(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 1665205 B
(45)授权公告日 2010.09.29

(21)申请号 200510056525.8

(22)申请日 2005.01.31

(30)优先权数据
60/540,738 2004.01.30 US
10/881,695 2004.06.30 US

(73)专利权人 微软公司
地址 美国华盛顿州

(72)发明人 L·周 L·仇 P·巴尔 A·R·劳

(74)专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司 31100
代理人 张政权

(51)Int.Cl.
*H04L 12/26*(2006.01)
*H04L 12/24*(2006.01)

(56)对比文件
WO 03/094538 A2,2003.11.13, 全文.
US 2003/0149919 A1,2003.08.07, 全文.
CN 1174461 A,1998.02.25, 全文.
CN 1484783 A,2004.03.24, 全文.
全文.
US 2003/0093709 A1,2003.05.15, 摘要、说明书[0006]-[0012]段,[0016]段,[0034]-[0036]段,[0043]段、图1.
龚平 张卫国 顾晓鸣.IP网循环路由的产生与仿真检测.计算机仿真20 4.2003,20(4),75-77.

审查员 宁波

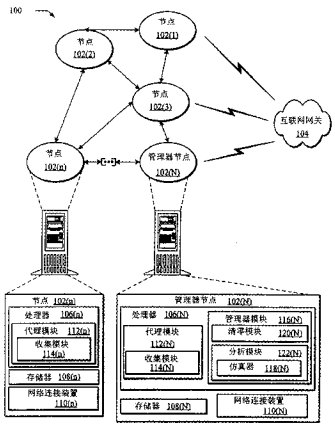
权利要求书 4 页 说明书 19 页 附图 13 页

(54)发明名称

故障检测和诊断

(57)摘要

本发明公开了一种网络故障诊断构架。在一个实施例中,方法包括通过把描述网络的数据供应给网络仿真,来检测网络运行中的差异,以使网络仿真提供网络性能的估算。确定网络性能的估算是否不同于网络的已观测网络性能。通过把多个故障的一个或多个注入到网络仿真中,直至网络性能的估算逼近已观测网络性能,来诊断差异的根原因。




CN 1665205 B

1. 一种用于网络中的故障检测和诊断的方法，包括：

通过以下方式检测网络运行中的差异：

把描述网络的数据供应给网络仿真，使网络仿真提供网络性能的估算；

确定网络性能的估算是否不同于网络的已观测网络性能；以及

如果所述网络性能的估算不同于网络的已观测网络性能，则通过把多个故障的一个或多个注入到网络仿真中，直到所述网络性能的估算逼近已观测网络性能，来诊断所述网络运行中的差异的根原因。

2. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述确定包括查明所述网络性能的估算是否与网络的已观测网络性能相差高于一个相应阈值。

3. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述诊断包括：

把所述网络性能的估算与已观测网络性能之间的差异转换成一故障量；以及

确定故障量是否移动网络仿真，以逼近网络的已观测网络性能。

4. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述诊断包括：

把所述网络性能的估算与已观测网络性能之间的差异转换成一故障量；

确定故障量是否小于相应阈值；以及

当故障量小于相应阈值时，从用作对网络仿真的输入的故障集中删除相应的所述故障。

5. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述诊断包括：

进行初始诊断，以生成初始故障集；以及

迭代地精选初始故障集以获得当前故障集，当该当前故障集被网络仿真用作输入时，该当前故障集使网络仿真所提供的网络性能的估算逼近已观测网络性能，

其中，通过以下方式迭代地精选初始故障集以获得当前故障集：

把所述初始故障集中的多个故障之一添加到所述当前故障集中；

对所述当前故障集中的每个故障，从所述已观测网络性能与通过把故障包含在网络仿真中而造成的所述网络性能的估算之间的差异中计算出故障量；以及

删除具有小于相应阈值的相应的所述故障量的每个所述故障以得到所述当前故障集，使得由所述网络仿真提供的所述网络性能的估算逼近所述已观测网络性能。

6. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述网络是多跳无线网络。

7. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述网络是有线网络。

8. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述数据描述由网络的始发节点与目标节点之间的数据分组采用的一系列中继段所形成的路由。

9. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述数据包括跟踪数据，该跟踪数据从包括以下各项的组中选出：

包括路由的网络拓扑；

话务统计；

物理媒介；以及

网络性能。

10. 一种用于网络中的故障检测和诊断的方法，包括：

通过执行网络仿真来估算网络性能，所述网络仿真把从网络获得的一个或多个网络设

置用作输入；以及

当已估算网络性能与网络的已观测网络性能之间的差异大于相应阈值时：

进行初始诊断，以产生初始故障集；以及

迭代地精选初始故障集以获得当前故障集，当所述当前故障集被网络仿真用作输入时，该当前故障集使网络仿真输出逼近所述已观测网络性能的网络性能的另一个估算，

其中，通过以下方式迭代地精选初始故障集以获得当前故障集：

把所述初始故障集中的多个故障之一添加到所述当前故障集中；

对所述当前故障集中的每个故障，从所述已观测网络性能与通过把故障包含在网络仿真中而造成的已估算网络性能之间的差异中计算出故障量；以及

删除具有小于相应阈值的相应的所述故障量的每个所述故障以得到所述当前故障集，使得由所述网络仿真提供的已估算网络性能逼近所述已观测网络性能。

11. 根据权利要求 10 所述的方法，其特征在于，所述初始诊断是通过利用确定故障类型的决策树来执行的。

12. 根据权利要求 10 所述的方法，其特征在于，所述网络设置包括描述路由的数据，所述路由由网络的始发节点与目标节点之间的数据分组所采用的一系列中继段形成。

13. 根据权利要求 10 所述的方法，其特征在于，所述当前故障集描述已估算网络性能与已观测网络性能之间的差异的一个或多个根原因。

14. 根据权利要求 10 所述的方法，其特征在于，所述网络设置包括跟踪数据，该跟踪数据从包括以下各项的组中选出：

包括路由的网络拓扑；

话务统计；

物理媒介；以及

网络性能。

15. 根据权利要求 10 所述的方法，其特征在于，至少一个所述网络设置是由一跟踪实用程序提供的。

16. 一种用于网络中的故障检测和诊断的方法，包括：

确定网络的网络性能观测是否不同于由网络的网络仿真输出的网络性能估算；以及

如果是，则通过以下方式确定差异的根原因，即把故障添加到故障集或者从故障集中删除故障，直至当网络仿真利用故障集时，该故障集使网络仿真提供逼近观测的网络性能的另一个估算。

17. 根据权利要求 16 所述的方法，其特征在于还包括：

获得描述网络的一个或多个网络设置的数据；

把所获得的数据供应给仿真器；以及

从仿真器接收网络性能的估算。

18. 根据权利要求 16 所述的方法，其特征在于，通过以下方式确定差异的根原因：

对当前故障集中的每个故障，从已观测网络性能与通过把故障包含在网络仿真中而造成的已估算网络性能的差异中算出故障量；以及

删除故障集中具有小于相应阈值的相应的所述故障量的每个所述故障。

19. 根据权利要求 16 所述的方法，其特征在于，所述网络仿真是从网络设置中生成的，

所述网络仿真描述网络的始发节点与目标节点之间的数据分组采用的一系列中继段所形成的路由。

20. 根据权利要求 16 所述的方法，其特征在于，所述网络仿真是从跟踪实用程序提供的网络设置中产生的，所述跟踪实用程序收集描述网络拓扑、路由、话务统计、物理媒介和网络性能的信息。

21. 一种用于网络中的故障检测和诊断的系统，所述系统包括通信上相互耦合以形成所述网络的多个节点，其特征在于：

一个或多个所述节点包括代理模块，用于：

收集网络设置；以及

为网络上的通信形成包括网络设置的通信；以及

至少一个所述节点包括管理器模块，用于：

接收所述通信；

基于从所述通信获得的网络设置产生网络仿真，使网络仿真提供网络性能的估算；以及

通过将网络的网络性能估算与网络性能观测进行比较，检测网络操作中的故障，

其中，所述管理器模块通过把多个故障的一个或多个注入网络仿真，直至该故障使网络仿真输出的网络性能估算逼近网络性能观测，来诊断网络故障。

22. 根据权利要求 21 所述的系统，其特征在于，至少两个所述节点包括相应的所述代理模块。

23. 根据权利要求 21 所述的系统，其特征在于，每个所述节点包括相应的所述代理模块。

24. 根据权利要求 21 所述的系统，其特征在于，所述管理器模块还可执行用于：

基于所检测的故障导出校正动作；以及

使代理模块执行校正动作。

25. 根据权利要求 21 所述的系统，其特征在于，通过确定所述网络性能估算与所述网络性能观测之间的差异是否大于相应阈值，来检测网络操作中的故障。

26. 根据权利要求 21 所述的系统，其特征在于，所述管理器模块还可执行用于通过以下方式诊断故障：

把所述网络性能估算与所述网络性能观测之间的差异转换成一故障量；以及

确定故障量是否移动由网络仿真提供的所述网络性能估算以逼近所述网络性能观测。

27. 根据权利要求 21 所述的系统，其特征在于，所述管理器模块还可执行用于通过以下方式诊断故障：

把所述网络性能估算与所述网络性能观测之间的差异转换成一故障量；以及

确定故障量是否小于相应阈值；以及

当故障量小于相应阈值时，从由所生成的仿真用来产生所述网络性能估算的故障集中删除相应的所述故障。

28. 根据权利要求 21 所述的系统，其特征在于，所述管理器模块还可执行用于通过以下方式诊断故障：

进行初始诊断以生成初始故障集；

迭代地精选初始故障集以获得当前故障集，当所述当前故障集被网络仿真用作输入时，该当前故障集使所述网络性能估算逼近所述网络性能观测，

其中，通过以下方式迭代地精选初始故障集以获得当前故障集：

把所述初始故障集中的多个故障之一添加到所述当前故障集中；

对所述当前故障集中的每个故障，从所述网络性能观测与通过把故障包含在网络仿真中而造成的所述网络性能估算之间的差异中计算出故障量；以及

删除具有小于相应阈值的相应的所述故障量的每个所述故障以得到所述当前故障集，使得由所述网络仿真提供的所述网络性能估算逼近所述网络性能观测。

29. 根据权利要求 21 所述的系统，其特征在于，所述网络是网状网络。

30. 根据权利要求 21 所述的系统，其特征在于，所述网络设置描述由网络的始发节点与目标节点之间的数据分组采用的一系列中继段所形成的路由。

31. 一种用于网络中的故障检测和诊断的节点，包括：

用于管理网络的操作的管理装置，所述网络具有用于路由数据分组的多个路由装置，其中：

所述多个路由装置的每一个在通信上耦合另一所述路由装置；以及

所述管理装置还包括装置，用于：

向用于仿真网络的装置提供从网络获得的网络设置；

从估算网络的网络性能的用于仿真网络的装置接收网络仿真的输出；以及

通过将输出与网络的网络性能观测进行比较来检测故障，

其中，所述管理装置通过把多个故障的一个或多个注入网络仿真，直至所估算的网络性能逼近所述网络性能观测，来诊断网络故障。

32. 根据权利要求 31 所述的节点，其特征在于，所述管理装置还包括用于诊断故障的装置。

33. 根据权利要求 31 所述的节点，其特征在于，所述网络是网状网络。

34. 根据权利要求 31 所述的节点，其特征在于，所述管理装置还包括用于基于所检测的故障导出校正动作的装置。

# 故障检测和诊断

[0001] 相关申请

[0002] 本发明依照 35 U.S.C. §119(e) 要求 2004 年 1 月 30 日提交的序号为 60/540738，名称为“多跳无线网络中的故障检测、隔离和诊断”的美国临时专利申请的优先权。

## 技术领域

[0003] 本发明一般涉及有线和无线网络，特别是涉及检测和诊断网络故障的网络诊断故障构架。

## 背景技术

[0004] 网络管理尽管是成功部署多跳无线网络的关键因素，但是已经受到工业和研究界的有限关注。诊断网络故障是负责维护网络“健康”以及确保网络平稳和连续操作的网络管理的一个方面。诊断有线或无线网络故障，因不同网络实体、不同故障等之中发生的交互作用而复杂化。

[0005] 由于各种附加因素，使得诊断多跳无线网络故障变得复杂化。例如，典型的多跳无线网络通常容易链接由信号传播波动造成的错误。信号传播波动可以由诸如环境条件波动的各种因素造成。这些波动导致动态和不可预知的网络拓扑。节点移动性进一步加重了这些因素，因为节点可能位于链接网络的各种位置上，从而增加网络的动态和不可预知性质。此外，多跳无线网络的容量通常受限于资源（例如，带宽、蓄电池电源等等）的不足，这抑止了网络可以容忍的管理业务开销量。此外，无线网络也许禁不起来自恶意方的链接攻击。攻击者例如可以输入（注入）虚假信息以破坏和干涉网络管理工作。

[0006] 传统的探索和推理技术通常被用来执行网络诊断故障，但是不能捕获如“真实”环境中实施的网络行为。例如，网络行为可以被一个对另一个的节点交互作用，以及位于节点附近外部噪声资源支配。传统的探索或推理技术不能适当地利用其周围环境解决网络不同部件之间的交互作用，因此不能捕获这种网络的行为。

[0007] 所以，需要一种提供改进的故障检测和诊断的网络诊断故障的构架。

## 发明内容

[0008] 本发明公开了一种网络诊断故障构架。该构架可以利用真实网络的仿真，检测真实网络运行中的故障。例如，网络仿真可以由描述真实网络运行的数据驱动。特别是，收集用于驱动网络仿真的原始数据可以包含各种原因的差错，比如硬件、软件和 / 网络差错。为了确保用来驱动网络仿真的数据一致，可以使原始数据归零。例如，网络中的每个节点可以提供用于驱动网络仿真的数据。特定结点提供的数据不仅描述特定节点的操作，而且还描述一个或多个邻近节点的操作。因此，从网络中获得的数据可以是冗余的。然后逐一比较冗余数据，以标识任何不一致性，然后可以通过各种方式纠正不一致性，比如通过数据取平均值、移除不一致数据等方式纠正不一致性。

[0009] 然后网络仿真可以根据该数据估算网络性能。将估算的网络性能与真实网络性能

的已观测网络性能进行比较，以检测真实网络是否按预料的那样正在运行。如果不是，则检测真实网络运行中的故障。换言之，可以利用网络仿真所指示的已估算网络性能与真实网络所指示的已观测网络性能之间的差值，检测真实网络中的故障出现。通过在网络仿真的网络性能逼近真实网络的网络性能之前，分别将一个或多个故障注入到网络仿真中，可以利用用于诊断故障的网络仿真。

[0010] 一旦产生逼近网络性能的一个或多个故障的集被标识，就可以标识和实施一个或多个修改，以纠正故障。例如，网络仿真可以随后被用来执行假设分析，对已仿真网络进行修改，以测试修改是否纠正了故障和/或是否改善了网络性能。因而，网络仿真可以提供关于对网络的各种修改（比如纠正故障和/或改善网络性能的修改）的网络性能效果的定量反馈。

