



一种新颖的 3D 有源天线基站组网波束下倾角选择方法

王 凯, 张 亮, 谭国平

(河海大学计算机与信息学院通信与信息系统研究所 南京 211100)

摘 要:传统二维有源天线仅能进行水平维波束调整,而三维有源天线能进行垂直维波束调整,提升系统吞吐量。现有的三维有源天线波束下倾角选择方法是基于俯仰角信息进行选择的,用户信号接收功率较低。为此,提出一种新颖的三维有源天线基站组网波束下倾角选择方法,该方法基于参考信号接收功率信息进行波束下倾角选择,有效提高了用户信号接收功率。仿真结果表明,新方法可大幅提升小区平均吞吐量,改善系统性能。

关键词:三维有源天线;垂直维波束调整;波束下倾角;吞吐量

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2015007

A Novel Beam Downtilt Selection Method for 3D Active Antenna System Based Cellular Network

Wang Kai, Zhang Liang, Tan Guoping

(Institute of Communications and Information Systems, College of Computer and Information,
Hohai University, Nanjing 211100, China)

Abstract: Traditional 2D active antenna system can only carry on horizontal beam steering in cellular mobile radio system. The existing 3D active antenna system based cellular network can obtain large throughput gain with the use of vertical beam steering. The existing beam downtilt selection method for 3D active antenna system is based on the information of pitch angle. The received power of the user is very low. A novel beam downtilt selection method for 3D active antenna system was proposed to improve the received power, which is based on the received reference signal power. Simulation results show that the proposed method can improve the average throughput of the cell and the system performance sharply.

Key words: three-dimensional active antenna, vertical beam steering, beam downtilt, throughput

1 引言

在早期蜂窝组网系统中,天线系统采用比较大的半功率波束宽度(half power beam width,HPBW)覆盖一个小区,给相邻小区造成很大干扰,系统性能较差。为了满足蜂窝网络的发展需求,提出了基于有源天线系统(active antenna system,AAS)的基站系统,该系统通过采用灵活的天线再配置技术以及波束成形方案,可以提升

系统性能^[1]。

在当前的蜂窝网络中,天线系统在垂直维对所有用户都采用固定的下倾角,基站发射端波束只能在水平维调整。然而信道是三维的,系统没有利用用户的垂直维信道信息,因此这种采用固定下倾角的方法不能使整个系统的吞吐量达到最佳^[2]。为了提升系统性能,可以对天线系统的垂直维波束进行调整,使波束的主瓣在三维空间内对准用户,以最大化用户接收信号功率,提高信干噪比,从而提升

整个系统的吞吐量^[3-5],本文称这种改进的系统方案为 3DT (three-dimensional scheme with downtilt)方案。在该方案中,基站根据用户在小区内的位置,采用相应的下倾角为用户分配系统资源。位于小区中心附近的用户,天线波束采用较大的下倾角,对相邻小区的干扰较小,受到相邻小区的干扰也比较小;位于小区边缘的用户,天线波束采用较小的下倾角,但这可能会对相邻小区产生很大的干扰。为了减小本小区信号对相邻小区边缘用户的干扰,参考文献[4]提出了一种基于俯仰角信息选择波束下倾角的方案。但是,该方案的缺陷在于小区内用户信号接收功率没有最大化,影响了系统性能。

本文提出一种新的基于接收信号功率选择波束下倾角的 3D 有源天线组网方案,用户通过提取参考信号接收功率最强的波束下倾角信息,选择相应下倾角的波束进行信息交互,这样可以使用户接收信号的功率达到最佳值。仿真结果表明,该方案可以使用户接收信号功率最大化,提升小区边缘用户频谱效率以及整个小区的平均吞吐量,使系统平均用户性能得到进一步提升。

2 现有波束下倾角选择方法的不足

在基于 3D 有源天线的组网方案中,最典型的一种方案是基站天线采用多个固定的下倾角为本小区用户服务,根据用户的位置选择不同的波束下倾角,从而提高用户的平均信号接收功率^[6]。

