

文章编号:1673-5439(2007)04-0045-04

TD-SCDMA 标准智能天线的不可用性研究

傅海阳,张青,徐小春,夏璐

(南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏南京 210003)

摘要 不少 TD-SCDMA 标准研究人员认为采用智能天线核心技术后可以克服 TDD 模式的步行移动通信系统特征。文中从智能天线的定向发射方向图出发证明了在 CDMA(码分多址) 系统中使用智能天线时 , 会引入不同方向用户产生的 CDMA 系统自干扰 , 使智能天线的有效定向发射增益近似为零 , 无法实现空分多址隔离多用户干扰的预想目标。此外还从 TD-SCDMA 的系统特征、智能天线同时形成多个发射方向波束的可能性、方向性线阵智能天线的合理性等方面讨论了智能天线在 TD-SCDMA 标准中的不可用性。

关键词 智能天线 ; 方向图 ; 自干扰 ; 空分多址

中图分类号 :TN929.5 文献标识码 :A

Research on the Unavailability of the Smart Antenna in the TD-SCDMA Standard

FU Hai-yang, ZHANG Qing, XU Xiao-chun, XIA Lu

(College of Communication and Information Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract Many TD-SCDMA standard researchers believe that the features of TDD mode characterised as a Walking Mobile Communication System can be overcome via the Smart Antenna core technology. Based on the directionally-launching pattern of the Smart Antenna, this paper proves that the CDMA system self-interference produced by users from different direction will be introduced while using the Smart Antenna in the CDMA system. Therefore the effective directionally-launching-gain of the Smart Antenna will come to zero and the desired objective of isolating multi-user interference via space division multiple access can't be realised either. Additionally, it proves the unavailability of the Smart Antenna in the TD-SCDMA standard in several other ways, such as the TD-SCDMA system features, the possibility of forming multiple-direction beam by the Smart Antenna in the same time, and the rationality of the directional line array Smart Antenna.

Key words Smart antenna; Directional pattern; Self-interference; Space division multiple access

1 引言

由信息产业部电信科学技术研究院代表中国政府提交给国际电联(ITU)并获得通过的 TD-SCDMA

标准经过设备开发和制造商多年的努力,并由众多研发渠道数百亿资金的投入,已能生产出可供实用的系统,目前正打算在北京等十大城市进行大规模的 TD-SCDMA 系统基础网络建设。虽然我们在几年前已表示过对 TD-SCDMA 标准的疑虑^[1-2],但未获重视,今天在这种迫在眉睫的形势下,我们认为更有必要尽快对 TD-SCDMA 标准的合理性进行更为深入的研究,特别是对它所用核心技术的合理性、可

用性作出科学、公正的判断,否则会对我国通信行业技术创新和健康发展产生毁灭性打击。真正爱护和支持这个标准的人都不应该回避这个问题,只有在认识问题的同时,才能改造这个标准,使其能走向推广应用,并在市场竞争中,而不是在政府保护下占领移动通信市场的一席之地。才能实现我们中国标准走向国际市场的世纪理想。

TD-SCDMA 标准的绝大部分内容与 TDD-WCDMA 标准的内容雷同,其中突出的差别是码片速率的不同和智能天线(SA)的引入^[3]。TD-SCDMA 标准的码片速率为 TDD-WCDMA 标准的 1/3,此项变动可使智能天线的实现难度下降,但并不会对系统的适用环境产生实质性的影响。TDD-WCDMA 标准的设计者承认,TDD-WCDMA 标准与 FDD-WCDMA 标准不同,由于采用时分双工方案,它适用于步行移动通信系统。但是标准的设计者没有认识到在用户信息速率 R_b 上升后,FDD-WCDMA 系统就会蜕变为一个步行移动信道系统。因此 TDD-WCDMA 标准已经成为一个被抛弃的标准。这样的例子在 3G 标准中并不罕见。cdma2000 标准的 3G 部分 cdma2000 3x 虽然比 FDD-WCDMA 标准合理,却也被弃之不用,而代之以时分多址(TDMA)为基础的 cdma2000 1x EV-DO 标准。我们也已经指出 WCDMA HSDPA 和 cdma2000 1x EV-DV 标准的不合理性^[4-5],虽然 WCDMA HSDPA 标准似乎还在风行,但 cdma2000 1x EV-DV 标准亦已胎死腹中。这一系列的事实都说明 3G 标准是 2000 年左右信息泡沫的产物,对它们的推广应用必须慎之又慎。

