



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105337677 A

(43) 申请公布日 2016. 02. 17

(21) 申请号 201510791889. 4

(22) 申请日 2015. 11. 17

(71) 申请人 东南大学

地址 211189 江苏省南京市江宁区东南大学
路 2 号

(72) 发明人 张念祖 杨广琦 翟建锋 洪伟

(74) 专利代理机构 南京瑞弘专利商标事务所
(普通合伙) 32249

代理人 陈国强

(51) Int. Cl.

H04B 17/391(2015. 01)

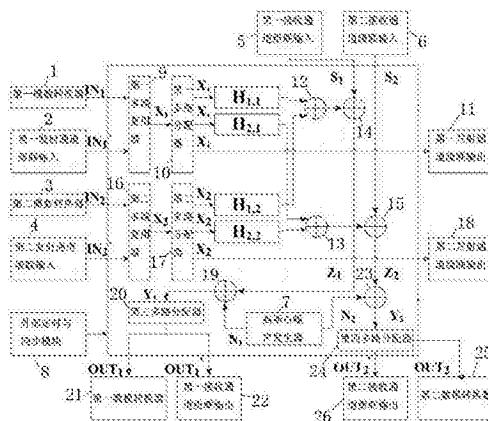
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种高带宽大规模 MIMO 信道模拟的方法与装置

(57) 摘要

本发明公开了一种高带宽大规模 MIMO 信道模拟的方法与装置,该装置由若干模拟两输入两输出信道基本单元构成。需要模拟的输入信号可以进入本单元的信道衰落模拟器进行信道模拟,也可以通过发射通道级联中继到其他单元进行模拟;模拟后的输出信号可以通过数模转换器转化为模拟后的基带模拟信号,也可以通过接收通道级联输出中间结果供下一级单元合并。此外该基本单元通过同步和定时模块,为各路数据信号传输提供同步,实现单模块和系统级的数据对齐。构建大规模 MIMO 信道的模拟可运用 $M \times N$ 个两输入两输出信道模拟的基本单元级联组合而成的方法,互联方案简单灵活,易于实现,内部逻辑和接口统一,方便模拟大规模 MIMO 信道。



1. 一种高带宽大规模 MIMO 信道模拟的装置,其特征在于:包括若干个模拟两输入两输出信道基本单元,单个模拟两输入两输出信道基本单元包括第一模数转换器,第二模数转换器,第一发射通道级联输入,第二发射通道级联输入,第一接收通道级联输入,第二接收通道级联输入,高斯白噪声发生器,外部定时与同步模块;所述第一模数转换器和第一发射通道级联输出的输出端连接第一多路复用器,第一多路复用器的输出端连接第一多路分配器,第一多路分配器分别连接有第一子信道衰落模拟器、第二子信道衰落模拟器和第一发射通道级联输出,第一子信道衰落模拟器和第二子信道衰落模拟器的输出端分别接第一加法器和第二加法器,第一加法器的输出端接第三加法器,第二加法器的输出端接第四加法器;所述第二模数转换器和第二发射通道级联输出的输出端连接第二多路复用器,第二多路复用器的输出端连接第二多路分配器,第二多路分配器分别连接有第三子信道衰落模拟器、第四子信道衰落模拟器和第二发射通道级联输出,第三子信道衰落模拟器和第四子信道衰落模拟器的输出端分别接第一加法器和第二加法器;第一接收通道级联输入连接第三加法器,第三加法器的输出端连接第五加法器,第五加法器接第三多路分配器,第三多路分配器分别接第一数模转换器和第一接收通道级联输出;第二接收通道级联输入接第四加法器,第四加法器接第六加法器,第六加法器接第四多路分配器,第四多路分配器分别接第二数模转换器和第二接收通道级联输出;高斯白噪声发生器分别接第五加法器和第六加法器;第一发射通道级联输出和第二发射通道级联输出分别接下一个模拟两输入两输出信道基本单元的第一发射通道级联输入和第二发射通道级联输入;第一接收通道级联输出和第二接收通道级联输出分别接下一个模拟两输入两输出信道基本单元的第一接收通道级联输入和第二接收通道级联输入。

