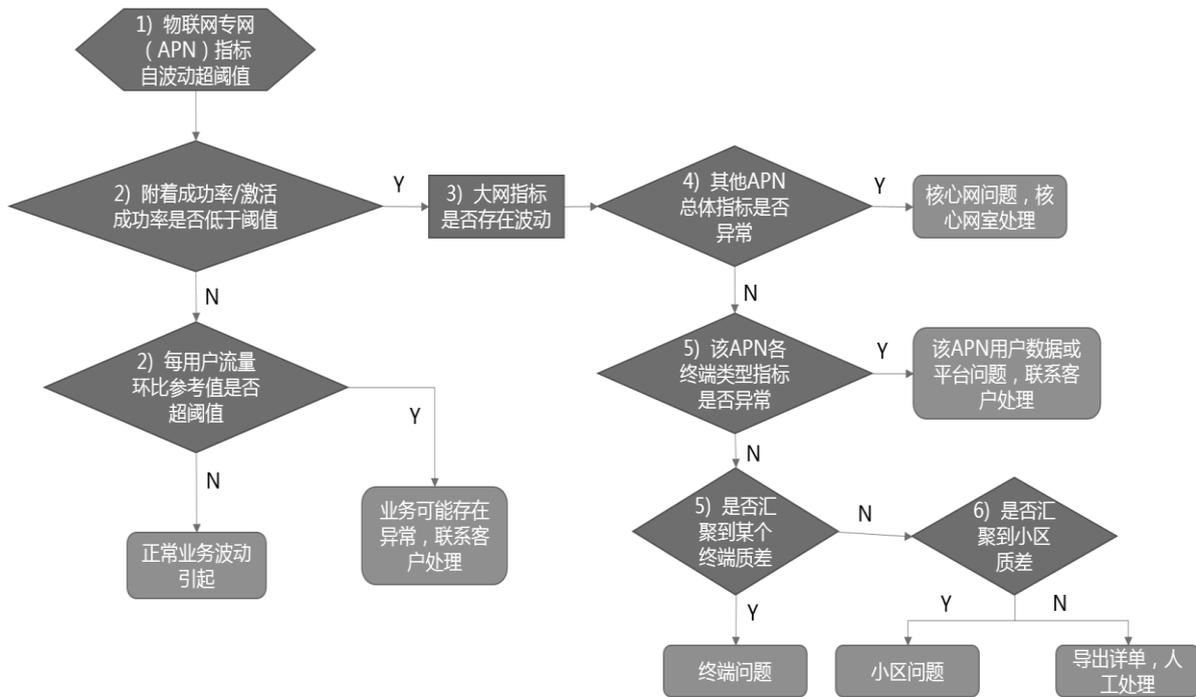


图 6 问题自动定界流程

### 3.5 系统应用情况

本研究应用目前已在行业内实现了落地应用和广泛推广，对于物联网行业主动运维有重要的支撑作用，尤其是对于客户业务异常自动监测和定位方面，目前系统月均发现行业专网异常 57 起，问

题发现准确率达到 78.94%以上，较传统方法提升约 45%，平均故障定位处理时长也由过去的约 12 个小时大大缩短至仅需 5 分钟即可由系统自动呈现分析结果，提升了在行业内的业务领先度。

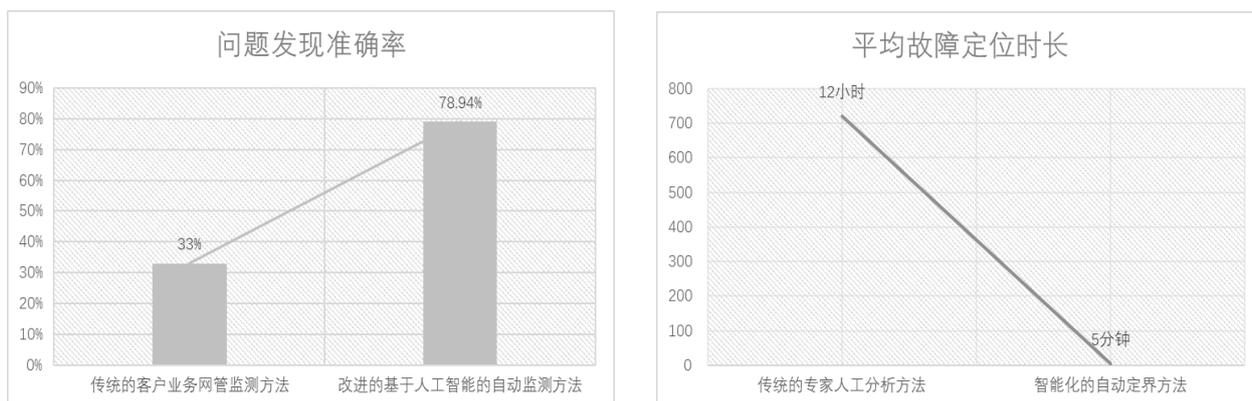


图 7 客户问题发现及定位提升情况

## 4 结束语

相较于物联网连接数的快速飞涨，目前行业内对于物联网卡的运维支撑能力普遍滞后于业务发展水平，管理水平迟迟无法得到相应提升。本研究基于网络大数据，研究不同物联网制式、不同行业、不同客户的业务特点，创新性研究完成可复制可扩展的物联网面向行业多层感知保障评估模型、可管理可识别的物联网客户业务“定性分类”方法、基于人工智能 AI 模型的物联网客户感知异常自动监测及问题定界方法、全覆盖细分客户的全制式应用保障能力等成果，并通过 DevOps 模式实现应用系统的研发落地，填补了行业内面向物联网业务端到端保障能力的空白，在缩短故障处理时长、提升网络质量、减少人工运维成本等方面发挥了重要作用，提升了客户满意度。该研究提炼出的方法体系、相关算法以及优秀经验在行业内具备重要的推广借鉴价值。

## 参考文献：

- [1]陈俊杰. 一种基于网络大数据多维变换及自波动实现物联网业务质差自动监测及定界的方法：中国，201910324640.0. 2019-04-22.
- [2]罗卫鸿. 一种利用大数据评估物联网业务行为方法与装置：中国，201910310155.8. 2019-04-17.
- [3]丁飞着. 物联网开放平台. 北京：电子工业出版社. 2018.
- [4]江林华着. 5G 物联网及 NB-IoT 技术详解. 北京：电子工业出版社. 2018.
- [5]黄宇红，杨光，肖善鹏，曹蕾，李新着. NB-IoT 物联网技术解析与案例详解. 北京：机械工业出版社. 2018.
- [6]闫成印. 物联网带动大数据发展. 互联网天地. 2012，11.
- [7]吴小芳. 物联网与大数据的新思考. 通讯世界. 2017，01.

# 边缘计算与蜂窝车用无线通信技术融合应用

付道繁

**摘要:** 众所周知, 蜂窝车用无线通信技术 (C-V2X) 的应用具有低时延和高可靠的要求。要做到这两点, 必须与边缘计算相融合。本文针对边缘计算与蜂窝车用无线通信技术融合时可能出现的“单车与 MEC 交互”、“单车与 MEC 及路侧智能设施交互”、“多车与 MEC 协同交互”、“多车与 MEC 及路侧智能设施协同交互”四大类场景进行分析, 对实现各类场景功能所需要的技术能力要求进行了阐述。对边缘计算与蜂窝车用无线通信技术融合技术的研究具有一定的借鉴作用。

**关键词:** 边缘计算(MEC)、蜂窝车用无线通信技术 (C-V2X)、云计算、Uu 接口、PC5 接口、应用场景、低时延高性能、路侧智能设施

## 引言

多接入边缘计算 (Multi-Access Edge Computing, MEC) 概念最初于2013年出现, 起初被称为移动边缘计算 (Mobile Edge Computing), 将云计算平台从移动核心网络内部迁移到移动接入网边缘。2016年后, MEC内涵正式扩展为多接入边缘计算, 将应用场景从移动蜂窝网络进一步延伸至其他接入网络。C-V2X是基于蜂窝 (Cellular) 通信演进形成的车用无线通信技术 (Vehicle to Everything, V2X) 技术, 可提供Uu接口 (蜂窝通信接口) 和PC5接口 (直连通信接口)。MEC与C-V2X融合的理念是将C-V2X业务部署在MEC平台上, 借助Uu接口或PC5接口支持实现“人-车-路-云”协同交互, 可以降低端到端数据传输时延, 缓解终端或路侧智能设施的计算与存储压力, 减少海量数据回传造成的网络负荷, 提供具备本地特色的高质量服务。

### 一、MEC 与 C-V2X 融合的特性

不同的C-V2X应用场景从时延、带宽和计算能力等方面对网络环境提出了各类不同要求。例如, 在3GPP对eV2X (增强型V2X) 场景的需求分析中

(TR38.913), 时延要求最严格的自动驾驶和传感器共享场景, 对时延的要求最低达到了3ms; 带宽需求最大的传感器共享场景, 对带宽的要求最高达到了1Gbps; 全局路况分析场景对服务平台的计算能力提出要求, 要能快速对视频、雷达信号等感知内容进行精准分析和处理。MEC与C-V2X融合的场景视图如图1所示。

MEC与C-V2X融合可以对C-V2X端到端通信能力提供增强, 也可以对C-V2X应用场景提供辅助计算、数据存储等支持。MEC与C-V2X融合具有网络信息开放、低时延高性能、本地服务等特性。不同的C-V2X场景可能需要其中某一个或数个方面的能力; 同一个C-V2X场景也可能通过MEC与不同通信技术的组合来实现。

**网络信息开放:** 在网络管理允许的情况下, MEC能够承载网络信息开放功能, 通过标准化接口开放边缘网络的实时状态信息, 包括无线网络信息、位置信息、用户信息等。例如, 在C-V2X的应用中, 对高精度定位的需求较大, 利用MEC的位置信息开放可以辅助车载终端实现快速定位, 有效提高定位效率和精度。另外, 利用MEC开放的无线网络信息也可以对TCP传输的控制方法进行优化, 有

## 作者简介:

付道繁: 毕业于武汉交通科技大学, 高级工程师, 硕士学位, 福建省邮电规划设计有限公司, 主要研究方向为无线通信网络规划、网络优化、网络设计, 无线基站配套优化及创新。

效规避高清视频等多媒体数据传输过程中发生的网络拥塞。

**低时延高性能:** MEC运行在靠近用户终端的网络边缘位置,能够显著降低C-V2X业务的传输时延、提供强大的计算与存储能力、改善用户体验。

例如,驾驶安全类C-V2X业务对通信时延提出了苛刻的要求,将此类业务部署在MEC上,相比部署在中心云上可以显著降低业务响应时间。另外,MEC也可以为车载/路侧/行人终端提供在线辅助计算功能,实现快速的业务处理与反馈。

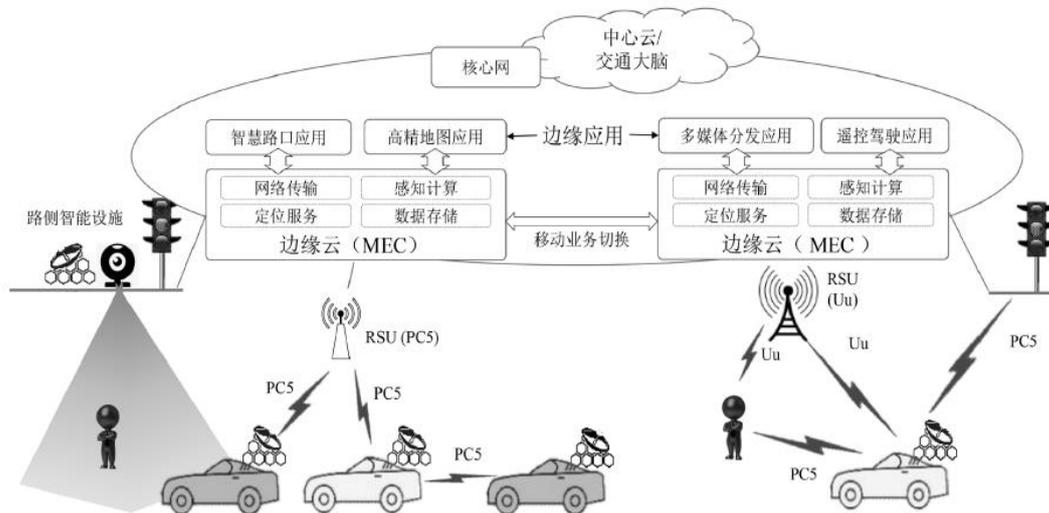


图 1: MEC 与 C-V2X 融合场景视图

**本地服务:** MEC具备本地属性,可以提供区域化、个性化的本地服务,同时降低回传网络负载压力;也可以将接入MEC的本地资源与网络其它部分隔离,将敏感信息或隐私数据控制在区域内部。例如,在智慧交叉路口场景中,MEC可以融合和分析多个路侧及车载传感器采集的数据,并对大量数据提供实时、精确和可靠的本地计算与分析。

## 二、MEC 与 C-V2X 融合的场景分类

MEC与C-V2X融合场景,可按照“路侧协同”与“车辆协同”的程度进行分类。无需路侧协同的C-V2X应用可以直接通过MEC平台为车辆或行人提供低时延、高性能服务;当路侧部署了能接入MEC平台的路侧雷达、摄像头、智能红绿灯、智能化标志标识等智能设施时,相应的C-V2X应用可以借助路侧感知或采集的数据为车辆或行人提供更全面的信息服务。在没有车辆协同时,单个车辆可以直接从MEC平台上部署的相应C-V2X应用获取服务;在多个车辆同时接入MEC平台时,相应的C-V2X应用可以基于多个车辆的状态信息,提供智能协同的信息服务。

依据是否需要路侧协同以及车辆协同,可将MEC与C-V2X融合场景分为“单车与MEC交互”“单车与MEC及路侧智能设施交互”“多车与MEC协同交互”“多车与MEC及路侧智能设施协同交互”四大类,如图2所示。对于每一大类场景,对其中的具体应用场景进行描述,并在场景小结中对各个应用场景中MEC的能力需求进行归纳总结。

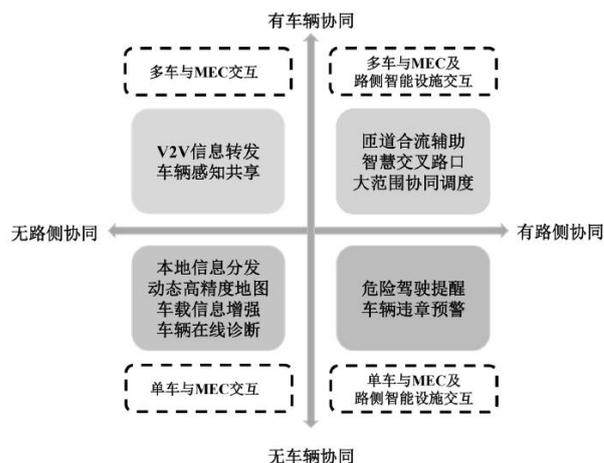


图 2: MEC 与 C-V2X 融合场景分类

(一)单车与MEC交互场景

### 1. 场景概述

在C-V2X应用中,本地信息分发、动态高精度地图、车载信息增强、车辆在线诊断等功能通过单车与MEC进行交互即可实现。应用场景如图3所示:

### 2. 本地信息分发

MEC作为内容分发的边缘节点,实现在线分发和流量卸载的功能。可为车辆提供音视频等多媒体休闲娱乐信息服务、区域性商旅餐饮等信息服务,或提供软件/固件升级等服务。

在此类场景中,MEC的部署位置可根据接入用户数和服务流量灵活选择,通常可选择部署在RSU或基站的汇聚节点后,为相对较大的范围提供服务。车辆无需装配智能传感器等设备,在网络部署了MEC及相应的功能服务后,具备对应通信模组的车辆可以直接使用此类服务。

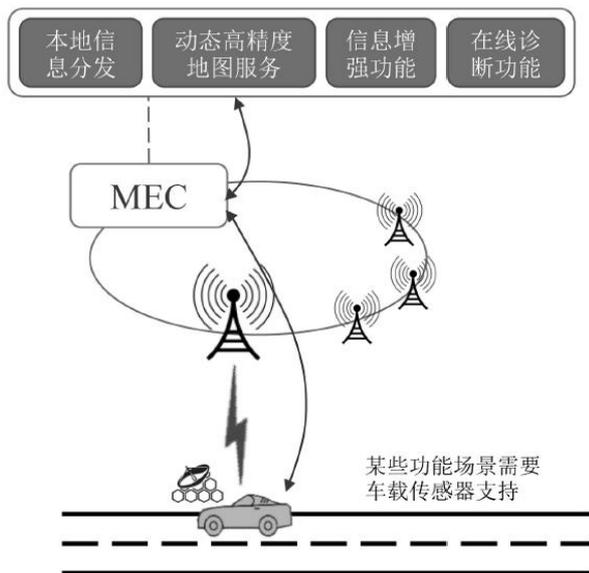


图 3: 单车与 MEC 交互场景示意图

### 3. 动态高精度地图

MEC可以存储动态高精度地图车辆分发高精度地图信息,减少时延并降低对核心网传输带宽的压力。在应用中,车辆向MEC发送自身具体位置以及目标地理区域信息,部署在MEC的地图服务提取相应区域的高精度地图信息发送给车辆。当车辆传感器检测到现实路况与高精度地图存在偏差时,可将自身传感信息上传至MEC用于对地图进行更新,随后MEC的地图服务可选择将更新后的高精度地

图回传至中心云平台。

在此类场景中,MEC提供存储高精度地图能力、用于动态地图更新的计算能力,同时提供与中心云的交互能力。在网络部署了MEC及相应的功能服务后,车辆可利用对应的通信模组使用此类应用服务,在车辆具备智能传感器时,可以通过上传自身传感信息对地图进行更新。

### 4. 车载信息增强

MEC提供车载信息增强功能,车辆可将车载传感设备感知的视频/雷达信号等上传至MEC,MEC通过车载信息增强功能提供的视频分析、感知融合、AR合成等多种应用实现信息增强,并将结果下发至车辆进行直观显示。

在此类场景中,MEC提供用于视频分析、感知融合、AR合成等多个应用的计算能力,同时提供低时延、大带宽的通信能力。在网络部署了MEC及相应的功能服务后,车辆需装配智能传感器及显示设备,并利用对应的通信模组实现数据上传和下载。

### 5. 车辆在线诊断

MEC可支持自动驾驶在线诊断功能。当车辆处于自动驾驶状态时,可将其状态、决策等信息上传至MEC,利用在线诊断功能对实时数据样本进行监控分析,用于试验、测试、评估或应对紧急情况处理。同时MEC可定期将样本及诊断结果汇总压缩后回传中心云平台。

在此场景中,MEC提供支持实时处理大量数据的计算能力、数据存储能力和低时延的通信能力,同时提供与中心云的交互能力。在网络部署了MEC及相应的功能服务后,车辆需将自身传感、决策、控制信息通过对应的通信模组上传至MEC。

### 6. 场景小结

本文对每一大类场景中具体应用场景对MEC的能力要求按照“带宽”、“时延”、“计算”、“存储”、“边-云协同”、“用户位置”、“用户ID”、“网络状态”等8个子项进行了分类统计。统计结果定性的以星级进行描述,★代表1星,☆代表半星,每个要求子项的定义为:

● 带宽: ★代表10Mbps以下,★★代表10~100Mbps,★★★代表100Mbps以上;

● 时延：★ 代表100ms以上，★★ 代表20~100ms，★★★代表20ms以下；

● 计算：★代表支持信号控制级计算能力，★★代表支持图像处理级计算能力，★★★代表需要支持智能决策、视频编解码、大数据分析类计算能力；

● 存储：★代表TB级存储或支持内存数据库，★★代表PB级或支持结构性、关系型数据库，★★★代表EB级或支持海量非结构性数据库；

● 边-云协同/用户位置/用户ID/网络状态：从零星至★★★★分别代表了统计意义上对该要求的需求程度，零星表示完全不需要，★★★★表示完全必需。

在单车与MEC交互场景中，车辆与部署在MEC上的服务进行交互，无需路侧智能设施及其他车辆参与。在此类场景中，各具体应用场景对MEC的能力要求如表1。

表 1 单车与 MEC 交互场景对 MEC 的能力要求

场景	带宽	时延	计算	存储	边-云协调	用户位置	用户身份	网络状态
本地信息分发	★☆	★☆	★☆	★☆	★★	★★★★	★★	★★★★
动态高精度地图	★★	★★	★★	★☆	★★★★	★★★★	★★★★	★★★★
车辆信息增强	★★☆	★★☆	★★☆	★☆	★★	★★★★	★★	★★★★
车辆在线诊断	★☆	★★	★★	★☆	★★★★	★★	★★★★	★★

(二)单车与MEC及路侧智能设施交互场景

1. 场景概述

在C-V2X应用中，危险驾驶提醒、车辆违章提醒等功能可通过单车、路侧智能设施及MEC进行交互实现。应用场景如图4所示：

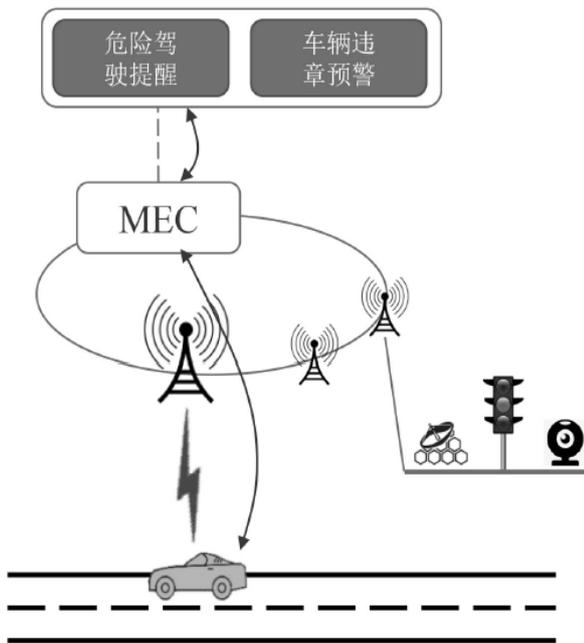


图 4：单车与 MEC 及路侧智能设施交互场景示意图

2.危险驾驶提醒

MEC部署了危险驾驶提醒功能后，可结合路侧智能设施，通过车牌识别等功能分析车辆进入高速的时间，定期为车辆提供疲劳驾驶提醒；或在夜间通过视频分析，提醒车辆正确使用灯光；或在感知到突发车辆事故时，提醒附近车辆谨慎驾驶；或在天气传感器感知到高温“镜面效应”、雨雪大雾等恶劣天气时，提醒车辆安全驾驶。此外，MEC可阶段性地将危险驾驶信息汇总后上传中心云平台。

在此场景中，路侧的各类传感设施实时将感知信息上传至MEC，MEC主要提供用于视频分析、感知融合、事件与消息整合等计算能力，保证传感信息传输的通信带宽，以及与中心云平台进行交互的能力，同时也应提供对跨基站、跨MEC业务连续性的必要支持。车辆无需装配智能传感器等设备，在网络部署了MEC及相应的功能服务后，具备对应通信模组的车辆可以直接使用此类服务。

3.车辆违章预警

MEC部署了车辆违章预警功能后，可结合路侧智能设施，通过视频识别、雷达信号分析等应用实现车牌识别，并对超速、逆行、长期占据应急车道等违章行为判定，并将违章预警信息下发对应车

辆，提醒车辆遵守交通规则行驶。此外，MEC可阶段性将违章信息汇总后上传中心云平台。

在此场景中，路侧的摄像头、雷达等智能设施实时将感知信息上传至MEC，MEC主要提供支持视频分析、信号处理、违章判定功能等计算能力，保证传感信息传输的通信带宽，以及与中心云平台进行交互的能力。在网络部署了MEC及相应的功能

服务后，具备对应通信模组的车辆可以直接使用此类服务。

4.场景小结

在单车与MEC及路侧智能设施交互的场景中，车辆、路侧智能设施与部署在MEC上的服务进行交互，无需其他车辆参与。典型场景对MEC的能力要求如表2。

表 2 单车与 MEC 及路侧智能设施交互场景对 MEC 能力要求

场景	带宽	时延	计算	存储	边-云协调	用户位置	用户身份	网络状态
危险驾驶提醒	★★	★★	★★☆	★☆☆	★★★	★★★	★★	★★
车辆违章预警	★☆☆	★	★★	★☆☆	★★★	★★★	★★★	★★

(三)多车与MEC协同交互场景

1.场景概述

在C-V2X应用中，V2V信息转发、车辆感知共享等功能可通过多车与MEC协同交互实现。应用场景如图5所示：

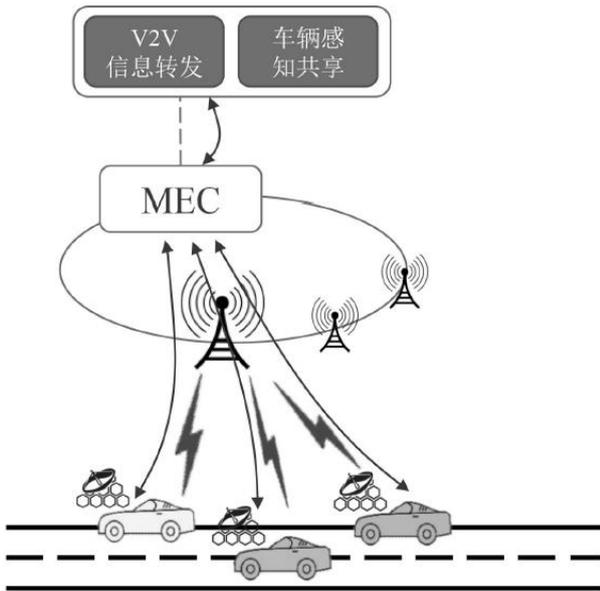


图 5：多车与 MEC 协同交互场景示意图

2.V2V信息转发

MEC部署了V2X信息转发功能后，可作为桥接节点，以V2N2V的方式实现车与车之间的通信，实时交流车辆位置、速度、方向及刹车、开启双闪等

车辆状态信息，提升道路安全。

在此场景中，车辆无需装备PC5通信模组，可通过Uu接口将车辆状态信息发送至MEC，并接收MEC下发的其他车辆信息。MEC应提供超低时延的信息传输功能。

3.车辆感知共享

MEC部署车辆感知共享功能，可将具备环境感知车辆的感知结果转发至周围其他车辆，用于扩展其他车辆的感知范围。也可以用于Seethrough场景，及当前车遮挡后车视野时，前车对前方路况进行视频监控并将视频实时传输至MEC，MEC的车辆感知共享功能对收到的视频进行实时转发至后方车辆，便于后方车辆利用视频扩展视野，有效解决汽车行驶中的盲区问题，提高车辆的驾驶安全。

在此场景中，MEC提供传感信息、视频流等信息的转发功能，需要保证低时延、大带宽的通信能力。在See-Through 应用场景中，需要对跨基站、跨MEC的业务连续性提供必要支持。配置了车载传感器/摄像头和C-V2X通信模组的车辆可向其他车辆共享自身传感信息，仅配置通信模组的车辆可接收其他车辆共享的传感信息。

4.场景小结

在多车与MEC协同交互场景中，多个车辆与部署在MEC上的服务进行交互，无需路侧智能设施参与。典型场景对MEC的能力要求如表3。

表 3 多车与 MEC 协同交互场景对 MEC 能力要求

场景	带宽	时延	计算	存储	边-云协调	用户位置	用户身份	网络状态
V2V信息转发	★★	★★☆	★★	★	☆	★★★	★	★★
车辆感知共享	★★★	★★☆	★★	★	☆	★★★	★	★★☆

(四)多车与MEC及路侧智能设施协同交互场景

1.场景概述

在C-V2X应用中，匝道合流辅助、智慧交叉路口、大范围协同调度等功能可通过多车、路侧智能设施及MEC进行协同交互实现。应用场景如图6所示：

2.匝道合流辅助

MEC部署匝道合流辅助功能，在匝道合流汇入点部署监测装置（如摄像头）对主路车辆和匝道车辆同时进行监测，并将监测信息实时传输到MEC，同时相关车辆也可以将车辆状态信息发送至MEC，MEC的匝道合流辅助功能利用视频分析、信息综合、路况预测等应用功能对车、人、障碍物等的位置、速度、方向角等进行分析和预测，并将合流点动态环境分析结果实时发送相关车辆，提升车辆对于周边环境的感知能力，减少交通事故，提升交通效率。

在此场景中，MEC提供用于监测信息分析及环境动态预测的计算能力，以及低时延、大带宽的通信能力。车辆可通过Uu通信模式与MEC直接交互，或通过PC5通信模式经RSU与MEC进行交互。

3.智慧交叉路口

MEC部署智能交叉路口功能，交叉路口处的路侧智能传感器（如摄像头、雷达等）将路口处探测的信息发送至MEC，同时相关车辆也可以将车辆状态信息发送至MEC。MEC的智能交叉路口功能通过信号处理、视频识别、信息综合等应用功能对交叉路口周边内的车辆、行人等位置、速度和方向角等进行分析和预测，并将分析结果实时发送至相关车辆，综合提升车辆通过交叉路口的安全性和舒适性；同时MEC的可以通过收集和分析相关信息，对交通信号灯各相位配时参数进行优化，提高交叉路口的通行效率。

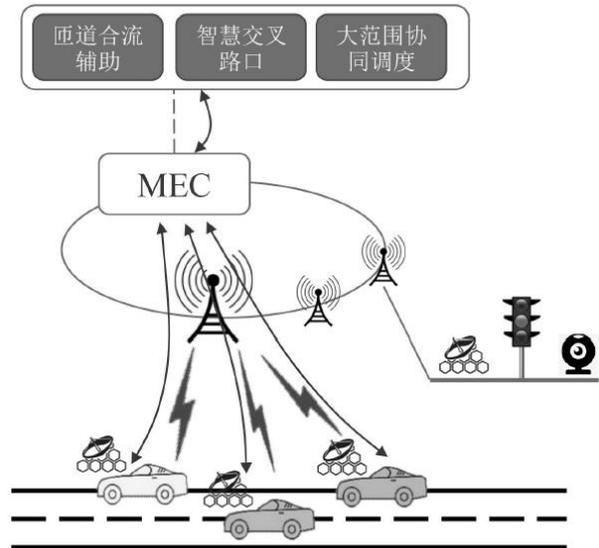


图 6：多车与 MEC 及路侧智能设施协同交互场景示意图

在此场景中，MEC提供用于路侧感知信息分析及路况动态预测的计算能力，以及低时延、大带宽的通信能力。车辆可通过Uu通信模式与MEC直接交互，或通过PC5通信模式经RSU与MEC进行交互。

4.大范围协同调度

MEC部署大范围协同调度功能，可在重点路段、大型收费口处借助视频传感信息，通过MEC进行路况分析和统一调度，实现一定范围内大规模车辆协同、车辆编队行驶等功能。或在城市级导航场景中，MEC根据区域车辆密度、道路拥堵严重程度、拥堵节点位置以及车辆目标位置等信息，利用路径优化的算法对车辆开展导航调度，避免拥堵进一步恶化。

在此场景中，MEC收集多种传感信息及大量车辆状态信息，提供海量数据处理、综合路径规划等计算能力，提供各类综合信息的存储能力，并提供与中心云平台进行交互的能力。此外，在大范围导

航规划应用中，MEC还应提供对跨基站、跨MEC业务连续性的必要支持。MEC的部署位置可根据接入用户数和服务范围灵活选择。在网络部署了MEC及相应的功能服务后，具备对应通信模组的车辆可以直接使用此类服务。

### 5.场景小结

在多车与MEC及路侧智能设施交互场景中，多个车辆、路侧智能设施与部署在MEC上的服务进行交互。典型场景对MEC的能力要求如表4。

表 4 多车与 MEC 及路侧智能设施协同交互场景对 MEC 能力要求

场景	带宽	时延	计算	存储	边-云协调	用户位置	用户身份	网络状态
匝道合流辅助	★★	★★	★★	★★	★☆	★★★★	★☆	★★
智慧交叉路口	★★☆	★★	★★☆	★★	★☆	★★★★	★	★★
大范围协同调度	★★☆	★★	★★★★	★★☆	★★★★	★★★★	★★	★★

### 三、总结与展望

本文依据是否需要路侧协同以及车辆协同，将MEC与C-V2X融合场景分为“单车与MEC交互”“单车与MEC及路侧智能设施交互”“多车与MEC协同交互”“多车与MEC及路侧智能设施协同交互”四大类场景。并针对各场景在MEC能力方面提出了要求。但这些工作离真生实现车辆完全自动驾驶还存在相当的距离。

未来，还要持续推动MEC与C-V2X融合发展，需要在做好以下三方面工作：（1）推动从时延、带宽、计算能力、存储资源、开放与协同能力、移动性支持等指标对MEC能力进行简单参考性分级，以加强应用场景需求与MEC网络或硬件能力

的对应与匹配，推进MEC与C-V2X融合场景分步应用与发展。（2）推动MEC与C-V2X融合的标准化工作，规范数据接口与服务流程，积极联合产业各方主体共同开展测试床建设，为MEC与C-V2X融合的场景功能、平台性能、应用部署等提供测试环境，尽快开展解决方案的验证性测试，并利用测试结果对未来技术与产业的发展提供支撑。（3）持续开展深入研究，从技术与标准化方案、产业现状与趋势、商业模式等角度进一步深入探讨MEC与C-V2X融合的发展路线，并进行总结和成果输出。

# 以智慧社区为抓手，推动智慧城市体系建设

段建祥

**摘要：**智慧社区是智慧城市的重要组成部分，抓好智慧社区建设对于推动和实现智慧城市有重要的现实意义。本文对当前我国智慧社区的现状进行了初步分析，指出我国智慧社区尚处于初级阶段，缺乏统一规划，人才缺乏，在民生服务水平、社区管理水平以及社区自治能力等方面还有很大的提升空间，并从发挥政府职能部门主导作用、发挥龙头企业引领作用、突出民生服务、加快新科技手段应用以及加快智慧社区人才培养建立社区志愿者服务长效机制等五个方面对加快推动智慧社区建设提出了设想。

**关键词：**智慧社区 智慧城市

社区是城镇的基本单元，智能社区是智能城市的最后一公里，承载了智慧城市建设中绝大多数与民生密切相关内容，是智慧城市最基础的组成部分。可以说，智慧社区建设的好坏直接关系着智慧城市建设的成败。近些年来，在国家和各省市相关政策的不断引导和推动下，智慧社区建设取得了一定的发展，以电商配送、智能抄表、安保监控等为主要形式的社区信息化得到了广泛应用，在服务民生方面发挥了较好的作用，并在一定程度上提升了社区的管理水平。但我们仍要看到，当前我国智慧社区仍处发展的初级阶段，与智慧社区所要实现的互联网与社区治理和服务体系的深度融合的目标有较大差距，也达不到智慧社区作为智慧城市体系关键一环的基本要求。智慧社区是智慧城市的基础，建不好智慧社区，智慧城市建设如同无本之根，无从落地；抓好智慧社区建设对于推动和实现智慧城市有重要的现实意义。

## 1 智能社区的基本形态

智慧社区是在充分利用物联网、云计算、移动互联网等新一代信息技术的集成应用，通过线上、线下的融合打通，将购物、教育、医疗、社交、金

融、政务等服务将延伸到社区和家庭，并实现党建、综治、物业等方面的能力提升，从而为社区居民提供一个安全、舒适、便利的现代化、智慧化生活环境，形成一种新的基于信息化、智能化管理与服务，并可持续运营的社区形态。



## 2 当前智慧社区发展现状分析

总体看来，当前我国智慧社区发展尚处在初级水平。受统筹规划、资金投入等因素制约，智慧社区发展水平与应承担的角色要求还有不小的差距，主要体现在以下几方面：

### 2.1 智慧社区缺乏统一规划，体系化建设不足。

## 作者简介：

**段建祥：**教授级高级工程师，原中国电信福建公司总经理，福建师范大学、福州大学、福建农林大学客座教授，福建省互联网经济促进会会长，中国通信学会会员。享受国务院政府特殊津贴。

当前智慧社区普遍规划不足,存在仓促上线的现象,各应用系统各成体系,没有有效的进行整合,在使用上体验感较差,也为后续的升级迭代带来隐患。

2.2 智慧社区在社区民生服务水平、社区管理水平以及社区自治能力等方面还有很大的提升空间。

2.2.1 社区多元化服务尚显薄弱。受益于通信运营商通信基础建设、电商和物流的快速发展,安保监控已得到普遍应用,网上购物和配送也如火如荼开展,这在 2020 年春季新冠疫情防控中对保障民生发挥了重要的作用。此外,智能抄表和居家养老等也在一些小区得到了初步应用和开展。除了以上几个有限的相对成熟的应用外,在其他涉及社交、家政、教育、医疗、交通、文娱以及一站式便民服务方面做得还远远不够。以社交为例,现有社区邻里之间更多依靠的是老乡、同学、同事的“小圈子”等传统形态进行日常维系和交流,通过信息化手段关联住址、职业、履历甚至犯罪史等信息为社区社交进行信任背书,在此基础上,利用大数据以及人工智能手段,从性别、年龄、教育、爱好等角度自动进行识别、匹配、组织和发起的社区社交活动基本没有。

2.2.2 社区管理水平的提升未到达预期效果。目前,安保监控在有效降低人力成本、提升综治效率方面发挥了较好的作用。除此之外,尚未有其他应用能这么直接带动和体现社区管理水平的提升。相反的,我们试着看看身边的社区,智慧社区推动了这么多年,还有多少小区的物业费还是通过人工收取?有多少小区实现了物业费的电子收据和发票?有多少小区采用信息化的方式实现维修基金申请、审批、支用流程的公开、透明?有多少小区通过信息化的方式实现了“政务公开”特别是物业费使用情况的监督?这些仅是社区底层小区的最基本工作尚且如此,社区要管理更多的小区,涉及的层面和领域更加广泛和复杂,通过智慧社区建设实现社区管理能力的提升依然任重道远。

2.2.3 社区自治能力仍有待进一步提升。“数据孤岛”是制约社区自治能力提升的重要因素。一方面,社区工作涉及党建、社保、综治、安监、财政等多方面,对数据共享的需求迫切,但当前政务信

息“纵强横弱”的格局依然存在,无法有效满足社区对数据信息资源共享的需求。另一方面,社区数据信息采集的手段还比较落后,众多涉及安保、疫情的重要信息数据需要人工、重复不断的收集,且收集到的数据无法得到及时有效的整理、关联和应用;直白一点说,就是社区基层收集的数据信息没有有效的通道能够及时传导给政府,为政府所用。这在本次新冠疫情防控中得到了充分的体现。疫情初期,要靠社区人员对外来人员进行人工统计,导致疫情防疫工作一度比较被动。后续随着疫情的发展交通部门统计的出行数据、通信运营商基于用户手机信令的位置定位的数据、互联网企业通过 APP 调用的用户手机位置数据等得到了很好的利用,建立起人员移动轨迹的关系图谱,在疫情追踪溯源、路径传播、发展模型预测方面发挥了作用。大数据“纵向”的双向共享无法畅通,智慧政务在社区就无法有效落地,社区自治也就成了空话。

2.3 人才缺乏对智慧社区的发展造成了瓶颈。

智慧社区对复合型人才要求较高,当前社区传统行政管理工作方面的专才不少,但即懂社区管理又兼具信息化知识的人才较少,导致智慧社区推动过程中只能以被动接受厂商推出的方案为主,基本无法因地制宜进行系统性的规划,提出出适合本地社区的智慧社区方案。同时,社区具备信息化技术特长的人才较少,信息化系统的维护、故障处理等严重依赖厂商人员;社区工作人员整体文化素养不高,本身对智慧社区信息化项目的理解和掌握有限,在一定程度上影响了智能社区信息化项目的推广和使用。

### 3 推动智慧社区建设的几点构想

#### 3.1 要切实发挥政府职能部门的主导作用

智慧社区建设是一个系统的工程,涉及的领域、层面比较多,需要整合各方的利益,流程复杂繁琐,有必要进一步发挥政府职能部门主导作用,科学规划、协调监督、统筹推进,智慧社区建设才能落到实处。这中间要做好三方面的工作,一是要加强顶层设计,做好科学规划。重点是要根据不同区域经济发展水平、城镇化发展水平以及人口素质的差异,因地制宜的建立智慧社区分级标准体系,通过分级标准体系的建立,明确智慧社区组成要

素、实施场景及实施成效，为大面积的建设和推广奠定基础。二是要匹配有效政策，发挥正向激励作用。当前政府对各类科技企业、园区的配套奖励政策比较成熟，但针对具体领域具体项目的奖励还比较欠缺。完全可以拓展思路，在分级标准体系的基础上，对按要求完成智慧社区建设并满足分级标准的进行定向奖励，以此拉动平台提供商、房地产商、社区等多家智慧建设参与方的积极性，加快推动智慧社区建设的进程。厂商、房地产商、社区等进行定向奖励。三是要加强监督，推动执行。要将智慧社区建设与智慧城市建设同规划、同部署、同落实。通过加强监督和执行，推动智慧社区建设按计划、分阶段得到稳步部署和实施，避免出现高开低走的情况。

### 3.2 要发挥龙头企业的引领作用。

龙头企业自身的品牌优势、资金优势、技术优势以及面对主管部门时较强的协调能力决定了龙头企业在参与智慧社区建设时具有先天优势。龙头企业主要有三类，一类是头部互联网企业。他们本身资金雄厚，参与了多行业、多领域的资本投资，能有效整合更多的资源为我所用，同时这些互联网企业创新意识较强，在民生领域浸淫多年的他们能更深入的理解社区民生需求，能更准确的把握智慧社区服务民生方面的痛点和难点，他们的解决方案在实际接受度和实施成效方面将具有较大优势。一类是大型科技型公司，本身技术力量雄厚，多年技术沉淀、研发使他们对前沿技术的把握和发展趋势的理解更胜一筹。他们的解决方案无疑将是最全面的，也必将引领智慧社区的升级迭代。一类是头部房地产商，新建地产相对老旧小区无疑更适合进行智慧社区打造，而这恰恰是房地产商独一无二的优势。同时很多房地产商都有下属的物业管理公司，这无疑较大程度消减了很大一部分智慧社区建设所必然涉及的利益交错环节。当然还有物流企业，通过配送，物流企业已经沉淀了大量的接触数据，如能有效利用，在智慧社区建设方面也将具有不少优势。龙头企业的参与对智慧社区的建设具有举足轻重的作用，通过龙头企业的参与，全面部署，重点突破，加快智慧社区标杆的快速建立和复制，实现智慧社区更新迭代和可持续发展，避免出现因参

与建设的企业实力不济而出现频繁更换服务商和系统的尴尬局面。

### 3.3 要更加突出民生服务，加强生态圈建设

民生服务是智慧社区的重要内容，也是智慧社区可持续运营的关键。加强智慧社区民生服务，实质就是通过信息化手段实现流程再造。现有的线上下单，物流配送或者到店取货就是对传统购物流程的再造。在智慧社区建设的进程中，流程再造大有可为。比如小区公共维修基金的申请、审批、提用、使用，完全可以通过信息化的手段实现流程再造，实现全流程的监督。小区电梯使用年限、运行情况 and 维保信息可以通过信息化手段实时监控，并把数据对接到安检部门，可有效改变现有的事后改进的做法，实现有效的事前安全防范。小区的公共停车位也可通过信息化手段得到智能监控，可大力发展共享停车提升小区服务收入。此外，还有小区监控、人脸识别以及身份识别数据与公安系统的对接，社区居民健康大数据与医疗大数据的对接等都将对传统的安保和医疗方式带来颠覆性的改变，真正通过智慧社区实现高度发达的智慧化服务，全面满足居民的生存和发展需要。当然，要实现如此多的流程再造，必然要开展广泛的合作，要将各领域的优势的资源统一纳入，建立资源整合、互补智慧社区生态圈，实现共同发展。

### 3.4 要加快新科技手段的应用

3.4.1 充分利用信息新技术，加快推动智慧社区迭代升级。智慧社区建设是一个不断升级、演进的过程，只有不断的自我革新，智慧社区才能保持旺盛的生命力。信息新技术的发展为这种升级迭代提供了无尽的可能，智慧社区建设要善于利用这些新应用成果，与科技发展同步、共命运，充分享受科技发展带来的红利，实现智慧社区的可持续运用。当前，要善于利用新基建的大好时机，加快信息新技术上线，补足应用短板，实现迭代升级。一是加快 5G 布局。在一些线路改造较难的区域加快 5G 基站建设，利用 5G 无线、高带宽、低时延的优势，实现基础信息通道的落地。二是加快上云进程。云计算、云网融合解决方案将大大降低智慧社区建设中机房等基础设施的要求，有利于信息化项目快速得到部署。三是加快人工智能应用的应用。 AI

强大的信息处理能力，能够高效处理大量的软硬件信息，实现服务质量与管理效率的双重提升。此外，科技的进步将使智慧社区越来越集约，一朵云+一个平台+一部智能终端将成为标配。以终端为例，所有的操作、展示都应该可以在一部智能终端上实现（虽然有可能不是唯一渠道，但必定是最主要、最常用的）。如同移动支付取代了现金支付，使纸币和银行卡的在现实中的使用频率大大降低一样，未来智慧社区末梢将越来越集约，智能终端将发挥越来越重要的作用，快捷实现“任何人在任何时候、任何地点，能得到任何服务”。

3.4.2 要建立大数据纵向共享机制，提升大数据采集、整理和利用水平。智慧社区的核心在于大数据。大数据是智慧社区持续运营的基础，也是智慧社区实现自治的关键。加强大数据在智慧社区建设中的作用，主要要解决好三个方面的问题，一是要在保证安全使用的基础上，有效打破行业大数据共享壁垒，使基层社区能方便快捷的共享到各行业的数据信息，为智能社区日常的运营提供最根本的保障，最终实现“一库共享、一站服务”、“前台一方采集、后台多方协作”，这是智慧社区大数据应用的重点也是难点。二是要全面建立健全基层社区数据库体系，大力提升基层社区数据采集手段和采集水平，切实保证基层社区数据采取的完整性、准确性和及时更新；建立健全有效的数据传导机制和通道，使社区基层采集的数据信息能够及时传送给相关职能部门进行整理、分析、评估，以期在综治、医疗、教育以及应急处理等方面发挥实效。三是要提升社区基层数据处理能力，实现社区基层采集数据的全面整合，建立科学、高效、准确的数据处理机制，为基层社区各项决策提供数据分析和科学依据。

3.5 要进一步加快智慧社区人才培养，建立社区志愿者服务长效机制。

要加快智慧社区人才培养。通过与高校、技校等合作，大力培养兼具社区管理和信息化知识体系

的复合型人才和信息、计算机等专业技术型人才。通过与专业培训机构合作，定期对社区工作人员进行培训，强化社区工作人员对新兴技术的了解，提升信息化应用的熟悉程度，提升系统维系的实操技能。要建立社区志愿者队伍服务长效机制。可针对科技、医护、法律、教育等专业的人才推行志愿者服务注册登记制，在当前智慧社区人才相对不足的情况下，此类志愿者服务可作为有效的补充，在智慧社区规划、维护、康居、教育以及法律援助等方面发挥作用。要积极探索志愿者服务积分制，建立科学的评价和回馈体系，使志愿者的行为能得到及时的肯定和回报。

#### 结束语

2020 年这场突如其来的疫情让我们深刻感受到科技手段在应急事件处理中的重要作用，也进一步突显了大力提升基层社区信息化水平、加快推动智慧社区建设的必要性。随着“以人为本”服务模式的进一步深化，“跨界合作、多方共赢”产业链形态的进一步确立，5G、AI 等新兴技术赋能下的信息化解决方案的进一步完善，政府主导下的纵向数据共享通道的进一步畅通，智慧社区建设将进一步加快。作为智慧城市体系建设的关键一环，智慧社区建设的加快无疑将有力推动智慧城市建设的进程，也将进一步演绎“科技改变生活、改变社会”的精彩，大幅增强人民群众对智慧生活的体验和感知，获取满满的幸福感。

#### 参考文献：

- [1]新华网 20160506《建设“智慧社区”联结“信息孤岛”》。
- [2]搜狐网 20170705《深圳市从六个方面打造新型智慧城市》。
- [3]千家网 20180906《人脸识别系统联动公安网络，全面保障社区安全》。

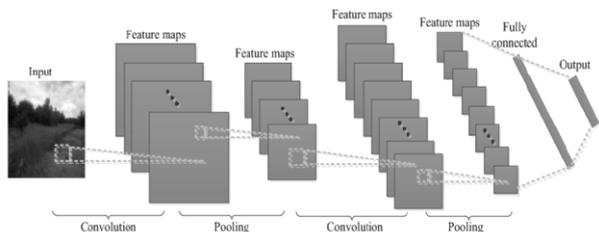
# 深度学习应用于 5G 智驾车之边缘运算 侦测辅助系统

赖文政 张育恺 陈辉交 洪翊钧 郭庭嘉  
中国无线电协进会 (台湾)

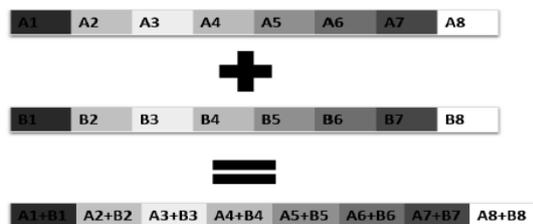
**摘要:** 本文提出了一种具有深度学习, 性能优化算法与低功耗的雷达检测集成毫米波接收机, 在嵌入式平台上, 此行人检测系统 (PDS) 用于先进驾驶辅助系统 (ADAS) 视觉边缘计算, 所提出的毫米波接收器可以侦测精准距离, 减少特征对象的图像计算量, 并通过深层卷积层上进行, 使用平行处理来提高吞吐量, 因此所提出 5G 毫米波接收机 Mobile Net 与传统卷积神经网络 (CNN) 进行比较, 效能较佳。

## 一、简介

卷积神经网络是模仿人类大脑的认知方式, 譬如人类辨识一个图像, 会先注意到颜色鲜明的点、线、面, 之后将它们构成一个个不同的形状(例如: 眼睛、鼻子、嘴巴...), 这种抽象化的过程就是卷积神经网络算法建立模型的方式。卷积层(Convolution Layer) 就是由点的比对转成局部的比对, 透过一块块的特征分析, 逐步堆栈综合比对结果, 就可以得到较好的辨识结果, 卷积神经网络主要由卷积层、池化层与全连接层组成, 如图一所示。

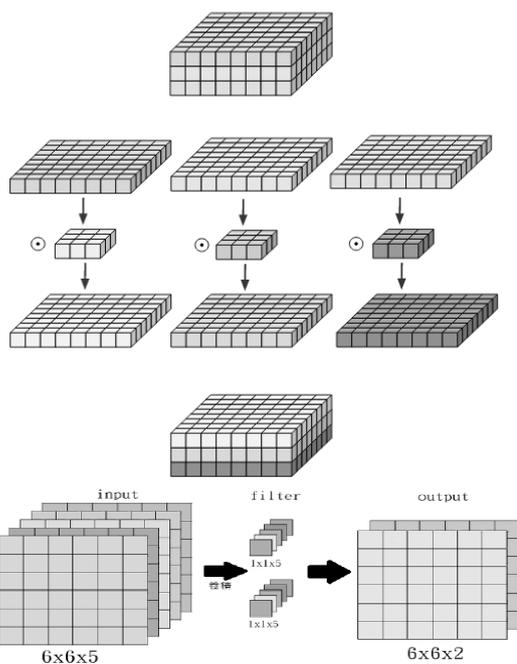


图一: 卷积神经网络示意图。



图二: SIMD 加法运算方式。

NEON 指令是从 ARMv7 架构开始引入的 SIMD (Single Instruction Multiple Data) 指令, 其共有 16 个 128 位寄存器, SIMD 代表的意思是在一条指令中, CPU 可一次操控多个寄存器并同时多个运算以达到加速的效果, 以图二加法为例, 一个 SIMD 指令可以达到 8 个一般加法指令的效果。

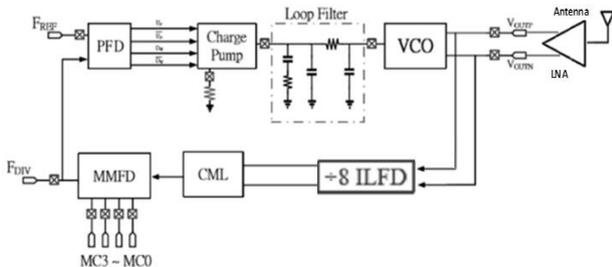


图三: (a) depthwise convolution 运算方式 (b) pointwise convolution 运算方式。

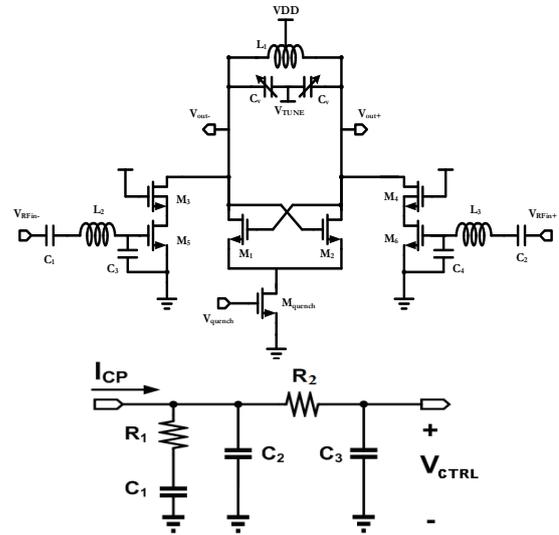
Mobile Net 提出一种新的卷积算法,深度可分离卷积 (depthwise sperate convolution) 来取代传统卷积运算方式,此种方法可在不影响精确度的前提下,减少运算量以及参数量,其方法分为两步骤进行,先进行 depthwise convolution 之后,如图三(a)所示,再进行 pointwise convolution,如图三(b)所示,利用这两个步骤来完成传统卷积运算方式。此种方法是每一层的屏蔽(fitter)个别对一个通道的输入进行卷积,以获得不同的特征图。这个运算方式就是使用  $1 \times 1$  的屏蔽(fitter)进行卷积运算,其主要功能是将 depthwise convolution 的特征图合并,并改变输出图的维度。