## 附图说明

[0011] 图 1 是显示具有多个节点的网络的一个典型实施例中的环境的示意图；

[0012] 图 2 是详细实现图 1 的分析模块的典型实施的示意图；

[0013] 图 3 是具有 7×3 格栅拓扑的网络的示意图；

[0014] 图 4 是显示包括图 2 的仿真器和网络仿真的系统的典型实施例的示意图；

[0015] 图 5 是描述一个典型实施例中的过程的流程图，在该实施例中，最初逐一诊断具有相同类型的故障；

[0016] 图 6 是一个典型实施例中的决策树的示意图，在该实施例中，该决策树用来根据已仿真性能与已观测性能之间的差异，确定故障的类型；

[0017] 图 7 是描述一个典型实施例中过程的流程图，在该实施例中，利用迭代诊断算法逐一诊断具有不同类型的故障；

[0018] 图 8 是一个典型实施例的示意图，其中，图 1 的多个节点包括可执行邻居监测的代理模块；

[0019] 图 9 是描述典型实施例的过程的流程图，其中比较描述邻近节点的诸多报告，以查找网络中行为不端的节点；

[0020] 图 10 是说明一个典型实施例中的过程的流程图，其中根据联机轨迹驱动仿真执行假设分析；

[0021] 图 11 是典型实施例中过程的流程图，其中根据破坏性流的诊断驱动网络的修改；

[0022] 图 12 是包括多个流的网络的示意图，其中一个流是破坏性流；

[0023] 图 13 是显示由管理员提供图形用户接口 (GUI) 的典型实施例的示意图，所述管理员节点允许网络管理员观察网络以及向网络发出管理请求；

[0024] 在整个说明书和附图中。相同标记涉及类似的部件和特征。

## 具体实施方式

[0025] 概述

[0026] 下面说明供有线和/或无线网络维持有效和可靠网络运行之用的网络诊断故障构架。这里所述的构架可以利用联机轨迹驱动网络仿真，来检测故障和执行故障的根原因分析。网络仿真是可以从真实网络获得网络性能的“联机”。

[0027] 该构架可适用于诊断各种各样的性能问题（即，故障），比如由分组丢弃、链路拥挤、媒体访问控制 (MAC) 行为不端、外部噪声等造成的故障。构架还可以用来评估可替代的网络配置，以改善网络性能。尽管以下讨论描述了典型无线网络中的构架，但是也可以在有线网络中利用该构架。

[0028] 典型环境

[0029] 如上所述，网络管理已经受到工业界和研究界的有限关注。网络管理的实施可以包含：连续监测网络功能，收集网络中节点和链路的信息，删除报告数据中的不一致和噪声，分析数据，以及执行改善网络可靠性和性能的适当行为。

[0030] 网络诊断故障是负责维护网络的“健康”以及确保其平稳和连续操作的网络管理的一个方面。诊断有线或无线网络故障，因各种交互作用而复杂化，此类交互作用比如是，不同网络实体之间发生的交互作用、故障间的交互作用等。诊断多跳无线网络故障，因各种附加因素而变得更加复杂。例如，典型的多跳无线网络通常容易链接由信号传播波动造成的错误，该波动导致动态和不可预知的网络拓扑。此外，多跳无线网络的容量通常受限于资源（例如，带宽、蓄电池电源等等）的不足，这又抑止了网络可以容忍的管理业务开销量。

[0031] 下面说明解决这些复杂性的构架。构架可以利用联机轨迹仿真来检测故障并且执行根原因分析。仿真可以用来再现在造成故障的网络中发生的事件，从而标识和纠正故障。

[0032] 图 1 是一个典型实施例中的环境的示意图，显示了具有多个节点 102(1)、102(2)、102(3)、……102(n)，……102(N) 的网络 100。图 1 的多个节点 102(1)-102(N) 实现一个典型构架，该构架利用了用于故障检测、诊断和假设分析的网络 100 的仿真。构架具有多种有益特性。首先，构架是弹性的（灵活的）。由于仿真是高度客户化的并且可以适用于在不同环境中实施的大类别网络，因此建立在仿真器顶部的诊断故障可以被配置成继承该灵活性。第二，仿真能够获得各种复杂的交互作用。例如，可以在网络内、网络与环境之间捕获交互作用，以及捕获在网络运行期间发生的不同故障之中的交互作用。因此，构架（通过使用仿真）提供宽范围故障及其组合的系统诊断。第三，该构架是可扩展的，其中通过模仿不依赖于系统中其它故障的仿真中的故障，可以把检测新的故障的能力嵌入到构架中。通过仿真的执行，可以隐性地捕获构架中模仿的新故障与先前存在的故障之间的交互作用。第四，仿真器内的网络再现便于假设分析，所述假设分析提供可以对网络进行修改的性能效果的定量反馈。例如，校正行为可以开始校正网络运行中的故障，修改可以增加网络性能，等。

[0033] 构架可以利用一个或多个多种现存网络仿真器来仿真网络 100，比如 QUALNET(QUALNET 是位于洛杉矶的 Scalable Network 技术公司的商标)、OPNET MODELER(OPNET MODELER 是位于华盛顿特区的 OPNET 技术公司的商标)，等等。提供给仿真器的跟踪是从正在诊断的网络（即“真实”网络）获得的。利用来自真实网络的跟踪，删除也许不捕获硬件、软件和所述特定网络的环境的细微差别的一般推理模型的构架的依赖性，从而提高构架的精度。

[0034] 构架还可以利用诊断故障方案执行根原因分析。例如，该方案可以把联机跟踪仿真器发射的已估算网络性能数据利用为真实网络的期望性能的基线。然后利用与期望性能的偏差指示潜在的故障。此外，该方案可以选择性地把候选故障集注入到仿真器中，以通过使诊断故障缩小到搜索故障集的问题来执行根原因分析。因此，可以根据当注入时使仿真逼近真实网络的已观测性能的故障，标识根原因。因此，构架可以利用搜索算法检测和诊断

故障，比如分组丢弃、链路拥挤、外部噪声、MAC 行为不端等等。这些故障对性能可以具有比较长的持续影响，并且更难于检测失败停止错误，比如当电源或者电池断电造成的节点自身断开的失败停止错误。

[0035] 这样，构架可以把仿真利用为网络中可选和潜在性能增强配置的诊断故障和测试的分析工具。在以下部分中，网络跟踪被标识为，当提供给仿真器时，提供给予真实网络行为的精确描述。技术还被描述为减少或者删除来自跟踪的错误数据，该技术的进一步讨论可以在关于图 8 和图 9 的描述中发现。因此，仿真器装备有高质量的数据。此外，搜索算法被描述为有效诊断网络中的多个故障，该算法的进一步讨论可以在参照图 7 的描述中发现。仿真器还可以用来执行假设分析并且量化当前网络上的可能行为的性能效益，进一步的讨论可以在参照图 10-13 的说明中发现。

[0036] 诊断故障构架可以被利用在各种各样的网络配置中。图 1 的网络 100 图示了一个这样的实例，网络 100 被描述为一个无线网状网络。网状网络可以利用各种安排，比如全网状拓扑或者部分网状拓扑。在全网状拓扑中，每个节点被直接连接到网络中的每个其它节点。在部分网状拓扑中，每个节点被连接到至少一个其它节点，但不需要被连接到网络中的每个其它节点上。

[0037] 网状网络例如可以作为用于邻居的使能技术，协作地构成自管理的社团无线网状网络。每个邻居可以提供网络 100 的多个节点 102(1)-102(N) 的一个或多个。借助这样的网络，邻居可以例如以成本效益方式共享互联网网关 104。

[0038] 在邻域中利用的网状网络的实例中，用来通信地链接多个节点 102(1)-102(N) 的路由器位于家庭中，并且被插入在电插座中。因此，该实例中的每个路由器限制移动性。然而，这样的网络中的相对可靠性使得网络诊断故障甚至更加重要，因为故障对网络性能具有持续影响。应当注意的是，该实例中的路由器移动性的缺乏不能减弱网络拓扑的活力，因为环境改变导致无线链路可以访问或者不可以访问。在另一个实例中，网状网络的节点可以是移动的，比如通过具有无线通信能力的移动计算装置、比如个人数字助理 (PDA)、图形输入板个人计算机 (PC)、膝上型计算机等等的使用而移动。

[0039] 此外，社团网状网络的增长是有组织的，因为由用户购买和安装加入网状网络的设备。传统网状网络缺乏负责网络管理的中心实体。然而，可以提供经由所述构架提供的自管理能力和自修复能力，从而使每个节点 102(1)-102(N) 实施诊断故障能力。在所示的实施例中，提供了具有管理能力的单一节点。

[0040] 在图 1 所示的网络 100 中，每个节点具有一个处理器、存储器和网络连接装置。节点 102(n) 显示了一个实例，它包括处理器 106(n)、存储器 108(n) 和网络链接装置 110(n)。处理器（例如，处理器 106(n)，106(N)）不限于构成它们的材料，或者所使用的处理机制。例如，处理器可以由半导体和 / 或晶体管（例如，电子集成电路 (IC)）组成。在这样的语境中，处理器可执行指令可以是电可执行指令。作为选择，处理器的机制，因而节点的机制可以包括（但不限于）量子计算、光计算、机械计算（例如，使用纳米技术）等等。

[0041] 存储器（例如，存储器 108(n)，108(N)）包括取易失性和 / 非易失性存储器的计算机存储媒介，比如只读存储器 (ROM)，随机存取存储器 (RAM) 等等。存储器还可以包括可查协 / 不可拆卸、易失性 / 非易失性计算机存储媒介。存储器提供计算机可读指令、数据指令、软件分量以及用于节点的其它数据的存储。

[0042] 网络链接装置（例如，网络链接装置 110(n)，110(N)）可以采用各种用来通信地把节点连接到网络 100 的配置。当用于局域网 (LAN) 环境时，例如节点 102(n) 经由可以是有线的和 / 或无线的网络接口或者适配器通信地连接 LAN。当用于广域网 (WAN) 环境时，网络链接装置可以被配置成调制解调器，或者用于建立通信的其它装置，比如经由数字用户线 (DSL) 的有线连接、装备有卫星装置的无线连接等。在图 1 中通过箭头的使用，示出了逻辑连接。尽管图 1 所示的网络 100 是无线网状网络，但是也可以利用各种其它网络，比如互联网、内联网等。

[0043] 节点 102(n)、102(N) 示出了由软件模块组成的典型管理结构。通常，可以使用软件、固件（例如，固定逻辑电路）、互处理、或者这些实施的组合来实现所述的任何一种功能。这里使用的术语“模块”、“功能”和“逻辑”通常代表软件、固件或者软件和固件的组合。在软件实现的情况下，模块、功能或者逻辑代表程序码，当在处理器如一个或多个中央处理单元 (CPU) 上运行程序码时，该程序码执行特定作业。程序码可以被存储在一个或多个计算机可读存储器装置中。下面所述的构架特征是独立平台，即，可以在具有处理器的各种商业计算平台上实现的诊断故障技术。

[0044] 设置代理模块 112(n)，以便在网络 100 的每个节点 102(n) 上运行。代理模块 112(n) 代理模块 112(n) 被显示为在处理器 106(n) 上运行，并且可存储在存储器 108(n) 中。代理模块 112(n) 包括一个数据收集模块 114(n)（以下称之为“收集模块”），当运行时，该收集模块可以从各种协议层和 / 或从网络连接装置 110(n) 中收集数据。在图 1 所示的网络 100 中，代理模块 112(n) 向具有管理功能的节点 102(N)（以下称之为管理器节点）报告该数据。管理器节点 102(N) 执行数据的分析（例如通过实施接受作为输入的数据的仿真）并采取诊断网络故障的适当行动。通过把管理器置于如图 1 所示网络 100 的单一节点上，可以统一网络的管理，或者该管理被描述成多个网络节点分别包括管理功能。

[0045] 当在相应处理器 106(n)、106(N) 上运行代理模块 112(n)、112(N) 时，这些代理模块收集并向管理器节点 102(N) 传送描述它们（本地）观看的网络行为。发送的数据的实例可以包括话务统计、不同链路上的接收分组信号强度、每条链路上的重传计数等等。

[0046] 管理器节点 102(N) 包括管理器模块 116(N)，该模块可存储在存储器 108(N) 中并且可以在处理器 106(N) 上运行以处理来自诊断网络 100 故障的代理 112(n)、112(N) 的数据。管理器模块 116(N) 例如包括一个仿真器 118(N)（以下称之为“仿真器”），它可在处理器 106(N) 上运行并可存储在存储器 108(N) 中，以仿真网络 100。

[0047] 管理器节点 102(N) 从各个代理 112(n)、112(N) 接收的数据可以导致网络 100 的不一致观察。这种不一致可以是拓扑和环境改变的结果、测量误差、节点行为不端等的结果。因此，管理器节点 102(N) 包括可在处理器 106(N) 上运行以解决这种不一致的数据清零模块 120(N)（以下称之为“清零模块”）。然后提供从清零模块 120(N) 输出的清零数据，以供根原因分析模块 122(N)（以下称之为“分析模块”）进行处理，下面将参照附图进行进一步讨论。尽管管理器节点 102(N) 被图示为包括代理模块 112(N) 和管理器模块 116(N)，但是在另一个实施例中，管理器节点 102(N) 是不包括代理模块 112(N) 的专用管理器。此外如上所述，管理器模块 116(N) 的功能可以由网络 100 中的一个以上地节点提供。

[0048] 图 2 是详细显示图 1 的分析模块 122(N) 的典型实施例 200 的示意图。一旦图 1 的清零模块 120(N) 已经解决了数据的不一致，该清零数据就被馈送到分析模块 122(N)，用

于进一步探察。

[0049] 分析模块 122(N) 利用联机跟踪驱动仿真，分析与仿真的网络运行所指示的预期网络性能之差的根原因。在下面的讨论中，预期网络性能和仿真网络性能被用来交换地指示由网络仿真提供的网络性能。分析模块 122(N) 可以利用从跟踪使用程序获得的清零数据 202，这种数据的实例在图 2 中被图示为链路接收强度 (RSS)204、链路定位 206 和路由更新 208，以便在给定的网络配置和话务图形下，驱动联机仿真并建立预期性能。

[0050] 分析模块 122(N) 被图示为包括通过仿真器 118(N) 的运行提供的网络仿真 210。网络仿真 210 可以通过一个或多个软件模块的运行来提供，所述软件模块提供网络特征的仿真，这些模块在图 2 中被显示为干涉注入模块 212、话务仿真模块 214 以及拓扑改变模块 216。干涉注入模块 212 通过对网络仿真 210 注入外部噪声，执行对外部噪声源的仿真。话务仿真器模块 214 可执行确保网络仿真 210 的话务逼近真实网络的话务。拓扑改变模块 216 可执行对拓扑变化的仿真，比如通过条加和 / 或删除网络仿真 210 中的噪声来仿真。

[0051] 分析模块 122(N) 通过将网络仿真 210 所指示的预期性能与观测性能进行比较，检测图 1 的网络 100 中的故障。当观测到不一致时，分析模块 122(N) 通过搜索一个或多个被存储在故障目录 218 中的故障，确定差异的根原因，从而导致仿真与观测网络性能之间的最佳匹配。

[0052] 分析模块 122(N) 例如可以接收来自图 1 的一个或多个代理模块 112(n) 的描述损耗率、吞吐量和噪声 220( 在图 2 中，被显示为“损耗率、吞吐量和噪声 220”) 的观测数据 220。网络仿真 210 计算预期数据 222，描述预期损耗率、预期吞吐量和预期噪声 ( 在图 2 中被图示为“预期损耗率、吞吐量和噪声 222”) 的计算。观测数据 220 经过延迟 224 被传递到比较器 226，使比较器 226 同时接收观测数据和预期数据 220、222。比较器 226 随后确定观测数据 220 是否草果预期数据 222。如果是，则比较器 226 把用于通信的错误消息 228 输出给网络管理器，并且把错误传送给故障目录 218，以确定错误的根原因。

[0053] 在经过从故障目录 218 选择一个或多个故障标识错误的根原因之后，分析模块 122(N) 可以仿真用于纠正故障的一个或多个可替代行为。可替代行为是在话务仿真器 214 和拓扑改变模块 216 分别提供的当前话务图形和网络拓扑条件下仿真的。根据仿真，分析模块 122(N) 可以建议减轻故障并增强网络的整个性能的一个或多个行动，其一个实例被图示为图 2 的链路节点故障 230。例如，可以通告网络管理员软件或硬件是否被怀疑为故障，如果检测到不良连接性，可以经由传输功率调整改变拓扑，路由器可以利用速率限制减轻拥塞，等等。

