

第四届全球未来网络发展大会 2020. 6. 20-21



# ICN 在星地融合组网中的 机遇与挑战

重庆邮电大学  
新一代信息网络与终端省部共建协同创新中心

雒江涛

初心系国脉 奋进i时代  
Holding onto Original Aspiration  
Advancing in Global i-Era

# 目录

---

2



星地融合组网之大势



ICN 发展之路



ICN 的机遇与挑战

# 新基建：卫星互联网位列其中

□4月20日，国家发改委召开新闻发布会，公开阐述“新基建”：

□新型基础设施，是以新发展理念为引领，以技术创新为驱动，以信息网络为基础，面向高质量发展需要，提供数字转型、智能升级、融合创新等服务的基础设施体系；

□“新基建”包括三大方面：信息基础设施、融合基础设施和创新基础设施；

□卫星互联网作为通信网络基础设施被纳入“新基建”范畴，成为国家战略性新兴产业。



5G、  
物联网、  
工业互联网、  
卫星互联网等

人工智能、  
云计算、  
区块链等

数据中心、  
智能计算中  
心等

通信网络  
基础设施

新技术  
基础设施

算力  
基础设施

信息基础设施

# 硅谷狂人马斯克与星链 (Starlink)

- SpaceX 计划在2025年前发射 **1.2万**多颗卫星组成低轨卫星 **Starlink** 网络
  - 340 km (7518颗)
  - 550 km (1584颗)
  - 1150 km (2825颗)
- 2019 年 5 月, 首枚 “一箭60星” 火箭携带 60 颗 Starlink 卫星发射, 拉开组网序幕。
- **2020 年 6 月 3 日** (当地时间), SpaceX 第 **8** 批 “**一箭60星**” 发射成功, 已将 **480 + 2** 颗卫星送入轨道。



Elon Musk, Tesla 和 SpaceX CEO

# 什么是卫星互联网？

□ **卫星互联网**是基于**卫星通信**的**互联网**。

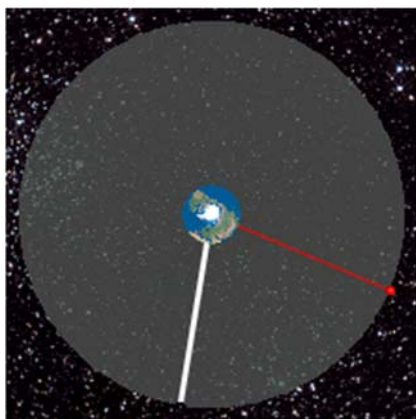
□ 过去的卫星通信系统：

- 地球同步卫星GEO
- 铱星系统（LEO）：提供**全球卫星**语音和**低速数据业务**

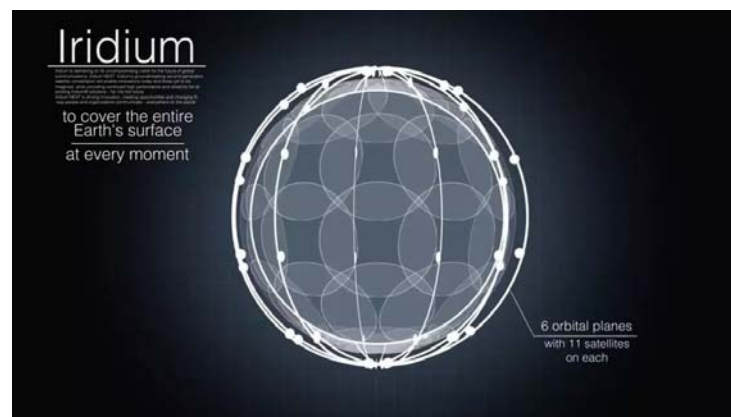
□ 卫星互联网：有时特指主要**基于LEO**实现的互联网服务

□ 服务内容：

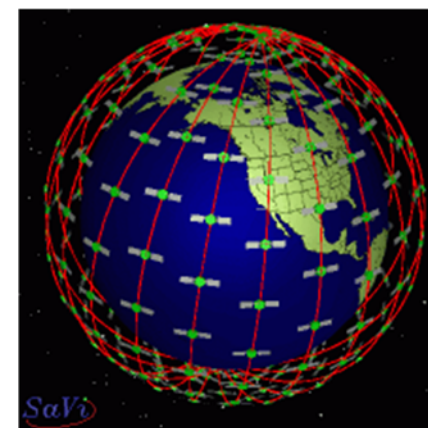
- 向地面和空中终端提供宽带互联网；
- **广覆盖**，**低延时**、**宽带化**、“**低成本**”。



地球同步卫星 GEO，35,786 km



铱星系统、新铱星，780 km



近地轨道卫星 LEO，400~2000 km

# 国际卫星互联网现状：主要星座

星座	卫星数量	轨道(km)	工作频段	星间链路	全球服务能力	支持业务	传输能力	已发射数量
Iridium Next	66	780	Ka/L	有	支持	移动通信、宽带通信、ADS-B、导航增强、物联网	移动：1.5Mbit/s 以下； 宽带：8Mbit/s	66
Global Star	48	1414					9.6kbit/s	42
Orbcomm	约47	740-975 (二代)					s (上行) 行)； +4 倍以上	35
OneWeb	720	1200					s /s	71
O3b	60	8,062 (MEO)						16颗
Starlink (美国 SpaceX)	4425+ 7518	340-550-1150						480
TeleSat	约117	1000	Ka	有	支持	宽带互联网接入	上行：50Mbit/s 下行：10Mbit/s	已发首颗

## 形势紧迫：

- 抢占轨道和频段资源
- 解决偏远地区通信问题 【商业】
- **威胁我国卫星产业安全**
- 急需发展自主卫星互联网核心技术
- 急需提升我军全球宽带通信能力

# 国家卫星工程

## 行云工程（航天科工） 80颗卫星，LEO轨道

时间	进程
2017.01	“行云实验一号”入轨
2018.03	“行云工程”正式启动
$\alpha$ 阶段 2020.05	“行云二号01星、如云二号02星”入轨
$\beta$ 阶段	实现小规模组网
$\gamma$ 阶段	实现全系统构建

## 天基联网星座（九天微星、中科天塔） 72颗卫星，LEO轨道

时间	进程
2018.12	瓢虫系列7颗卫星入轨
2021.12	部署12星、24星、72星

## 鸿雁星座（航天科技） 300颗卫星，LEO轨道

时间	进程
2018.12	首颗实验星“重庆号”
2020.12	建成“2+4+2”系统
2022.12	一期60颗卫星组网运营
2023.12	建成窄带系统
2025.12	建成宽带系统

## 虹云工程（航天科工） 156颗卫星，LEO轨道

时间	进程
2018.12	首颗技术试验星“虹云武汉号”入轨
2020.12	发射4颗业务星，组成小星座
2025.12	实现156颗卫星组网运行

## 重大部署

**天象星座**  
中电科集团  
60颗综合+60颗宽带星  
LEO轨道

时间	进程
2019.06	天象1星、2星入轨，构建开放式试验平台

## 银河Galaxy卫星星座（银河航天） 650颗卫星，LEO轨道

时间	进程
2020.01	首发星“银河一号”入轨，在国内第一次验证Q/V/Ka频段通信

2019~2020

数据来源：赛迪，《新基建”之中国卫星互联网产业发展白皮书》



# 国家科技计划布局

8

## □863/973、国家科技支撑计划等都有布局

- 基于2G技术的天通一号卫星地面应用系统
- 基于 LTE 的地面验证系统

## □国家重点研发计划“宽带通信与新型网络”重点专项(2020)

- 3.1 面向天地一体化空间智能计算的卫星组网技术
- 3.2 面向天地一体化大规模星座超密组网系统设计与性能评估技术
- ... ..

