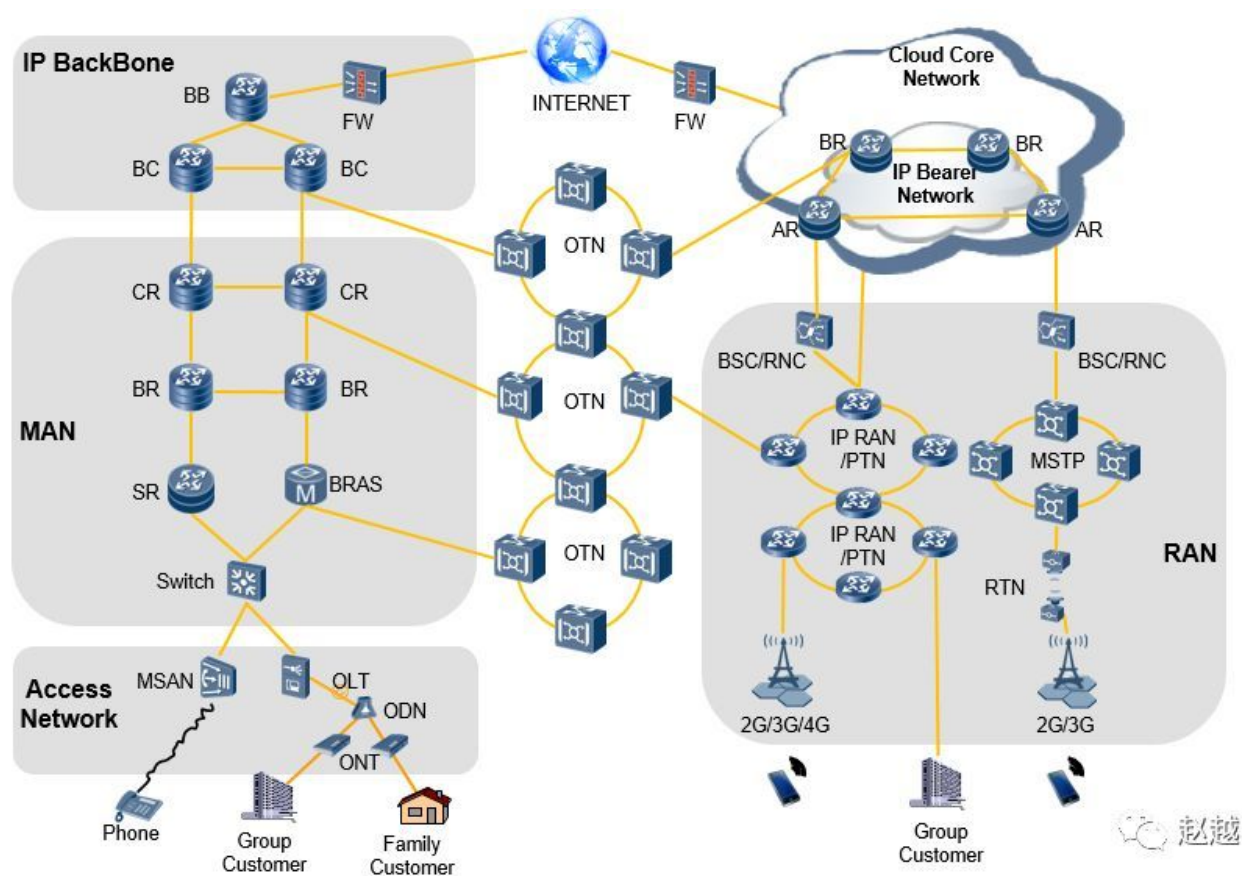


一篇文章带你看懂5G网络（接入网+承载网+核心网）

2018-12-25 08:03

前一段时间自己一直在做某市的5G试点项目，对5G的无线接入网相关技术有了更深入的认识。因此，希望通过无线接入网为线索（行话叫锚点），帮大家梳理一下无线侧接入网+承载网+核心网的架构，这里以接入网为主，其他两个网络的很多技术细节由于笔者研究的并不足够深入，因此以帮助大家入门为主。

在我们正式讲解之前，我想通过这张网络简图帮助大家认识一下全网的网络架构，通过对全网架构的了解，将方便您对后面每一块网络细节的理解。



这张图分为左右两部分，右边为无线侧网络架构，左边为固定侧网络架构。

无线侧：手机或者集团客户通过基站接入到无线接入网，在接入网侧可以通过RTN或者IPRAN或者PTN解决方案来解决，将信号传递给BSC/RNC。在将信号传递给核心网，其中核心网内部的网元通过IP承载网来承载。

固网侧：家客和集客通过接入网接入，接入网主要是GPON，包括ONT、ODN、OLT。信号从接入网出来后进入城域网，城域网又可以分为接入层、汇聚层和核心层。BRAS为城域网

的入口，主要作用是认证、鉴定、计费。信号从城域网走出来后到达骨干网，在骨干网处，又可以分为接入层和核心层。其中，移动叫CMNET、电信叫169、联通叫163。

固网侧和无线侧之间可以通过光纤进行传递，远距离传递主要是有波分产品来承担，波分产品主要是通过WDM+SDH的升级版来实现对大量信号的承载，OTN是一种信号封装协议，通过这种信号封装可以更好的在波分系统中传递。

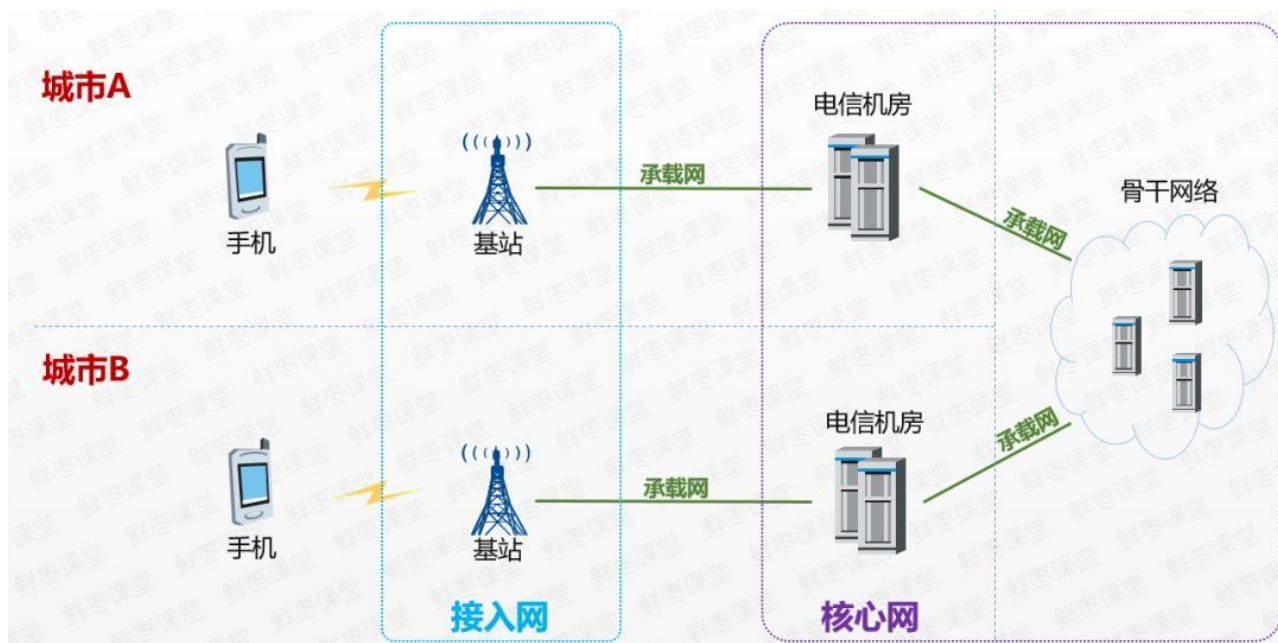
最后信号要通过防火墙到达INTERNET，防火墙主要就是一个NAT，来实现一个地址的转换。这就是整个网络的架构。

看完宏观的架构，让我们深入进每个部分，去深入解读一下吧。

由于我们的手机打电话或者上网时，信号首先抵达的就是无线接入网，因此这里我们从无线接入网开始谈起。

什么是无线**接入网**？

首先大家看一下这个简化版的移动通信架构图：



无线接入网，也就是通常所说的RAN（Radio Access Network）。



简单地讲，就是把所有的手机终端，都接入到通信网络中的网络。

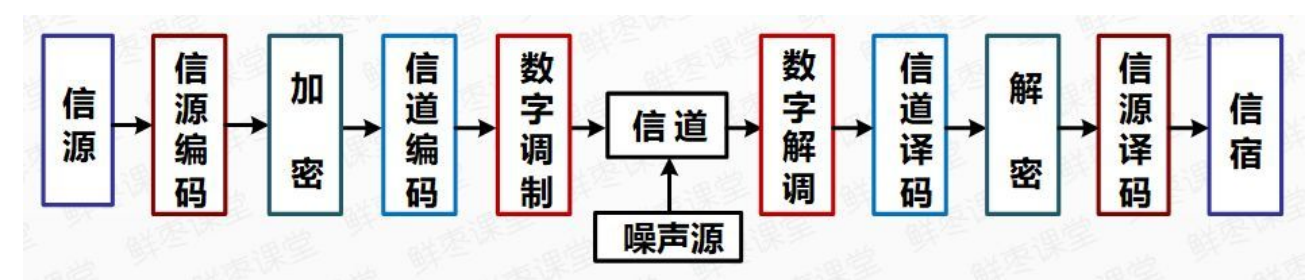
大家耳熟能详的**基站**（BaseStation），就是属于**无线接入网（RAN）**。