2. 如权利要求 1 所述的高带宽大规模 MIMO 信道模拟的装置,其特征在于:若干个模拟两输入两输出信道基本单元的外部定时与同步模块均连接系统时钟与定时模块。

3. 一种高带宽大规模 MIMO 信道模拟的方法,其特征在于:包括如下步骤:

a) 模拟两输入两输出信道基本单元采用两路输入和两路输出;

b) 输入信号是宽带信号下变频后,利用高速模数转换器采集的基带数据,或者是通过高速串行接口传输的发射天线级联输入数据流,利用数字逻辑的多路复用器选择其中之一;

c) 通过的多路分配器将第一路基带数据流复制三份,第一份拷贝传输至第一子信道衰落模拟器进行模拟,第二份拷贝传输至第二子信道衰落模拟器进行模拟,第三份拷贝通过高速串行接口传输至下一模块进行模拟;

d) 利用数字逻辑的多路分配器将第二路基带数据流复制三份,第一份拷贝传输至第三子信道衰落模拟器进行模拟,第二份拷贝传输第四子信道衰落模拟器进行模拟,第三份拷贝通过高速串行接口传输至下一模块进行模拟;

e) 利用外部定时与同步模块,同步第一子信道衰落模拟器输出、第三子信道衰落模拟器输出和第一接收通道级联输入数据,并相加得到第一通道模拟输出信号,同样的,同步第二子信道衰落模拟器输出、第四子信道衰落模拟器输出和第二接收通道级联输入数据,并相加得到第二通道模拟输出信号;

f) 两个通道的模拟输出信号叠加独立不相关的高斯白噪声;

g) 最后各通道的输出信号通过数模转换器模拟基带数据,传输至射频模块进行上变

频,或者通过高速串行接口传输至的下一级接收通道。

4. 如权利要求 3 所述的高带宽大规模 MIMO 信道模拟的方法,其特征在于:

对于 $2M$ 路输入信号, $2N$ 路输出信号的 MIMO 信道模拟,使用 $M \times N$ 个模拟两输入两输出信道基本单元进行扩展,扩展方式如下:

(1) $2M$ 路输入信号分别通过 M 个模拟两输入两输出信道基本单元中模数转换器采集为基带数字信号;

(2) $2M$ 路输入信号的发射通道级联输出分别连接至第二级 M 个模拟两输入两输出信道基本单元的 $2M$ 个发射通道级联输入,第二级 M 个模拟两输入两输出信道基本单元的发射通道级联输出再连接至第三级,如此顺序拓展至 N 级;

(3) 每一级内有 M 个模拟两输入两输出信道基本单元,连接第一个模拟两输入两输出信道基本单元的接收通道级联输出到第二个单元的接收通道级联输入,如此顺序拓展至第 M 个模拟两输入两输出信道基本单元;

(4) 在第 M 个模拟两输入两输出信道基本单元的两路输出,共 N 级上叠加高斯白噪声源;

(5) 将 $2N$ 级模拟后的数字信号连接至数模转换器,产生 $2N$ 路信道模拟输出。

一种高带宽大规模 MIMO 信道模拟的方法与装置

技术领域

[0001] 本发明涉及无线通信与测试领域,尤其涉及一种高带宽的大规模多输入多输出信道的模拟方法;应用于无线通信系统测试领域。

背景技术

[0002] 无线信道是复杂和多变的信号物理通道,存在着多径衰落、平衰落、噪声等影响通信性能的不利因素,而这些都是通信系统研究必须要重点考虑的问题,信道的模拟是保证同一通信协议与体制系下,不同厂家开发的终端与多厂家提供的系统设备之间顺畅通信必不可少的测试流程。利用信道模拟器还可以控制、改变信道参数,进而了解通信设备或通信手段在不同信道条件下的性能。MIMO 无线信道模拟器,可以节省 LTE-A 移动通信设备的研制费用,增加了研发时的灵活性,同时缩短研制周期,减少基站和终端设备的总体开发过程及互联互通测试时间,减少外场测试的时间,对提高和保证不同系统、终端厂商的互连互通有着非常积极的作用。

[0003] 无线信道特性的模拟可以分为数字部分模拟和模拟部分模拟。数字基带信号模拟主要由数字信号处理组成,它是高速信号处理技术和计算机应用技术的综合应用。射频部分的模拟主要由模拟电路实现,完成信号的上下变频和放大的作用。信道模拟器的关键部件是以离散型抽头延时线为核心的数字式多路径衰落特性模拟器。它的实现消耗大量的数字逻辑资源。模拟的信号带宽越宽,数字信号采集速度越快,吞吐率也就越高。对于 M 个发射天线 N 个接收天线的多天线信道的模拟,需要的数字多径衰落器随着 MxN 倍增长,并且随着接收天线数的增长,信号合并时的吞吐率也将 N 成倍增加。因此当需要模拟的逻辑子信道数或收发天线数增加时,信号处理的能力和系统吞吐率都面临极大挑战。