## □国家自然科学基金委联合基金

## □科技创新2030重大项目-“天地一体化信息网络”

## □国防科工与军民融合来源\*

### 3. 卫星通信技术

#### 3.1 面向天地一体化空间智能计算的卫星组网技术（共性技术类）

研究内容：为了进一步提升覆盖性能和快速响应能力，减少全球布站，下一代卫星通信网络应具备较强的在轨处理能力，能够高效地调度天基资源完成通信、组网和业务处理，实现在轨服务。面向多种垂直行业的智能通信服务保障需求，开展空间高效能、高性能、智能化组网和在轨服务技术研究，突破空间高性能异构分布式通信协议和业务处理、星地融合的网络虚拟化服务、空间移动边缘计算、通信载荷和资源的智能管控等关键技术，完成地面原型系统设计和演示验证。

考核指标：具备平台在轨自主运行管理能力；支持高低轨组

#### 3.2 面向天地一体化大规模星座超密组网系统设计与性能评估技术（共性技术类）

研究内容：随着低成本小卫星技术的发展，星座规模不断扩大，空间超密组网对系统设计与性能评估提出了新的挑战，特别是在频谱资源管理、超密组网架构和协议设计、网络运行维护以及性能评估等方面。针对未来上千万颗卫星构成的星座系统，开展多轨道大规模星座网络架构优化设计、宽窄结合/高低频结合的组网协议设计、协调用频和干扰管理、资源分配、高效运维、即插即用、性能评估等关键技术研究，研制半物理仿真演示验证系统。

考核指标：设计支持星座规模不小于10000颗；流量密度提升10倍；支持激光、毫米波和低频段；支持宽带、窄带等多种通信手段的综合利用和干扰管理；支持多种轨道的混合组网；建立完善的性能评估体系；仿真系统具备多种网络架构、协议、算法、



# 空天地一体化网络

□ **天基**：卫星网络由卫星、星座以及相应的地面基础设施(例如地面站和网络运营控制中心等)组成。

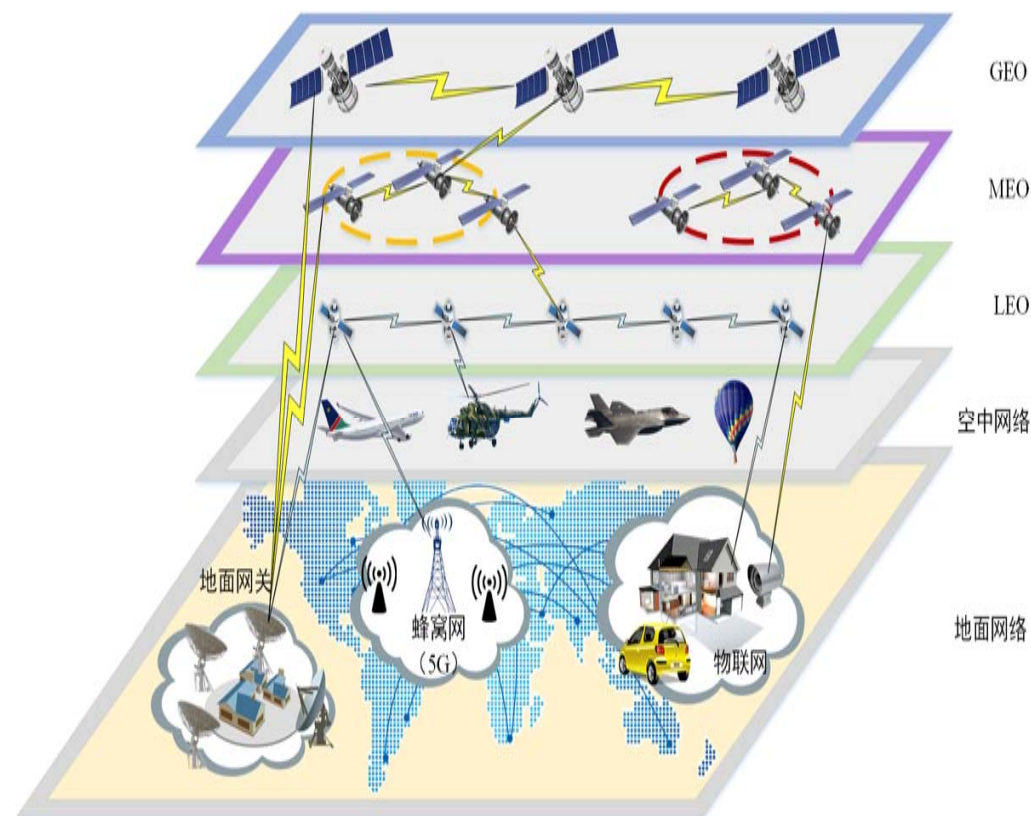
- 地球同步轨道(GEO)卫星：天基骨干网
- 近低轨道(LEO)卫星：天基接入网

□ **空基**：浮空平台、飞行器等

□ **地基**：主要地面信息港、陆地移动通信网络、互联网等；

□ 扩展至其他域：深空、海洋等

空天地海等一体化网络既是未来网络的基本形态，也是主要的应用场景



# “星地融合组网” 是关键

## 覆盖融合

卫星网络用于补充覆盖地面网络，两者仍然是相互独立的网络，提供的业务和采用的技术互不相同。

## 业务融合

两者仍然独立组网，但能够提供相同或相似的业务质量，在部分服务QoS指标上到达一致水平。

## 系统融合

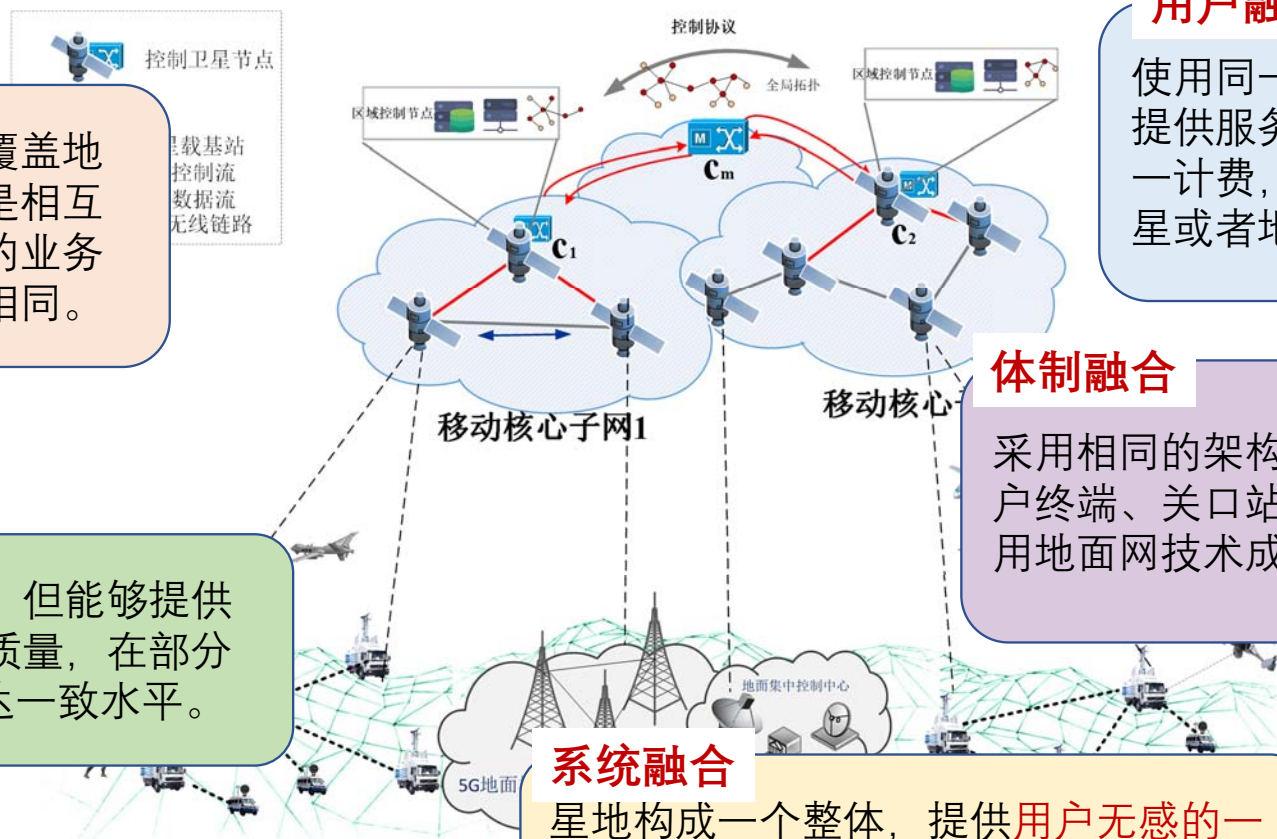
星地构成一个整体，提供用户无感的一致服务，采用协同的资源调度、一致的服务质量、星地无缝的漫游。

