



**6G AI-Cube 智能网络**

oppo

oppo

- 
- 02 蜂窝网络现状**
  - 03 6G 网络中的智能维度和 6G 空间**
  - 05 AI 功能面及其对移动网络的赋能**
  - 16 AI-Cube**
  - 19 AI-Cube 赋能的 6G 网络架构**
  - 21 展望**
  - 参考文献**

## 01 蜂窝网络现状

为了能够满足万物互联，支持丰富的移动互联网业务和物联网业务的需求，同时也为了支持运营商更好实现服务的快速创新、快速上线、按需部署等，3GPP在5G网络中采用了控制平面和用户平面完全分离的网络架构，其分离的网络架构由用户面功能和控制面功能组成。

用户面功能对应性能维度，它包含了从物理层到核心网的各种用户面功能，对于实现用户数据传输的通信能力，从而能够按需满足数据传输的要求，如时延、可靠性、速率、抖动。

控制面功能对应灵活性维度，它包含了客观条件改变下（如终端发生移动、终端和网络负荷发生改变等）网络相应的调整方式，以达到减少或避免影响正常数据传输的目的。同时灵活性也意味着对主观决策的响应程度，灵活性高的网络，能够按照主观意图快速、准确的执行网络调整。



图1：由性能和灵活性两个维度组成的二维平面

如图1所示，性能和灵活性作为两个正交维度形成的逻辑平面基本涵盖了当前网络的全部功能，当前网络的各种能力都可以在上述逻辑平面上有所体现，5G定义的全部KPI指标[1]（峰值速率、用户体验、频谱效率、移动性控制、时延、连接密度、网络能耗和流量密度等）均落在该平面中。

## 02 6G网络中的智能维度和6G空间

随着AI技术的日趋成熟[2]，关于AI赋能移动网络功能的研究和案例陆续出现[3]，用AI赋能移动网络功能具有如下优势。

### AI赋能移动网络的优势

- |                           |   |
|---------------------------|---|
| <b>优势之一<br/>AI的精准决策能力</b> | 根据学习样本，归纳出输入和输出之间的一般性规律是AI推理的优势。<br><br>面对越来越繁杂的功能和场景，人为经验很难做出快速、准确的选择，使用AI技术对不同场景进行具体功能的匹配，能够很好的发挥AI的优势。 |
| <b>优势之二<br/>AI强大的推理能力</b> | 随着网络算力的不断提升，AI推理能力越发强大，使其不输于甚至超越了人工设计出来的算法和功能。  |
| <b>优势之三<br/>AI的自演进能力</b>  | AI的推理功能并非一成不变，可以随着时间的推移进行自演进，不断优化推理性能，实现对性能增益的极致追求。   |
| <b>优势之四<br/>AI的迁移学习能力</b> | 训练出来的AI模型可根据条件的变化进行学习和调整，以达到“触类旁通”的效果，从而能够最广泛地应用于不同场景，为在多元化网络中普及AI技术提供可能。                                 |

AI 技术应用在移动通信网络将经历一个过程，包含 For the AI, By the AI, Of the AI 三个阶段：For the AI 阶段，网络作为传输管道支撑应用层 AI 业务；By the AI 阶段，网络的部分功能可以使用 AI 技术进行有限的增强；Of the AI 阶段，AI 作为重要组成部分深度嵌入网络中实现“万智互联”的目标。由于 5G 网络在设计之初并没有考虑 AI 赋能的问题，因此 5G/B5G 网络只能实现 For the AI 和 By the AI 阶段，而 6G 网络是实现 Of the AI 的良好契机，可以从一开始就为“万智互联”提供架构层面的支持。

AI 技术将是 6G 网络的重要组成部分，不同于控制面对应的灵活性维度和用户面对应的性能维度，AI 技术对应的智能维度将成为 6G 网络的一个新维度。之所以称智能维度是一个全新的维度，是因为 AI 维度上对应的数据特征、价值和作用与现有的控制面和用户面上的数据差异巨大：

**特征：**数据的传输具有内容导向性，不是仅在终端和网关之间通过管道传输，AI 维度对应的数据将按需流向不同的网元节点，用于不同网元节点模型的更新，并且可以被多个节点处理，从而达到推理和学习的目的。

**价值：**数据本身对于 6G 网络具有很高的价值，在 AI 的背景下，数据成为资产。因此一些情况下，AI 相关数据的收集不仅不需要收取流量费，甚至还需要付费给数据提供者。

**作用：**数据用于训练、推理，而非只是为了支撑或者传输具体业务的需求。

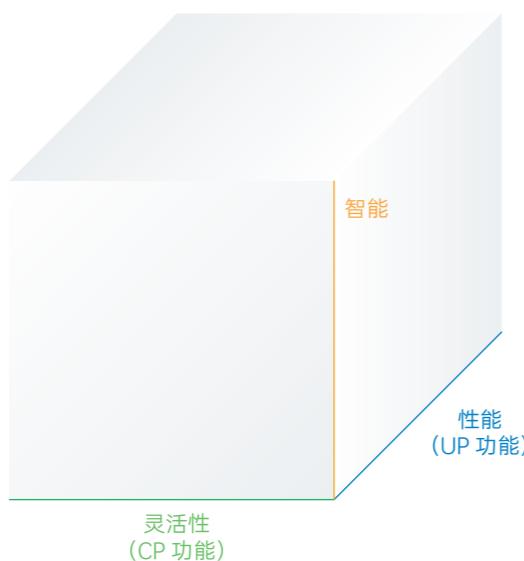


图 2：智能维度与灵活性维度、性能维度组成 6G 空间

因此，如图2所示，随着新的AI维度在6G网络中的引入，6G网络将对应在一个三维空间中，称之为6G空间。6G网络是由6G空间的三个维度对应的不同功能共同组成的。

## 03 AI 功能面 及其对移动网络的赋能

### 3.1 AI 功能面

6G 网络需要支持 AI 功能面，AI 功能面是为 AI 赋能控制面（章节 3.3）和 AI 赋能用户面（章节 3.4）提供所需的必要能力，同时通过能力开放（章节 3.1.3）也可以为自有或与 OTT 合作的 AI 应用提供相应的资源和功能。为此，AI 功能面需要实现数据采集 / 存储、机器学习、AI 推理和模型的管理 / 分发 [4]，这些一般性的 AI 功能是实现控制面和用户面赋能的必要手段。更重要的，当 AI 技术应用于 6G 网络时，还需要实现一些新的功能来实现 AI 能力，具体为图 3 中所述的 AI 功能面连接、AI 域管理和能力开放等功能。

