

空分多址在移动通信系统建设中的应用

The Application of SDMA to Mobile Communication System Construction



晁文杰

Chao Wenjie

1996年毕业于北京邮电大学,工学学士。京移邮电通信设计院有限公司(原信息产业部北京邮电设计院)第二设计所工程师,常年从事移动通信网络的规划设计工作。

摘要 较系统地介绍了智能天线技术的起源、发展和技术原理,以及空分多址(SDMA)的应用流程和国际上的研究动向;并在我国目前3G移动通信网络完成实验网测试,即将展开大规模商用网建设的大环境下,分析了空分多址在3G网络建设中的应用前景。

关键词 第三代移动通信 空分多址 智能天线 自适应算法

Abstract The origin, development and technical principle of the smart antenna technology are presented, the application process of SDMA and research trend in the world are also given. The future application of SDMA to 3G network construction is prospected in the circumstance that 3G trial network test has been completed and the commercial network will be constructed on large scale in China.

Keywords Third generation mobile communication Space division multiple address Smart antenna Adaptive algorithm

0 前言

天线系统是移动通信系统中不可缺少的组成部分,它位于收发信机和电磁波传播空间之间,并在这两者间实现有效的能量传递。近些年来,随着微电子技术的高速发展,智能天线技术已成功应用于移动通信系统。通过设计天线的辐射特性,可以控制电磁能的空间分布,提高资源利用率,优化网络质量。

2004年我国已经完成了3G实验网的建设和测试工作,今后几年我国将进入3G移动通信网络的高速建设发展期,智能天线技术在移动通信系统建设中的应用将会迎来广阔的发展空间。

1 智能天线技术的起源和发展

智能天线包括多波束智能天线和自适应阵列智

能天线,下面主要介绍已成为智能天线发展主流的自适应阵列智能天线。

a) 最初的自适应阵列智能天线技术主要用在雷达、声纳、军事抗干扰通信中,用来完成空间滤波和定位等功能,提高系统的性能和电子对抗的能力,但由于价格等因素一直未能普及到其他通信领域。

随着移动通信的发展,对移动通信电波传播、组网技术、天线理论等方面的研究逐渐深入,以及微处理器、数字信号处理技术的飞速发展和DSP数字信号处理芯片的处理能力日益提高,同时数字芯片价格也已经为现代通信系统所接受。此时,智能天线技术开始用于具有复杂电波传播环境的移动通信。

b) 随着移动通信用户数的迅速增长和人们对通话质量要求的不断提高,如何消除多址干扰(MAI)、共信道干扰(CCI)以及多径衰落的影响成为

提高移动通信系统性能时需要考虑的主要因素。

经研究发现,智能天线可以产生空间定向波束,使天线主波束对准用户信号到达方向,旁瓣或零陷对准干扰信号到达方向。同时,利用各个移动用户间信号空间特征的差异,通过阵列天线技术在同一信道上接收和发射多个移动用户信号而不发生相互干扰,使无线电频谱的利用和信号的传输更为有效。

实际上它使通信资源不再局限于时间域(TDMA)、频率域(FDMA)或码域(CDMA),而是引入了第四维多址方式:空分多址(SDMA)方式。在相同时隙、相同频率或相同地址码情况下,用户仍可以根据信号不同的空间传播路径而区分。

2 智能天线技术

2.1 智能天线原理

自适应阵列智能天线技术是一种软件技术,也是当今软件无线电技术的基础。它使用了自适应阵列信号处理软件,对所有用户的无线信号进行高速时空处理从而实时调整无线信号的传输,为每位用户提供优质的上下行链路信号。即使基站处在充满噪声和干扰的环境中,也能监测并保持与多个不同用户的通信连接,从而实现空分多址的效果。

自适应阵列智能天线系统持续监控其覆盖的范围,针对不断变化的无线环境(包括移动用户和干扰信号),系统将提供有效的天线发送和接收模式来跟踪用户,为用户所在方向提供最大的增益,同时抑制其他用户的干扰,以适应用户的位置移动。

其原理是使一组天线和对应的收发信机按照一定的方式排列和激励,利用波的干涉原理产生强方向性的辐射方向图,使用 DSP 方法使主瓣自适应地指向移动台方向,从而达到提高信号的载干比、降低发射功率等目的。自适应阵列天线一般采用 4~16 天线阵元结构,阵元分布方式有直线型、圆环型和平面型。