## 用户融合

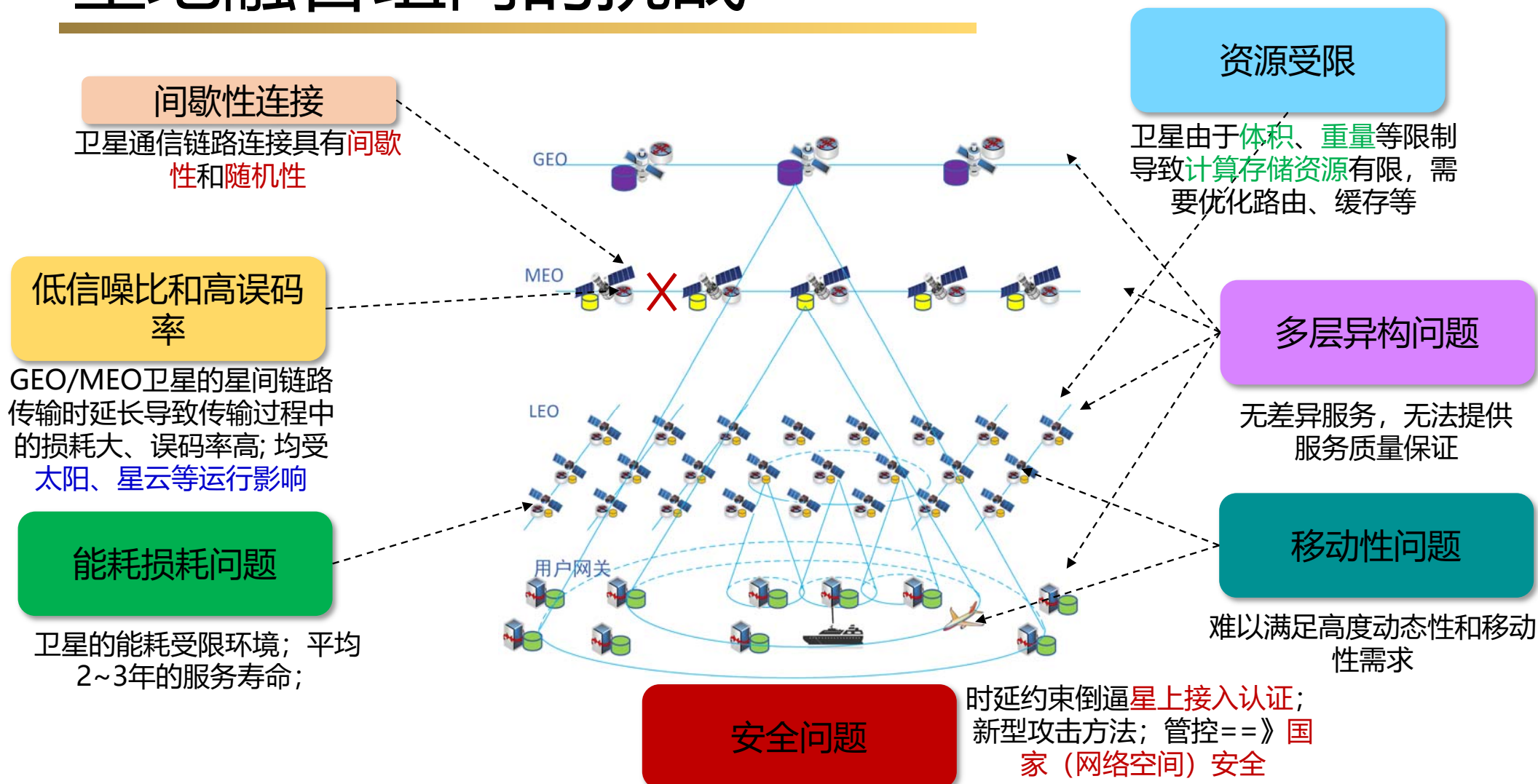
使用同一的用户身份（码号）提供服务，用户身份唯一、统一计费，网络按需选择利用卫星或者地面网络提供服务。

## 体制融合

采用相同的架构、传输和交换技术，用户终端、关口站或者卫星载荷可大量采用地面网技术成果。



# 星地融合组网的挑战



# 目录

---

12



星地融合组网之大势



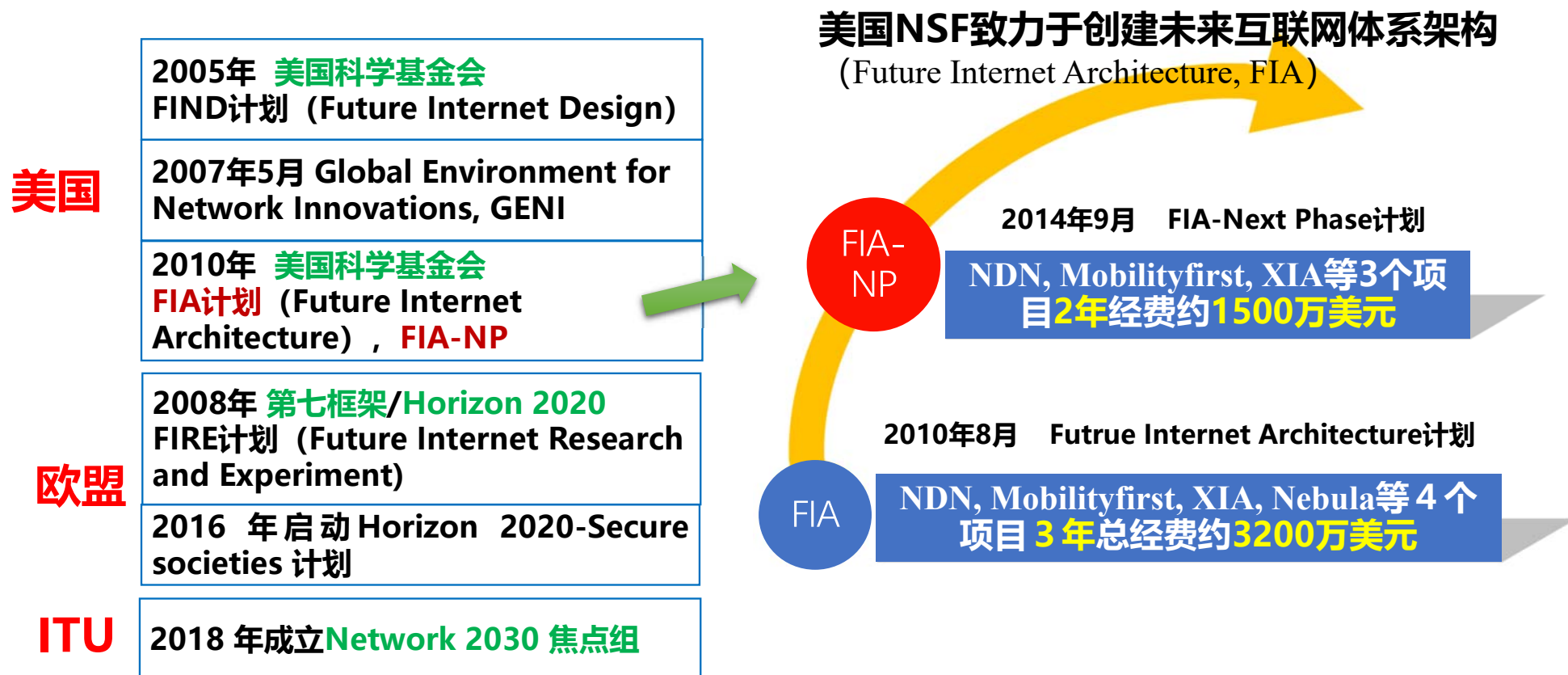
ICN 发展之路



ICN 的机遇与挑战

# 未来网络发展历程：国外

来自《全球未来网络发展白皮书》（2019版）



未来网络研究仍处于探索阶段，为我国信息科技领域提供了几十年难得一遇的战略机会



# 未来网络发展全貌：国内

来自《全球未来网络发展白皮书》(2019版)

