



基于聚类算法的 6G 典型应用场景研究

金宁, 王庆扬

(中国电信股份有限公司研究院, 广东 广州 510630)

摘要: 相比 5G 三大经典应用场景, 6G 典型应用场景的内容和种类将更为丰富与繁多, 如何客观高效地提炼 6G 应用场景成为一大挑战。基于此, 采用聚类算法研究 6G 应用场景, 首先考虑 6G 业务及性能指标, 然后对 6G 业务进行指标需求数值收集和各指标评分, 最后利用不同聚类算法分析样本数据。根据聚类结果提出了 6G 八大典型应用场景, 可为业界 6G 研究提供一定参考。

关键词: 6G; 应用场景; 聚类

中图分类号: TN929.5

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2022013

Research on clustering algorithm based 6G typical usage scenarios

JIN Ning, WANG Qingyang

Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Guangzhou 510630, China

Abstract: Compared with the three classic 5G usage scenarios, the content and types of 6G typical usage scenarios will be more abundant and diverse. How to refine 6G usage scenarios objectively and efficiently has become a major challenge. Based on this, the clustering algorithm was used to study the 6G usage scenarios. Firstly, the 6G service and performance indicators were considered. Then, the demand values of 6G service were collected and the indicators were scored. Finally, the sample data were analyzed by different clustering algorithms. According to the clustering results, eight typical usage scenarios of 6G were proposed, which could provide some reference for 6G research in the industry.

Key words: 6G, usage scenarios, clustering

0 引言

5G 应用场景概念最早由国际电信联盟无线电通信部门 (ITU-R) 自 IMT-2020 系统研究阶段提出, 包括增强型移动宽带 (enhanced mobile broadband, eMBB)、低时延高可靠通信 (ultra

reliable and low latency communication, URLLC) 和大连接物联网 (massive machine type of communication, mMTC), 5G 三大应用场景如图 1 所示^[1], 为 5G 技术的研究、5G 网络的规划和部署指明了方向, 推动了 5G 移动通信的快速发展。然而, 随着新兴技术的不断涌现和人们对移动网络更高层



次的需求,三大经典应用场景已无法全面诠释 5G 演进以及未来 6G 网络的丰富业务应用。2020 年 2 月,ITU-R 正式启动 IMT-2030 研究工作,其中《未来技术愿景建议书》已于 2021 年上半年启动,研究工作包括 IMT-2030 的应用场景等内容,计划于 2023 年 6 月完成。

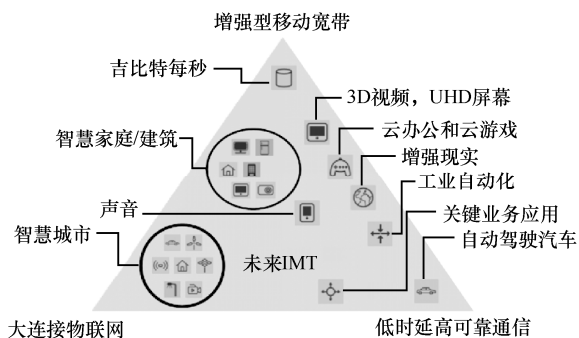


图1 5G 三大应用场景^[1]

国内外各高校、研究单位对 6G 应用场景已进行了初步的探索和展望。2020 年 1 月,日本 NTT DoCoMo 发布《5G 演进与 6G》白皮书^[2],白皮书扩展了 5G 需求,并重新组合不同需求,总结 6G 用例为:超高速和高容量通信、极大范围覆盖扩展、极低功耗和低成本、极低时延、极高可靠性、超大规模连接和传感;2020 年 8 月,东南大学牵头发布的 6G 研究白皮书《6G 无线网络:愿景、使能技术与新应用范式》^[3]中提到,6G 场景应包括增强的 5G 场景,如进一步增强的移动宽带(further-eMBB, feMBB)、超大规模机器类通信(ultra-mMTC, umMTC)、超高可靠低时延通信(massive-URLLC, mURLLC)、移动宽带可靠低时延通信(mobile broadband reliable low latency communications, MBRLLC)、极其可靠和低时延通信(extremely reliable and low latency communications, ERLLC),以及多种新应用场景,包括远距离和高移动性通信、超低功耗通信、空天地海一体化网络、以人为中心的服务、分布式 AI 和联邦学习应用等;2020 年 11 月,紫光展锐中央研究院在其 6G 白皮书《6G 无界,有 AI》^[4]中认为 6G 将

实现全应用场景覆盖,除了 5G 原有应用场景的增强和演进,还催生全新应用场景,如全息通信、沉浸式 XR、数字孪生、全域无缝覆盖及全自动驾驶。

综合各单位预测结果可知,相比于 5G 经典应用场景,6G 典型应用场景的内容和种类更为丰富与繁多,因各单位总结角度不同、观点不一致,6G 场景差异性较大,如何高效提炼形成统一的 6G 应用场景成为了一大挑战。之前的研究已对 6G 应用场景进行初步探索,但由于业务种类较少、指标不够丰富,只提炼出四大类应用场景^[5]。针对上述问题,本文采用聚类算法分析 6G 业务、提炼 6G 应用场景。聚类作为一种重要的数据分析方法,已成功应用于众多领域,如市场研究、图像处理、数据分析等^[6]。本文基于聚类算法总结 6G 应用场景,旨在提高研究工作的全面性、合理性、客观性以及高效性。