在 FDD 中阵元间距为 $1/2$ 波长,若阵元间距过大,则接收信号彼此相关程度降低;太小则会在方向图形成不必要的栅瓣,故一般取半波长。

在 TDD 中,如美国 ArrayComm 公司在 PHS 系统中的自适应阵列智能天线的阵元间距为 5 个波长。间距宽而波束更窄,而 PHS 系统中采用 TDD 模

式,因而更容易进行定位处理。即使旁瓣多,但由于用户和信道都比较少,因而不会带来不利的影响。

由我国大唐电信提出并拥有较多基本专利的 TD-SCDMA 系统是应用智能天线技术的典型范例,目前已成为第三代移动通信系统的三大主流标准之一。在 TD-SCDMA 系统的基本结构中,智能天线是由 8 个天线单元的同心阵列(直径为 25 cm)组成的。同全方向天线相比,它可获得 8 dB 的增益。

自适应阵列智能天线可以实现全向天线,完成用户信号接收和发送。自适应阵列天线系统采用数字信号处理技术识别用户信号到达方向,并在此方向形成天线主波束,有效克服了干扰对系统的影响。

虽然天线阵列是射频前端很重要的设备,但自适应阵列智能天线技术最重要的部分还在于基带处理部分。基带部分将自适应阵列智能天线接收到的信号进行加权和合并,从而使信号与干扰加噪声比最大。基带处理部分采用复杂的自适应算法。

2.2 智能天线自适应算法

自适应算法是智能天线研究的核心,目前已提出很多算法,概括地讲有非盲算法和盲算法两大类。

a) 非盲算法是指需借助参考信号(导频序列或导频信道)的算法,此时收端知道发送的是什么。

进行算法处理时要么先确定信道响应再按一定准则(如最优的迫零准则(Zero Forcing))确定各加权值;要么直接按一定的准则确定或逐渐调整权值,以使智能天线输出与已知输入最大相关。常用的相关准则有最小均方误差(MMSE)、最小均方(LMS)和最小二乘(LS)等。

b) 盲算法则无需发端传送已知的导频信号。判决反馈算法(Decision Feedback)是一类较特殊的盲算法,收端自己估计发送的信号并以此为参考信号进行上述处理,但需要注意的是应确保判决信号与实际传送的信号间有较小差错。

盲算法一般利用调制信号本身固有的、与具体承载的信息比特无关的一些特征,如恒模(CMA)、子空间、有限符号集、循环平稳等,并调整权值以使输出满足这种特性。常见的是各种基于梯度的、使用不同约束量的算法。

c) 非盲算法相对盲算法而言,通常误差较小,收敛速度也较快,但需浪费一定的系统资源。将两者

结合的有一种半盲算法,即先用非盲算法确定初始权值,再用盲算法进行跟踪和调整,这样做一方面可以综合两者的优点,一方面也是与实际的通信系统相一致的,因为通常导频符不会时时发送而是与对应的业务信道时分复用的。

2.3 空分多址的应用流程

SDMA 系统的处理程序如下:

a) 系统首先对来自所有天线的信号进行快照或取样,然后将其转换成数字形式,并存储在内存中。

b) 计算机中的 SDMA 处理器立即分析样本,对无线环境进行评估,确认用户、干扰源及其所在的位置。

c) 处理器计算天线信号的组合方式,力争最佳地恢复用户的信号。借助这种策略,每位用户的信号接收质量将大大提高,而其他用户的信号或干扰信号则会遭到屏蔽。

d) 系统将进行模拟计算,使天线阵列可以有选择地向空间发送信号。在此基础上,每位用户的信号都可以通过单独的通信信道——空间信道实现高效的传输。

e) 在上述处理的基础上,系统就能够在每条空间信道上发送和接收信号,从而使这些信道成为双向信道。

利用上述流程,SDMA 系统就能够在一条普通信道上创建大量的频分、时分或码分双向空间信道,每一条信道都可以完全获得整个阵列的增益和抗干扰功能。从理论上而言,带有 m 个单元的阵列能够在每条普通信道上支持 m 条空间信道,但在实际应用中支持的信道数将略低于这个数目,具体情况取决于环境。由此可见,SDMA 系统可使系统容量成倍增加,使得系统在有限的频谱内支持更多的用户,从而成倍地提高频谱使用效率。