无线基站

虽然我们从1G开始，历经2G、3G，一路走到4G，号称是技术飞速演进，但整个通信网络的逻辑架构，一直都是：手机→接入网→承载网→核心网→承载网→接入网→手机。

通信过程的本质，就是编码解码、调制解调、加密解密。

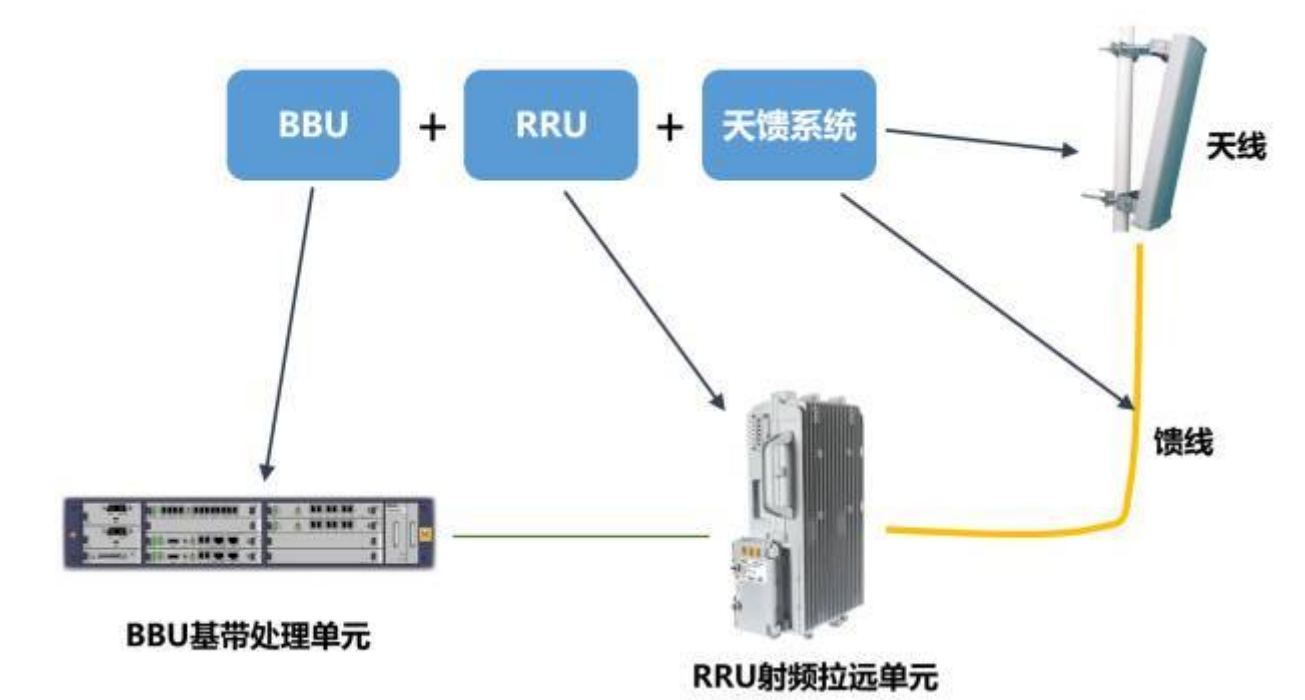


要做的事情就这么多，各种设备各司其职，完成这些事情。

通信标准更新换代，无非是设备改个名字，或者挪个位置，功能本质并没有变化。

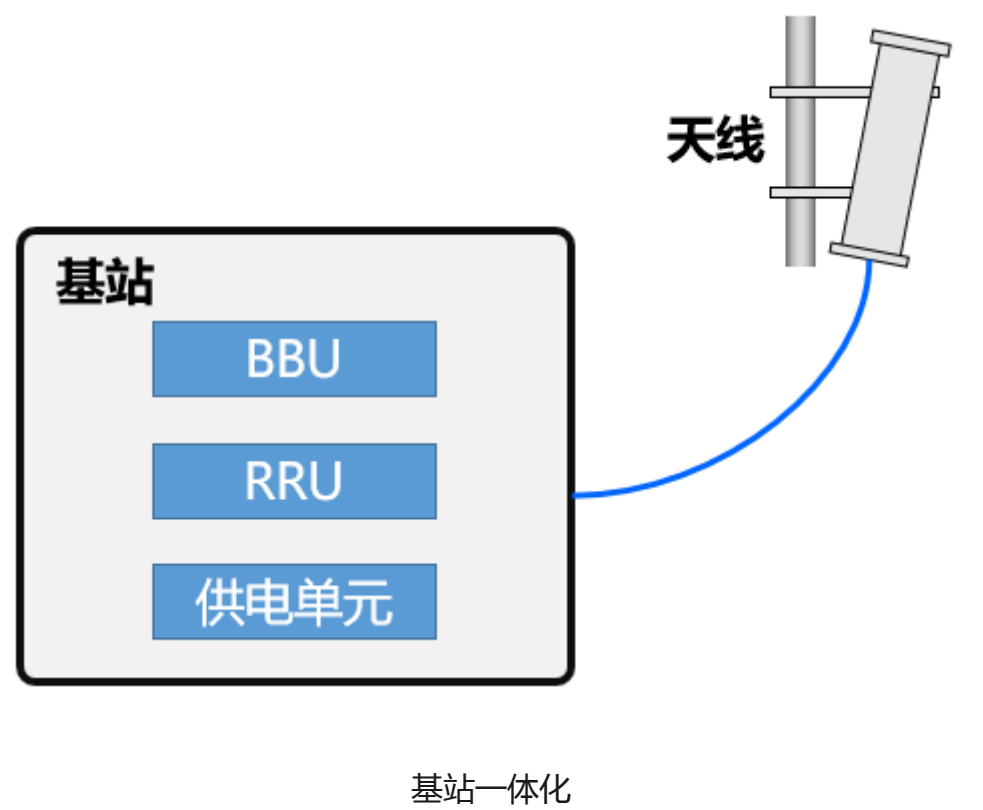
基站系统，乃至整个无线接入网系统，亦是如此。

一个基站，通常包括BBU（主要负责信号调制）、RRU（主要负责射频处理），馈线（连接RRU和天线），天线（主要负责线缆上导行波和空气中空间波之间的转换）。



基站的组成部分

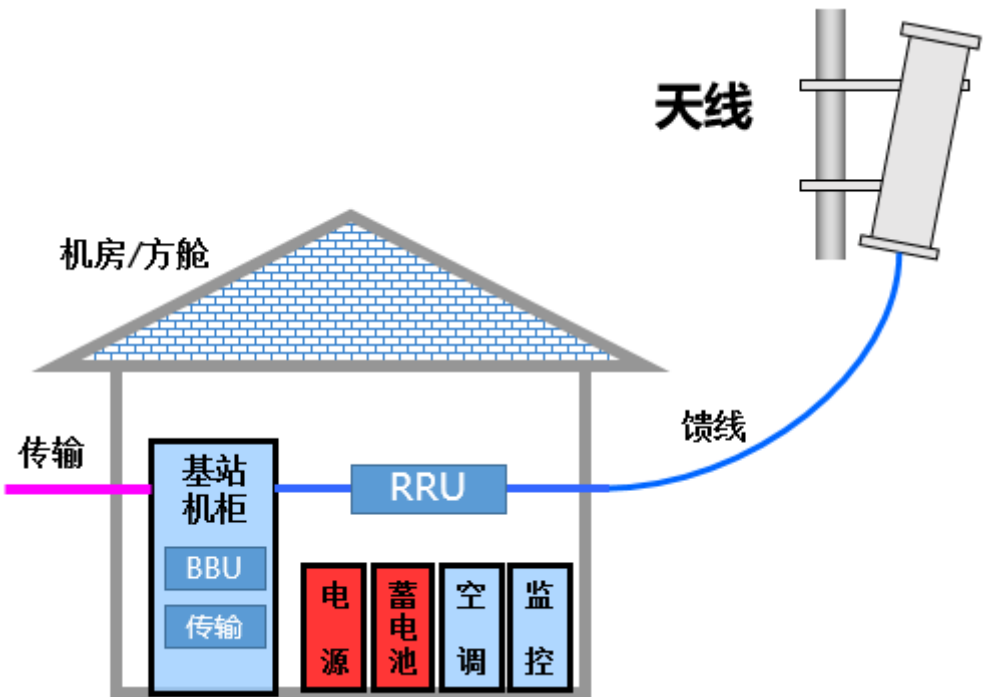
在最早期的时候，BBU，RRU和供电单元等设备，是**打包**塞在一个柜子或一个机房里的。



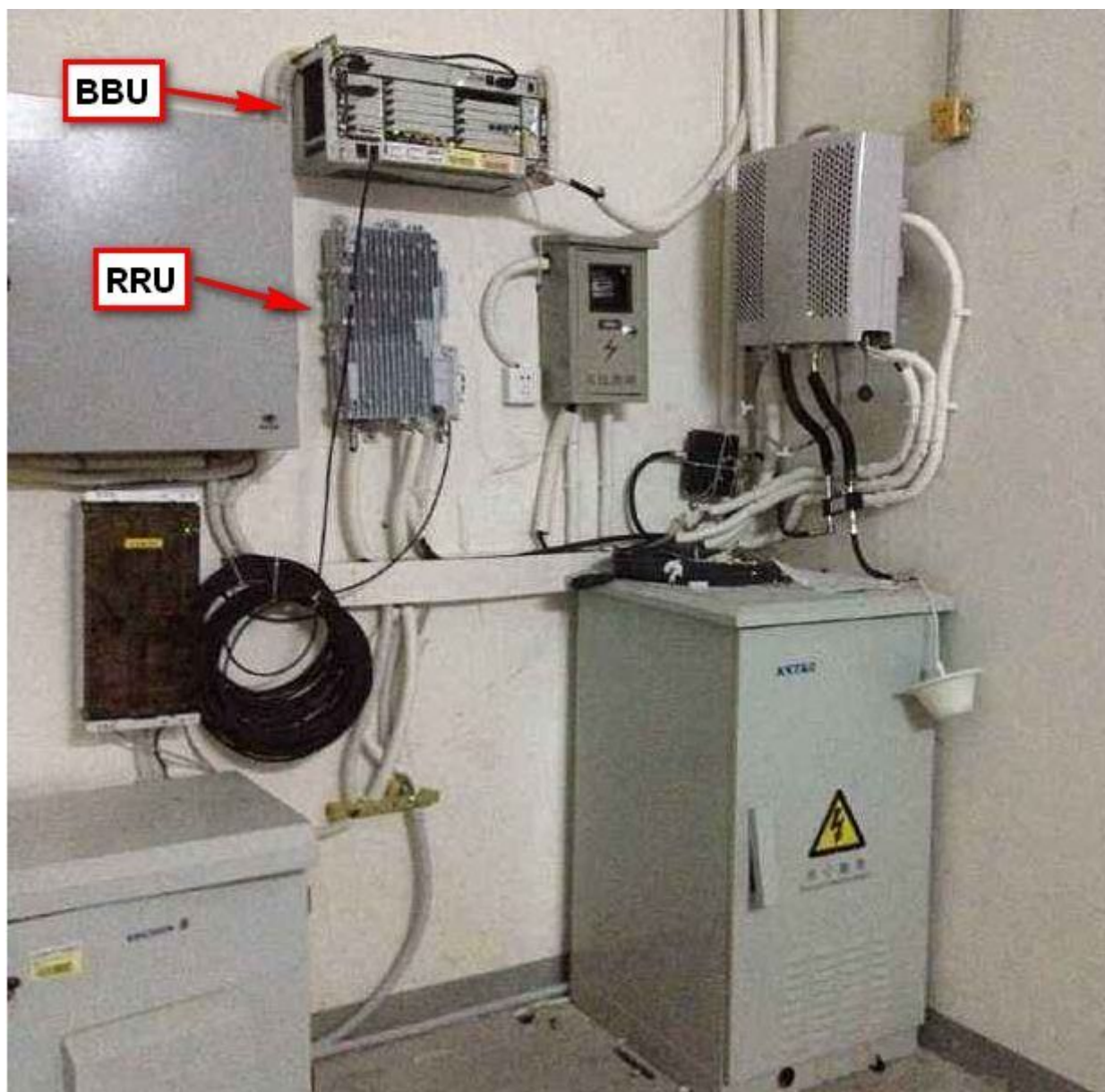
后来，慢慢开始发生变化。

怎么变化呢？通信砖家们把它们拆分了。

首先，就是把RRU和BBU先给拆分了。



硬件上不再放在一起，RRU通常会挂在机房的墙上。

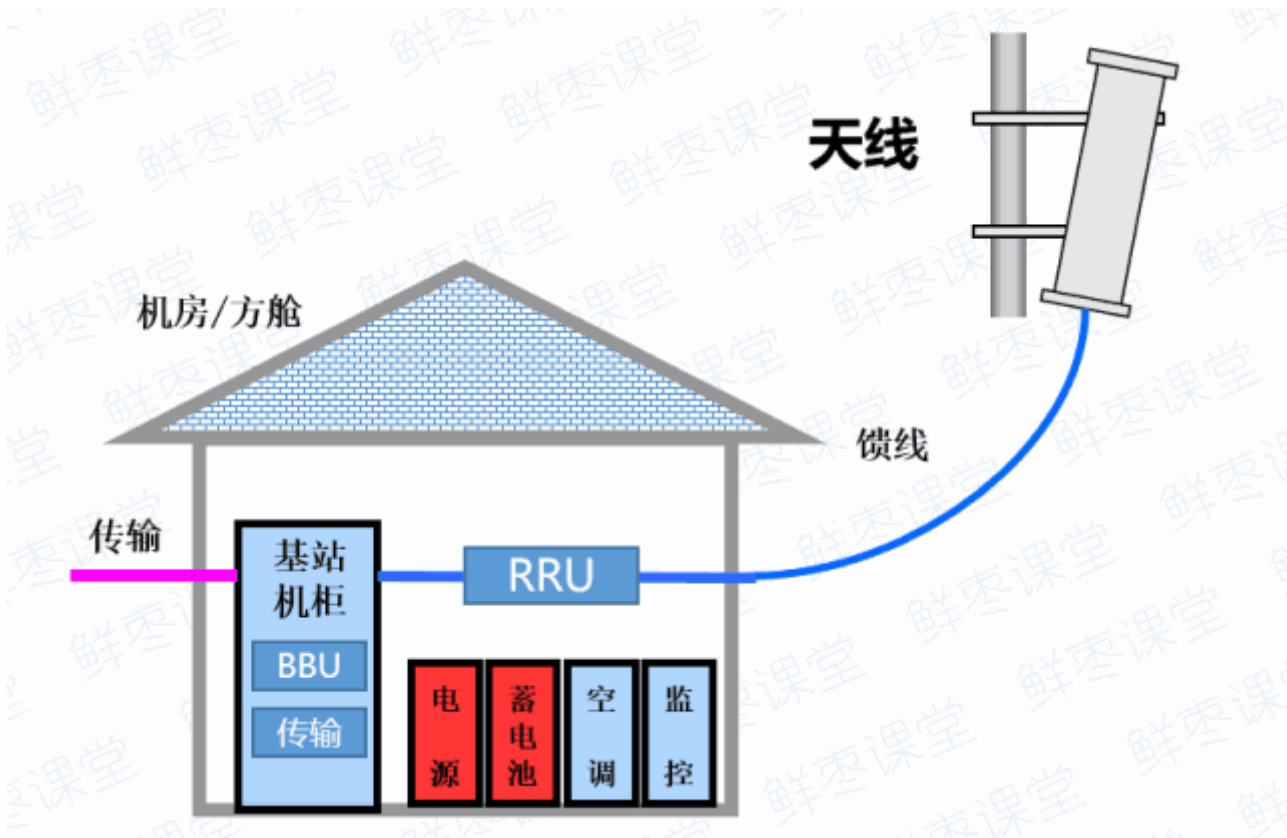


BBU有时候挂墙，不过大部分时候是在机柜里。



机柜里的BBU

再到后来，RRU不再放在室内，而是被搬到了天线的身边（所谓的“**RRU拉远**”），也就是分布式基站DBS3900，我们的余承东总裁当年在圣无线的时候就是负责这方面变革的专家，该产品一出解决了欧洲运营商的刚需，为打开欧洲市场立下了汗马功劳。



