

应用于二维 Mesh 结构片上网络的区域转弯路由算法

刘冬生, 陈宗正, 邹雪城, 郑 浩, 郭 擎

(华中科技大学 超大规模集成电路与系统研究中心, 湖北 武汉 430074)

摘 要: 本文针对二维 Mesh 结构片上网络, 在转弯模型的基础上提出一种新的路由算法——区域转弯算法, 以获得更低的延迟时间和更高的吞吐率. 该算法利用当前节点的 X 坐标, 将整个 Mesh 网络划分为两个部分, 目的节点 X 坐标小于当前节点 X 坐标的实行西优先算法, 反之实行北最后算法. 仿真结果表明, 该算法相比于 XY 路由算法, 平均延迟时间有所降低, 当负载为 40cycles/message 时, 延迟时间降低最大, 为 13.99%. 吞吐率在负载为 20cycles/message 时最大提高 13.56%.

关键词: 片上网络; 二维 Mesh 结构; 转弯算法; 延迟时间; 吞吐率

中图分类号: TN47

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)05-0006-04

The Region Turn Algorithm Used in 2D Mesh Network-on-Chip

LIU Dong-sheng, CHEN Zong-zheng, ZOU Xue-cheng, ZHENG Hao, GUO Qing

(VLSI & System Integrated Laboratory, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: In this paper, we proposed a new routing algorithm for 2D Mesh NoC based on the Turn Model, named Region Turn Algorithm, to achieve lower latency and higher throughput. The whole Mesh network is divided into two parts based on the current node's X coordinate in our new algorithm. If the X coordinate of destination nodes is less than the current node's X coordinate, we adopt the West First algorithm, whereas the North Last algorithm is implemented. The simulation results show that our algorithm can reduce the latency and improve the throughput compared with XY routing algorithm. When the load is 40 cycles/message, the latency reduce the maximum is 13.99%, throughput increased 13.56% at the load of 20 cycles/message.

Key words: network-on-chip; 2D Mesh; turn model; latency; throughput

1 引言

片上网络(Network-on-Chip)体系结构作为一种新型的, 服务于多核处理器的系统解决方案, 被视为下一代集成电路的主流设计技术; 其主要任务是建立一个适合片上多核系统的, 能够为片内资源提供低延迟的通信服务、高性能的片上通信网络^[1-3]. 片上网络体系结构的核心思想是在芯片设计中引入计算机网络技术, 将芯片中的计算与通信分离开来, 通信单元之间通过网络传送数据.

图 1 显示的是二维 Mesh 网络结构的 NoC 模型, 其中, 每个路由器连接一个 PE 核, 并且, 除边缘节点之外, 每个路由器与其他四个路由器连接, 以此

组成一个网络形式, 用于数据间的传输. 在片上网络中, 路由算法决定了数据从源节点到达目的节点的传送路径, 对网络的性能具有非常重要的影响. 本文研究应用于二维 Mesh 网络的路由算法, 以提高网络的性能.

2 转弯模型

自片上网络的概念提出以来, 路由算法始终是其研究的一个关键问题之一. 文献[4]提出了一种转弯模型, 它是一种半适应性路由算法. 该模型通过禁止某些方向的转弯, 破坏数据包之间有可能产生的循环等待关系来避免死锁的产生. 转弯模型中, 与路由器相连的通道被标识为 E, S, W, N 四个方向, 因

