



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111884852 B

(45) 授权公告日 2021.03.16

(21) 申请号 202010731150.5

(22) 申请日 2020.07.27

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111884852 A

(43) 申请公布日 2020.11.03

(73) 专利权人 广东工业大学
地址 510060 广东省广州市越秀区东风东
路729号大院

(72) 发明人 何瑞文 陆嘉亮 王伊尹 林逸禹

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限
公司 11227

代理人 郭帅

(51) Int.Cl.

H04L 12/24 (2006.01)

H02J 13/00 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 102565585 A, 2012.07.11

CN 111190357 A, 2020.05.22

CN 107342904 A, 2017.11.10

US 2009006611 A1, 2009.01.01

审查员 穆剑

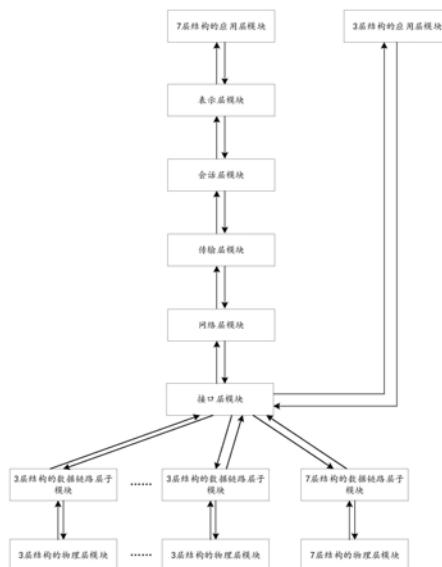
权利要求书2页 说明书11页 附图7页

(54) 发明名称

一种智能变电站间隔层设备仿真设计方法

(57) 摘要

本申请一种智能变电站间隔层设备仿真设计方法,两种网络结构的应用层模块分别存储有对方的应用层模块的身份标识,使得间隔层设备的仿真模型同时具备两种网络结构的接口并实现数据互享,通过实施本发明得到的间隔层设备仿真模型可以同时处理SV报文、GOOSE报文和MMS报文;在应用层和数据链路层之间增加接口层使得数据实现从应用层直接映射到数据链路层,使得收发的报文带有真实的电气量信息;本发明提供了两种网络结构的模型建立方法,不仅适用于间隔层设备的仿真模拟,对于站控层设备和过程层设备的仿真同样适用。



1. 一种智能变电站间隔层设备仿真设计方法,其特征在于,包括:

配置第一网络结构的应用层模块和第二网络结构的应用层模块,为每个应用层模块分配独立的身份标识;其中第一网络结构的应用层模块中存储有第二网络结构的应用层模块的身份标识,第二网络结构的应用层模块中存储有第一网络结构的应用层模块的身份标识;

为数据链路层配置s个子模块,在应用层模块和数据链路层子模块之间构建接口层模块,由接口层模块设置数据链路层的子模块的所属网络结构;

分别设置第一网络结构和第二网络结构的所有模块的若干个状态和执行逻辑,根据数据在网络结构中的传输方向把各模块封装为仿真元件。

2. 根据权利要求1所述的智能变电站间隔层设备仿真设计方法,其特征在于,配置所述第一网络结构的应用层模块包括:

配置接收报文子模块和发送报文子模块。

3. 根据权利要求2所述的智能变电站间隔层设备仿真设计方法,其特征在于,当传输报文为GOOSE报文时,所述发送报文子模块的执行逻辑包括:

当电力系统处于稳态时按照IEC61850协议标准把开关不跳闸信号封装进GOOSE心跳报文并发送至接口层模块;

当所述接收报文子模块触发跳闸信号时按照IEC61850协议标准把开关跳闸信号封装进GOOSE报文并传送到接口层模块,根据设置的GOOSE报文重传间隔规律确定下一次GOOSE报文的发送时刻。

4. 根据权利要求2所述的智能变电站间隔层设备仿真设计方法,其特征在于,所述第二网络结构的应用层模块有报文到达时所述发送报文子模块的执行逻辑还包括:

根据第二网络结构的应用层模块的身份标识访问第二网络结构的应用层模块以获取所需数据并封装为GOOSE报文发送至接口层模块。

5. 根据权利要求2所述的智能变电站间隔层设备仿真设计方法,其特征在于,所述接收报文子模块的执行逻辑包括:

接收SV报文和/或GOOSE报文并解析,更新报文的收发包统计量信息;

接收的报文既不是SV报文也不是GOOSE报文时进行报文销毁。

6. 根据权利要求1所述的智能变电站间隔层设备仿真设计方法,其特征在于,配置所述第二网络结构的应用层模块包括:

配置一个根模块和若干个执行子模块,所述执行子模块用于发送报文。

7. 根据权利要求6所述的智能变电站间隔层设备仿真设计方法,其特征在于,当间隔层设备的待发送报文属于第二网络结构时,根模块触发创建若干个执行子模块,由执行子模块根据第一网络结构的应用层模块的身份标识访问第一网络结构的应用层模块获取所需数据封装为报文发送至接口层模块。

8. 根据权利要求1所述的智能变电站间隔层设备仿真设计方法,其特征在于,所述由接口层模块设置数据链路层的子模块的所属网络结构包括:

待数据链路层的s个子模块初始化完成后创建链表记录所有子模块的信息,把m个子模块设置为第一网络结构的数据链路层子模块,1个子模块设置为第二网络结构的数据链路层子模块,其中 $s=m+1$ 。

9. 根据权利要求1所述的智能变电站间隔层设备仿真设计方法,其特征在于,所述接口层模块的执行逻辑包括:

根据报文中携带的应用层模块的身份标识确定报文的网络结构来源,将报文传送至对应的网络结构的数据链路层子模块。

10. 根据权利要求1所述的智能变电站间隔层设备仿真设计方法,其特征在于,所述接口层模块的执行逻辑还包括:

根据报文中携带的MAC地址确定报文的网络结构来源,将报文传送至对应的网络结构的应用层模块。

一种智能变电站间隔层设备仿真设计方法

技术领域

[0001] 本发明属于智能变电站仿真领域,具体涉及一种智能变电站间隔层设备仿真设计方法。

背景技术

[0002] 智能变电站的系统架构一般分站控层、间隔层和过程层,站控层和间隔层之间的网络为制造报文规范MMS网,间隔层和过程层之间的网络为过程层网,过程层网包括SV采样值网络和GOOSE跳闸网络。SV网络用于合并单元和间隔层保护测控装置之间的模拟量的传输,GOOSE网络主要用于过程层设备的跳闸以及开关、刀闸等开关量信息的采集,为满足电气信息采集的实时性和可靠性要求,IEC61850和DL/T860标准中涉及到的特定服务映射采用将SV报文和GOOSE报文从应用层直接映射到数据链路层的方式,根据这一特点,采用通信网络的仿真软件进行智能变电站仿真时,合并单元和智能终端等过程层的智能电子设备采用3层结构的节点模型加以模拟,即数据报文只经过应用层、数据链路层和物理层;MMS网用于站控层设备和间隔层设备的信息交换,主要是对间隔层设备的监视和控制信息,实时性和可靠性的要求较低,MMS报文采用OSI参考模型的7层结构或者TCP/IP的4层结构的通信模型模拟。

