

一种故障模型下的 Mesh 网络容错路由

荣芳芳,段新明

(天津工业大学 计算机科学与软件学院, 天津 300380)

摘 要: Mesh 网络是一种广泛应用在多处理器并行计算机的片上网络结构,性能和容错是大规模多处理器系统互连网设计面临的两个主要问题,正因为如此,反而使具有容错能力的高性能通信技术成为一个极具挑战性的问题,基于此首先研究一种改进的凸型故障模型,提出了一种高效的 Mesh 网络容错路由方案,该方案利用转弯模型的思想,在两种转弯模型下只需要使用两条虚拟通道来避免死锁,且这一路由算法在 Mesh 网络中总能保证路由的连通性,高效性以及无死锁性.

关键词: Mesh 网络;改进凸形故障模型;转弯模型;容错路由

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2013)06-0026-04

A Practical Deadlock-Free Routing in Mesh Based on the Fault Model

RONG Fang-fang, DUAN Xin-ming

(School of Computer Science and Software, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300380, China)

Abstract: Mesh network is a widely used in parallel computer's processor chip network structure, performance and fault tolerance is large multiprocessor systems Internet design faces two major problems, because of that, on the contrary make has fault tolerance, high performance communication technology to become a challenging problem, based on the first study in this paper an improved convex fault model, put forward a kind of high efficient Mseh network fault tolerant routing scheme, the scheme using the idea of turning model, in two turn model only need to use two virtual channel to avoid deadlock, and this one in Mesh network routing algorithm of total can guarantee the connectedness of routing and deadlock-free, in this paper, this is proved.

Key words: Mesh network; improved convex fault model; turn model; deadlock-free fault-tolerant routing

1 引言

容错是大规模并行处理器最基本的要求^[1]. 设计一种多处理器并行路由由容错机制是很关键的,特别是为 Mesh 网络.

本文提出的容错路由方案是基于转弯模型的思想,转弯模型是有 Glass 和 Ni^[2] 提出的,它提供了一种在给定网络条件下开发最小和非最小部分自适应路由算法的系统方法.

故障模型对于容错路由方案设计是十分重要的,根据故障域的形状可以分为块状故障模型、凸形故障模型和凹形故障模型,针对这三个故障模型,各种容

错路由方案被提出首针对最简单的块状故障模型, Chien 和 Kim^[3] 在提出了解决二维 Mesh 网络的平面自适应路由算法. 文献^[4-5] 中也提出了继续改进的算法. 在实际应用中,最常见的限制是这些域是凸形的,所以本文研究的是一种改进的凸形故障模型,基于此提出了一种新的 Mesh 网络容错路由算法^[6].

2 预备知识

在 Mesh 网络中,当故障随机发生时,相邻故障链路和故障节点将会连接成故障域,对故障域的限制主要在它的结构上^[7],故障模型可通过把一些无故障节点填充到故障域中形成改进凸形故障模型.

改进凸形故障模型(The improved convex fault model)属于凸形故障模型,我们引用 Wu 和 Jiang 提及的方法;依次定义故障环上的节点类型.如图 1(a)所示,通过限制其中的两种节点类型故障环上节点在凸形故障模型上的具体位置,即东北内角和东南内角,形成本文中应用的改进凸形故障模型,如图 1(b)所示.

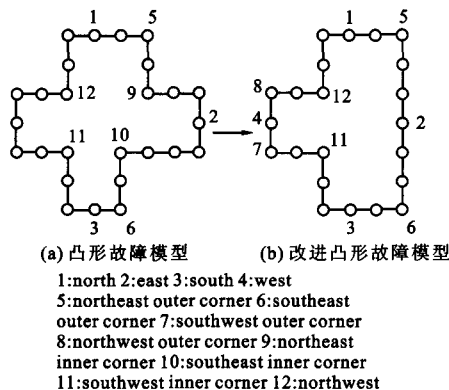


图 1 凸形故障模型与改进凸形故障模型

本文中的容错路由算法是在改进的凸形故障模型下进行的.