### 二、5G 毫米波接收机雷达检测

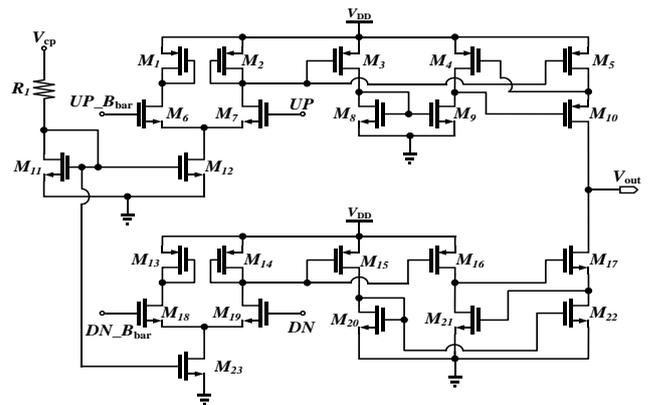
本文提出 5G 毫米波接收机雷达检测电路,如图四所示,前馈路径中的电压控制振荡器 (Voltage Controller Oscillator, VCO) 与低噪声放大器(Low Noise Amplifier)之整合电路[1],如图五(a)所示,三阶低通滤波器,如图五(b)所示,充电帮浦(Charge pump, CP) [2],如图六所示,具有最小截止区的动态相位/频率侦测器电路 (Phase/Frequency Detector, PFD)如图七所示,反馈路径中的除八注入锁定分频器 ( Injection Locked Frequency Divider, ILFD) [3],如图八所示,如图九(a)显示 (Current Mode Logic, CML)电流逻辑模型分频器电路,并提出的真正的单相频率 ( True Single Phase Clock, TSPC ), D 型触发器 ( DFF ) 电路设计用于解决电荷分布并减少输出波形的间隙,如图九(b)所示。可程序化多模分频器 ( Multi-Modulus Frequency Divider, MMFD ) 电路,包含  $2/3$  TSPC 分频器与传统逻辑闸电路。如图十(a)提出了  $2/3$  分频器结构,如图十(b)的电路所示的传统 TSPC DFF,在评估期间输出放电在高电位时停止。



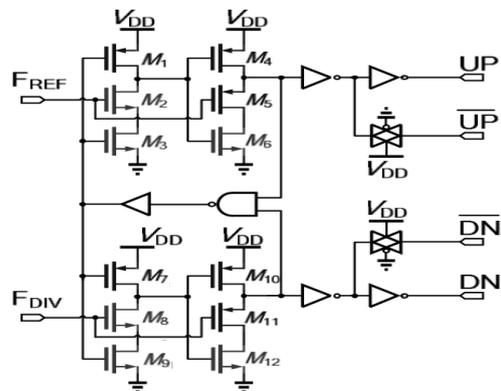
图四：5G 毫米波接收机雷达检测。



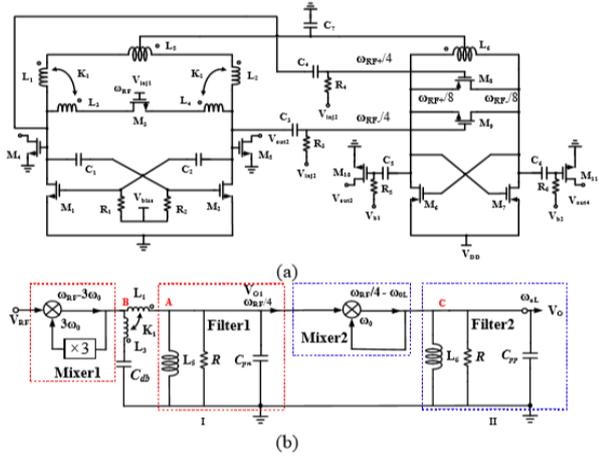
图五：(a)电压控制振荡器与低噪声放大器之整合电路 (b)三阶低通环型滤波器电路。



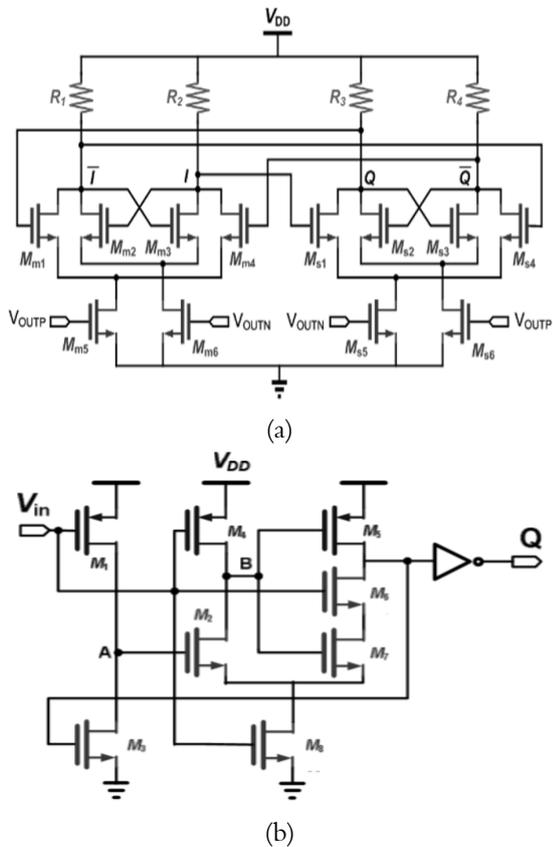
图六：具有增益加强型 CP 电路图。



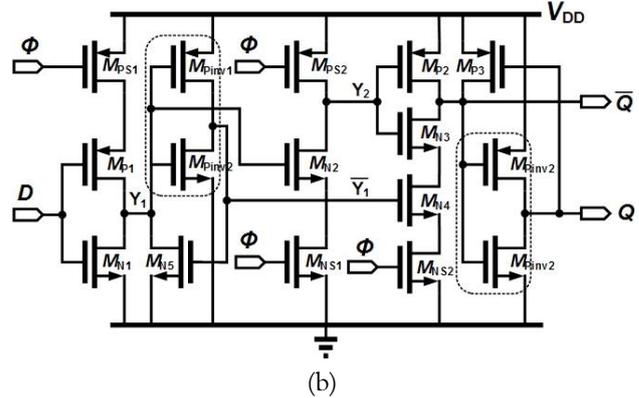
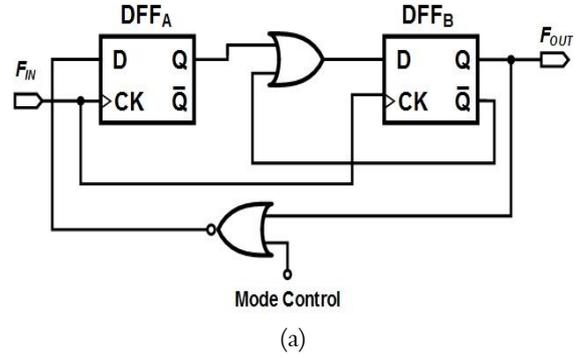
图七：具有最小截止区的动态 PFD 电路。



图八：(a)除八注入锁定分频器之电路图 (b)除八注入锁定分频器之简化架构图。



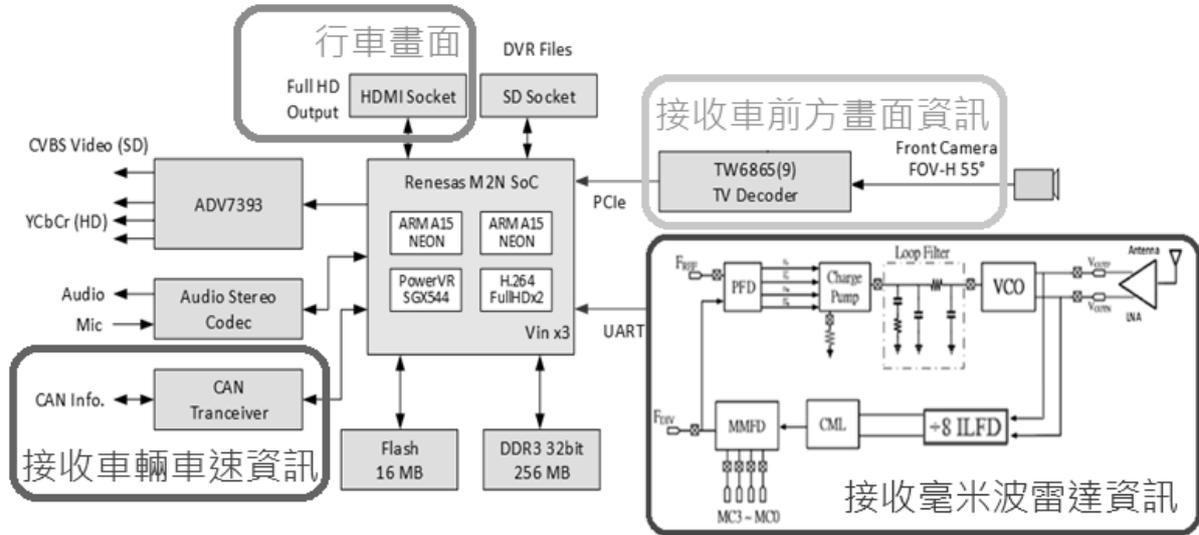
图九：(a)CML 分频器电路 (b)TSPC 分压器电路共八个晶体管。



图十：(a) 2/3 分频器 (b)TSPC DFF 电路。

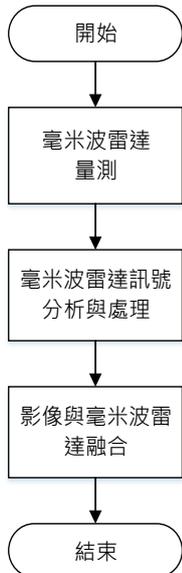
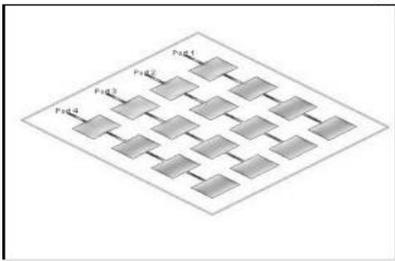
### 三、量测

本文使用之瑞萨 M2N 搭载 4 颗安谋 ARM A15 核心,每个核心都搭载 ARM 架构之 NEON 指令集,可使程序平行执行,如图十一所示。本文之行人侦测辅助系统,于车内挡风玻璃上架设摄影镜头,与毫米波雷达,异质整合于同一平台实现图像处理与距离侦测,使用摄影镜头取得前方实时影像,并将影像送入卷积神经网络,利用卷积神经网络判断前方是否有行人、脚踏车骑士和摩托车骑士,当有侦测到目标时,会将目标圈出,并同时显示在屏幕上,使用毫米波雷达之天线[4]与其量测流程,如图十二(a)(b)所示,给予车载平台测距,其 24GHz 数组天线  $S_{11}$  特性图与 24GHz 数组天线 3D 幅射场型图,如图十三(a)(b)所示。

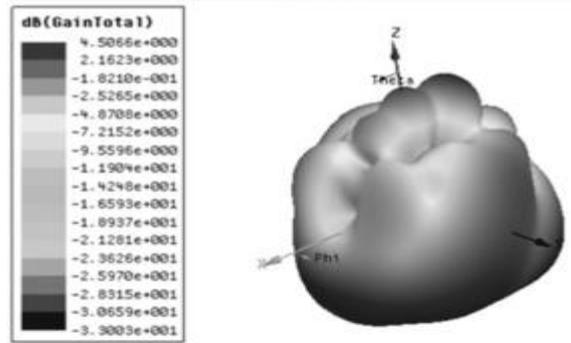
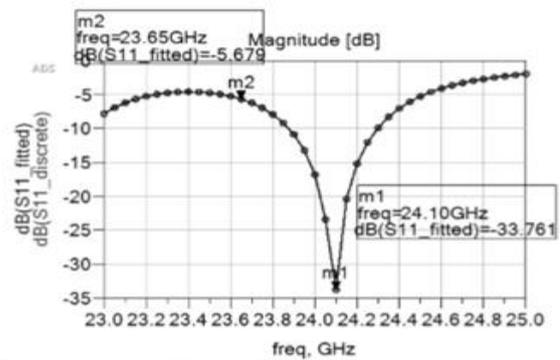


图十一： 毫米波雷达与影像融合技术系统架构图。

Series feed – 4x4 Array



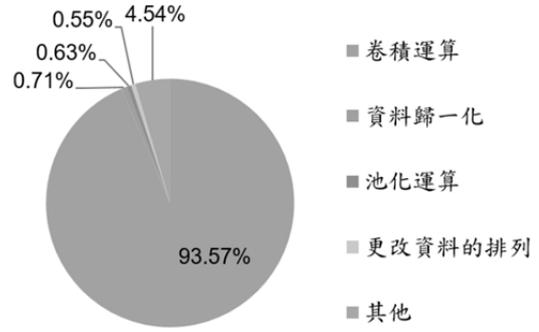
图十二：(a) 毫米波雷达数组天线架构图 (a) 毫米波雷达量测流程图。



图十三：(a)24GHz 数组天线 S11 特性图(b) 24GHz 数组天线 3D 幅射场型图。

由 Linux 中的性能分析工具 Perf 可知在整个神经网络中，卷积运算部分占网络大部分的时间，本次量测 YOLO 卷积神经网络，其分析结果如图十四所示。经上述结果可知，优化卷积运算对于整个神经网络的速度有最明显的提升。本文设计选用成本较低之单镜头方案，来达成行人侦测系统，并且不只单独侦测行人，同时也对于摩托车骑士与脚踏车

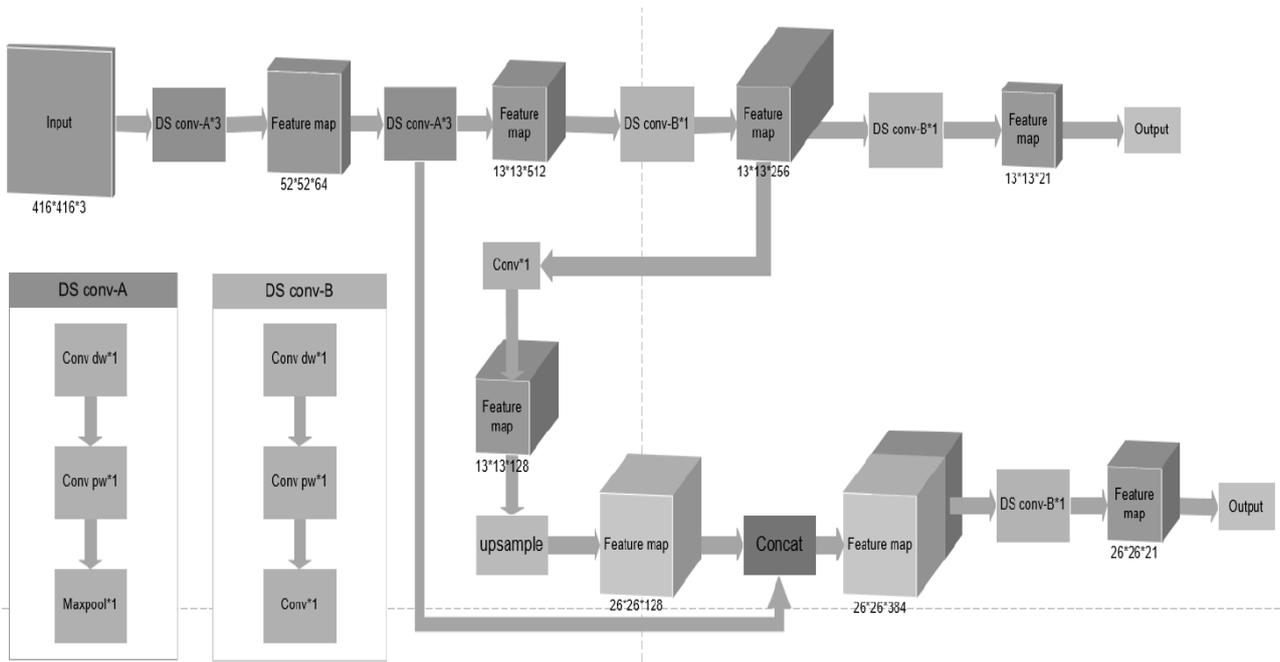
骑士进行侦测，给予驾驶人更完整的辅助信息。并且为了使效能最大化，本团队选用瑞萨电子系列之车用平台，其本身搭载 ARM 系统之 Neon 指令集，能够让本文之算法进行平行运算，使其效率更加提升，采用毫米波雷达精准的测距，提供神经网络优化减枝 (Dropout)，兼顾车用平台最重要之实时性与成本问题。而影像辨识部分，本文将利用卷积神经网络(Convolutional Neural Network, CNN)，相较传统图像处理，可以撷取更多的对象特征，来降低误判的机率。并引入 Mobile-net 之深度可分离卷积 (depthwise sperate convolution)优化其神经网络架构，降低神经网络的运算。本系统基本流程为镜头读取前方车况，将画面送入卷积神经网络进行目标判断，若有侦测到行人或骑士则将其范围圈出并显示于屏幕上，本系统使用之神经网络架构图如图十五所示，其流程图如图十六所示。另问本文于算法开发过程中，也整理遭遇到相关困难点与欲解决技术，主要遇到的技术难点与问题，如表一所示。



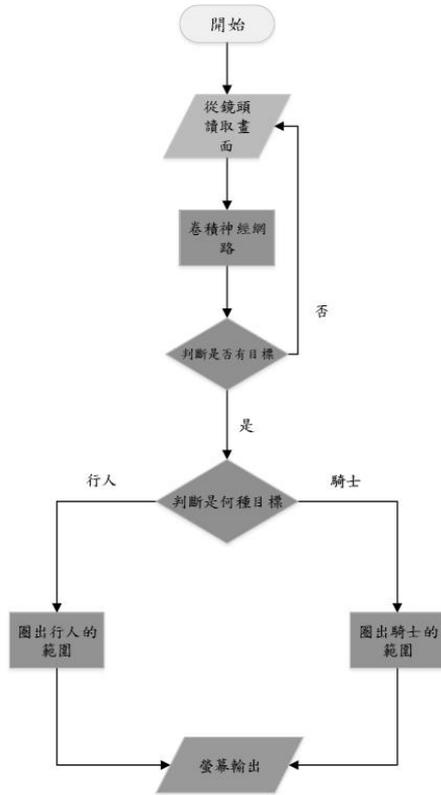
图十四：神经网络各部分时间占比。

表 1：技术难点与问题

编号	技术难点	造成问题
1	运算量过大	帧数过低，输出无法达到实时侦测
2	样本单一	神经网络精确度低
3	神经网络训练时间 间长	确认耗费时间长，修改效率低落



图十五：神经网络架构图。



图十六：行人侦测系统流程图。

**A. 解决帧数过低之方案**

在运算量过高的部分，本文引入 Mobile net 之卷积运算方法，使用其运算方法可大幅降低运算量，依照论文中公式，其公式如式 1。 $D_K$ 为屏蔽大小、 $D_F$ 为输出图片大小、M 为输入图片的信道数，N 为输出图片的信道数。使用此算法可让运算量可

降低至传统卷积运算的  $\frac{1}{n} + \frac{1}{D_K^2}$  倍并可以同时达到降低参数量的效果。

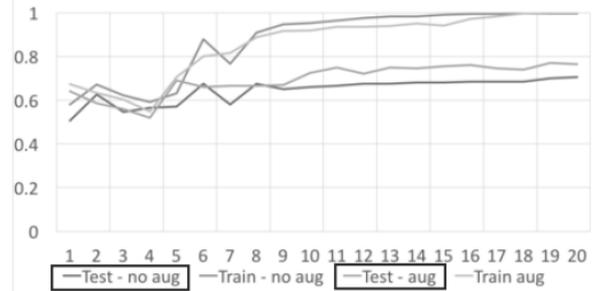
$$\frac{D_K \cdot D_K \cdot M \cdot D_F \cdot D_F + M \cdot N \cdot D_F \cdot D_F}{D_K \cdot D_K \cdot M \cdot N \cdot D_F \cdot D_F} = \frac{1}{N} + \frac{1}{D_K^2} \quad (1)$$

如式 1 之 Mobile net 运算量减少公式，本文使用的 Renesas 系统，其搭载 ARM 架构之 Neon 指令集，能够让算法在进行卷积运算时能够平行处理，对于整体指令周期大约可以增加三倍，对于帧数不足的部分有一定程度的帮助。

**B. 解决资料量不足之方案**

在数据量不足的方面，本文采用数据扩增技术

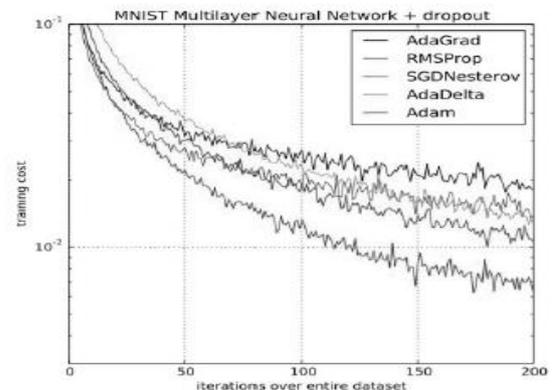
(data augmentation)，此技术是藉由将数据集内既有的图片予以调整色彩及旋转，创造出更多的图片来让机器学习，以此扩大数据集、丰富数据多样性，便于学习到更深度广泛的特征，以弥补数据量不足的困扰并能稍微解决神经网络过拟合(overfitting)。在使用此技术后，在测试集的精确度有明显的提升[5]，其结果如图十七所示，图上横轴为迭代次数，纵轴为精确度。

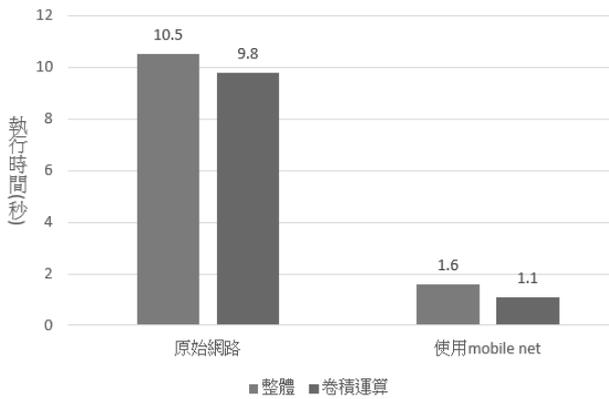


图十七：数据扩增技术效果测试图。

**C. 解决训练速度缓慢之方案**

对于训练速度缓慢的部分，先使用另一个梯度下降方法 adam(Adaptive Moment Estimation)进行训练，使用 adam 可以让损失函数下降的速度加快，有效缩减训练时间，adam 与其他梯度下降方式比较结果[6]，如图十八(a)所示。将使用 adam 训练完的权重当成预训练档再使用随机梯度下降法 (Stochastic Gradient Descent, SGD) 进行训练，可以有效缩减训练时间。使用随机梯度下降法的原因，主要是因为使用 adam 的情况下，在接近梯度最小值附近时学习率会被调整到趋近于零，会无法找到最小值；而使用随机梯度下降，学习率不会进行调整，较有机会可以找到梯度的最小值。





图十八： (a) adam 与其他梯度下降方式比较图 (b) 运行时间比较图。

#### D. 系统数据分析

透过 Mobile net 的深度可分离卷积，改变卷积的运算方式，使其运算量及参数量大幅降低，降低成果如表二所示，约降低到原始的七分之一。以测试一张照片作为比较，其结果，如图十八(b)所示。由此图可看出使用 Mobile-net 后卷积执行速度约提升九倍，不过因为受到其他部分的限制，整体时间提升约六倍。再利用开发平台上搭载的 Neon 指令集对卷积层的部分进行平行运算，大概能使整体速度再提升二到三倍。

表 II： 运算量比较表

	种类	屏蔽大小/步伐	原始运算量	降低后运算量
1	conv	3*3/ 1	0.15	0.02
2	maxpool	2*2/ 2	0.003	0.003
3	conv	3*3/ 1	0.399	0.057
4	maxpool	2*2/ 2	0.001	0.001
5	conv	3*3/ 1	0.399	0.051
6	maxpool	2*2/ 2	0.001	0.001
7	conv	3*3/ 1	0.399	0.047
8	maxpool	2*2/ 2	0	0
9	conv	3*3/ 1	0.399	0.047
10	maxpool	2*2/ 2	0	0
11	conv	3*3/ 1	0.399	0.045
12	maxpool	2*2/ 2	0	0

13	conv	3*3/ 1	1.595	0.178
14	conv	1*1/ 1	0.089	0.089
15	conv	3*3/ 1	0.399	0.045
16	conv	1*1/ 1	0.004	0.004
17	conv	1*1/ 1	0.011	0.011
18	conv	3*3/ 1	1.196	0.138
19	conv	1*1/ 1	0.007	0.007
总计			5.451	0.75

#### 四、结论

本文使用单镜头图像处理，与毫米波雷达设计异质整合，并于瑞萨电子之车用平台上实现行人侦测辅助系统(Pedestrian Detection System, PDS)。在影像的部分使用卷积神经网络(Convolutional Neural Network, CNN)进行处理，并引入 Mobile net 之卷压缩运算方式，并同时卷积层的部分导入 ARM 架构之 Neon 系统，对卷积运算进行平行处理，来达成高指令周期、高精度度之行人侦测辅助系统，应用于 5G 宽带低延迟之应用，同时本论文也同时侦测摩托车骑士与脚踏车骑士，给予驾驶人更多的辅助。本文以深度学习为基础来实现行人侦测系统，其中特别引入 Mobile-net 卷积改良作法，来改善一般神经网络运算量过大之问题。本文主要侦测三种在事故上伤亡率较高的用路人，其对象为行人、摩托车骑士以及脚踏车骑士，在侦测到目标时，会将其范围圈出，并显示于屏幕上。且本文使用之车用平台嵌入式系统，其搭载 ARM 架构之 NEON 指令集，可对于整体卷积运算过程进行加速，减少其神经网络运算时间，以保留神经网络之精确度，并可以达到实时影像侦测的效果。同时达到降低嵌入式平台的运算量门坎，在整个系统的推广与架设方面也更为方便。透过镜头获取前方路况，对于前方路况进行分析，当前方有行人或骑士出现时，将其圈出并显示于屏幕上，如图十九(a)所示。显示本系统于日间的预期侦测成果，如图十九(b)所示。显示夜间的预期侦测成果。



图十九: (a) 日间的预期侦测成果 (b) 夜间的预期侦测成果。

### 五、志谢

此电路设计要特别感谢国立台湾科技大学电子系黄进芳与张胜良教授的支持与帮助。

### 参考文献

[1]W.-C. Lai, et al., “Super-Regenerative

Receiver with TSPC Divide-by-8 Frequency Pulse for Multi-sensor Applications,” *IEEE Int. Conf. on Industrial Cyber Physical Systems (ICPS)*, 6-9 May 2019.

[2]W.-C. Lai, et al., “GaN HEMT Oscillator in Phase Locked Loop for Solar-cell and PV Unit application,” *IEEE Int. Conf. on Consumer Electronics - Taiwan (ICCE-TW)*, 20-22 May 2019.

[3]W.-C. Lai, et al., “Current-Reuse LC Divide-by-8 Injection-Locked Frequency Divider,” *32nd IEEE Int. System-on-Chip Conf. (SOCC)*, 3-6 Sep. 2019.

[4] “W.-C. Lai, Integrated Array Antenna with Radome and Low Noise Amplifier Using Series-Peaking with WuRx,” *Int. Symp. on Antennas and Propagation (ISAP)*, 27-30 Oct. 2019.

[5]Jason Wang and Luis Perez, “The Effectiveness of Data Augmentation in Image Classification using Deep Learning,” Dec. 13 2017 [*arXiv: 1712.04621*]

[6]Diederik P. Kingma and Jimmy Lei Ba “Adam: A Method for Stochastic Optimization,” *ICLR 2015*.

# 透过二级式符元功率降低多模区块式索引调变之正交分频多任务之位错误率

卓立 许超云 庄孟凡 傅圣翔  
中国无线电协进会(台湾)

**摘要:** 相位偏移调变(Phase-shift keying, PSK)下的具区块式索引调变之多模正交分频多任务技术(multi-mode orthogonal frequency division multiplexing with block-wise index modulation, MM-OFDM-BIM)已经被提出且成为一种新颖的具索引调变之正交分频多任务(OFDM-IM, OFDM-IM)技术,其具备可调整可靠性的传输能力与低的检测复杂度。虽然透过 PSK 的相位正常化(phase normalization)可以降低 IM 在检测过程中的复杂度,然而本质上 PSK 恒定的符元功率却限制了其位错误率(bit error rate, BER)的表现。因此我们提出了一个新的星座图(constellation)设计,重新分配原始的符元,让 MM-OFDM-BIM 具备两个阶段的功率表现,并保留相位正常化的优势。透过我们于实验中采用的最佳功率参数,其模拟结果可证明,该方案可以在不增加计算复杂度的情况下,有效地提高 BER 表现。

**关键词:** 索引调变、多模正交分频多任务、相位偏移调变、星座图设计、回旋码

## 1 前言

近年来,索引调变之正交分频多任务(OFDM-IM)技术[1]、[2]由于其可使系统在频谱效率(Spectral Efficiency, SE)与能量效率(Energy Efficiency, EE)间的弹性调度能力大幅提升,且与现今使用的 OFDM 系统(例如 3GPP Long Term Evolution (LTE)/New Radio (NR)和 IEEE 802.11/16 系列标准)具有高度的兼容性[3],而变得备受关注。OFDM-IM 的基本概念是将 OFDM 上的子载波索引调制(SIM)[4]并透过子载波的不同索引发送额外的位。在[5]中,子载波索引可透过不同的子载波激活模式(subcarrier activation pattern, SAPs)来区分,这些子载波激活模式主要源于 IM 模块内的一组 ON/OFF 模式子载波。通过控制 IM 块中激活的子载波的数量,可以轻松修改系统的 SE 和 EE,以适应 5G 及其他各种通讯场景[6]、[7]。

由于 SE 的要求对于下一代无线网络而言变得越来越关键,因此,几种全子载波激活的技术(例如双模(dual-mode, DM)-[8]和多模(multiple-mode,

MM)-[9] OFDM-IM)如今皆被提出能有效改善 SE。但是,这些方案只能在良好的信噪比(SNR)环境下提高 SE,尤其是在加上信道编码情境上。相反地,这些技术的性能甚至会随着 SNR 降低而变差。为此,本文提出了具有区块式 IM 的 MM-OFDM (MM-OFDM-BIM) [10],可以根据 SNR 来提高 BER 性能,并且具有可调整的 SE。由于系统采用了相位偏移调变(PSK),因此透过相位正常化(phase normalization)设计了 MM-OFDM-BIM 的低复杂度的检测器。尽管 PSK 受益于降低检测复杂度,但是由于符元功率是恒定的,无法增加每个符元星座点之间的最小欧几里德距离(Euclidean distance)。因为 PSK 会强制将星座图定位在一个圆圈上,而这也表示着有提高 BER 的可能性。

在本文中,我们通过重新设计具有二级符元功率的星座图,并提出了一种基于 PSK 的 MM-OFDM-BIM 的改进版本。星座图设计的这种概念类似于 DM-OFDM-IM 的正交相移键控(QPSK) [11],但与该方案不同的是 IM 模式下的

字符(alphabet)可以以相同的符号功率进行传输。此提出的方案能在不增加计算复杂度的情况下显著地改善 BER 性能,且同时保留了相位正常化的优点。通过蒙特卡罗 (Monte Carlo) 模拟,我们确定了二级符号功率的最佳分配方式,并针对所提出的方案评估了频率选择衰减信道上的 BER 改善。

2 具有常规星座图的基于 PSK 的 MM-OFDM-BIM

2.1 基于 PSK 的多模区块式索引调变之正交分频多任务

基于 PSK 的 MM-OFDM-BIM 传送端[10]的方块图如图 1 所示。数量为  $m$  的位各别被划分为  $m_1$  个用于 IM 的位和  $m_2$  个用于星座映像的位。系统运用经过编码的 OFDM-IM 技术,在 IM 模块创建之前,首先通过回旋码分别以编码率  $\gamma_1$  和  $\gamma_2$  对两个比特流进行编码。假设  $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma$ , 我们有  $p_1 = m_1/\gamma$  和  $p_2 = m_2/\gamma$  个位被送到  $g$  个 IM 模块中,每个 IM 模块占用  $n = N/g$  个子载波。在 MM-OFDM-BIM 中,第  $\beta$  个 IM 模块中的所有子载波都可视为相同的模式采用,即  $\beta \in \{0, \dots, g-1\}$ 。因此,所有  $Q$  模式索引选择器的位向量都可以表示为

$$\mathbf{p}^1 = [p_0^1 \dots p_{g-1}^1], \tag{1}$$

其中  $\mathbf{p}_\beta^1 = [b_\beta^1(0) \dots b_\beta^1(\log_2 Q - 1)]$ ,  $b_\beta^1 \in \{0, 1\}$ 。为了保持有效位的映像(mapping),其  $Q$  的值假设为 2 的幂次方。因此所有  $\mathcal{M}$  阶 PSK 符号映射器(mapper)的位向量为:

$$\mathbf{p}^2 = [p_{0,0}^2 \dots p_{0,n-1}^2 \dots p_{g-1,0}^2 \dots p_{g-1,n-1}^2], \tag{2}$$

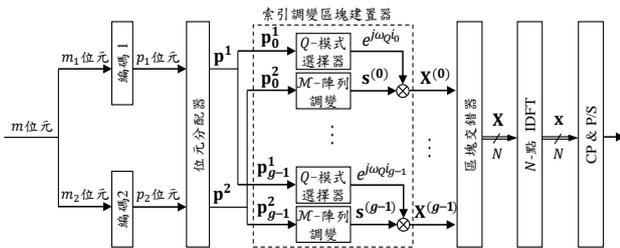


图 1. 基于 PSK 的多模区块式索引调变之正交分频多任务传送端的方块图。

其中  $\mathbf{p}_{\beta,\alpha}^2 = [b_{\beta,\alpha}^2(0) \dots b_{\beta,\alpha}^2(\log_2 \mathcal{M} - 1)]$ ,  $b_{\beta,\alpha}^2 \in \{0, 1\}$ , 而  $\alpha \in \{0, \dots, n-1\}$  是第  $\beta$  个 IM 模块

中子载波的次序。然后,第  $\beta$  个 IM 模块的输出符号向量,  $\mathbf{X}^{(\beta)} = [X_0^{(\beta)}, \dots, X_{n-1}^{(\beta)}]^T$ , 可透过下式获得:

$$\mathbf{X}^{(\beta)} = \mathbf{s}^{(\beta)} e^{j\omega_Q i_\beta}, \tag{3}$$

这里  $i_\beta \in \{0, \dots, Q-1\}$  是从  $\mathbf{p}_\beta^1 \rightarrow i_\beta$  中选择出来的模式, 而  $\omega_Q = \omega_M/Q$  是每个模式的裕度角 (margin angle),  $\omega_M = 2\pi/\mathcal{M}$  是  $\mathcal{M}$  阶 PSK 星座图的旋转对称角,  $\mathbf{s}^{(\beta)} = [s_0^{(\beta)}, \dots, s_{n-1}^{(\beta)}]^T$  是从  $\mathbf{p}_{\beta,\alpha}^2 \rightarrow \mathbf{s}^{(\beta)}$  输入的 PSK 符号向量, 而其中  $\bullet \rightarrow \bullet$  和  $[\cdot]^T$  分别表示位映像的执行和转置。然后将 OFDM 模块的交错频率分量定义为:

$$\mathbf{X} \triangleq [X_0^{(0)}, \dots, X_0^{(g-1)}, \dots, X_{g-1}^{(0)}, \dots, X_{g-1}^{(g-1)}]^T. \tag{4}$$

$\mathbf{X}$  为经过  $N$  点离散傅里叶逆变换 (IDFT) 之后的矩阵, 时域中的正交分频多任务区块可由下式写出:

$$\mathbf{x} \triangleq [x_0, \dots, x_{N-1}]^T = \frac{1}{\sqrt{N}} \mathbf{W}_N^H \mathbf{X}, \tag{5}$$

其中  $\mathbf{W}_N$  是跟随  $\mathbf{W}_N^H \mathbf{W}_N = \mathbf{N} \mathbf{I}_N$  的  $N$  点 DFT 矩阵, 并且  $(\cdot)^H$  表示厄米特 (Hermitian) 变换。在准备发送的基频讯号  $\mathbf{x}$  前头插入  $P$  长度的循环前缀 (CP), 如  $[X_{N-P}, \dots, X_{N-1}, X_0, \dots, X_{N-1}]^T$ , 以将并行转换为串行 (P/S)。

然后,我们考虑一个缓慢且时变的多路径瑞利衰落信道(Rayleigh fading channel), 其脉冲响应为  $\mathbf{h}_T = [h_0, \dots, h_{L-1}]^T$ , 其中  $L$  是通道反弹的数量 ( $L \leq P$ ) 并且每个条目的  $\mathbf{h}_T$  是一个圆对称的复数高斯随机变数, 其分布为  $\mathcal{CN}(0, \sigma_L^2)$ , 其中  $\sum \sigma_L^2 = 1$ 。假设通道响应完美的估计, 在移除循环前缀, 串行转换回并行转换 (S/P),  $N$  点离散傅里叶变换, 均衡器和去除交错分离后的第  $\beta$  个索引调变区块的接收讯号可以表示为:

$$\mathbf{Y}^{(\beta)} \triangleq [Y_0^{(\beta)}, \dots, Y_{n-1}^{(\beta)}]^T = \Pi^{(\beta)} \{diag\{\mathbf{X}\} \mathbf{H} + \mathbf{W}\} \quad (6)$$

$$\hat{i}_\beta = \arg \min_{\left\{ \begin{array}{l} i_\beta^{(0)} \in \{0, Q\} \\ i_\beta^{(1)} \in \{1, \dots, Q-1\} \end{array} \right\}} \left\{ \begin{array}{l} \min_{i_\beta^{(0)} \in \{0, Q\}} \|\mathbf{Y}^{(\beta)} - s_0 e^{j\omega_Q i_\beta^{(0)}} \mathbf{H}^{(\beta)}\|^2 \\ \min_{i_\beta^{(1)} \in \{1, \dots, Q-1\}} \|\mathbf{Y}^{(\beta)} - s_0 e^{j\omega_Q i_\beta^{(1)}} \mathbf{H}^{(\beta)}\|^2 \end{array} \right.$$

其中  $diag\{\cdot\}$  为对角矩阵,  $\Pi^{(\beta)}\{\cdot\}$  是第  $\beta$  个索引调变区块的去除交错分离运算符,  $\mathbf{H}$  是频域信道传递函数系数由  $N$  点离散傅利叶转换零填充的通道脉冲响应  $\mathbf{h}^0 = [h_0, \dots, h_{L-1}, 0, \dots, 0]^T$  得到, 而  $\mathbf{W}$  是频域表示的功率为  $N_0$  之加成性高斯白噪声。

在接收器处, 具有相位正常化功能的两级块检测器具有低计算复杂度以及可靠的 IM 位检测[10]。其在第一阶段模式检测中,  $\mathbf{p}_\beta^1$  讯息是透过从 (7) 中的检测索引  $\hat{i}_\beta$  来获得的, 其中  $\mathbf{H}^{(\beta)} = \Pi^{(\beta)}\{\mathbf{H}\}$ 。之后, 每个 IM 模块的星座图通过  $\hat{\mathbf{Y}}^{(\beta)} = \mathbf{Y}^{(\beta)} e^{-j\omega_Q \hat{i}_\beta}$  旋转回到模式 0。然后, 在第二阶段, 对检测到的符号向量  $\hat{\mathbf{s}}^{(\beta)} = [\hat{s}_0^{(\beta)}, \dots, \hat{s}_{n-1}^{(\beta)}]^T$  以获得  $\mathbf{p}_{\beta,\alpha}^2$  讯息, 其中:

$$\hat{\mathbf{s}}^{(\beta)} = \arg \min_{\mathbf{s}^{(\beta)} \in \{s_{n_1}, \dots, s_{n_r-1}\}} \|\hat{\mathbf{Y}}^{(\beta)} - \mathbf{X}^{(\beta)} \mathbf{H}^{(\beta)}\|^2, \quad (8)$$

且  $\{s_0, \dots, s_{M-1}\}$  是  $M$  阶 PSK 的字符集合。因此, MM-OFDM-BIM 的 SE 可以被表示为:

$$\eta(Q, M, n) = \frac{m_1 + m_2}{N} = \frac{\gamma(p_1 + p_2)}{N}$$

$$= \gamma \left[ \frac{\log_2(Q)}{n} + \log_2(M) \right], \quad (9)$$

2.2 常规的讯号星座图

根据 (3) 式, 可以明显看出 MM-OFDM-BIM 的星座图基本上遵循  $QM$  阶 PSK。图 2 列出了对于  $(Q, M, n) = (4, 4, 4)$  的常规 MM-OFDM-BIM 的星座图和接收符号的示例。

3 所提出的基于 PSK 的多模区块式索引调变之正交分频多任务星座图

3.1 所提出的讯号星座图

从第 II-B 节中描述的基于 PSK 的 MM-OFDM-BIM 的常规讯号星座图来看, 可以清

$$\left. \begin{array}{l} \text{(模式 0 的最大似然检测)} \\ \text{(模式 1 到 } Q-1 \text{ 的最大似然检测)} \end{array} \right\} \quad (7)$$

楚地看到由于单位圆上的星座图密集度改变, 进而导致 BER 具有可改善的空间。由于可接受的 BER 性能为  $QM \leq 16$  的情况, 例如  $(Q, M) = (2, 4), (2, 8), (4, 2), (4, 4), (8, 2)$ , 这里没有讨论  $(Q, M) = (2, 2)$ , 因为它的最佳星座仍然遵循[10]。

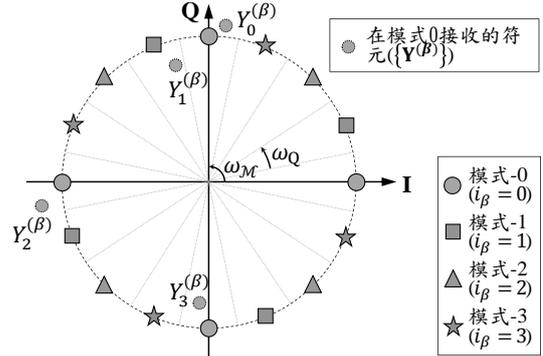


图 2.  $(Q, M, n) = (4, 4, 4)$  时, 常规星座图和接收符号的图示。

为了增加传统星座点之间的最小欧几里得距离, 我们提出了两级符号功率, 同时保持相位正常化的优点, 以降低 MM-OFDM-BIM 的检测复杂度。通过重新设计 (3) 式, 因此本文所提议的 IM 模块建置器为:

$$\mathbf{X}^{(\beta)} = \mathbf{s}^{(\beta)} A_{i_\beta} e^{j\omega_Q i_\beta}, \quad (10)$$

其中  $A_{i_\beta} \in (0, 1]$  是模式  $i_\beta$  的指定振幅, 已归一化为模式 0。考虑到星座分布的均匀性, 将  $A_{i_\beta}$  的值定义为:

$$A_{i_\beta} = \begin{cases} 1, & \text{若 } i_\beta \text{ 为偶数} \\ A_{in}, & \text{若 } i_\beta \text{ 为奇数} \end{cases} \quad (11)$$

也就是说, 偶数模式的星座仍然固定在单位圆上, 奇数模式的星座设计为位于振幅为  $A_{in}$  的内圆上。图 3 使用图 2 中相同示例来表示出了所提议的星座

设计。而当  $A_{in} = 1$  时，传统的基于 PSK 的 MM-OFDM-BIM 的星座是 (10) 和 (11) 的特殊案例。

3.2 最佳功率比

由于总功率对于给定的 SNR 是固定的,因此  $A_{in}$  的值控制功率比  $\sigma = A_{in}^2 / 1^2 = A_{in}^2$  可用来确定所提出的星座图的 BER 性能。在这里,我们通过图 4 所示的数值模拟来分析不同信噪比下每个  $(Q, M)$  参数的最佳功率比。

从星座圆的角度来看,从中可以观察到,如果在星座圆上仅分配一种模式,例如在图 4 (a) 和 4 (b) 中描述的  $(Q, M) = (2, 4), (2, 8)$ 。在低 SNR 时,最佳功率比很小,而在高 SNR 时,最佳功率比提高到 1。这是因为降低  $\sigma$  可以有效地提高  $p_1$  位的 BER 性能以应对低 SNR,而无需考虑其他模式的干扰。随着 SNR 的增加足以对  $p_1$  位进行良好检测,采用  $\sigma = 1$  是最佳星座,因为它使  $p_1$  位的最小欧几里得距离最大化。

出于同样的原理,如果星座图的圆中包含多个模式,例如在图 4 (c), 4 (d) 和 4 (e) 中描述的  $(Q, M) = (4, 2), (8, 2), (4, 4)$ , 可以看出对于任何 SNR 而言,最佳功率比始终是固定的。而其中,对于  $(Q, M) = (4, 2), (8, 2)$ , 最佳功率比为  $\sigma = 0.16$ , 而对于  $(Q, M) = (4, 4)$ , 其最佳功率比为  $\sigma = 0.25$ 。这种差异是由  $(Q, M)$  的配置引起的。根据 (9) 式, SE 主要是由  $M$  来决定,特别是对于大的  $n$  而言更是如此。因此,  $\sigma$  的最佳值将随  $M$  合理增加。

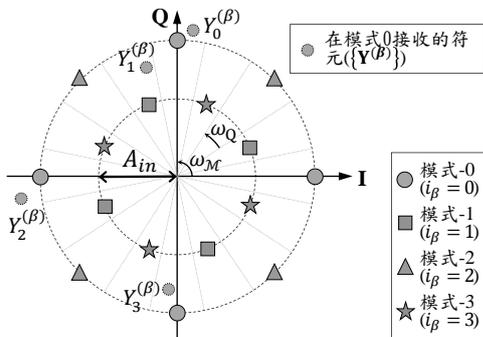


图 3.  $(Q, M, n) = (4, 4, 4)$  时, 本文所提出的星座图和接收符号的图示。

3.3 模拟结果与讨论

在本节中,透过在加成性高斯白噪声和瑞利衰落信道上对  $N = 2048$  和  $P = L = 128$  进行模拟,已验证了具有最佳功率比可改进的具编码的 BER 表现。其中,在编码器中采用了回旋码 ( $\gamma = 1/2$ , 约束长度为 7)。

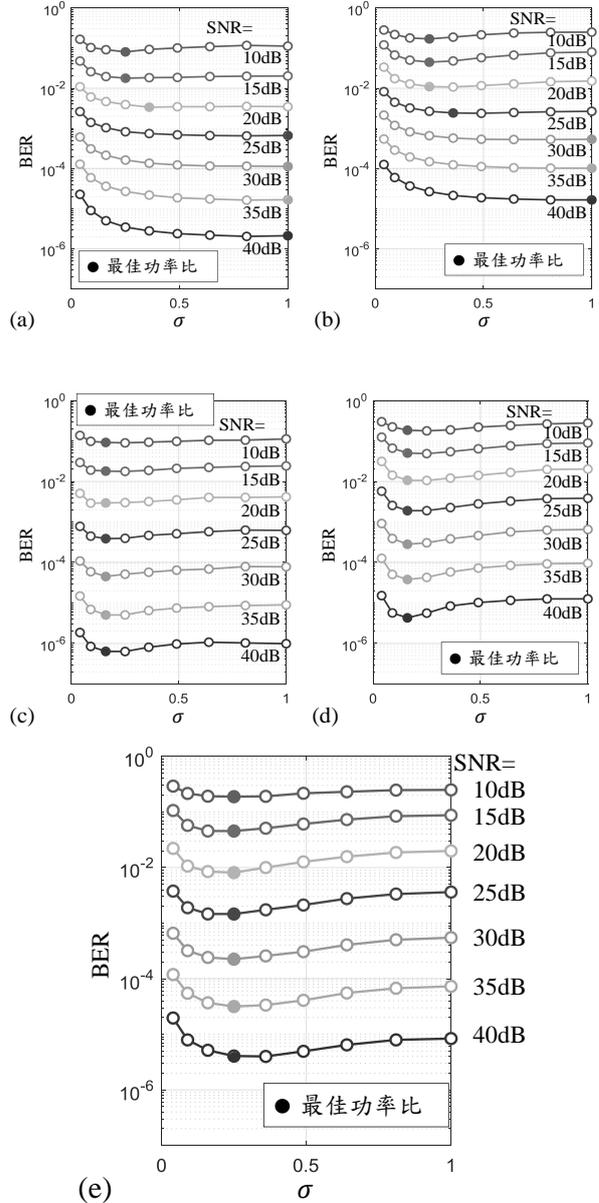


图 4.  $(Q, M, n) =$  (a)  $(2, 4, 2)$ , (b)  $(2, 8, 2)$ , (c)  $(4, 2, 2)$ , (d)  $(8, 2, 2)$  和 (e)  $(4, 4, 2)$  时, 在不同功率比和 SNR 下 BER 总体性能  $(m_1 + m_2)$  的数值结果。

图 5 分别针对  $m_1$  和  $m_2$  的位建立了  $(Q, \mathcal{M}) = (2, 4), (2, 8)$  的具编码的 BER 性能。可以看出, 对于两个  $(Q, \mathcal{M})$  设置, 随着功率比的增加,  $m_1$  位的 BER (见图 5a 和 5c) 会提高。而对于  $m_2$  位 (参考图 5b 和 5d), 当  $(2, 4)$  的  $\text{SNR} \leq 15 \text{ dB}$  以及  $(2, 8)$  的  $\text{SNR} \leq 25 \text{ dB}$  时, BER 性能提高, 但随着 SNR 的增加而降低。这些结果进一步验证了 III-B 节中提到的理论。而如图 6 所示, 从图 4 (a) 和 4 (b) 选出所提供的最佳功率比, 并为给定的 SNR 选择适当的功率比, 可以提高低 SNR 的总体 BER 性能。由于当  $(2, 4)$  的  $\text{SNR} > 15 \text{ dB}$  以及  $(2, 8)$  的  $\text{SNR} > 25 \text{ dB}$  时, 最佳功率比为 1, 因此它们的 BER 性能仍然遵循 [10] 的结果。

至于  $(Q, \mathcal{M}) = (4, 4), (8, 2)$  和  $(4, 2)$  的情况, 如图 7 所示 (全部使用  $n = 2$ )。可以看出, 该方案以固定的最佳功率比显著提高了每个 SNR 的 BER 性能。其中  $\mathcal{M} = 4$  的改善明显大于  $\mathcal{M} = 2$ , 因为  $\mathcal{M}$  主要控制 BER 性能。更值得一提的是, 本文所提出的方案的 BER 改进不会增加任何计算复杂性, 因为它只会改变星座图的设计。

4、结论

在这次实验中, 我们提出了一个新的星座图设计方法, 让 MM-OFDM-IM 可以在没有任何代价的状况下提升其 BER 表现, 并且依然保持其低计算复杂度的优势。透过分配符元并于二阶段的功率代替原始的方案, 于实验中证实了其可行性, 并从中找出不同  $(Q, \mathcal{M})$  相对应的最佳功率比, 而在最佳功率比情形下, 整体 BER 表现相较于原始 MM-OFDM-IM 有所提升, 如此达到提升 SE 这个主要目标。

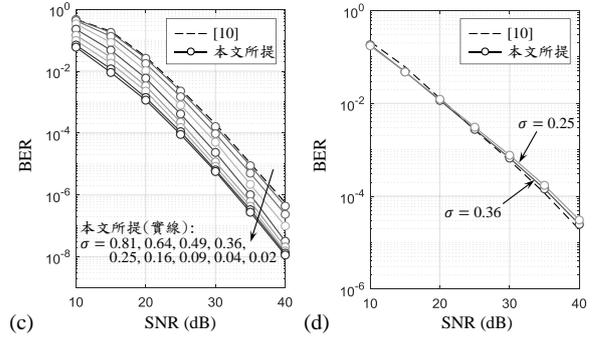
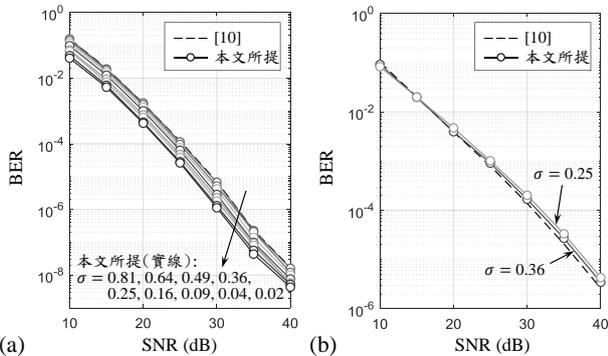


图 5. 不同功率比, SNR 和  $(Q, \mathcal{M}, n)$  之间的 BER 性能。(a)  $(Q, \mathcal{M}, n) = (2, 4, 2)$  时,  $m_1$  位元表现, (b)  $(Q, \mathcal{M}, n) = (2, 4, 2)$  时,  $m_2$  位元表现, (c)  $(Q, \mathcal{M}, n) = (2, 8, 2)$  时,  $m_1$  位元表现以及 (d)  $(Q, \mathcal{M}, n) = (2, 8, 2)$  时,  $m_2$  位元表现。

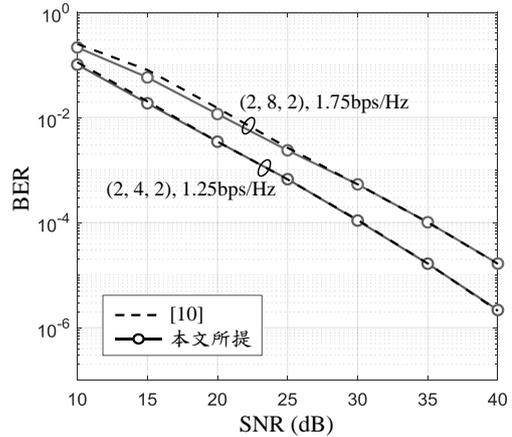


图 6. 对于给定的 SNR, 具有最佳功率比的  $(Q, \mathcal{M}, n) = (2, 4, 2)$  和  $(2, 8, 2)$  的 BER 性能。

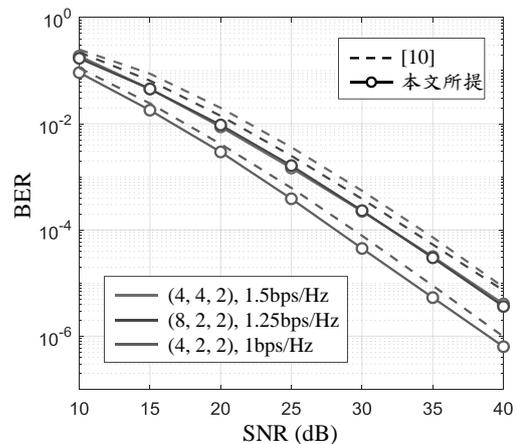


图 7. 具有最佳功率比的  $(Q, \mathcal{M}, n) = (4, 4, 2), (8, 2, 2)$  和  $(4, 2, 2)$  的 BER 性能。

## 参考数据

- [1] M. Wen, X. Cheng, and L. Yang, *Index Modulation for 5G Wireless Communications*. Berlin, Germany: Springer, 2017.
- [2] T. Mao, Q. Wang, Z. Wang, and S. Chen, "Novel Index Modulation Techniques: A Survey," *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, vol. 21, no. 1, pp. 315 - 348, 2019.
- [3] A. M. Jaradat, J. M. Hamamreh, and H. Arslan, "Modulation Options for OFDM-Based Waveforms: Classification, Comparison, and Future Directions," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 17263 - 17278, 2019.
- [4] R. Abu-alhiga and H. Haas, "Subcarrier-index modulation OFDM," in *Proc. IEEE 20th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, Tokyo, Japan, 2009, pp. 177 - 181.
- [5] E. Basar, U. Aygolu, E. Panayirci, and H. V. Poor, "Orthogonal Frequency Division Multiplexing With Index Modulation," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 61, no. 22, pp. 5536 - 5549, Nov. 2013.
- [6] E. Basar, M. Wen, R. Mesleh, M. DiRenzo, Y. Xiao, and H. Haas, "Index Modulation Techniques for Next-Generation Wireless Networks," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 16693 - 16746, 2017.
- [7] X. Cheng, M. Zhang, M. Wen, and L. Yang, "Index Modulation for 5G: Striving to Do More with Less," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 25, no. 2, pp. 126 - 132, Apr. 2018.
- [8] T. Mao, Z. Wang, Q. Wang, S. Chen, and L. Hanzo, "Dual-Mode Index Modulation Aided OFDM," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 50 - 60, 2017.
- [9] M. Wen, E. Basar, Q. Li, B. Zheng, and M. Zhang, "Multiple-Mode Orthogonal Frequency Division Multiplexing With Index Modulation," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 65, no. 9, pp. 3892 - 3906, Sep. 2017.
- [10] L. Cho, Y.-M. Kuo, C.-Y. Hsu, and Y.-S. Wu, "Multiple-Mode OFDM with Block-Wise Index Modulation," in *Proc. 2nd International Conference on Communication Engineering and Technology (ICCET)*, Nagoya, Japan, 2019, pp. 43 - 47.
- [11] X. Zhang, H. Bie, Q. Ye, C. Lei, and X. Tang, "Dual-Mode Index Modulation Aided OFDM With Constellation Power Allocation and Low-Complexity Detector Design," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 23871 - 23880, 2017.

