

基于5G MR实现Massive MIMO 权值智能寻优的技术方案研究

Research on Intelligent Optimization of Massive MIMO
Coverage Based on 5G MR

许国平¹,王 科²,杨飞虎³,王 权¹(1. 中国联合网络通信集团有限公司,北京 100033;2. 中国联通山东分公司,山东 济南 250000;3. 中国联通网络AI中心,上海 200050)

Xu Guoping¹,Wang Ke²,Yang Feihu³,Wang Quan¹(1. China United Network Communications Group Co.,Ltd.,Beijing 100033,China; 2. China Unicom Shandong Branch,Ji'nan 250000,China;3. China Unicom Network AI Center,Shanghai 200050,China)

摘 要:

首先基于5G NSA的技术特点,提出了从NSA MR获取高精度经纬度信息的技术方案。进一步地,提出了基于MR经纬度信息的Massive MIMO权值智能寻优技术方案,利用智能化权值选择算法在Massive MIMO权值空间中搜索最优解;考虑到现有系统算力的限制,还提出了寻求局部最优解的简化算法,提高了算法的实用性和推广价值。

关键词:

5G;MR;Massive MIMO;智能寻优

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2021.02.002

文章编号:1007-3043(2021)02-0006-05

中图分类号:TN929.5

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

Firstly, based on the technical characteristics of 5G NSA, a technical scheme to obtain high-precision longitude and latitude information from NSA MR is proposed. Furthermore, an intelligent optimization scheme of Massive MIMO weight based on MR latitude and longitude information is proposed, which uses intelligent weight selection algorithm to search the optimal solution in Massive MIMO weight space. Considering the limitation of computing power in existing system, a simplified algorithm to search the local optimal solution is also proposed, which improves the practicability and popularization value of the algorithm.

Keywords:

5G; Measurement report; Massive MIMO; Intelligent optimization

引用格式:许国平,王科,杨飞虎,等. 基于5G MR实现Massive MIMO权值智能寻优的技术方案研究[J]. 邮电设计技术,2021(2):6-10.

1 概述

Massive MIMO(后文简称MM)是5G的核心技术之一,通过多组天线单元成倍提升系统容量,但MM小区的天线权值配置组合非常多,不同的应用场景也需要不同的权值配置。传统相对静态的天线配置方式已经无法满足5G网络优化的需求,更加难以保证最佳的覆盖性能和业务吸收效果,而且预设天线权值无法应对多样化、动态变化的覆盖场景。

目前从5G MR获取经纬度技术还不成熟,本文首先基于NSA技术的特点,解决了从5G MR快速获取高

精度经纬度问题。然后研究了基于MR的MM权值智能寻优技术方案,该技术方案既可满足NSA网络中各小区的覆盖和性能要求,又可以推广到SA网络实践中。

2 5G NSA MR高精度经纬度方案研究

目前5G MR缺少高精度定位信息,严重制约MR信息在5G网络覆盖与干扰、用户感知问题定位中的应用。5G MR定位信息主要受以下因素制约。

a) NR协议还不支持UE携带GNSS(Global Navigation Satellite System)位置信息上报,支持NR MDT的R16协议刚冻结不久,现有的UE还不能在NSA网络的MR中上报GNSS位置信息。

收稿日期:2021-01-08

b) 三角定位精度较低,三角定位主要利用服务小区和至少2个邻区的路损信息,计算出UE的实际位置。由于无线信号波动较大,路损计算存在较大偏差,实际定位精度只有100~120 m。

2.1 解决方案

对于NSA场景,MN(Master Node)的MR数据中如果包含了高精度经纬度信息,则可以双连接的实例号和时间戳为索引,关联至相同双连接的SN(Secondary Node)的MR上,同时将经纬度信息赋值给对应的SN MR,5G的MR也就获得了高精度的GNSS信息。

具体实现思路如下:将归属于相同EN-DC双连接实例的MN小区MR集合和SN小区MR集合标识为相同的双连接识别号,所述双连接识别号具备在同一个

PLMN本地网下且在一段较长时间范围内可以全局性唯一地标识一个EN-DC双连接实例的特征。对于任意一条5G NSA MR信息,在4G MR集合中查询出与其相同的双连接识别号,且时间戳相同的那条4G MR。在查询出的4G MR中获取UE上报的经纬度信息,并将经纬度赋值给所述5G NSA MR。