2.4 智能天线的波束赋形

波束赋形的目标是根据系统性能指标,形成对基带信号的最佳组合与分配。具体说,波束赋形的主要任务就是补偿无线传播过程中由空间损耗和多径效应等引起的信号衰落与失真,同时降低用户间的共信道干扰。智能天线均采用数字方法实现波束形成,即数字波束形成(DBF)天线,从而可以使用软件

设计完成自适应算法更新,在不改变系统硬件配置的前提下增加系统的灵活性。

DBF 对阵元接收信号进行加权求和处理,形成天线波束,并将主波束对准期望用户方向,波束零点对准干扰方向。根据波束形成的不同过程,实现智能天线的方式又分为阵元空间处理方式和波束空间处理方式两种。

阵元空间处理方式是直接对各阵元接收信号采样进行加权求和处理后,形成阵列输出,使阵列方向图主瓣对准用户信号到达方向。由于各个阵元均参与自适应加权调整,这种方式属于全自适应阵列处理。

波束空间处理方式是当前自适应阵列处理技术的发展方向。它实际上是两级处理过程,第一级对各阵元信号进行固定加权求和,形成多个指向不同方向的波速率;第二级对第一级的波束输出进行自适应加权调整后合成得到阵列输出,此方案不是对全部阵元都从整体最优计算加权系数作自适应处理,而是仅对其中的部分阵元作自适应处理,因此,属于部分自适应阵列处理。这种结构的特点是计算量小,收敛快,并且具有良好的波束赋形性能。

2.5 联合检测技术

智能天线用于波束的赋形,从而在基站和用户之间建立起一条能量相对集中的无线链路。联合检测则充分利用所有用户的扩频码、幅度、相位等信息,能同时消除多址干扰和码间干扰(ISI)。

智能天线和联合检测虽然都能抑制系统干扰,但各有侧重。智能天线在抑制区间干扰方面的能力要远远高于联合检测,而联合检测在抑制区内干扰方面的能力优于智能天线,两者需要配合使用。

a) 智能天线缓解了联合检测过程中信道估计的不准确对系统性能恶化的影响;

b) 当用户增多时,联合检测的计算量非常大,智能天线的使用减少了潜在的多用户;

c) 智能天线的阵元数有限,对于 M 个阵元的智能天线只能抑制 $M-1$ 个干扰源,而且所形成的副瓣对其他用户而言仍然是干扰,只能结合联合检测来减少这些干扰;

d) 在用户高速移动下,TDD 模式上下行采用同样空间参数使得波束成型有偏差;

e) 用户在同一方向时,智能天线也不能起到作用;

f) 对时延超过一个码片的多径造成的码间干扰需要联合检测来弥补。

在目前的 TD-SCDMA 系统中,智能天线和联合检测可以有两种连接的方式,一为级联结构,一为混合结构(具体见图 1)。智能天线和联合检测的级联结构由于是对信号的空域特性和时域特性分别加以处理,而上行接收信号是时空信号,这种处理方式效果明显不如对上行信号同时进行时空处理的智能天线和联合检测混合结构。鉴于此,TD-SCDMA 系统上行方向采用智能天线和联合检测的混合结构。