[0054] 联机诊断的网络仿真 210 的使用提供了超过传统的试探或推理诊断技术的多种效益。例如，网络仿真 210 可以提供超过传统试探或者推理技术的，对网路行为的增强理解。运行的无线网络例如是一个复杂系统，具有复杂的部分，比如话务流、连网协议、信号处理算法、硬件、射频 (RF) 传播等等。此外，交互作用可以发生在网络的所有部分之间。可以经过从故障目录 218 中选择一个或多个故障，来有效诊断和解决故障之间的交互作用，所述故障目录 218 产生对应于“真实”网络的实际行为的网络仿真 210。

[0055] 此外，网络行为可以由彼此的节点交互作用、以及位于节点附近的外部噪声源支配。传统的试探或者推理技术不会捕获这种网络的行为，并且不会充分地解决网络的部分成份之间的交互作用。

[0056] 作为一个实例，考虑一个图 3 所示的 7×3 格栅拓扑网络 300。网络 300 中示出了 5 个流，并且被标注为 $F_1$302、$F_2$304、$F_3$306、$F_4$308 和 $F_5$310。在所示的实例中，每个流 302-310 具有相似的通信话务量。例如，每个流 302-310 从相应应用中充分接收相似的数据量。

[0057] 此外，在该实例中，邻近节点彼此可以“听”，并且干扰范围是通信范围的两倍。节点 A312 与节点 O314 之间的话务例如干扰节点 C316 与节点 Q318 之间的话务。同样，节点 G320 与节点 U32 之间的话务干扰节点 E324 与节点 S326 之间的话务。然而，节点 G320 与节点 U322 之间的话务和节点 A312 与节点 O314 之间的话务不干涉节点 D328 与节点 R330 之间的话务。

[0058] 下表描述了当每个流以 11Mbps 速率发送恒定比特速率 (CBR) 话务的吞吐量 302-310 的一个实例。

[0059]

| $F_1$ | $F_2$ | $F_3$ | $F_4$ | $F_5$ |
|---|---|---|---|---|
| 2.50Mbps | 0.23Mbps | 2.09Mbps | 0.17Mbps | 2.53Mbps |

[0060] 如上表所示，流 $F_3$306 接收高于流 $F_2$304 和 $F_4$308 的吞吐量。换言之，流 $F_3$306 消耗比网络 300 的其它流更高的带宽部分。

[0061] 传统上，探索技术的应用导致流 $F_3$306 接收带宽的不适当较大共享的推断。然而通过联机跟踪驱动仿真的使用，管理器节点 102(N) 可以推断这是一种常规行为。例如，网络仿真可以考虑链路质量，因而确定流 $F_1$302 和流 $F_5$310 对接流 $F_2$304 和流 $F_4$308。因此，流 $F_3$306 设有附加带宽，因为缺乏与 $F_2$304 和 $F_4$304 相对的流 $F_1$302 和 $F_5$310 的干扰。这样，仿真可以确定 :即使流可以具有相同的应用等级发送速率，但是仍然期待观测的吞吐量。然而，试探可以获得节点 D328 和 R330 行为不端的错误推断。

[0062] 通过从给定当前话务流和链路质量的网络得知“期望什么”，分析模块 122(N) 利用网络仿真来管理网络。换言之，分析模块 122(N) 可以根据网络仿真提供的估算评论形成了什么常规行为。在上述实例中，即使 $F_3$306 利用比网络 300 中的流更宽的网络 300 的带宽共享，这也不能被管理模块标记为故障，因为期待该行为。当观测行为偏离预期行为时，管理器模块可以调用利用图 2 的故障目录 218 确定偏离的根原因的故障搜索算法。

[0063] 此外，尽管能够把基于签名或者基于规则的故障诊断方案应用于特定类型的网络，并且处于特定环境和配置下，但是简单签名或者规则不能充分捕获一般设置中的故障诊断的固有复杂性。相反，仿真器是非常用户化的，并且可以借助适当参数设置应用于被配置用于不同环境的大类别网络。建于这种仿真器顶层的故障诊断继承该普遍性。

[0064] 基于仿真方案的再一个优点是执行假设分析的能力。也就是，通过修改设置或者在仿真器中执行某些动作，仿真器可以预测用于假设情况的性能。根据该数据，管理器模块可以指令代理模块（例如，图 1 的代理模块 112(n)）采用适当行动最佳化网络的性能。如上所述，这样的假设分析是有价值的，因为难于预知网络中多个因素的交互作用造成的校正动作的结果。例如，可以增加发射器功率改善链路质量，但是增加功率还会造成影响网络中其它节点的附加干扰。

[0065] 故障检测和诊断

[0066] 下面说明基于仿真的诊断方案，该方案考虑了在逼近真实网络的功能的仿真器（例如，网络仿真 210）内部建立环境。然后将建立的环境（即，网络仿真）可以被利用来确定真实网络的预期行为，以及确定真实网络运行中的差异何时发生。为了发现这些差异的根原因，管理器模块可执行对故障空间的搜索，以确定哪些故障或者哪组故障可再现逼近真实网络中观测的网络性能的网络性能。仿真网络可以再现各个网络方面，比如真实网络中观测到的网络拓扑、路由行为、话务图形等。

[0067] 利用作为构建块的联机跟踪驱动仿真，描述可执行发现故障的根原因地诊断算法。诊断算法例如可以在给定的故障集下，首先估算网络性能。然后，根据已估算性能与已观测性能之差，诊断算法搜索故障空间，以再现任何已观测的差异。在一个实施例中，诊断算法可以诊断相同类型（例如网络拓扑）的多个故障，以及诊断多种类型故障（例如，噪声和拓扑）的存在。

[0068] 甚至当用来驱动仿真的跟踪数据包含差错时，也可以诊断故障。例如，图 1 的代理模块 112(n) 提供的数据可以包含各种原因导致的误差，比如测量误差、假通信、节点 102(n) 的运行中的软件 / 硬件误差，网络通信误差，等等。清零节点 102(N) 运行清零模块 120(N)，以从该跟踪中减少或者消除误差，使质量跟踪数据被利用来驱动基于仿真的故障诊断。可以在参照图 8- 图 9 的说明中发现清零模块 120(N) 运行的进一步讨论。

[0069] 跟踪驱动仿真

[0070] 图 4 是显示包括图 2 的仿真器 118(N) 和网络仿真 210 的系统 400 的一个典型实施例的示意图，经由真实网络运行获得的跟踪数据能够使仿真器 118(N) 精确地代表真实网络的网络运行，并检查给定故障集对真实网络的影响。可以从对仿真器的输入中收集各种跟踪数据，下面描述了一些实例：

[0071] 网络拓扑 402

[0072] 网络拓扑 402 数据描述了网络的拓扑，比如节点当前是网络的成员以及节点之间的相应链路。网络中的每个节点例如可以被配置成报告多个邻居节点和在节点的一个或多个路由表中引用的多个节点的状态。这样，可以把网络中的节点从属关系传送给图 1 的管理器节点 102(N)。在一个实施例中，仅仅报告邻居或者路由中的变化。该数据可以用来驱动路由仿真，下面将参照图 4 的路由仿真器更详细说明该路由仿真。

[0073] 话务统计 404

[0074] 话务统计 404 数据可以被用来描述经由网络和传送该数据的特定节点传送的数据量。话务统计 404 可以被图 2 的话务仿真器模块 214 用作输入，使网络仿真 210 具有逼近该真实网络的话务流。网络的每个节点可以维持一个或多个计数器，该计算器描述发送给其直接邻居以及从该直接邻居接收的话务量。该数据用来驱动由话务仿真模块 214 提供的路由话务仿真，图 4 还详细说明了话务仿真模块 214。

[0075] 物理媒介 406

[0076] 物理媒介 406 数据可以描述对被用来实现网络的物理媒介的网络性能的作用。例如，在无线网络中，每个节点可以报告其噪声电平以及来自其邻居节点的无线链路的信号强度。在一个实施例中，通过时间平均、标准偏离或者其它统计集合可以周期地捕获信号强度的变化。

[0077] 网络运行 408

[0078] 网络运行 408 数据描述了真实网络的网络运行 408。如上所述，将观测的网络运行与从网络仿真输出的估算网络运行进行比较，以检测网络运行差异。网络运行可以包括链路运行和端对端运行，通过各种度量，比如分组丢失速率、延迟和吞吐量，测量这两个运行。以下说明集中于链路级运行。

[0079] 数据收集可以包括两个步骤：(1) 在本地节点收集原始性能数据，和 (2) 把收集的数据分布到用于分析的收集点。多种工具可以被用于本地数据收集，比如自然 (native) 路由协议和分组探测。

[0080] 在一个实施例中，即使对管理器模块的数据分配引入了网络开销，网络开销也是很小的，并且对网络中的数据话务影响很小。此外，通过使用压缩、数据编码、多播、时标和 / 或分布的时间范围的自适应变化等，可以减少网络开销。例如，在网络的常规运行期间收集合交换最小数据集。一旦一种需要出现附加数据（例如，当收集的信息指示一个差异时），管理器模块可以请求附加信息并增加用于需要增加监测的节点的子集的数据收集的频率。

[0081] 仿真方法

[0082] 可以以各种类别分类由仿真器模仿的网络特征，如话务负荷、路由、无线信号、故障等等。以下部分将这些典型类别之每个的仿真实例描述为用来使仿真器仿真相应网络特征的各个模块。

[0083] 话务负荷仿真器 410

[0084] 仿真器生成的网络仿真可以被配置成，使它提供逼近真实网络的话务图的一个话务图。话务负荷仿真方案的一个实例包括端对端应用需求的仿真。然而，N 个节点网络可以包括潜在的 $N^2$ 个需求。然而，端对端应用需求也许很难获得应用需求的给定不均匀性以及不同传输协议（比如传输控制协议 (TCP)、用户数据报协议 (UDP)、快速传输协议 (RTP) 等等）的使用。

[0085] 在一个实施例中，话务负荷仿真器 410 模块是图 2 的话务方针模块 214 的一部分，并且提供一个基于链路的话务仿真，该话务仿真用于可伸缩性并且避免获得端对端应用需求的需要。基于链路的话务仿真在实施时，可以调整每条链路的应用级发送速率，以匹配真实网络的观测的链路级话务计数。这样，较高层（例如，传输层，应用层，等等）被抽取，以允许仿真集中到分组大小以及话务速率上。

[0086] 当不能直接控制链路上的发送速率时，比如当仅仅可以调整应用级发送速率以及必需处理媒体访问控制 (MAC) 协议时，在仿真器中基于每条链路匹配发送速率也许是重要的。例如，当链路的应用发送速率被设置在 1Mbps 时，实际发送速率（空中）可能因为 MAC 层上的补偿而变得较低，或者因为 MAC 级重传而变得较高。问题因干扰而更加复杂，从而带来不同链路的发送速率之间的相依性。

[0087] 通过确定每条链路上的发送速率，迭代搜索技术可以被用来解决这些问题。可以利用各种迭代搜索技术，比如 (i) 倍增和倍减，以及 (ii) 附加增加和附加减小。如以下使用典型伪码描述的过程所示，每条链路单独尝试减少仿真器中当前发送速率与真实网络中实际发送速率之差。

[0088] while( 不收敛并且 i ＜ multiplicative)

[0089] i ＝ i+1

[0090] If(option ＝＝ multiplicative)

[0091] 对于每条链路 (j)

[0092] prevRatio = targetMacSent(j)/simMacSent(J) ;

[0093] currRatio = (1-α)+α*prevRatio ;

[0094] simAppSent(J) = prevAppSent(j)*currRatio ;

[0095] else// 附加

[0096] 对于每条链路 (j)

[0097] diff = targetMacSent(j) = prevMacSent(j)

[0098] currsimAppSent(j) = prevAppSent(j)+α*diff ;

[0099] 利用作为输入的 simAppSent 运行仿真

[0100] 依据仿真结果确定用于所有链路的 simMacSent

[0101] conveyed = isConverge(simMacSent, targetMacSent)

[0102] 因而，上述伪码图示了使用倍增 / 倍减或者附加增加 / 附加减小的应用级发送速率的搜索的实例。在上述典型过程中，引入了衰减振荡的参数 α，其中 α ≤ 1(例如，α = 0.5)。该处理重复，直至速率逼近目标速率 ( 表示为 targetMacSent) 或者达到迭代的最大数。

[0103] 路由仿真器 412

[0104] 路由选择在网络性能方面起到重要作用，特别是在多跳无线网络中起到重要作用。一个路由方案包括仿真器内部的用于真实网络的路由协议的仿真。为了再现与真实网络相同的路由行为，获得建立路由得分组的详细跟踪。

[0105] 分组采用的实际路由可以被作为对路由仿真器 412 模块的输入。当路由不能频繁波动时，可以追踪路由改变，以取代管理器上基于逐个分组的收集路由。为此目的，路由仿真器 412 模块可以是跟踪驱动。例如，可以在仿真器 118(N)(比如 QUALNET 仿真器 (QUALNET 是位于洛杉矶 CA 的 Scalable 网络技术有限公司的商标 )) 内部实施路由仿真模块。路由仿真 412 模块接收作为输入的路由更新和相应的时间标记，然后确保网络仿真中的分组跟踪与真实网络中相同的路由。

[0106] 信号强度仿真器 414

[0107] 信号强度影响有线和无线网络性能。由于不同网络连接装置 ( 例如，无线卡 ) 和环境地变化，普通传播模型也许很难得到捕获所有这些因素的结论。为了解决该问题，可以依据真实网络中信号强度的真实测量 ( 比如，从网络连接装置本身获得 ) 驱动信号强度仿真器 414。

[0108] 故障注入 416

[0109] 构架可以包括故障注入 416 模块，该模块可把不同类型的故障，比如主机上的分组丢弃、外部噪声源、MAC 行为不端等等注入到仿真器中。这样，分析模块可以检查故障对网络的影响。主机的分组丢弃例如发生于行为不端节点丢弃一部分来自一个或多个邻居节点的话务时，这种丢弃例如是硬件 / 软件差错、缓存器溢出、恶意丢弃等造成的。检测这种终端主机丢弃的能力是有用的，因为它允许管理器将终端主机造成的损耗与网络造成的损耗区别开来。

[0110] 通过故障注入 416 模块的运行，构架还支持网络中的注入外部噪声源的能力。因而，构架可以提供复制噪声源效果的仿真，该噪声源位于网络之外 ( 即，不是节点提供的 )

但仍然影响网络。

[0111] MAC 行为不端发生于故障节点不遵从 MAC 规则（规矩）并获得信道带宽的不公正共享的时候。例如，在 IEEE802.11 中，故障节点可以选择更小的争用窗口 (CW)，攻击性地发送话务。

[0112] 构架还可以通过把高数据发射负荷应用于仿真网络上，来仿真链路争用。与其它类型的故障不同，链路拥塞通过从每个节点收集的话务统计来隐性地捕获。因此，增机驱动仿真可以访问真实网络上的链路拥塞的影响。从以下部分可以发现故障诊断的进一步讨论。

[0113] 故障诊断

[0114] 通过图 2 的分析模块 122(N) 的运行可以诊断故障的根原因和性能问题。通过把故障应用于网络仿真，网络差异的诊断可以被归纳为故障集的搜索，其中当故障注入到仿真网络时，产生逼近真实网络的观测性能的被仿真网络地估算性能。更正式地，给定网络设置 NS、FaultSet 被认为使：

[0115] $SimPerf(NS;FaultSet) \approx RealPerf$，

[0116] 其中，网络性能是可以使用各种不同度量量化的功能值。故障的搜索空间可以包含多个搜索维数，这归因于可能遇到的故障的不同组合。在一个实施例中，由于不同类型故障经常改变一些特定网络性能度量的现时，因此为了有效搜索而优化分析模块 122(N)。例如，主机的分组丢弃通常影响链路损失率，但是不影响其它网络性能度量。因此，网络性能度量可以用来，通过注释由度量指示的观测与估算网络性能之间的差异，来诊断网络性能。