现有的波束下倾角选择方案是基于俯仰角信息的波束下倾角选择方案(以下简称 3DTA 方案),发射波束下倾角是根据基站或用户测得的用户俯仰角大小选择的。由于天线波束在垂直维的角度大小变化比在水平维的变化小得多,所以可以用一些固定角度的下倾角代替精确变化的下倾角。在一种采用了 3 个波束下倾角的有源天线系统方案(以下简称 3D3TA 方案)中,俯仰角 ϕ 与波束下倾角 φ 的关系如式(1)所示。

$$\phi(\varphi) = \begin{cases} 9, \varphi \leq 8 \\ 13, 8 < \varphi < 11 \\ 17, \varphi \geq 11 \end{cases} \quad (1)$$

基于俯仰角信息的波束下倾角选择方案采用的波束下倾角稍大于俯仰角,这样可以减小本小区信号对相邻小区边缘用户的干扰。然而,由于服务信号波束的主瓣并非直接对准用户,用户对服务信号波束的接收功率并不理想。图 1 给出了 3D3TA 方案的波束覆盖情况。

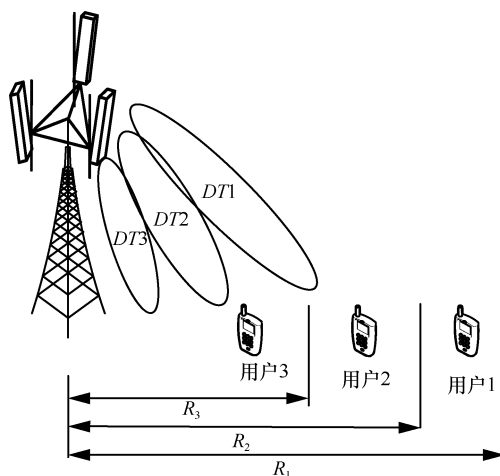


图 1 3D3TA 方案的波束覆盖情况

图 1 中, R_1 为小区半径, $DT1$ 、 $DT2$ 和 $DT3$ 分别表示 3 个不同下倾角的波束,小区被分为 3 个区域,分别为近区域、中间区域和远区域。与基站水平距离小于 R_3 的用户位于近区域;与基站距离在 R_2 和 R_3 之间的用户位于中间区域;与基站距离在 R_1 和 R_2 之间的用户位于远区域。

由 3D3TA 方案可知,用户 1 位于小区的远区域,基站根据上行发射信号提取的俯仰角信息小于 11° ,此时宏基站选择下倾角为 $DT1$ 的波束服务用户 1。同理,宏基站选择下倾角为 $DT2$ 的波束服务用户 2、选择下倾角为 $DT3$ 的波束服务用户 3。由图 1 可知,下倾角为 $DT1$ 的波束主瓣对准的是中间区域,而下倾角为 $DT2$ 、 $DT3$ 的波束主瓣对准的是近区域,这虽然能够在一定程度上减小边缘用户对相邻小区造成的干扰,但是用户的服务信号接收功率较低。当波束的垂直方向 HPBW 降低时,不同下倾角的波束之间可能存在覆盖空洞,用户的信干噪比性能不佳。

3 新的波束下倾角选择方法

为了提升用户的信号接收功率,改善系统内的平均用户性能,本文提出了一种新的基于信号接收功率选择波束下倾角的 3D 有源天线基站组网方案,该方案的工作流程如图 2 所示,具体说明如下。

步骤 1 用户对不同下倾角波束配置的 CSI-RS(channel state indication reference signal, 信道状态指示参考信号)进行信号接收功率测量、比较和排序,提取参考信号接收功率最强的波束下倾角信息或合适基站天线阵元加载的矢量信息,并将该信息反馈给服务基站。使基站获得用户可以采用

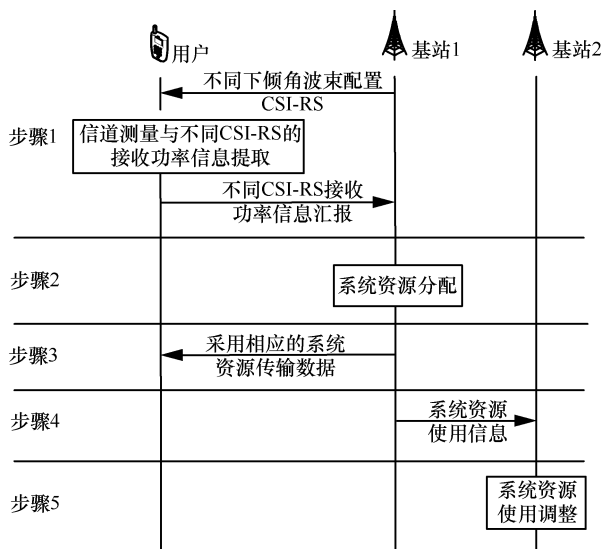


图2 新的波束下倾角选择方法流程

的天线垂直维和水平维角度或加载在天线阵元上的矢量信息,以便基站运用3D有源天线对该用户进行更有效的数据传输,因此只要是能使得基站可以获得、提取、映射这些信息的用户测量与汇报,都应该包括在该步骤中。