[0003] 为保证智能变电站的可靠运行,目前MMS网和过程层网从物理上分开,过程层网将SV网和GOOSE网从物理上分开,并且可按电压等级分成多个物理网,以此来保证模拟量传输、GOOSE跳闸和GOOSE开关量的获取不受干扰,减少网络流量,提高实时性和可靠性,但是如此一来,间隔层的装置要提供至少3组以太网接口,一组给MMS网,一组给SV网,一组给GOOSE网,既需要3层结构的节点模型也需要7层结构的节点模型加以模拟,若采用两者相互独立的分立元件模拟,无法实现两者数据内容的信息共享,显然不能完整地实现间隔层智能电子设备的功能。

发明内容

[0004] 基于此,本发明提供一种智能变电站间隔层设备仿真设计方法,实现3层结构和7层结构的节点模型进行数据交互,以克服现有仿真方法的缺陷。

[0005] 本发明一种智能变电站间隔层设备仿真设计方法,包括:

[0006] 配置第一网络结构的应用层模块和第二网络结构的应用层模块,为每个应用层模块分配独立的身份标识;其中第一网络结构的应用层模块中存储有第二网络结构的应用层模块的身份标识,第二网络结构的应用层模块中存储有第一网络结构的应用层模块的身份标识;

[0007] 为数据链路层配置s个子模块,在应用层模块和数据链路层子模块之间构建接口层模块,由接口层模块设置数据链路层的子模块的所属网络结构;

[0008] 分别设置第一网络结构和第二网络结构的所有模块的若干个状态和执行逻辑,根据数据在网络结构中的传输方向把各模块封装为仿真元件。

- [0009] 优选地,配置第一网络结构的应用层模块包括:
- [0010] 配置接收报文字模块和发送报文字模块。
- [0011] 优选地,当传输报文为GOOSE报文时,第一网络结构的发送报文字模块的执行逻辑包括:
- [0012] 当无需跳闸时按照IEC61850协议标准把开关不跳闸信号封装进GOOSE心跳报文并发送至接口层模块;
- [0013] 当接收报文字模块触发跳闸信号时按照IEC61850协议标准把开关跳闸信号封装进GOOSE报文并传送到接口层模块,根据设置的GOOSE报文重传间隔规律确定下一次GOOSE报文的发送时刻。
- [0014] 优选地,当第二网络结构有报文到达时第一网络结构的发送报文字模块的执行逻辑还包括:
- [0015] 根据第二网络结构的应用层模块的身份标识访问第二网络结构的应用层模块以获取所需数据并封装为GOOSE报文发送至接口层模块。
- [0016] 优选地,接收报文字模块的执行逻辑包括:
- [0017] 接收SV报文和/或GOOSE报文并解析,更新报文的收发包统计量信息;
- [0018] 接收的报文既不是SV报文也不是GOOSE报文时进行报文销毁。
- [0019] 优选地,配置第二网络结构的应用层模块包括:
- [0020] 配置一个根模块和若干个执行子模块,所述执行子模块用于发送报文。
- [0021] 优选地,当间隔层设备的待发送报文属于第二网络结构时,根模块触发创建若干个执行子模块,由执行子模块根据第一网络结构的应用层模块的身份标识访问第一网络结构的应用层模块获取所需数据封装为报文发送至接口层模块。
- [0022] 优选地,当间隔层设备的待发送报文属于第二网络结构时,根模块触发创建第一执行子模块,第一执行子模块需要对多个报文会话业务进行管理时触发创建第二执行子模块并向第二执行子模块传递运行参数信息;
- [0023] 针对单个报文会话业务第二执行子模块触发创建第三执行子模块并向第三执行子模块传递运行参数信息;
- [0024] 第三执行子模块根据第一网络结构的应用层模块的身份标识访问第一网络结构的应用层模块获取所需数据封装为报文发送至接口层模块。
- [0025] 优选地,由接口层模块设置数据链路层的子模块的所属网络结构包括:
- [0026] 待数据链路层的s个子模块初始化完成后创建链表记录所有子模块的信息,把m个子模块设置为第一网络结构的数据链路层子模块,1个子模块设置为第二网络结构的数据链路层子模块,其中 $s=m+1$ 。
- [0027] 优选地,接口层模块的执行逻辑包括:
- [0028] 根据报文中携带的应用层模块的身份标识确定报文的网络结构来源,将报文传送至对应的网络结构的数据链路层子模块。
- [0029] 优选地,接口层模块的执行逻辑还包括:
- [0030] 根据报文中携带的MAC地址确定报文的网络结构来源,将报文传送至对应的网络结构的应用层模块。
- [0031] 从以上技术方案可以看出,本发明具有以下有益效果:

[0032] 本发明一种智能变电站间隔层设备仿真设计方法,两种网络结构的应用层模块分别存储有对方的应用层模块的身份标识,使得间隔层设备的仿真模型同时具备两种网络结构的接口并实现数据互享,通过实施本发明得到的间隔层设备仿真模型可以同时处理SV报文、GOOSE报文和MMS报文;在应用层和数据链路层之间增加接口层使得数据实现从应用层直接映射到数据链路层,使得收发的报文带有真实的电气量信息;本发明提供了两种网络结构的模型建立方法,不仅适用于间隔层设备的仿真模拟,对于站控层设备和过程层设备的仿真同样适用。

附图说明

[0033] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据提供的附图获得其他的附图。

[0034] 图1本发明一种实施例智能变电站间隔层设备仿真设计方法实施流程图

[0035] 图2本发明一种实施例间隔层设备仿真节点模型原理示意图

[0036] 图3本发明另一实施例保护测控装置仿真设计方法实施流程图

[0037] 图4本发明另一实施例保护测控装置3层结构应用层模块的接收报文字模块进程域模型示意图

[0038] 图5本发明另一实施例保护测控装置3层结构应用层模块的发送报文字模块进程域模型示意图

[0039] 图6本发明另一实施例保护测控装置7层结构应用层模块的根模块进程域模型示意图

[0040] 图7本发明另一实施例保护测控装置7层结构应用层模块的子模块profile_manager进程域模型示意图

[0041] 图8本发明另一实施例保护测控装置7层结构应用层模块的子模块pu_manager进程域模型示意图

[0042] 图9本发明另一实施例保护测控装置7层结构应用层模块的子模块pu_client进程域模型示意图

[0043] 图10本发明另一实施例保护测控装置接口层模块进程域模型示意图

具体实施方式

[0044] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0045] 请参阅图1,本实施例介绍一种智能变电站间隔层设备仿真元件的设计方法,由于SV报文和GOOSE报文在通信中只经过应用层、数据链路层和物理层,在本实施例中把其节点模型所属的网络结构称为3层结构,MMS报文采用OSI参考模型的7层结构,在本实施例中把其节点模型所属的网络结构称为7层结构,则设计方法说明如下。