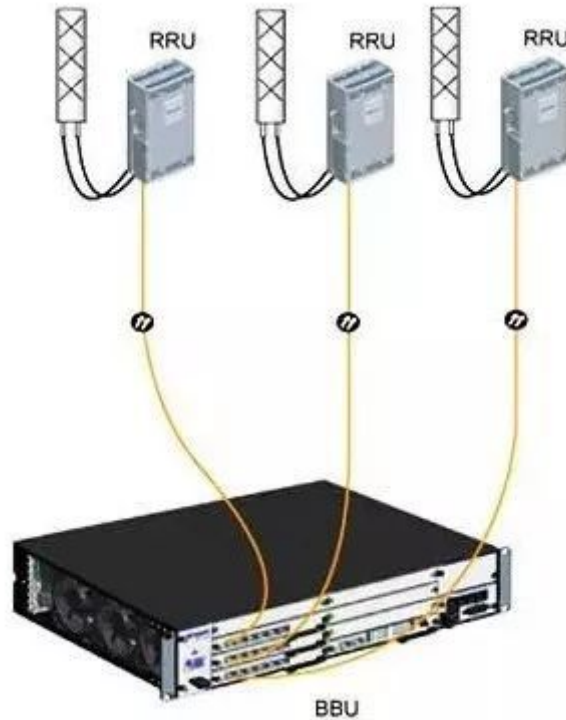
天线+RRU

这样，我们的RAN就变成了**D-RAN**，也就是**Distributed RAN**（分布式无线接入网）。

这样做有什么好处呢？

一方面，大大缩短了RRU和天线之间馈线的长度，可以减少信号损耗，也可以降低馈线的成本。

另一方面，可以让网络规划更加灵活。毕竟RRU加天线比较小，想怎么放，就怎么放。



说到这里，请大家注意：**通信网络的发展演进，无非就是两个驱动力，一是为了更高的性能，二是为了更低的成本。**

性能

成本

有时候成本比性能更加重要，如果一项技术需要花很多钱，但是带来的回报少于付出，它就很难获得广泛应用。

RAN的演进，一定程度上就是**成本压力**带来的结果。



在**D-RAN**的架构下，运营商仍然要承担非常巨大的成本。因为为了摆放BBU和相关的配套设备（电源、空调等），运营商还是需要租赁和建设很多的室内机房或方舱。



大量的机房=大量的成本

于是，运营商就想出了**C-RAN**这个解决方案。

C-RAN

C-RAN，意思是**Centralized RAN**，**集中化无线接入网**。这个C，不仅代表集中化，还代表了别的意思：

Centralization – 集中化

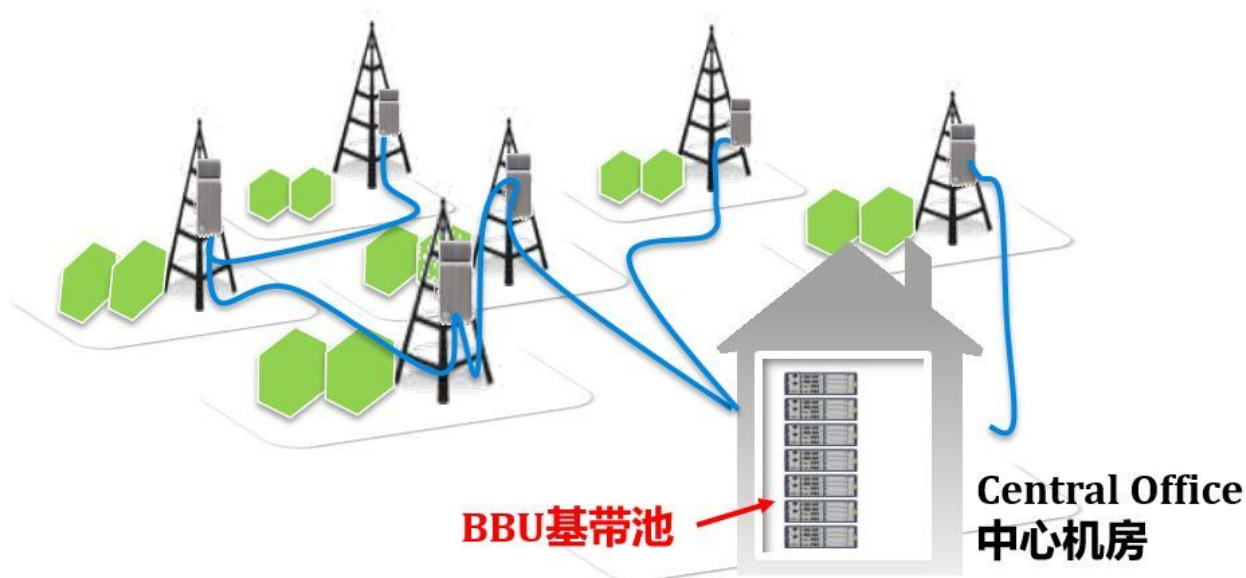
Cloud – 云化

Cooperation – 协作

Clean – 清洁

相比于D-RAN，C-RAN做得更绝。

除了RRU拉远之外，它把BBU全部都集中关押起来了。关在哪了？中心机房（CO，Central Office）。



这一大堆BBU，就变成一个BBU基带池。

C-RAN这样做，非常有效地解决了前文所说的成本问题。

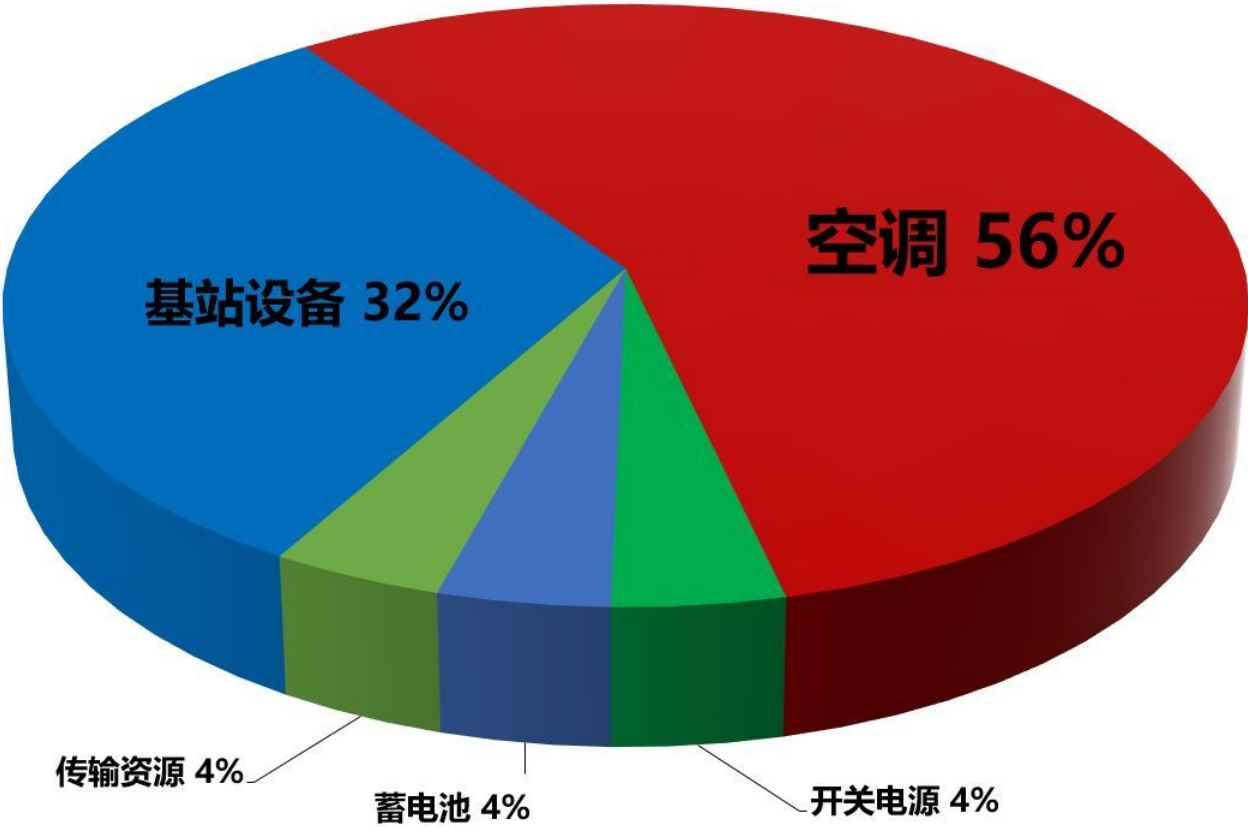
可能在没有接触一线业务的时候，我们总以为设备运行后，运营商大量的前都用到了网络设备的维护中，但通过前期的勘测，我才了解到，运营商支持最大的成本不是通信设备维护，也不是雇佣维护人员，而是电费！

在整个移动通信网络中，基站的能耗占比大约是.....

72%

在基站里面，空调的能耗占比大约是.....

56%



传统方式机房的功耗分析

采用C-RAN之后，通过集中化的方式，可以**极大减少基站机房数量**，减少配套设备（特别是空调）的能耗。



若干小机房，都进了大机房

机房少了，租金就少了，维护费用也少了，人工费用也跟着减少了。这笔开支节省，对饱受经营压力之苦的运营商来说，简直是久旱逢甘霖。

另外，拉远之后的RRU搭配天线，可以安装在离用户更近距离的位置。距离近了，发射功率就低了。

低的发射功率意味着**用户终端电池寿命的延长**和**无线接入网络功耗的降低**。说白了，你手机会更省电，待机时间会更长，运营商那边也更省电、省钱！

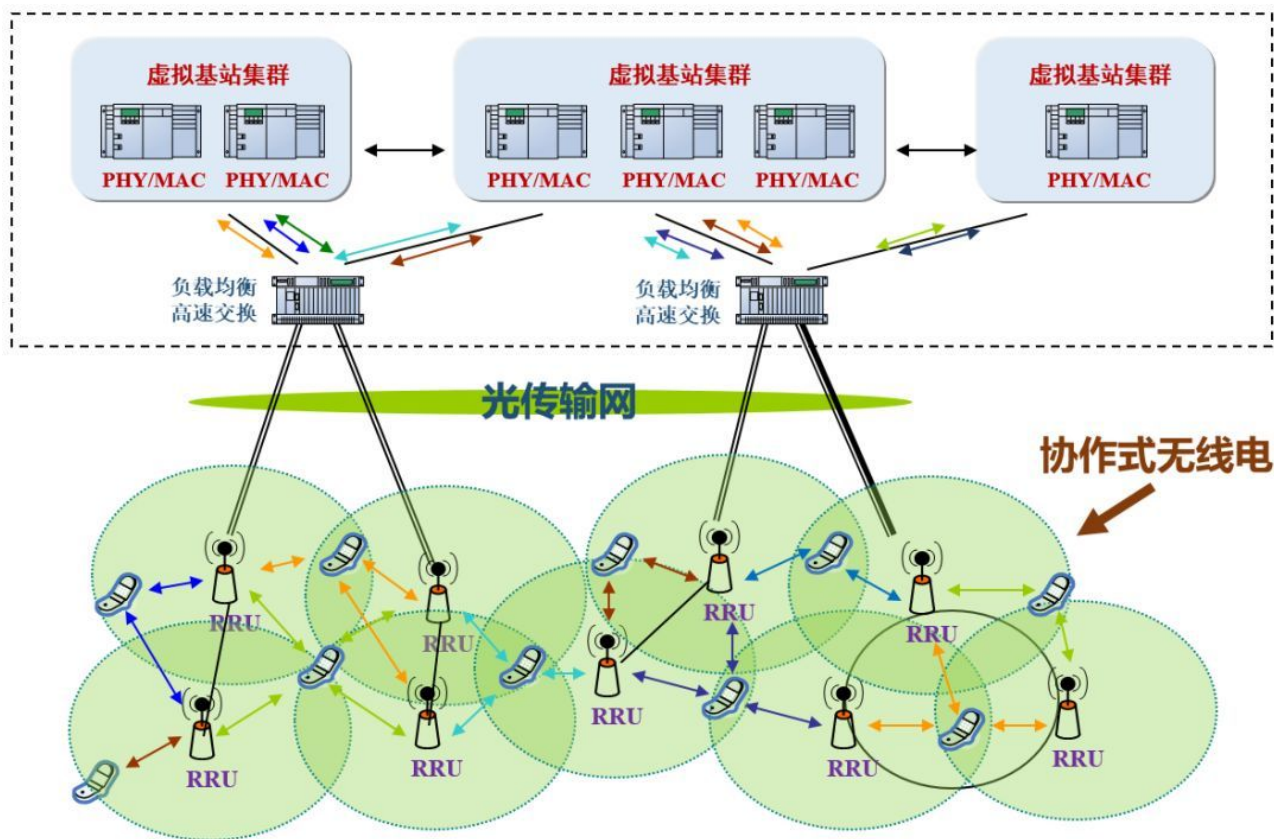
更重要一点，除了运营商可以省钱之外，采用C-RAN也会带来很大的社会效益，减少大量的碳排放（CO₂）。



此外，分散的BBU变成**BBU基带池**之后，更强大了，可以统一管理和调度，资源调配更加灵活！

C-RAN下，基站实际上是“不见了”，所有的实体基站变成了虚拟基站。

所有的虚拟基站在BBU基带池中共享用户的数据收发、信道质量等信息。强化的协作关系，使得联合调度得以实现。小区之间的干扰，就变成了小区之间的协作（CoMP），大幅提高频谱使用效率，也提升了用户感知。



多点协作传输(CoMP , Coordinated Multiple Points Transmission/Reception)是指地理位置上分离的多个传输点, 协同参与为一个终端的数据(PDSCH)传输或者联合接收一个终端发送的数据(PUSCH)。

此外, BBU基带池既然都在CO (中心机房), 那么, 就可以对它们进行**虚拟化**了!

