



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 116209049 B

(45) 授权公告日 2023.06.30

(21) 申请号 202310490700.2

(22) 申请日 2023.05.04

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 116209049 A

(43) 申请公布日 2023.06.02

(73) 专利权人 中国人民解放军国防科技大学
地址 410073 湖南省长沙市开福区德雅路
109号

(72) 发明人 李蓬蓬 吕志成 牟卫华 张可
叶小舟 李宗楠 肖伟 刘文祥
钟水彬 孙涛

(74) 专利代理机构 长沙国科天河知识产权代理
有限公司 43225
专利代理师 李杨

(51) Int.Cl.
H04W 52/52 (2009.01)
H04B 17/00 (2015.01)
H04B 17/391 (2015.01)

(56) 对比文件

- CN 114204949 A, 2022.03.18
- CN 109951244 A, 2019.06.28
- CN 101577958 A, 2009.11.11
- CN 106877946 A, 2017.06.20
- CN 1780184 A, 2006.05.31
- CN 108429594 A, 2018.08.21
- US 2016353289 A1, 2016.12.01
- EP 1379019 A1, 2004.01.07
- US 2023119087 A1, 2023.04.20
- US 6236363 B1, 2001.05.22
- WO 2022002001 A1, 2022.01.06
- US 2008114580 A1, 2008.05.15
- WO 2022183834 A1, 2022.09.09
- US 2017188313 A1, 2017.06.29

叶佳;李浩;朱秋明.MIMO信道建模及硬件模
拟器研制.国外电子测量技术.2018,(07),全文.
李柏渝;唐小妹;聂俊伟;刘哲.卫星导航抗
干扰接收机AGC电路模型分析与优化设计方法.
国防科技大学学报.2017,(06),全文.

审查员 周素菲

权利要求书4页 说明书10页 附图1页

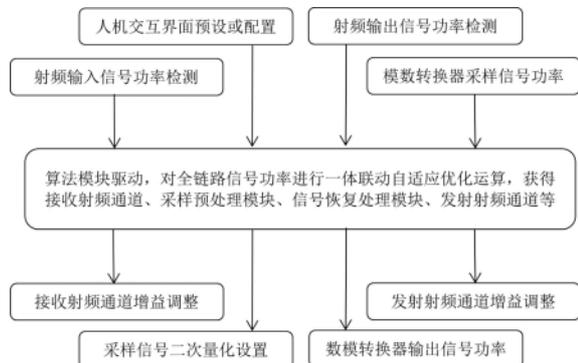
(54) 发明名称

一种智能化信道模拟器全链路信号功率自
适应优化方法

(57) 摘要

本申请涉及一种智能化信道模拟器全链路
信号功率自适应优化方法,涉及信道模拟技术领
域。所述方法包括:通过构建智能化全链路信号
功率自适应优化的信道模拟器,基于获取的被测
系统的功率适配参数,在算法模块运算驱动下,
自动检测当前射频输入信号功率、射频输出信号
功率和ADC采样信号功率,自适应调整接收射频
通道动态增益、发射射频通道动态增益,联动优
化ADC采样信号二次量化设置和DAC输出信号功
率设置,实现对信道模拟器全链路信号功率的智
能优化和高效配置,采用本发明所提方法可以更
加便捷自动地匹配所对应的被测试系统信号收

发设备的输入、输出信号功率,能够智能地实现
良好信道模拟信号质量的需求。



1. 一种智能化信道模拟器全链路信号功率自适应优化方法,其特征在于,所述方法包括:

构建包括人机交互界面、智能化全链路功率联动控制算法模块、接收射频通道、发射射频通道、采样预处理模块、信号恢复处理模块、接收通道功率闭环调整链路、数字信道功率闭环调整链路以及发射通道功率闭环调整链路的智能化信道模拟器;

根据所述人机交互界面获取的被测试系统的功率适配参数,以及根据接收射频通道和发射射频通道获取的被测试系统的信号功率检测结果,分别在接收通道功率闭环调整链路和发射通道功率闭环调整链路中,调整接收射频通道与发射射频通道中的功率检测专用可调增益控制器的增益,并根据增益调整后的功率检测专用可调增益控制器进行信号功率优化检测,得到信号功率优化检测结果;

在所述智能化全链路功率联动控制算法模块的运算驱动下,基于被测试系统最佳输入输出功率匹配和信道模拟器最优输出信号质量约束,根据所述功率适配参数、信号功率优化检测结果以及所述采样预处理模块获取的ADC采样信号功率对信道模拟器全链路信号功率进行一体联动自适应优化运算,得到一体联动自适应优化运算结果;其中,所述一体联动自适应优化运算结果包括接收射频通道、采样预处理模块、信号恢复处理模块以及发射射频通道的信号功率配置参数;

根据所述一体联动自适应优化运算结果,在接收通道功率闭环调整链路、数字信道功率闭环调整链路以及发射通道功率闭环调整链路中,自适应调整优化信道模拟器全链路环节的信号功率,实现对被测试系统信号收发设备的输入信号功率和输出信号功率的自动匹配。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述人机交互界面获取的被测试系统的功率适配参数包括预先或手动设置的被测试系统类型,以及对应配套的输入信号最佳功率参数和输出信号最佳功率参数。

3. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述信号功率检测结果包括射频输入信号功率和射频输出信号功率,所述信号功率优化检测结果包括优化的射频输入信号功率和优化的射频输出信号功率;

根据所述人机交互界面获取的被测试系统的功率适配参数,以及根据接收射频通道和发射射频通道获取的被测试系统的信号功率检测结果,分别在接收通道功率闭环调整链路和发射通道功率闭环调整链路中,调整接收射频通道与发射射频通道中的功率检测专用可调增益控制器的增益,并根据增益调整后的功率检测专用可调增益控制器进行信号功率优化检测,得到信号功率优化检测结果,包括:

在所述接收通道功率闭环调整链路中,根据输入信号最佳功率参数 P_{in-opt} 、所述接收射频通道检测的射频输入信号功率以及接收射频通道默认增益,主动调整所述接收射频通道中的功率检测专用可调增益控制器的增益 G_{in-DET} ;

在所述发射通道功率闭环调整链路中,根据输出信号最佳功率参数 $P_{out-opt}$ 、所述发射射频通道检测的射频输出信号功率以及发射射频通道默认增益,主动调整发射射频通道中的功率检测专用可调增益控制器的增益 $G_{out-DET}$;