# 小型化四臂螺旋天线

袁家德 林镇

**摘要:** 四臂螺旋天线因其均匀的心形辐射方向图、良好的圆极化性能等突出的优势广泛应用于卫星导航和通信中, 本文根据目前四臂螺旋天线的发展现状和应用前景, 对国内外四臂螺旋天线的小型化技术方案进行总结, 比较各种方案的优势特点, 分析小型化的原理, 针对当前设计方案存在的不足, 提出未来四臂螺旋天线的研究方向和发展趋势。

**关键词:** 四臂螺旋天线; 螺旋辐射臂; 馈电网络; 小型化; 圆极化

**中图分类号:** TN822 **文献标识码:** A

## 引言

全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System, GNSS) 精确的定位和导航服务功能在政治、经济、军事等领域发挥着重要作用。天线作为发射和接收电磁能量的部件, 是卫星导航系统中不可或缺的重要组成部分。四臂螺旋天线具有不依赖参考地的独特优势, 结构设计紧凑, 通过调整其螺旋半径比和缠绕圈数可以获得不同赋形的圆极化辐射方向图<sup>[1]</sup>, 因此广泛应用于卫星导航终端设备中, 随着终端设备朝着智能化、便携式的方向不断发展, 四臂螺旋天线的小型化也成为研究的热点。

四臂螺旋天线的尺寸主要由螺旋臂和馈电网络决定, 因此要想实现四臂螺旋天线的小型化就必须同时优化螺旋臂和馈电网络结构。螺旋臂的长度决定天线的谐振频率, 终端开路的螺旋臂所需最短长度为四分之一波长, 四臂螺旋天线的小型化是在保证天线谐振长度的同时有效压缩螺旋臂结构所占空间。此外, 馈电网络为中心对称的螺旋臂提供圆极化所需的顺序相位, 复杂的馈电网络也是影响天线实现小型化的因素之一, 在保证天线性能的基础上简化馈电网络的结构, 也是实现天线小型化的有效方法之一。本文分别对螺旋辐射臂和馈电网络的小型化技术方案进行分析总结。

## 1 螺旋辐射臂的小型化

### 1.1 曲流法

曲流法实现小型化是通过将螺旋臂以不同的路径方式进行弯折, 在保证电流流经长度满足谐振模式所需要的长度时, 可以有效降低螺旋臂所占面积或空间。此外, 曲流法可以通过增加螺旋臂间的耦合来降低谐振频率。文献<sup>[2]</sup>将传统的螺旋臂设计为正弦曲线的绕行路径, 对比结果表明, 天线前后工作频点没有发生明显偏移, 正弦曲线螺旋臂与传统的螺旋臂相比, 轴向高度降低了 46%, 天线结构的前后对比如图 1 所示。文献<sup>[3, 4]</sup>也采用类似方法改变螺旋臂的弯折路径, 大幅降低天线的剖面高度, 实现了小型化。

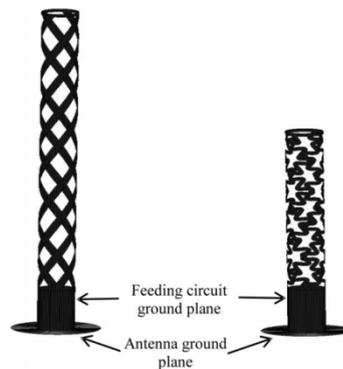


图 1 天线结构前后对比图

### 1.2 终端折叠法

终端折叠法实现小型化是将螺旋臂末端向下折叠或往里绕行, 这种方式不仅可以有效缩小天线

## 作者简介:

**袁家德:** 福州大学物理与信息工程学院, 博士, 副教授, 主要研究方向: 天线理论与技术。

**林镇:** 福州福大信捷天线技术有限公司, 硕士生, 主要研究方向: 小型化四臂螺旋天线。

的尺寸，也能通过反向电流的耦合产生新的频点，实现多频谐振的需求。文献[5]设计的螺旋臂充分利用轴向高度的空间，将螺旋臂向上延伸至一定高度后，再以回形针式路线往里绕行，螺旋臂的终端最终向上，这种方形折叠螺旋臂的设计方法使电流的有效长度大幅增加，从而缩小了四臂螺旋天线的尺寸，如图2所示。实验结果表明，天线尺寸缩减可以达到43%，此外，通过微调螺旋臂各段的长宽改变内部电流耦合的强度，使天线的谐振频率从1.26GHz调整为1.14GHz、1.54GHz和1.84GHz。

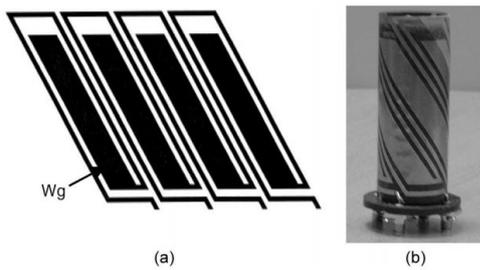


图 2 文献[5]中天线结构图

文献[6]设计的螺旋臂采用倒F型折叠方式，其天线的尺寸仅 $0.06 \lambda_0 \times 0.06 \lambda_0 \times 0.06 \lambda_0$  ( $\lambda_0$ 为自由空间中心频率对应的波长)，且在GPS  $L_1$ 和 $L_2$ 频段都表现出良好的圆极化性能，螺旋臂结构如图3所示。螺旋臂终端折叠的方式更有利于设计多频段的组合螺旋天线，文献[7]设计的叠层螺旋天线与传统四臂螺旋天线相比，高度可减小60%，如图4所示。

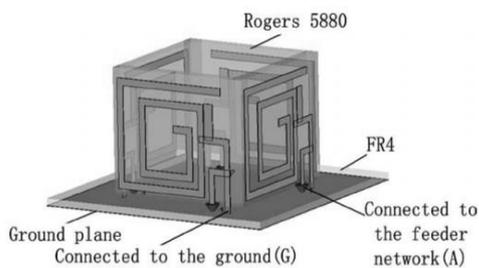


图 3 倒 F 型折叠螺旋天线结构图

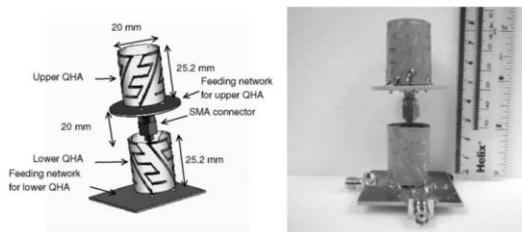


图 4 叠层螺旋天线结构图

### 1.3 电流零点耦合法

这种实现螺旋天线小型化的方法是在螺旋臂的电流零点处进行开路耦合，当螺旋臂顶端为短路结构时，螺旋臂的长度为半波长的整数倍，此时输入端和短路端为电流最大点，则在螺旋臂的中点(即电流零点处)插入缝隙可有效调节螺旋臂内的耦合，从而调整天线的谐振频点。文献[8]在螺旋臂上的电流零点处插入缝隙，断开的螺旋臂水平反向延伸成两个圆环，通过调整圆环的长度降低轴向臂长，对比不同圆环长度对天线的性能影响发现，当短截线的长度取合适值时天线的谐振频率从原来的1200MHz下降至901MHz，轴向高度减小25%，但带宽由原来的4.7%下降为2.2%，如图5所示。

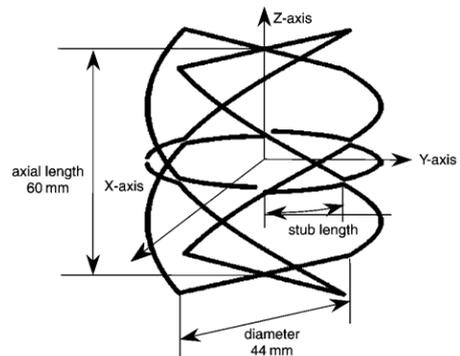


图 5 电流零点处开路的螺旋天线结构图

### 1.4 高介电材料加载法

在相同工作频率的情况下，天线的尺寸和介电常数成反比，因此，使用高介电常数的材料可以缩小天线所需要尺寸。文献[9]采用介电常数为9.8的陶瓷内芯作为螺旋臂缠绕的载体，如图6所示，最终设计的双频螺旋天线尺寸仅为 $\Phi 0.15 \lambda_0 \times 0.32 \lambda_0$ 。这种方法虽然简单，但使用介电常数很高的基材会增加天线Q值，降低天线带宽，同时高介电常数板材会在贴片表面激励起很强的表面波，表面损耗较大，则增益减小，天线的辐射效率降低。文献[10]提出用有损铁氧体心/介电壳结构作为螺旋内芯，可以在不牺牲天线辐射增益的前提下有效降低轴向模式螺旋天线的尺寸，天线的最终尺寸缩小了43%，而增益仅下降0.3dBi。

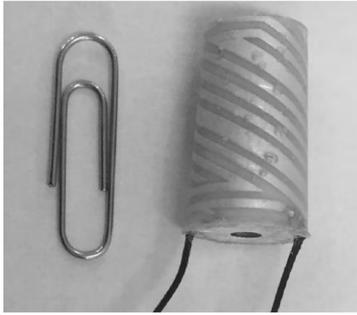


图 6 加载高介电材料的螺旋天线结构图

## 2 馈电网络的小型化

传统的顺序相位馈电网络由三个威尔金森功率分配器组合而成，每个输出端口具有相同的输出功率，通过相邻端口的微带线长度差提供相位差，第一级功分器的相位差为  $180^\circ$ ，第二级功分器的相位差为  $90^\circ$ ，级联后形成圆极化所需的顺序相位，文献[11-14]均采用这种馈电方式，但由于威尔

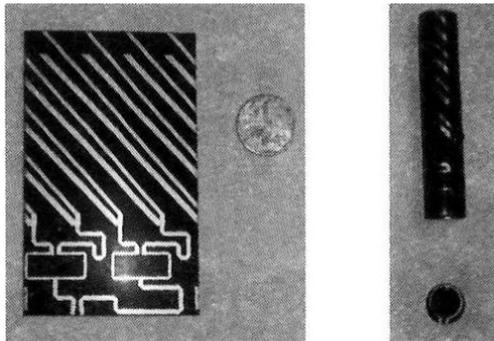


图 7 共形馈电网络结构图

逊文献[18]设计的馈电网络是一段串联的圆环状微带线，四个输出端口与上层的圆形贴片相接，结果表明天线的阻抗带宽 52%，轴比带宽为 35%。文献[19]给紧凑的馈电网络设计提出另一种思路，如图 9 所示，与传统的采用多段阻抗变换的馈电方式不同，该顺序相位馈电采用传输线宽均匀的单级过渡方式，使得整个馈电网络布局更加紧凑、整齐，实验结果表明馈电网络在中心频点 2.5GHz 的尺寸仅  $0.25 \lambda_0 \times 0.25 \lambda_0$ 。

### 2.1 双层馈电网络

将单层馈电网络转变为双层馈电网络不仅有助于馈电网络的小型化，还能有效简化馈电网络。如图 10 所示，文献[20-21]将两个具有  $90^\circ$  移相功能的威尔金森功分器印制在接地面的上下层，采用

金森功分器各级的微带线长由天线频点决定，所以当螺旋天线工作在低频时，馈电网络的整体尺寸较大，且较长的微带线会引入更多的损耗。

### 2.2 单层馈电网络

文献[15]将馈电网络和螺旋臂共形的印刷在厚度仅为 0.254mm 的罗杰斯板上，如图 7 所示，共形馈电网络的设计缩小了天线的底面尺寸，但由于馈电网络的加入，导致剖面高度变大。文献[16]采用串馈的方式充分利用有限的底面空间，通过调整每段微带线的长宽控制各段的相位差和阻抗转换，实现了良好的阻抗匹配，结果表明馈电网络的面积仅为  $0.38 \lambda_0 \times 0.38 \lambda_0$ 。文献[17]的馈电网络采用相似方法产生顺序相位延迟，如图 8 所示，最终馈电网络的底面积大约为  $0.28 \lambda_0 \times 0.28 \lambda_0$ 。这种串馈的馈电方案作为圆极化阵列天线的馈电网络，也有助于扩展天线的带宽。

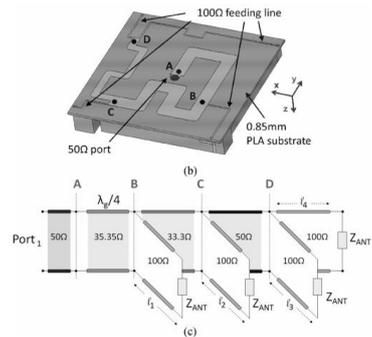


图 8 串联馈电网络结构图

同轴馈电的方式，将上下层功分器与同轴线内外芯连接，从而实现馈电网络的小型化。文献[22]在此基础上将威尔金森功分器进一步优化，在低频 1.615GHz 的馈电网络所占区域的直径仅为 34mm。

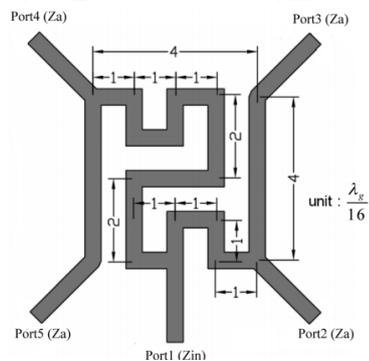


图 9 单级过渡的馈电网络结构图

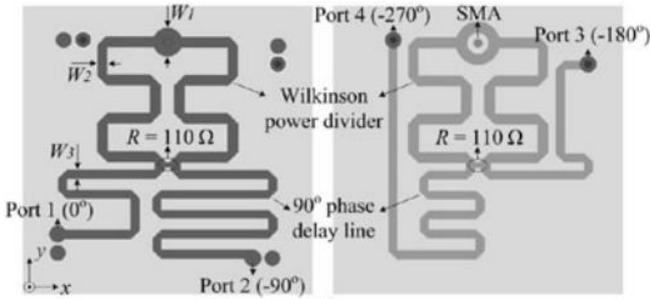


图 10 双层威尔金森馈电网络结构图

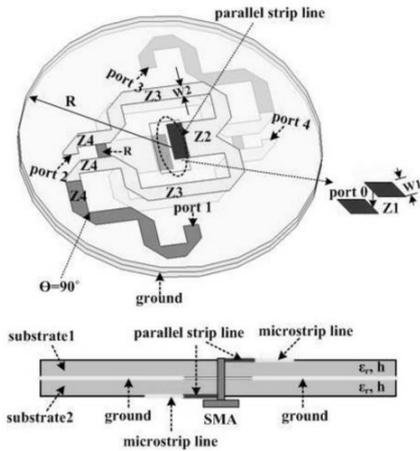


图 11 简化后的双层馈电网络结构图

文献[23]同样采用双层结构，如图 12 所示，馈电网络印制在下层板，中间接地板上蚀刻“工”字形槽，上层微带线上的能量通过缝隙耦合到下层的馈电网络，这种多层耦合的馈电结构不仅大幅减小了底板的尺寸，也提高了天线整体的带宽性能。

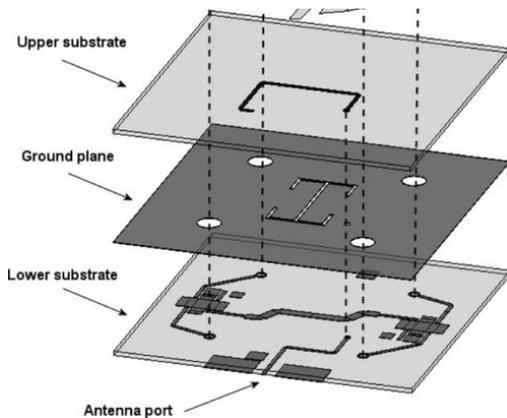


图 12 “工”字开槽馈电网络结构图

### 2.3 耦合馈电网络

通过微带线直接连接天线辐射体虽然可以保证能量的高效传输，但过长的微带线仍会限制馈电

网络的小型化，采用耦合馈电的方式连接馈电网络和辐射体能够有效缩小馈电网络的尺寸。文献[24]采用一种新颖的耦合馈电方法，如图 13 所示，将折叠形状的微带馈线蚀刻缝隙螺旋的内侧，并沿着底部缝隙顺时针缠绕，利用相位在微带线上逐渐变化的规律使每条臂上的相位按圆极化顺序改变，使天线的整体尺寸大幅缩小，降低了馈电的难度。如图 14 所示，文献[25]采用两个不同长度正交 T 型耦合馈线进行馈电，通过控制两个 T 型馈电的长度以及与环型贴片的耦合距离，产生圆极化相位差，耦合馈电的方式大幅缩小了天线的整体尺寸，天线尺寸为  $0.285 \lambda_0 \times 0.285 \lambda_0 \times 0.035 \lambda_0$ 。

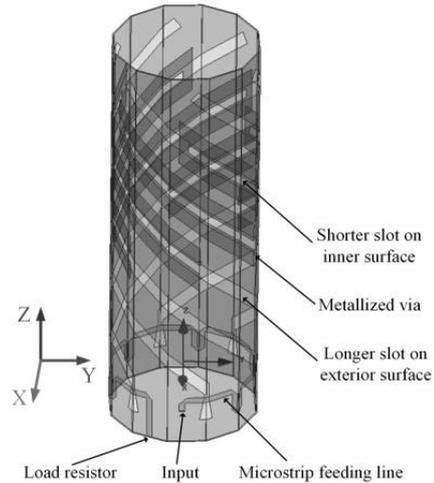


图 13 折叠耦合馈电网络结构图

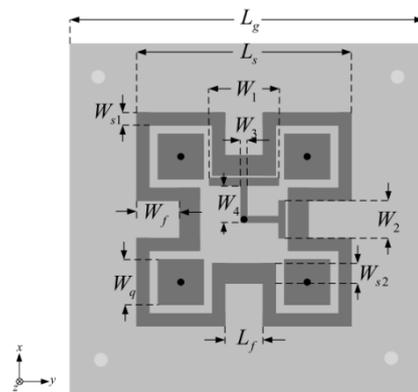


图 14 T 型耦合馈电网络结构图

### 2.4 自相移馈电

螺旋天线除了外加馈电网络提供圆极化所需顺序相位，还可以通过自相移结构实现圆极化，自相移是使天线自身的螺旋臂间产生  $90^\circ$  相位差代

替馈电网络，从而实现小型化。如图 15 所示，文献[26]采用自相移结构和高介电材料组合的设计思路，通过控制电路基板的旋转角度  $\theta$ ，使一个双臂螺旋的长度略长于平均长度，而另一个则略短一些。较长的双臂螺旋在中心频率处表现出感性阻抗，而较短的双臂螺旋显示出容性阻抗，这为圆极化提供了所需的正交激励。

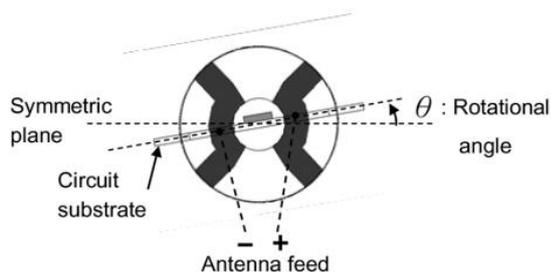


图 15 自相移馈电网络

### 3 四臂螺旋天线的展望

目前，国内外对于小型化技术的探索仍在不断深入，然而片面追求螺旋臂的小型化已不能显著减小四臂螺旋天线的尺寸，因此，高效辐射的螺旋臂配合新型的小型化馈电方案才是实现四臂螺旋天线小型化的发展趋势。如图 16 所示，采用可灵活调节阻抗匹配的 PIFA 单元和环形相位延迟的双层馈电网络，设计了一款应用于全球定位系统终端的小型化四臂螺旋天线。如图 17 所示，在耦合馈电的基础上设计了一款应用于北斗 B1 频段的方形小型化缝隙螺旋天线，利用印制在介质内表面的馈电网络耦合馈电实现螺旋天线的圆极化，与传统螺旋天线相比，不需要复杂电桥，并且具有尺寸上的优势，适合批量生产，可应用于卫星导航系统终端设备。

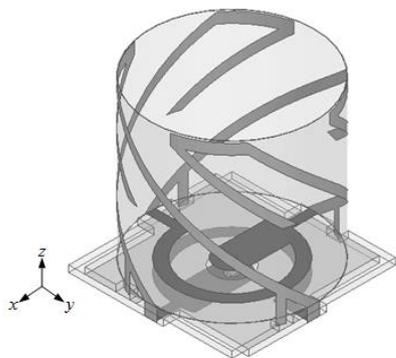


图 16 应用于全球定位系统终端的小型化四臂螺旋天

线结构图

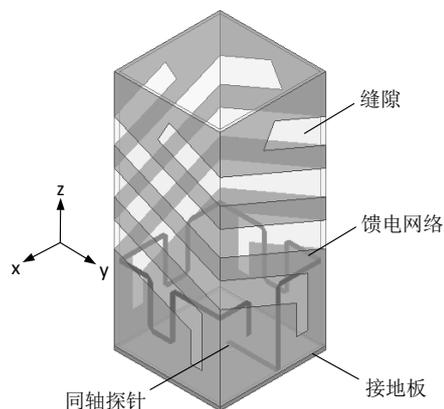


图 17 应用于北斗 B1 频段的方形小型化缝隙螺旋天线结构图

### 参考文献：

- [1]王玉峰, 常雷, 何小煜.圆极化天线技术[M].国防工业出版社: 北京, 2017.1: 151.
- [2]Hebib S, Fonseca N J G, Aubert H. Compact printed quadrifilar helical antenna with Iso-flux-shaped pattern and high cross-polarization discrimination[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2011, 10: 635-638.
- [3]Letestu Y, Sharaiha A, Besnier P. A size reduced configurations of printed quadrifilar helix antenna[J]. IEEE International Workshop on Antenna Technology: Small Antennas and Novel Metamaterials, 2005, 326-328.
- [4]Fonseca N J G, Aubert H. Very compact quadrifilar helix antenna in VHF band with quasi Hemispherical radiation pattern[J]. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Charleston, SC, 2009, 1-4.
- [5]Rabemanantsoa J, Sharaiha A. Size reduced multi-band printed quadrifilar helical antenna[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2011, 59(9): 3138-3143.
- [6]Li Z, Steven. Compact dual-band printed square quadrifilar helix antenna for global navigation satellite system receivers[J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2011, 53(5): 993-997.

# 物联网网络安全研究综述

林向阳

**摘要:** 随着 5G 技术、嵌入式技术和传感器技术的飞速发展,无处不在的“物联网”通信时代即将到来,其安全问题也受到越来越多研究者的关注。由于无线通信在物理上易于捕获和使用,并且受诸如计算,内存和能源等因素的限制,因此物联网网络的安全性能非常重要。本文对近年来国内外物联网网络的安全协议,算法,体系结构,操作系统等方面的研究进行了总结和分析,并最终探讨了进一步的研究方向。

**关键词:** 通信技术 网络安全 物联网 综述

## 1 概述

物联网是指通过各种信息传感设备,从需要监视、连接和交互的任何对象或过程中实时收集任何所需的信息,与互联网相结合形成的一个庞大的网络,以实现物与物、物与人、物与网络的连接,从而方便识别、管理和控制。随着 5G 通信技术,嵌入式计算技术和传感器技术的迅速发展和成熟,无处不在的“物联网”通信时代即将到来。物联网的巨大应用价值吸引了世界上许多国家的军事部门、工业界和学术界的高度关注。<sup>[1]</sup>

### 1.1 物联网的技术

物联网集成了三项主要技术:传感器,微机电系统和网络,可以使人们在任何时间,地点和任何环境条件下获得大量详细而可靠的信息。它可广泛应用于军事领域,环境科学,医学卫生,太空探索,交通管理,制造,反恐,抗灾等<sup>[2]</sup>。

### 1.2 网络节点

在不同的应用中,物联网网络节点的组成并不相同,但通常都由四个部分组成:数据收集,数据处理,数据传输和电源。图 1 描述了节点的组成。实线箭头的方向指示节点中数据流的方向<sup>[2]</sup>。

### 1.3 网络体系结构

在物联网网络中,节点以自组织形式形成网络,监控数据通过多跳中继方法传输到宿节点,最后将整个区域的数据传输到远端。中心通过长途或

临时建立的接收器链接进行集中处理。图 2 描述了物联网网络架构的一般形式<sup>[1]</sup>。

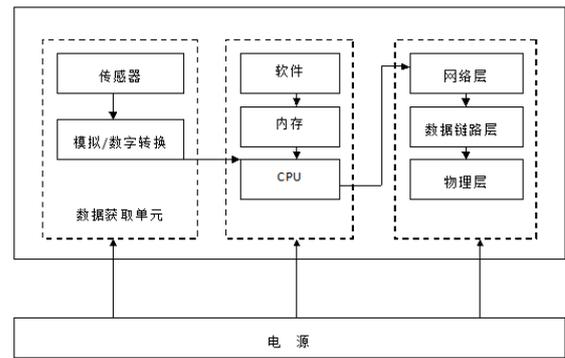


图 1 物联网网络节点的组成

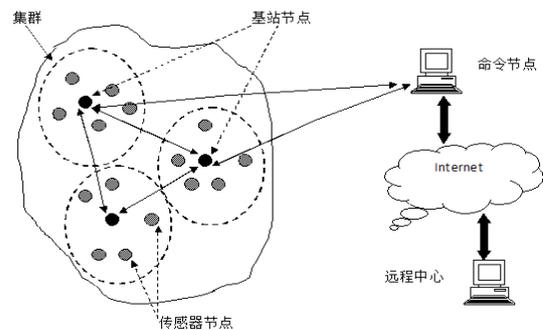


图 2 物联网网络体系结构

网络节点分为三类:传感器节点,基站节点和命令节点。传感器节点负责感测物理数据并将这些

## 作者简介:

**林向阳:** 清华大学工程硕士,中国移动福建公司福州分公司,高级工程师,主要研究方向为计算机网络、数据库技术和信息安全。

数据传输到其所属的基站节点。基站节点充当物联网网络和有线网络的网关。命令节点是控制物联网网络运行的节点。通过部署传感器，基站节点通过群集处理在自身控制范围内处理其周围的传感器节点。这样的集群包含基站节点。基站节点是群集中传感器的网关。基站负责收集群集中的传感器节点收集的数据<sup>[2]</sup>。

#### 1.4 物联网网络的特点与问题

物联网网络具有以下特点，带来了具有挑战性的问题<sup>[2]</sup>：

(1) 有限的通讯能力：传感器的通讯带宽狭窄且经常变化，通讯覆盖范围只有几十到几百米。传感器之间的通讯经常断开。在通信能力有限的情况下如何提高质量是一个挑战。

(2) 有限的电源能量：传感器的电源能量非常有限，这是限制其应用的严重问题。

(3) 计算能力有限：物联网网络中的传感器都具有处理器和具有嵌入式功能的存储器，但是由于嵌入式处理器和存储器的功能有限，传感器的计算能力非常有限。

(4) 传感器数量大且分布范围广：物联网中的传感器节点密集且数量庞大，可能达到数百，数千甚至更多。

(5) 大量感知数据：物联网网络中的每个传感器通常会生成较大的流数据并具有实时性能。每个传感器仅具有有限的计算资源，并且难以处理大量的实时数据流。

### 2 物联网网络的安全威胁

由于物联网网络自身条件的限制，该网络容易受到各种安全威胁的威胁，其中一些类似于一般 Ad hoc 网络所经历的安全威胁<sup>[3]</sup>：

(1)窃听。攻击者可以窃听网络节点传输的部分或全部信息。

(2)哄骗。该节点可以掩盖其真实身份。

(3)模仿。一个节点可以显示另一节点的身份。

(4)危害节点安全。如果捕获到传感器及其密钥，攻击者将读取传感器中存储的信息。

(5)注入。攻击者将破坏性数据添加到网络上传输的信息或广播流中。

(6)回放。攻击者会将节点误认为是参加新会议并重新发送旧消息。

(7)拒绝服务。通过耗尽传感器节点资源，可以

禁用该节点。

#### 2.1 物联网网络的安全需求

根据物联网网络的特殊要求，物联网网络的安全特性已经在该领域形成，可以直接应用于实际网络。归纳为以下几个方面<sup>[1-3]</sup>。

##### 数据机密性

数据机密是首先要保护的對象。保护数据机密性的标准方法是使用密钥对数据进行加密，并且接收方可以解密数据，从而实现机密性。

##### 数据认证

在物联网网络中，消息身份验证对于许多应用程序非常重要。建立网络时，管理任务必须进行身份验证。数据身份验证允许收件人验证数据确实是由所谓的发件人发送的。

##### 数据完整性

在通信中，数据完整性保证了在传输过程中攻击者不会更改接收方接收到的数据。数据完整性可以通过数据认证来实现。

##### 数据实时性

物联网网络测量的所有数据都是时间相关的，不足以确保机密性和身份验证，但必须确保每个消息都是实时的。实时数据意味着该数据是最新的，并确保没有攻击者回放以前的信息。

##### 密钥管理

为了达到并满足上述安全要求，需要对加密密钥进行管理。由于能源和计算能力的限制，IoT 网络需要在安全级别和这些限制之间保持平衡。密钥管理应包括密钥分发，初始化阶段，节点添加，密钥吊销，密钥更新。

### 3 物联网网络的安全研究

物联网网络技术是一种新兴的前沿技术。纵观近年来国外对互联网安全领域的研究，可以将其分为几类，如表 1 所示<sup>[4]</sup>。

表 1 物联网网络安全项目分类

类	子类
密码技术	加密技术
	完整性检测技术
	身份认证技术
	数字签名
密钥管理	预先配置密钥
	自动加强的自治密钥

	仲裁密钥 使用配置理论的密钥管理
路由安全	安全路由行程 攻击 路由算法
位置意识安全	攻击 安全路由协议 位置确认
数据融合安全	认证 集合
其他	

### 3.1 物联网网络密码技术<sup>[9]</sup>

物联网网络也是一种无线通信网络，具有基本相同的加密技术。加密技术是物联网网络安全的基础，也是所有网络安全的前提。

#### 3.1.1 加密技术

加密是一种基本的安全机制。它将传感器节点之间的通信消息转换为密文，以形成加密密钥。这些密文只能由知道解密密钥的人识别。具有相同加密密钥和解密密钥的加密算法称为对称密钥加密算法；加密密钥和解密密钥不同的加密算法称为非对称密钥加密算法。对称密钥密码系统要求秘密通信中的双方必须事先共享密钥，因此它也称为单密钥密码系统。该算法分为两种：并行密码算法和分组密码算法。在非对称密钥密码系统中，每个用户都有两种类型的密钥，即公共密钥和秘密密钥。公钥向所有人开放，只有用户知道私钥。

#### 3.1.2 完整性检测技术

完整性检测技术用于消息身份验证，以检测由恶意攻击者篡改导致的信息错误。为了抵御恶意攻击，完整性检测技术会添加秘密信息，并且不知道秘密信息的攻击者将无法生成有效的消息完整性代码。该技术易于实现，特别是在物联网网络上。

#### 3.1.3 身份认证技术

身份认证技术通过检测两个通信方拥有或知道的内容来确定两个通信方的身份是否合法。这种技术是通信中的两方之一通过加密技术，验证另一方是否知道它们之间共享的秘密密钥，或另一方的私有密钥。它基于简单的一键加密算法和哈希函数，适用于所有无线网络通信。

#### 3.1.4 数字签名

数字签名是一种用于提供服务不可否认性的安全机制。数字签名主要基于公共密钥加密技术。用户使用其私钥对消息签名，然后将消息和签名一起传递给验证者。验证者使用签名者的公钥来验证签名的真实性。

### 3.2 密钥确立和管理

密码学是网络安全体系结构中非常重要的部分，而密钥是密码学的核心内容。密钥的建立需要在参与实体之间建立信任关系并计算加密密钥。信任的建立可以通过公钥或秘密密钥技术来实现。固定基础组织或中央管理员无法实现物联网网络的通信，只能使用分布式密钥管理技术。

密钥管理协议分为预配置密钥协议，仲裁密钥协议和自动增强的自主密钥协议。预先配置的密钥协议会预先配置传感器节点中的密钥。这种方法不灵活，尤其是在动态物联网网络中添加或删除节点时。在仲裁密钥协议中，密钥分发中心（KDC）用于建立和维护网络密钥。它完全集中在一个节点中或分散在一组受信任的节点中。自动增强的自主密钥协议将已建立的密钥分发到节点组中。

#### 3.2.1 预先配置密钥

(1) 全网范围的预配置密钥。在进行配置之前，物联网网络中的所有节点必须加载相同的密钥。

(2) 指定节点的预配置密钥。在这种方法中，网络中的每个节点都需要知道与之通信的所有节点的 ID 号，并且每两个节点共享一个独立的密钥。

(3) J 安全预配置节点。在全网范围内预先配置的节点密钥方法中，任何危险节点都将危害整个网络的安全性。在显式节点预配置中，尽管几个危险节点串联连接，但整个网络都不会受到影响。J 安全方法提供了组节点保护，以防止来自不属于该组的 j 个危险节点的威胁。

#### 3.2.2 仲裁密钥协议

仲裁协议包含用于建立密钥的第三信任组件。根据建立的密钥类型，协议分为秘密密钥和公共密钥。标准秘密密钥协议被开发为密钥分发中心（KDC）或密钥转换中心。成对密钥建立协议可以支持组节点的密钥建立。有一个称为分层逻辑密钥（LKH）的分层密钥建立协议。在此协议中，第三方受信方（TTP）创建分层逻辑密钥，在网络底部具有一组密钥，然后加密密钥（KEK）形成网络的

内部节点。

### 3.2.3 自动加强的自治密钥协议

(1) 配对的非对称密钥。该协议基于公钥加密。在配置之前,每个节点都嵌入任务授权机构授予的公钥证书。

(2) 组密钥协议。在物联网网络节点组中建立公共密钥,而无需依赖受信任的第三方。该协议还基于公钥密码技术,包括以下内容:

①简单的密钥分发中心。支持使用复合消息的组节点。因为它不提供快速的安全措施,所以它适用于路由应用程序。

②Diffie.Hellman 组协议。该协议确保一组节点中的每个节点都对组密钥的值有所贡献。

③功能键。该协议规定,只有满足发送消息要求的节点才能计算共享密钥并解密给定消息。功能包括区别特征,例如位置和传感器功能。

### 3.2.4 使用配置理论的密钥管理

由于资源限制,物联网网络中的密钥管理尤为重要。使用配置的密钥管理方案是对任何密钥预分配方案的改进。它结合了配置理论,以避免不必要的密钥分发。配置理论的添加完全改善了网络的连通性,存储的实用性以及抵抗节点捕获的能力。与前面提到的密钥管理方案相比,它更适合于大规模的物联网网络。配置理论假设传感器节点在配置后是静态的。配置点是节点在配置时的位置,但不是节点的最终位置,而是仅在节点最终位置的概率密度内,停滞点是传感器节点的最终位置。

## 3.3 物联网网络的路由安全

理想情况下,路由协议的安全目标是确保数据完整性,身份验证和身份验证以及可用性。接收者仅接收发送者想要发送给它的信息,并且可以验证消息的完整性和发送者的身份。通常,大量传感器节点密集地分布在一个区域中,并且传感器节点和接收节点之间的通信需要特定的多跳无线路由协议。

### 3.3.1 针对路由协议的常见攻击<sup>[4, 5, 6]</sup>

大多数路由协议在设计时都没有考虑安全问题。因此,有许多针对这些路由协议的攻击方法。常见的攻击如下:

(1) 伪造路由信息:攻击者可以通过欺骗,更改和重新发送路由信息来创建路由环路,以吸引或拒绝网络信息流量,扩展或缩短路由路径,形成

错误错误消息,分割网络并添加。

(2) 选择性转发(selective forward):节点收到数据包后,有选择地转发或根本不转发接收到的数据包,导致数据包没有到达目的地。

(3) Sinkhole 攻击:攻击者声称自己具有足够的可靠和高效,然后吸引了其他攻击(例如选择攻击,更改攻击者的内容),从而吸引了周围的节点以将其作为路由路径中的一个点。数据包等)组合以达到攻击目标。由于物联网的固有通信模式,即所有数据包都发送到同一目的地,因此特别容易受到此类攻击。

(4) Sybil 攻击:在这种攻击中,单个节点以多种身份出现在网络中其他节点的前面,使它更容易成为路由路径中的一个节点,然后与其他攻击方法结合使用以实现攻击目的。

(5) 虫洞攻击:这种攻击通常需要两个恶意节点相互勾结才能协作进行攻击。通常,恶意节点位于接收器附近,另一个恶意节点远离接收器。远端节点声称它可以与接收器附近的节点建立低延迟,高带宽的链接,从而吸引周围的节点以吸引将数据包发送给它。在这种情况下,远离接收器的恶意节点实际上是一个接收器漏洞。蠕虫攻击可以与其他攻击结合使用,例如选择性转发,Sybil 攻击等。

(6) HELLO flood 攻击:许多路由协议要求传感器节点定期发送 HELLO 数据包,以声明自己为邻居。但是,当强大的恶意节点以足够的功率广播 HELLO 数据包时,接收到 HELLO 数据包的节点将认为该恶意节点是其邻居。在将来的路由中,这些节点可能会使用此路径到达恶意节点并将数据包发送到恶意节点。实际上,由于该节点远离恶意节点,因此数据包以普通的传输功率进行传输根本无法到达目的地。

## 3.4 数据融合安全<sup>[7]</sup>

物联网网络中有大量节点,这些节点将生成大量数据。如何对这些数据进行分类,收集网络中传输的有效数据以及进行数据身份认证是数据融合安全性需要解决的问题。

### 3.4.1 数据集合

数据收集通过最大程度地减少冗余数据的传输来提高带宽利用率和能源利用率。当今流行的安全数据收集协议 SRDA,通过传输差分数据而不是原始传感数据来减少传输量。SRDA 使用配置估计,

并且不实施任何在线密钥分发来建立传感器节点之间的安全通信。它将数据收集和安全概念集成到网络中,可以实现对目标的连续监控并实现传感器与基站之间的数据漂移。

#### 3.4.2 数据认证

数据认证是物联网网络安全的基本要求之一。网络中的消息必须在传输之前经过身份验证,否则攻击者可以轻松地将伪造的消息包注入网络,从而耗尽传感器能量并使整个网络瘫痪。

数据认证可以分为三类:

(1) 单播认证(用于两个节点之间的数据包认证)。使用对称密钥协议,数据包包含节点之间的共享密钥,作为双方的身份验证。

(2) 全局广播身份验证(用于基站与网络中所有节点之间的数据包身份验证)。uTESLA 是一项特殊的全球广播认证,适用于具有严格资源限制的环境。

(3) 本地广播身份验证(支持本地广播消息和被动参与)。本地广播消息由时间或事件驱动。LEAP 包括用于本地广播身份验证的有效协议。

除上述类别的安全项目外,物联网网络安全设计还包括节能密钥管理,分层网络字符串算法,网络分布式合作等项目,这些都需要在未来进行进一步开发和探索。

#### 4 总结和展望<sup>[9, 7]</sup>

物联网网络的安全要求基于其自身的条件,这是与常规无线网络最大的不同。物联网网络安全的研究主要包括四个方面:加密技术、关键建立和管理、路由安全和数据融合安全性。关于物联网网络安全性还有很多研究工作,需要考虑以下几个方面:

(1) 作为新兴的安全技术,区块链的去中心化能提供安全的环境,实现真正意义上的分布式系统;区块链的去信任化以及智能合约增强了互信机制;区块链的时序数据和数据加密则可以保障数据安全。未来的研究要把区块链技术和物联网技术结合起来,利用区块链加强物联网应用层、网络层、感知层的安全性。

(2) 物联网安全通信协议的发展方向还需要

进一步加以研究,其中低开销椭圆曲线密码、选择性干扰攻击的防御、机器学习应用于物联网的攻击检测等都是未来重要的研究方向。

(3) 物联网操作系统是物联网发展的重要基础,只有保证了物联网操作系统的安全,才能进一步保证物联网的安全。轻量化细粒度系统防御与可信计算技术、广泛适用的安全系统框架、内核、接口设计方法、高效的物联网安全测试与漏洞检测方法、物联网系统生存技术等问题,都是物联网操作系统安全的未来重点研究方向。

(4) 随着共享单车、共享汽车等物联网共享服务的增多,如何防止这些共享服务中用户隐私信息的泄露将成为物联网安全研究的一大热点。数据统计与分析技术的发展依赖于大量的用户数据,而这也带来了更大的隐私泄露风险,研究人员需要提出更加实用的基于隐私保护的数据挖掘与机器学习方法。

作为新兴技术,物联网的发展仍处于起步阶段,并且有广阔的发展空间,尤其是其安全技术。未来的研究需要将物联网网络本身的局限性与普通的无线通信网络安全技术结合起来,以创建一个更安全,更方便的物联网网络。

#### 参考文献

- [1]周海龙,罗小华,冯雪山.关于物联网安全问题的专题分析.电脑知识与技术[J].2019,15(12).17-18
- [2]张玉清,周威,彭安妮.物联网安全综述.计算机研究与发展[J].2017,54(10).2130-2158
- [3]林楠,徐丽红.浅谈物联网安全特征与关键技术.数码设计[J].2019,(9).85-86
- [4]李瑶.浅谈物联网的安全技术.数字通信世界[J].2017,(10).14-15
- [5]赵阔,邢永恒.区块链技术驱动下的物联网安全研究综述.信息网络安全[J].2017,(5).1-6
- [6]张远晶,毕然.我国物联网安全及解决方案研究.信息通信技术与政策[J].2019,(2).35-39

# 基于机器学习算法的移动视频业务端到端质量分析方法

李灵慧 蔡鸿祥

**摘要:** 针对传统视频运维支撑手段存在信息完整性差、端到端关联度低、端到端定界难等问题, 难以满足电认运营商对视频业务质量分析的支撑需求, 本文创新性提出视频业务多数据源关联、视频单据合成算法、建立了一套视频业务端到端质量评估体系, 并且引入机器学习算法, 构建手机视频端到端定界模型, 实现海量数据的多维度分析, 为视频业务质量提升提供了有力支撑手段, 极大提高用户满意度。

**关键词:** 视频; 机器学习; 端到端; 自动定界

## 1 引言

### 1.1 背景和研究意义

5G 的高带宽低时延特性, 必将促进视频业务的高速发展, 目前视频业务已成为互联网最重要的业务之一(视频流量占移动互联网业务 30%, 占有线宽带业务 66%)。用户对视频业务的体验将影响到网络的整体满意情况(宽带业务投诉中视频业务占比 21%), 随着各种不限流量套餐, 以及视频定向包的推广, 视频流量在移动互联网业务的占比将会持续上升。用户对视频业务的体验将影响到对网络的整体满意情况, 保障用户视频感知成为提升用户满意度的关键手段, 本文基于运营商 DPI(Deep Packet Inspection)系统采集的海量用户上网信令日志数据, 通过视频业务多数据源关联、视频单据合成算法、建立了一套视频业务端到端质量评估体系, 并且引入人工智能算法, 构建手机视频端到端定界模型, 实现海量数据的多维度分析, 为全省的视频业务质量提升提供了有力支撑手段。

### 1.2 国内外研究现状

3GPP 定义了四种基本业务类型: 会话类业务、流媒体业务、交互类业务和后台类业务<sup>[1]</sup>。会话类

业务对时延最敏感, 对时延及丢包等服务质量有严格的要求; 流媒体最基本的特征是保护数据流中各信息实体传送的连续性, 抖动是其重要的 QoS 指标<sup>[1]</sup>。2018 年 9 月中国移动 5G 联合创新中心, 5G 联创中央实验室(北京)联合华为、海信完成了业界首个基于 3GPP 标准 R15 版本的 5G 端到端 8K 超高清视频业务演示。网络的发展推动视频业务的高速发展, 目前国内外对于视频的评价标准及端到端定界能力一直处于不断的更新发展阶段, 国内运营商对于移动视频业务的分析能力主要基于两种方式: 一是基于 DPI 事务级数据进行关系分析, 二是通过自营 APP 自动采集上报。

### 1.3 现状存在的问题

现有基于 DPI 事务级的数据进行分析, 因为不是用户观看完全一个视频出一个评价, 而是对观看过程进行切割并取平均值, 无法准确捕捉网络质量及整体评价用户感知。然而基于 APP 自动上报的, 业务种类局限性较大, 无法对全量视频业务质量进行分析。

其它传统的运维支撑手段存在信息完整性差、端到端关联度低、端到端定界难等问题, 难以满足

## 作者简介:

**李灵慧:** 中国移动通信集团福建有限公司移动营运中心; 硕士, 工程师, 主要研究方向为移动业务大数据分析、DP。

**蔡鸿祥:** 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为移动业务大数据分析。

对视频业务质量分析的支撑需求。

信息完整性差：为精准评估客户视频使用感知，至少需要卡顿、缓冲等累计 54 个指标，但传统网管仅能提供速率、时延等指标不足 5 个。

端到端关联度低：数据散落在各个网管系统传统手段无法将用户与使用的业务进行关联，关联成功率几乎为 0%。

端到端定界难：手机视频感知涉及到云、管、端多个环节，我们无法通过指标或者投诉就能知道

造成该问题的原因。

#### 1.4 DPI 技术原理简介

DPI 数据为通过 DPI 设备对网络的关键点处的流量和报文内容进行检测分析，可以根据事先定义好的识别规则与策略对用户使用的业务进行精细化识别，生成规范化的字段信息，供下游大数据统计分析。统一 DPI 整合了多个第三方应用系统的 DPI 设备，通过 DPI 复用为多个系统提供 DPI 能力<sup>[1]</sup>。

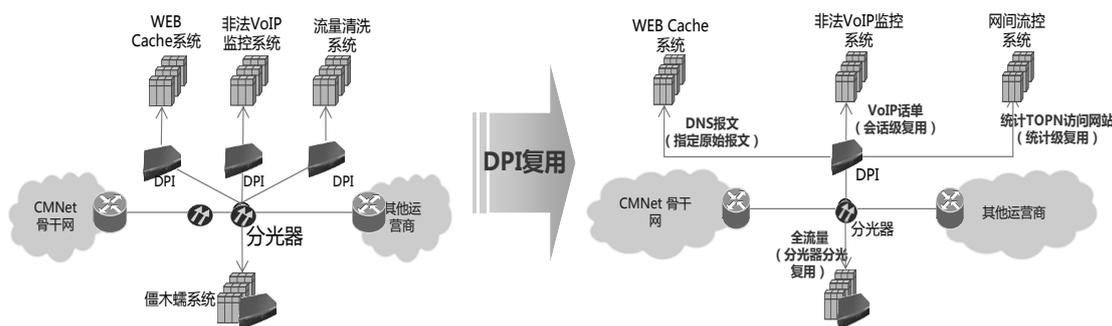


图 1 DPI 复用情况

中国移动网内流量，从用户出发，按照接入网、城域网、省网、骨干网的顺序在网内传输。由此，在全网五个点进行使用分析，部署 DPI 设备，即可捕捉到网内流量全貌。按照部署位置的不同，可以

把统一 DPI 分为五个应用场景，如图 2 所示。每个场景的流量具有不同的特征，上层的应用也有不同<sup>[1]</sup>。

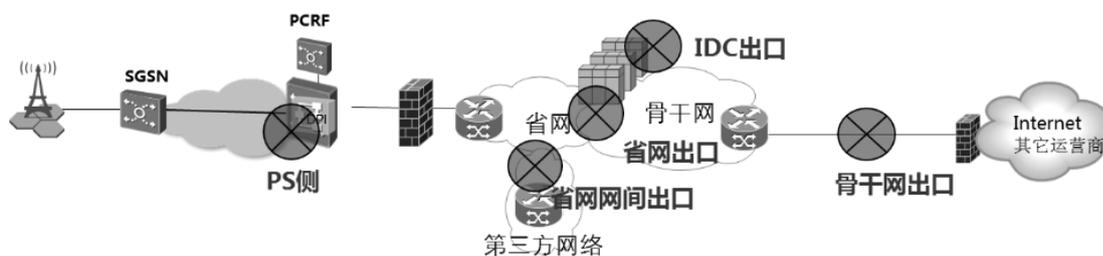


图 2 统一 DPI 应用场景

## 2 视频业务端到端质量管控体系

### 2.1 多数据源关联

本文实现了多数据源关联，包括视频 DPI 数据、网优指标数据、用户流量套餐数据、主动拨测系统数据、投诉数据等。

本文重点以 DPI 数据为基础，关联其它数据源，自主创新性地引入人工智能算法实现视频端到端的分析，通过模型训练实现用户感知预测并进行主动关怀。

1)基于 DPI 设备实现视频关键信息采集  
在核心网设备链路分光部署信令采集硬探针，既可以根据 DPI 业务识别规则进行常规的视频质量解析，也实现了截取并解析视频客户端程序（如爱奇艺）回传视频服务器的质量统计数据包，实现了对视频的流畅度、缓冲时延、卡顿等关键指标分析。

### 2)关联 BOSS 域用户级的数据

从 O 域到 B 域的跨域数数据关联，通过程序内部设定，根据时间与用户号码，自动同步关联，

实现从 DPI 数据到用户套餐、用户属性及用户限速状态关联分析。

关联网优无线小区小时数据指标，实现对小区负荷以及小区分析。

3)关联网优无线指标数据



图 3 无线数据源关联

2.2 基于深度报文检测的视频单据合成算法

本文利用深度报文检测进行视频业务单据的合成，将一次视频业务过程中的多个事务合成为一次业务行为，输出更贴近用户感知的视频播放业务行为的数据信息。

深度报文检测识别视频业务报文，对全量业务报文中的视频报文进行识别，通过 host, host+uri, user-agent, IP 以及 HTTP 响应头等关键信息进行业务识别。

二次识别，通过关键字过滤视频网站真正的视频流报文。具体的关键字主要有：.mp4、m3u8、.ts、.flv、.f4v、/player/getFlvPath 等。

实现视频业务按分段、分片各流程进行关联，还原用户视频播放过程的真实行为。

分段流程：客户端向服务器发起视频 get 请求，

服务器响应 206 Partial Content。客户端收到 206 响应后会继续向服务器发送该视频的 get 请求（URL 与第一次发送的 get 请求一致），直到收到 200 OK 确认全部视频传输完成。在关联过程中，需要记录请求的 URL，Content-Type，响应结果，对相同 URL 的码流进行视频关联，收到 200 OK 时关联结束。

