



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1695271 B

(45) 授权公告日 2011.11.09

(21) 申请号 03819675.1

第 27 行至第 8 栏 59 行、图 2.

(22) 申请日 2003.08.21

全文 .

(30) 优先权数据

US 2001/0026197 A1, 2001.10.04, 全文 .

60/405,285 2002.08.21 US

US 6347234 B1, 2002.02.12, 全文 .

(85) PCT 申请进入国家阶段日

US 2002/0033766 A1, 2002.03.21, 全文 .

2005.02.21

Chae-hyun Lim, and et al. Channel

(86) PCT 申请的申请数据

Capacity Enhancement Using Virtual

PCT/US2003/026567 2003.08.21

Array Elements in Smart Antenna Systems.

(87) PCT 申请的公布数据

IEEE International Conference on

WO2004/019447 EN 2004.03.04

Communications. 2002, 1 第 156 页左栏第 35 行

(73) 专利权人 美国博通公司

至第 157 页右栏第 19 行、图 2.

地址 美国加州圣地亚哥市

审查员 李艳君

(72) 发明人 皮特·范鲁延 皮特·威廉姆·鲁

(74) 专利代理机构 深圳市顺天达专利商标代理有限公司 44217

代理人 蔡晓红

(51) Int. Cl.

H01Q 3/00 (2006.01)

(56) 对比文件

US 6275543 B1, 2001.08.14, 说明书第 7 栏

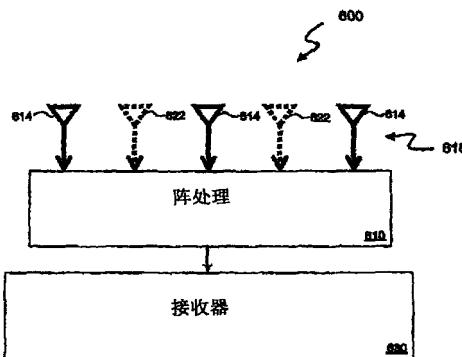
权利要求书 1 页 说明书 13 页 附图 9 页

(54) 发明名称

包括虚拟天线单元的天线阵

(57) 摘要

一种用于通过计算位于天线阵 (618) 的“虚拟”天线单元的响应有效增加多单元天线系统中天线单元数量的方法及相关系统。将该阵的物理天线单元分布得充分接近，以能够合成表征阵对接受入射波的响应的多项式或其他数学表达。然后通过合成的多项式或其他数学表达的计算确定与阵的虚拟天线单元相关的响应值。然后将产生的与阵的虚拟和物理天线单元相关的阵响应值提供给相关接收器处理。



1. 一种用于处理通过天线阵接收的信号的方法,其特征在于,包括:

接收  $M$  个信号副本,所述  $M$  个副本中的每一个由天线阵中的  $M$  个相应的物理天线单元中的一个接收;

确定  $M$  个物理天线单元的  $M$  个响应,所述  $M$  个响应中的每一个对应于  $M$  个相应的物理天线单元中的一个;

以及

生成  $N$  个对信号的响应,分别与  $N$  个沿着天线阵的空间位置相关,作为  $M$  个物理天线单元对信号的响应的函数,其中通过内插和 / 或外插  $M$  个响应中的至少两个计算  $N-M$  个空间位置中至少一个的响应,所述  $N$  个响应中  $N-M$  个内插和 / 或外插所得的响应与位于物理天线单元中的虚拟天线单元相关,所述  $N-M$  个空间位置中的至少一个与  $M$  个物理天线单元中的任一个不相重合;

其中,  $M$  个物理天线单元中相邻的部分在空间上相距不超过距离  $\lambda/2$ ,其中  $\lambda$  为物理天线单元接收的信号能量波长。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,通过使用拉格朗日技术或径向基础函数网络实现内插和 / 或外插。

3. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,包括:

在确定  $M$  个物理天线单元的  $M$  个响应之前,将  $M$  个信号副本从射频降频至基带。

4. 一种用于接收信号的天线系统,其特征在于,包括:

包括  $M$  个物理天线单元的天线阵,所述  $M$  个物理天线单元空间上分布以接收  $M$  个信号副本中相应的一个,从而能够生成接收信号的  $M$  个副本;以及,

包括  $M$  个信号处理链的阵处理模块,所述  $M$  个信号处理链中的每一个都与  $M$  个物理天线单元中的一个相连;

其中阵处理模块被构建以为天线阵生成  $N$  个信号响应值,作为接收信号的  $M$  个副本的函数;所述  $N$  个信号响应值包括至少一个虚拟天线响应值,其中  $N$  大于  $M$ ,并通过内插和 / 或外插来自一个物理天线的  $M$  个响应中的至少两个计算每一虚拟天线的响应值;

其中,  $M$  个物理天线单元中相邻的部分在空间上相距不超过距离  $\lambda/2$ ,其中  $\lambda$  为物理天线单元接收的信号能量波长。

5. 根据权利要求 4 所述的天线系统,其特征在于,阵处理模块包括:

连接到  $M$  个信号处理链的加权模块,其中加权模块被构建以计算  $M$  个物理加权参数,作为  $M$  个接收信号副本的函数,所述  $M$  个物理加权参数中的每一个与  $M$  个物理天线单元中的相应的一个相关;以及

连接到  $M$  个信号处理链的内插模块,所述内插模块被构建以为天线阵生成  $N$  个信号响应值,作为  $M$  个物理加权参数的函数。

6. 根据权利要求 4 或 5 所述的天线系统,其特征在于,所述  $M$  个物理天线单元间的间距均匀。

## 包括虚拟天线单元的天线阵

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种无线电通信系统的多单元天线接收器,特别涉及一种相关接收器的多重接收天线的信号处理。

### 背景技术

[0002] 最近人们提出,现存的无线系统的性能和容量都可以通过使用所谓的“智能(Smart)”天线技术来得到改进。特别地,可使用这些技术,以及与这些技术相联系的空间时间信号处理,来防止期望引入信号的多路衰减的有害效应以及抑制干扰信号。通过这种方法,存在的和正在部署的数字无线系统(例如基于CDMA的系统,基于TDMA的系统,WLAN系统和基于OFDM的系统比如IREE 802.11 a/g)的性能和容量可得到改进。

[0003] 据预计,这种智能天线系统将会更多地使用在基站基础设施的部署和蜂窝系统的移动用户单元(比如,手机),以便处理施加在这些系统上的、增长的需求。这些需求部分由于现在的基于声音的服务向下一代无线多媒体服务的转变而增长,以及随之而来的声音、图像和数据发射模式之间界限的模糊。在该类下一代系统中使用的用户单元将很有可能会要求表现出相对于现存的蜂窝移动无线电标准更高的声音质量,以及提供高速的数据服务(比如,高至10兆字节/秒)。然而,达到高速和高服务质量是很复杂的,因为移动用户单元被希望是很小很轻的,而且能够在多种环境下(比如蜂窝/微蜂窝/微微蜂窝,城市/郊区/农村,以及室内/室外)可靠地运行。另外,除了提供高质量的通信和覆盖,要求下一代系统具有更多的高效率的可使用带宽,而且定价合理以便保证被广泛的市场所接受。

[0004] 在很多无线系统,整体性能和容量的降低由于三个主要因素:多路衰减、接收的多路信号元件间的延迟的扩散、和信道共信道干扰(CCI, co-channel interference)。众所周知,多路衰减是由于被路由到接收天线的信号横越多路径引起的。来自这些路径的不同相位的信号聚集在一起,造成接收信号的振幅和相位随着天线的位置、方向和偏振,以及时间(作为通过环境运动的结果)而改变。增加质量或者减少有效错误率,以便消除多路衰减的影响已经被证明是极端困难的。虽然在理论上可通过使用更高的发射功率或者增加带宽来减少多路衰减的影响,但是这些方法经常与下一代系统的要求不一致。

[0005] 如上面所提及的,“延迟扩散”或者接收的多路信号的多种元件之间的传播延迟的不同,也构成了改进无线通信系统的性能和容量的主要的障碍。据报告,当延迟扩散超过了信号波期的约10%,导致的严重的信号间干扰(ISI, intersymbol interference)通常会限制最大数据率。这种困难在窄带系统中,比如全球移动通信系统中(GSM)中最经常发生。

[0006] 信道共信道干扰的存在反过来也影响蜂窝系统的性能和容量。现存的蜂窝系统通过将可使用的信道划分为信道组来运行,一个信道组一个单元,频率可再次使用。多数的时分多址(TDMA)系统使用7个频率重用因子,而大多的码分多址(CDMA)系统使用1个频率重用因子。这种频率重用造成CCI,其在信道组的数量减少时(就是说,当每个单元的容量都减少)增加。在TDMA系统中,CCI主要来自一个或者两个其他用户,而CDMA系统可能存在很多的强干扰,这些干扰可能在单元内或者来自临近的单元。对一个给定的CCI水平,可

以通过减小单元大小增加容量,但是代价是增加基站。

[0007] 对上面描述的对这种蜂窝系统性能的损害至少可以部分地通过使用多单元天线系统得到改善,这种天线系统将分集增益引入到信号接收过程。至少存在三种初级的方法来影响这样的分集增益,通过每个天线单元接收的信号的去相关(decorrelation)实现:空间多样化、偏振多样化和角度多样化。为了实现空间多样化,天线单元被有效地分开,以获得低衰减关联。这种分开取决于角展度,就是信号到达天线单元的角。

[0008] 如果移动用户单元(比如,手机)被其他分散的物体包围,一个只有四分之一波长的天线空间经常是足够达到低衰减关联的。这就允许多空间分集式天线与手机结合,特别是处于高频率的(由于天线体积的减小,作为提高频率的一个功能)。另外,双偏振天线可以被很近地放在一起,而保持低衰减关联,正如不同式样的天线(角或者方向多样化)可以放在一起一样。

[0009] 虽然增加接收天线的数目提高了多天线系统各个方面的性能,为每个发射和接收天线提供一个独立的射频链的必要性也会增加成本。每个射频链大体上由一个低噪音放大器、滤波器、降频器以及数字到模拟转换器(A/D)组成,后三个设备通常占据了射频链成本的大部分。在某个现存的单天线无线接收器中,所需的单个射频链可能要占超过接收器总成本的30%。所以当接收天线的数目增加时,系统总成本和功率消耗可能急剧上升,这是很明显的。因此,需提供一种技术,有效地增加接收天线,而不会成比例地增加系统成本和功率消耗。

