

文章编号:1001-9081(2006)09-2192-04

基于移动代理的主动网络系统级故障诊断模型

罗闻泉¹, 贺敏伟²

(1. 广州民航职业技术学院 通讯工程系, 广东 广州 510403;

2. 五邑大学 信息学院, 广东 江门 529020)

(wq_ls@163.com)

摘 要:主动网络的可靠性和可用性是计算机网络领域的重要研究课题之一。通过分析系统级故障诊断的分布式算法设计思想,将系统级故障诊断的理论应用于基于移动代理的主动网络管理,给出了基于移动代理的主动网络的系统级故障诊断三值模型,提高了测试的可靠性和正确性。文中还阐述了分布式故障诊断算法,并利用移动代理的管理策略,达到了分布式的网络管理,具有实际应用的重要意义。

关键词:系统级故障诊断; 测试模型; 诊断算法; 主动网络; 移动代理; 网络管理

中图分类号: TP306.3; TP393.07 **文献标识码:** A

System-level fault diagnosis based on mobile agent and active network

LUO Wen-quan¹, HE Min-wei²

(1. Department of Communication Engineering, Guangzhou Civil Aviation College, Guangzhou Guangdong 510403, China;

2. Department of Information, Wuyi University, Jiangmen Guangdong 529020, China)

Abstract: The reliability and availability of active network have attracted many researchers' attention. After discussing distributed algorithm of system-level fault diagnosis, this paper applied the theory of system-level fault diagnosis to active network management based on mobile agent, and introduced a three-valued model of system-level fault diagnosis for active network. This model improves reliability and accuracy. Besides, the distributed diagnosis algorithm was illustrated which adopted the management strategies of mobile agent and achieved distributed network management. Therefore, it is important in practical application.

Key words: SFD(System-level Fault Diagnosis); test model; diagnosis algorithm; AN(Active Network); MA(Mobile Agents); network management

0 引言

随着互联网的迅猛发展,新技术及应用不断出现,以TCP/IP协议簇支撑的网络体系结构已不能满足用户的需求,IP层提供的被动转发功能越来越成为网络信息流的瓶颈。随着新设备的出现和网络设备计算能力的增强,要求网络管理不仅满足监视和控制的功能,也能分布式地进行主动数据采集、计算和相应的智能处理。主动网络(AN)这一新兴的概念就是针对网络协议演化速度缓慢,远远跟不上网络传输速度和处理器计算速度的发展这一状况而提出的。AN环境下的网络管理不仅能动态组合管理模块以适应网络的动态改变,而且能自动检测、隔离和处理故障,可预测部分网络失效和故障(如拥塞),相对于传统网络管理具有明显的优势,而移动代理(MA)技术的引入使AN的管理方法更具优越性。

AN的可靠性和可用性是计算机网络领域的难点和热点研究课题之一。采用系统级故障诊断(SFD)对AN进行故障诊断是行之有效的方法,它能随时检测并诊断出网络运行时出现故障的节点机和通信链路,并运用AN和MA的管理策略,对出现故障的部位及时修复,以保障整个网络系统的正常工作。因此,研究AN的故障诊断问题对AN的应用具有重要的实际意义。

1 基于MA的AN管理

1.1 AN和MA技术

传统网络被动地进行数据的“存储—转发”,中间节点的计算能力非常有限。而AN采用基于存储、计算、转发的网络传输模式,包含程序和用户数据的主动包在网络节点间传输,AN中的网络节点不仅具有分组路由处理能力,而且能对分组内容进行计算,使分组在传送过程中可被修改、存储或重定向。网络节点的计算能力使AN节点本身具有可编程性,也使整个网络结构可编程。AN为数据网络提供了用户可控制的计算能力和可定制的网络服务,提高了网络的传输性能,增强了网络的灵活性,其分布式计算能力便于网络管理模块的分配,对网络管理的各个功能都有较好的改善。MA是能在网络主机之间自主迁移、自主执行地完成程序的程序,它能在程序运行的任意点上挂起,再迁移到另一台主机上继续执行。MA具有智能性、自主性、移动性、协同性、响应性和容错性等优点,已成为新型的分布式计算技术。在网络中,可运用并行分布式处理技术和模块化设计思想,为系统设置多个相对独立的Agent,使其并行执行、协作完成任务。基于MA的AN将主动包携带的程序和数据封装成MA来实现AN数据包的处理,这使主动包既具有MA的自主性、智能性等优点,也具