3 容错路由算法描述

3.1 转弯模型

在二维 Mesh 网络中,为了防止出现环,禁止两种转弯^[2]的方法有 16 种,其中 12 种能防止死锁,最常见的有西向优先、北向最后和负向优先三个路由算法,每一种都有特定的转弯组合,如图 2 所示为我们选取的两种算法.

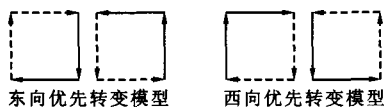


图 2 两种转弯模型路由算法

其中虚线间的转弯是被禁止的,实线与虚线间以及实线间的转弯是被允许的,下面将讨论转弯模型应用在 Mesh 网络中的容错路由算法^[5].

算法 1: mesh 网络容错路由算法

输入:源节点坐标(X_{source} , Y_{source})和目的节点坐标(X_{dest} , Y_{dest})

输出:选择的输出报文路由类型

过程:

1. 初始化当前节点坐标为源节点坐标,即 ($X_{current}$, $Y_{current}$):= $(X_{source}$, $Y_{source})$;
2. $X_{offset} = X_{dest} - X_{source}$;
 $Y_{offset} = Y_{dest} - Y_{source}$;
 $X_{offsetc} = X_{dest} - X_{current}$;

$Y_{offsetc} = Y_{dest} - Y_{current}$;

3. If $X_{offset} < 0$ then
Select(Dimx-) end if;
4. If $X_{offset} > 0$ then
Select(Dimx+) end if;
5. If $X_{offset} = 0$ and $Y_{offset} < 0$ then
Select(Dimy-) end if;
6. If $X_{offset} = 0$ and $Y_{offset} > 0$ then
Select(Dimy+) end if;
7. If $Y_{offsetc} = 0$ and $X_{offsetc} < 0$ then
Select(Levelx+) end if;

其中 (X_{source} , Y_{source}), (X_{dest} , Y_{dest}) 和 ($X_{current}$, $Y_{current}$) 分别为 $n \times n$ 的 Mesh 网络中的源节点、当前节点和目的节点地址. 根据算法 1 进行路由. 下面将介绍各种报文的路由过程.

其中前四种报文路由使用的是东向优先转弯模型,最后一种报文路由使用的是西向优先转弯模型.

(1) Dimx-报文路由过程,如图 3(a)所示

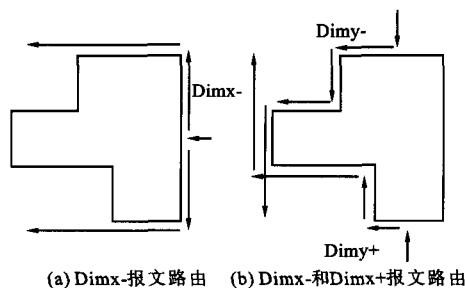


图 3 Dimx-报文路由 Dimy-和 Dimy+报文路由

结论 1 Dim x-报文使用 DOR 维序路由,它将完成 X 维上的路由,要么到达目的节点,要么变为 Dimy+报文或者 Dimy-报文.

证明:在路由过程中无故障模型阻碍的情况: Dim x-报文按照 DOR 维序路由向左前进,最终 Dim x-报文将顺利完成 X 维的路由,要么直接到达目的节点,要么变成 Dim y+报文或 Dim y-报文.

在路由过程中被故障模型阻碍的情况:当报文沿 X 维进行 DOR 维序路由时,被故障节点阻碍,在本文所用的故障模型中,只有遇到 east 位置类型的环上节点,报文才被阻挡.此时,该报文将开始使用东向优先转弯模型算法进行绕道路由.直到该 Dim x-报文到达位置类型为 northeast outer corner 或 southeast outer corner 的环上节点,随后,该报文停止在故障环上的绕道,而是重新进行 DOR 维序路由.如果在之后的路由中,会被下一个故障阻碍,通过相似的方法即可解决,并且最终完成 X 维上的路由.

(2) Dim y- 和 Dim y+ 报文路由过程, 如图 3(b) 所示.

结论 2 对于 Dim y- 报文和 Dim y+ 报文, 该报文使用 DOR 维序路由, 它将完成 Y 维上的路由, 要么到达目的节点, 要么变为 Level x+ 报文.