## 发明内容

[0010] 在一个实施例中,本发明可被描述为一种处理天线阵接收信号的处理方法,以及完成这种方法的装置,该方法包括:接收信号的M个副本,M个副本中的每一个由天线阵的M个物理天线单元中相应的一个接收;确定M个物理天线单元到信号的M个响应,M个响应中的每一个对应于M个物理天线单元中的一个;再生成对于信号的N个响应(作为M个响应的函数),其中N个响应中的每一个代表沿着天线阵不同空间位置上的信号的响应。

[0011] 在另一个实施例中,本发明被描述为一个用来接收信号的天线阵,包括:一个包括M个物理天线单元的天线阵,其中M个物理天线单元被空间排列以接收相应的信号的M个副本中相应的一个,从而能够生成接收信号的M个副本;以及一个包括M个信号处理链的阵处理模块,其中M个信号处理链中的每一个都与M个物理天线单元中的一个相连。阵处理模块用于为天线阵生成N个信号响应值,作为M个接收信号副本的函数,N个信号响应值包括至少一个虚拟天线响应值,其中N大于M。

[0012] 在另一个实施例中,本发明被描述为一个阵处理模块,包括:M个信号处理链,其中M个信号处理链中的每一个用于接收来自M个物理天线单元中相应的一个的接收信号副本;以及一个连接到M个信号处理链的内插模块,其中内插模块用于为天线阵生成N个信号响应值,作为M个接收信号副本的函数。

## 附图说明

[0013] 在附图中:

[0014] 图1是传统的接收器的方块图,由多天线单元接收的信号被加权和合并,以生成

输出信号；

- [0015] 图 2 是传统的空间 - 时间滤波配置的方块图；
- [0016] 图 3 是在无线通信系统内的多输入 / 多输出天线装置的示意；
- [0017] 图 4 是描述一种射频域中多接收器天线系统的传统结构的方块图；
- [0018] 图 5 是展示图 4 中电路的数字对等物的方块图；
- [0019] 图 6 是根据本发明的实施例的结合阵处理模块的接收器系统的方块图；
- [0020] 图 7 是示出在按照一个实施例处理信号时，图 6 中阵处理模块实施的步骤的流程图；
- [0021] 图 8A 是图 6 中的天线阵的一个实施范例的图示；
- [0022] 图 8B 是
- [0023] 图 9 是示出适于接收信号的均匀线性天线阵的图；
- [0024] 图 10 是描述结合按照本发明建立的虚拟单元天线阵的天线系统的方块图；以及
- [0025] 图 11 是示出按照本发明的一个实施例的图 10 的天线系统的实施步骤的流程图；
- [0026] 图 12 是描述另外一个结合按照本发明另外一个实施例建立的虚拟单元天线阵的天线系统的方块图；
- [0027] 图 13 是描述又一个结合按照本发明又一个实施例建立的虚拟单元天线阵的天线系统的方块图。

### 具体实施方式

[0028] 在下面的描述中，本发明的各个方面将会被描述。但是，对熟知本领域的人来说，本发明在实践时可能只表现出本发明的某些方面，也可能是全部。为了解释，特定的数字、材料和构造被阐述，以便提供一个对本发明完整的理解。但是，还是很明显的是，对熟知本领域的人来说，本发明的使用可能不需要这些特定细节。在其他的例子中，熟知的特征就被省略或者简化了，以便不使本发明变得晦涩模糊。

[0029] 各操作将以一种最能帮助理解本发明的方法，作为多个分离的、依次操作的步骤被描述，然而，描述的顺序不应该解释为，这些操作顺序是必须依靠的，特别是，这些步骤展示的顺序。除此之外，短语“在一个实施例中”(in one embodiment) 将会被重复使用，但是，这个短语不一定是指同一个实施例，虽然有可能是指同一个。

[0030] 本发明指出的是一种在多单元天线系统中通过估算置于天线阵物理单元中的虚拟天线单元的响应来有效增加天线单元数量的方法。依照本发明的几个实施例，阵的物理单元被放置得互相距离足够近，以便能够合并进行表征阵的接收相关波形的响应的多项式或者其他数学表达。然后可以通过计算合并的多项式或者其他表达来确定与阵的虚拟天线单元相联系的响应值。然后，将产生的与阵的虚拟和物理天线单元相关的阵响应值提供给一个相关的接收器以处理。

[0031] 通过这种方法，本发明提高了性能，而没有增加复杂性，所述的复杂性会随之而来地直接增加物理天线单元的数量和相关的信号处理路径。在一个具体的实施例中，本发明可用来减少与移动设备的多天线单元调配相关的复杂性、功率消耗和成本。这个实施例可有效地将天线单元从 M 个物理单元增加到大于 M 个有效天线单元。这种增加可使用有效插入法（比如，拉格朗日插入）实现，从而建立一套置于 M 个物理天线单元间的虚拟天线单

元, 和 / 或使用有效外插法在天线阵边缘建立虚拟天线单元。

[0032] 本发明不局限于移动设备, 也可应用于基础设施单元 (比如, 基站和接入点)。另外, 本发明适用于所有已知的无线标准和调制方案 (比如 GSM, CDMA2000, WCDMA, WLAN, 定点无线标准 OFDM 和 CDMA)。

[0033] 为了容易地理解本发明的原则, 结合图 1-5 提供了用于减轻延迟扩散、干扰和衰减效应的各种传统的多单元天线系统的简要描述。

[0034] 参考图 1, 所示的是一个传统的接收器 100 的方块图, 其中由多天线单元接收的信号被加权和合并, 以生成输出信号。所示的传统分集式接收器为 M 个天线单元集 102, 以及分别与每个天线单元相连的是包括各加权部分 110, 112, 114 的并联接收链 104, 106, 108。接收链 104, 106, 108 都与组合器 116 相连, 并且组合后的信号 118 从组合器 116 引出。

[0035] 使用 M 个天线单元, 该阵通常提供增强的天线增益 “M”, 以及针对基于天线单元中的衰减的相关的分集增益的多路衰减。在这里, 天线增益被定义为用于给定的平均输出信噪比 (SNR, signal-to-noise ratio) 的所需信号功率的减小, 而分集增益被定义为对给定的衰减字节错误率 (BER, bit error rate) 所需的平均输出信噪比的减小。

[0036] 对于干扰的减轻, M 个天线单元 102 中的每一个在加权部分 110, 112, 114 被分别加权, 并在组合器 116 中被合并, 以将信号干扰噪音比 (SINR, signal-to-interference-plus-noise ratio) 最大化。通常以一种使均方误差最小, 并且使用干涉相关的方式实施这种加权的过程, 以减小干扰功率。

[0037] 现在看图 2, 示出了一个传统的空间 - 时间滤波装置 200 的方块图。所示的为第一天线 202 和第二天线 204, 分别与第一线性均衡器 206 和第二线性均衡器 208 相连。第一和第二线性均衡器 206 和 208 的输出与组合器 210 相连, 组合器 201 的输出与 MLSE/DFE 部分 212 相连。

[0038] 图 2 的滤波装置用于通过使用联合时空处理来消除延迟扩散。一般地, 因为 CCI 在接收器处是未知的, 最佳的时空均衡器 (无论从最小均方误差的角度 (MMSE, minimum mean square error) 还是最大信号干扰噪音比的角度考虑) 都包括一个增白滤波器。例如, 使得 CCI 空间和时间上增白的线性均衡器 (SE, linear equalizer) 206, 208, 而图 2 的滤波装置都是典型的这样的系统。如图 2 所示, 一个非线性滤波器跟随着线性均衡器 (LE) 206, 208 (所述的非线性滤波器由 MLSE/DFE 部分 212 表示), MLSE/DFE 部分 212 通过使用决策反馈均衡器 (DFE, decision feedback equalizer) 或者最大可能结果估计器 (MLSE, maximum-likelihood sequence estimator) 来实施。

[0039] 正如这个领域里技术一般的人所知的, 涡轮原理 (turbo principle) 也可以被用来代替高性能的、非线性滤波器, 但是其具有更高的计算灵活性。使用时空处理 (STP) 技术, 上至 4 分贝的信噪比以及上至 21 分贝的信号干扰噪音比在一些的天线单元中被报道。

[0040] 接着参考图 3, 所示的是在一个无线通信系统内的多输入 / 多输出天线装置的一般的示意。所示的是一个与多个发射天线 304 相连的发射器 302 (TX, transmitter), 所述的发射器通过时间变换障碍 306 发射信号到多个连接到接收器 (RX, receiver) 310 的接收天线 308。正如所示, 多个天线单元配置于无线通信系统 300 的发射器 302 (TX) 和接收器 (RX) 310。

[0041] 除了多输入 / 多输出天线 (MIMO, multiple-input/multiple-output) 装置之外,

其他的天线装置可根据连接到发射器和接收器的信道“输入”和“输出”的数目被分类如下：

[0042] ●单输出 / 单输入 (SISO, single-input/single-output) 系统, 包括具有一个通过单天线向上链路和向下链路通信的收发器 (比如, 移动单元和基站)。

[0043] ●多输出 / 单输入 (MISO, multiple-input/single-output) 系统, 包括一个或者更多的通过多天线输入向下链路的接收器, 以及一个或者更多的通过单天线输出向上链路的发射器。

[0044] ●单输出 / 多输入 (SIMO, single-input/multiple-output) 系统, 包括一个或者更多的通过单天线输入向下链路的接收器, 以及一个或者更多的通过多天线输出向上链路的发射器。

[0045] 多单元天线系统装置 (特别是 MIMO) 吸引力的一个方面在于可以通过这些构造达到的显著的系统容量提高。假设发射器和接收器的可用信道能够完美的估计是可实现的, 在一个具有  $M$  个接收天线的 MIMO 系统中, 接收信号可分解为  $M$  个独立的信道。这导致了相对于 SISO 系统容量增加了  $M$  倍。对固定总体发射功率来说, 由 MIMO 提供的容量与增加的用于较大但实际的数量的  $M$  个天线单元的信噪比成比例。