[0117] 在一个实施例中，不需要提供用于故障诊断目的地预测模块。此外，只需要仿真事后网络发生了什么事情。例如，代理模块可以周期地向管理器模块报告关于链路条件和话务图的信息。该信息被处理，然后馈入仿真器，以建立可以用来确定故障的可能的根原因。

[0118] 初始诊断

[0119] 图 5 是描述一个典型实施例中的过程 500 的流程图，其中最初诊断彼此具有相同类型的故障。为了便于描述，以下讨论包含三种故障的典型类型：(1) 主机中的分组丢弃；(2) 外部噪声；(3)MAC 行为不端。然而，应当明白，也可以处理各种各样的其它故障和故障组合。以下讨论包括利用所述系统和装置可以实现的过程。每个过程的诸多方面可以在硬件、固件或者软件或者其组合中实现。过程被显示为一组方框，该方框指定由一个或多个装置执行的操作，但是不一定限制到由相应方框执行操作所显示的顺序。

[0120] 如上所述，当跟踪驱动仿真以真实网络的当前网络设置维持时，该仿真可以被用来建立网络的估算网络性能。根据估算网络性能与观测网络性能之差，可以使用诊断树确定故障类型，其一个实施例被显示在图 6 中。

[0121] 由于各种因素，估算网络性能很可能与被观测的网络性能相同，即便没有故障。因此，可以使用阈值确定网络性能的差异。例如，可以根据已估算与被观测（即，真实的）网络性能之差是否超过相应阈值来确定差异。可以以各种方式计算阈值，如通过观测仿真的和实际网络性能之间的历史差异来计算。

[0122] 故障分类方案（图 6 所示的一个实例）被配置成通过，注释不同故障展示不同相应行为，确定造成差异的故障类型。尽管每个故障展示的行为也许仍然重叠（例如，噪声源和主机中的分组丢弃增加损失率，降低争用窗口增加话务量，以及因此增加干扰噪声等

等)，但是通过检查不同的相应行为，可以首先分类故障。例如，外部噪声源增加邻居节点经历的噪声电平，但是不增加任何节点的发送速率。因此，可以从 MAC 不端行为何主机的分组丢失区别外部噪声源。

[0123] 再次参见图 5，以下讨论具有突出文字的置于括号内的说明，该突出文字描述典型伪码（被包含在有关附图的讨论中）中利用的可替代符号。在方框 502 上，分析模块从多个故障中选择一个或多个故障，比如从图 2 的故障目录 218 中选择一个或多个故障。在过程 500 的第一重复（迭代）上，没有选择到在正常操作条件下驱动网络的预期性能的多个故障的任何一个，即没有故障。在另一个实施例中，图 5 的过程 500 被用来执行初始诊断并且不重复，即它是“一次完成”过程。在这样的实施例中，方框 502 可以从过程 500 中移除，并且作为空集 {} 提供故障集。

[0124] 在方框 504 上，故障集 (FS) 和网络设置 (NS) 作为输入被提供给网络仿真。可以供应各种网络设置，比如信号强度、话务统计、路由表等等。

[0125] 在方框 506 上，通过用所提供的输入执行网络仿真，来预测预期性能 (SimPerf)。在判决方框 506，确定预期性能 (SimPerf) 与真实性能 (RealPerf) 之差 (Diff) 是否大于阈值。如果该差异大于阈值（方框 506)，则确定故障类型 (FT)（方框 510)。故障类型确定的进一步讨论可以在参照图 6 的说明中找到。

[0126] 在确定故障类型之后，通过找到具有超过特定故障类型的阈值的观测与预期网络性能之差（方框 514) 的一组节点和链路，查找故障（方框 512)。故障类型确定使用什么网络性能度量来量化性能差异。例如，通过找到具有预期与观测损失率之间的明显差异，可以辨识分组丢弃。

[0127] 在方框 516 上，确定故障的量级。一个功能（表示为“g()”) 例如可以用来把故障的影响映射到对应的量级。例如，在终端主机丢弃情况下，g() 功能是一个身份功能，因为链路损失率的差异可以被直接映射到链路上分组丢弃率（故障量级）的变化。在外部噪声故障情况下，g() 功能是噪声信号的传播功能。可以为每个链路或节点重复方框 510-516。然后，把具有对应量级的故障添加到故障集上（方框 516)。

[0128] 下文描述了为实施类似于图 5 的过程 500 的过程执行的典型伪码，该过程被显示为：

[0129] 让 NS 代表网络设置（即，信号强度，话务统计，路由表）

[0130] 让 RealPerf 代表真实网络性能

[0131] FaultSet = {}

[0132] 通过用输入 (NS ;FaultSet) 运行仿真，预测 SimPerf

[0133] if|Diff(SimPerf,RealPerf)| >阈值

[0134] 使用用于每个链路或者节点 i 的决策树，确定故障类型

[0135] if(|$Diff_{ft}$(SimPerf(i),RealPerf(i))| >阈值）

[0136] 添加具有量 (i) = g($Diff_{ft}$(SimPerf(i),RealPerf(i))) 的故

[0137] 障 (ft,i)

[0138] 伪码描述了可以用来检测故障是否已经发生的诊断算法。以下过程是可以用来确定已检测故障类型的算法的一个实例。

[0139] 图 6 是描述一个典型实施例中的过程 600 的流程图，其中决策树被用来确定故障

类型。图 6 中所示的过程 600 可以或不可以对应于图 5 的方框 510。在判决方框 602，确定分组发送的仿真量 (SimSent) 加分组发送的真实量 (RealSent) 的绝对值是否大于阈值，表示为 ThreshSentDiff。如果是，则发送指示争用窗口 (CW) 被设置得太低的故障 ( 方框 604)。

[0140] 如果未超过方框 602 的阈值，则在判决方框 606 上，确定是否存在真实网络与的真实噪声 (RealNoise) 与仿真网络的预期噪声 (SimNoise) 之间的差异 ( 即，已经超过阈值噪声差异 ThreshNoiseDiff)。如果是，则确定噪声故障 ( 方框 608)。

[0141] 如果未超过噪声阈值 ( 方框 606)，则在判决框 610 上，确定仿真分组损失 (SimLoss)，即预期分组损失，是否因为大于阈值损失差异 (ThreshLossDiff) 而不同于真实分组损失 (RealLoss)。如果是，则已经经历分组丢弃故障 ( 方框 612)。否则，节点则正常操作 ( 方框 614)。应当明白，还可以以类似方式确定各种各样的其它故障类型。

[0142] 图 7 是描述一个典型实施例中过程 700 的流程图，其中使用迭代诊断算法诊断彼此具有不同类型的故障。通常，在网络中可以经历多种类型的对接故障。即使故障是相同类型的故障，也仍然可以经历交互作用，因此不足以一次完成诊断算法。因此，图 7 所示的迭代诊断算法可以被实施，以找到根原因。算法包括两阶段 :(i) 类似于图 5 的过程 500 的初始诊断级，以及 (ii) 迭代细化。

[0143] 在初始诊断期间，一次完成诊断算法适用于导出初始故障集。在第二阶段期间，通过 (i) 调整已经插入到故障集的故障的量级，(ii) 如果需要把新的故障添加到故障集上，来迭代地细化故障集。可以重复进行过程 700，直至故障集的改变可以忽略，比如当故障类型和位置不改变时，故障量级改变到最小量，等等。

[0144] 迭代方案还可以用来搜索故障的量级。在一个高层上，该方案类似于参照图 5 所述的基于链路的仿真，其中目标与当前值之差被用作逐步向目标移动的反馈。

[0145] 在方框 702 上，例如，在现有的用于每个迭代的故障下，估算预期网络性能。例如，可以经过使用从真实网络获得的网络设置的网络仿真来估算预期网络性能。经由每个节点上代理模块的运行，提供网络设置。每个节点提供的网络设置可以描述节点的本地网络性能以及邻居节点的网络性能。

[0146] 在方框 704 上，计算估算网络性能 ( 在现有故障集之下 ) 与真实性能之差。例如，可以通过管理器节点运行管理器模块，计算该差异。当管理器模块运行时，该模块将从仿真网络获得的估算 ( 即，预期的 ) 网络性能与真实 ( 即，观测的 ) 网络性能进行比较，所述真实网络性能由从多个代理获得的附加网络设置指示。

[0147] 图 7 的过程 700 首先采用类似于图 5 所示的过程 500 的方式进行初始故障诊断。例如，在判决方框 706 上，确定比较的差异是否大于相应的阈值。如果否，则报告故障集 ( 方框 708)。在该情况下，由于计算的差值不大于阈值，因此这向分析模块指示网络正在正常运行。然而，如果所计算的差异大于相应的阈值 ( 方框 706)，则确定故障类型 ( 方框 710)。可以采用各种方式确定故障类型，图 6 描述了其中的一个实例。

[0148] 在方框 712，差异被变换成故障量级中的变化，并且根据所比较的变化调整故障量级 ( 方框 714)。例如，参照图 5 所述的功能 g() 可以被用来根据预期与真实网络性能之差，计算每个故障的故障量级。这样，可以逐一比较故障，以确定故障具有对对应于所观测的差异的网络性能的影响。在一个实施例中，最大故障量级首先被用来解释差异，从而标识造成

差异的特定故障。在另一个实施例中，比较故障量级，以查找导致逼近所计算差异的的一个差异的故障。例如，多个故障之每个可以有预期与真实网络性能之间的相应差异。通过将相应差异与网络性能中计算差异相匹配，可以选择一个或多个故障。在方框 716 上，删除具有低于相应阈值的量级的故障。

[0149] 在判决方框 718 上，确定使用当前故障集的网络的预期性能是否正在收敛于真实网络性能。例如，分析模块可以存储描述故障集的一个或多个在前迭代的试探数据以及网络仿真中的合成性能值。目标值（即，真实网络性能值）与当前值（即，仿真网络性能值）之差被分子模块用作逐步“运行”网络仿真以逼近真实网络的反馈。

[0150] 如果预期性能未收敛真实网络性能（方框 718)，则把新的故障候选者添加到故障集上。除了搜索故障的正确量级外，例如可以通过选择可以最佳解释预期与真实网络性能之差的新故障候选者，来迭代地细化故障集中的从属关系（方框 720)。这些新故障被添加到故障集上（方框 722)。随后将包括故障候选者的故障集用作对网络仿真的输入，以在现有故障集之下估算预期网络性能（方框 702)。在一个实施中，在可以解释最大差异的过程 700 的每个迭代期间，添加故障，由此控制错误坑定。随后可以重复过程 700，直至仿真网络的预期性能逼近真实网络的真实性能。这样，可以经由故障的内含物运行仿真网络，使它提供产生真实网络中已观测的网络性能的故障的精确描述。

[0151] 下面说明可以运行以提供图 7 的过程 700 的典型伪码。

[0152] 1) 让 NS 代表网络设置

[0153] （即，信号强度，话务统计和路由表）

[0154] 让 RealPerf 代表真实网络性能

[0155] 2)FaultSet = {}

[0156] 3) 通过用输入 (NS ;FaultSet) 运行仿真，预测 SimPerf

[0157] 4)if|Diff(SimPerf,RealPerf)| >阈值

[0158] 转到 (5)

[0159] else

[0160] 转到 (7)

[0161] 5) 初始诊断 :通过应用图 5 的算法，初始化 FaultSet

[0162] 6)while(未收敛)

[0163] a) 调整故障量

[0164] 对 FaultSet 中的每一故障类型 ft(以图 6 中决策树的顺序)

[0165] 对 (FaultSet,ft) 中的每个故障 i

[0166] 量 (i)- = $g(Diff_{ft}(SimPerf(i),RealPerf(i)))$

[0167] if(| 量 (i)| <阈值)

[0168] 删除故障 (ft,i)

[0169] b) 需要时，添加新的候选故障

[0170] 对每个故障类型 ft(图 6 的决策树的顺序)

[0171] i) 发现故障 i，使得它不位于 FaultSet 中并且具有最大

[0172] $|Diff_{ft}(SimPerf(i)) ;RealPerf(i))|$

[0173] ii)if$|Diff_{ft}(SimPerf(i),RealPerf(i))|$ >阈值

[0174] 把 (ft, i) 添加到具有量 (i) = g(Diff$_{ft}$(SimPerf

[0175] (i)) 的 FaultSet

[0176] c) 仿真

[0177] 7) 报告 FaultSet

[0178] 因而，上述伪码描述了被配置成诊断多类型的诊断故障的典型诊断算法。

[0179] 消除跟踪数据中的差错

[0180] 在在前部分中，描述了故障诊断，其中根总数据被用来驱动联机仿真。实际上，由代理模块收集的原始跟踪数据在相应节点运行时，该原始跟踪数据可以包含上述的各种原因的错误，比如由于硬件、软件和 / 或网络差错造成的错误。因此，可以运行图 1 的清零模块 120(N)，清零从多个代理接收的“原始”跟踪数据，以向用于故障诊断地仿真器 118(N) 提供作为输入的已清零跟踪数据。

[0181] 图 8 是一个实施例中的网络 800 的示意图，其中图 1 的多个节点 102(1)-102(N) 包括可运行执行邻居监测的代理模块。在网络中的每个节点上运行的代理模块执行邻居监测，这是一种多个节点 102(1)-102(N) 报告不仅用于它自己的输入 / 输出链路，而且还用于通信范围之内的其它链路的性能和话务统计的技术。乐意以各种方式执行邻居监测。例如，第一节点的代理模块可以检查网络中的第二节点，以从第二节点获得网络性能。在另一实例中，第一节点从第二节点接收通信如广播，包括网络性能数据。在另一个实例中，第一节点监测由经由网络通信的第二节点发送的数据，以监测网络性能。第一节点例如可以运行于“混杂”模式，该模式允许节点的网络连接装置全面截听和读出到达该特定节点的每个数据分组。

[0182] 由于邻居监测，来自不同源 ( 即，节点 ) 的多个报告很可能被提交给每条链路。节点 102(3) 例如可以从节点 102(2) 获得描述节点 102(2) 的网络性能以及节点 102(1)、102(n) 的网络性能的报告 802(2)。用于图 8 中报告的参考标号的括号被选择来显示具有其相应节点的报告的通信，例如节点 102(2) 与报告 802(2)。

[0183] 节点 102(3) 包括来自报告 802(3) 中的报告 802(2)( 在图 8 中被显示在阴影中 ) 的网络性能数据，报告 802(3) 是为了向管理器节点 102(N) 通信而形成的。报告 802(3) 还可以包括节点 102(3) 通过监测节点 102(2)、102(1) 获得的网络性能。在一个实施例中，报告 802(3) 通过代理模块的运行来优化，以删除冗余信息。例如，代理模块 102(3) 可以删除相应报告 802(2)、802(3) 中相一致的并被节点 102(2)、102(3) 重复的信息。同样，节点 102(n) 可以运行收集模块 114(n)，以从节点 102(2)、102(3) 获得网络性能。网络性能数据被配置成报告 802(n)，用于向管理器节点 102(N) 通信。

[0184] 冗余报告可以被管理器节点 102(N) 用来检测一个或多个网络性能的不一致。例如，管理器节点 102(N) 通过运行清零模块 120(N) 对报告 802(2)、803(3) 进行相互比较，以发现这里所述的网络性能的不一致。可以以各种方式发现不一致，下图描述了其中的一个实例。

[0185] 图 9 是描述一个典型实施例中的过程 900 的流程图，其中比较描述邻居节点的诸多报告，以查找网络中行为不端的节点。在该实施例中，过程 900 把行为不端节点标识为可以解释报告差异的最小节点集。