证明: 在路由过程中无故障模型阻碍的情况: 即当 Dim y- 和 Dim y+ 报文在 Y 维上进行 DOR 维序路由, 最终该报文顺利完成 Y 维的路由, 直接到达目的节点.

在路由过程中被故障模型阻碍的情况: 当 Dim y- 报文在 Y 维上向南进行 DOR 维序路由时, 被故障节点阻碍, 在本文所用的故障模型中, 只有遇到位置类型为 north 或者 northwest inner corner 的环上节点, 报文才被阻挡. 此时, 该报文将开始使用东向优先转弯模型算法进行逆时针绕道路由. 如果该报文在到达故障环的最西边节点前都没有成为 Level x+ 报文, 那么它将一直向南传递, 直至变为 Level x+ 报文. 如果在之后的路由中, 会被下一个故障阻碍, 通过相似的方法即可解决, 并且最终完成 Y 维上的路由. Dim y+ 报文的路由和 Dim y- 相似, 不同之处在于其在故障环上的绕道方向为逆时针, 并且在到达故障环最西边节点时将一直向北传递, 直至变为 Level x+ 报文.

(3) DimX+ 报文路由过程, 如图 4(a) 所示.

结论 3 对于 Dim x+ 报文, 该报文使用 DOR 维序路由, 如果完成 X 维上的路由, 要么到达目的节点, 要么变为 Dim y+ 报文或者 Dim y- 报文; 如果没有完成 X 维上的路由, 则将变为 Levelx+ 报文.

证明: 在路由过程中无故障模型阻碍的情况: Dim x+ 报文按照 DOR 维序路由向右前进, 最终 Dim x+ 报文将顺利完成 X 维的路由, 要么直接到达目的节点, 要么变成 Dim y+ 报文或 Dim y- 报文.

在路由过程中被故障模型阻碍的情况: 当报文沿 X 维进行 DOR 维序路由时, 被故障节点阻碍, 在本文所用的故障模型中, 只有遇到 west、northwest inner corner 和 southwest inner corner 位置类型的环上节点, 报文才被阻挡. 此时该 Dim x- 报文将开始在环上进行绕道路由, 如果环上节点为 west, 那么该报文将选择其北面或南面的邻节点为下一跳节点进行绕道路由. 如果 Yoffset > 0, 则选择北面的邻节点, 此报文将按照 Dim y+ 报文的路由过程进行绕道路由; 如果 Yoffset < 0 则选择南面的邻节点, 将按照 Dim y- 报文的路由过程进行绕道路由. 最终, 绕

道的 Dim x+ 报文将变为 Level x+ 报文. 如果环上节点是 northwest inner corner 或 southwest inner corner, 路由算法提供 180° 的转弯, 使得该报文同样可以转化为 Dim y- 报文或 Dim y+ 报文进行绕道路由, 如果在之后的路由中, 会被下一个故障阻碍, 通过相似的方法即可解决, 最终变为 Level x+ 报文.

(4) Levelx+ 报文路由过程, 如图 4(b) 所示.

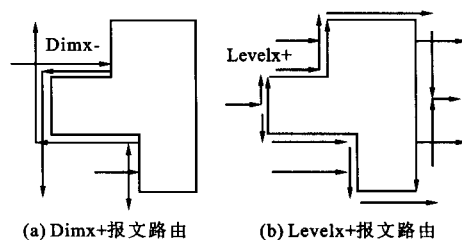


图 4 Dimx+ 报文路由与 Levelx+ 报文路由

Levelx+ 报文是 Dim x+、Dim x-、Dim y+、Dim y- 报文在路由过程中被故障阻挡, 或最终会变为的一种报文类型.

结论 4 对于 Levelx+ 报文, 使用西向优先转弯模型进行绕道路由, 最后到达目的节点.

证明: 在路由过程中无故障模型阻碍的情况: Level0+ 报文使用 DOR 维序路由, 完成 X 维上的路由, 到达目的节点.