[0046] 在一个特定的衰减多路信道的例子中, 已经发现 MIMO 装置的使用使每增加 3 分贝的信噪比带来几乎  $M$  个额外的字节 / 周期。这种 MIMO 缩放比例与基线配置相反, 基线配置的特征在于  $M = 1$ , 其被香农 (Shannon) 经典的公式换算为用于每 3 分贝信噪比的增加的 1 个额外的字节 / 周期。需注意的是这种 MIMO 系统带来的容量的增加是在没有任何相对于单个单元基线配置更多的附加宽带的情况下实现的。

[0047] 可是, 无线通信系统中 (特别是无线手机) 分布广泛的多单元天线装置已经受阻, 因为导致的复杂性的增加和相关的功率消耗、成本和尺寸的增加。这些参数增加产生于很多建议结构的需求 (至少部分地), 即为每个天线单元提供独立的接收器链。

[0048] 比如说, 图 4 描述一种射频域中多接收器天线系统 400 的传统结构。正如所示, 图 4 的实施包括一个独立用于  $M$  个天线单元中的每一个的接收链 402, 404, 406, 而且接收链 402, 404, 406 中的每一个包括实现放大、滤波和混频的单元。结果是, 实施系统 400 的成本比实施具有单个接收链的系统高。另外, 增加额外的天线单元经常因为增加的成本、空间和 / 或相关的附加天线单元的功率而被禁止。

[0049] 系统 400 示范的方法是很落后的, 因为模拟相位转换器和多种增益放大器的使用使得它变得相对昂贵和对性能的下降变得敏感 (由于衰老、温度变化和指定公差的差异)。另外, 因为图 4 的实施使用了接收和发射天线单元之间的相位关系 (即路径微分延迟通过每个接收处理链来维持), 刚性粘着和精确校准在每个射频处理链中都是必须的。

[0050] 参考图 5, 所示的是一个展示图 4 中系统的数字对等物的方块图。一般地, 图 5 中数字电路装置 500 的性能实际上因为上文描述的和图 4 同样的原因而有所下降。这就是说, 对与每个天线单元联系的整个的接收链 (即从射频到到基带) 的复制导致规模、成本、复杂程度和功率消耗的增加。结果是, 在多接收天线系统中增加附加的天线单元现在已经不适合在无线通信系统中的手机和其他移动终端部署了。

[0051] 概述和系统结构

[0052] 本发明是关于一种用来实施在移动设备内多天线单元的系统和方法, 所述的实施

通过一种潜在地减小成本和功率消耗的方式,成本和功率消耗典型地伴随多天线单元天线装置。

[0053] 图 6 是一个根据本发明的一个实施例的结合了阵处理模块 610 的接收器系统 600 的方块图。阵处理模块 610 接收来自天线阵 618 的 M 个物理天线单元 614 的信息,天线阵 618 具备 N 个单元。除了 M 个物理天线单元 614,天线阵 618 也有效地包括一组虚拟(就是说,非物理)天线单元 622。参考图 6,也同时参考图 7,图 7 是示出当处理一个天线阵 618 接收的信号时,阵处理模块 610 实施的步骤的流程图。

[0054] 阵处理模块 610 用于将虚拟天线单元 622 对天线阵 618 上的波形撞击的响应合成。这些响应与 M 个物理天线单元 614 产生的响应一起,然后被传送至接收器 630 进一步处理。在一个实施例中,阵处理模块 610 在传送它们到接收器 630 之前,进一步处理来自虚拟天线单元 622 和 M 个物理天线单元 614 的响应。

[0055] 在操作中,一个信号撞击到天线阵 618, M 个物理天线单元 614 中的每一个接收到一个信号副本。阵处理模块 610 然后接收到来自 M 个物理天线单元 614 的 M 个信号副本(步骤 700)。

[0056] 接着,阵处理模块 610 确定 M 个物理天线单元中的每一个对信号的响应(步骤 702)。正如这里进一步讨论的那样,在一些实施例中,M 个物理天线单元 614 中的每一个的响应被计算为与 M 个物理天线单元 614 中的每一个相关的权重参数的函数。在其他的实施例中,M 个物理天线单元中的每一个的响应通过对每一对应的 M 个信号副本采样得到。

[0057] 在 M 个物理天线单元 614 的响应确定以后,阵处理模块 610 计算虚拟天线单元 622 的响应,作为 M 个物理天线单元 614 的响应的函数(步骤 704)。在几个实施例中,虚拟天线单元 622 每一个的响应通过内插和 / 或外插 M 个物理天线单元 614 中的至少两个而被计算出来。

[0058] 因此,阵处理模块 610 提供 N 个信号响应,这就是说,天线阵 618 中的每一个都有一个响应(步骤 706)。N 个响应然后可以传送到接收器 630 之前被阵处理模块 610 进一步处理。

[0059] 较优地,阵处理模块 610 有效地为接收器 30 提供具有 N 个(比如,5 个)单元的天线阵,尽管只有 M 个(比如,3 个)物理天线单元被布置。结果是,阵处理模块提供了天线阵的优点,所述天线阵具有 N 个物理单元,而没有通常与 N 个接收链相联系的相关成本和功率消耗。

[0060] 应该注意的是,阵处理模块 610 可能作为一组指令被实施,所述的指令在专用的硬件、固件或者使用处理器或者其他执行指令以实现提供的功能的机器中执行。还应该注意的是,阵处理模块 610 和接收器 630 在图 6 中为了描述阵处理模块 610 实施的特定函数而被展示为独立的块,但是阵处理模块 610 可能与接收器分享同一个硬件。进一步,阵处理模块 610 可能合并为接收器 630 的一部分。

[0061] 现在转向图 8A 和图 8B,所示的分别是暴露给信号 602 的天线阵 618,和天线阵 618 作为时间的函数接收的信号的副本的图示。正如将被描述的那样,物理天线单元 614 相临的部分空间上相距不超过距离  $\lambda/2$ ,其中  $\lambda$  代表天线阵 618 接收的信号能量的波长。正如所示,天线阵 618 包括一组三个单元的物理天线单元 614(比如,M = 3)和两个虚拟天线单元 622,因此有效地得到 5 单元的阵(比如,N = 5)。正如图 8A 所示,信号 602 的波前从

左至右以角度  $\Psi$  到达天线阵 618 (方向 604 垂直于天线阵 618), 首先第一个信号副本  $S_0$  被最左侧的物理天线单元接收到, 而最右侧的天线单元 614 直到  $4^*(dsin \Psi / c)$  秒以后才会接收到一个相应的副本  $S_2$ , 其中所述的最右侧的天线单元 614 距离最左侧的物理天线单元 614 为  $4^*d$ 。

[0062] 如图 8B 所示, 在  $4^*(dsin \Psi / c)$  秒延迟后, 最右侧的物理天线单元 614 接收到信号副本  $S_2$ 。结果是, 在副本  $S_2$  被最右侧的天线接收到以后, 最左侧的天线已经接收到 5 个周期 (每个长  $dsin \Psi / c$  秒) 的信号。正如所示, 在  $4^*(dsin \Psi / c)$  秒延迟后, 总天线阵 618 的响应可以通过内插物理天线单元 614 对信号副本  $S_0, S_1, S_2$  的响应来计算得到。

[0063] 本发明的原理可提供参考时间频率信号处理的各个方面来得到进一步理解。在这方面, 观察到滤波器以脉冲响应值  $h_m$  为特征, 其通常与样本间隔时间  $T$ 。线性变换不变量系统也以频率响应为特征:

$$[0064] H(e^{j\omega T}) = \sum_{m=0}^{M-1} h_m e^{-jm\omega T} \quad (1)$$

[0065] 方程式 (1) 中, 包括  $M$  个样本的有限长度脉冲响应以  $\{t_m\}$  表示。与熟知的取样法则相一致, 为了避免任何相位模糊的产生, 有必要这样设定取样间隔 ( $T$ ) 和角频率 ( $\omega$ ), 这样 (1) 中的指数的变元满足关系  $\omega T \leq \pi$ 。

[0066] 参考图 9, 可以看到一个包括多个物理阵单元 904 的均匀线性天线阵 900。阵单元 904 单元长度为 1, 互相距离单元长度为  $d$ 。另外, 一个信号波形  $S$  以角方向  $\Psi$  撞击到线性天线阵 900 上。假设阵 900 包括规则地以间距  $d$  排列的  $M$  个物理阵单元 904, 那么这些阵单元 904 位于  $x_m = md, m = 0, 1, 2, \dots, M-1$ 。阵 900 可以以一个孔径滤波函数 (aperture smoothing function) 为特征, 表达如下:

$$[0067] W(u) = \sum_{m=0}^{M-1} w_m e^{-jmd2\pi(u/\lambda)d} \quad (2)$$

[0068] 其中,  $w_m$  是一个与每个阵单元相联系的权重参数,  $\Psi$  是阵 900 侧面和相关波长为  $\lambda$  的波形之间的角, 而变量  $u$  被表达式  $u = \sin \Psi$  定义。在示范的实施例中, 权数  $w_m$  定义了一个标准窗口函数或者可以根据特定标准有选择地改动。

[0069] 显然, 方程式 (2) 中的表达的某些方面可从图 9 几何图形得到。特别地, 对于一个相关的起源于阵 900 无限远处的波形来说, 在两个相邻单元之间通过的距离差是  $dsin \Psi$ 。当这个距离被转化为相位角, 结果是方程式 (2) 中的指数的表达 (其中, 通过距离的每个波长  $\lambda$  相当于  $2\pi$ )。总之, 阵滤波函数方程式 (2) 的公式和计算, 涉及将阵 900 所有的单元的响应加权, 对加权的响应求和, 以及输出加权响应的和。

[0070] 值得注意的是, 孔径滤波函数方程式 (2) 表示了这样的方法, 这种方法中, 相关波形的傅立叶变换被“过滤”了, 或者就作为通过有限孔径的观察结果而被改变。这可以被类似地考虑为以滤波操作为特征的频率响应的作用, 所述的频率响应揭示了一种方法, 通过这种方法接收信号的孔径被这样的滤波操作过滤了。