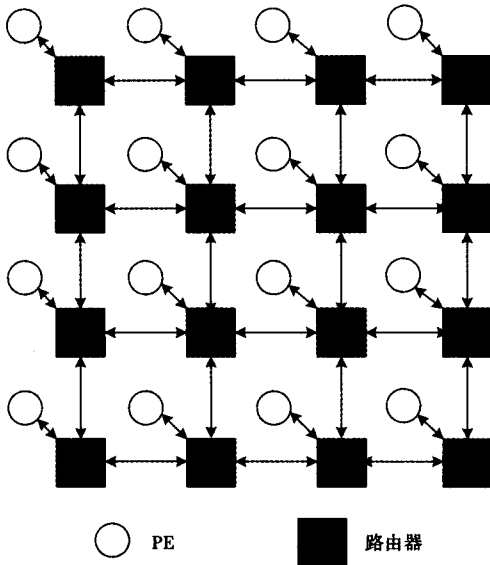


图1 Mesh 结构片上网络

此,数据包传送中可能的转向就有8种(也有不转向的可能),例如,从东向北的转向为EN,从东向南的转向为ES,依此定义,其余六个转向分别为WN,WS,NW,NE,SW,SE.如图2所示,是H. Kariniemi等提出的三种转弯模型的一种——西优先算法.西优先路由算法禁止所有向西方向的转弯,即SW和NW,因此,数据包必须首先传送到西方向上的路由器中.文献[5]中,Ge-Ming Chiu 基于转弯模型的基础提出了应用于 Mesh 网络中的奇偶转弯算法.该算法将 Mesh 网络中的节点分为奇数列和偶数列,列坐标为奇数的称为奇数列,列坐标为偶数的称为偶数列.奇偶转弯算法在奇数列上实行西优先算法,偶数列上实行东最后算法.仿真结果表明,奇偶转弯算法在非均匀模式下相对于 XY 路由算法有性能上的提高,但在均匀模式下,并没有提高网络的性能.

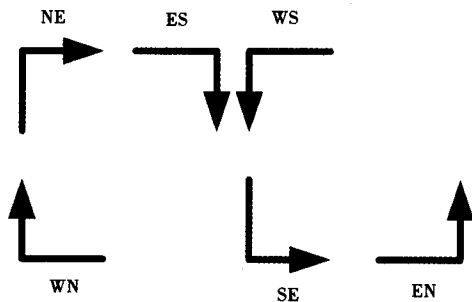


图2 西优先算法示意图

3 区域转弯算法

3.1 改进的路由算法模型

针对奇偶转弯模型在均匀模式下不能提高网络性能的问题,本节在分析转弯模型和奇偶转弯模型

的基础上,提出一种新的路由算法,该算法能够在均匀模式下提高网络的性能.

非确定性路由算法中容易产生死锁现象,虚拟通道技术虽然能够解决死锁问题,但在 Mesh 结构网络中增加虚拟通道需要付出很大的代价,它会增加路由器结构中缓存空间和复杂的控制逻辑,网络的通信质量和路由器的可靠性可能会受到影响^[4]. Glass 提出的转弯模型不需要增加虚拟通道就能够避免死锁发生,因此我们所提出的改进路由算法是基于转弯模型的算法.由于单独应用西优先算法,北最后算法或者东优先算法中的一种时,至少有一半的源目的节点对被限制只有一条最短路径,导致转弯模型的自适应度并不均匀,并且降低了其缓和和拥塞的能力. Ge-Ming 提出的奇偶转弯算法能够提供更均匀的适应性路由,但在均匀模式下相对于 XY 路由算法不能提高网络的性能^[5].

本文所提出的算法将整个 Mesh 网络按照当前节点的 X 坐标划分为两个区域,目的节点 X 坐标小于当前节点的 X 坐标的区域实行西优先算法,目的节点 X 坐标大于当前节点的 X 坐标的区域实行北最后算法,若当前节点 X 坐标等于目的节点 X 坐标,则直接在 Y 方向上传送.在两个区域中分别实行西优先算法和北最后算法,有利于在开始阶段将数据包分散在 X 方向和 Y 方向上进行传送,减轻了 X 方向上的路由压力,不至于在开始阶段数据包就被阻塞在 X 方向上.由于将 Mesh 网络划分了区域,并且不同的区域实行不同的转弯算法,因此我们的算法称之为区域转弯算法.

3.2 算法实现

算法的具体实现如下:首先判断当前节点与目的节点的坐标,如果当前节点与目的节点坐标相等,则直接传送到目的节点;若目的节点小于或者等于当前节点的 X 坐标,则按西优先算法路由;若目的节点的 X 坐标大于当前节点的 X 坐标,则按照北最后算法路由.具体的算法如下所示:

```

当前节点坐标(x_cur,y_cur),目的节点坐标
(x_dest,y_dest);
if(x_cur==x_dest && y_cur==y_dest
return C; //将数据包发送到本地节点;
else if(x_dest<=x_cur)
return W; //数据包发送到西通道
if(y_dest<y_cur)
return S; //数据包发送到南通道
if(y_dest>y_cur)
return N; //数据包发送到北通道

```

```

else
{
    if(y_dest<y_cur)
        return S; //数据包发送到南通道
    if(y_dest>y_cur)
        return E; //数据包发送到东通道
}

```

图 3 中,在 4×4 Mesh 网络中给出了算法中的三种情况, S_i 和 D_i 分别代表数据包 p_i 的源节点和目的节点. p_1 的目的节点 X 坐标小于源节点 X 坐标,首先向西传送,然后按照 Y 坐标向南传送; p_2 的目的节点 X 坐标大于源节点 X 坐标,且 Y 坐标小于源节点 Y 坐标,则首先向南传送,然后向东传送; p_3 的目的节点 X 坐标大于源节点 X 坐标,且 Y 坐标大于源节点 Y 坐标,则首先向东传送,然后向北传送.