1 聚类方法及流程

1.1 聚类介绍

聚类,即将一个数据集按特定规则分割成不同类,同一类里的数据对象相似度较大,而不同类里的对象差异度较大。聚类技术日益发展,算法种类丰富,包括基于代表的聚类、层次聚类、密度聚类、谱聚类、模糊聚类等^[7],根据聚类目的、样本类型、算法特点选取合适的聚类方法。文献[5]的研究中利用层次聚类方法提炼 5G 典型应用场景,结果充分证明了层次聚类方法用于场景提炼的合理性,故本文研究首先选用层次聚类法提炼 6G 典型应用场景。

层次聚类法为传统硬聚类方法,具有非此即彼的特性,即将样本严格划分到某一类中,而有时样本间无严格划分界限,故引入“隶属度”概念,推广为模糊聚类算法。本文研究同时采用模糊 C 均值(fuzzy C-means, FCM)算法,聚类分析 6G 应用场景。

1.2 层次聚类

层次聚类首先将每个样品各自看作一类, n 个样品即 n 类, 并指定样品间的距离规则和类与类之间距离规则; 其次, 将距离最近的两类聚合成一个新类, 计算新类与其他类之间的距离; 重复进行上述两个最近类的聚合和距离计算过程, 依次减少一类, 最后将所有子类聚合成一个大类, 形成聚类树状图^[8]。

本文研究采用常用的欧氏距离作为样品间距离规则, 类与类间不同距离规则产生了不同的层次聚类方法, 不同层次聚类方法的类与类间距定义见表 1。

表 1 不同层次聚类方法的类与类间距定义^[8]

层次聚类方法	类与类间距离定义
最短距离法	两类最近样品间距离
最长距离法	两类最远样品间距离
类平均法	样品对之间平方距离的平均值
可变类平均法	类平均法的进一步扩展
重心法	重心间的欧氏距离
中间距离法	中间距离, 介于最远和最近之间的距离
离差平方和法	类中各元素到类重心的平方欧氏距离之和

以上不同层次聚类方法可通过计算 cophenetic 相关系数评判, cophenetic 相关系数越接近于 1, 表明聚类效果越好。通常情况下, 类平均法因灵敏度适中, 既不使空间过于浓缩, 也不过于扩张, 被认为是效果较好的方法。

聚类具体个数可参考不一致系数的变化情况, 每次并类得到的不一致系数由 inconsistent 函数计算。当不一致系数增加时, 表明此次聚类效果不好, 而上一次并类效果较好, 且增加幅度越大, 说明上一次的效果越好。

1.3 FCM

FCM 算法遵循不同概率属于某个类的原则, 根据隶属度确定样品的聚类程度, 即通过隶属度值的大小进行样品的归类。FCM 目标函数为^[8]:

$$J(U, V) = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c u_{ik}^m d_{ik}^2 \quad (1)$$

其中, U 为隶属度矩阵, $V = \{v_1, v_2, \dots, v_c\}$ 为 c 个类的聚类中心, u_{ik} 为第 k 个样品 x_k 属于第 i 类的隶属度, $d_{ik} = \|x_k - v_i\|$ 。可见, 目标函数 $J(U, V)$ 为各类中样品到聚类中心的加权平方距离之和, 当目标函数达到最小时, 聚类结束。

FCM 聚类首先需确定类的个数 c , 其次通过取 $[0, 1]$ 内的随机数初始化隶属度矩阵 U , 接着迭代 FCM 算法并设定迭代终止条件, 不断修正矩阵 U 、计算目标函数值 J , 直至目标函数收敛到最小, 此时得到最终的隶属度矩阵 U , 根据 U 中取值可确定样品聚类结果^[8]。

1.4 聚类分析步骤

本文基于层次聚类法和 FCM 算法提炼 6G 典型应用场景, 具体步骤如下:

步骤 1 选取 6G 典型业务及应考虑的业务关键性能指标;

步骤 2 收集选取业务的各项关键能力指标详细信息;

步骤 3 根据不同性能指标各自特点进行指标等级标准划分;

步骤 4 结合步骤 2、步骤 3, 对 6G 业务的各项关键性能指标进行数值收集和等级评分, 形成样本数据;

步骤 5 利用不同聚类法对样本数据进行聚类分析, 得到聚类结果;

步骤 6 分析聚类结果提炼 6G 典型应用场景。

2 6G 业务样本

2.1 6G 业务及性能指标选择

“4G 改变生活, 5G 改变社会”, 未来 6G 时代将包罗万象, 提供种类更为丰富的通信业务。一方面, 现有业务如视频监控、远程手术、环境监测等, 需要 6G 网络提供更卓越的通信性能, 如对传输速率、可靠性、连接密度等指标的要求较 5G



