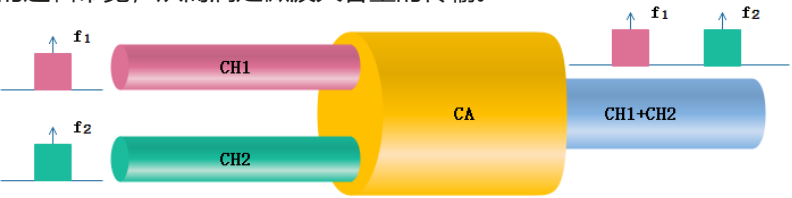


难题1：多载波/多切片的PAPR (Peak-to-Average Power Ratio, 峰均比) 抑制

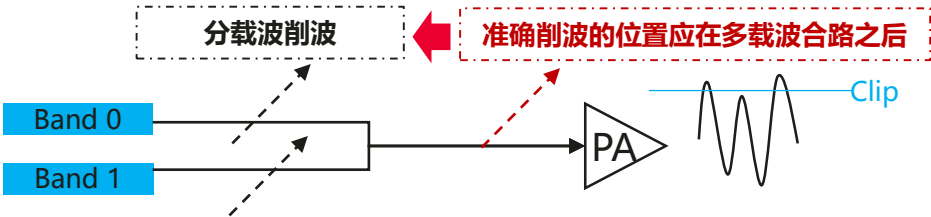
出题组织：无线网络研究部 接口专家：柏果 boguo@huawei.com; 张晶晶 zhangjingjing2@Huawei.com

需求背景

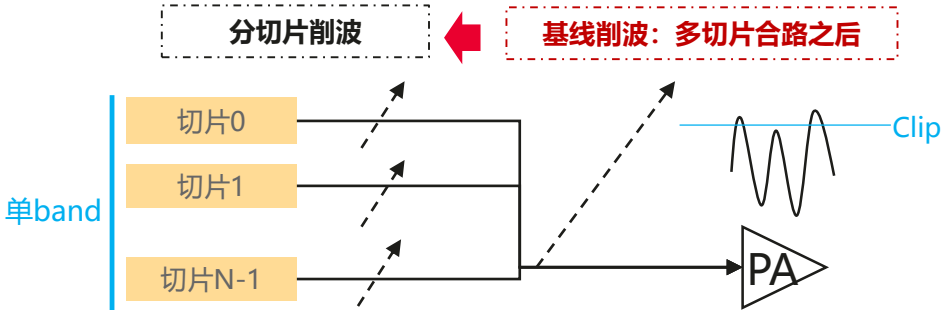
- 微波：**N-Band波道带宽一般为7MHz、14MHz、28MHz、56MHz、112MHz、224MHz；载波聚合（Carrier Aggregation, CA）微波通过将多个零星波道聚合，来实现更大的逻辑带宽，从而满足微波大容量的传输。



- 无线：**在类似的多通道聚合PAPR抑制需求，典型两个场景
- ✓ Case 1：各载波分别削波处理 VS 合路后集中削波



- ✓ Case 2：单个band内的多切片削波，为了减少资源开销，也倾向于各自切片独立完成削波，并达到各切片合路集中削波的性能。



技术挑战

- 多载波/多切片-PAPR抑制：**设第*i*个载波或切片的信号为 s_i ，功率为 P_i ， $P_i \in \mathbf{P}$ ，带宽为 B_i ， $B_i \in \mathbf{B}$ ，载波为 f_i ， $f_i \in \mathbf{f}$ ， $i = 1, 2, \dots, I$ ， $f_i < f_{i+1}$ ，实时交互给第*j*个载波或切片的信号为 $x_{j,i}$ ，如何在 $x_{j,i}$ 的数据量远小于 s_i 的前提下，通过**分布式**处理 $\{s_i, x_{i,1}, \dots, x_{i,i-1}, x_{i,i+1}, \dots, x_{i,I}, \mathbf{P}, \mathbf{B}, \mathbf{f}\}$ ， $i = 1, 2, \dots, I$ 实现合并后PARP不明显劣化；
- 多载波/多切片-PAPR统计理论：**在 $x_{j,i}$ 的数据量远小于 s_i 的前提下，通过分析 $\{s_i, x_{i,1}, \dots, x_{i,i-1}, x_{i,i+1}, \dots, x_{i,I}, \mathbf{P}, \mathbf{B}, \mathbf{f}\}$ ，是否可以推导出时域PAPR统计。