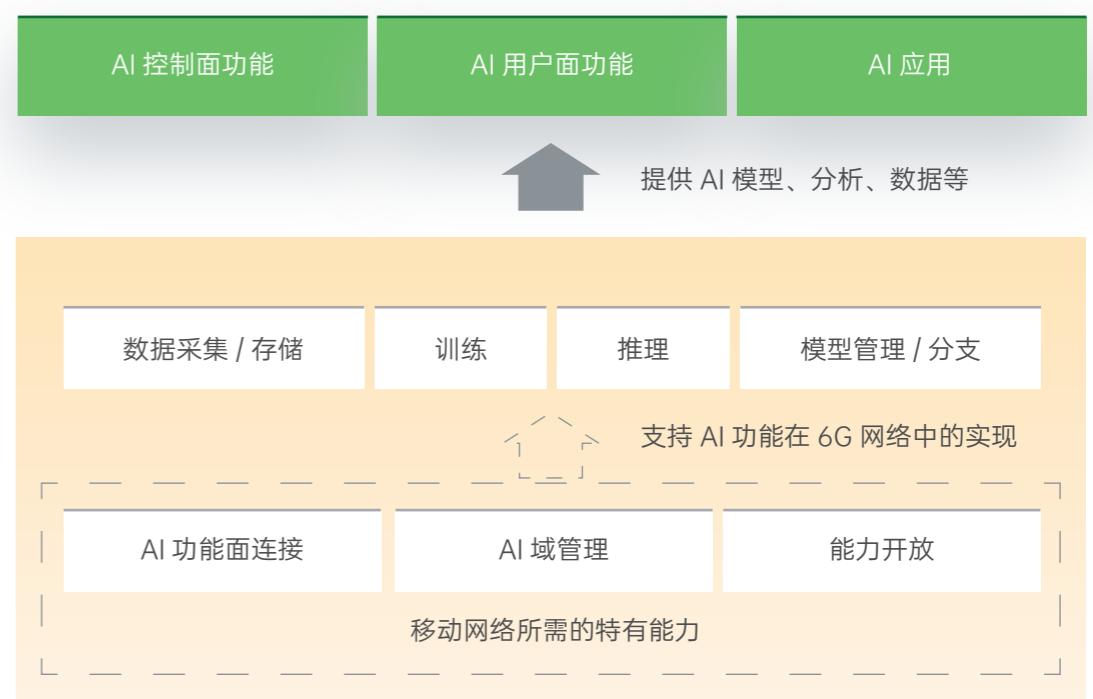


图 3：AI 功能面包含的功能

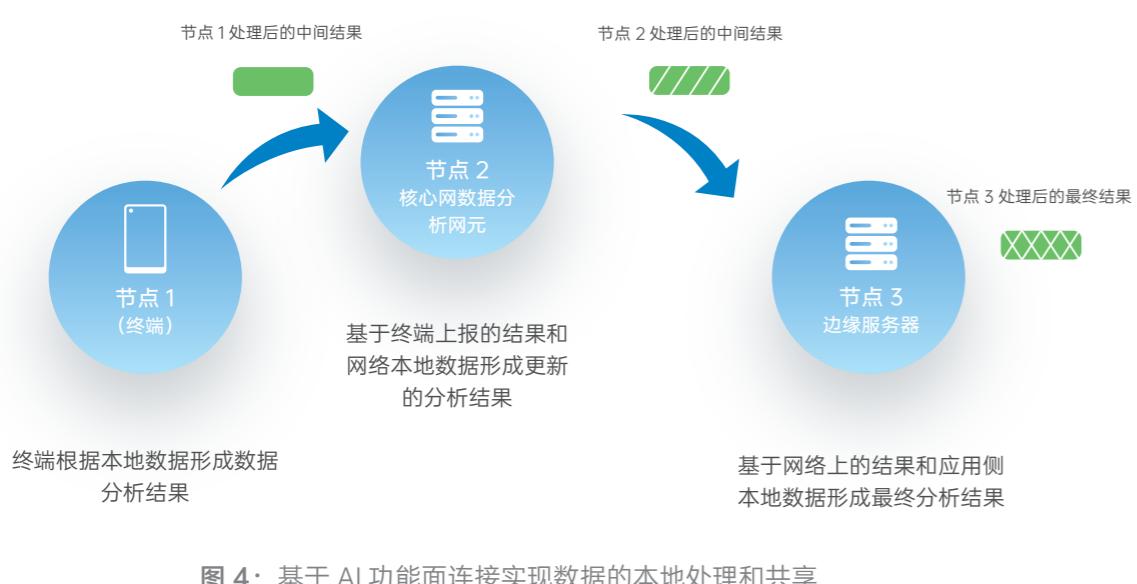
下面着重对 AI 应用在移动网络下所需要的特有能力，即 AI 功能面连接、AI 域管理和能力开放等进行描述。

### 3.1.1 AI 功能面连接

AI 功能面上的数据传输和处理是实现一切 AI 功能的基础，相比 5G 网络中的控制面连接（如 SRB、NAS 连接）和用户面连接（如 DRB, GTP 隧道），AI 功能面连接具有如下的独特性：

- 1) 数据传输路径按需确定，6G 网络中的任意两个或多个节点之间均可以通过该连接实现大批量的数据传输。例如数据传输可基于内容和行为进行路由，从 6G 系统中的某一节点经过一个或多个其他节点将数据路由到最终目的节点；
- 2) 数据传输的路径上经过的部分或全部节点能够感知内容并作相应的处理。

通过图 4 的场景进行举例，节点 1、2、3 中均存有终端用户的数据，并通过纵向联邦进行大数据分析。在每一次推理过程中，终端可以通过 AI 功能面的数据连接将处理后的数据发送给核心网数据分析网元，然后核心网数据分析网元根据终端提供的数据和网络数据形成处理结果，并发送给边缘服务器进行使用。这一过程中，AI 功能面的连接需要经过节点 1、2、3，三个节点均需要感知和处理相关数据。



### 3.1.2 AI 域管理

对于一个 AI 模型训练或推理来讲，实际的执行行为需要考虑如下限制因素：

- 数据限制：采集的数据受到隐私性、有效性等的影响，应用范围有限
- 算力限制：对某一 AI 服务提供的算力总是有限的
- 条件限制：AI 服务受限于时间、地点、网络状态、用户行为特征等因素
- 模型限制：模型使用的场景总是有限的

