

一种单一内外交织结构的可变尺寸块状FFT运算装置

申请号：[201110436062.3](#)

申请日：2011-12-22

申请(专利权)人 [中国科学院自动化研究所](#)
地址 100190 北京市海淀区中关村东路95号
发明(设计)人 [王东琳](#) [蒿杰](#) [谢少林](#) [杜学亮](#) [林啸](#)
主分类号 [G06F17/14\(2006.01\)I](#)
分类号 [G06F17/14\(2006.01\)I](#)
公开(公告)号 102609395A
公开(公告)日 2012-07-25
专利代理机构 [中科专利商标代理有限责任公司](#) 11021
代理人 [周国城](#)



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102609395 B

(45) 授权公告日 2015. 08. 19

(21) 申请号 201110436062. 3

(22) 申请日 2011. 12. 22

(73) 专利权人 中国科学院自动化研究所
地址 100190 北京市海淀区中关村东路 95 号

(72) 发明人 王东琳 蒿杰 谢少林 杜学亮
林啸

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任
公司 11021

代理人 周国城

(51) Int. Cl.
G06F 17/14(2006. 01)

(56) 对比文件
CN 101504637 A, 2009. 08. 12, 说明书全文.

CN 102033852 A, 2011. 04. 27, 说明书全文.
US 2005/0114421 A1, 2005. 05. 26, 说明书全
文.
WO 2005/052798 A1, 2005. 06. 09, 说明书全
文.

审查员 沈乐平

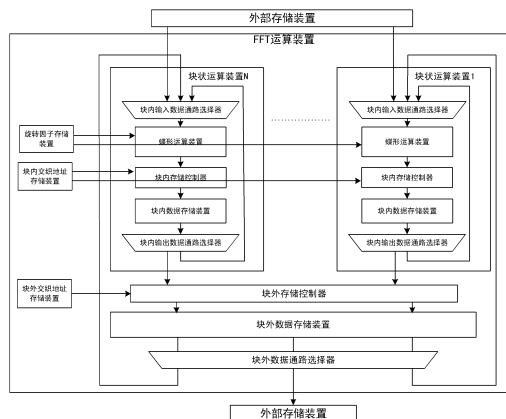
权利要求书1页 说明书8页 附图3页

(54) 发明名称

一种单一内外交织结构的可变尺寸块状 FFT 运算装置

(57) 摘要

本发明提供了一种单一内外交织结构的可变尺寸块状 FFT 运算装置。该装置主要包括：一个或多个块状运算装置、旋转因子存储装置、块内交织地址存储装置、块外存储控制器、块外交织地址存储装置、块外数据存储装置和块外数据通路选择器。其中块状运算装置包括：块内输入数据通路选择器、蝶形运算装置、块内存储控制器、块内数据存储装置和块内输出数据通路选择器。根据本发明，用户可根据选定的数据位宽，自动生成所有数据交织地址和旋转因子数值，存入相应的存储装置供硬件调用。本发明支持任意 2n 点数的 FFT 计算，经过分块处理以后，避免了寻址空间过于分散，提高了数据的封闭性。同时，由于每一块内的数据交织模式完全相同，所有块外的数据交织模式也完全相同，因此降低了数据交织寻址复杂度。