将所述 G_{in-DET} 和 $G_{out-DET}$ 作为匹配被测试系统类型的初始设置,根据所述 G_{in-DET} 和 $G_{out-DET}$ 将所述射频输入信号功率和射频输出信号功率控制在对应通道中的专用功率检测芯片的较优功率检测范围内进行信号功率优化检测,得到优化的射频输入信号功率和优化的射频输出信号功率。

4. 根据权利要求3所述的方法,其特征在于,所述 G_{in-DET} 和 $G_{out-DET}$ 分别满足如下约束:

$$P_{in-DET-min} \leq P_{in-opt} + G_{in-DET} \leq P_{in-DET-max};$$

$$P_{out-DET-min} \leq P_{out-opt} + G_{out-DET} \leq P_{out-DET-max};$$

其中, $P_{in-DET-min}$ 为接收射频通道中的功率检测专用可调增益控制器的最小可检测信号功率, $P_{in-DET-max}$ 为接收射频通道中的功率检测专用可调增益控制器的最大可检测信号功率, $P_{out-DET-min}$ 为发射射频通道中的功率检测专用可调增益控制器的最小可检测信号功率, $P_{out-DET-max}$ 为发射射频通道中的功率检测专用可调增益控制器的最大可检测信号功率。

5. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,所述接收射频通道、采样预处理模块、信号恢复处理模块以及发射射频通道的信号功率相关配置参数包括:接收射频通道调整增益、ADC采样信号二次量化设置、DAC输出信号功率设置以及发射射频通道调整增益;

在所述智能化全链路功率联动控制算法模块的运算驱动下,基于被测试系统最佳输入输出功率匹配和信道模拟器最优输出信号质量约束,根据所述功率适配参数、信号功率优化检测结果以及所述采样预处理模块获取的ADC采样信号功率对信道模拟器全链路信号功率进行一体联动自适应优化运算,得到一体联动自适应优化运算结果,包括:

在所述智能化全链路功率联动控制算法模块的运算驱动下,基于被测试系统最佳输入输出功率匹配和信道模拟器最优输出信号质量约束,根据预设的ADC最佳采样信号功率 $P_{ADC-opt}$ 和优化的射频输入信号功率 P_{in-RF} 进行计算,得到接收射频通道调整增益 G_{in-RF} ;

根据所述采样预处理模块获取的ADC采样信号功率 P_{in-ADC} 和被测试系统类型,在预先设置的ADC输入信号功率与采样信号二次量化设置的关系映射表中,查询获取对应的ADC采样信号二次量化设置 G_{in-ADC} ;

根据所述 G_{in-ADC} 和数字信道模拟数据传输比特位映射关系,获取DAC输入信号功率 P_{in-DAC} ,根据所述 P_{in-DAC} 调整对应的DAC输出信号功率设置 $G_{out-DAC}$;

根据输出信号最佳功率参数 $P_{out-opt}$ 和优化的射频输出信号功率 P_{out-RF} 进行计算,得到发射射频通道调整增益 G_{out-RF} 。

6. 根据权利要求5所述的方法,其特征在于,所述 G_{in-RF} 和 G_{out-RF} 分别满足如下约束:

$$G_{in-RF} = P_{ADC-opt} - P_{in-RF} - G_{in-RF-ini};$$

$$G_{out-RF} = P_{out-opt} - P_{out-RF} - G_{out-RF-ini};$$

其中, $G_{in-RF-ini}$ 为接收射频通道初始功率增益, $G_{out-RF-ini}$ 为发射射频通道初始功率增益。

7. 根据权利要求6所述的方法, 其特征在于, 根据所述一体联动自适应优化运算结果, 在接收通道功率闭环调整链路、数字信道功率闭环调整链路以及发射通道功率闭环调整链路中, 自适应调整优化信道模拟器全链路环节的信号功率, 实现对被测系统信号收发设备的输入信号功率和输出信号功率的自动匹配, 包括:

根据接收射频通道调整增益 G_{in-RF} , 在所述接收通道功率闭环调整链路中, 自动控制调整当前的接收射频通道动态增益, 并检测接收射频通道调整增益误差是否满足第一预设条件, 若满足, 认为所述 G_{in-RF} 合理; 否则, 根据所述接收射频通道调整增益误差, 调用智能化全链路功率联动控制算法模块重新计算 G_{in-RF} ;

根据ADC采样信号二次量化设置 G_{in-ADC} 取值和DAC输出信号功率设置 $G_{out-DAC}$ 取值, 在所述数字信道功率闭环调整链路中, 自动控制优化当前的采样预处理模块的ADC采样信号二次量化设置以及当前的信号恢复处理模块的DAC输出信号功率设置;

根据发射射频通道调整增益 G_{out-RF} , 在所述发射通道功率闭环调整链路中, 自动控制调整当前的发射射频通道动态增益, 并检测发射射频通道调整增益误差是否符合第二预设条件, 若满足, 认为所述 G_{out-RF} 合理; 否则, 根据所述发射射频通道调整增益误差, 调用智能化全链路功率联动控制算法模块重新计算 G_{out-RF} ;

通过对当前的接收射频通道动态增益、发射射频通道动态增益、当前的采样预处理模块的ADC采样信号二次量化设置以及当前的信号恢复处理模块的DAC输出信号功率设置进行调整优化, 完成对信道模拟器全链路环节的信号功率的自适应调整优化, 实现对被测系统信号收发设备的输入信号功率和输出信号功率的自动匹配。

8. 根据权利要求7所述的方法, 其特征在于, 根据接收射频通道调整增益 G_{in-RF} , 在所述接收通道功率闭环调整链路中, 自动控制调整当前的接收射频通道动态增益, 并检测接收射频通道调整增益误差是否满足第一预设条件, 若满足, 认为所述 G_{in-RF} 合理; 否则, 根据所述接收射频通道调整增益误差, 调用智能化全链路功率联动控制算法模块重新计算 G_{in-RF} , 包括:

根据接收射频通道调整增益 G_{in-RF} , 在所述接收通道功率闭环调整链路中, 自动控制调整当前的接收射频通道动态增益, 并根据ADC采样信号功率 P_{in-ADC} 和预设的ADC最佳采样信号功率 $P_{ADC-opt}$ 检测接收射频通道调整增益误差 $\Delta(G_{in-RF})$ 是否满足第一预设条件, 其中, 第一预设条件表达式为:

$$\Delta(G_{in-RF}) = \frac{P_{ADC-opt} - P_{in-ADC}}{P_{ADC-opt}} \times 100\% \ll 5\%;$$

