

# 片上网络路由算法综述

王芳莉<sup>1</sup>, 杜慧敏<sup>2</sup>

(1. 西安邮电学院 计算机学院, 陕西 西安 710121; 2. 西安邮电学院 电子信息工程学院, 陕西 西安 710121)

**摘要:** 从具有不同自适应度的无关(oblivious)路由和自适应(adaptive)路由两方面对适用于片上网络的路由算法进行总结和分析, 从所适用的拓扑结构、是否防止死锁等方面对算法进行评价, 并提出片上网络路由算法研究的方向。

**关键词:** 片上网络; 路由算法; 无关路由; 自适应路由; 性能分析

**中图分类号:** TP302.7

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1007-3264(2011)01-0072-06

随着半导体工艺的进步和片上系统(System On Chip, SoC)技术的不断完善, 现在的 SoC 可包含一个或多个处理器、存储器、模拟电路、数模混合电路以及片上可编程逻辑等知识产权核(Intellectual Property Core, IP Core)<sup>[1]</sup>。但是, 随着 SoC 中所包含的 IP 核数目增至上千万的时候, 现有基于总线结构的 SoC 片内通信技术面临着性能、功耗、延时和可靠性等方面的挑战。2001 年, 一些研究机构借鉴和吸收了通信网络中的一些思想, 提出了以通信为核心的复杂 SoC 的 IP 核集成方法, 即片上网络(Network On Chip, NoC), 以解决复杂 SoC 面临的片内通信问题。

NoC 研究的内容主要有: 拓扑结构、交换机制、路由算法、服务质量、拥塞控制和路由器结构等等, 其中片上网络的路由算法就是其中的关键技术之一。路由算法寻找数据包的路径, 它负责将数据包正确无误的发送至目的节点。由于 NoC 在一个芯片上实现, 因此, 受面积和功耗的限制, 设计 NoC 路由算法时必须满足以下几点要求<sup>[2]</sup>:

(1) 所选择的路由算法必须能够将分组正确地发送到目的节点, 即要求算法无死锁和活锁;

(2) 路由信息的计算必须简单, 只有计算简单才能使相应的硬件设施速度更快、体积更小;

(3) 因为网络资源紧张, 所以应该尽量选择最短路径, 或者限制绕道次数的绕道路由算法;

(4) 路由算法应该公平对待 NoC 的所有节点, 以防止饥饿。

片上网络路由算法从是否考虑网络流量和拥塞状况的角度可分为无关路由和自适应路由。无关路由算法与网络的状态(如业务量或网络拥塞情况)等消息无关, 网络的路由由路由算法或路由器节点随机决定。自适应路由考虑网络的即时流量和拥塞状况, 选择有效的路由路径, 以达到在网络流量较大的情况下避免拥塞的产生, 提高网络的吞吐量。本文从无关路由和自适应路由两方面对片上网络路由算法进行了综述。

## 1 片上网络路由算法的分类

图 1 给出了片上网络路由算法的分类, 该分类对早期的分类方案进行了扩展, 路由算法根据不同的标准进行分类<sup>[3]</sup>, 其中每一行对应于每一种标准的不同分类, 箭头表明不同分类间的关系。

路由算法可以首先按目的地的数量进行分类, 报文可以只有一个目的地(单播路由), 也可以有多个目的地(多播路由)。

路由算法可以根据路由决策地点分类。原则

收稿日期: 2010-11-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60976020)

作者简介: 王芳莉(1985-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 集成电路设计、SOC 设计与验证, E-mail: wangfangli\_2005@126.com;

杜慧敏(1966-), 女, 教授, 博士, 研究方向: 集成电路设计与验证。

上,路径可以由源节点的集中式控制器(集中式路由)在报文注入网络之前决定(源路由)。也可以当报文在网络中传递时以分布式的方式来决定(分布式路由),混合的方式也是可行的,称这些混合的方法为多阶段路由。在多阶段路由中,根据源节点计算一些目的节点,它们之间的路径以一种分布式的方式建立,报文可以发向所有这些被计算出来的目的节点(多播路由),也可以只发向最后的目的节点(单播路由),在这种情况下,中间节点用来避免拥塞或失效。