虚拟化, 就是**网元功能虚拟化 (NFV)**。简单来说, 以前BBU是专门的硬件设备, 非常昂贵, 现在, 找个x86服务器, 装个虚拟机 (VM, Virtual Machines), 运行具备BBU功能的软件, 然后就能当BBU用啦!



这样又可以帮客户节省好多的经费，不过这项技术短期内主要还是应用于核心网的网元中，前一段时间刷屏的亚马逊上销售的仅需每月90美元的核心网设备，就是利用这项核心技术。具体的我们留到后面再说，这里让我们继续聚焦于接入网。

正因为C-RAN这种集中化的方式会带来巨大的成本削减，所以，受到运营商的欢迎和追捧。

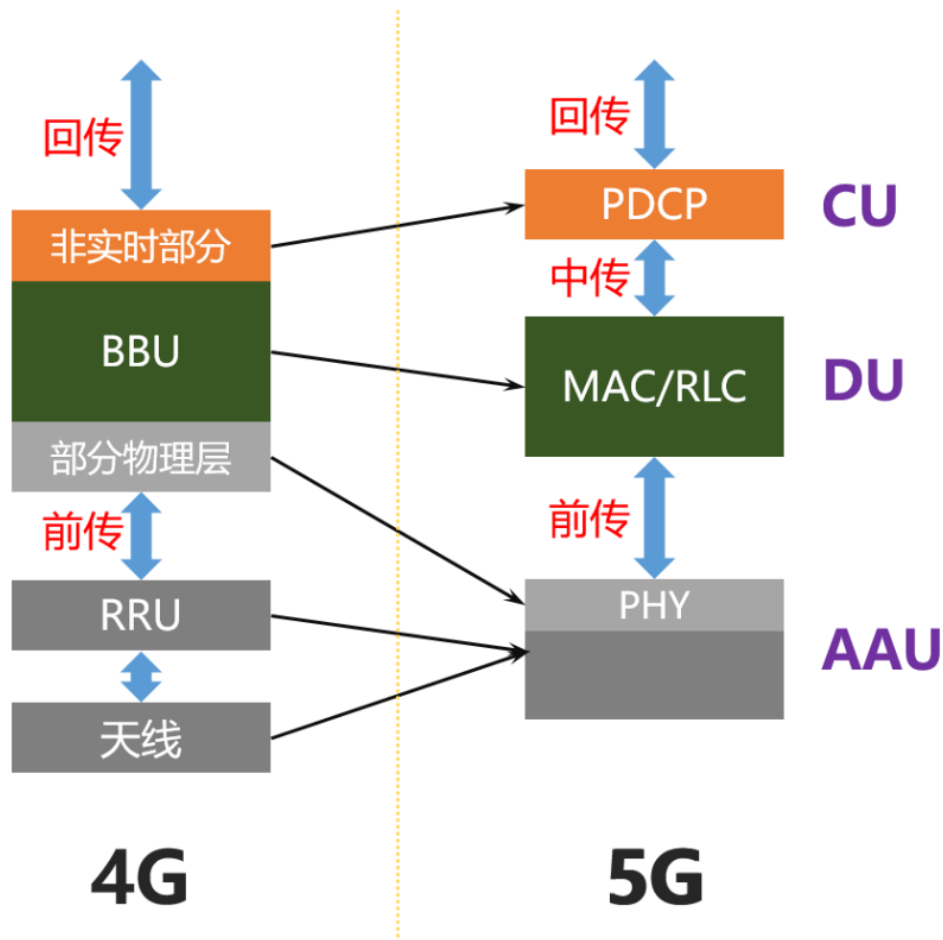
到了5G时代，接入网又发生了很大的变化。

在5G网络中，接入网不再是**由BBU、RRU、天线**这些东西组成了。而是被重构为以下3个功能实体：

CU (Centralized Unit , 集中单元)

DU (Distribute Unit , 分布单元)

AAU (Active Antenna Unit , 有源天线单元)

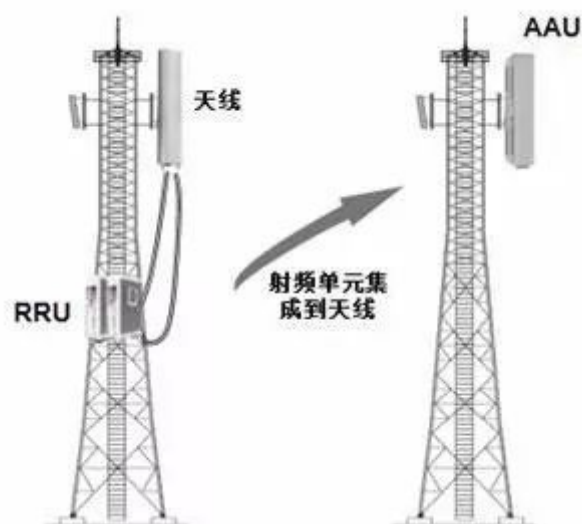


CU：原BBU的非实时部分将分割出来，重新定义为CU，负责处理非实时协议和服务。

AAU：BBU的部分物理层处理功能与原RRU及无源天线合并为AAU。

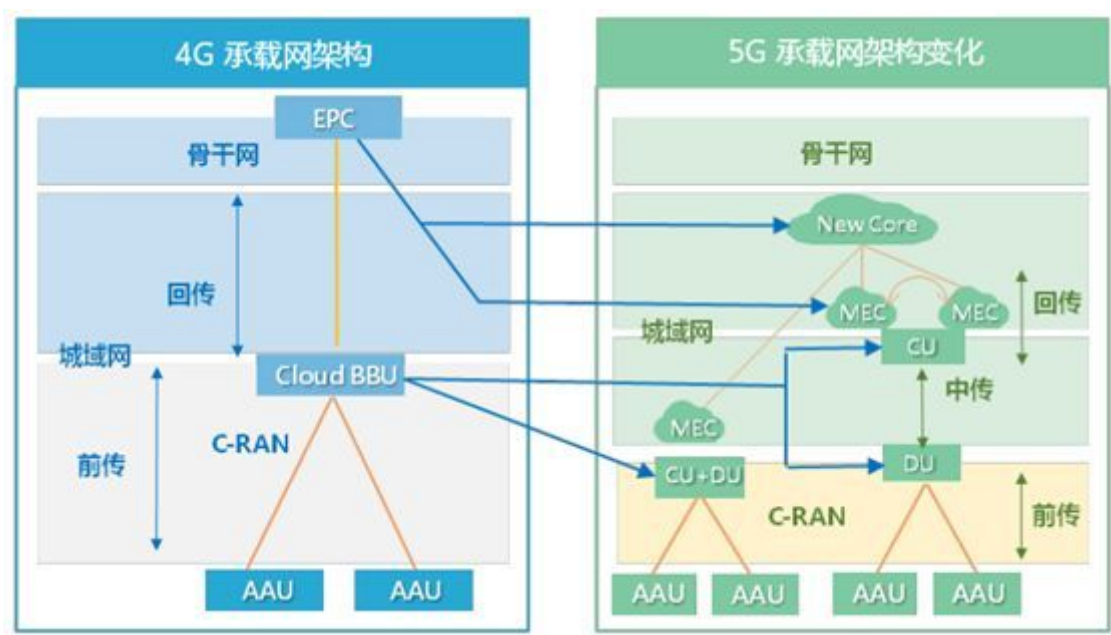
DU：BBU的剩余功能重新定义为DU，负责处理物理层协议和实时服务。

简而言之，CU和DU，以处理内容的实时性进行区分。

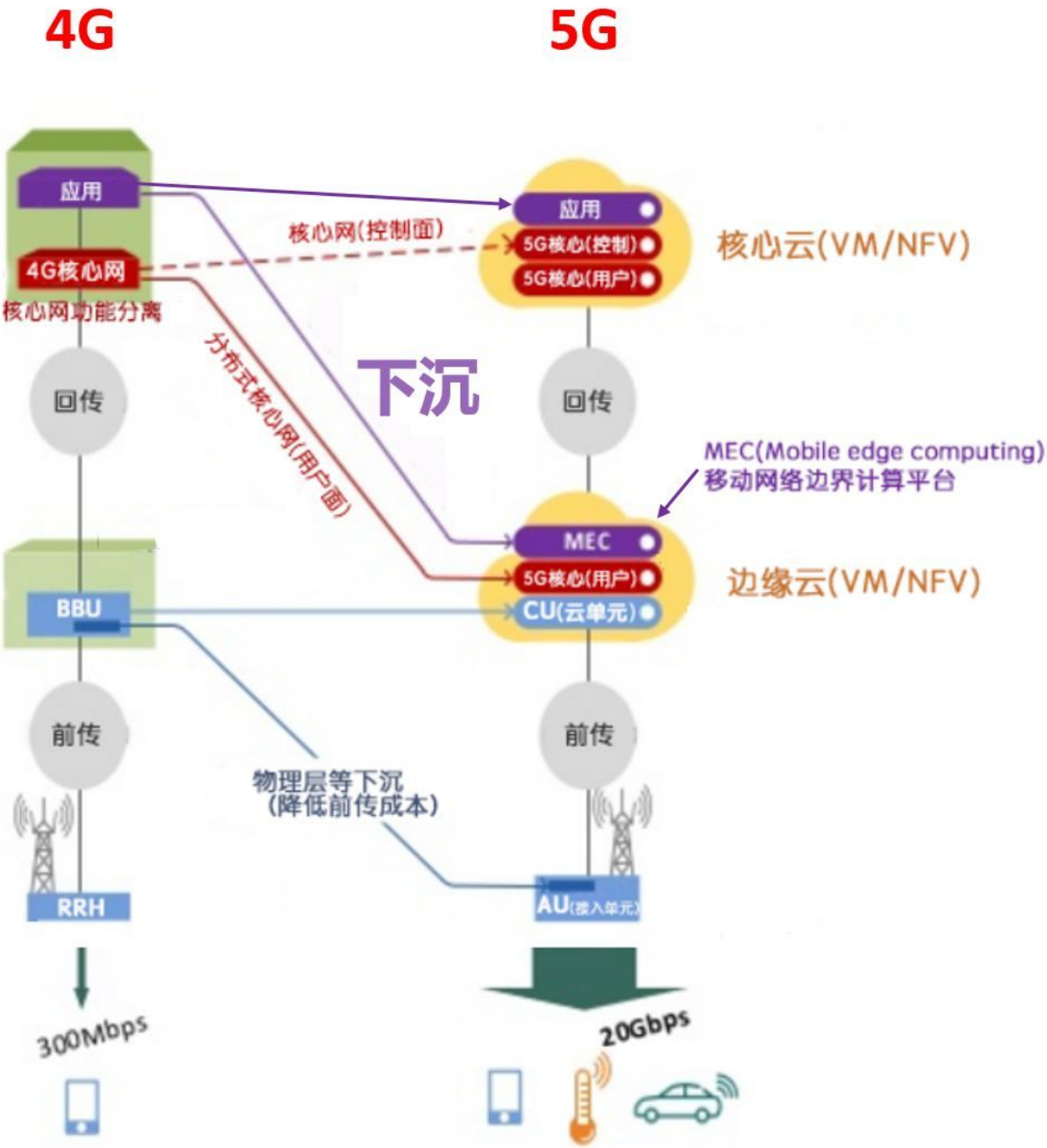


简单来说，AAU=RRU+天线

如果还不太清楚，我们看一下下面这张图：



注意，在图中，EPC（就是4G核心网）被分为New Core（5GC，5G核心网）和MEC（移动网络边界计算平台）两部分。MEC移动到和CU一起，就是所谓的“下沉”（离基站更近）。