[0071] 给定的方程式 (1) 和 (2) 间类似的关系, 本发明承认一些限制应当施加于方程式 (1) 中的参数, 以防止方程式 (1) 中出现失真的情况, 允许在方程式 (2) 中出现类似“反失真”的限制。特别地, 在方程式 (2) 的指数的变元必须满足下面的限制, 以保证失真的情况

不会发生。

$$[0072] \quad 2\pi \frac{|u|}{\lambda} d = |k_x| d \leq \pi \quad (3)$$

[0073] 其中  $k_x = 2\pi u / \lambda$  是波数的 x 分量。

[0074] 图 9 中的一维阵的阵模式和滤波频率响应之间的关系现在可以表达如下：

$$\omega \leftrightarrow k_x = 2\pi \frac{u}{\lambda} \quad (4)$$

$$T \leftrightarrow d \quad (4)$$

$$h_n \leftrightarrow w_x$$

$$\{t_m\} \leftrightarrow M$$

[0076] 考虑到方程式 (4)，时空取样限制  $T \leq \pi / \omega_{\max}$  可以表达为空间域取样限制  $d \leq \lambda_{\min}/2$ 。

[0077] 根据本发明，发明者已经承认方程式 (4) 中阐述的关系允许将时间域内插法使用于线性天线阵，以便能够计算那些“虚拟天线”的响应，所述的“虚拟天线”的响应可能或者位于阵的物理单元之间，或者置于阵的边缘。这就是说，对由一个线性阵（比如，阵 618, 900）的物理单元生成的响应使用内插和外插法，允许各种位于阵的物理单元（比如，阵 618, 900）中的虚拟天线的导出。正如上文所提及的，这个概念通过图 8A 中在物理天线单元 614 中的虚拟天线单元 622 被示出。

[0078] 各种熟知的时间域内插和外插技术可以在阵 618、900 的物理单元 614、904 的响应的基础上，被用来生成虚拟天线单元 622 的响应。可以理解的是，这种在空间域内的“取样”有效地达到阵的响应的估计，所述响应具有给定的特定天线几何图形，输入信号载波频率和相关接收波形的角度。时间域估计方法（例如拉格朗日技术和径向基础函数 (RBF, Radial Basis Function) 网络）可以被用来内插和外插。可是拉格朗日函数在外插时不如 RBF 技术有效。因为 RBF 网络可以用来解决非线性可分离分级问题，这种网络也可用来进行对一组多维空间上的数据点进行内插和 / 或外插的操作。熟知本领域的人会理解，可使用其他与本发明一致的方法的内插和外插技术可以，而且以上的技术应该被视为例示的而不是排他的使用。那些本领域普通技术人员也会理解，内插和外插的有效性取决于天线的相互关系。

[0079] 现将提供一种确定分布在物理天线单元的阵的虚拟天线的响应的内插和外插技术使用的特例。考虑到下面的方程式 (7)，可构建一个 n 次的方程式，以便通过使用拉格朗日内插与一个给定的函数在 n+1 均匀或者非均匀点上一致。为了这个目的，拉格朗日内插法则预期给定的 n+1 个不同的（实数或者复数）点， $z_0, z_1, \dots, z_n$ ，和 n+1 个（实数或者复数）值， $w_0, w_1, \dots, w_n$ ，存在唯一的多项式  $p_n(z) \in \mathcal{P}_n$  满足：

$$[0080] \quad p_n(z_i) = w_i, \forall i = 0, 1, \dots, n. \quad (5)$$

[0081] 考虑到转化到在 (2)-(4) 中阐述的空间域，(5) 中的表达可以被用来推导一个拉格朗日内插法则：

$$[0082] \quad p_m(d_i) = w_i, \forall i = 0, 1, \dots, m. \quad (6)$$

[0083] 其中  $d_i$  为天线阵的相邻单元间的间距。

[0084] 拉格朗日内插的特征也可以被表示为一种找到通过平面上一组特定的点  $\{x(i), y(i)\}$ ,  $1 \leq i \leq n$  的多项式  $y = f(x)$  的方法。只有一种情况置于这些点上, 那就是, 所有的点都有不同的  $x$  坐标。也就是,  $x(i) = x(j)$  当且仅当  $i = j$ 。这样的多项式被定义如下。对  $1 \leq i \leq n$ , 令

$$[0085] p(j, x) = \prod_{i \neq j} \{x - x(i)\} \quad (7)$$

[0086] 方程式 (7) 的表达式在  $n$  个点除了在  $x(j)$  不为零之外都等于零。下面, 另

$$[0087] y = f(x) = \sum_{j=1}^n y(j) p(j, x) / p(j, x(j)) \quad (8)$$

[0088] 表面上方程式 (8) 的多项式为  $n-1$  次, 而且有对于每个  $i$ ,  $f(x(i)) = y(i)$  的特性。比如说, 一个在两个点  $\{x(1), y(1)\}$  和  $\{x(2), y(2)\}$  使用方程式 (8) 的多项式。在这种情况下,  $p(1, x) = x-x(2)$ , 和  $p(2, x) = x-x(1)$ 。接下来:

$$[0089] \quad (9)$$

$$[0090] y = f(x)$$

$$[0091] = y(1) [x-x(2)] / [x(1)-x(2)] + y(2) [x-x(1)] / [x(2)-x(1)]$$

$$[0092] = x[y(1)-y(2)] / [x(1)-x(2)] + [x(1)y(2)-x(2)y(1)] / [x(1)-x(2)] \quad (10)$$

$$[0093] y-y(2) = x[y(1)-y(2)] / [x(1)-x(2)] + [x(2)y(2)-x(2)y(1)] / [x(1)-x(2)]$$

$$[0094] = x[y(1)-y(2)] / [x(1)-x(2)] - x(2)[y(1)-y(2)] / [x(1)-x(2)][y-y(2)] / [y(1)-y(2)]$$

$$[0095] = [x-x(2)] / [x(1)-x(2)] \quad (11)$$

[0096] 可观察到方程式 (11) 与通过两点  $\{x(1), y(1)\}$  和  $\{x(2), y(2)\}$  的线的方程式一致。

[0097] 现在考虑涉及三个点  $(-2, 5)$ 、 $(0, 1)$  和  $(3, 7)$  的例子。那么

$$[0098] p(1, x) = (x-0)(x-3) = x^2-3x$$

$$[0099] p(2, x) = (x+2)(x-3) = x^2-x-6 \quad (12)$$

$$[0100] p(3, x) = (x+2)(x-0) = x^2+2x$$

[0101] 现在

$$[0102] y = f(x) = 5(x^2-3x) / 10 + 1(x^2-x-6) / (-6) + 7(x^2+2x) / 15$$

$$[0103] = 4/5x^2-2/5x+1$$

$$[0104] = \frac{4x^2-2x+5}{5} \quad (13)$$

[0105] 这可以检验如下:

$$[0106] f(-2) = (16+4+5) / 5 = 5$$

$$[0107] f(0) = (0+0+5) / 5 = 1$$

$$[0108] f(3) = (36-6+5) / 5 = 7 \quad (14)$$

[0109] 再次参考图 8, 方程式预计的空间内插可以应用于展开阵 618。特别地, 阵 618 的三个物理天线单元 614 (即,  $M = 3$ ) 可以通过使用拉格朗日空间内插 (可以理解, 不同的内插方案可能得到不同的虚拟天线数量, 给定  $M$  个物理天线) 得到一个合适的多项式来扩展为 5 单元的天线系统 ((就是说,  $N = 2 \times 3-1$ )。阵 618 的虚拟天线 622 的响应可以通过计

算阵 618 的物理天线之间的期望的位置的多项式而得到。阵 618，具备 3 个物理天线 614 和 2 个虚拟天线 622，将在相关环境中得到与一个包括 5 个物理天线单元的线性天线阵相同的统计特征。这种特征使得能够基于传统的具有规则单元间距的阵建立一个稀疏的阵。在图 8 的例子中，天线距离  $d_m = \lambda / 2$  和  $d_n = \lambda / 4$ ，是均匀的但是这种均匀不是必需的标准。这就是说，本发明教义也可以被用来建立一个一维或者多维的随机阵，其中单元的一定的部分可以随机地移开。

[0110] 天线单元间距（就是说，空间取样）能够通过使用最小化最大旁瓣能量、或者最小化旁瓣能量标准来最优化。通过最优化天线单元间距和阵加权函数，可建立一个具有最优的空间抑制的非均匀天线阵。可使用诸如优化干扰抑制的优化标准实现优化。例如，一个应用于阵的预先定义的训练序列可与用作相关阵的单元加权优化的加权标准一起使用。

[0111] 现在转向图 10，展示了描述一个结合按照本发明建立的虚拟单元天线阵 1010 的天线系统 1000 的方块图。阵 1010 包括 M 个物理天线单元 1014 和一个或者更多的虚拟天线单元 1018，所述的虚拟天线单元 1018 可以置于 M 个物理天线单元 1014 之中。一个降频部分 1004 被连接到 M 个物理天线单元 1014，可以用来将 M 个物理天线单元 1014 的每一个接收的信号副本从射频变换到基带。

[0112] 在这个实施例中，降频部分 1004 在阵处理模块 1002 之中，并与 M 个物理信号处理链 1040 的每一个相连，物理信号处理链 1040 接收来自降频部分 1004 的接收信号的副本。正如所示，M 个物理天线单元 1040 通过 M 个物理信号处理链 1040 与求和部分 1050 相连。

[0113] 阵处理模块 1002 进一步包括一个自适应加权模块 1022，和一个内插模块 1030，内插模块 1030 操作上分别地，与第一多个物理加权单元 1034 相连，及第二多个物理加权单元 1038 相连。正如所示，第一多个物理加权单元 1034 的每一个与 M 个物理信号处理链 1040 中相应的一个相连。第二多个物理加权单元 1038 的每一个也与 M 个物理信号处理链 1040 中相应的一个相连，但是与第一多个物理加权单元 1034 相比，是沿着 M 个物理信号处理链 1040 “下游”连接。在本实施例中，内插模块 1030 操作上与一个或者多个与求和部分 1050 相连的虚拟加权单元 1042 相连。