2.2 验证效果

通过DT拉网测试的方式验证上述技术方案的可行性。测试终端使用百度/高德地图进行导航应用,确保终端可以上报GNSS信息。通过4G/5G MR关联的高精度定位后,可以看到5G MR的定位基本都集中在路上(见图1),充分证明了本定位方案可行,且定位精度具备GNSS的高精度特征。

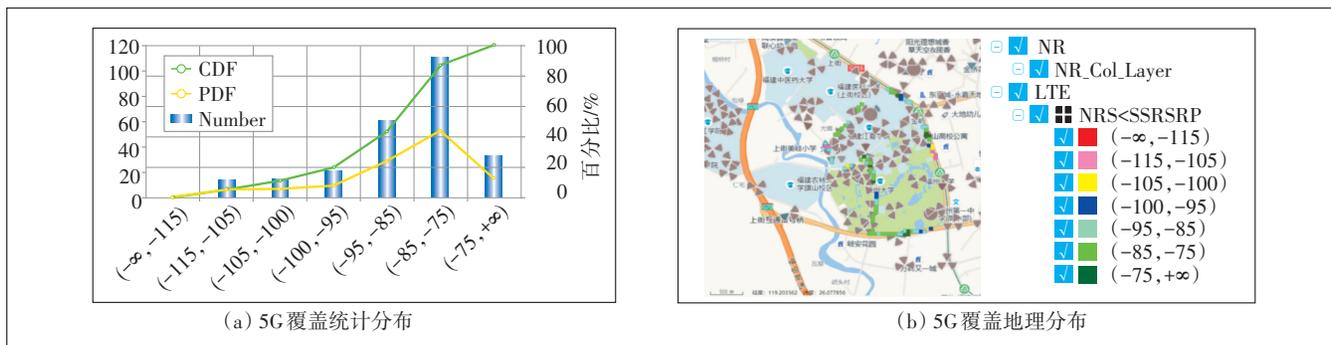


图1 5G MR 地理信息获取效果显示

2.3 验证总结

一旦5G MR具备了精确的GNSS定位信息,就为5G MR的扩展应用提供了无限可能性,网优工程师可以用来评估5G现网覆盖和干扰状况,用于指导下一步网络规划和建设工作,也可以引入到端到端系统中辅助进行用户感知问题的定位。后文将研究5G MR在MM权值智能寻优中的应用。

3 基于5G MR实现MM智能寻优方案

相比4G广播单波束,NR广播波束可以通过波束扫描方式提升覆盖。NR支持广播权值灵活设置,网管可对“方位角偏移、下倾角、水平波瓣宽度、垂直波瓣宽度”4个维度进行调整。3GPP在3GPP TS 38.213中定义了SSB的符号位置,中国联通选择了2.5 ms双周期的帧结构,SSB最大波束可配置为7波束。

