2019.5.22 分论坛7：空间卫星通信网络前沿论坛

主持人：尊敬的各位专家、各位嘉宾、女士们、先生们，大家下午好！

首先由我来主持今天下午的论坛，今天下午的论坛是由中国空间技术研究院通信卫星事业部、北京邮电大学、东南大学联合承办。作为本次论坛的主持人，非常荣幸向今天的大会后面来介绍各位参会的嘉宾。首先在此我谨代表大会向出席本次会议的各位嘉宾、领导和各位同事们、学生们表示衷心的感谢！

今天大会的主题是空间卫星通信网络，围绕这个主题，其实今天上午在主论坛也展开了很多的讨论，但是讨论主要是围绕着互联网的相关技术，但是随着互联网相关技术的发展，是不是能解决我们所有在生活当中遇到的问题，可以看到由于地面网络本身的限制，在很多的特殊情况下，不是一种解决的唯一的技术手段。随着卫星技术这两年不断的成熟和演进，卫星互联网也逐步引入到了我们互联网当中，成为解决我们日常生活当中，能够随时随地接入互联网一个非常有效的技术途径。

这两年来，对于卫星互联网的研究和发展，已经成为一个热门，一些网络都引起了各级媒体的热议，相关的技术发展，也正在吸引着各个研究人员的一些相关的关注，很多相关的技术研究也在逐步地往前推进和深化论证。

随着这些技术的发展，无论是国内还是国外，很多的工程建设项目也在不断往前推进，像我们正在推进的鸿雁星座计划，以及国内其他的像行云，九天卫星，像银河航天，这些商业航天公司都在推进这样空间的网络。我们这样的一个卫星网络已经成为了一个热议的重点，同时呢，也是个基础研究的焦点。今天我们的论坛就围绕着，在这样的背景下，围绕着微信通行网络的相关的技术，来开展相关的讨论。后面我们有请各位嘉宾共同共济一堂，一起分享在卫星通信网络方向上的研究成果。

首先，我介绍第一位演讲的嘉宾，南京邮电大学教授、卫星通信研究所所长张更新教授，张更新教授主要从事卫星通信、卫星导航、深空通信方面的科研工作，作为课题负责人，完成了国家863计划项目，国家重大专项等20多项科研项目，获军队科技进步一等奖、二等奖、三等奖等多项，同时也是通信学报、数字通信世界等期刊编委，国家863计划重大专项专家组成员，自然科学基金教育部学位与研究生教育等评审专家，是中国电子学会通信学会委员，卫星通信和专网通信技术委员会的委员，中国电子学会和中国通信学会高级会员，中国宇航学会会员。

今天他演讲的题目是低轨卫星物联网技术挑战及解决途径，下面我们用热情的掌声有请张更新教授。

张更新：谢谢主持人的介绍，非常高兴有机会来到我们无线谷，跟大家交流一下我们团队在卫星物联网方面的心得。

我讲的是低轨卫星物联网特点和关键技术。我的汇报主要是从三个方面来介绍，前面做一个影子，给大家做一个铺垫，因为在座一部分是搞卫星的，目前卫星通信发展比较迅速的是低轨卫星通信这一块，目前从技术方向上来讲，分为三大类，分别是宽带卫星通信，宽带化的特点，一个是应用模式上来讲，目前主要第二列来讲，应用模式上来讲，宽带上面也介绍到了，刚才发展的重点，宽带网络是互联网方面，比较高的频段是美国的web，太空穿梭公司，第二个是主要是面向个人在全球范围内解决一个移动通信的问题，主要是解决实时，窄带互联网接入，第一代主要是美国的两大系统，一个是E系统，一个是全球星。第二个是小L系统，是有别于大L的，能够打电话的，小L只能传数据，不能打电话，工作频率一般在1G以下，最典型的特征是，目前真正建成全球性的，到了目前，大家可能了解到国内商业航天非常火爆，目前侧重的方向都是在小L开展了很多的业务，相对来说这个表上可以看到，大L型的成本是非常高的，一般情况下都是几十亿美元计，小L系统，相对来说成本低很多，小L起步相对比较低一点，这是目前已经建成。用现在时髦的话来说，当年主要是解决视频采集，现在叫做物联网。

卫星数有一个基本的作用，到了2010年以后，因为传统的系统是九十年代提出来的，过去20年之后，2010年提出了新一代的L，典型代表就是一网系统，全球的一个宽带互联网接入，这个系统计划一直在变，目前获得的数据，就是整个星座数是2680颗。一开始是648颗卫星，后来涨到720，后来又涨，目前是真正开始建设，是有可能建成全球低轨互联网系统。

第二个是马斯克发起的，目前宣称是一万多颗卫星建一个全球系统，特朗普说的，不搞5G，直接搞6G，出发点，就是美国航天技术比中国先进很多，希望一步跨过一个阶段，因为5G方面没有什么优势。马斯克说有大量的卫星，卫星作为基站在天上，为全球提供服务。目前4404颗，主要针对还是低轨的，目前在电联正式登记的，有很多计划还没有得到电联的认可，后面是小一点，软件业投资的。最下面是从国内低轨宽带方面，一个是航天科技的红燕（音），一个是航天科工的红云（音），后面一个系统规模小一点，已经发了第一颗星了，不知道能力怎么样，最起码用这个名称也发上去了，证明了存在。

不管怎么说，新一代的系统，我们知道从2011年开始到现在，目前计划是在2020年左右，希望能够开始组网提供服务，大家看到目前炒得比较热，都是试验性，都是提供服务的，真的要谈提供服务还要几年时间。

第一个星座来讲，目前是三个技术路线，如果说你想提供全球互联网服务，走的是宽带L路线，典型的特征是高频段，用物理通信的技术来提供一流的服务。第二种是针对大L的，移动通信的体系。是可以放到卫星上的模式，大L就是4G、5G的路线，移动过程中的窄带通信。第三个如果是这样，我们未来想以物联网业务为主的话，显然主要走的是小L的服务路线，今天我们想接下来跟大家交流的。

这是第一个方面的介绍，第二个方面，我们跟大家简单介绍一下，为什么说我们要做物联网。物联网大家作为日常生活一部分，未来网络讨论非常多，对卫星物联网来讲，跟地面物联网，第一个民用利用价值肯定有的，第二个是军用价值，发展卫星物联网有两方面的意义。

2017年物联网元年，实现物的连接超过了人的连接，应该说现在很多国家专网的劳拉体制为代表的一些系统，公网MBRT，窄带物联网，发展非常快。在地面有重大经济需求的地方，基本上都得到了广泛的应用。大家说地面物联网发展非常好，我们为什么还要建卫星物联网？实际上无论是走授权公网体制的MBRT，还是走非授权频段的，专网体制劳拉为代表，实际上要实现向用户提供物联网服务基本前提是必须要有基站，光有基站也是不够的，还需要一个网络，地面一般情况下要有光纤网络，把所有的基站互联起来，才能向用户提供服务。

实际上我们知道世界上有很多地方是建不了基站的，最典型的地方，地球上海洋面积70%，陆地面积30%，陆地面积还有山区、沙漠、森林、草原，这些地方地广人稀，也是不适合建基站的。在一些用户稀少的地方，我们建一个基站是需要成本，如果没有用户，电信值app值非常低的话，成本是很高的，这是经济方面考虑的。还有一个我们国家也是多发灾难的国家，一发生自然灾害，一旦光缆断了，即使基站不被损坏也不能用，容易受各种自然灾害的影响，如果大家讲物联网真的是智慧地球，或者军事要求来讲，需要无线连接的，光靠有线显然是不行的，是根本没办法运用的，无线手段，卫星是目前最好的一种手段，最经济，也是最可能的一种手段。

还有一个简单的数据，目前地面网覆盖范围，美国和中国覆盖了国土面积20%，目前我们全球地面网覆盖范围大概是全球表面积的3%左右，97%未来只有靠卫星。所以说建物联网，作为地面物联网的延伸和补充，是实现物联网全球覆盖唯一的手段，或者唯一经济手段。当然了，我们要说清楚的是，是一个唯一手段，但是在业务量上，可能卫星物联网的业务量非常小，因为卫星物联网可能覆盖了90%以上的面积，但是用户数可能只有千分之一或者万分之一，我们是讲范围，卫星讲的是覆盖的广度，密度比地面密度低很多，只有用户密度低很多，这就是为什么组建卫星的物联网。

卫星物联网，有两种，一种是高轨，一种是低轨，高轨已经得到使用，比如说国外的系统叫（ 英语），收购了物联网的公司，提供物联网的服务，给海上船舶，轮机、集装箱监测等等。国内物联网提供服务的系统也有，比如说北斗，现在北斗在为渔船，还有交通车辆装了北斗的监控。另外我们的天通系统也上来了，目前天通只是电力，天通电路运营业务开展之后，物联网的支持会大大提高，这两个都是高轨的。

对我们国家或者对国外来讲，高轨系统有了，为什么还要低轨呢？从下面几个方面来讲它的必要性。第一个很多物联网业务，5G的几大愿景，第一个就是增强宽带，显然不是卫星能做的，后面两个UR，低时延高可靠和大规模迅速连接，其中一个指标就是时延，时间敏感性业务，选择高轨，轨道高度高，传播时延大，低轨传播时延比较低，对时延敏感性业务来讲，这方面是有优势的。

第二个高可靠性在3万6千公里的物联网追求是低功耗、长寿命，对小型化方面是有优势的。

第三个，高轨卫星，无论是北斗还是天通他们在赤道上空，地球是一个球形，南北两级是盖不到的，高轨卫星是有缝的，低轨卫星是有效的手段，可以实现全球无缝。另外一个是电天通，在城市地区或者峡谷地带，因为对于中国来讲，我们有一个数字叫南山效应，我们的卫星在南边，如果你南边有一个山，有一个树挡着不行，如果有一个卫星，你只要看到一个天，低轨卫星会从天上走过，你就可以把信息发给周围的人。