收稿日期:2006-03-14; 修订日期:2006-06-06 基金项目:广东省自然科学基金资助项目(20010475)

作者简介:罗闻泉(1964-),女,安徽芜湖人,副教授,硕士,主要研究方向:计算机网络、故障诊断、主动网络、面向对象技术; 贺敏伟(1963-),男,湖南华容人,教授,博士,主要研究方向:计算机网络与通信、主动网络、下一代网络技术、网络安全、可编程网络。

有更好的主动性和计算处理能力^[1]。

1.2 基于 MA 的分布式 AN 管理

传统的网络管理主要是基于 TCP/IP 平台的集中式管理,网管程序在网络管理站(NMS)运行,代理以静态程序代码的形式驻留在网络设备上。NMS 向代理发送请求报文,代理收到报文后查询信息数据库(MIB)中的信息并将信息输入响应报文发送回去,NMS 再对各节点上传的状态变量等数据进行运算、分析和决策。这种集中式的网管方式,当网络出现故障时,只有足够的带宽才能保障管理指令传送的及时性,影响了网络管理的效率。用基于 MA 的技术来实现 AN 管理,能克服集中式网管的缺陷^[2]。首先,网络节点上的 MA 会主动产生管理代码,网络设备可根据自身参数和变量的变化,主动执行 MA 的管理程序,实现对网络设备的自主管理,数据流的方向是直接由网络节点主动向 NMS 传送数据。其次,MA 既可动态驻留于某个网络节点,也可在网络节点之间移动,这样使 MA 既能在所移到的节点上执行管理功能,又能和其他代理组合在一起完成复杂的管理功能。基于 MA 的分布式 AN 管理相对于传统的网络管理具有更强的主动性和更灵活的管理方式,其分布式管理策略减少了各网络节点与 NMS 之间的数据信息交换及网络带宽开销。

2 系统级故障诊断算法

SFD 研究是随多机系统、分布式系统及计算机网络的广泛应用而兴起的,其基本思想是通过系统内各处理机相互测试,再对所有结果进行逻辑分析,以找出故障处理机。采用 SFD 方法对计算机网络进行故障诊断是十分有效的途径,它能充分利用网络中各个独立的网络节点的通信、处理能力,使它们相互测试,再根据测试结果、拓扑结构等因素,在不增加网络额外成本的情况下就能诊断出故障节点和通信链路,便于维护人员对出现故障的部位及时修复。因此,SFD 是保障网络系统安全可靠、稳定可用的一个重要手段。

2.1 SFD 的分类

SFD 若按拓扑结构划分可分为集中式诊断和分布式诊断,其基本思想是:

(1) 集中式诊断:各节点机间相互测试,再由系统的一台中心机负责对测试的结果进行分析和诊断,以识别出各节点机的状态。这种方法需要一台绝对正确的中心机,且必须保证各节点机与中心机间有可靠的链路连接。

(2) 分布式诊断:将诊断任务分散给各节点机独立完成,即每台节点机独立地对系统中的所有节点机进行测试和诊断,使诊断完成后,系统中的每台无故障节点机都能正确识别出其他节点机的状态,对系统作出一致正确的判断,从而无故障节点机就可通过忽略来自故障节点机的信息及不向有故障节点机发送信息来实现功能上的“故障隔离”,此诊断方法不需要系统资源的额外开销,是较好也是流行的诊断方法,尤其适合于网络环境下的故障诊断。