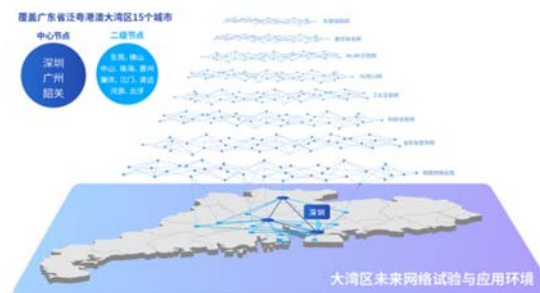
## 国内的未来网体系架构设计



## □国家/准国家级平台与大装置



## CENI 启动

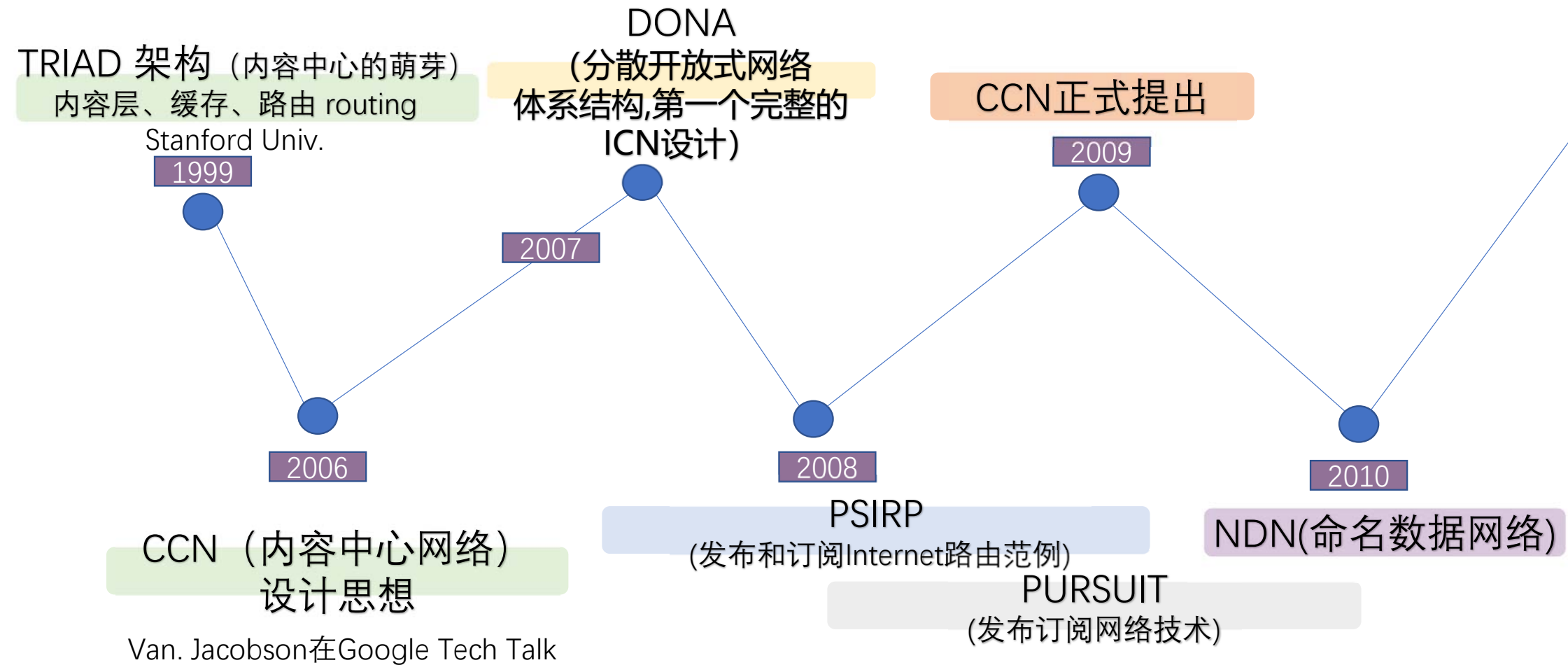


## 大湾区未来网络试验与应用环境（鹏城实验室）



# ICN 发展历史

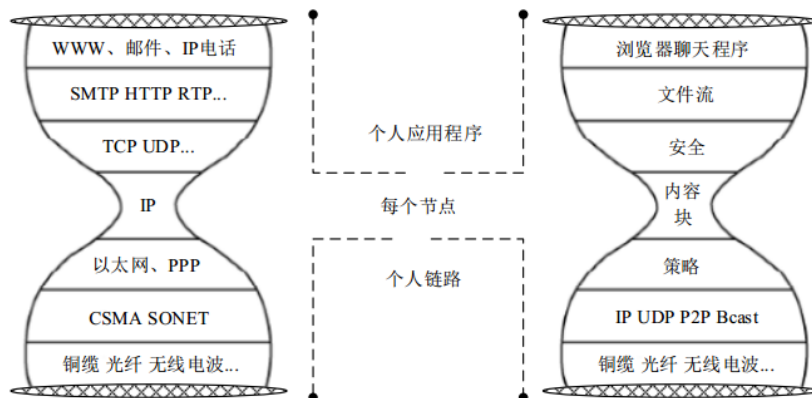
15



# ICN/NDN 的主要特点

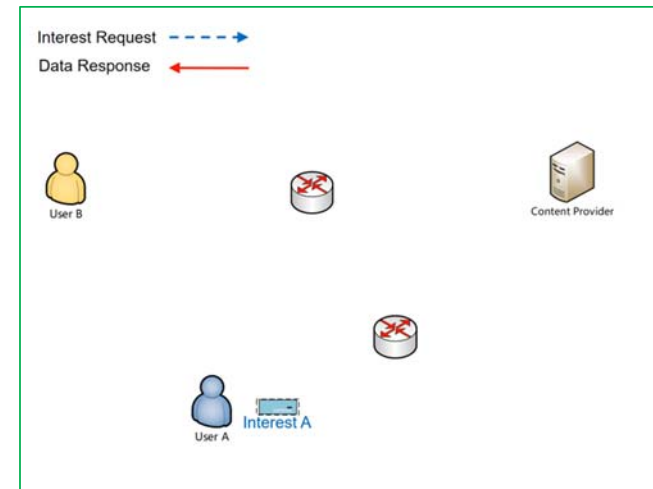
□ 从应用层 (HTTP) 借来 GET 操作，放到网络层 (**命名数据**)

- 数据命名、内容已知
- 用户驱动：PULL 模式
- 两种包：**Interest**– GET 操作；**Data** --》GET 响应



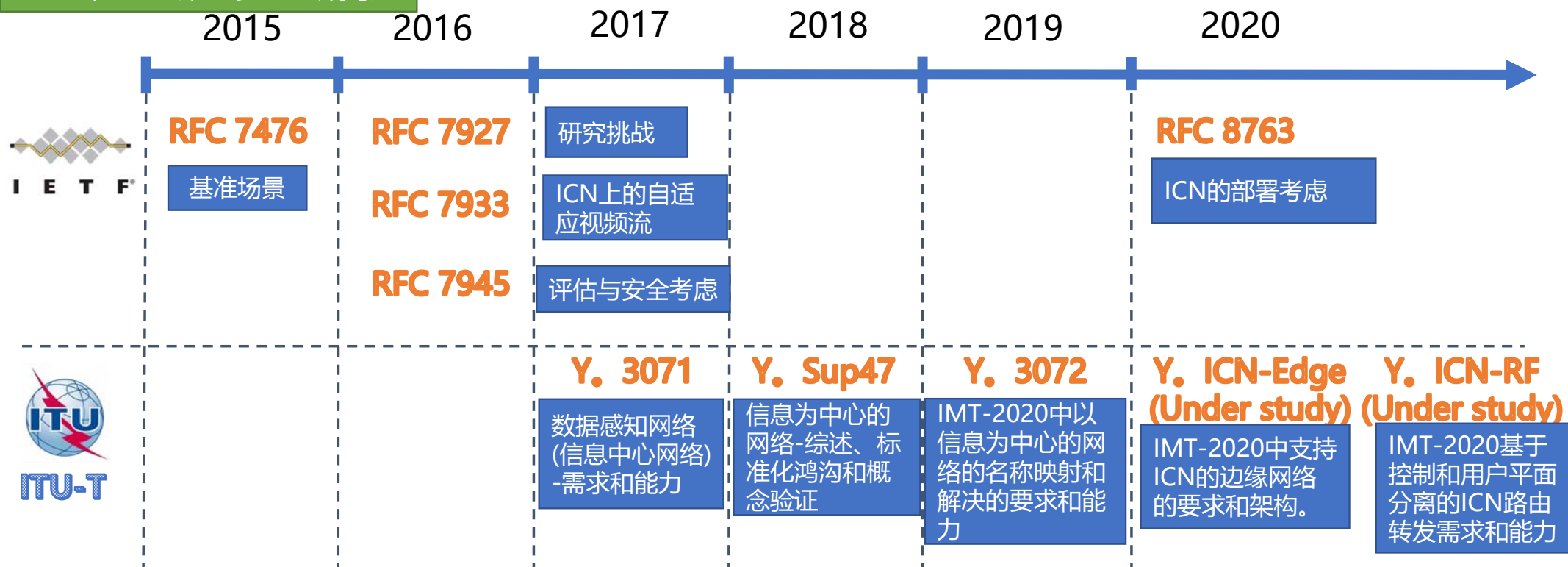
□ 其他特色

- 网内缓存：靠近用户
- 有状态的转发
- 基于内容加密的安全
- 天然多播...