[0186] 在参照图 9 所述的过程 900 中，第二节点 i 把多个分组发送和为直接链路而接收

的多个 MAC 级确认报告为 ($sent_i(1)$,$ack_i(1)$)。接收节点 j 把链路上接收的多个分组报告为 $recv_j(1)$。此外,发送或接收节点的直接邻居 k 还把脸路上发送或接收的分组数量以及 MAC 级确认报告为 ($sent_k(1)$, $recv_k(1)$, $ack_k(1)$)。报告中的不一致被定义为以下情况之一。

[0187] 在判决方框 902 上,确定目的地报告的链路接收的分组数量是否明显大于(由阈值描述)它的源报告的同一链路上发送的分组数量。也就是,对于从节点 i 到节点 j 的链路 1,并且给定阈值 t,进行以下确定:

[0188] $recv_j(1)-sent_i(1) > t$

[0189] 阈值 t 被利用,因为通常不同步相应节点的报告通信。如果所接收的报告的数量明显大于发送的分组的数量,则记录报告的不一致,这将在方框 912 中进行更详细说明。如果相应节点接收和发送的分组的数量对应,则过程 900 前进到方框 904。

[0190] 在判决方框 904 上,确定它的源报告的链路上发送的多个 MAC 级确认是否对应由它的目的地报告的该链路上接收的多个分组。换言之,对于从节点 i 到节点 j 的链路,并且给定属于 t,进行以下确定:

[0191] $|ack_i(1)-recv_j(1)| > t$

[0192] 因此,如果确认的数量不对应(即,逼近)接收的分组的数量(方框 904),则记录报告中的不一致。如果所接收的确认和报告的数量对应(方框 904),则过程 900 前进到方框 906。

[0193] 在判决方框 906,确定由它的目的地的邻居报告的链路上接收的分组数量是否明显大于由它的源报告的相同链路上发送的分组数量。也就是,对于从节点 i 到节点 j 的链路 1,其中节点 j 的邻居是节点 k,并且给定阈值 t,则进行以下确定

[0194] $recv_k(1)-sent_i(1) > t$

[0195] 因此,如果所接收的分组数量对应(即,逼近)发送的分组数量(方框 906),则记录报告中的不一致。否则,过程 900 前进到方框 908。

[0196] 在判决方框 908,确定源的邻居报告的链路上发送的分组数量是否明显大于源报告的相同链路上发送的分组数量。换言之,对于从节点 i 到节点 j 的链路 1,i 的邻居 k 以及给定阈值 t,确定下式:

[0197] $sent_k(1)-sent_i(1) > t$

[0198] 如上式所示,如果发送的分组数量逼近分别由源和邻居节点指示的发送的分组数量(方框 908),则记录报告中的不一致。否则,报告是一致的(方框 910)。

[0199] 在判决方框 912,确定节点的不一致对是否已经被包含在不一致图形中。如果否,则节点被添加到不一致图形上(方框 914)。如果节点的不一致对已经被在不一致图形中(方框 912)或者已经被添加到不一致图形上(方框 914),则在不一致图形中的节点之间增加一个边缘(方框 916)。

[0200] 在每个不一致对已经被标识之后,在方框 918 在可以解释已观测的不一致的不一致图形中找到最小节点集(即,最小数量)。例如,可以假定网络中的大多数节点发送可靠的报告。因此,可以解释已观测的不一行的最小节点集被发现。这可以例如通过发现覆盖不一致图形的最小最小顶点集来实现,其中被标识的顶点代表行为不端的节点。

[0201] 通过利用最小顶点覆盖问题 (cover problem)(被认为是 NP 难题),可以发现最

小顶点集。应用贪恋算法，从当前不一致图形中迭代地挑选并移除具有最多边缘和事变(incident)边缘的节点，直至不剩余边缘。

[0202] 报告的历史可以用来进一步改善不一致监测的精度。例如，在方框920，可以增加新报告，以更新不一致图形，但不删除在前信息。然后使用过程900的方框912-918，处理新报告中的节点的不一致对。例如，方框918的相同贪恋算法可以被再应用于标识行为不端节点。

[0203] 假设分析

[0204] 在上述部分中，可以有选择地把故障注入到网络仿真中，以标识故障（如果有的话）可以造成预期与观测网络性能之差。网络仿真还可以用来执行假设分析，以改善网络运行。假设分析允许管理器模块在运行时，确定不同的可能网络以及节点配置对网络性能的影响。假设分析的结果是允许管理器模块有效操作网络的动作集，比如通过使网络中的已选节点上的代理模块配置相应的节点来有效操作网络。

[0205] 例如，通过使用上述的联机跟踪驱动仿真，可以执行假设分析。在可以收集以驱动仿真器（例如，图2的仿真器118(N)）的以下讨论中，标识典型跟踪。例如，仿真器可以用来提供真实网络的网络仿真。网络仿真可以被配置成测试不同节点和网络配置，并确定配置产生用于现有话务条件的最佳整体网络性能。管理器模块然后可以根据配置确定网络中的特定节点实施的动作集。

[0206] 利用假设分析的传统技术用来简化网络模型，和通过分析导出预期性能。然而，联机跟踪仿真具有优于推理分析的优点，其中仿真器的使用提供对网络行为的改进洞察力，它高于试探或者推理技术本身可能的洞察力。例如，一个运行的无线网络是一个具有许多复杂部分的复合系统，这些部分包括话务流、连网协议、信号处理协议、硬件、RF传播以及这些部分之每个之间的最重要交互作用。此外，网络行为可以被彼此范围内的节点之间的交互作用以及附近的噪声源支配。试探技术和推理技术都不能捕获这种网络的行为何不同成份之间的交互作用。

[0207] 图10是描述典型实施例中的过程1000的流程图，其中根据联机跟踪仿真执行假设分析。在高层上，过程1000首先利用网络仿真再现真实网络。然后通过应用网络仿真中这些变化，确定应用于真实网络时的对网络修改的结果，以量化网络性能含义。

[0208] 在方框1002，通过运行管理器模块选择多个修改的一个或多个。可以采用各种方式选择修改。例如，修改可以被管理器模块考虑为造成网络性能增加而不是降低的故障。这种情况中的修改可以被存储在图2的故障目录218中，并且根据类型安排该修改。在方框1004，分析模块提供真实网络的网络设置，和包括对作为输入的网络仿真的选择修改的修改集。

[0209] 在方框1006，根据输入预测网络的预期性能。例如，仿真器可以根据真实网络的网络设置和修改集建立网络仿真。上述的网络仿真随后被用来确定对真实网络修改的结果。

[0210] 分析模块在运行时，导出由网络的代理模块将要执行的一个或多个动作，以实施修改（方框1008）。分析模块例如可以包括被映射到对应修改的动作的目录。分析模块然后可以根据修改获得对应动作。

[0211] 在方框1010分析模块构成描述对相应代理模块通信的一个或多个动作的通信。相应的代理模块随后可以使网络的相应代理实施所述的代理。因此，管理器和代理模块可

以被用来根据联机跟踪驱动仿真，采用类似于故障监测的方式执行假设分析。

[0212] 在另一示例性实现中，使用仿真来确定将对网络进行的修改，以改善网络性能，例如通过使用迭代方案来执行假设分析。该方案类似于参照图 5 和图 7 所述的仿真。由此，当需要多个修改动作时，可使用迭代精简。

[0213] 图 11 是描述一个实施例中的过程 1100 的流程图，其中根据破坏流的诊断导出对网络的修改。在方框 1102，管理器模块（例如，图 1 和图 2 的管理器模块 116(N)）被运行，以确定网络中一个或多个流正在经历低于它们的相应预期目标吞吐量值得吞吐量值。在方框 1104，管理器模块确定网络中的任何一个流是是否“破坏流”。破坏流是一种类型的故障，它的存在使网络吞吐量严重恶化，并且该故障不同于破坏流自身健康，但是又不与竞争流发生交互作用的在前故障。

[0214] 在方框 1106，例如收集描述目标端对端需求以及正在使用的路由协议的网络设置。应当注意，这些网络设置可以不同于诊断故障所用的跟踪，因为过程 1100 检查网络（例如，链路负荷和路由）如何调整网络配置中的变化。

[0215] 在方框 1108，根据每次一个从网络仿真的每个流的移除，检查对总计网络吞吐量的影响。在一个实施例中，破坏流被标识为一个流，该流的移除产生对网络性能的最明显得整体改善。例如，图 12 示出了包括多个流 1202-1216 的网络 1200。流 8 1216（如图 12 中的 $F_8$ 所示）交叉所示网络 1200 中的其它流 1202-1214。因此，与其它流 1202-1214 的移除相反，流 8 1208 的移除导致吞吐量的最大增加。换言之，流 8 1216 的存在造成对网络 1200 的性能的最大破坏量。这样，可以确定导致网络性能的最大增加的对网络 1200 的修改（例如，流 8 1216 对系统的其它流的影响的消除或者减少）。

[0216] 在方框 1110，根据可以用来改善网络性能的修改导出一个或多个动作。典型动作可以包括流 8 1216 速率限制、路由选择以及拓扑控制。网络仿真能够使管理器模块进一步精确估算这些动作的益处。例如，下表显示了典型校正动作的预期吞吐量。

[0217]

| 动作 | 总吞吐量 (Mbps) |
|---|---|
| 无动作 | 1.064 |
| 流 8 速率减半 | 1.148 |
| 经由格栅边界潞由流 8 | 1.217 |
| 把传输功率增加到 20dBM | 0.990 |
| 把传输功率增加到 25dBM | 1.661 |

[0218] 如表所示，在研究中，传输功率增加到 25dBm 在四格典型动作（和一个静止动作）之中产生最高吞吐量，因为它减少了达到目的地所需的中继段的数量。根据这些结果。管理器模块构成通信，使相应节点上的一个或多个代理增加功率，以减轻网络性能问题。

[0219] 典型构架实施

[0220] 所述构架的一个实例已经在 WINDOWS XP 平台 (WINDOWS XP 是微软公司 (Redmond

WA) 的商标 ) 上实现。该部分描述了典型实施例的部件、涉及原理以及其特征。

[0221] 该实例的典型构架包括两个分离的部件 :代理模块和管理器模块。如参照图 1 所述,代理模块在网络的每个节点上运行,以周期地或随选地报告本地数据。管理器模块从代理模块收集相应数据并分析数据,比如通过运行参照图 2 所述的分析模块来分析数据。

[0222] 典型构架利用简单和可扩展设计原理。例如,为监测和管理而收集和传播地数据可以被输入 WINDOWS(WINDOWS 是微软公司 (Redmond WA) 的商标 ) 支持的性能计数器。可以按类别成组的 ( 名称,值 ) 对提供性能计数器。

[0223] 所述的构架还可扩展。增加监测的数据包括性能计数器的新类别的建立以及写一个模块,以便随着信息变化更新计数器值。涉及传输控制协议 (TCP)、用户数据报协议 (UDP)、互联网协议 (IP) 的性能数据以及工作站远程应用编程接口 (WRAPI) 可以并入具有少量附加工作的构架。

[0224] 这些性能计数器中的值可以是只读的或者可写的。可写计数器例如提供一种用于改变值以及影响节点行为的已授权管理器节点的方式,以便确定问题或者远程启动试验,比如通过管理器模块与运行于不同的相应节点上的代理模块的通信来确定问题或者远程启动试验。

[0225] 每个管理器节点还可以装备与网络管理员交互作用的图形用户接口 (GUI)1300( 图 13 示出了其中的一个实例 )。GUI 允许管理员观察网络以及经由管理器模块发出管理请求。GUI 1300 显示一个用于典型网络试验台的不拘。该实例中的 GUI 1300 用被显示在 23 个节点的试验台上的代理描述了一个管理器窗口。管理器模块可以根据直接获得或推断的节点的相应坐标显示拓扑。GUI 1300 还允许管理员把网络的特定部分放大以得到更详细信息,并点击链接以表格式显示特定链接的网络性能数据。

[0226] 结束语

[0227] 尽管已经采用专用于结构特征和 / 或方法动作的语言描述了本发明,但是应当明白所附权利要求定义的本发明不一定局限于所述的特定特征或动作。特定特征和动作是作为实施本发明的典型形式公开的。

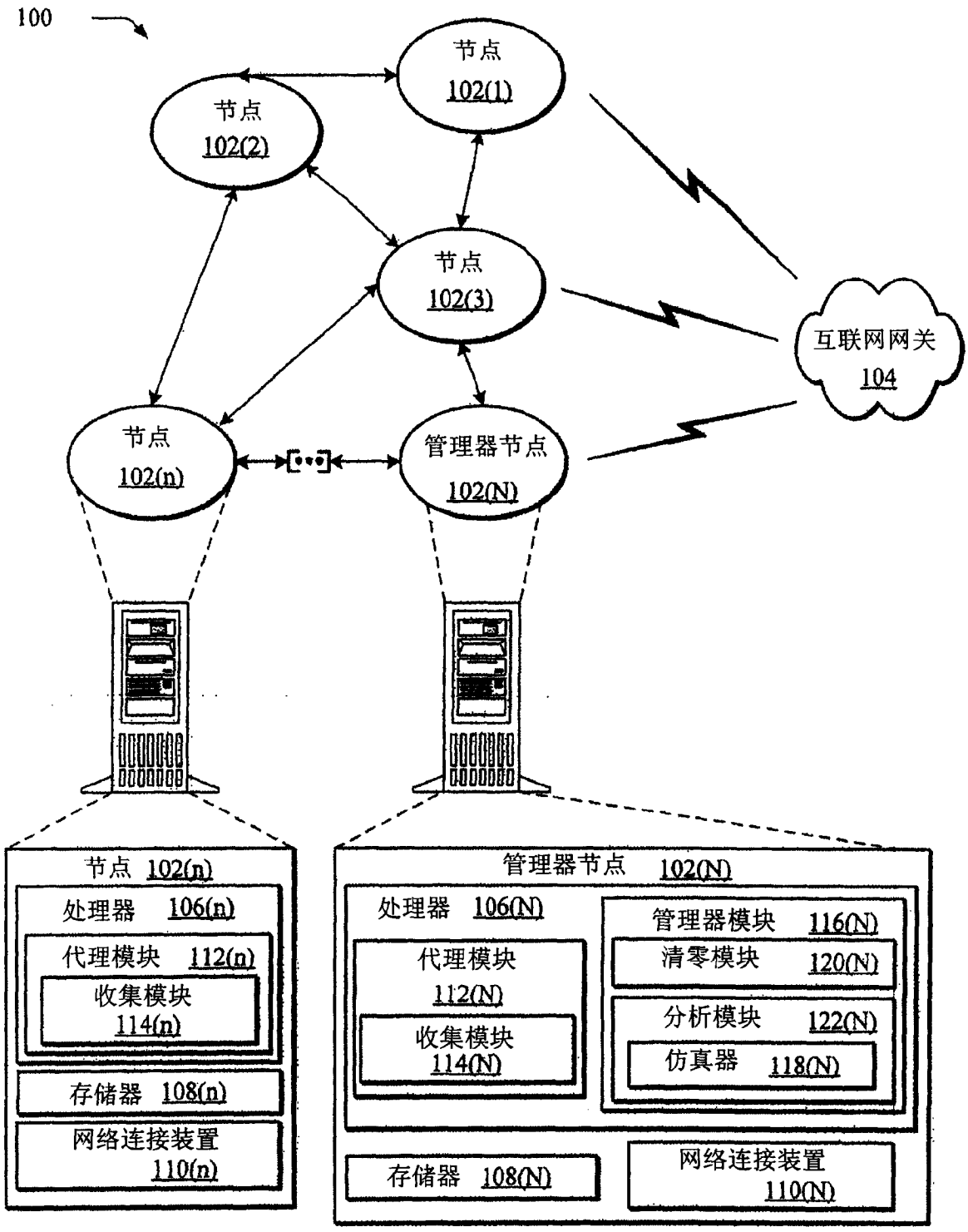

100
节点
102(1)
节点
102(2)
节点
102(3)
互联网网关
104
节点
102(n)
管理器节点
102(N)
节点 102(n)
处理器 106(n)
代理模块 112(n)
收集模块
114(n)
存储器 108(n)
网络连接装置
110(n)
管理器节点 102(N)
处理器 106(N)
代理模块
112(N)
收集模块
114(N)
管理器模块 116(N)
清零模块 120(N)
分析模块 122(N)
仿真器 118(N)
存储器 108(N)
网络连接装置
110(N)

