

“包—电路交换”片上路由器设计与实现

万 健, 李 丽, 王佳文, 张宇昂

(南京大学 微电子设计研究所 江苏省光电信息功能材料重点实验室, 江苏 南京 210093)

摘 要: 在片上网络(NoC)设计中, 片上路由器的优劣将直接影响整个 NoC 系统的性能. 文中综合考虑了包交换方式和电路交换方式的优缺点, 采用“包—电路交换”方式, 设计并实现了一种低硬件资源消耗、高性能的“包—电路交换”片上路由器.

关键词: 片上网络; “包—电路交换”; 片上路由器

中图分类号: TP302

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)07-0068-04

Design and Implement of the Packet—Circuit Switching Router on Chip

WAN Jian, LI Li, WANG Jia-wen, ZHANG Yu-ang

(Institute of VLSI Design, Nanjing University, Nanjing 210093;

Key Laboratory of Advanced Photonic & Electronic Materials, Nanjing 210093, China)

Abstract: As to NoC design, router on chip is very important because it directly impacts the performance of the whole NoC system. Considering the advantages and disadvantages of packet switching and circuit switching, this paper proposes a router on chip based on packet—circuit switching, which has low resource consumption and high—performance, namely packet—circuit switching router.

Key words: NoC; packet—circuit switching; router on chip

1 引言

NoC(Network on Chip)的核心思想是将计算机网络技术移植到集成电路设计中来^[1-3]. 作为一种全新的集成电路体系结构, NoC 充分借鉴了分布式计算机系统的通信方式^[4-5], 用路由和分组交换技术替代传统的总线通信方式.

网络中与路由密切相关的问题是交换技术. 在典型的 NoC 的应用中, 常用的交换方法大致可以分为包交换和电路交换, 由它们得到的片上路由器分别称为包交换路由器和电路交换路由器.

包交换路由器的功能和结构都是宏观网络中使用的路由器的简化. 由于包交换路由器的实现面积通常较大, 构成的片上网络的网络延时比较大, 很难满足实际应用中的实时性要求.

在电路交换路由器构成的片上网络中, 通信的资源节点之间存在固定的链路. 由于通信时链路资源被通信双方独占, 所以链路的资源利用率低.

文中基于文献[6]所提出的“包—电路交换”(Packet Circuit Switching)通讯机制, 设计了一种新的路由算法——回退转向路由算法, 充分发挥出了“包—电路交换”的优势, 提高了通信效率, 并完成了“包—电路交换”片上路由器.

2 交换方式和路由算法

2.1 “包—电路交换”方式介绍

文中设计的片上路由器采用“包—电路交换”方式, 其特点是链路的建立通过发送请求包完成, 而数据的传输则采用电路交换形式.

采用“包—电路交换”方式时, 资源节点之间一

收稿日期: 2010-10-14; **修回日期:** 2010-11-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(60876017); 国家“八六三”计划项目(2008AA01Z135); 江苏省科技支撑计划项目(BE2009143)

次成功的数据传输包括3个阶段:

(1) 链路建立阶段. 源节点以请求包的形式向网络发出路由请求. 路由器根据请求包中目的节点的地址信息和路由策略进行路由. 当该请求包通过网络时,链路被暂时锁定,不能够被其他传输过程使用. 如果请求包到达目的节点,一个确认(Ack)信号沿链路传回,同时暂时锁定状态的链路被设为锁定状态,链路建立成功. 如果网络拥塞,没有合适的路由路径,根据回退转向路由算法,拥塞处的路由器发送一个失败信号(Fail)到上游节点,并取消暂时锁定的链路;上游节点接收到 Fail 信号后重新尝试请求链路,依此类推,直到链路建立成功.

(2) 数据传输阶段. 当 Ack 信号传送到源节点时,源节点与目的节点之间可以传输有效数据. 数据包的每个 flit 经过每一个路由器都被寄存一次,用以克服关键路径过长的问题.

(3) 链路释放阶段. 当数据传输完成后,源节点发出结束包;当收到结束包后,目的节点发出取消(Cancel)信号,释放锁定链路.

2.2 “包—电路交换”方式优势分析

“包—电路交换”方式同时具有包交换方式和电路交换方式的优点.“包—电路交换”方式在链路建立阶段可以使通道合理、动态地分配给资源节点,而在数据传输阶段,数据通过锁定的专用通道高速传输.

(1) 与包交换方式相比,“包—电路交换”方式不需要缓冲整个数据包,可以有效地减少硬件实现面积;同时,在数据传输阶段,“包—电路交换”方式的延迟是可预测的,减少了延迟.