若 $\Delta(G_{in-RF})$ 满足第一预设条件, 认为所述 G_{in-RF} 合理; 否则, 根据所述 $\Delta(G_{in-RF})$, 调用智能化全链路功率联动控制算法模块重新计算 G_{in-RF} 。

9. 根据权利要求7所述的方法,其特征在于,根据发射射频通道调整增益 G_{out-RF} ,在上述发射通道功率闭环调整链路中,自动控制调整当前的发射射频通道动态增益,并检测发射射频通道调整增益误差是否符合第二预设条件,若满足,认为所述 G_{out-RF} 合理;否则,根据所述发射射频通道调整增益误差,调用智能化全链路功率联动控制算法模块重新计算 G_{out-RF} ,包括:

根据发射射频通道调整增益 G_{out-RF} ,在上述发射通道功率闭环调整链路中,自动控制调整当前的发射射频通道动态增益,并根据优化的射频输出信号功率 P_{out-RF} 和输出信号最佳功率参数 $P_{out-opt}$ 检测发射射频通道调整增益误差 $\Delta(G_{out-RF})$ 是否符合第二预设条件,其中,第二预设条件表达式为

$$\Delta(G_{out-RF}) = \frac{P_{out-opt} - P_{out-RF}}{P_{out-opt}} \times 100\% \ll 5\%;$$

若 $\Delta(G_{out-RF})$ 满足第二预设条件,认为所述 G_{out-RF} 合理;否则,根据所述 $\Delta(G_{out-RF})$,调用智能化全链路功率联动控制算法模块重新计算 G_{out-RF} 。

一种智能化信道模拟器全链路信号功率自适应优化方法

技术领域

[0001] 本申请涉及信道模拟技术领域,特别是涉及一种智能化信道模拟器全链路信号功率自适应优化方法。

背景技术

[0002] 信道模拟器常用于支持无线通信、雷达、导航等系统信号收发设备测试,构建有线条件下的无线信号等效传播信道环境。对特定功能的无线信号收发系统而言,信号发射功率、接收功率都有特定的设计范围,以保证系统运行性能,而具有智能化设计的信道模拟器,在为不同系统不同信号链路提供信道模拟测试环境接入时,其输入输出功率可以自动匹配这些对应的特定设计范围,并在此基础上做针对性的内部链路各环节功率优化配置,从而保证较高的信道模拟信号质量。

[0003] 然而,目前的信道信号功率调整方法,要么是仅考虑信道模拟器自身输出功率调整范围扩大,要么是仅通过对射频信号功率调整改善链路信号质量、减少临近信道干扰,未充分考虑自适应检测、识别和调整输入输出信号功率,以及在数字、模拟信号域上共同调整功率改善输出信号质量,缺少针对信道模拟器内部链路各环节功率优化配置,难以满足智能化、便捷化的导航信道模拟需求。

发明内容

[0004] 基于此,有必要针对上述技术问题,提供一种能够更加便捷地自动匹配所对应的被测试系统的信号收发设备的输入信号功率、输出信号功率,同时可以更加智能地实现良好的信道模拟器输出射频信号质量需求的一种智能化信道模拟器全链路信号功率自适应优化方法。

[0005] 一种智能化信道模拟器全链路信号功率自适应优化方法,所述方法包括:

[0006] 构建包括人机交互界面、智能化全链路功率联动控制算法模块、接收射频通道、发射射频通道、采样预处理模块、信号恢复处理模块、接收通道功率闭环调整链路、数字信道功率闭环调整链路以及发射通道功率闭环调整链路的智能化信道模拟器;

[0007] 根据人机交互界面获取的被测试系统的功率适配参数,以及根据接收射频通道和发射射频通道获取的被测试系统的信号功率检测结果,分别在接收通道功率闭环调整链路和发射通道功率闭环调整链路中,调整接收射频通道与发射射频通道中的功率检测专用可调增益控制器的增益,并根据增益调整后的功率检测专用可调增益控制器进行信号功率优化检测,得到信号功率优化检测结果;

[0008] 在智能化全链路功率联动控制算法模块的运算驱动下,基于被测试系统最佳输入输出功率匹配和信道模拟器最优输出信号质量约束,根据功率适配参数、信号功率优化检测结果以及采样预处理模块获取的ADC采样信号功率对信道模拟器全链路信号功率进行一体联动自适应优化运算,得到一体联动自适应优化运算结果;其中,一体联动自适应优化运算结果包括接收射频通道、采样预处理模块、信号恢复处理模块以及发射射频通道的信号

功率配置参数；

[0009] 根据一体联动自适应优化运算结果,在接收通道功率闭环调整链路、数字信道功率闭环调整链路以及发射通道功率闭环调整链路中,自适应调整优化信道模拟器全链路环节的信号功率,实现对被测系统信号收发设备的输入信号功率和输出信号功率的自动匹配。

[0010] 在其中一个实施例中,人机交互界面获取的被测试系统的功率适配参数包括预先或手动设置的被测试系统类型,以及对应配套的输入信号最佳功率参数和输出信号最佳功率参数。

[0011] 在其中一个实施例中,信号功率检测结果包括射频输入信号功率和射频输出信号功率,信号功率优化检测结果包括优化的射频输入信号功率和优化的射频输出信号功率；

[0012] 根据人机交互界面获取的被测试系统的功率适配参数,以及根据接收射频通道和发射射频通道获取的被测试系统的信号功率检测结果,分别在接收通道功率闭环调整链路和发射通道功率闭环调整链路中,调整接收射频通道与发射射频通道中的功率检测专用可调增益控制器的增益,并根据增益调整后的功率检测专用可调增益控制器进行信号功率优化检测,得到信号功率优化检测结果,包括：

[0013] 在接收通道功率闭环调整链路中,根据输入信号最佳功率参数 P_{in-opt} 、接收射频通道检测的射频输入信号功率以及接收射频通道默认增益,主动调整接收射频通道中的功率检测专用可调增益控制器的增益 G_{in-DET} ；

[0014] 在发射通道功率闭环调整链路中,根据输出信号最佳功率参数 $P_{out-opt}$ 、发射射频通道检测的射频输出信号功率以及发射射频通道默认增益,主动调整发射射频通道中的功率检测专用可调增益控制器的增益 $G_{out-DET}$ ；