图 1

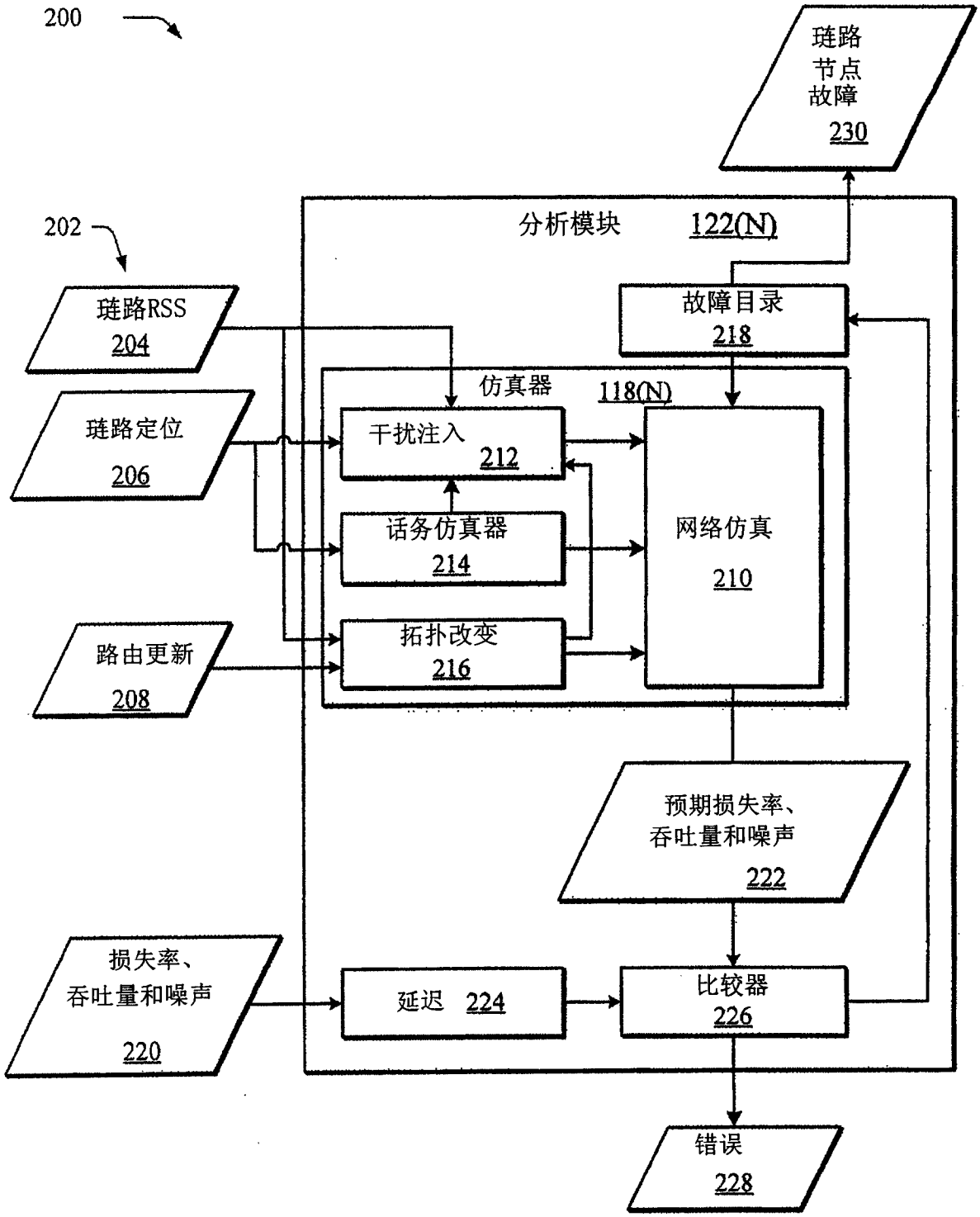

200
链路
节点
故障
230
202
分析模块 122(N)
链路RSS
204
故障目录
218
仿真器 118(N)
链路定位
206
干扰注入
212
话务仿真器
214
网络仿真
210
路由更新
208
拓扑改变
216
预期损失率、
吞吐量和噪声
222
损失率、
吞吐量和噪声
220
延迟 224
比较器
226
错误
228

图 2

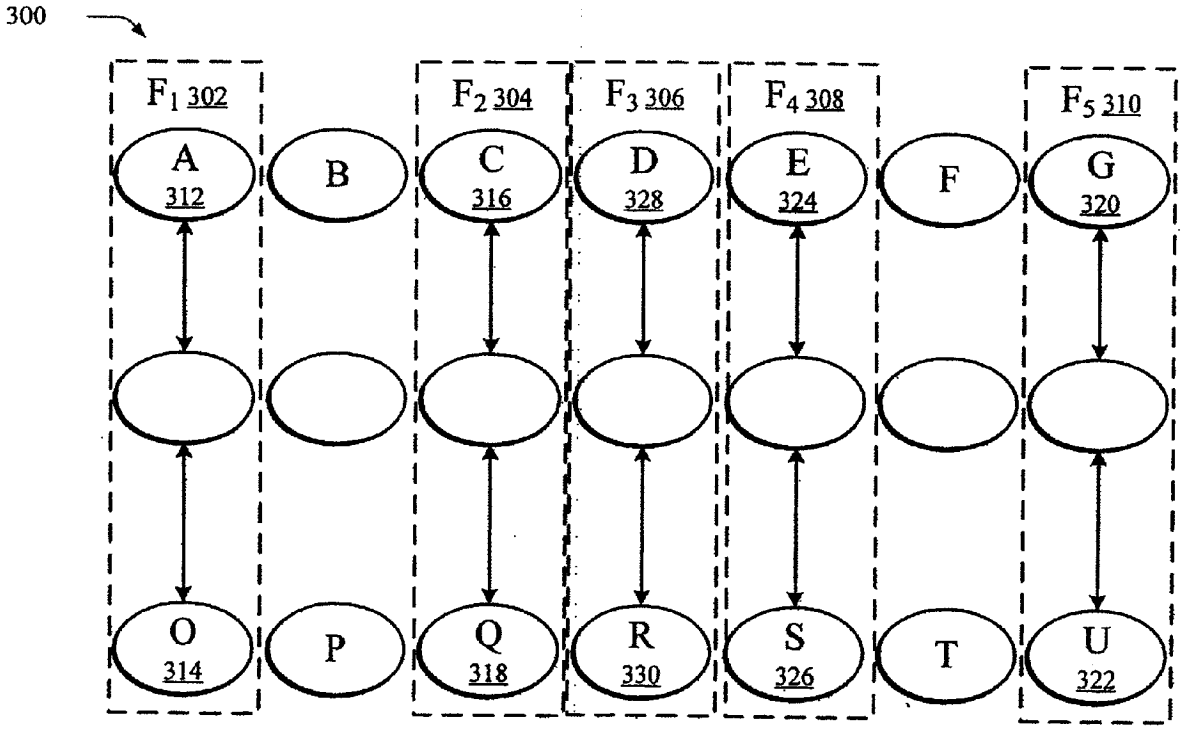

300
F1 302
F2 304
F3 306
F4 308
F5 310
A 312
B
C 316
D 328
E 324
F
G 320
O 314
P
Q 318
R 330
S 326
T
U 322

图 3

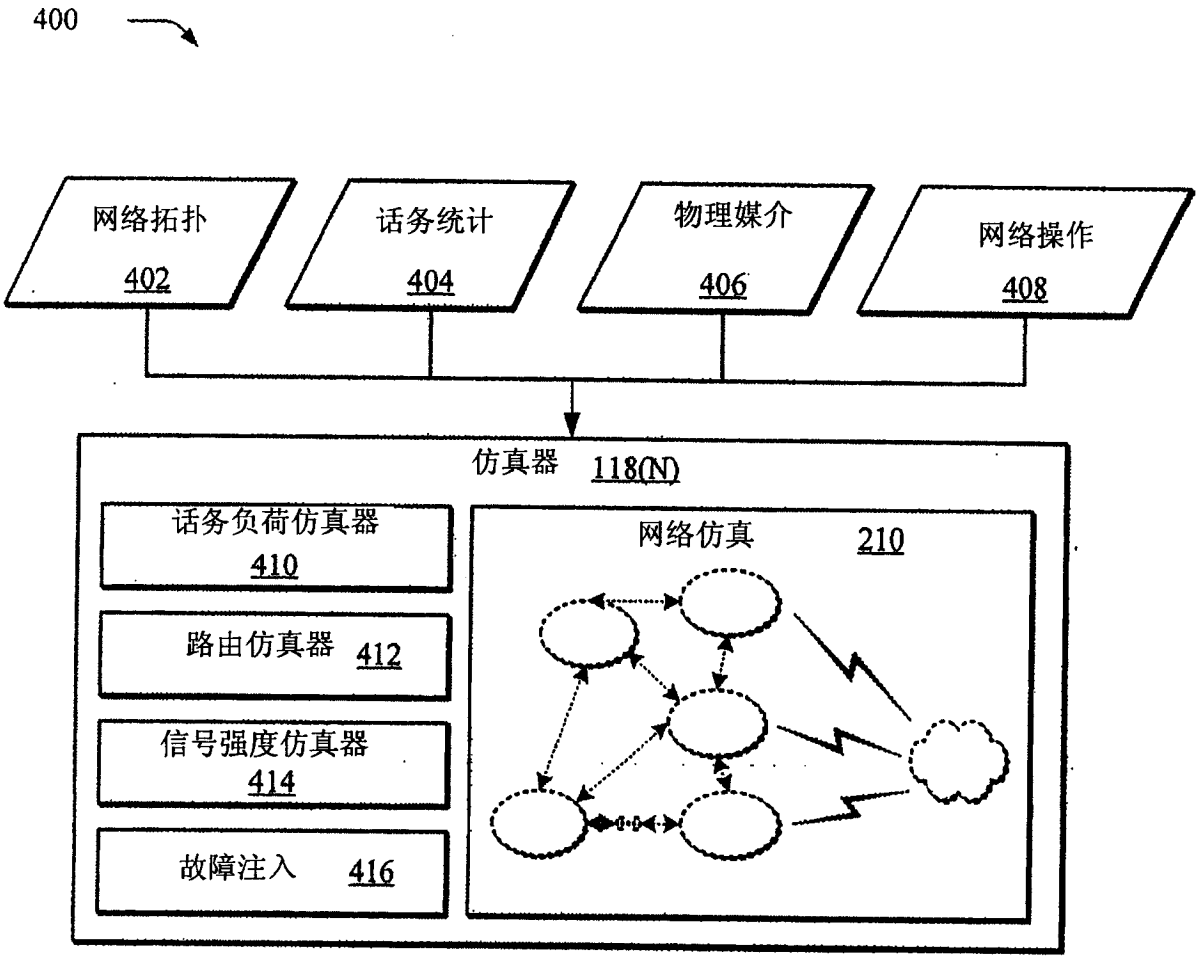

400
网络拓扑
402
话务统计
404
物理媒介
406
网络操作
408
仿真器 118(N)
话务负荷仿真器
410
路由仿真器 412
信号强度仿真器
414
故障注入 416
网络仿真 210

图 4

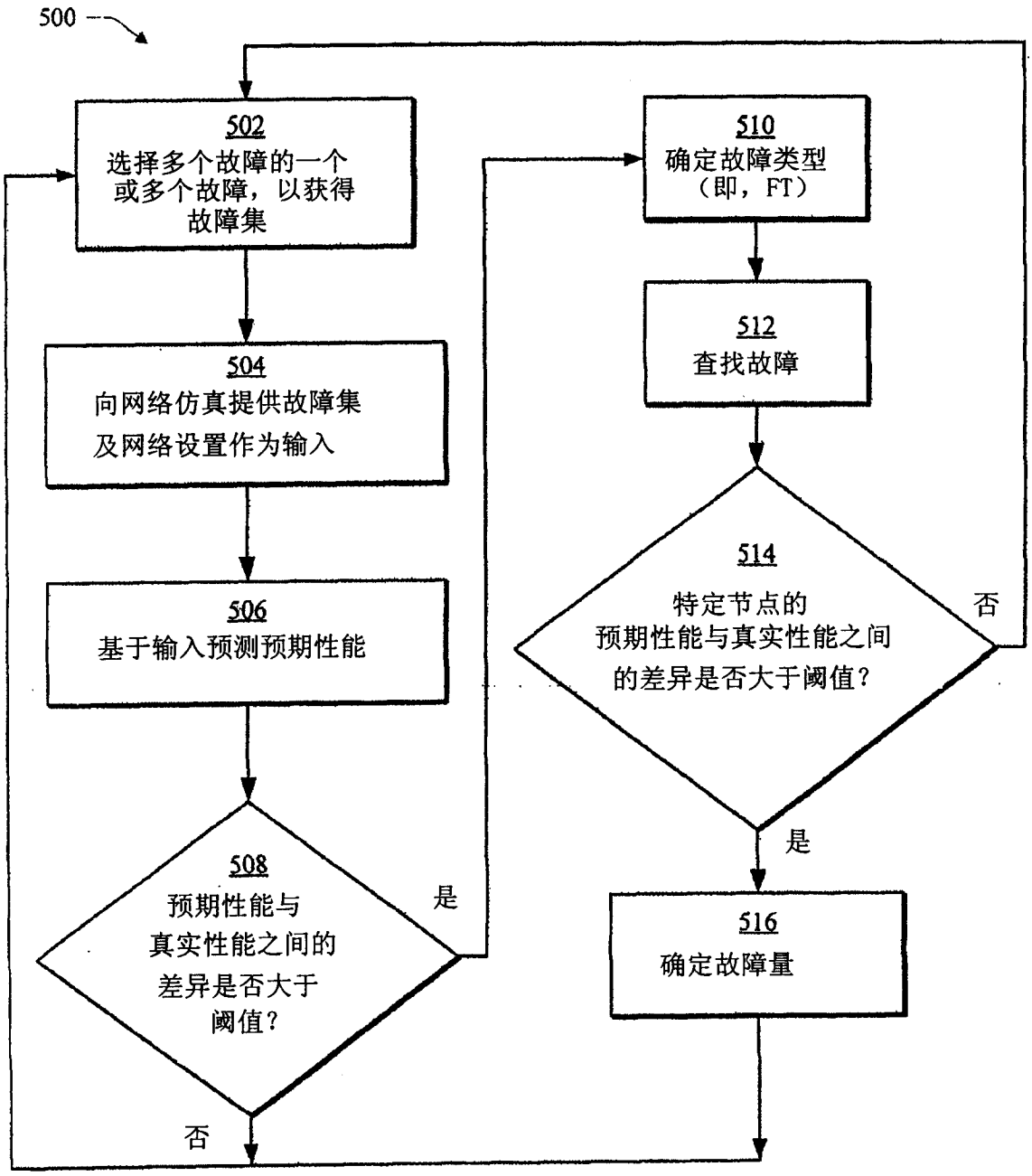

500
502
选择多个故障的一个或多个故障，以获得故障集
504
向网络仿真提供故障集及网络设置作为输入
506
基于输入预测预期性能
508
预期性能与真实性能之间的差异是否大于阈值？
是
否
510
确定故障类型（即，FT）
512
查找故障
514
特定节点的预期性能与真实性能之间的差异是否大于阈值？
否
是
516
确定故障量