TD-SCDMA 标准的参与者^[6]认为“由于 TD-SCDMA 系统中采用智能天线技术,使得 TDD 模式的缺点均可克服,例如接收灵敏度低,主要适用于低速移动环境,仅支持半径较小的小区等。采用智能天线后,可以让 TD-SCDMA 系统的所有码道同时利用,这样就克服了低码片速率支持的信息传输速率较低的问题。采用智能天线后,可以实现单基站对移动台准确定位,从而可以实现接力切换。”文献[7]也认为智能天线作为 TD-SCDMA 的核心技术将在减少用户干扰,提高容量,切换控制等方面有着至关重要的作用。SA 真的具有 TD-SCDMA 标准制定者声称的魔力吗?这大概只能是 SA 迷信学者一种主观臆断的说法而已。本文将证明 SA 并不适用于 CDMA 系统,当然也不适用于 TD-SCDMA 系统。将从 SA 的定向发射方向图出发,证明在 CDMA 系统中使用 SA 时,会引入不同方向用户产生的 CDMA

系统自干扰,使 SA 的有效定向发射增益近似为零。由于在多用户情况下得不到定向发射增益,自然也不可能实现空分多址方式,并使 CDMA 系统自干扰下降以实现 TD-SCDMA 标准满码道工作的要求。

还将以 SA 能否同时实现多个发射方向图,SA 方向性线阵可实现性,TD-SCDMA 系统要求一个 SA 能同时实现的波束数等诸多方面讨论 SA 在 CDMA 公用移动通信系统中的不可用性。大唐移动通信有限公司声称已成功地在 TD-SCDMA 系统中实现了 SA 子系统,文献[8]已经证明利用 SA 8 天线阵元的分集接收也可以达到 TD-SCDMA 系统满码道工作的要求。估计大唐移动通信公司的基站收信设备就是这样做的。文献[9]根据大唐移动通信有限公司和 TD-SCDMA 系统相关研发人员公布的资料可以判定他们的“SA”在下行发信中并不具备空分多址能力,令人不解的是他们为什么要用 9 套具有超常严格的特性要求的发信设备代替一套发信设备?因为根据 SA 的使用要求 8 根天线元使用的 8 套收发信设备和一套收发信校准设备应该时时刻刻具有几乎一致的收发信特性。单就这一条,就使得 SA 的实现价格令人望而生畏。

2 空分多址智能天线的工作原理^[10]

图 1 给出 SA 经典波束形成器的结构。 w_1^* 是 w_1 的共轭。它的输出信号:

$$y(t) = w^H x(n) \quad (1)$$

其中 $x(n) = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_8]^T$, $w = [w_1 \ w_2 \ \dots \ w_8]^T$

则该波束形成器的输出功率为

$$P_{bf} = E\{|y(n)|^2\} = E\{|w^H x(n)|^2\} \\ = w^H E\{x(n)x^H(n)\}w = w^H R_{xx} w \quad (2)$$

对于一个 M 阵元等距直线阵 SA,一个平面波信号 $s(n)$ 以角度 θ_0 入射到阵列,可得波束形成器的输出功率为

$$P_{bf} = E\{|w^H x(n)|^2\} \\ = E\{|w^H[s(n)a(\theta_0) + n(n)]|^2\} \\ = |w^H a(\theta_0)|^2 \sigma_s^2 + \|w\|^2 \sigma_n^2 \quad (3)$$

式中, $a(\theta_0)$ 是 θ_0 的导引向量, $a(\theta) = [1 \ \exp(-j\frac{2\pi d \sin\theta}{\lambda}) \ \dots \ \exp(-j(m-1)\frac{2\pi d \sin\theta}{\lambda})]^T$, $n(n)$ 为阵列输入端的噪声向量, $\sigma_s^2 = E\{|s(n)|^2\}$ 和 $\sigma_n^2 = E\{|n(n)|^2\}$ 分别为信号和噪声功率。