因此，6G 网络中的 AI 行为具有局限性和封闭性，为了能够准确定义 AI 行为的范围，我们引入 AI 域概念，6G 网络可以包含各种不同的 AI 域，每个 AI 域中包含完成特定 AI 业务的 AI 域资源，一个 AI 域一般由网络中的多个节点以及多种资源（计算、存储、数据、通信资源等）共同组成，为实现 AI 业务提供精准的 AI 模型分配、网络资源调度、数据采集等需求：

- 1) AI 域资源，包括计算、存储、数据、通信、模型库资源等，一般只开放给 AI 域内部各节点使用。
- 2) AI 域对各节点的资源进行统筹管理，包括对数据、AI 模型、计算能力、通信能力等进行统一调度。充分利用自身的专有资源对 AI 模型持续进行优化。
- 3) 不同的 AI 域可以通过业务进行划分，同时还可以进一步按地点、用户、第三方定制等维度细分。



在6G网络中，不同AI域对相关资源形成隔离和限定，以满足不同AI行为的需求。对于终端和用户来说，按照业务需求加入特定的AI域，可以获得AI域提供的最适合的AI模型以及相应的计算、通信等资源。

如图6示例，一个终端需要在某区域进行自动驾驶，那么需要加入该区域下的AI域，这样AI域可以根据该用户的特征和客观条件为其下发最适合的AI模型和工作任务，并为其分配最合适的边缘服务器以及建立需要的通信连接。同时，该终端还可以在AI域的组织下参与联邦学习的模型训练，有助于该自动驾驶的AI域优化相应AI模型。



图6：终端加入AI域

### 3.1.3 AI能力开放

能力开放是移动网络的重要功能，5G网络中就已经存在[5]。到了6G时代，AI相关的能力开放必然是6G网络能力开放的重要组成部分，是实现移动网络ICT融合的重要切入点。AI功能面的能力开放包含数据开放、资源开放和模型开放。

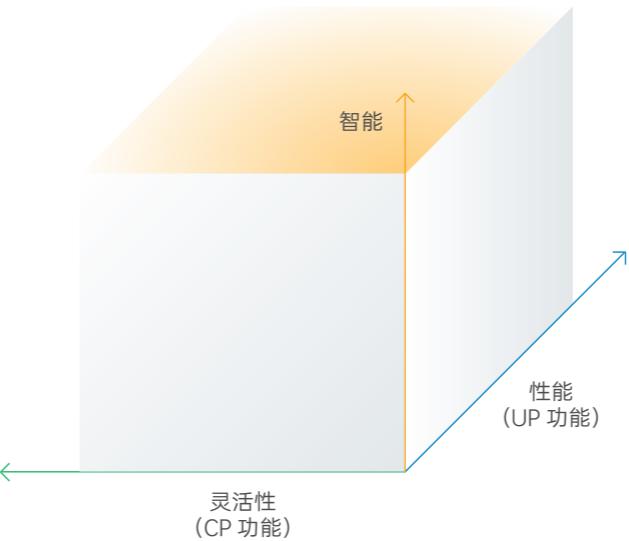
**1) 数据开放：**AI技术之所以能够大规模普及，其中一个重要的因素就是数据[6]，想要训练出好的模型、产生强大的推理能力，必然需要跨域的数据采集，这里主要指终端、移动网络和OTT三个不同域的数据在安全隐私可接受范围内的共享。就像人脑做决策一样，只有考虑的因素越全面，做出的判断才越合理。因此数据的开放是决定6G网络AI功能面强大与否的关键因素。

**2) 资源开放：**很多基于AI的服务需要耗费大量的计算、存储、通信资源[7]，大多数的OTT厂家都不具有如此庞大的资源体量。运营商网络可以为OTT提供云资源服务，让OTT使用运营商的云资源执行相应的AI服务或为OTT公司执行AI服务，这也是真正实现业务层面ICT融合的良好契机。

**3) 模型开放：**AI模型往往具有迁移学习能力，6G网络和OTT之间可以实现对AI模型互相共享，按需得到预训练模型[8]，打造出诸如“AI模型应用商店”之类的全新业务模式。



图7：AI能力开放



根据以上介绍，AI功能面通过6G网络特有的功能（AI功能面连接、AI域管理、AI能力开放）以支持AI相关功能，从而提供AI赋能6G网络所需要的各種能力（模型、数据、通用分析等），实现对控制面功能和用户面功能的AI赋能。因此，AI功能面的能力将决定控制面功能和用户面的功能的智能化程度。如图8所示，AI功能面决定了6G网络在6G空间中智能维度的上界，AI功能面能力越强，对控制面和用户面的智能化赋能程度越高。

## 3.2 AI 赋能方式

AI 功能面使对于 6G 移动网络进行 AI 赋能成为可能，即对于传统的控制面功能和用户面功能进行 AI 赋能，分别形成 AI 赋能的控制平面（以下称 AI 控制面）和 AI 赋能的用户平面（以下称 AI 用户面）。AI 赋能包括两大类方法：决策类和非决策类，如下表所示。通过 AI 进行赋能，既可以基于现有功能通过 AI 技术进行扩展、增强，也可以推翻现有的算法和逻辑，使用 AI 模型推理完全替代。

	特征	用途	自演进、自优化能力
决策类 AI 赋能	AI 推理用于指导网络行为，推理结果本身不会传送给目标端	一般用于策略的制定，应用于控制面相关功能居多	具备
非决策类 AI 赋能	AI 推理直接用于对业务数据的处理，且推理结果本身作为数据传输给目标端	对于业务原数据进行处理，应用于用户面相关功能居多	具备 数据量较大

### 3.2.1 决策类 AI 赋能

AI 赋能移动网络的一种常见的形式是根据更丰富的输入和输出参数对特定功能进行更合理、更灵活的决策配置，我们称之为决策类方法。

图 9 阐述了 AI 赋能决策类功能的方法，如橘黄色箭头所示，各种功能可以通过两大类输入帮助其实现智能化的提升。

1) 第一大类输入是通用预测，包括业务预测、位置预测、负载预测和用户行为预测等，每个具体功能都会使用一种或几种通用预测作为输入判决的重要依据。为了实现通用预测，需要收集终端、网络和应用三方的数据来实现；