提升数倍、数十倍，甚至上百倍；另一方面，用户对 6G 更高层次的需求加速了现有技术的发展、催生了全新的通信技术，如全息技术、数字孪生、沉浸式 XR、通感融合及卫星技术等，创新应用随之涌现，包括全息视频会议、孪生城市、虚实结合游戏、卫星通信、产品缺陷检测感知等典型业务。

6G “一念天地，万物随心”的整体愿景^[9]表明全感知通信^[10]的重要性，涉及听觉、视觉、味觉、嗅觉及触觉等多态感官的交互。典型应用如工业自动化中，通过机器触觉反馈实时获取现场信息，使生产任务高效可靠的进行；又如身临其境旅游，人们不需要亲临现场，就可以赏美景、闻花香、听音律、品美食。

另外，无线与有线融合在未来 6G 时代具有重大意义。无线与有线融合可增效减排、节约算力开销、增强移动通信网络的通信性能，将驱动 6G 向更高能效、更绿色方向演进，助力 6G 智能化、健康开放和高性能发展。无线与有线融合接入包括无线接入和 Wi-Fi、无源光纤网络（passive optical network, PON）等固定接入方式^[11]，无线接入具备灵活性与移动性，有线接入优势为高可靠与节能，根据不同业务需求智能选择和协作无线、有线多个接入链路，可极大提升室内外静止场景业务的通信速率和可靠性。

未来 6G 移动通信将在 5G 基础上，进一步赋能千行百业，满足所有行业特殊需求、颠覆式创新传统行业，故 6G 业务还应考虑行业的全面性，包括医疗、工业制造、教育、媒体、交通、旅游、娱乐等。

为全面评估上述 6G 典型业务特性，除了考虑传统通信性能指标，还需要引入全新的能力特性。本文从业务相关特性的角度出发，主要通过带宽、时延、时延抖动、连接密度、能耗、可靠性、移动性、定位精度、覆盖范围、安全需求、通感融合能力 11 个指标分析 6G 业务，并展望了部分可量化指标的最大能力，见表 2。

表 2 6G 关键性能指标

关键性能指标	6G
带宽	Tbit/s
时延	0.1 ms
时延抖动	1 μ s
连接密度	$10^7/\text{km}^2$
可靠性	99.999 99%
移动性	1 000 km/h
定位精度	亚厘米级

2.2 6G 业务样本

本文选取的 11 个业务特性能力指标特点丰富，包括可量化和不可量化指标，可量化指标之间绝对值差异性较大，且目前 6G 处于预测和展望阶段，部分业务指标的具体数值较难收集。为全面合理评估业务特性，综合考虑上述情况，本研究联合使用真实数值和 5 分制评分法建立业务样本列表。

带宽、时延和可靠性 3 个指标，给出样本的真实需求值，其余指标因量化难度大和真实数值较难确定，采用 5 分制对业务进行评分。其中对于时延抖动、能耗指标，等级划分依据最大能力数值依次减小评定，分数越高说明业务对该特性的要求越苛刻，如 5 分代表最低时延抖动、最低能耗等；连接密度、覆盖范围指标，虽可数值量化，但以具体参照物为标准进行评分可更直观、高效，如连接性的参照物包括卫星、人、机器，覆盖范围的参照物为地面、空等；对于定性指标（如安全需求、通感融合能力），只划分 1、3、5 或 1、5 两至三个等级，仅代表需求的有无和高低即可，如 1 代表不需要通感融合能力，5 代表需要相关技术与能力。移动性指标为通信双方的相对运动速度，因卫星通信业务的具体移动性数值计算难度大，故采用 5 分制标准：5 为涉及卫星、飞机、无人机等移动性为 600 km/h 以上的业务；3 为普通车速，约为 100 km/h；1 为人步行或跑动速度，小

于 10 km/h; 0 则为静止场景, 移动性为 0 km/h。部分指标 5 分制等级评分标准见表 3。

本研究充分调研 5G、5G-advanced、6G 的技

术发展及业务特性^[2-4,9-22], 基于业界当前研究进展, 并根据上述介绍的等级评分标准, 6G 典型业务样本数据见表 4。

表 3 部分指标 5 分制等级评分标准

性能指标	0	1	2	3	4	5
连接密度	/	卫星、无人机等	/	人	/	机器
定位精度	/	无须定位	/	低精度	/	高精度
覆盖范围	/	地面局域	/	/	/	地面广域+空
安全需求	/	低需求	/	/	/	高需求
通感融合能力	/	无需求	/	/	/	有需求
移动性	静止	<10 km/h	/	100 km/h	/	>600 km/h