[0114] 第一多个物理加权单元 1034 按照预先定义的由自适应加权模块 1022 执行的运算法则来重复地被调节。相似地，第二多个物理加权单元 1038 和一个或者多个虚拟加权单元 1042 按照预先定义的由内插模块 1030 执行的运算法则来重复地被调节。当参考图 10 的同时，也参考图 11，图 11 是示出按照本发明的一个实施例的天线系统 1000 的实施步骤的流程图。

[0115] 应该承认的是，内插模块 1030 不限于进行内插计算。本领域普通技术人员可以理解，内插模块 1030 可以被用来从物理天线单元的响应值来外插虚拟天线单元的响应值；因此，一个位于天线阵一端的虚拟天线单元的响应值可以被计算。

[0116] 在天线系统 1000 的运行中，M 个物理天线单元 1014 中的每一个接收一个信号的一个副本（步骤 1100）。结果是，M 个物理信号处理链 1040 的每一个接收到 M 个信号的副本之一。基于 M 个信号的副本，自适应加权模块 1022 建立 M 个相应的物理加权参数（步骤 1102）。特别地，物理加权参数（归于第一多个物理加权单元 1034）通过自适应加权模块 1022 执行的限制自适应运算法则首先被确定。这样的自适应运算法则处理天线阵 1010 的输入（就是说，M 个信号副本），并计算一组与第一多个物理加权单元 1034 相联系的加权参

数（比如，复数值）。

[0117] 经过自适应加权模块 1022 的自适应算法的多次迭代的执行，M 个物理天线单元 1014 中的每一个的响应值通过使用（比如说）方程式 2 被确定，这是作为加权参数的相应的一个的函数（步骤 1104）。然后使用前面讨论过的任何一种方法内插 M 个响应值（对应于 M 个物理天线单元 1014），以便计算一个或者更多的虚拟天线单元 1018 的响应值（步骤 1106）。得到的一个或者更多的虚拟天线单元 1018 的响应值和 M 个物理天线单元 1014 中的响应值共同提供了一个阵响应。

[0118] 然后，内插模块 1030 使用得到的阵响应计算物理加权单元 1038 和虚拟加权单元 1042 的一组新的加权参数（1108）。然后在求和部分 1050 合并来自物理加权单元 1038 和虚拟加权单元 1042 的加权的信号，所述的求和部分 1050 在天线处理模块 1002 的输出提供了接收信号的表达。

[0119] 下面参考图 12，所示的是结合按照本发明另外一个实施例建立的虚拟单元天线阵 1210 的天线系统 1200。天线阵 1210 包括 N 个总天线单元，所述的总天线单元包括第一、第二和第三物理天线单元 1214、1216 和 1217 以及第一和第二虚拟天线单元 1218 和 1220。第一虚拟天线单元 1218 如所示置于第一和第二物理天线单元 1214 和 1216 之间，而第二虚拟天线单元 1220 如所示置于天线阵 1210 的边缘、临近第三物理天线单元 1217。第一、第二和第三物理天线单元 1214、1216 和 1217 是 M 个物理天线单元的一个子集，所述的 M 个物理天线单元是天线阵 1210 中 N 个总天线单元的子集。

[0120] 与 M 个物理天线单元中每一个相连的是 M 个物理信号处理链 1240 中相应的一个，所述的 M 个物理信号处理链在阵处理模块 1202 中展示。正如所示，M 个物理处理链 1240 中的每一个终止于求和部分 1250，而沿着 M 个物理处理链 1240 中的每一个的是一个物理加权单元 1238。

[0121] 阵处理模块 1202 也包括第一和第二虚拟信号发生器 1244 和 1246，它们分别与第一和第二虚拟信号处理链 1248 和 1249 相连。第一和第二虚拟信号处理链 1248 和 1249 终止于求和部分 1250，并分别包括第一和第二虚拟加权单元 1242 和 1243。

[0122] 在这个实施例中，在阵处理模块 1202 中的内插模块 1230 与 M 个物理处理链 1240 中的每一个相连，这样它就能够对 M 个物理处理链 1240 中的每一个接收的信号副本进行取样。内插模块 1230 也与第一和第二虚拟信号发生器 1244 和 1246 相连，所述的虚拟信号发生器能够在第一和第二虚拟天线单元 1218 和 1220 的空间位置生成表达接收信号的信号。

[0123] 据预期，阵处理模块 1200 进行的处理可以在射频和 / 或基带实现。例如，内插模块 1230 可对基带信号取样和操作，而自适应加权部分 1222 计算基带信号的加权参数。作为选择，内插模块 1230 和自适应加权部分 1222 都可以在射频域内操作。可是，为了描述天线系统 1200 的运行，假设内插模块 1230 和自适应加权部分 1222 正在基带域内操作，也就是说，接收信号的副本在被取样之前通过降频部分（图中未示出）降频。

[0124] 在操作中，当一个接收信号撞击天线阵 1210 时，M 个物理天线单元中每一个接收 M 个信号副本中相应的一个。然后内插模块 1230 通过对 M 个信号副本中相应的一个进行取样来确定 M 个物理天线单元中每一个对信号的响应。

[0125] 内插模块 1230 然后计算第一和第二虚拟天线单元 1218 和 1220，作为 M 个取样信号副本的函数。这种计算涉及内插第一和第二物理天线单元 1214 和 1216 的响应，以便确定

第一虚拟天线单元 1218 的响应,还涉及外插至少 M 个物理天线单元(包括第三物理天线单元 1217)的一部分的响应,以便确定第二虚拟天线单元 1220 的响应。这些计算可以按照任何一种之前讨论过用来计算第一和第二虚拟天线单元 1218 和 1220 响应值的技术来实现。本领域中普通技术人员将会理解,在内插和外插技术生效之前,M 个物理天线单元必须有足够的相关性。

[0126] 在本实施例中, M 个取样信号副本的振幅被假设为在天线阵 1210 中都一致,而且只有第一和第二虚拟天线单元 1218 和 1220 的相位值通过前面讨论过的一种方法被计算。可是,在其他的实施例中,M 个取样信号副本的信号振幅和相位信息被用来计算虚拟天线单元的响应值。

[0127] 然后内插模块 1230 提供第一和第二虚拟信号发生器 1244 和 1246 的每一个独立的相位信息,所述的相位信息被虚拟信号发生器 1244 和 1246 分别用来生成第一和第二虚拟天线单元 1218 和 1220 的第一和第二虚拟天线响应。在本实施例中,相位信息是一个相位偏移,所述的相位偏移在被一个物理天线单元接收的信号副本加倍时,为临近物理天线单元的虚拟天线单元提供虚拟天线单元响应。

[0128] 比如说,如图 12 所示,在第一物理天线单元 1214 接收的信号的副本被提供给第一虚拟信号发生器 1244,在虚拟信号发生器 1244 处信号副本被相位偏移加倍,以便生成对第一虚拟天线单元 1218 的响应,所述的响应代表了对在第一虚拟天线单元 1218 的空间位置的接收信号的响应。相似地,在第三物理天线单元 1217 接收的信号的副本被提供给第二虚拟信号发生器 1246,在虚拟信号发生器 1246 处信号副本被相位偏移加倍,以便生成对第二虚拟天线单元 1218 的响应,所述的响应代表了对在第二虚拟天线单元 1220 的空间位置的接收信号的响应。

[0129] 结果是,阵处理模块 1202 生成对接收信号的 N 个响应,作为 M 个接收信号副本的函数;也就是, M 个物理天线单元生成的 M 个响应和第一和第二虚拟天线单元 1218 和 1220 计算得到的响应。

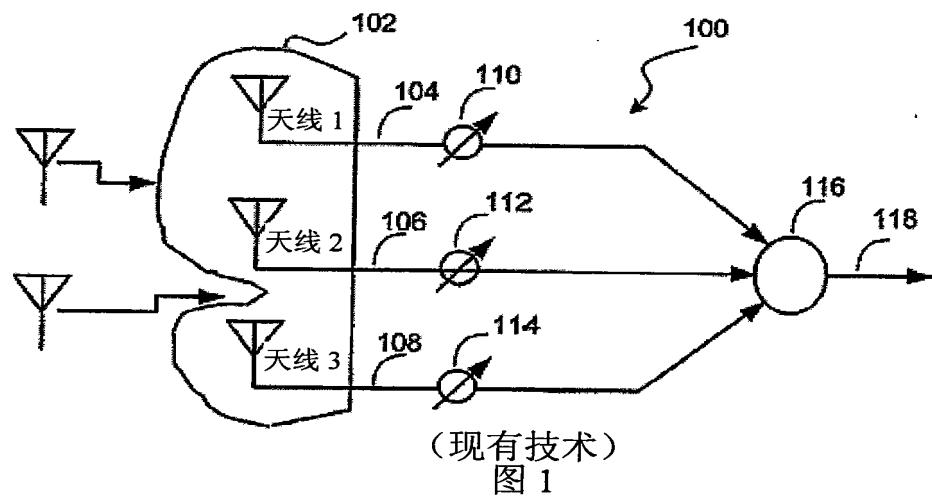
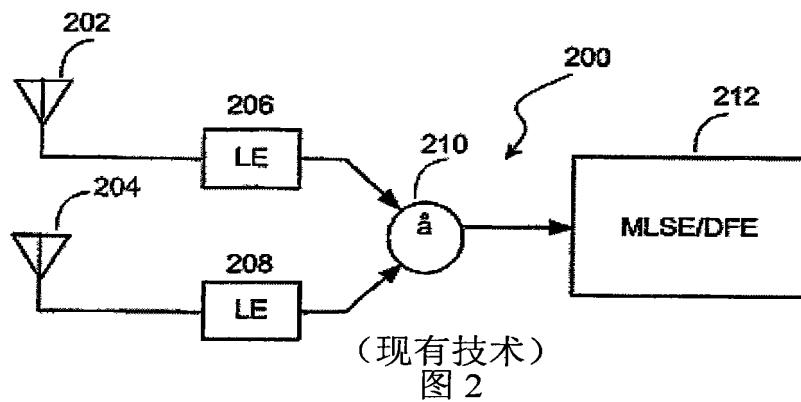
[0130] 在本实施例中, M 个信号响应中的每一个被加权参数(通过可自适应调节加权模块 1222 计算)在物理加权单元 1238 相应的一个处加权,第一和第二虚拟天线单元 1218 和 1220 的响应被加权参数分别地在第一和第二虚拟加权单元 1242 和 1243 处加权。然后 M 个物理天线单元的加权的响应和第一、第二虚拟天线单元 1218 和 1220 加权的响应在求和部分 1250 处被合并,以形成一个信号来表示天线阵 1210 接收的信号,所述的信号作为阵处理模块 1202 的输出被提供。