当前结果

- 双频削波后的PAPR和单频削波的结果相当^[1]，但交互数量100%，需降低交互；

$$\text{if } |x_0| + |x_1| > Th$$

$$\text{clipnoise} = |x_0| + |x_1| - Th$$
 在载波0: $x_0 - \text{clipnoise} * \frac{|x_0|}{|x_0| + |x_1|} * \exp(j * \arg(x_0))$
 在载波1: $x_1 - \text{clipnoise} * \frac{|x_1|}{|x_0| + |x_1|} * \exp(j * \arg(x_1))$
- 三频及以上尚无满足指标方案。

技术诉求

在低倍速率下实现最终合路信号的PAPR抑制：

- 多载波/多切片-PAPR统计理论：**在 $x_{j,i}$ 数据量不超过 s_i 数据量X%的前提下，通过分析 $\{s_i, x_{i,1}, \dots, x_{i,i-1}, x_{i,i+1}, \dots, x_{i,I}, \mathbf{P}, \mathbf{B}, \mathbf{f}\}$ ，推导出时域PAPR统计；
- 多载波/多切片-PAPR抑制算法：**在 $x_{j,i}$ 数据量不超过 s_i 数据量X%的前提下，设计分布式处理算法，支持处理2~5个载波或切片下的 $\{s_i, x_{i,1}, \dots, x_{i,i-1}, x_{i,i+1}, \dots, x_{i,I}, \mathbf{P}, \mathbf{B}, \mathbf{f}\}$ ， $i = 1, 2, \dots, I$ ，合路信号的劣化不超过XdB，BER劣化不超过XdB，额外增加开销不超过X%。

参考文献：

[1] Crest Factor Reduction of Inter-Band Multi-Standard Carrier Aggregated Signals, IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, VOL. 62, NO. 12, DECEMBER 2014, B Fehri, S Boumaiza, E Sich

难题2：E-band传输信道雨衰对信号的影响分析建模

出题组织：微波产品部 接口专家：任田昊 rentianhao@huawei.com

技术背景

- E-band (71~86GHz) 带宽大，是5G/5.5G回传的主力频段，但雨衰很大，限制了覆盖距离。
- 在降雨率较大地区，如P雨区（印尼、马来西亚、菲律宾、尼日利亚等），降雨率为145 mm/h，对应雨衰约40dB/km，导致传输距离受限。
- EIRP（Equivalent Isotropic Radiated Power，等效全向辐射功率）法规为85dBm，不可能通过一味增加链路余量（提发功、提天线增益、提灵敏度等）来对抗雨衰。



技术挑战

- 现有雨衰模型是经验模型，仅能计算出整体的雨衰损耗值，缺少对物理过程的描述，无法对雨衰进行细化和分解，所以我们也无从做一些补偿技术来减小雨衰。
- 缺少对雨衰物理过程的深入理解，缺少一个物理模型，可以对雨衰进行分解，分析清楚哪些损耗无法被补偿回来，哪些损耗是有可能被补偿回来的。

当前结果

针对雨衰的模型，大体可分为经验模型和物理模型：

经验模型

在ITU（International Telecommunication Union，国际电信联盟）标准中，规定了一些经验公式，如在要求通信链路的可用度为99.99%时，雨衰的计算方法如下。可以看出，利用经验公式仅能计算一个整体的雨衰损耗值，无法进行进一步的分解。