[0004] 对于 MIMO 信道模拟,通常采用功率分配器等分需要模拟的信号,然后通过下变频,模拟/数字转换后通过各子信道的衰落模拟器进行数字模拟,输出信号再经过数字/模拟转换,上变频后再通过功率合成器进行信号合并。然而,宽带模拟信号的各支路分配与合并比较难于保证准确性与一致性,从而造成各支路模拟的偏差。近年来,逐渐发展为在基带对数字信号进行分路与合路的方法。但是随着信号带宽越来越宽(带宽超过 100MHz),MIMO 的输入输出天线越来越多(收/发天线 256 个),尤其是大规模 MIMO(Massive Multi-Input-Multi-Output, Massive MIMO)技术在 5G 通信中的应用,模拟信号的合并与传输吞吐率将越来越高,而且其各路的定时要求越来越高。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种高带宽大规模 MIMO 信道模拟的方法及装置,这种基于分布式流水线处理方案,复杂度低,实现方便,架构易于扩展,能很好的适应未来高带宽大规模天线的应用。

[0006] 为实现上述目的,本发明采用的技术方案是:

[0007] 一种高带宽大规模 MIMO 信道模拟的装置,包括若干个模拟两输入两输出信道基

本单元,单个模拟两输入两输出信道基本单元包括第一模数转换器,第二模数转换器,第一发射通道级联输入,第二发射通道级联输入,第一接收通道级联输入,第二接收通道级联输入,高斯白噪声发生器,外部定时与同步模块;所述第一模数转换器和第一发射通道级联输出的输出端连接第一多路复用器,第一多路复用器的输出端连接第一多路分配器,第一多路分配器分别连接有第一子信道衰落模拟器、第二子信道衰落模拟器和第一发射通道级联输出,第一子信道衰落模拟器和第二子信道衰落模拟器的输出端分别接第一加法器和第二加法器,第一加法器的输出端接第三加法器,第二加法器的输出端接第四加法器;所述第二模数转换器和第二发射通道级联输出的输出端连接第二多路复用器,第二多路复用器的输出端连接第二多路分配器,第二多路分配器分别连接有第三子信道衰落模拟器、第四子信道衰落模拟器和第二发射通道级联输出,第三子信道衰落模拟器和第四子信道衰落模拟器的输出端分别接第一加法器和第二加法器;第一接收通道级联输入连接第三加法器,第三加法器的输出端连接第五加法器,第五加法器接第三多路分配器,第三多路分配器分别接第一数模转换器和第一接收通道级联输出;第二接收通道级联输入接第四加法器,第四加法器接第六加法器,第六加法器接第四多路分配器,第四多路分配器分别接第二数模转换器和第二接收通道级联输出;高斯白噪声发生器分别接第五加法器和第六加法器;第一发射通道级联输出和第二发射通道级联输出分别接下一个模拟两输入两输出信道基本单元的第一发射通道级联输入和第二发射通道级联输入;第一接收通道级联输出和第二接收通道级联输出分别接下一个模拟两输入两输出信道基本单元的第一接收通道级联输入和第二接收通道级联输入。

[0008] 若干个模拟两输入两输出信道基本单元的外部定时与同步模块均连接系统时钟与定时模块。

[0009] 一种高带宽大规模 MIMO 信道模拟的方法,包括如下步骤:

[0010] a) 模拟两输入两输出信道基本单元采用两路输入和两路输出;

[0011] b) 输入信号是宽带信号下变频后,利用高速模数转换器采集的基带数据,或者是通过高速串行接口传输的发射天线级联输入数据流,利用数字逻辑的多路复用器选择其中之一;

[0012] c) 通过多路分配器将第一路基带数据流复制三份,第一份拷贝传输至第一子信道衰落模拟器进行模拟,第二份拷贝传输至第二子信道衰落模拟器进行模拟,第三份拷贝通过高速串行接口传输至下一模块进行模拟;