[0015] 将 G_{in-DET} 和 $G_{out-DET}$ 作为匹配被测试系统类型的初始设置,根据 G_{in-DET} 和 $G_{out-DET}$ 将射频输入信号功率和射频输出信号功率控制在对应通道中的专用功率检测芯片的较优功率检测范围内进行信号功率优化检测,得到优化的射频输入信号功率和优化的射频输出信号功率。

[0016] 在其中一个实施例中, G_{in-DET} 和 $G_{out-DET}$ 分别满足如下约束：

$$[0017] \quad P_{in-DET-min} \leq P_{in-opt} + G_{in-DET} \leq P_{in-DET-max};$$

$$[0018] \quad P_{out-DET-min} \leq P_{out-opt} + G_{out-DET} \leq P_{out-DET-max};$$

[0019] 其中, $P_{in-DET-min}$ 为接收射频通道中的功率检测专用可调增益控制器的最小可检测信号功率, $P_{in-DET-max}$ 为接收射频通道中的功率检测专用可调增益控制器的最大可检测信号功率, $P_{out-DET-min}$ 为发射射频通道中的功率检测专用可调增益控制器的最小可检测信号功率, $P_{out-DET-max}$ 为发射射频通道中的功率检测专用可调增益控制器的最大可检测信号功率。

[0020] 在其中一个实施例中,接收射频通道、采样预处理模块、信号恢复处理模块以及发射射频通道的信号功率相关配置参数包括:接收射频通道调整增益、ADC采样信号二次量化

设置、DAC输出信号功率设置以及发射射频通道调整增益；

[0021] 在智能化全链路功率联动控制算法模块的运算驱动下，基于被测试系统最佳输入输出功率匹配和信道模拟器最优输出信号质量约束，根据功率适配参数、信号功率优化检测结果以及采样预处理模块获取的ADC采样信号功率对信道模拟器全链路信号功率进行一体联动自适应优化运算，得到一体联动自适应优化运算结果，包括：

[0022] 在智能化全链路功率联动控制算法模块的运算驱动下，基于被测试系统最佳输入输出功率匹配和信道模拟器最优输出信号质量约束，根据预设的ADC最佳采样信号功率 $P_{ADC-opt}$ 和优化的射频输入信号功率 P_{in-RF} 进行计算，得到接收射频通道调整增益 G_{in-RF} ；

[0023] 根据采样预处理模块获取的ADC采样信号功率 P_{in-ADC} 和被测试系统类型，在预先设置的ADC输入信号功率与采样信号二次量化设置的关系映射表中，查询获取对应的ADC采样信号二次量化设置 G_{in-ADC} ；

[0024] 根据 G_{in-ADC} 和数字信道模拟数据传输比特位映射关系，获取DAC输入信号功率 P_{in-DAC} ，根据 P_{in-DAC} 调整对应的DAC输出信号功率设置 $G_{out-DAC}$ ；

[0025] 根据输出信号最佳功率参数 $P_{out-opt}$ 和优化的射频输出信号功率 P_{out-RF} 进行计算，得到发射射频通道调整增益 G_{out-RF} 。

[0026] 在其中一个实施例中， G_{in-RF} 和 G_{out-RF} 分别满足如下约束：

$$[0027] \quad G_{in-RF} = P_{ADC-opt} - P_{in-RF} - G_{in-RF-ini};$$

$$[0028] \quad G_{out-RF} = P_{out-opt} - P_{out-RF} - G_{out-RF-ini};$$

[0029] 其中， $G_{in-RF-ini}$ 为接收射频通道初始功率增益， $G_{out-RF-ini}$ 为发射射频通道初始功率增益。

[0030] 在其中一个实施例中，根据一体联动自适应优化运算结果，在接收通道功率闭环调整链路、数字信道功率闭环调整链路以及发射通道功率闭环调整链路中，自适应调整优化信道模拟器全链路环节的信号功率，实现对被测试系统信号收发设备的输入信号功率和输出信号功率的自动匹配，包括：

[0031] 根据接收射频通道调整增益 G_{in-RF} ，在接收通道功率闭环调整链路中，自动控制调整当前的接收射频通道动态增益，并检测接收射频通道调整增益误差是否满足第一预设条件，若满足，认为 G_{in-RF} 合理；否则，根据接收射频通道调整增益误差，调用智能化全链路功率联动控制算法模块重新计算 G_{in-RF} ；

[0032] 根据ADC采样信号二次量化设置 G_{in-ADC} 取值和DAC输出信号功率设置 $G_{out-DAC}$ 取值，在数字信道功率闭环调整链路中，自动控制优化当前的采样预处理模块的ADC采样信号二次量化设置以及当前的信号恢复处理模块的DAC输出信号功率设置；

[0033] 根据发射射频通道调整增益 G_{out-RF} ，在发射通道功率闭环调整链路中，自动控制调整当前的发射射频通道动态增益，并检测发射射频通道调整增益误差是否符合第二预设条件，若满足，认为 G_{out-RF} 合理；否则，根据发射射频通道调整增益误差，调用智能化全链路功率联动控制算法模块重新计算 G_{out-RF} ；

[0034] 通过对当前的接收射频通道动态增益、发射射频通道动态增益、当前的采样预处理模块的ADC采样信号二次量化设置以及当前的信号恢复处理模块的DAC输出信号功率设置进行调整优化,完成对信道模拟器全链路环节的信号功率的自适应调整优化,实现对被测系统信号收发设备的输入信号功率和输出信号功率的自动匹配。

[0035] 在其中一个实施例中,根据接收射频通道调整增益 G_{in-RF} ,在接收通道功率闭环调整链路中,自动控制调整当前的接收射频通道动态增益,并检测接收射频通道调整增益误差是否满足第一预设条件,若满足,认为 G_{in-RF} 合理;否则,根据接收射频通道调整增益误差,调用智能化全链路功率联动控制算法模块重新计算 G_{in-RF} ,包括:

[0036] 根据接收射频通道调整增益 G_{in-RF} ,在接收通道功率闭环调整链路中,自动控制调整当前的接收射频通道动态增益,并根据ADC采样信号功率 P_{in-ADC} 和预设的ADC最佳采样信号功率 $P_{ADC-opt}$ 检测接收射频通道调整增益误差 $\Delta(G_{in-RF})$ 是否满足第一预设条件,其中,第一预设条件表达式为:

$$[0037] \quad \Delta(G_{in-RF}) = \frac{P_{ADC-opt} - P_{in-ADC}}{P_{ADC-opt}} \times 100\% \ll 5\%;$$