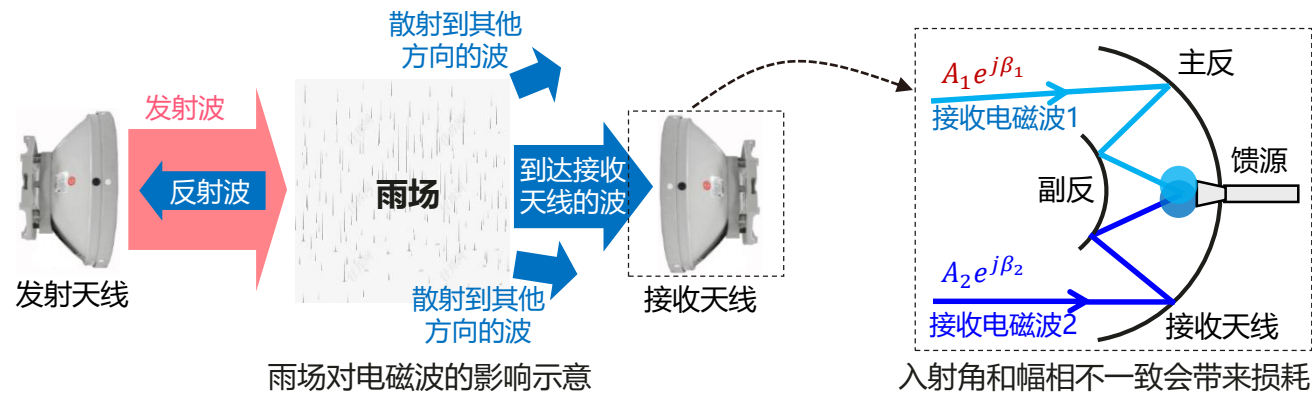
$$A = k R^\alpha \frac{1}{1 + d/d_0}$$

$\downarrow$ $\downarrow$ $\downarrow$
 雨衰 降雨率 距离

k 、 α 、 d_0 是标准中的参数

物理模型

从电磁波经过雨场发生的物理过程出发，对雨衰进行分解和分析。当前我们认为，由于存在反射、折射、吸收、散射等物理过程，仅有部分电磁波顺利到达接收天线处。并且，到达接收天线处的电磁波，受雨场散射影响，**入射角、幅度和相位不一致**，导致无法像晴天时那样良好地收集电磁波，从而带来了损耗。这部分损耗是有可能通过一些校正技术补偿回来的。



技术诉求

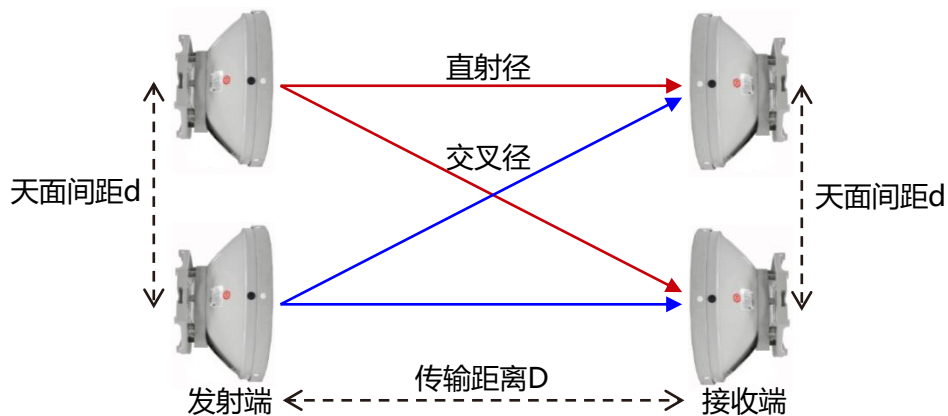
建立一种雨衰模型，分析E-band频段，不同方向的线极化和圆极化电磁波，在传输距离为百米到若干公里，降雨率分别为42/145 mm/h，雨衰的细化分解，接收天线口面处的到达角度分布和幅相分布等。