路由算法可以用不同的方法实现。目前提出的最有效的方法是查找路由表或由软件或硬件根据有限状态机执行路由算法,在上述两种情况下,路由算法既可以是确定性路由,也可以是自适应路由。确定性路由算法在给定的源/目的节点对之间提供相同的路径,自适应路由算法可根据网络流量和通道状态的信息来避免拥塞或网络中的故障区。自适应路由算法根据它们的行进方式可分为前进型和回溯型。前进型路由算法将报文头向前移动,在每个路由操作时预留一个新通道。回溯型算法允许报文头回退,释放先前预留的通道,回溯型算法主要用于容错路由。

路由算法可以根据它们选择路径的最短性分为最短路由和绕道路由。最短路由算法只选择将报文送到离目的地最近的通道,绕道路由则提供将报文送到远离目的地的通道。

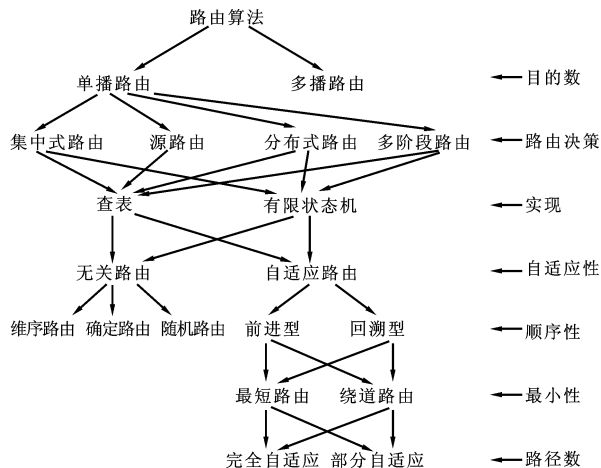


图1 片上网络路由算法的分类

## 2 片上网络路由算法

目前研究出的典型的适用于 NoC 的路由算法有无关路由、自适应路由、无关路由和自适应路由相结合的路由算法。以下为各路由算法的详细介绍。

### 2.1 无关路由算法

无关路由决策虽然与网络状态无关,但它的选择不一定是确定的。如路由表可能包含一个目的地址的多个输出通道,其选择与网络状态无关,可以随机选择、循环选择或按其他方式选择。目前常用的无关路由算法有:维序路由、确定性路由、随机路由算法等。

#### 2.1.1 维序路由算法

在维序路由算法中,每个数据包每次只在一个维上路由,当在该维上到达了目的坐标之后,才按由低维到高维的顺序在其他维上路由。因为数据包是按照严格单调的维数变化的顺序在通道内路由,所以维序路由在维序间是没有死锁的。按照不同拓扑结构,维序路由包括了 2D Mesh 中的 XY 路由和超立方体中的 E-cube 路由。该类算法容易实现,路由逻辑非常简单,但整个网络的业务流量不均衡,网络中心节点的业务流量最大,容易造成网络的拥塞。

#### 2.1.2 确定性路由算法

确定性路由算法是指从节点 A 到节点 B 是一个固定的路径,与网络状况无关<sup>[4]</sup>。确定性路由算法在网络没有拥塞时,具有高可靠性和低延迟。由于包到达目的节点是按正确顺序,因此确定性路由适合于实时系统。一般情况下,每个路由器都有一个包括所有路由消息的全局路由表,网络改变时,路由表随之更新路由消息。该算法硬件设计和实现简单,在网络流量不大时,不需要保存全局路由表,具有小的时延,是无死锁和无活锁路由。

