

二维阵列型可重构计算的层次型参数模型

季爱明¹, 谢满德²

(1. 苏州大学电子信息学院, 苏州 215021; 2. 浙江工商大学计算机与信息工程学院, 杭州 310018)

摘要: 建立可重构计算的高层次结构模型是可重构计算设计空间搜索的一项研究内容。该文提出一种适用于二维阵列型可重构计算的层次型参数模型。该模型分为顶层描述结构、功能模块描述结构、单元描述结构和功能描述结构4个层次。忽略具体结构细节, 在较高的抽象层次描述可重构计算的结构特征。应用实例表明, 该模型具有较好的灵活性和层次性, 能够描述不同架构的二维阵列型可重构计算。

关键词: 可重构计算; 设计空间搜索; 层次型参数模型; 灵活性

Hierarchical Parameter Model for Two-dimension Array Based Reconfigurable Computing

JI Ai-ming¹, XIE Man-de²

(1. College of Electronics and Information, Soochou University, Suzhou 215021;

2. College of Computer and Information Engineering, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018)

【Abstract】 It is an important research issue to establish a high level architecture model for design space exploration of RC(Reconfigurable Computing). A hierarchical parameter model for two dimensions array based on RC is presented in this paper, which is organized by four levels, top description struction, function module description struction, unit description struction and function description struction. With taking no account of architecture details, this paper describes architecture characteristic of RC in high abstract level. Application examples show that it has high flexibility and good hierarchy, and it is efficient to characterize two different dimensions array based on RC.

【Key words】 reconfigurable computing; design space exploration; hierarchical parameter model; flexibility

1 概述

作为一种新的高性能计算解决方案, 可重构计算具有较高的性能, 在信息安全、多媒体和通信等多标准和多算法的应用领域, 具有广阔的应用前景^[1-2]。因为具有较高的灵活性, 所以可重构计算的设计空间巨大。由于可重构计算具有高度的复杂性, 因此将应用算法映射到实际的可重构计算是一项十分复杂和耗时工作。在设计空间搜索阶段, 忽略具体的结构细节, 在高层次对可重构计算的结构特征进行数学抽象, 建立可重构计算的模型, 能够提高设计空间搜索速度。

目前, 多数文献提出的可重构计算模型是一个专用模型, 一般只能描述特定架构域中的可重构计算。HF^[3](Hierarchical Functional)模型是一个通用模型, 它能够描述不同架构域中的可重构功能处理单元阵列, 但忽略了可重构功能处理单元阵列的互连结构和可重构计算的存储器结构。Kiran^[4-5]提出了混合系统的可重构计算模型, 此模型能够描述由通用处理器和可编程逻辑阵列组成的一类可重构计算。本文提出了二维阵列型可重构计算的层次型参数模型, 它具有一定的灵活性和层次性。

2 二维阵列型可重构计算

二维阵列型可重构计算的结构如图1所示。它由主处理器、主存储器、局部数据存储器、配置数据存储器和可重构功能处理单元阵列5部分组成。局部数据存储器利用数据的局部性减少了可重构功能处理阵列访问主存储器的次数; 配置数据存储器存储可重构功能处理单元阵列的配置数据; 可

重构功能处理单元阵列由一组功能可配置的功能处理单元和功能处理单元之间可配置的互连线组成。

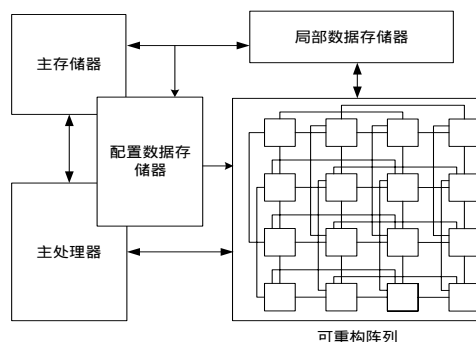


图1 二维阵列型可重构计算结构

3 层次型参数模型的参数描述

可重构计算的层次型参数模型作为设计空间搜索流程的输入文件, 能够描述不同架构的可重构计算。在层次型参数模型中, 不同架构的可重构计算的结构特征可以用一组参数描述, 这些参数描述了可重构功能处理单元阵列结构、存储器结构、存储器与可重构功能处理单元阵列之间的互连结构, 以及功能处理单元之间的互连结构。层次型参数模型中的参