2.2 SFD 的分布式诊断算法

SFD 中典型的分布式算法有:NEW-SELF、EVENT-SELF 和 DSD 算法。其中 NEW-SELF 算法是基于 PMC 测试模型的非自适应一步 t 故障诊断算法,它采用固定测试图来完成诊断,要求每一个节点至少被 $t+1$ 个别的节点测试,以保证系统中的正常机能形成链路,且任意一个故障机都至少被一个正常机测试,系统中正常机所作的诊断是一致的。这种方法能诊断出瞬态故障,应用于多总线系统时能诊断出链路

故障。EVENT-SELF 算法是 NEW-SELF 算法的改进。DSD 算法是基于 PMC 测试模型的自适应一步 t 故障诊断算法,它采用自适应方法进行测试和诊断,系统中各节点机按顺序编号,每个节点机对其后序的节点机依次进行测试,直到它测试到一个它认为正常的节点机时为止,这使整个系统中的正常机形成一个环,测试信息则通过此环传递到每一个正常机,最后由每个正常机作出一致的诊断。该方法能诊断出瞬态故障,但不具备诊断链路故障的能力。就测试数目和测试过程中信息传输量方面考虑,DSD 算法是一种较优的算法。

3 基于 MA 的 AN 系统级故障诊断模型

3.1 测试模型

在 SFD 中,测试是诊断的基础。为了有效地进行诊断,必须假设测试结果能为诊断提供足够的信息,这些假设即为测试模型。测试模型指的是测试者、被测试者与测试结果之间的关系。SFD 至今已从复杂的实际情况中抽象出很多模型,从节点机的状态和测试结果的取值上看分为以下两类:

(1) 二值模型

该模型假设节点机的状态和测试结果均只有两种可能状态:故障或无故障,且每次测试只有两个可能结果:通过或未通过。它又分为基于测试的模型和基于比较的模型两种。基于测试的模型中,假定节点机 u 测试节点机 v ,若 v 通过测试,则返回 0,否则返回 1;基于比较的模型中,让系统中节点机 u 和另一个与它直接有物理链路相连的节点机 v 执行同一任务,再比较执行结果,若相同则为 0,否则为 1。在著名的四种模型中,PMC 模型属于基于测试的对称模型,它假定正常机的测试结果可信,而故障机的测试结果不可信。BGM 模型属于基于测试的非对称模型,它假定正常机的测试结果可信,故障机测试故障机时测试结果可信,故障机测试正常机时测试结果不可信。Chwa&Hakimi 模型属于基于比较的对称模型,它假定当比较结果为 0 时,两机状态相同,当比较结果为 1 时至少有一个故障机。Malek 模型属于基于比较的非对称模型,它假定当比较结果为 0 时,两机为正常机,否则至少有一个故障机。对于 PMC 模型,若用 0 表示无故障机,用 1 表示故障机,假定系统中每个节点机能够测试与它有直接物理链路相连的其他节点机,则测试结果为 0 表示测试机认为被测试机为无故障机,为 1 表示测试机认为被测试机为故障机,0/1 表示测试结果不确定,具有随机性。如表 1 所示。二值模型较简单,在很多情况下不能满足实际需要,如在传统的二值 PMC 模型中,假设测试程序总能覆盖目前发生的所有故障,实际很难做到。

表 1 PMC 模型

测试者 u 状态	被测试者 v 状态	测试结果 w
0	0	0
0	1	1
1	0	0/1
1	1	0/1

(2) 多值模型

该模型假设节点机的状态或测试结果的取值不止两种。如 Butler^[3]模型中测试结果有三种:通过、未通过、无结果;Sengupta 和 Sen^[4]、Kozlowski 和 Krawczyk^[5]研究的模型中假定每个处理机有三种可能状态:无故障、永久故障、间歇故障;黄开源和陈廷槐^[6]模型中将节点机分为主机和通信处理机(如:网卡),节点机和测试结果有三种可能状态:主机和通信

处理机均无故障、主机有故障、通信处理机有故障。如表 2 所示,0 表示主机和通信处理机均无故障;1 表示通信处理机有故障,主机无故障;1/2 表示主机有故障,通信处理机无故障。