难题3：低天面间距LOS (Line of Sight, 视距) MIMO

出题组织：微波产品部 接口专家：任田昊 rentianhao@huawei.com

技术背景

- 随着5G/5.5G的快速发展，对通信容量提出了巨大挑战，更大的容量意味着更多的频谱，但频谱资源获取困难，有时花费高昂。MIMO (Multiple Input Multiple Output) 可基于已有的频谱资源，成倍提升通信容量，从而满足网络扩容的要求
- MIMO技术是多路输入多路输出技术，在发射端和接收端分别使用多个发射天线和接收天线进行信号的多发多收。在点对点微波系统中，采用LOS (Line of Sight, 视距) MIMO技术。如2*2 MIMO的基本天线构造如下所示



技术挑战

- 以2*2 MIMO为例，若相比于SISO (Single Input Single Output, 单入单出) 要获得2倍容量提升，交叉径需要比直射径多走90°的相位，即 $\lambda/4$ ，故同站天面间距d需足够大，满足瑞利距离，公式如下

$$d_{optimal} = \sqrt{\frac{D * c}{2f}}$$

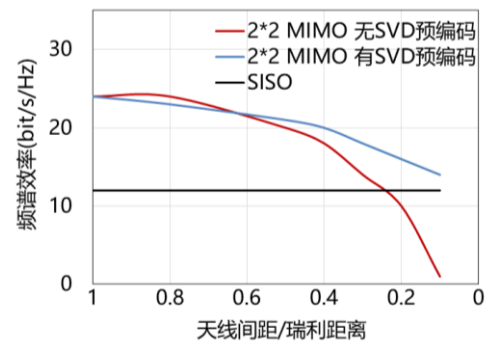
d : 天线间距 D : 传输距离
 c : 光速 f : 频率

- 可以计算得到：频率15GHz，传输距离10km和20km时，瑞利距离分别为10m和14m。这对于现网环境来说，天面距离太大，部署困难

当前结果

算法方面

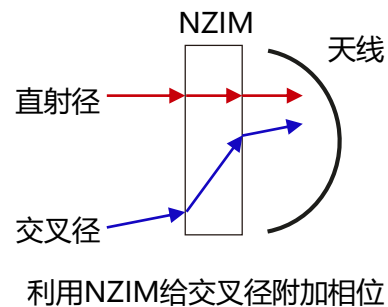
当天面间距从瑞利距离逐渐缩小时，2*2 MIMO的容量（或频谱效率）会逐渐减少，甚至由于交叉径带来的干扰会低于SISO。通过SVD (Singular Value Decomposition, 奇异值分解) 预编码算法，可以在低天面间距时获得一定的收益，但这仍无法满足现网需求



利用算法技术提升MIMO容量的理论限

特殊材料方面

以1.2m直径天线、传输距离10km、天面边缘间距1m为例，可以计算出交叉径和直射径的夹角仅为0.013°。一些特殊材料，如近零折射率材料 (near-zero-index materials, NZIM)，有可能可以将小角度的入射波，实现大角度的折射，从而使交叉径多走一段路程，实现附加相位，宏观效果是天线的相位中心拉远了。其问题在于：1) 需要分辨0.01°量级的小角度较困难，且折射后的角度要求较大(如>45°)，当前没有一套完整的方案；2) 现网中天线会晃动，可能会使原有方案失效



电磁场方面

传统的电磁场形式都是远场平面波传播，MIMO实现直射径和交叉径的正交是通过附加90°相位。一些其他的电磁场形式，如OAM (Orbital Angular Momentum, 轨道角动量) 可利用不同模式之间的正交性。但其缺点在于传播距离较远时，如十几公里后，模式发散严重，需要一个很大口径的天线才能完整接收

