[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
H04L 12/56 (2006.01)
H04L 12/26 (2006.01)

[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200510132972.7

[45] 授权公告日 2010 年 3 月 17 日

[11] 授权公告号 CN 100594699C

[22] 申请日 2005.12.29
[21] 申请号 200510132972.7
[30] 优先权
[32] 2004.12.29 [33] US [31] 11/027,873
[73] 专利权人 阿尔卡特公司
地址 法国巴黎市
[72] 发明人 保罗·奇 阿尼斯·纳辛
马克·阿兰·桑特雷
罗伯特·德克斯特
[56] 参考文献
CN1553632A 2004.12.8
US6134219A 2000.10.17
US2003/0012141A1 2003.1.16
审查员 王 澍

[74] 专利代理机构 北京市金杜律师事务所
代理人 王茂华

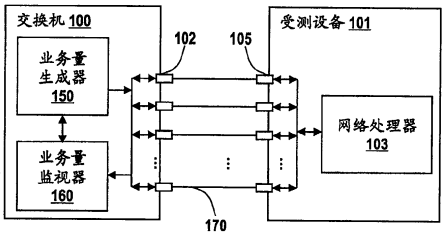
权利要求书 2 页 说明书 15 页 附图 7 页

[54] 发明名称

用于进行业务量生成的方法和装置

[57] 摘要

公开了一种数据通信网络中的交换机，用于除了标准的交换和路由选择操作之外还进行业务量生成。 该交换机利用在常规交换机缓冲器中保持的固定数量的测试包，以产生一个或多个传输到受测路由器(RUT)的无限包流。 该交换装置使包在优先级队列中入队，使包从优先级队列中出队，将出队的包传输到 RUT，以及使出队的包的副本重新入队到它们从其中出队过的优先级队列中。 入队的包和指向包的关联指针被组织到链表中。 通过将每个出队的包的副本重写到链表的尾部并且更新指针，该交换机生成了可重复的测试包流。 优先级缓冲器在没有重写操作的情况下还可被用于常规的出口业务量。



1. 一种在包括受测设备的网络之内的数据通信交换装置中进行业务量生成的方法，包括:

接收第一多个协议数据单元，所述协议数据单元寻址到经过所述交换装置可到达的一个或多个目标节点;

预备所述第一多个协议数据单元用于转发到一个或多个目标节点;

在业务量生成器处生成第二多个测试协议数据单元;

使所述第一多个协议数据单元和第二多个测试协议数据单元在多个优先级队列中入队;

使所述第二多个测试协议数据单元与链表相关联; 以及

使所述第二多个测试协议数据单元从所述多个优先级队列中出队。

2. 根据权利要求 1 的进行业务量生成的方法，其中所述第二多个测试协议数据单元与至少一个链表相关联，利用所述至少一个链表使所述第二多个测试协议数据单元从所述多个优先级队列中出队。

3. 根据权利要求 2 的进行业务量生成的方法，其中所述第一多个协议数据单元与指向所述多个优先级队列的第一组指针相关联，所述第二多个测试协议数据单元与指向所述多个优先级队列的第二组指针相关联。

4. 根据权利要求 3 的进行业务量生成的方法，其中所述使所述第二多个测试协议数据单元从所述优先级队列中出队的步骤包括步骤:

释放所述第二多个测试协议数据单元之一用于传输到所述受测设备; 以及

取回指向待释放的下一测试协议数据单元的链表指针，其中所述链表指针是利用所述链表从所述第二组指针中选择的。

5. 根据权利要求 3 的进行业务量生成的方法，其中所述方法还包括步骤:

使所述第一多个协议数据单元从所述多个优先级队列中出队; 以及

使所述第一多个协议数据单元与所述第一组指针去关联。

6. 一种用于在包括受测设备的数据通信网络中进行业务量生成的数据通信交换装置，所述交换装置包括:

业务量生成器，用于生成第二多个测试协议数据单元;

第一组至少一个优先级队列；以及

队列管理器，适于:

使第一多个协议数据单元和第二多个测试协议数据单元在所述至少一个优先级队列中入队;

选择性地使所述第二多个测试协议数据单元与至少一个链表相关联;

使用所述至少一个链表，使所述第二多个测试协议数据单元从所述至少一个优先级队列中重复地出队。

7. 根据权利要求 6 的交换装置，其中所述至少一个优先级队列的每一个包括链表，每个链表包括多个指针，每个指针与所述多个入队的协议数据单元之一相关联。

8. 根据权利要求 6 的交换装置，其中所述至少一个优先级队列是先入先出存储器。

9. 根据权利要求 6 的交换装置，其中所述交换装置是多层交换机，适于按照开放式系统互连参考模型的第 1 层和第 2 层来进行交换和路由选择操作。

10. 根据权利要求 9 的交换装置，其中所述交换装置还包括用于缓冲一个或多个出口协议数据单元的第二组至少一个优先级队列。

11. 根据权利要求 6 的交换装置，还包括:

调度器，适于使所述第一多个协议数据单元和所述第二多个测试协议数据单元从所述至少一个优先级队列中出队，其中所述调度器使用从包括严格优先级、轮询和加权公平排队的群组中选择的带宽分配方案来使所述第一多个协议数据单元和所述第二多个测试协议数据单元出队。

用于进行业务量生成的方法和装置

技术领域

本发明涉及用于传输包以询问网络装置以及基于返回的包来评价其性能的技术。本发明尤其涉及这样的系统及方法，其用于利用交换机或路由器来生成和传输测试包到受测设备，同时将常规包传输到经过该系统可到达的其他节点。

背景技术

业务量生成器在数据通信网络中被用来将伪业务量传输到“受测装置”，一般是路由器或交换机。如果连接业务量生成器和受测装置以便形成一个或多个传输回路，则业务量生成器可从受测装置回收伪业务量，用于监视该装置的能力的目的，以模拟实际消息命令下恰当地分类、缓冲和转发数据业务量。然而，在现有技术中，部分是由于对于越来越高速度的处理器和存储器的需求，业务量生成器是具有高的每端口成本的专用装置，这例如是因为业务量生成器必须能够实现与受测路由器和交换机相同的传输速率。因此就有了在保持现代路由器和交换机的传输速率的同时降低业务量生成器的每端口成本的需要。

发明内容

本发明在一些实施例中的特征表现为这样的系统及方法，其能够使网络交换机或路由器除了标准的交换和路由选择操作之外且优选为与这些操作同时地进行业务量生成和监视。本发明使得网络切换装置配置于网络中，以便以减少的成本和更大的便利来探查和评价受测路由器(RUT)。一些实施例中的交换装置包括第一组至少一个优先级队列以及队列管理器。该队列管理器适于使包在优先级队列的每一个中入队、使包从该优先级队列中出队、以及使出队的包重新入队到它们从其中出队

过的优先级队列中。优先级队列优选地是先入先出(FIFO)存储器，适于保持多个包以及与这些包的每一个相关联的指针。令这些指针指向队列中的后续包。因此队列的每一个是具有包在其中入队的尾部和包从其中出队的头部的链表。当优先级队列适于对指定用来探查 RUT 的测试包进行缓冲时，每个出队的包的副本在同一优先级队列的尾部处被重写，链表得以更新。同一类型的优先级缓冲器还可用来对常规的出口业务量进行缓冲和出队，只有出队的包被传输到 RUT 而不是重新入队。通过重复使测试包重新入队的过程，该交换装置能够利用在常规交换机缓冲器中保持的固定数量的测试包，来将无限的包流指引到 RUT。

附图说明

本发明在附图的各图中通过实例和非限制性地来说明，在附图中：

图 1 是按照本发明第一实施例用于执行业务量生成和监视的网络的功能框图；

图 2 是按照本发明第一实施例适于进行业务量生成(TG)和监视操作的多层交换机的功能框图；

图 3 是按照本发明第一实施例用于缓冲常规包和测试包二者的队列管理器的功能框图；

图 4 是按照本发明第一实施例的链接列表的示意图，其包括用于以连续的循环输出测试包的多个链接列表(LL)指针；

图 5 是按照本发明第一实施例用于在多层交换机中实现业务量生成的入队控制器和出队控制器的功能框图；

图 6 是按照本发明第二实施例适于进行业务量生成和监视(TCM)操作的企业交换机的功能框图；

图 7 是按照本发明第二实施例用于进行业务量生成和监视(TGM)操作的 TGM 启动交换模块的功能框图；

图 8 是按照本发明第二实施例的方法的流程图，入队控制器通过该方法来缓冲针对给定优先级队列的测试包；以及

图 9 是按照本发明第二实施例的方法的流程图，出队控制器通过该

方法来释放针对缓冲器的给定优先级队列的测试包。

具体实施方式

图 1 中图示了用于执行业务量生成和监视的网络的功能框图。该网络包括第一节点 100，用于将一个或多个测试包传输到第二节点 101，用于评价第二节点 101 的能力的目的，以便恰当地处理网络业务量。在优选实施例中，第一节点 100 是多层交换机，适于以测试包来询问第二节点 101，然后在它们返回到第一节点 100 时评价该测试包。在此称为受测设备(EUT)的正在受到询问的第二节点一般在测试包被发送回到第一交换机 100 之前接收、分类和缓冲这些测试包。多层交换机 100 和 EUT 101 可以是可操作地耦接于例如在局域网(LAN)、广域网(WAN)、城域网(MAN)或因特网中具体化的数据通信网的多个节点以及其他可寻址实体中的两个。