2) 第二大类输入是个性化数据，AI 赋能不同功能时会有不同的个性化输入参数，比如对于切换场景，RSRP、测量事件配置等是其个性化的输入参数，对于随机接入场景，小区干扰情况、历史随机接入数据等是其个性化输入参数。

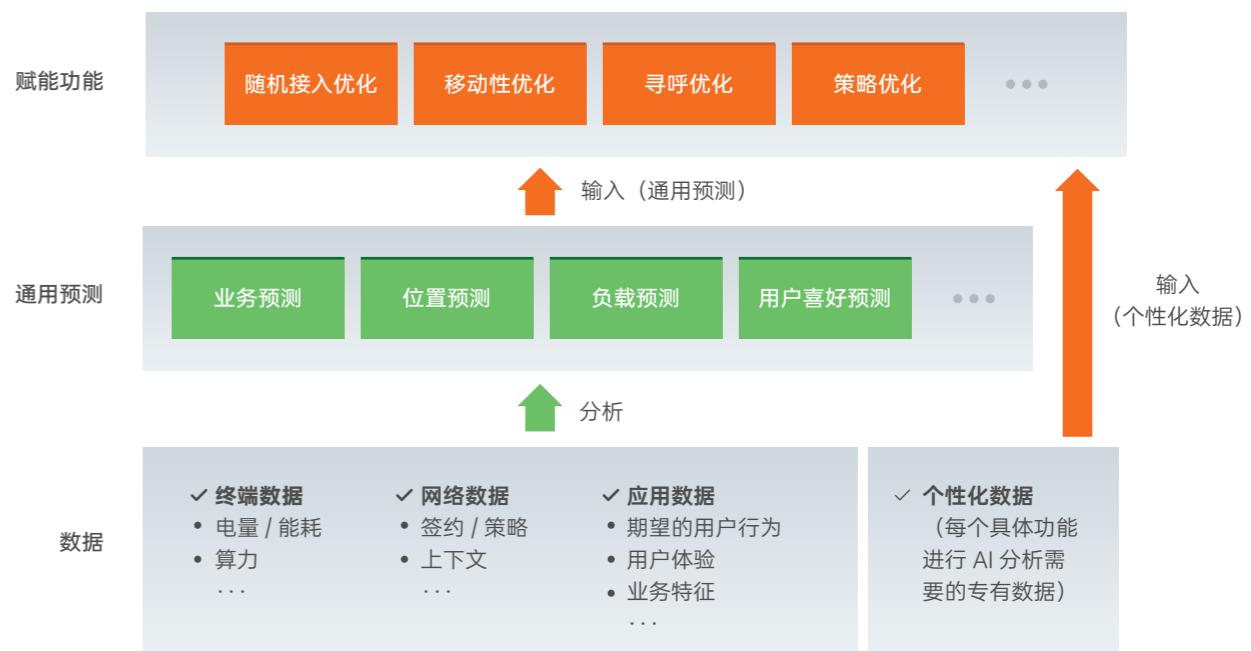


图 9：6G 空间中的 AI 功能面

在实际的 AI 赋能中，需要对输入参数和输出参数进行定义。如图 10 所示。“通用预测”和“个性化数据”就是图 9 中所示的输入内容，而个性化输出是 AI 模型分析后的输出结果，需要按需对每个具体的功能点定义个性化输出，以实现合理、快速、准确的决策（章节 3.4 中具体举出了如何通过定义通用预测、个性化数据以及个性化输出达到 AI 赋能切换的示例）。

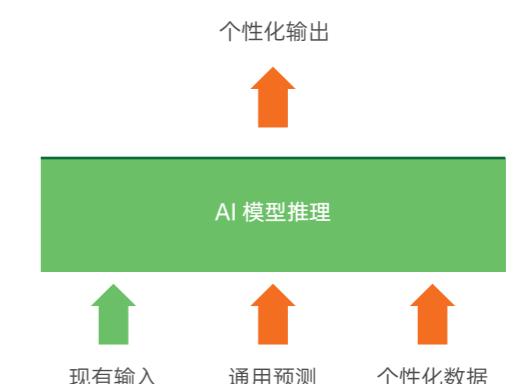


图 10：决策类 AI 赋能对输入和输出参数的定义

### 3.2.2 非决策类 AI 赋能

非决策类 AI 赋能所产生的输出数据一般会作为内容传输到目标端。当前，随着人工智能技术的发展、算力资源的扩充，利用 AI 方法对传统复杂问题的优化求解已逐步成为可能 [9]。在这样的前提下，利用 AI 实现诸如信道编解码之类的传输方案设计将是探索未来系统传输方案的一条新的路径。通过 AI 技术构建网络传输方案并实现自优化、自演进，将成为 AI 赋能 6G 网络的点睛之笔。

如图 11 所示，AI 赋能的非决策类功能的具体形式是通过 AI 模型推理的方式将数据处理的部分或全部步骤进行替代，对于每个功能，需要对限制因素和期望效果进行个性化定义，AI 模型可根据上述两个个性化定义执行最佳的数据处理。通过 AI 赋能的方式，原本需要通过人为维护和迭代优化的数据处理过程将由 AI 进行自学习和自演进，以追求极致为目标，达到对性能的不断优化（详细举例请见 3.4 章节）。



图 11：非决策类 AI 赋能方式

### 3.3 AI 控制面

基于前面章节介绍的 AI 赋能方法，可以对很多传统控制面功能进行赋能，使得控制面功能在垂直的 AI 维度得到提升，从而在 6G 空间中形成 AI 控制面，如图 12 绿色部分所示。

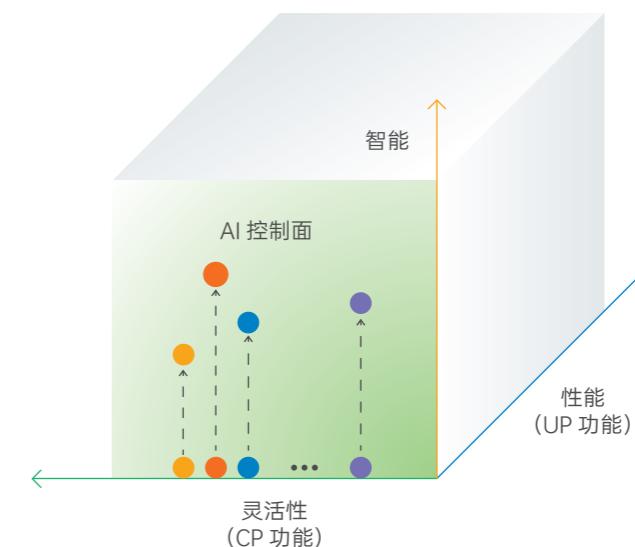


图 12：AI 控制面

由于控制面功能大都是实现网络和终端动作的判决，因此可以考虑使用决策类方法进行赋能，达到优化效果。根据章节 3.2.1，每个控制面功能的 AI 赋能需要定义输入参数（包括通用预测输入参数和个性化输入参数），同时需要定义个性化输出参数。