#### 2.1.3 随机路由算法

随机路由算法基于概率将分组按不同的路径发送到目的节点,并假定每个分组迟早都能到达其目的节点,算法简单,且能容错,但其速度慢,并且占用大量的网络资源。为了避免分组在网络中无限制地游走,算法规定了分组的生存时间。分组在网络中随机路由时都有一个最长时间限制,超过此时间,分组将被丢弃。常见的随机路由算法有以下 3 种。

##### (1) 洪泛路由算法

洪泛路由算法包括概率洪泛路由算法<sup>[5]</sup>和直接洪泛算法。

概率洪泛路由算法是最简单的随机路由算法。源节点以一定的概率  $p$  向网络所有可能的方向发送复制的分组,而不考虑分组的目的地址,最后总有一个分组会到达目的节点,其它的分组将被丢弃。该算法的缺点是占用大量的网络资源。

直接洪泛算法是对概率洪泛算法的改进。源节

点向目的节点的大概方向发送分组,与概率洪泛算法相似,总有一个分组会被目的节点收到,而其它分组被丢弃。与概率洪泛算法相比,直接洪泛算法具有更高的容错能力和更少的网络资源占有率。

### (2) Valiant 随机路由算法

Valiant 路由算法<sup>[6]</sup>在分组的源、目的节点间只增加了一个中间目的节点,该中间目的节点是在全网络中随机选取的。Valiant 算法中,分组分两步路由:先以中间目的节点为第一步路由的目的地,从源节点采用无关路由至最终的目的节点。该算法的路由路径显然是非最短的,且增加了网络带宽需求;但将原始的一个路由问题转换成两个路由问题,较好的平衡了网络负载,降低了拥塞概率。

### (3) IVAL 随机路由算法

该算法是对 Valiant 随机路由算法的改进。IVAL 算法第一步是将分组随机路由到一个中间节点,第二步是从中间节点将分组路由到目的节点。这两步路由都采用维序 XY 路由算法,不同的是,两次维序顺序相反。

## 2.2 自适应路由算法

常用的自适应路由算法包括伪自适应 XY 路由、转弯模型(Turn Model)、奇偶转弯模型、XY-YX 路由、基于 Torus 网络的负向优先路由(NF-T)、跳步容错路由、DyXY 路由、NoC-LS 路由、SRN 路由算法等。

### 2.2.1 伪自适应 XY 路由算法

该算法根据网络状态在确定性路由和自适应路由之间转换,是对确定性 XY 路由的一种改进<sup>[7]</sup>。当网络没有或拥塞很小时,用确定性路由算法;当网络拥塞状况比较严重时,数据选择拥塞程度较小的链路进行数据传输。伪自适应 XY 路由的一个主要目的就是合理分布网络流量,减少热点的产生。每个节点除了本地端口外,其它所有的端口都有一个标明该端口拥塞情况的 2-bits 量化负载值,该值表明该端口对相邻节点的拥塞情况。当两个来自不同方向的分组同时到达节点时,算法使用固定的优先级分配策略。对于同时到达某一节点的分组,从北向来的分组具有最高的优先级,其次是南向的、东向的,西向的分组具有最低的优先级。

### 2.2.2 转弯模型路由算法

转弯模型<sup>[8]</sup>是 Mesh 网络中一种经典的无死锁路由算法。其基本思想是分析信息分组在网络中可能的转向(Turn)以及这些转向可能形成的环,通过禁止一定数量的转向来破坏信道的环形依赖关系,

从而破坏死锁的形成条件。根据禁止转向的不同,形成了 3 种基本的算法,即西向优先 WF(West First)、北向最后 NL(North Last)和负向优先 NF(Negative First)算法。

### 2.2.3 奇偶转弯模型算法

奇偶转弯模型<sup>[9]</sup>主要适用于 Mesh 结构的 NoC,它不需要使用虚通道便能避免死锁。不像转弯模型那样通过限制某些方向的转弯来防止死锁的产生,而是对发生转弯的位置进行了约束。