分片流程：在分片流程中，客户端会向服务器获取 m3u8 文件列表，URL 中有 .m3u8 关键信息，此时开始进行视频业务关联。同时需要解析服务器响应报文的 BODY，获取到各个 ts 视频分片的文件名称，将后续收到的 URL 中包含有视频分片名称的 URL 请求流关联到本次视频业务中，直到所有的 ts 分片下载完成，结束视频关联。

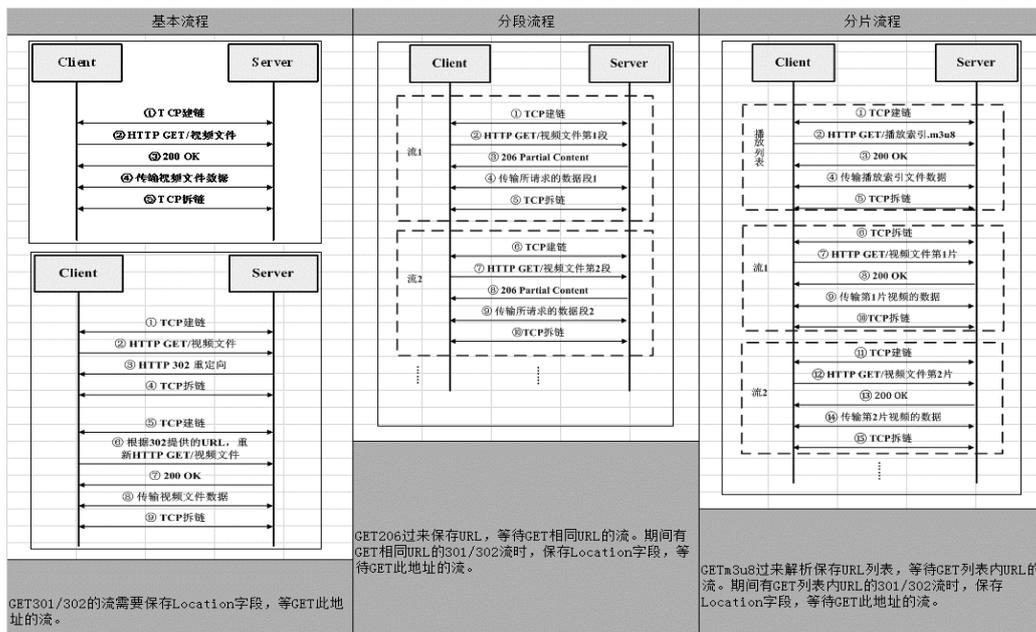


图 4 视频分片分段流程

### 2.3 基于 DPI 指标的视频质量评估体系构建

本文创新性提出以业务级为基础的视频质量评估指标体系，主要包括视频播放流畅度、视频可观看时长占比、合成视频播放成功率、合成视频下

载平均速率、合成视频播放等待时长、合成视频播放平均卡顿间隔等指标，并基于此算法实现 vMos..<sup>[2]</sup> 算法类似功能。

表 1 视频端到端指标体系

视频端到端指标与定义							
视频播放平均卡顿次数	视频播放流畅度	视频可观看时长占比	合成视频播放成功率	合成视频下载平均速率	合成视频播放等待时长	合成视频播放平均卡顿间隔	视频首帧时延
统计从视频开始播放到播放结束之间发生的单位时间平均卡顿次数	统计时间段内视频播放流畅的单据量 N1 除以总的视频单据量 N2	可观看时长/视频传输时间	视频播放成功的次数/视频播放总次数	流媒体下载数据量和传输时间，总下载数据量除以总传输时间为平均下载速率	评估视频从点击到开始播放的等待时长	在播放过程中有效观看时长与由于各种网络原因产生停顿的次数的比值	从点击视频链接到客户端收到视频首帧的时间

### 3 基于人工智能算法的视频端到端定界模型

通过提取拨测用户的视频合成 XDR (X Data Recording)完成视频指标计算,关联用户感知信息,同时关联限速信息、投诉数据等,运用机器学习训练完成用户感知评价及问题定界结论输出<sup>[3]</sup>。

#### 3.1 数据选取与缺失值处理

利用现网已有的 DPI 采集系统,选取 DPI 底层详细单据,关联投诉数据、无线指标信息、无线工参与终端配置信息,完成机器学习原始输入数据的准备。

对于缺失值,可以选择缺失值删除法<sup>[4]</sup>,也可以选择缺失值填充法(将缺失部分,用数据的均值进行填充),通过实验对比,缺失值填充法准确率高于缺失值删除法。

#### 3.2 感知指标关联性分析

通过大量的实验数据表明,本方案提出的标体系之间存在一定的关联关系,但并不完全正相关或者完全负相关,若完全正相关或者负相关,则指标体系就没有意义只需要保留一两个,因此本方案提出的指标体系内的每个指标均有其不可替代的意义。

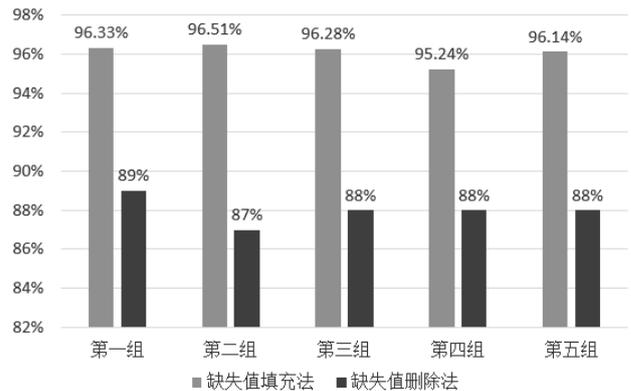


图 5 缺失值填充法与删除法准确性比较

卡顿次数应与下载速率反向线性相关,从测试的结果来看,并没有。因此下载速率并不能直接反应用户感知。合成视频播放等待时长与卡顿次数应成反向相关,从实验测试结果分析,这个指标从趋势上与卡顿次数接近正相关,列入与用户感知较为贴近的指标。播放成功率应与卡顿次数成反向线性相关,从测试的结果看,播放成功率与卡顿次数无关性较低,不能直接反应用户感知。可观看时长占比与卡顿次数应成反向相关,从拨测记录上看,指标从趋势上相对吻合,列入与用户感知较为贴近的指标。

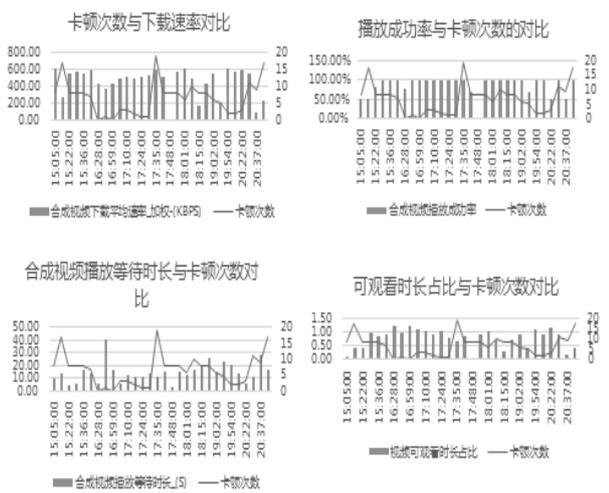


图 6 视频端到端指标与用户感知相关性分析

将原始指标进行演变，衍生出三天平均指标、周平均指标及月平均指标。因为原始指标量纲和单位均不一样，有的相差很远，需要对指标进行归一化处理（将原始数据集归一化为均值为 0、方差 1

的数据集），常用归一化方法包括标准归一化和最大最小归一化，本次模型采用的是标准归一化，归一化公式如下：

$$x^* = \frac{x - \mu}{\delta}$$

其中  $\mu$  为所有样本数据的均值， $\delta$  为所有样本数据的标准差。

在选取与用户感知相关的指标的同时也要关注指标间的相关性，为避免数据过拟合，需要对指标的相关性进行判断筛选，剔除相关性过高的指标。计算在本次样本数据 24 个特征的相关系数矩阵，把对角元赋值为 0，要是两两特征间的相关系数绝对值大于 0.75，就将相关系数总和最大的特征进行剔除；要是最大的相关系数绝对值不大于 0.75，则算法停止。

经过此步骤后，最终筛选出 20 个指标进入模型。

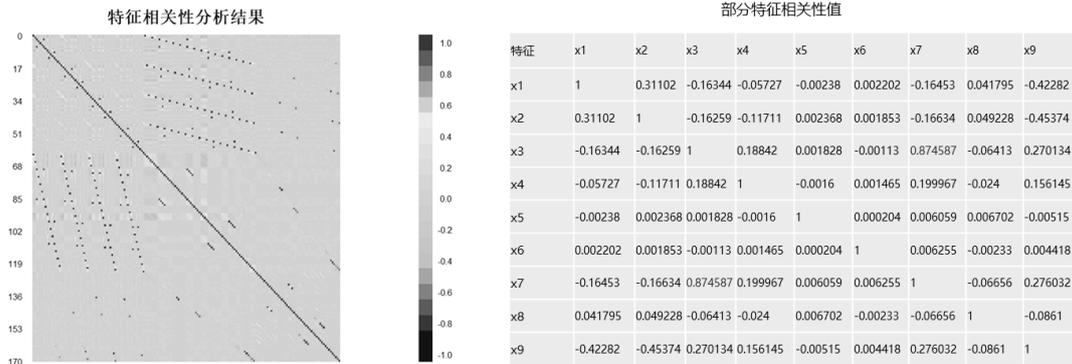


图 7 指标特征相关性分析

### 3.3 模型构建

#### 3.3.1 算法选取

对于视频端到端分析与用户感知评价，首先面临的的就是用户感知分类，先对用户感知进行分类，对感知有问题再做进一步的问题界定与定位，本方案要解决的问题属于分类问题，因此可以选取传统的逻辑回归、随机森林和朴素贝叶斯分类法<sup>[4] [5]</sup>。通过仿真试验（20 组，每组 100 次），对比得到三个模型仿真结果的平均误差率，随机森林算法误差率最低，最终确定为本方案的分类算法。

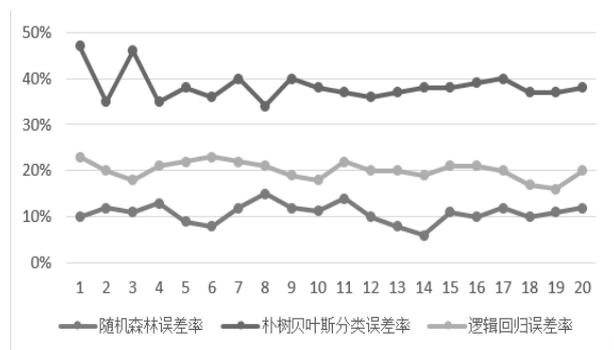


图 8 三种算法误差率比较

3.3.2 模型调优

通过 Holdout 验证模型和交叉验证模型对比，对模型进行调优。

Holdout 验证模型：将一份数据选出其中一个当做验证集，其他当做训练集。让每个训练集和验证集比较后进行调优。

交叉验证模型，将一份数据划分成 10 组，每组依次选一个做为验证集，其他做为训练集，让每个训练集和验证集比较后，再取其平均值后进行调

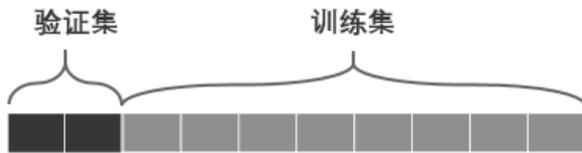


图 9 Holdout 验证模型

优。

通过 2000 个样本（1000 个是正样本，1000 个是负样本）对两种模型调优方法进行比较，交叉验证准确率高于 90%，Holdout 验证准确率低于 80%，选择交叉验证对模型进行调优。

利用随机森林决策树法将主客数据相关联，该算法有 4 个关键参数<sup>[9]</sup>，运用正交试验进行调优。对每个参数都选了 3 个位级，制定了因素位级表，选用  $L_9(3^4)$  正交表安排实验计划并进行实验。

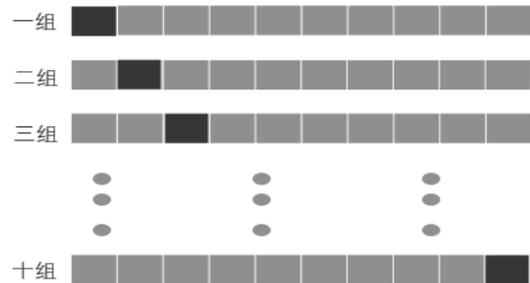


图 10 交叉验证模型

表 2 随机森林算法参数说明

参数名称	参数说明
树的数目	每颗树每个内部节点表示一个属性上的测试，每个分支代表一个测试输出，每个叶节点代表一种类别。
随机特征个数	随机特征是不确定性和随机性，在不同的条件下由于偶然因素影响，其可能取各种不同的值，但这些取值落在某个范围的概率是一定。
单棵树最大深度	当有一个新样本进入后，让森林中每棵决策树分别各自独立判断，看这个样本应该属于哪一类，而树的深度就是分类的次数
算法选择	在随机森林决策树里，每棵树都是通过相应的算法，都能预测分支的走向，输出单一的数值。

表 3 制定关键参数位及因素表

位级因素	树的数目	随机特征个数	单棵树最大深度	算法选择
1	200	Log(N)	4	ID3 算法
2	300	N/3	5	CART 算法
3	400	Sqrt(N)	6	C4.5 算法

制定位及因素表后进行正交试验，发现看一看等于算一算，满足要求，因此最优参数组为 A1B3C1D3。

表 4 随机森林决策树正交试验表

因素实验号	树的数目 (A)	随机特征个数 (B)	单棵树最大深度 (C)	算法选择 (D)	识别率
1	1	1	3	2	88.30%

因素实验号	树的数目 (A)	随机特征个数 (B)	单棵树最大深度 (C)	算法选择 (D)	识别率
2	2	1	1	1	86.50%
3	3	1	2	3	89.10%
4	1	2	2	1	87.90%
5	2	2	3	3	89.20%
6	3	2	1	2	86.20%
7	1	3	1	3	89.70%
8	2	3	2	2	86.10%
9	3	3	3	1	89.30%
I=位级 1 之和	269.20%	267.10%	266.10%	262.60%	总和=792.3%
II=位级 2 之和	260.40%	261.90%	263.00%	268.60%	
III=位级 3 之和	262.80%	269.40%	258.90%	271.60%	
极差 R	8.80%	7.50%	7.20%	9.00%	

表 5 随机森林决策树最优参数组

位级因素	树的数目	随机特征个数	单棵树最大深度	算法选择
1	200	Log(N)	4	C4.5

3.4 定界流程

根据用户上网的主要信令流程、视频基础指标及视频扩展指标，并通过同异核心网、同异业务、

同异终端、同异小区对比分析，发现哪个环节（例如：用户级、终端级、小区级、SP 级）的 KQI 指标异常。

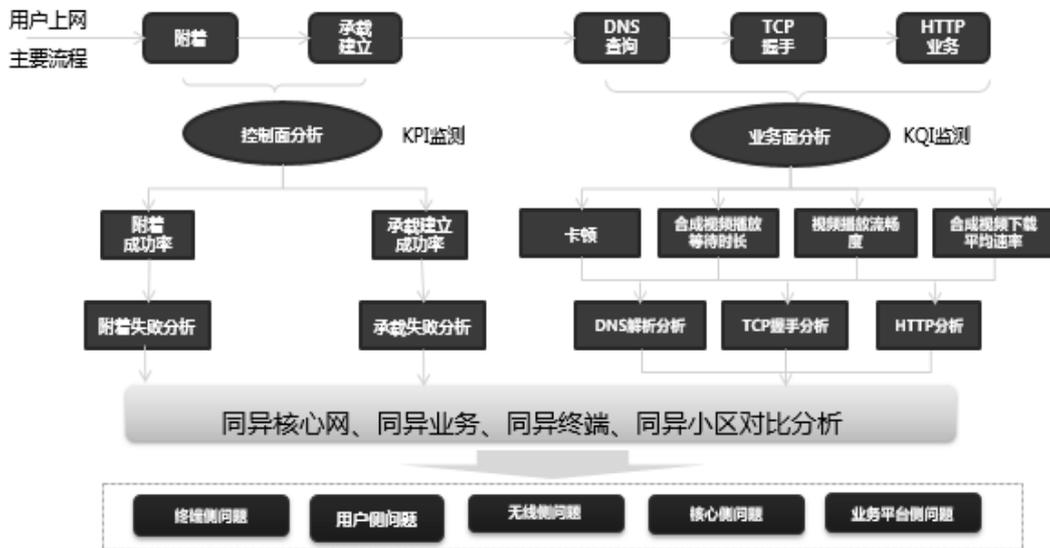


图 11 视频业务端到端定界流程

通过对指标的告警阈值和触发条件的设置，梳理出问题的自动定界流程。例如：视频播放流畅度的告警触发条件必须同时满足以下三个条件：某款

终端在某个小区的视频播放流畅度 $<80\%$ ，并且采集的样本数 $>100$ 次，质差用户数 $>5$ 个。

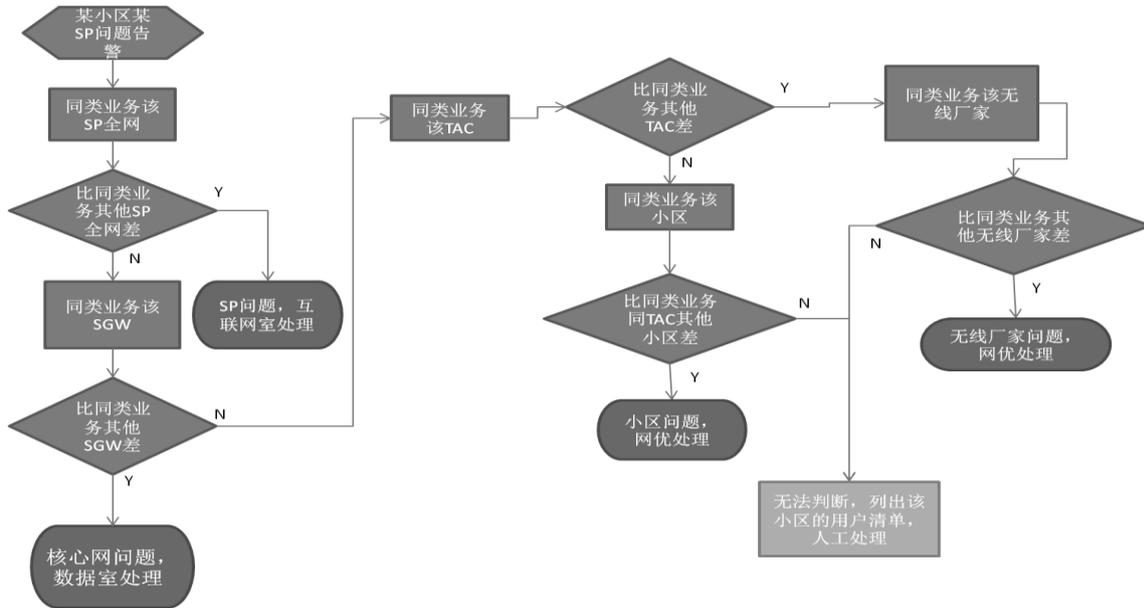


图 12 视频播放流程度端到端定界流程

#### 4 现网运用情况

##### 4.1 面向全省及集团的视频质量分析

基于用户视频业务的真实体验，推广到全省 400 万个视频用户、24 万个小区进行业务端到端质量分析。在集中性能管理平台结合问题定界结论，

预置各类视频告警规则，包含业务、小区、终端等不同维度的播放流畅度、下载平均速率、播放成功率、播放等待时长、播放卡顿次数等规则共计 21 条，累计月均发现性能问题 680 个。

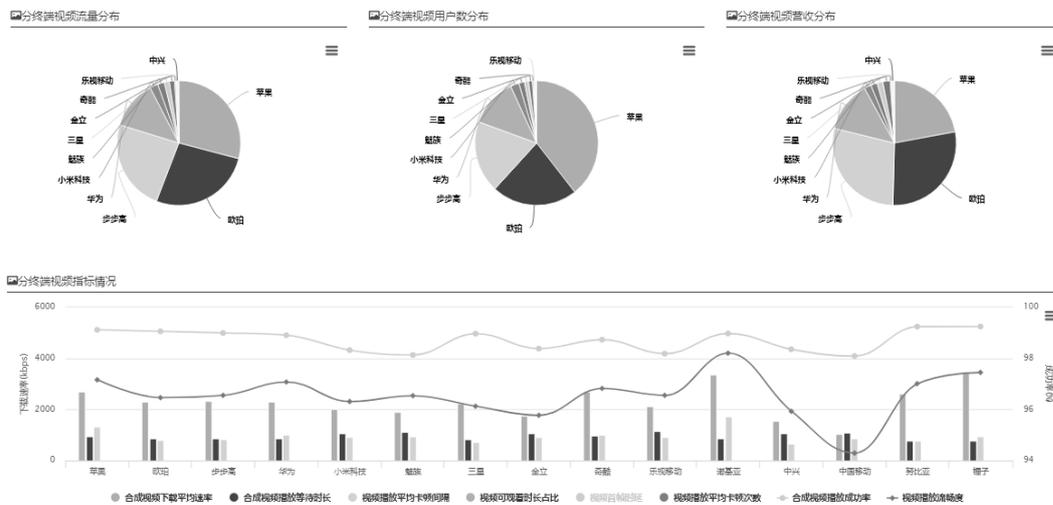


图 13 全省视频业务质量分析

##### 4.2 面向无线网的优化支撑

结合树形拓扑、GIS 渲染等可视化形式对各级

网元进行最佳清晰度的推荐，并结合问题定界输出结果，定期输出视频播放码率偏低及性能质差小

区，累计月输出视频质差小区 1950 个。



图 14 GIS 渲染及小区视频业务指标

#### 4.3 面向市场的视频资源引入及质量跟踪

为业务部门开展引入提供详实数据，根据热门视频网站的流量本网率、点击本网络率等指标，筛选出需引入视频资源数 8 个，包括风行、优酷、暴风等视频网站，视频流量本网率由 86% 提升至 98%。

定期（按月或季）向业务部门或专业公司输出视频业务质量分析报告，一是告知业务部门用户视频业务使用质量，二是督促业务部门进一步提升视频源质量。月推送质量分析报告 8 篇，辅助业务部门解决终端、业务侧问题共计 39 个。

#### 5 结论

本项目通过运用大数据分析技术，从海量的视频数据中充分挖掘用户感知并创新性提出视频业务多数据源关联、视频单据合成算法、建立了一套

移动视频业务端到端质量评估体系，同时引入机器学习算法，构建手机视频端到端定界及用户感知评价模型，实现海量数据的多维度分析，为视频业务质量提升提供了有力的支撑手段，极大提高用户满意度。随着 5G 商用的到来，视频业务必将出现新一轮爆炸式增长，视频业务形式也将更加多样化，包括短视频及直播业务的兴起，本文的视频业务评价方法除了适用于现网的 4G 视频业务，也适用于 5G 视频业务的感知分析与定界，同时 5G 催生短视频及直播视频业务，本文所提的方法可做为后续的短视频评价奠定基础。

#### 参考文献

[1] 中国移动通信集团. 中国移动统一 DPI 设备技术规范[S]. 北京

[2] 杨世铭, 张之江. 4G 网络的移动视频体验评估研究[J]. 电子测量技术, 2019, (10): 157-160.

[3] 周志华. 机器学习[M]. 清华大学出版社. 2016.

[4] 方巍. Python 数据挖掘与机器学习实战[M]. 机械工业出版社. 2019.6

[5] Jiawei Han, Micheline Kamber, Jian Pei. 数据挖掘: 概念与技术[M]. 机械工业出版社. 2012.8

# 5G+工业互联网助力产业园区技术升级

## ——以浦城荣华山组团为例

吴昊

**摘要:** 本文通过分析荣华山产业组团现有产业布局及信息基础设施发展情况, 结合新基建背景下 5G+工业互联网的发展要求, 提出了园区 5G+MEC+智慧灯杆的基础组网方案, 对园区内 5G+工业互联网具体应用进行了分析, 通过加速实现“线上”和“工业互联”为特征的“场景式”变革和数字化转型, 培育新型的智能经济形态。

**关键词:** 5G 工业互联网 智慧灯杆

### 前言

南平市荣华山产业组团位于南平市浦城县, 是南平市政府建设的市属工业园区, 是年产值近百亿元的工业园区。组团具有鲜明的区位优势, 位处闽浙赣三省交界处, 北接“长三角”城市群、南接闽东南经济区, 是福建省的北大门, 是海峡西岸毗邻地区的物资集散地。

目前工业互联网进程将进入提速阶段, 荣华山产业组团急需通过新技术与工业软件、工业流程等的融合将促进制造业降本增效, 提升整体园区及各企业竞争力。

### 1 荣华山产业组团发展现状

#### 1.1 荣华山组团产业发展现状及展望

目前荣华山产业组团有 54 家企业建成投产, 其中规模以上企业 33 家, 产业集群初具规模。经过近几年的发展, 合成革产业规模集聚, 食品加工及电子机械产业初具规模, 成为闽北乃至闽浙赣边区重要增长极。

#### 1.2 荣华山产业组团发展现状

主要产业集群的发展情况如下:

##### (1) 合成革产业

荣华山产业组团抓住浙江省部分地市的产业转移机遇, 引进水性合成革产业链, 与中科院物构所等科研院所合作, 打破技术瓶颈, 以无溶剂合成革生产工艺为组团主业发展的方向, 通过拓展合成革上下游产业链, 推动组团合成革产业向生态革发展, 提升产业集聚度。

##### (2) 食品加工及电子机械产业

荣华山产业组团引进保健产品、生物制药、中药饮片加工和中成药制造企业, 打造闽北生物产业新增长极。初步形成了以仙芝楼、小密酒业为代表的有浦城特色的食品加工产业集群。电子机械产业也初具规模。

##### 1.3 荣华山产业组团产业发展愿景

荣华山产业组团发展要打破以往对其高污染、高耗能产业承接与发展的刻板影响, 解决发展与资源环境的制约问题, 根据组团产业发展基础、主导产业规模、产业链配套等情况, 致力将组团打造成: 智汇云谷, 绿色园区。发展成为: 一个设施完备的示范园区; 一个开放高效的智汇云谷; 一个承接产业转移的绿色标杆; 一个全国领先的轻工业产业集群; 一个融山乐水、人才汇聚的产业新城。

### 作者简介:

吴昊: 毕业于天津大学电子与信息技术专业, 高级工程师, 福建省邮电规划设计院有限公司, 从事无线网络的规划、科研、设计工作。

### (1) 技术创新平台

针对合成革技术的研究创新, 打造组团技术创新平台。与中科院物质结构研究所合作, 成立技术中心, 致力于合成革基础材料、生产工艺、制造设备改造的技术研究以及品质检测检验和技术人才的培养。积极申报省级技术中心, 成立院士工作站, 打造专业生态合成革技术创新平台。

### (2) 产学研联盟平台

与福建省内重点高校以及同济大学合作, 吸收其优势学科资源, 研究优势分别就健康食品、五金机械、新基建、生物产业和电子信息成立产学研盟。

### (3) 电商推广平台

建立良好的数据集成接口, 使客户和商家形成良性、高效的商业互动, 基于顾客、产业、企业需求, 合理分配资源, 明确权责。规范产品、服务提供的各项流程, 以实现价值。

### (4) 智慧园区平台

以政府投资或企业合资的形式组建。由园区投资服务公司, 充分运用物联网、云计算等光网络、移动互联网等通讯技术, 满足组团企业、组团环境、组团安全、组团服务和商务活动等多种需求。

## 1.4 荣华山组团产业信息化基础设施建设现状及发展痛点

### (1) 组团信息系统

荣华山产业组团目前的信息化建设依旧根据传统管理方式进行, 园区尚未进行空间信息的建设, 未对园区的基础部件、地表/地下管网等信息形成全面的、精细化的建模, 未形成一张图的管理模式。

组团管理管委会及各企业各自建立信息系统, 系统数据并未实现数据汇聚与整合, 形成信息孤岛, 导致业务管理系统建设缺乏必要的综合性与统一性。组团消防栓、供水管网、视频监控等安全设施的布局和建设虽然有规划设想, 但缺乏总体考虑, 系统集成程度不高, 系统维护手段单一。对于区块链、智能充电桩、高清监控安防, 智能消防、智能环保等等有着较为迫切的需求。

### (2) 合成革产业

荣华山组团的核心产业为合成革产业, 目前以水性合成革产业链为主, 关键生产工序已经初步形成自动化, 但是存在以下的问题:

1) 部分制造企业历史较长, 车间基础网络建设尚不完善;

2) 高端设备自动化程度高, 但底层协议封闭, 联网较为困难, 设备之间仍然是信息孤岛;

3) 设备通信端口协议种类繁多, 数据整合工作量大, 数据分散, 无法形成有效决策依据;

4) 部分工序仍需要人工操作, 目前面临操作安全性、质量标准化及年轻工人招工困难等实际问题, 急需技术升级。

### (3) 食品加工产业

目前荣华山组团的食品加工产业在加工环节已经实现自动化, 在原料生产环节如灵芝的种植等已经引入温湿度监控、产品电子标签溯源等 NB-IoT 窄带物联网应用, 对于高清视频监控等有着较为迫切的需求, 但由于生产基地需要定期轮转, 采用固定宽带的接入方式在使用成本上无法满足生产需求。

## 2 5G+工业互联网的发展及架构

当前, 新一轮科技革命和产业变革蓬勃兴起, 工业智能迎来了发展的新阶段。工业互联网其发展目标利用互联网、大数据等技术, 通过产业链横向一体化、纵向一体化及端到端流程打通, 实现低成本、高效率、高质量响应客户个性化需求的目标。其本质是基于“信息物理互联系系统”实现“智能工厂”, 关键是工业互联网信息技术应用, 基础是自动化和互联互通的可靠实时与高速。

《中国制造 2025 规划纲要》及网络强国建设三年行动计划均明确指出, 鉴于 5G 网络将与云计算、大数据、虚拟增强技术等深度融合, 未来向融合感知、传输、存储、计算、处理为一体的智能化综合信息基础设施演进, 构筑云-网-端的新型基础设施, 成为我国各行各业智能化转型升级的坚实基础。

### 2.1 工业互联网平台

平台体系是工业互联网体系的核心。工业互联网平台基于海量工业数据的采集、汇聚、分析，满足工业生产全过程数字化、网络化、智能化需求，支撑制造资源泛在连接、弹性供给、高效配置的载体。

工业互联网主要构架为 SaaS 层、PaaS 层、IaaS 层及边缘层构成。SaaS 层（业务 APP）形成满足不同行业、不同场景的应用服务。PaaS 层（平台服务）构建一个可扩展的操作系统，为应用软件开发提供一个基础平台，是工业互联网的核心。IaaS 层（网络服务）计算、存储网络等资源池化，是工业互联网的支撑体系。边缘层（数据采集）构建精准、实时、高效的数据采集体系，是工业互联网的基础。

### 2.2 工业互联网的网络连接需求

网络与联接技术主要包括园区及工厂内外网等网络互联技术以及异构协议数据间互通技术。工业互联网将要连接的是工业全系统、全产业链、全价值链，可实现人、物品、机器、车间、企业等全工业生产全要素，以及设计、研发、生产、管理、服务、销售等各环节的泛在深度互联。

目前第五代移动通信技术（5G）以其高带宽、低时延、大连接的特性，契合工业使得一切皆可从云而来，随取随用。就未来而言，云端高度智能化可以通过大数据分析，时刻为我们提供各种情况下的最优解决方案，真正实现万事皆智慧已成为发展重点。

### 2.3 工业互联网的边缘计算

边缘计算是网络体系和平台体系的重要支撑技术，是网络、平台功能在边缘侧的映射。从网络侧看，边缘计算是在靠近物或数据源头的网络边缘侧构建的融合网络、计算、存储、应用核心能力的分布式开放体系和关键技术。通过边缘计算能够“就近”提供边缘智能服务，满足工业在敏捷联接、实时业务、安全与隐私保护等方面的需求。

## 3 5G+工业互联网助力荣华山产业组团技术升级

目前 5G 与工业互联网融合应用实践方面积极开展探索，结合荣华山组团的产业结构布局及发展

愿景，在目前 5G 网络大规模商用部署的大背景下，引入 5G+工业互联网体系，对于整体园区及各工业企业的研发、生产及运维的各个环节的典型应用场景下，将带来显著的经济效益及价值。

### 3.1 园区基础组网方案：

#### （1）5G 网络切片

切片是一种按需组网的技术，独立组网（SA）架构下将一张物理网络虚拟出多个不同特性的逻辑子网络，可满足工业企业各类行业业务的差异化需求。网络切片将解决在一张物理网络设施上，满足不同业务对网络的 QoS 要求。与独立网络相比，通过切片实现的统一基础设施网络能够适应差异化业务的需求，可大大减少投资，实现业务快速部署。每个网络切片还可以独立进行生命周期管理和功能升级，网络运营和维护将变得非常灵活和高效。

基于 5G SA 架构，采用虚拟化和软件定义网络技术，可以在一个物理网络上切分出多个虚拟的、专用的、隔离的、按需定制的端到端网络。每个网络切片从接入网、传输网到核心网，实现逻辑上的隔离，从而灵活适配各种类型的业务要求，实现一网多用，不需要为每一个服务重复建设一个专用网络，极大降低成本。

下图给出了切片网络架构的示意图。

#### （2）MEC 虚拟专网

利用 5G 的大带宽、低时延、广连接等特点，将工业园区内的各个数据节点接入部署工业操作系统的 MEC 平台，打破不同设备供应商之间的数据壁垒，解决数据融合困难问题，提升数据价值。



图 4.1-1 5G 网络切片

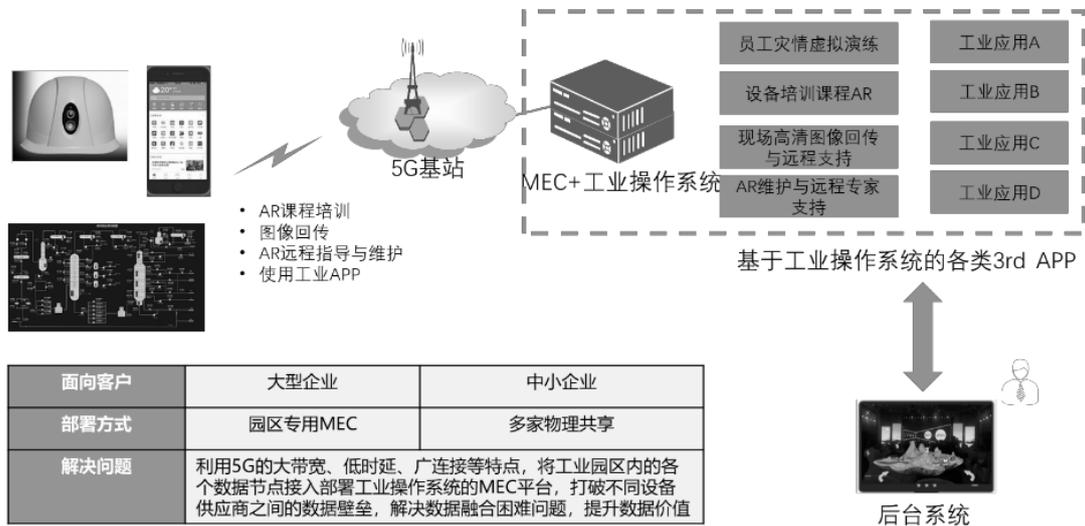


图 4.1-2 工业互联网 5GMEC 解决方案

打造无线园区首先要打造高可靠的园区虚拟专网，要求园区内外网具有访问限制功能，所有企业内部机密数据皆无需经过公网。基于 5G-MEC 为工业园区提供定制化路由、FWA 等连接类服务，打造安全可靠的园区虚拟专网。在连接基础上可以提供边缘 IaaS 基础，面向工业园区客户应用，提供计算、存储、GPU 等基础能力。在连接和 IaaS 基础上提供 PaaS+SaaS，为工业提供工业 AI、工业数据处理等能力，实时掌握生产数据，打造智能化数字工厂。

移动园区网将用户的 IMSI 信息和用户应用层 ID 以及用户 IP 进行绑定，手机的 APP 软件和 IMSI 信息强绑定，从而实现本地分流功能，满足一网多用。此外，基于 BYOD（自带设备办公）模式进行了安全加固，支持网络安全，应用安全，存储安全和终端管理安全。

(3) 智慧灯杆构筑智慧园区信息末梢

智慧灯杆，以路灯杆为载体，集成各种信息设备技术创新复合应用的智慧路灯产品，具备智慧照明、蓝牙通讯、WIFI 热点、WIFI 探针、5G 覆盖、环境信息采集、安防、道路监控、信息发布、应急、可视广播以及电动汽车智能充电桩等多种功能。

产品采用模块化结构设计，以智能照明系统为

基础功能，可选配备 WIFI 热点覆盖功能、摄像头模块、充电桩功能、5G 信号覆盖功能、物联网 RFID 以及信息发布功能等，可根据不同需求和不同的应用场合，选择不同的功能模块，为园区及工业企业使用者提供更好的服务和技术支持。



图 4.1-3 智慧灯杆

### 3.2 5G+工业互联网具体应用

#### (1) 5G+智能监控

方案使用 5G 配合高清视频设备采集关键设备、厂区敏感位置、安全巡检过程中的现场数据，实时回传后台管理系统，实现远程监控，减少现场人员的投入，并存储日常异常数据以供事后追溯等业务使用。此外，可利用 AI 技术，应用机器视觉、体态识别、异常行为分析预警等技术，在安全防范、监管实施和生产流程管理方面，实现实时监控、自动发现问题、主动预警，确保生产安全高效、劳动力分配得当、保持低成本优势，协助工业企业实现“降本增效、安全生产”。

#### (2) 5G+机器人

近年来，人工成本逐渐成为工业企业发展的瓶颈与制约因素，很多制造业工厂都开始部署机器人，尤其是在精密程度高工序复杂的工作中机器人得以大量应用，助力企业降低制造成本、提高产品质量控制，同时协助提升企业的管理。

随着人工智能、云计算等技术的不断成熟，云化机器人将逐渐取代传统工业机器人。云化机器人的控制端置于云端，借助云计算的强大计算能力与存储能力，实现机器人的自学习和自优化，而部署在本地的机器人操作端则可结合边缘计算，实现数据预处理，节约数据传输带宽，同时降低时延，根据不同的工作内容和工作地点针对性控制，使机器人工作范围、工作内容更为灵活，部署成本大幅降低。

为满足实现视觉导航、视觉检查等多种功能，单个云化机器人需配置 10~20 个摄像头，移动速度达到 2~3m/s，网络上行带宽需求小于 1Gbps，时延 10~100ms。5G 网络可以满足云化机器人大规模密集部署和应用拓展提出的通信调度及业务数据实时交互需求和集成其它视觉应用的通信需求。

#### (3) 5G+远程控制

在工业生产中通常都有一些高危环境不适宜人工作业或者无法由人工完成作业，比如有毒气体、易燃易爆、高空、高温等环境下。在这类环境下需要采用远程控制，用以保障人员安全。远程控

制需要高清晰度视频提供视觉支持，还需要实时稳定的网络确保操控的灵敏度和可靠性。目前大多数远程控制的实现还是基于有线网络。有线网络稳定性高，但大规模部署场景传输缆线布设成本高，应用场景不灵活，限制了其应用范围，不能真正做到全面有效的控制，5G 网络的一方面在于高速率可以满足高清视频回传的要求，另一方面也可以在保证可靠性的前提下满足远程控制对于时延的要求，同时部署更加灵活，借助数字孪生技术可以更好地为工业企业提供远程控制，提升生产安全性、生产环节的产品质量和生产效率。

#### (4) 云化 AGV

云化 AGV 的部署采用 5G 专网+MEC 边缘计算，通过在园区部署 5G 宏站和室分小站，并在边缘机房部署 MEC 边缘计算平台，确保 AGV 数据在园区完成处理，解决海量数据低时延高交互的计算处理需求，同时保护园区生产数据的隐私安全。

借助 MEC 边缘计算平台以及 5G 大带宽低时延特性，将 AGV 小车上的视觉/激光 SLAM 导航及感知能力上移至边缘平台，降低了小车成本，在 MEC 边缘智能算力平台上为 AGV 小车提供视觉感知分析、激光雷达感知分析、毫米波感知分析以及多传感器感知融合等能力，极大提高 AGV 小车的智能化。同时，基于园区内的 V2X 车路协同能力，为小车提供路侧感知信息，为 AGV 小车的智能化运行提供多重保障。

#### (5) 5G+数据采集

在工厂资产（如厂房、机器设备、仓库、运输车辆等）安装智能传感器，基于 5G 网络，将传感器信息输送到智能资产管控云平台，无需布线，快速便捷。在云平台可绑定资产智能传感器识别码，完成初始设置后，系统部署完毕，用户可随时登录云平台进行资产管理，实现提质增效。

基于 5G 无线网络和智能传感器，可实现对设备进行在线诊断与远程运维，实现设备状态监测、动态风险、智能预警、智能诊断、预测维修等服务。在生产管理中能够实现及时且准确的保养预警、验收提示、报废预警，助力延长设备使用寿命、节约

人力成本、提高利用率。

#### (6) 5G+机器视觉

5G 无线机器视觉的应用基于 5G 的无线网络和工业互联网平台，在 5G 安全可靠的无线网络上进一步保证数据传输的可靠性和完整性，可以和云平台 IaaS 平台提供无缝的整合。

通过机器视觉技术和 5G 网络，实现生产过程智能化监控，从而替代人工现场巡检。MEC 作为边缘计算节点，可以实现数据的本地存储与分流，进一步降低时延，同时还可以利用其强大的计算能力，对数据进行预处理、深度挖掘。利用在园区内部署的 5G 基站及分布系统，将安装在厂区的超高清摄像机的码流实时回传到工业大数据平台，平台可对回传的高清码流进行智能分析。根据采集到的特征，利用模态分析、聚类、分类等大数据和机器

学习的方法建立设备运行的模型。

#### 4 结论

在国家新基建的大背景下，5G+工业互联网是提高荣华山产业组团数字化、智能化、网络化水平的必然选择，通过 5G+工业互联网的实施，荣华山产业组团将实现工业生产体系的重构，通过加速实现“线上”和“工业互联”为特征的“场景式”变革和数字化转型，培育新型的智能经济形态。

#### 参考文献：

- [1] 王建伟. 深化互联网先进制造业发展工业互联网[J].《建设机械技术与管理》，2017
- [2] 工业互联网产业联盟. 5G与工业互联网融合应用发展白皮书.

# 大数据在智慧城市的应用探讨

庞源 许亮鹏

**摘要:** 随着我国互联网和信息化进程的发展,在云计算、大数据和互联网等技术的支持下,智慧城市正逐渐成为我国城市建设的一种发展趋势。从智慧城市的含义上看,智慧体现了智能化水平的提高,体现了信息技术的含量,因此,智慧城市的建设必然离不开对先进信息技术的应用,当然更加离不开大数据的支持,这是城市智慧的源泉,对于智慧城市而言,大数据技术不断让我们走向更智能的目标,更科学,更有效的实现城市化的进程。

目前我国城市化进程的推进大大提高了人民的生活质量,但是另一方面也暴露了许多问题。智慧城市依靠通信技术、信息技术手段,对城市运行核心系统关键信息进行感测、整合、分析,从而对城市的各种需求作出智能响应,为城市居民创造更好的生活环境,从而有效地促进城市的和谐发展。智慧城市的理念符合人民和政府对未来城市的愿景,建设智慧城市可以很好地解决当前的城市难点和痛点问题。本文论述了智慧城市建设的研究现状,重点阐述了大数据环境下的智慧城市建设,并提出了大数据环境下的智慧城市建设方案。希望为未来城市建设和城市化进程提供科学的理论和决策基础。

**关键词:** 大数据;智慧城市;应用

## 1 引言

城镇化是一种世界性的社会经济现象。根据不完全统计,每年都有超过七千多万人涌进城市,到 21 世纪初,世界上半以上的人口生活在城市地区,这一趋势仍在继续。城市发展在加速的同时,居民的生活质量也需要提高,大中城市面临着灾害性问题,如交通拥挤、环境恶化、资源短缺以及暴雨、洪水和极端的环境自然灾害,也亟需解决。伴随着时代的变迁,智慧城市应运而生,涌现出新一代信息技术、云计算、互联网等计算机网络技术,这些新兴的网络技术被专家学者认为是当前解决城市问题的手段,也是指导城市未来发展的主要技术路线。

2008 年,世界上首次提出了“智慧之乡”的概念,2009 年又提出了“智慧之城”的概念。“智慧

城市”指的是智能化的现代城市,它运用云计算技术,通过互联网、大数据等手段,使城市运行智能化,使城市居民的生活变得智能、舒适、轻松。它为经济转型、城市管理和人的智能服务提供了广阔前景,促进了人与自然的和谐发展。当前,全球计算机化的发展促使城市发展进入大数据时代。从现在的发展来看,数据时代的到来已经深刻地改变了人们的生活,学习和工作。

## 2 智慧城市建设研究现状

### 2.1 智慧城市的理念和定义方面的研究

人们认为,智慧城市和城市未来发展的理念,就是要让城市的建设充分利用了物联网、云计算、大数据等新兴智能技术手段,对城市生产和生活中所产生的相关活动进行智慧感知、连接、处理和协调,为市民提供了美好的生活和工作环境,为企业

## 作者简介:

**庞源:** 南京通信工程学院毕业,高级工程师,长期从事通信工程规划建设及管理工作。现任职于中国人民解放军 31121 部队。

**许亮鹏:** 福州大学物理与信息工程学院通信工程专业毕业,工程师,福建省邮电规划设计院有限公司从事无线网、传输网等方面的课题研究、规划、可研、设计等工作。

创造了可持续发展的商业环境，为政府建立了高效的城市运营和管理环境，使城市成为一种全新的、和谐的智慧生态系统。

此外，也有相当一部分学者认为，未来的智慧城市应该利用新的数字技术，并与现代信息通信技术相结合，以改善传统城市的基础设施。“智慧城市”一书中作者重点分析了智慧城市的本质、特征及发展阶段、科学技术与实践对发展智慧城市的意义。如果将新一代的信息技术与互联网结合起来，协同融合大数据、云计算等新兴技术，那么，智慧城市就一定会变得更加智能。未来，人们也必将把智慧城市作为城市发展的主攻方向。

## 2.2 智慧城市研究与规划

“智慧城市总体规划”是以顶层设计、专项规划、工程设计为依据，研究提出的指导思想、目标任务、方法措施、实施步骤等具有指导性、战略性和纲领性的实施文件。以“大数据+智慧城市”的思路，引导、规范、约束智慧城市建设和发展，实现资源网络化整合、信息交互、数据共享、业务协同，全面提升智慧城市管理创新和民生服务能力，实现智慧城市总体规划的引领、规范和约束。无论是从食品安全溯源系统到智能社区的管理与安全保障，还是从汽车导航、公交车实时定位、交通调度和票务系统等各个领域的智能化建设，都离不开实时、全面、系统的数据采集与应用，依靠数据的采集、统一分析和挖掘，对数据进行分类、整理、挖掘，为决策者提供参考。随着信息领域高度集中的趋势不断加快和深化，城市规划业务与大数据的融合日益紧密，智慧城市规划的最终目标也十分明确，即借助大数据的分析手段，减少对资源环境的无序消耗，避免空间的机械扩张，智慧城市的管理也由传统的“经验管理”转向了“科学管理”。

## 2.3 智慧城市建设现状方面的研究

当前，无论是中央还是地方政府，都加大了对智慧城市建设的力度，企业在此过程中也起到了很大的作用，我国智慧城市的未来发展前景广阔。但我国的智慧城市建设尚处于起步阶段，有许多方面还不完善，面临着很大的挑战，甚至出现了一些生搬硬套的现象。值得注意的是，每一座城市要实现自己的智慧，都必须加强对现实情况的分

析，包括区域经济发展状况、历史文化水平和不同的产业结构等，在此基础上实现自己的定位，结合现阶段的发展规划进行规划。但现阶段我国许多城市忽略了自身的实际情况，甚至采取生搬硬套的办法来寻求解决办法，造成人力、物力的浪费，甚至出现供需失衡的现象，这也是制约我国经济可持续发展的重要因素之一，是政府财政支出增加的重要原因。

## 3. 智慧城市总体架构

智慧城市系统以云计算中心为核心，实现全面透彻的感知、宽带泛在的互联、智能融合的应用以及以用户创新、开放创新、大众创新、协同创新为特征的可持续创新。系统由下向上分别由传感层、通信层、数据层、服务层 4 层组成。

传感层包括传感器、终端、摄像头等数据采集设备，是智慧城市总体架构的最底层，负责收集物理环境下各类活动的的数据。

通信层是在通信网、互联网、物联网的基础上将各种终端设备无缝连接到业务网络上。

数据层基于计算机技术、通信技术集成信息处理与信息传输的过程，并借此数据中心的云计算、物联网及运营支撑系统向用户提供综合信息服务解决方案，对收集到的数据进行存储、处理和转发，支撑上层具体业务应用。

服务层建设智能城市统一门户和空间系统，提供城市资源、城市管理一站式的门户服务和个性化空间服务，满足不同用户人群的城市信息服务需求，提供多种终端软件系统，满足不同方式体验城市信息服务需求。

## 4. 智慧城市的关键技术

随着通信网络基础设施建设和数字化建设的完成，国内外许多城市都在积极应用新一代信息技术，推动城市向智慧城市发展。智慧城市的关键技术是云计算技术、大数据技术和物联网技术。

### 4.1 云计算技术

云计算平台，是一个城市的核心系统，需要强大的计算存储平台和应用来满足智慧城市日常运行的需求，之后再通过强大的互联网进行数据共享。云计算平台允许通过虚拟化技术来处理和使用城市数据资源，用来存储和共享大量数据资源，从

而使服务更便捷、更高效。采用云计算技术，在有效提高资源利用率的同时，也降低了用户终端对云计算技术的融合需求。

#### 4.2 大数据技术

大数据是一种收集和分析大量信息的能力，旨在从复杂的数据中找出一些难以揭示的规律。海量数据的“巨大”，不只是“容量”的问题，更重要的是人能发现新知识，创造新价值，带来“大知识、大利益、大发展”。智慧城市中，大数据的应用主要表现为大数据的融合、大数据的处理和大数据的分析挖掘。

#### 4.3 物联网技术

物联网技术是在不同的城市系统中集成感知技术和智能设备，对外界事物进行系统地感知、识别，及时的获取信息数据，并通过移动通信与对象建立一定的连接，这种物与人、物与物之间的信息交互与控制连接，可以提升无缝连接处理的有效性。

### 5. 大数据在智慧城市中的应用分析

#### 5.1 大数据在减轻城市交通压力中的应用

依托道路监控、社会网络、百度地图、高德地图等，收集道路交通信息，挖掘数据背后的潜在规律，对未来一段时期的道路状况和拥堵进行科学预测，合理设置交通信号灯间隔，采取相应的拥堵疏导措施。采用大数据进行交通信息的实时导入，并建立相应的仿真网络，预测可能出现的拥堵点和拥堵段，同时自主制定相应的优化措施。

#### 5.2 大数据在民生领域中的应用

人口、经济和环境数据等共同构成民生大数据，利用大数据可以及时掌握民情民意，做出符合公众利益的决策。

#### 5.3 大数据在智慧城市市场监管领域中的应用

大数据收集来自于市场管理领域的实时市场数据和其他历史数据领域的的数据源。利用智能分析算法和相关数据挖掘技术，可对不同变化的市场数据进行分析，使相关部门能够及时应对市场变化，提高预警的准确性，为今后的实时监管提供依据。

#### 5.4 大数据在美化城市环境中的应用

利用大数据手段，我们可以精确测量空气中PM2.5的浓度，然后利用这项技术进一步分析浓度

的具体来源和组成，精确测量城市汽车尾气排放和供暖系统所占比例，以及是否存在其他环节导致线性上升浓度数据。

### 6. 大数据背景下智慧城市建设的建议

#### 6.1 重视顶层设计，注重信息安全

以大数据技术为基础的智慧城市建设，可以把城市中的各个系统连接起来，形成一个整体，保证各个系统协同运作。在这一过程中，需要对各种应用软件进行集成，同时涉及到大量的数据，只有在顶层设计中有效地运用大数据技术，才能根据城市建设的宏观目标，细化各个城市系统的应用，确保智慧城市系统的正常运行。同时，大数据技术的应用还涉及到很多方面的信息，这关系到信息安全问题，必须高度重视，采取有效措施，加强信息安全管理。从小范围来看，信息数据安全涉及城市居民个人隐私，从大范围来看，关系到国家安全，因此，必须重视信息安全管理，加强信息安全防护，避免信息安全漏洞的产生，造成重大损失。

#### 6.2 促进信息共享，避免信息孤岛

智慧城市的智慧恰恰来自于对大量的全方位的数据的开发和再利用。我国的每个城镇之间的信息孤岛现象如今非常普遍，而且无法共享数据和信息，造成决策管理产生纰漏，这是我们面临的最大问题。如今在智慧城市建设的领域，就必须要去努力实现信息共享，设计时应充分考虑相关数据接口标准、数据编码格式、信息收集，数据库建立，实行更加科学的规划和建立更加灵活的信息交换机制，发挥数据尤其是大数据在智慧城市建设中应有的关键作用。

#### 6.3 促进数据创新，培养信息意识

大数据是智慧城市建设的重要工具技术，对于城市的建设而言，数据和人才是智慧城市建设的核心。数据是基础，人对数据的识别与运用是智慧城市建设的关键所在。海量数据需要进行存储、处理、查询和分析，才能充分用于各种应用，从而提供智能服务。智慧城市的发展需要大量的大数据技术人才。要制定智慧城市建设大数据人才引进计划，发挥人才工程的引领作用。除了引进人才外，还需要进行大数据人才培养工作，利用城市中大学联合培养所需要的大数据人才，弥补人才缺口，要通过大

数据思维,不断创新大数据技术,才能跟上社会发展趋势。此外,必须提高公众对数据和信息的意识度,通过宣传教育和培训工作,并宣贯数据领域相关的知识,让整个社会群体意识到大数据的重要性,最终让城市公民成为智慧城市的享有者和受益者。

### 7. 结束语

智慧城市是随着网络社会的出现而发展起来的,城市信息化的高级阶段。通过新一代的信息技术,智能城市创造了广泛的资源整合、深度感知和全面互联,优化了资源配置和城市系统运行。智慧城市的规划不仅关系到城市居民的生活,也关系到整个城市的发展速度和发展效率以及发展水平,智能城市的建设当然不是一夜之间就能完成的,这需要整个社会长期的协同努力。对公众而言,让城市实现健康良好的规划可以进一步提高人口的生活质量,提高城市居民的整体生活质量。相信在不久的将来智慧城市将会让我们的生活变得更加美好。

总而言之,在大数据时代的背景下,智慧城市的发展不仅为社会经济发展带来了良好的机遇,而且为人们的生活带来了许多便利,提高了人们的生活水平和生活幸福度。但在科技和网络技术进步的同时,也带来了许多阻碍智慧城市建设的因素,从网络安全的角度看,网络的不稳定所带来的后果是

不可想象的,因此国家必须保护网络和数据的安全,以保障人民的利益,才能更好地建设智慧城市。

### 参考文献

[1]刘迁. 智慧城市视域下智慧档案馆建设研究[D]. 苏州大学, 2016.