图 5

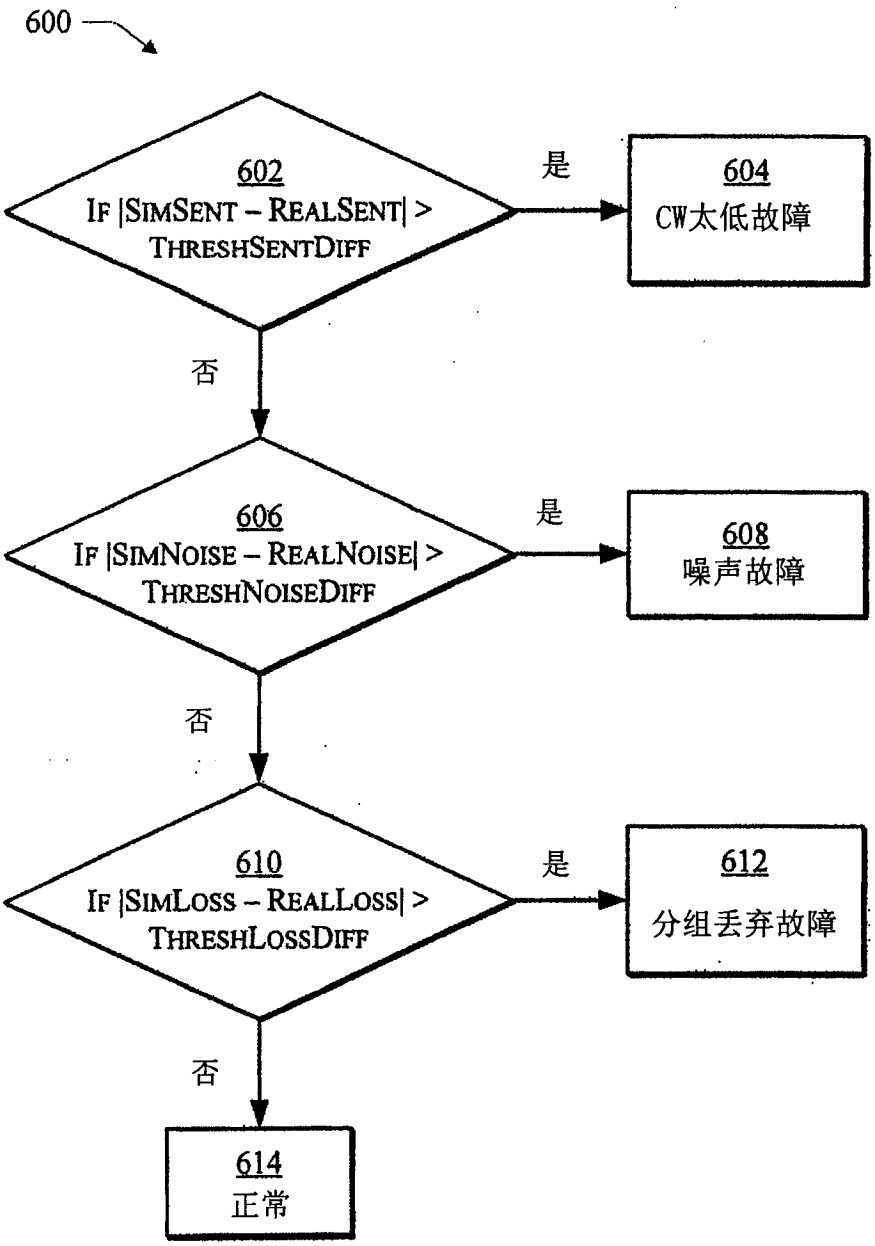

600
602
IF |SIMSENT – REALSENT| > THRESHSENTDIFF
是
604
CW太低故障
否
606
IF |SIMNOISE – REALNOISE| > THRESHNOISEDIFF
是
608
噪声故障
否
610
IF |SIMLOSS – REALLOSS| > THRESHLOSSDIFF
是
612
分组丢弃故障
否
614
正常

图 6

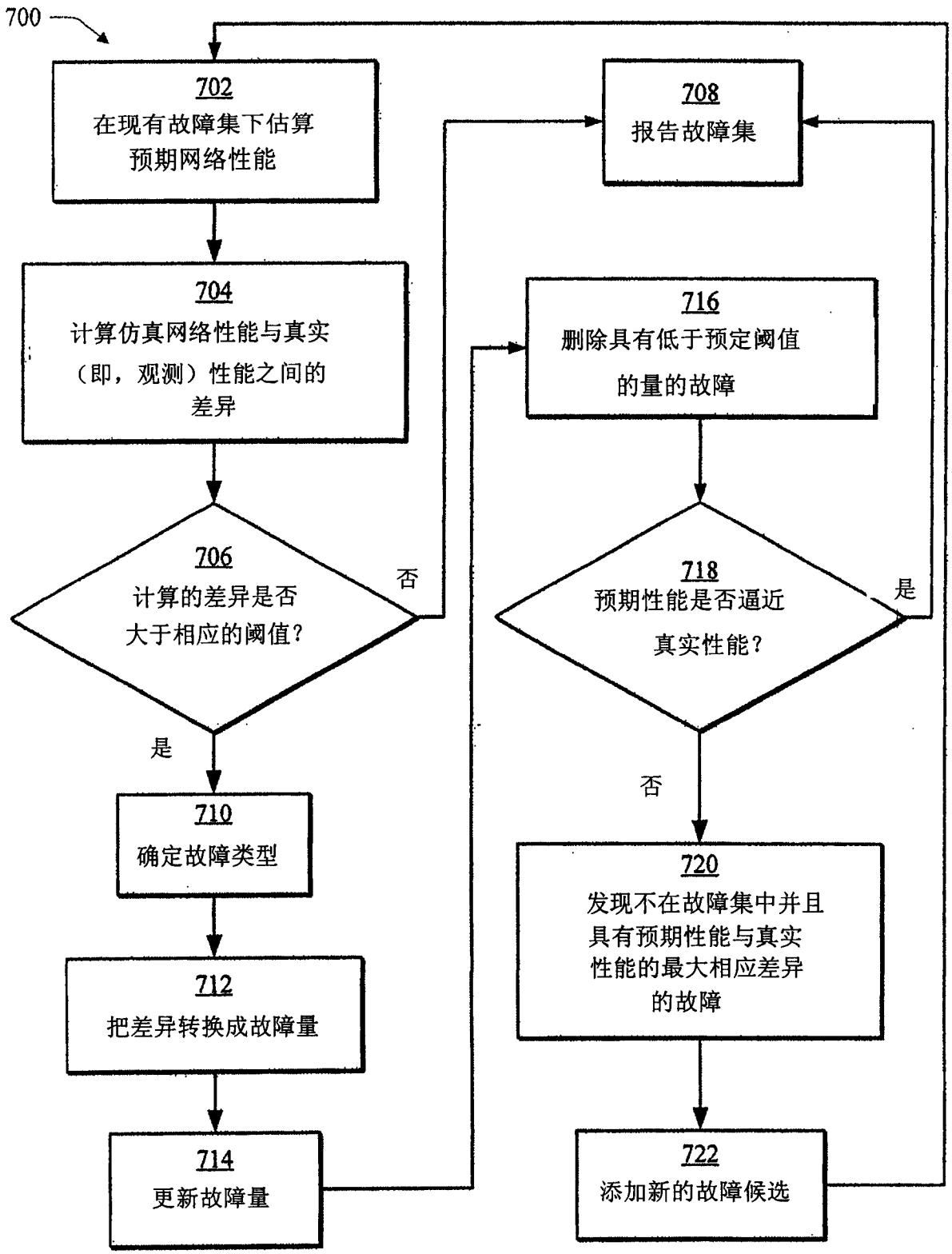

700
702
在现有故障集下估算
预期网络性能
704
计算仿真网络性能与真实
（即，观测）性能之间的
差异
706
计算的差异是否
大于相应的阈值？
否
是
710
确定故障类型
712
把差异转换成故障量
714
更新故障量
708
报告故障集
716
删除具有低于预定阈值
的量的故障
718
预期性能是否逼近
真实性能？
是
否
720
发现不在故障集中并且
具有预期性能与真实
性能的最大相应差异
的故障
722
添加新的故障候选

图 7

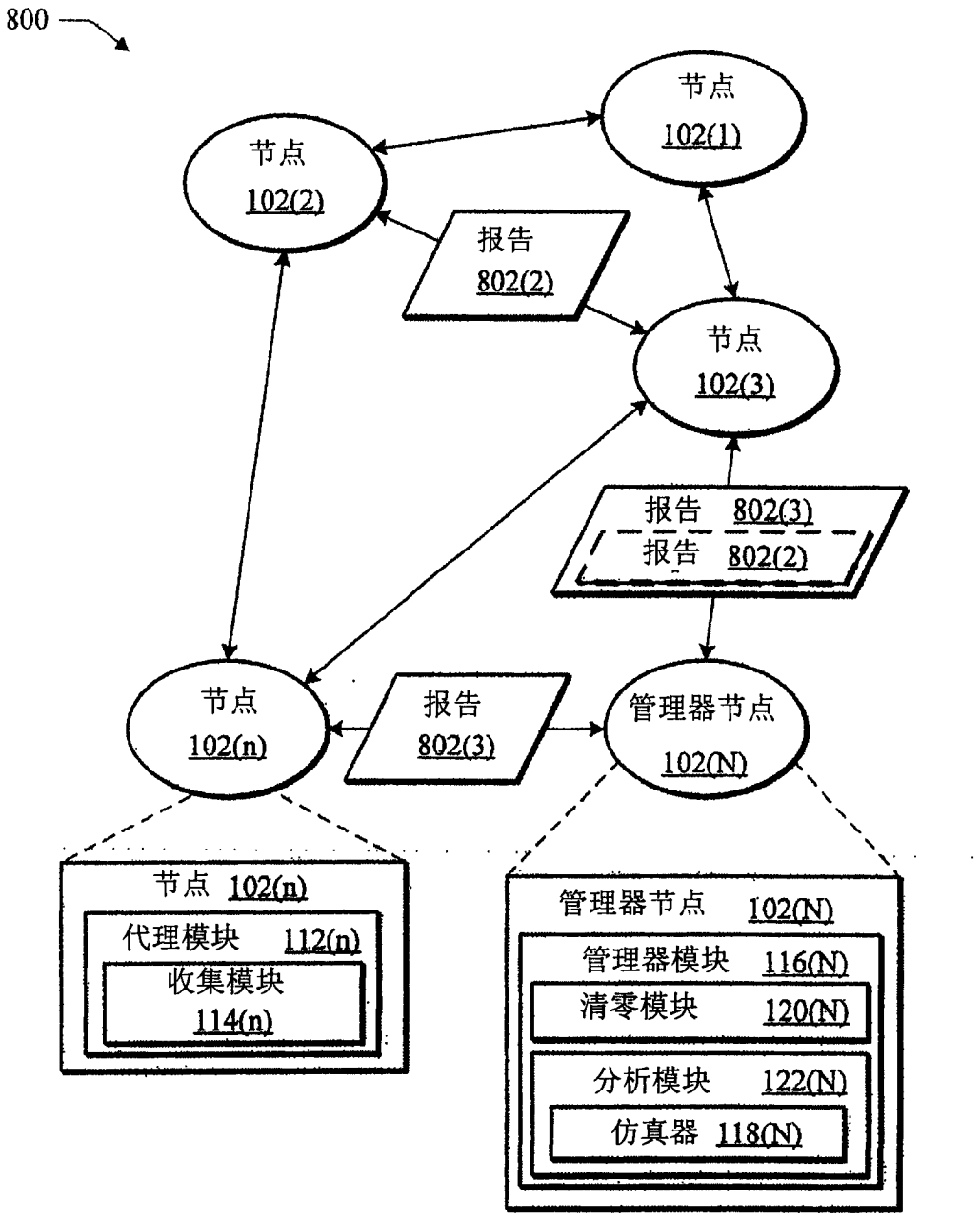

800
节点
102(1)
节点
102(2)
报告
802(2)
节点
102(3)
报告 802(3)
报告 802(2)
节点
102(n)
报告
802(3)
管理器节点
102(N)
节点 102(n)
代理模块 112(n)
收集模块
114(n)
管理器节点 102(N)
管理器模块 116(N)
清零模块 120(N)
分析模块 122(N)
仿真器 118(N)

图 8

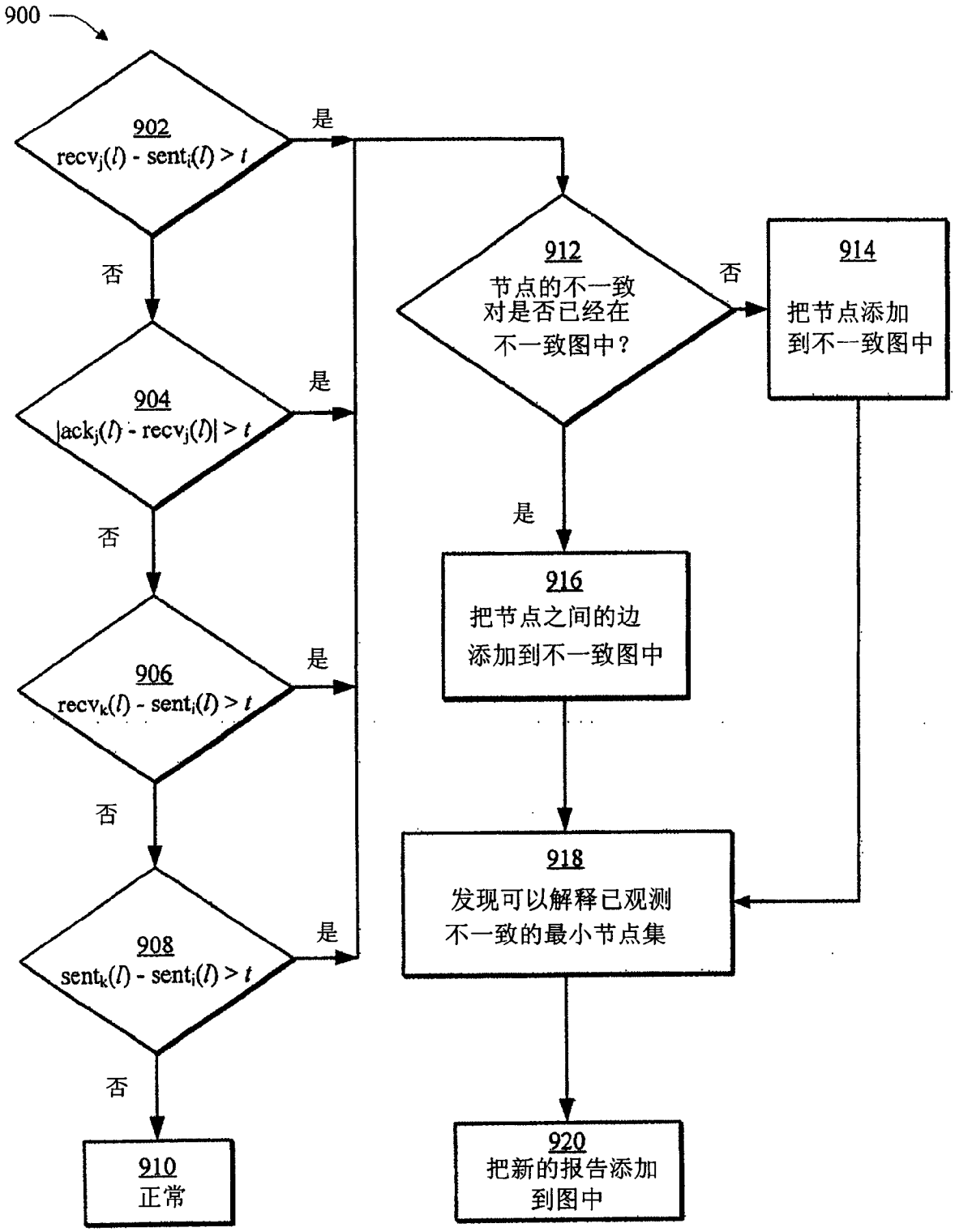

900
902
$recv_j(l) - sent_i(l) > t$
是
否
904
$|ack_j(l) - recv_j(l)| > t$
是
否
906
$recv_k(l) - sent_i(l) > t$
是
否
908
$sent_k(l) - sent_i(l) > t$
是
否
910
正常
912
节点的不一致对是否已经在不一致图中？
否
914
把节点添加到不一致图中
是
916
把节点之间的边添加到不一致图中
918
发现可以解释已观测不一致的最小节点集
920
把新的报告添加到图中