(2) 与电路交换方式相比,“包—电路交换”方式采用请求包建立链路,并且链路不是被永久占用,具有灵活性,提高了链路资源的利用率.

2.3 回退转向路由算法

根据“包—电路交换”方式的特点,设计了回退转向路由算法. 路由器节点记录各个输入端口可选的输出端口信息,并按照设定的优先级顺序和输出端口占用情况,将输入端口与适当的输出端口相连. 如果某输入端口的所有可能的输出端口都被占用,那么该路由器节点将向对应的上游路由器节点发送路由失败信号. 上游路由器节点收到路由失败信号后,将查看本节点记录的信息,选择其他可能的输出端口;若没有其他可能的输出端口供选择,此路由器节点将向其上游路由器节点发送路由失败信号. 依此类推,直到选择合适的路径到达目的节点.

2.4 回退转向路由算法的优势

回退转向路由算法可以根据网络资源的占用情况动态改变路由路径,充分利用了片上网络资源;在二维网格结构中,回退转向路由算法在选择路由路径时最多有两个可能的方向,不向 180 度方向折回路由,并且所选路径是源节点与目的节点间最短的路径,所以不会引起死锁或活锁的问题. 回退转向路由算法提高了链路建立成功的概率,有效地提高了通信效率.

3 “包—电路交换”片上路由器设计

文中设计片上路由器的端口是可配置的,以适应不同的片上网络拓扑结构. 现以 5 端口为例进行介绍. 此路由器可用于构成二维网格结构的 NoC 系统. 该系统由资源节点(Resource)、网络接口(Network Interface, NI)、片上路由器(Router)和链路(Channel)组成,如图 1 所示.

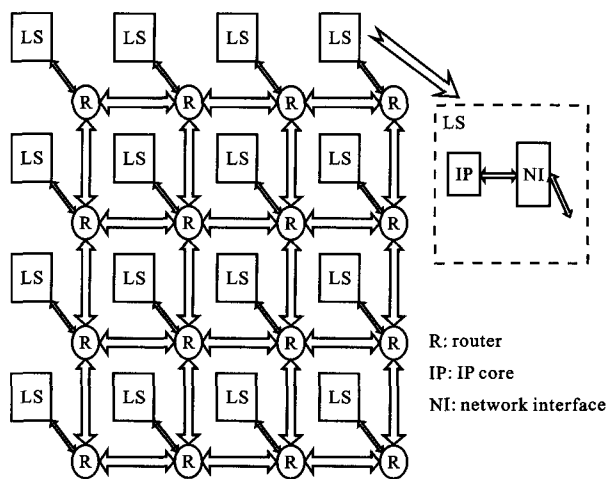


图1 NoC系统结构

“包—电路交换”路由器的接口示意图如图2所示. 该路由器在5个方向上各有一组输入、输出通道,分别对应本地(L)、东(E)、南(S)、西(W)、北(N)5个方向. 其中,Stb是1位链路锁定控制信号;Fwd是1位传输数据有效标志信号;Data是34位数据线;Ack是1位确认信号;Fail是1位路由失败信号;Cancel是1位链路撤销控制信号.

“包—电路交换”路由器的结构示意图如图3所示. 包括输入状态机、优先级编码器、地址解码器、仲裁器、输出状态机和交叉开关.

在链路建立阶段,路由器首先寄存请求包,然后进行优先级编码、地址解码、仲裁,再将请求包转发到下一路由器,一旦链路建立成功,该链路就成为专用电路而不能被网络上的其他路由器使用.