[2]王合. 关于大数据在智慧城市研究与规划中的应用探讨[J]. 智能建筑与智慧城市, 2019(03): 63-65.

[3]王爱群, 项曼青, 陈玮炜, 陈大华. 智慧城市发展及智慧灯杆应用探讨[J]. 灯与照明, 2019, 43(01): 33-37.

[4]蒋雨薇, 唐小淋. 物联网在智能交通建设发展中的应用探讨[J]. 科技经济导刊, 2019, 27(17): 16.

[5]王兆庆, 贺勇. 基于大数据云平台的智慧城市建设的探讨[J]. 物联网技术, 2017, 7(12): 87-90.

[6]余琪, 钱乐祥, 程炯. 地理信息技术在智慧城市中的应用探讨[J]. 智能建筑与智慧城市, 2018(04): 102-104.

# 基于工业互联网标识解析体系 促进制造业数字化转型升级

任开迅 刘德生

**摘要：**工业互联网的核心是数据的价值发现问题，现阶段企业内部与企业之间“信息孤岛”的现象大量存在。标识解析技术是目前可解决“信息孤岛”并完成工业大数据汇聚以及在此基础上形成信息融合的关键技术。同时标识解析能在工业互联网领域应用解决几个关键环节，并且给出了工业互联网数据理解的研究思路。

**关键词：**工业互联网；标识解析；工业大数据；标识管理；二级节点；平台构建；云平台

## 一、工业互联网标识解析建设的背景

2017 年 11 月 27 日，《国务院关于深化“互联网+先进制造业”发展工业互联网的指导意见》发布。明确指出要“构建标识解析服务体系，支持各级标识解析节点和公共递归解析节点建设”。

2018 年 5 月 31 日，工业和信息化部发布《在工业互联网发展行动计划(2018-2020 年)》和《工业互联网专项工作组 2018 年工作计划》，进一步明确了工业互联网及标识解析建设的目标，对相关工作安排做了进一步的分解和分工。我国工业互联网及标识解析体系的建设推进工作正式进入实施阶段。

推进标识解析体系建设。加强工业互联网标识解析体系顶层设计，制定整体架构，明确发展目标、路线图和时间表。设立国家工业互联网标识解析管理机构，构建标识解析服务体系，支持各级标识解析节点和公共递归解析节点建设，利用标识实现全球供应链系统和企业生产系统间精确对接，以及跨企业、跨地区、跨行业的产品全生命周期管理，促进信息资源集成共享。

2019 年 3 月 5 日，李克强总理在《政府工作报告》提出，要围绕推动制造业高质量发展，强化工业基础和技术创新能力，促进先进制造业和现代服

务业融合发展，加快建设制造强国。打造工业互联网平台，拓展“智能+”，为制造业转型升级赋能。

2020 年 3 月 26 日人民日报报道，中国工业互联网研究院院长徐晓兰表示，通过标识解析、区块链等工业互联网相关技术，在物资生产储存时打上唯一标识，即可通过工业互联网平台，了解每件物资的位置、数量、种类等信息，从而做到高效管控，精准配置。

2020 年 4 月 23 日，工业和信息化部召开工业互联网行业应用推进会。工业和信息化部副部长陈肇雄强调，加快全光纤网络、5G 网络建设，推进工业企业内网改造升级和对外联通，构建标识解析体系，建设国家工业互联网大数据中心，建立多层次全覆盖的网络安全保障体系，切实增强基础设施服务能力和安全可控水平。

## 二、标识解析体系的建设方向

依托国家政策指向与明确的建设目标规划，标识解析及其创新应用拥有从基础建设、应用体系建立，到平台互联与产业生态、业态的发展，推动整个产业的稳步创新发展。

**筑基础**，夯实数字化转型技术支撑。加快数字化转型共性技术、关键技术研发应用。支持在具备

## 作者简介：

**任开迅：**迈迪网创始人，迈迪信息技术有限公司董事长。

**刘德生：**福建迈迪信息技术有限公司总经理。

条件的行业领域和企业范围探索大数据、人工智能、云计算、数字孪生、5G、物联网和区块链等新一代数字技术应用和集成创新。加大对共性开发平台、开源社区、共性解决方案、基础软硬件支持力度，鼓励相关代码、标准、平台开源发展。

**搭平台**，构建多层联动的产业互联网平台。培育企业技术中心、产业创新中心和综合服务综合体。加快完善数字基础设施，推进企业级数字基础设施开放，促进产业数据中台应用，向中小微企业分享中台业务资源。推进企业核心资源开放。支持平台免费提供基础业务服务，从增值服务中按使用效果适当收取租金以补偿基础业务投入。鼓励拥有核心技术的企业开放软件源代码、硬件设计和应用服务。引导平台企业、行业龙头企业整合开放资源，鼓励以区域、行业、园区为整体，共建数字化技术及解决方案社区，构建产业互联网平台，为中小微企业数字化转型赋能。

**促转型**，加快企业“上云用数赋智”。深化数字化转型服务，推动云服务基础上的轻重资产分离合作。鼓励平台企业开展研发设计、经营管理、生产加工、物流售后等核心业务环节数字化转型。鼓励互联网平台企业依托自身优势，为中小微企业提供最终用户智能数据分析服务。促进中小微企业数字化转型，鼓励平台企业创新“轻量应用”“微服务”，对中小微企业开展低成本、低门槛、快部署服务，加快培育一批细分领域的瞪羚企业和隐形冠军。培育重点行业应用场景，加快网络化制造、个性化定制、服务化生产发展，推进数字乡村、数字农场、智能家居、智慧物流等应用，打造“互联网+”升级版。

**建生态**，建立跨界融合的数字化生态。协同推进供应链要素数据化和数据要素供应链化，支持打造“研发+生产+供应链”的数字化产业链，支持产业以数字供应链打造生态圈。鼓励传统企业与互联网平台企业、行业性平台企业、金融机构等开展联合创新，共享技术、通用性资产、数据、人才、市场、渠道、设施、中台等资源，探索培育传统行业服务型经济。加快数字化转型与业务流程重塑、组织结构优化、商业模式变革有机结合，构建“生产服务+商业模式+金融服务”跨界融合的数字化生

态。

**兴业态**，拓展经济发展新空间。大力发展共享经济、数字贸易、零工经济，支持新零售、在线消费、无接触配送、互联网医疗、线上教育、一站式出行、共享员工、远程办公、“宅经济”等新业态，疏通政策障碍和难点堵点。引导云服务拓展至生产制造领域和中小微企业。鼓励发展共享员工等灵活就业新模式，充分发挥数字经济蓄水池作用。

**强服务**，加大数字化转型支撑保障。鼓励各类平台、开源社区、第三方机构面向广大中小微企业提供数字化转型所需的开发工具及公共性服务。支持数字化转型服务咨询机构和区域数字化服务载体建设，丰富各类园区、特色小镇的数字化服务功能。创新订单融资、供应链金融、信用担保等金融产品和服务。拓展数字化转型多层次人才和专业型技能培训服务。以政府购买服务、专项补助等方式，鼓励平台面向中小微企业和灵活就业者提供免费或优惠服务。

### 三、标识解析体系的建设内容

工业互联网标识解析类似于互联网领域的域名解析系统（DNS），是全球工业互联网有序运行的核心基础设施。通过标识编码，能够唯一识别机器、产品等物理资源和数据、算法等虚拟资源的身份；通过解析系统，能够根据标识编码查询目标对象网络位置或者相关信息的系统装置，对机器和物品进行唯一性的定位和信息查询。

统一的标识体系是解决数据共享共享问题的关键路径。在标识解析体系建设总体工作部署中，节点是基础，应用是目的，技术是保障，平台是通道。

**节点**：构建“统一管理、互联互通、安全可靠”的标识解析体系网络基础设施，广泛覆盖并提供稳定服务；

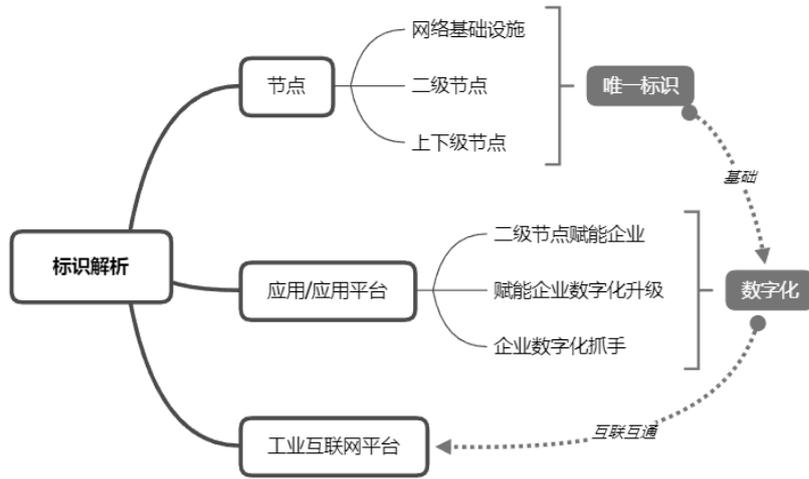
**应用**：通过二级节点建设为抓手，推动工业互联网标识解析集成创新应用，培育标识解析产业生态；

**技术**：加快核心技术与标准研究。

**平台**：以技术作为保障，通过统一标识解析应用，将可共享资源与数据汇集于平台，以平台为通道，反哺赋能与各方资源。

整体而言，标识技术在工业应用中广泛存在，但当前主要停留在信息获取的浅应用，端与云的互操作带来的深度创新应用还有待发展，急需构建规

模化的、稳定的标识解析系统作为发展工业互联网的重要网络基础设施。

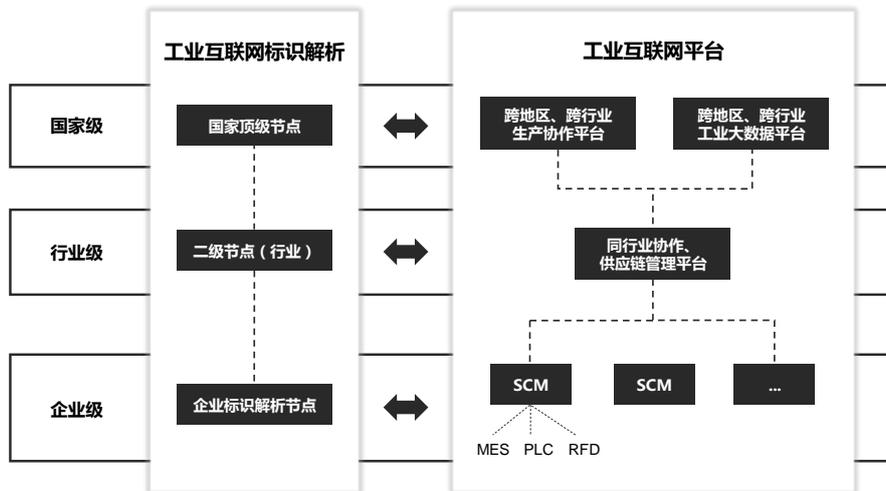


#### 四、标识解析体系的应用价值

如何让工业互联网可用，如何基于标识解析二级节点让企业接入工业互联网平台，为企业产生实际价值的核心是应用体系的建设。传统的设备标识方式难以实现异地、异主、异构平台间的集成应用，平台化的标识解析体系可以实现设备唯一标识在异地、异主、异构平台间的统一解析。常用的基于 SIM 卡号、IMEI、设备序列号的方式即可通过标识解析服务平台可以很方便的接入及实现互操作。对

设备的基本信息的查询，以及平台间的数据交换可以通过标识解析平台实现设备全生命周期数据的互联、共享。

利用标识解析应用体系，将企业制造加工设备、智能网联产品、企业信息系统以及数据资源接入工业互联网平台，通过行业、分类、企业、流水、属性等标识与统一标识系统的对接，实现工业互联网平台服务下的智能生产、智能服务和智能产品输出。



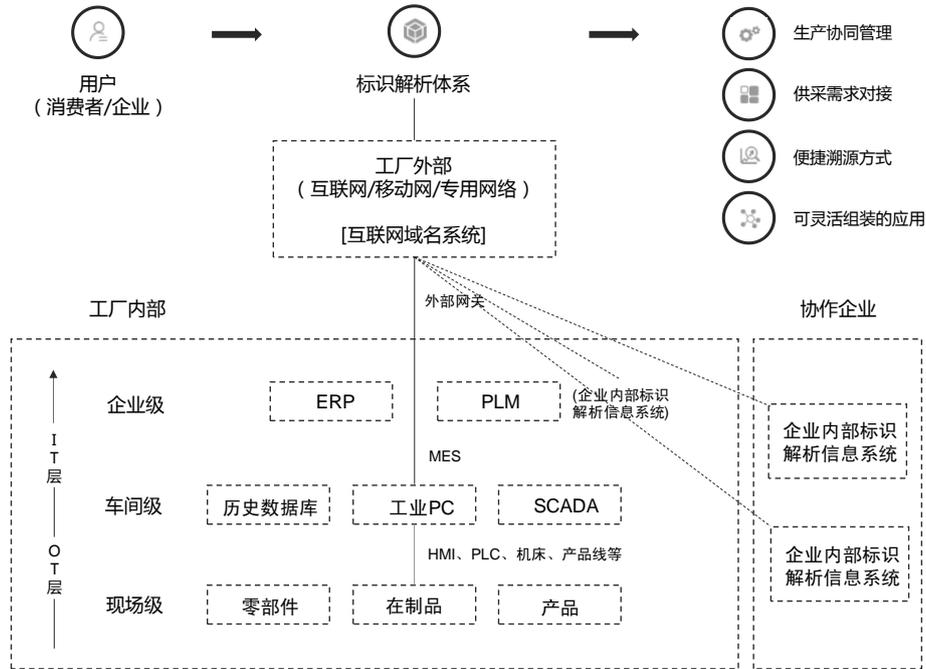
标识解析与工业互联网平台的协同发展效应巨大。工业互联网标识解析体系作为重要的网络基础设施，是引导企业连接工业互联网平台、支撑工业互联网平台发挥作用的关键，从而快速形成各工业环节的“互联”网络。而二级节点能为企业提供

的应用体系服务是标识解析与工业互联网平台能够发挥出协同效应的抓手和推手，通过标识解析应用体系就能很好的促成这项协同。

应用体系将深入企业内部，通过接入 IT 层、OT 层、OA 层，将产品数据、生产数据、设备数

据、供应链数据等囊括其中；又与企业之间进行协作，将客户信息、订单数据、售后数据、产品全生命信息等进行连接互通；同时依托工业互联网平台的强大服务功能，实现供应链优化、资产共享、供

需与服务对接等信息服务，以应用体系为落地企业的抓手，既能够为企业提供数字化升级改造，提高企业自身以及产业链的运转效率，又能够为行业平台或区域业态整体升级转型提供大数据支撑。



### 五、应用标识解析体系，实现企业数字化目标

企业数字化可以“产品数字化”为核心开展，逐步实现技术管理数字化、客户管理数字化、售后

服务数字化、供应链数字化、资产管理数字化和办公业务数字化六大方向，该六大方向也就组成了企业数字化应用模型。



首先对企业产品进行数字化描述，通过类型和属性的抽象，将每一款产品在数字空间中定义为一个种类。基于标识解析应用体系组织模式，在实际生产销售过程中为每个产品绑定唯一标识，产品数字化即可被分解为公共类型数据和独有唯一数据。

产品数字化的实现是其他企业数字化升级的基础，对于企业而言所有的业务都围绕产品展开，包括售后服务、技术管理、客户管理、供应链、办公业务等；而当一个被数字化的产品作为商品出售给客户企业后，一部分的商品就会转变为客户企业的资

产，基于唯一标识系统和应用体系，使得出货方已数字化的产品自动转变为收货方的资产或配件，且自动完成了数字化。

### 1、产品推广与防伪防窜

**产品推广：**产品从出厂安装调试到售后服务维修等全生命周期信息记录，随时管理、随时查看；用户通过扫描产品物联网码可以查看该产品的型号参数、文字图片、视频等资料，企业内部人员通过登录 APP 账号扫描产品物联网码可以参看图纸、维修资料等非对外展示信息，为产品建立详细的电子档案，如产品的使用说明书、操作手册等文档嵌入物联网码中。节省纸质材料的印刷。

**防伪防窜：**由国家工业互联网标识解析体系顶级节点统一授码，一物一码。

企业控制打码途径，根源唯一，实施监管可控，部分产品信息回传至国家权威平台数据库，大数据云后台可控，追溯便捷，企业可以实时洞察被仿冒的具体产品、仿冒地点与使用地点，让假冒伪劣产品无处藏身，以极低的成本，简单的方法，解决困

扰企业的防伪问题。

出厂编号与产品唯一物联网码，一一绑定，不可复制。用户拿到产品后扫码可查看产品的出厂编号，与铭牌刻印的出厂编号一一比对，用户用以轻松判断产品的真伪。出厂编号的唯一性与物联网码的唯一性一一对应，保证物联网码不会被复制。（附图中框出示例中的“出厂编号”）

自动预警，独有算法评估防伪报警信息，及时预防。产品防伪报警，独有码作废功能，使市面上仿造的二维码全部失效，使仿造者成本增加，难度增大。

针对性处理伪劣报警，伪劣取证。一旦出现产品假冒报警，企业可根据报警信息快速取证，追查假货渠道，极大提高了假货造假售假的法律风险。

同样利用物联网码唯一性的特点，将其与经销商或销售区域进行绑定，获取终端用户扫码定位地点，监测产品的位置，判断产品窜货与否，加大经销商管控环节，为品牌形象和产品运营做坚实保障。



大数据防窜，独有数据动态分析，保证产品位置有迹可查。用户扫码自动上传产品位置信息，通过后台数据分析自动判断产品是否窜货，各环节扫码位置与次数均被记录，用于窜货报警追踪。

多维度窜货行为分析体系，获取终端扫码定位，对窜货产品、窜货经销商、窜货地区进行详细数据分析，窜货信息实时呈现，利用大数据防窜方式能有效降低渠道管控成本。

## 2、售后服务管理

客户报修简单快捷；售后信息记录完整；产品生命全周期信息随时查看；以统一国标通用物联网码为载体的管理系统针对故障走势、故障分布、故障分类、客户评价、零配件更换情况通过折线图、地图分布、饼状图、图表的样式对统计数据展示，帮助企业提升售后效率，降低服务成本，创造更大价值。

扫码报修：用户故障报修步骤简单、方式多样（万企链、微信），信息传递全面（文字、语音、图片、视频），极大地减少沟通的成本。

售后数据管理：通过数字化售后服务管理，可建立企业产品维修知识库。统计维修大数据，精确定位售后人员的服务地点；利用私有云可以帮助企业采集、存储和管理产生的设备维修数据；对新产品研发作出分析和决策。

售后服务资源管理：可通过配置实现区域售后工单的自动分派，提高工单响应效率；售后工单过程也可监控，能够有效地对售后人员的出勤、工作量、服务效果、差旅报销等进行管控。

客户评价管理：客户在线自主评价或者企业对工单信息回访，能够针对具体事项详细、真实反映服务水平，帮助企业提升服务品质。

## 3、装备管理与互联

以企业装备资产为管理对象，以资产设备台帐为基础；对装备资产运转生命周期和经济生命周期

进行动态、可视化管理；实现闲置装备的社会化共享与协同。企业数字化资产管理应用方案如下。

资产管理现状：在工业互联网平台下，基于标识解析应用体系为企业设备实现数字化管理与资源最大化利用；瞄准行业设备盘点、维保、台账、共享等资产管理领域暴露出的众多痛点：

解决繁重的盘点工作，耗时耗力问题；

解决设备种类和数量繁多，出入库的手工登记费时费力问题；

解决传统的电话报修很难协调，沟通成本相对较高，效率低下问题；

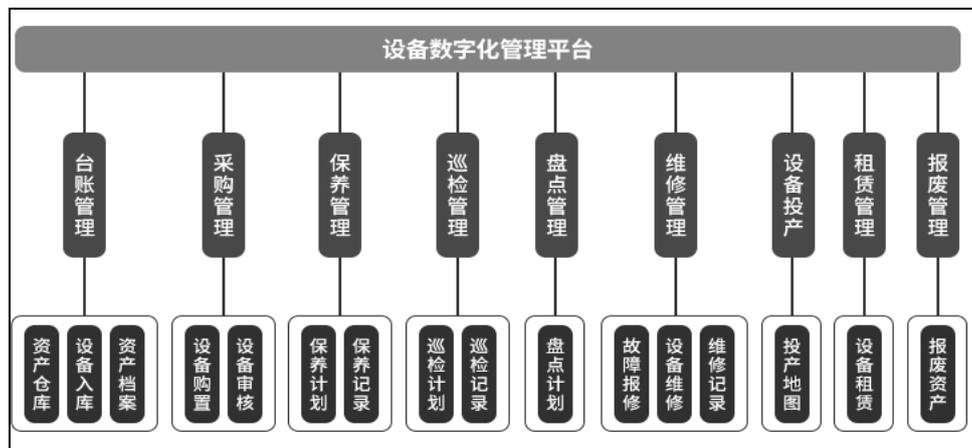
解决设备档案管理混乱，设备缺乏全生命周期管控问题；

解决人员调岗造成工作交接混乱问题；

解决常年积累繁多文件和数据，不便于查找、更新、维护问题；

解决故障分析（故障根源分析，反复性故障）难以统计和系统化问题；

资产数字化管理云平台：利用通用标识解析，建立统一的设备数字化模式，通过设备资产数字化管理云平台和企业数字化管理系统广告牌，轻松实现资产管理。利用标识解析技术应用对机器、产品、零部件等物理资源以及工艺、算法、数据等虚拟资源的身份进行自动识别和数据采集，形成设备资源大数据。



装备互联：发挥二级节点运营平台的信息互通

价值，基于标识解析在装备资产中的应用，对企业

内部实现台账管理、维保管理、设备投产状态等管理，实现统一云平台下的设备数字化管理；对企业外部实现设备资源合理化共享，基于设备资源大数据平台，让您的空闲设备创造更大价值。设备资源大数据与供应链上云企业结合，即时为多方提供达成租用合作提供可能。

#### 4、供应链管理与互联

传统企业供应链管理的问题日益突出，尤其是在复杂多样的装备制造业领域。制造业企业运作基

础是供应链的形成与维护，拥有一套顺畅且健壮的供应链体系是保持企业长期稳定增效的关键。不同企业类型在供应链关系中业务类型、服务和管控方式不同，需要针对性地提供相应的解决方案。以下分别从主机企业角度，配件、经销企业角度，外协、服务企业角度做应用功能和价值阐述。

主机企业角度：核心目的是保障供应链顺畅可靠。

周期控制
<p>订单沟通周期，借助工具高效地沟通是关键 今日制造 万企链应用，提高沟通效率</p> <p>零部件制造过程响应，提高过程控制颗粒度能够大大降低逾期风险 今日制造 万企链 供应商大屏应用，实时上报制造进度</p> <p>可按照内部排产周期快速要求供应商响应；供应链的快速响应适配直接影响排产 跨企业需要平台的力量</p>
成本控制
<p>尽可能降低成本，没有充足的可信的可选项，优化成本无从谈起 从体量、运输、“共享”等多角度推送供应商优化可选项</p> <p>支付周期弹性，企业现金流至关重要，供给合作信任的建立能够弹性支付周期 平台的力量协同金融机构合作</p>

#### 供应关系

稳定性，供应链的稳定至关重要，尤其在产量爬坡期  
需要有系统进行评估（供应商管理系统BI大屏）  
可选项，PlanB、C 永不可少，鸡蛋不可放在一个篮子中  
需要有平台提供支持，即时提供供应商（工业资源云方案）

#### 质量控制

供应商好坏评估，如何评估才合理，已有的评估结果是否可信  
需要有能够汇总供应商及服务全生命周期的评价体系（物联网是主线）  
供货质量与处理，做到供货可追踪，快速反馈与响应是关键  
售后服务管理系统，带码供货，带码入库，直接追责

配件、经销企业角度：产品推广营销、防伪防窜、可溯源、售后服务管控；企业上云、配件入网、带码供货，实现多渠道供货与推广营销两不误。

外协、服务企业角度：服务资源推广营销、可被精准推送、售后服务管控、设备资源上云；企业上云、外协服务能力入网、外协设备资源上云，实现最大化设备运转。

对于企业供应链数字化而言，能够通过应用平台汇聚主机、配件、外协等企业各类人机物资源，形成供应链解决方案的大数据基础；基于应用平台

大数据，实现供应链状态管控，供应链优化；基于应用平台大数据，实现经销、外协、服务精准推送。

#### 结束语

企业数字化，本质上就是企业的组成要素的数字化，就是人、机、物的数字化，从而实现各种业务的数字化，基于工业互联网统一平台，应用通用标识体系，可以极大降低企业数字化成本，快速实现数字化应用体系，利用互联网整合企业的资源，优化企业的管理模式，高效管控企业组织和生产过程，从而极大促进制造业企业的顺利转型升级。

# 疫情对我国数字经济的影响及对策建议

曹曦

中国电信股份有限公司福建分公司 高级工程师

新冠疫情对于我国经济社会产生了深远的影响，数字经济在疫情期间表现亮眼，成为拉动中国经济走出疫情阴霾恢复增长的重要驱动力，同时疫情倒逼我国消费数字化转型和产业数字化升级提速，并为数字经济发展创造了重大机遇，为我国经济高质量发展注入强劲动能。

## 一、疫情对于数字经济的影响

(一) 传统行业受疫情冲击严重，新经济新动能逆势成长

餐饮住宿、商超百货、旅游文化、影视娱乐等聚集性、接触式行业受到新冠疫情冲击影响严重，传统消费和产业活动大幅收缩。根据国家统计局数据，今年一季度，住宿和餐饮业、批发和零售业增加值同比分别下降 35.3%、17.8%。与此同时，近些年我国大力培育新经济、孕育新增长、形成新动能、成就新亮点，疫情防控又为线上工作生活替代线下创造了前所未有的重大机遇。主要表现在三个方面：

一是线上经济业态逆势飞扬再创佳绩。信息消费、网络消费、平台消费、智能消费、线上文化等新兴需求快速成长，以数字经济为代表的新动能显现出强劲生命力。首先是网购和快递业增势喜人。一季度，全国实物商品网上零售额同比增长 5.9%，占社会消费品零售总额比重比上年同期提高 5.4 个百分点；全国快递服务企业业务量同比增长 3.2%，其中 3 月份同比增长 23%。其次是线上经济业态增长迅猛。一季度全国信息传输、软件和信息技术服务业增加值同比增长 13.2%，电子商务、在线教育、网上会议、远程诊疗等信息需求大幅增加；“互联网+文化”新业态带动线上文化保持较快增长趋势。互联网搜索服务、数字出版、互联网游戏、动漫、互联网广告、互联网文化娱乐服务等 16 个行业实现营业收入 5236 亿元，比上年同期增长 15.5%，占

规模以上文化及相关产业企业营业收入的比重为 31.0%，比上年同期提高 8.1 个百分点。其中，互联网广告服务、互联网其他信息服务、多媒体游戏动漫和数字出版软件开发、可穿戴智能文化设备制造等行业的营业收入均实现两位数增长。

二是新业态日新月异增势不减。一季度，全国智能手表、3D 打印设备、服务器产量同比分别增长 125.3%、87.7%、29.3%，单晶硅、半导体分立器件产量同比分别增长 60.9%、45.7%。3 月份，战略性新兴产业、高技术制造业增加值同比分别增长 5.8%、8.9%。

三是产业投资持续增加信心更强。中国快速控制疫情并实现复工复产极大增强了行业信心。电子商务服务业、专业技术服务业、科技成果转化服务业、计算机及办公设备制造业投资同比分别增长 39.6%、36.7%、17.4%和 3.2%。

(二) 供应链和外销影响大，数字化转型关系复工复产

疫情的全球化蔓延，欧美等国家纷纷被迫“封国”，企业停工、商铺关门、飞机轮船停运、商业流通中断，对于半导体材料、半导体设备、机电、光学仪器等对外依赖度高的制造业企业面临着上中下游供应不稳定或断供的严峻挑战。同时，由于大量外销订单被迫取消，企业陷入了产品积压、滞销的困境。

企业复工复产快慢的差异反映出企业数字化转型程度不一。越是劳动密集型、数字化程度低的企业，由于工人返工情况不一对于企业复工复产进度影响较大。与此形成鲜明对比的是，数字化转型程度深的企业，依靠为数不多的人员在工业互联网等平台支持下迅速运转起来，部分化解了企业“用工荒”难题，同时数字化带来的柔性化生产可以根据市场需要灵活调整，进一步提升了企业响应市场

应变能力。

**(三) 基层数字治理缺失和信息化不足, 疫情防控不堪重负**

在本次疫情防控中, 大量的城乡社区、街道、居委会等基层一线人员, 肩负着繁重的疫情摸排、核查、宣传、堵截等具体防控工作, 但由于延伸到“最后一公里”的数字治理手段及信息化应用的缺失, 原本就人手紧张的基层一线被迫投入大量的人力, 采用挨家挨户敲门、逐栋扫楼登记、轮流设卡堵截、人工测温手工登记、电话传达邮件报送、粘贴传单喇叭广播等最原始的方式承担着最为艰巨也是最为关键的疫情防控任务, 凸显数字化治理和信息化在“最后一公里”缺失的尴尬。

## 二、加快数字经济发展的对策建议

**(一) 化“危”为机发展数字经济, 发挥高质量增长引擎作用**

疫情防控以及常态化形势加速我国经济社会线上思维模式和消费习惯的养成, 为进一步壮大数字经济, 拉动经济增长发展创造了前所未有的契机, 为此建议: 一是激发消费内需激活内生动力。我国拥有规模庞大的线上消费群体(现有网民 9.04 亿, 网络支付用户 7.68 亿, 网络视频用户 8.5 亿, 手机即时通信用户 8.9 亿), 2019 年全国网络零售额占社会消费品零售总额的比重为 20.7%, 还有较大的提升空间。建议发挥“互联网+”的作用, 拉动传统消费, 鼓励各地结合当地特色、资源禀赋助力企业拓宽电商销售渠道。日前, 福建泉州“线上商品展销会暨产业直播节”吸引了 5.85 亿用户, 8100 万消费者下单, 单日泉州商家成交额超过 15.48 亿元。二是支持企业加快数字技术创新与应用。未来几年是我国 5G、人工智能、工业互联网、大数据等数字技术与实体经济融合创新的关键时期, 数字科技将为传统产业转型、经济高质量发展创造新优势、增加新动能、激发新活力, 政府应继续引导和支持企业加大在数字技术创新与落地应用方面的投入, 既要打造华为、阿里、腾讯这样的行业龙头企业, 还要培育更多的数字经济“独角兽”、“准独角兽”、“瞪羚”企业。三是聚焦短板不足发挥新基建投资引领作用。疫情防控暴露出我们在社会治理、公共卫生设施、物资储备、数据共享等领域还

存在明显不足, 建议要对 5G 网络、物联网、工业互联网、卫星互联网等通信网络基础设施, 人工智能、云计算、区块链等新技术基础设施, 数据中心、智能计算中心等算力基础设施, 融合基础设施、创新基础设施等领域适当超前布局与加大投资力度, 孕育和激发更多数字经济新业态、新模式、新应用, 释放新兴消费潜力, 积蓄经济健康持续增长动能。

**(二) 加快以我为中心的供应链优化布局和国产替代**

疫情将可能引发全球供应链的重新调整, 需要引起我国的重视并加快供应链的全球化优化布局。一是加大供应链全球化优化布局。一方面, 我国要发挥产业配套优势, 加快推进全球化战略布局, 通过海外投资设厂、形成战略合作伙伴、构建利益共同体等方式抢占全球价值链洼地和重要材料发源地, 逐步构建我国在整个制造业供应链中的核心主导地位, 确保我国制造业产业链的完整性和健壮性, 填补国内供应链断点疏通堵点增加备份点, 提升我国制造业供应链安全; 另一方面, 在积极融入国际产业供应链, 保障在全球产业链中有重要影响的我国企业和关键环节产品的生产和出口, 主动维护国际供应链稳定的同时, 大力培育以国内企业、国内原材料提供或国内配套为主导的产业小循环。二是优化投资导向。引导对外投资从单个项目向产业链、生态系统来转变。鼓励对外投资主导企业更多地关注产业链、供应链的配套和生态系统, 提升投资项目稳定性和综合效益。引导各地抢抓全球产业链重构战略窗口围绕当地主导产业、特色产业, 以产业链集群建设为方向开展针对性的“引资补链”“引资强链”建设, 提升在全球产业生态中的话语权和抗风险能力。第三是出台相应支持政策, 加快国内供应及国产化替代, 并为我国制造业核心技术及材料供应领域的相关产业积极创造、争取一定的国产替代空间, 循序渐进带动国内供应和国产化替代的产业培育与发展壮大, 不断增强我国制造业核心竞争力。

**(三) 打通数字化治理“最后一公里”, 提升危机应对能力建设**

新冠疫情的防控过程, 暴露出基层数字化治理方面的不足, 建议: 一是加快数字政府建设, 提升

政府治理现代化水平。结合疫情发现的问题，进一步强化、提升各级政府的数字化思维、数字化理念，加快不同地区、部门、层级间信息共享互通，以统一接口、统一标准、统一要求构建跨部门、跨区域并延伸到基层社区、乡镇街道一线的数字化协调体系，实现国家、省、市、县、乡、村一体化的安全、共享、高效、透明的政府数字化治理体系全覆盖。二是加快重大突发事件数字化防控机制建设。充分运用物联网、大数据、人工智能等信息技术并结合专业知识为指导，提升对疫情、灾害、险情等重大突发事件的信息挖掘分析、监测分析与预警能力，完善重大突发事件的政府、企业、社会联动的应急处置与救援的应急体系和工作机制建设，加强重大突发事件的资源储备，做好“和平”时期的模拟演

练。三是推进社会服务领域的数字化转型。目前大数据、人工智能、物联网等信息技术在数字经济领域中应用广泛，但是在养老、医疗卫生、社区管理等社会服务领域还有待发力和强化。建议加强政策和资金的引导和政府推动，结合老旧小区社区改造和、乡村振兴战略的实施，加快标杆样板的规模复制推广，让数字化更多惠及民生，让百姓有更多获得感幸福感安全感。

面对错综复杂的国际形势和疫情防控常态化，我们拥有显着的中国特色社会主义制度优势，我们有党中央的正确领导和全国人民齐心协力众志成城，我们坚信：中国经济巨轮一定能够化危为机、行稳致远。中国梦，一定会实现。

# 加快 5G 与工业互联网融合 助力经济社会发展

颜宏达

台湾物联网协会两岸执行秘书长

## 1 为加快 5G 与工业互联网融合 助力经济社会发展，在业务创新、机制创新、尤其是技术创新方面的探索与思考

经过 2019 年至 2020 年中国历经了小规模的经济危机及新冠肺炎的疫情，体现出了中国的强大，并在安全管控的范围内将疫情及经济损失的范围降到最小，与此同时很多有关互联网的思维加上物联网的管理方式在市场应用上已经显著地被应用，以下是现状的应用分享：

### 1.1 互联网+物联网思维应用

智慧医疗及疫情管控，目前二维码的互联网应用在全世界利用最完善的的就是我国，当疫情发生时二维码的使用经过国家三大电信运营商加上国家疫情管制中心的思维将二维码使用在健康码的应用上，有效的应用管控了人的出行及疫情防范，合理且大大的减少了跨省的疫情交叉感染的问题，并且在最短的时间内因为这样的应用让商务的出行跟复工的庞大工程得以合理的完善开通交流。

并透过物联网的人体体温测试的基础防疫建设，及健康状态数据传感器的大规模应用，将尚未感染或是有机会感染的人群有效的监管跟隔离，大大的将低了疫情病毒传播的风险。

健康医疗的病例整合云端系统也因此快速的建立在国家的医疗体系，让病毒的源码快速的整合并用智能医疗的测算方式加上实验让疫苗的研发快速的发展，成为世界优先有效的防疫的药物提供给海外及在外求学的留学生。这都归功于国家这几年来在互联网跟物联网的应用开发及大量的基础建设布局上。

### 1.2 互联网的产业应用弥补了传统加工产业因疫情影响的经济及订单损失

在疫情期间影响了原本在中国的代工订单，因为市场的因素及各国对于国与国之间的贸易及物流的管控让原本这些国外的代工需求瞬间被国外

的终端客户取消订单，因此许多任务厂面临大量的库存及倒闭的风险，过往中国的经济支撑来自于对外的出口贸易，及线下消费实体经济的支撑，但疫情的影响让线下的实体消费受到巨大的冲击，如餐饮及出行等。

这时国内布局已久的电商经济在这个时候弥补了原本倚赖外来需求的经济发展问题，许多 B 端的工厂透过直播或是在线的商城引爆了一波的在线经济的消费，如在线上结合线下结合的生鲜快递市场，及商城的网红带货等等的互联网经济商业模式。

工厂原本倚赖的出口加工订单虽然被取消，但是因为线上线下的互联网应用思维的结合，也同时解决了部分生产型企业的库存问题，这归功于中国在互联网电商及数字经济的早期建设。

### 1.3 互联网应用思维：在线教育的异军突起

受到疫情的影响，所有的学校无法如期的开学，薪薪学子的教育受到显著的影响，此时运用互联网技术的云端教学让许多求学的学生们，可以透过互联网的方式在在线学习，教育跟生活是密不可分的，虽然在线的教育方式及成效在现在的社会是否能够验证是有效的学习方式，至今尚未证实。毕竟这样的教学方式是需要有强大的自我管理能力和自我学习能力才有办法体现出来，但不可否认的在疫情期间的确可以在一定的程度上担任起辅助教学的角色。因这样的市场现状跟需求让资本市场大量资金投入，这个市场是否会泡沫还是会有个别的独角兽企业脱颖而出，我个人认为在不久的将来在线教育若可以结合 5G 的视觉传播技术，以及结合众多资本的力量及国家教育机构的政策扶持，这应该会变成一种辅助教学的主流应用。

## 2 构建闽台科技界智慧城市合作共建生态圈、建设智慧城市平台的探索与思考

"智慧城市"这个用语是实现未来城市的基础建

设,未来城市的生活数据应用无非是将用户的习惯,“衣;食;住;行;育;乐”,六大基准加上与”人;事;时;地;物”信息的交叉比对,而这些数据能够加以完善跟利用,才是一个完整的生态圈系统,而这些民生数据如何去中心化,跟如何在前段采集数据的同时,运用合理的商业逻辑,把可利用的数据存留下来把不必要的垃圾数据去除,避免造成云端数据库的负担,这些都是数据运营商必须深入研究探讨的。

2.1 从客观的角度分析,最直接的方式就是在前端的数据采集就透过有效的商业模式设定,在数据管理后台,把不必要的垃圾数据去除,而什么是有效的数据跟无效的数据,就跟数据转化跟应用场景或是数据换算变现的方式有关。

这些年中国的发展,从在线支付系统为主要的的数据入口,对于这些商业应用及线下消费场景的基础建设,还有采集部分消费数据是一大商业应用改革,但这些采集数据的入口仍停留在”点”的采集部分,还没有到”线”的应用层面,甚至到”面”的应用层面,两位互联网大老(阿里巴巴马云,腾讯马化腾)多次在互联网大会中提出,数字经济是未来的发展趋势,如何从 C 端的数据应用到 B 端的逆商应用思维。所有人都在探讨,在学习,这是一个漫长的过程,但终将在未来的五年或是十年,甚至更久但最终必定实现,未来的时代是定制化的时代。所以如何 C2B 在线下整合供应链的整合都是课题,能够找到整合方式的企业,将会成为未来的独角兽企业。未来的世界,掌握数据者得天下,就如同历史上的战争,最终获胜者往往是知己知彼方能掌握军情,百战百胜的道理是一样的。

2.2 而生态圈发展至今,依赖在在线支付系统的入口之下采集民生数据的方式,最显着的案例是共享的商业模式,如共享单车及共享充电宝等,但这些数据是否可以有商业应用及商业的价值,直至今日似乎还没有被妥善并验证可靠的便现应用方式。

摩拜单车在中国拥有 4~5 亿的消费用户,共享充电宝在短短的两年之内就有 4 亿的用户,但这些企业的收入支撑原始于刚性的需求,跟基本的付费方式,这单单只是这些企业的收入第一曲线,而第二曲线运用有效数据到变现,直至今日还没有看到任何一家共享运营企业在第二曲线上有明显的收

益。

2016 年我个人开始组建团队,就是希望能把数据有效的去中心化,透过商业模式的方式把不要的数据给去除,并采民生的消费刚需的需求来采及数据,来完善所谓的民生消费数据精准计算,及商业变现,经过四年的研究,将线下商店所需要的引流,截流,分流,裂变,回流,等数据运用,完整的体现在我公司的商业模式跟应用场景。

而这些应用跟设备采集到的消费数据,未来将可以结合城市的制造及消费方式给予直接引流收益,而数据的应用是地球村的概念,每个国家;每个城市都有赖以生存的主要的产业及经济收入来源,而这些都将在数据运用跟生态圈的制定上有很大的关系。将有效的互联网思维,加上物联网商业用的去中心化,将这些商业模式注入灵魂,最终一定可以达到城市与城市之间乃至国家跟国家之间的数据交流跟经济交流。

### 3 如何以“物联网”、大数据应用为驱动力,积极搭建两岸民间交流合作的新平台,促进两岸产业交流、合作对接,分享经济发展成果

3.1 这是一个非常严肃的话题,至今全球的互联网数据及信息的交流仍存在不完全透明,不完全公开的状况,在一本由截弗里.韦斯特所撰写的一本名叫”规模”的书里面写着”企业为什么会衰亡,而城市为什么不会?”症结也许如中国的哲学家老子所言,”物状则老,是谓不道”,因不合于道,才由盛转衰。”道”即是书中所述的”动态平衡”,因城市系耗散结构的生态圈,可形成与外界交互的动态平衡,而企业则呈现出熵增定律,成了有围墙的花园,属静态平衡。而互联网加物联网的加持下,机会来了企业可以融入网络,人的消费及生活习惯的数据也可以融入到网络,成为万物互联的生态圈。

3.2 生态圈的购置首先是以人为中心,当然数据也是以人为中心,所有的产业链也是以人为中心。而要完成这么大的一个工程,必须建立在网络及数据的互联,信息的透明跟公开化,自从有网络的建设以来,各国都在完善网络信息及信息安全的系统完善。数据的公开跟才能建立新的平台,从点到线到面,”点”主要说的是个体,如企业的系统有没有办法将产能质量等,信息上传云端作整合,让生产型的企业可以在一个公开的搭建平台上交易。”线”主要说的是终端的需求,当需求方把规格

参数等等上传到云端,透过整合的数据加以计算,并结合金融信用机构再做企业或是个人的信用数据的计算处理,可以把部分“线”的交易环节打通,形成线性的需求交易,打开“面”的交易环节除了数据的整合之外,在线下物流的关键点夜市至关重要的,目前国内物流环境已经日渐成熟,未来客制化生产一件代发的产业将会是兵家必争之地,这个时候所有数据的引流导购及个人的消费习惯将会引流进云端系统完成“面”的营销。过去一年,所有的店商平台跟线下的消费平台都在加强物流的布局,如京东的线下仓储,淘宝的菜鸟仓储系统,乃至最终美团进入物寮标榜下单 30 分钟可以做的线下体验,这些都是在对于“面”的交易市场做布局。

### 3.3 两岸的生态数据如何交流,如何分享经济互动

两岸的经济贸易日渐开放自由,这是有目共睹的,两岸人民及企业之间沟通交流除了来自于学术界的交流之外,更多的还是仰赖协会,企业跟民间的互动,中国展开大门对外商开放式的招商政策,以及对于来中国投资的企业,中央及地方政府给予的扶持政策,对于两岸的经济起到至关重要的角色。不过回归到现实层面的问题,互联网及物联网平台的搭建是仰赖于网络环境的基础结构跟物联网的基础建设,背后还有政策影响。

初期的发展来说,首先可以用共建智慧小镇,智能生态园区,等方式进行初步的整合及实现。中期的发展来说可以透过两岸协会的力量共建交流平台,透过企业的力量做倡导,配合政府的政策落地成立产业研究院。长期来说可以透过研究院经过验证孵化相关产业,最终可以完成产业信息化,产业自动化,信息智能化,这对于地方经济,乃至两岸经济都可以起到一定的作用。从示范推广到辐射拓展,最终产业落地,这是一种可以选择的方式。

其实不用过多的用牵涉两岸政治立场的意识形态活动,来阻碍彼此之间的交流,这才是真正能解决民生经济分享互动的最佳方式。打破旧有的固化思维,才有办法接受新的商业模式,新的平台。世界的产业未来在中国,创业的新契机也在中国,很多好的商业模式的创造,需要更多的资金跟政策的扶持,由于目前的数据验证及商业模式验证都需要大量的资金投入,两岸之间所举办的创新创业大

赛当中不乏有好的商业模式或是去中心化数据采集的创新创业项目,但往往在执行落地的时候,都会面临到开发资金;维护资金难以维持的困境,创新创业者的所有精力跟专业都在于技术的开发跟商业模式的脑力激荡,并非在资本社交圈的摸爬打滚。这需要政府或是产业协会在于专业及资金的辅导,方能得以实现最终的生态地球村,而不是葬送在创业的坟墓里。

国内外的资本圈有着较大的差异,在实际案例上来说,国外的投资机构较多的是长期的陪跑,协助企业不管是在技术或是资金的部分。但国内的风险投资环境里面所擅长的是短期的获利,甚至有句话成了创业者心里面永远的伤疤,“不雪中送炭,只锦上添花”这对一心投入创业的创业者而言都是满满的负能量,一个小孩的成长茁壮依赖的是环境跟家长的栽培,而不是等小孩自我学习,自我壮大,等到学业或是事业有成的时候,再选择性的栽培。其实创新企业跟小孩一样,需要好的培养,好的环境,好的机遇。

中国的地方政策希望引进的是重资产的生产企业,但依照现有的经济结构,如今世界的前百强企业,更多的是数据型的轻资产企业,5G 时代即将到来,5G 的基础建设更多来自于大型企业及资金雄厚型的企业,一般的民营中小企业都是没有办法参与 5G 基建的工程。从 2G 到 5G 的发展其实就是围绕着信息的传输跟数据的采集,用更快速更便捷的方式来营造更多可以应用的民生场景,及消费需求,而这时所依赖的都是轻资产的数据转化,再至重资产的生产制造。

在物联网的基础概念里有一句至关重要的话,“溯源”甚么是“源”,“源”始于消费,只有数据的精准转化才能实现有效的生产,不会产生过多的产能库存及能源的浪费,唯只有数据的去中心化采集,才能有效的测算出时代的产物,以化解供过于求的生产型企业危机。

## 4 探讨 5G 与工业互联网融合发展,促进我省 5G 及互联网应用的深度发展,同时为两岸信息通信界的深度合作提供平台

4.1 物联网是下一个 5 年的风口,万物互联是大势所趋,智慧,智能,智联,智造,物联网是新一代信息技术的重要组成部分,也是信息化时代的重要发展阶段。顾名思义,物联网界是物物相联的

互联网。这有两层的意思：其一，物联网的核心和基础仍然是互联网，在互联网的基础上延伸和扩展到了任何物品与物品之间，进行信息交换和通信，也就是物物相息。

物联网透过智能感知，识别技术与普适计算等通信感知技术，广泛应用于网络的融合中，也因此被称为继计算器，互联网之后世界信息产业发展的第三次浪潮。

物联网是互联网的应用拓展，与其说物联网是网络，不如说物联网是业务和应用。因此，应用创新是物联网发展的核心，以用户体验为核心的创新 2.0 是物联网发展的灵魂。

4.2 物联网经历了十几年的发展，他和计算器，互联网一样，都使可以颠覆人类生活的高效用技术，计算器，互联网已经从根本上改变了人们的生产，生活方式，而发展和利用物联网，将在这个基础上进一步的创新，应用。互联网在工业上的应用是很多先进国家都想实现的，因为互联网打破了时间和空间的限制，将各个国家，各个地区的不同身分不同生产制造的相关信息拉在了一起，实现了人与人之间的高效，深入，全面的沟通跟交流。而物联网的到来则打破了世界万物之间的界限，完成了物与物之间的联通和数据交互，实现了对世界万物的自动管理跟控制。人类的社会不单要完成人与人之间的交流，还要完成物与物之间的自动控制，这样才能够真正的掌控世界，人类文明的发展才能实现真的大进步，大繁荣。

物联网的应用不单单只是应用在工业上面，广泛的范围甚至可以超越互联网的应用，这些应用包含了远程医疗，智能交通，公共安全，环境保护，智慧家居，智能生产等等多个领域，所以两岸之间透过互联网跟物联网之间的信息交流，新技术的合作，可以快速的发展。

前面说明了 5G 的应用跟建设就是为了让信息的传播更快速跟数据的采集更简易，应用在物联网的网络层，新起网络层使用的 5G 的信息传播速度，与旧有 wifi，或是 4G 网络比较之下，5G 的速度远超过 4G 传播速度，可以更快速及更大范围，及幅

度的传播，必要数据跟信息，在这样的技术趋于成熟之际，选择正确的应用，及如何让物与物之间数据无缝的传播跟连接，并延伸至后段的数据计算跟应用才是最重要的课题。

两岸的物联网协会早已经就两岸的技术交流做出巨大的贡献，从行业类别来看，智慧医疗，智慧农业，智慧养殖，智慧教育，智慧民生的应用都已经广泛的应用在公家机关及民间。透过协会的交流，可以结合专家学者，成立物联网研究院，让两岸的顶尖技术专家透过新的技术的研究，及开发成果，转化或是孵化并落地到实际应用，这是一种快速衔接，并且可以创造合作新契机，跟打造优质平台。未来 5G 的发展不管在视觉上，游戏，及共享经济领域或是智能制造等的领域都将会会有创新的突破。

## 5. 总结

未来是地球村，人与人之间的信息传播，结合物联网物与物之间的信息联结，将会引领第四次的工业革命，设备共享，信息共享，随着时代的发展，传统互联网满足人类应用需求的压力越来越大，人们终将把目光及技术焦点转移到物联网的领域，对于物联网的重视程度也会越来越高，各地方政府，及学术单位，甚至媒体，都争相报导物联网的相关信息，跟新的技术，而且国家和政府部门的城市规划方案中也将智慧城市，5G 建设，万物互联提上重要的章程。物联网应用的逐渐普及和技术的不断更新升级，将会对城市到国家的商业发展和科技进步提供了新的动力，不仅如此未来教育也将培育出打量的物联网技术的优秀人才，创造出大量的物联网的就业机会。

最后，仍然要再次的强调，数据是物联网及互联网“溯源”的基础，未来所有的生产制造，智能制造，都将以人或物的精准行为需求来生产，重资产的传统行业终将依赖轻资产的数据型企业来做智能生产或是变现，各国政府都在关注信息产业的时候，身为世界制造业最强盛的中国更应该重视并倡导，且给予有理想，有创新创造力的创业者更多的机会。

# 基于物联网的智慧城市中间件的探索与实践

陈书熙

**摘要：**随着国内物联网产业的蓬勃发展，智慧城市物联网应用正走向产业化和规模化，但也不可避免地暴露出缺乏行业标准、应用模式不成熟等实际问题。物联网设备缺乏统一标准，接入协议种类繁多，接入难度大；各个领域行业应用的开发相对独立，不同应用之间的数据无法共享。为了解决这个问题，中邮科对基于物联网的智慧城市中间件进行了有益的探索与实践。本文对该中间件的技术业务架构进行阐述，同时介绍应用的场景和效果。

**关键字：**物联网 智慧城市 设备接入

## 一、引言

基于物联网的智慧城市中间件是以筑强“智慧物联中台”，提速“高效设备运营”，深化“感知引领”和“数据经营”为主要目标，基于物联网技术，定义智能城市中间件体系结构模型，解决智能城市物联网应用中的海量异构设备接入，使传统的硬件设备向集约化、智能化转变，有效解决智慧城市建设设备接入难、周期长的问题；并积极采用大数据、云计算及人工智能等技术，解决由于物联网设备及应用不同，容易形成的信息孤岛问题，使用户从传统的经验决策向科学化、精准化决策转变。