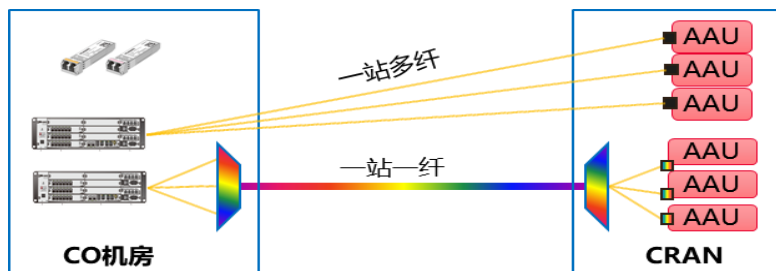
技术诉求

在两发两收LOS MIMO场景下，频率15GHz，天线口径为直径1.2m，传输距离10~20km，天面边缘间距≤1m时，相比于单发单收，容量提升1.5~2倍

难题4：非相干50G/100Gbps彩光链路的长距传输MPI (Multi-path Interference, 多径干扰) 补偿

出题组织：基站平台部 接口专家：杨睿 tristan.yangrui@huawei.com

技术背景

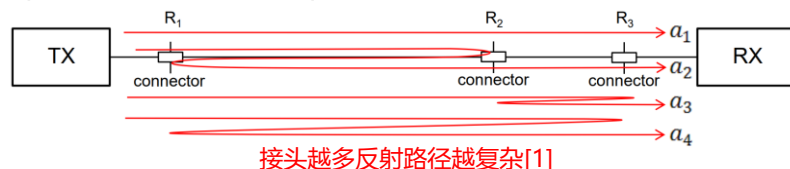


无线CRAN场景：CRAN前传随着拉远距离的增加，室外环境相对恶劣，光纤链路质量差，需要主动优化链路，实现稳定传输。

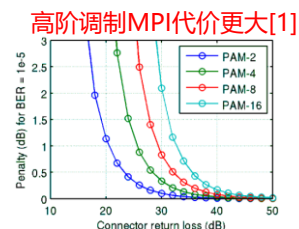
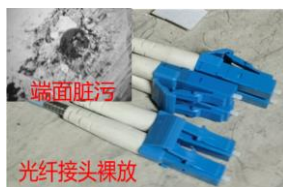
技术挑战



拉远距离的增加 (15~20km)，光纤接头增多，现网施工规范性等问题，带来严重MPI (Multi-path Interference)。同时50G/100Gbps采用PAM4调制格式，相对传统的NRZ (Non-return-to-zero) 调制，MPI的影响更加严重。

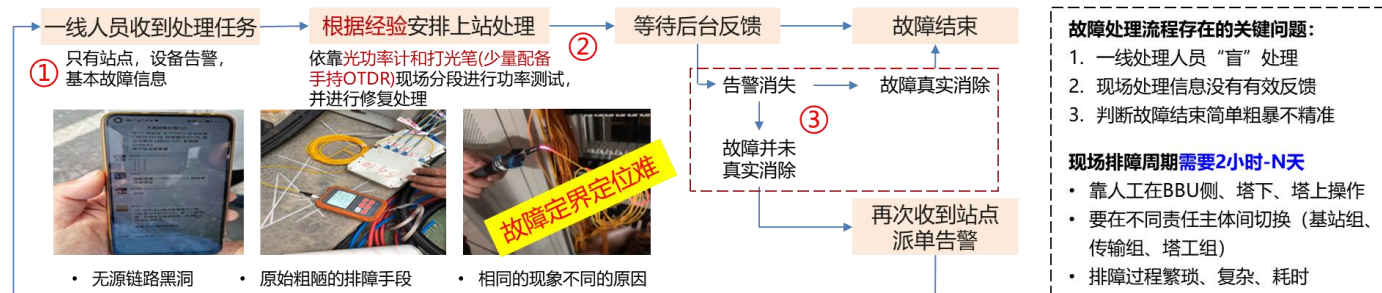


接头越多反射路径越复杂[1]