最后一个可能是人力资源非常紧缺，尤其是高轨卫星尤其紧缺，当然低轨也紧缺，不管怎么说，到解决低轨卫星，你要想到美国上空发一个高轨卫星，给你一个频率是非常难的，低轨卫星是有可能的。

从目前来看，国外的情况我们刚刚说过了，国外第一代Lridium已经得到了应用，世界上有海洋监测的系统，都是物联网的应用。目前国外建设的系统也非常多，澳大利亚的Fleet，美国的Kepler公司等等，他们都已经发上去了，严格意义上来讲目前都只是做试验，没有真正开始大规模的使用。都是2020年以后才会开始使用。

对国内来讲，北斗也好、天通也好，在未来的几年内，利用这两大系统提供物联网应用，应该会得到一定的发展。除此之外，低轨系统做了一些试验，国家这几年应该说这方面的投入也比较大，我们国家的天基接入网，有鸿雁、行云，还有很多的九天卫星，国电高科，一大堆几十家。大学科研机构也很多，即将发射或者已经发射上去，各个地方有很多，有很多的一号卫星，要么就是遥感，要么就是物联网。

这几年无论是军事的，还是政府的，以及民用航天或者商业航天，卫星物联网是发展的一个重点方向。

给大家介绍了一下基本的情况，下面来讲一下，主要给大家介绍低轨卫星物联网有哪些特点和需要解决的关键技术。我们讲的特点主要是针对地面物联网的，跟地面物联网相比，第一个特点就是覆盖范围上来讲，地面一个基站覆盖是公里量级，卫星来讲覆盖范围是千公里量级，单位面积上跟卫星物联网来讲，密度会很低，整个加起来之后，用户量还是不够的。第二呢卫星是一个高运用的，低轨以每秒40公里的速度，在轨道上高速运动，时延是变化的，全部损耗也是变化的，跟地面的连接关系是变的，不像地面网，建好之后，你跟网络的连接关系是不改变的，卫星跟地面网接入一直在发生改变，地面的结构一直在变化，切换是频繁的，这是相对跟地面不同的。

另外从具体上来说，地面物联网是公里量级，卫星是千公里，传播跟地面相比，同样条件下，你还要满足低功耗，对物联网品质设计带来挑战，时延长很多，不能用互联网交互模式来做，那样协议会非常低效。第三，卫星在天上运行，是受很多条件限制，包括重量、体积、功耗等影响卫星的三大要素，首先是要，新的器械的限制，使得资源的限制导致一个卫星的处理能力非常有限，另一方面卫星在全球使用。所以你不想干扰卫星使用的频率，必须在全球是唯一的，换句话来说频率资源也是受限的。如果频率做不到唯一，你发的不是非常大，所有给你的系统，都是互相干扰，谁也无法工作。功率也是受限的，卫星在天上，是靠太阳能发电，面积这么大，产生的功率就这么大，你不可能发很大的功率来满足通信的需求。

最后一个特点，制约目前卫星物联网小型化很重要的问题就是，同频干扰的问题，也就是没有频率可用的问题，在座的像陈总和丁总，现在卫星最大的问题是没有频率。对卫星来讲呢，每颗卫星一直在走，对地面所有的用户，如果同样频率的话，不会产生互相干扰，卫星要用这个频率，一定要所有国家，所有用频单位要跟他协调，人家同意你才能使用。难度是非常大的。

第二，在重点服务区域有没有可能，因为物联网肯定要解决小型化，低功耗问题，能不能做一些频率保护，在我们的能力范围之内，把背景噪声降下来，才能使我们小终端用得好，要不然很难用。第三个在国外不能用的前提下，从技术体制上设计，你不能干扰人家。我即使用，对你也是无害的，你对我发电干扰，这方面当然，不管怎么样，这是必须要面对的，如果这个不解决也很难用。

这个是我们讲的国外的一些特点，下面我们讲，围绕这些特点，我们需要解决的关键技术，一个是MRT的架构，一个是劳拉的架构，谁都可以做。

卫星物联网怎么来弄？首先要参考地面物联网的特点，同时也要参考到，因为天上已经存在三大卫星通信了，怎么把卫星通信架构和物联网通信架构相结合，体系是需要研究的。目前的新形势下，重点需要解决的问题，我认为一个是解决天地一体，一个是解决军民融合的问题，卫星互联网是整个物联网的一部分，所有的信息最后能够融入到互联网中去，跟地面物联网，绝大部分用户所处的物联网联合起来，变成用户看到，实际上物联网是落是两张网，我们看到是一个。军民之间业务差别是非常大的，如何满足不同差异化的需求。

第二个物联网相对传统的卫星通信的特点就是海量连接，传统的微信通信网用户数很有限的，目前世界上最大的卫星通信网也就是一两万，我们卫星网的规模一般都是几百个，几十个，超过一千个在我们国家也不超过三个。某种意义上都是小规模的，传统，我们的网络管理技术，运用控制技术都是针对小规模，对于海量用户连接条件下，怎么来保证我们海量用户的随意接入。

还有一条，我感觉要解决两方面问题，怎么让用户随意接入，物联网终端很多都是傻瓜式，你不能给他非常复杂的功能。怎么保证上星用户做到随意接入。第二个呢，大容量并发信号可靠接收，物联网成本是非常便宜，是靠海量用户挣钱，卫星也在走这一条道，有更多的用户这条系统才更有价值。显然用户多了之后，带来一个问题是什么呢？一个卫星的转换，按照地面化的基站，不可能给用户很多的限制，要随意接入，用户大了发生碰撞的概率大大提高了，传统卫星体制设计不发生碰撞就是无法接收到的。显然在卫星物联网如果还是用这种机制去做的话，显然是走不通的。我们需要解决的什么呢？首先承认在卫星物联网从信号碰撞是一种常态，你要在碰撞条件下，怎么保证信号的接收。当然有一些关键技术，还有信号分离技术，这些都是可用的手段，国内外目前这方面研究也比较多，如何来解决大容量并发信号发生碰撞条件下如何实现信号的检测问题。

第四个技术叫资源的动态管控。物联网业务种类非常多，我们从通信的模式上来讲，一个是单发的，采集类的，就是发，第二个是双向交互型的，还有是双向广播型。另外从时效性来讲，时间不敏感性，水平气压采集，晚个半小时也无所谓。如果有些特殊的行业，是不能这样的。还有一些互联网业务是抄表性的，一天几十个bt就够了，你有视频间，有编剧管控，物联网严格意义上统称物联网，里面非常得非常多，不同的专类，业务特征，物联网跟传统卫星最大的不同，传统卫星首先要选址，找一个合适的地方建站。物联网是抛洒式的，飞机一抛洒去了全部都有了。

还有传输体制设计，前面介绍的，国内外大量的企业和公司单位，都要建成物联网，必然面临着频率没有，很多系统肯定同频工作，同频工作结果是都是为各自干的，低功耗还有低成本，要参考地面的体制，还要结合卫星的特点，还要分析不同用户和场景，业务性质不同，不可能说一种互联网终端这是不可能的，还有分种类的。

物联网来讲，第一个要让一个网络为更多人业务提供服务，这个网络必须是要高效，低效怎么保证用户量呢，高效通信协议，我们解决第一个，协议一定要是大时延，另外地面是永远想要卫星终端的问题，要尽快用起来，不能开机很长时间，处理能力比较弱，这些都有影响，使得设计一个协议能够保证高效的通信。

第二个，有些用户可能是有要求，希望物联网终端是安全的，因为物联网是无人值守，使用产品不可控。使用场景不可控，安全防护的机制方面也是不合适的。这方面就是，我们目前想到，我们认为这些东西需要做的，当然有些已经做了，有些还没有完全开始做，但是我们国家来讲这些东西不应该需要做。

最后我们说物联网得到广泛的关注，未来网络，物联网是一个重要的方面，今天主要是跟大家交流一下在物联网方面的体会，不足之处请大家批评指正，谢谢大家！

主持人：卫星物联网是这几年发展非常重要的热点，随着物联网整合技术的发展和后续需求不断推进，物联网实际上已经扩大了通信网络需要的覆盖范围，卫星是解决无人覆盖地区来解决物联网接入非常好的一个手段。刚才张更新教授非常全面地把卫星物联网的发展历程、需求，总体的构架和关键技术，都做了非常详尽的介绍，非常感谢张更新教授。

下面我介绍一下第二位演讲嘉宾，是西安电子科技大学教授，教育部长江学者特聘教授盛敏教授。今天给我们带来的题目是《5G和卫星网络星地融合的关键技术及挑战》，欢迎盛教授。

盛敏：非常荣幸能够到南京来，在这个未来网络这样一个科研圣地和大家一起交流一下我们西电在5G和未来网络融合方面的想法和思考，也非常感谢承办方五院丁总邀请我们来进行分享。

可以看到我今天给大家汇报的题目是5G和卫星网络星地融合关键技术挑战。我们到底要用什么样的视角去看5G和现在非常热门的卫星网络，尤其是低轨星，尤其是商业航天现在这么火全球的氛围下，怎么从技术上有所突破。

大家觉得我们前一段时间还在说5G的时候，觉得那么遥不可及，5G到2020年的时候就要商用了，主会场电梯里面专门贴了一个，我们5G网络已经布到了主会场，我当时把我手机拿出来看一看，通信每隔10年是一代，我们现在2020年很快就到了，我们的5G应该是遍及千家万户。现在要考量从学术界考量，我们到底5G或者6G，包括在上海ACC里面，我们都听到有7G的概念了，从这个角度我们到底要做什么呢？