CN 102609395 B

1. 一种 FFT 运算装置,用于完成 2^n 点 FFT 计算, n 为自然数,其特征在于,包括:
 - 一个或多个块状运算装置,分别用于 N_{local} 点 FFT 计算块的独立计算,其中该 N_{local} 为一个块状运算装置一次可以读入并计算的数据点数,且不大于 2^n ;
 - 块外数据存储装置,与块外存储控制器相连,在块外存储控制器的控制下存储经过 N_{local} 点 FFT 计算的数据;
 - 块外存储控制器,分别与所述块状运算装置和块外数据存储装置相连接,用于每完成 1 个 N_{local} 点 FFT 计算,按照正确的块外数据交织地址将计算结果存放入所述块外数据存储装置;
 - 块外交织地址存储装置,与所述块外存储控制器相连接,用于存储块外存储控制器所需要的交织地址。
2. 如权利要求 1 所述的 FFT 运算装置,其特征在于,所有的块外交织地址都完全相同。
3. 如权利要求 1 所述的 FFT 运算装置,其特征在于,所述 FFT 运算装置还包括:
 - 旋转因子存储装置,与蝶形运算装置相连接,用于存储所述块状运算装置进行蝶形运算所需要的旋转因子。
4. 如权利要求 1 所述的 FFT 运算装置,其特征在于,所述 FFT 运算装置还包括:
 - 块外数据通路选择器,与所述块外数据存储装置相连接,用于为所述块外数据存储装置中存放的数据选择不同的输出去向。
5. 如权利要求 1 所述的 FFT 运算装置,其特征在于,
 - 所述块状运算装置包括:
 - 蝶形运算装置,用于输入数据点与旋转因子的相乘以及加减操作;
 - 块内数据存储装置,与块内存储控制器相连接,用于存储经过一级蝶形运算的数据;
 - 块内存储控制器,分别与所述蝶形运算装置和块内数据存储装置相连接,用于将所述蝶形运算装置的计算结果按照正确的块内数据交织地址存放入所述块内数据存储装置。
6. 如权利要求 5 所述的 FFT 运算装置,其特征在于,所述块状运算装置还包括:
 - 块内输入数据通路选择器,与所述蝶形运算装置相连接,用于选择进入所述蝶形运算装置的数据来源。
7. 如权利要求 5 所述的 FFT 运算装置,其特征在于,所述块状运算装置还包括:
 - 块内输出数据通路选择器,与所述块内数据存储装置相连接,用于为所述块内数据存储装置中存放的数据选择不同的输出去向。
8. 如权利要求 5 所述的 FFT 运算装置,其特征在于,所述 FFT 运算装置还包括:
 - 块内交织地址存储装置,与所述块内存储控制器相连接,用于存储所述块内存储控制器所需要的交织地址。
9. 如权利要求 8 所述的 FFT 运算装置,其特征在于,所有的块内交织地址都完全相同。
10. 如权利要求 8 所述的 FFT 运算装置,其特征在于,所述 FFT 运算装置使用不同位宽的输入数据,并且,仅通过改变所述块内交织地址存储装置、块外交织地址存储装置和旋转因子存储装置中存储的值,能够对所述 FFT 运算装置进行配置。

一种单一内外交织结构的可变尺寸块状 FFT 运算装置

技术领域

[0001] 本发明涉及计算机体系结构领域,特别是一种单一内外交织结构的可变尺寸块状 FFT 运算装置。

背景技术

[0002] 快速傅立叶变换是离散傅立叶变换 (DFT) 的改进和优化,利用 DFT 的相关数学性质,通过使用各种巧妙的算法提高计算性能。由于在计算机上实现傅立叶变换需要巨大的计算量,正是快速傅立叶变换的出现才使得这些理论和方法能够在计算机上实现和普及。

[0003] Cooley-Tukey 算法是第一种 FFT 算法,它可以使用矩阵和张量积符号描述如下:

$$[0004] \quad F_{rs} = (F_r \otimes I_s) T_s^{rs} (I_r \otimes F_s) L_r^{rs}。$$

[0005] 其中 F 为 Fourier 矩阵, $F_N = \omega_N^{pq}$, $\omega_N = \exp(2\pi i / N)$, $0 \leq p, q < N$, $i = \sqrt{-1}$ 。

[0006] T_s^{rs} 为旋转因子矩阵,定义为:

$$[0007] \quad T_s^{rs} = \bigoplus_{i=0}^{r-1} \bigoplus_{j=0}^{s-1} \omega_{rs}^{ij} = \bigoplus_{i=0}^{r-1} (W_s(\omega_{rs}))^i, \text{ 其中 } W_n(\alpha) = \text{diag}(1, \alpha, \dots, \alpha^{n-1})。$$

[0008] L_s^{rs} 为 s 跨步交织矩阵,矩阵元素为:

[0009]

$$\left[L_{rs,s} \right]_{mn} = \begin{cases} 1 & \text{iff } n = (ms \bmod rs) + \lfloor ms / rs \rfloor, \quad m, n = 0, 1, \dots, rs-1 \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