从式(2)可见,当 $w = a(\theta_0)$ 时,取得最大输出

功率,这是因为天线阵的加权矢量 $w = a(\theta_0)$ 使各个天线阵元输出的来自 θ_0 方向的信号被移相,使各天线阵元来自 θ_0 方向的信号相位对齐,使其同相迭加,完成波束形成作用,使信号增强。在信号发送时,若使 $w = a(\theta_0)$,则使 θ_0 方向的发信号最强。

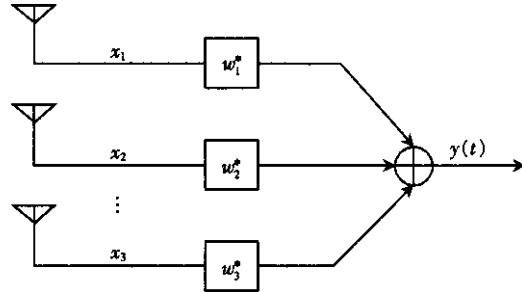


图 1 经典波束形成器结构

在经典波束形成法中,改变 θ 使波束在感兴趣的范围内搜索,对不同 θ 形成不同的权矢量 $w = a(\theta)$,并测量 $y(t)$ 的功率,则 $y(t)$ 的输出功率与波达角之间的关系为

$$P_b(\theta) = w^H R_{xx} w = a^H(\theta) R_{xx} a(\theta) \quad (4)$$

输出功率是波达角的函数,被称为空间谱,通过搜索空间谱(谱搜索)的峰值可以估计出 MS 的 DOA。谱搜索过程即为取得最大输出功率,而改变 $w = a(\theta)$ 的搜索过程。

谱搜索是 DOA 估计方法中最简单实用的方法,其它还有 Capon 最小方差法、MUSIC 算法等,它们的 DOA 估计精度较高,实现难度更大。

3 CDMA 系统中 SA 的不可用性

CDMA 系统中 SA 的不可用性可以从所形成电磁波辐射图,同时可能形成的辐射方向等方面加以论证,下面将逐点予以讨论。

3.1 电磁波辐射中形成的 CDMA 系统自干扰

基站 SA 的每一个偶极子天线阵元是全向辐射的,改变送至每个天线阵元的电流相位,使各天线阵元在移动台(MS)处的信号载波相位相同,同相迭加形成在载波相位基础上的分集发送,这是 SA 能形成定向发射方向图的基本原理。它与多径传播衰落中产生衰落的原理相似。图 2 给出 TD-SCDMA 标准中选用的 8 天线阵元圆阵 SA 产生的 180°定向发射方向图^[11],在 180°处给出 SA 的最大定向发送增益,在两侧也存在较大幅度的辐射。从图 2 中可以看出两侧峰值与 180°处的峰值差约为 7.5 dB,小于

理论值 9 dB。应当指出这是只存在一个发信方向时的情况,即整个小区中只有一个 MS,此时由于不存在 CDMA 系统内的自干扰,对定向发射的增益要求不高。应当关心的是当小区内存在多个用户时的情况,特别应当关心的是当 TD-SCDMA 标准发语音时处在满码道工作时的情况。此时需打出 8 个方向的定向发射方向图。从图 2 中可知,在每个定向发射主瓣的两边都将存在较大的发射副瓣,这意味着将在图 2 中 180°主瓣处再迭加上另外 7 个不同发射方向图的副瓣,它们迭加后的总幅度将接近 180°主瓣的幅度,此时 SA 的有效定向发送增益(G_{ADE})约等于零,SA 的作用消失。据上述讨论可以看出,SA 在使用码道数很少的情况下,可以获得有限的 G_{AD} ,但当码道数上升时,则会失去所期望的 G_{ADE} 。在移动通信系统中,一般使用三扇区定向发送天线,它的天线增益 G_A 约为 17 dB。SA 受到应用条件的限制,一般使用增益为 8 dB 的偶极子天线阵元,加上约 7 dB 的 G_{AD} ,SA 的总增益 $G_{AT} \approx 15$ dB。文献[11]在上行使用多天线分集接收,下行使用定向发射的情况下给出的 G_{AT} 为 23 dB,不知从何而来。因此在占用码道数增加时,使用 SA 的效果,比使用普通定向天线的效果更差。还会带来设备成本的大幅上升,可靠性下降。因此可以判定在 CDMA 系统中使用 SA 将是一种错误的选择。国际上亦无在 CDMA 系统中推广应用 SA 的先例。