作者简介: 季爱明(1972 -), 男, 博士, 主研方向: 集成电路设计; 谢满德, 博士

收稿日期: 2007-12-25 E-mail: jiaiming@suda.edu.cn

数定义如下：

(1)可重构功能处理单元阵列的外形参数 $Array_Asp$ 。该参数描述了二维阵列结构的可重构功能处理单元阵列的外形，可表示为 $\{size_x, size_y\}$ ，其中， $size_x$ 和 $size_y$ 分别表示二维阵列中每一行和列上的功能处理单元的数目。

(2)功能处理单元的功能参数 Pe_Fun 。此参数可表示为 $\{C, OP\}$ ，其中， $C = \{C_0, C_1, \dots, C_i\}$ ，它表示功能处理单元的配置集合； $OP = \{OP_0, OP_1, \dots, OP_j\}$ ，它表示功能处理单元经配置后能够实现的功能集合。在可重构计算中，配置集中的元素和功能集中的元素非一一对应关系，功能处理单元的一个配置能够使功能处理单元同时实现多个功能。

(3)功能处理单元的配置代价 $Cost_{i,j}$ 。该参数表示配置 C_i 将功能处理单元配置成 OP_j 功能时的代价，它可表示为 $\{power, time, conf_cost\}$ ，其中， $power$ 和 $time$ 分别表示功能处理单元实现功能 OP_j 时的功耗 ($\mu W/MHz$) 和延迟 (ns)； $conf_cost$ 表示实现配置 C_i 所需要的配置数据量 (bytes)。

(4)功能处理单元的属性参数 Pe_Att 。 $Pe_Att = \{area, width, reg_s, conf_m\}$ ，其中， $area$ 表示功能处理单元的面积，(以标准的 2 输入与非门为单位)； $width$ 表示功能处理单元的数据通路宽度； reg_s 表示功能处理单元包含的存储器或寄存器的容量； $conf_m$ 表示功能处理单元的配置模式。在可重构计算中，功能处理单元一般有两种配置模式。一种是通过单独寻址的方式对功能处理单元进行配置，一次只能配置一个功能处理单元；另一种是通过广播方式，一次配置可重构功能处理单元阵列中的一行或一列上的所有功能处理单元。

(5)局部数据存储器的结构参数 Lm_Arc 。 Lm_Arc 可表示为 $\{lm_s, lma_w, glm_w\}$ ，其中， lm_s 表示局部数据存储器的容量； lma_w 表示局部数据存储器与可重构功能处理单元阵列之间的接口带宽 (bytes/cycle)； glm_w 表示主存储器与局部数据存储器之间的接口带宽 (bytes/cycle)。

(6)配置存储器的结构参数 Cm_Arc 。 $Cm_Arc = \{con_n, cmardw, cmgmw\}$ ，其中， con_n 表示配置存储器中能够容纳的可重构功能处理单元阵列配置数据的组数； $cmardw$ 表示配置存储器与可重构功能处理单元阵列之间的接口带宽 (bytes/cycle)； $cmgmw$ 表示配置存储器与主存储器之间的接口带宽 (bytes/cycle)。

(7)功能处理单元之间互连结构参数 Con_Arc 。 Con_Arc 可表示为 $\{nm_n, h_n, h_l, c_n, c_l, c_b, h_b\}$ ，其中， nm_n 表示功能处理单元之间相邻连接的数目； h_n 和 c_n 分别表示功能处理单元之间行和列近邻连接的数目； h_l 和 c_l 表示功能处理单元之间行和列近邻连接的分段长度； c_b 表示功能处理单元的列总线数目； h_b 表示功能处理单元的行总线数目。

4 层次型参数模型

在定义了可重构计算的结构特征描述参数基础上，可采用层次型参数模型描述二维阵列性可重构计算。层次型参数模型共分 4 个层次，它们分别为顶层描述结构、功能模块描述结构、单元描述结构和单元功能描述结构。