# ICN 的标准化之路

2012年IRTF成立了ICN研究组



ITU-T SG13 (未来网络研究组)

北京邮电大学牵头的ITU-T国际标准“基于ICN和区块链技术的去中心化物联网通信体系结构”获准立项，5.6-16，

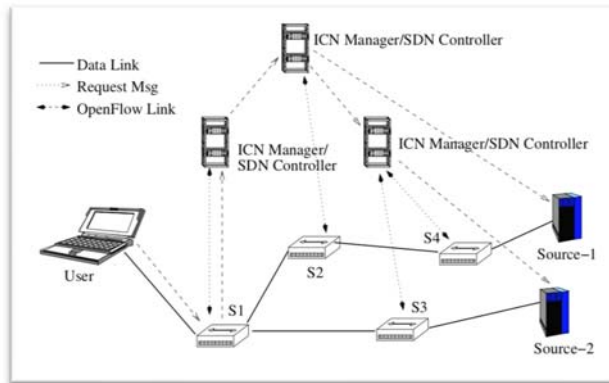
# ICN的实施与部署

18

From RFC 8763

## 1) ICN-as-an-Overlay

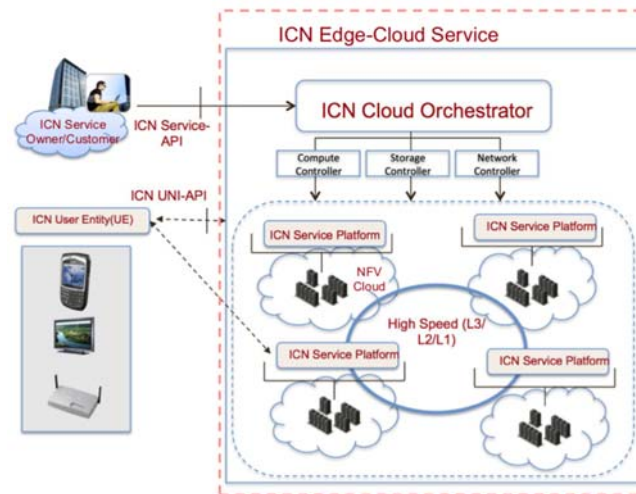
Overlay 部署方法可以通过 CCNx UDP, ICN-in-L2-in-IP 等方式实现。



Shailendra, Samar, NCC 2015

## 2) ICN-as-an-Underlay

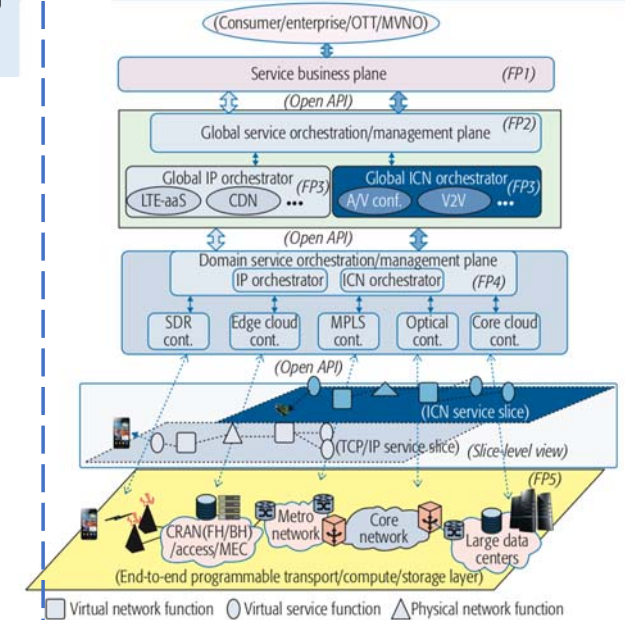
ICN作为孤岛的Underlay。在ICN岛之外，应用正常的IP路由协议。在ICN岛内，适用基于ICN的路由方案。网关在两个路由域之间传送消息的语义内容。