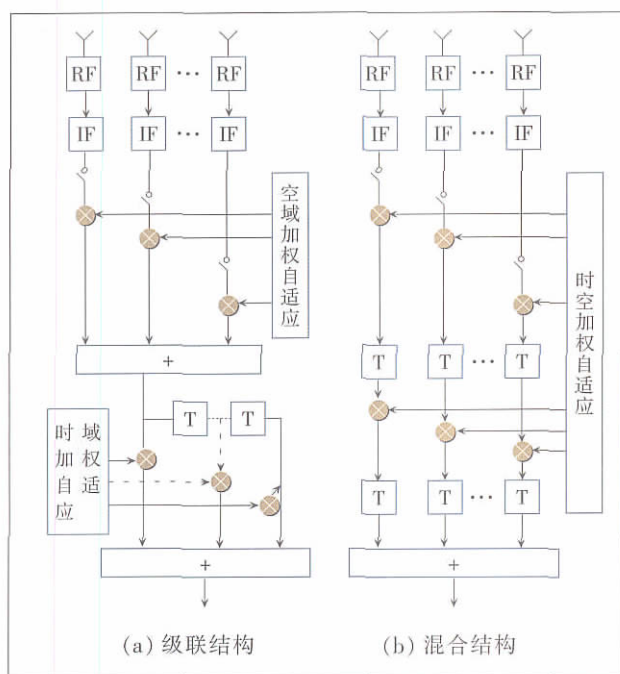


图 1 智能天线和联合检测的两种连接方式

3 智能天线的主要作用

智能天线潜在的性能效益表现在多方面,如抗多径衰落、减小时延扩展、支持高数据速率、抑制干扰、减少远近效应、减小中断概率、改善比特差错率(BER)性能、增加系统容量、提高频谱效率、支持灵活有效的越区切换、扩大小区覆盖范围、灵活的小区管理、延长移动台电池寿命、以及维护和运营成本较低等。简单归纳起来智能天线的主要作用在以下两方面。

3.1 改善系统性能,提高通信质量

采用智能天线技术可提高第三代移动通信系统的容量及服务质量,W-CDMA 系统就采用自适应天线阵列技术,增加系统容量。

a) TD-SCDMA 系统采用TDD方式,使上下射频信道完全对称,可同时解决诸如天线上下行波束赋形、抗多径干扰和抗多址干扰等问题。

b) FDMA 系统采用智能天线技术,与通常的三扇区基站相比,C/I 值平均提高约 8 dB,大大改善了基站覆盖效果;频率复用系数由 7 改善为 4,增加了系统容量;在网络优化时,采用智能天线技术可降低无线掉话率和切换失败率。

c) TDMA 系统采用智能天线技术可提高 C/I 指标。据研究,用 12 个 30°天线代替传统的全向/定向天线实现 360°的基站全方位覆盖,C/I 可提高 6 dB 以上。在满足 GSM 系统 C/I 比最小的前提下,提高频率复用系数,增加了系统容量。

d) CDMA 系统采用智能天线技术,可进行话务均衡,将高话务扇区的部分话务量转移到容量资源未充分利用的扇区;通过智能天线灵活的辐射模式和定向性,可进行软/硬切换控制;智能天线的空间域滤波可改善远近效应,简化功率控制,降低系统成本,也可减少多址干扰,提高系统性能。

但智能天线用于 CDMA 系统的同时,也带来了相应的新问题,如智能天线的校准、智能天线和其他抗干扰技术的结合、波束赋形的速度问题、设备复杂性的考虑、共享下行信道及不连续发射、帧结构及有关物理层技术等。我们在推动标准演进和产品设计上都需要考虑和解决这些问题。

e) 无线本地环路系统的基站对收到的上行信号进行处理,获得该信号的空间特征矢量,进行上行波束赋形,达到最佳接收效果。天线波束赋形等效于提高天线增益,改善了接收灵敏度和基站发射功率,扩大了通信距离,并在一定程度上减少了多径传播的影响。

3.2 提高频谱利用效率,增加网络容量

容量和频谱利用率的问题是发展移动通信根本性的问题。智能天线通过空分多址,将基站天线的收发信号限定在一定的方向角范围内,其实质是分配移动通信系统工作的空间区域,使空间资源之间的

交叠最小,干扰最小。

对于给定的频谱带宽,系统容量愈大,频谱利用率愈高,因此,增加系统容量与提高频谱效率是一致的。为了满足移动通信业务的巨大需求,应尽量扩大现有基站容量和覆盖范围,使用智能天线后,无须增加新的基站就可以改善系统覆盖质量,扩大系统容量,增强现有移动通信网络基础设施的性能。

要尽量减少新建网络所需的基站数量,必须通过各种方式提高频谱利用效率。方法之一是用自适应天线代替普通天线。由于天线波束变窄,提高了天线增益及 C/I 指标,减少了移动通信系统的同频干扰,降低了频率复用系数,提高了频谱利用效率。

未来的智能天线应能允许任一无线信道与任一波束配对,这样就可按需分配信道,保证呼叫阻塞严重的地区获得较多信道资源,等效于增加了此类地区的无线网容量。采用智能天线是解决稠密市区容量难题既经济又高效的方案,可在不影响通话质量的情况下,将基站配置成全向连接,大幅度提高基站容量。