核心网部分功能下沉

之所以要**BBU功能拆分、核心网部分下沉**，根本原因，就是为了满足5G不同场景的需要。

5G是一个“万金油”网络，除了网速快之外，还有很多的特点，例如时延低、支持海量连接，支持高速移动中的手机，等等。

不同场景下，对于网络的特性要求（网速、时延、连接数、能耗...），其实是不同的，有的甚至是矛盾的。

例如，你看高清演唱会直播，在乎的是画质，时效上，整体延后几秒甚至十几秒，你是没感觉的。而你远程驾驶，在乎的是时延，时延超过10ms，都会严重影响安全。



无人驾驶



VR/AR



智慧城市

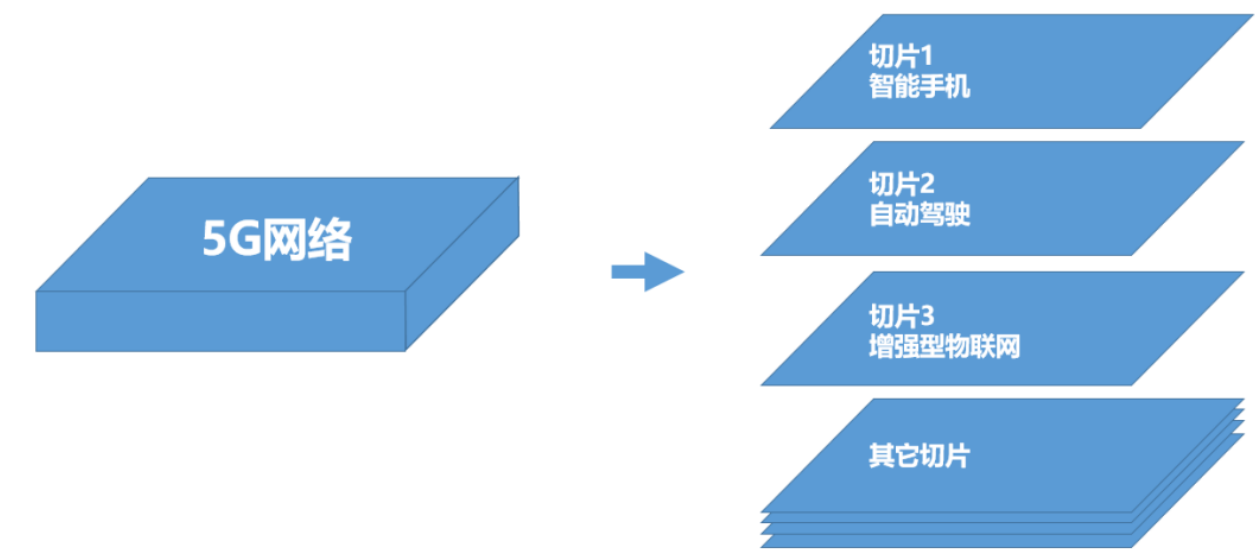


工业自动化

所以，把网络拆开、细化，就是为了更灵活地应对场景需求。

说到这里，就要提到5G的一个关键概念——「切片」。

切片，简单来说，就是把一张物理上的网络，按应用场景划分为N张逻辑网络。不同的逻辑网络，服务于不同场景。



不同的切片，用于不同的场景

网络切片，可以优化网络资源分配，实现最大成本效率，满足多元化要求。

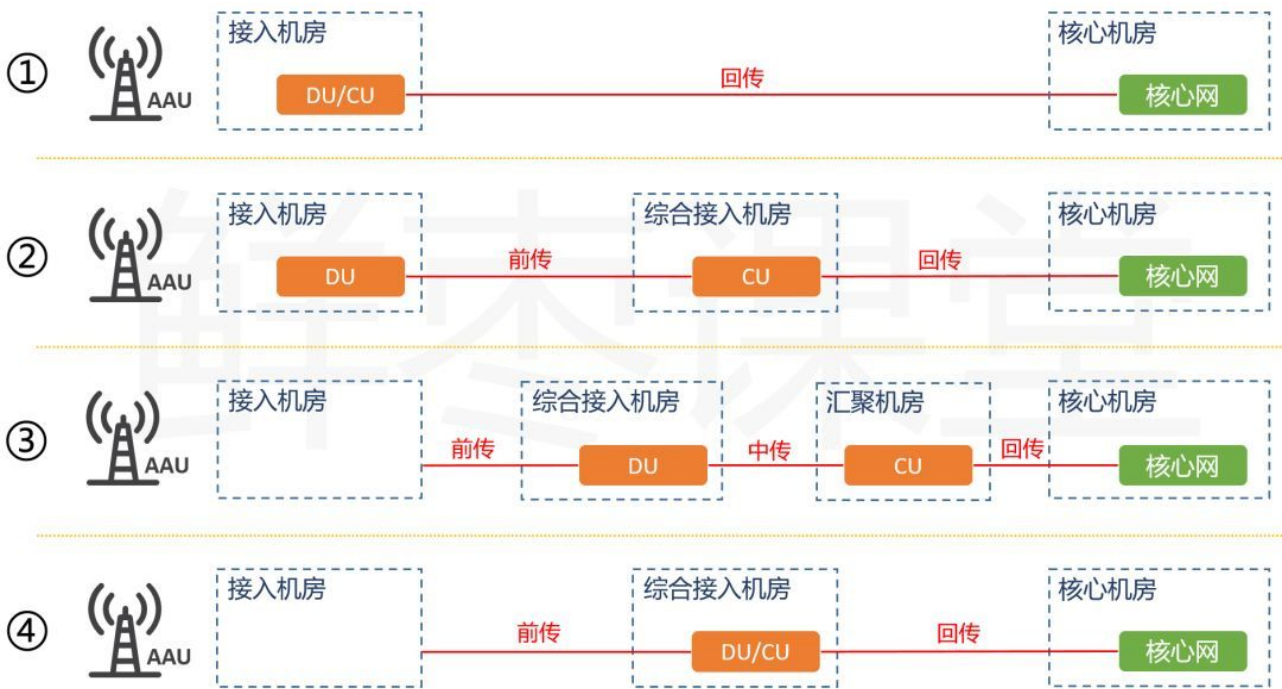


可以这么理解，因为需求多样化，所以要网络多样化；因为网络多样化，所以要切片；因为要切片，所以网元要能灵活移动；因为网元灵活移动，所以网元之间的连接也要灵活变化。



所以，才有了DU和CU这样的新架构。

依据5G提出的标准，CU、DU、AAU可以采取分离或合设的方式，所以，会出现多种网络部署形态：



回传、中传、前传，是不同实体之间的连接

上图所列网络部署形态，依次为：

① 与传统4G宏站一致，CU与DU共硬件部署，构成BBU单元。

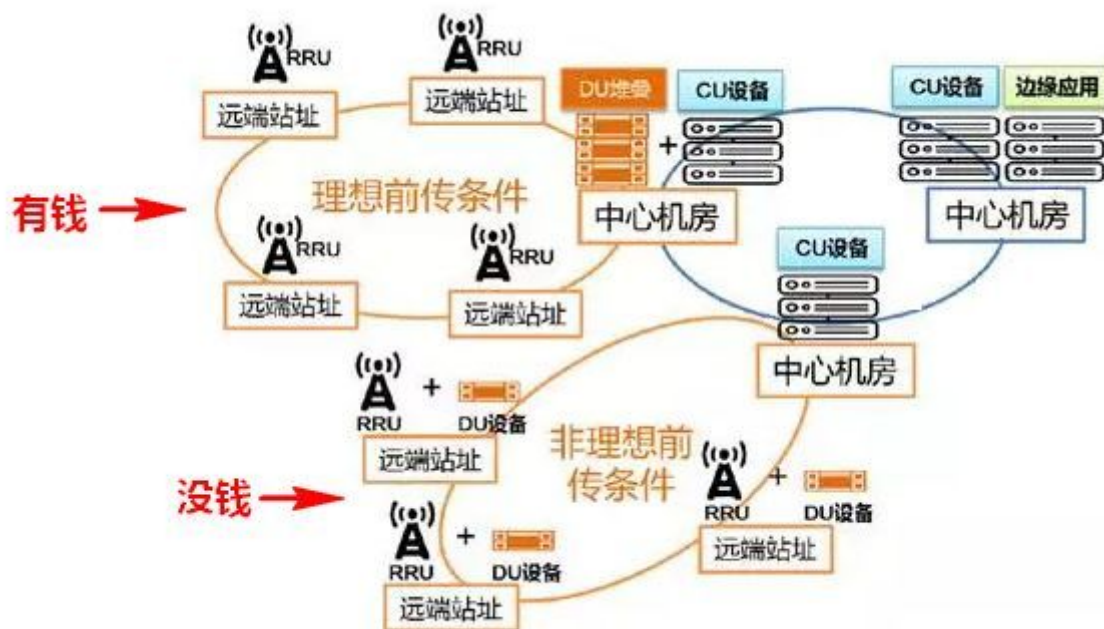
② DU部署在4G BBU机房，CU集中部署。

③ DU集中部署，CU更高层次集中。

④ CU与DU共站集中部署，类似4G的C-RAN方式。

这些部署方式的选择，需要同时综合考虑多种因素，包括业务的传输需求（如带宽，时延等因素）、建设成本投入、维护难度等。

举个例子，如果前传网络为理想传输（有钱，光纤直接到天线那边），那么，CU与DU可以部署在同一个集中点。如果前传网络为非理想传输（没钱，没那么多光纤），DU可以采用分布式部署的方式。



再例如，如果是车联网这样的低时延要求场景，你的DU，就要想办法往前放（靠近AAU部署），你的MEC、边缘云，就要派上用场。



好了，通过前面的讲解，我们应该已经大体对5G接入网的概念有了一定程度地了解，那么接下来我们再来简单地谈一谈5G承载网。

二、5G承载网

有同学就问，5G不仅仅只在接入网有变化，在即将到来的5G时代，5G的承载网和传送网会是个什么样子，会采用什么黑科技？



业界有一句话，就是承载先行。这也体现了承载网的重要性，为什么说它重要呢？因为承载网是基础资源，必须先于无线网部署到位。前面我们提到过5G的主要优点，总结而言，就三个：

1Gbps的用户体验速率：eMBB

毫秒级的延迟：uRLLC

百万级/km²的终端接入：mMTC

5G想要满足以上应用场景的要求，承载网是必须要进行升级改造的。

注意！划重点啦！下面这段文字很重要！

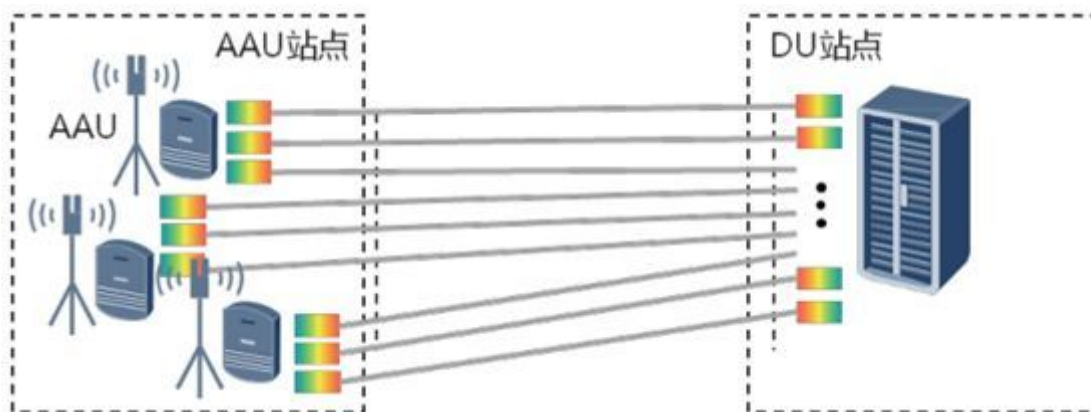
在5G网络中，之所以要功能划分、网元下沉，根本原因，就是为了满足不同场景的需要。前面再谈接入网的时候，我们提到了前传、回传等概念说的就是承载网。因为承载网的作用就是把网元的数据传到另外一个网元上。

这里我们再来具体看看，对于前、中、回传，到底怎么个承载法。

首先看**前传（AAU↔DU）**。主要有三种方式：

第一种，**光纤直连方式**。

每个AAU与DU全部采用光纤点到点直连组网，如下图：

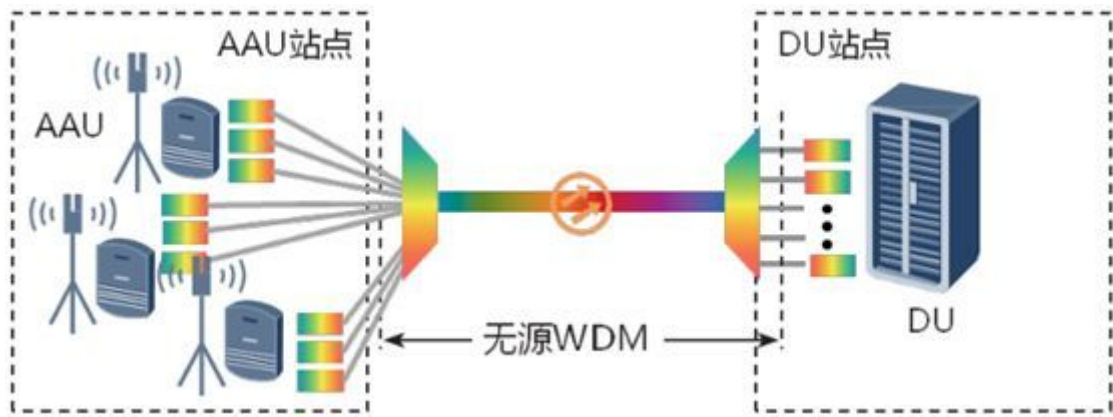


这就属于典型的“土豪”方式了，实现起来很简单，但最大的问题是光纤资源占用很多。随着5G基站、载频数量的急剧增加，对光纤的使用量也是激增。

所以，光纤资源比较丰富的区域，可以采用此方案。

第二种，**无源WDM方式**。

将彩光模块安装到AAU和DU上，通过无源设备完成WDM功能，利用一对或者一根光纤提供多个AAU到DU的连接。如下图：



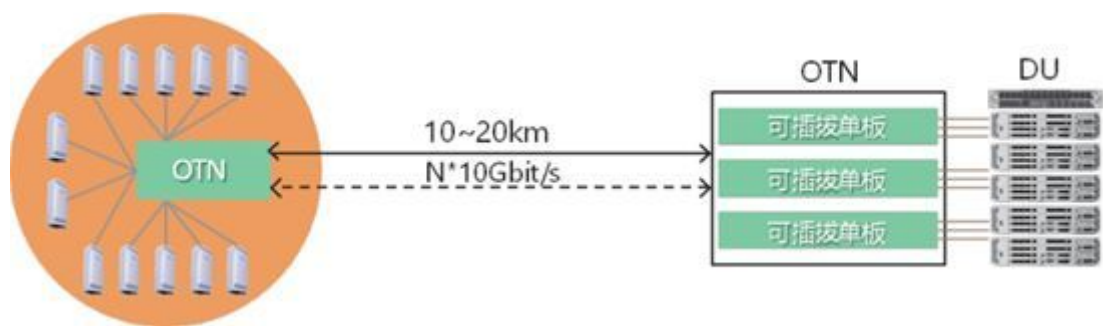
什么是彩光模块？

光复用传输链路中的光电转换器，也称为WDM波分光模块。不同中心波长的光信号在同一根光纤中传输是不会互相干扰的，所以彩光模块实现将不同波长的光信号合成一路传输，大大减少了链路成本。