R. Ravindran, Cloudnet 2013

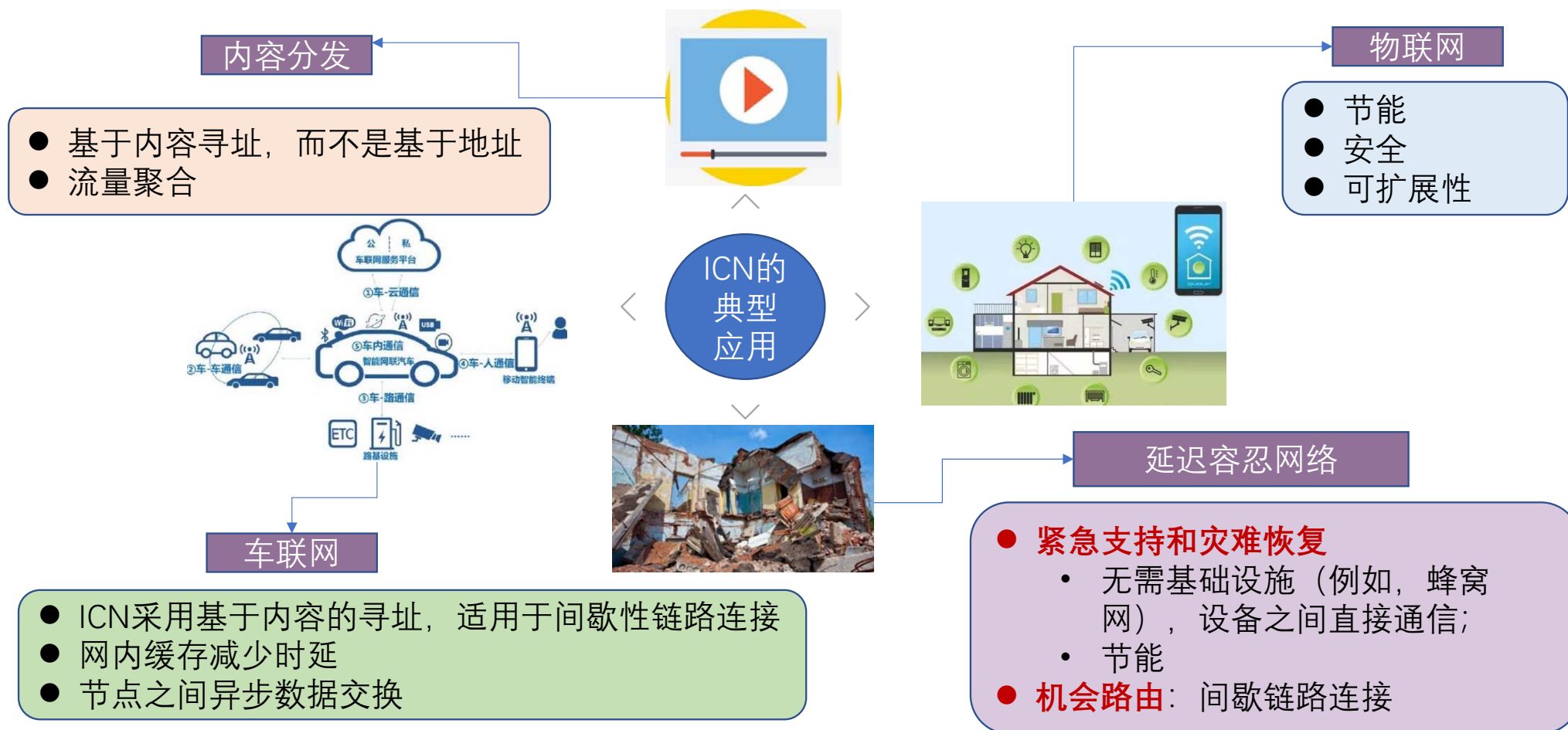
## 3) ICN-as-a-Slice

通过NFV和SDN技术，实现具有自己的控制和转发平面的ICN切片。



R. Ravindran, IEEE Comm. Mag. 2017

# ICN的典型应用



# 目录

---

20



星地融合组网之大势



ICN 发展之路

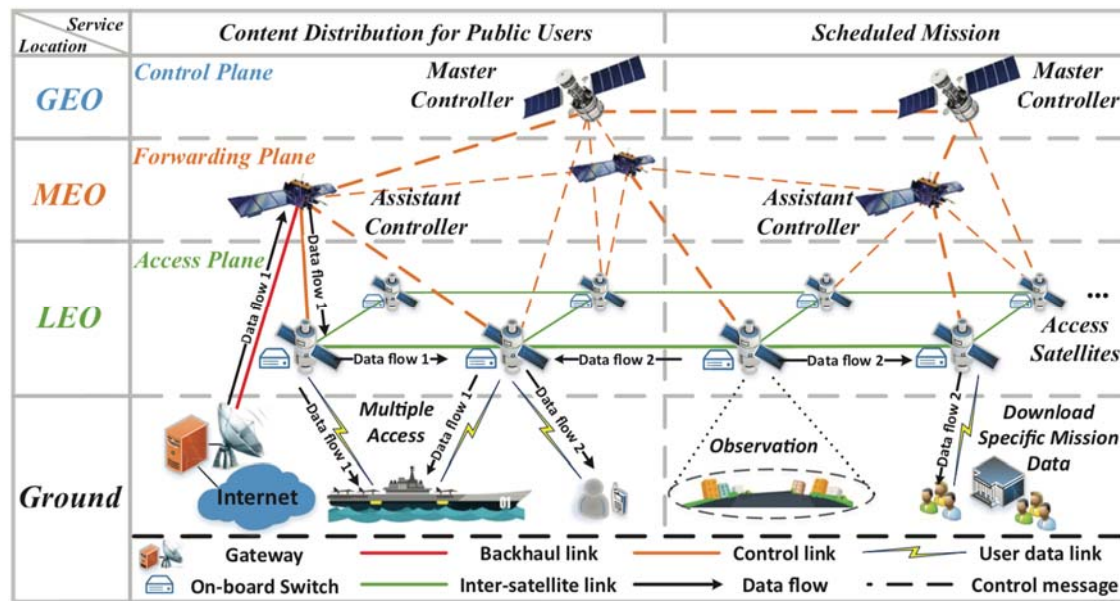


ICN 的机遇与挑战



# ICN 星地融合组网中的机遇

## (1) 基于 ICN 的星地融合组网架构设计



一种 ICN/SDN 的星地融合组网架构：

- 针对内容检索应用中流量贡献最大的问题，提出了一种简单有效的地面用户**协同内容检索**方案；
- 为了充分利用网内缓存，进一步提高内容检索的效率，提出了一种**协作缓存方案**和一种**编码缓存方案**。
- 为了实现与 ICN 的兼容，设计了一种基于 POF (protocol oblivious forwarding) 的**星上交换机**。

Source: J. Li, K. Xue, J. Liu, Y. Zhang and Y. Fang, "An ICN/SDN-Based Network Architecture and Efficient Content Retrieval for Future Satellite-Terrestrial Integrated Networks," in IEEE Network, vol. 34, no. 1, pp. 188-195, January/February 2020.

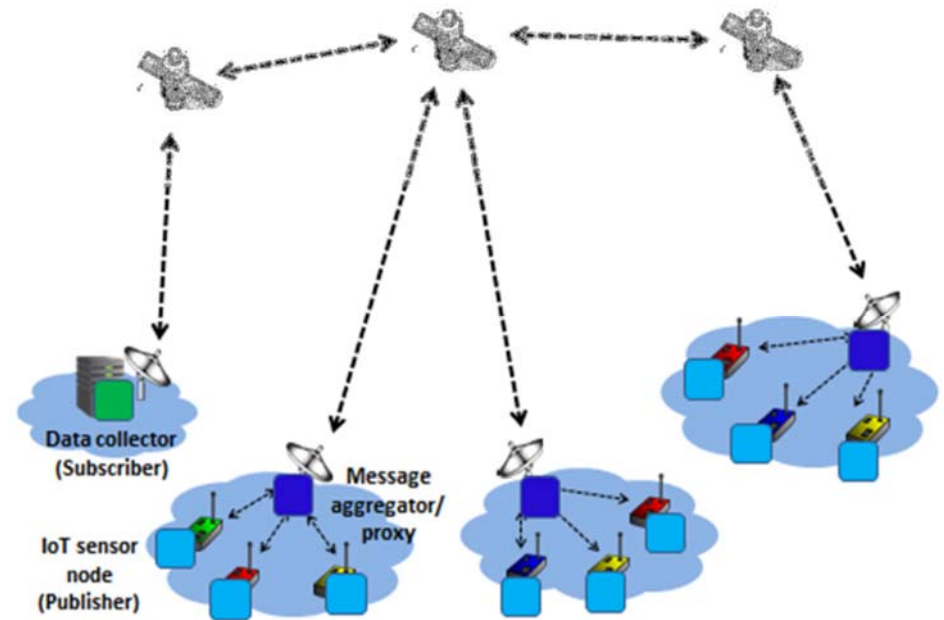
# ICN 星地融合组网中的机遇

22

## (2) 利用 ICN 在星地融合网络中支持物联网

在基于信息中心网络 (ICN) 的卫星-地面融合网络场景下，提出物联网传感器网络通过 LEO 卫星连接的三种优化模型：

- 基于 PubSub 模式
- 代理的消息聚合
- 单一代理对数据加密
- 每个物联网节点单独使用代理

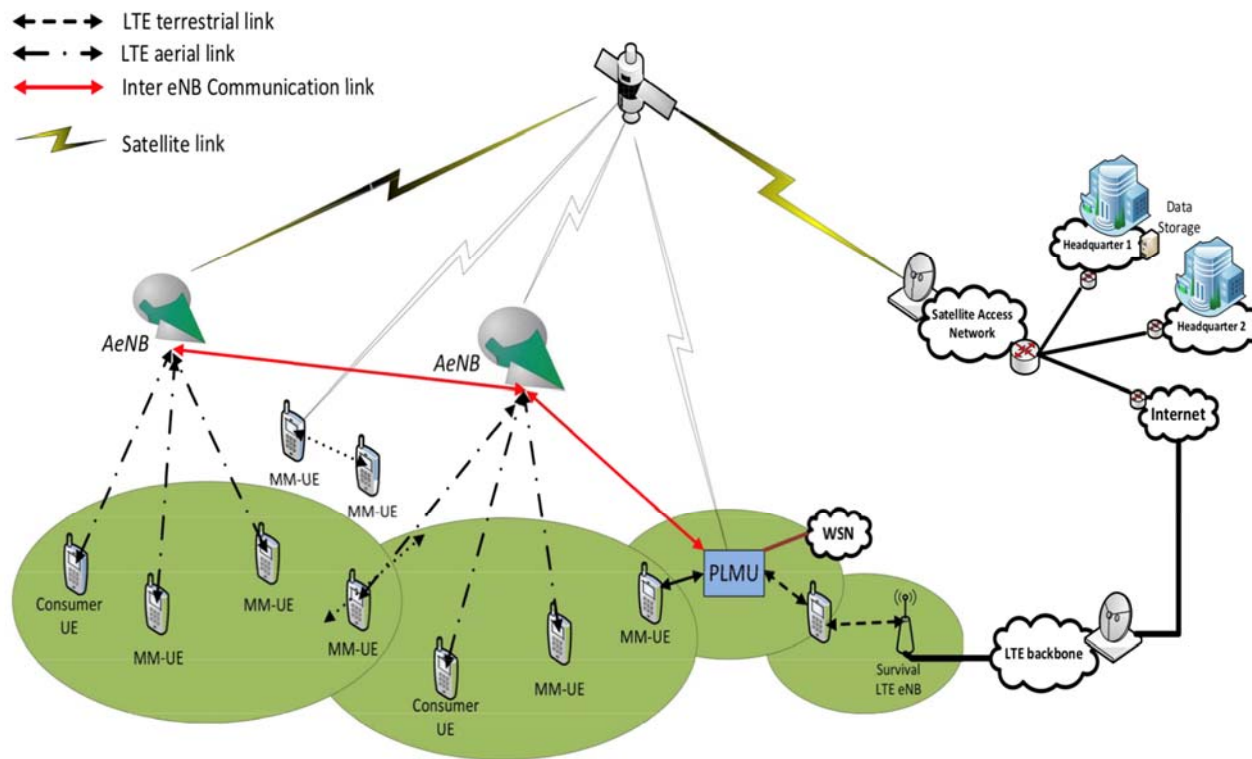


Source: V. A. Siris, Y. Thomas and G. C. Polyzos, "Supporting the IoT over Integrated Satellite-Terrestrial Networks Using Information-Centric Networking," 2016 8th IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS), Larnaca, 2016, pp. 1-5.