当前结果

• 现场处理：一线人员上站定位处理，清洁光纤端面，降低反射：施工周期长，效率低



故障处理流程存在的关键问题：

1. 一线处理人员“盲”处理
2. 现场处理信息没有有效反馈
3. 判断故障结束简单粗暴不精准

现场排障周期需要2小时-N天

- 靠人工在BBU侧、塔下、塔上操作
- 要在不同责任主体间切换（基站组、传输组、塔工组）
- 排障过程繁琐、复杂、耗时

• MPI补偿算法^[2]：通过收端高通滤波器（HPF）降低MPI：需要陡峭的滚降曲线，DSP实现复杂度较高

MPI建模

$$E(t) = E_s(t) e^{j\phi(t)} + \sum_{k=1}^N \sqrt{R_k^2} \cos \alpha_k E_s(t - \tau_k) e^{j\phi(t - \tau_k)}$$

信号光 相噪 反射率 偏振角 时延

逻辑框图

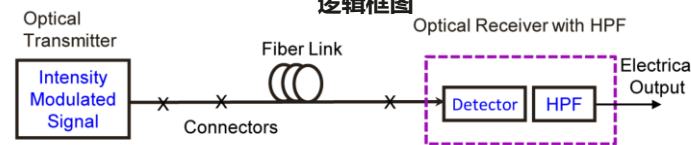


Fig. 1. Fiber transmission system using high pass filter to mitigate MPI at optical receiver.

26.6Gbaud PAM4实验/仿真结果

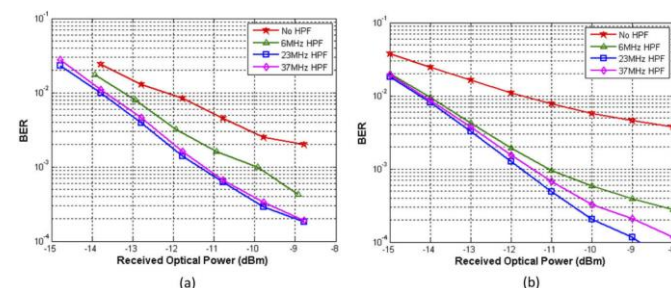


Fig. 12. BER vs. ROP for 26.6Gbaud PAM4 with different HPF cut-off frequencies. (a), experiment; (b) simulation.

技术诉求

MPI补偿算法或AI算法：56GBaud/s PAM4信号支持补偿-33dB@10~12个接头MPI代价 (dB值定义为所有回损在信号偏振态上的分量叠加，当前IEEE标准是-39dB@10个接头[3])，纠错前误码率<2.4E-4。并且算法复杂度较低，能够低成本实现。

参考文献：

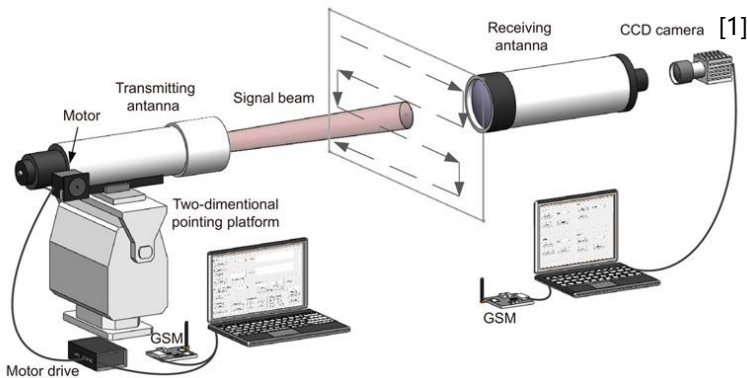
- [1] PAM MPI: Overview & Recommendations (ieee802.org)
- [2] Wen Y J, Cui Y, Bai Y. Mitigation of optical multipath interference impact for directly detected PAMn system[J]. Optics express, 2020, 28(25): 38317-38333.
- [3] Table 140–15—Maximum value of each discrete reflectance, IEEE Std 802.3