下面以切换功能为例，切换是移动网络中最具特点的控制面功能之一，基于 AI 的切换决策以及业务预测有助于提高切换成功的概率以及减少对用户体验的影响。

如图 13 左侧所示，传统的切换是基于小区测量结果进行判断，其输出也仅为是否进行切换的决策判断。基于 AI 赋能的切换功能，如图 13 右侧所示，其输入参数包括  
 传统输入（小区测量结果）  
 通用预测（业务预测、位置预测、负载预测、用户行为预测）中的一个或多个  
 个性化输入参数（终端当前速度、时延上限、可靠性要求等）

这三种输入参数（传统输入、通用预测输入、个性化输入）共同作为 AI 模型的输入并推理出个性化输出。这里的个性化输出是为优化切换功能定制的专有输出，不仅包含是否进行切换的判断，还包含切换类型（如 traditional HO, DAPS, CHO, RACH-less 等）和切换条件（如目标小区列表、时间、位置信息等）的决策信息，丰富的个性化输出参数可以更加灵活地控制切换从而提高切换成功率并保障切换过程中业务的连续性。

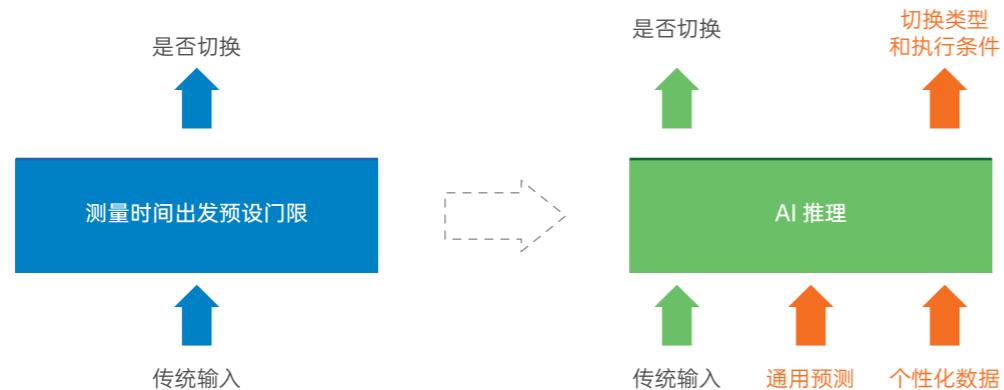


图 13：决策类 AI 赋能举例：AI 赋能的切换功能

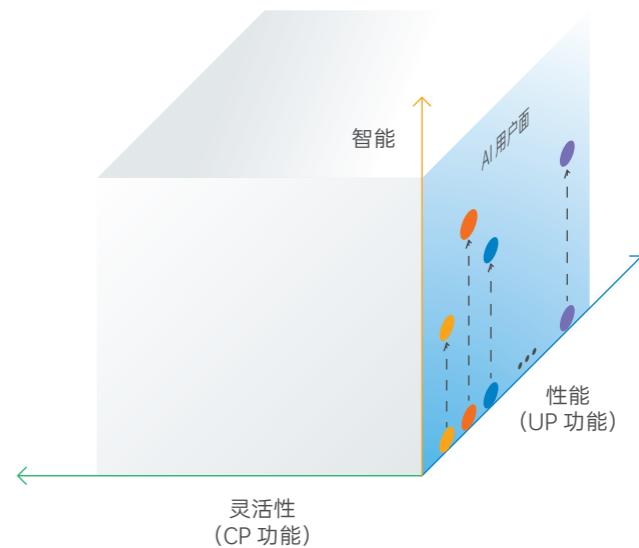


图 14：AI 用户面

除了用上述方法赋能切换功能外，其它控制面功能也可以通过上述方法进行赋能，比如：AI 赋能的接入过程、AI 赋能的终端节能、AI 赋能的信道估计等。

如图 15 所示，以信道编解码流程为例，使用 AI 模型推理替代现有的无线信道编解码模块，从而获得良好增益。

### 3.4 AI 用户面

使用前面章节介绍的 AI 赋能方法对很多传统用户面功能进行赋能，使得用户面功能在垂直的 AI 维度得到提升，在 6G 空间中形成“AI 用户面”，如图 14 蓝色部分所示。

由于用户面功能大都是对于原始数据进行处理并将处理后的数据发送对端，以实现满足需求的传输能力和用户体验，因此大部分用户面功能可以使用非决策类方法进行 AI 赋能。通过 AI 模型推理替代传统人为设计的算法和功能模块，以实现同等性能甚至超越原有性能，更重要的是实现自演进和自优化能力。