[0038] 若 $\Delta(G_{in-RF})$ 满足第一预设条件,认为 G_{in-RF} 合理;否则,根据 $\Delta(G_{in-RF})$,调用智能化全链路功率联动控制算法模块重新计算 G_{in-RF} 。

[0039] 在其中一个实施例中,根据发射射频通道调整增益 G_{out-RF} ,在发射通道功率闭环调整链路中,自动控制调整当前的发射射频通道动态增益,并检测发射射频通道调整增益误差是否符合第二预设条件,若满足,认为 G_{out-RF} 合理;否则,根据发射射频通道调整增益误差,调用智能化全链路功率联动控制算法模块重新计算 G_{out-RF} ,包括:

[0040] 根据发射射频通道调整增益 G_{out-RF} ,在发射通道功率闭环调整链路中,自动控制调整当前的发射射频通道动态增益,并根据优化的射频输出信号功率 P_{out-RF} 和输出信号最佳功率参数 $P_{out-opt}$ 检测发射射频通道调整增益误差 $\Delta(G_{out-RF})$ 是否符合第二预设条件,其中,第二预设条件表达式为

$$[0041] \quad \Delta(G_{out-RF}) = \frac{P_{out-opt} - P_{out-RF}}{P_{out-opt}} \times 100\% \ll 5\%;$$

[0042] 若 $\Delta(G_{out-RF})$ 满足第二预设条件,认为 G_{out-RF} 合理;否则,根据 $\Delta(G_{out-RF})$,调用智能化全链路功率联动控制算法模块重新计算 G_{out-RF} 。

[0043] 上述一种智能化信道模拟器全链路信号功率自适应优化方法,通过构建包括人机交互界面、智能化全链路功率联动控制算法模块、接收射频通道、发射射频通道、采样预处理模块、信号恢复处理模块、接收通道功率闭环调整链路、数字信道功率闭环调整链路以及发射通道功率闭环调整链路的智能化全链路信号功率自适应优化的信道模拟器,充分考虑了匹配被测系统输入输出信号最佳功率范围和智能信道模拟器内部链路各环节功率的联动配置,实现对信道模拟器全链路信号功率的智能配置和高效优化,满足了更加便捷自动匹配所对应的被测试系统信号收发设备的输入、输出信号功率以及更加智能地实现良好信

道模拟信号质量的需求。

附图说明

[0044] 图1为一个实施例中本发明所提方法的智能化信道模拟器全链路功率检测和控制相关环节示意图；

[0045] 图2为一个实施例中本发明所提方法的全链路信号功率一体联动自适应优化流程图。

具体实施方式

[0046] 为了使本申请的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本申请进行进一步详细说明。应当理解，此处描述的具体实施例仅仅用以解释本申请，并不用于限定本申请。

[0047] 信道模拟器可以构建有线条件下的无线信号等效传播信道环境，支持各类无线系统的信号收发设备对接测试，由于不同系统的不同信号收发链路信号收发功率范围均存在差别，信道模拟器的有线接入首先就需要适配相应的功率范围，其一般设计为输入射频通道和输出射频通道可支持较大的功率范围，根据被测试系统信号收发设备的不同，对应进行手动调整适配。这种通道增益被动调整会直接影响信道模拟器内部的ADC（模数转换器）采样信号功率，改变ADC有效比特位，对数字信道模拟效果产生直接影响，同时导致DAC（数模转换器）输出信号功率变化，由此影响发射射频信道的输出信号质量等等，上述环节在智能化信道模拟器中均需要一体联动自适应优化设计。

[0048] 在其中一个实施例中，本发明设计了一种智能化全链路信号功率自适应优化的信道模拟器，包括可预设、可配置的人机交互界面，智能化全链路功率联动控制算法模块，功率可检测、可调整的接收射频通道和发射射频通道，功率可估计、量化可设置的采样预处理模块，输出控制字可设置的信号恢复处理模块，自适应的接收通道功率闭环调整链路、数字信道功率闭环调整链路以及发射通道功率闭环调整链路等。

[0049] 其中，人机交互界面是信道模拟器初始被测系统的功率适配参数的主要输入来源，主要设计包括：

[0050] 支持对被测试系统类型、配套输入/输出信号最佳功率等参数进行预先或手动设置等功能，预设被测试系统类型包含与之对应的预设配套输入射频信号最佳功率参数 P_{in-opt} 、输出射频信号最佳功率参数 $P_{out-opt}$ ；手动设置可选配被测试系统类型，修改与之对应的预设配套输入/输出射频信号最佳功率参数，也可自定义新的被测试系统类型，并设定与之对应的预设配套输入/输出射频信号最佳功率参数。

[0051] 智能化全链路功率联动控制算法模块是信道模拟器各个环节功率自适应调整的驱动器，主要设计包括：

[0052] 基于被测试系统最佳输入输出功率匹配、信道模拟器最优输出信号质量约束进行全链路功率联动控制相关的算法运算；支持实时查询各个环节功率相关全部设置、检测结果等参数，进行全链路功率联动控制策略优化和控制参数计算；将运算所得全链路功率联动控制参数进行分发，待各个环节执行完毕，再次查询形成闭环链路，并根据调整后各环节功率状态，迭代运算、控制、查询，直至全链路功率设置达到优化状态。

[0053] 接收射频通道用于对射频输入信号功率进行自适应,主要设计包括:

[0054] 支持对射频输入信号进行高精度功率检测,可主动实时将检测结果上报;具备功率检测专用可调增益控制器,通过增益调整,使得输入到接收射频通道的功率检测芯片的信号功率,处于接收射频通道的功率检测芯片的较优检测范围内,获得更精确检测结果;支持通道增益大范围调整,可接受智能化全链路功率联动控制算法模块驱动,对接收通道增益进行自适应闭环调整。

[0055] 采样预处理模块用于完成数字接收功率检测与调整,主要设计包括:

[0056] 支持对ADC采样信号进行高精度功率估计,并主动将估计结果实时上报;为了保证信道模拟信号质量,通过接收射频通道增益调整,尽量工作在ADC最佳采样信号功率条件下;支持对ADC采样信号二次量化设置进行控制,可接受智能化全链路功率联动控制算法模块驱动,对ADC采样信号二次量化设置进行自适应闭环调整。