4.1 顶层描述结构

顶层描述结构描述了可重构计算的整体结构。在层次型参数模型中，只有一个顶层描述结构，它可以包含一个或多个功能模块描述结构。在顶层描述结构中， $name$ 是一个标号，

它表示层次型参数模型所描述的可重构计算的名称； $Block$ 和 $EndBlock$ 之间的结构描述了顶层描述结构所包含的功能模块描述结构。顶层描述结构如下：

```
<TopStructure> name
<Block>
<EndBlock>
<Bconnection>
<EndBconnection>
<Hlconnection>
<EndHlconnection>
<EndTopStructure>
```

$Connection$ 和 $EndConnection$ 之间的结构描述了功能模块描述结构之间的互连关系以及数据传递带宽 (bytes/cycle)。 $Hlconnection$ 和 $EndHlconnection$ 之间的结构描述了可重构计算中，行总线和列总线的数目。

4.2 功能模块描述结构

在功能模块描述结构中， $name$ 和 $type$ 分别描述功能模块描述结构的名称和类型； id 表示功能模块描述结构的标识号， $name$ 和 id 由顶层描述结构分配。在层次型参数模型中，功能模块描述结构共有 3 种类型，分别为 rc 、 $localm$ 和 $contextm$ ，它们分别表示功能模块描述结构描述的是可重构功能处理单元阵列、数据存储器 and 配置存储器。数据存储器描述结构如下：

```
<BlockStructure> name
type
id
<Localmemory>
<EndLocalmemory>
<EndBlockStructure>
```

$Localmemory$ 和 $EndLocalmemory$ 之间的结构描述了局部数据存储器。配置存储器描述结构与数据存储器描述结构大致相同。 $Contextmemory$ 和 $EndContextmemory$ 之间的结构描述了配置存储器。

在描述可重构功能处理单元阵列的描述结构中， $Element$ 和 $EndElement$ 之间的结构描述了功能模块描述结构所包含的单元描述结构。功能模块描述结构中，可以包含多个单元描述结构，并为它们分配唯一的名称和标识号。 $RouteArc$ 和 $EndRouteArc$ 之间的结构描述了单元之间的互连关系。描述可重构功能处理单元阵列的功能模块描述结构如下：

```
<BlockStructure> name
type
id
configure_mode
<Aspect>
<EndAspect>
<Element>
<EndElement>
<RouteArc>
<EndRouteArc>
<EndBlockStructure>
```

4.3 单元描述结构

在层次型参数模型中，单元描述结构主要描述功能处理单元。单元描述结构如下：

```
<ElementStructure> name
id
width
```

```

area
reg_s
<Function>
<EndFunction>
<EndElementStructure>

```

单元描述结构描述了功能处理单元数据通路的宽度、面积和其包含的存储器或寄存器容量。*Function* 和 *EndFunction* 之间的结构描述了单元描述结构所包含的单元功能描述结构,单元功能描述结构与单元结构能够实现功能的一一对应。

4.4 单元功能描述结构

单元功能描述结构描述了功能处理单元实现某个功能时的功耗、性能和配置代价(即配置数据量)。*name* 描述单元功能描述结构的名称;*id* 表示单元功能描述结构的标识号;*name* 和 *id* 由单元描述结构分配。单元功能描述结构如下:

```

<FunctionStructure> name
id
power
time
conf_cost
<EndFunctionStructure>

```

5 应用实例

KressArray^[6]和MorphSys^[7]是两个典型的可重构计算架构。KressArray是一个可静态配置的可重构功能处理单元阵列,它通过改变结构特征参数,构成了可重构计算的设计空间搜索域,图2为搜索域中的一个实例。

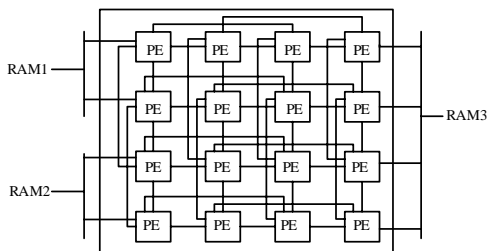


图2 KressArray 搜索域实例

MorphSys 为一个可动态重构的片上可重构计算架构,它由主处理器、局部数据存储器、配置存储器、DMA 控制器和可重构功能处理单元阵列等 5 部分组成。MorphSys 架构的可重构功能处理单元阵列分为 4 个象限,每个象限是 4x4 矩阵, MorphSys 架构如图 3 所示。