3.1 解决方案

Massive MIMO 基站的权值智能寻优首先对小区中UE的分布、邻小区干扰进行统计和估算,再综合考虑网络的覆盖性能智能估算最优的广播权值,实现

MM权值的自适应调整。权值自适应可以改善小区间的重叠覆盖度,控制干扰,提升小区整体性能和用户感知。

智能寻优的算法流程包括智能天线权值优化任务激活→eNB的数据采集→最优权值估算→权值生效→效果评估→权值更新或回退,如图2所示。

3.1.1 广播波束权值增益仿真

广播权值优化第一步是基于采集的MR数据,进行增益仿真计算。仿真计算需要使用权值增益表,权

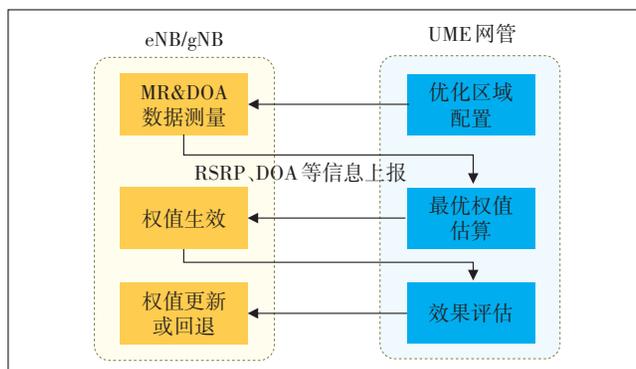


图2 MM智能寻优方案流程

值增益表包括每个权值水平方向 $[-90,+90]$,垂直方向 $[-45,45]$ 范围内的每个角度的仿真数据。

基于采集的MR数据,按照如下公式,进行迭代计算增益。

$$\text{ant_gain}[\text{new}][i][j] = \text{T_RSRP}[\text{new}][i][j] - \text{S_RSRP}[\text{old}][i][j] \quad (1)$$

在式(1)中, $\text{T_RSRP}[\text{new}][i][j]$ 表示新的权值在采样点的DOA的水平角度 i ,垂直角度 j 的电平。 $\text{S_RSRP}[\text{old}][i][j]$ 表示旧的权值在采样点的DOA的水平角度 i ,垂直角度 j 的电平。 $\text{ant_gain}[\text{new}][i][j]$ 表示新权值替换成旧权值后在某个采样点的增益。

小区的采样点有很多,以采集10 000个采样点为例,原理上算法将遍历迭代计算权值库中的每个权值,选取使得该10 000个采样点整体RSRP增益最优的权值组合作为最终结果。

3.1.2 广播波束权值智能寻优

每个小区权值总和计算公式如下:单小区权值组合总数=水平角度组合数(M) \times 垂直角度组合数(N) \times 方位角数(A) \times 下倾角数(D) \times 波瓣数(L)。但实际的覆盖并非每个小区独立决定的,牵涉到小区之间的互相影响,比如切换带,实际权值计算过程中,需要考虑小区协同组的概念。如果采用遍历搜索的方案,需要估算的权值总数为: $(M \times N \times A \times D \times L)^{\text{小区数}}$ 。当寻优区域面积较大、小区数量较多时,算法耗时较长,时效性较差,需要在算法的快速收敛方面寻找解决方案。

考虑引入蚁群智能搜索算法(见图3)通过选择局部最优解,降低计算复杂度,提升权值寻优效率。整个方案随机选取1组或多组初始权值开始搜索,每次搜索完成后更新权值期望值。根据搜索目标,如RSRP/SINR分布,通过多次迭代逐渐趋近局部最优解。通过初始值个数及迭代次数的优化,大幅减少搜索时间。

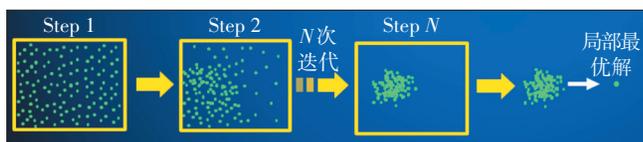


图3 蚁群算法智能寻优示意图

3.1.3 广播波束RSRP与SINR联合优化

NR网络的SINR值类似于4G,基于主服务小区与邻区采用如下公式进行拟合:

$$\text{SINR} = \frac{\text{服务小区RSRP}}{\text{邻区RSRP} + \text{白噪声功率}} \quad (2)$$

SINR优化是同时考虑了RSRP与SINR的优化,计算流程如下:

a) 单小区RSRP优化:以每个小区为纬度,找到每个小区RSRP增益最高的 X 个权值(X 可设置,例如设置为20),得到SINR优化的权值库。

b) 按照类似于RSRP寻优流程,以整体或者区域最优为代价函数搜索寻找最优的权值组合。

3.1.4 广播波束与CSI波束联动优化

当前终端不支持CSI(Channel State Information)波束测量与上报,CSI覆盖的估计建立在SSB的覆盖模型基础之上。基于SSB的7波束覆盖模型进行建模,依次对比CSI的模型,寻找最接近的模型,最终输出SSB与CSI的映射表,实现CSI的联动调整。

3.1.5 广播权值增益效果评估

广播权值自评主要是为了验证优化后的权值对网络覆盖是否有提升,如果有提升,则认为优化有效,评估通过;如果没有提升,则认为没有提升,需要进行权值回退。

3.2 验证效果

3.2.1 单小区单波束权值智能优化

单小区单波束权值优化室外测试在普天通信站点的PCI=352小区进行,室外选择PCI=352小区覆盖的道路,室内在该小区主覆盖居民楼中的3层、8层、12层、15层、17层进行测试。