[0013] d) 利用数字逻辑的多路分配器将第二路基带数据流复制三份,第一份拷贝传输至第三子信道衰落模拟器进行模拟,第二份拷贝传输第四子信道衰落模拟器进行模拟,第三份拷贝通过高速串行接口传输至下一模块进行模拟;

[0014] e) 利用外部定时与同步模块,同步第一子信道衰落模拟器输出、第三子信道衰落模拟器输出和第一接收通道级联输入数据,并相加得到第一通道模拟输出信号,同样的,同步第二子信道衰落模拟器输出、第四子信道衰落模拟器输出和第二接收通道级联输入数据,并相加得到第二通道模拟输出信号;

[0015] f) 两个通道的模拟输出信号叠加独立不相关的高斯白噪声;

[0016] g) 最后各通道的输出信号通过数模转换器模拟基带数据,传输至射频模块进行上变频,或者通过高速串行接口传输至的下一级接收通道。

[0017] 对于 2M 路输入信号, 2N 路输出信号的 MIMO 信道模拟, 使用 $M \times N$ 个模拟两输入两输出信道基本单元进行扩展, 扩展方式如下:

[0018] (1) 2M 路输入信号分别通过 M 个模拟两输入两输出信道基本单元中模数转换器采集为基带数字信号;

[0019] (2) 2M 路输入信号的发射通道级联输出分别连接至第二级 M 个模拟两输入两输出信道基本单元的 2M 个发射通道级联输入, 第二级 M 个模拟两输入两输出信道基本单元的发射通道级联输出再连接至第三级, 如此顺序拓展至 N 级;

[0020] (3) 每一级内有 M 个模拟两输入两输出信道基本单元, 连接第一个模拟两输入两输出信道基本单元的接收通道级联输出到第二个单元的接收通道级联输入, 如此顺序拓展至第 M 个模拟两输入两输出信道基本单元;

[0021] (4) 在第 M 个模拟两输入两输出信道基本单元的两路输出, 共 N 级上叠加高斯白噪声源;

[0022] (5) 将 2N 级模拟后的数字信号连接至数模转换器, 产生 2N 路信道模拟输出。

[0023] 本发明的有益效果是:

[0024] 本发明的方法结合了分布式信号处理的优点, 同时避免了逻辑信道增加带来的计算容量和传输数据量的增涨, 解决大规模 MIMO 信道模拟中信号聚合和传输吞吐率的瓶颈, 并且易于扩展。具体为:

[0025] 1) 基本的两输入两输出模块单元可实现接收通道或发送通道方向上的二维扩展, 易于实现大规模 MIMO 信道的模拟。

[0026] 2) 标准输入输出接口, 相同的计算架构与容量, 资源消耗固定。

[0027] 3) 信号分路器与合路器采用数字化实现, 保证了各子信道一致性。多路信号分路与合并时, 由于数据传输和协同控制上引入的时延, 采用基于流量控制的外部同步模块实现数据对齐。

[0028] 4) 各基本模块之间接口吞吐率取决于两个信道合并的吞吐率, 不会随着模拟信道数的增加而增加。

附图说明

[0029] 图 1 是本发明的基于两输入两输出信道模拟的基本单元;

[0030] 图中, IN_1/IN_2 : 通道 1/2 模数转换后的基带输入信号;

[0031] IN_1'/IN_2' : 通道 1/2 基带发射天线的级联输入信号;

[0032] X_1/X_2 : 通道 1/2 的基带待模拟信号;

[0033] $H_{1,1}/H_{2,1}/H_{1,2}/H_{2,2}$: 子信道多径衰落模拟器;

[0034] S_1/S_2 : 通道 1/2 基带接收天线的级联输入信号;

[0035] N_1/N_2 : 通道 1/2 高斯白噪声信号输出;

[0036] OUT_1/OUT_2 : 通道 1/2 数模转换前的基带模拟输出信号;

[0037] OUT_1'/OUT_2' : 通道 1/2 基带接收天线的级联输出信号;