以 2D-Mesh 为例来说明,如果节点所在列的 X 维坐标是奇数,则称该列为奇数列;如果该列的 Y 维坐标是偶数,则称该列为偶数列。用 E、W、S、N 分别代表东、西、南、北来定义。本算法中的 8 种转弯:ES、EN、WS、WN、NE、NS、SE、SW,如 ES 表示由东向南的转弯。奇偶转弯模型禁止的一些转向:(1)在奇数列的节点上发生 NW、SW 的转向;(2)在偶数列的节点上发生 EN、ES 的转向;(3)180°的转向(也称 U 转向)。

### 2.2.4 XY-YX 路由算法

XY-YX 路由算法<sup>[10]</sup>是对 XY 路由算法的改进,基本思想是数据并不总是先 X 方向,后 Y 方向,而是根据目的节点和当前节点的位置来选择。当目的节点 Y 方向的值小于当前节点 Y 方向的值时,即目的节点在当前节点的北边,选择先 Y 后 X;当目的节点 Y 方向的值大于当前节点对应的值时,即目的节点在当前节点的南边,选择先 X 后 Y,从而减轻 XY 路由算法在 X 方向产生的阻塞。

本算法的路由转向是选择转弯模型中的 NE、ES、WS、NW,即路由过程只允许上述 4 个转向。

### 2.2.5 基于 Torus 网络的负向优先路由算法

基于 Torus 网络的负向优先路由算法<sup>[11]</sup>是在转弯路由算法的基础上,引入虚信道(Virtual channel),将物理网络划分成 2 个虚拟网络,每条物理链路(Physical link)使用 3 条虚信道,文[12]中证明这是 2D Torus 网络实现无死锁自适应路由算法所需虚信道数目的最小值。通过相应的路由规则,破坏 2D-Torus 网络中信道之间的环形依赖关系,从而实现了无死锁无活锁的自适应路由算法。该算法通过引入虚信道完成了自适应路由,但对 3 条虚信道的使用存在着严重的负载不均衡,大部分的流量集中在 0 号虚信道上,2 号虚信道则相对较少使用,使得 0 号虚信道成为整个网络通信的瓶颈,而 2 号虚信道负载不足,浪费严重。

针对 NF-T 算法中虚信道负载不均衡的问题,

可以采用新的虚信道使用策略及路由算法,将流量均衡地分配到3个虚信道上,从整体上提高了2D-Torus网络的通信效率。新的虚信道使用策略的核心思想是将部分流量尽早地分配到2号虚拟网络中,减少1号虚拟网络中0号虚信道的流量压力,增加2号虚拟网络中使用2号虚信道的几率,从而达到各个虚信道的负载均衡。

#### 2.2.6 跳步容错路由算法

跳步容错路由算法<sup>[13]</sup>是对转弯模型的改进,适用于Mesh网络结构中,具有实现简单、能兼顾网络吞吐和时延的特点。在该算法中,每一个节点要知道其邻接点的链路状态,这需要每个节点维护一张链路状态表,并要实时更新确保每次路由都能正确进行。当目的节点在源节点左侧时,则开始必须先往西运行,这是为了防止转弯形成环路导致死锁。当负方向路由遇到故障或拥塞链路时,在垂直运行方向上进行一个跳步,跳步后使用逃离虚通道,绕开故障区域或热点区域。因为路由函数限制了转弯的方向且在限制转弯的方向设置了逃离虚通道,所以不会形成死锁环路,从而避免了死锁。

#### 2.2.7 DyXY路由算法

DyXY路由算法<sup>[14]</sup>中,节点通过监视其相邻节点的拥塞状况来选择分组路由的下一跳。该算法描述如下:

(1)从端口到来的分组获得目的节点地址;

(2)比较当前节点和目的节点的地址。如果当前节点的地址就是目的节点的地址,则将分组发送给本地节点的本地端口;如果当前节点与目的节点的地址具有相同的X维(或Y维)坐标,则将分组沿Y维(或X维)路由至目的节点;如果上述两种情况都不满足,则本地节点检测其相邻节点到目的节点的拥塞状况,选择拥塞最小的路径将分组发送出去。因为限制分组通过最短路径传输,从而避免了死锁和活锁的发生。