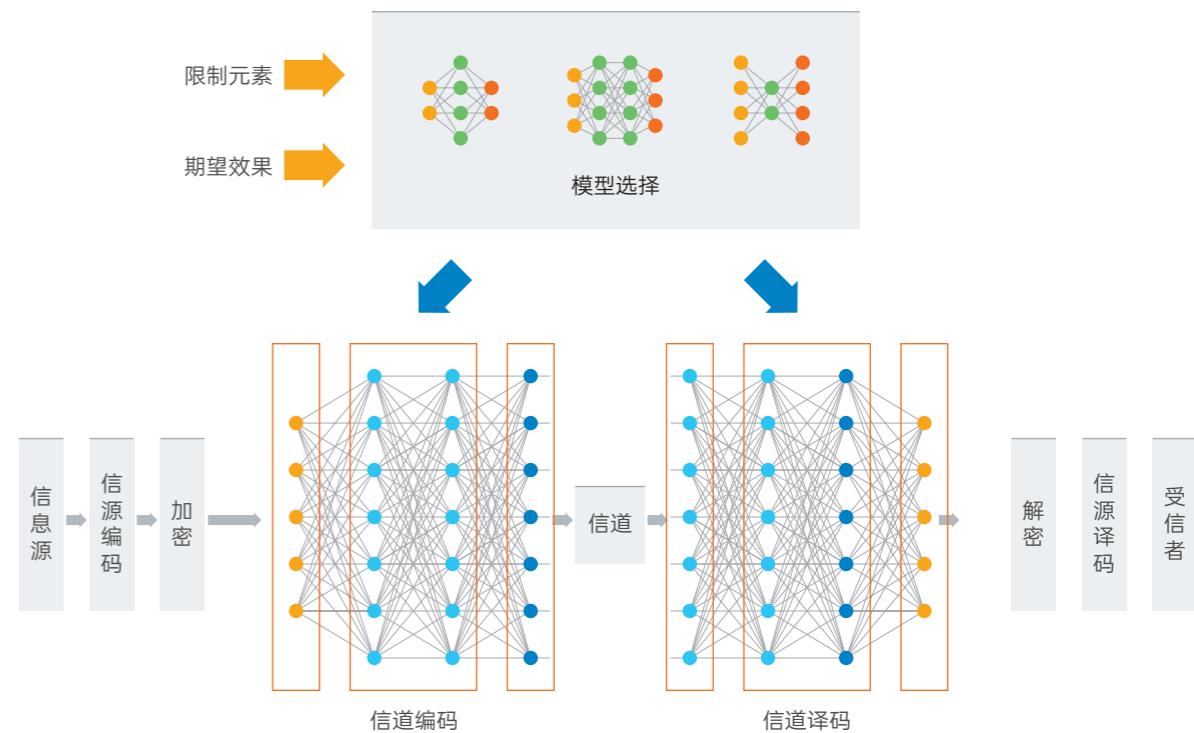


图 15：采用 AI 模型进行信道编解码

在 AI 赋能过程中，限制因素和期望效果需要按需定义：

**限制因素：**包括信道条件、带宽限制、时延敏感、突发错误等；

**期望效果：**包括传输速率要求、误码率要求、可靠性要求等

这两种输入参数选择合适的 AI 模型进行信道编码，达到在特定环境、特定条件下的最优效果，提高整个通信系统的性能。选择出来的 AI 模型替代现有信道编解码模块，实现 AI 赋能效果。通过 AI 模型的自学习，自优化，可以适应不断变化的限制因素，保证期望效果，从而达到甚至超过传统信道编码对通信带来的增益。

### 3) 对于智能维度的衡量

对智能维度的衡量是最具有挑战性的部分，我们通过如下两个方面来进行衡量。

第一个是替代程度。考虑 AI 能力替代的程度，也就是说使用 AI 模型替代无线通信能力中的一个模块或一个参数，也可以将整个系统端到端地通过 AI 来实现。智能维度上的打分与 AI 的替代程度成正比，越在系统级层面的替代，打分越高。

第二个从操作效率。定义标准化的 AI 操作行为（比如一个标准化的 AI 模型），然后计算其在特定条件下（包括但不限于一定的时间、频率、算力、存储、能耗等）所完成的 AI 操作数。智能维度上的打分与其计算 AI 操作效率成正比，AI 操作效率越高，打分越高。

因此，一个网络的智能维度分由替代程度和操作效率这两方面决定。

## 04 AI-Cube

### 4.1 6G 空间中三个维度的定性衡量

在引入 AI-Cube 之前，我们先将前面章节介绍的 6G 空间中的三个维度进行定性描述，即如何定性衡量性能维度（由用户面功能实现）、灵活性维度（由控制面功能实现）、智能维度的大小。

#### 1) 对于性能维度的衡量

性能维度的衡量取决于两个方面，1 是通信能力，包括速率、可靠性、时延、抖动等要求，2 是提供应用服务的能力，6G 网络通过提供算力和存储能够参与到应用服务中，而不再是仅作为数据传输的管道。因此可以通过通信能力和应用服务能力两方面来综合评定 6G 网络性能的大小。

#### 2) 对于灵活性维度的衡量

灵活性维度的衡量取决于网络对于条件改变的承受能力，这里的条件可以是用户的移动速度、策略改变的执行速度、网络状态改变的响应速度以及控制的精细度等几个方面。根据这几个方面来综合评定 6G 网络的灵活性，一般来说灵活性越高，条件的改变对于性能的影响越小、网络控制的精度越细。

### 4.2 AI-Cube

6G 网络在 6G 空间的三个维度上均可以定性衡量，因此 6G 空间中的 AI 控制面、AI 用户面和 AI 功能面是有界的，这三个平面共同围成的一个立体空间，我们称之为 AI-Cube，如图 16 所示。AI-Cube 中的三个平面共同赋予 6G 网络新的生命力。

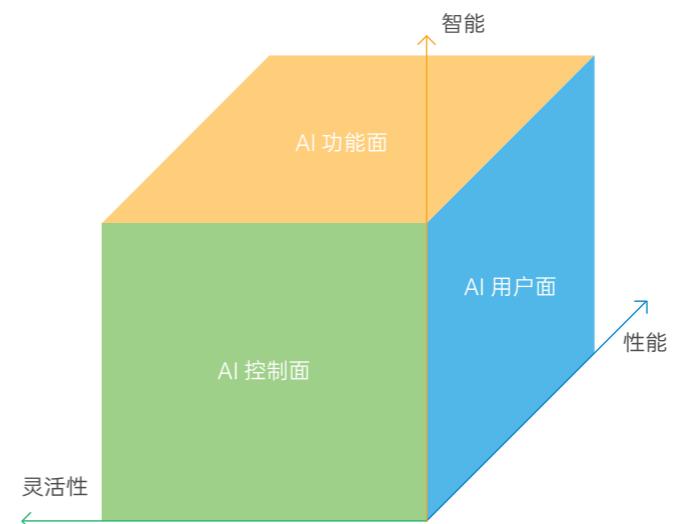


图 16：AI-Cube

6G 网络在三个维度上的能力决定了这个 AI-Cube 空间的容量。通过 AI-Cube 的 AI 功能面，能够实现根据场景、需求选择 6G 网络的功能，实现 6G 网络中“化整为零”的各种个性化的子网。