[0057] 信号恢复处理模块用于完成数字发射功率检测与调整,主要设计包括:

[0058] 支持对DAC的输入信号功率控制,从而匹配ADC采样信号二次量化设置的调整,支持对DAC输出信号功率设置控制;为了保证信道模拟器输出射频信号质量,尽量工作在DAC输出信号功率接近最优输出功率的条件下;可接受智能化全链路功率联动控制算法模块驱动,对DAC输出信号功率设置进行自适应闭环调整。

[0059] 发射射频通道用于对射频输出信号功率进行自适应,主要设计包括:

[0060] 支持对射频输出信号进行高精度功率检测,可主动实时将检测结果上报;具备功率检测专用可调增益控制器,通过增益调整,使得输入到发射射频通道的功率检测芯片的信号功率,处于发射射频通道的功率检测芯片的较优功率检测范围内,获得更精确检测结果;支持通道增益大范围调整,可接受所述智能化全链路功率联动控制算法模块驱动,对发射射频通道增益进行自适应闭环调整。

[0061] 接收通道功率闭环调整链路,主要设计包括:

[0062] 根据输入信号最佳功率参数、接收射频通道检测的射频输入信号功率以及接收射频通道默认增益,主动调整接收射频通道中的功率检测专用可调增益控制器的增益,获得优化的射频输入信号功率;参照预设的ADC最佳采样信号功率,经所述智能化全链路功率联动控制算法模块运算,驱动对接收射频通道动态增益进行自适应闭环调整,满足ADC最佳采样信号功率需求。

[0063] 数字信道功率闭环调整链路,主要设计包括:

[0064] 根据被测试系统类型、输入/输出信号最佳功率参数和ADC采样信号功率等,经智能化全链路功率联动控制算法模块运算,驱动对ADC采样信号二次量化设置、DAC输出信号功率设置进行自适应闭环调整,满足数字信道模拟需求。

[0065] 发射通道功率闭环调整链路,主要设计包括:

[0066] 根据输出信号最佳功率参数、发射射频通道检测的射频输出信号功率以及发射射频通道默认增益,主动调整发射射频通道中的功率检测专用可调增益控制器的增益;经智能化全链路功率联动控制算法模块运算,驱动对发射射频通道动态增益进行自适应闭环调整,满足被测试系统信道最佳输出电平需求。

[0067] 上述各个环节中,与全链路功率检测和控制相关环节主要包括:射频输入信号功率检测、接收射频通道增益调整、ADC采样信号功率估计、采样信号二次量化设置调整、DAC

输出信号功率设置调整、发射射频通道增益调整、射频输出信号功率检测等。具体环节如图1所示,需要注意的是,图1中所包含的环节不代表实施顺序,这些环节都受到智能化全链路功率联动控制算法模块驱动控制。

[0068] 在其中一个实施例中,本发明基于构建的智能化全链路信号功率自适应优化的信道模拟器,进行智能化信道模拟器全链路信号功率一体联动自适应优化,具体实施流程如图2所示,需要注意的是,图2中所包含的流程环节不代表实施顺序。智能化信道模拟器全链路信号功率一体联动自适应优化的主要步骤包括:

[0069] 构建包括人机交互界面、智能化全链路功率联动控制算法模块、接收射频通道、发射射频通道、采样预处理模块、信号恢复处理模块、接收通道功率闭环调整链路、数字信道功率闭环调整链路以及发射通道功率闭环调整链路的智能化信道模拟器;

[0070] 根据人机交互界面获取的被测试系统的功率适配参数,以及根据接收射频通道和发射射频通道获取的被测试系统的信号功率检测结果,分别在接收通道功率闭环调整链路和发射通道功率闭环调整链路中,调整接收射频通道与发射射频通道中的功率检测专用可调增益控制器的增益,并根据增益调整后的功率检测专用可调增益控制器进行信号功率优化检测,得到信号功率优化检测结果;

[0071] 在智能化全链路功率联动控制算法模块的运算驱动下,基于被测试系统最佳输入输出功率匹配和信道模拟器最优输出信号质量约束,根据功率适配参数、信号功率优化检测结果以及采样预处理模块获取的ADC采样信号功率对信道模拟器全链路信号功率进行一体联动自适应优化运算,得到一体联动自适应优化运算结果;其中,一体联动自适应优化运算结果包括接收射频通道、采样预处理模块、信号恢复处理模块以及发射射频通道的信号功率配置参数;

[0072] 根据一体联动自适应优化运算结果,在接收通道功率闭环调整链路、数字信道功率闭环调整链路以及发射通道功率闭环调整链路中,自适应调整优化信道模拟器全链路环节的信号功率,实现对被测试系统信号收发设备的输入信号功率和输出信号功率的自动匹配。

[0073] 在其中一个实施例中,人机交互界面获取的被测试系统的功率适配参数包括预先或手动设置的被测试系统类型,以及对应配套的输入信号最佳功率参数和输出信号最佳功率参数(此处需将测试环境搭建所用输入、输出射频线缆损耗计入在内)。

[0074] 在其中一个实施例中,信号功率检测结果包括射频输入信号功率和射频输出信号功率,信号功率优化检测结果包括优化的射频输入信号功率和优化的射频输出信号功率;

[0075] 根据人机交互界面获取的被测试系统的功率适配参数,以及根据接收射频通道和发射射频通道获取的被测试系统的信号功率检测结果,分别在接收通道功率闭环调整链路和发射通道功率闭环调整链路中,调整接收射频通道与发射射频通道中的功率检测专用可调增益控制器的增益,并根据增益调整后的功率检测专用可调增益控制器进行信号功率优化检测,得到信号功率优化检测结果,包括:

[0076] 首先,在接收通道功率闭环调整链路中,根据输入信号最佳功率参数 P_{in-opt} 、接收射频通道检测的射频输入信号功率以及接收射频通道默认增益,主动调整接收射频通道中的功率检测专用可调增益控制器的增益 G_{in-DET} ,且 G_{in-DET} 满足如下约束:

[0077] $P_{in-DET-min} \leq P_{in-opt} + G_{in-DET} \leq P_{in-DET-max}$;

[0078] 其中, $P_{in-DET-min}$ 为接收射频通道中的功率检测专用可调增益控制器的最小可检测信号功率, $P_{in-DET-max}$ 为接收射频通道中的功率检测专用可调增益控制器的最大可检测信号功率; 理想情况下, 最优接收射频通道检测增益 $G_{in-DET-opt}$ 设置满足以下约束:

[0079] $G_{in-DET-opt} = \frac{P_{in-DET-min} + P_{in-DET-max}}{2} - P_{in-opt}$ 。

[0080] 然后, 在发射通道功率闭环调整链路中, 根据输出信号最佳功率参数 $P_{out-opt}$ 、发射射频通道检测的射频输出信号功率以及发射射频通道默认增益, 主动调整发射射频通道中的功率检测专用可调增益控制器的增益 $G_{out-DET}$, 且 $G_{out-DET}$ 满足以下约束:

[0081] $P_{out-DET-min} \leq P_{out-opt} + G_{out-DET} \leq P_{out-DET-max}$;

[0082] 其中, $P_{out-DET-min}$ 为发射射频通道中的功率检测专用可调增益控制器的最小可检测信号功率, $P_{out-DET-max}$ 为发射射频通道中的功率检测专用可调增益控制器的最大可检测信号功率; 理想情况下, 最优发射射频通道检测增益 $G_{out-DET-opt}$ 设置满足以下约束:

[0083] $G_{out-DET-opt} = \frac{P_{out-DET-min} + P_{out-DET-max}}{2} - P_{out-opt}$ 。

[0084] 最后, 将 G_{in-DET} 和 $G_{out-DET}$ 作为匹配被测试系统类型的初始设置, 根据 G_{in-DET} 和 $G_{out-DET}$ 将射频输入信号功率和射频输出信号功率控制在对应通道中的专用功率检测芯片的较优功率检测范围内进行信号功率优化检测, 得到优化的射频输入信号功率和优化的射频输出信号功率。

[0085] 在其中一个实施例中, 接收射频通道、采样预处理模块、信号恢复处理模块以及发射射频通道的信号功率配置参数包括: 接收射频通道调整增益、ADC采样信号二次量化设置、DAC输出信号功率设置以及发射射频通道调整增益;

[0086] 在智能化全链路功率联动控制算法模块的运算驱动下, 基于被测试系统最佳输入输出功率匹配和信道模拟器最优输出信号质量约束, 根据功率适配参数、信号功率优化检测结果以及采样预处理模块获取的ADC采样信号功率对信道模拟器全链路信号功率进行一体联动自适应优化运算, 得到一体联动自适应优化运算结果, 包括:

[0087] 首先, 在智能化全链路功率联动控制算法模块的运算驱动下, 基于被测试系统最佳输入输出功率匹配和信道模拟器最优输出信号质量约束, 根据预设的ADC最佳采样信号功率 $P_{ADC-opt}$ 和优化的射频输入信号功率 P_{in-RF} 进行计算, 得到接收射频通道调整增益 G_{in-RF} , 且 G_{in-RF} 满足如下约束:

[0088] $G_{in-RF} = P_{ADC-opt} - P_{in-RF} - G_{in-RF-ini}$;

[0089] 其中, $G_{in-RF-ini}$ 为接收射频通道初始功率增益。

[0090] 然后, 根据采样预处理模块获取的ADC采样信号功率 P_{in-ADC} 和预先或手动设置的被测试系统类型, 在预先设置的ADC输入信号功率与采样信号二次量化设置的关系映射表

中,查询获取对应的ADC采样信号二次量化设置 G_{in-ADC} ,该关系映射表与数字信道模拟实现时采用的数据位宽等参数相关。

[0091] 再根据 G_{in-ADC} 和数字信道模拟数据传输比特位映射关系,获取DAC输入信号功率 P_{in-DAC} ,根据 P_{in-DAC} 调整对应的DAC输出信号功率设置 $G_{out-DAC}$,使得DAC输出信号功率尽可能接近最优输出功率 $P_{DAC-opt}$ 条件,从而提高信道模拟器输出射频信号质量。

[0092] 最后,根据输出信号最佳功率参数 $P_{out-opt}$ 和优化的射频输出信号功率 P_{out-RF} 进行计算,得到发射射频通道调整增益 G_{out-RF} ,且 G_{out-RF} 满足如下约束:

$$[0093] \quad G_{out-RF} = P_{out-opt} - P_{out-RF} - G_{out-RF-ini};$$

[0094] 其中, $G_{out-RF-ini}$ 为发射射频通道初始功率增益。

[0095] 在其中一个实施例中,根据一体联动自适应优化运算结果,在接收通道功率闭环调整链路、数字信道功率闭环调整链路以及发射通道功率闭环调整链路中,自适应调整优化信道模拟器全链路环节的信号功率,实现对被测系统信号收发设备的输入信号功率和输出信号功率的自动匹配,包括:

[0096] 首先,根据接收射频通道调整增益 G_{in-RF} ,在接收通道功率闭环调整链路中,自动控制调整当前的接收射频通道动态增益,并根据ADC采样信号功率 P_{in-ADC} 和预设的ADC最佳采样信号功率 $P_{ADC-opt}$ 检测接收射频通道调整增益误差是否满足第一预设条件,其中,第一预设条件表达式为

$$[0097] \quad \Delta(G_{in-RF}) = \frac{P_{ADC-opt} - P_{in-ADC}}{P_{ADC-opt}} \times 100\% \ll 5\%;$$

[0098] 其中, $\Delta(G_{in-RF})$ 表示接收射频通道调整增益误差,该数值一般取值5%,为了更好的保证效果可适当根据实际情况进行调整,若 $\Delta(G_{in-RF})$ 满足第一预设条件,认为 G_{in-RF} 合理;否则,根据 $\Delta(G_{in-RF})$,调用智能化全链路功率联动控制算法模块重新计算 G_{in-RF} 。

[0099] 再根据ADC采样信号二次量化设置 G_{in-ADC} 取值和DAC输出信号功率设置 $G_{out-DAC}$ 取值,在数字信道功率闭环调整链路中,自动控制优化当前的采样预处理模块的ADC采样信号二次量化设置以及当前的信号恢复处理模块的DAC输出信号功率设置。可以理解,ADC采样信号二次量化设置是基于当前被测系统类型设置,根据数字信道模拟内部设计,以及检测到的ADC采样信号功率 P_{in-ADC} 运算所得,只需随着 P_{in-ADC} 变化实时运算调整即可。DAC输出信号功率设置是基于数字信道模拟数据传输比特位映射关系,根据数字信道模拟内部设计,以及DAC输入信号功率 P_{in-DAC} 运算所得,只需随着 P_{in-DAC} 变化实时运算调整即可。