图 9

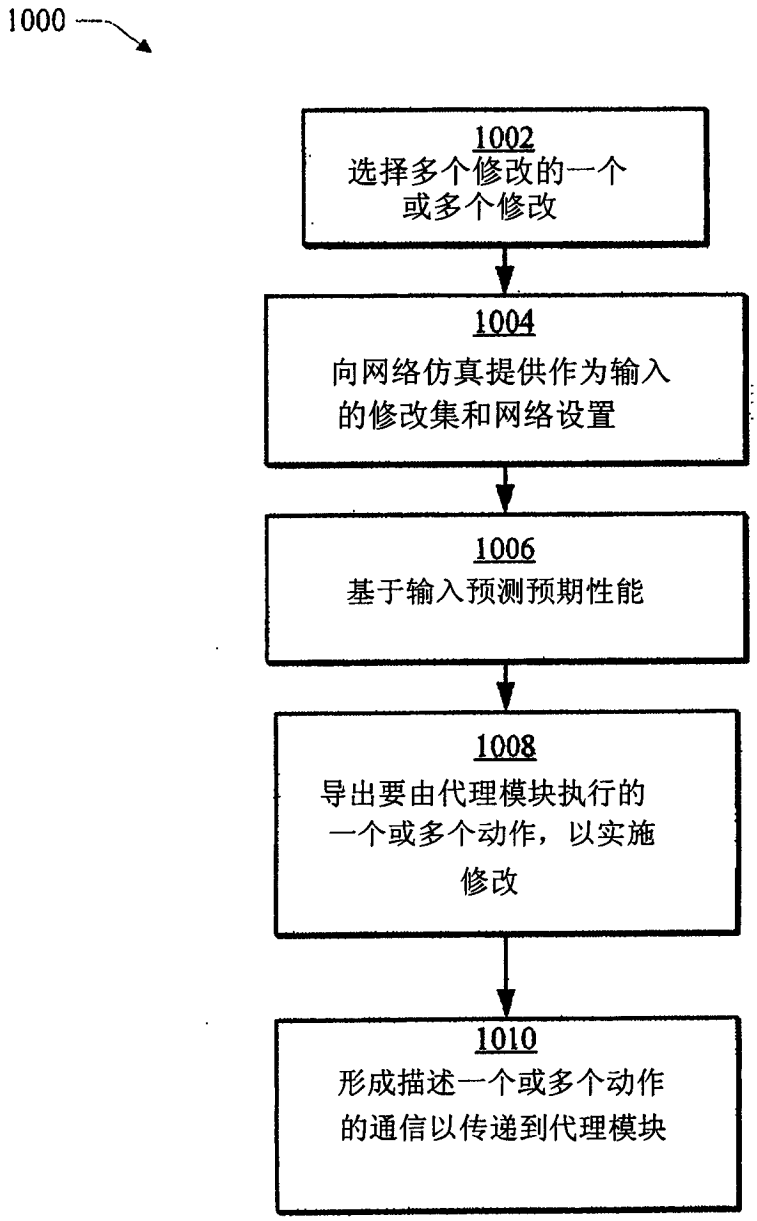

1000
1002
选择多个修改的一个或多个修改
1004
向网络仿真提供作为输入的修改集和网络设置
1006
基于输入预测预期性能
1008
导出要由代理模块执行的一个或多个动作，以实施修改
1010
形成描述一个或多个动作的通信以传递到代理模块

图 10

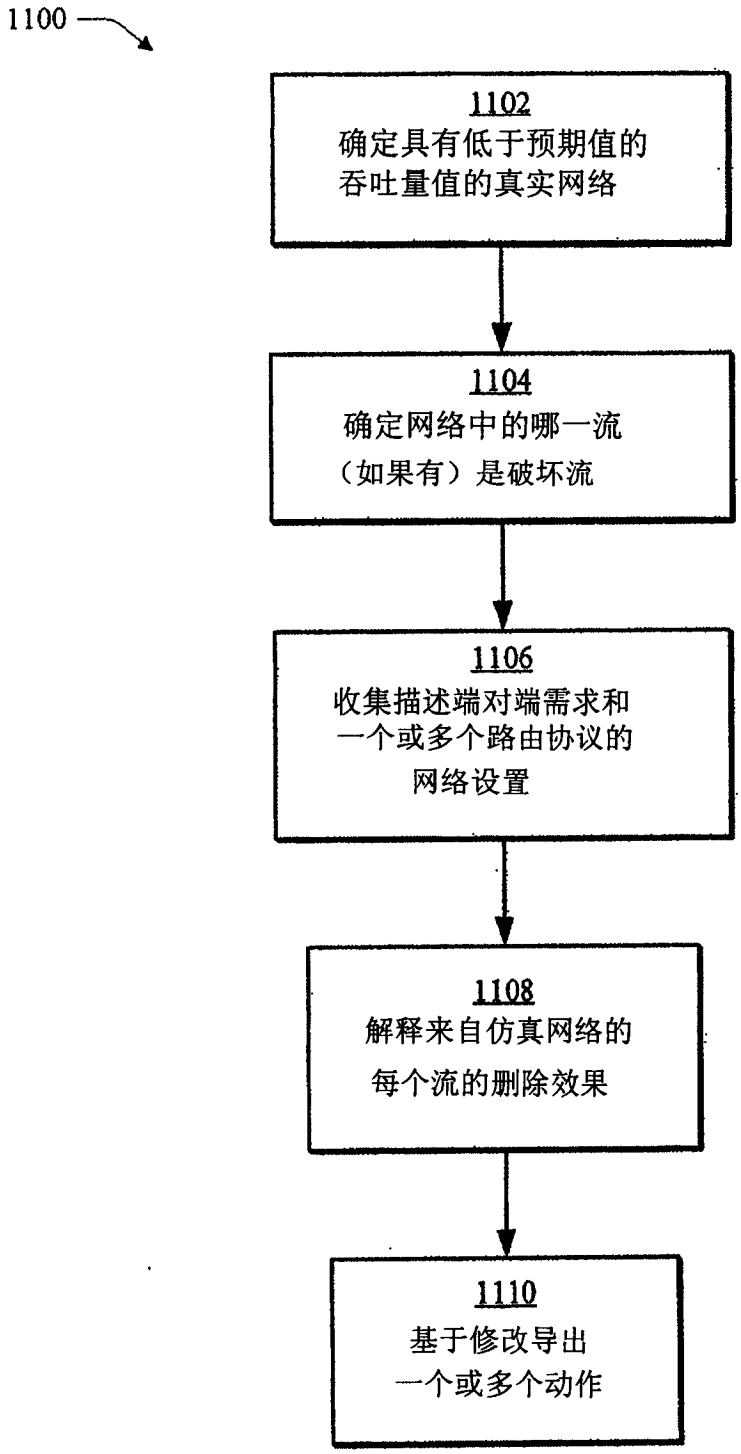

1100
1102
确定具有低于预期值的
吞吐量值的真实网络
1104
确定网络中的哪一流
（如果有）是破坏流
1106
收集描述端对端需求和
一个或多个路由协议的
网络设置
1108
解释来自仿真网络的
每个流的删除效果
1110
基于修改导出
一个或多个动作

图 11

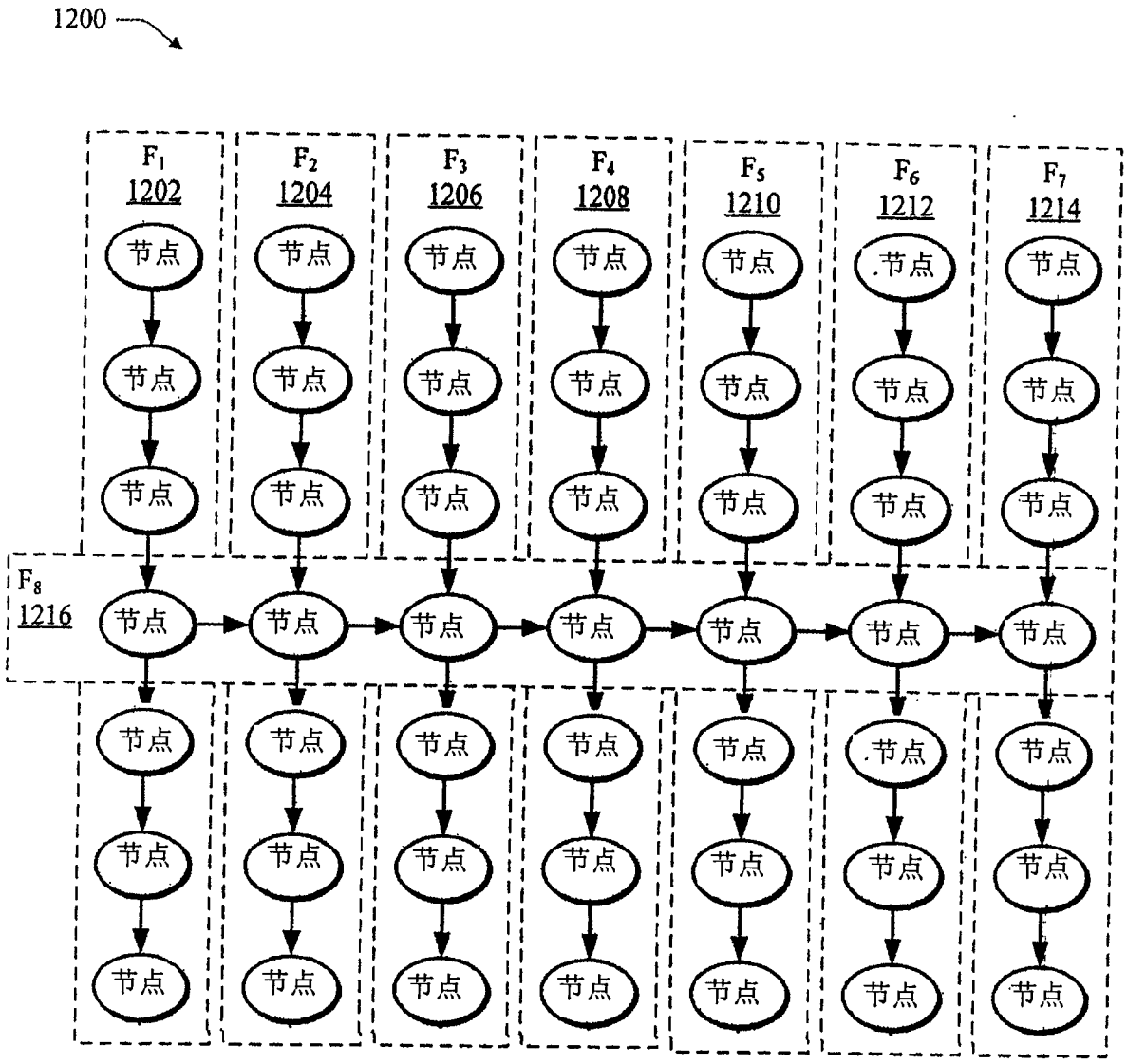

1200
F1
1202
F2
1204
F3
1206
F4
1208
F5
1210
F6
1212
F7
1214
F8
1216
节点

图 12

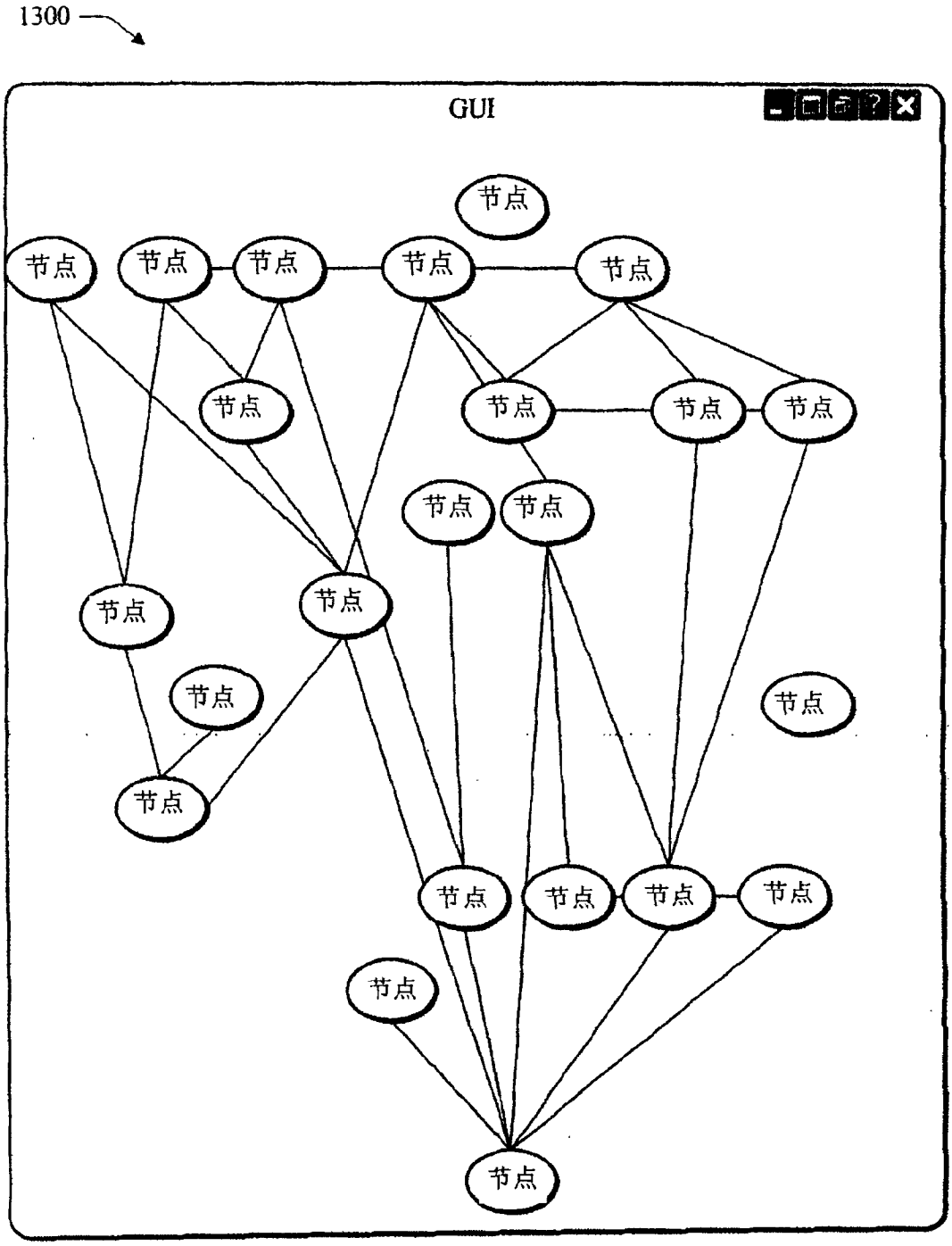

1300
GUI
节点
节点
节点
节点
节点
节点
节点
节点
节点
节点
节点
节点
节点
节点
节点
节点
节点
节点
节点
节点
节点
节点
节点
节点
节点
节点

图 13