多层交换机 100 优选地包括业务量生成器 150，其适于产生一个或多个仿真包流，这些包流然后经由网络段 170 例如网络线缆从一个或多个本地端口 102 传输到 EUT 101 的端口。一旦收悉，EUT 101 的网络处理器 103 一般进行用以将测试包传输到 EUT 101 的适当端口 105 所必需的切换和路由决策。如果业务量生成器 150 生成开放式系统互连(OSI)参考模型的第 3 层即网络层的包，这些包去往 EUT 101 的端口 105 之一，同时将这些包传输到 EUT 101 的不同端口 105，则 EUT 通常对这些包进行分类、缓冲以及然后传输回到多层交换机 100，它们在这里由业务量监视器 160 评价。交换机 100 然后可比较由业务量生成器 150 传输的测试包，以确定 EUT 101 是否表现得与适用协议和设计规范相一致。

按照优选实施例，与专用的业务量生成器/监视器相比较，多层交换机可适于作为具有显著减少的每端口成本的业务量生成器。特别地，单机交换机或企业交换机可适于一体化合并业务量生成器 150 和业务量监视器，由此利用交换机的高速处理资源，从而对于交换性能的破坏性影响(如果有的话)最小。

图 2 中示出了适于进行业务量生成(TG)和监视操作的多层交换机的

功能框图。优选实施例的交换机 100 包括一个或多个网络接口模块(NIM)204、一个或多个交换控制器 206、管理模块 220、业务量生成器 150 和业务量监视器 160，它们都协作用以经由外部端口 102 的每一个来接收入口数据业务量和发送出口数据业务量。出于此实施例的目的，从另一网络节点进入交换机 100 中的数据在此称为入口数据，其包括入口协议数据单元(PDU)。相对照地，内部传播到外部端口 102 用于传输到另一网络节点的数据被称为出口数据，其包括出口 PDU。多个外部端口 102 的每一个是适于接收入口数据和发送出口数据的双工端口。

NIM 204 优选地包括一个或多个适于经由网络通信链路 107 来交换 PDU 例如以太网帧的物理层接口和介质访问控制(MAC)接口。借助于一个或多个入口数据总线 205A 将入口 PDU 从多个 NIM 204 运送到交换控制器 206。类似地，经由一个或多个出口数据总线 205B 将出口 PDU 从交换控制器 206 传输到多个 NIM 204。

管理模块 220 一般包括用于保持和实施业务量策略的策略管理器 224。策略管理器 224 实施的策略优选地部分基于从源学习操作中导出的第 2 层和/或第 3 层寻址信息、从其他路由选择装置接收的路由信息、以及利用例如简单网络管理协议(SNMP)报文 226 经由配置管理器 222 由网络管理员上传的过滤规则。令从源学习、其他网络节点和管理员导出的业务量策略可用于路由选择引擎 230 并且由转发表 254 统一地代表。

除了业务量策略之外，管理模块还可用来将业务量生成和监视(TGM)指令传输到业务量生成器 150 以及传输来自业务量监视器 160 的 TGM。

交换机 100 优选地包括至少一个交换控制器 206，其能够但不限于进行如开放式系统互连(OSI)参考模型中定义的第 2 层(数据链路层)和第 3 层(网络层)交换操作。用于可操作地将外部端口 102 耦接至有线和/或无线通信链路的可能的第 2 层协议集包括 Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) 802.3 和 IEEE 802.11 标准，而可能的第 3 层协议集包括 Internet Engineering Task Force (IETF) Request for

Comment (RFC) 791 中定义的 Internet Protocol (IP)第 4 版和 IETF RFC 1883 中定义的 IP 第 6 版。

交换控制器 206 优选地包括路由选择引擎 230、转发表 254、队列管理器 240 以及业务量生成器 150 和业务量监视器 160。路由选择引擎 230 又包括分类器 232，其从数据总线 205A 接收入口 PDU，检查 PDU 的一个或多个字段，利用内容可寻址存储器 233 将 PDU 分类成多个流中的一个，以及从高速存储器中保持的转发表 254 取回转发信息。从转发表 254 取回的转发信息优选地包括但不限于流标识符，该流标识符用来指定例如对于预备出口的特定 PDU 所必需的那些转发操作。

转发处理器 234 接收与转发信息相关联的入口 PDU，以及在传输到适当的一个或多个出口端口之前执行一个或多个转发操作。例如，这些转发操作优选地包括但不限于用于重新封装数据的报头变换、用于将一个或多个 VLAN 标签附加到 PDU 的 VLAN 标签压入、用于从 PDU 去除一个或多个 VLAN 标签的 VLAN 标签弹出、用于保留网络资源的服务质量(QoS)、用于监视客户业务量的计费和账务、多协议标记切换(MPLS)管理、用于选择性地过滤 PDU 的认证、访问控制、包括地址解析协议(ARP)控制的高层学习、用于针对业务量分析来再产生和重定向 PDU 的端口镜像、源学习、用于确定向 PDU 分配交换机资源时依据的相对优先权的服务分类(CoS)、以及用于监管和业务量形成的色彩标记。

在转发处理器 234 之后，PDU 被传递并存储于队列管理器 240 中，直至带宽可用来传输 PDU 到适当的出口端口。具体来说，出口 PDU 被缓冲于缓冲器 242 中多个优先级队列的一个或多个中，直至它们经由输出数据总线 205B 由调度器 244 传输到外部端口 102。

按照优选实施例，TGM 启动的交换机 100 还包括业务量生成器 150 和业务量监视器 160。业务量生成器 150 适于仿真业务量流以评价另一网络节点的包处理操作。具体来说，优选实施例中的业务量生成器 150 适于生成与一个或多个不同流相关联的一个或多个测试 PDU，这里称为 TG-PDU。在优选实施例中，TG-PDU 按照网络管理员提供的标准由业务量生成器 150 生成。TG-PDU 流一般以特定的源地址和目标地址为特

征，尽管 TG-PDU 可能浸染有在 EUT 101 处受测的一个或多个其他的包属性。TG-PDU 例如可具有源和目标地址、协议类型、包括 802.1Q 标签的一个或多个 VLAN 标签、包括 802.1p 优先级的优先级和服务质量(QoS)标志符的任何组合。

TG-PDU 优选地具有与来自路由选择引擎 230 的常规交换 PDU 相同的交换机内格式。在优选实施例中，传输到队列管理器 240 的常规 PDU 以及由此得到的 TG-PDU 包括在交换机 100 内部使用的包描述符，用以在处理实体之间传送处理指令。包描述符优选地例如包括队列标识符(QID)，其用以指定待缓冲相关联的 PDU 或 TG-PDU 的缓冲器 242 的一个或多个优先级队列。包描述符还可包括 TG 标记，队列管理器 240 利用其将真正的业务量流与仿真的业务量流区分开。

虽然业务量生成器 150 还可动态地实时生成 TG-PDU，但是一些实施例中的业务量生成器 150 适于将一个或多个预生成的 TG-PDU 序列存储到业务量生成器数据库(TGDB)252 中。保持于 TGDB252 中的预生成的 TG-PDU 序列，也称为 TG 流，然后根据需要被取回并传输到队列管理器 240。具体来说，TG-PDU258 被注入到来自路由选择引擎 230 的数据流 238 以及作为输入提供到队列管理器 240 的出口包和测试包的汇合中。一旦收悉，队列管理器 240 在服务于常规入口包流的其他优先级队列之中的专用优先级队列(也称为虚拟输出队列(VOQ))中缓冲 TG-PDU。TG-PDU 入队于其中的每个 VOQ 的出口端口，并且最大传输速率优选地在与每个虚拟输出队列相关联的 QoS 特征文件中被说明。因此交换机 100 适于在进行 TGM 操作的同时进行标准的业务量转发操作，而不干扰经过交换机 100 传播的常规 PDU。