站点(图4红框标注)5G AAU在一排居民楼后面单管塔最下面的平台,天线挂高约20 m,既能覆盖到道路,又能覆盖到正对的居民楼(图4黄框标注),能够提供一定程度的室内覆盖。

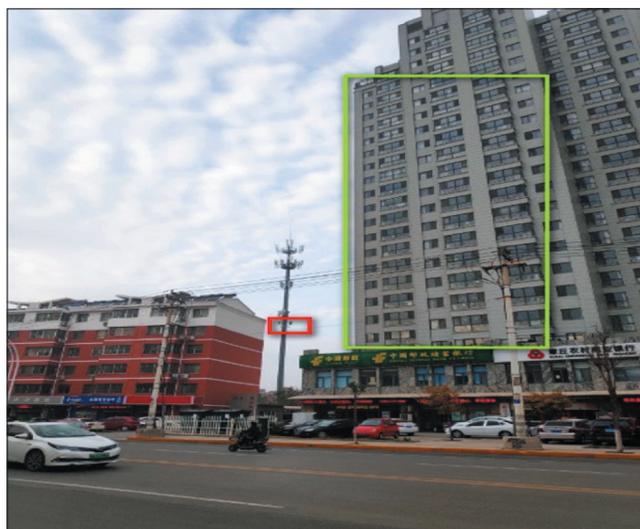


图4 高层居民楼室内覆盖优化示意图

优化前后权值如表1所示。优化前后室外以及室内每个楼层的RSRP、SINR统计如表2所示。

表1 单小区单波束天线权值变化表

AAPC	WeightIndex	azimuth	tilt	BeamWidthH	BeamWidthV
智能优化前	53	5	12	65	15
智能优化后	291	-20	12	30	15

表2 单小区单波束权值优化增益表

场景	楼层	RSRP/dBm			SINR/dB		
		优化前	优化后	增益	优化前	优化后	增益
室内	3楼	-77.30	-82.88	-5.58	24.18	16.58	-7.60
	8楼	-84.14	-73.03	11.11	19.44	31.85	12.41
	12楼	-95.54	-95.33	0.21	11.21	12.25	1.04
	15楼	-96.59	-97.44	-0.85	6.90	3.86	-3.04
	17楼	-103.36	-97.04	6.32	11.62	3.05	-8.57
	平均	-91.39	-89.14	2.24	14.67	13.52	-1.15
室外	平均	-86.68	-82.44	4.25	4.07	4.49	0.42

3.2.2 单小区7波束权值优化

单小区7波束权值优化同样在普天通信站点PCI=352小区进行,首先进行了初始优化,在网管上配置初始权值,统计优化前后网络覆盖情况。一方面验证不同初始权值(根据工程师经验配置)在覆盖方面的问题,另一方面考察优化方案对于更高楼层的综合覆盖效果。优化前后室外以及室内每个楼层的RSRP、SINR统计如表3所示,充分证明权值经过优化之后,大部分楼层的覆盖都有相应的改善。

表3 单小区7波束权值优化增益表

场景	楼层	RSRP/dBm			SINR/dB		
		优化前	优化后	增益	优化前	优化后	增益
室内	3楼	-73.62	-72.67	0.95	33.30	33.04	-0.26
	8楼	-74.73	-73.02	1.71	32.09	33.93	1.84
	12楼	-90.50	-88.52	1.98	22.21	22.27	0.07
	15楼	-92.09	-87.81	4.27	18.62	19.70	1.08
	17楼	-99.03	-91.58	7.44	11.62	20.46	8.84
	平均	-85.99	-82.72	3.27	23.57	25.88	2.31
室外	平均	-73.61	-73.92	-0.31	19.78	20.86	1.08

3.2.3 多小区单波束权值智能优化

多小区单波束权值优化室内测试在普天通信站点的PCI=352以及圣代农贸市场的PCI=154小区同时覆盖的酒店内进行,室外选择PCI=352、PCI=154小区覆盖的道路,室内在该小区主覆盖的居民楼中的3层、5层、7层、9层、12层进行测试。优化前后室外以及室内每个楼层的RSRP、SINR统计如表4所示,结果证明