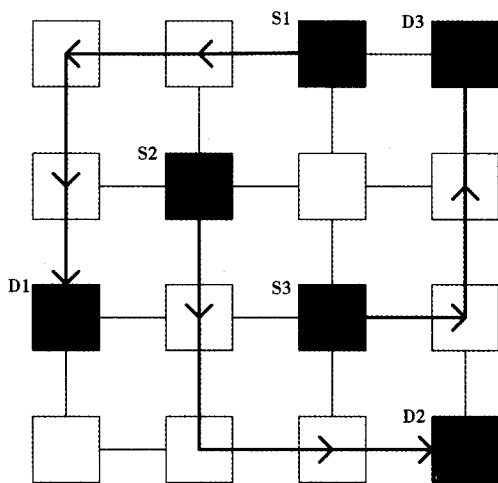


图 3 4×4 Mesh 网络路由示例

4 实验结果

本文采用 gpNoCsim 仿真工具. gpNoCsim 模拟器是一种 Java 语言编写的片上网络仿真工具,它采用面向对象的模块化设计方法,将片上网络的各个部分模块化,有利于设计人员对拓扑结构、路由算法,路由器结构等的修改,在一定程度上减轻了片上网络仿真的困难度^[6].

本实验中,仿真采用 4×4 的 2 维 Mesh 网络结构,网络采用虫孔路由交换机制,数据包长度不固定,但平均长度为 200 个 flit,每个 flit 宽度为 64 位.每次仿真循环为 100000 个周期,预仿真比例设为 0.1,即若循环 100000 个周期,则在开始阶段有 10000 个周期的预仿真,总共循环 110000 个周期.在预仿真中并不采集数据,也不计算平均性能.仿真时钟采取异步方式.仿真采用了均匀(uniform)流

量模式,在均匀流量模式下,每一个节点等概率发送数据包到其他节点.

本文所采用的 gpNoCsim 仿真工具,主要计算片上网络延迟时间和吞吐率两个性能.延迟时间定义为数据包从源节点到目的节点所需要的平均时钟周期数,表明数据包到达目的节点的速度.延迟时间与网络带宽,数据包大小,网络状态等有关.吞吐率定义为目的节点接收到的总的数据包数量比上整个网络中 PE 核的数量与总的仿真周期数的乘积.

图 4 和图 5 分别表示 XY 路由算法和区域转弯算法延迟时间和吞吐率的比较,从图中可以看出,区域转弯算法相对于 XY 路由算法能够有效地降低延迟时间和增大吞吐率,尤其是在网络负载较高的情况下.因为在 XY 路由算法中,数据包始终是先从 X 方向上传送,这容易造成 X 方向上数据包的拥塞,造成后续数据包无法及时传送,从而影响网络性能.而区域转弯算法利用当前节点的 X 坐标将网络划分为两个部分,左半部分采取西优先算法,右半部分采取北最后算法,在开始阶段将数据包的路由一定程度上分布在 X 方向和 Y 方向,减轻 X 方向上的负担,从而提高减少延迟时间,增大吞吐率.