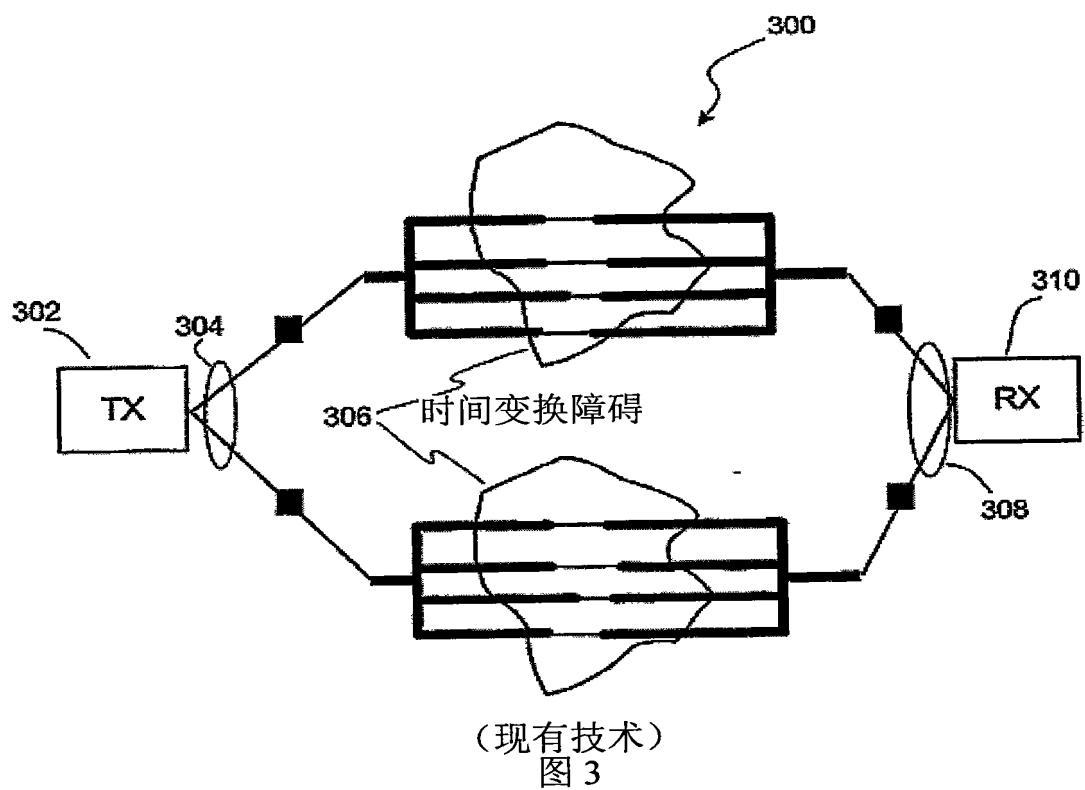
[0131] 下面参考图 13,所示的是一个结合按照本发明又一个实施例建立的虚拟单元天线阵 1310 的天线系统 1300。在这个实施例中,天线系统 1300 和天线系统 1200 是相同的,除了第三虚拟天线单元 1324 替代了第二物理天线单元 1216。另外,与第二物理天线单元 1216 相关的物理处理链 1240 被第三虚拟处理链 1352 替代了,所述的虚拟处理链 1352 与第三虚拟信号发生器 1350 相连,并且包括第三虚拟加权单元 1354。

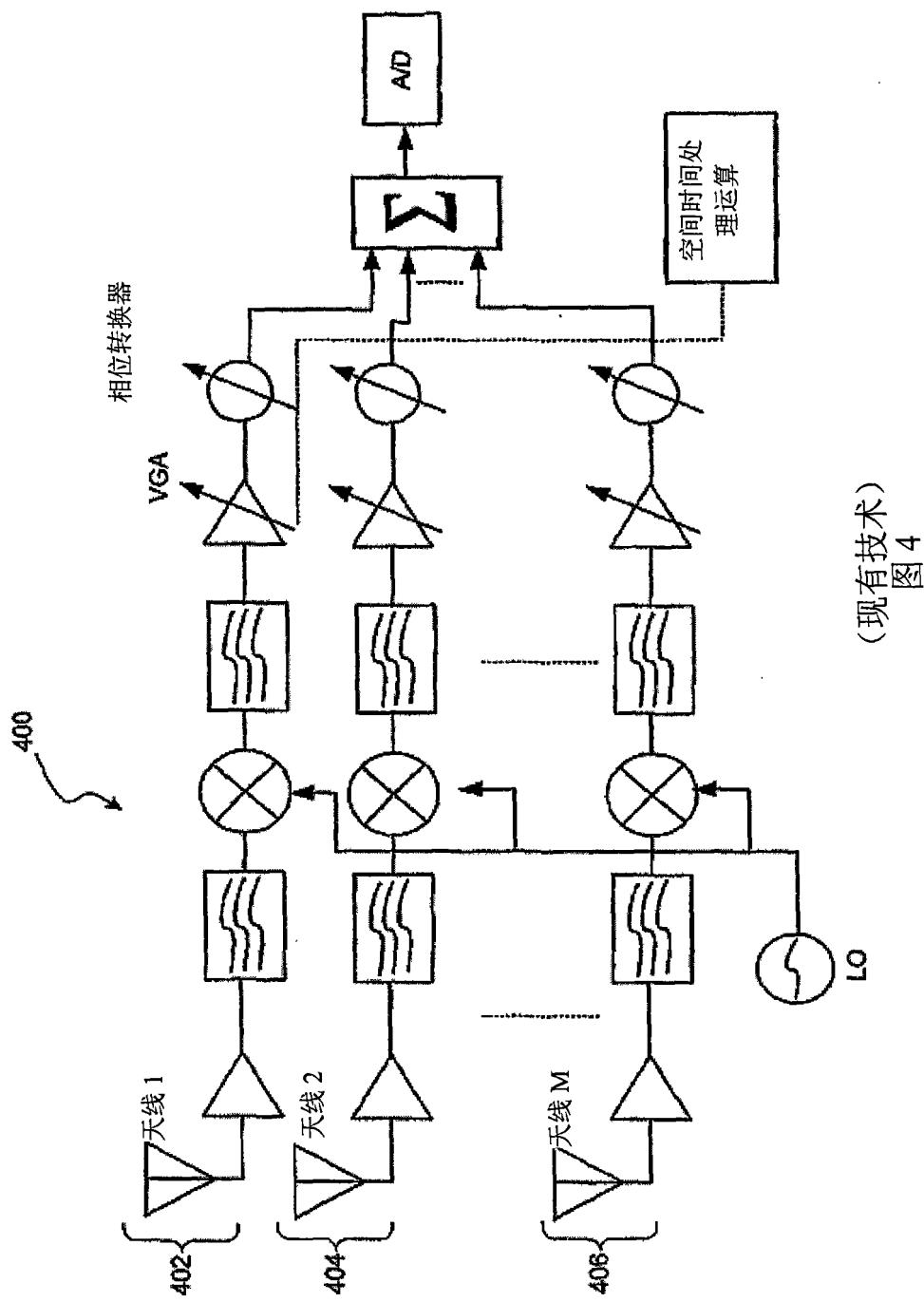
[0132] 正如所示,在这个实施例中,第三虚拟信号发生器 1350 通过对在第一物理天线单元 1314 接收的信号副本的加倍,生成对第三虚拟天线单元 1324 的响应,加倍通过内插模块 1330 提供的相位偏移实现。结果是,两个相临的虚拟天线单元 1318 和 1324 的响应因为随后的过程生成。一个在本领域的普通技术人员可以理解,两个相临的虚拟天线单元 1318 和