采用无源WDM方式，虽然节约了光纤资源，但是也存在着运维困难，不易管理，故障定位较难等问题。

第三种，有源WDM/OTN方式。

在AAU站点和DU机房中配置相应的WDM/OTN设备，多个前传信号通过WDM技术共享光纤资源。如下图：



这种方案相比无源WDM方案，组网更加灵活（支持点对点 and 组环网），同时光纤资源消耗并没有增加。

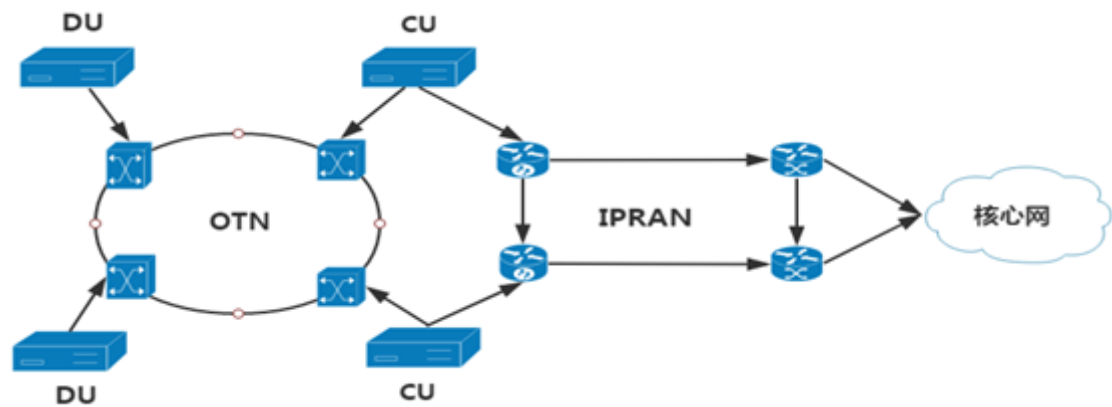
看完了前传，我们再来看看中传（DU↔CU）和回传（CU以上）。

由于中传与回传对于承载网在带宽、组网灵活性、网络切片等方面需求是基本一致的，所以可以使用统一的承载方案。

主要有两种方案：

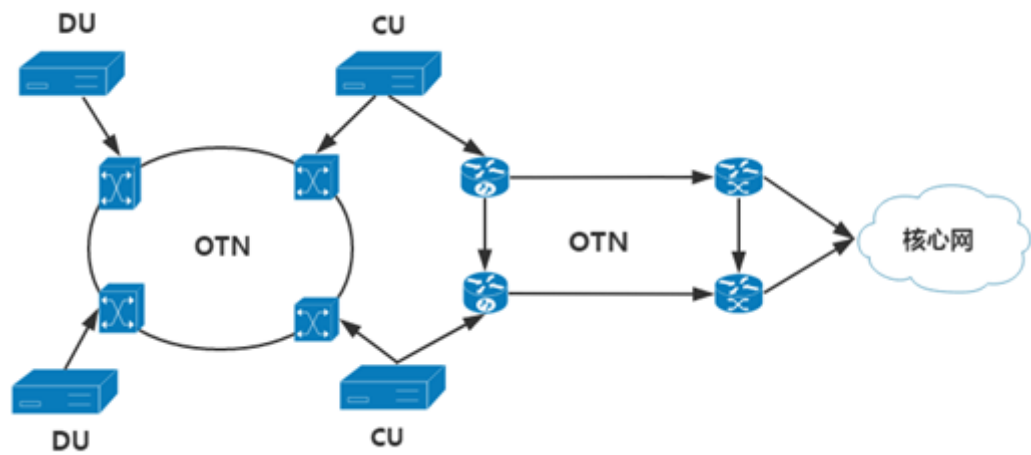
分组增强型OTN+IPRAN

利用分组增强型OTN设备组建中传网络，回传部分继续使用现有IPRAN架构。



端到端分组增强型OTN

中传与回传网络全部使用分组增强型OTN设备进行组网。



这里我们仅仅对承载网做了最简单的讲解，至于承载网中采用的FlexE分片技术、减低时延的技术、SDN架构等等想了解的小伙伴建议自己查一查。

最后对5G承载网做一下总结：

架构：核心层采用Mesh组网，L3逐步下沉到接入层，实现前传回传统一。

分片：支持网络FlexE分片

SDN：支持整网的SDN部署，提供整网的智能动态管控。

带宽：接入环达到50GE以上，汇聚环达到200GE以上，核心层达到400GE。

三、5G核心网

由于核心网是我认为最难的一块网络，涉及的产品非常多，实话说我也还没有理解透，因此这里采用从2G到5G核心网演进的方式，帮助大家初步了解核心网。尤其会重点说一说，马上进入5G时代了，我们的核心网究竟会变成什么样子。



2G的核心网设备，是这样的：

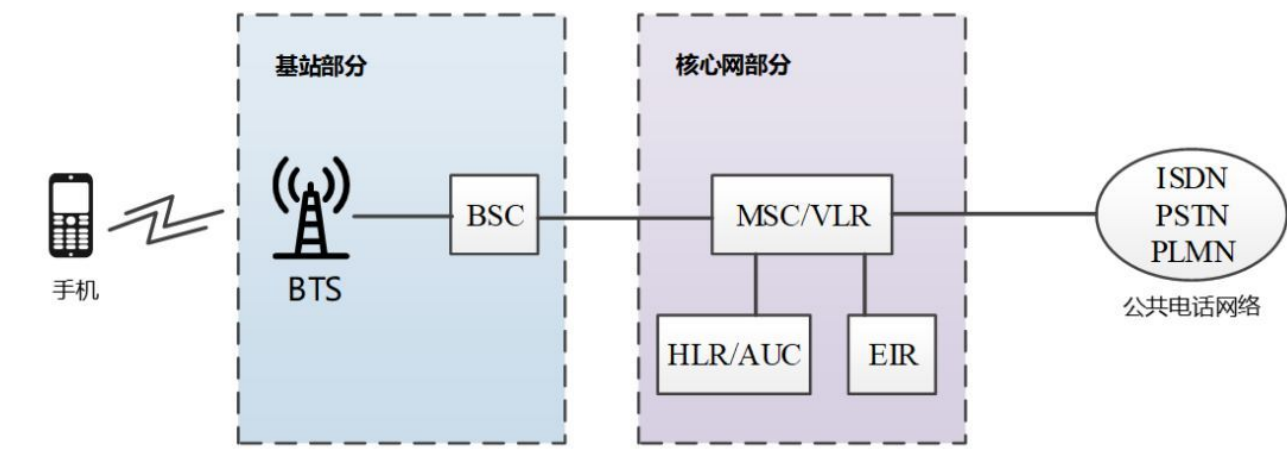


2G核心网设备

大大宽宽的机柜，有好几层机框，然后每层机框插了很多的单板。单板很薄很轻，面板是塑料的，很容易坏。

这个设备，名字就叫**MSC (Mobile Switching Center)**，移动交换中心。

我们来看看当时的网络架构图：



2G网络架构

可以看出来，组网非常简单，MSC就是核心网的最主要设备。HLR、EIR和用户身份有关，用于鉴权。

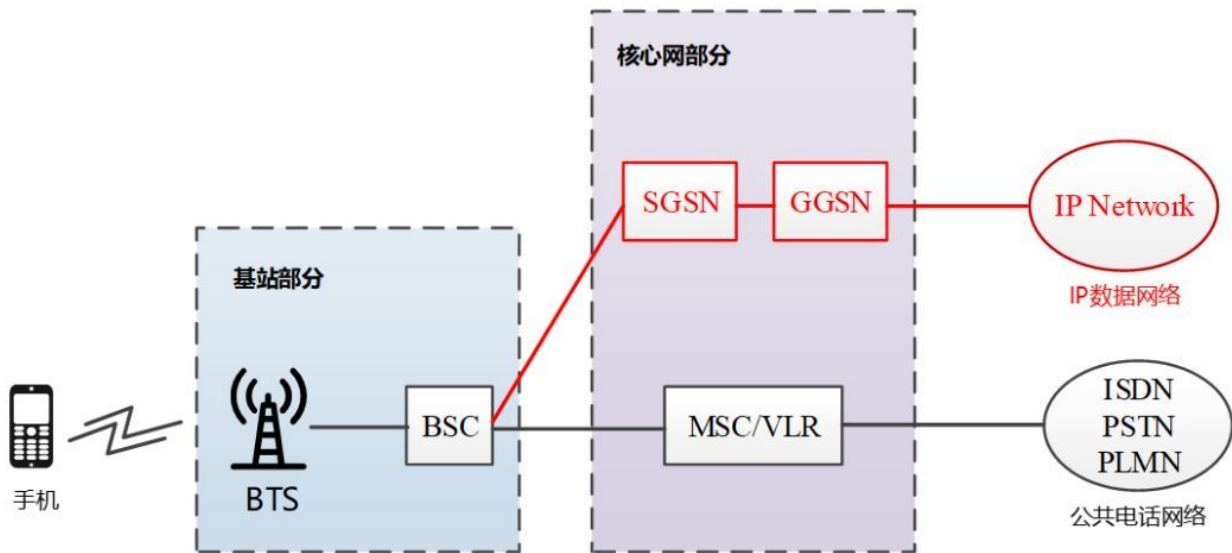
注意：之所以图上面写的是“MSC/VLR”，是因为VLR是一个功能实体，但是物理上，VLR和MSC是同一个硬件设备。相当于一个设备实现了两个角色，所以画在一起。HLR/AUC也是如此，HLR和AUC物理合一。

后来，到了2.5G。是的没错，2G和3G之间，还有一个2.5G——就是GPRS。

在之前2G只能打电话发短信的基础上，有了GPRS，就开始有了数据（上网）业务。



于是，核心网有了大变化，开始有了PS核心网。PS，Packet Switch，分组交换，包交换。



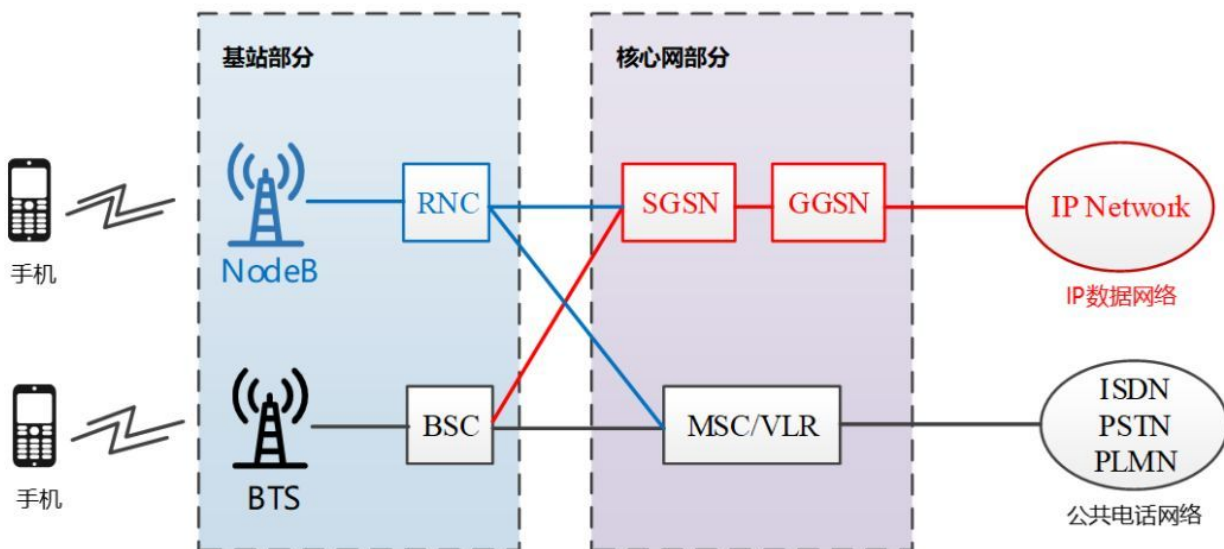
红色部分为PS交换

SGSN : Serving GPRS Support Node , 服务GPRS支持节点

GGSN : Gateway GPRS Support Node , 网关GPRS支持节点

SGSN和GGSN都是为了实现GPRS数据业务

很快，基站部分跟着变，2.5G到了3G，网络结构变成了这样：



(为了简单，HLR等网元我就没画了)