表 2 三值模型

测试者 u 状态	被测试者 v 状态	测试结果 w
0	0	0
0	1	1
0	1/2	1/2
1	0	0/1/(1/2)
1	1	0/1/(1/2)
1	1/2	0/1/(1/2)
1/2	0	0/1/(1/2)
1/2	1	0/1/(1/2)
1/2	1/2	0/1/(1/2)

3.2 基于 MA 的 AN 系统级故障诊断测试模型

如前所述,基于 MA 的 AN 管理有别于传统的网络管理,AN 所管理的实体是主动节点,它可以充分利用主动节点的动态性、可编程性、可计算性的特点,将 NMS 有关故障管理的部分工作分配给主动节点,由主动节点对网络故障进行监测、发现和恢复,使对故障的反应更快、更准、更有效,从而使故障的影响降到最低。将 MA 技术运用到 AN 中,MA 具有自主性、智能性、移动性的优点,它可按照一定的路径和策略在各节点间迁移,进行网络管理操作和节点故障等信息的收集。因此,在 AN 环境下进行故障诊断,可充分利用节点的自测试能力,将自测试和互测试结合起来,以提高测试的正确性。

在基于 MA 的 AN 故障诊断中,采用三值模型对网络中节点的实际情况进行测试。其基本思想是测试分互测和自测两个阶段。互测在中心机和其余节点间进行,它利用网络中报文传输的原理,如报文在收、发过程中正确无误,则节点机的通信部分无故障,反之则不然;自测是节点机自行运行测试程序,再将测试结果连同互测时的报文一并传给测试者。由于自测不能完全测试节点机的通信功能,因此假定节点机的通信部分无故障,故自测的结果具有 0 和 1/2 两种状态。

在诊断时应将互测和自测的结果综合考虑得出最终的测试值从而得出结论。具体处理为:若自测值为 0,则依赖于互测加以验证,最终测试值取决于互测的结果;若自测值为 1/2,则互测时只测试是否有通信故障,若无通信故障,则最终测试值取决于自测的结果,若有通信故障,则最终测试值为 1。我们将自测状态、互测状态及最终的测试结果用扩展的三值模型表示,如表 3 所示。

表 3 扩展的三值模型

自测状态	互测状态	测试结果
0	0	0
0	1/2	1/2
0	1	1
1/2	0	1/2
1/2	1/2	1/2
1/2	1	1

4 基于 MA 的 AN 系统级故障诊断算法

4.1 算法定义

(1) 中心机:指负责进行诊断信息的收集与分发的无故障机,即 AN 的 NMS,它在诊断算法中起测试机的作用。若中心机出现故障,根据 MA 和 AN 的可移动性允许自动进行中