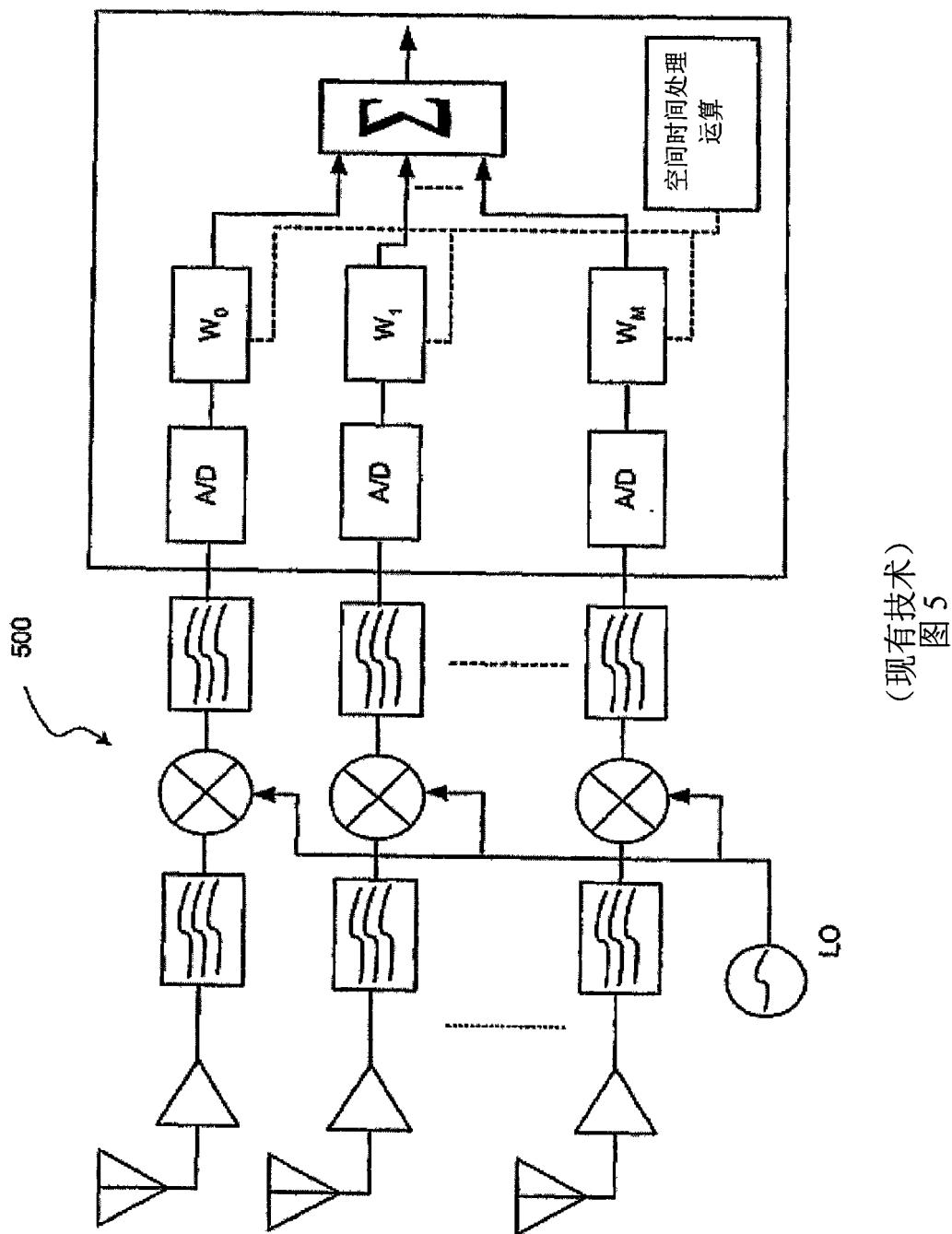
1324 必须距离至少天线阵 1310 两个相关的物理天线单元足够近,以便提供两个相临虚拟天线单元 1318 和 1324 的对接收信号的响应的精确表达。

[0133] 出于解释的目的,上述的描述使用了特定的术语来提供对发明全面的理解。可是,对熟知本领域的人来说是很显然的是,为了操作本发明特定的细节是不需要的。在其他的例子中,已知的电路和设备以方块图的形式展示,以便避免对本发明的不必要的误解。因此,上述的本发明的特定的实施例的描述出于示意和描述的目的被展示。它们并非意于完全详尽的或将本发明限于这些精确解释的形式,显然,考虑到以上的教义,许多修改和变化都是可能的。选择和描述这些实施例是为了最好地解释本发明的原理和它的实际应用,并因此使其他熟知本领域的人最好地使用本发明和各种适合预期的特定用途的做出各种修改的实施例。