[0100] 最后,根据发射射频通道调整增益 G_{out-RF} ,在发射通道功率闭环调整链路中,自动控制调整当前的发射射频通道动态增益,并根据优化的射频输出信号功率 P_{out-RF} 和输出信号最佳功率参数 $P_{out-opt}$ 检测发射射频通道调整增益误差是否符合第二预设条件,其中,第二预设条件表达式为

$$[0101] \quad \Delta(G_{out-RF}) = \frac{P_{out-opt} - P_{out-RF}}{P_{out-opt}} \times 100\% \ll 5\%;$$

[0102] 其中, $\Delta(G_{out-RF})$ 表示发射射频通道调整增益误差, 该数值一般取值5%, 为了更好的保证效果可适当根据实际情况进行调整, 若 $\Delta(G_{out-RF})$ 满足第二预设条件, 认为 G_{out-RF} 合理; 否则, 根据 $\Delta(G_{out-RF})$, 调用智能化全链路功率联动控制算法模块重新计算 G_{out-RF} 。

[0103] 最后, 通过对当前的接收射频通道动态增益、发射射频通道动态增益、当前的采样预处理模块的ADC采样信号二次量化设置以及当前的信号恢复处理模块的DAC输出信号功率设置进行调整优化, 完成对信道模拟器全链路环节的信号功率的自适应调整优化, 实现对被测系统信号收发设备的输入信号功率和输出信号功率的自动匹配。

[0104] 以上实施例的各技术特征可以进行任意的组合, 为使描述简洁, 未对上述实施例中的各个技术特征所有可能的组合都进行描述, 然而, 只要这些技术特征的组合不存在矛盾, 都应当认为是本说明书记载的范围。

[0105] 以上所述实施例仅表达了本申请的几种实施方式, 其描述较为具体和详细, 但并不能因此而理解为对本申请范围的限制。应当指出的是, 对于本领域的普通技术人员来说, 在不脱离本申请构思的前提下, 还可以做出若干变形和改进, 这些都属于本申请的保护范围。因此, 本申请的保护范围应以所附权利要求为准。

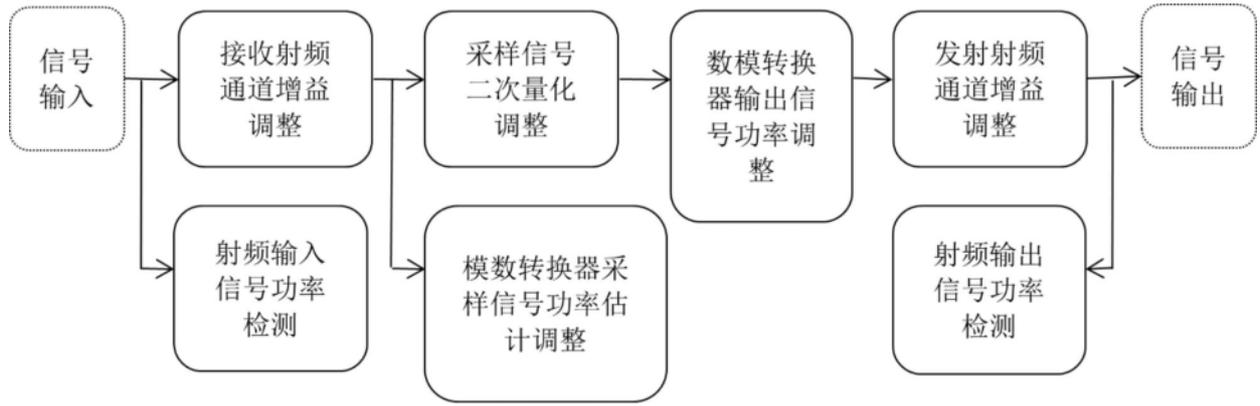


图 1

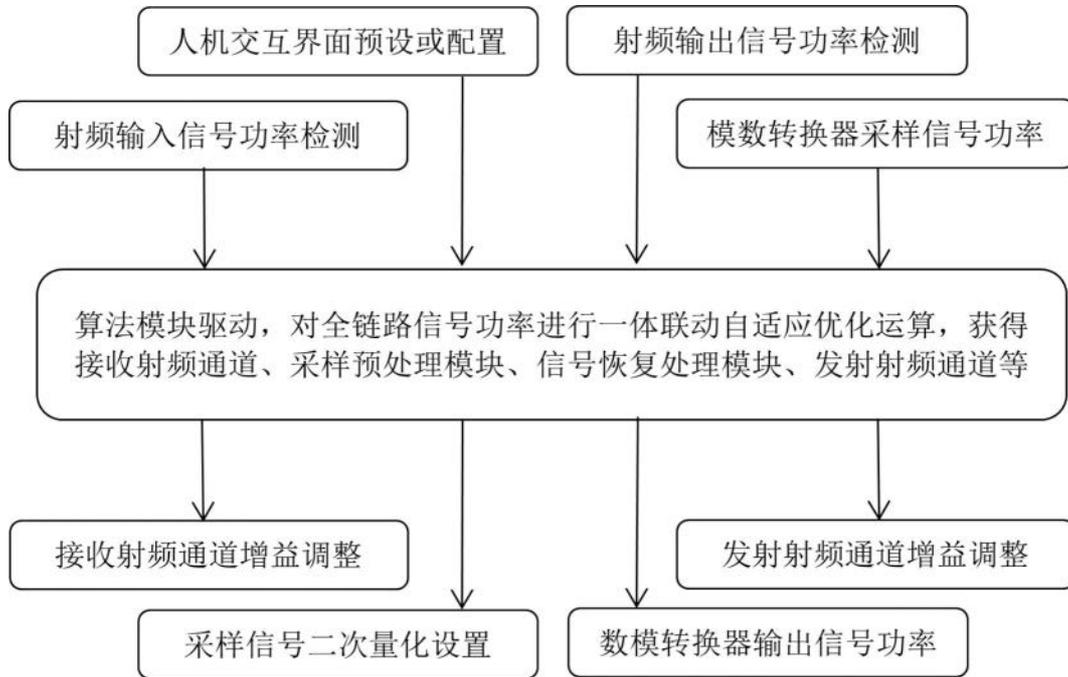


图 2