步骤2 基站根据所有用户不同下倾角波束的信号接收功率信息汇报或天线阵元加载矢量信息汇报,结合各用户的负载信息,合理地进行本小区的系统资源分配。

步骤3 基站采用相应的系统资源对本小区用户进行数据传输。

步骤4 基站将本小区系统资源使用信息交互给相邻基站。

步骤5 基站获得相邻基站的系统资源使用信息后,结合本小区用户负载分布情况,调整系统资源的使用,以使系统性能最优。如果本小区的系统资源使用情况有更新,基站将与相邻基站进行信息交互。

在图2所示的流程中,步骤3与步骤4没有一定的先后次序,两个步骤可以同时进行,步骤4也可以在步骤3之前进行。

当基站采用3个下倾角服务本小区用户时,上述基于接收信号功率选择波束下倾角的3D有源天线基站组网方案可简称3D3TEB(three-dimensional scheme with 3 downtilts extended B)。此时,1个宏基站使用3个扇区覆盖整个小区,用户提取参考信号接收功率最强的波束下倾角信息,并将其反馈给基站,基站根据用户反馈的信息统筹系统资源,合理地分配给小区,并与相邻小区进行信息交互。这

样,小区内用户可以接收到功率较大的服务信号,提高了信噪比,使系统性能得到提升。

4 仿真结果与分析

为了检验所提方案的性能,本文设置了2组对比仿真,一组是现有基于俯仰角信息的波束下倾角选择方案3D2TA(采用2个下倾角)、3D3TA(采用3个下倾角)和3D3TEA(加入干扰协调机制)之间的性能对比;另一组是与第一组方案相对应的基于接收信号功率选择波束下倾角的方案3D2TB、3D3TB和3D3TEB之间的性能对比。

由于对3D有源天线的研究尚处于起始阶段,本次性能仿真是实验室仿真,后续将会进行外场测试验证。仿真中,共布置了19个基站,每个基站包含3个扇区,扇区形状为正六边形,基站间循环嵌套使中心基站周围环绕两圈基站。仿真中的关键参数参照标准化文件36.814,其中,可变参数波束下倾角在 $6^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 范围合理选择。表1列出了系统仿真中的一些主要参数。

表1 宏基站的主要系统参数

参数	取值
蜂窝设计	六边形扇区,每个基站包含3个扇区
站间距	500 m
基站数	19
载波频率	2 GHz
阴影衰落	8 dB
基站噪声系数	5 dB
基站天线数	1 Tx
用户噪声系数	9 dB
用户天线数	1 Rx
基站总发射功率	46 dBm
用户移动速度	3 km/h

图3给出了参数调整较优时,基于俯仰角信息的波束下倾角选择方案之间的性能对比。其中,3D2TA方案的两个波束下倾角选择 13° 和 17° 的角度搭配,HPBW取 10° ;3D3TA方案的波束下倾角选择 9° 、 13° 和 17° 的角度搭配,HPBW取 10° ;3D3TEA方案的波束下倾角选择 9° 、 13° 和 17° 的角度搭配,HPBW取 10° 。