# ICN 星地融合组网中的机遇

23

## (3) 基于 ICN 的卫星辅助应急通信



利用热气球搭建 AeNB 应用 ICN 向受灾地区提供应急解决方案。

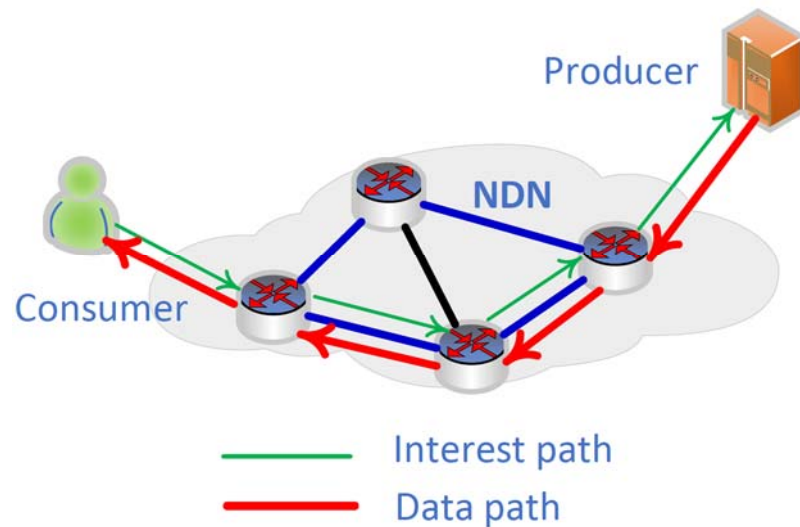
应用 ICN 的多路特性，仿真性能比 IP 应急方案提升近一倍。

Source: T. de Cola, G. Gonzalez and V. E. Mujica V, "Applicability of ICN-Based Network Architectures to Satellite-Assisted Emergency Communications," 2016 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), Washington, DC, 2016, pp. 1-6.