## 二、架构与服务

鉴于智慧城市建设落地难现状，物联网的智慧城市中间件遵循以下几个方面的建设指导原则：

- 以智慧城市建设蓝图和 IT 云架构为指导，统一架构引领，演进中间件核心基础运营服务能力。

- 通过项目培育产品化的智慧应用，在物联网、云计算、大数据和信息安全领域，构建智慧城市核心竞争力。

- 秉承松耦合、开源的理念，逐步实现组件共享，接口统一，能力复用的协同研发模式，提升研发效率。

- 选择核心合作伙伴，开放汇总，补齐短板，共筑“大”智慧城市生态圈。

智慧城市中间件作为沟通底层感知层设备和上层应用层业务的重要桥梁，是设备管理、数据管理和事件管理的中心。下图为基于物联网的智能城市中间件的功能架构图，如图所示，中间件功能架构划分为物联网接入组件、物联网消息组件、智能信息管理、大数据应用、运行监控子系统、组件能力、数据运维服务等几个部分。

## 作者简介：

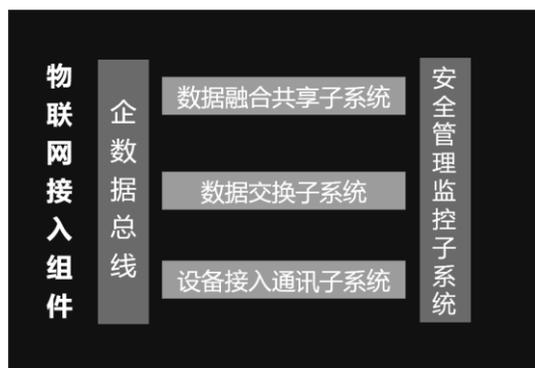
陈书熙：高级工程师，现为中国通服物联网专家、中国通服智能建筑产品中心负责人。



核心功能组件如下：

(一) 物联网接入组件

物联网接入组件是在云服务平台上构建的可扩展的实时数据交互与南向支撑管理服务中心，由设备接入通讯子系统、数据交换子系统、数据融合共享子系统和安全管理监控系统组成。具体如下图所示：



设备接入通讯子系统，主要负责处理及适配物联网设备不同的通讯方式和协议标准，并创造性的提出了虚拟网关和企业数据总线的概念，彻底屏蔽了底层网关的异构性，为上层应用系统只需专注于核心业务需求的研发，提供了技术保障前提。目前接入中间件支持 TCP、HTTP(S)、NB-IoT、MQTT、BACNET、MODBUS、OPC 等多种协议，及

2/3/4/5G、WIFI、NB、有线以太网等多种接入方式。

数据交换和数据融合共享子系统，主要负责对前置通讯数据进行统一的数据转换、过滤、填充、压缩、加密和签名等，并根据相关专业和设备类型，通过采用标准数据格式如 JSON、XML 等形式，最终生成统一信息数据发送到企业数据总线。数据交换和数据融合共享子系统不仅具有强大的数据处理和数据安全保障的能力，还具有专业形态数据自我完善和学习能力。采用不断继承和迭代升级等方式，平台信息数据可基本对已接入的专业数据类型、属性进行全覆盖，并可非常容易的无缝集成到异步消息系统和订阅/发布系统中，为其他中间件提供数据支撑服务。

(二) 物联网消息组件

物联网消息组件犹如人体的神经系统，把分散在不同区域的各个专业系统设备及传感器整合为一个有机整体。它的核心功能模块主要有消息订阅/发布子系统、联动策略引擎和指令库。具体功能架构如下图所示：



消息订阅/发布子系统是物联网消息中间件的软件基础平台，采用高吞吐量，高并发的分布式架构模式，具有高扩展性、峰值处理能力、可恢复性、顺序保证、送达保证、异步通信等优势特点。

联动策略引擎是各种设备之间智能联动，实现策略配置、定时触发、场景主动触发、执行操作和资源调度等更加丰富逻辑应用的主控中心。它主要包括场景策略逻辑模型、数据指标信息和执行动作这几个部分。场景策略逻辑模型，负责构建联动信息资源模型，描述当前业务逻辑对象关系，以及关联设备的行为顺序、优先级、冲突处理等。数据指标信息包括逻辑触发信息、关键状态信息、用户行为信息等分类，为策略逻辑模型提供关键数据支撑。执行动作主要负责处理实际联动动作内容，并根据优先级、执行顺序、剔除重复和逻辑冲突动作，形成最终工作指令表。

指令库是各个设备以及子系统业务逻辑动作的核心资源库。它负责收集和翻译各系统及设备的可执行操作指令和信息。

#### (一) 数据运维服务

数据运维服务是基于物联网的智慧城市中间件对设备控制和数据运维服务平台，其主要创新功能模块有：

●**监控中心模块：**该模块采用 GIS 地图和 BIM 建模等作为信息承载的主体，充分结合其技术数据优势，在提供传统的地域物联网设备、城市事件、资源信息等基础服务上，有效延伸了 BIM 模型中所包含的工程应用的数字组件及其工程属性信息的全生命周期，增强智能城市运维管理的时效性与数

据准确性。

●**行业组态模块：**该模块主要采用设备组态、仪表盘等模式展示各种城市物联网设备数据。由大及小，让用户可以从城市的“大”视角，聚焦到某一特定的“小”领域，专注相关物联网设备的体征信息，包括设备种类、关联关系、数据流转方向、事件预（告）警信息、大数据预测信息等等。

●**运维管理模块：**该模块采用设备信息的变化事件来描述城市某些信息的变化，并通过工单派发、工单处理进行城市管理和运维。包括事件定义、事件预警、事件订阅和工单管理等。

●**数据分析模块：**该模块采集和存储物联网设备产生的大数据信息，采用关联分析、聚类分析、深度学习等方式对大数据进行分析、统计和预测，支持为上层应用提供高级增值服务。

### 三、应用与推广

中邮科基于物联网的智慧城市中间件项目通过对于更细粒度能力的识别与平台化沉淀，在云计算、大数据及人工智能的技术支持下，实现物联网智慧城市在各个相关领域能力的柔性复用，从智慧城市发展中逐步推广到市政管理智能化、农业园林智能化、医疗智能化、楼宇智能化、交通智能化、旅游智能化及其他应用智能化等，最大化的支撑和服务各个领域业务的发展。项目不断创新延伸，成功地推出并落地了如智慧公园、智慧社区、智能建筑、智慧场馆、智能校园、智能医院及智能交通等的解决方案和项目应用。

#### (一) 应用推广情况

##### 1. 基于物联网的智慧城市中间件 V1.0 版

以智慧城市建设蓝图和 IT 云架构为指导，统一架构引领，打造智慧城市物联网中间件核心，解决物联网应用中的海量异构设备接入问题，并在平台上研发支持多种应用功能业务的应用中间件。

●**实现设备接入通讯子系统，**定义物联网中间件体系结构模型，以支持多样化的设备协议，本期支持的通信协议有 TCP、HTTP(S)、NB-IoT、MQTT、BACNET、MODBUS、OPC。解决大量

的并发操作和大数据存储问题，满足海量的物联网设备的接入需求。

- 实现数据交换和数据融合共享子系统，基于产品的虚拟网关和企业数据总线技术打造统一的业务层接入规范，有效解决智慧城市建设行业应用接入、维护设备困难、研发周期长的问题。

- 设备管理模型系统提供对城市物联网设备的“统一管理”，以及采用分组进行逻辑组织，方便后续运维管理。不同类型设备的管理可通过相应的应用插件进行扩展管理。

基于物联网的智慧城市中间件 V1.0 成功应用于福建省重点项目海西商务大厦、国家电网重点项目内蒙古电力生产调度指挥中心大楼等多个智能建筑项目。

### 2. 基于物联网的智慧城市中间件 V2.0 版

深化物联网智能城市中间件行业应用接入能力，使用行业应用更智能，接入更简单。

- 消息订阅/发布子系统是物联网消息中间件的软件基础平台，采用高吞吐量，高并发的分布式架构模式，实现行业应用与设备、行业应用与行业之间、设备与设备之间的交互能力。

- 联动策略引擎是全局智能联动的核心，支持通过灵活的策略配置实现各种丰富的应用场景。为上层的行业应用注入活力。

- 指令库是各个设备以及子系统业务逻辑动作的核心资源库。它负责收集和翻译各系统及设备的可执行操作指令和信息。

基于物联网的智慧城市中间件 V2.0 成功应用于天马山公园、飞凤山公园、梅城印记历史文化街区等城市公园项目，以及山东阳信医院等医疗建筑，实现产品向文旅行业和医疗行业领域完善拓展。

### 3. 基于物联网的智慧城市中间件 V3.0 版

提供物联网设备的高效可视化运维能力。

- 监控中心采用 GIS 地图和 BIM 建模等作为信息承载的主体，充分结合其技术数据优势，在传统

的地域物联网设备、城市事件、资源信息等基础服务上，增强智能城市运维管理的时效性与数据准确性。

- 提供丰富行业组态模块，该模块主要采用设备组态、仪表盘等模式展示各种城市物联网设备数据，达到可视化的运维效果。

- 实现运维管理功能，采用设备信息的变化事件来描述城市某些信息的变化，并通过工单派发、工单处理进行城市管理和运维。

- 新增数据分析功能，采集和存储物联网设备产生的大数据信息，采用关联分析、聚类分析、深度学习等方式对大数据进行分析、统计和预测，支持为上层应用提供高级增值服务。

基于物联网的智慧城市中间件 V3.0 成功应用于福州鼓楼军门社区、长乐滨海新城智慧小区项目，实现产品向智慧社区行业领域完善拓展。

经过几年的努力，物联网智慧城市中间件已逐渐完善，形成了以中间件为核心，以细分行业为演进发展目标，面向智能建筑、智慧公园、智慧社区、智慧医院等各类行业的应用体系。

#### (二) 应用案例情况

基于物联网的智慧城市中间件应用在智能建筑、智慧公园、智慧社区等众多行业领域，在各行各业领域取得了巨大的社区效益和经济效益。其典型的示范应用包括海西商务大厦、天马山智慧公园、数字鼓楼智慧军门社区等。

#### ●智能建筑——海西商务大厦

该平台依赖于物联网智能城市中间件提供的功能进行建设，通过智能建筑管理平台（CCS-iBMS）上丰富的智能建筑应用展示海西商务大厦各类管理、运营、服务数据，实现可视化。其主要收益包括：

集成统一，解决信息孤岛：各子系统信息共享、全局联动与协调，有利发挥智能建筑的整体最佳效益。

框架开放，保护客户投资：开放式设计使系统兼容性、扩展性显着提升，后期新系统、新技术的

引入不再受到掣肘，智能建筑可以方便地进行升级和扩展，保护了客户投资的价值。

**智能管理，降低建筑能耗：**系统通过先进的智能控制技术，合理调控设备运行，减少不必要的电力损耗；通过大数据分析技术，提出最优的能耗执行策略，为管理者进一步降低建筑能耗提供决策。

**提高管理效率，降低运营成本：**平台通过统一门户，集中管理，降低了管理难度；系统之间的联动协作，降低了管理成本；平台对设备的主动维护功能，也减少了因设备故障引起的损失。

**树立标杆，提供商业价值和形象：**通过提供管理效率、节能减排，提供先进、方便、舒适、绿色的建筑环境，有效提升建筑物的档次和商业价值，使客户的物业在行业内树立标杆，帮助树立客户的正面形象。

#### ●智慧公园——天马山智慧公园

该平台依赖于物联网智能城市中间件提供的功能进行建设，天马山智能公园是福建省首个基于窄带物联网技术建设的智慧生态公园，为福州市打造全省领先、业界一流的智慧景区样板点，公园综合应用物联网（NB-IoT）、云计算、大数据等多种技术手段，实现对公园步道的多网络全覆盖，为政府提供全面的数据支持和决策参考，为公园管理者提供安全、智能、高效的管理手段，为游客提供舒适、便捷、智能的体验。

#### ●智慧社区——数字鼓楼智慧军门社区

该平台依赖于物联网智能城市中间件提供的功能进行建设，数字鼓楼军门智慧社区管理平台实现资源信息数字化、管理设施智能化、平安保障科技化、社区服务便捷化、群众诉求主动化。着力营造“共建、共治、共享”的社会治理格局，打造“安居在社区、和谐在社区、友爱在社区、欢乐在社区、幸福在社区”的“五在社区”环境，促进社区健康可持续发展。其主要社区效益包括：

**服务于基层党组织建设，固本强基：**通过一张图精准掌握社区党委队伍情况，基层党员情况、分

布情况、在社区治理队伍中的先锋骨干作用突显。一张图精确透视党委活动开展情况，党员、志愿者参与情况。

**服务于社区基础设施现代化，减负增效：**依托基于 GIS 地图智慧管理平台，辅助物联网设备自动化感知采集，实现社区资源和设施的数字化管理和空间化展现，大大减轻了社区人工采集、人工跟踪诉求事件的工作负担。

**服务于社区服务供给精细化，便捷周全：**为市民提供生活便利，服务充分发挥互联网、移动互联网的优势，整合社区周边的商家，向群众提供各种居家生活服务，主要包智慧停车服务、共享充电服务、快递服务等建设内容。

**服务于社区平安，提升幸福感：**社区安全管控模块主要包括了治安防控、消防安全、环境安全、居家安全等模块。提高了对社区保障公共安全和处置突发公共事件的能力，最大程度地预防和减少突发公共事件及其造成的损害。

#### ●智慧社区——梅城印记智慧街区

该平台依赖于物联网智能城市中间件提供的功能进行建设，梅城印记文化街区智慧系统以构建现代化的智慧文化街区为目标，综合应用物联网（NB-IoT）、云计算、大数据等多种技术手段，实现对街区多网络全覆盖，为政府提供全面的数据支持和决策参考，为文化街区管理者提供安全、智能、高效的管理手段，为游客提供舒适、便捷、智能的体验。

#### ●飞凤山奥体公园

是省内首个 5G 全覆盖公园、福州市首个无人驾驶车奥体主题公园，实现“运动健身、休闲观光、生态保护”等功能于一体的，具有黑科技魅力特色的智能生态公园。

#### ●福州滨海新城物联网智慧小区

实现社区管理的智能化、可视化和动态化。社区管理人员可在指挥中心实时、远程监测和控制社区内各个物联网终端，改变以“汗水管理”为主导

的现状，实现“智慧管理”，达到主动服务、动态监管、节能减排和减员增效的目的。

#### ●莆田市科技馆

科技馆的信息化系统建设融合国际领先、国内一流的智能信息化技术，重点体现“环保、节能、高效”的信息化建设原则，打造为一个展区设计立意新颖、展品主题生动鲜明、高新技术含量高、现代化气息浓厚、受众参与程度高的现代化一流科技馆。

#### ●江西赣州高铁西站

基于智能城市中间件提供安全实用的 IBMS 综合管理平台，提高交通枢纽管理水平，降低运维成本。项目采用更先进、更完备的方案，实现智能化、数字化集成的需求以及管理智能、高效节能的应用和管理需要，兼容最新技术标准，充分发挥设备与系统的功能，极大地降低前期固定资产的投入和系统运转维护费用。

#### ●福州三中滨海校区

项目集物联网技术、GIS 地理技术等多种技术于一体，依托于云平台，各校区之间实现智慧教学教务的无缝对接互联互通，整合校区内各子系统，进行统一监测、控制、管理，将分散的，相互独立的智能化子系统，用相同的软件环境进行集中监视，实现可视化管理，建立集“教学、管理、监测、预警、分析、管理、发布”于一体的校区管理体系。

#### ●山东省阳信县人民医院

智慧医院综合管理平台基于物联网智慧城市中间件，实现医院智能设备信息实时共享与交互控制，并通过云计算及智能分析技术、实现预测、预警、规划和引导，保障医院建筑物内的电力、空调、照明、防灾、防盗、运输设备等协调工作，使医院设备的使用更加安全、舒适、节能。

#### ●贵州省地质博物馆

智慧博物馆综合管理平台是基于物联网智慧城市中间件，以“集成、融合、联动、可视”技术路线，融合了文物保护、文化传承的需求，实现了信息技术与传统文化的完美结合。

#### 四、展望

基于物联网的智慧城市中间件通过能力复用封装，面向应用层提供共性服务及业务协同支撑。在此中间件基础之上，可根据不同城市规模、城市特点、城市发展思路进行智能应用的灵活调整和快速搭建。通过中间件能力和上层应用的有机结合，实现能力的按需组装，满足差异化需求，在帮助城市完成适合当前需要的智慧城市建设的同时，也帮助城市建立能够面向未来平滑演进的弹性智能化应用环境，实现智慧城市建设可持续发展的目标。

# 跨行业资源共享实现 5G 网络低成本快速部署

熊玮 严令玲 刘昌海 张河辉 朱丽英

**摘要:** 本文主要介绍了福建省三明移动与国网电力深度开展资源共享, 通过共享变电站、配电房的站址、传输、电力等资源, 低成本、高效的解决 5G 网络建设、运维难题。

**关键词:** 资源共享、变电站、低成本

## 1 研究背景

2019 年 6 月 6 日工业和信息化部发放 5G 商用牌照, 我国正式进入 5G 商用元年。当前主要面临三大压力, 一是竞争压力, 5G 牌照颁发给了四家公司, 本来是三大通信运营商的, 也就中国移动、中国电信和中国联通。但本次工信部发放的 5G 牌照包括了广电, 自此中国广电就成名符其实的第四大通信运营商, 而中国广电手中握有的 700MHz 黄金频谱具有信号传播损耗低、覆盖广、穿透力强、组网成本低等优势特性, 在全球范围内来看, 都被相应电信运营商确认为是发展移动通信的黄金频段, 竞争更加白热化。二是行业压力, 5G 的商用将极大的提升我国投资消费需求, 5G 商用后, 将带动新一轮全球电信业和科技业发展, 全产业链将迎来颠覆性的发展机会, 行业竞争更加激烈。三是成本压力, 三明地广人稀, 人员外流严重, 多年来针对 4G 网络广、深、厚覆盖及向莆、南三龙高铁 4G 专网建设, 共计投资 11 亿元, 4G 商用

才不到 5 年时间, 正是深耕网络收回投资的时候, 现在突然就上 5G, 巨额建网资金是最大的难题, 更何况从 2/4/5G 都是三网并行, 势必造成网络投资成本、运维成本不足。

## 2 5G 网络建站难点

在频谱分配方面, 中国移动 5G 获得 2515-2675MHz、4800-4900MHz 频段, 高频段影响, 5G 基站覆盖范围小, 需高密度组网以及更多的站点, 这给无线网规划、建设和维护都带来成倍增加的工作量和难度。移动通信网络向 5G 大规模演进, 5G 2.6 频段需在 4G 基础上新增大量基站, 部署带来站址获取的巨大压力, 尤其当前用户也业务需求的不断提升、物业及业务经济意识的不断增强、民众环保理念的不断深化、物权相关争夺日趋激烈以及政府对基站等通信设施相关法规尚待完善的大背景下, 站址资源有效获取是 5G 大规模建设面临的严峻挑战。

## 作者简介:

**熊玮:** 中国移动通信集团福建三明分公司; 高级工程师, 多年从事移动通信的网络运维及管理工作。

**严令玲:** 中国移动通信集团福建三明分公司; 工程师, 多年从事移动通信建维工作。

**刘昌海:** 中国移动通信集团福建公司计划建设部;

**张河辉:** 中国移动通信集团福建三明分公司;

**朱丽英:** 中国移动通信集团福建三明分公司。

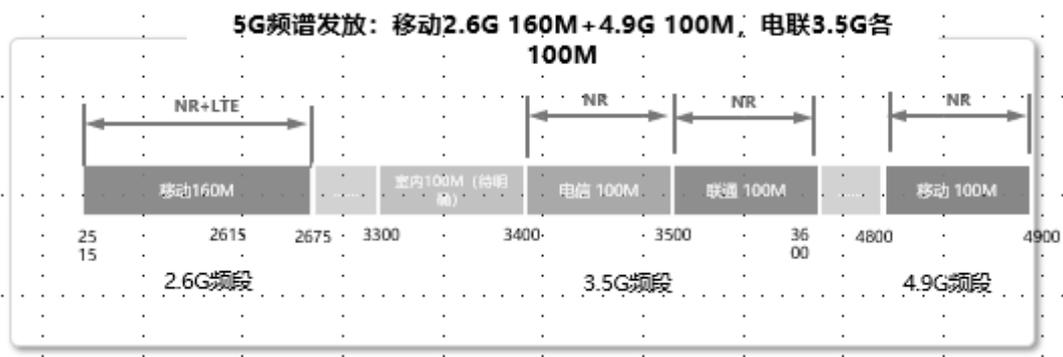


图 1 5G 频谱分配图

2.1 5G 覆盖收缩

5G 系统已经明确采取大规模天线 Massive MIMO，能够在三维空间产生灵活指向用户的窄波束，通过精确的信道相关性估计、干扰抑制等，能够实现多流复用，从而极大提升频谱效率。对于 Massive MIMO 的性能，假设 Massive MIMO 由于 M 个阵列组成，每个阵列由 N 个阵元构成，每个阵元又包含 T 个双极化阵子，总体相当于 2\*M\*N 个通道的 MIMO 天线。该 MIMO 天线的增益计算

如下：

$GAIN_{mimo} = GAIN_{zy} + GAIN_{zyf} + GAIN_{bf} + GAIN_{dp}$ ，式中： $GAIN_{zy}$  为阵元增益、 $GAIN_{zyf}$  为阵元的分集增益、 $GAIN_{bf}$  为该天线的赋形增益、 $GAIN_{dp}$  为阵子的双极化增益

在下文的链路预算中，将把天线的增益统一纳入到中，不再细分天线增益。以目前应用最广泛的 64 通道 MIMO 为例， $M=8, N=4, T=3$ ，则其下行信道总体增益：

$$Gain_{MIMO} = Gain_{ZY} + Gain_{ZYF} + Gain_{BF} + Gain_{DP} = 6 + 10 \log(N * T) + 10 \log(M) +$$

$10 \log(2) = 28dB$ ，而对于上行控制信道，由于缺少  $Gain_{BF} = 10 \log(2) = 3dB$ ，其总体信道增益为 25dB。类似地，如果是 256 通道的 MIMO，其上、下行信道增益分别是 31dB、34dB。

频覆盖更直接，无论是控制信道还是业务信道。即便如此，5G 在高频高通道数下的单站覆盖能力也不甚理想，一般市区内的平均站间距在 100~200m 左右，对于今后的无缝覆盖投资困难重重。

MIMO 增加通道数带来的覆盖增强效果比降

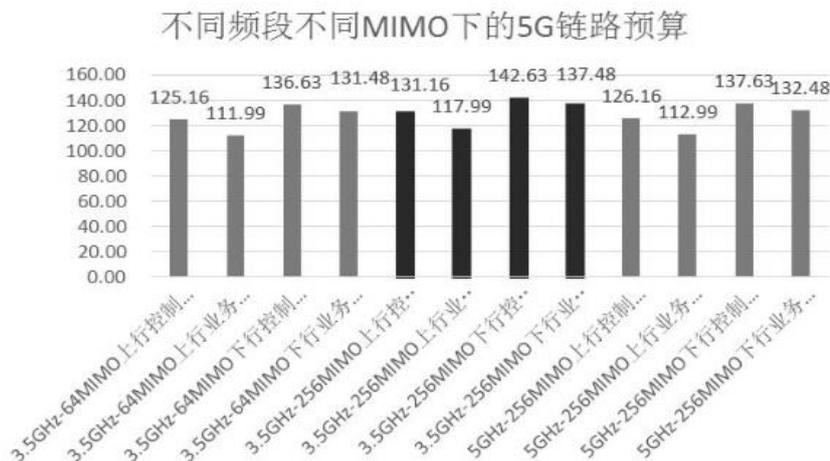


图 2 不同频段 5G 链路预算

## 2.2 配套不足

5G 站点平均功率电流要求使用 100A 以上空开, 目前机房配套的 DCDCU 都在 20A, 不满 5G 需求, 5G 宏站通常需要与现有 24G 共机房部署, 但现有机房未必有足够空间安装 5G 基站所需设备, 包括 5GDU、电源、传输等。如果现有综合柜剩余安装空间不足, 则需要整合现有 24G BBU 设备或者新增综合柜, 或者考虑 5GDU 挂墙安装、室外安装(需要新增室外机柜, 并需要引入交流电源)。这些因素对 5G 建设工程带来很大挑战, 5GAAU 满负荷功耗超过 1kw, 在 4/5G 网络共站的情况下, 站点功耗超过 10kw, 如若三家运营商多制式共站, 机房供电需求甚至能到达 30kw, 现有机房供电能力几乎肯定无法满足, 需要进行扩容

当前三明公司 5G 规划站点显示, 27% 的站点交流电不满足, 65% 的站电源模块不满足, 71% 的站空气开关不满足, 56% 的站备用电池不满足。尤其对于交流电改造需求, 改造成本高、周期长, 是机房供电改造的最大难点。

## 2.3 站址资源不足

频谱是 5G 的血液, 中国移动获得 2.6G、4.9G 频谱资源, 5G 高频段部署及本身的密集组网需求决定了 5G 网络对站点数量的需求远远超过 2/4G, 从基站覆盖距离, 2.6G 部署覆盖距离分别为 1.8G 的 1/2, 是 900M 1/4, 即相同覆盖面积下, 5G 在 2.6G 部署需站点数量是 900M 部署的 16 倍, 1.8GHZ 部署的 4 倍, 如果 5G 在 4.9GHZ 高频段部署, 则基站数量需大量增加。

5G 建设先城区再农村, 从这几年 4G 网络建设经验来看, 一方面, 由于市民对无线网络辐射观念不断加强, 市区密集场景站点获取越来越困难;

另一方面适合建设屋面资源, 在 2/4G 建设过程已消失殆尽, 新的站点诉求往往是之前难以攻克的区域, 要在上述区域新建原来 4 倍的站点, 可谓困难重重; 三是租金高, 当前租用铁塔杆塔(楼面抱杆+动力配套), 独建要 2.6 万/年/站, 二年共享 1.8 万/年/站。

其次, 5G 天面空间紧张, 天面抱杆承重要求高, 站址获取困难。5G 建设初期采用 NSA 架构, 4G 网络与 5G 网络紧耦合, 带来站址约束、互操

作配置复杂等问题, 后续向 SA 演进还需多次网络大规模调整, 受 5G 2.6G 高频段影响, 5G 基站覆盖范围小, 需高密度组网以及更多的站型, 这给无线网规划、建设和维护都带来成倍增加的工作量和难度

与 4G 宏站的 RRU+天线的安装方式不同, 5G 宏站通常采用 AAU 的形态, 即 RRU 与天线集成在一起, 内含 192 或 128 天线阵子, 组成二维平面阵列有源天线, 由于 5GAAU 中 RRU 与天线不可拆分, 且不兼容 1.8G/2.1G/2.6G 等其它频段, 所以只能与现网 24G 无源天线相互独立部署, 故而, 一个三扇区的 5G 宏站需要增加三副体积庞大的 AAU, 争夺原本 2/4G 就已拥挤的天面空间, 尤其是三家运营商共享的站址, 很容易出现由于天面空间不足而导致站点不可用的情况, 这极大地增加了 5G 网络选址和建设难度。三明公司 5G 规划站点显示, 30% 的站点有天面整合的需求。5GAAU 通常体积大(逾 35L)、重量高(逾 35Kg)、迎风面大(逾 0.5m<sup>2</sup>), 天线抱杆要求明显高于 4G。另外, 由于 AAU 为有源、高功耗设备, 其所需的 -48V 直流电源线及地线线径要求在 16-25mm<sup>2</sup> 以上, 这些电源线和地线从抱杆底部一直延伸至安装 AAU 的抱杆顶部, 这些电线的自重也会给天线抱杆强度带来额外压力(4GRRU 一般安装于抱杆底部)。

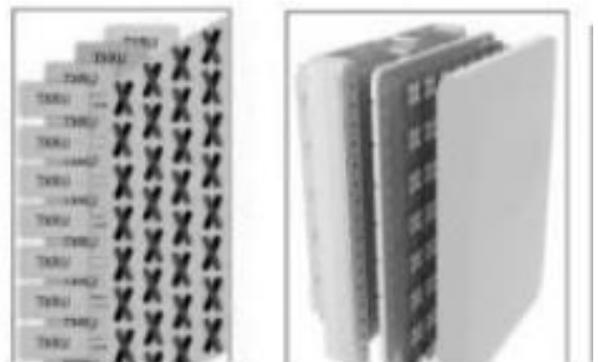


图 3 5GAAU 结构图

## 2.4 传输资源不足

随着近两年移动有线宽带铺开建网, 占用大量的传输汇聚层、接入网、驻地网的光缆, 城区光缆

纤芯利用率平均达到 75%以上。纤芯和传输资源匮乏，而且 5G 空口能提供很高的峰值速率，这也意味着 5G 网络需要大量光纤传输资源，对于 S111 站型，载波带宽为 100MHz，终端考虑 2T4R，则单用户下行峰值速率 1.5Gbps，而小区峰值速率约 5Gbps，平均速率 1.5Gbps。S111 单站平均速率可达 5Gbps，而峰值速率可达 8Gbps，故单站回传带宽需要按照 10Gbps 来进行光纤布放，结合 5G 无线接入基本架构图(见图 1 所示)，对于上述 5G 传输带宽需求，现网传输条件有相当大比例不能满足，需要进行传输改造。

5G 空口能提供很高的峰值速率，这也意味着 5G 网络需要大量光纤传输资源。对于 5G 基站而言，中传或回传带宽要求高，对站点的光纤资源消耗也非常大。通常 64TRx 的 AAU 所需前传带宽不超过 25Gbps，可以采用单一的 25Gbps 光模块进行传输。相比较而言，若仍采用 CPRI 接口，所需前传带宽将高达 300Gbps，5G 建设初期优先考虑基于 CU/DU 合设的网络结构来进行部署。在 CU/DU 合设的网络架构下，基站与核心网之间的回传网络提供 S1/X2 或 Ng/Xn 接口，其传输带宽需求可以基于如下方法估算：对于 S111 站型，载

波带宽为 100MHz，终端考虑 2T4R，则单用户下行峰值速率 1.5Gbps，而小区峰值速率约 5Gbps，平均速率 1.5Gbps。那么，S111 单站平均速率可达 5Gbps，而峰值速率可达 8Gbps，故单站回传带宽需要按照 10Gbps 来进行光纤布放，对于上述 5G 传输带宽需求，现网传输条件有相当大比例不能满足，需要进行传输改造。三明公司 5G 规划站点结果显示，15%的站点需要新增传输设备，36%的站点需要扩容传输设备，14%的站点需要替换传输设备，9%的站点需要扩容光纤资源。扩容光纤资源由于涉及管道改造，实施难度非常之大。传输安全方面，海量隧道动态变化，人工规划和分析调整无法满足业务需求；高精度时钟的建设和维护要求高、难度大，需要新的支撑手段。大宽度传输，一旦出现故障，需要更快恢复的技术手段，否则将导致更大影响和损失。

针对三明 5G 规划站点结果显示，15%的站点需要新增传输设备，36%的站点需要扩容传输设备，14%的站点需要替换传输设备，9%的站点需要扩容光纤资源。扩容光纤资源由于涉及管道改造，实施难度非常之大。

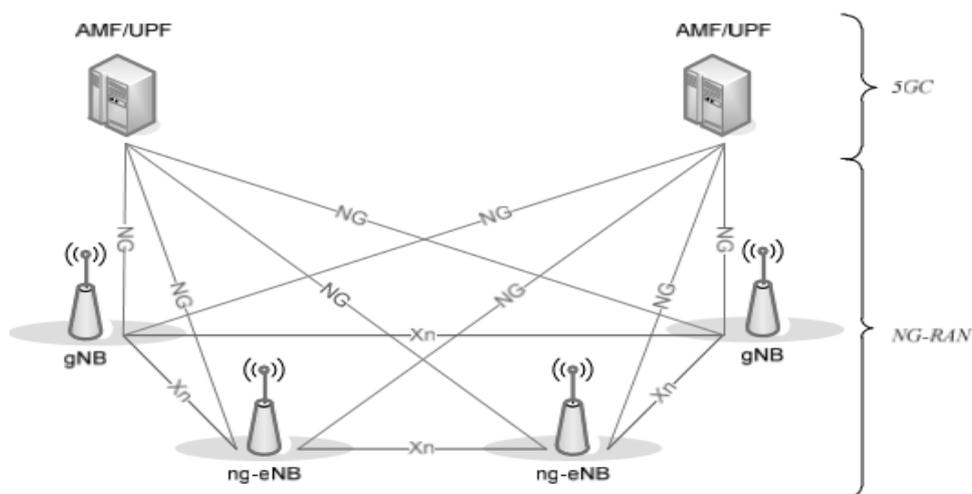


图 4 5G 无线接入基本架构图

### 3 与电力公司合作共赢环境分析

#### 3.1 5G 在电力行业的提前应用

提供 5G 在电力行业的多专业的运用试点，电力公司利用移动现有 5G 基站下的电力站点进行 5G 创新应用试点验证，主要验证切片技术端到端隔离

信道的性能、5G 大带宽、低时延等在电力行业应用的场景，一是智能化配电，提升配电网实时运行信息采集能力，拓展“三遥”终端接入范围，提升供电可靠性；提升配电网可视化及装备管控水平，提升运维效率。

二是用户服务,为用采业务提供高可靠性的通信通道,支撑高频次数据采集,推进大数据技术应用,提升客户需求的感知与分析能力

三是信息化生产作业,应用物联网、移动作业、移动语音等技术,构建生产作业全过程实时化、智能化管控,提升作业效能与人力、物力的集约化利用效率四、5G 部署我司的策略和建议。

四是电源灵活接入,为实现快速、灵活接入与消纳大规模、多样化分布式能源提供安全可靠的通信支撑,适应快速变化的客户能源接入与消费需求。

### 3.2 各专业通信参数需求满足电力 5G 运用

电力业务主要有四大类业务分别是控制类业务、采集类业务、移动类业务和大视频应用,各应用主要参数特点如下,一是分布式配电自动化通信。带宽:  $\leq 2\text{Mbps}$ ; 授时精度:  $1\mu\text{s}$ ; 时延: 差动保护和自动控制  $< 10\text{ms}$ ; 可靠性要求  $> 99.999\%$ ; 要求有备用通信通道; 通信安全性要求高, 电网 I 区, 完全隔离; 通信协同: 多方通信, 主从、P2P, 连续高频通信(每秒 8K 次或更高); 连接数量:  $X \times 10$  个/ $\text{km}^2$ , 对网络需求为采用 SA 组网, 采用网络切片。二是采集类业务。带宽: 上行  $\leq 2\text{Mbps}$ , 下



图 5 抗冰灾

行  $> 1\text{Mbps}$ ; 时延:  $< 3\text{s}$  (高精度费控  $< 200\text{ms}$ ); 可靠性要求  $> 99.999\%$ ; 通信安全性要求高, 电网 II 区, 与 I 区逻辑隔离, 与 III 区物理隔离; 连接数量: 集抄模式  $X \times 100$  个/ $\text{km}^2$ ; 下沉到用户后翻 50~100 倍, 可达千级/ $\text{km}^2$ , 甚至万级/ $\text{km}^2$ , 对网络需求为采用 SA 组网, 采用网络切片。三是大视频应用。带宽:  $4 \sim 100\text{Mbps}$ ; 时延:  $< 200\text{ms}$ ; 可靠性要求  $> 99.9\%$ ; 通信安全性要求低: 电网 III 区; 连接数量: 2~10 个; 移动性:  $10 \sim 120\text{km/h}$ 。四是分布式能源调控。带宽:  $\leq 2\text{Mbps}$  授时精度:  $1\mu\text{s}$ ; 时延: 采集类  $< 3\text{s}$ , 控制类  $< 1\text{s}$ ; 可靠性要求  $> 99.9\%$  与, 信息控制  $> 99.999\%$ ; 连接数量: 百万至千万级, 对网络需求为采用 SA 组网, 采用网络切片。

近日, 福建三明移动分公司与三明国网电力深度合作, 双方在站址资源、传输线路、杆塔资源、电力保障、5G 运用融合全方位开展资源共享, 首创“变电站+4G/5G”新型建站模式, 借助国网电力的站址、纤芯、电力共享, 利用变电站站址资源 2 天内分别在城区的列西 220KV 变电站、徐碧 110KV 变电站机房(见图 4 所示)、开通 4G/5G 基

站, 不仅有效解决区域内结构性站点缺失及深度覆盖不足的问题, 而且单站建设、运维成本分别较传统站点下降 25%、30%。

### 4 跨行业开展资源共享案例

2017 年 5 月, 三明移动全国首创与国网福建省电力有限公司三明供电公司签定《应急传输互备框架协议》, 双方优势互补, 通过置换光缆纤芯资源的方式, 快速而全面提升双方传输网络的容灾抗灾能力, 在建宁县冰灾中(见图 2 所示)利用电力光缆塔顶走线安全性高(见图 3 所示)优势实现乡镇“通信不全阻”的目标。



图 6 电力光缆走线

一是深化资源共享。在原传输资源互备基础上, 借助供电公司电力塔、变电站、配电房点多、面广等优势, 丰富扩充 4/5G 站点选址资源。



图 7 与电网合作开通基于变电站、环网柜、配电室的移动基站 4G/5G 示意图

二是促进降本增效。利用供电公司现有屋面、传输、电力资源（见图 5 所示），有效降低机房租

赁、电费、传输线路及铁塔租租赁等费用，单站建设、运维成本分别较传统站点下降 25%、30%。



图 8 国家电网电源直供电示意图

三是推动技术合作。针对电力网现有采集类、操控类、视频类等 14 项业务，提前开展 5G 网络多功能检验，推进 5G 在电力物联网中的运用与实践，提升电网智能化、智慧化水平。

### 5 跨行业资源共享优势分析

国家电网资源有诸多可用的资源，农村有利用的电力塔，城区有利用的变电站、配电房，利用国家电网电力塔、变电站、配电房点多、面广等优势，对 5G 建设、运维、电费成本压降成效显著，为 5G 低成本快速部署提供了捷径。

#### 5.1 建站快、成本低

利用三明国家电网 6000 个电力塔、179 个变电站、858 个配电房等资源、实现小区覆盖，不仅解

决当前建站难、基站维系难、基站房租高的问题，也有利于提升基站的稳定性、房租的压降。

针对小区深度覆盖利用配电房，将 BBU 放在楼宇里面的配电房中，同时做为 BBU 池主设备的存放点，一举多得，首先解决了电的问题，小区配电不是转供电，而是直供电，电费可节省 50%以上；其次利用配电房的空间资源（见图 6 所示），避免业主阻扰和维系的问题；三是租金大大降低。以 TDD 为例建设 1 个站点（含税），单站可以节省 2.5 万元。同时利用电力内部现有纤芯、配套传输，节省相关业主协调及配套引入施工，建设周期较常规宏站节省了 50%。



图 9 国家电网开放式站址空间示意图

### 5.2 运维安全

配电房和变电站,属于国家电网高等级维护(一类负荷保障),24 个小时不间断保障中,电力维护等级要求非常高。

一是安全方面,所有进变电站配电房、机房人员都要严格按照电力安全规程执行,出入机房要持工作证、着电力工作制服,并采用电子门禁、视频监控,有效保证机房的安全及设备的安全,有效的规避了常规站点受外部影响,引发的机房安全问题。

二是电源有保障,变电站实行两路以上高压输保护及两路以上低压保证电力安全。配电房至少有两路高压从不同的环网柜引入。如若将变电机房/配电机房作为宏站、BBU 池机房不仅能够保证供电安全、又能保证电力引入 100%直供电。

三是传输安全,因为辖区内变电房等级高,进出的传输路由均采用高压塔的传输路由,具有很高防洪灾能力。三明公司在 2017 年与电力开展传输资源置换,在近三年的洪灾中均发挥了重要作用,特别 2019 年 5.16、6.10 洪灾中,在三家运营商的沿河光缆均损毁的情况,我方在清流县李家镇置换的电力光缆有效的保障李家乡镇“通信不全阻”。

### 5.3 低成本运行

5G 的电费是 4G 的 4 倍,利用变电站、配电房资源,电源均为直供电,作为 BBU 池机房或宏站,三明城区、县城全覆盖需增加 6100 个站点,需新建站址规划中有 790 个建设需求利用了电力资源满足,其中 128 个弥补利旧存量站址位置合理,但可

利旧条件(传输、动力等)不足,525 个新增站址、137 个加强 4G 深度覆盖,可节约电费 450 万元/年;另一个方面利用变电站、配电房为我司提供站址资源,节约租金和配套 380 万元。

### 5 结论

面对 5G 资金缺、选点难、阻抗大、租金高的困境,福建三明移动分公司开拓创新、另辟蹊径、建立模型,全国首创采用变电站+4G/5G 的模式,实现了跨行业传输资源互补、动力保障互补,推动“通信塔”与“电力塔”的完美共享,积极储备杆塔资源供 4G、5G 新建站址备选。创新建立了 5G 建设、运维的新模式,为省内、全国进行大面积推广具有较大的建设性意义,有利于低成本、快速的实现 5G 网络的全覆盖。

### 参考文献

- [1] 李旭茹,徐晓宇,岳亚伟.5G 技术综述,2017.02: 20-26.
- [2] 施巍松,徐辉,曹杰,等.边缘计算:万物互联时代新型计算模型[J].计算机研究与发展,2017,54(5): 907-924
- [3] 齐彦丽,周一青,刘玲,田霖,石晶林.融合移动边缘计算的未来 5G 移动通信网络[J].计算机研究与发展,2018,55(3): 478-486.
- [4] 陈志伟,郭宝,张阳.5G 网络边缘计算 MEC 技术方案及应用分析[J].移动通信,2018,42(7): 34-38.

# 持续深化共建共享， 从通信基础设施底层发力促进 5G 产业发展

罗尚寅

**摘要：**通信行业自 2014 年进行基础设施“共享”改革，变多家自建为一家共建共享，大大降低行业成本，节约社会资源，促进通信行业不断发展。随着 5G 时代的到来，新一轮的规模建设与投资，使得行业的目光再一次聚焦在降本增效上，持续的深化共建共享，对于 5G 产业的发展尤为重要。通信行业显著的共享成果，对于 5G 相关行业发展有着极大的参考价值，从整体的基础设施底层开始进行共建共享的构建，将能够很好的促进 5G 产业发展。

**关键字：**共建共享、基础设施、5G 产业发展

## 1. “成效显著”通信行业共建共享改革成果

### 1.1 重复投资问题突出

2008 年 8 月 27 日，中国国家审计署的一份工作报告显示，2002 年至 2006 年，中国移动、电信、联通、网通、铁通 5 家企业累计投入 11235 亿元用于基础设施建设，重复投资问题突出，网络资源利用率普遍偏低，通信光缆利用率仅为 1/3 左右。运营商之间资源共享的呼声随之而起。

2014 年 3 月 26 日，由国资委牵头，会同工信部，组织三大运营商召开过一次协调会。会议研究了铁塔公司组建涉及的重要问题，明确设立铁塔公司协调组和筹备组。其中，协调组负责协调公司组建中的重大事项，筹备组负责具体的公司组建工作。

2014 年 4 月 30 日，工信部相关司局负责人证实，三家基础电信企业正在研究共同组建一家“通信设施公司”，负责统筹建设通信铁塔设施，进一步提高电信基础设施共建共享水平。该负责人称，“基础电信企业的这种探索有利于促进资源节约和环境保护，也有利于降低行业的建设成本，最终惠及广大电信用户。”

### 1.2 共建共享成果显著

2014 年，在落实“网络强国”战略、深化国企改革、促进电信基础设施资源共享的背景下，由中国移动通信有限公司、中国联合网络通信有限公司、中国电信股份有限公司和中国国新控股有限责任公司出资设立大型国有通信铁塔基础设施服务企业，即中国铁塔股份有限公司。中国铁塔主要从事通信铁塔等基站配套设施和高铁地铁公网覆盖、大型室内分布系统的建设、维护和运营，在全国省市均建立分支机构，2014 年 11 月，中国铁塔股份有限公司福建省分公司正式揭牌成立。

1.2.1. 行业共享有成果。福建铁塔在通信行业内深入推进资源共享，坚持“一家建设多家使用”、“能共享不新建”、“能共建不独建”，快速推动移动网络规模发展，累计向三家基础电信企业交付近 10 万个需求，初步形成“共享竞合”的模式。共享带来的效益提升非常明显，新增基站共享满足比例达到 77%，共节约土地 2100 亩、节省重复投资 62 亿元。同时，在共享铁塔挂高空间、机房配套、维护服务等的基础上，铁塔公司进一步发挥统筹优势，广泛合作，将共享理念向电力接入、末端传输

**作者简介：**

罗尚寅：中国铁塔股份有限公司福建省分公司

等方面延伸，为行业进一步争取了共享红利。

1.2.2.加强规划重引领。为坚持绿色协调发展理念，经济高效美观地满足行业 4G、5G 网络布局。通过各级政府的大力支持，形成由通信主管部门和城乡规划主管部门的牵头组织，进行通信基础设施专项规划编制与实施，实现从规划层面进行共享引领，减少基站散乱的建设、多建融入环境的铁塔，在缓解城市多塔林立、美化城市环境方面取得一定成效。

## 2. “持续深化” 5G 时代共建共享更为重要

### 2.1 5G 通信网络对于基站建设的要求

5G 网络的技术特点相较 4G 有很大的不同，重量方面 5G 天线重量约 40kg 是 4G 天线的 3 倍，功

耗方面 5G 基站单系统典型功耗约 4000W 是 4G 基站的 3-4 倍左右，覆盖距离方面 5G 基站平均覆盖范围在 250 米左右，是 4G 基站的 1/4，这些数据意味着，5G 通信设备相较原有 4G 网络质量更重、功耗更大、分布密度更高，对通信基站的承载能力和布局要求更高。一方面，对于原有 4G 网络的共享率已接近 80%，各类型基站的挂载空间是否富余，原有的基站是否能够负荷 5G 设备的挂载与功耗。另一方面，传统主流抱杆存在不支持 5G 基站的风险，部分传统美化罩不能重用，如何进行新建、改造、扩容，如何降低设备功耗，如何进行站址的选择与建设，都是摆在通信基础服务商面前的难题。

表 2.1.1 4G 和 5G 基站功耗体积重量对比

厂家	AAU (RRU+天线)			典型功耗(W)		
	尺寸 (mm)	面积 (㎡)	重量 (kg)	BBU	AAU	单系统
华为	860×395×190	0.34	40	500	1000	3500
中兴	799×399×161	0.32	45	315	980	3255
大唐	895×490×142	0.44	47	800	1380	4940
4G	-	约 0.52	约 33	约 250	约 350	1300

表 2.1.2 5G 不同频段密集城区理论计算站间距 (米)

5G 频段	站间距 (米)
2.6GHz	350~450
3.5GHz	250~350
4.9GHz	200~300

表 2.1.3 存量铁塔整体挂载能力现状

塔型	挂载能力		分场景塔型占比		
	抱杆数	占比	密集市区	市区县城	乡镇农村
普通地面塔	6	12.32%	12.11%	20.19%	54.50%
	12	28.80%			
	18	50.24%			
	24	6.41%			
景观塔	3	14.57%	12.96%	17.88%	14.93%
	6	26.51%			
	9	45.20%			
	12	9.00%			

	15	0.80%			
简易塔	3	41.13%	4.08%	4.66%	15.13%
	6	25.93%			
	9	27.88%			
楼面塔	3	27.90%	29.75%	28.15%	8.12%
	6	32.23%			
	9	35.09%			
楼面抱杆	1	71.82%	41.10%	29.12%	7.32%
	6	18.07%			

## 2.2 坚持共享助力 5G 网络快速的建设

2.2.1. 扎实基础，提前统筹规划。5G 立体、超密组网，质量重、高功耗的特点，需要铁塔公司拟提前规划储备大量的机房、塔杆、电力等资源。5G 网络建设，需持续深化共享理念，各级政府需拥有“5G 发展基础先行”的意识，从规划伊始，牵头铁塔与各家运营商共同进行 5G 网络的统筹工作，结合现有资源情况，最大程度的节约 5G 网络的建设成本。必须坚持能改造不新建，能微站不高塔，针对 5G 的特性，清查现有基站的情况，盘活存量站址，进行更新改造，快速为 5G 网络建设提供优质、扎实的基础资源。

2.2.2. 坚持共享，开放社会资源。5G 通信基础设施的建设应与城市发展相融合。

政府各级部门，应发挥主观能动性，以共享协同为理念，积极协调各家单位，为通信基础设施的建设提供更广的共享资源，更多的便捷政策，更快的审批通道，加快行业整体发展。以“物尽其用”的理念充分整合社会杆塔、管道、槽道、电力等各种资源进行综合利用，为行业降低建设成本，提高建设效率，高质量推动 5G 网络布局。力推基站建设小型化、隐形化、美观化，尽可能地综合利用各类社会资源实现移动网络的覆盖目标。将通信基站、路灯、环境监测、公安视频监控、LED 广告、充电桩、WiFi 等多项功能整合在一个杆体上，探索出“多杆合一”的整合模式，促进资源高效集约利用，使城市环境更美。

2.2.3. 绿色发展，协同降低 5G 耗能。基础通信服务商要连同运营商与设备厂商，在 5G 建设过程中，研究更低能耗的建设方案，不断优化设备尺寸

大小，提升设备用电效率，优化布局方案，减少冗余设备。政府与电力部门，要强化电力保障，加快用电审批，为基站及配套设施用电报装提供便捷服务，明确审批时限，保障基站正常用电需求，降低用电成本，各转供电主体要严格落实转供电电价政策，不得在转供电环节违规加价。电费支出是通信行业的成本大头，电费成本的大幅节省，将对产业发展产生连锁效应。

## 3. “共享延伸” 底层发力促进 5G 产业发展

已有通信基础设施共享成效喜人，6 年的发展经验，具有更为广阔的应用价值。石油管道公司的成立，智慧共杆的推行，都是“共享”理念在不断的向各行业延伸的成果。在分布式存储、无人驾驶、智慧城市、工业互联网等领域，也在不断的尝试共享的建设模式。在 5G 的快速发展建设中，将统一规划的底层基础设施进行全行业共享共享，只建一张“网”，只施一次“工”，只花一点“钱”，切实为 5G 应用的规模普及扫清“成本障碍”，让各行业在 5G 发展中共同享受“共享”带来的便利与红利，促进整体行业的发展更贯通、更便捷、更高效。

### 3.1 拓展“通信塔”向社会共享

积极践行新发展理念，把大力发展共享经济作为经济从高速增长阶段转向高质量发展的新动能，立足行业共享，拓展社会共享，将“不求所有、但求所用”的共享发展理念从主要面向通信行业拓展到全社会，”通信塔”与”社会塔”相互转变的发展模式需大力推动落地。

目前，全省近 10 万站址正在不断发挥其不间断电力供应、集中监控系统等配套资源优势，向不

同行业的客户提供以“资源共享”为核心的跨行业站址应用与信息业务，为“数字福建”以及经济社会的发展服务。将“通信塔”融入智慧城市发展的背景，在政企专网、视频监控、数据采集、智慧物联等方面不断的发挥“共享”作用，“通信塔”成为综合、智能的“社会塔”，为新旧设施的融合发展树立了新典范，开拓新空间，由单纯的物理资源共享向跨行业数据信息统筹、共享与保障升级。已延伸至农业、交通、能源、生态环保、社会服务、智慧城市、海洋等领域，用“共享”理念提升行业价值，一是提高建设效率，二是节约行业投资，三是节省规划费用，四是解决维护问题，五是提升城市整体形象，在智慧城市的建设中，营造美丽和谐新空间。

### 3.2 网络基础设施底层共享

5G 网络基础设施包括基站、电力资源、管道资源、机房资源、土地资源等，在网络基础设施的底层架构设计之时，充分考虑内外的共享，将由内而外的促进 5G 产业发展。

对内而言，底层基础设施共享，将推进新型杆塔、小型微基站、一体化电源、微型空调、复合型机柜、复合型电源箱、小型 UPS 等设备行业的技术革新和发展。通过共享的聚合效应，带领下游产业聚焦发展。同时，针对 5G 网络更为方便、高效的共享网络建设方案也将不断的革新，利用更多的城市建筑与空间，为通信设备与链路找到更为合适的位置，既保障网络的稳定安全，又确保不影响整体城市形象，降低不必要的资源浪费。

对外而言，5G 网络底层基础设施共享，将加大通信与各行业整合规划的力度，通信基础设施的规划作为基石，将引领智慧城市的总体规划布局。所有的“5G+”应用都离不开基础设施的到位，犹如水、电一般，成为智慧城市、5G 城市的血脉。通过底层基础设施建设，带动超视觉分析、边缘计算、自动驾驶、超高清视频等行业应用的基础设施规划与建设，缆线一同铺设、杆塔预留位置、布局更靠近终端，共享一套维护体系，将改变众多行业的发展模式，多行业的碰撞产生更多新的火花。

### 3.3 行业应用基础设施共享

5G 网络高速率、大容量、低延时的特点，将

使得各行业应用产生颠覆性的发展。行业应用基础设施是否能够进行共享，如何在行业应用的基础设施上做共享文章，是一个全新的思考与设想。例如在“5G+视频”领域，建立统一的数字信息视觉公共网络，共享监控点位，共享一个探头，链路资源共享 5G 信道，数据统一存储、管理，可视化按需分发。充分整合利用全省各行业的视频基础设施资源网络，面向公安、交通、市政、水利、农业、林业、国土等共享公有视频监控资源，减少重复投资，降低视觉盲区。