#### 2.2.8 NoC-LS路由算法

在NoC-LS路由算法<sup>[15]</sup>中节点将路由消息发送给网络中每一个节点,网络中的每个节点都有一张整个网络的状态图,根据网络状态进行路由计算。该算法最大优点是能够高效地将分组发送到任一目的节点,但算法非常复杂,若网络中的节点数目增加,路由表也要相应的增大。具体算法为:

(1)在开始时,网络中每个节点根据网络的拓扑结构,各个节点之间的距离和节点数目以及一个节点到其相邻节点的“成本”建立路由表;

(2)当网络中的一条链路或节点发生故障时,EC HO 分组被发送,用来计算新的路由途径并相应的更新路由表;否则,仍将采用前次网络结构情况下的路由表,而不用更新;

(3)在网络的拓扑结构发生变化时,源节点和目的节点之间的最佳路由途径由dijkstra最短路径算法得到。

#### 2.2.9 SRN路由算法

洪泛算法产生大量的冗余分组,使分组最终能够到达目的节点,以此来维持算法的容错功能,而这样恰恰降低了算法在低分组注入率情况下的性能。SRN路由算法<sup>[16]</sup>则不需要产生大量的冗余分组,它允许网络可以自行组织,自行配置,并且能够容错,而不需要周期性的路由管理,并且仿真结果表明,该算法具有比洪泛算法更好的容错性能。

#### 2.2.10 蚁群动态路由算法 ANDR

蚁群算法<sup>[17]</sup>是一种用来在图中寻找优化路径的几率技术,其灵感来源于蚂蚁在寻找食物过程中发现路径的行为,已经被用于计算机网络<sup>[18]</sup>,在片上网络路由算法的设计中,它的基本思想同样被采用,即蚁群动态路由算法。

蚁群动态路由算法适用于Mesh结构,能够使流量均衡,减少网络中热点的产生。它使用路由表,路由表中记录每个节点到网络中其它节点时,选择东、西、南、北方向4条链路的概率,为分组路由选择具有最小流量的最短路径。算法中最短路径的选择过程为:源节点发送控制分组来收集基于网络状况的路由信息,并更新路由表。这些控制分组模仿蚁群算法中蚂蚁的觅食行为,其中分组所要到达的目的节点相当于蚁群算法中的食物的位置。

#### 2.3 无关路由和自适应路由相结合的路由算法

在分析了上述路由算法的基础上,本节将无关路由算法和自适应路由算法优点相结合的如下3种算法进行介绍。

##### 2.3.1 DyAD路由算法

DyAD路由算法<sup>[19]</sup>是一种将维序路由与奇偶转向路由相结合的路由算法。在网络处于低负载情况下采用维序路由,而当网络处于高负载情况下采用奇偶转向的适应性路由。该算法的具体实现是在每个缓存设置一个flag域,用于检测当前负载情况,网络负载的大小按单位时间内节点转发数组来计算。