[0038] 图 2 是本发明的基于基本单元的 MIMO 4x4 信道模拟扩展方法。

具体实施方式

[0039] 下面结合具体附图对本发明作更进一步的说明。

[0040] 如图 1 所示,本发明的一种高带宽大规模 MIMO 信道模拟的装置,包括若干个模拟两输入两输出信道基本单元,单个模拟两输入两输出信道基本单元包括第一模数转换器 1,第二模数转换器 3,第一发射通道级联输入 2,第二发射通道级联输入 4,第一接收通道级联输入 5,第二接收通道级联输入 6,高斯白噪声发生器 7,外部定时与同步模块 8;所述第一模数转换器 1 和第一发射通道级联输入 2 的输出端连接第一多路复用器 9,第一多路复用器 9 的输出端连接第一多路分配器 10,第一多路分配器 10 分别连接有第一子信道衰落模拟器 $H_{1,1}$ 、第二子信道衰落模拟器 $H_{2,1}$ 和第一发射通道级联输出 11,第一子信道衰落模拟器 $H_{1,1}$ 和第二子信道衰落模拟器 $H_{2,1}$ 的输出端分别接第一加法器 12 和第二加法器 13,第一加法器 12 的输出端接第三加法器 14,第二加法器 12 的输出端接第四加法器 15;所述第二模数转换器 3 和第二发射通道级联输入 4 的输出端连接第二多路复用器 16,第二多路复用器 16 的输出端连接第二多路分配器 17,第二多路分配器 17 分别连接有第三子信道衰落模拟器 $H_{1,2}$ 、第四子信道衰落模拟器 $H_{2,2}$ 和第二发射通道级联输出 18,第三子信道衰落模拟器 $H_{1,2}$ 和第四子信道衰落模拟器 $H_{2,2}$ 的输出端分别接第一加法器 12 和第二加法器 13;第一接收通道级联输入 5 连接第三加法器 14,第三加法器 14 的输出端连接第五加法器 19,第五加法器 19 接第三多路分配器 20,第三多路分配器 20 分别接第一数模转换器 21 和第一接收通道级联输出 22;第二接收通道级联输入 6 接第四加法器 15,第四加法器 15 接第六加法器 23,第六加法器 23 接第四多路分配器 24,第四多路分配器 24 分别接第二数模转换器 25 和第二接收通道级联输出 26;高斯白噪声发生器 7 分别接第五加法器 19 和第六加法器 23;第一发射通道级联输出 11 和第二发射通道级联输出 18 分别接下一个模拟两输入两输出信道基本单元的第一发射通道级联输入和第二发射通道级联输入;第一接收通道级联输出 22 和第二接收通道级联输出 26 分别接下一个模拟两输入两输出信道基本单元的第一接收通道级联输入 5 和第二接收通道级联输入 6。

[0041] 若干个模拟两输入两输出信道基本单元的外部定时与同步模块 8 均连接系统时钟与定时模块 27。

[0042] 通过第一模拟数字转换器和第二模拟数字转换器 (ADC1/2),采集信道 1 和 2 的基带输入复信号 IN_1 和 IN_2 ,得到需要模拟的发射信号数据。

[0043] 模数转换器输入 IN_1/IN_2 与发射通道级联输入信号 IN_1'/IN_2' 通过第一多路复用器和第二多路复用器选择后输出为数据流 X_1 和 X_2 。多路复用器的输入信号选择为模数转换器输入。

[0044] 第一多路复用器和第二多路复用器的输入 X_1 和 X_2 通过多路分配器复制成三路相同的数据流 X_1 和 X_2 。其中相同的两路数据流分别进入对应子信道的数字多径衰落模拟器进行信道多径衰落模拟,输出信号流为 $H_{1,1}X_1$, $H_{2,1}X_1$, $H_{1,2}X_2$ 和 $H_{2,2}X_2$ 。 X_1 和 X_2 的第三路数据流通过高速串行接口或光纤接口传输至下一级发射通道,作为发射通道级联输出 1 和 2。

[0045] 通过外部定时与同步模块,实现 $H_{1,1}X_1$ 和 $H_{1,2}X_2$ 数据流对齐,使用第一加法器合并为第一路输出信号,同样的,对齐 $H_{2,1}X_1$ 和 $H_{2,2}X_2$ 数据流并使用第二加法器合并为第二路输出信号。第一路输出信号与第二路输出信号再分别通过第三加法器和第四加法器与第一接收通道级联输入和第二接收通道级联输入相加得到 Z_1 和 Z_2 ,其结果为:

$$[0046] \quad Z_1 = H_{1,1}X_1 + H_{1,2}X_2 + S_1$$

$$[0047] \quad Z_2 = H_{2,1}X_1 + H_{2,2}X_2 + S_2$$

[0048] 最后 Z_1 和 Z_2 数据流通过高斯白噪声发生器叠加白噪声 N_1 和 N_2 , 产生输出信号 Y_1 和 Y_2 , 其表达式为:

$$[0049] \quad Y_1 = H_{1,1}X_1 + H_{1,2}X_2 + S_1 + N_1$$

$$[0050] \quad Y_2 = H_{2,1}X_1 + H_{2,2}X_2 + S_2 + N_2$$

[0051] 输出模拟后信号 Y_1 和 Y_2 通过第三多路分配器和第四多路分配器产生两路输出, 其中一路输出传输至第一数模转换器和第二数模转换器, 将模拟后的数字信号转换为基带模拟信号, 另一路输出数据流通过高速串行接口或光纤接口传输至下一级接收通道, 作为第一接收通道级联输出和第二接收通道级联输出。

[0052] 对于模拟两输入两输出信道基本单元, 数模和模数转换器接口用于传输多通道的物理信号, 级联输入 / 输出信号接口用于传输级联的待模拟输入信号或模拟后中间输出信号, 可采用高速串行信号或光纤实现连接。

[0053] 通过级联 N 个模拟两输入两输出信道基本单元的发射通道级联输出和输入, 扩展为 $2N$ 个模拟信道输出, 也可以通过级联 M 个模拟两输入两输出信道基本单元的接收通道级联输出和输入, 扩展为 $2M$ 个模拟信道输入。从而实现 $2M \times 2N$ 个子信道的大规模 MIMO 信道模拟。

[0054] 以下结合附图 2, 对本发明的方案中 $M = 2, N = 2$ 进行级联扩展, 模拟四输入四输出信道的方法进行更加详细的说明, 具体步骤如下:

[0055] 1) 运用四个相同的模拟两输入两输出信道基本单元 M1-M4, 为各单元配置如图 2 中对应的子信道衰落模拟参数 $H_{1,1}, H_{2,1} \cdots H_{4,4}$ 。

[0056] 2) 通过 M1 和 M4 中各两个模拟数字转换器, 采集四个带模拟信道的基带输入复信号 IN_1-IN_4 , 得到需要模拟的发射信号数据。

[0057] 3) M1 和 M4 中的多路复用器的输入信号选择为模数转换器输入。

[0058] 4) M1 和 M4 中的多路分配器将每路输入复制成三路相同的数据流 $IN1-IN4$, 其中两路数据流分别进入对应子信道模拟器进行模拟, 第三路数据流通过高速串行接口或光纤接口传输至 M2 和 M3 基本单元的发射通道级联输入。

[0059] 5) M2 和 M3 中的多路复用器的输入信号选择为级联输入, 并通过多路分配器复制三路。

[0060] 6) 通过外部定时与同步模块, 在 M1 和 M2 中实现以 X_1 和 X_2 为输入的子信道模拟, 对齐数据流并合并, 在 M3 和 M4 中实现以 X_3 和 X_4 为输入的子信道模拟, 对齐数据流并合并。

[0061] 7) 通过外部定时与同步模块, 使用基于流量控制的自动延时对齐机制, 将 M1 和 M2 中合并后的信号通过接收通道级联输出至 M3 和 M4 的接收通道级联输入。

[0062] 8) 通过 M3 和 M4 中的加法器和同步逻辑, 实现以 X_1 和 X_2 为输入的子信道模拟后数据流和以 X_3 和 X_4 为输入的子信道模拟后数据流的合并。

[0063] 9) 最后四路输出数据流通过 M3 和 M4 中的高斯白噪声发生器叠加白噪声 N_1-N_4 , 产生输出信号 Y_1 和 Y_2 , 其表达式为:

$$[0064] \quad Y_1 = H_{1,1}X_1 + H_{1,2}X_2 + H_{1,3}X_3 + H_{1,4}X_4 + N_1$$

$$[0065] \quad Y_2 = H_{2,1}X_1 + H_{2,2}X_2 + H_{2,3}X_3 + H_{2,4}X_4 + N_2$$

$$[0066] \quad Y_3 = H_{3,1}X_1 + H_{3,2}X_2 + H_{3,3}X_3 + H_{3,4}X_4 + N_3$$

[0067] $Y_4 = H_{4,1}X_1 + H_{4,2}X_2 + H_{4,3}X_3 + H_{4,4}X_4 + N_4$

[0068] 10) 输出模拟后信号 $Y_1 - Y_4$ 通过多路分配器选择输出至数模转换器, 将模拟后的数字信号转换为基带模拟后信号 OUT1-OUT4。

[0069] 11) 对于 2M 输入 2N 输出的 MIMO 信道模拟, 连接 N 级模拟两输入两输出信道基本单元的发射通道级联输出和发射通道级联输入, 级联 M 级模拟两输入两输出信道基本单元的接收通道级联输出和接收通道级联输入, 可以实现 $2M \times 2N$ 个子信道的大规模 MIMO 信道模拟。