随着 5G 网络的推广，会极大地推动工业互联网、物联网等产业的商业落地，这些产业会产生出比今天多达数千倍的数据，大多数应用要求边缘存储和计算节点的数据传输快、延时短，同时在数据源分布分散的情况下做到连接敏捷和稳定，这就要求边缘存储和计算节点尽可能部署到靠近数据产生的端。所以，行业的基础设施共享在边缘计算领域可规模化推广。边缘存储和计算的部署需要分布广、数量多、光纤到位的小型机房，这类小型机房可方便地连接部署更加分散的数据产生源（传感器及各类接入设备），同时也可以高效地跟各区域的云计算中心或 IDC 的数据中心进行数据传输，可以达到端、边、云（数据中心）的无缝对接和协同。边缘计算行业，所有的机房不可能进行新建，机房共享即可进行延伸，共享空间和位置为卫星定位、地震监测、环保监测提供相应的资源服务，机房的价值将不可估量。基于此针对行业的机房需求，可试行对社会机房的统一规划、管理和共享，制定社会机房建设标准，将新建小区、商业楼宇、工业园区等各行业的社会机房纳入审批与监管，进行资源集中调配与共建共享，优化更行业机房网络的布局，提升整体数据处理体系的协同效率。优先支持边缘存储计算节点部署，充分满足分散数据源的高速率、低延时、高敏捷的连接需求及无缝云边协同的高效数据传输需求，未来的 5G 网络将包罗万象。

对于 5G 应用行业来说，行业需求需要不断培养，难以短时间内爆发，行业前期的投入成本没有可以参考的先例，将会是一笔巨大的投资，单靠一个行业和几个企业是无法完成的。因此，进行行业应用基础设施规划共享，有利于行业初期的市场培

育。将多功能杆、5G 网络、自动驾驶、视频监控几个行业的基础需求进行整合，底层的物理和通信架构进行统一，既能够高效协同，同时，单环境下的多应用场景，将催生更多的生产需求，不同行业的成果结合，产生的效能是指数级的变化。反之，行业应用的融合发展，将促进 5G 网络的不断优化和迭代升级，更多形式的网络布局将跟随应用场景的丰富而丰富。

#### 3.4 数据信息基础设施共享

5G 时代，在大容量的条件下，各行业的数据将非常“可怕”的“宇宙大爆炸”。万物互联的时代，数据的产生将非常的多元，因为超高的传输速率和容量，数据的质量会被忽视。面对如此庞大的数据量，“服务器”和“数据中心”们怨天载道，垃圾数据太多、重复数据太多、重复计算耗费太多能量，如果数据能够共享，系统与系统之间能够真正共通，大数据的分析将更有价值和效率。

数据的价值在两方面，一是数据的大小，二是数据之间的关系。当数据之间形成一种关系（即数据库），数据变成一个整体、连续的系统，数据的价值将大大提升，而连接的效率对于数据的价值有很大的影响。当前，数据不能共享主要有以下障碍：法律不允许、数据交互时间不允许、通信障碍和逻辑障碍。其中，逻辑障碍是最为关键，不同的系统，对于数据的定义、识别、分类、关联、应用的逻辑不一样，将严重影响系统之间的数据交互。因此，要进行数据信息的共享，就要在底层的逻辑架构上

做文章。要建成统一的数据信息共享服务体系，统一管理采集的数据，就要制定统一的数据标准，减少逻辑阻碍，消除信息孤岛，按行业应用分级、分权限管理数据分发。推进数据库、人工智能算法、应用解决方案的标准统一工作，实现各环节之间的标准对接，在数据处理和交互的底层设计上保持共通性。当然，在共享原始数据的时候，会带来极大的风险，数据安全问题是不可逾越的底线。因此共享的数据基础信息架构并不是建立在原始数据之下，而是在原始数据通过可视化处理后，进行标准统一，最终由动态的可视化软件处理，自动回避原始数据，用软件来动态表达，实现数据开放，对各方有利。

#### 4. 总结

从通信基础设施共建共享的成功果实，到 5G 网络的持续深化，再到各行业共享的延伸启发与思考，对于各领域与行业而言，基础工作扎实牢固，上方的层级才能够进行良好的浮华和繁衍。多领域、多维度、多方面的基础设施共建共享，理应得到更多的关注，需要更多的企业与技术参与其中。我们坚信，共建共享的道路是长远的，踏实的走好每一步，在 5G 时代下，沿途的风景会十分的绚丽精彩。

# 布局打造新台湾稳健转型新应用之愿景

邓添来

中国无线电协进会(台湾)顾问

**摘要:** 开放 5G 为通讯应用营造了新愿景,有必要拟订完整的发展策略蓝图,研究认为短期应建立大带宽、低延迟、大链接的 5G 网络,于其上建构全方位的创新服务;中期则拓展大规模各领域的物联网,例如智能水电瓦斯表、智慧工厂、智慧城市等;长期则需布局新世代 6G 的通讯及功能强大的量子计算机运算技术。

## 布建 5G 网络(短期)

### 1 5G 特性及新技术

其三大特性为

(1) 大带宽(eMBB: enhanced Mobile BroadBand)

速率可达 10GB 甚至 20GB;

(2) 低延迟(URLLC: Ultra-Reliable Low-Latency)

其快速反应可達 1mS 以下,能确实掌控高速移动对象;

(3) 大连结(mMTC: massive Machine Type Communication)在一平方公里内可链接一百万以上对象。

其开发的四项新技术为:

1) 三维波束(3D Beamforming)使用数组天线将波束集中对准用户,除增大信号强度外,也减少干扰。

2) 大规模多重输入输出(Massive Multi-Input Multi-Output)可在相同资源下利用空间分离供多个用户同时通讯。

3) 毫米波(Milimeter Wave)使用至高频(EHF)传输容量大传输距离小至百米左右,频谱使用效率高,但建设成本极高。

4) 由 4G/5G 并存的非独立网络 NSA (NonStand Alone)到 5G 单独 SA(Stand Alone)运作,将网络由 4G 过渡至 5G。

### 2 调控频谱促进数字经济发展

需执行下列四项:

1) 频谱供应规划:目前开放的中频段,3.5GHz

仅 270M,明显不足,有必要再检讨中低频段供第二期开放之需。

2) 垂直应用场域:因 5G 应用领域极广,必须使用公私场域作为实验场。

3) 强化跨境信息流通:国际信息流通,台湾长期处于逆差,应发挥我们创新强项,研发创新服务进而营销全球。

4) 监管配合市场创新:由于 5G 到临,社会面临重大改变,法规跟不上技术,应适时检讨修改朝兴利重于防弊办理,并以民生公共物联网为重点。

### 3 辅导各界善用 5G

5G 有大带宽特性可作高质量影像(HD /8K/4K)传输,加上影像辨识,可作 AR、VR 全息影像及人脸辨识等教学及育乐领域;5G 有高可靠低延迟特性加机器学习(ML),可用于车连网、无人机、工厂自动化等需快速反应领域,创新概念宜发自各应用层面,达成则需多业者相互合作。

### 拓展大规模物联网并强化资安(中期)

#### 1 大量物联网

利用大连结(mMTC)特性,在各机具及设备装置合适的感知器并搜集大量信息,辅以深度学习,完成智能城市、智能工厂、智能水电瓦斯表、智慧路灯等,再经 4G/5G 传输至高连结、低耗能、大涵盖的网络大平台,达成全方位的智慧社会。

#### 2 强化资安带动经济成长

物联网固然好用,但资安绝不可忽视,否则成灾难,宜配合资安研究机构,制订安全检测标准,透过精密检测改善装置安全性,提升消费者对物联网的信心,使各智慧设施的运作顺畅可靠。

### 3 用大规模物联网串联各领域

台湾是制造业王国,工厂可用物联网全自动化并利用网络直接对消费者;高龄社会的照顾设施也可由医疗机构监控,作法是将室外及室外的装置链接至云端计算机,若需快速反应的设施也可加端(雾)运算来就近处理。

#### 结合国际布局 6G(长期)

##### 1 未来 6G 走向

6G 可能延续 5G 三特性再强化,低轨道卫星可能再被引用来解决海上及偏远地区通讯之需;大带宽可达 TB 级,人工智能将更精进,且以分布式的区块链作多重衔接。

##### 2 量子计算机

量子计算机的指令周期比传统计算机快亿倍且有加密功能,但价格极高,各先进国家均在积极研发,目前美国实验室已制作成功,其功能符合 5G 特性的需求,量产及投入市场的时机值得密切注意,至于研发设计及运用,对以信息为强项的台湾更是重要。

##### 3 国际组织及标准的进程

在联合国掌理国际电信的国际电信联合会

(ITU)去年底召开世界无线电会议 WRC-2019,对 5G 新增频谱作决定,今年公告 IMT-2020(5G)标准,下届 WRC-2023 则将观察 5G/6G 频谱,再做前瞻决策。

制订移动电话标准的 3GPP,目前正在进行 Rel.16 规格拟订,预计 2020/Q3 完成 5G URLLC 与 mMTC 的规格,让 5G 规格完整,2020 年下半年之后开始研订 Rel17,逐步迈向 B5G 及 6G。

#### 结 论

1 衡量国际现况介接国际组织,应有专责团队,统合参与下世代网络制定,拟定务实策略,首要工作作为连结策略伙伴,次为选定关键伙伴合作,接着布局专利及参与制订标准。

2 促进电信业与应用服务产业合作,由于应用服务极为多样,隔行如隔山,必须相互了解并跨领域交流由实验场域做起,结盟团队逐步制定各项作业的标准,暂以分润方式探索市场;并把握下列原则:公私协力、掌握先机、提升经济效益。

# 万物互联，助力安溪茶业二次腾飞

姚志海

**摘要：**为了让安溪茶业能更健康更科学更理性地再次腾飞，我们尝试应用新兴信息化技术的发展，建设一套有关茶业的政策、生产、营运、交易的云平台。在这样环境下，本文捕捉了目前安溪茶云平台在用的卫星遥感、大数据、物联网、互联网等信息化技术如何与农业发展的深度融合。

**关键词：**万物互联；茶市；茶政；茶园 二次腾飞

## 1 打造一套高效实用的茶云平台是来自各方面的需要

安溪茶业历史悠久，始于唐朝，发展于明清，兴盛于当代。安溪茶业具有深厚的产业优势和文化优势，连续 9 年位列全国重点产茶县首位，安溪是铁观音茶的发源地。2017 年，全县茶园面积 60.8 万亩，产量 6.5 万吨，涉茶总产值 160 亿元，连续 9 年位列全国重点产茶县首位。安溪铁观音茶以 1424.38 亿元，蝉联中国地理标志品牌价值茶类第一位，荣获中国十大茶区域公用品牌。《2018 年安溪县人民政府工作报告》也提出：坚持茶业为要，进一步推动“二次腾飞”。

### 1.1 国务院全面部署实施乡村振兴战略

党的十九大提出实施乡村振兴战略，并对具体的振兴乡村行动明确了目标任务，提出了具体工作要求。

### 1.2 实施国家大数据战略，加快发展数字经济

当前，数字经济则是以新一代信息技术为基础，以大数据的互联和应用为核心，将数据资源融入产业创新和升级各个环节的新经济形态，具有快捷性、高渗透性、边际效益激增性、直接性以及资产轻量、聚合度高、附加值高等显着特点，更容易实现产业化和规模化。

同时，随着这些新兴信息化技术的发展应用，卫星遥感、大数据、物联网、互联网等信息化技术

与农业发展关联越来越密切，农业大数据正在与农业产业全面深度融合，逐渐成为农业生产的定位仪、农业市场的导航灯和农业管理的指挥棒，日益成为智慧农业的神经系统和推进农业现代化的核心关键要素。

### 1.3 安溪县现代农业产业园入选国家现代农业产业园

根据《农业部财政部关于批准创建第二批国家现代农业产业园的通知》（农计发〔2017〕110号），福建省安溪县现代农业产业园入选第二批国家现代农业产业园，是 2017 年福建省唯一入选的产业园区。

在这样大好的历史背景下，安溪县迎来了大发展的历史新机遇，迎来了二次腾飞的美好局面。为此，安溪县委县政府展望未来，依托物联网、大数据、云计算、卫星遥感等现代信息技术结合农业发展特色，打造一套高效的茶云平台，充分发挥新技术新设备的功能，更好服务茶业大众。

## 2 好平台，是助力经济二次腾飞的基础

有了这个“数字茶业”云平台，能够构建茶业单品种数据采集监测体系，从源头上“一站式”解决安溪茶业数据碎片化分散的现状，通过挖掘数据价值。有了这个“数字茶业”云平台，能够促进提升安溪茶业生产经营和管理服务数字化水平，让安溪茶“看得见、用得上、喝得放心”。有了这个“数

### 作者简介：

姚志海：中国移动通信集团福建有限公司泉州分公司工程建设中心；高级工程师，主要从事企业信息化工程管理工作。

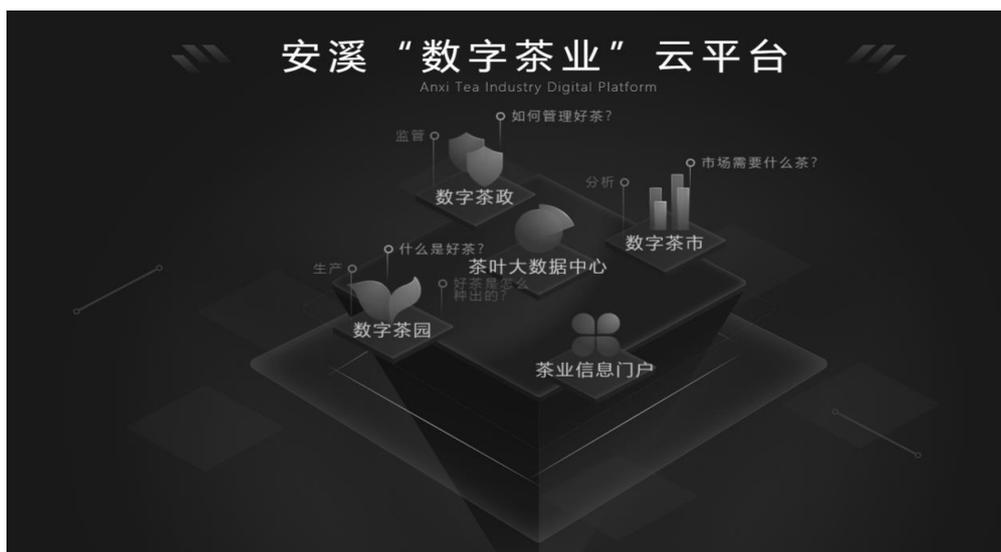
字茶业”云平台，能够以多元信息技术为基础，助力安溪茶业特色产业“二次腾飞”。

这套安溪“数字茶业”平台主要包括茶叶大数

据中心、数字茶园、数字茶市、数字茶政和茶业信息服务门户，简单概括为 131 架构：一个数据中心、三大数字平台、一个信息服务门户。



总体架构图



安溪“数字茶业”示意图

### 2.1 一个中心

该茶云平台中的大数据中心，为数字茶业云平台提供了基础设施、数据采集、存储、管理、分析、可视一体化的技术、数据解决方案。构建安溪茶业产业数据资源库，覆盖投入品、茶园种植、茶叶加

工、茶叶批发市场销售、茶叶电商销售、茶叶贸易、茶叶消费、茶叶质量安全、茶业政策等产业环节，为数字茶业的数字化应用提供技术支持和丰富的数据资源。



## 2.2 三大数字平台

### 数字茶园平台：

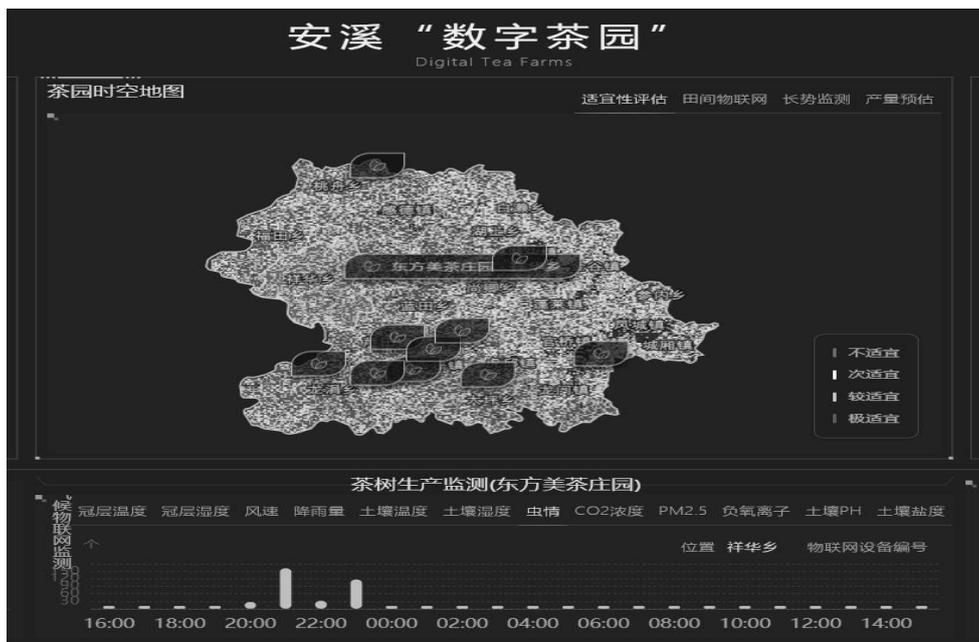
在整个茶云平台中，数字茶园是通过卫星遥感、农业物联网、标准化生产等技术手段，解决什么是好茶的问题，提高茶叶种植加工的数字化水平，保障安溪茶叶的质量安全。

在数字茶园平台中，主要提供了适宜性评价、茶园地块管理、茶园环境及种植监测、茶叶产量预估、茶园农事管理等功能服务。

#### 2.2.1.1 适宜性评价

茶树是喜温、喜潮、喜酸、耐阴的亚热带多年

生经济作物，茶树的生长发育对环境有一定的要求，热量、水分、土壤和光照等生态因子的变化，对茶树的生长发育、茶叶的产量和品质都会产生显著的影响。在整个茶云平台中，通过利用卫星遥感数据、气象数据、土壤数据等，建立安溪茶树种植适宜性评价，包括生态适宜性和生产适宜性，评估全县茶树的最适宜区、次适宜区、不适宜区，目的是指导茶园生产主体进行合理规划布局，优化配置土地，针对不同适宜性地区的茶园进行差异化产品生产加工、以及差异化产品定价。



生态适宜性评价的指标体系包括：海拔、坡度、坡向、土壤 pH 值、土层厚度、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温、

日照百分率、年降雨量、空气湿度、年雾日数、土壤养分（NPK、有机质）、社会经济条件（区位、交通通达性）。构建生态适宜性评价的模型，根据模型结构，设置适宜性等级，包括最适宜区、次适宜区、一般适宜区、不适宜区等。

#### 2.2.1.2 茶园地块管理



通过高分辨率卫星遥感数据，结合安溪县茶园确权数据，识别确定茶园边界，在电子地图上标识出各个茶园，并可进行空间展示、查询各茶园的基本情况，包括茶园识别、地块面积测算、地块查询、空间分布等。茶云平台为茶园数字化提供精准的茶园地块信息，同时实现茶园的可视化地图管理。

#### 2.2.1.3 茶园环境及种植监测

以安溪县茶园生产为基础，茶云平台利用卫星遥感、物联网技术等实现对茶园的茶叶长势监测、气象服务（实时气象、气象预报、气象预警）、茶园物联网实时监测、产量预估等。

##### ◆茶叶长势监测

在整个茶云平台中，利用多源卫星影像数据，反演植被指数，对茶叶的生长趋势进行不间断地观察（根据实际遥感影像条件，提供关键生育时期月度/季度长势），提供实时长势、长势对比、预警提醒等，实现对茶叶长势的综合评估，最终以平台可视化的形式为茶农和管理者提供各地块茶叶的生

长状况，便于对茶叶的生长过程进行管理和监控。

##### ◆土壤墒情监测

在整个茶云平台中，基于微波遥感对土壤水分敏感，以及对云、雨、大气具有较强穿透性的能力，利用微波遥感数据，反演土壤水分数据，计算茶园旱情等级是用于衡量作物在生长季内，因土壤水分供应不足阻碍生长发育过程的描述指标，其划分等级为 5 级，对应干旱类型为无旱、轻旱、中旱、重旱、特旱。可以结合地点的物联网传感器监测的土壤含水量数据，对微波遥感数据/气象站点数据进行校准，综合监测茶园的土壤墒情。

##### ◆茶园气象服务

为了更好的帮助茶叶生产主体企业降低茶园生产风险，提高精准化生产水平，茶云平台利用气象等数据资源，构建茶园气象预报及灾害预警模型，为企业提供针对生产基地的 5\*5km 网格化气象数据服务，包括实时气象、气象预报、历史气象、农业灾害预警和农事操作建议（最佳采摘期等）。企业可根据气象趋势和灾害预报，合理安排施肥、打药、采摘等田间操作，提高生产操作效率，保障茶叶品质。

**实时气象：**在选择茶园具体区域或地块时，显示具体地块区域的实时空气温度、湿度、风级和到目前的积温数据信息，并提供区域内温度、湿度、降水等区域专题数据，展示全局气象分布。

**气象预报：**主要对茶园集中种植区域降水、均温、相对湿度的气象信息进行 14 天趋势和具体数值预测，并且平均 12 小时更新一次；提供 2 小时的短临降水预报。

**历史气象：**关于历史气象对比分析方面，可以查看当前积温、累积降水、温度等历史多年对比分析数据，用于分析对比今年长势与历年长势和产量之间的相关关系，对生产决策和指导提供辅助决策意见。

##### ◆茶园物联网监测

在整个茶云平台中，通过接入平台的茶园物联网设备，以及各茶叶生产经营主体已有的物联网设备、视频设备数据，进行茶园物联网环境监测，主要包括空气温度、空气湿度、土壤温度、土壤湿度、光照强度等，实现在茶园生产环境信息可展示、可查询、可分析。物联网数据与气象数据可形成补充

和配合，实现对茶园生产环境的精准监测。

#### 2.2.1.4 茶叶产量预估

在整个茶云平台中，通过对历史茶园茶叶产量数据、气象数据、卫星遥感数据等数据分析，采用

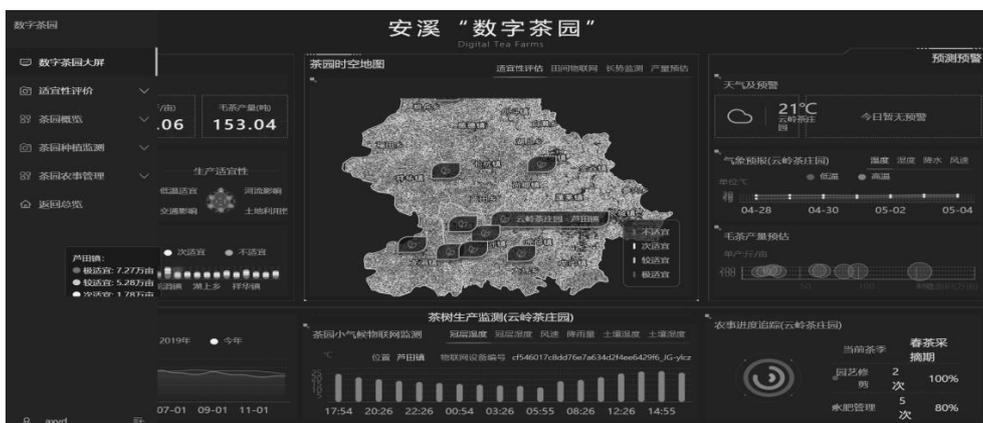
大数据技术构建安溪茶叶产量预估模型，利用当年实时（尤其是接近采收期前）的环境数据、卫星遥感数据，对茶叶的产量进行预估，茶叶生产主体可以据此进行茶叶的采收计划、加工计划。



#### 2.2.1.5 茶园农事管理

在整个茶云平台中，针对标准化生产程度高的茶叶家庭农场、合作社或企业，提供完善的农事管

理功能服务，包括种植计划管理、农事任务管理、农事信息记录、农事进度查询、农事数据统计、投入品用量统计等。



### 2.2.2 数字茶市平台

在整个茶云平台中，数字茶市是实现流通环节的茶叶交易数字化服务和监管，帮助茶农茶商卖到好的价格。结合茶都市场一品一码平台，提供批发市场交易分析服务、茶叶电商交易数据分析等服务，提高茶叶交易的数字化水平，对安溪茶叶在交易环节的品类、流向、渠道、价格等进行监测，更好的服务茶产业主体。

数字茶市主要实现流通环节的茶叶交易数字化服务和监管，帮助茶农茶商卖到好的价格。结合

茶都交易市场一品一码平台，提供批发市场电子交易服务、茶叶电商交易数据分析等服务，提高茶叶交易的数字化水平，对安溪茶叶在交易环节的品类、流向、渠道、价格等进行监测，更好的服务茶产业主体。

数字茶市是基于安溪茶都市场的交易市场所产生的数据，进行分析，主要提供价格实时监测、交易量实时监测、安溪茶叶价格指数等数据服务，利用数据引领安溪茶都市场成为中国茶叶市场的风向标。



### 2.2.3 数字茶政平台

在整个茶云平台中，数字茶政是通过对数字茶业平台汇聚的数据资源进行大数据分析，服务安溪县政府、安溪县茶业管理委员会办公室等部门对茶业产业的监管和指导。提供出口流向、气象监测、茶园长势等服务。

### 2.3 一个信息服务门户

在整个茶云平台中，茶业信息服务门户网站是

为茶业产业主体提供安溪茶叶的最新政策、产业资讯、种植技术、病虫害防治、气象预报预警、市场价格行情、供求品牌推荐、互动问答等服务，帮助安溪茶农、茶商、茶企，可以获取及时、在线、精准的产业信息。



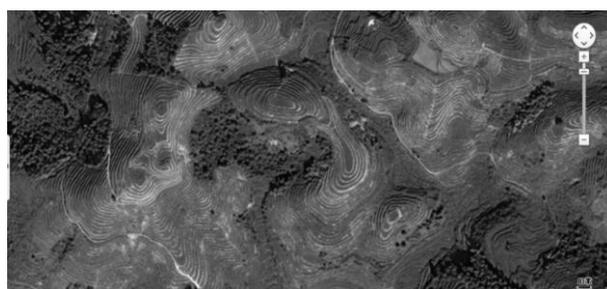
### 3 好数据，助力经济二次腾飞的保证

#### 3.1 采集数据类型

在整个茶云平台中，数据资源主要是包括卫星遥感数据、农业气象数据、茶业业务数据和其他数据等数据资源。

##### 3.1.1 卫星遥感数据

在整个茶云平台中，卫星遥感数据来源于，根据地块划定、茶园茶叶识别、长势监测等数据应用需求，国内的遥感影像可采用高分辨率影像数据（高分系列、高景系列、资源系列），中分辨率影像数据（高分一号、HJ1A/1B等）。此外，根据安溪县遥感影像数据情况，如由于有云或其他因素导致影像覆盖不全，可选择 WorldView、Planet、Pleiades、SPOT、Landsat、Sentinel 等卫星数据进行补充、融合多源卫星遥感。卫星遥感数据可依托于平台供应商单位。



##### 3.1.2 农业气象数据

在整个茶云平台中，农业气象数据来源于，可融合国内气象站点数据、短临降水预报数据（基于雷达图像的降水预报）、GFS 等数据，确保从宏观尺度到气象站点尺度的全面气象数据服务，利用气象降尺度模型，提供安溪茶园 5km 区域 1-15 天气象预报，其中包括了温度、降水、风向风速、相对湿度等气象要素，以及针对茶叶关键生育时期的气象灾害预警提醒。

大类	数据名称	适用类别/空间精度	时间范围	时间分辨率	延迟	精度
温度数据	实时温度	5km	1小时	1小时	无	1摄氏度
温度数据	日最高温	5km	历史 - 未来14天	1天	无	1摄氏度
温度数据	日最低温	5km	历史 - 未来14天	1天	无	1摄氏度
温度数据	日均温	5km	历史 - 未来14天	1天	无	1摄氏度
温度数据	月平均温	5km	历史	1月	无	1摄氏度
温度数据	月平均最高温	5km	历史	1月	无	1摄氏度
温度数据	月平均最低温	5km	历史	1月	无	1摄氏度
温度数据	实时露点温度	5km	1小时	1小时	无	1摄氏度
温度数据	日均露点温度	5km	历史-未来14天	1天	无	1摄氏度
湿度数据	实时湿度	5km	1小时	1小时	无	1%RH
湿度数据	日平均湿度	5km	历史 - 未来14天	1天	无	1%RH
降水量数据	小时降水量	5km	1小时	1小时	无	1mm
降水量数据	日累积降水量	5km	历史 - 未来14天	1天	无	1mm
降水量数据	月累积降水量	5km	历史	1月	无	1mm
降水量数据	年累积降水量	5km	历史	1年	无	1mm
天气状态	实时天气状况	5km	1小时	1小时	无	NA

#### 农业气象数据示例

##### 3.1.3 茶业业务数据

在整个茶云平台中，茶业业务数据来源于，包

括安溪县茶叶生产的历史统计数据，正在建设的“数字地标监管平台”、“县域农资监管和物流追踪

平台”、“茶都交易市场一品一码平台”数据,茶都市场交易数据(品类、价格、交易量等),茶叶新型农业经营主体、茶叶质量安全追溯等数据资源。主要来源于县农茶局及茶业管理委员会办公室。

#### 3.1.4 其他数据资源

在整个茶云平台中,还涵盖其他数据包括数字茶业云平台需要的其他地区的茶叶价格数据、消费数据等数据资源。主要来源于互联网及相关机构。

#### 3.2 数据资源采集功能

在整个茶云平台中,数据资源的采集有多种,主要包括:接口数据采集、物联网数据采集、空间数据接入、网络数据采集等。

##### 3.2.1 接口数据采集

在整个茶云平台中,对具备数据交互接口的 IT 系统,例如数字地标监管平台、县域农资监管和物流追踪平台、茶都交易市场一品一码平台。能适应其数据传输的接口规范,包括常见 HTTP、Webservice 接口 API。支持茶管办及其他涉农部门信息化平台的数据接入。

##### 3.2.2 空间数据采集

在整个茶云平台中,根据平台实际情况,平台直接通过接口实现遥感数据、气象数据等空间数据的采集接入。支持栅格数据(IMG、TIF、GEOTIF、PNG、JPG),矢量数据(SHAPEFILE、GEOJSON)的接入。

##### 3.2.3 物联网数据采集

在整个茶云平台中,支持通过消息队列获取物联网数据,并根据映射关系加载到数据库中进行存储。茶云平台物联网数据主要包括种植环境数据(空气温湿度、降水、光照等)、茶叶经营者的消费市场数据等,实现物联网数据的实时、稳定采集。

##### 3.2.4 互联网数据采集

在整个茶云平台中,利用爬虫采集互联网数据,例如茶叶的电商交易数据等。茶云平台可实现对爬虫采集数据的监控,包括采集数据指标、采集网站、采集开关等。

##### 3.2.5 文件数据导入

在整个茶云平台中,系统支持的文件格式包括 CSV、Excel 等格式文件。

##### 3.2.6 数据采集监控

在整个茶云平台中,平台入库的数据来源分布、数据量变化、数据采集日历等,可实现数据采集的实时监控,保障数据采集更新的及时性。

#### 3.3 数据资源的清洗

在整个茶云平台中,数据清洗,主要目的是实现对多源数据的清洗,将脏数据变为可用的干净的数据。

数据清洗指对前端采集过来的数据进行清洗与转换处理。数据清洗转换功能包括数据过滤、数据去重、数据去脏、数据转换(类型转换、维度转换等,转换规则的配置)、编码映像、文件拆分与合并、批量分布式清洗和实时不落地清洗,数据处理过程日志、数据清洗转换监控等。

#### 4 继往开来,展望未来

茶云平台已运行一段时间。在试运行期间,整个茶云平台运行稳定,并于 2020 年元月通过了专家组的验收,得到了专家组的一致好评。专家组成员一致认为这类项目值得大力推广。

我们憧憬未来,有理由相信,在不久的将来,茶叶种植者可以通过这茶云平台,能够更全面了解茶园,能够更科学管理茶园;茶叶经营者通过这茶云平台,能够更全面了解茶市,能够更理性把握茶市;通过这茶云平台,茶政工作者能更好实施茶政,能够更好指导和服务茶叶种植者、茶叶经营者、茶企等等。这样,通过这茶云平台,也必将助力安溪茶业“二次腾飞”。

#### 参考文献:

- [1]王珊珊.大数据背景下计算机网络信息安全探究[J].科技风,2020(14):124.
- [2]. Information Technology – Cloud Computing; Investigators from Tianjin University of Technology Release New Data on Cloud Computing (Research On Circular Area Search Algorithm of Multi-robot Service Based On Soa Cloud Platform)[J]. Computer Technology Journal, 2020.
- [3]杜松.可信计算技术在云计算安全中的应用[J].通讯世界,2020,27(04):90-91
- [4]陈晓晋,孙凯旋,胡欣宇.基于传感网的基础设施智能云平台[J].物联网技术,2020,10(04):106-108+111.
- [5]吴雪琴.物联网通用控制平台系统[J].电脑知识与技术,2020,16(06):250-251.
- [6]侯秀丽.基于物联网的温湿度监控系统[J].电子世界,2020(07):126-127

# 基于图匹配的边缘计算的资源分配机制

蒋志良

**摘要:**如今,无人机是一种对于增强无线连接性来说是一种很有前途的技术,特别是对于即将到来的 5G 无线网络。然而,在无人机辅助蜂窝通信和 D2D 通信的系统中如何采用合理的资源分配和功率控制的方式,使系统更高效,更节能,成为我们需要首要解决的问题之一。本文主要研究了能效最大化的无人机传输机制,提出了一种资源和功率的联合优化方法,以实现系统的能效最大化。利用目标函数的性质,将原始问题转化为等价的两子问题。在第一步中,通过非合作博弈的纳什均衡点求解任意可行信道复用分配的最优功率分配。在第二步中,将资源分配问题建模为二部图匹配,并使用匈牙利算法来获得信道复用的最优匹配,以获得最大的能量效率。数值模拟结果表明,所提出的方案在节能和信道资源方面利用有了显著的改善。

**关键词:**无人机、D2D、蜂窝用户、功率控制、资源分配、能效

## 引言

面对日益增长的业务需求及数据业务可能出现的显著的潮汐效应,通信基础设施规划建设将会面临巨大压力。无人机由于其具有便携性优势,方便灵活部署,可以为重大赛事、会议活动等超热点区域的业务能力扩容提供保障,并且在发生重大自然灾害后,可以作为移动基站,实现救援信息的及时传达,缓解抢修通信设施的压力。它将作为一种重要的应急通信方式发挥不可替代的作用。另一方面由于多媒体业务需求的急剧增长,频谱资源短缺成为移动通信面临的挑战。然而在传统蜂窝网络中,不允许用户之间直接通信。通信过程由基站转接分为 2 个阶段:发射机到基站,即上行链路;基站到接收机,即下行链路。这种集中式工作方式便于对资源和干扰的管理与控制,但资源利用效率低。为了提高频谱利用效率,由此 D2D 通信技术被提出。蜂窝网络引入 D2D 通信,可以减轻基站负担,减小通信时延。与蜂窝通信相比,D2D 通信仅占用一半的频谱资源。此外,距离较近的用户利用 D2D 通信可减小传输功率,节约能耗。因此,D2D 通信有望成为未来移动通信的关键技

术。

无人机空中基站技术和 D2D 通信技术作为未来通信领域中发展前景十分广阔的两大热门技术,各自拥有十分突出的优点。无人机的一个关键特点是无人机可以提供近程视线(LoS)通信链路,这是超可靠低延迟通信(URLLC)应用程序[6]的主要支柱。此外,由于其灵活性和机动性,无人机可以快速有效地部署,以支持蜂窝网络,并提高其服务质量(QoS)。从而可以快速为一些超热点区域的业务能力扩容提供保障,并在灾区作为重要的应急通信方式为信息顺利传递发挥作用。而 D2D 通信即终端直通技术就是地理位置邻近的设备之间能够直接进行数据交换,而不需要接入点或基站的协助作用。此外 D2D 是 5G 的关键候选技术[1],具有潜在的提高用户体验、提升系统性能以及扩展蜂窝通信的能力。因此 D2D 技术对于减轻基站负担,减小通信时延,节省信道资源具有重要意义。于是,在基于无人机技术的蜂窝通信网络中引入 D2D 通信方式成为可能[2]。在该系统中无人机作为空中基站,为区域覆盖蜂窝网络,同时系统中蜂窝用户和 D2D 用户同时存在,D2D 用户复用蜂窝用户的频

## 作者简介:

蒋志良:硕士,毕业于重庆邮电大学,任职于福建省邮电规划设计院有限公司,工程师。

谱资源,产生同频干扰,因此基站如何采用合理的资源分配和功率控制的方式,使系统高效,更节能,成为首要解决的问题之一。

我们了解到,近些年对无人机辅助蜂窝通信与 D2D 通信的研究主要是从优化角度进行研究,关注其系统容量的提升和干扰协调,在[3]中,除了计算无人机覆盖特定目标区域的航站数外,还导出了一个可处理的静态和移动无人机覆盖率分析框架。在[4]中,研究了基于无人机辅助网络的 D2D 通信的功率控制问题。具体地,该问题被表示为一个非凸优化问题,并利用凸优化技术差分求解。在[5]中提出了一种基于用户需求的无人机异构网络部署方法,利用无人机实现可靠的负载均衡网络。在[6]中,作者考虑了无人机与多设备对设备(D2D)的共存网络,给出了吞吐量和覆盖率的分析框架。在[7]中,研究了无人机(在下行链路中传输数据)和一个底层设备对设备(D2D)通信网络(D2D)之间的共存的问题,表明随着 D2D 用户密度的增加,无人机高度的最优值存在,可以导致系统的总速率和覆盖概率最大。[8]研究了无人机连接用户和 D2D 通信接收机的中断概率,以及使通信网络不受损害的最优功率控制策略。[9]、[10]中研究了基于异构网络(HetNets)的 D2D 通信功率控制的一般问题。在[9]中,研究了基于无人机辅助网络的 D2D 通信的功率控制问题。具体地,该问题被表示为一个非凸优化问题,并利用凸优化技术[11]的差分求解。在[12]中,考虑了无人机与 D2D 用户的共存网络,给出了吞吐量和覆盖率的分析框架。在[13]中所研究的资源分配问题被表述为一个联合时间和功率优化问题,并设计了一种高效的资源分配算法,并进行了深入的仿真,验证了该算法的有效性。在[14]中提出了一种基于用户需求的无人机异构网络部署方法,利用无人机实现可靠的负载均衡网络。[15]研究了一种基于无人机的移动中继系统,该系统采用高机动性无人机来辅助从地面源到地面目的地的信息传输,当其直接链路被阻断,在考虑无人机推进能量消耗的情况下,通过无人机轨迹(本文为圆形半径)优化,使得信噪比和能效 EE 最大化之间存在新的权衡。在[16]中,考虑波束宽度,研究了无人机辅助多用户通信系统的联合无人机高度和波

束宽度优化问题。通过联合优化高度、波束宽度和带宽,进一步减小了[17]的总功率。然而无人机作为移动空中基站,自身携带能源是有限的,以上作者并没有关注其能耗问题,正基于此,本文研究了基于无人机辅助蜂窝通信与 D2D 通信的功率分配问题,使系统的能效达到最大化。

本文的主要贡献是研究了能效最大化的无人机传输机制,提出了联合功率分配和信道分配的高能效无人机传输机制。首先我们将功率分配和资源分配联合最优化问题表示为混合整数优化问题,这种问题很难直接求解,所以我们将原始问题分解成两个子问题:功率分配问题和信道分配问题。来降低算法复杂度,对于第一个子问题采用博弈论的方法,通过求解纳什均衡点来求解每一种可能的信道复用情况下的功率分配,第二个问题我们利用图论和最小功率值构建关于 D2D 用户对和蜂窝用户的二分图,然后使用匈牙利算法求解能效最优下的最小权重二分图,最终得到信道分配策略。之后通过仿真验证,本方法能够显着提升系统整体的能效。

### 系统模型

我们考虑一个随机分布若干用户的网络,并部署无人机为地面用户服务。如图 1 所示,部分用户接收到来自无人机的信息信号,即无人机用户 ( $U_s$ )。同时,多个 D2D 发射机 ( $D2D-T$ ) 同时向其相应的接收机 ( $D2D-R$ ) 发送信息信号。D2D 对之间的距离通常比用户与地面基站或其他接入点通信的情况小得多,这意味着更好的通道状态。在大多数场景下,无论是无人机还是 D2D 都很难同时为众多用户提供满意的服务。在这种情况下,一些用户可以与无人机通信,而其他用户可以直接通信,这就提供了吞吐量增益。正交频分多址(OFDMA)是为多个  $U_s$  设计的,每个用户使用的子信道可以服务多个 D2D 对。在完成频谱资源分配的前提下,重点研究了功率控制问题。无人机以高度  $h$  在原点上空盘旋,由于在实际情况下,所有用户几乎不在同一频谱下工作,即每个用户仅接收来自所有的  $D2D-T$  干扰信号某一个。

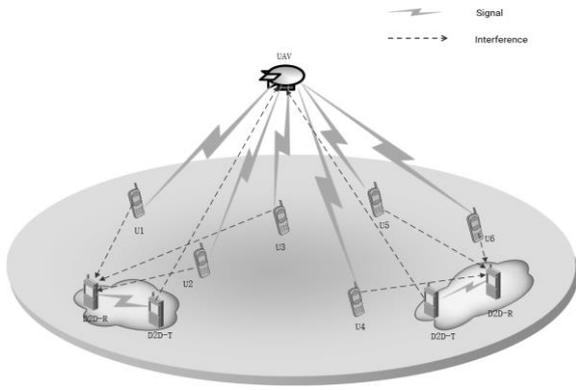


图 1: 模型图

我们用  $M = \{D_1, D_2, \dots, D_m, \dots, D_M\}$  表示所有 D2D 对的集合, 用  $N = \{U_1, U_2, \dots, U_n, \dots, U_N\}$  表示所有的无人机用户。用  $p = [p_{D_1}, p_{D_2}, \dots, p_{D_M}]^T$  作为 D2D 对发射机到接收机之间的传输功率矢量, 用  $p = [p_{U_1}, p_{U_2}, \dots, p_{U_N}]^T$  作为无人机到蜂窝用户 ( $Us$ ) 的传输功率矢量。

我们可以独立考虑两个主要的传播群, 并有相应的发生概率, 即 LOS 和 NLOS (视线和非视线)。为便于后续分析, 假设无人机位于固定高度  $h$  的笛卡尔坐标系原点, 取决于 LOS 或 NLOS 链路无人机及其用户之间的信道增益。信道增益的公式已经由[27]-[29]给出, 由 (1) 表示:

$$g_{U_n} = \begin{cases} \sqrt{h^2 + x_{U_n}^2 + y_{U_n}^2}^{-n_u}, LOS \\ \eta \sqrt{h^2 + x_{U_n}^2 + y_{U_n}^2}^{-n_u}, NLOS \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $n_u$  是无人机用户链路的路径损耗指数,  $\eta$  是由于 NLOS 连接而增加的衰减因子。LOS 连接的概率取决于用户位置等参数, 类型的环境, 仰角  $\theta$ , 由[10]知, 用户  $U_n$  处仰角  $\theta_{U_n}$  可以由 (2) 得出:

$$P_{LOS,U_n} = \frac{1}{1 + a \exp(-b(\theta_{U_n} - a))} \quad (2)$$

其中  $a$  和  $b$  是一些根据环境类型而变化的参数 (即乡郊、市区或郊区)。与用户  $U_n$  相关的仰角  $\theta_{U_n}$ , 以度为单位, 是由 (3) 表示:

$$\theta_{U_n} = \frac{180}{\pi} \sin^{-1} \left( \frac{h}{\sqrt{h^2 + x_{U_n}^2 + y_{U_n}^2}} \right) \quad (3)$$

因此, 与用户  $U_n$  相关的 NLOS 的概率直接由  $P_{NLOS,U_n} = 1 - P_{LOS,U_n}$  给出。因此, 无人机与被连接用户界面之间链路的平均信道增益为:

$$G_{U_n} = P_{LOS,U_n} \left( \sqrt{h^2 + x_{U_n}^2 + y_{U_n}^2} \right)^{-n_u} + P_{NLOS,U_n} \eta \left( \sqrt{h^2 + x_{U_n}^2 + y_{U_n}^2} \right)^{-n_u} \quad (4)$$

根据该方法, 可以得出第  $m$  个 D2D 通信对与无人机之间干扰信道增益为:  $G_{D_m,UAV}$ , 第  $m$  个 D2D 对的发射端与接收端之间的信道增益为:  $G_{D_m}$ , 第  $n$  个无人机用户与第  $m$  个 D2D 对的接收端之间的信道增益为  $G_{U_n,D_m}$ 。

信噪比分析:

无人机连接用户  $U_n$  的信噪比由:

$$SINR_{U_n} = \frac{p_{U_n} G_{U_n,UAV}}{\sum_{i=1}^M \lambda_i p_{D_m} G_{D_m,UAV} + \delta^2} \quad (5)$$

最后给出第  $m$  个 D2D 通信对接收端的信噪比由:

$$SINR_{D_m} = \frac{p_{D_m} G_{D_m}}{\sum_{j=1}^N \lambda_j p_{U_n} G_{U_n,D_m} + \delta^2} \quad (6)$$

本文的目标是研究能效最大化的无人机传输机制, 首先能效定义为每焦耳能量, 为每所传输的信息比特, 用 EE 来表示。所以能效最大化就是将每焦耳能量所承载的比特数最大化。假设设备间数据通信过程的持续时间为  $T$ , 传输速率为  $R$ , 设

备功率为  $P$ ，宽带为  $B$ ，则能量效率就可以表示为：

$$EE = \frac{RT}{pT} = \frac{R}{p} = \frac{B \log_2(1 + SINR)}{p} \quad (7)$$

因此，无人机与第  $n$  个用户之间的能效：

$$EE_{U_n} = \frac{B \log_2 \left( 1 + \frac{P_{U_n} G_{U_n, UAV}}{\sum_{m=1}^M \lambda_{m,n} P_{D_m} G_{D_m, UAV} + \delta^2} \right)}{P_{U_n}} \quad (8)$$

第  $m$  对 D2D 对之间的能效为：

$$EE_{D_m} = \frac{B \log_2 \left( 1 + \frac{P_{D_m} G_{D_m}}{\sum_{n=1}^N \lambda_{m,n} P_{U_n} G_{U_n, D_m} + \delta^2} \right)}{P_{D_m}} \quad (9)$$

我们的目标是在保障设备通信质量的前提下

使能量效率最大。如  $\lambda_{m,n} = 1$  表示第  $m$  对 D2D 对能复用第  $n$  个用户的信道资源或第  $n$  个用户能复用

第  $m$  对 D2D 对的信道资源，否则  $\lambda_{m,n} = 0$ 。因此本文的能效最优化问题可以用以下公式表示：

$$P: \max \left( \sum_{n=1}^N EE_{U_n} + \sum_{m=1}^M EE_{D_m} \right) \quad (10-1)$$

$$s.t. \quad 0 \leq P_{U_n} \leq P_{U_n}^{\max} \quad 0 \leq P_{D_m} \leq P_{D_m}^{\max} \quad (10-2)$$

$$SINR_{U_n} \geq SINR_{U_n}^{\min} \quad SINR_{D_m} \geq SINR_{D_m}^{\min} \quad (10-3)$$

$$\sum_{n=1}^N \lambda_{m,n} \leq 1 \quad n \in [1, 2, \dots, N] \quad (10-4)$$

$$P1: \max \left( EE_{U_n} + EE_{D_m} \right) = \max \left( \frac{B \log_2 \left( 1 + \frac{P_{U_n} G_{U_n, UAV}}{P_{D_m} G_{D_m, UAV} + \delta^2} \right)}{P_{U_n}} + \frac{B \log_2 \left( 1 + \frac{P_{D_m} G_{D_m}}{P_{U_n} G_{U_n, D_m} + \delta^2} \right)}{P_{D_m}} \right) \quad (11-1)$$

$$s.t. \quad 0 \leq P_{U_n} \leq P_{U_n}^{\max} \quad 0 \leq P_{D_m} \leq P_{D_m}^{\max} \quad (10-2)$$

$$\sum_{m=1}^M \lambda_{m,n} \leq 1 \quad m \in [1, 2, \dots, M] \quad (10-5)$$

在这其中有四个约束，10-2 是对于用户设备和 D2D 通信设备发射功率的约束，对于每个设备而言，用户设备和 D2D 通信设备发射功率不能超过系统内终端设备发射功率的上限  $P_{U_n}^{\max}$  和  $P_{D_m}^{\max}$ ；

10-3 是对信噪比的约束，用户设备和 D2D 通信设备发射功率最小信噪比门限分别为  $SINR_{U_n}^{\min}$  和  $SINR_{D_m}^{\min}$ ，以此来保证每个无人机用户和 D2D 用户终端的通信质量。

10-4 是用来约束每一个无人机用户的信道资源最多只能复用一个 D2D 用户的信道。10-5 是用来约束每一个 D1D 用户最多复用一个无人机用户的信道资源。该问题是一个混合整数线性优化的问题，很难直接求解，因此在下面，我们将该问题分解为两个子问题，分别对其求解。

基于博弈论的功率控制

本文主要解决功率控制的问题，计算出每个 D2D 用户对  $D_m$  和每个蜂窝用户  $U_n$  复用同一条信道时的最小发射功率，并且保证能效是最优的。只考虑单个用户和单对 D2D 对以及无人机的情况，它是原始优化问题的简化，其目标是最大化能量效率。

上述问题描述可以分解为：

$$SINR_{U_n} \geq SINR_{U_n}^{\min} \quad SINR_{D_m} \geq SINR_{D_m}^{\min} \quad (11-3)$$

观察 P1，发现  $EE_{U_n}$  和  $EE_{D_m}$  都不仅取决于各自

的发送功率，还与信道上其它用户或 D2D 的功率有关。本文的目标是希望能量效率的最大化，由于同信道用户和 D2D 对之间的相互干扰，每个用户或 D2D 对增加自己的功率也不一定能得到各自能量效率的最大化。因此本文将构建为非合作博弈模型。我们需要寻找一个最优化的用户功率集合，使整体的利益最优。

将非合作功率博弈表示为  $G = \{S, \{p_x\}, \{u_x(p)\}\}$ ,  $W = \{x|U_n, D_m\}$  表示参与的设备集合。 $P_x$  是  $u_x$  的一个策略集,  $u_x(p)$  或  $u_x(p_x, p_{-x})$  表示设备  $x$  的能量效率。每个参与者选择自身的发送功率  $p_x \in [0, p^{max}]$ ,  $p_{-x}$  是除了设备  $x$  以外其它参与者的功率策略。每一个用户设备  $x$  在该策略空间选择一种策略以最大化其效用函数  $u_x(p_x, p_{-x})$ , 即

$$\max_{u_x(p_x, p_{-x})}, \forall x \in W \quad (12)$$

每个用户的效用取决于自身的功率选择和其它参与者的功率选择策略。若给定其它参与者的功率选择策略, 参与者  $x$  就可以选择使自己效用最大的功率。这个策略就是一个最佳反应, 同时也是最优功率  $P^*$ 。

为了证明相关理论, 各用户设备的能量效用表示如下:

$$u_x(p_x, p_{-x}) = \frac{\log_2 \left( 1 + \frac{p_{U_n} G_{U_n, UAV}}{p_{D_m} G_{D_m, UAV} + \delta^2} \right)}{p_{U_n}}, x = U_n \quad (13)$$

$$u_x(p_x, p_{-x}) = \frac{\log_2 \left( 1 + \frac{p_{D_m} G_{D_m}}{p_{U_n} G_{U_n, D_m} + \delta^2} \right)}{p_{D_m}}, x = D_m \quad (14)$$

由于对于每个设备的传输带宽是确定的, 所以不影响相关证明, 只是在求解最优功率时会有数值上的区别, 因此没有写入能量效用公式中。

定理 1: 参与者  $x$  的最佳反应  $a_x(p_{-x}) = \min(\tilde{p}_x, p^{max})$ , 其中,  $\tilde{p}_x$  是  $(0, \infty)$  的最大

点, 即 
$$\tilde{p}_x = \operatorname{argmax}_{p_x \in \mathbb{R}} u_x(p_x, p_{-x})$$

证明: 为了书写方便, 将参与者的信道速率表

示为  $R_x = \log(1 + p_x \theta_x)$ , 其中,

$\theta_x = h_{xx}/(\sigma_x + \delta^2)$  可以看作等价信道增益,  $h_{xx}$

表示参与者  $x$  和相应接收端之间的信道增益,  $\sigma_x$  是参与者  $x$  受到的干扰, 当  $x = p_{U_n} G_{U_n, UAV}$  时,  $\sigma_x = p_{D_m} G_{D_m, UAV}$ ; 当  $x = p_{D_m} G_{D_m}$  时,

$\sigma_x = p_{U_n} G_{U_n, D_m}$ 。等价信道增益  $\theta_x$  只与其它参与者的功率策略  $p_{-x}$  有关。将对  $P_x$  求偏导:

$$\frac{\partial u_x}{\partial p_x} = \frac{1}{p_x^2 \ln 2} \left[ \frac{p_x \theta_x}{1 + p_x \theta_x} - \ln(1 + p_x \theta_x) \right] \quad (15)$$

已知  $p_x \theta_x > 0$ , 且  $p_x^2 \ln 2 > 0$ ,  $\forall p_x \in [0, p^{max}]$ , 进一步令

$$f_x = \frac{p_x \theta_x}{1 + p_x \theta_x} - \ln(1 + p_x \theta_x), \text{ 当 } p_x = 0, f_x = 0; \text{ 即}$$

$\frac{\partial u_x}{\partial p_x} = 0$ , 将  $f_x$  对  $p_x$  求偏导:

$$\frac{\partial f_x}{\partial p_x} = -\frac{p_x \theta_x^2}{(1 + p_x \theta_x)^2} < 0, \forall p_x > 0 \quad (16)$$