首先我还是想从需求牵引这个维度跟大家一起分享一下我的观点。我们有很多很多种网络，3Gpp里面，传统的地面网络和我们的非地面网络，所谓地面网络是以地面网络为主，也包括无人机空域的平台。实际上我们的目标，很早就提到，我们希望在任何时间，任何地方，任何人实现可靠的通信，这是我们做通信人的愿景。实际上我们的需求可以分为几大类，第一个是我们希望我们是这种连续性的，或者连续性接入的服务，换句话说，不管你是简单的步行还是车载，或者是在飞机上，都希望可以满足我们服务的不间断性，服务连续性，这是很重要服务的需求。我们可以看到画了几幅图，电梯上有个别VIP用户可以享受网络的接入，未来可能大家都是可以的。包括在高铁上面高铁速度越来越快，如何满足服务的连续性，是一大类的业务需求。更多是希望大量的比如说更多是物与物之间通信系统的体现。

第三个是可扩展性服务，所谓可扩展性服务，在3GPP里面描述得非常清楚，希望通过卫星的广播特征，然后来实现这样大范围用户的服务的类型。同时，也希望通过卫星和地面网络的融合，可以实现多路并长的情况。现在在我们地面网络时候我们研究通常会说蜂窝网络和无线局域网如何做共传。前三种是3gpp给出来典型三种的服务类型，包括连续性接入服务，泛载性接入服务和可扩展接入服务，有没有其他的类型没有考虑在里面，给出来两种跟大家交流一下。

我们认为还有可提供性服务，尤其是现在这种用户产生的内容的类型，这样的一些服务类型的出现，当然我们知道现在，比如说用户不仅仅是数据的消费者，更多是产生者，这种形态的业务出现，对我们未来的网络，尤其是我们要卫星会给未来网络带来什么样的挑战，因为我们可能会改变传统大家认为做通信就是做网络，我们不会在中间对信息进行任何的加工。随着这样的演进，我们也许不再是简单的数据传输，如果在安全的前提下可能会对信息做加工，这个会对未来的网络结构会有很大的冲击。

还有应急性服务需求也是非常重要的，尤其是卫星网络很重要的用途，就是我们在基础架构，基础设施受到损毁的情况下，还有最基本的通信手段。我们希望从这样五种服务性需求的角度来看，我们就需要通过网络融合，单一网络都有各自的特点，希望把这些网络的特点都能够融合到一起，都可以满足我们的服务需求，所以通过网络融合来增强网络的服务能力，这应该始终是我们想要做的事情，最终的目标还是想要用户的体验，当然这个用户单纯意义上是我们普通的，我们本身也强调机器到机器，其实星地融合实现就是对于用户能力的增强和互补，这一点是很重要，增强和互补，没有说一定把哪一项技术排除在外，而是希望他们能够互补性，进行更友好的体验。融合的目的是从用户无感知的体验的角度，从用户的角度，根本不用在意，到底是哪一张网络给我提供的服务，而是说我希望的对我来说是有感知的。

既然是这样的话，我们从两个维度来理解，第一个，如果想要融合的话，物理空间的角度，我们说星地融合是实现信息流，是从全领域的，网络一方面先给大家汇报过的，5G未来是地面网络是密集化发展的，而同时还要有立体化发展，朝空间这个维度，而信息应该是在全维度里面是可以自由流转的，可以真正保障我们端到端。从真正的网络空间，实际上就要从网络体系的统一，数据传输的衔接来保障我们有效的融合。真正融合内涵，从体验的角度延伸出来物理空间和网络空间我们要怎么做。

大家可以看到，通过这几页的汇报，我们知道5G最早提的时候，是低时延高可靠大容量，再加一个广覆盖，这是非常重要的互补。

有了星地融合的内涵和业务驱动的理解之后，我们大家来看一看，我们到底有什么样的挑战。刚才张教授已经从卫星互联网的角度给大家进行了介绍，我们简单地给出来了几个维度，并不全面。大家可以看到，首先肯定是我们要融合得好，机制体制一定要跟得上，技术体制包括什么呢？从网络架构，到网络协议到控制，都应该能够一体化跟上，所以我们大家知道一个网络架构是什么，决定了你目前提供 样的服务，协议是保证了网络的性能，控制就包括现在大家都知道，我们星地一体，资源数据化怎么用，还有移动性管理等等。网络资源的角度，大家看到了，我们卫星网络和5G网络有一个很重要的，就是将来频率资源是非常受限的；我们有一个很重要的技术，就是要解决星地之间相互干扰的问题，物理资源受限的情况下，还有经济成本，这些实际上是我们一个传统的，和商用民用网络并行线，到变成一个相互互补融合的线，我们是要站在可运营的角度来看这张星地融合网络。

下面我就简单说一下，如果要融合，从网络架构这方面的一些思考。大家可以看到，现在关于网络架构研究也是非常多的，实际上网络架构是网络融合的基石，在ITO，和5G，都给出来了5G和5G融合的4种场景。从宽带传输的中继，第一种就是把卫星网络结合进来之后，是做中继宽带传输。第二种是做宽带移动通信业务。第三个是数据回传及业务分发，主要是运用卫星广覆盖的特征，第四个就是混合多媒体业务，未来大容量业务，以及背景业务怎么样来做。这是需要考量的。

所以我们从场景对应到了业务，这是他们建议的几种场景，实际上从业务的角度大家可以看到，同样还是涉及到我们这个可扩展性服务，这个其实就是我们关注的，网络能不能支持大容量业务，连续性服务，其实说的更直接一些，就是用户的QOS的保证。第三个泛载性服务，就是覆盖的问题。第四个是可再生性服务，当然也有应急性服务，整体上大家可以看到，给出来的应用场景还是面向我们这些服务需求的，最新的，我们知道就是前几天正在5G标准组，他们实际上联合了几所大学做了一个用5G回传的试验，这个试验的结果是说往返试验是18到40毫秒，同时测试了8K的流媒体传输和互联网对话，用5G做回传，这个试验已经做了。

大家仔细看这些应用场景会发现什么，还是前面说的这几大类服务需求，比如说我举个简单的例子，根据需求自适应选择接入类型，这里面这句话的背后，如果我们将来任意一个终端都可以自适应地去选择接入网络，意味着什么呢？意味着我们的用户是不知道，是一个卫星在给你提供服务，这里头背后就是什么？背后其实就是我们标准的统一。也是给出来了这十种应用场景，大家可以体会一下，简单来说大家就可以理解到，最终的目标就是卫星到底是简单的中继，还是将来基站可以上天，还是部分可以上天，就是我这边列的三点，到底只是简单的中继信号，还是说我们将来卫星就是一个空中的基站，还是有部分基站在天上，有一部分在地上，后面两种就是星间具有组网能力了，可以看到其实我们刚才张教授给大家介绍这么多低轨互联网星座的项目，里面都是肯定要有星间链路，将来有星间链路方式之后方式可以更灵活，不管怎么样，无外乎就是卫星的能力到底怎么定义的问题。

所以我们也是在思考这个问题，简单地来说呢，我个人认为，我们整个5G和卫星网络融合会经过两个阶段，第一个所谓的就是松耦合，是一个短期融合的问题。这里面可能只是从服务层面上把你融合到一起，但是技术体制还是相对独立设计的，比如说我们空口相对独立，并不需要说用户终端就一定是直接上星，我可能会中间经过某一个中继这种情况。用户可能通过特定的中继接入卫星。未来的紧耦合目标，就是长期融合的目标，真正做到5G和卫星网络融合，就是说我们的空口可以采用3gpp统一的空口，就是现在的NR的空口，用户可以直接接入卫星，而不需要通过卫星地面的中继。换句话说，我刚刚举的例子，我们到时候手机终端的用户，是不知道是一个卫星在给他提供服务，还是一个地面基站，对吧？这些都是我们觉得，应该是松耦合和紧耦合，这样两个同时在发展，目标必然是这样一个长期耦合紧耦合方式。

如果是这样的话，大家可以看到，我们可以进一步来思考，如果说我们从空口这个维度去看，我们怎么可以做到融合呢？从松耦合的角度，现在地面通信的终端有专门的卫星终端可以直接上星，用的肯定不是5G的空口。如果是松耦合的，这个时候可以是一种融合体制，但是空口各是各的，上星的是上星的空口，地面还可以用5G的空口，这就是我们中间可以通过中转的方式来实现这样一个融合。

紧耦合实际上就是说，我的用户终端上星的空口，也是用的5G的标准，我们来做这样的一种体制，这个是我刚刚说才能实现我用户终端上面直接上星，而不需要中转，这是从空口。我们从接入的角度是一样的，也就是说我们到底是从松耦合，用户终端必须通过特定的地面才能上得去，紧耦合就是用户灵活选择接入方式，移动的过程中，我是随意接入，碰到是地面基站就接地面基站，碰到空中基站就接空中基站。刚才说的是接入方式，接入方式和空口方式可以组合的，你可以是紧耦合的空口，但是是松耦合的接入，都是有可能的。所以这些随着我们技术的演进再来进一步讨论和发展。同样是在3gpp里面，关于透明传输的机制基本上已经要关闭了。3gpp里面关于卫星上面更关注的是，卫星上面具有再生能力，中继模式现在可能慢慢就会被，基本上就是认为到此了，后续更关心的是在星上是具备处理能力的。

刚才我们对空口的架构的考虑，下面我们想看一看，我们还是做技术，我们想从空口的角度，现在有很多的演示系统已经上了，我们到底能不能把5G空口直接拿过来用呢？我们简单来看一下。大家看一下分为几个维度，不全面，3Gpp也有研究，首先我们知道卫星过轨的时间，取决于卫星的高度，还有仰角的参数，我们简单给了一些结果，如果我们用户对不同卫星仰角不同有什么变化，比如我们用一星的轨道高度700多公里，如果仰角达到30度的时候，会缩短到350秒，大概就是10到20分钟会有这样的一个情况。