(现有技术)  
图 1(现有技术)  
图 2







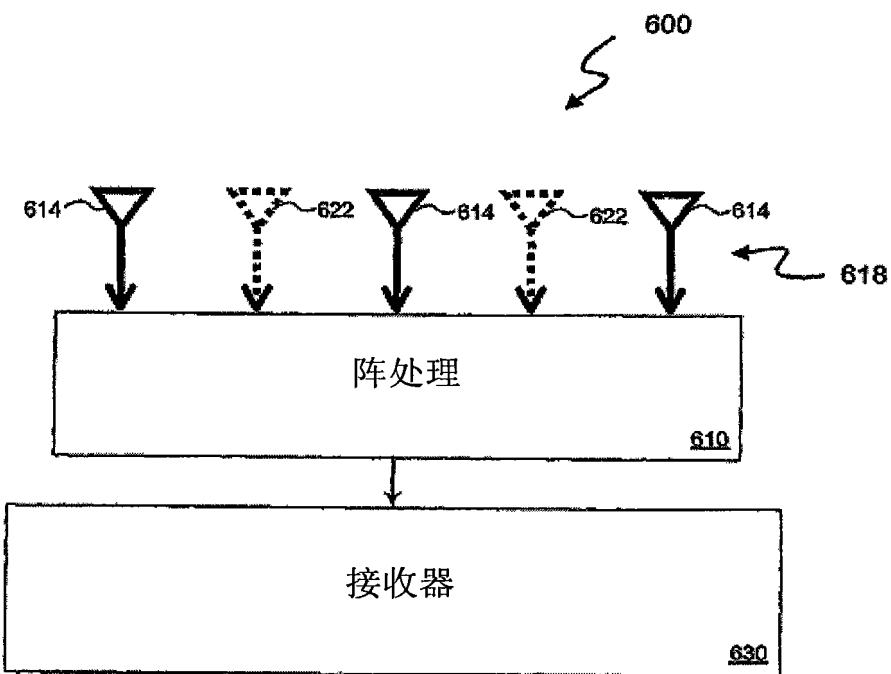


图 6

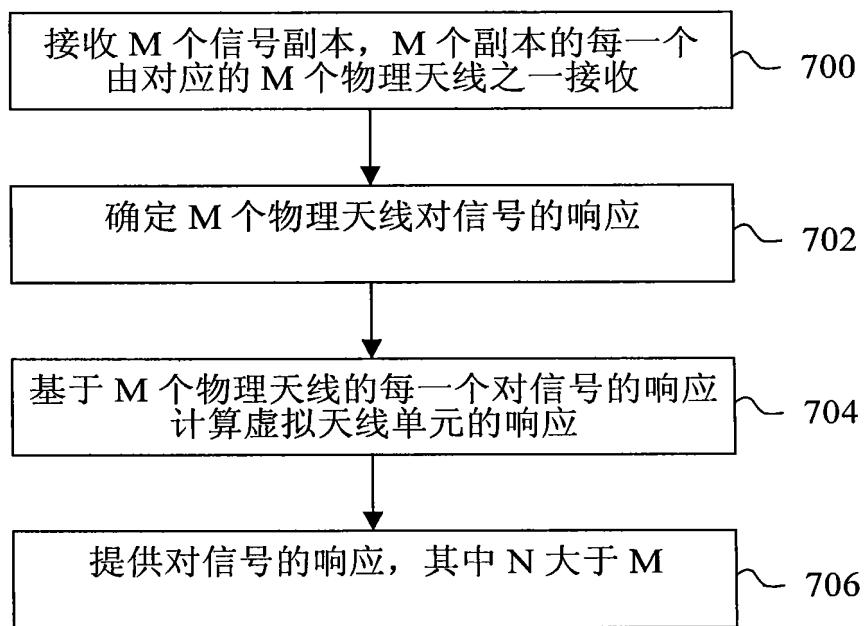


图 7

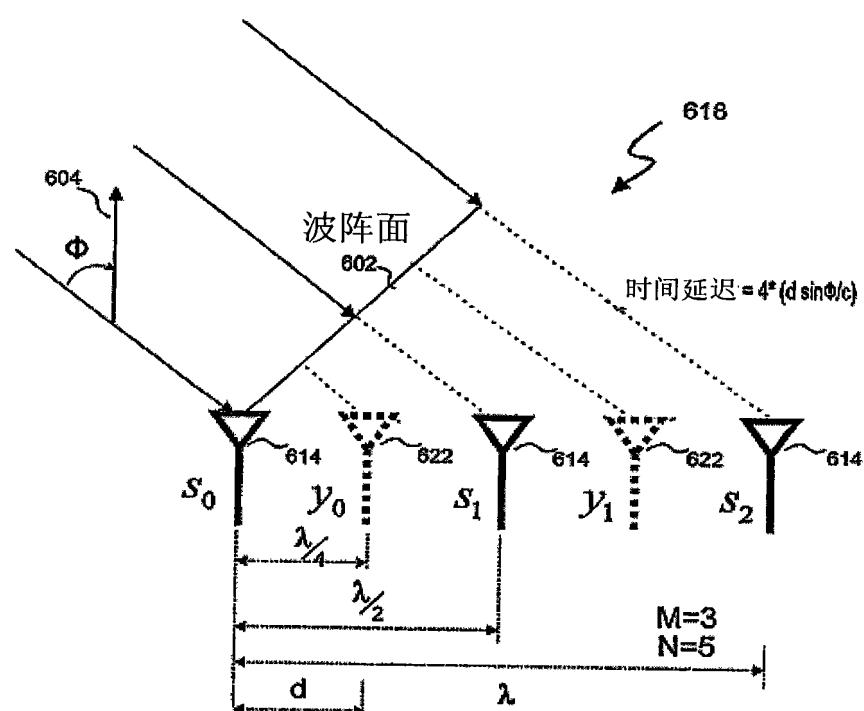


图 8A

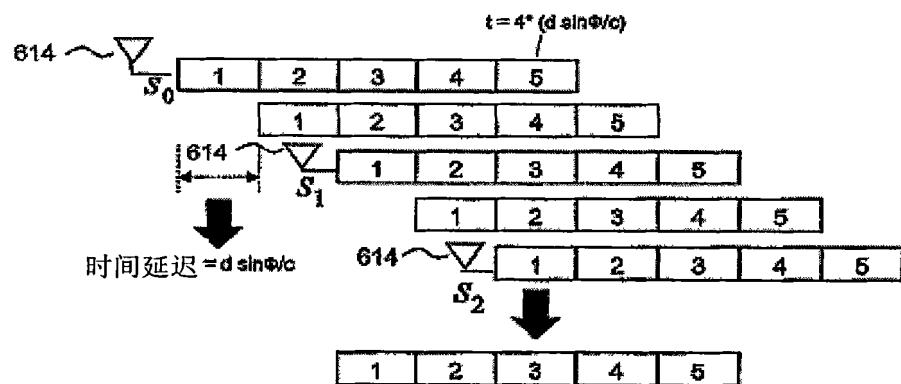


图 8B

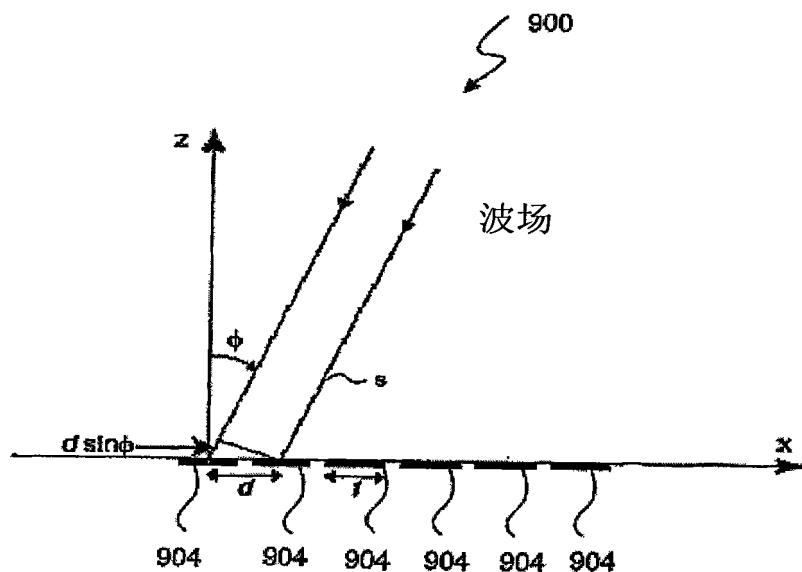


图 9

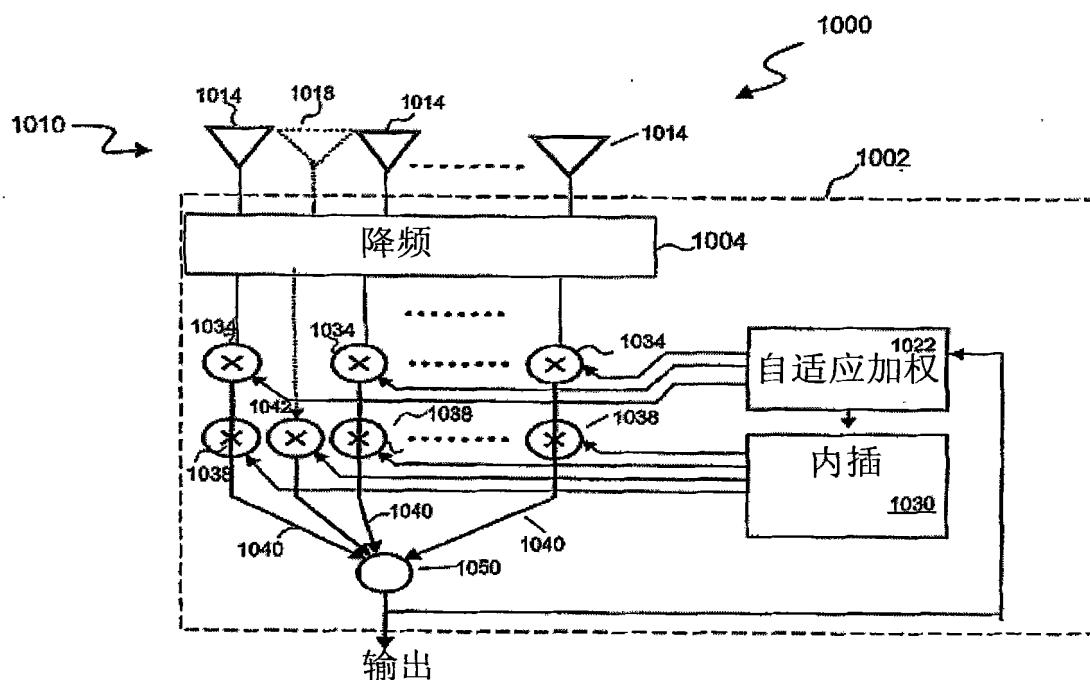


图 10

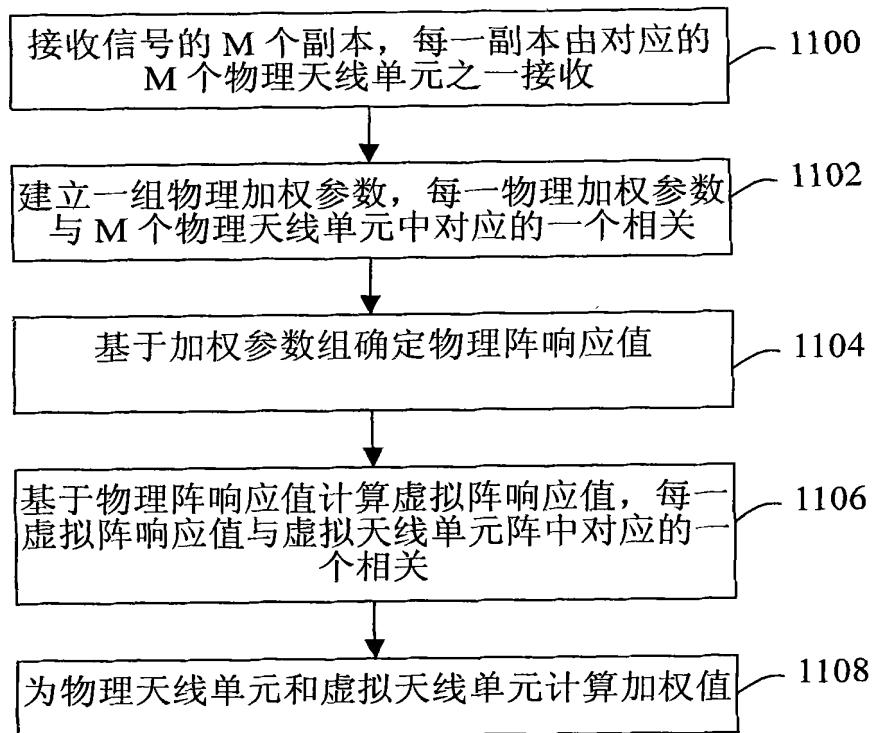


图 11

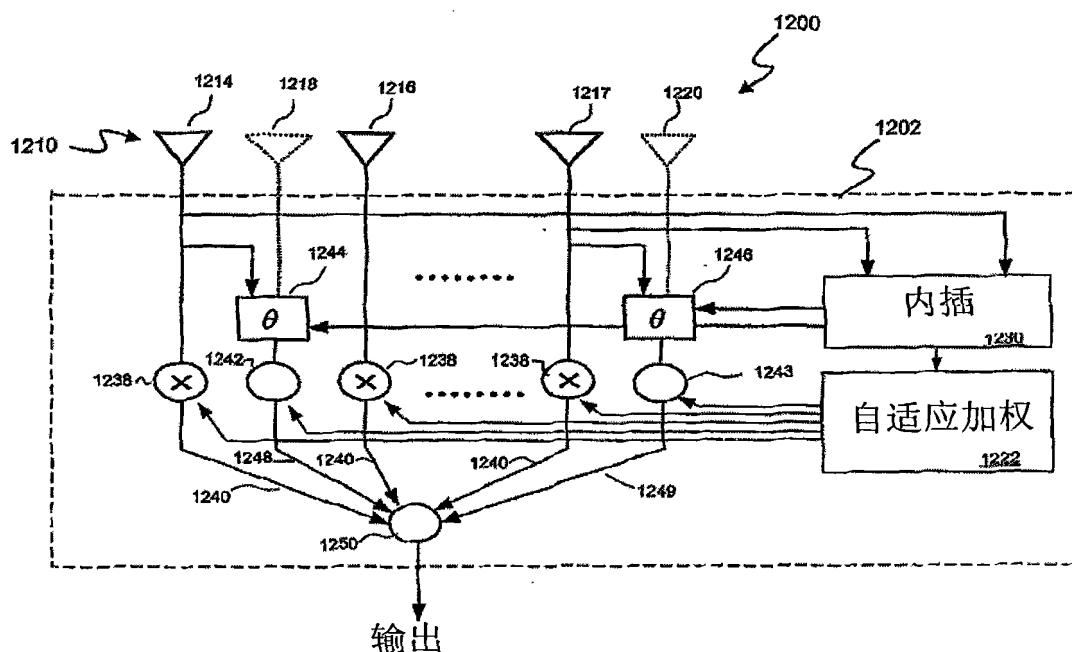


图 12

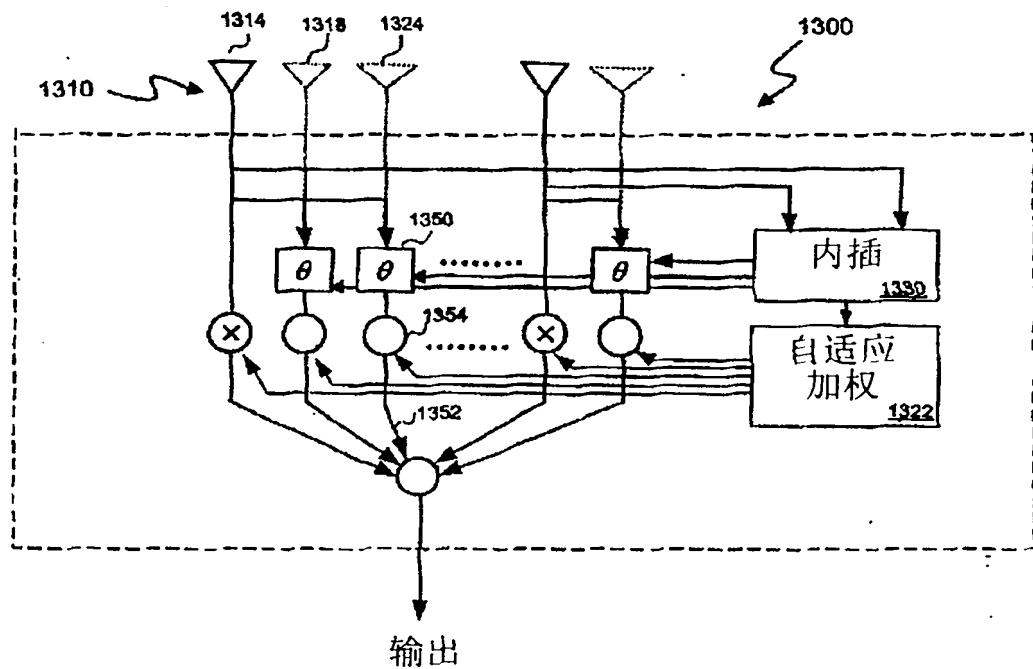


图 13