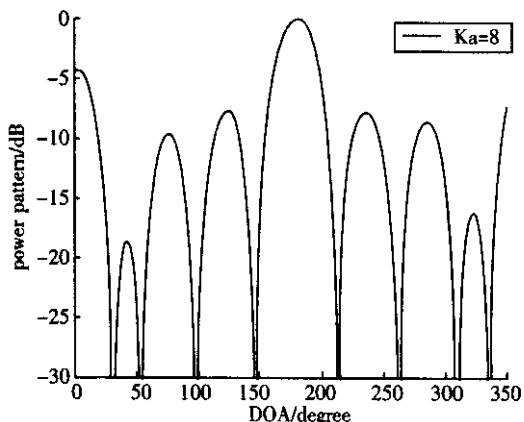


图 2 8 天线阵元 SA 180° 定向发射方向图

文献[11]还考虑在 TD-SCDMA 的扇区中使用带有反射板的 8 天线阵元线阵构成的 SA,电波反射作用将使 SA 蜕变为定向天线,因为反射电波的方向不可能由天线阵元上的加权器进行控制,也将破坏偶极子线阵 SA 必须是均匀线阵的要求。所以上述线阵 SA 的设计根本是不合理的。

3.2 在 TD-SCDMA 系统中使用 SA 的问题

TD-SCDMA 系统必须利用在上行时隙估计的来

波方向(DOA)所对应的一套加权系数用于下行信号的定向发送。若假定此过程在一个无线帧内完成的话,则上、下行时隙应相隔 $0.6753 \times 3 \approx 2$ ms,设车速为108 km/h时,在2 ms内将移动6 cm。3G所用频段约为2 GHz,波长 $\lambda \approx 14$ cm。车速为108 km/h时,2 ms内接近移动 $\lambda/2$ 的波长意味着 π 的相位变化。因此在上行测出的可以同相迭加的方位并不是2 ms后MS的方位,可能变成反向迭加,造成 G_{AD} 大幅下降。

由于SA的工作原理与多径传播衰落类似,在小尺度上会出现较大幅度的衰落,也就是常提起的多径衰落的快衰落特性。若再考虑多普勒频移所带来的相位影响,也会使SA的 G_{AD} 大幅变化。因此车载环境中SA加权矢量的控制应该在闭环条件下实现才是可行的。将上行时隙的DOA估计用于下行时隙的发送只能用于车速极低的步行移动通信系统。

3.3 同时形成多个发信方向图的可能性

在TD-SCDMA系统中使用SA时,必须同时形成8个发信方向图。因此在图2给出的收信SA原理图中,应该将 $[x_1, x_2, \dots, x_8]$ 信号同时送到8套 $[w_1^*, w_2^*, \dots, w_8^*]$ 加权电路。在文献[10]中称在发信电路中可以使用类似的做法,并因为它和收信方式对偶,所以可证明它的正确性。这里的问题是收、发信模型并不相同。若考虑产生两个发信方向图的加权电路,为简单起见,只取 x_1 的加权系数时有 w_{11}^* 和 w_{12}^* ,第2个下标表示第2个发信方向的加权系数。用电路实现 w_{11}^* 和 w_{12}^* 时,需引入两个移相电路。它们产生的相移分别为 θ_1 和 θ_2 ,则两路同频信号经移相叠加后的信号为

$$\begin{aligned} x_1 &= \cos(wt + \theta_1) + \cos(wt + \theta_2) \\ &= 2\cos\left(wt + \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}\right)\cos\left(\frac{\theta_1 - \theta_2}{2}\right) \end{aligned} \quad (5)$$

从式(5)可看出送入天线阵元信号的载波相位只有一个,即 $(\theta_1 + \theta_2)/2$, $\cos[(\theta_1 - \theta_2)/2]$ 将改变信号的幅度。从上面的讨论可以看出SA似乎不太可能同时形成多个不同的发信方向图,若真是如此的话,也可以证明在CDMA方式中使用SA时不可能产生CDMA方式所要求的空分多址作用。