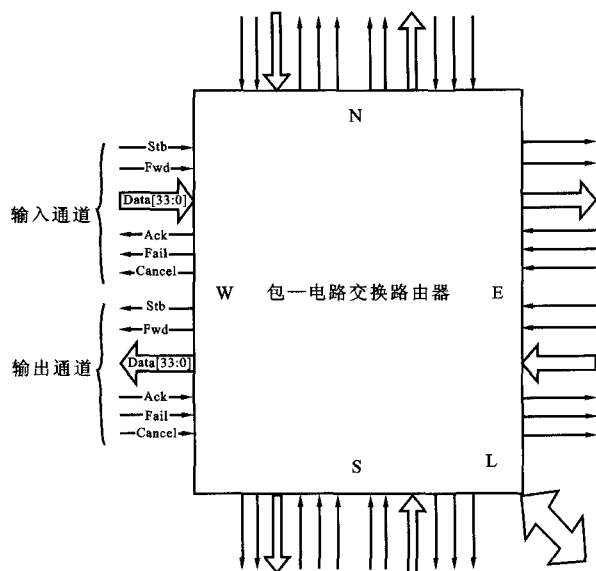


图2 “包-电路交换”路由器接口示意图

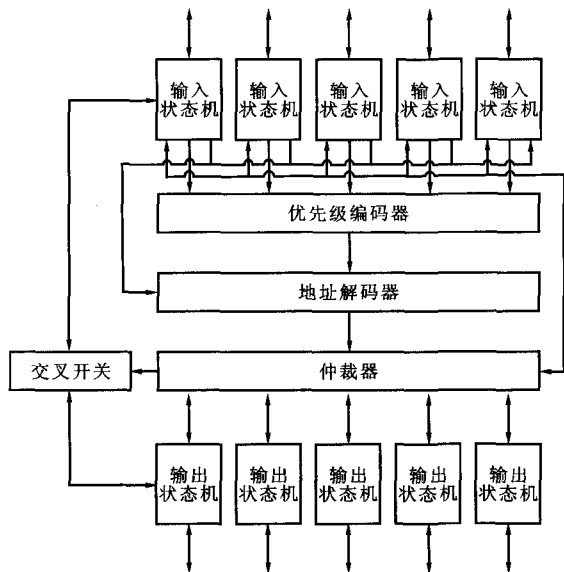


图3 “包-电路交换”路由器结构示意图

在数据传输阶段,路由器不对数据包进行任何处理,直接将数据包经过一级流水线发送到下游路由器,数据通过每个路由器的延时仅为1个时钟周期。

数据传输完成后,链路释放,将电路由专用变为空闲状态,可供其余路由器使用。

“包-电路交换”路由器的功能特点决定其有两条通路:路由通路和数据通路,如图4所示。一个路由器只有一条路由通路,路由通路根据请求包建立网络链路,路由延时与网络状况有关(每个路由器的理想路由延时为8个周期);数据通路由路由通路进行控制,负责数据传输,延时较小,仅为1个周期,一个路由器可以有多条数据通路。

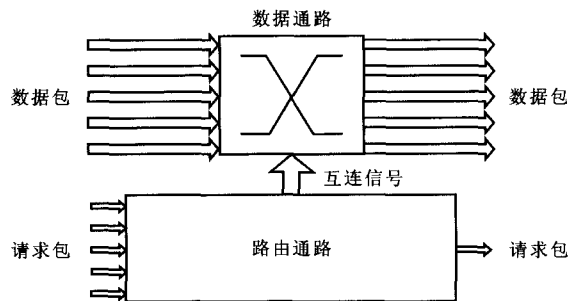


图4 “包-电路交换”路由器通路示意图

3.1 输入状态机

输入状态机的功能是接收有效的请求包,控制输入通道的工作状态。输入状态机有六个工作状态:空闲(F_IDLE)、请求(F_REQ)、发送请求包(F_HEAD)、半锁定(F_PRELOCK)、锁定(F_LOCK)和路由失败(F_FAIL)。输入状态机的状态转移如图5所示。

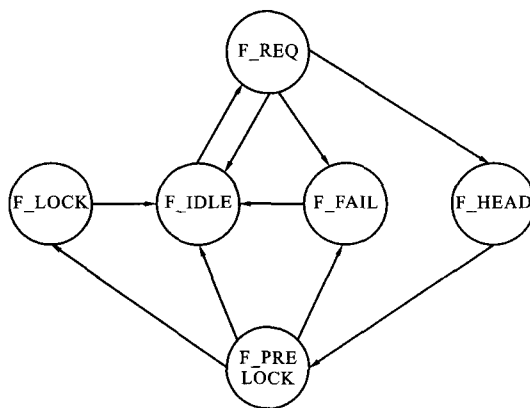


图5 输入状态机的状态转移图

3.2 优先级编码器

优先级编码器根据设定的优先级顺序对5个输入端口中同时请求的信号进行编码,选出优先处理的输入端口。根据不同的应用,优先级顺序可以采用固定优先级算法或轮转算法等。

3.3 地址解码器

地址解码器根据优先处理的输入端口中的请求信息,将目标节点地址信号转变为路由方向信号输出。地址解码器通过比较目标地址和本地地址,对L、E、S、W和N五个方向做出选择,地址解码器原理示意图如图6所示。其中,Xd、Yd分别表示目的节点的X、Y方向地址,X、Y分别表示本节点的X、Y方向地址,reqL、reqE、reqS、reqW、reqN表示路由方向。