由图3可以看出,当采用基于俯仰角信息的波束下倾角选择方法时,基站采用两个下倾角的3D2TA方案性能较好。相比于3D2TA方案,基站采用3个下倾角的3D3TA

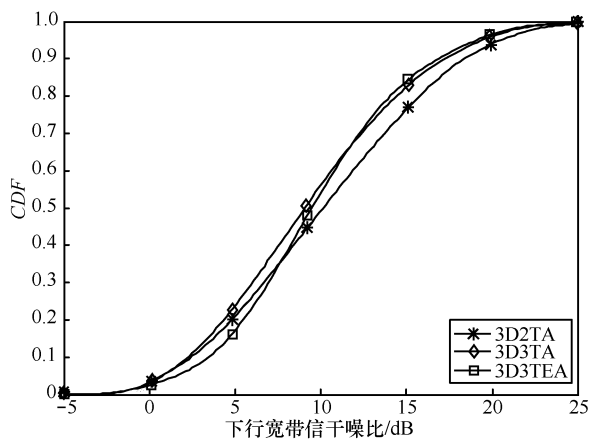


图 3 基于俯仰角的波束下倾角选择方案性能对比

方案中,小区内的平均用户性能并没有提升,这是因为两种方案的小区间干扰不同。在加入干扰协调之后,小区边缘用户的性能稍有提升。

图 4 给出了参数调整较优时,基于接收信号功率选择波束下倾角方案之间的性能对比。其中,3D2TB 方案的波束下倾角选择 13°和 29°的角度搭配,HPBW 取 9°;3D3TB 方案的波束下倾角选择 10°、17°和 25°的角度搭配,HPBW 取 5.5°;3D3TEB 方案的波束下倾角选择 10°、17°和 25°的角度搭配,HPBW 取 6.5°。

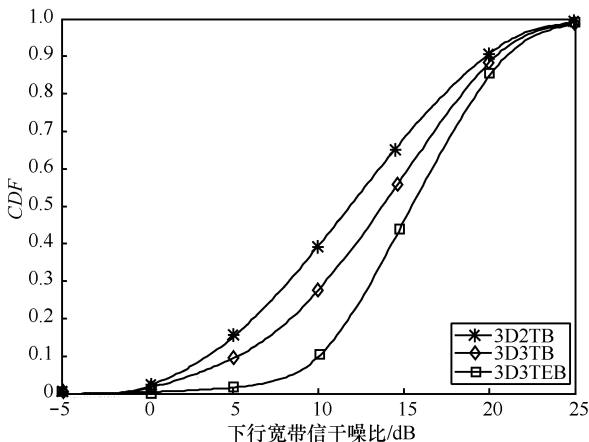


图 4 基于参考信号接收功率波束下倾角选择方案性能对比

从图 4 可以看出,当采用基于接收信号功率的波束下倾角选择方法时,3D2TB 方案中边缘用户的信干噪比为 3.52 dB,3D3TB 方案中边缘用户的信干噪比增加到 5.28 dB,小区边缘用户的性能有了很大的改善,尤其是在加入干扰协调机制的 3D3TEB 方案中,边缘用户的信干噪比可达到 10.06 dB,性能增益明显提升。在系统平均性能方面,3D2TB、3D3TB 和 3D3TEB 方案的平均信干噪比也依次上升。

对比 3D2TA 与 3D2TB、3D3TA 与 3D3TB、3D3TEA 与 3D3TEB 3 组方案的性能曲线可以看出,在其他参数相同的情况下,采用基于参考信号接收功率的波束下倾角选择方法时,边缘用户可以获得更高的信干噪比,系统平均性能也有显著提升。

表 2 给出了不同方案下的系统性能比较。

表 2 不同方案的系统性能比较

方案	边缘用户信干噪比/dB	用户平均信干噪比/dB
3D2TA	2.43	10.12
3D2TB	3.52	11.88
3D3TA	2.26	9.01
3D3TB	5.28	13.78
3D3TEA	3.41	9.46
3D3TEB	10.06	15.48

分析表 2 数据,可以得到两点结论:在基于信号接收功率的波束下倾角选择方案中,采用 3 个下倾角的 3D 有源天线覆盖方案比采用两个下倾角的方案性能增益高;相比基于俯仰角的波束下倾角选择方案,基于信号接收功率的波束下倾角选择方案可以获得更高的系统性能增益,这是由于后者的波束选择方案进一步提高了用户的信号接收功率,改善了小区的信干噪比性能。

5 结束语

本文提出了一种新的基于 3D 有源天线系统的下倾角选择方案,用户提取参考信号接收功率最强的波束下倾角信息,并将其反馈给基站,基站根据用户反馈的信息统筹系统资源,从而提高了系统的信干噪比。仿真结果表明,基于接收信号功率的波束下倾角选择方案可以使系统的信干噪比得到显著改善,系统性能明显提升。由于需要给不同下倾角的波束配置不同的参考信号,因此新方案会占用系统的时频资源,此外,新方案的信令流程会增加系统的时延。下一步工作是利用外场测试做进一步的方案优化。