在一些实施例中，交换机 100 还包括业务量监视器 160，其适于检查传输到 EUT 101 和从 EUT 101 返回的 TG-PDU。通过将传输到 EUT 101 的 TG-PDU 与返回的 TG-PDU 做比较，业务量监视器 160 导出并编辑足以用来评价 EUT 101 性能度量的统计。性能度量优选地包括从 EUT 101 接收的 TG-PDU 的数量、由 EUT 101 恰当地修改过的 TG-PDU 的数量、以及未由 EUT 101 恰当地修改过的那些 TG-PDU 所具有的问题性

质。

图 3 中图示了用于缓冲常规 PDU 和测试 PDU 二者的队列管理器的功能框图。包括来自路由选择引擎 230 的常规 PDU 和来自业务量生成器 150 的 TG-PDU 的汇合 PDU310 被传输到缓冲器 242，这些包在多个优先级队列 302 之一中被入队。在优选实施例中，每个 PDU310 与包含 QID 的包描述符一起被传输，该 QID 指定该 PDU 将被缓冲到的特定优先级队列 302。例如，取代包描述符，与 PDU 相关联的 QID 可经由分离的信令通道传送到缓冲器 242。

每个单独的优先级队列 302 适于保持多个 PDU，这些 PDU 随后由调度器 244 朝着指定的出口端口 102 传输。调度器 244 优选地按照各种时分复用算法中的一种来使 PDU 从多个优先级队列 302 中出队，上述算法被用来有效地利用交换结构带宽，同时优化将带宽的少量部分分配给队列 302 时的公平度。严格优先级、加权公平排队(WFQ)和轮询是本领域的普通技术人员所公知的若干排队方案，本发明可利用它们来实施。对于调度器 244，可将 TG-PDU 与来自路由选择引擎 230 的常规 PDU 区分开，因此按照缓冲它们的队列的优先级和传输速率来传输。

在优选实施例中，多个优先级队列 302 根据出口端口和服务类别来组织。优先级队列 302 的第一组 304 例如与交换机 100 的单独外部端口 102 相关联，包括与四个不同服务类别相关联的四个优先级队列 302。例如，单独的优先级队列 302 可以是先入先出(FIFO)缓冲器，或者是随机存取存储器(RAM)中保持的队列，其中它们通过队列管理软件来服务。

在优选实施例中，选择用来缓冲测试 PDU 的缓冲器 242 内的多个优先级队列中的每个队列 302 仅存储 TG-PDU。然而，剩余的优先级队列 302 继续缓冲来自路由选择引擎 230 的常规 PDU，包括寻址到经过交换机 100 可到达的其他节点的第 2 层帧和第 3 层包。选择用来缓冲非测试 PDU 的优先级队列在此称为常规优先级队列，而用于 TG-PDU 的优先级队列在此称为 TG 优先级队列。与常规 PDU 相关联的或者用于 TG-PDU 的优先级队列 302 的数量是随着出口端口、与每个优先级队列

相关联的优先级、TG-PDU 流的数量、TG-PDU 的帧格式和长度、以及 TG 优先级队列的传输速率而可编程地变化着的。

常规优先级队列和 TG 优先级队列二者借助于指向缓冲器中的存储器单元的队列指针而入队到缓冲器 242 和从该缓冲器出队。这些指针被分配用来临时存储 PDU，以及稍后在新数据被接收时被重新分配。在缓冲之前将指针分配给 PDU 是由入队控制器 320 管理的，这些指针在 PDU 出队之后的捕获或返回是由出队控制器 322 管理的。入队控制器 320 将指针分配给传输到队列管理器 240 的每个 PDU，相关联的 PDU 在由队列指针指示的存储器地址处被存储于缓冲器 242 中。如下更为具体描述的，优选实施例中的入队控制器 320 还适于生成链表，其用于以连续的循环输出每个 TG 优先级队列。

如图 4 中所示，链表 400 包括多个元素，每个元素包括 TG 包栏 410 中描绘的 TG-PDU 和关联链表(LL)指针栏 420 中描绘的关联 LL 指针。链表 400 的每个元素被保持于缓冲存储器中，其开始于地址栏 430 中描绘的存储器地址处。一般来说，给定元素的 LL 指针 420 具有该链表中的下一元素的存储器地址 430 的值。例如，头部 LL 指针“POINTER_0 422”指向开始于第二存储器地址“ADDR_1 432”处的第二 TG-PDU “PACKET_1 412”。因此链表 400 是节点链，其每个后续节点是先前节点的子节点。然而，按照优选实施例，最后元素的最后的 LL 指针“POINTER_N 424”具有与链表 400 中的第一元素相关联的第一存储器地址“ADDR_0 434”的值，因此指向头部 TG-PDU “PACKET_0”。

图 5 中图示了用于在多层交换机中实现业务量生成的入队控制器和出队控制器的功能框图。入队控制器 320 和出队控制器 322 被图示为与单个优先级队列 502 相互协作，该队列是缓冲器 242 的多个优先级队列 302 之一。该优先级队列 502 包括多个存储器单元，PDU 被存储到它们中和从它们取回。指针指向每个 PDU，每个指针由队列管理器 240 跟踪。

在优选实施例中，队列控制器 320 包括指针分配模块 510 和自由指针模块 512。如果优先级队列 502 配置为 TG 优先级队列，则入队控制器 320 还包括与优先级队列 502 相关联的链表 400。指针分配模块 510

适于在相应的优先级队列 502 中接收 PDU 530 和使它们入队，PDU530 包括常规 PDU 和 TG-PDU。指针分配模块 510 包括写指针 540，其指向所接收的 PDU 530 被写到的缓冲器存储器地址。写指针 540 被设为等于优先级队列 502 中可用的缓冲器存储器单元的地址。下一缓冲器存储器单元的地址是从维护指针的记录的自由指针模块 512 取回的，这些指针指向在 PDU 被调度器 244 释放时变得可用的存储器单元。

如果优先级队列 502 是 TG 优先级队列且 PDU 512 是 TG-PDU，则入队控制器 320 利用来自业务量生成器 150 的 TG-PDU 来构造链表 400。在这样做时，指向 TG-PDU 502E 的指针被分配给用于链表 400 中的先前元素的 LL 指针，即与 TG-PDU 502D 相关联的 LL 指针。如果 TG-PDU 502E 是正在由业务量生成器 150 下载到优先级队列 502 的一连串 PDU 502A-502D 的末尾，则令用于末尾 TG-PDU 502E 的指针字段 420 指向与第一 PDU 502A 相关联的存储器地址，由此以闭合循环的形式来完成链表 400 的组装。

优选实施例中的出队控制器 322 包括 TG 模式多路复用器 516、指针丢弃 518 和 LL 指针(LLP)读取器 520。出队控制器生成指向优先级队列 502 的读指针 542，在带宽变得可用时从该队列读出 PDU 并释放该 PDU 到调度器 244。在优选实施例中，从中读取 PDU 的优先级队列 502 通过由调度器 244 提供的 VOQ 标识符来标识。当 PDU 被释放时，出队控制器 322 基于优先级队列的类型来确定是否丢弃该指针。具体来说，TG 模式多路复用器 516 根据队列 502 是常规优先级队列还是 TG 优先级队列来进行不同的响应。在常规优先级队列的情况下，新释放的 PDU 502A 的指针 534 被返回到指针丢弃 518。在 TG 优先级队列的情况下，新释放的 PDU 502A 的指针 534 经由 LLP 读取器 520 被重新排队到同一指针队列的尾部。

例如，如果 PDU502A 被释放到调度器 244，则与 PDU 502A 相关联的指针 534 由出队控制器 322 捕获。如果 PDU 502A 是常规 PDU，则 TG 模式多路复用器 516 将指针传递到指针丢弃模块 518。指针丢弃模块 518 适于接收和临时存储新释放的指针，从而它们可返回到由入队控

制器 320 维护的可用指针列表。具体来说，新释放的指针被返回到由自由指针模块 510 维护的可用指针列表，到来的 PDU 在它们指向的存储器地址处被存储于缓冲器 242 中。

如果队列 502 是 TG 优先级队列，则 LLP 读取器 520 顺序地从链表 400 取回 LL 指针以服务于优先级队列 502。在一个实施例中，多路复用器 516 将读指针 534 的值传递到 LLP 读取器 520，该读取器利用当前 LL 指针来查询链表 400 以取回下一 LL 指针。也就是，用于 TG-PDU 502A 的 LL 指针被用来从链表 400 取回指向 TG-PDU 502B 的 LL 指针。LLP 读取器 520 不将指针返回到入队控制器 320 或指针丢弃 518，由此防止了 TG-PDU 502A 在缓冲器 242 中被重写。