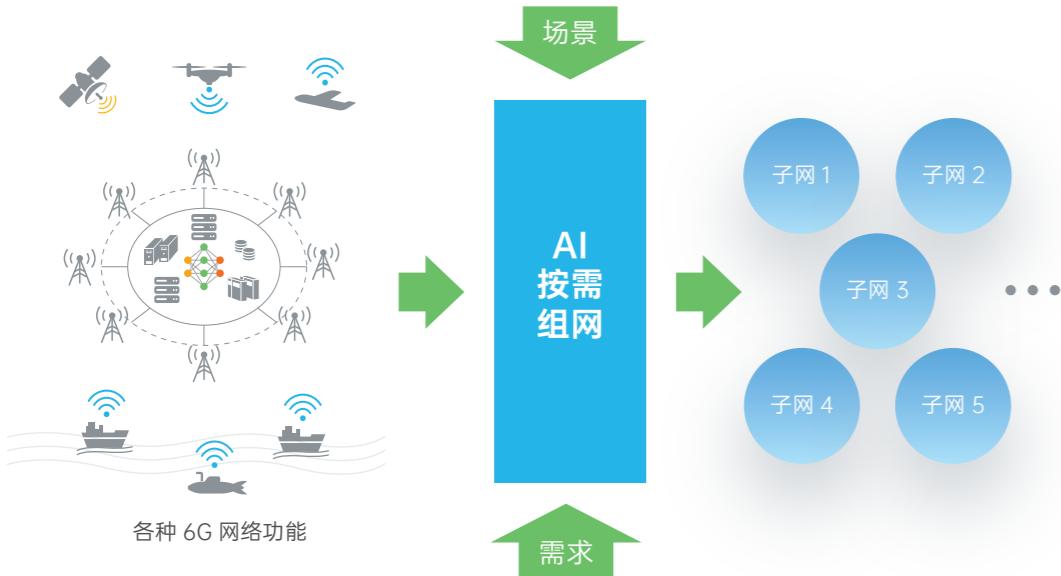


图 17：通过 AI 实现 6G 网络的“化整为零”能力

6G 网络中生成的不同子网可以根据其特征体现在 AI-Cube 空间中的不同位置，如图 17 举例所示。

- 子网 1：智能工厂（高性能度）：**对于可靠性、时延、速率有非常高的要求，以满足生产线的精准生产；
- 子网 2：智能家居（高智能度、高灵活度）：**用户的手机、手环、电视、空调等设备连为一体，互相可通信；
- 子网 3：智能驾驶（高智能度、高性能度）：**对网络的传输时延、计算能力等要求高，此外汽车的轨迹预判、具体场景条件下的风险评估等也需要高智能度。

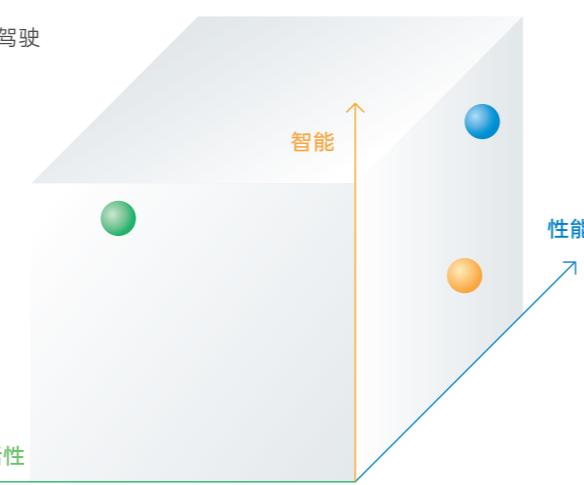


图 18 AI-Cube 中的子网

## 05 AI-Cube 赋能的 6G 网络架构

AI-Cube 赋能的 6G 网络架构是基于基础设施之上建立的移动通信架构，网络基础设施中的各个节点以及终端都可以为每个平面提供相关的资源（计算、存储、网络资源等），各个平面之间互相配合并结合能力开放与第三方应用形成数据互通，从而实现 6G 网络的 AI 赋能。

如图 19 所示，6G 网络架构包含 AI 功能面，AI 功能面按需向 AI 控制面和 AI 用户面的各种功能提供相应 AI 模型配置，赋能各种控制面功能和用户面功能，形成 AI 控制面和 AI 用户面。同时，两个平面将 AI 推理和其他网络状态相关数据按需发送给 AI 功能面用于 AI 自优化、自演进。

6G 网络中的三个平面是由终端和网络侧共同分配的资源来实现的，终端作为 6G 系统的重要组成部分，可以提供宝贵的算力和数据资源以完成相关 AI 功能。

同时，通过能力开放接口与 OTT 应用交互的数据是实现 AI 赋能必不可少的组成部分。OTT 可以分别与三个平面进行数据交互：

OTT 应用与 AI 功能面的交互可以为用于 AI 控制面和 AI 用户面模型的训练提供数据支持，同时为 6G 网络深度参与 OTT 的应用层 AI 模型的训练、推理提供能力。如 3.1.3 章节介绍，主要包含数据开放、资源开放和模型开放三个方面。

OTT 应用与 AI 控制面的交互一方面有助于 AI 控制面获得应用信息（如数据特征、业务量预测等）以满足高灵活性要求，另一方面有助于将 6G 控制功能相关数据共享给应用以帮助进行应用层行为的调整。

OTT 应用与 AI 用户面的交互有助于实时感知数据包的业务内容，实现基于业务内容的智能资源调度和路由，以保障最佳的数据传输速率、时延、可靠性。

三个平面与 OTT 的跨域协作能力是 6G 网络以 AI 技术为契机实现 ICT 融合的关键，只有 6G 网络（包括终端侧和网络侧）与 OTT 之间充分的信息交互才能实现 6G 网络功能基于 AI 技术的质的飞跃，避免通信网络被管道化问题。