3G基站，由RNC和NodeB组成。

到了3G阶段，设备商的硬件平台进行彻底变革升级。



机架内部

（单板比2G重，而且面板都是金属的）



机框后侧

（主要是提供网线、时钟线、信号线接口）

大家不要小看了硬件平台，实际上，就像最开始**华为的C&C08**、**中兴的ZXJ10**一样，设备商自家的很多不同业务的设备，都是基于同一个硬件平台进行开发的。不可能每个设备都单独开发硬件平台，既浪费时间和精力，又不利于生产和维护。

稳定可靠且处理能力强大的硬件平台，是产品的基石。

3G除了硬件变化和网元变化之外，还有两个很重要的思路变化。其中之一，就是IP化。

以前是TDM电路，就是E1线，中继电路。



粗重的E1线缆

IP化，就是TCP/IP，以太网。网线、光纤开始大量投入使用，设备的外部接口和内部通讯，都开始围绕IP地址和端口号进行。



硬件平台上的光纤

第二个思路变化，就是分离。

具体来说，就是网元设备的功能开始细化，不再是一个设备集成多个功能，而是拆分开，各司其事。

在3G阶段，是分离的第一步，叫做承载和控制分离。

在通信系统里面，说白了，就两个（平）面，用户面和控制面。如果不能理解两个面，就无法理解通信系统。

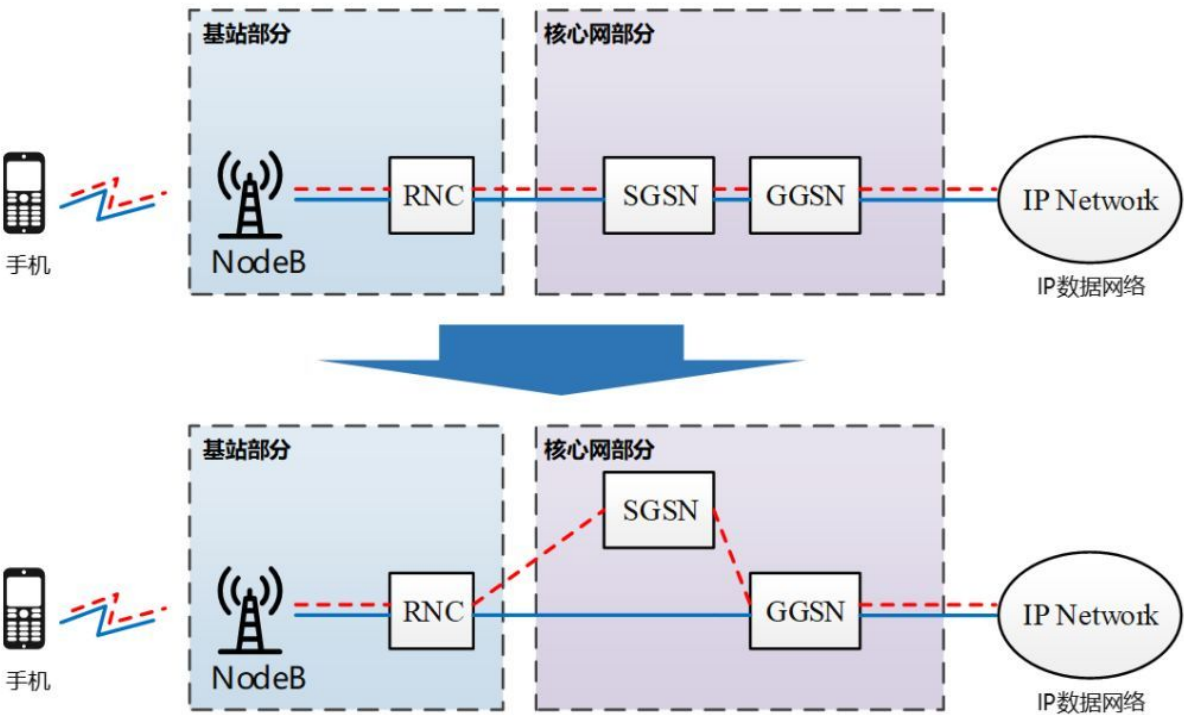


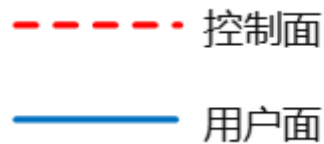
用户面，就是用户的实际业务数据，就是你的语音数据，视频流数据之类的。

而控制面，是为了管理数据走向的信令、命令。

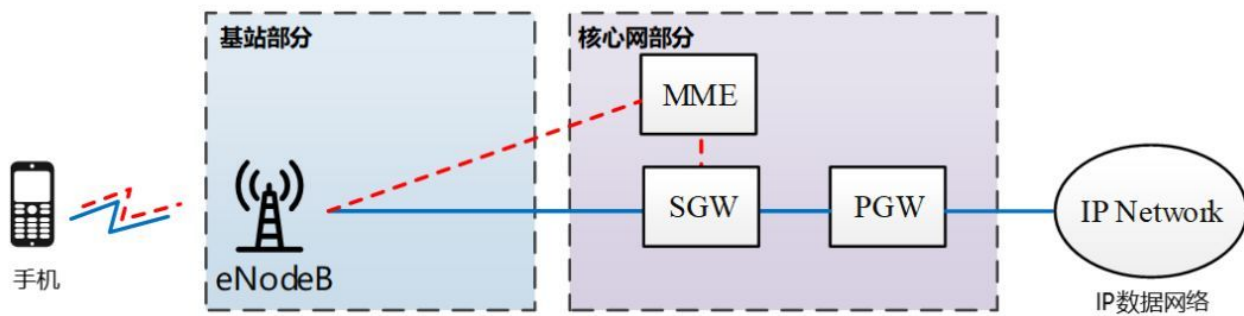
这两个面，在通信设备内部，就相当于两个不同的系统，

2G时代，用户面和控制面没有明显分开。3G时代，把两个面进行了分离。





接着，SGSN变成MME，GGSN变成SGW/PGW，也就演进成了4G核心网：



4G LTE网络架构

（注意，基站里面的RNC没有了，为了实现扁平化，功能一部分给了核心网，一部分给了eNodeB）

MME：Mobility Management Entity，移动管理实体

SGW：Serving Gateway，服务网关

PGW：PDN Gateway，PDN网关

演进到4G核心网之前，硬件平台也提前升级了。

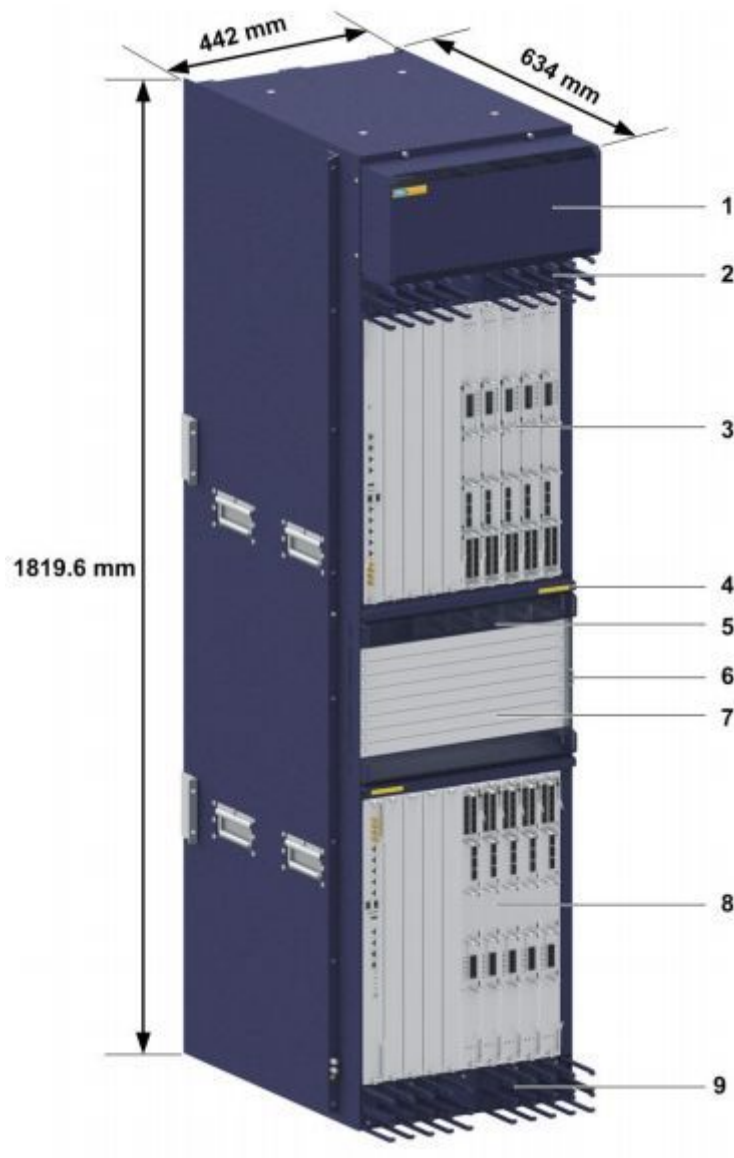
华为的USN系列，开始启用ATCA/ETCA平台（后来MME就用了它），还有UGW平台（后面PGW和SGW用了它，PGW和SGW物理上是一体的）。



中兴ATCA机框

ATCA : Advanced Telecom Computing Architecture , 先进电信计算架构

ETCA : enhanced ATCA , 增强型ATCA



中兴xGW (T8000) 硬件平台

其实就是一个大路由器

在3G到4G的过程中，IMS出现了，取代传统CS（也就是MSC那些），提供更强大的多媒体服务（语音、图片短信、视频电话等）。IMS，使用的也主要是ATCA平台。

前面所说的V3平台，实际上很像一个电脑，有处理器（MP单板），有网卡（以太网接口卡，光纤接口卡）。而V4的ATCA平台，更像一台电脑了，前面你也看到了，名字就叫“先进电信计算平台”，也就是“电信服务器”嘛。

确切说，ATCA里面的业务处理单板，本身就是一台单板造型的“小型化电脑”，有处理器、内存、硬盘，我们俗称“刀片”。



ATCA业务处理板——“刀片”

（ 没找到中兴的，只能放个华为的 ）

既然都走到这一步，原来的专用硬件，越做越像IT机房里面的x86通用服务器，那么，不如干脆直接用x86服务器吧。

于是乎，虚拟化时代，就到来了。

虚拟化

虚拟化，就是网元功能虚拟化（ Network Function Virtualization ， **NFV** ）。

说白了，硬件上，直接采用HP、IBM等IT厂家的x86平台通用服务器（ 目前以刀片服务器为主，节约空间，也够用 ）。



传统厂家专有硬件



IT业界通用硬件

软件上，设备商基于openstack这样的开源平台，开发自己的虚拟化平台，把以前的核心网网元，“种植”在这个平台之上。

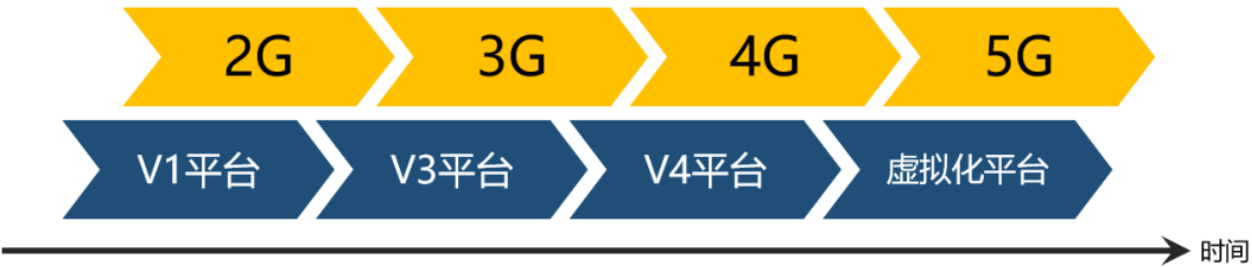


网元功能软件与硬件实体资源分离

注意了，虚拟化平台不等于5G核心网。也就是说，并不是只有5G才能用虚拟化平台。也不是用了虚拟化平台，就是5G。

按照惯例，设备商先在虚拟化平台部署4G核心网，也就是，在为后面5G做准备，提前实验。

硬件平台，永远都会提前准备。



好了，上面说了5G核心网的硬件平台，接下来，我们仔细说说5G核心网的架构。

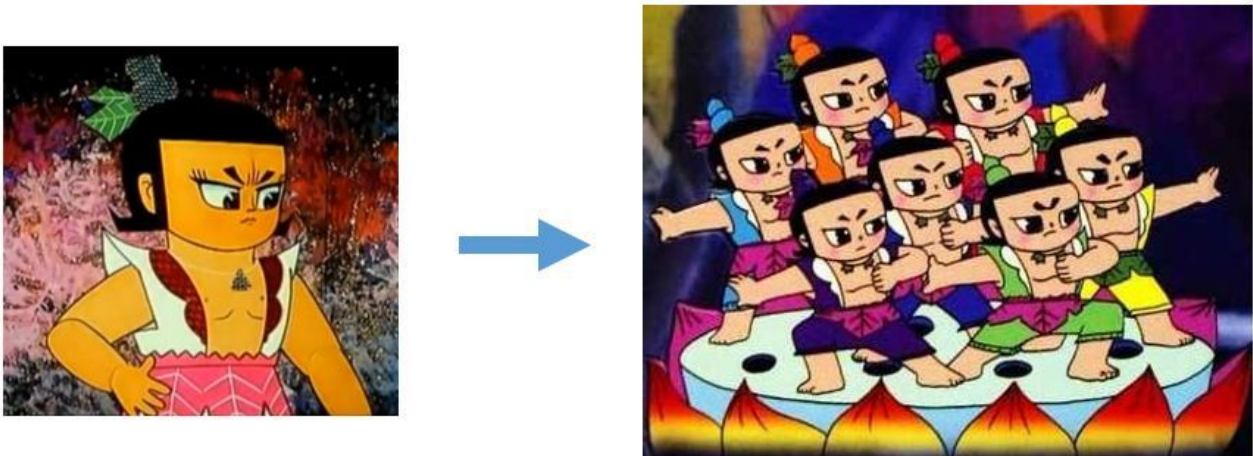
到了5G，网络逻辑结构彻底改变了。

5G核心网，采用的是SBA架构（Service Based Architecture，即基于服务的架构）。名字比较好记，呵呵...