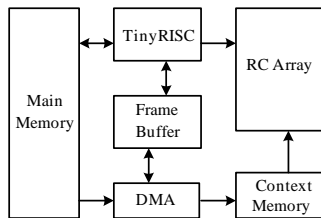


图3 MorphSys 可重构计算架构

以 KressArray 和 MorphSys 为例,验证层次型参数模型的灵活性和层次性。KressArray 的层次型参数模型如下:

```

<TopStructure> KressArray
<Block>
block1 = 1; block2 = 2;
block3 = 3; block4 = 4;
<EndBlock>
<Bconnection>
B_1_2 = 2; B_1_3 = 2; B_1_4 = 2;

```

```

<EndBconnection>
<Hlconnection>
c_b = 0; h_b = 0
<EndHlconnection>
<EndTopStructure>
<BlockStructure>block2
type = localm; id = 2;
<Localmemory>
lm_s = 512; lma_w = 2;
glm_w = 2;
<EndLocalmemory>
<EndBlockStructure>
<BlockStructure>block1
type = rc; id = 1; conf_m = single;
<Aspect>
size_x = 4; size_y = 4;
<EndAspect>
<RouteArc>
nn_n = 1; h_n = 1;
h_l = 2; c_n = 1; c_l = 2;
<EndRouteArc>
<Element>
ele1 = 1;
<EndElement>
<EndBlockStructure>
<ElementStructure>ele1
id = 1; reg_s = 0;
area = 1902; widt = 16;
<Function>
add = 1;
<EndFunction>
<EndElementStructure>
<FunctionStructure>add
id = 1; power = 7.43;
time = 8.21; conf_cost = 32;
<EndFunctionStructure>

```

由于篇幅所限, KressArray 的层次型参数模型只列出一个加法功能描述结构。MorphSys 的可重构功能处理单元阵列分为 4 个象限,每个象限可用一个功能模块描述结构描述,为节省篇幅,只给出其中一个功能模块描述结构和一个加法功能描述结构。MorphSys 的层次型参数模型如下:

```

<TopStructure> MorphSys
<Block>
block1 = 1; block2 = 2; block3 = 3;
<EndBlock>
<Bconnection>
B_1_2 = 128; B_1_3 = 32;
<EndBconnection>
<Hlconnection>
c_b = 2; h_b = 2;
<EndHlconnection>
<EndTopStructure>
<BlockStructure> block1
type = rc; id = 1;
conf_m = broadcast;
<Aspect>
size_x = 4; size_y = 4;
<Endaspect>
<RouteArc>

```

```

nn_n = 1; h_n = 1;
h_l = 3; c_n = 1; c_l = 3;
<EndRouteArc>
<Element>
ele1 = 1;
<EndElement>
<EndBlockStructure>
<BlockStructure>block2
type = localm; id = 2;
<Localmemory>
lm_s = 256; lma_w = 16;
glm_w = 2;
<EndLocalmemory>
<EndBlockStructure>
<BlockStructure> block3
type = contextm; id = 3;
<Contextmemory>
lm_s = 16; lma_w = 16;
glm_w = 2;
<EndContextmemory>
<EndBlockStructure>
<ElementStructure> ele1
id = 1; reg_s = 8;
area = 6059; widt = 16;
<Function>
add = 1;
<EndFunction>
<EndElementStructure>
<FunctionStructure> add
id = 1; power = 26.3;
time = 13.7; conf_cost = 32;
<EndFunctionStructure>

```

(上接第 273 页)

5 基于SVG的WebGIS体系结构

基于 SVG 的 WebGIS 模型已经成功地应用于一些领域，如中国金矿遥感信息系统，引入了 SVG 技术，实现了一个基于 SVG 的 B/S 体系结构的 WebGIS。本系统 SVG 实现的体系结构如图 2 所示。