当带宽可用并且从调度器接收到与链表相关联的 VOQ 标识符时，出队控制器 322 取回并分派下一包 TG-PDU 502B 到调度器 244。对于特定的链表，每个 TG-PDU 以相似的方式来释放，直至末尾的 TG-PDU 502E 被取回，这时 LLP 读取器 520 取回了指向链表 400 的第一 TG-PDU 502A 的 LL 指针。以此方式，将 TG 优先级队列 502 中保持的 TG-PDU 502A-502E 作为测试流持续地提供到 EUT 101，只要队列管理器 240 被启动。

尽管链表 400 在图 5 中被示意性地图示为与优先级队列 502 相分开和相远离，但是本领域的普通技术人员将理解，链表 400 可集成到优先级队列 502。也就是，链表 400 的 LL 指针 420 可在缓冲器 242 中与 PDU 数据相连续地来存储。以此方式，指向下一 TG-PDU 的 LL 指针可与正传输到调度器 244 的当前 TG-PDU 同时或并发地从缓冲器 242 取回。

调度器 244 按照优先级方案和可用带宽来使缓冲器 242 的每个常规优先级队列的多个 PDU 以及一个或多个 TG 优先级队列的多个测试包出队。优选实施例中的交换机 100 适于支持与 2048 一样多的优先级队列，包括常规优先级队列和 TG 优先级队列二者，它们的每一个可选择性地指引到交换机 100 的多个外部端口的任一个。

图 6 中图示了适于进行业务量生成和监视(TGM)操作的企业交换机的功能框图。企业交换机 600 优选地包括多个交换机模块 610-613，有

时称它们为刀片(blade)，其设置于背板 652 内的插槽中。交换模块 610-613 的每一个包括一个或多个外部端口 102，每个外部端口经由通信链路(未示出)可操作地耦接于数据通信网中的另一节点。在企业交换机 600 之内，一个或多个端口 102 的每一个经由交换结构 650 可操作地耦接于每一其他交换模块 610-613 的端口 102。

交换模块 610-613 优选地包括至少一个交换控制器 606，其能够但不限于至少进行开放式系统互连(OSI)网络模型中定义的第 2 层(数据链路层)和第 3 层(网络层)的交换操作。

出于此实施例的目的，朝着结构 650 从外部端口 102 流入交换模块 610-613 的 PDU 在此被称为入口 PDU。入口 PDU 传播时经过的交换模块被称为入口交换模块。相对照地，从结构 650 离开流向外部端口 102 的 PDU 被称为出口 PDU。出口 PDU 传播时经过的交换模块被称为出口交换模块。出于不同流的目的，优选实施例的多个交换模块的每一个都可用作为入口交换模块和出口交换模块二者。

企业交换机 600 还包括中央命令处理器(CMM)660，用于管理和协调各种系统资源，包括上面具体讨论过的 TGM 统计。尽管本领域的技术人员将理解，由 CMM 进行的功能可通过并入背板 652 中的一个或多个实体和/或分离的管理模块来执行，但是在优选实施例中，CMM 660 在多个交换模块 610-613 之一中被具体实现。

图 7 中图示了用于进行业务量生成和监视(TGM)操作的 TGM 启动交换模块的功能框图。与交换模块 610-613 相一致，优选实施例的交换模块 700 包括一个或多个网络接口模块(NIM)204、一个或多个交换控制器 706、管理模块 220 和结构接口模块 708。与第一实施例类似，每个 NIM 204 可操作地耦接于一个或多个外部端口 102，用于接收入口数据业务量和发送出口数据业务量的目的。将入口 PDU 借助于一个或多个内部高速串行数据总线 705 运送到交换控制器 706。与第一实施例类似，交换控制器 706 优选地对入口 PDU 分类、进行对于入口处的执行而分配的任何必需的转发操作、以及使 PDU 入队直至带宽可用以经由交换结构 650 将 PDU 传输到适当的一个或多个出口刀片。

关于出口操作，交换模块700还适于经由结构接口模块708从交换结构650接收出口PDU，并且使那些PDU在缓冲器742中入队。交换模块700的交换控制器706在出口处可在PDU之前进行一个或多个附加的转发操作，以及在传输到恰当的NIM204和相应的出口端口102之前缓冲出口PDU。

与上述第一实施例中一样，管理模块220优选地包括策略管理器224，用于保持和实施由网络管理员经由配置管理器222上传到交换模块700的业务量策略。第二实施例中的配置管理器222适于将测试PDU标准从CMM 660传输到业务量生成器250以及将由业务量监视器760编辑的TG统计返回到可对EUT 101的性能进行评价的CMM 660。

第二优选实施例的交换控制器706适于利用如OSI网络参考模型中定义的与第2层至第7层相关联的PDU属性，来进行第2层交换操作和第3层路由选择操作。交换控制器706优选地包括路由选择引擎730、转发表254、队列管理器740以及业务量生成器250和业务量监视器760。与第一实施例一样，路由选择引擎730包括将PDU分类成多个流之一的分类器232以及转发处理器234，该转发处理器用来执行将PDU传输到交换模块610-613的恰当外部端口所必需的一个或多个转发操作。

除了上述入口处理之外，路由选择引擎730还处理从交换机结构650接收的出口业务量。具体来说，路由选择引擎730还包括出口处理器736，用于将从交换结构650接收的出口PDU传输到NIM 204之中的指定出口端口102。

在由转发处理器234接收之后，入口PDU然后从转发处理器234传递到队列管理器740，在这里它们将在经由结构接口模块708由调度器244传输到交换结构650之前被临时缓冲742。与第一实施例类似，队列管理器740包括缓冲器742，适于产生一个或多个链表400，链表用来经由调度器244在出口端口的方向上重复地发送测试包。队列管理器740与第一实施例的队列管理器240的不同在于，它还可缓冲从交换结构650接收的出口业务量并选择路由到本地出口端口。

与第一实施例中一样，TGM启动的交换模块700还包括业务量生

成器 250 和 TGDB252，用于在企业交换机 600 以及其他网络节点之内仿真业务量流以及测试交换和路由选择操作。交换模块 700 还包括业务量监视器 760，用于编辑 TG 统计，CMM 660 利用该 TG 统计来确定 EUT 101 是否能够恰当地进行交换和路由选择操作。

本领域的技术人员将理解，由于企业交换机中的处理的分布式特性，交换模块 700 以及企业交换机 600 的其他交换模块 610-613 的业务量生成器 250 和业务量监视器 260 可经过 CMM 660 来协调。具体来说，根据网络拓扑，由模块 700 的业务量生成器 250 产生的测试包可被传输到 EUT 101 以及在不同交换模块的端口上被收回。同样地，分析公共流的业务量生成器和监视器可在不同刀片之间被划分。因此 CMM 660 负责指示一个交换模块的业务量生成器 250 生成至少一个 TG-PDU 流，以及负责分析从一个或多个交换模块 610-613 的每一个的业务量监视器收集的 TG 统计，其中已修改的测试 PDU 可从上述交换模块被接收到。

图 8 中示出了方法，入队控制器通过该方法来缓冲用于给定优先级队列的测试包。一旦在入队控制器 320 处从业务量生成器 150 收悉了 PDU(步骤 802)，则指针分配模块 510 在从自由指针模块取回的指针所给定的可用存储器位置处使 PDU 在缓冲器 242 中入队(步骤 804)。如果缓冲的 PDU 是常规 PDU，即非 TG-PDU，则 PDU 类型查询(步骤 806)被回答是否定的，入队控制器 320 对于下一 PDU 重复这些接收(步骤 802)和入队(步骤 804)的步骤。

如果缓冲的 PDU 是 TG-PDU，则 PDU 类型查询(步骤 806)被回答是肯定的，入队控制器 320 继续构造与特定优先级队列 502 相关联的链表。在构建链表的过程中，入队控制器 320 使 TG-PDU 与链表中的在先条目相关联(步骤 808)。具体来说，先前条目的 LL 指针被分配有当前 TG-PDU 所入队到的缓冲器存储器地址(步骤 804)，由此使得链表中的先前节点指向当前节点。除非 PDU 是链表最后的 TG-PDU，否则入队控制器 320 继续接收下一 PDU(步骤 802)并使下一 PDU 入队(步骤 804)。如果入队的 PDU(步骤 804)是链表最后的 TG-PDU，则最后的 TG-PDU 确定步骤(步骤 810)被回答是肯定的，入队控制器 320 通过将用于最后

的 TG-PDU 的 LL 指针设置为等于链表中的第一 PDU 的缓冲器存储器地址，来使 TG-PDU 与链表中的第一节点相关联(步骤 812)。

如果优先级队列是常规优先级队列，则接收和使 PDU 入队的过程被不确定地重复，只要 PDU 是以充分的速率来出队的。然而，在 TG 优先级队列的情况下，链表的构造是在对于特定的 TG 优先级队列从业务量生成器 150 收悉所有 TG-PDU 之时被终止的，然后继而是测试包到 EUT 101 的重复传输。