表 4 6G 典型业务样本数据

序号	业务	带宽/ (kbit·s ⁻¹)	时延 /ms	抖动	连接 密度	能耗	可靠性	移动性/ (km·h ⁻¹)	定位精 度	覆盖 范围	安全 需求	通感 融合
1	移动高清视频直播	10 ⁶	20	2	3	3	99.999%	5	1	1	1	1
2	固定高清视频直播	10 ⁶	20	2	3	3	99.999%	0	1	1	1	1
3	身临其境旅游	10 ⁹	1	3	3	1	99.99%	1	1	1	1	1
4	虚实结合游戏	10 ⁹	1	4	3	1	99.999%	1	1	1	1	1
5	云端渲染 XR	10 ⁷	10	4	3	1	99.999%	1	3	1	1	1
6	工业 AR	10 ⁷	10	4	3	1	99.999%	1	5	1	1	1
7	商客 PON 接入	10 ⁹	20	2	3	4	99.999%	0	1	1	1	1
8	视频检控	10 ⁶	10	4	3	2	99.999 9%	1	5	1	1	1
9	精密仪器自动化制造	10 ⁴	0.1	5	3	5	99.999 99%	1	5	1	5	1
10	超高压继电保护	10 ²	3	5	3	5	99.999 99%	0	1	1	5	1
11	移动机器运动控制	10 ²	0.1	5	3	4	99.999 99%	3	5	1	5	1
12	产品缺陷监测感知	10 ⁶	10	2	3	3	99.999 9%	1	5	1	1	5
13	无人机巡检	10 ⁶	20	2	1	3	99.999 9%	5	3	5	1	1
14	家庭光纤接入	10 ⁹	20	1	3	4	99.999%	0	1	1	1	1
15	全息视频会议	10 ⁸	5	4	3	1	99.999%	1	1	1	1	1
16	远程全息课堂	10 ⁹	5	4	3	1	99.999 9%	1	1	1	1	1
17	来访人员识别感知	10 ⁶	20	2	3	3	99.999%	3	3	1	1	5
18	孪生城市	10 ⁹	5	4	5	1	99.999 9%	3	3	5	1	1
19	远程手术	10 ⁶	0.1	5	3	3	99.999 99%	1	5	1	5	1
20	完全自动驾驶	10 ⁶	0.1	4	3	3	99.999 99%	3	5	1	5	1
21	交通环境感知	10 ⁶	10	2	3	2	99.999 9%	3	5	1	5	5
22	智能灯杆互联	10 ⁴	50	1	5	4	99.9%	0	1	5	1	1
23	车载卫星通信	10 ⁵	50	1	1	3	99.999%	5	3	5	1	1
24	客船卫星通信	10 ⁶	50	1	1	3	99.999%	5	3	5	1	1
25	民航机载卫星通信	10 ⁶	50	1	1	3	99.999%	5	3	5	1	1
26	环境监测	10 ²	100	1	5	5	99.9%	0	1	5	1	1
27	远程抄表	10 ²	100	1	5	5	99.9%	0	1	5	1	1
28	灾后救援卫星通信	10 ⁶	50	1	1	4	99.999 9%	5	3	5	5	1
29	工业机器人触觉反馈	10 ⁹	1	4	3	1	99.999 9%	3	5	1	1	1



表 5 不同层次聚类方法的 cophenetic 相关系数数值

对比项	最短距离法	最长距离法	类平均法	重心法	离差平方和法	中间距离法	可变类平均法
cophenetic 相关系数	0.869 3	0.898 0	0.918 9	0.908 5	0.872 5	0.897 9	0.908 5