心机的迁移。

(2) 正常机:指网络中除中心机之外的无故障机,它能正确处理和响应收到 NMS 的测试报文并返回给 NMS,在诊断算法中起被测试机的作用。

(3) 初始状态机:指故障机由故障变为初始状态,本身状态尚未确定的节点机。

(4) 1/2 类故障机:指能与 NMS 正常通信的节点机,它能在规定时间内对 NMS 的测试作出响应但不能正确地处理测试报文。

(5) 1 类故障机:指不能进行处理和通信的节点机,它不能响应 NMS 的测试报文。

4.2 诊断算法中的报文

(1) 测试报文:由中心机向被测试机发出的对其进行测试的报文。其格式如图 1 所示。

中心机地址	被测试机地址	报文内容	检验位
-------	--------	------	-----

图 1 测试报文格式

(2) 应答报文:是被测试机对测试报文的响应报文,由被测试机对中心机发来的测试报文进行检查并处理后所形成的及时返回中心机的报文。如图 2 所示。

中心机地址	被测试机地址	报文内容	检验位	处理结果	自测结果
-------	--------	------	-----	------	------

图 2 应答报文格式

(3) 结果报文:是中心机对正常机的响应通告报文,当中心机得出最终的诊断结果,向正常机发出的报文。如图 3 所示。

中心机地址	正常机地址	报文内容	检验位
-------	-------	------	-----

图 3 结果报文格式

(4) 基于 MA 的主动报文:除了以上用于测试的报文外,在基于 MA 的 AN 环境下,若将主动数据包封装成 MA,则会使主动数据包更具自主性、智能性和可移动性。因此,设计有基于 MA 的主动报文,如图 4 所示,状态数据指的是主动报文经过各节点的状态信息,如拓扑数据、路由信息、性能数据等。MA 一方面从节点的状态数据库中提取数据进行处理,另一方面从一个节点迁移到另一个节点,协同系统代理完成故障管理功能。因此,在测试过程中,若中心机发生故障,则可根据 MA 的迁移历史记录,从正常机中选择新的中心机,实现中心机的动态迁移。

主动报头	移动代码	状态数据
------	------	------

图 4 基于 MA 的主动报文格式

4.3 算法描述

算法的中心思想是:测试由自测和互测两方面结合进行,互测在中心机与其余节点机即被测试机之间进行。中心机按一定的时间周期向被测试机发送测试报文,被测试机收到测试报文后,先自测,再将自测结果连同对测试报文的处理形成应答报文发回给中心机,中心机收到应答报文后,分析得出被测试机的状态,确定诊断结果,最后向正常机发送结果报文,通告网络中所有正常机的信息。当中心机发生故障时,按一定的策略进行中心机的迁移。具体算法描述如下:

(1) 节点初始化及启动诊断

整个系统初始启动时,指定 NMS 作为执行诊断算法的中心机;各节点机启动各自的 MIB,作为被测试机等待被测试;初始状态机则等待中心机的信息,一旦中心机启动诊断程序,

初始状态机通过监听网络状态,一收到测试报文就将状态转换为正常机状态,以求进一步被测试。

(2) 中心机对被测试机的测试与诊断过程

中心机每隔 t 秒周期性地地向被测试机发送测试报文,计时等待一段时间(如 t 秒)后,若收到被测试机的应答报文,则认为本次互测被测试机为无故障机,否则判定为 1 类故障机。然后分析应答报文,综合自测和互测的结果,再按扩展的三值模型形成确认诊断,若确定为无故障机,则将被测试机的 IP 地址加入无故障机队列中,形成无故障机信息表。最终中心机将本轮诊断的结果以发送结果报文的形式,向正常机通告网络中所有无故障机的信息。中心机同时还向网络中的被测试机发送主动报文,其中含有 MA 程序。

(3) 被测试机的处理过程

被测试机收到中心机的测试报文后,先根据测试报文产生相应的应答,再利用迁移到该机的 MA 运行自测程序,自我测试主机和通信机的部分故障,产生自测结果 0 或者 1/2 值之一,同时,MA 收集本地 MIB 参数,对设备的状态变量值和其他数据进行运算,若运算值超过用户自定义的阈值,则将监控数据和测试结果写入应答报文的指定部分,再上传给中心机。

(4) 有故障节点的修复

若被测试机测试时发生故障,由于 MA 可对网络节点进行自主性管理,因此,节点可根据自身参数和状态变量的变化,主动执行 Agent 的管理指令,对故障进行修复工作,对修复不了的故障才交由 NMS 统一进行故障管理。一旦故障节点被修复,被测试机作为无故障机向中心机发回故障排除信息,中心机根据此信息重新将被测试机的 IP 地址列入无故障机序列。同时,MA 迁移到其他节点,继续执行监控和管理任务。

(5) 中心机的故障测试

为防止中心机出现故障而使诊断停止,每个正常机均设计有定时器,当正常机超过 $m(m > t)$ 秒,仍未能收到中心机的测试报文,则认定中心机产生故障。因中心机在每次诊断结束时向正常机发送结果报文,其中含有由中心机诊断出的无故障机 IP 地址序列,再结合 MA 的迁移历史记录,按一定的规则选择 IP 地址序列中的一台正常机作为中心机,从而实现系统的中心机转移。