图 9 中示出了方法，出队控制器通过该方法来释放用于缓冲器的给定优先级队列的测试包。如果给定优先级队列 502 是 TG 优先级队列，则优先级队列类型查询(步骤 902)被回答是肯定的，出队控制器 322 继续从缓冲器 242 释放 TG-PDU。在稳定的状态下，控制器 322 取出与先前出队的 TG-PDU 相关的 LL 指针(步骤 904)，其被用来使当前 TG-PDU 从缓冲器 242 出队(步骤 906)。在将 TG-PDU 释放到调度器 244 的过程中(步骤 908)，出队控制器 322 通过将下一 LL 指针取回前进到下一 TG-PDU(步骤 904)。释放的 TG-PDU 的 LL 指针被有效地返回到从其中选择出它的同一队列的尾部。由于链表中的最后条目包括指向链表的头部处的 TG-PDU 的指针，所以 TG-PDU 以连续的循环从链表中重复地取回，测试数据流到 EUT 101，只要启动 TG 优先级队列。

如果给定的优先级队列是常规优先级队列，则优先级队列类型查询(步骤 902)被回答是否定的，出队控制器 322 继续从缓冲器 242 释放 PDU。例如，控制器 322 通过查阅读指针列表或者简单地递增先前指针，来取回指向下一 PDU(步骤 910)。然后，令读指针所指示的缓冲器存储器地址处的 PDU 出队(步骤 912)并释放到调度器 244(步骤 914)。与 TG 优先级队列相对照，与释放的 PDU 相关联的指针被返回到入队控制器 320 的自由指针列表 512，从而新 PDU 可被写到相关联的存储器单元(步骤 916)。

尽管上述使 TG 优先级队列出队的方法采用了无限循环形式的预定链表，其中最后的 LL 指针被指引到链表的第一元素，但是一些实施例中的入队控制器包括先入先出(FIFO)存储器，其中缓冲有 TG-PDU 和

LL 指针。除了缓冲器的最后元素之外，每个元素包括指向后续 TG-PDU 的 LL 指针。然而，尾部处的 LL 指针临时未定义，并不指向 TG 优先级队列的头部。当队列头部处的第一 TG-PDU 出队时，出队控制器同时地重新请求 TG 优先级队列的尾部处的第一 TG-PDU。在该过程中，现在是 FIFO 的新尾部的原始头部 TG-PDU 被链接到在先元素，即 FIFO 的原始尾部。出队控制器重复这些使得 TG-PDU 出队、使得它们在 FIFO 的尾部处重新入队、以及将重新入队的 TG-PDU 链接到在先 LL 指针的步骤。以此方式，TGM 启动的交换机或交换模块适于重复地使整个 TG 优先级队列出队并且表现得好似无限循环。正如本领域的普通技术人员将理解的，通过在任何时候将 PDU 的源从出队的 PDU 变为出口 PDU，FIFO 存储器可从 TG 优先级队列转换为常规优先级队列，反之亦然。