表4 多小区单波束智能权值优化增益表

场景	楼层	RSRP/dBm			SINR/dB		
		优化前	优化后	增益	优化前	优化后	增益
室内	3楼	-94.16	-84.41	9.75	7.94	15.80	7.86
	5楼	-98.60	-81.85	16.75	2.40	17.42	15.02
	7楼	-93.47	-85.01	8.46	4.15	14.09	9.94
	9楼	-111.15	-105.92	5.23	-4.68	0.73	5.41
	12楼	-105.50	-99.88	5.62	-3.88	-1.43	2.45
	平均	-100.58	-91.41	9.16	1.19	9.32	8.14
室外	平均	-85.58	-80.89	4.68	4.52	6.38	1.86

权值寻优算法在多小区单波束条件下优化效果明显,各个楼层覆盖都得到了改善。

3.2.4 多小区多波束权值智能优化

继续验证多小区7波束权值寻优效果。室内测试在普天通信站点的PCI=352覆盖的居民楼内进行,室外选择PCI=352、PCI=154小区覆盖的道路,室内选择居民楼中的3层、8层、12层、15层、17层、19层、21层进行测试。优化前后室外以及室内每个楼层的RSRP、SINR统计如表5所示,多波束经过优化之后,对高层楼宇的覆盖效果更佳。

表5 多小区7波束智能权值优化增益表

场景	楼层	RSRP/dBm			SINR/dB		
		优化前	优化后	增益	优化前	优化后	增益
室内	3楼	-80.75	-69.83	10.92	23.56	31.71	8.15
	8楼	-77.39	-66.73	10.66	30.38	35.43	5.05
	12楼	-92.96	-79.95	13.01	18.46	23.60	5.14
	15楼	-96.58	-90.90	5.68	13.52	16.44	2.92
	17楼	-90.64	-88.56	2.08	19.71	18.73	-0.98
	19楼	-97.84	-89.56	8.28	15.71	20.43	4.72
	21楼	-101.03	-89.45	11.58	9.77	21.00	11.23
	室内平均	-91.03	-82.14	8.89	18.73	23.91	5.18
室外	平均	-76.20	-77.35	-5.05	14.12	13.21	-2.12

3.3 验证总结

5G MM权值智能寻优方案通过服务小区以及邻区对终端的协同测量,采集终端上报MR的RSRP、地理位置信息等信息,通过蚁群搜索算法快速迭代计算当前区域内所有小区最优权值方案,达到对区域内小区天线权值自适应调整的目的,综合考虑RSRP与SINR指标,通过SSB和CSI的联动优化的方式提升用户下行速率感知。

4 SSB广播多波束提升覆盖应用

4.1 解决方案

针对不同场景,测试不同波束配置的覆盖(RSRP)与上下行速率情况,宽波束具有覆盖范围广的优点,但同时由于范围广导致能量的分散,覆盖距离较近,窄波束具有能量集中的优点,但同时覆盖范围要小一些。需要针对宽窄波束各自的特性分别研究和验证。