用户看到卫星的时间是过去，这样的一个情况。同时我们也会发现，做一些分析你可以看到，用户与不同卫星高度的变化，也就是说我们站在卫星下面，正下方和卫星覆盖边缘效果不一样，差了很远，我们还是以780公里卫星为例，星下点变化范围是0—300公里，不同用户属于不同的星的等待区，这个时候是同步进入是完全不一样的，大的距离导致我们传播时延肯定跟地面是不一样的，我们也是举了一个例子，780公里的时候，星地传播时延4个毫秒左右，如果到3000公里的时候最小就是10个毫秒。在同一颗卫星下星下点到边缘用户时延差，比如说50公里、400公里，时延差又是不一样的，这个是不能忽略的，这些问题在我们传统移动通信系统里面可能没有那么严重。星地星道传播时间长，导致我们不能直接搬过来。

还有一个多普勒效应，是非常明确的。我们还是看不同的高度和不同的边缘的差别，这个我们大概做的以20G来看，不同的高度，不同区域么的用户多普勒覆盖效应也非常明显。卫星的高速移动，导致的多铺盖效应明显低于地面，调整的也很少。这是非常直观的感受。

下面再看一下，从接入，从随机接入信道的设计。在5G的随机接入结构里面，信道竞争定时器是15毫秒，传播时延更大。实际上这些15个毫秒显然是不够用的，怎么把这些问题要修正，用到我们的，直接把5G空口协议拿过来再用。我们5G里面用的是16个信道的HARQ，我们要用5G的协议，我们这儿给了一些简单的信息，根据高速运动，高度、信道传播特性，有效窄扩性能，会影响覆盖区域、时延、多普勒、损耗，噪声、回退等等。对应我们将来要修订我们协议的时候，要有哪些方面，比如说定时提前的问题，还有并行的怎么设计，还有ACM的调整等等，这些问题都要做相应的适合我们的链路的特点。希望后续可以共同发力，可以把这个尽快解决。

刚才是信道的特点对整个5G标准是不是可以直接用，也是提出了一些建议和思考，下面是大家再看一下，我们移动性的。因为我们知道卫星引入之后，不仅仅是星地融合，移动性管理是很重要的挑战。我们认为会带来新的切换模式，新的切换模式包括大的，一个是星到地切换，一个是地到星的切换。比如说地到星的切换，用户提出地面覆盖范围之后，用信或者地面配合，这是大家现在研究的问题，这是地往星，这些典型的切换模式，带来了需要新的思考。

实际上说白了，相对于传统的地面网络，如果星地融合之后，我们是用高速移动的卫星和高速移动用户之间，是双移动性，用户在移动，到我们的基带也是移动的，如果我们把一星加进来，这样双移动性，对移动性管理肯定是更为艰难的，紧耦合模式下会有星地切换，和地到星的切换。结合我们讨论的业务需求，怎么样在保障连续性服务，我们的服务不间断，就是我们重要的评价。

我们切换的发起，切换的指标，是辅助还是基站还是移动台出发等等，这一块就是说怎么把卫星和基站能够有效融合，这是我们做共性管理时候要面对的问题。大家肯定，肯定是说星地融合之后，会比单独地面或者单独卫星要好很多，因为单独地面可能覆盖不到，单独卫星由于卫星受限有些覆盖不了。

欢迎大家到西电交流指导，谢谢大家！

主持人：非常感谢盛敏教授精彩的演讲，现在卫星通信已经5G关键技术研究当中的热点，刚才盛敏教授全面介绍了3Gpp在卫星通信方面标准的研究，以及相关的成果，刚才盛敏教授把卫星未来通信当中的需求，以及场景和未来地面5G技术相融合的技术点，都做了非常全面的介绍，再次感谢盛敏教授。下面第三位演讲的嘉宾是美国非落李达国际大学计算与信息科学学院副教授Jason liu先生，发言的题目是《网络实验、模拟与仿真》。

Jason Liu：谢谢主办方的邀请，刚才聆听张教授的和盛教授演讲报告，学了不少空间网络的知识。

我在这个讲课当中有两个简单小小的切换，一个是我要讲网络的试验方面的技术，另一个就是由于我中文表达有时候专业术语和应答有些问题，先说一下什么是网络实验，有三种，一个是物理实验床。另一个是仿真实验床，还有一个网络模拟器。物理实验床，我们现在比较熟悉了，有很多问题。美国从十多年前，就已经发展了很多物理实验床方面的研究，一开始的时候，大家是十几年前已经开始布，分布这个实验床。

今天主论坛上说到CE的连接启动，我觉得非常有意义。另外一个现在有很多（英语）方面的实验床。物理实验床有很多好的地方，现在实验床都是，你可以直接拿到实验床的机器，或者是有可能。你不是一个实验在运行，有可能在同一时间有很多实验，很多的人在用这个实验床。即使说物理实验床可以很大的（英语），相对来说还是比较小的实验床。而且你这个实验床如果是在南京布下了，在北京布下了，在南通布下了，在什么地方，这个实验床就在哪里，很难改变。

另一个方法是仿真实验床，基于虚拟方面的研究，比如说很多人了解是SDN，大多数都是用很简单的一个（英语）来进行模拟。仿真实验床有很多好处，很容易也有很多的局限性，你可以，在很多情况下。比如说空间网络，有很多（英语），这种情况下还是有一些限制。

第三个主要的方法，就是网络模拟器，相对于仿真实验，或者相对于物理实验来说比较容易实现。可以用不同建模的方法来模拟这个实验，不同的空间网络，不同的联络，所有这些东西都可以有不同的方法。由于模拟实验和真实实验之间有差别，很多情况下，在很复杂的情况下会造成一个结果。假如说你用空间网络实验，我们需要什么东西？我就简单说了一下这几点，比如说，你在不同的传输方面，是不是所有人都可以（英语）这个实验，你在做实验以后，别人是不是可以重复你的实验，你是不是要花多少钱去做这个实验。很多研究在这方面，争取是建立更大的物理床。

对于模拟器有很多好处，我们在模拟和仿真方面做了一些工作，怎么使得不同的，做出来实验床可以，2008年大概是十年前做的东西。我先说一下在架构上是怎么去搭的实验床。这个实验的设置，我们当时设置了一个环节。

下面我很简单说一下，我们可以选择任何一个节点。这个实验有一千多个节点。我们怎么控制，让它无论什么样的情形下，在一台机器上，还是在十台机器上都可以得出同样的结果。

由于空间网络设置本身方面有很多的问题，应该有很多差别，这些是我的合作伙伴，感谢大家！

主持人：网络仿真一直是网络方向非常重要的研究方向，对于空间网络而言，网络建模于网络空间的动态性带来的很大的挑战，再次感谢刘教授给我们分享了他的研究成果，以及非常杰出的研究过程。

下面我们进入一个短暂的茶歇阶段。

（茶歇）

主持人：下面我们有请第四位演讲的嘉宾，是来自北京理工大学信息与电子学院教授邢成文教授，研究方向包含了各类大规模天线阵列，及敏感天线阵列，应用领域包含了移动通信、物联网、卫星通行等方向。今天演讲的题目是《星间太赫兹通信关键技术》。

邢成文：非常高兴来到南京，我是来自于北京理工大学的邢成文，我的报告是有关星间太赫兹通信关键技术。

首先太赫兹通信是未来星间链路发展必然趋势，太赫兹通信是未来第六代通信6G的核心技术，在这样一个高速率的要求下，大家注意到太赫兹是一个很好的通信方式。工信部苗部长提的，未来6G技术太赫兹也是很重要的通信之一，对于黑障通信，当航天器表面有等离子跳的时候，黑障，太赫兹频段有不可比拟的优势。

当然了，对于太赫兹通信，可能有的知道的人就知道，其实太赫兹和激光作为两种备用的高频段通信技术，其实针对目前方式是激光通信，太赫兹其实是一种备选方案，但是太赫兹通信具有带宽大、易对准、受卫星平台振动影响小等优点，适合星间高速传输应用。我们的卫星打到天上之后，用激光实现卫星之间的对准确实是一件非常难的事情，因为激光波长更小，太赫兹相对于激光而言波长大，所以对准相对而言更为容易，这是太赫兹重要的特性。

另外一方面FCC又划分了若干个星间的通信频段，对于推动太赫兹卫星通信具有重要的意义，简单来说，对于中国占领星间太赫兹频段也有非常重要的意义。

太赫兹的调制装置，发展历程，其实太赫兹通信，在世界范围内受到了广泛的关注，包括日本、德国、法国还有美国，都提出了相应的调制方式。目前都是以模拟调制OOK为主，频谱效率低。对于高阶调制，频谱效率高，功放需回退6db以上。

目前为止，过多众多研究机构研究成果可以看出来，太赫兹的发射功率效率相对微波来说是非常低的，目前太赫兹源的输出，目前国内能够买到的，难以支撑太赫兹通信，当然了电子科大还有一些其他单位运用多通道，特点就是资源消耗大，频谱效率低。另外一个起伏也比较大，对于前端放大器的要求也比较高。

另外一方面，在太赫兹器械方面，基于是新结构、新材料和新工艺的太赫兹调制器还有一定的距离。

航天器表面对于太赫兹波的影响是不能忽略的，这样的话，对于航天器的射动影响，必须考虑在空间里面。大家都知道太赫兹波，对于大气中的水蒸气影响非常严重，水蒸气极易吸收掉太赫兹，这是在地面的应用，一般都是室内完成的。而且目前的研究也没有考虑到应用大气环境，对太赫兹传输的影响，这个也是目前进行一个主要的研究方向。