[0010] I_r 为单位矩阵。

[0011] 以下说明将使用以上的符号表示。

[0012] FFT 在算法本源性上具有地址离散特性,即每一级的完整蝶形结构输出不能完全传递到下一级一个完整的蝶形输入。这种地址离散特性对于数据的封闭性,以及算法的全并行化处理不利。长序列的 FFT 算法被分解成多个短序列 FFT 算法时,会存在大量的数据交换,这便降低了算法并行化的效率。块状 FFT 可以将数据地址离散控制在一定范围之内,并且能够使块间数据交织方式单一,但是并不能保证块内交织方式单一,这便使硬件实现过于繁杂。此外,该方法对于通用 2^n 点数 FFT 的计算支持较为困难,应用点数范围过小。因此,研究内外交织方式的单一性,且可以灵活架构不同 2^n 点数的块状 FFT 运算装置较为必要。

[0013] 可参考的文献有以下几篇:

[0014] [1] J. W. Cooley and J. W. Tukey, "An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series," Math. Comput., vol. 19, no. 2, 1969;

[0015] [2] C. S. Bums and P. W. Eschenbacher, "An in-place, in-order prime factor FFT algorithm," IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, vol.

ASSP-29, pp. 806-817, -1979 ;

[0016] [3]Bevan M.Baas. “An Approach to Low-Power, High-Performance FAST FOURIER TRANSFORM PROCESSOR DESIGN”, Stanford University, 1999.

[0017] 文献 [1] 首次公开了一种 FFT 算法, 文献 [2] 公开了一种并行 FFT 算法, 文献 [3] 公开了一种低功耗 FFT 算法。

发明内容

[0018] (一) 要解决的技术问题

[0019] 本发明所要解决的技术问题是: 传统 FFT 运算装置数据交织范围大, 并且交织模式不唯一, 由此引起硬件结构复杂, 运算效率低的问题。另外, 本发明还用于解决传统 FFT 运算装置计算数据点数与位宽固定, 使用不够灵活的问题。

[0020] (二) 技术方案

[0021] 本发明的目的是为了克服已有技术的缺点, 所公开的 FFT 运算装置使用了单一内外交织结构的块状分解方法。

[0022] 本发明提出一种 FFT 运算装置, 用于完成 2^n 点 FFT 计算, n 为自然数, 其特征在于, 包括: 一个或多个块状运算装置, 分别用于 N_{local} 点 FFT 计算块的独立计算, 其中该 N_{local} 为一个块状运算装置一次可以读入并计算的数据点数, 且不大于 2^n ; 块外数据存储装置, 用于存储经过 N_{local} 点 FFT 计算的数据; 块外存储控制器, 用于每完成 1 个 N_{local} 点 FFT 计算, 按照正确的块外数据交织地址将计算结果存放入所述块外数据存储装置; 块外交织地址存储装置, 用于存储块外存储控制器所需要的交织地址。

[0023] (三) 有益效果

[0024] 本发明的 FFT 运算装置能够以单一内外交织结构的可变尺寸块状 FFT 算法进行 FFT 运算, 不但约束了数据地址的离散化程度, 减小了通讯开销, 而且增加了数据的封闭性, 使算法更易于并行化; 此外, 本发明极大提高了硬件设计的灵活性, 对于不同点数, 不同位宽的 FFT 计算不用更改硬件架构。

附图说明

[0025] 图 1 是本发明提供的 FFT 运算装置的结构示意图;

[0026] 图 2 是本发明对 16 点 FFT 计算的处理模式示意图;

[0027] 图 3 是本发明进行 8 点 FFT 块内交织模式示意图;

[0028] 图 4 是本发明进行 64 点 FFT 块外交织模式示意图。

具体实施方式

[0029] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚明白, 以下结合具体实施例, 并参照附图, 对本发明进一步详细说明。

[0030] 块状分解方法可以解决数据交织范围过大引起的硬件复杂度, 并且能够提高计算的数据封闭性。单一内外交织结构可以简化硬件设计, 减少数据读取次数。为了适应多种位宽的数据点, 根据本发明, 用户可根据选定的数据位宽, 自动生成所有数据交织地址和旋转因子数值, 存入相应的存储装置供硬件调用。