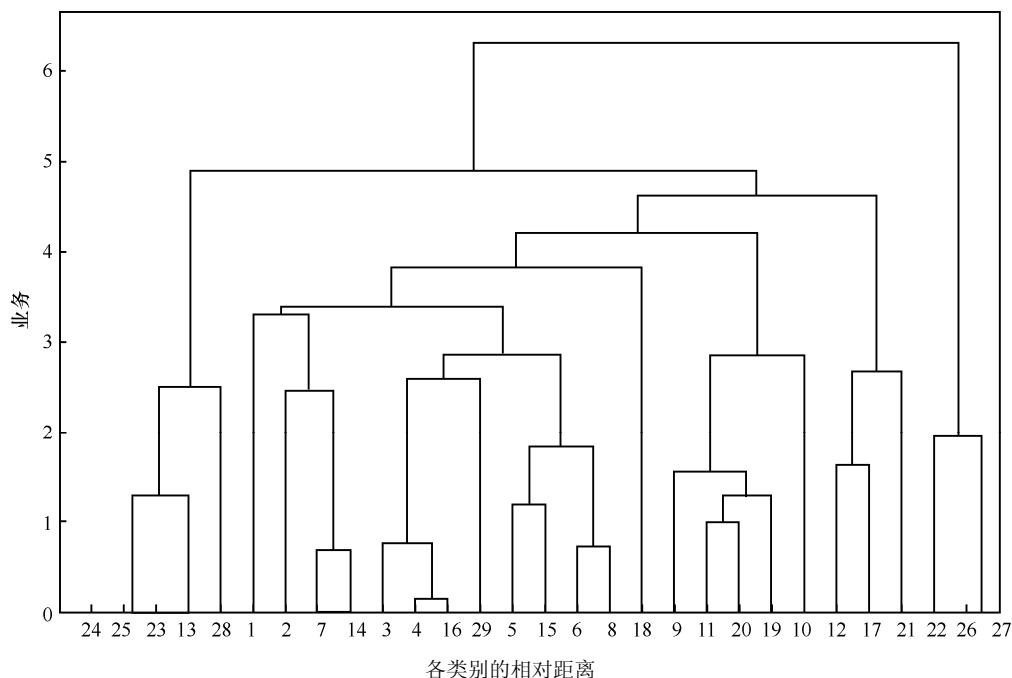


图 2 层次聚类结果树状图

3 6G 典型应用场景提炼

3.1 层次聚类法提炼 6G 应用场景

利用层次聚类法对表 4 内样本数据进行聚类分析。需要首先对样本进行标准化处理(减均值,除以标准差),可使不同量纲的数据同时存在于一个矩阵中。利用 cophenetic 相关系数接近于 1 原则选择层次聚类方法。不同层次聚类方法的 cophenetic 相关系数数值见表 5,可见类平均法的 cophenetic 相关系数数值最接近于 1,表明类平均法的聚类效果最优,最适用于本文聚类特点,故本研究采用类平均法进行聚类分析。层次聚类结果树状图如图 2 所示,横坐标各序号对应表 4 中不同 6G 业务。

接下来由 inconsistent 函数计算每次并类得到的不一致系数,基于 MATLAB 得到的一不一致系数变化如图 3 所示,最后一列为不一致系数数值。

考虑最后几次并类的不一致系数变化,可见倒数第 2 次和第 7 次并类增量较高,分别为 0.595 5 和 0.484 7,两类分类数目较少,故认为分成 7 类效果较好。为充分分析聚类结果,7 类、8 类层次聚类结果见表 6。

1.659 3	0.816 8	4.000 0	1.438 9
1.440 6	1.017 6	7.000 0	1.384 4
2.147 1	1.350 0	3.000 0	0.863 5
1.809 9	1.167 5	11.000 0	1.348 2
1.978 1	1.256 4	12.000 0	1.472 1
2.034 4	1.242 6	17.000 0	1.752 1
2.174 9	1.289 5	20.000 0	1.900 3
2.086 5	1.431 4	25.000 0	1.965 2
2.158 3	1.625 4	28.000 0	2.560 7

图 3 不一致系数变化

3.2 FCM 聚类算法提炼 6G 应用场景

与层次聚类法相同,需对数据进行标准化处理,随后进行聚类分析。参考上述聚类数目,7 类、8 类 FCM 聚类结果见表 7。

表 6 层次聚类结果

类别数	7 类	8 类
第 1 类	身临其境旅游 虚实结合游戏 云端渲染 XR 工业 AR 视频监控 全息视频会议 远程全息课堂 工业机器人触觉反馈	同 7 类结果
第 2 类	精密仪器自动化制造 超高压继电保护 移动机器运动控制 远程手术 完全自动驾驶	同 7 类结果
第 3 类	产品缺陷监测感知 来访人员识别感知 交通环境感知	同 7 类结果
第 4 类	无人机巡检 车载卫星通信 客船卫星通信 民航机载卫星通信 灾后救援卫星通信	同 7 类结果
第 5 类	智能灯杆互联 环境监测 远程抄表	同 7 类结果
第 6 类	孪生城市	同 7 类结果
第 7 类	移动高清视频直播 固定高清视频直播 商客 PON 接入 家庭光纤接入	固定高清视频直播 商客 PON 接入 家庭光纤接入
第 8 类	/	移动高清视频直播

表 7 FCM 聚类结果

类别数	7 类	8 类
第 1 类	固定高清视频直播 商客 PON 接入 家庭光纤接入	同 7 类结果
第 2 类	精密仪器自动化制造 超高压继电保护 移动机器运动控制 远程手术 完全自动驾驶	同 7 类结果
第 3 类	产品缺陷监测感知 来访人员识别感知 交通环境感知	同 7 类结果
第 4 类	智能灯杆互联 环境监测 远程抄表	同 7 类结果
第 5 类	云端渲染 XR 工业 AR 视频监控 全息视频会议	同 7 类结果
第 6 类	工业机器人触觉反馈 身临其境旅游 虚实结合游戏 远程全息课堂 孪生城市	同 7 类结果
第 7 类	移动高清视频直播 无人机巡检 车载卫星通信 客船卫星通信 民航机载卫星通信 灾后救援卫星通信	无人机巡检 车载卫星通信 客船卫星通信 民航机载卫星通信 灾后救援卫星通信
第 8 类	/	移动高清视频直播

3.3 不同聚类结果分析与对比

首先分析层次聚类 7 类结果（表 6），第 1 类业务多利用 XR、AR、全息、触觉互联网等技术，

强调低时延和大带宽；第 2 类包括机器控制、医疗手术、自动驾驶等业务，对时延和可靠性有极苛刻要求；第 3 类业务皆需要通感融合能力；第 4 类涉及无人机、卫星技术，覆盖空天地海广域范围；第 5 类远程抄表、环境监测等业务突出大规模机器通信，速率、时延要求低，功耗消耗较小；第 6 类孪生城市业务连接密度较大，强调多连接下的高数据速率；第 7 类移动/固定高清视