4 智能天线技术的研究动向

美国、日本和欧洲许多国家都非常重视未来移动通信中智能天线的作用,我国也将研究智能天线技术列入国家 863-317 通信技术主题研究中的个人通信技术分项。在连续获得 ITU 和 3GPP 通过的、我国自主研发的 TD-SCDMA 技术体制中,就广泛采用了智能天线和软件无线电技术。

欧洲进行了基于 DECT 基站的智能天线技术初步研究,于 1995 年初开始现场试验。实验系统验证了智能天线的功能,在 2 个用户四个空间信道包括上行和下行链路下,试验系统 BER 优于 10^{-3} 。实验评测了采用 MUSIC 算法判别用户信号方向的能力,同时,通过现场测试,表明圆环和平面天线适于室内通信环境使用,而市区环境则采用简单的直线阵更合适。在此基础上又继续进行诸如最优波束形成算法、系统性能评估、多用户检测与自适应天线结构、时空信道特性估计及微蜂窝优化与现场试验等研究。

日本 ATR 光电通信研究所研制了基于波束空间处理方式的多波束智能天线。天线阵元布局为间距半波长的 16 阵元平面方阵,射频工作频率是

1.545 GHz。阵元组件接收信号在模数变换后,进行快速付氏变换(FFT)处理,形成正交波束后,分别采用恒模算法或最大比值合并分集算法。天线数字信号处理部分由 10 片 FPGA 完成,整块电路板大小为 $23.3\text{ cm} \times 34.0\text{ cm}$ 。野外移动试验确认了采用恒模算法的多波束天线功能。理论分析及实验证明使用最大比值合并算法(MRC)可以提高多波束天线在波束交叉部分的增益。上述两种方案在所形成波束内,选用最大电平接收信号,不用判别用户信号到达方向及反馈控制机构等硬件跟踪装置。ATR 研究人员提出了基于智能天线的软件天线概念:根据用户所处环境不同,影响系统性能的主要因素(如噪声、同信道干扰或符号间干扰)也不同,利用软件方法实现不同环境应用不同算法。如当噪声是主要因素时使用多波束最大比值合并算法,而当同信道干扰是主要因素时则使用多波束恒模算法,以此提供算法分集,利用 FPGA 实现实时天线配置,完成智能处理。

美国 ArrayComm 公司和中国邮电电信科学研究院信威公司研制出应用于无线本地环路(WLL)智能天线系统。ArrayComm 产品采用可变阵元配置,有 12 元和 4 元环形自适应阵列可供不同环境选用。在日本进行的现场实验表明,在 PHS 基站采用该技术可以使系统容量提高 4 倍。信威公司智能天线采用 8 阵元环形自适应阵列,射频工作于 1 785~1 805 MHz,采用 TDD 双工方式,收发间隔 10 ms,接收机灵敏度最大可提高 9 dB。

此外,美国的 Metawave 公司对用于 FDMA、CDMA、TDMA 系统的智能天线进行了大量研究开发。德州大学奥斯汀 SDMA 小组建立了一套智能天线试验环境,着手理论与实际系统相结合。加拿大 McMaster 大学研究开发了 4 元阵列天线,采用恒模算法。国内部分大学也在进行相关的研究。

5 结束语

智能天线技术带给第三代移动通信系统的优势是其他技术都难以取代的,目前国际上已经将智能天线技术作为三代以后移动通信技术发展的主要方向之一。但是随着它的应用也会产生一些新的问题,这些问题将会随着微电子技术和无线数字信号超高速处理技术的发展以及 3G 标准的进一步完善而逐

步得到解决。

在移动通信技术的发展中,以自适应阵列智能天线为代表的智能天线已成为一个最活跃的领域。能够以较低的费用获得清晰的通话质量,这正是通信发展的原动力,推动着通信技术的不断发展。

参考文献

1 藤本共荣, JR 詹姆斯著, 杨可忠, 井淑华译. 移动天线系统手册. 北

京: 人民邮电出版社, 1999

- 2 桑怀胜等. 智能天线的原理、自适应波束形成算法的研究进展与应用. 国防科技大学学报, 2001(6)
- 3 李世鹤. 智能天线的原理和实现. 电信建设, 2001(4)
- 4 侯宏伟. 蓬勃发展的自适应智能天线技术. 通信世界报, 2003(7)

※※

收稿日期: 2005-03-30

(编辑 李荣)