[0046] 搭建应用层模块时,在内存中预留空间专用于数据的存放,应用层模块的身份标识在建模过程中进行分配,每个模块的身份标识唯一且对应一个存储地址,该地址为该模块用于存放数据的内存空间;应用层模块中可以存储多个模块的身份标识,实现对其它应用层模块的访问,在获取身份标识后便能获取相应的存放数据的内存空间的存储地址,从而访问其中的数据。

[0047] 为间隔层设备的7层结构的应用层模块和3层结构的应用层模块分别设置唯一的模块ID,作为模块的身份标识。将7层结构的应用层模块的ID存储到3层结构的应用层模块中,同时,将3层结构的应用层模块的ID存储到7层结构的应用层模块中;3层结构的应用层模块和7层结构的应用层模块根据对方的模块ID相互授予对方访问权限。3层结构的应用层模块可以通过7层结构的应用层模块的ID对7层结构的应用层模块进行访问并获取相关信息,同样地,7层结构的应用层模块可以通过3层结构的应用层模块的ID对3层结构的应用层模块进行访问并获取相关信息。

[0048] 第一步,构建间隔层设备的3层结构的应用层模块,在构建过程中已为应用层模块分配好唯一的身份标识且存储有7层结构的应用层模块的身份标识。

[0049] (1) 状态设置

[0050] 至少需要设置的状态有:“初始化”、“等待”、“报文接收”、“报文生成和发送”。

[0051] (2) 功能实现

[0052] 初始化本模块的相关功能,获取进程模型运行所需的相关信息;接收来自过程层设备的SV报文或GOOSE报文并解析其中的电气量数据或电气开关量数据;根据电气开关量数据创建GOOSE心跳报文或GOOSE变位报文向接口层发送,并更新数据收发包的统计量信息。

[0053] (3) 执行逻辑

[0054] 触发仿真起始进入“初始化”状态;初始化执行完毕后,进入“等待”状态。如果SV报文或GOOSE报文到达触发中断进入“报文接收”状态,等待下一次流中断;若SV报文或GOOSE报文以外的其余报文到达触发中断进行报文销毁,等待下一次流中断;

[0055] 对于SV报文,间隔层设备只能接收来自过程层设备的报文,而不能反向发送SV报文,因此间隔层设备的3层结构的应用层模块中的“报文生成和发送”只针对GOOSE报文,即当GOOSE报文待发送时把断路器跳闸指令封装进报文传送至接口层;若需把站控层的MMS报文中的指令向过程层转达,则根据7层结构的应用层模块的ID对其进行访问获取所需数据信息并封装为GOOSE报文发送至接口层。

[0056] 第二步,构建间隔层设备的7层结构的应用层模块,在构建过程中已为应用层模块分配好唯一的身份标识且存储有3层结构的应用层模块的身份标识。

[0057] (1) 状态设置

[0058] 至少需要设置的状态有:“初始化”、“等待”、“报文接收”、“报文生成和发送”。

[0059] (2) 功能实现

[0060] 初始化本模块的相关功能,获取进程模型运行所需的相关信息;接收来自站控层设备的MMS报文并解析其中的数据内容;获取外部电力系统的运行指令和/或从3层结构的应用层模块中提取运行数据按照IEC61850协议标准生成MMS报文按照发送频率向站控层发送;更新数据收发包的统计量信息。

[0061] (3) 执行逻辑

[0062] 触发仿真起始进入“初始化”状态;初始化执行完毕后,进入“等待”状态。如果MMS报文到达触发中断进入“报文接收”状态,解析报文,根据数据内容执行相应操作,随后等待下一次流中断;获取外部电力系统的运行指令,或者根据3层结构的应用层模块的ID对其访问获取所需数据封装为MMS报文发送至接口层模块。

[0063] 第三步,构建间隔层设备的接口层模块。

[0064] (1) 状态设置

[0065] 至少需要设置的状态有:“初始化”、“等待”、“应用层数据到达”和“数据链路层数据到达”。

[0066] (2) 功能实现

[0067] 初始化本模块的相关功能,获取进程模型运行所需的相关信息;等待数据链路层中所有子模块初始化完成,创建一个链表用于记录所连接的数据链路层中所有子模块的信息(包括子模块数量 s 以及包流线的索引),将 m 个数据链路层子模块设置为3层结构的数据链路层子模块,1个子模块设置为7层结构的数据链路层子模块,同时将3层结构对外发送的报文的目的地地址设置为广播地址,有 $s=m+1$ 。

[0068] 等待报文的到来,判断收到的报文的来源和传递方向,如果是从3层结构的应用层下达的报文,则将报文沿着包流线传送到相应3层结构的数据链路层,如果是从3层结构的数据链路层上传的报文,将报文沿着包流线传送到3层结构的应用层;同理可得7层结构的报文传输过程,不在此赘述。

[0069] (3) 执行逻辑

[0070] 触发仿真起始中断进入“初始化”状态。初始化执行完毕后,进入“等待”状态。如果应用层的报文到达,触发流中断进入“应用层数据到达”状态,执行完毕后直接转移回到“等待”状态,等待下一次流中断的到来。如果数据链路层的报文到达,触发流中断进入“数据链路层数据到达”状态,执行完毕后直接转移回到“等待”状态,等待下一次流中断的到来。

[0071] 第四步,构建间隔层设备的表示层模块、会话层模块、传输层模块、网络层模块、数据链路层模块、物理层模块。

[0072] 7层结构模型的表示层模块、会话层模块、传输层模块、网络层模块、数据链路层模块、物理层模块可以采用网络通信OSI七层模型现有的常规的建模方法进行建模,3层结构模型的数据链路层模块、物理层模块可采用同样的建模方法进行建模,本实施例对网络结构的其余层次的模块建立不作限定。

[0073] 第五步,封装仿真元件并设置外部属性。

[0074] 完成应用层模块、接口层模块、表示层模块、会话层模块、传输层模块、网络层模块、接口层模块、数据链路层模块、物理层模块的构建后,用包流线将各模块连接起来,报文沿包流线传递,如图2所示,封装成自定义的间隔层设备仿真模型,并允许用户通过参数的设置来控制数据的读取和动作行为。

[0075] 从以上可以看出对间隔层设备仿真模型的构建过程包括了3层结构和7层结构两种网络协议的通信仿真元件功能,本实施例仿真设计方法不仅适用于间隔层设备的仿真模拟,同样适用于站控层设备和过程层设备,站控层设备可只采用7层结构部分的模型构建,过程层设备可只采用3层结构部分的模型构建。

[0076] 请参阅图3,下面介绍本发明的另一个实施例,以OPNET仿真软件为平台,通过具体的算例说明本发明的智能变电站间隔层设备中的保护测控装置的仿真设计方法,本发明提供的仿真设计方法并不局限于OPNET仿真软件,其余的通信网络仿真平台例如NS2、MATLAB等同样可实施。