由于正常机收到中心机的结果报文后,即获取系统中所

有无故障机信息,致使整个网络的中心机及正常机都达到诊断信息的一致性。也就是说,对网络中所有的无故障机,均能正确且一致地识别出网络中所有的无故障机,从而达到了分布式诊断算法的诊断目标。

5 结语

本文讨论了基于 MA 的分布式 AN 管理,分析了 SFD 的分布式诊断算法和相关的测试模型,并将 SFD 的理论应用于基于 MA 的 AN 管理,提出了基于 MA 的 AN 的 SFD 模型,通过该模型,将节点机的自测和与中心机的互测结合起来,以产生正确的诊断结论,提高了测试的可靠性和准确性。这种方法无须用专用设备进行测试,使得在不增加网络额外成本的情形下就能正确诊断出网络运行时的故障部位。其分布式故障诊断算法,充分利用网络报文传输特性进行诊断信息的传递,使正常机能够一致正确地识别出网络中所有的无故障机,尤其是当中心机发生故障时,能按一定的规则和 MA 的特性重新选择 NMS,自动进行中心机的动态迁移,使整个系统的网络管理能够持续运行,达到分布式的网络管理,提高了系统的可靠性。同时,运用基于 MA 的 AN 高度自主而灵活的管理策略,使网管人员可以更透明地监视网络元素的状态及运行情况,方便地对网络进行灵活的故障诊断和修复性操作。

参考文献:

- [1] 夏海涛,詹志强.新一代网络管理技术[M].北京:北京邮电大学出版社,2003.
- [2] CHEN WSE, HU CL. A mobile Agent Based Active Network Architecture for Intelligent Network Control[J]. Information Sciences, 2002, (141): 3-35.
- [3] BUTLER JT. Relations among system diagnosis model with three-valued test outcomes[A]. Proc 13th Int Symp Multi-Valued Logic [C]. New York: IEEE Computer Society Press, 1983. 350-355.
- [4] SENGUPTA A, SEN A. On the diagnosability of general model of system with three-valued test outcomes[J]. IEEE Trans Comput, 1986, (2): 170-173.
- [5] KOZLOWSKI WE, KRAWCZYK H. A comparison-based approach to multicomputer system diagnosis in hybrid fault situations[J]. IEEE Trans Comput, 1991, (11): 1283-1287.
- [6] HUANG KY, CHEN TH. Three-valued system diagnosis[A]. Proc 15th Int Symp Multi-Valued Logic[C]. New York: IEEE Computer Society Press, 1985. 336-340.

(上接第 2191 页)

络协议的安装等。通过这些过程完成网络装载并使其处于准备接收或发送数据状态。设备装载完成后, muxDevload() 调用 muxDevStart() 启动函数,该函数通过 intConnect() 和 intEnable() 实现中断服务的注册并打开中断宏。当有数据交换时,打开中断服务程序,调用排列网络任务处理函数 netJobAdd(), 指派网络系统任务 tNetTask, 由 tNetTask 处理数据接收和发送任务。

5 结语

以太网通讯方式在嵌入式系统的开发过程和实际运用中有着广泛的需求,因此,选择合理的软硬件平台设计实现高效的以太网通讯是非常重要的。本文介绍了在 MPC8260 为核心的嵌入式系统中,基于 VxWorks 操作系统的百兆以太网通

讯的硬件设计方法和驱动开发过程,该设计已在笔者的实际工作中顺利实现。

参考文献:

- [1] Wind River. VxWorks BSP 开发人员指南[M]. 王金刚, 苏琪, 杨锡勋, 译. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [2] Wind River. VxWorks 程序员指南[M]. 王金刚, 高伟, 苏琪, 等译. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [3] Wind River. VxWorks 网络程序员指南[M]. 王金刚, 宫霄霖, 熊辉, 译. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [4] 孔祥营, 柏桂枝. 嵌入式实时操作系统 VxWorks 及其开发环境 Tornado[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
- [5] Motorola Inc. MPC8260 PowerQUICCII User's Manual[M/CD], 1999.
- [6] Intel Inc. LXT972A User's Manual[M/CD], 2001.