参考文献

1 3G Americas. MIMO and Smart Antennas for 3G and 4G Wireless Systems, 2010
2 Li Q, Li G, Lee W, et al. MIMO techniques in WiMAX and LTE: a feature overview. IEEE Communications Magazine, 2010, 48(5): 86~92

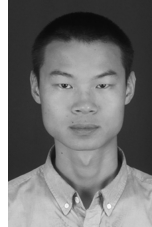


- 3 Saur S, Halbauer H. Exploring the vertical dimension of dynamic beam steering. Proceedings of the 8th International Workshop on Multi-Carrier Systems and Solutions, Herrsching, Germany, 2011: 1~5
- 4 Halbauer H, Saur S, Koppenborg J, *et al.* Interference avoidance with dynamic vertical beamsteering in real deployments. Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Paris, France, 2012: 294~299
- 5 Koppenborg J, Halbauer H, Saur S, *et al.* 3D beamforming trials with an active antenna array. Proceedings of International ITG Workshop on Smart Antennas, Dresden, Germany, 2012: 110~114
- 6 Wunder G, Kasparick M, Stolyar A, *et al.* Self-organizing distributed inter-cell beam coordination in cellular networks with best effort traffic. Proceedings of the 8th International Symposium on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks, Avignon, France, 2010: 295~302
- 7 张亮, 杨馨, 谭国平. 一种新的基于 3D 有源天线组网的干扰协调方案. 电子设计工程, 2014(9): 137~141
Zhang L, Yang X, Tan G P. A novel interference coordination scheme for 3D active antenna system based cellular networks. Electronic Design Engineering, 2014(9): 137~141
- 8 Dartmann G, Jordan M, Gong X, *et al.* Inter-cell interference mitigation with long-term beamforming and low SINR feedback rate in a multiuser multi-cell unicast scenario. Proceedings of the 69th Vehicular Technology Conference, Barcelona, Spain, 2009: 1~5
- 9 D'Amico V, Botella C, Giese J, *et al.* Advanced interference management in ARTIST4G: interference avoidance. Proceedings

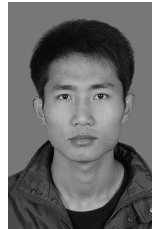
of European Wireless Technology Conference, Paris, France, 2010: 21~24

- 10 D'Amico V, Botella C, Giese J, *et al.* Innovative Advanced Signal Processing Algorithms for Interference Avoidance. EU FP7-Project ARTIST4G, 2011

[作者简介]



王凯,男,河海大学计算机与信息学院通信与信息系统研究所硕士生,主要研究方向为车载自组网。



张亮,男,河海大学计算机与信息学院通信与信息系统研究所硕士生,主要研究方向为无线多媒体通信。



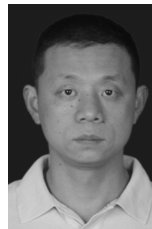
谭国平,男,博士,河海大学计算机与信息学院通信与信息系统研究所副教授,主要研究方向为移动自组网、无线多媒体通信、随机网络优化与控制和网络信息论。

2015007-5

(上接 2015024-7)

- 7 Aggarwal G, Bawa M, Ganesan P, *et al.* Two can keep a secret: a distributed architecture for secure database services. Proceedings of the 2nd Biennial Conference on Innovative Data Systems Research, Asilomar, CA, USA, 2005, 4(11): 186~189
- 8 Canim M, Kantarcioglu M, Hore B, *et al.* Building disclosure risk aware query optimizers for relational databases. Proceedings of VLDB Singapore, 2010, 3(12): 13~24
- 9 Guo D, Shi W, Hou M. Improvement and implementation of Hadoop HDFS model in private cloud. Proceedings of the 9th International Symposium on Linear Drives for Industry Applications, Volume 4, Berlin, Germany, 2014: 663~670
- 10 Moussa R. TPC-H Benchmark Analytics Scenarios and Performances on Hadoop Data Clouds. Communications in Computer and Information Science, 2012(293) Berlin Heidelberg: Springer, 2012: 220~234

[作者简介]



刘颖,男,宜春学院数学与计算机科学学院讲师,主要研究方向为云计算、大数据处理。

甘泉,男,平顶山学院计算机科学与技术学院讲师,主要研究方向为车载网、大数据处理。

王宇,男,博士后,武汉大学计算机学院副教授,主要研究方向为车载网、大数据处理、云计算。

2015024-8