根据不同场景下覆盖区域的实际情况,判断波束覆盖的最优方案,基本原则是使得波束能够充分覆盖小区覆盖方向的场景,判断具体流程如图5所示。

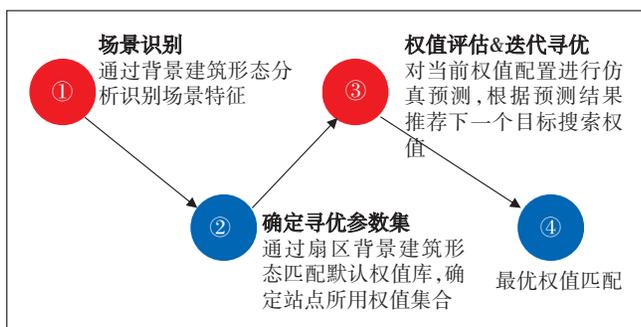


图5 SSB权值匹配流程

结合不同的建筑物特征,可以配置不同的波束权值,进而提升覆盖。

4.2 验证效果

a) 不同SSB波束权值下数据对比:高楼场景SSB广播波束采用垂直窄波束覆盖效果最优,但不同建筑物高度可采用不同层数的波束配置。

b) 不同CSI波束下数据对比:高楼场景CSI采用垂直4波束速率性能最优。

4.3 验证总结

对于深度覆盖的小区的覆盖调整,建议采用1个宽波束覆盖近点道路,6个窄波束覆盖小区内建筑。CSI波束建议采用1个宽波束覆盖近点道路,3个窄波束覆盖小区内建筑。

对于高楼场景的小区覆盖,如高楼楼层较高,站点位置较矮,建议采用垂直7波束配置,如高楼在20层以下,建议采用垂直4波束,CSI建议采用垂直4波束配置。

5 结束语

本文解决了5G MR精确定位的问题,从研究方法上创新地使用蚁群搜索算法快速迭代计算当前区域内所有小区最优权值方案。从结果看,天线权值实现了自适应快速寻优,彻底解决了传统RF优化人工调整耗时耗力且效果不佳的突出矛盾。后续研究的重点

将放在不同场景下权值优化增益及CSI权值自适应等方面,进一步提升5G用户的感知。

参考文献:

- [1] SIMONSSON A, THURFJELL M, HALVARSSON B, et al. Beamforming Gain Measured on a 5G Test-Bed[C]// 2017 IEEE 85th Vehicular Technology Conference: VTC2017-Spring. IEEE, 2017.
- [2] ZHAO X, DU F, GENG S, et al. Playback of 5G and Beyond Measured MIMO Channels by an ANN-Based Modeling and Simulation Framework[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2020(99):1-1.
- [3] Study on remote interference management for NR: 3GPP TR 38.866[S/OL]. [2020-11-05]. ftp://ftp.3gpp.org/.
- [4] RUIQIN X. Development Trend and Countermeasure of 5G Indoor Distribution System[J]. Modern Information Technology, 2019.
- [5] MONDAL B, NAGARAJ S, NIMBALKER A, et al. Beam Management For Dual Transmission Point Hybrid Beamforming Systems In 5G[J/OL]. [2020-11-05]. https://www.freepatentsonline.com/y2019/0089435.html
- [6] NA L, YANYAN Z, JIANGBO D, et al. 5G network architecture and network construction scheme[J]. Telecommunications Science, 2019.
- [7] YAN Z, CO H T, LTD. Research on the Necessity of 5G Smooth Evolution Based on the Network Architecture Capability under NSA and SA Coexistence[J]. Mobile Communications, 2019.
- [8] HOOVER J N. NSA Pursues Intelligence-Sharing Architecture[J]. Information Week, 2011(APR.SUPPL.1):6.
- [9] SIGURD MELDAL, DAVID C. Luckham. NSA's MISSI Reference Architecture - From Prose to Precise Specification[J]. Lecture Notes in Computer Science, 1998, 1526:293-329.
- [11] HAI-ZHEN L I, CHANG-LIN Z, XU-WEI Y E, et al. Analysis of 4G-5G Dual Connectivity Technology[J]. Communications Technology, 2019.
- [12] AHMADI S. 5G Network Architecture[J]. 5G NR, 2019:1-194.
- [13] GRIGORY, BOCHECHKA, VALERY, et al. Prospects and QoS Requirements in 5G Networks[J]. Journal of Telecommunications & Information Technology, 2015.
- [14] GALLENMULLER S, NAAB J, ADAM I, et al. 5G QoS: Impact of Security Functions on Latency[C]// NOMS 2020-2020 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium. IEEE, 2020.
- [15] WANG Y, DAI X, WANG J M, et al. A Reinforcement Learning Approach to Energy Efficiency and QoS in 5G Wireless Networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2019:1-1.

作者简介:

许国平,毕业于北京邮电大学,博士,主要从事移动网络运营与优化管理工作;王科,毕业于山东大学,学士,主要从事移动网络优化工作;杨飞虎,毕业于华东理工大学,硕士,主要从事移动网络优化相关工作;王权,毕业于华中科技大学,硕士,主要从事移动网络规划与建设相关工作。