频直播、商客 PON 接入、家庭光纤接入业务带宽需求较大, 包含无线、有线接入等技术。层次聚类 8 类结果将上述第 7 类进一步分开, 固定高清视频直播、商客 PON 接入、家庭光纤接入的移动速度皆为 0, 即为固定静止场景的宽带需求, 而移动高清视频直播需要高移动速度下的高数据速率覆盖。

FCM 结果与层次聚类结果区别在于表 7 中的第 5、第 6 类。第 6 类业务的带宽皆为 Tbit/s 级别, 较第 5 类业务的带宽至少高一个量级, 可见 FCM 聚类突出带宽差异, 而层次聚类更注重连接密度的差异性, 将大连接业务孪生城市单独归为一类。FCM 7 类结果依据移动性需求将移动高清视频直播与无人机、卫星通信业务归为一类, 8 类结果将移动高清视频直播业务分离出来。

综上所述, 认为可以层次聚类的 8 类结果作为依据, 提炼 6G 典型应用场景。

3.4 6G 典型应用场景提炼

根据上述分析, 本文提出 6G 八大典型应用场景如图 4 所示。

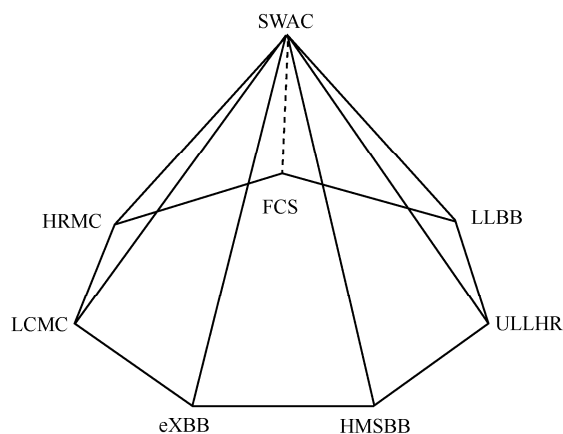


图 4 6G 八大典型应用场景

(1) 增强的无线有线融合宽带 (enhanced wireless and wired broadband, eXBB)

该场景 (表 6 第 7 类) 将有线接入方式纳入连接体系, 实现室内或局域范围内的大宽带连接。当前 5G 行业和家庭应用存在 5G、PON 以及 Wi-Fi

等多种接入方式, 对无线与有线接入方式的相互协同和融合形成了更高的诉求, 未来多种接入方式将在 6G 阶段融合为同一张网络, 支持多种连接的统一管理和智能调度。例如对于固定高清视频直播、商客 PON 接入、家庭光纤接入等不同室内外静止场景应用, 根据其具体需求, 智能选择和协作合适接入方式, 以实现更卓越的宽带连接体验。

(2) 低时延大带宽 (low latency broadband, LLBB)

该场景 (表 6 第 1 类) 强调通信网络时延和带宽的重要性。如视频检控、远程全息课堂、云端渲染 XR、工业机器人触觉反馈等业务, 因清晰度大、图像视野广, 传输信息数据量大, 带宽通常为 Gbit/s~Tbit/s 量级, 同时信息传送的精准性和同步性要求网络提供 1 ms~几十 ms 的低时延。

(3) 超低时延高可靠 (ultra low latency and high reliability, ULLHR)

该场景 (表 6 第 2 类) 对时延、时延抖动和可靠性要求较高。如移动机器运动控制、远程手术、超高压继电保护等业务, 通常要求亚毫秒级别的时延和 99.999 99% 的可靠性, 以保证工业制造的精准性和人身的绝对安全。现有技术的不断优化和新兴技术 (确定性网络等) 的日益涌现, 将保障未来业务的端到端超低时延、时延抖动和超高可靠性。

(4) 灵活通感 (flexible communication and sensing, FCS)

该场景 (表 6 第 3 类) 同时具备无线通信和无线感知能力, 感知功能的加入将极大提升网络性能。通感融合可提供高精度定位、高分辨率成像等服务, 广泛应用于车联网、智慧工厂等领域中, 如交通环境感知、产品缺陷监测、来访人员识别等。针对不同应用, 通感的灵活性将满足定位精度、分辨率等不同业务指标需求, 更好服务于人类。

(5) 低成本大连接 (low cost massive connections, LCMC)

该场景 (表 6 第 5 类) 着重低成本的物物广泛连接, 旨在打造绿色节能的物联通信。如远程抄表、环境监测、智能灯杆互联等业务, 网络架构上需要支持设备的泛在连接, 终端侧则需要支持合适的网络接入方式以及终端直通 (device-to-device, D2D) 等终端互联能力, 实现低功耗与低成本的终端数据动态交互和智能共享。

(6) 高速海量连接 (high rate massive connections, HRMC)

该场景 (表 6 第 6 类) 特色为高速率的大规模连接。典型业务如孪生城市, 海量数据的采集可达到 100 万/km^2 的连接数, 同时高精度图像的构建、高清视频监控对速率提出高要求。另外, 该场景对流量密度要求较高, 为 $1 \text{ Gbit/(s}\cdot\text{m}^2)$ 。

(7) 稀疏广域覆盖 (sparse wide area coverage, SWAC)