此外，太赫兹频段频谱跟踪也是急需解决的一个难题。卫星在轨道上，卫星和卫星之间通信必须要能实现精准度，这是亟待解决的问题。另外一方面，太赫兹需要通信，需要达到万公里量级的远距离传输。卫星通信对于地面传输而言最大的区别在于，传输距离远，卫星是上千公里，上万公里，而且量方面，太赫兹有效功率输出特别低，如何解决这两者之间的矛盾，是非常重要的问题，如果采用现在主流的调制方式，其实传输的距离只有10公里的量级，在空间里面，是一种真空环境，没有水蒸气，如果在地面有水蒸气吸收的话，这个距离，我的印象美国布朗大学做过，只能传一两百米的距离。这是一个空间通信或者一定希望要满足的条件。

另外一方面，我们讨论将围绕两个方面，一个是空间通信，通过空间正交调制功率合成与高灵敏度相干接收等关键技术，如何提升一个数量级，降低信道资源需求。另外一方面围绕移动通信，我稍微提一下，因为对于做5G通信的同学，如果研究比较多的是关于毫米波波段，大家可能对于大规模天线普通阵列比较多，如果将技术进一步拓展到太赫兹频段，也是我们下一步研究的重点。

我们将要研究的关键技术，因为在空间的时候，航天器受太赫兹的影响可以忽略不计的话，如何建模，去用一个可以处理的数学模型，去反映这样一个复杂无趣的太赫兹信道。另外一方面在大气环境里面，受天气影响，和我们如何去验证我们模型的正确性，当时设计了一个天气模拟箱，可能一个跟房间一样大的环境，我们在里面模拟各种天气环境，来验证我们的传输有效性。另外一方面，是关于广视角、高精度，这部分主要是研究引导信标+螺线扫描。

第三，低功耗高能效高线性太赫兹调制与发射技术。太赫兹通信不同于微波通信，太赫兹通信发展要依赖于新材料，新工艺的发展。太赫兹通信的研究离不开物理、化学等基础学科，这是我们团队为什么在今年，我们引进了很多物理系的老师，因为我们需要跟底层更基础的学科进行交叉，不光是一个，因为我们通信发展到今天，可能真正抑制通信前进步伐的，是对于基础学科的无知，而不是我们对于未来的畅想。高速率，通信好比是一个奥林匹克竞赛，我们永远追求是更快，延时更小更稳定，如何达到这些目标，可能还要依赖于，不但要依赖数学，现在我们发现数学已经被我们挖掘殆尽了，现在依赖更基础的学科。

以前发展历程是从模拟到数字，现在由于太赫兹频段越来越高，传输越来越快，模拟处理的重要性慢慢被发觉出来，我们要习惯用模拟处理的方式，来实现数字功能，我们要研究数模混合技术，不光是数模混合的阵列，数模混合技术。如何研究低功耗的信号处理技术，信道资源相对于地面资源更加有限，只有地面的800分之一。

另外一方面是如何搭建太赫兹平台，如果我们要做一个半实物的工作，我们希望不仅仅停留在理论上面，我们要把它做出来，就可以去实现了。我们先看一下对于太赫兹信道而言，在大气内，要考虑风速、温度、适度对信道的影响。我们其实是相当于电子计算的方式，我们在做理论研究的时候，我们从物理性上出发，我们要抽象出一个可认识，可控制，可处理的模型，这个过程，我们需要把不可认知的东西变成认知，我们需要用模型先去构造一个最原始的东西。要把本质挖掘出来。另外一方面，我们也采用了实物验证，来制作模拟进行验证。

这是一个流程，我们在自然基金委重点国际合作项目的支持下，我们建立了一个空间信道的理论模型。

还有可行性分析，我们完成了0.3t赫兹以下10米量级实际航天器目标宽带散射特性计算。提升我们下一步在中间环境中的应用。

另外一方面，我们在模拟箱里面增加了降雨的模拟，还有霾的处理，通过反射理论等等，来确保太赫兹移动建模的重要性，我们还进行了一些数值上的仿真。对于广视角高精度的太赫兹问题，我们存在的问题主要是解决多数捕获实现广视角困难，失捕后利用历史位置快速重捕困难。主要是提出了辅助信标等距螺线扫描+多馈源比幅测角，实现广视角粗捕获。提出了双环捕捉跟踪策略，实现快速捕获。这是我们研究的仪器，可以看出来，广视角粗捕获的方案，是60秒，可以达到0.003度，这是一个实现的流程。如果是正负1度的话，我们应该是6秒，另外一方面是有一个前期的实验。另外一方面针对高能效，我们主要是针对晶体管，导致了太赫兹的调制器难度较大，另外一方面太赫兹发射极的功率较低，有效带宽很窄，这部分我们其实是跟天津大学，变相材料，石墨烯等材料，通过新材料、新工艺来实现的。

本人以前是做信号处理的，做太赫兹方面就发现，有好多的东西跟物理学是紧密相关的。另外我们研究了，这个参数在国内是非常领先的。

如果用高低调制，有效功率是会产生错配，我们说采用低调制之后，空间上不同的天线合成高低调制，这样可以克服功率错配，实现高速传输，用软方法来克服细节上的不足。目前我们还在研究，如何用这种方式来研究合成芯片。另外一方面，目前为止天津大学在马老师团队，他们已经完成了芯片的理解，这部分芯片将会在我们团队发射机的前端，而且高性能的解调器，这部分器件是国产化的，完全自主可控。

高灵敏度相干接收方面，30gsps高速AD实现困难。资源消耗大，我们团队刚才说了，采用了一种竖模的方式，我们团队做的最多的一个，降低整个芯片的功耗，我们团队，当然芯片是四个纳米，现在还比较成熟。采样率降低了1000倍，这样的话可以满足严格首先情况下的信源分配。还有是伪码导频信号。另外我们采用了数模混合自适应均衡，可以实现毫秒级的快速收敛并提升高速数据EVM。还可以利用概率计算，转化成概率密集型问题。通过概率来计算替代芯片。这是一个芯片的测试结果。

另外一方面，对于远距离高集成度太赫兹验证平台方面，目标是实现数据传输速率，利用高低调制，至少可以回40Gbps。我们当时采用的方案是利用空间正交调制公里。另外一方面是采用闭环预解码技术。下面是我们团队实现的空间太赫兹方面的一个闭环通信系统。另外一方面发射机包括了伪码辅助载波。

这个是体制对比，常规体制，实现1公里，40Gbps的数据传输，需瓦级功放，数字处理平台需要千万门级FPGA，AD采样率需20Gbps。希望通过我们的研究，在未来的通信里面，太赫兹可以实现万公里级别的通信，目前看这个难度是比较大的。而且我们在容纳的环境中实现了一个初步的测试，包括我们实验室内部搭建的平台，在室外环境，因为太赫兹对于，实现了1公里的测试，敦煌还是比较干燥。无论是从发射极，从器件，有源无源器件，还实现了天线阵列，还有编译码的方式。包括网络，现在太赫兹40gbps这么高的速率，如何在空间组网，还没有开展关于组网的研究，但是对于基础的试传部分，我们已经做了很多了。

还有一个是天线设计，用更为先进的技术，实现多用户，这个也是一个非常值得研究的课题。啊我们实现了一个，目前我们正在做合作方面的技术，中间是我们自己做的167赫兹，右边是我们跟瑞典一所大学合作做的一个样机。

谢谢大家！

主持人：非常感谢邢教授精彩的演讲，太赫兹技术也是随着频谱技术不断提升，成为未来发展的方向，刚才邢教授介绍的，在太赫兹方面研究的成果，为后续工程应用奠定了基础。

下面我们有请第五位演讲嘉宾，中国空间技术研究院通信卫星事业部的陈东研究员。发言的题目是《空间卫星互联网发展与构架研究》。

陈东：今天我汇报的题目是低轨卫星互联网发展与架构研究，跟手册上不太一样。

今天十分荣幸有机会跟大家分享一下我对这方面的认识，我所在的单位还是和卫星制造有关的单位，中国空间技术研究院对外是中国空间技术研究院，实际名字是中国航天科工集团下面的第五研究院，无论是高轨通信卫星，还是探月工程，包括北斗导航，包括载人航天都是由我们单位承担的任务，我所在的部门是通信卫星事业部，平时在这个部里还有这样一直队伍开展卫星通信系统方面的工作。

首先先说一下低轨卫星互联网，以及没有这个词，我觉得可能是中国人给发扬光大的，国外文献上没有特别讲卫星互联网的名词。这两年确实低轨运行互联网，或者低轨运行宽带网络发展比较快，我们那个时候刚提出来是2014、2015年，那时候方案和我们当时对这样一个信息还是挺大的。无论是从卫星制造，还是国际国内运载发射能力，还是到成本来说，都是一个很难负担的事情。我们把跟踪低轨卫星互联网上的发展，有几个系统，以及对于系统的理解做一个简单介绍。

汇报三个方面，一个是概念，第二个是动态，第三个是架构。前两个基本上是介绍一下什么是低轨卫星互联网，以及现在的发展和进展情况。这个是全球通信业务的分布给大家展示一下，这个分布材料，大家可以看一下，客户大会，可以看到实际上从低轨卫星系统来说，全球业务是非常广泛的，不仅仅是陆地和边远地区，有大量的海洋地区，现在我们在看待这样一个应用来说，地面大部分解决还是大量人的集中地区，还有大量人类的活动遍布全球，到底是由谁来保障，在我之前实际上有几位老前辈，inmarsat最叫海事卫星，以海事卫星，主要是通过海事卫星移动宽带，后面再建设海事卫星六号，完整卫星是看不到的。