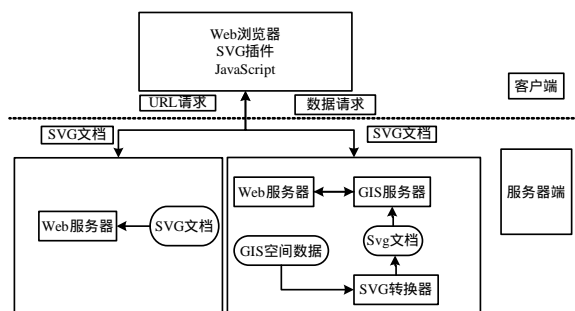


图 2 基于 SVG 的 WebGIS 体系结构

6 结束语

在 SVG 技术的基础上，设计并实现一个基于 SVG 的重大危险源平台，并基于该平台，实现某地区对重大危险源的信息查询系统，该系统具有速度快、功能全、个性化的特点。采用文本描述的 SVG 图形易懂、易修改，且生成的体积小、访问速度快，因此，成为了网络图形显示及相关应用的首选

6 结束语

层次型参数模型在较高的抽象层次描述了可重构功能处理单元阵列结构、存储器结构、存储器与可重构功能处理单元阵列之间的互连结构以及功能处理单元之间的互连结构。采用层次型参数模型描述可重构计算具有两个优点：(1)能够反映可重构计算结构的层次性；(2)具有良好的灵活性，能够描述不同架构的二维阵列型可重构计算，有助于提高可重构计算的设计空间搜索速度。

参考文献

- [1] Hartenstein R. Are We Really Ready for the Breakthrough[Z]. 2003.
- [2] Becker F. Configurable Systems-on-chip: Commercial and Academic Approaches[C]//Proc. of the 9th International Conference on Electronics, Circuits and Systems. [S. l.]: IEEE Press, 2002.
- [3] Bossuet L, Gogniat G, Diguët J. A Modeling Method for Reconfigurable Architecture[C]//Proc. of IWSOC'02. Banff, Canada: [s. n.], 2002.
- [4] Bondalapati K, Prasanna V. Reconfigurable Computing Systems[J]. IEEE Transactions on Computers, 2000, 49(7): 1201-1217.
- [5] Bondalapati K. Modeling and Mapping for Dynamically Reconfigurable Hybrid Architecture[D]. California, USA: University of Southern California, 2001.
- [6] Hartenstein R, Herz M, Hoffmann T, et al. Using the KressArray for Reconfigurable Computing[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Configurable Computing Technology and Applications. [S. l.]: IEEE Press, 1998.
- [7] Singh H, Lu Guangming. Morpho-sys: An Integrated Reconfigurable System for Data-parallel and Computation-intensive Applications[J]. IEEE Transactions on Computers, 2000, 49(5): 465-481.

技术。

参考文献

- [1] 刘南, 刘仁义. Web GIS 原理及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [2] Ling Feng, Elizabeth C, Tharam D. A Semantic Network-based Design Methodology for XML Documents[J]. ACM Transactions on Information Systems, 2002, 20(4): 390-421.
- [3] Cingil A, Dogac E. Dynamic Modification of XML Documents: External Application Invocation from XML[J]. ACM Sigecom Exchanges, 2000, 1(1): 1-6.
- [4] Zhang Jun. VML: A Class of Virtual Multi-level Iterative Methods for Solving Partial Differential Equations[J]. Applied Mathematics and Computation, 1998, 92(1): 29-48.
- [5] 周文生. 基于 SVG 的 WebGIS 研究[J]. 中国图象图形学报, 2002, 7(7): 693-698.
- [6] Ferraiolo J, Jackson D. Scalable Vector Graphics(SVG)[Z]. (2003-01-14). <http://www.w3.org/Graphics>.
- [7] Elliotte R. XML 实用大全[M]. 北京: 中国水利电力出版社, 2000.
- [8] 许春杰, 邹乐君, 沈晓华. SVG, GML 在 WebGIS 中的应用[J]. 遥感信息, 2002, (3): 38-40.
- [9] 周强中, 谈俊忠. SVG 在 WebGIS 中的应用[J]. 计算机应用研究, 2003, 20(1): 108-110.