该场景 (表 6 第 4 类) 突出稀疏广域的全覆盖, 主要通过卫星、无人机、高空平台等技术实现空、天、海和陆地偏远地区的广域覆盖。典型应用如偏远地区的无人机巡检, 空中、海洋、偏远地区的民航、客船、车载卫星通信等。该场景对覆盖能力提出了更高的要求, 关键挑战在于如何实现低成本的覆盖。另外, 该场景下部分业务 (如卫星通信), 对移动性有极高要求。

(8) 高移动性宽带 (high moving speed broadband, HMSBB)

该场景 (表 6 第 8 类) 将满足高移动速度下的高数据速率覆盖需求。例如对于移动高清视频直播等业务, 涉及飞机、高铁等快速移动时的宽带通信, 需要保证用户体验质量, 故高运动速度下不间断的宽带服务为未来需解决的问题。为克服高移动性的多普勒频移问题和保证通信质量, 未来无线空口技术的创新、网络架构的设计、业务连续性保障等皆需着重考虑。

3.5 与业界研究成果对比分析

基于业界对 6G 应用场景的研究进展, 分析各单位研究结果可知, 6G 典型应用场景大致由 5G 性能提升及扩展场景与 6G 全新能力场景两部分组成。5G 性能提升及扩展场景囊括不同需求的多重组合, 其中未来通信网络需求包括超高速率、极低时延、极高可靠性、大规模连接、高移动性、低成本等性能; 6G 全新能力场景包括空天地海覆盖、多维感知、全息通信、AI 等全新场景。

与上述分析结果对比, 本研究提炼的八大场景, 是对业界提出的 6G 若干基础特性的创新组合: 低时延大带宽、超低时延高可靠性、低成本大连接、高速海量连接、高移动性宽带为对现有场景的进一步增强和扩展; 稀疏广域覆盖、灵活通感为涉及 6G 空天地海通信能力、多维感知能力的新需求场景。另外, 本研究通过聚类种类及形态丰富的 6G 业务提出了增强的无线有线融合宽带场景, 表明基于 5G 固移融合, 6G 时代无线有线融合的必要性和重要性, 此场景目前其他研究单位并未提出。

3.6 应用场景研究对系统设计的参考性分析

6G 系统设计主要包含信道编码、帧结构、调制解调、多址方式、功率控制、天线技术等 L1 物理层设计, L2/L3 高层协议以及无线网络架构和接口等相关设计, ITU 定义的 IMT-2020 性能指标包括峰值速率、峰值谱效率、用户体验速率、5%边缘用户谱效率、平均谱效率、区域流量、能效、移动性、用户面时延、控制面时延、移动中断时间、可靠性、连接密度、带宽 14 项^[23]。本文提出的应用场景有助于 6G 系统总体方案的制定和具体技术方案的选择, 同时将应用场景与潜在关键技术结合起来考虑, 有助于制定较为客观实际的 6G 性能指标。

本文提出的八大应用场景特点鲜明, 结合其各自特点及业务实际情况, 首先, 分析不同场景下的性能指标需求, 得到差异化的性能指标集合; 其次, 根据性能指标和技术手段的关联关系,



分别分析八大场景下的6G无线和网络技术需求和应用情况；最后，总结各场景的典型业务、性能指标、技术手段等需求特点，以此为参考，进行6G系统总体方案的制定和具体技术方案的选择。

在6G系统设计中有两方面的问题需要进一步探讨：一方面，若仅按照预测的6G业务和提炼的应用场景考虑6G系统的性能指标，那么指标数值虚高的可能性较大，建议统筹考虑6G业务、应用场景与各项潜在关键技术的研究进展，以潜在关键技术的组合实现应用场景并推导系统的性能指标，并且持续迭代更新，以制定更为客观实际的6G系统性能指标。

另一方面，从5G的经验可知，差异较大的多种应用场景难以用一套系统同时实现，因此本文建议可从应用场景维度将6G系统划分为若干子类，特点相对较为接近的场景可用一套子类系统实现。此时可利用聚类算法进一步压缩应用场景，形成6G系统的若干子类，以指导后续的系统设计和指标确定，此方面内容可进一步深入研究。

4 结束语

本文基于聚类算法研究6G典型应用场景，首先考虑多种6G业务及性能指标，其次制定评分规则并确定6G业务的指标数值，接着利用层次聚类法和FCM法分析样本数据，最后根据聚类结果提出6G的八大典型应用场景，分析对比业界研究成果，认为一定程度上提高了研究的合理性、科学性和高效性。

目前6G正处于研究预测及展望阶段，创新应用的种类、形态日益增加，各类6G业务对6G系统能力的真实需求仍需要进一步探讨。后续将及时对样本数据进行迭代更新，并寻求更佳方法论，以便客观高效地提炼6G应用场景，为业界6G研究提供一定参考。