[0077] 搭建应用层模块时已为间隔层设备的7层结构的应用层模块和3层结构的应用层模块分别设置唯一的模块ID,作为模块的身份标识。将7层结构的应用层模块的ID存储到3层结构的应用层模块中,同时,将3层结构的应用层模块的ID存储到7层结构的应用层模块中;3层结构的应用层模块和7层结构的应用层模块根据对方的模块ID相互授予对方访问权限,通过对方的应用层模块ID可进行数据访问和共享。

[0078] 第一步,构建保护测控装置的3层结构应用层模块。其中包括两个子模块,一个子模块pu_rec用于接收报文,另一个子模块pu_gen用于发送报文。

[0079] 接收报文字模块pu_rec在仿真中需要实现的状态及逻辑如下:

[0080] (1) 设置“init”状态

[0081] 转移条件:仿真开始;

[0082] 功能:初始化本模块的相关功能,获取进程模型运行所需的相关信息,为仿真做准备;

[0083] (2) 设置“idle”状态

[0084] 转移条件:“init”状态结束;“goose_process”状态结束;“sv_process”状态;“other_process”状态结束;

[0085] 功能:等待报文的到达,判断报文的类型;

[0086] (3) 设置“goose_process”状态

[0087] 转移条件:“idle”状态结束且GOOSE报文到达;

[0088] 功能:提取GOOSE报文中的信息,更新断路器状态信息,更新收包统计量信息;

[0089] (4) 设置“sv_process”状态

[0090] 转移条件:“idle”状态结束且SV报文到达;

[0091] 功能:提取SV报文中的电气量信息,更新收包统计量信息;根据所采取的保护测控功能算法对数据进行处理,决定是否触发跳合闸GOOSE信号;

[0092] (5) 设置“other_process”状态

[0093] 转移条件:“idle”状态结束且除了SV报文和GOOSE报文以外的报文到达;

[0094] 功能:对非GOOSE报文也非SV报文的报文进行销毁。

[0095] 如图4所示,接收报文字模块pu_rec的执行逻辑为:当OPNET仿真开始的时候触发仿真起始中断进入“init”状态;“init”状态执行完毕后直接进入“idle”状态,如果GOOSE报文到达后(GOOSE_ARRVL),触发流中断进入“goose_process”状态,“goose_process”状态结束后直接转移到“idle”状态,等待下一次流中断的到来;如果SV报文到达(PDU_ARRVL),触发流中断进入“sv_process”状态,“sv_process”状态结束后直接转移到“idle”状态,等待下一次流中断的到来;如果SV和GOOSE以外的报文到达后(OTHER_ARRVL),触发流中断进入“other_process”状态,“other_process”状态结束后直接转移到“idle”状态,等待下一次流中断的到来。

[0096] 发送报文字模块pu_gen在仿真中需要实现的状态及逻辑如下:

[0097] (6) 设置“init”状态

[0098] 转移条件:仿真开始;

[0099] 功能:初始化本模块的相关功能,获取进程模型运行所需的相关信息,为仿真做准备;

[0100] (7) 设置“heartbeat”状态

[0101] 转移条件:“init”状态结束;“heartbeat”状态结束且下一个心跳报文的发送时刻到达;“emergency”状态结束且GOOSE报文变周期发送的最后一个跳闸报文发送完毕;

[0102] 功能:按照GOOSE报文格式创建报文,将断路器不跳闸信号封装进所创建的报文的相应字段中,将报文沿着包流线输出到接口层,同时根据设置的GOOSE报文心跳间隔计算下一次发包时刻,且更新发包统计量;

[0103] (8) 设置“emergency”状态

[0104] 转移条件:“emergency”状态结束且下一个发送变周期报文的时刻到达;“heartbeat”状态结束且“sv_process”状态触发了跳闸信号;“heartbeat”状态结束且7层结构的应用层模块中的“arrival”状态被触发,根据7层结构的应用层模块ID进行对7层结构的应用层模块进行访问,并获取所需的数据信息,将数据信息封装至GOOSE报文并发送至下层模块;

[0105] 功能:按照GOOSE报文格式创建报文,将断路器跳闸信号封装进所创建的报文的相应字段中,将报文沿着包流线输出到接口层,同时根据设置的GOOSE报文变周期发包规律计算下一次发送变周期报文的时刻,且更新发包统计量。

[0106] 如图5所示,发送报文字模块pu_gen执行逻辑为:当OPNET仿真开始的时候触发仿真起始中断进入“init”状态,“init”状态结束后设置自中断进入“heartbeat”状态;“heartbeat”状态结束后,如果下一个心跳报文的发送时刻到达(PERIOD_SEND),触发自中断再次进入“heartbeat”状态;如果pu_rec模块的“sv_process”状态或7层结构应用层模块中的pu_application模块的“arrival”状态产生了跳闸信号(TRIP_ARRVL),触发远程中断进入“emergency”状态;“emergency”状态结束后,如果下一个变周期跳闸报文的发送时刻到达(REMAIN_EMERGENCY),触发自中断再次进入“emergency”状态;如果GOOSE报文最后一个变周期发送的跳闸报文发送完毕(JUMP_OUT_EMERGENCY),触发自中断进入“heartbeat”状态。

[0107] 第二步,构建保护测控装置的7层结构应用层模块。其中包括1个根模块pu_application和3个子模块:profile_manager,pu_manager,pu_client;

[0108] 对于保护测控装置,周期性上传或事件突变主动上送(跳闸导致保护动作发出),导致FTP业务的运行并要发出MMS报文,依次触发三个子模块,在pu_application根模块中,需要运行FTP业务(如保护业务)并发送MMS报文时,则触发自中断进入“profile”状态,并首先触发profile_manager子模块;在profile_manager子模块中,配置并整合该智能电子设备所要进行的FTP业务。如果需要对多个业务进行管理时,则启动应用管理pu_manager模块;在pu_manager子模块中,如果对单个业务的客户端行为进行模拟,则启动应用客户端pu_client模块,通过访问3层结构应用层模块获取所需信息。

[0109] 根模块pu_application在仿真中需要实现的状态及逻辑如下:

[0110] (1) 设置“init”状态

- [0111] 转移条件:仿真开始;“init”状态结束且模型中其它相关模块的初始化尚未完成;
- [0112] 功能:等待模型中其它相关模块的初始化完成;
- [0113] (2) 设置“start”状态
- [0114] 转移条件:“init”状态结束;
- [0115] 功能:初始化本模块的相关功能,获取进程模型运行所需的相关信息,为仿真做准备;
- [0116] (3) 设置“idle”状态
- [0117] 转移条件:“init”状态结束;“profile”状态结束;“arrival”状态;“arrival”状态结束;
- [0118] 功能:空闲状态,等待下一次中断到达,根据中断类型及中断码跳转到相应的工作状态;
- [0119] (4) 设置“profile”状态
- [0120] 转移条件:“idle”状态结束且需要运行保护业务;
- [0121] 功能:创建业务管理子模块profile_manager并向其传递相关的运行参数信息;
- [0122] (5) 设置“arrival”状态
- [0123] 转移条件:“idle”状态结束且MMS报文到达;
- [0124] 功能:提取并存储MMS报文中的相关信息,根据MMS报文中的指令信息进行相应操作,更新收包统计量信息。
- [0125] 如图6所示,根模块pu_application的执行逻辑为:当OPNET仿真开始的时候触发仿真起始中断进入“init”状态,并在init状态自身进行跳转以等待模型中其余模块初始化的完成(INIT_WAIT);当其余模块初始化完成后(INIT_COMPLETE)进入“start”状态,进行自身的初始化;“start”状态结束后进入“idle”状态,如果保护测控装置需要发送MMS报文(PROFILE_START),触发自中断进入“profile”状态,“profile”状态结束后直接转移到“idle”状态,等待下一次中断的到来;如果MMS报文到达(ARRVL),触发流中断进入“arrival”状态,“arrival”状态结束后直接转移到“idle”状态,等待下一次中断的到来。
- [0126] 子模块profile_manager在仿真中需要实现的状态及逻辑如下:
- [0127] (1) 设置“init”状态
- [0128] 转移条件:profile_manager模块被创建且唤醒;
- [0129] 功能:初始化本模块的相关功能,获取进程模型运行所需的相关信息,为仿真做准备;
- [0130] (2) 设置“idle”状态
- [0131] 转移条件:“init”状态结束;“spawn”状态结束;
- [0132] 功能:空闲状态,等待下一次中断到达,根据中断类型及中断码跳转到相应的状态;
- [0133] (3) 设置“spawn”状态
- [0134] 转移条件:“idle”状态结束且需要进行保护应用管理进程的创建;
- [0135] 功能:根据需要创建保护测控装置的应用管理进程pu_manager并向其传递相关的运行参数信息;
- [0136] (4) 设置“end”状态

- [0137] 转移条件：“idle”状态结束且profile_manager所管理的业务已经结束；
- [0138] 功能：销毁profile_manager进程本身并释放所有内存。
- [0139] 如图7所示，子模块profile_manager的执行逻辑为：当profile_manager被创建并唤醒时进入“init”状态，进行自身的初始化；“init”状态结束进入“idle”状态，如果需要创建保护应用管理进程(APPLICATION_SPAWN)，触发自中断进入“spawn”状态，“spawn”状态结束后直接转移到“idle”状态，等待下一次中断的到来；profile_manager所管理的业务已经结束(PROFILE_END)时触发自中断进入“end”状态。
- [0140] 子模块pu_manager在仿真中需要实现的状态及逻辑如下：
- [0141] (1) 设置“init”状态
- [0142] 转移条件：pu_manager模块被创建且唤醒；
- [0143] 功能：初始化本模块的相关功能，获取进程模型运行所需的相关信息，为仿真做准备；
- [0144] (2) 设置“idle”状态
- [0145] 转移条件：“init”状态结束；“spawn”状态结束；
- [0146] 功能：空闲状态，等待下一次中断到达，根据中断类型及中断码跳转到相应的状态；
- [0147] (3) 设置“spawn”状态
- [0148] 转移条件：“idle”状态结束且需要进行保护应用客户端进程的创建；
- [0149] 功能：根据需要创建并唤醒应用客户端进程pu_client并向其传递相关运行参数信息；
- [0150] (4) 设置“end”状态
- [0151] 转移条件：“idle”状态结束且pu_manager所管理的保护应用业务已经结束；
- [0152] 功能：销毁pu_manager进程本身并释放所有内存。
- [0153] 如图8所示，子模块pu_manager的执行逻辑为：当pu_manager被创建并唤醒时进入“init”状态，进行自身的初始化；“init”状态结束进入“idle”状态，如果需要创建保护应用客户端进程(SPAWN_CLIENT)，触发自中断进入“spawn”状态，“spawn”状态结束后直接转移到“idle”状态，等待下一次中断的到来；pu_manager所管理的应用已经结束(END_OF_APPLICATION)触发自中断进入“end”状态。
- [0154] 子模块pu_client在仿真中需要实现的状态及逻辑如下：
- [0155] (1) 设置“open”状态
- [0156] 转移条件：pu_client模块被创建且唤醒；
- [0157] 功能：初始化本模块的相关功能，打开与下层模块之间的连接。根据3层结构的应用层模块ID对3层结构的应用层模块进行访问，并获取所需的数据信息。将数据信息封装至MMS报文并发送至下层模块；
- [0158] (2) 设置“wait”状态
- [0159] 转移条件：“open”状态结束且与下层模块之间的连接打开成功；“wait”状态结束且没有接收到全部来自下层的关闭指令报文分段；
- [0160] 功能：接收并组装来自下层的关闭指令报文；
- [0161] (3) 设置“close”状态

[0162] 转移条件：“open”状态结束且与下层模块之间连接打开失败；“wait”状态结束且收到来自下层模块之间关闭指令；

[0163] 功能：关闭与下层模块之间的连接，销毁pu_client进程本身并释放所有内存。

[0164] 如图9所示，子模块pu_client的执行逻辑为：当pu_client被创建并唤醒时进入“open”状态；与下层模块的连接打开成功(ESTAB)时“open”状态结束进入“wait”状态；“wait”状态结束且没有接收到全部来自下层的关闭指令报文分段(DEFAULT)，则重新转移到“wait”状态，继续等待关闭指令报文分段；“wait”状态结束且接收到全部来自下层的关闭指令报文分段(CLOSED)，则进入“close”状态；与下层模块之间连接打开失败(ABORT||CLOSED)时“open”状态结束进入“close”状态。

[0165] 第三步，构建保护测控装置间隔层的接口层模块pu_intf，在仿真中需要实现的状态及逻辑如下：

[0166] (1) 设置“init”状态

[0167] 转移条件：仿真开始；

[0168] 功能：在仿真启动时初始化本模块的相关功能，获取进程模型运行所需的相关信息，为仿真做准备；

[0169] (2) 设置“init2”状态

[0170] 转移条件：“init”状态结束；

[0171] 功能：等待数据链路层中所有子模块初始化完成；

[0172] (3) 设置“wait”状态

[0173] 转移条件：“init2”状态结束；

[0174] 功能：创建一个链表用于记录所连接的数据链路层中所有子模块的信息(包括数量以及包流线的索引)；

[0175] (4) 设置“idle”状态

[0176] 转移条件：“wait”状态结束；“app layer arrival”状态结束；“mac layer arrival”状态结束；

[0177] 功能：等待报文的到来，判断收到的报文的来源；

[0178] (5) 设置“app layer arrival”状态

[0179] 转移条件：“idle”状态结束且3层结构的应用层模块或7层结构的应用层模块的报文到达；

[0180] 功能：如果是3层结构的报文到达，将报文的地址设置为广播地址并将其沿着包流线发送到所有3层结构所对应的数据链路层子模块中。如果是7层结构的报文到达，将其发送到7层结构所对应的数据链路层子模块中；

[0181] (6) 设置“mac layer arrival”状态

[0182] 转移条件：“idle”状态结束且数据链路层的报文到达；

[0183] 功能：如果是3层结构所对应的数据链路层的报文到达，将其沿着包流线发送到3层结构的应用层模块中；如果是7层结构所对应的数据链路层的报文到达，将其沿着包流线发送到7层结构的的上应用层模块中。