按TD-SCDMA标准的设计要求,传语音时需同时打出8个方向的波束。由于TD-SCDMA标准的频道带宽很窄,还要用作上、下行信号,一般一个基站计划使用6个频点,此时一副天线需同时打出 $6 \times 8 = 48$ 不^不根据^不这些电路分布参数的影响,

估计也很难做到定向发射的要求。

发信载波的相位控制本来就是很难实现的,阻抗匹配状态,电路分布参数,混频和功放电路的非线性等种种因素都会影响到送至天线的信号电流相位,此处还要求8个一组的加权参数能同步动作,这绝不是一个容易实现的技术方案。

4 结束语

从上面的讨论中可以看出SA是否能同时实现多个方向的发信波束,值得继续研究,即使能做到这一点,要达到TD-SCDMA标准要求的话,一副天线至少需同时打出数十个方向的波束,很难令人相信。然而上面这些疑点全排除的话,多个波束产生的系统自干扰也会使SA在CDMA系统中失去使用价值。确切地讲,SA只应该适用于无CDMA的TDMA系统。

TD-SCDMA标准的仓促上马,不重视基础理论研究,盲目迷信高新技术或许是导致制订标准的相关技术人员错误决策的主要原因。然而在近十年的设备研制、测试过程中都未能发现SA技术的严重失误,则令人费解。

参考文献:

- [1] 傅海阳,陆素花,沈晖. TD-SCDMA标准缺陷研究[J]. 南京邮电大学学报:自然科学版,2006,26(1):36-41.
- [2] 傅海阳,金卓琳,黄在朝,等. 中国3G,TD-SCDMA并非最佳[J]. 通信世界,2006(6):25-27.
- [3] 3GPP TR 25.928 V4.0.1(2001-03). 1.28Mcps functionality for UTRA TDD Physical Layer[R]. 2001.
- [4] 傅海阳,金卓琳,张亚琪,等. 1x EV-DV的可用性及其改进方案研究[J]. 电信快报:网络与通信,2006(10):1-6.
- [5] 傅海阳. WCDMA-HSDPA的技术缺陷及其改进方法[J]. 电信技术,2006(12):88-90.
- [6] 谢显中. TD-SCDMA第三代移动通信系统技术与实现[M]. 北京:电子工业出版社,2004.
- [7] 李世鹤. TD-SCDMA第三代移动通信系统标准[M]. 北京:人民邮电出版社,2003.
- [8] 傅海阳,张青,江燕,等. 智能天线在TD-SCDMA基站收信中的作用研究[J]. 电信快报,录用待发表.
- [9] 傅海阳,高鹏,江燕,等. TD-SCDMA智能天线发信波束形成实现方案研究[J]. 南京邮电大学学报:自然科学版,录用待发表.
- [10] 谢显中. 基于TDD的第四代移动通信技术[M]. 北京:电子工业出版社,2005.
- [11] 康绍莉. 智能天线和联合检测技术建议书[Z]. 大唐移动通信设备有限公司资料,2005.

(下转第53页)

作者简介:



朱庆华(1981-)男,江苏苏州人。南京邮电大学通信与信息工程学院2004级硕士研究生。目前主要研究方向为移动通信中的智能天线技术。



郭艳(1971-)女,陕西西安人。解放军理工大学理学院副教授,博士。1996年在解放军信息工程大学密码学专业获硕士学位,2002年在西安电子科技大学电磁场与微波技术专业获博士学位。研究方向为智能天线、密码学。



秦卫平(1957-)男,江苏南京人。南京邮电大学数理学院副教授,博士。2001年6月在南京理工大学电磁场与微波技术专业获博士学位。目前主要研究兴趣为导波器件设计技术、移动通信中的智能天线技术。

(上接第48页)

作者简介:

傅海阳(1951-)男,浙江义乌人。南京邮电大学通信与信息工程学院教授,博士生导师。(见本刊2007年第2期第33页)

张青(1984-)男,江苏南京人。南京邮电大学通信与信息工程学院硕士研究生。(见本刊2007年第2期第33页)



夏璐(1986-)女,江苏姜堰人。南京邮电大学通信与信息工程学院本科生。



徐小春(1983-)男,江苏盐城人。南京邮电大学通信与信息工程学院硕士研究生。主要研究方向为移动通信与无线技术。

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>