[0031] 本发明的 FFT 运算装置支持任意 2^n (n 为自然数) 点数的 FFT 计算,其采用的技术方案如下:

[0032] 本发明的 FFT 运算装置主要包括:一个或多个块状运算装置、块外数据存储装置、块外存储控制器和块外交织地址存储装置。

[0033] 除此之外,本发明的 FFT 运算装置还可包括旋转因子存储装置和块外数据通路选择器。

[0034] 块状运算装置用于 N_{local} 点 FFT 计算块的独立计算 (N_{local} 为一个块状运算装置一次可以读入并计算的数据点数,且不大于 2^n)。在块状运算装置总输入位宽确定的情况下,可灵活输入不同“位宽-数据点数”组合形式的数据。

[0035] 块外数据存储装置与块外存储控制器相连,在块外存储控制器的控制下存储经过 N_{local} 点 FFT 计算的数据。存入该块外数据存储装置的数据,是已经按正确的数据交织顺序排好的数据,可直接进行取数完成后续操作。

[0036] 块外存储控制器分别与块状运算装置和块外数据存储装置相连接,用于每完成 1 个 N_{local} 点 FFT 计算,按照正确的块外数据交织地址将计算结果存放入块外数据存储装置。其中块外数据交织地址直接从一块外交织地址存储装置读入。

[0037] 块外交织地址存储装置,与块外存储控制器相连接,用于依运算装置执行次序存储块外存储控制器所需要的交织地址。块外交织地址均事先计算好并存入块外交织地址存储装置,使用时不在现场计算,直接从该块外交织地址存储装置中读出。

[0038] 本发明所公开的 FFT 运算装置,所有的块外交织地址都完全相同,这不仅较少了存储空间,而且降低了寻址电路的设计复杂度、增加了硬件的复用程度。

[0039] 本发明将位反序交织与一般块外交织结合在一起,提供给块外存储控制器。由于除最后一个块外交织地址不同外,其他任意块外交织地址都完全相同,块外存储控制器在整个运行过程中只需读入两次数据,大大减少了数据访存操作。

[0040] 旋转因子存储装置与蝶形运算装置相连接,用于依运算装置执行次序存储块状运算装置进行蝶形运算所需要的旋转因子。旋转因子均事先计算好并存入旋转因子存储装置,使用时不在现场计算,直接从存储装置读出。

[0041] 块外数据通路选择器与块外数据存储装置相连接,用于为块外数据存储装置中存放的数据,选择不同的输出去向。

[0042] 块状运算装置主要包括:蝶形运算装置、块内存储控制器、块内数据存储装置和块内输出数据通路选择器。

[0043] 蝶形运算装置用于输入数据点与旋转因子的相乘以及加减操作。

[0044] 块内数据存储装置与块内存储控制器相连接,用于存储经过一级蝶形运算的数据。存入该块内数据存储装置的数据,是已经按正确的数据交织顺序排好的数据,下一级蝶形运算可直接按照该顺序将数据读入。

[0045] 块内存储控制器分别与蝶形运算装置和块内数据存储装置相连接,用于将蝶形运算装置计算结果按照正确的块内数据交织地址存放入块内数据存储装置。其中块内数据交织地址直接从块内交织地址存储装置读入。

[0046] 此外,块状运算装置还可包括块内输入数据通路选择器和块内输出数据通路选择器。

[0047] 块内输入数据通路选择器与蝶形运算装置相连接,用于选择进入蝶形运算装置的数据来源。

[0048] 块内输出数据通路选择器与块内数据存储装置相连接,用于为块内数据存储装置中存放的数据,选择不同的输出去向。

[0049] 所述块内输出数据通路选择器可以与块内输入数据通路选择器合并为一个装置,在此分开列出只是为了说明方便。

[0050] 本发明的 FFT 运算装置还可包括块内交织地址存储装置,所述块内交织地址存储装置与块内存储控制器相连接,用于依运算装置执行次序存储块内存储控制器所需要的交织地址。块内交织地址均事先计算好并存入块内交织地址存储装置,使用时不在现场计算,直接从该块内交织地址存储装置中读出。