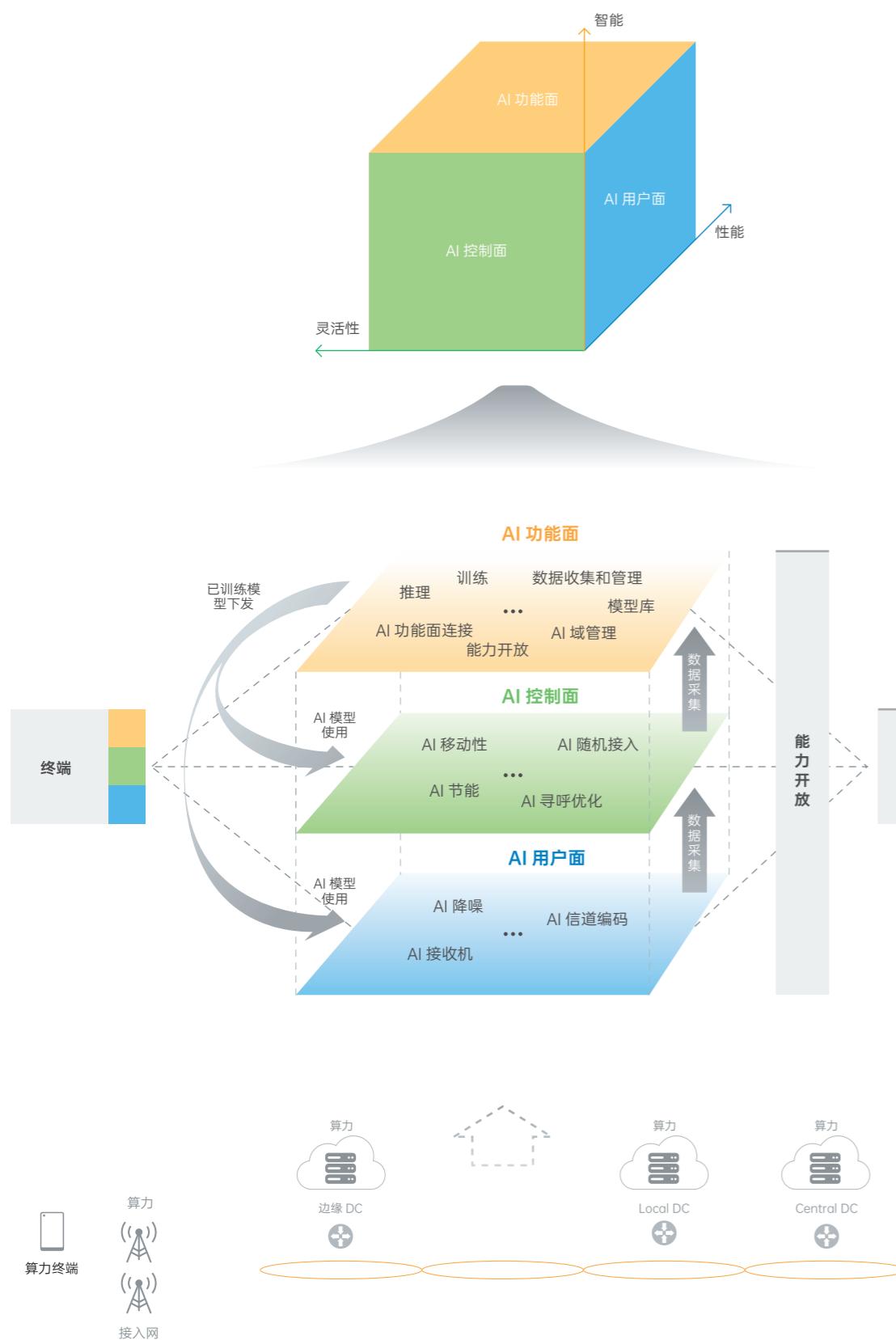


图 19 AI cube 赋能的 6G 网络架构

## 06 展望

AI 技术的引入是 6G 网络中最重要的特征，一方面通过颠覆性的方式追求对网络控制面和用户面功能的极致优化，另一方面能够充分体现无线通信网络庞大基础资源的优势，携手终端和 OTT 公司共同打造“万智互联”的生态。

基于 AI-Cube 的“三个平面”（AI 功能面、AI 控制面、AI 用户面）和“一个开放”（面向跨域协作的 AI 相关能力开放），是构建 AI 赋能 6G 网络的关键要素。通过聚焦对以上关键要素的进一步研究，6G 网络终将实现“内生智能”的目标。

### 参考文献

- [1] ITU-R. ITU towards "IMT for 2020 and beyond" [R]. [S.l.:s.n.], 2015.
- [2] Pouyanfar S, Sadiq S, Yan Y, et al. A survey on deep learning: Algorithms, techniques, and applications[J]. ACM Computing Surveys (CSUR), 2018, 51(5): 1-36.
- [3] Chen M, Challita U, Saad W, et al. Artificial neural networks-based machine learning for wireless networks: A tutorial[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2019, 21(4): 3039-3071.
- [4] Miao, Hui, et al. "Towards unified data and lifecycle management for deep learning." 2017 IEEE 33rd International Conference on Data Engineering (ICDE). IEEE, 2017.
- [5] GPP TS 23.501: "System Architecture for the 5G System; Stage 2" [S]. 3GPP, 2021.
- [6] L'heureux, Alexandra, et al. "Machine learning with big data: Challenges and approaches." IEEE Access 5 (2017): 7776-7797.
- [7] Wang, Xiaofei, et al. "In-edge ai: Intelligentizing mobile edge computing, caching and communication by federated learning." IEEE Network 33.5 (2019): 156-165.
- [8] Niu, Shuteng, et al. "A decade survey of transfer learning (2010–2020)." IEEE Transactions on Artificial Intelligence 1.2 (2020): 151-166.
- [9] Wang, Cheng-Xiang, et al. "Artificial intelligence enabled wireless networking for 5G and beyond: Recent advances and future challenges." IEEE Wireless Communications 27.1 (2020): 16-23.

### 缩略语

- 3GPP 3rd Generation Partnership Project 第三代合作伙伴计划
- 5G 5th Generation Mobile Communication Technology 第五代移动通信技术
- UP User Plane 用户面
- CP Control Plane 控制面
- KPI Key Performance Indicator 关键绩效指标
- AI Artificial Intelligence 人工智能
- B5G Beyond 5G 超五代移动通信技术
- 6G 6th Generation Mobile Communication Technology 第六代移动通信技术
- OTT Over The Top 互联网公司越过运营商，发展基于开放互联网的各种视频及数据服务业务
- SRB Signalling Radio Bearer 信令无线承载
- NAS Non-Access Stratum 非接入层
- DRB Data Radio Bearer 数据无线承载
- GTP GPRS(General packet radio service) Tunneling Protocol GPRS (通用无线分组业务) 隧道协议
- ICT Information and Communication Technology 信息与通信技术
- RSRP Reference Signal Receiving Power 参考信号接收功率
- HO Handover 切换
- DAPS Dual Active Protocol Stack 双活协议栈
- CHO Conditional Handover 条件切换
- RACH Random Access Channel 随机接入信道