[0070] 考虑到物理器件性能、容量等因素, 这种扩展方法的基本单元采用两输入两输出, 但不局限于此。随着设备性能, 速度, 容量的提高, 可以将任意 $2M \times 2N$ 信道模拟模块作为基本单元加以实现, 从而减少对大规模信道模拟中对基本单元数量的需求。

[0071] 以上所述仅是本发明的优选实施方式, 应当指出: 对于本技术领域的普通技术人员来说, 在不脱离本发明原理的前提下, 还可以做出若干改进和润饰, 这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

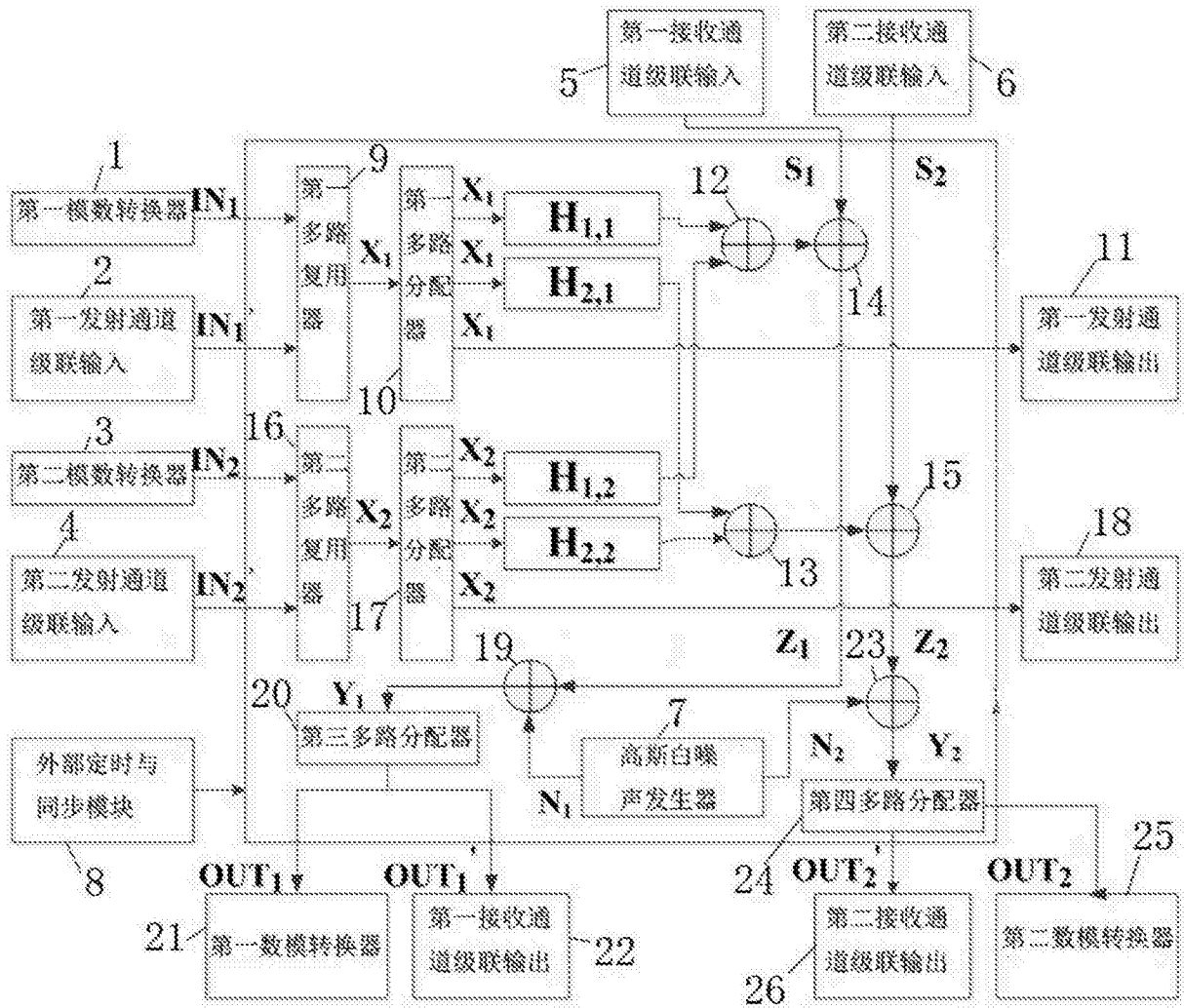


图 1

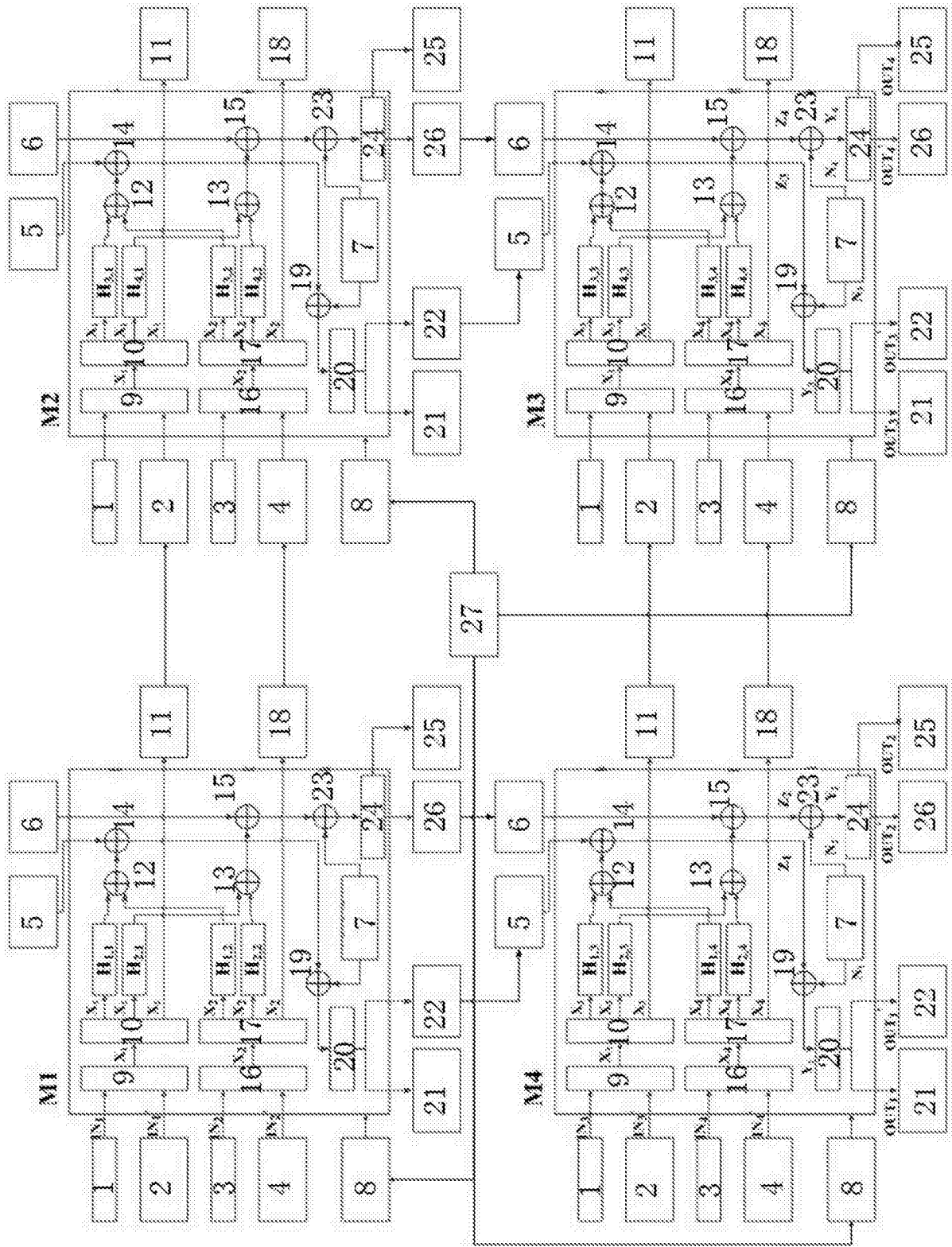


图 2