尽管上面的描述包含了许多规范，但是它们不应当理解为限制本发明的范围，而是仅提供本发明的一些当前优选实施例的说明。

因此，本发明已经通过实例并且非限制性地加以揭示，应当参照所附权利要求书来确定本发明的范围。

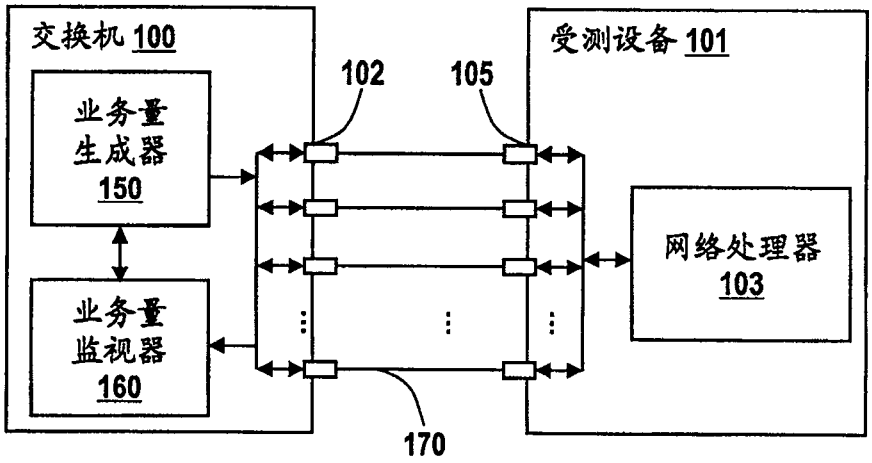

交换机 100
业务量生成器 150
业务量监视器 160
102
105
受测设备 101
网络处理器 103
170

图1

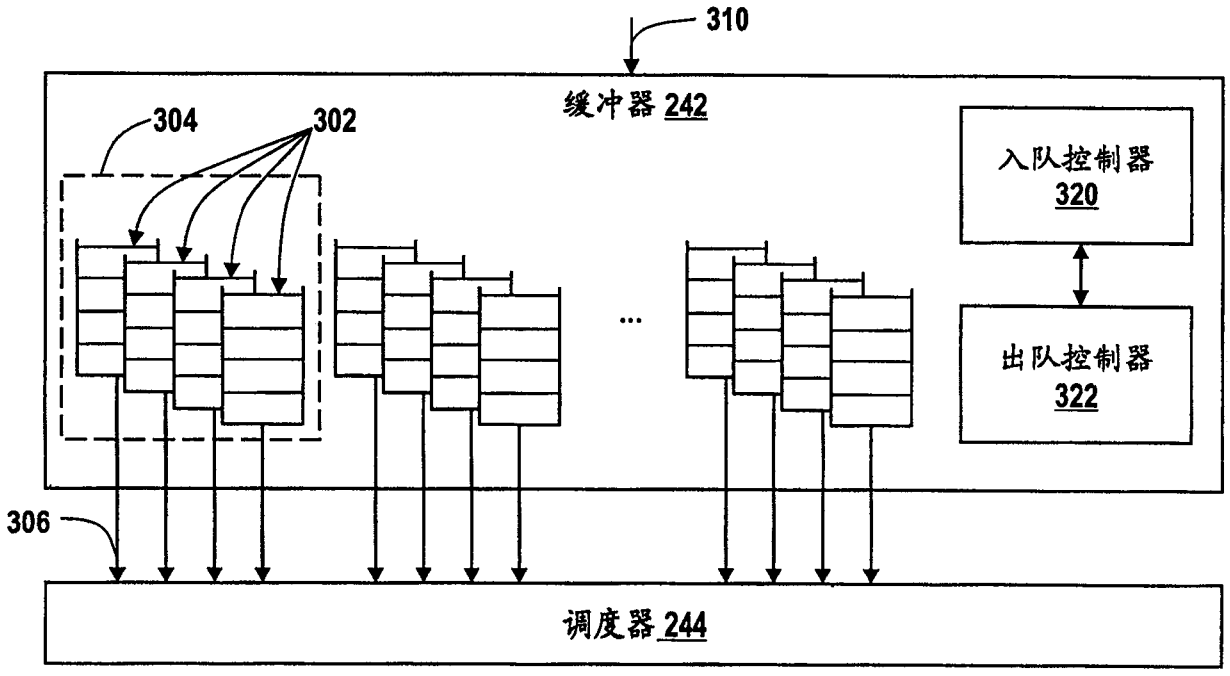

310
缓冲器 242
304
302
入队控制器 320
出队控制器 322
306
调度器 244

图3

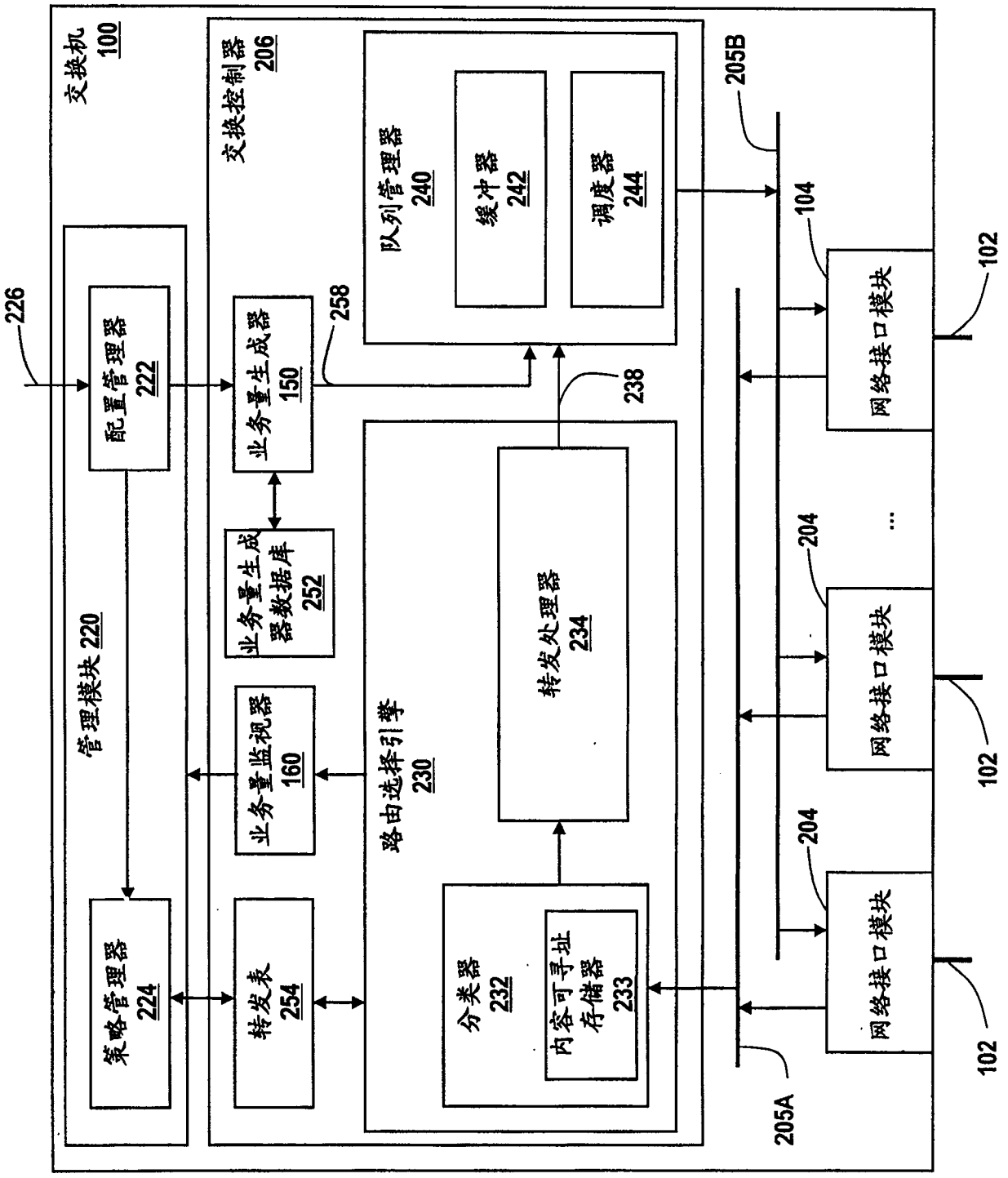

交换机 100
交换控制器 206
管理模块 220
配置管理器 222
策略管理器 224
业务量生成器 150
业务量生成器数据库 252
业务量监视器 160
转发表 254
路由选择引擎 230
分类器 232
内容可寻址存储器 233
转发处理器 234
队列管理器 240
缓冲器 242
调度器 244
网络接口模块
226
258
238
205A
205B
102
104
204
...

图2

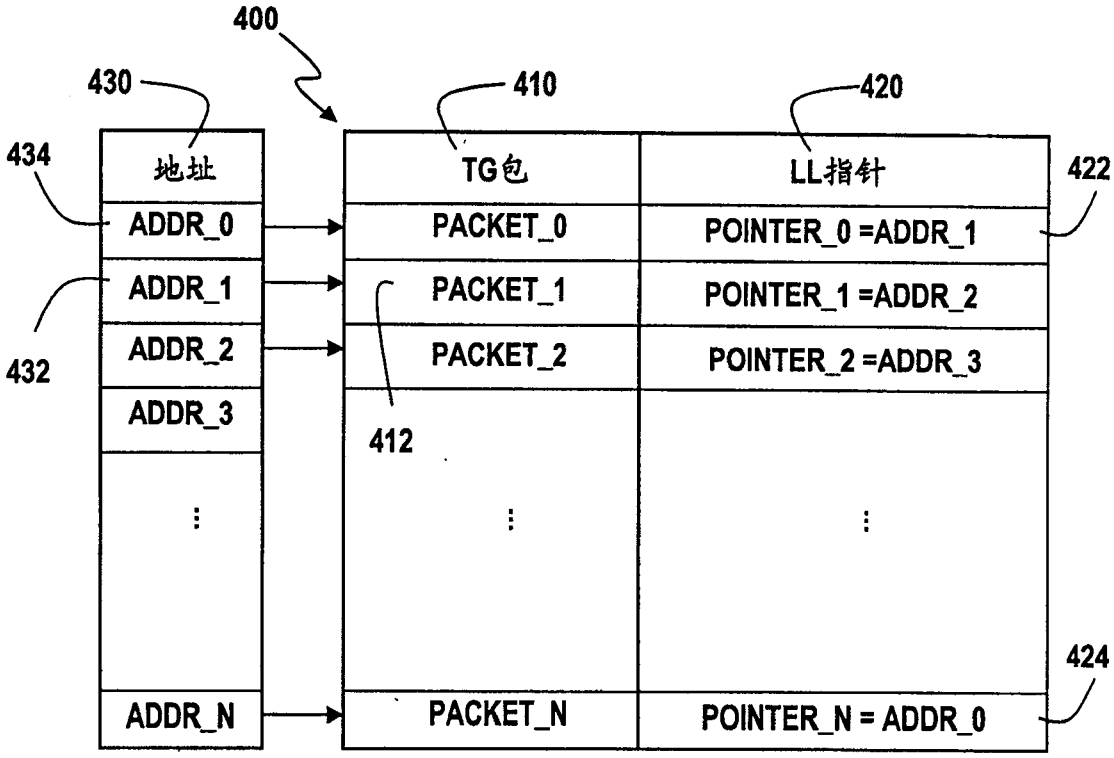

400
430
410
420
434
地址
TG包
LL指针
422
ADDR_0
PACKET_0
POINTER_0 =ADDR_1
ADDR_1
PACKET_1
POINTER_1 =ADDR_2
432
ADDR_2
PACKET_2
POINTER_2 =ADDR_3
ADDR_3
412
424
ADDR_N
PACKET_N
POINTER_N = ADDR_0

图4

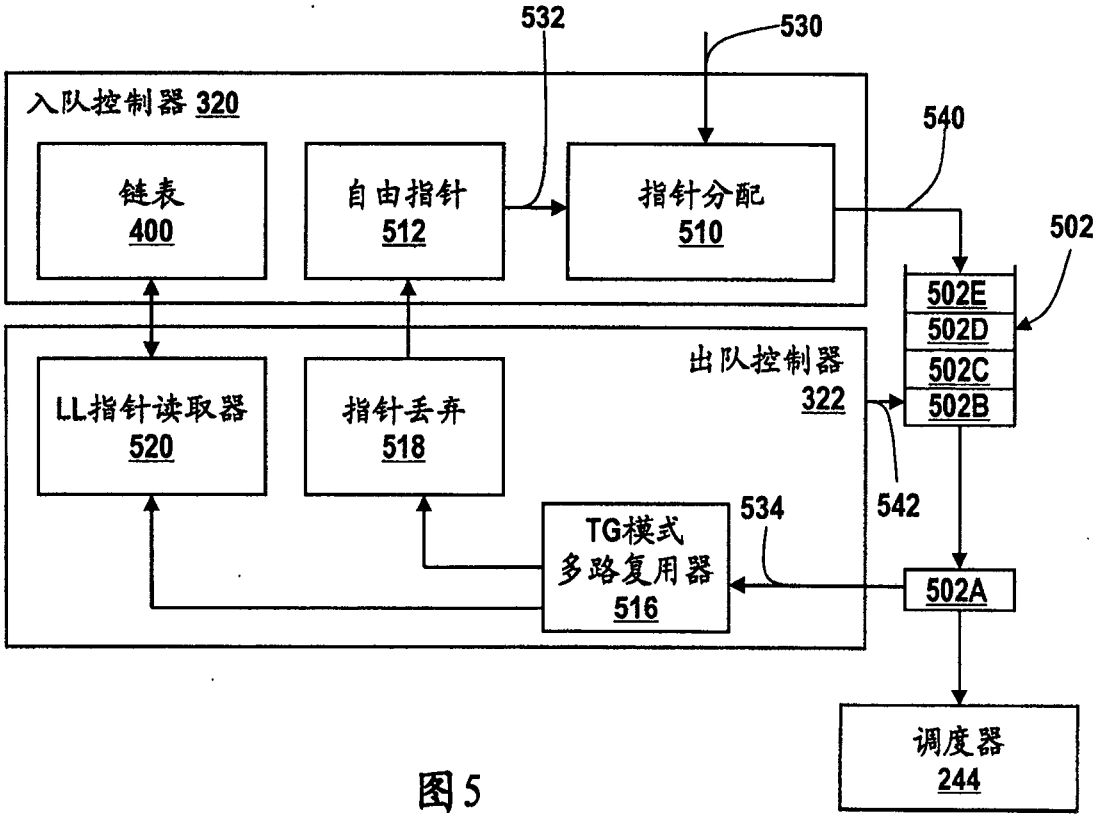

532
530
入队控制器 320
540
链表
400
自由指针
512
指针分配
510
502
502E
502D
502C
502B
出队控制器
322
LL指针读取器
520
指针丢弃
518
542
534
TG模式
多路复用器
516
502A
调度器
244