# 关键挑战一：向 ICN 2.0 演进

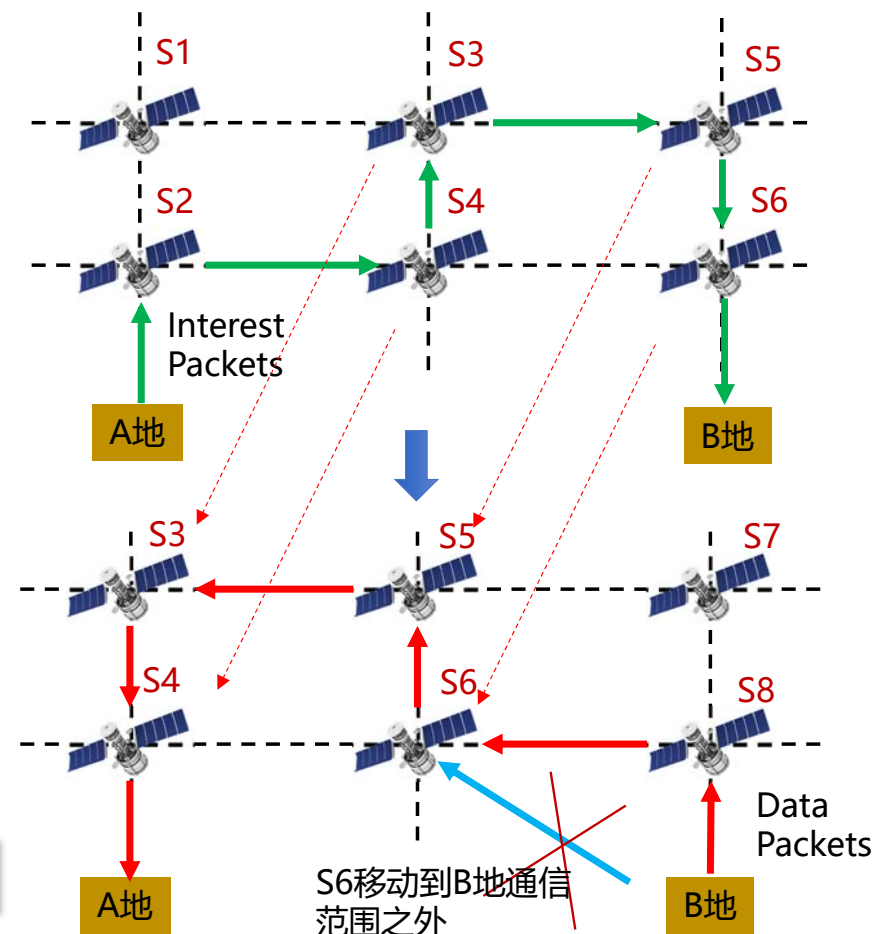
24

## (1) 对称架构向非对称演进



传统NDN/ICN 的路由设计

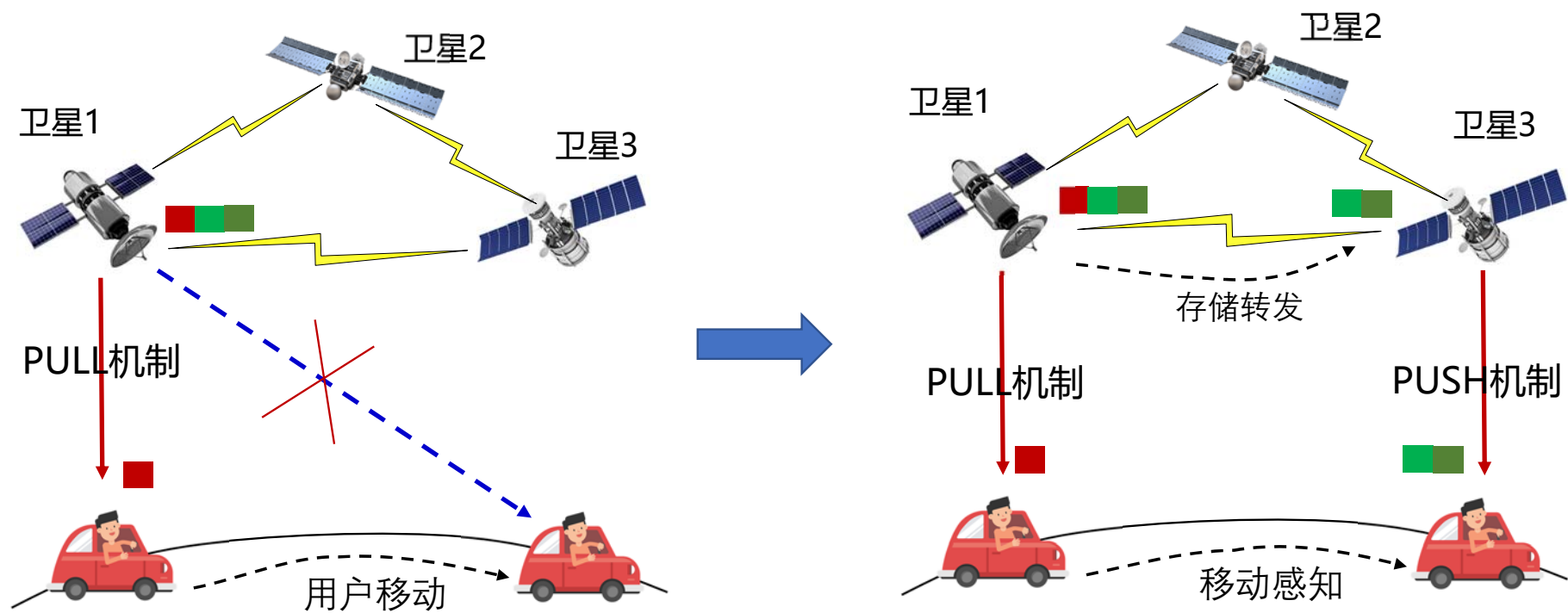
ICN 反向路由机制不适用于卫星互联网环境



# 关键挑战一：向 ICN 2.0 演进（续）

25

## (2) PULL 向 PULL/PUSH



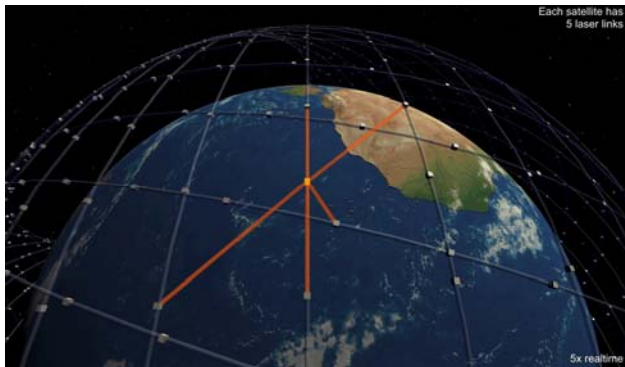
# 关键问题二：路由机制

## □命名规则

- 资源统一命名
- 内容的命名机制
- 设备的命名机制

## □拓扑发现

- 卫星节点加入、移动、退出
- 客户端加入、移动、退出



## □链路质量感知与估计

- 感知无线空口资源、卫星的运行轨迹、天线角度等
- 星间链路带宽容量、时延、传输能耗估计

## □智能路由策略

- 基于位置预测的路由策略
- 基于能量消耗的路由策略
- 基于传输延迟的路由策略
- 与 MPLS 结合
- 智能分段路由



# 关键问题三：移动性支持

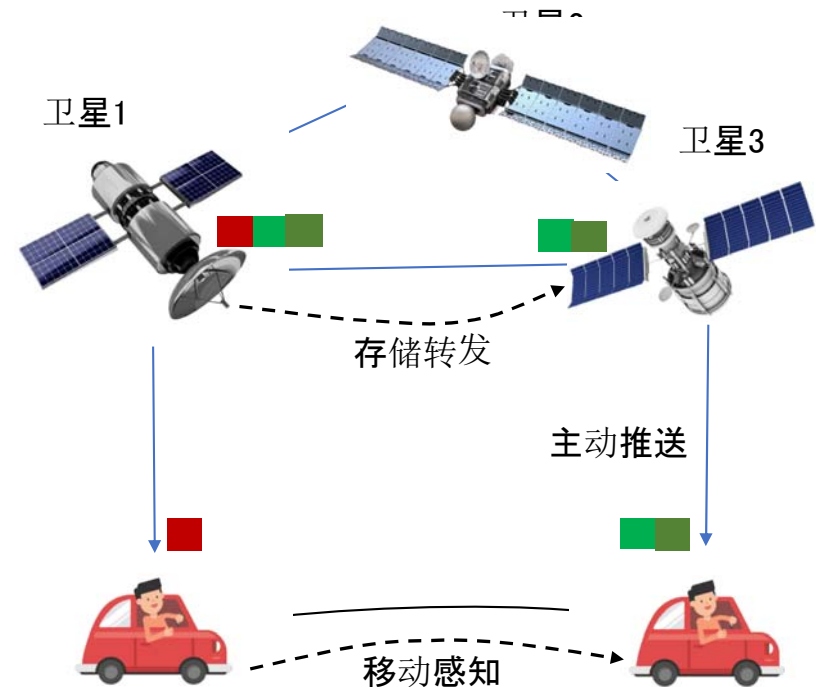
27

## □网络移动性新挑战：

- 消费者移动性
- 生产者移动性
- 网络移动性 (\*)

## □全局缓存优化策略

- 逐跳缓存克服卫星通信链路连接具有间歇性和具有随机性
- 全局缓存感知
- 移动感知与预测性调度
- 主动推送



# 关键问题四：层次化感知与智能资源调度

## □网络状态感知

- 卫星节点及其位置、用户位置、无线空口资源、传播环境信息测量

## □内容及服务感知

- 基于 ICN 的内生能力
- 星上与地面、内容及缓存

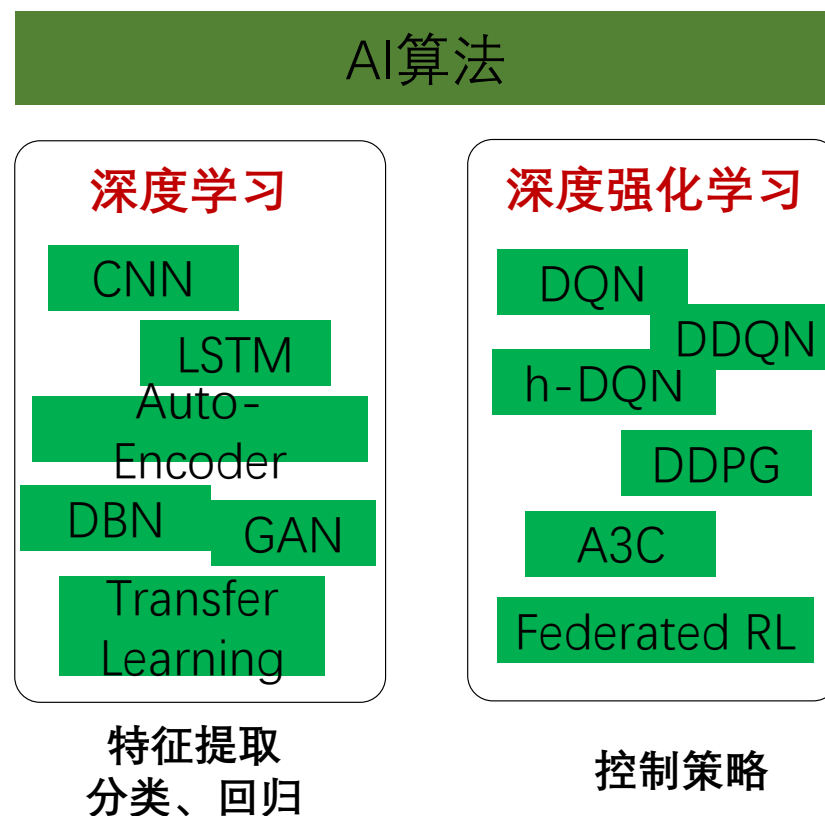
## □业务负载感知

- 用户请求数量、类型

## □跨层智能感知

- 业务场景与网络行为认知

## □全网智能管控



# 关键问题五：安全性

29

## □数据安全

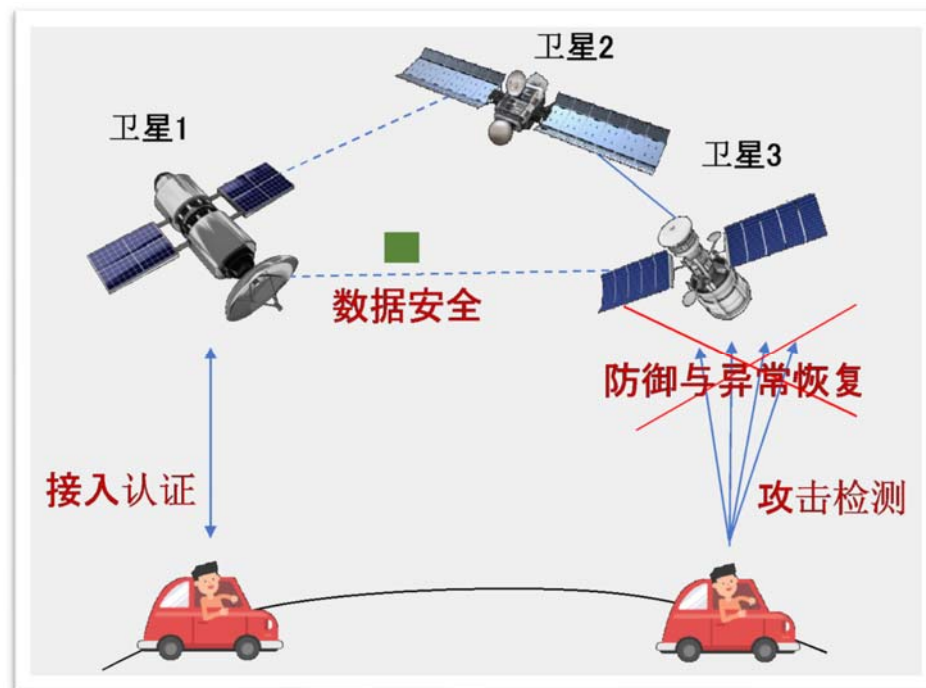
- 内容发布者与内容的绑定
- 缓存数据安全

## □接入认证

- 星间组网认证
- 用户接入星上认证
- 用户匿名认证

## □攻击检测与主动防范

- 缓存洪泛攻击的检测与防范
- 缓存污染的检测与防范
- 星际链路的攻击检测与防范



# 总结

---

30

- 星地融合是实现空天地一体化的关键;
- 未来网（含ICN）研究、标准化、部署等方面取得了重要进展;
- ICN 在星地融合组网中有不少研究机会，但自身仍需革新。



感谢聆听!

Web: [eini.cqupt.edu.cn](http://eini.cqupt.edu.cn)

Email: Luojt@cqupt.edu.cn

Mobile: 18680886698