[0184] 如图10所示，接口层模块pu_intf执行逻辑为：当OPNET仿真开始的时候触发仿真起始中断进入“init”状态，“init”状态执行完毕后设置自中断进入“init2”状态，“init2”

状态执行完毕后设置自中断进入“wait”状态，“wait”状态执行完毕后设置自中断进入“idle”状态，如果上层的数据包到达后 (APPL_LAYER_PKT_ARRVL)，触发流中断进入“app layer arrival”状态，“app layer arrival”状态执行完毕后直接转移回到“idle”状态，等待下一次流中断的到来；如果下层的数据包到达后 (MAC_LAYER_PKT_ARRVL)，触发流中断进入“mac layer arrival”状态，“mac layer arrival”状态执行完毕后直接转移回到“idle”状态，等待下一次流中断的到来。

[0185] 第四步，构建保护测控装置的代表层模块、会话层模块、传输层模块、网络层模块、数据链路层模块、物理层模块。

[0186] OPNET中包含了符合OSI标准的模型，其中，某一层的功能可能由多个子模块进行实现，单个模块也可以用于实现多层的功能。

[0187] 第五步，将构建的各模块嵌入常规的OSI标准模型中使数据包沿包流线传递。模型构建完毕后，为了允许用户通过参数的设置来控制数据的读取和模型的行为，给模型设置可以由用户自定义的外部属性包括：7层结构的相关属性设置，保护算法的相关属性设置，3层结构的相关属性设置。

[0188] 通过本实施例在OPNET平台中对保护测控装置节点模型的建模，使得仿真过程中的保护测控装置具有同时处理MMS报文、SV报文、GOOSE报文的能力，两种网络结构的数据可以交互共享；在应用层和数据链路层之间增加接口层使得数据实现从应用层直接映射到数据链路层，使得收发的报文带有真实的电气量信息。

[0189] 以上实施例仅用以说明本发明的技术方案，而非对其限制；尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明，本领域的技术人员应当理解：其依然可以对前述实施例所记载的技术方案进行修改，或者对其中部分技术特征进行等同替换；而这些修改或者替换，并不使相应技术方案的本质脱离本发明实施例技术方案的精神和范围。