另一个是一星，部署了一个一星NEXT，扩展是从最传统的话音分析到数据分析。包括已经有的高轨卫星还有低轨卫星看起来都是有差距的，由卫星互联网，卫星互联网，尤其是低轨卫星互联网，利用卫星通信，实现宽带接入，主要填补，大家可以看一下更多解决是一个高等通信速率，实现全球覆盖，以及宽带覆盖的经济性，为什么提到经济性问题呢？和我们的地面，包括今天开幕式的时候，运营商提到的降费问题，卫星通信真正发展起来，走向更大的空间，也要走入提速降费的通道。

提到卫星互联网和原先卫星通信有一点点差别，希望能够把用户直接终端，另外一个还要提供互联网接入，也没有早期像，有其他更大规模的一些系统。这里面有一个概念，没有真正实施的计划叫outernet，在天上发150颗卫星，大家可以用自己的笔记本接到卫星上面，很快经过3到4个月世界上各方面的质疑，项目最终没有实施，这可以说是一个比较早的概念，到了现在来说，我们在想到底发展到什么状态了，不是一个管道服务，一定要从内容一直到用户，希望能贯穿起来。

特斯拉的老板马斯克，提出要连接美国城市，速率1000公里以上的铁路，都是他所提出来的，还是比较创新的公司。在这个系统里面，他们最后提出来的，包括对外讲的，就是两个我理解，从我的体验来说，第一点速率一定要高，能够到10兆到百兆。第二个，我要把成本降下来。今天大家提到目前去上网，至少在无线流量套餐推广之前，那一年的时候我们去买流量的时候还是，达到卫星通信流量的费用。如果说我成本，用户使用成本降下来了，整个网络应用的市场就打开了。

很多国家在美国，美国是卫星通信非常大的市场，尽管FCC批准已经罗列的比较典型的几个。这是这几个系统，实际这几个系统都不太一样，从广义上来说，或者中国自己现在来定义的时候，都叫互联网，实际上都不一样，有什么特点呢？规模也不太一样，服务用户群也不一样。这里当然最近还有出现的一个是亚马逊的这一套系统，当时提出来之后，马斯克首先回复了一个抄袭，说明这个领域大家竞争是非常严酷的。

这样一个系统主要有三个，一个是Oneweb，最近发射了88颗卫星，这个系统的建设，可以说我们也有一个国际的大合作，有很多的投资者，包括这样的制造商，软银提供最大规模的投资，用欧洲的空客给他造卫星，是一个非常大的，今年2月份的六颗星已经发上去了，测试还不错，很快获得软银18亿的追加投资。包括国内有些专家，或者运动商提出我要主动打造。真正实施过程中和这个是不一样的，分了好多阶段，是一个再生处理，激光星间链路，最近新闻是本来在上周，应该是16号发射第一批60颗Starlink卫星。

工厂化制造。原先卫星按照我们自己来做，我们去看欧洲做卫星，也是基于类似的平台，一个站点从头做到尾，到了这个系统之后就要把卫星变成工厂化，工厂化制造结合COTS器件的使用，包括一些小型化部件的应用，才能够使得卫星使用的成本降低到100万美元以内。可能100万美元不一定有这样的概念，超过一千万了，同样的卫星在国际上，基本上是价格的5倍到10倍，相当于在数千万人民币，成本降了五分之一到十分之一，这项技术目前也是在不断的。更多精力投入去研制200到300美元，目前国际上来说这些经验基本上有四类典型的，把一个TR硅基降到2块钱人民币。有些已经展览六七年了，也没有投入市场，有些国内的公司在从事这方面的研究，但是还没有进入到大规模商业化的生产。我认为还有一两年的工作要做，低轨互联网是把卫星通信融入互联网，包括管道和解决方案，我们简单列了一下，每个星座做自己选择的时候，都有自己的市场定位，考虑来决定选择要不要到什么样的规模。按照现在来说有星间链路。是面向小范围的，解决从一个点到另一个点的宽带传输的问题，服务对象决定了，给一些企业，包括一些政府只是提供全球范围内的点到点。

第三类，就是骨干网，就像后面要讲的一样比较系统。先说第一个接入网架构典型的oneweb，是一个空心的结构，卫星只是一个信号接收放大的装置，最终解决的是个人和家庭用户之间的最后一公里。是比较保险，也是比较开放的，刚才提到卫星5G研究里面卫星转发的工作，这是典型的结构，最典型包括卫星通信。第二个结构骨干网架构，主要是面向特定用户，类似光纤的生态网服务，任何一个点接入都可以，目的很简单，就是在两点之间建立一个宽带高速的链路。大型的企业，提供数据驱动和金融服务，这就是对宽带的要求，对于企业来说表明很多全球性企业。还有另外一个典型的说法，通过这样一个卫星网络和地面网络，从传输的时延上差10毫秒。第三个就是Starlink，可以通过灵活的方式，兼并了前面二者的好处。每颗卫星都是一个路由器，可以用比较便捷的方式接入路由器。

我们开展这个工作过程中理解到，我们也知道在国内，无论是在十五低轨卫星的论证，还是卫星系统的跟踪，还有各类项目，我们基础研究，我们总是觉得，从我现在的状态来理解的话，我们对这个系统的认识，实际上不足以快速地说，能从技术上阐明这样一个系统建设到底要解决的一些问题，是通过哪些途径来实现的。如果卫星数量比较少，是基于CCSDS，卫星数量上升到数千颗的时候，我到底选用什么样的协议。

右边的图是他们做的视频，演示了开始变化的一个情况。第二个就是交换，到底是分布式的路由还是集中式路由，集中式路由面临比较复杂的管控问题，要解决高效和动态维护的问题，涉及到卫星的变革与终端的变革。

第二星地融合，卫星要发展。后面还提到很多两百和三百，我对星间切换的时候，以星地切换的时候还有空间网络，从地面切到空间网络里面。是没有一个明确的解决方案。还有一个卫星系统频率干扰，还有星地系统的干扰，高轨还是比较好做的，还有多频覆盖的，其他的，国际电联没有一个协调的通信方法，都是互相之间沟通，用5G的干扰更严重，后续这样的一个系统在使用的时候，用的资源一定要和地面形成共享，在地面5G场景下开展这样的工作，基于这个分析，你只要用它的那一套，于是大家质疑这些问题是场景的问题。

另一个是网络安全和监管，最早提到是不是中立的，没有网络安全的事。右下角的一个例子，如果黑线是国境线的话，解决跨国境地区的网络接入模糊地带，我的数据上了星之后，对国内来说，落地到出口，地面网络出口的时候是有固定的通道，一旦上了卫星之后，这个通道就散了，最后是系统可靠性设计，我如果按照传统卫星可靠性设计，六颗卫星，可靠性基本上就是约等于零了，完全就是不可靠，实际系统中也是这样做的。

因此这部分工作还是要建立一个新的指标体系，对于这样一个大规模的数据，好像目前来说也没有一个说法说，我们可以参考和调研，主要还是来自于之前的导航系统。后面我们现在做一些工作，来定其他的不良指标，比如说从网络层面我要考核你，可以从容量的角度来，我也可以从质量，唯一我不再谈论就是这个卫星到底是好还是坏，个体的可靠性来代替功能的可靠性。

最后，我们从卫星互联网的角度，我理解是一个契机，也是一个挑战，从这个角度来说，从上世纪九十年代，低轨卫星互联网蓬勃发展，现在又进入一个新的蓬勃发展时代，从现在的技术条件来说，现在经济来说，可以支撑这样一个条件。我们讨论是从国际上包括看美国，新一代网络的入手，还是新一代网络的变化，确实也是需要考虑的事情。无论是怎么样，技术工作还是要先做在前面，谢谢各位！

主持人：陈总报告里面非常全面介绍了低轨卫星互联网的发展，就像他的报告里所说的，卫星互联网发展既带来了挑战，同时也带来了机遇，会催生新的产业，同时也颠覆了很多原有的技术，整个低轨卫星互联网的发展，离不开集成电路的技术，也离不开传输的技术。下面有请北京邮电大学信息与通信工程学院副教授刘江教授为我们带来下一个报告，刘教授主要是带来未来网络体系构架，信息中心网络等方面工作，今天的演讲题目是《低轨卫星网络组网关键技术研究》。

刘江：各位嘉宾，各位听众，大家好，我是来自北邮的刘江，我们主要是做地面网络研究，SDN的。

今天卫星网络是提供一个新的视角，讲了很多东西，我们提供一种，从网络方面的视角，来给大家汇报一下我们的思考。

我今天汇报主要是三部分，第一个是为什么我们要研究低轨卫星网络，第二个是低轨卫星网络组网问题思考，第三个是我们现在未来网络试验设施助力卫星网络创新。

首先从第一个部分，我们研究低轨卫星网络的意义是在于，我们从网络的角度，来提供一个视角，今年的we aresociai发布了一个数据，现在全球互联网人数是76.76亿，互联网人数是43.9亿，我们做了一个简单的减法发现，地面上还有43%的增长空间，没有上网可能是经济落后，没有需要上网的需求。但是报告的研究还有一个很有意思的地方就发现，大多数互联网使用时间，最长的国家和地区，往往都是发展中甚至是不发达的地区，这说明一个什么问题呢？互联网是比较便宜的信息消费。我们把更多的用户拉进来，让这个网络覆盖更多的人，这是一个很好的目标。

张教授在物联网里面已经说得很详细了，我们将来如果有低轨卫星网络，可以对稀疏地区，比如说海洋地区进行覆盖，如果能够全天24小时联网，我可以调需要地区的数据，可以有一个全新的商业模式。跟GEO卫星相比，LEO在500—1500公里的海拔高度运行。刚才更详细介绍了这部分，国外的低轨卫星网络计划，已经解决了覆盖的问题，比如说马斯克今年说要发1万2千颗，说不定跟亚马逊业务重叠的京东或者阿里巴巴也会有发射卫星的需求。