图5

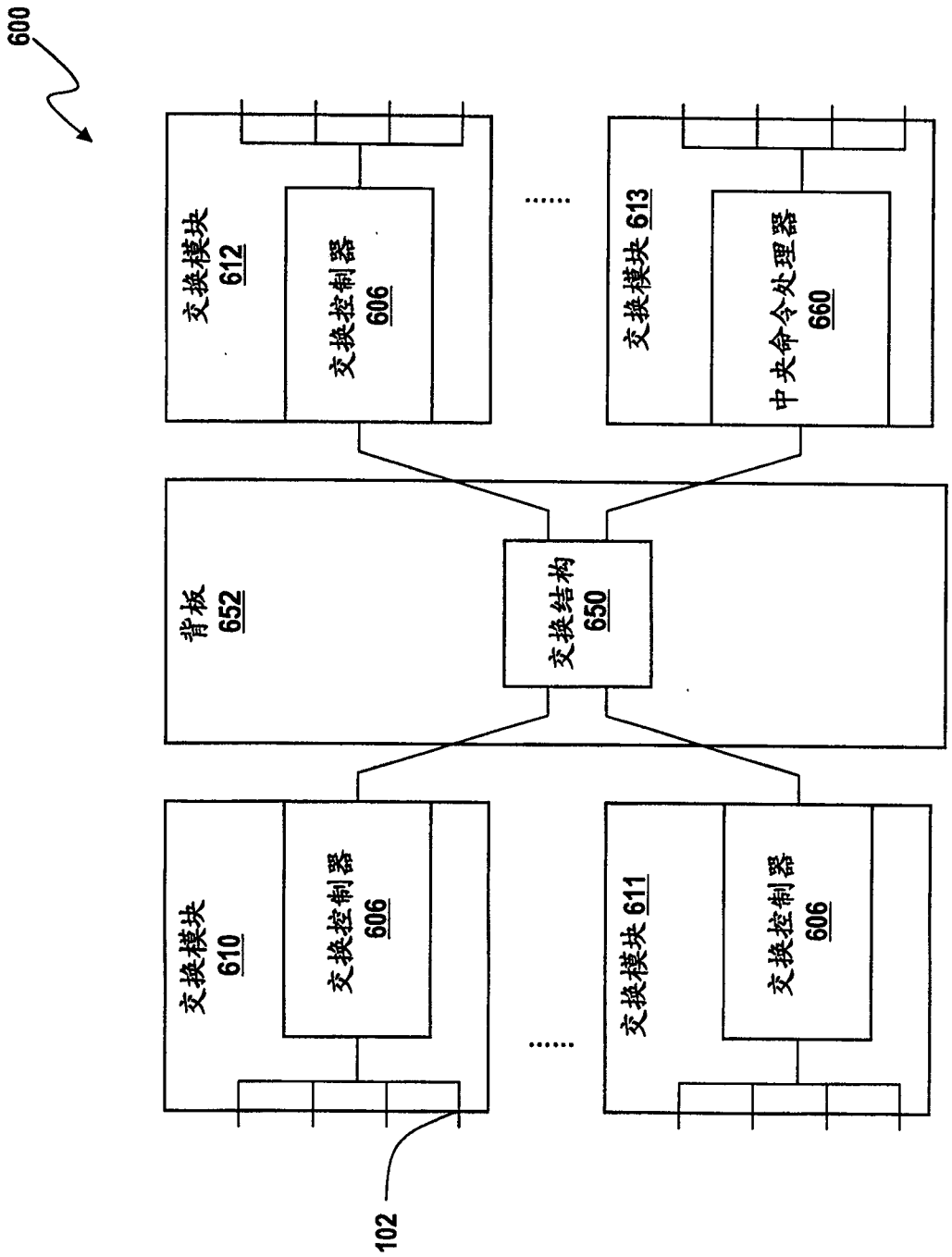

600
交换模块 612
交换控制器 606
交换模块 613
中央命令处理器 660
背板 652
交换结构 650
交换模块 610
交换控制器 606
交换模块 611
交换控制器 606
102

图 6

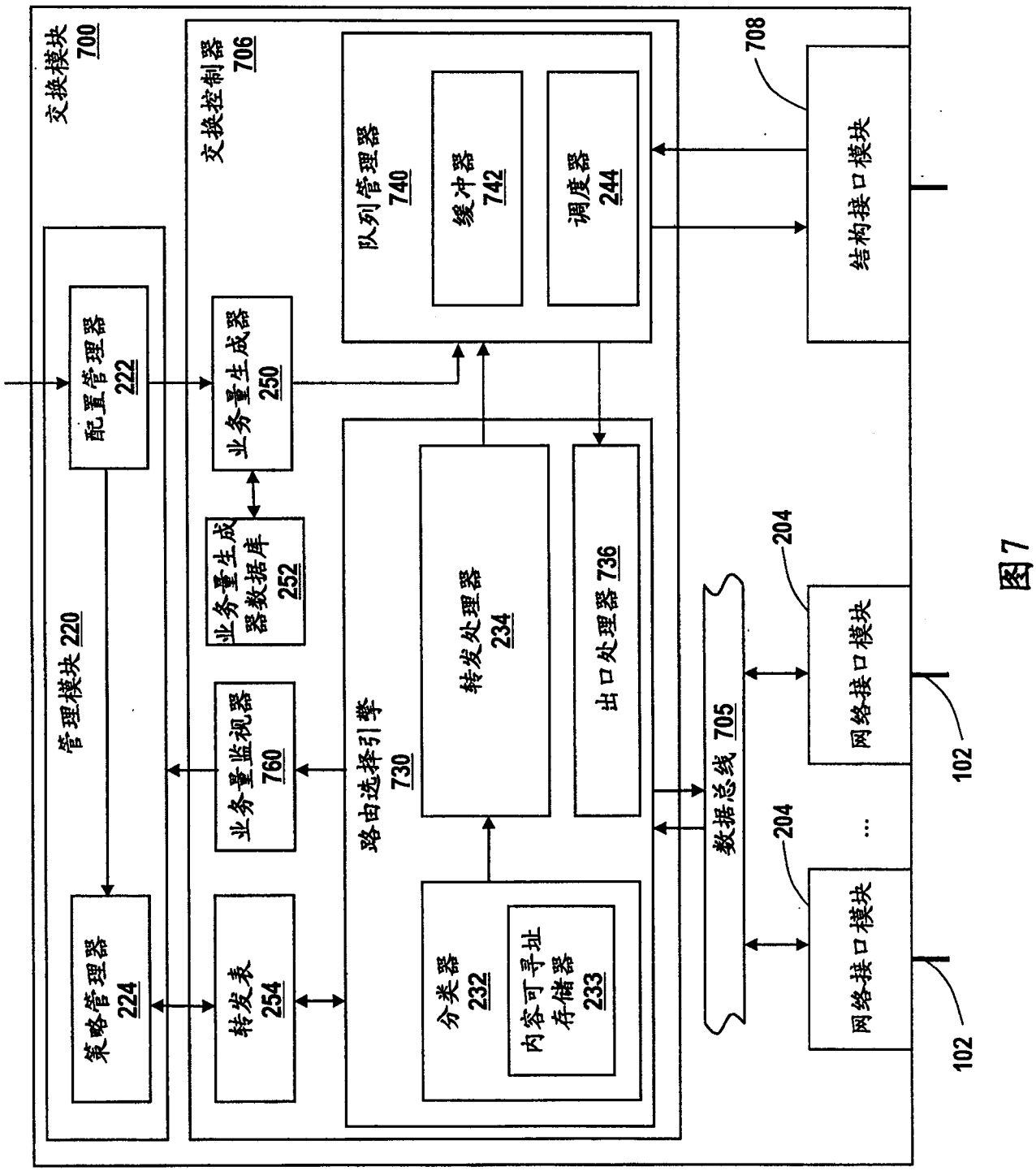

交换模块 700
交换控制器 706
管理模块 220
配置管理器 222
策略管理器 224
转发表 254
业务量生成器 250
业务量生成器数据库 252
业务量监视器 760
路由选择引擎 730
分类器 232
内容可寻址存储器 233
转发处理器 234
出口处理器 736
队列管理器 740
缓冲器 742
调度器 244
结构接口模块
708
数据总线 705
网络接口模块
204
102
...