由于奇偶转向路由算法可能会为数据包选择一条非最短的传输路径,随着路径及节点数增加而增

大,因此选择一条非最短路径会导致传输延迟明显增大,不能很好地保证传输质量。

### 2.3.2 DyAD 路由算法的改进算法

DyAD 路由算法的改进算法<sup>[20]</sup>在每个包的尾部加上一个等待数据域,该数据域会在数据包受到阻塞时,进行阻塞计时。该算法仍然使用静态和动态路由相结合的方法,在网络负载较低时采取 XY 维序路由算法,但是当网络负载较高时,不会立刻转为奇偶转向算法,而是先尝试在 Y 维方向探测,这种策略仍然会保证数据包以最短路径进行传输,从而减少不必要的传输过程,以降低延迟。如果 Y 维方向的链路存在阻塞,则路由器会立刻初始化包的等待数据域,将一个设定好的容忍极值赋给该数据域,暂时停止对该数据包的发送,这个数据包将会在该路由节点进入等待期,当该数据包在该路由节点的下一个判断周期到来时,会先对其进行 X 维路由判断。如果 X 维方向也处于阻塞状态,则转而进行 Y 维路由判断,若 Y 维方向阻塞已经解除,则将该数据包的等待数据域清 0,并发送数据包。如果 X 维和 Y 维方向的路由探测均宣告失败,则对等待数据域中的容忍值进行判断,如果容忍值已经递减为 0,则路由器进行模式转换设置 flag 域转为奇偶路由模式;否则将该数据包中等待数据域中的容忍值递减 1 个单位,并再次进入等待期。

### 2.3.3 SD 路由算法

SD 路由算法<sup>[21]</sup>是确定性路由算法和适应性路由算法相结合的产物,由于中心区域的节点采用的是适应性路由算法,所以可以很好的解决 Mesh, Torus 网络中中心节点易出现热点和网络拥塞的情况。而其他非中心节点采用的是维序 XY 路由算法,该路由算法最大的特点是实现简单,所以和其他整体上采用适应性路由算法相比较,这种只要中心区域采用适应性路由算法的思想,可以大大的节约网络实现的硬件资源,降低路由器实现的复杂度。

## 3 总结

路由算法的目的是为了避免死锁和活锁,尽可能的发挥网络的最佳性能。本文对用于片上网络的路由算法进行了总结,并对它们所适用的拓扑结构和算法性能进行了分析比较。Mesh 结构路由算法的设计相对比较简单,而 Torus 结构中存在环绕信道,引入了很多环路,无法简单地采用与 Mesh 结构中相类似的方法,需要进行一定的改进。在目前的研究中通常是采用引入虚信道或虚网络的方法,而

虚信道的引入增加了很多附加的资源消耗率,虚网络的引入增加了节点在仲裁和判断时的开销,使得路由由节点更复杂。因此针对 Torus 结构,采用将确定性和自适应路由算法的优点相结合的算法,并在服务质量等方面进行优化,是片上网络路由算法研究的重点。

### 参 考 文 献

- [1] W. Dally and B. Towles. Route packets, not wires: on-chip interconnection networks[J]. Proc. the Design Automation Conference, Las Vegas, NV, 2001, 41(4): 684-689.
- [2] Mikael Millberg, Erland Nilsson, Rikard Thid, et al. The Nostrum backbone - a communication protocol stack for networks on chip[C]. In Proceedings of the VLSI Design Conference, Mumbai, India, January 2004: 693-696.
- [3] J. Duato, S. Yalamanchili, L. Ni. 并行计算机互连网络技术——一种工程方法[M]. 谢伦国,等译. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [4] 岳培培, 陈杰, 刘建, 等. 应用于片上网络的双通道路由器[J]. 成都: 电子科技大学学报, 2009, 38(2): 309-316.
- [5] 陆俊林, 王宏伟. 支持服务质的片上网络路由器设计[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2008, 20(11): 1403-1410.
- [6] 付方发, 张庆利, 王进祥, 等. 支持多种流量分布的片上网络性能评估技术研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2007, 38(5): 830-831.
- [7] M. Dehyadgari, M. Nickray, A. Afzali-kusha, Z. Navabi. Evaluation of Pseudo Adaptive XY Routing Using an Object Oriented Model for NOC[C]. The 17th International Conference on Microelectronics, December 2005: 13-15.
- [8] Glass C J, Ni L M. The turn model for adaptive routing[J]. Journal of the ACM (JACM), 1994, 41(5): 874-902.
- [9] J. Hu, R. Marculescu. DyAD - Smart Routing for Networks-on-Chip Proceedings[C], 41st Design Automation Conference, 2004: 260-263.
- [10] 欧阳一鸣, 董少周, 梁华国. 基于 2D Mesh 的 NoC 路由算法设计与仿真[J]. 工程应用技术与实现, 2009, 35(22): 228-229.
- [11] 顾华玺, 刘增基, 王琨, 等. Torus 网络中分布式自适应路由算法[J]. 西安电子科技大学学报, 2006, 33(3): 352-358.
- [12] Cypher R, Gravano L. Requirement s for Dead-