Britestream 与 AVCON 共同推出 IP 视讯会议方案

网络安全解决方案提供商 Britestream Networks 近日宣布与中国领先的视讯会议系统和服务提供商 AVCON 签署正式合作协议, 共同推出 IP 视讯会议解决方案。AVCON 将把 Britestream 的 SSL(安全套接层) 互联网安全解决方案集成到其 AVCON IP 视讯会议系统和服务中。

Britestream 的输入流安全处理体系结构将支持利用公共互联网进行商业视讯会议, 通过在所有基于 Web 的会议会话中包含完整的 TCP/IP 终止与 SSL/TLS 处理, 来确保为用户构建安全的通信环境。AVCON 的客户包括政府机构、制造商和大型企业, 它们都需确保其位于不同地点的机构间安全、快速与可靠的通信。(马文艳 陈静)

APC 中国 10 年全国巡展拉开帷幕

美国 APC 公司 2005 中国 10 年全国巡展在全国各地铺开。在总结了 APC 中国 10 年飞跃发展的同时, 针对目前国内电力紧张的状况, APC 公司进一步向用户阐释了 NCPI(网络关键物理基础设施) 的理念, 呼吁用户在信息化高速发展的今天, 加强对网络关键基础设施的建设, 以提升 IT 系统的整体可用性和运营效率。

在专题研讨会上, APC 还展示了其高可用性、伸缩自如的电力保护解决方案——InfruStruXure(英飞集成系统), 以及 APC 新近推出的 Symmetra LX、

Back-UPS 500/650 等新品, 为用户的 NCPI 建设提供了更多、更好的选择。

(远方)

Belden CDT 京杭宁三地展风采

近日, Belden CDT 相继参加了北京、杭州、南京三地的广电、智能建筑展览和研讨会, 向观众展示了其先进的电线电缆和综合布线产品、10G 铜缆产品系列、粘连线对技术及性能卓越的 GigaBix 系统, 还介绍了其专业音视频电缆、综合布线系统以及近期的一些著名的应用案例(如国家大剧院、花旗集团大厦等项目)。期间, Belden CDT 公司还着重阐述了“一站式采购”的概念, 即 Belden CDT 可以提供智能大楼所需要的各种不同用途的电缆, 从而为客户提供最全面的服务。(李桢)

上海德国中心 Belden IBDN 正式投入使用

日前, 采用 Belden IBDN 先进综合布线系统的上海德意志工商中心建筑群(上海德国中心)正式投入使用。

Belden CDT 公司的 IBDN 结构化布线系统凭借出色的产品性能、成熟的综合布线解决方案与充分、完善的设计中标上海德意志工商中心建筑群综合布线项目。该信息点数达 5 200 点, 36 根光缆连接 4 栋建筑, 构成坚固的主干数据网络, 主干语音铜缆的使用量超过了 20 km。

Belden CDT 公司金牌分销商万坤(Maxqueen) 企业发展有限公司则为该

项目提供了完善的售前和售后服务。上海德国中心运行以后, Belden IBDN 结构化布线系统必将以其可靠的性能、完善的售后服务体系, 为这个“德国之家”的网络正常运行提供强有力的支持。

(李桢)

2005 年中国国际通信展 增设“增值服务专区”及研讨会

中国手机移动短信业务增长快速, 针对这个新兴并发展迅速的增值服务产业, 通信展主办单位将增设“增值服务专区”, 为展商及对口观众提供一个更专业及高效率的交流平台。展出范围包括电信增值业务、增值业务应用解决方案及相关应用软件、增值运营平台与技术及终端产品等。此外, 专区将组织同期研讨会, 内容将围绕无线通信技术、通信网络基建、无线增值服务及技术方案等。

两年一度的“中国国际通信设备技术展览会”再度将于 2005 年 10 月 18~22 日在中国北京的中国国际展览中心(CIEC)举行。截至目前, 落实展出的企业已达 300 多家, 共 7 个国家展团报名参加, 总展出面积预期会超过 50 000 m²。

如欲参展或查询展会详情, 请联络雅式展览服务有限公司陈晓瑛小姐或余巧玲小姐, 电话: (852) 25163334 或 25163513, 传真: (852) 25165024, 电邮: telecom@adsale.com.hk 或浏览展会专题网站: www.2456.com/cnc。

(张凯欣)