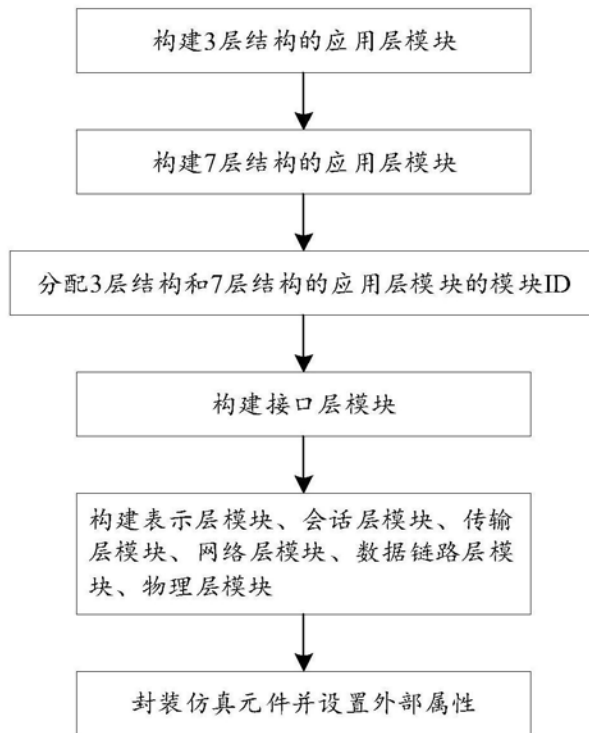


图1

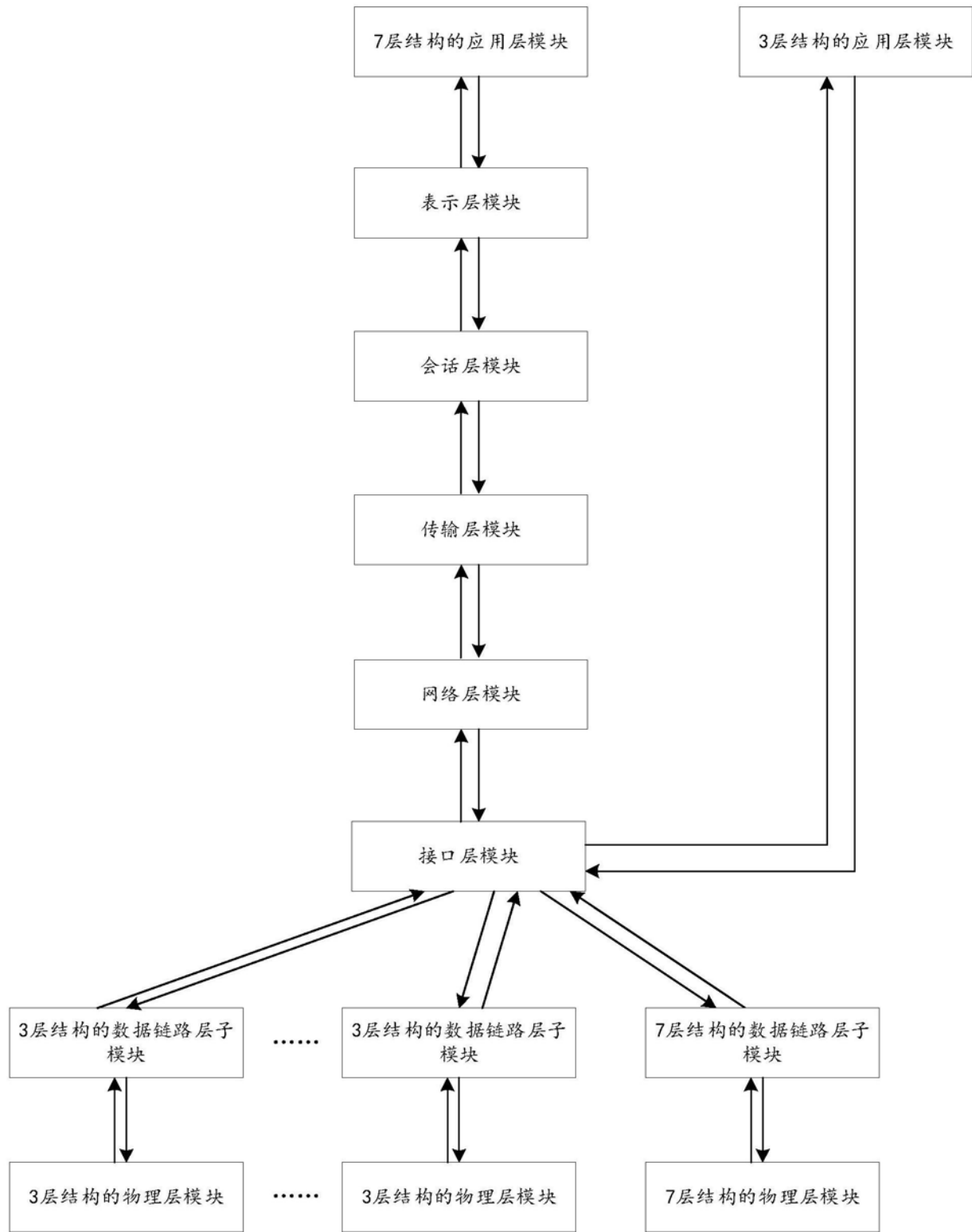


图2

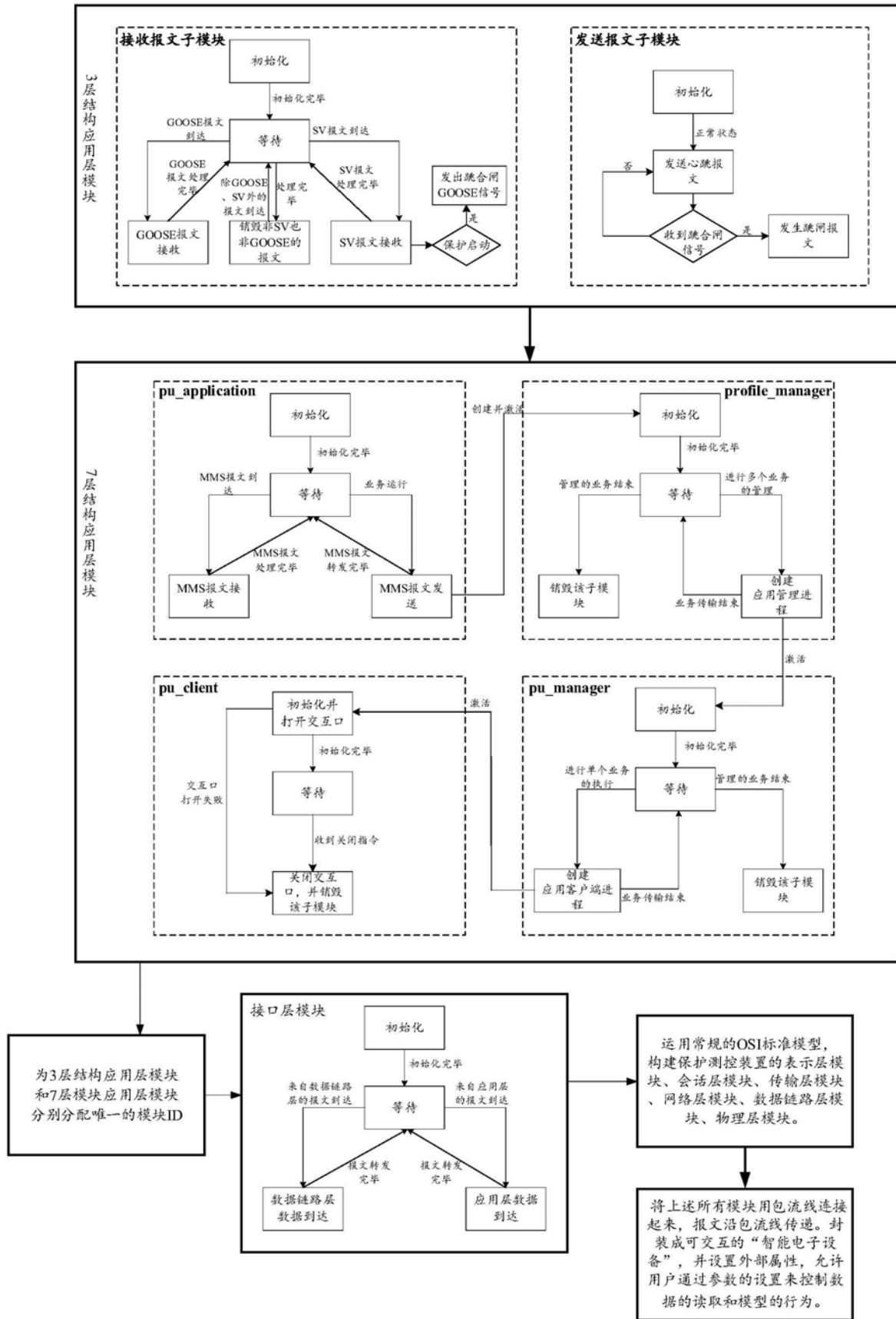


图3

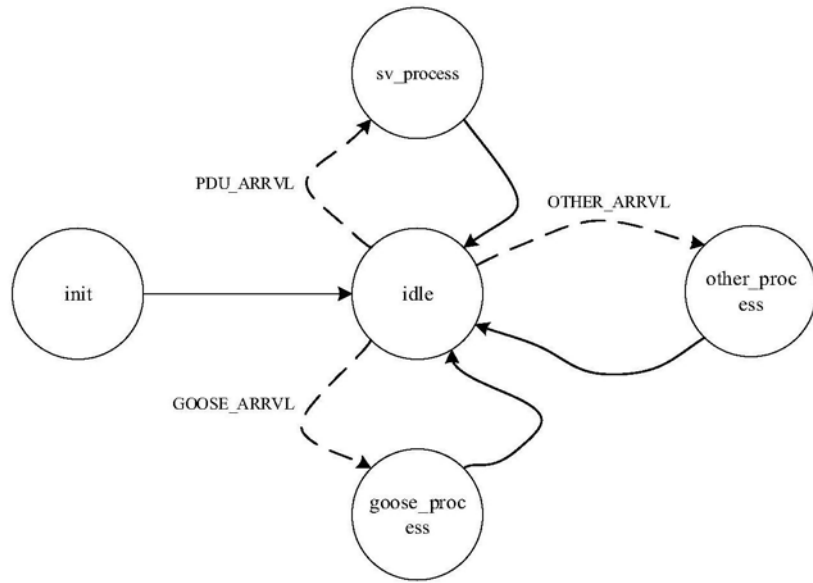


图4

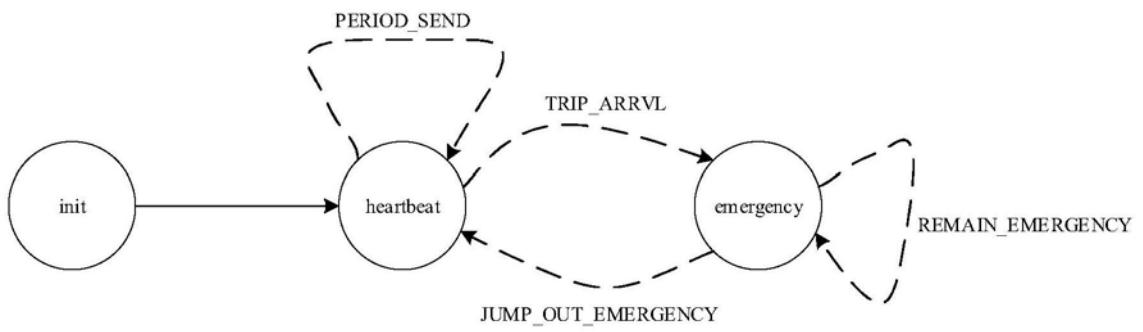


图5