- lock2Free, Adaptive Packet Routing[ J ]. SIAM J on Computing, 1994, 23(6): 1262-1274.
- [ 13 ] 李旺远, 王长山. Mesh 跳步容错路由算法[ J ]. 计算机与现代化, 2010, 26(3): 40-41.
- [ 14 ] Li M, Zeng Q A, Jone W B. DyXY: a proximity congestion-aware deadlock-free dynamic routing method for network on chip[ C ]. 43rd ACM/IEEE Design Automation Conference. San Francisco, CA, USA: ACM Press, 2006: 849-852.
- [ 15 ] M. Ali M. Welzl S. Hellebrand. A Dynamic Routing Mechanism for Network on Chip[ C ]. 23rd NORCHIP Conference, 21-22 November 2005: 70-73.
- [ 16 ] Kim Y B. Fault tolerant source routing for network-on-chip[ C ]. 22nd IEEE International Symposium on Defect and Fault-Tolerance in VLSI Systems 2007: 12-20.
- [ 17 ] Daneshtalab M, Sobhani A. NoC hot spot minimization using AntNet dynamic routing algorithm[ C ]. Proceedings of the IEEE 17th International Conference on Application-specific Systems Architectures and Processors. IEEE Computer Society, 2006: 33-38.
- [ 18 ] Di Caro G, D M. AntNet: Distributed stigmergetic control for communications networks[ J ]. Journal of Artificial Intelligence Research. 1998, 6(9): 317-365.
- [ 19 ] Hu Jingcao, Marculescu Radu. DyAD: Smart routing for networks-on-chip[ C ] // Proceedings of the 41st Annual Design Automation Conference. 2004: 260-263.
- [ 20 ] 宁欢, 王长山. 保证 QoS 的片上网络路由算法研究[ J ]. 计算机与现代化, 2010, 26(5): 117-118.
- [ 21 ] 朱小兵, 顾华玺, 王长山. SD: 一种适用于基于 mesh 拓扑的片上网络路由算法[ J ]. 微计算机信息, 2009, 25(8-2): 93-94.
- [ 17 ] Daneshtalab M, Sobhani A. NoC hot spot minimization

## A review of Network-on-Chip routing algorithms

WANG Fang-li<sup>1</sup>, DU Hui-min<sup>2</sup>

(1. School of Computer Science and Technology, Xi'an University of Posts and Telecommunications, Xi'an 710121, China;  
2. School of Electronic Engineering, Xi'an University of Posts and Telecommunications, Xi'an 710121, China)

**Abstract:** The routing algorithms in NOC (Network-on-Chip) are summarized and analyzed from two aspects of oblivious and adaptive routing. After an appreciation of the routing algorithms according to what topological structure they face and whether they can prevent deadlock, the focal point of future study on NOC routing algorithm is stressed.

**Key words:** Network-on-Chip; routing algorithms; fitness routing; adaptive routing; performance analysis

[ 责任编辑: 孙书娜 ]

(上接第 52 页)

## A new method of texture feature retrieval

YAN Jing-ying, WANG Cheng-ru

(School of information Science and Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China)

**Abstract:** To improve the efficiency of texture feature retrieval, a new method is proposed based on Fourier transformation. Firstly, a Fourier transformation is made to the object image. Then, the frequency region is divided into 12 sectors, from which the texture features are picked up. Finally, the Caneberra distance is employed to measure the similarity of two images. Compared with some other methods, the new method is of higher efficiency and better nicety.

**Key words:** Fourier transformation; texture feature; wavelet transform

[ 责任编辑: 祝剑 ]