难题5：低成本无信标光ATP (Acquisition, Tracking and Pointing, 捕获、跟踪、瞄准) 技术

出题组织：微波产品部 接口专家：左竞 zuojing16@huawei.com

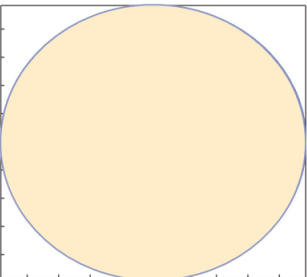
技术背景

- FSO光通信带宽大频谱免费，是6G的研究热点。
- 在该技术中信号光束散角极小，易受平台振动影响，产生脱靶现象，所以需要有捕获跟踪瞄准（ATP）系统保持高精度跟瞄，为通信传输提供可靠保障。

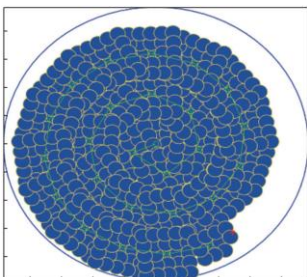


技术挑战

- 现有ATP技术需额外设置信标光组件。其中，信标光通常束散角较大接收机可在极短时间内捕获到信标光实现快速建链，但该架构不利于降低系统的体积、重量、功耗和制造成本。
- 采用小束散角的信号光进行快速高密度扫描可形成大束散角信标光的效果，有望实现无信标ATP系统，解决上述问题的困扰。



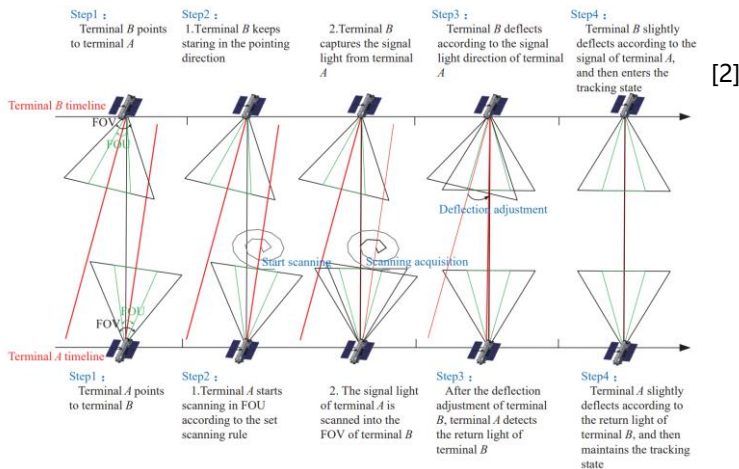
信标光覆盖区域



信号光扫描覆盖区域[2]

当前结果

现阶段无信标ATP技术受信号光束散角小（ $<1\text{mrad}$ ）、光束扫描速度低（ $<1\text{KHz}$ ）等因素的影响，存在扫描时间长（ $\sim\text{min}$ ）等问题，制约了无信标ATP技术在空间网络实用化方面的发展[2]。



技术诉求

技术参数：当信号光束散角为 $50\mu\text{rad}$ 、光束口径为 200mm 时，可抑制 $\pm 2^\circ$ 内的抖动，抖动抑制带宽 $>10\text{Hz}$ 。

基于以上约束，研究低成本无信标光ATP技术，包括但不限于：

- 建立基于信号光扫描方法的无信标光ATP系统模型，研究高效的扫描及跟瞄方案，跟瞄对准时间 $<10\text{s}$ ，捕获成功率 $>95\%$ 。
- 研究上述低成本高性能无信标光ATP系统的关键组件，如高速光束扫描机构。
- 其他无信标光ATP技术，如基于高精度姿态传感器的跟瞄技术等。

参考文献：

- 梁静远, 陈瑞东, 姚海峰, 等. 无线光通信系统捕获、瞄准和跟踪研究进展[J]. 光电工程, 2022, 49(8): 210439-1-210439-23.
- 梅博, 杨中华, 李梦男. 无信标星间激光通信系统粗精复合扫描方法[J]. Infrared and Laser Engineering, 2022, 51(6): 20210434-20210434.