我们做了一个不是特别恰当的对比，无星间链路的低轨卫星网络数据就近落地，依赖地面的回传网络，有点像wifi，低轨网络可以独立成网，可以摆脱限制，手机接入，后面所有事情可以进行组成服务器提供服务了。有质量保障的服务，还有网络能不能做到安全可控的角度来说，星间电路还是非常必要的。

卫星的组网从20年前，一星活跃的时候就可以看到非常多的，过去20年地面网络有很多新的技术，比如说典型的像SDN的技术，热度曲线，从2014年到2018年逐渐发展起来，逐渐从部署到落实，除了SDN以外，还有很多的有关协议内容转发，人工智能大数据，我们在尝试这些技术有没有可能融入到低轨运行网络的设计中，为低轨运行的发展带来新的活力，这是我们的想法和思考。

接下来是一些具体的，我们在研究中碰到的问题，什么给一个组网简单的定义，我们要研究问题的范畴是什么，我们理解组网是基于网络的技术与协议，使用软硬件连接构成网络，并服务于业务的过程。打算在组网里面讨论四个问题，第一个是体系架构，其实更多的是计费的问题，路由转发的方法，最后一些其他，我认为值得研究的技术点，都可以提供给各位讨论。

首先我们先探讨一下体系架构，我们叫做面向综合业务，也就是说我们认为将来低轨卫星网络上面要承载非常多的业务类型，包括现在的语音通信、数据业务甚至物联网都有可能承载在上面，这样的话我们借鉴一下地面的网络，因为我们对地面运营商比较熟，他们有三张网，一个是固网，就是大家平日上网接入的宽带，还有一个是流量，还有一个移动通信，出现了不限量，当然是限制速度的。还有第三种是我们的专线接入网，比如说联通是A网，那个是给家庭用户专线接入，那个计费更复杂，还有中间链路服务质量保障。一方面我们总结，卫星上流量肯定比现在地面移动通信还是要更珍贵的，努力方向是降低了资费，所以我们在对卫星流量更加精准计量使用。另外一方面卫星资源又受限，很难开发复杂的计费的模块，来实现计费的过程，这其实是一个解决的矛盾和问题。我们希望能够探讨设计一个卫星网络架构。

我们只是做了初步的尝试，有3gpp的模式，我们自己做了一些尝试和思考，就是看里面网源的模型，我们把部分需要复杂计费的放在后面，用户之间语音通信的业务模型，我们探讨了一种时长带宽的模式，还有数据业务，我们探讨带宽在出口流量来计费的模式，初步尝试了计费架构，因为我觉得计费和业务其实是生命力很重要的考量。

第二个是移动性切换的问题，现在地面移动性切换非常好，固网其实是没有的，移动通信的切换做得很好，他们其实是基于大量计算能力和资源来做的。这些功能在卫星网络上其实是没法去直接承载在星上面的，我们觉得应该从网络设计的角度，设计一种网络内生，也就是说这个网络本身具有一定支持的能力，你就可以直接使用这个网络的时候能够享受到这种好处。我们对这个问题进行了稍微深入一点的分析，我们把四种移动性切换的场景讨论出来了，一共有四种。第一种是用户终端相对于反面的移动性，你在道路上开车或者是走路，或者坐火车。第二种是卫星之间的移动性，低轨卫星网络一直是在移动的，同轨道面是相对固定的连接，但是低轨道面左右两边的连接会交换。这个交换可能十几分钟会发生一次。第三种是卫星覆盖的区域，卫星照在地面的区域，针对用户终端在不断切换，不断有用户切进来或者切出去。最后一种模式，卫星覆盖区域，相对于地球表面的移动性，低轨卫星不会一直刷精度的区域，会沿着地球的覆盖面会水平移动。没法做出周期性的，导致不仅是前后偏，这个是更难处理的。

针对这四种问题，我们想下面的方法，第一个是确定位置，就是卫星、地面或者是用户他们的编制是什么。

其实这个问题比较复杂听起来，有一个比较简单的原则是什么呢？我们要探讨一下，我们首先网络找到一个不动点，那么我们找的是什么样的不动点呢？通过第一个终端编制来找到这个不动点，方法是什么呢？考虑刚才四种东西，我觉得地面，用户相对地面，是相对最少的，也就是说很有可能，比如说因为卫星覆盖区域是几百公里、上千公里，平时在一个城市内活动，甚至在省里面的活动都有可能不会切出一个地面的大区，这样是可以接受的。所以我们希望在编制过程中，尤其是用户终端编，在前面网络端引入一个大区块，跟地面服务区是相对应的，有可能会出现一个情况坐飞机，跑得比较远，做重新终端的注册和重新的地址分配就可以了，这是第一个终端编制。

第二个星上编址，简单来说在一颗卫星的1轨道面和2轨道面有不同的面，跟后面的路由算法也有一个帮助。

基于前两个的问题，第三种和第四种是这么考虑的，我们用户针对地面固定用户的移动左右的偏离，第一个阶段是理想情况，假定我们在不偏离的情况下，前后不偏，左右也不偏，每个地面大区上面是有一套虚拟的。这个我们直接用解耦的编制，维护地面分区和投影分区之间的影射表关系，通过地理位置来查找卫星，路由到卫星交给终端用户，这是理想的情况。最后我们采取了一种这样的方法，一颗卫星和周围六颗卫星临近关系的用户表，如果我最后一颗卫星是覆盖不到我的终端用户的话，通过这张表可以找到周围哪一颗可以帮我最后一条的转发，补充这个不确定性。一般通过这两种手段叠加，都可以完成U1到U2数据的传送。

下面探讨第三个问题，鲁棒性的路由机制，考虑卫星之间的时候，地面是比较常用的陆游算法，是没法直接搬上来的，因为我们卫星数据跟踪会经历一次变化，对于整个系统的影响，和链路带宽也是非常宝贵，不是一个很好的办法。所以我们希望把这个问题也是拆成两部分，第一部分是利用卫星移动切换的变化的特点，还是有一定规律性。比如说卫星因为知道自己的位置，就大概知道在特定时间内会发生什么样的变化。

另外对于地面耦合呈现的，经历了第一个拓扑规律变化以后，是跟地面的网络是比较接近的，地面网络有接近的情况是宕机了或者设备坏了，引入部分SBS的策略来做算法。

第一部分，静态的部分，这里面最主要的问题是什么呢？我们新编的拓扑，再加上星地，跟地面编址的对应，我们会算出来存储的数量会非常大，利用刚才讲的星地解耦，从乘法级别变成了加法级别。这是编制大概的情况。

第二个就是我们对于异常链路处理的机制，这三种情况下我们的数据流程，选取了部分的SBS在哪儿，完成了一个星间路由器的动态变化，这是我们做的仿真结果。网络的编址转发，相当于大家可能想到解耦的方案是非常好的研究思路。

传输层，在卫星上新的挑战，也传输的链路非常长，抖动也是非常大，这种情况下对传输协议的优化是非常重要的研究思路。在网络层负载平衡和抖动优化，也是值得探讨的问题。我们发现路由跳变的复杂性。

另外还有地面的测试仿真性和环境，刘老师介绍我们在合作过地面仿真环境，最后就是如果低轨卫星数量非常多的话，怎么管理。经过答辩和论证最后是由未来网络研究院作为牵头，清华大学和中科院，还有深圳信通院作为参加单位，四家单位一块来建设。这个项目建设一个全国范围科研型基础设施，为科研做服务。这是项目建设的目标，会覆盖全国40个骨干城市，今天上午已经点亮了其中的12个，光通信已经完全做好了，骨干的带宽是100G，跟主流运营商是相当的，还有133个边缘节点，还有全局的操作系统，这是总体的建设目标。

这是我们预计可以做的一些实验，网络操作系统，光网络，QoS，人工智能还有互联网，都是我们希望将来可以做的实验，非常欢迎大家去跟我们联系，如果你们有时间去的话非常欢迎。

我总结一下我的报告，三点，低轨卫星网络是我们理解是卫星和网络融合的发展方向。具有很重要的意义，随着未来网络新技术的引入，很可能会注入新的活力。第二个是希望通过简洁的方案，解决鉴权、计费、编址、移动切换、路由转发等问题。最后未来网络试验环境基于全新架构构建，都是可编程，可以任意修改的，所以我们相信他可以为低轨卫星网络的实验提供一个平台，欢迎大家来参与，谢谢大家！

主持人：感谢刘江教授非常精彩的报告，刘较教授从低轨卫星和网络融合的角度，阐述了卫星互联网环境下，未来网络技术应该解决哪些问题，以及有哪些好的解决手段。同时结合今天上午发布新型网络构架技术的平台，为后续卫星互联网的相关基础研究奠定了很好的基础。

下面有请最后一位报告者，东南大学移动通信国家重点实验室副教授王闻今先生。发言题目是《天地融合的低轨卫星传输技术》。

王闻今：非常高兴能把我们课题组的成果跟大家汇报一下。

今天我主要介绍一下在地变卫星通信系统融合的架构下面我们需要做哪些工作。刚才盛教授、张教授，他们已经从体系架构上面给出了很多建议和设计。我是从传输角度谈一谈，地面卫星通信系统和卫星通信系统融合存在哪些问题，并且是如何解决的。

第一个就是现在国际上3gpp重要的议题，5G新空口对非地面网络的支持。体系架构本质上就是一个天地融合的设计目标，为什么需要这样一个融合呢？实际上卫星移动通信系统，已经存在很多年了，甚至早于地面中国移动通信系统。但是发展到现在，用户的体量、市场的规模远远不如地面的中国移动通信系统，最主要的原因就是它的成本太高了。未来的移动通信系统，我们在座这么多位同学和嘉宾，肯定很少有人用过卫星的手机，因为卫星手机跟我们用的手机是不兼容的。