在路由过程中被故障模型阻碍的情况: Levelx+ 报文将在故障节点上进行顺时针或者逆时针沿故障环进行绕道路由, 如果在之后的路由过程中出现类似状况, 通过相似的方法即可解决, 并且最终成功到达目的节点.

3.2 死锁避免策略

对于自适应的容错路由算法, 实现死锁避免所需要的虚拟通道个数成为影响路由机制资源利用效率的重要因素^[4], 使用更少的虚拟通道, 可以使每条虚拟通道分配到更多的资源, 尤其是在物理资源比较有限的情况下, 本文中只需使用两条虚拟通道, 大大提高了算法效率, 根据转弯模型思想, 如果通道间没有环相关, 就不会发生死锁, 本文中所选用的东向优先转弯模型和西向优先转弯模型符合以上条件, 同时在整个 Mesh 网络中分配不同的虚拟通道, 两种转弯模型下的虚拟通道之间不存在循环申请, 且彼此独立, 这样就保证了整个 Mesh 网络的无死锁.

4 算法实施

根据以上描述, 在 10×10 的 Mesh 网络中, 我们通过消息路由实例解释算法的工作过程, 其中第

一组源节点和目的节点分别为 $S_A(2,0)$ 和 $D_A(8,7)$,第二组源节点和目的节点分别为 $S_B(8,6)$ 和 $D_B(2,3)$,路由实施过程如图 5 所示.

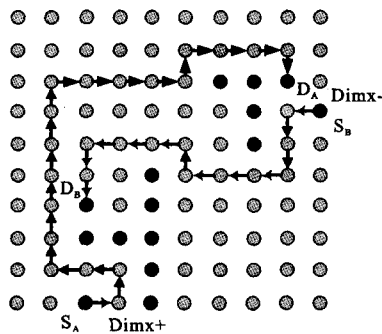


图 5 两组源节点到目的节点容错路由

报文在在 Mesh 网络传递过程中至多会遇到以下四种路由:分别为东向优先转弯模型下的 DOR 维序路由和绕道路由,西向优先转弯模型下的 DOR 维序路由和绕道路由.如图 6 所示,两种转弯模型分别使用两条虚拟通道,且通道间互相独立,不存在循环申请,经证明此算法是高效无死锁的.

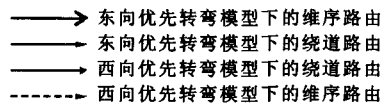


图 6 转弯模型的四种类路由

5 结束语

本文为 Mesh 网络提供一种高效的容错路由算法,基于改进的凸形故障模型,利用转弯模型路由的思想^[5],每条物理通道只需要 2 条虚拟通道来避免死锁.不同的转弯模型使用不同的虚拟通道,本文中给出了路由算法无死锁性的详细证明过程,该算法在具有故障节点的 Mesh 网络中是切实可行的.研究表明,拥有虚通道的路由,更少的虚通道意味着更

少的成本及更高的可靠性.

参考文献:

[1] Chen C,Chiu G. A fault-tolerant routing scheme for meshes with nonconvex faults[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2001, 12(5): 467-475.

[2] Glass C J, Ni L. Fault-tolerant wormhole routing in meshes without virtual channels [J]. IEEE Trans. Parallel and Distributed Systems, 1996, 7(6): 620-636.

[3] Chien A A, Kim J H. Planar adaptive routing: low-cost adaptive networks for multiprocessors[J]. ACM, 1995,42(1):91-123.

[4] 向东,张跃鲤. Mesh 网中高效无死锁自适应路由算法 [J]. 计算机学报,2007(11):1955-1962.

[5] 谢玲富. Tori 网络容错路由技术研究 [D]. 成都:电子科技大学,2009.

[6] Duato J, Yalamanchili S, Ni L, Interconnection networks, an engineering approach[M]. San Fransisco: Morgan-Kaufmann Press, 2004.

[7] 段新明,杨鲁愚. Mesh 网络耐故障虫孔路由 [J]. 计算机科学,34(1):29-31.

作者简介:



荣芳芳 女,硕士研究生.研究方向为片上网络与容错路由算法.

段新明 男,副教授.研究方向为处理器阵列、片上网络、容错路由算法.