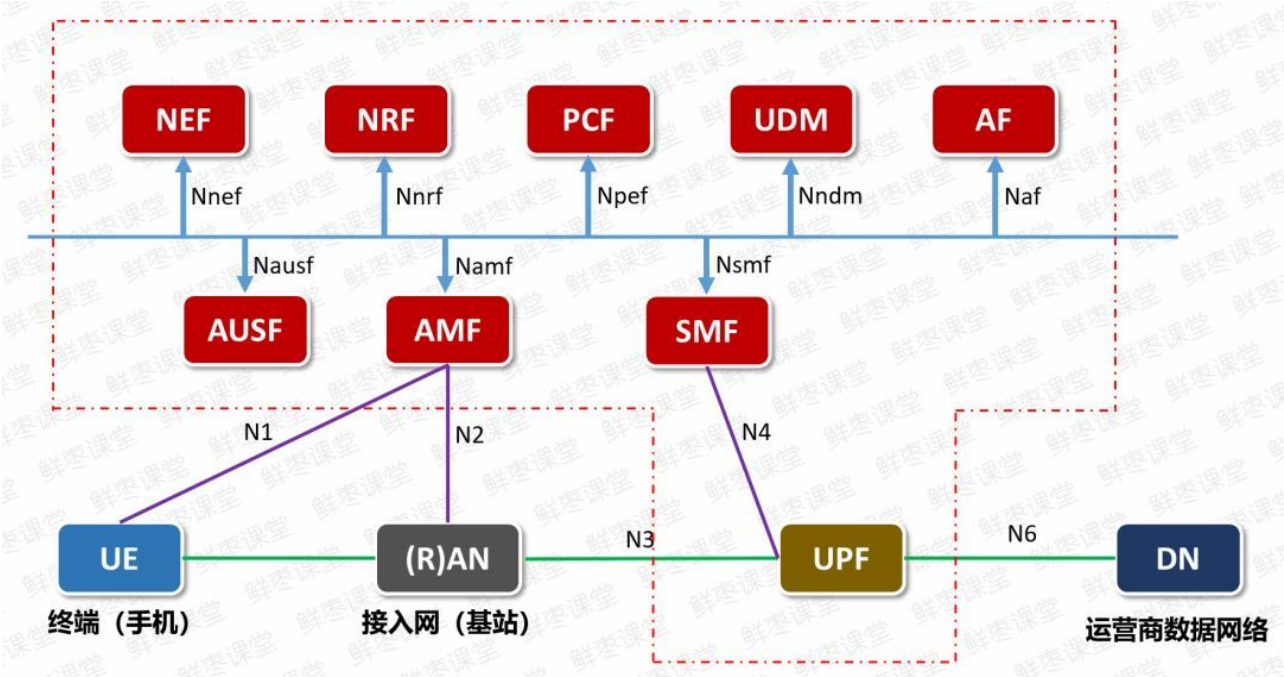
SBA架构，基于云原生构架设计，借鉴了IT领域的“微服务”理念。

把原来具有多个功能的整体，分拆为多个具有独自功能的个体。每个个体，实现自己的微服务。



单体式架构（Monolithic）→ 微服务架构（Microservices）

这样的变化，会有一个明显的外部表现，就是网元大量增加了。



红色虚线内为5G核心网

除了UPF之外，都是控制面

5G网络功能	中文名称	类似4G EPC网元
AMF	接入和移动性管理	MME中NAS接入控制功能
SMF	会话管理	MME、SGW-C、PGW-C的会话管理功能
UPF	用户平面功能	SGW-U+PGW-U用户平面功能
UDM	统一数据管理	HSS、SPR等
PCF	策略控制功能	PCRF
AUSF	认证服务器功能	HSS中鉴权功能
NEF	网络能力开放	SCEF
NSSF	网络切片选择功能	5G新增，用于网络切片选择
NRF	网络注册功能	5G新增，类似增强DNS功能

这些网元看上去很多，实际上，硬件都是在虚拟化平台里面虚拟出来的。这样一来，非常容易扩容、缩容，也非常容易升级、割接，相互之间不会造成太大影响（核心网工程师的福音）。

简而言之，5G核心网就是模块化、软件化。

5G核心网之所以要模块化，还有一个主要原因，就是为了“切片”。



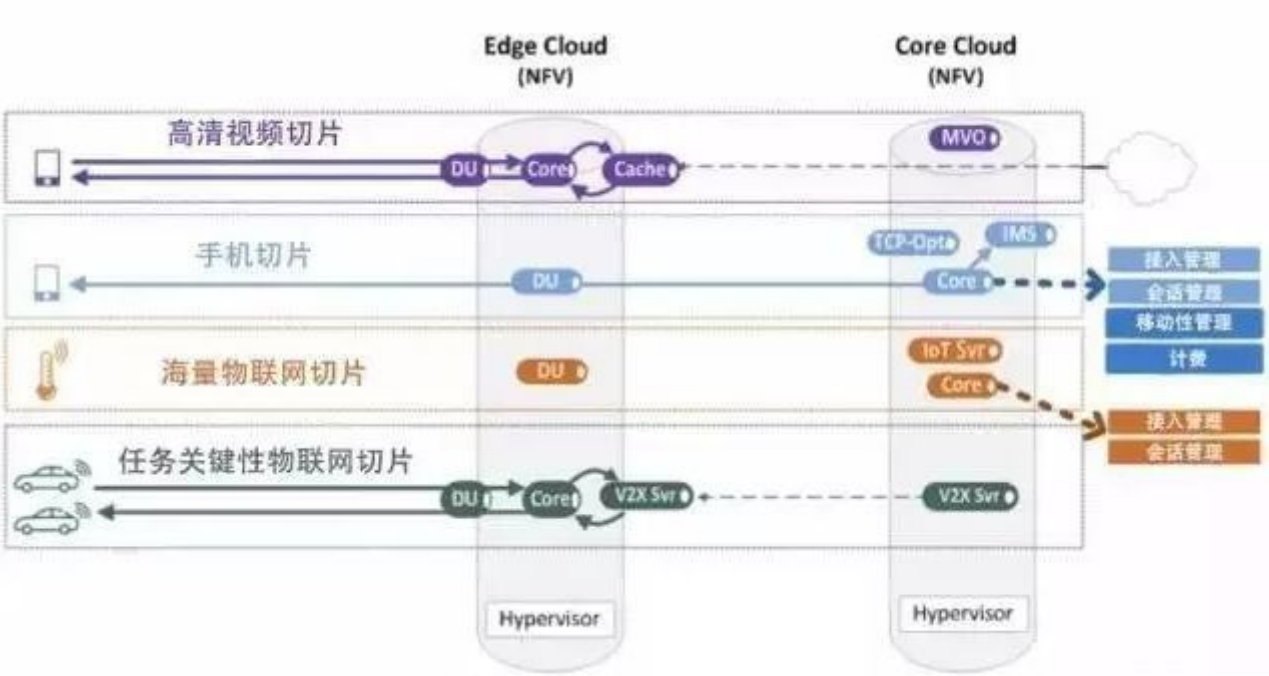
很多人觉得“切片”很难，其实并非如此。

切片，就是“多种人格”。同一样东西，具有不同的特性，以应对不同的场景，也有点像“瑞士军刀”。



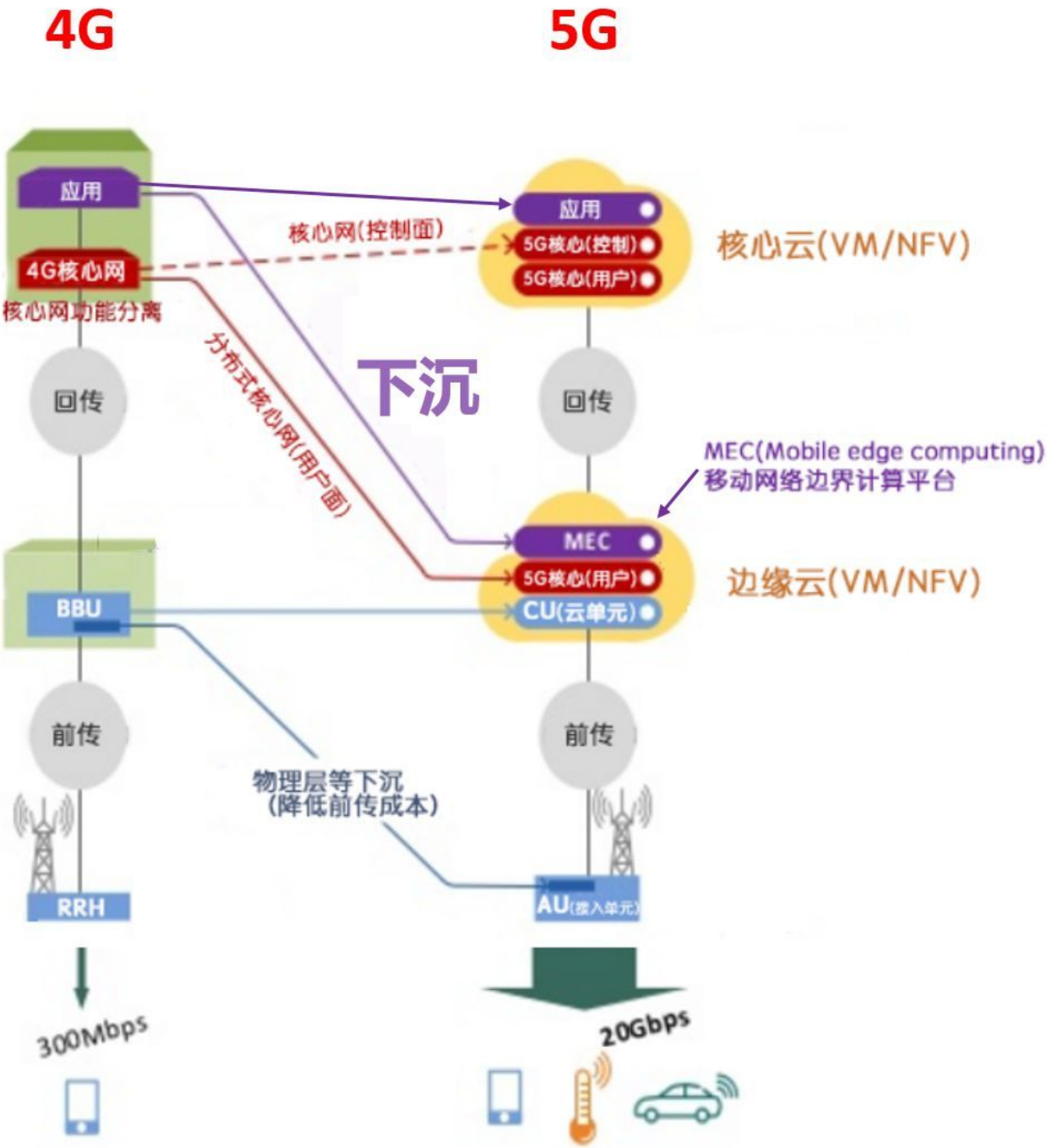
5G是一个天下一统的网络，通吃所有用户。设计之初，就需要它应对各种需求。

既然网络用途不同，当然要见招拆招。以一个死板的固定网络结构去应对，肯定是不行的。只有拆分成模块，灵活组队，才能搞定。



网络切片

例如，在低时延的场景中（例如自动驾驶），核心网的部分功能，就要更靠近用户，放在基站那边，这就是“下沉”。



部分核心网功能，“下沉”到了MEC

下沉不仅可以保证“低时延”，更能够节约成本，所以，是5G的一个杀手锏。

以上，就是从2G到5G，核心网整个的演进过程和思路。并不难理解吧？

简单概括，就是拆分、拆分、再拆分，软件、软件、更软件。

在将来，核心网的硬件和IT行业的硬件一样。而核心网的软件，就变成手机上面的app一样。

通过以上的讲解希望对大家理解无线通信的网络架构有所帮助！