3.4 仲裁器

仲裁器接收地址解码器的解码结果,根据链路的占用情况和一定的优先级顺序,选择一个合适端

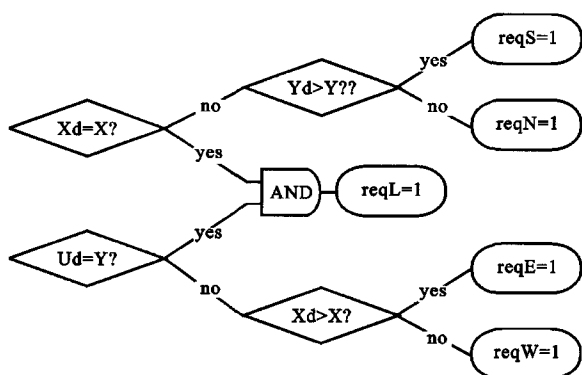


图6 地址解码器原理示意图

口进行路由,输出输入端口与输出端口互连信号;没有可以被选择的输出端口时,通过输入状态机向上游路由器发送路由失败信号。

3.5 输出状态机

输出状态机的功能是控制输出通道的工作状态。输出状态机有两个工作状态:空闲(IDLE)、锁定(LOCK),前者表示输出通道当前可用,后者表示输出通道已被占用。

3.6 交叉开关

交叉开关接收仲裁器输出的连接信号,实现输入、输出端口之间的正确互连。在数据传输阶段,输入端口的数据信号通过数据通路直接传向下一节点,而不经路由通路。数据通路只包含一级流水线,因而数据信号跨过一个路由器的时间延时仅为1个时钟周期。当目的节点释放链路时,数据通路内输入端口与输出端口的对应关系被撤消。

4 延迟分析与综合结果

文中设计的片上路由器构成的 NoC 系统,其链路建立延时平均为 8 个周期/路由器,其中 7 个周期是路由器的路由通路延时,1 个周期是链路建立确认(Ack)信号延时;数据传输延时与网络状况无关,仅为 1 个周期/路由器。数据通过该 NoC 系统可以得到高效传输。而传统包交换路由器的数据传输延时与网络状况有关,其延时通常较长(数十至数千个周期,每个路由器的理想延时在 4 至 7 个周期之间),因此说,“包-电路交换”片上路由器大大提高了 NoC 系统的性能。

基于 Synopsys 公司的 Design Compiler 软件和 Smic 0.18 μm 的深亚微米级综合库完成了对本文所设计的片上路由器的逻辑综合,得到“包-电路交换”片上路由器的时钟频率为 500MHz,每个通道的吞吐率达到 16Gbps。每个路由器的资源消耗为

4.3k 门。同时,由 Cadence 公司的 SoC Encounter 工具得到的版图如图 7 所示,面积约为 5791 μm^2 。

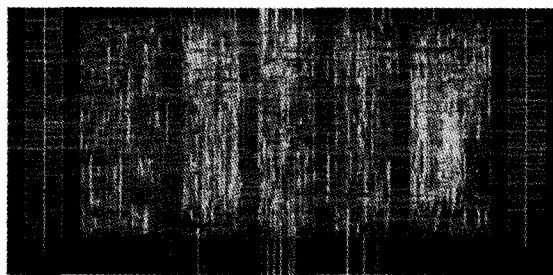


图7 “包-电路交换”片上路由器版图

5 结束语

片上路由器的设计需要综合考虑时钟频率、延迟和占用芯片面积等因素。“包-电路交换”片上路由器具有低硬件资源消耗、高性能的优点,适用于构成高性能片上网络。

在本设计中,优先级编码器采用了固定优先级,每次只能处理一路请求信号。在未来的工作中,可以采用双仲裁器模式,同时处理多路请求,进一步提高“包-电路交换”片上路由器的性能。

参考文献:

- [1] Axel Jantsch, Hannu Tenhunen. Networks on Chip [M]. [s. l.]: Kluwer Academic Publishers, 2003: 87-88.
- [2] 魏建军, 康继昌, 雷艳静. NOC 的平衡设计[J]. 微电子学与计算机, 2007, 24(5): 54-57.
- [3] Vassos Soteriou, Rohit Sunkam Ramanujam, Bill Lin, et al. A high-throughput distributed shared-buffer NoC router[J]. IEEE Computer Architecture Letters, 2009, 8(1): 21-24.
- [4] 杨晓强, 高晔. NOC 系统设计的研究[J]. 微电子学与计算机, 2008, 25(7): 176-179.
- [5] Freitas H C, Santos T G S, Navaux P O A. Design of programmable NoC router architecture on FPGA for multi-cluster NoCs[J]. Electronics Letters, 2008, 44(16): 969-971.
- [6] Sumant Sathe, Daniel Wiklund, Dake Liu. Design of a Switching Node(Router) for On-Chip Networks[C]// Proceedings of the 5th International Conference on ASIC, 2003. Beijing: IEEE, 2003(1): 75-78.

作者简介:

万 健 男,(1985-),硕士研究生.研究方向为数字集成电路设计。