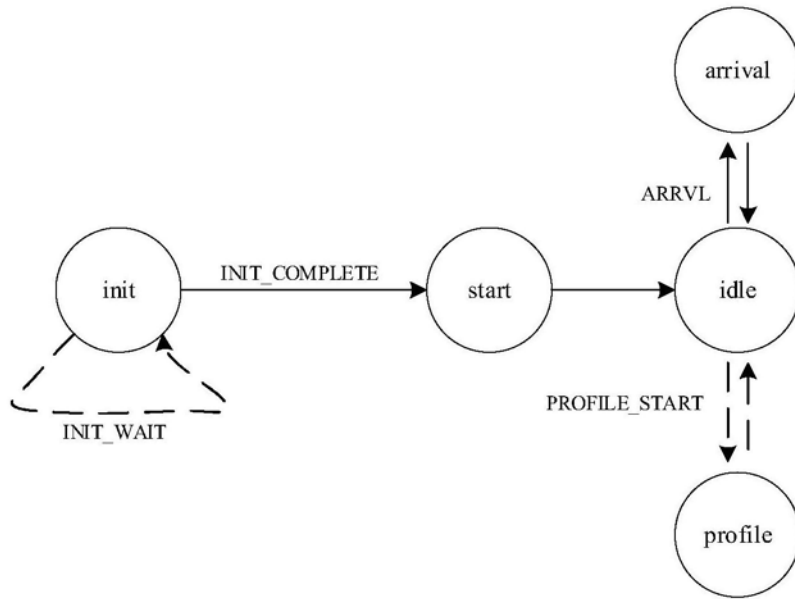


图6

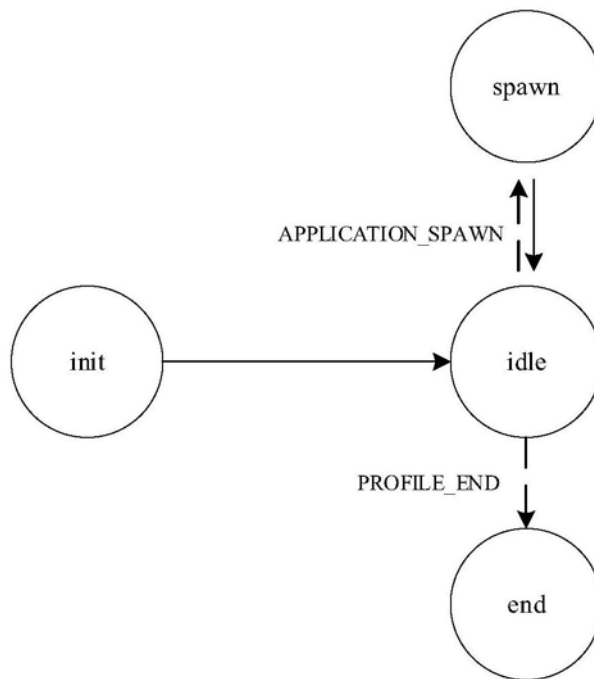


图7

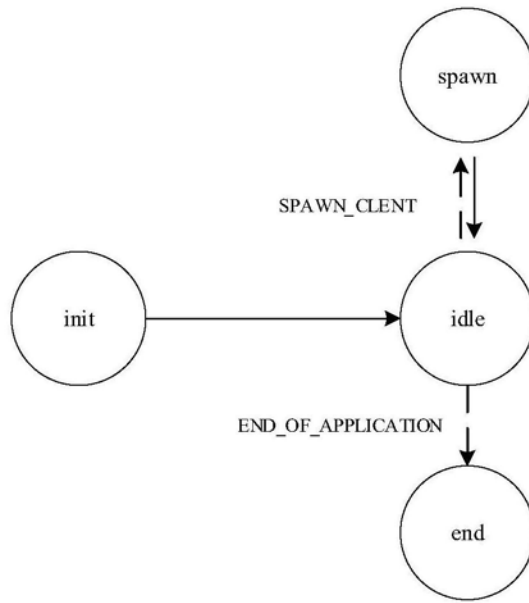


图8

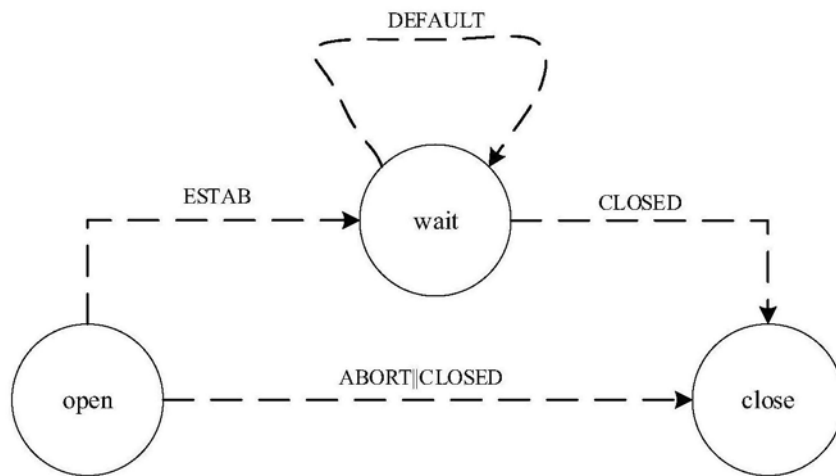


图9

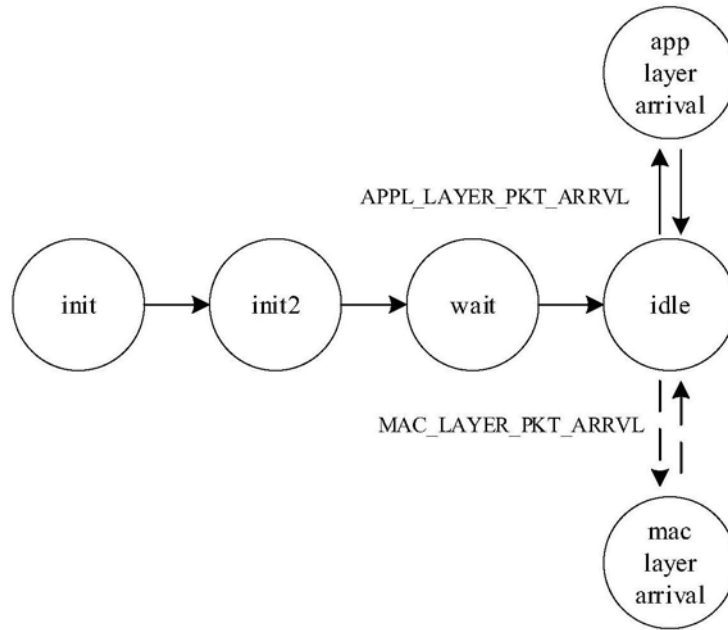


图10