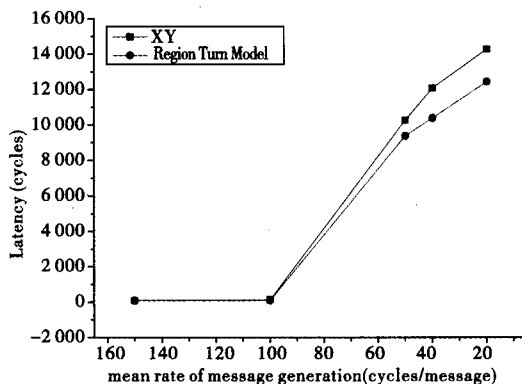


图 4 均匀流量下延迟时间性能

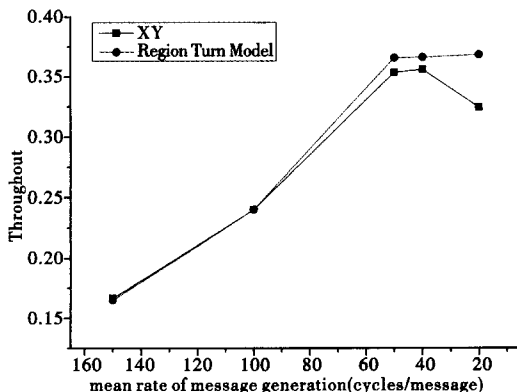


图 5 均匀流量下吞吐率性能

5 结束语

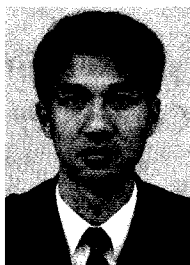
本文针对奇偶转弯模型在均匀模式下相对于 XY 路由算法不能提供更好的网络性能这一问题,提出一种新的路由算法——区域转弯算法.该算法利用当前节点的 X 坐标,将整个 Mesh 网络划分为两个部分,目的节点 X 坐标小于等于当前节点 X 坐标的实行西优先算法,反之实行北最后算法.通过 gpNoCsim 仿真工具的验证,在均匀模式下该算法相对于 XY 路由算法,平均延迟时间有所降低,当负载为 40cycles/message 时,延迟时间降低最大,达到 13.99%.吞吐率在负载为 20cycles/message 时最大提高 13.56%,因此本文算法能够有效改善网络的性能.

参考文献:

- [1] Benini L, Micheli G De. Networks on chips: a new SoC paradigm [J]. Computer, 2002, 35(1):70-78.
- [2] 钱宇平,李广军,潘经纬.基于容错虫洞路由的动态片上网络研究 [J]. 微电子学与计算机, 2010, 27(9): 5-7.

- [3] 万玉鹏,吴宁.基于自适应算法的 NoC 路由单元的系统级设计 [J]. 微电子学与计算机, 2010, 27(9):43-49.
- [4] Glass C J, Ni L M. The turn model for adaptive Routing [J]. ACM, 1994, 41(5): 874-902.
- [5] Chiu GM. The odd-even turn model for adaptive routing [J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2000, 11(7): 729-738.
- [6] Hemayet H, Mostak A, Abdullah A et al. GpNoCsim—A, general purpose simulator for network-on-chip [R]. Dhaka, Information and Communication Technology, 2007: 254-257.

作者简介:



刘冬生 男,(1978-),博士.研究方向为电路系统和集成电路设计.

(上接第5页)

参考文献:

- [1] Sharif A, Potdar V, Chang E. Wireless multimedia sensor network technology: a survey [C]//Proceedings of the 7th IEEE International Conference on Industrial Informatics. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2009: 606-613.
- [2] 凡高娟.无线传感器网络覆盖控制技术研究 [D].南京:南京邮电大学, 2010.
- [3] Tezcan N, Wang W. Self-orienting wireless multimedia sensor networks for occlusion-free viewpoints [J]. Computer Networks, 2008, 52 (13):2558-2567.
- [4] Ma H D, Liu Y H. On coverage problems of directional sensor networks [C]//Proceedings of the International Conference on Mobile Ad-Hoc and Sensor Networks. LNCS 3794, Berlin: Springer-Verlag, 2005: 721-731.
- [5] 陶丹,马华东,刘亮.基于虚拟势场的有向传感器网络覆盖增强算法 [J]. 软件学报, 2007, 18(5): 1152-1163.
- [6] 肖甫,王汝传,叶晓国,等.基于改进势场的有向传感器网络路径覆盖增强算法 [J]. 计算机研究与发展, 2009, 46(12): 2126-2133.

- [7] 陶丹,马华东,刘亮.视频传感器网络中路径覆盖增强算法研究 [J]. 电子学报, 2008, 36 (7): 1291-1296.
- [8] Kameyama K. Particle swarm optimization-A survey [J]. IEICE Transactions on Information and Systems, 2009, E92D(7): 1354-1361.
- [9] Rana S, Jasola S, Kumar R. A review on particle swarm optimization algorithms and their applications to data clustering [J]. Artificial Intelligence Review, 2011, 35(3): 211-222.

作者简介:

郭剑 男,(1978-),博士研究生,讲师.研究方向为无线传感器网络、演化计算.

孙力娟 女,(1963-),博士,教授,博士生导师.研究方向为无线传感器网络、演化计算.

韩崇 男(1985-),博士研究生.研究方向为无线传感器网络.

肖甫 男,(1980-),博士,博士后,副教授.研究方向为卫星网络通信、无线自组织网络、多媒体技术等.

王汝传 男,(1943-),教授,博士生导师.研究方向为无线传感器网络、计算机软件、计算机网络等.