在这样一个背景下，在我们的需求没有达到必要性的时候，我们是不会去用它的，正是因为这样的背景，所以卫星终端用户的体量远远小于地面移动通信系统的体量，这样的话制造成本是不能比的。在这样一个背景下，我们追求一个融合的目标本质上是一个终端的融合，也就是说我们现在的手机，到了飞机上直接可以用它来跟卫星通信，要实现这样一个目标，必须在空口的传输体制上对它们进行一个融合。

5G非新空口，非地面网络的设计目标实际上第一个在无法提供服务的地方，能够提供5G的服务。在郊区农村，5G服务水平比较低的地方，增强服务。在飞机、舰船、高速列车的场景下，提高高可靠的通信服务。现在这样一个融合架构，我们还是从终端的角度去理解它。

第一个，是需要高真意（音）的天线，有两种形态，一个是常规的波天线，还有一种，未来卫星移动通信系统的普及的话，很多科学家都在探索低成本的终端。第二种终端就是我们的手机终端，手持终端或者说刚才张教授提到的物联网终端，这两种终端，在3gpp架构下，目标是不一样的，第一种终端目标定位高频段，高频段可以提供更大的带宽，是提供宽带接入。第二种为了满足我们最基本的语音通信需求，和一个最基本数据通信的需求。

所以，在这样一个融合的框架下面，我们要研究，我们要探索5G的新空口传输体制，怎么用于卫星通信系统。这里我们结合卫星通信系统卫星信道的特性，我们来研究天地融合到底存在哪些问题。

第一个，我们知道新上的功率是受限的，卫星全部通过太阳能面板提供能源，见不到太阳的时候，在地球背面的时候，还要用蓄电池来进行供电，所以新上功率是严格受限的，这跟地面基站不一样，地面基站有足够的功率，覆盖一个很小的小区，但是新上的功率，有限的功率，要提供一个广域覆盖。所以我们要达到一个目标的吞吐量，与功率受限的特性，就要求我们传输的技术，传统的波形具有非常高的功率效率，最后能够工作在功率放大器的饱和区。

我们在传输技术方面要研究，一个怎么样提高频谱效率，怎么样提高功率效率的一些传输技术。第二个低轨卫星通信系统，卫星与地面之间存在一个非常高速的运动，这个高速的运动，引起了超大多普勒频偏，在5G现有的新空口的协议，能不能支持在这么大的多普勒环境下的射频同步，这是我们传输要面临非常大的问题。第三个卫星通信系统传播时延非常大，远远高于地面基站的传播时延。

像混合HARQ物理层的关键技术，如何用到星地链里头来，这也是一个挑战。第四个是卫星的小区半径非常大，一个卫星可能覆盖几千公里的，一低轨卫星可能覆盖几千公里的范围，从小区中心到小区边缘，从小区中心用户和小区边缘的用户到卫星的时延差也是非常大的，在这种背景下，我们用户随机接入的技术就要重新设计。

我把我们课题组围绕刚才提到的这些问题，最近的一些成果跟大家汇报一下。第一个就是一个波形技术，我们设计的一个关键就是要求，具有一个非常低的分均比，来满足新上高功率的要求，和将来手持终端的一个，高功率效率的要求，和手持终端的高功率下面的要求。

然而在5G的通信空口的体制下面，下行用的是OFDMA的技术，上行可以用OFDMA，这两种波形分均比都是比较高的，5G下行传输没有考虑分均比的问题，我们要研究这样一个问题，是否可以在5G新空口，OFDMA的框架下面，实现接进基带信号，满足这样一个高功率效率的要求。这部分波形设计的目标，第一个我们要保持一个与5G新空口波形高度兼容的实现结构，第二个我们这个带宽要灵活可调，中心频率也要灵活可调。一方面是为了满足用户灵活上行传输的要求，第二个为了满足下行传输的时候，我这个波束用的这个频段，另外一个波束用的另外一个频段。

我们在这样一个OFDMA的基本框架下面增加一个预处理操作，和一个滤波的操作，这两部分操作加进去了以后，我们在OFDMA的框架下面，可以实现原来在OFDMA条件下没有提到的GMSK的调制方式。最右边给出了TATI的比较，在OFMA的框架下面实现中心频率可调，带宽可调的生成的信号还是很接近，很薄弱的。MSK的频谱，右上方的图，频谱比较难看，所以我们考虑可以用GMSA的框架，我们发现用了以后就是那个绿线，TATI也是很薄弱的。RCM，就是CM是比TCI更好度量功率效率的波形特性。我们看到如果用GMSA调制的话，我们立方度量可以到0.01这个量级，非常接近0.004的量级。这种情况下面，频谱就比GMSK要好很多。我们认为在现有5G波形框架下面，我们如果增加一种调制方式，增加一种实现结构兼容的调制方式，是完全可以解决新上的下行的功率效率的要求，和星地线路上衰落，对终端功率效率的要求。

第二个问题就是高速度引起的大多普勒频偏问题。我们OFDM信号对频偏比较明显。5G的下行频段设计，没有考虑到卫星通信系统大多普勒的环境。我们这边要回答一个关键问题，我们能不能通过算法的设计，通过算法的改进，只利用5G的下行基带信号，结合5G下行同步信号，实现在大多普勒频偏信号下的同步。在这边我们做了一些理论的研究，这个主要是一些数学推倒的，基于检测理论的推导，还有数学方法的应用。我们用了一个近似最大自然的准则，并且我们利用了多普勒频偏是一个有限复制的特性。我们又利用了信号处理里面有一个离散椭球序列，去构造本地相关的序列，在这三个优化的情况下面，我们设计出来了与传统相关兼容定时估计的方法。我们可以看到右边，我们分别在卫星的AW之间信道，宽带和窄带之间做了一个信道，负6到负8，即使在卫星大多普勒情况下面，也是可以获得定时同步的。

第三个问题，就是大小区半径用户随机链路的问题。在这种情况下面，我们研究了一个基于的随机接入技术，基本思想就是利用卫星移动通信，低轨卫星过顶的时候，时间偏移，同步位置不停在变化，多普勒也在不停变化，利用这样一个变化的特性，我们反推出用户和卫星之间的距离，可以保证用户在随机接入的时候，到达卫星的时候，我们正好就在卫星的窗口内。右边给出了这样一个性能仿真，我们这边的设置就是跟鸿雁基本上接轨，轨道的高度是1070公里，近角的发送，窄频是1.6g，实际上鸿雁是一点几，我们只要再观察10秒，用5G自带的同步信号观察10秒钟，我们就可以得到自己大概的位置，这个位置的精准误差，主要分布集中在2公里以内，但是最差的情况可能会到10公里的样子。这种估计的误差是完全在CP14公里的保护范围内，这样一个框架下面卫星隔5爱毫秒广播一次，剩下用5G的信号。这种情况下面就可以完成用户随机接入的问题。

第二种场景，我们考虑卫星不广播星历，跟协议上跟5G就完全兼容了，利用这个距离得到定时提前量，能够让我们信号随机接入请求在卫星的这样一个观察窗口内，这个也是我们的仿真结果，也可以满足随机接入的要求。

我们为了满足大吞吐量，大的频谱效率的要求，我们现在地面5G的通信系统，已经全面使用了基于大规模传输的方法。在卫星系统当中，实际上卫星系统当中早就使用了波波束卫星通信，我们使用多个波束覆盖地面不同的区域，他们之间会有一些干扰，我们一般通过多色复用的方法覆盖这个干扰。多波束卫星通信实现获得这样一个大规模的等效信道，是5G的，我们研究的大规模的颗粒。采用多波束集中处理，是可以把这个波束之间的干扰转化成一个有用的信息，从而避免使用能够降低频谱效率的方式，这里面有两个重要内容，一个是上行传输，多给用户发基站，用多波束的联合处理，同频组网是一个最基本的假设，能够最大程度获得频率效率最基本的假设。用上行多波束联合接收，下行的时候是多波束联合的预编码。

这样基本传输框架下面，可以打幅度提高星地链路的频谱效率。我们在这里面把，我们用可达速率，基本框架得到的一个信息理论最高的性能，也就是我们这个系统设计能够挖掘最大的潜力。

我们可以看到同频复用，不管是上行链路还是下行链路，远远优于多色复用的场景，这是一个我们最近研究出来的一个基本结论。

我最后的总结就是5G与卫星融合是新一代卫星系统，移动通信系统发展最重要的方向，利用新型的低峰均比技术，可以显著提升卫星通信系统频谱利用率，并满足地面兼容的要求。用我们提出来的高效定时频偏估计算法，能够直接使用5G的下行信号，满足大多数频偏环境下的时频估计要求。我们提出来基于用户位置信息随机接入方法，进行少量适应性改造，可以兼容5G随机接入过程。第四纪，我们提出来一个星地链路部署域传输技术，可以显著提升卫星通信系统频谱利用、功率效率，并且满足于地面系统的兼容性要求。

前期的工作主要是在于挖掘关键技术在卫星移动通信系统场景的潜在性能优势，后面还需要有一些技术细节，还有实践可行性，以及完整的传输设计，需要深入研究。

我的报告结束了，谢谢大家！

主持人：谢谢王教授，王教授刚才报告当中把自己团队当中，在5G方面的研究成果，与我们卫星通信的场景密切结合起来，显著提升未来卫星通信频谱传输的有效利用率。

今天几位演讲嘉宾报告就到这里，非常感谢今天在座嘉宾以及各位同学们，今天的会议到此结束！谢谢大家！