纳什均衡是博弈论中的最优策略组合, 每个参与者都为了自身利益的最大化, 所以对于其它参与者的策略都会做出最优反应。即, 对于每个用户  $x$  都会根据其它用户的功率策略, 在策略空间  $[p]_{y \in W}$  选择功率以最大化自己的效用函数  $u_x(p_x, p_{-x})$ , 最后达到均衡状态。我们首先证明其纳什均衡的存在。

定理 2: 该非合作功率博弈  $G$  存在纳什均衡点。

证明: 参与者  $y$  的策略集  $P_x = [0, p^{max}]$  是  $\mathbb{R}$  的非空, 紧凸集, 且效用函数  $u_x(p_x, p_{-x})$  在  $P_x$  上是连续

的, 若对所有的  $p_x, p_x' \in [0, p^{max}]$  且  $\lambda \in [0, 1]$ , 满足:

$$u_x(\lambda p_x (1 - \lambda) p_x', p_{-x}) \geq \min(u_x(p_x, p_{-x}), u_x(p_x', p_{-x})) \quad (17)$$

我们就说函数  $u_x$  是拟凹的。下面来证明效用函数的拟凹性。设  $p'_x < p_x$ ，当  $p^{\max} < \tilde{p}_x$  时， $\forall p_x \in [0, p^{\max}]$ ,  $f_x > 0$ ,  $u_x$  在  $[0, p^{\max}]$  上单调递增，故  $u_x(\lambda p_x + (1 - \lambda)p'_x, p_{-x}) \geq u_x(p_x, p_{-x})$ ，下面讨论  $p^{\max} \geq \tilde{p}_x$  的情况：

(1) 若  $p'_x < \tilde{p}_x$ ,  $\forall p_x \in [0, \tilde{p}_x]$ ,  $f_x > 0$ , 且  $u_x$  在  $[0, p^{\max}]$  上单调递增，故  $u_x(\lambda p_x + (1 - \lambda)p'_x, p_{-x}) \geq u_x(p_x, p_{-x})$ ，若  $p_x \geq \tilde{p}_x$ ，同样可以推导出  $u_x(\lambda p_x + (1 - \lambda)p'_x, p_{-x}) \geq u_x(p'_x, p_{-x})$ 。

(2) 若  $p_x < \tilde{p}_x < p'_x$ ，令  $\tilde{\lambda}_x = (p'_x - \tilde{p}_x)/(p'_x - p_x)$ 。当  $\lambda < \tilde{\lambda}_x$  时， $u_x(\lambda p_x + (1 - \lambda)p'_x, p_{-x}) \geq u_x(p_x, p_{-x})$ ；当  $\lambda \geq \tilde{\lambda}_x$  时， $u_x(\lambda p_x + (1 - \lambda)p'_x, p_{-x}) \geq u_x(p'_x, p_{-x})$ 。

所以，函数  $u_x(p_x, p_{-x})$  关于  $p_x$  是拟凹的。根据文献 [22] 中的定理 20.3，该非合作功率博弈  $G = \{S, \{p_x\}, \{u_x(p)\}\}$  存在纳什均衡点。

定理 3：该非合作功率博弈  $G$  有唯一的均衡解。

若  $p^*$  是该博弈的纳什均衡值，那么该纳什均衡满足  $p^* = b(p_{-x}) = \{v x \in W | b_x(p_{-x})\}$ ，其中  $b(p_{-x})$  是用户  $Y$  在已知其他用户功率策略下的最佳反应。

要证明该均衡的唯一性即需要证明最佳反应  $b(p)$  是一个标准函数，那么它需要满足以下三个性质：

1) 正定性：最佳反应函数总是正的，故  $\forall x \in W | b_x(p_{-x}) > 0$ ；

2) 单调性：若  $p \geq p'$ ，则  $b(p) \geq b(p')$ ，考虑  $f_x$  在  $\tilde{p}_x$  上对  $\theta_y$  的偏导，并且  $f_x(\tilde{p}_x) = 0$ ，可以得到：

$$\frac{\partial f_x}{\partial p_x} |_{p_x = \tilde{p}_x} = \frac{1}{1 + \tilde{p}_x \theta_x} [\frac{1}{\theta_x} \ln(1 + \tilde{p}_x \theta_x) - \tilde{p}_x] < 0 \quad (18)$$

不等式成立是因为对所有的  $\tilde{p}_x > 0$ ， $\frac{1}{\theta_x} \ln(1 + \tilde{p}_x \theta_x) - \tilde{p}_x < 0$ 。  $f_x = 0$  时， $\theta_x$  是  $\tilde{p}_x$  和  $\tilde{p}_x > 0 p_z (z \in W - x)$  的隐函数， $\forall z$ ，推导出  $\tilde{p}_x$  在  $p_z$  上的偏导：

$$\frac{\partial \tilde{p}_x}{\partial p_z} = \frac{\partial f_x}{\partial p_x} \frac{\partial \theta_x}{\partial p_z} / \frac{\partial f_x}{\partial \tilde{p}_x} > 0 \quad (19)$$

该不等式成立，是因为由公式 (16) 可得

$$\frac{\partial f_x}{\partial \tilde{p}_x} < 0 \quad \frac{\partial \theta_x}{\partial p_z} = -\theta_x^2 h_{zx} / h_{xx} < 0$$

因此，对于用户  $Y$  来说最佳反应函数  $b_x(p_{-x}) = \min(\tilde{p}_x, p^{\max})$  是随  $p_{-x}$  递增的。这就表示当其他参与者的传输功率增大时，为抵抗干扰，参与者  $Y$  的最优功率也会相应的增大。

可扩展性： $\forall \zeta > 0$ ,  $\zeta b(p) > b(\zeta p)$

令  $\beta'_x = h_{xx} / (\zeta \alpha_x + \delta^2)$ ，且  $f'_x = f_x |_{\theta_x = \theta'_x}$ ， $\forall z$ ,  $f'_x$  在  $p_z$  上单调递增。所以，证明  $\zeta b(p) > b(\zeta p)$  就等价

于证明  $f'_x(\zeta \tilde{p}_x) = \frac{(\zeta \tilde{p}_x + p_0) \theta'_x}{1 + \zeta \tilde{p}_x \theta'_x} - \ln(1 + \zeta \tilde{p}_x \theta'_x) < 0$ ，因为  $\theta'_x > \theta_x / \zeta$ ,  $\ln(1 + \zeta \tilde{p}_x \theta'_x) > \ln(1 + \zeta \tilde{p}_x \theta_x)$ ，且  $f_x(\tilde{p}_x) = 0$ ，要证明  $f'_x(\zeta \tilde{p}_x) < 0$ ，即证明  $(\zeta \tilde{p}_x + p_0) \theta'_x / (1 + \zeta \tilde{p}_x \theta'_x) < (\tilde{p}_x + p_0) \theta_x / (1 + \zeta \tilde{p}_x \theta_x)$ 。

$$\frac{(\zeta \tilde{p}_x + p_0) \theta'_x}{1 + \zeta \tilde{p}_x \theta'_x} - \frac{(\tilde{p}_x + p_0) \theta_x}{1 + \zeta \tilde{p}_x \theta_x} = \frac{(1 - \zeta)[p_0 \tilde{p}_x + (\alpha_x + \delta^2) / h_{xx}]}{(\zeta \tilde{p}_x + 1 / \theta'_x)(\tilde{p}_x + 1 / \theta_x)} \quad (20)$$

因为  $\zeta > 1$ ,  $[p_0 \tilde{p}_x + (\alpha_x + \delta^2) / h_{xx}] > 0$ ，可

以推导出  $f'_x(\zeta \tilde{p}_x) < 0$ ，即证明了非合作博弈  $G = \{S, \{p_x\}, \{u_x(p)\}\}$  存在唯一的纳什均衡点。

通过以上定理可以知道，在纳什均衡解中，每个参与者都可以获得最优的功率。因为纳什均衡解存在且唯一，就可以根据不动点原理迭代计算出均衡解。设定功率序列  $p_x^n, n = 1, 1.2, \dots$  按照下面的迭

代算法可求解出最优功率  $\mathbf{p}_x^*$ :

(1)初始化  $\mathbf{n} = \mathbf{0}, \mathbf{p}_x^0 = \mathbf{0}, \forall y \in W$ , 且  $\varepsilon > 0$ ;

(2)根据不动点原理更新功率序列,  $\mathbf{p}_x^{n+1} = \mathbf{b}_x(\mathbf{p}_x^n), \forall x \in W$ ;

(3)若  $|\mathbf{p}_x^{n+1} - \mathbf{p}_x^n| < \varepsilon$ , 结束, 否则转到 2)。

其中, 参数  $\varepsilon$  是算法控制因子, 当更新前后功率序列的相对差的范数小于  $\varepsilon$  时, 表示算法收敛, 然后输出纳什均衡策略集  $\mathbf{p}_x^*$ 。

### 基于匈牙利算法的信道分配

我们用矩阵  $\mathbf{E} = [\mathbf{E}_{mn}]_{M \times N}$  来表示信道复用时的能效状态, 其中  $\mathbf{E}_{mn}$  表示蜂窝用户  $U_n$  复用 D2D 用户对  $D_m$  信道资源时的最大能效。根据求解纳什均

衡点的方法获取到问题 P1 的最优解  $\mathbf{p}_{U_n}^*, \mathbf{p}_{D_m}^*, \mathbf{E}_{mn}$  即最大能效和, 则原始优化问题 P 可以转换为信道分配子问题 P2:

$$\begin{aligned} P2: \operatorname{argmax} & \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \lambda_{m,n} E_{D_m U_n}(\mathbf{p}_{U_n}^*, \mathbf{p}_{D_m}^*) \\ \text{s.t.} & \sum_{m=1}^M \lambda_{mn} \leq 1 \quad m \in [1, 2, \dots, M] \\ & \sum_{n=1}^N \lambda_{mn} \leq 1 \quad n \in [1, 2, \dots, N] \end{aligned}$$

目标函数 P2 为非平衡指派问题, 可变成求一个二分图中最大匹配的问题, 可以利用匈牙利算法进行求解, 因为该算法需要绝对的对称, 因此需要对原始二分图进行变换使其转化为均衡的指派问题, 然后利用匈牙利算法进行求解。

如图上图所示构建二分图  $\mathbf{G}$  分别用蜂窝用户集和  $\mathbf{U}^A$  和 D2D 用户对集和  $\mathbf{U}^B$  来表示二分图的两组顶点。当  $U_n$  可复用  $D_m$  的信道资源时, 他们之间便存在一条权重为  $\mathbf{E}_{U_n D_m}$  的边, 其中  $\mathbf{E}_{U_n D_m}$  的值  $U_n$  复用  $D_m$  的信道资源时的能量效率和。否则它们之间有一条权重为  $\inf$  的虚拟边。

由于蜂窝用户的数量和 D2D 用户对的数量不一定相等, 所以当蜂窝用户数量  $N$  和 D2D 用户对数量  $M$  的关系:  $N = M + h$  时, 在二分图顶点集  $\mathbf{U}^A$

中虚拟出  $h$  个顶点; 当蜂窝用户数量  $N$  和 D2D 用户对数量  $M$  的关系为:  $N = M - h$  时, 在二分图顶点集  $\mathbf{U}^B$  中虚拟出  $h$  个顶点; 所有虚拟出来的定点与其它顶点连接边的权重都为  $\inf$ 。

匈牙利算法可以用来解决二分图最大权值匹配问题, 算法具体过程如下:

第一步, 根据扩展后的二分图  $\mathbf{G}$  及其边的权重, 生成效率矩阵  $\mathbf{E} = [\mathbf{E}_{U_n D_m}]_{M \times M}$  或  $\mathbf{E} = [\mathbf{E}_{U_n D_m}]_{T \times T}$ ,

找出矩阵  $\mathbf{E}$  中的最大值  $\Delta_{\max} = \max_{v,m,n} \mathbf{E}_{U_n D_m}$ , 用  $\Delta_{\max} - \mathbf{E}_{U_n D_m}$  得到新的矩阵  $\mathbf{E}'$ 。

第二步, 找出矩阵  $\mathbf{E}'$  在每一行上的最小值  $l_n = \min_{v,m} \mathbf{E}_{U_n D_m}$ , 用  $\mathbf{E}_{U_n D_m} - l_n$  得到新的矩阵  $\tilde{\mathbf{E}} = [\tilde{\mathbf{E}}_{U_n D_m}]_{N \times N}$ , 其中  $N$  为扩展后的矩阵大小;

然后再找出矩阵  $\tilde{\mathbf{E}}$  每列最小值  $r_m = \min_{v,n} \tilde{\mathbf{E}}_{U_n D_m}$ , 用  $\tilde{\mathbf{E}}_{U_n D_m} - r_m$  得到新的矩阵  $\mathbf{E}^* = [\mathbf{E}_{U_n D_m}^*]_{N \times N}$ , 如上图

第三步, 构造满足  $\mathbf{E}_{U_n D_m}^* = 0$  的子图  $\delta \mathbf{G}$ , 找出子图  $\delta \mathbf{G}$  中的最大匹配  $\mathbf{M}_{\max}$ , 如果该最大匹配  $\mathbf{M}_{\max}$  是一个完美匹配则转到步骤五。

第四步, 让  $\mathbf{Q}$  表示子图  $\delta \mathbf{G}$  所覆盖的顶点集,  $\Psi = \mathbf{D}^A \cap \mathbf{Q}$ ,  $\mathbf{Z} = \mathbf{D}^B \cap \mathbf{Q}$ , 找出  $\theta$  满足  $\theta = \min\{\mathbf{E}_{U_n D_m} : U_n \in \mathbf{D}^B - \mathbf{Z}, D_m \in \mathbf{D}^A - \Psi\}$ , 使得  $\Psi$  所在行上加上  $\theta$ ,  $\mathbf{Z}$  所在行上减去  $\theta$ , 然后返回第二步。

第五步, 如果该最大匹配  $\mathbf{M}_{\max}$  是完美匹配, 则将  $\mathbf{M}_{\max}$  中的虚拟节点及其边所连节点删除便得到最优分配方案。

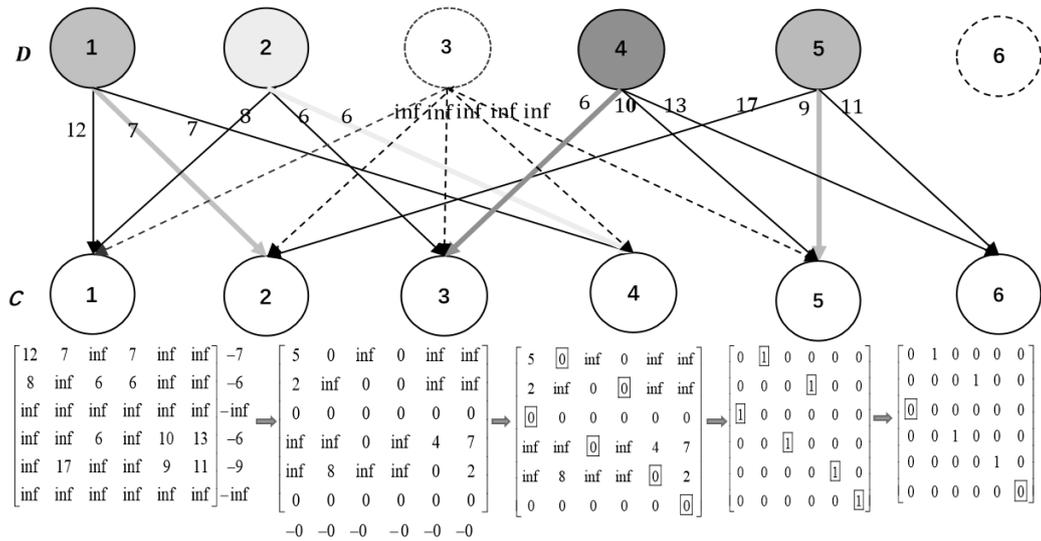


图 2：二分图构造及匈牙利算法求解过程图

结果分析

在本节中，我们给出了仿真结果来证明所提算法对该系统的有效性。我们假设一个目标区域为一个半径为 500 的圆形区域，将无人机设置在高度为  $h$  的位置，与目标区域内的蜂窝用户连接，D2D 通信对也随机分布在目标区域内，且分布均匀。本文的仿真是基于 MATLAB 仿真平台，具体的一些参数如下所示：

Parameter	Value	Definition
$N$	-130dBm	Noise power
$D$	40m	D2D $T_x-R_x$ distance
$n_u$	3	Pathloss exponent
$a, b$	11.95, 0.136	Parameters for urban environment
$\eta$	20dB	NLOS excessive loss factor
$H$	300m	UAV altitude
$P_{max}$	0.2W	UAV maximum power
$SINR_{Un, min}$	2dBm	Minimum signal to noise ratio for CUs
$SINR_{Dm, min}$	1.5dB	Minimum signal to noise ratio for D2Ds

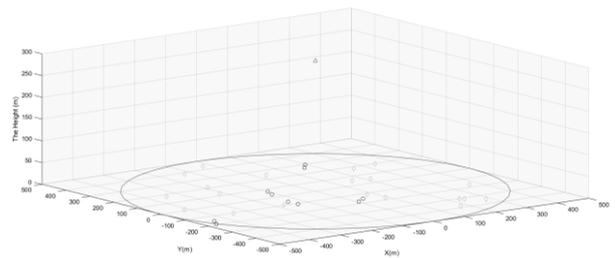


图 3：无人机辅助蜂窝通信和 D2D 通信的仿真场景图

我们通过图 4 可知，蜂窝用户与 D2D 用户与无人机之间的信道增益与无人机的高度密切相关，随着无人机高度逐渐增高，信道增益逐渐减小。

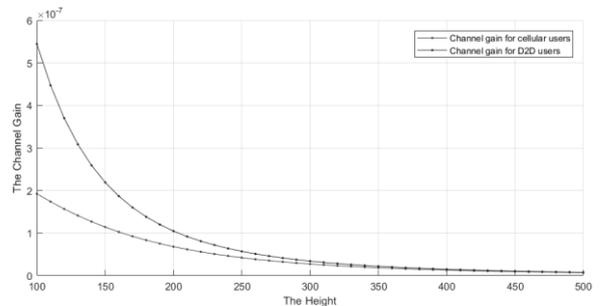


图 4：信道增益与无人机高度关系图

我们综合比较了用已有的算法，如贪婪算法、互惠算法、和随机算法求得的功率控制和资源分配的结果与以上提出的联合分配方案求得的结果，从而成功验证了本文提出的新算法的优越性。

在图 5 中，我们展示了该系统的能效在不同算

法下随着迭代次数的变化图。从图中可以看出，随着迭代次数的增加，不同的算法会出现不同的能效趋势变化，可以看出，本文所提的通过博弈论进行功率控制，基于无人机辅助通信系统下通过匈牙利算法采取最优的信道分配策略，和普通的算法相比较，显著的提升了系统的能效。当迭代次数为 600 时，能效达到最大，再减小或增加迭代次数，系统能效都会降低。

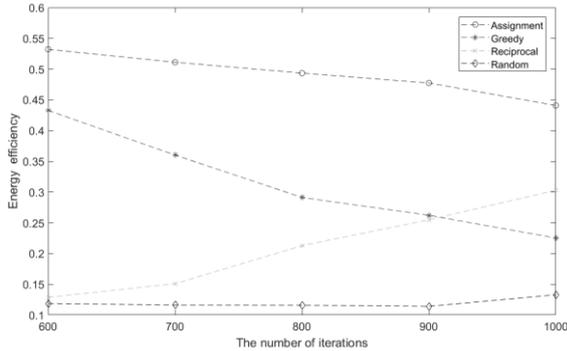


图 5: 能效随迭代次数变化图

系统能效与蜂窝用户数量变化的关系被我们用图六详细展示。观察图可知，随着用户数量的增加。系统能效变化幅度不大，甚至还略有增加，这表明联合分配算法具有良好的稳定性和优越性。这

是由于在此时，蜂窝用户和 D2D 对互相复用在该算法下达到饱和，没有更多的蜂窝用户可以接入，即此时信噪比最大，所以蜂窝用户数量再增加或减少能效都会减小。但总的来说，通过该算法会使系统能效显著增加。对于图八，和图六原理一样。

在图七中，我们展示了系统能效随着 D2D 距离的变化图。从图中可以看出，会有一个距离会使系统能效达到最大。D2D 距离会使 D2D 的增益增加，而通过博弈论得出的最优 D2D 功率，在能效的计算公式中，利用匈牙利算法得到一个最优匹配，是能效最大。从而该算法的优越性得以体现。

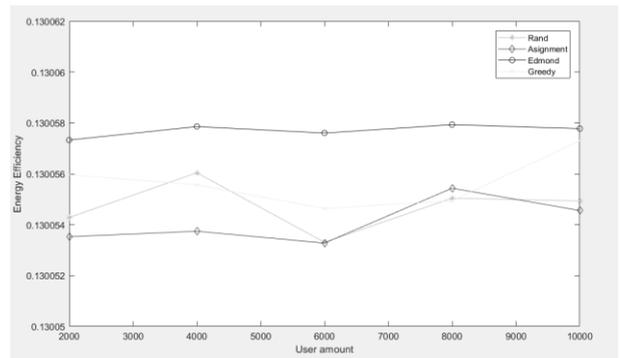


图 6: 能效与用户数量关系图

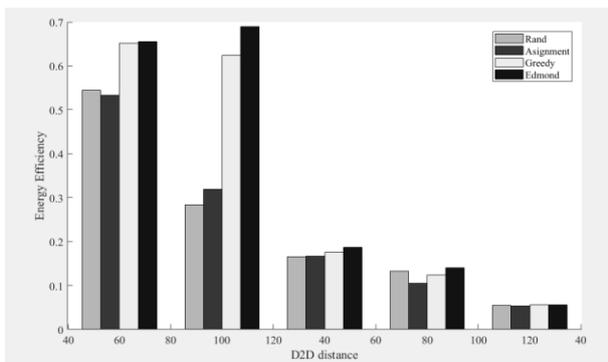


图 7: 能效与 D2D 距离关系图

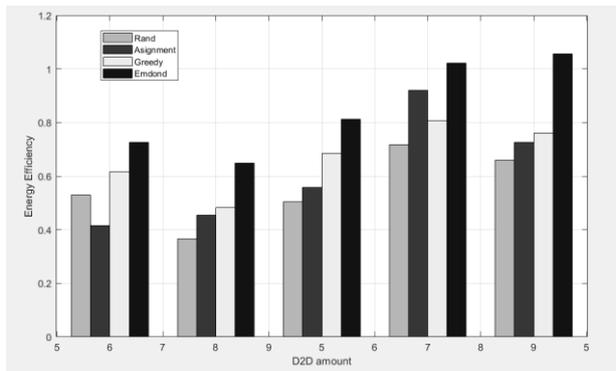


图 8: 能效与 D2D 数量关系图

结论

本文提出了一种基于无人机辅助的蜂窝通信与 D2D 通信的功率分配和资源分配方案，其目标是使系统的能效达到最大化，从而使无人机可以更高效、更持久地工作。该方案通过非合作博弈的纳什均衡点求解任意可行信道复用的最优功率

分配，并将资源分配问题建模为二部图匹配，并使用匈牙利算法来获得信道复用的最优匹配，以获得最大的能量效率。由此得出最大能效。从仿真结果来看，该方案与已有的一些其他方案相比具有极大的优越性，具有很大的可行性。

参考文献:

- [1] S. Mumtaz, K. M. S. Huq, and J. Rodriguez, "Direct mobile-to-mobile communication: Paradigm for 5G," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 21, no. 5, pp. 14 - 23, Oct. 2014.
- [2] M. Mozaffari, W. Saad, M. Bennis, and M. Debbah, "Unmanned aerial vehicle with underlaid device-to-device communications: Performance and tradeoffs," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 15, no. 6, pp. 3949 - 3963, Jun. 2016.
- [3] M. Mozaffari, W. Saad, M. Bennis, and M. Debbah, "Unmanned aerial vehicle with underlaid device-to-device communications: Performance and tradeoffs," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 15, no. 6, pp. 3949 - 3963, Jun. 2016.
- [4] H. Wang, J. Chen, G. Ding, and S. Wang, "D2D communications underlying UAV-assisted access networks," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 46244 - 46255, 2018.
- [5] V. Sharma, M. Bennis, and R. Kumar, "UAV-assisted heterogeneous networks for capacity enhancement," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 20, no. 6, pp. 1207-1210, Jun. 2016.
- [6] M. Mozaffari, W. Saad, M. Bennis, and M. Debbah, "Unmanned aerial vehicle with underlaid device-to-device communications: Performance and tradeoffs," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 15, no. 6, pp. 3949-3963, Jun. 2016.

# The Importance of Security IoT Module in 5G and AI Age

徐茂修

台湾敦泰电子有限公司

**摘要:** 日本软银于 2016 年入主 ARM 的愿景就希望引爆信息革命来带给人类幸福。在这样的愿景下, SoftBank 企图举集团之力引爆物联网革命。四年后 2020 台湾 5G 行动通讯元年, 因新冠肺炎(COVID-19)疫情影响, 许多活动都必需在网络上进行, 例如在线教学, 会议, 消费, 尤其是利用人工智能分析及帮助防疫等等, 使得因特网的应用加速进入市场而蓬勃发展。AI 信息安全方案在 IOT 中更是唯一之显学之一。

## 1 简介

5G 行动通讯将比以往的行动通讯网络传输更快并且能够支持更多的设备同时联网。根据 IDC 分析表示, 到 2025 年, 全球将有 416 亿个联网的物联网(Internet of Thing)设备[1], 这庞大的商机却受制于几个挑战:

在物联网的应用高度地多样化缺乏杀手级应用情境下, 大型企业难以判断其研发成本, 例如多样少量的应用, 不足以支撑大型公司的营收, 中小型企业缺乏足够资源因应技术开发问题, 例如信息安全, 和无线网络链接, 物联网云端的架构已经成形, 等待的是如何有效的, 实时的开发终端设备的软件和硬件, 物联网的终端设备成为黑客(Hacker)攻击的目标, 引起企业经济的损失, 个人资料的外泄。

有见于 5G 行动通讯时代的来临, 以及人工智能 (Artificial Intelligence) 的蓬勃发展将引爆物联网的市场, NSE Technology 呼应 ARM 的信息安全架构, 提出以信息与无线网络整合的模块及商业模式, 以其加速系统商的开发时程并解决信息安全和无线网络设计的障碍。

## 2 5G 与人工智能世代信息安全更加重要

5G 不仅涉及“更快, 更大或更佳”的网络。它涉及启用几乎影响我们生活各个方面的多样化的新服务和案例。但是要发挥其潜力, 必须安全地交

付支持 5G 的应用程序, 并且必须从一开始就在网络基础上解决安全问题, 以保护网络和客户。[2]

近年人工智能有了变革性的最新进展, 尤其在图像识别, 自然语言处理和数据分析等应用中已经超越了人类的能力。未来在经济上将推动采用新的 AI 应用, 这几乎破坏了企业的每个方面的传统利基。新型态的犯罪模式也应运而生, 利用操纵, 逃避和误导 AI 系统, 对网络监控工具, 金融系统或自动驾驶汽车等应用产生深远的安全影响。因此, 安全, 有弹性的技术和最佳实践至关重要[3]。回顾一下近年来针对物联网设备的资安事件:

◆2014 研究人员发现, 智能电视机中使用的技术存有漏洞, 攻击者可以通过混合广播宽带电视 HbbTV 标准的漏洞, 可以直接劫持电视, 不留痕迹, 并做电视所有者可以做的任何事情。



图 1 近年来物联网设备资安事件

◆2015 年黑客利用远程控制, 透过 CAN BUS

操控车辆，让一部吉普车在高速公路上车祸。

◆2016 年 Mirai 僵尸病毒透过诸如 IP 摄影机或 DVR 播放器之类的“IoT”设备，攻击 Dyn 的服务器，由于该公司控制着互联网的大部分域名系统（DNS）基础结构。它于 10 月 21 日遭到袭击，并在一天中的大部分时间里遭到持续袭击，击倒了 Twitter, Guardian, Netflix, Reddit, CNN 以及欧美许多其他网站。

◆2017 年黑客透过使用互联网连接的智能鱼缸里的温度计，从北美赌场获取客户数据。

◆2018 年黑客经由联网的 ATM，从印度银行盗窃 1, 350 万美元。2019 年微软利用物联网设备捕获俄罗斯黑客入侵网络。

◆2019 年微软证实俄罗斯黑客透过物联网设备入侵网络。

依据 CTIMES 因网络破坏性事件，企业平均因停机而产生的成本在 2018 年到 2019 年之间提升了 54%，让预估总成本从 2018 年的 526, 845 美元成长为 2019 年的 810, 018 美元。数据流失的预估成本也从 2018 年的 995, 613 美元提升到 2019 年的 1, 013, 075 美元[4]。在层出不穷的黑客透过物联网设备入侵窃取数据或勒索企业事件中，如何有效的保护软件资产不被滥用，确保每个应用产品都受到信任与保护，安全地使用装置，并且保障核心软件的完整性等将更加被重视。

### 3 信息安全与无线通信成为 5G 与 AI 时代下物联网的基础

随着 5G 行动通讯以及人工智能的发展，物联网和云端服务将更加蓬勃发展，越来越多的智慧设备将应用在我们日常生活的各个领域，改善人们生活的便利性。这些无处不在的智能设备也攸关使用者的人身安全或是财产。例如，心律调整器监控并刺激心脏病患的心跳；智慧烟雾与一氧化碳传感器实时侦测火灾与瓦斯外泄；车辆自动驾驶系统控制车辆行驶；指纹感应或人脸辨识系统用于金融交易的验证；一旦这些设备因无意或是恶意的攻击而故障，将造成生命或金钱上的重大损失。传统 IT 以软件为主的解决方案，其安全性不再有积极的防范效果，未来基于硬件与软件整合的设备安全性将是最终的解决方案！

虽然信息安全是这些智能装置应该支持的基本要件，但是对于互联网应用开发商而言却是挑战。Zingbox Dr. May Wang 指出使物联网安全成为艰巨挑战的三个特征是：（一）物联网设备数量众多，种类繁多（二）大多数物联网设备的资源非常有限，无法在 CPU，内存，网络连接和功耗方面进行自我保护（三）所有这些设备始终保持在线连接，因此被黑客入侵的风险更高[5]。分析黑客攻击的方式，可分为通讯攻击（Communication Attacks），终端设备攻击（Device Attacks），云端攻击（Cloud Attacks）以及生命周期攻击（Life Cycle Attacks）[6]。

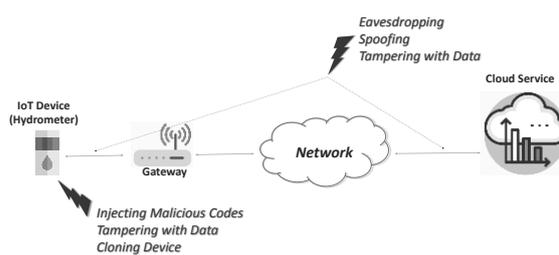


图 2 通讯攻击与装置攻击

通讯攻击的接口主要是有线与无线网络，其威胁主要在于：（1）感知层：安全威胁来自于无线射频识别，无线传感器网络及行动通讯的智能终端装置（2）传输层：在大量数据传输整合中数据的破坏（3）应用层：在不适当的安全标准或不正确的访问控制方式导致个资的外泄或被盗取。

装置攻击的接口主要是远程操控与终端设备，在电路板的攻击有旁路攻击(Side-Channel Attacks)，故障注入攻击(Fault-Injection Attacks)，通过调试端口或外围设备进行软件攻击(Software attacks through debug port or peripherals)，外壳侵入。或针对芯片的攻击有探测针(Probing)，以及聚焦离子束(Focused Ion Beam)。

云端攻击方面，主要是中间人攻击(Man-in-the-middle attack)，拒绝服务和分布式拒绝服务(Denial of Service & Distributed Denial of Service)，窃听(Eavesdropping)以及恶意软件(Malware)。

产品生命周期的攻击，阶段 1：侦查-第一步是确定满足攻击者任务的潜在目标(例如，经济收益，对敏感信息的有针对性访问，品牌损害)。一旦确

定了适当的防御措施，他们便会选择武器，无论是零日攻击，鱼叉式网络钓鱼活动，贿赂员工还是其他人。阶段 2：最初的威胁 - 最初的威胁通常是黑客绕过外围防御并通过被破坏的系统或用户帐户获得对内部网络的访问的形式。

阶段 3：指挥与控制 - 受感染的设备然后用作组织的抢滩对象。通常，这涉及攻击者下载并安装远程访问木马 (RAT)，以便他们可以建立对您的环境的持久，长期，远程访问。阶段 4：横向移动 - 攻击者与内部网络建立连接后，他们便试图破坏其他系统和用户帐户。由于攻击者经常冒充授权用户，因此很难看到其存在的证据。阶段 5：目标达成 - 在此阶段，攻击者通常具有多个远程访问入口点，并且可能已经损害了数百（甚至数千）个内部系统和用户帐户。他们深刻理解 IT 环境的各个方面，并且在其目标范围之内。阶段 6：渗透，腐败和破坏 - 最后一步是，如果不战胜攻击，企业成本将成倍增加。这是攻击者执行任务的最后阶段，窃取知识产权或其他敏感数据，破坏关键任务系统并通常破坏企业运营的时候[7]。

为了防范这些攻击，提供安全与无线通信整合的模块方案，将比传统的软件防护来的完整，能做到设备端的安全防护。以 NSE™ 的 Thread 模块 (NSE-Thread01) 为例，模块具有安全启动 (Secure Boot)，密钥管理 (Key Management)，安全固件更新 (Secure Firmware Update Over the Air) 等防止装置被攻击的功能，同时支持 OCF Over Thread 网络应用层安全。

开放连接基金会 (OCF)；开放连接基金会 (OCF) 是一个标准组织，使用强大的开放标准，基于 Internet 协议 (IP) 开发应用程序层 IoT 协议。IoTivity 是 OCF 规范的开源参考实现。IoTivity 提供了一个 Framework，用于设备发现，机载，端到端安全性（以及可选的数据模型），以实现设备到设备和设备到云的连接。OCF 已作为 ISO / IEC 规范发布，并且已制定了全面的认证计划。

OCF 作为基于 IP 的应用层，可确保通过互联网发送的数据（无论是设备到设备还是设备到云）都无法被期望的接收者以外的任何人读取或修改。此安全系统称为端到端加密。端到端加密很重

要，因为通过 Internet 进行的信息交换可能会通过中介组织的网络，例如全球多个辖区的电信和 Internet 提供商。

OCF 使用称为公钥基础结构 (PKI) 的一组策略和过程来实现端到端加密。PKI 定义瞭如何使用公共和私有数字证书来执行端到端加密。OCF 使用一种称为数据报传输层安全性 (DTLS) 的通信协议在 OCF 客户端和 OCF 服务器之间交换 PKI 公钥证书。然后，OCF 客户端和服务端都使用相应接收者的公钥证书来安全地加密要发送的数据，以使接收者是唯一可以读取它的数据。

OCF 规范对应于美国国家标准技术研究院 (NIST) 概述的 IoT 基准安全功能共识。

#### 4 嵌入式信息安全将进入新纪元 - Secure Enclave 嵌入芯片

Apple 自 iPhone5s 导入 Secure Enclave 后，Secure Enclave 的概念也在 Apple 以外的产品中被应用。Secure Enclave 不仅仅是硬件为基础的密钥管理，它独立于主 CPU 外，提供额外的安全防护。密钥数据在 Secure Enclave 中进行加密，该系统包括一个随机数生成器。即使设备内核遭到破坏，Secure Enclave 也会保持其加密操作的完整性。通过将安全区域与应用处理器之间的通信隔离到中断驱动的邮箱和共享内存数据缓冲区，可以对其进行严格控制。

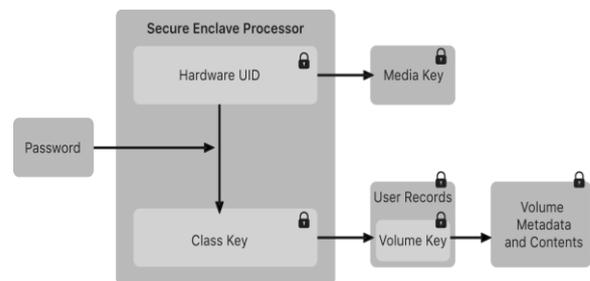


图 3 Apple Secure Enclave

根据 Computer Hope，我们可以了解 Secure Enclave 运作方法如下：

1. Secure Enclave 运行专用的 Kernel，并与设备的其余部分分开进行安全启动过程。它接收独立于其他 CPU 组件的系统更新。

2. 设备启动时，Secure Enclave 会生成一个临时加密密钥，并将其与 UID (用户 ID) “缠结”在一

起，其余的 CPU 无法访问。此密钥用于加密和验证设备内存中 Secure Enclave 的一部分的真实性。通过将纠缠的临时密钥与防重发计数器结合使用，可以保护 Secure Enclave 写入 NAND 闪存的所有数据进行加密，以防止数据篡改。

3.身份验证数据通过串行总线从生物识别传感器发送到 Secure Enclave。CPU 简化了此操作，但无法读取数据。数据由 Secure Enclave 在其加密的存储空间中进行处理。

4.如果 Secure Enclave 验证生物特征数据为真实数据，它将使用硬件中断的 mailbox 向 CPU 发送消息。然后，CPU 允许用户使用该设备解锁或进行购买[8]。

这样的应用架构我们也可以在 Google Titan M, AMD SEV, ARM 上看到了将 Secure Enclave 的概念导入 Embedded Security 的趋势。未来 Embedded Security 将 Secure Enclave 的功能整合入芯片中，或许是物联网硬件的趋势。届时 Secure Enclave 的发展将为信息安全打开一条道路，使得信息安全进入嵌入式信息安全的新纪元。

### 5 硬件与软件融合应用在 Secure Enclave 中

NSE Technology 提出融合软硬件的 NSE™安全模块方案，以期在互联网应用开发商解决智能设备端的安全维护问题。NSE™安全模块的作用是为了保护用户的硬件组件的设备功能 (Functions of Devices)、程序代码 (Code)、关键数据 (Critical Data) 等资料不被黑客攻击窃取或破坏。NSE™ 模块由 ARMv8-M 架构，整合 BootAdmin™, KeyAdmin™, 和 DeviceAdmin™ 软件及 CloudConnect™服务以提供互联网终端设备的安全保护。

NSE™现阶段安全模块硬件是基于 ARMv8-M MCU 并整合加密加速器，物理不可仿制功能芯片 (PUF) 及无线通信芯片，并融合 NSE™软件应用在安全防护中。

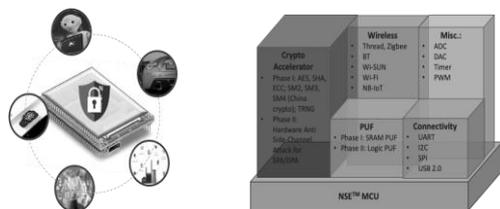


图 4 NSE™-HW block diagram

NSE™软件层分为以下主要功能：

**BootAdmin™** 支持安全启动功能，在开启或重置后设备后，安全启动程序(Secure BootLoader)会开始验证从 Flash 加载的程序代码，仅在通过数字签名验证之后，启动过程才会继续。此过程不能中断或跳过，以确保微控制器执行的程序代码受信任。

**KeyAdmin™** 加密密钥的功能用来作为身分辨识，防止恶意人士冒用身分，在韧体开发上，可以用来确保系统所执行的韧体是由可信任开发商所开发的，防止系统被植入和执行恶意软件。NSE™的 KeyAdmin™具有(1)加密密钥产生器 (2) 安全储存 (3) 运作与管理安全密钥的功能。

**DeviceAdmin™** 提供 SSL / TLS / DTLS, 设备认证及完整性证明，安全除错及生命周期管理的保护机制。

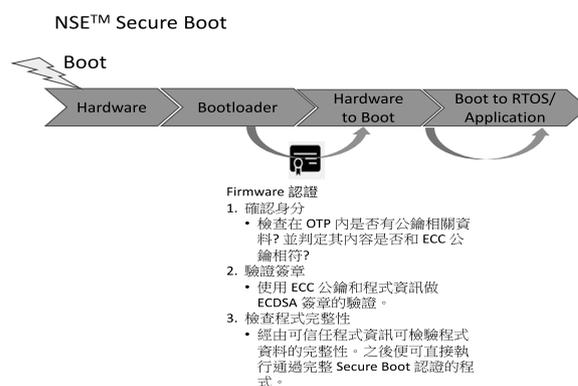


图 5 Secure Boot

**CloudConnect™** , NSE Technology 提供 Provisioning Server 作为装置的认证与配置。

NSE™ ARMv8-M 的 TrustZone 架构可让通过认证的软件受到安全的保护，物联网开发商可以对不需要认证的部分或委外开发的部分提供缓冲区 (Sandboxing), 这样的架构方便软件人员针对不同应用的技术支持，例如：可授权予上层应用软件开发商对产品的技术服务 [9]。例如 NSE 的 NSE-FC1701 模块, 客户可以二次开发其相关应用。

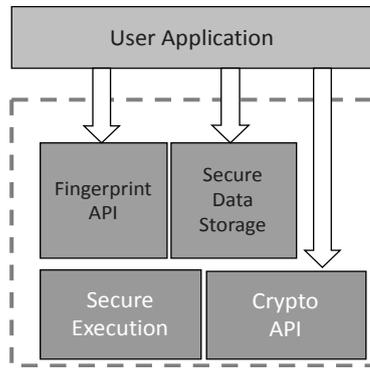


图 6 在安全模块上二次开发

### 结论

5G 行动通讯世代的来临，因着它高速传输，uRLLC 可靠性及低时延的特性，将不只影响通讯行业，其他行业及企业都将受产生巨大变革，能顺其风向而行的将受惠产生更大的价值。比如人工智能产业将应运而生并与 5G 相辅相乘，对人类生活及便利性带来重大的影响。而互联网的终端传感器将犹如触角般延伸，让人类可以处处因科技而带来便利，安全的科技生活。但是诚如现实社会里有罪犯，网络的世界也是有一样的角色，危害个人或网络的安全。所以如何保障个人，公司以及社会的信息不被蓄意迫害干扰，信息安全将扮演更重要的捍卫者角色。

NSE™ 安全模块着重在提供相当程度地减轻软件开发人员的心力，让核心软件的建构与维护更加有效率，也因为 NSE™ 安全模块的 ARMv8-M 架构可通过认证的软件受到安全的保护，让互联网开发商可以专心应用软件开发，或委外开发；对人工智能或边缘计算提供类似 Secure Enclave 的保护功能。

### 参考文献：

[1]The Growth in Connected IoT Devices Is Expected to Generate 79.4ZB of Data in 2025, According to a New IDC Forecast 18 Jun 2019 from <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS452132>

19

[2]The Evolution of Security in 5G for Americas July 2019 from <https://www.5gamericas.org/the-evolution-of-security-in-5g-2/>

[3]National Science and Technology Council ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND CYBERSECURITY: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES 2020 from <https://www.nitrd.gov/pubs/AI-CS-Tech-Summary-2020.pdf>

[4]蓝贯铭、王岫晨 黑客攻击层出不穷 IoT 安全备受关注 20 May 2020 from CTIMES <https://www.ctimes.com.tw/DispArt/tw/%E8%B3%87%E8%A8%8A%E5%AE%89%E5%85%A8/%E6%99%BA%E6%85%A7%E8%A3%BD%E9%80%A0/20052012078G.shtml>

[5]Dr. May Wang Why Are IoT Devices So Hard to Secure? 21 Sept 2016 from <https://www.zingbox.com/blog/why-are-iot-devices-so-hard-to-secure/>

[6]IoT Analytics An overview of the IoT Security Market Report 2017-2022 from <https://iiot-world.com/reports/an-overview-of-the-iot-security-market-report-2017-2022/>

[7]Ross Brewer The six stages of a cyber attack lifecycle from HelpNetSecurity 2017-03-06 <https://www.helpnetsecurity.com/2017/03/06/cyber-attack-lifecycle/>

[8]Secure Enclave Overview from <https://support.apple.com/zh-tw/guide/security/sec59b0b31ff/web>

[9]凌立民 TrustZone for ARMv8-M 开路 MCU 安全设计起跑 新通讯 2017-06-26

# 5G 基站场景下无源波分应用探讨

李晓雷

**摘要:** 本文提出基于无源波分技术, 应用在 5G 基站的快速开通, 分析各类 5G 基站场景光纤资源不足增补难点, 通过无源波分资源扩展方式, 实现快速业务开通。

**关键词:** 无源波分 5G 基站 光纤资源不足

## 一、前言

随着 5G 网络的开通, 政企业务的迅速发展, 网络的升级部署面临着重大挑战。运营商对业务的开通时间有严格的要求, 需利用现有的光纤资源快速部署。完成网络覆盖、网络升级。重新敷设光纤工程量大, 在部分管道资源缺乏的区域需新建管道布放光缆。

无源波分系统不需带电, 可应用各类场景, 其将多个波长信号复用到一根光纤传输, 通过该项技术可实现单根光纤解决多条业务对纤芯的需求, 既可大大减少业务网对光缆网的纤芯消耗, 又能满足业务的迅速开通。

## 二、无源波分简介

无源波分即指光纤倍增, 光纤倍增并不是一个产品, 而是一种解决方案。光纤倍增产品是为了解决在有限的光缆资源下传输更多业务的一种方案。

- 支持多种速率(CPRI 1~10)信号混合传输

- 满足 GSM、TD-SCDMA、FDD LTE、TDD LT 等业务需求

- 适用星型和总线型等多种传输方式

- 适用室内及户外恶劣环境

光纤倍增一般通过 1: N 指标衡量光纤倍增节约的光纤数量。1: N 即将 N 条光缆信号合到 1 根光缆中传输。

无源产品的分波功能是基于三端口器件整合来实现, 在实际应用中 1351nm 和 1371nm 两个波长的色散代价通常比较大, 所以一般会优先排列这两个波长, 来实现通道插损最小。

无源方案-WDM+光模块应用方案

## 二、无源波分应用场景探讨

无源波分主要是解决纤芯不足的问题, 光纤资源不足, 无条件新敷设光纤的场景下可运用无源波分来解决。主要包括以下场景:

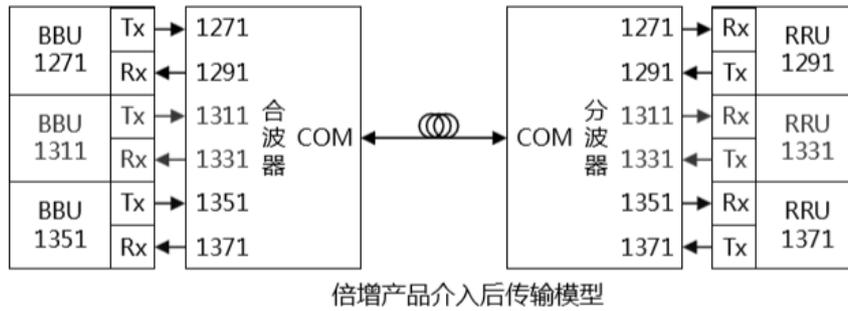
- 1、无法增补纤芯站点



倍增产品介入前传输模型

## 作者简介:

李晓雷, 毕业于安徽农业大学通信工程专业, 工程师, 福建省邮电规划设计院有限公司, 从事有线传输网络的规划、科研、设计工作。



纤芯不足的站点受管道、居民阻扰等因素无法增补光缆的站点可采用无源波分扩展纤芯。

### 2、投资代价高站点

纤芯不足的站点中存在新建光缆投资较大，如偏远山区站等，可采用无源波分扩展纤芯。

### 3、景区、桥隧等特殊区域站点

重要景区、桥隧等区域光缆施工影响面较大的站点，可采用无源波分扩展纤芯。

## 三、无源波分建设原则

### 3.1 设计原则

3.1.1 采用无源波分系统建设 5G 前传，应满足以下场景：

1) 在 C-RAN 组网模式下，AAU/RRU 采用光纤拉远至覆盖区，DU-AAU、BBU-RRU 利用主干光缆连接。

2) 主干光纤资源紧张，且无可供光纤扩容的管道/架空资源。

3) 前传距离一般不超过 10km（特殊情况下可达 15KM，但必须应用相应等级的光模块及其光指标要求）。

#### 3.1.2 DU 侧要求：

1) 机房等级应不低于中国电信综合业务接入机房的要求。

2) 机房应具备足够的装机空间，满足 DU、AAU、无源波分模块等主要设备的安装要求。

3) 机房动力满足 C-RAN 建设需求。

#### 3.1.3 AAU 侧要求：

1) 已有光缆与主干光缆连接，或通过短距离（1km 内）敷设光缆可与主干光缆连接。

2) 基站侧具备室外机柜或光缆交接箱或壁挂/杆上光缆分光分纤箱等光缆成端环境。

## 3.2 施工要求

3.1.1 工程技术人员应对施工操作人员进行技术、环境、安全交底，施工操作人员应熟悉设计文件、施工图纸要求及操作流程、操作规程和工艺质量标准，并严格按照工程设计、操作规程和操作流程进行施工安装作业。

3.1.2 施工操作人员应经过施工操作技能及安全操作的培训，具备设备安装、光缆敷设、光缆接续及测试的技术能力，熟悉工程相关仪器仪表的使用方法，具有一定的故障判断、定位和处理能力，并经考核合格后方可上岗。

3.1.3 施工人员应在完成产品相关培训后，严格按照如下流程要求进行现场施工。

3.1.4 若现场发现设备包装破损或者产品出现异响等非正常情况，应及时与建设单位、供应商联系沟通。

3.1.5 施工中应保证外设备的完整性、线缆护套部分完整。

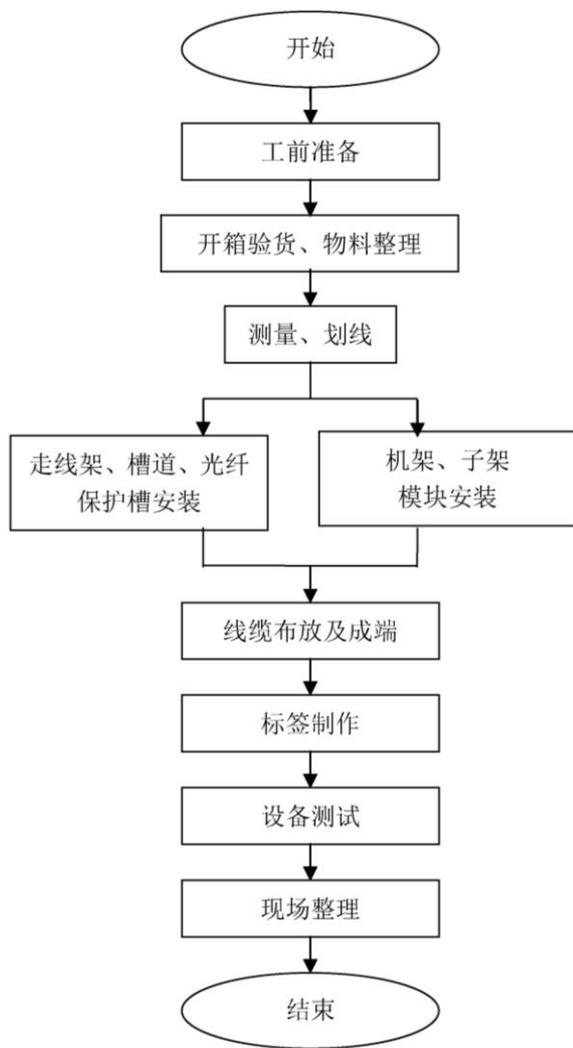
## 四、需要确认的问题分析

根据现有资源、系统、流程、站点环境等，无源波分的应用肯能存在以下问题需要进一步分析探讨。

1、机房端 BBU 端口无法关联，导致无法采用中继调纤，只能采用裸纤调纤方式；

2、调纤竣工后无法关联 RRU/AAU，系统调纤单无法竣工。

3、波分设备与 BBU 连接走成端桥接方式，占用 ODF 成端资源，是否可以直连 BBU 端口



4、屋面站的设备安装条件问题，室外场景下的设备安装环境要求

### 五、试点情况分析

仅从技术上分析，无源波分技术完全可以用于5G前传，但商用初期可能面临以下挑战：

(1) 彩光模块的价格。5G前传将采用25Gbps的光模块，商用初期如果相应的彩光模块价格过高，则会影响方案的实施；

(2) 彩光模块的产业链成熟情况。无源波分方案中将使用到多个波长的彩光模块，具体到某一波长的彩光模块，其市场需求量尚不足灰光模块的数十分之一，在商用初期，产业链可能难以跟上。

(3) 传输距离受限。当系统速率达到25G时，系统的传输距离将受光纤色散的影响较大，传输距离据估算将不超过8km。

(4) 受低成本有源前传方案的挑战。低成本有源前传方案采用低速的光模块进行高速传输，在4G/5G混合承载的场景中，价格将会对无源波分方案形成挑战。

# ENTERPRISE SPIRIT

## 企业介绍 ▶▶▶

福建福大北斗通信科技有限公司成立于2013年7月，坐落于美丽的福州大学国家大学科技园，是一家提供北斗核心部件、终端产品和应用解决方案的高新技术企业。

福大北斗秉持艰苦创业、自主知识产权和高效创新的理念，先后参与了多个国家级、省级北斗重大专项项目，在北斗导航产品领域取得了多项重要技术专利及软件著作权，先后被授予“小平科技创新团队”、“福建青年五四集体奖章”、“福建省科技进步一等奖”、“全国互联网+创新创业大赛金奖”、“CCTV中国创业榜样-未来之星”、“福建省（海西）卫星导航产业技术创新战略联盟副理事长单位”，“福建省科技型企业”、“国家高新技术企业”、“福建省科技小巨人领军企业”、“福建省‘专精特新’中小企业”、“质量管理体系认证ISO9001”、“CMMI3”等多项荣誉和资质。



# 2020年度海峡科技专家论文集