参考文献：

- [1] ITU-R. M.2083-0: IMT 愿景-2020 年及之后 IMT 未来发展的框架和总体目标[R]. 2015.
ITU-R. M.2083-0: IMT vision-framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond[R]. 2015.
- [2] NTT DoCoMo. 5G Evolution and 6G white paper[R]. DoCoMo, 2020.
- [3] 尤肖虎, 王承祥, 黄杰, 等. 6G 无线网络: 愿景、使能技术与新应用范式白皮书[R]. 2020.
YOU X H, WANG C X, HUANG J, et al. 6G Wireless network: Vision, enabling technology and new application paradigm[R]. 2020.
- [4] 紫光展锐. 6G: 无界, 有 AI[R]. 2020.
Unisoc. 6G: Unbounded, with AI [R]. 2020.
- [5] 王庆扬, 金宁. 基于聚类算法的 IMT-2030 应用场景初步研究[J]. 移动通信, 2021, 45(4): 110-114.
WANG Q Y, JIN N. Preliminary study on IMT-2030 application scenarios based on clustering algorithm[J]. Mobile Communications, 2021, 45(4): 110-114.
- [6] HAN J W, KAMBER M. 数据挖掘概念与技术[M]. 范明, 孟小峰, 译. 北京: 机械工业出版社, 2001.
HAN J W, KAMBER M. Data mining concept and technology[M]. Translated by FAN M, MENG X F. Beijing: Machinery Industry Press, 2001.
- [7] MOHAMMED J Z, WAGNER M J. Data mining and analysis: concepts and algorithms [M]. Beijing: Posts and Telecom Press, 2017.
- [8] 谢中华. MATLAB 统计分析与应用: 40 个案例分析[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2010.
XIE Z H. Statistical analysis and application of MATLAB: 40 case studies [M]. Beijing: Beihang University Press, 2010.
- [9] 赵亚军, 郁光辉, 徐汉青. 6G 移动通信网络: 愿景、挑战与关键技术[J]. 中国科学: 信息科学, 2019, 49(8): 963-987.
ZHAO Y J, YU G H, XU H Q. 6G mobile communication networks: vision, challenges, and key technologies[J]. Scientia Sinica (Informationis), 2019, 49(8): 963-987.
- [10] 张平, 李文璟, 牛凯. 6G 需求与愿景[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2021.
ZHANG P, LI W J, NIU K. 6G Requirements and vision[M]. Beijing: Posts and Telecom Press, 2021.
- [11] 张琳峰, 林奕琳, 王庆扬. 6G 智能全连接网络架构[J]. 移动通信, 2021, 45(4): 45-49.
ZHANG L F, LIN Y L, WANG Q Y. 6G intelligent full connection network architecture[J]. Mobile Communications, 2021, 45(4): 45-49.
- [12] 3GPP. Study on communication for automation in vertical

- domains: TR22.804-g30[R]. 2020.
- [13] 袁晓志, 彭莉, 张琳峰. 全息通信对未来网络的需求与挑战[J]. 电信科学, 2020, 36(12): 59-64.
- YUAN X Z, PENG L, ZHANG L F. Requirement and challenge of holographic-type communication to the future network[J]. Telecommunications Science, 2020, 36(12): 59-64.
- [14] FuTURE Mobile Communication Forum. White paper: 6G services and requirements[R]. 2020.
- [15] Samsung Research. 6G: The next hyper-connected experience for AI[R]. 2020.
- [16] IEC. Communication networks and systems for power utility automation-part: wide area network engineering guidelines: 61850-90-12 [S]. 2015.
- [17] 大唐移动. 全域覆盖·场景智联——6G 愿景与技术趋势白皮书[R]. 2020.
- DTmobile. Global coverage-scene intelligence alliance — 6G vision and technology trend white paper[R]. 2020.
- [18] 中国移动通信有限公司研究院. 2030+愿景与需求白皮书[R]. 2019.
- China Mobile Research Institute. 2030 + Vision and Demand Report[R]. 2019.
- [19] 未来移动通信论坛. 面向云网融合服务的 6G 网络技术[R]. 2020.
- FuTURE Mobile Communication Forum. 6G network technology for cloud network convergence service[R]. 2020.
- [20] VISWANATHAN H, MOGENSEN P E. Communications in the 6G era[J]. IEEE Access, 2020, 8: 57063-57074.
- [21] 崔春风, 王森, 李可, 等. 6G 愿景、业务及网络关键性能

指标[J]. 北京邮电大学学报, 2020, 43(6): 10-17.

CUI C F, WANG S, LI K, et al. 6G vision, scenarios and network requirements[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2020, 43(6): 10-17.

- [22] IMT-2030(6G)推进组. 6G 总体愿景与潜在关键技术白皮书[R]. 2021.

IMT-2030(6G) Promotion Group. 6G overall vision and potential key technology white paper [R]. 2021.

- [23] ITU-R. M.2410-0: Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s)[R]. 2017.

[作者简介]



金宁 (1995—), 女, 中国电信股份有限公司研究院研究员, 主要研究方向为移动通信系统的关键技术、移动通信业务与应用场景。



王庆扬 (1973—), 男, 博士, 中国电信股份有限公司研究院移动通信技术研究所所长、高级工程师, 中国电信集团科学技术委员会委员、中国通信学会无线移动通信委员会副主任委员、IMT-2030 (6G) 推进组需求工作组组长, 主要研究方向为移动通信系统的关键技术与业务、移动通信网络的部署与运营。