图7

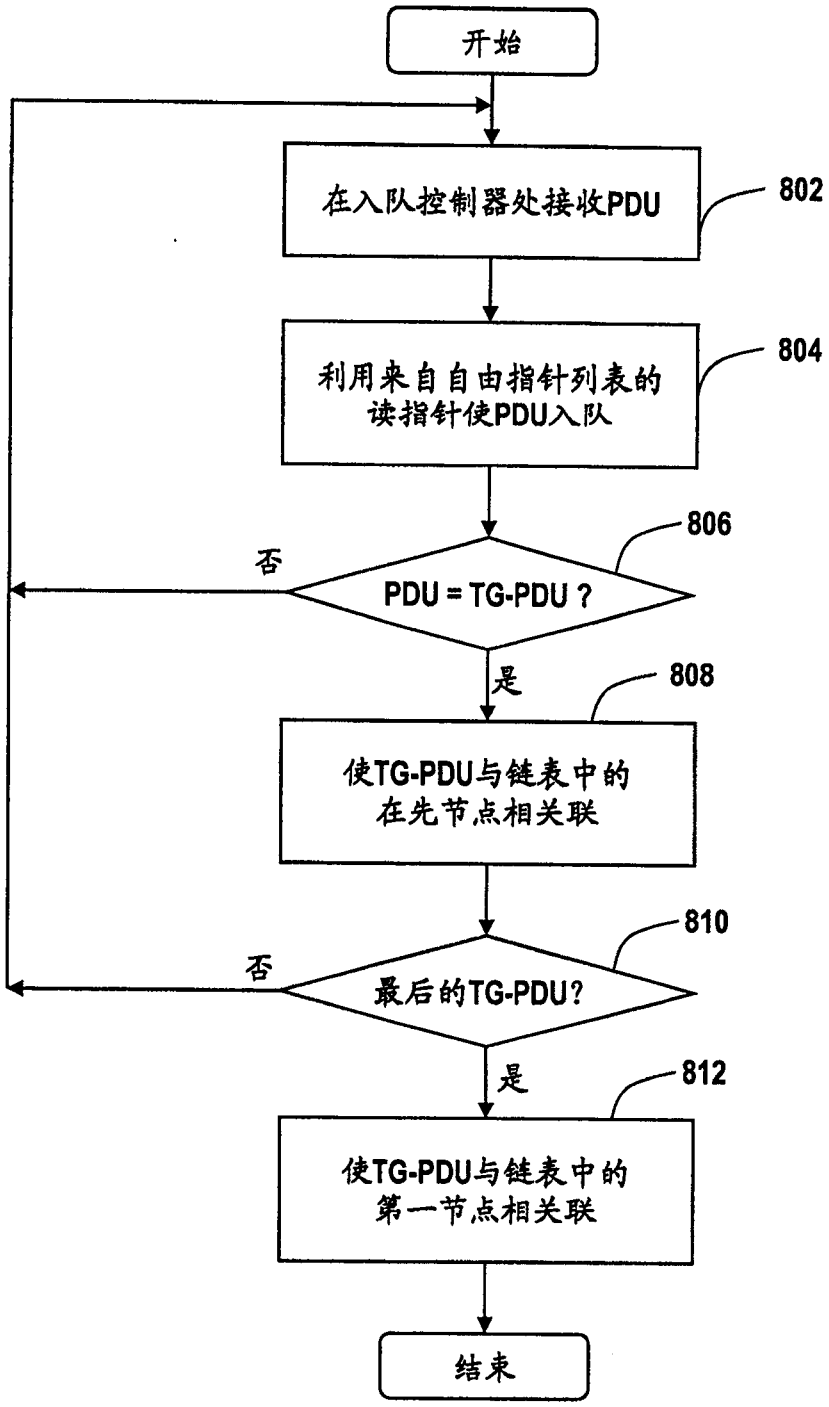

开始
在入队控制器处接收PDU
802
利用来自自由指针列表的读指针使PDU入队
804
806
否
PDU = TG-PDU ?
是
808
使TG-PDU与链表中的在先节点相关联
810
否
最后的TG-PDU?
是
812
使TG-PDU与链表中的第一节点相关联
结束

图8

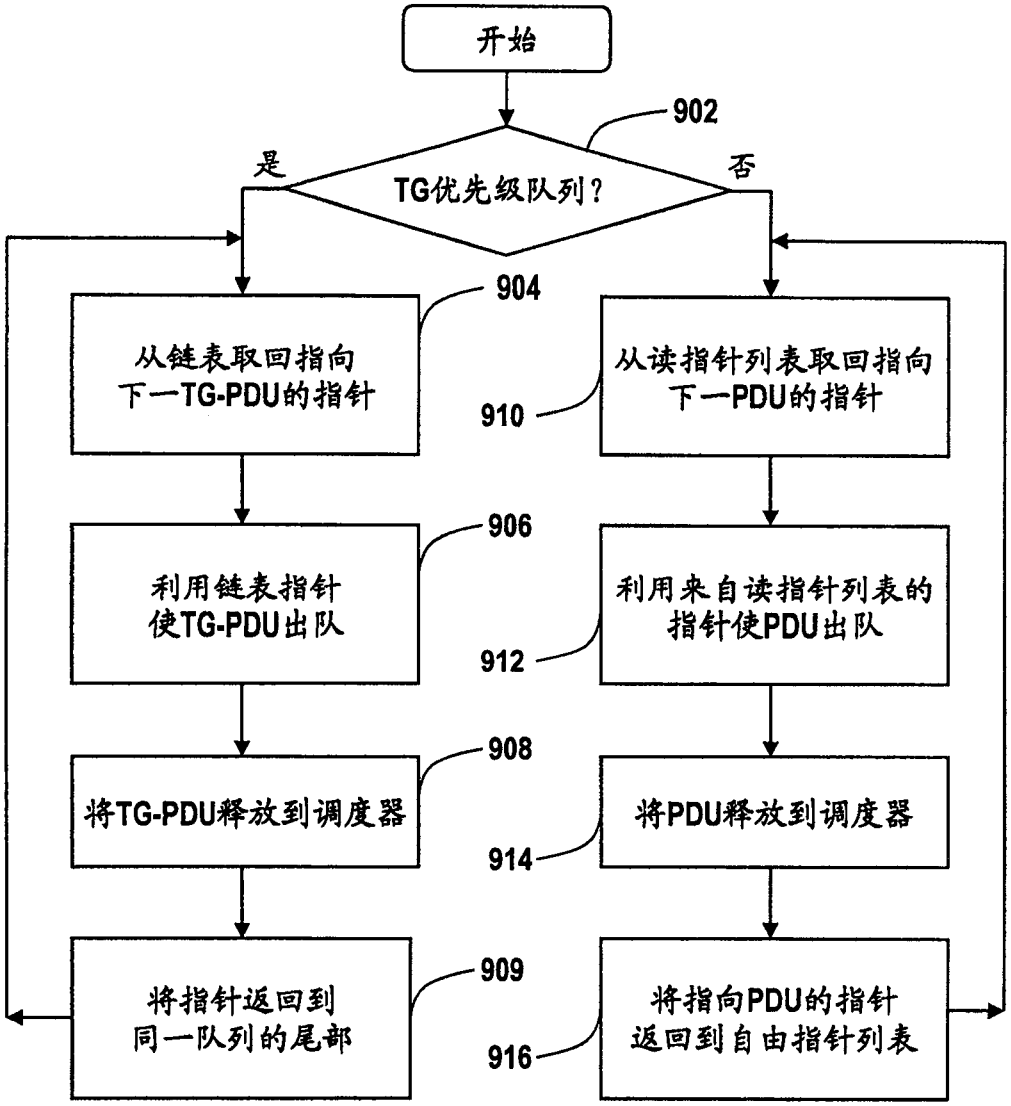

开始
902
是
TG优先级队列?
否
904
从链表取回指向
下一TG-PDU的指针
910
从读指针列表取回指向
下一PDU的指针
906
利用链表指针
使TG-PDU出队
912
利用来自读指针列表的
指针使PDU出队
908
将TG-PDU释放到调度器
914
将PDU释放到调度器
909
将指针返回到
同一队列的尾部
916
将指向PDU的指针
返回到自由指针列表

图9