[0051] 本发明所公开的 FFT 运算装置,任意级的块内交织地址都完全相同,这不仅较少了存储空间,而且降低了寻址电路的设计复杂度、增加了硬件的复用程度。另外,由于任意级的块内交织地址都完全相同,块内存储控制器在整个运行过程中只需读入一次数据,大大减少了数据访存操作。

[0052] 下面结合说明书附图对本发明的一种具体实施方式进行详细说明。

[0053] 如图 1 所示,本发明的 FFT 运算装置包括:多个块状运算装置、旋转因子存储装置、块内交织地址存储装置、块外存储控制器、块外交织地址存储装置、块外数据存储装置和块外数据通路选择器。

[0054] 所述块状运算装置主要用于执行小尺寸 FFT 计算块的独立计算。设 N_{local} 为一个块状运算装置一次可以读入并计算的数据点数, N_{bit} 为数据点的位宽, L_{local} 为计算 N_{local} 点 FFT 所需的级数,则 2^n (n 为自然数) 点数的大尺寸 FFT 计算块可被分解为 $\lceil (n/L_{local}) \rceil * 2^{n-L_{local}}$ (下面的说明均假设 $\lceil (n/L_{local}) \rceil$ 大于 1, $\lceil (n/L_{local}) \rceil$ 等于 1 时,也可推出相同结果) 个 N_{local} 点的 FFT 计算块 (N_{local} 不大于 2^n)。

[0055] 如图 2 例子所示,一个 16 点 FFT 可以分解成 4 个 8 点 FFT 计算块。在块状运算装置总输入位宽 $N_{local} * N_{bit}$ 确定的情况下,不仅可以输入 N_{local} 个 N_{bit} 位数据(以下说明中未作说明处,均按此格式输入),还可灵活输入以下形式数据:

[0056]

[0057] $4N_{local}$ 个 $N_{bit}/4$ 位数据、

[0058] $2N_{local}$ 个 $N_{bit}/2$ 位数据、

[0059] $N_{local}/2$ 个 $2N_{bit}$ 位数据、

[0060] $N_{local}/4$ 个 $4N_{bit}$ 位数据

[0061]

[0062] 如图 1 所示,块状运算装置包括:块内输入数据通路选择器、蝶形运算装置、块内存储控制器、块内数据存储装置和块内输出数据通路选择器。

[0063] 块内输入数据通路选择器用于选择进入蝶形运算装置的数据来源。当计算前 $2^n/N_{local}$ 个 N_{local} 点 FFT 计算块的第一级蝶形运算时,进入蝶形运算装置的数据直接从外部存储装置读入(如图 2 中第 1、2FFT 计算块的第 1 级蝶形运算);当计算其他 N_{local} 点 FFT 计算的第一级蝶形计算时(如图 2 中第 3、 $4N_{local}$ 点 FFT 计算块的第 1 级蝶形运算),进入蝶形运算装置的数据从块外数据存储装置读入;当计算其他级蝶形计算时(如图

2 中第 1、2N_{local} 点 FFT 计算块的第 2、3 级蝶形运算), 进入蝶形运算装置的数据从块内数据存储装置读入。

[0064] 蝶形运算装置主要用于 N_{local} 个数据点的如下操作:

[0065] $X_o + W * X_e$

[0066] $X_o - W * X_e$

[0067] 完成以上运算, 即完成了一级蝶形运算。其中 X_o 是位于奇数位置上的 N_{local}/2 个输入数据点组成的向量, X_e 是位于偶数位置上的 N_{local}/2 个输入数据点组成的向量, W 为相对应的旋转因子向量。组成 X_o 与 X_e 的数据均通过块内输入数据通路选择器输入。组成 W 的数据从旋转因子存储装置输入。一个块状运算装置一次读入 N_{local} 个数据点, 需要进行 L_{local} 级蝶形运算。当进行第 $\lceil (n/L_{local} - 1) \rceil * 2^{n-L_{local}}$ 个到第 $\lceil (n/L_{local}) \rceil * 2^{n-L_{local}}$ 个 N_{local} 点 FFT 计算时 (如图 2 中第 3、4N_{local} 点 FFT 计算块), 需要进行 $n \bmod L_{local}$ (若 $n \bmod L_{local}$ 为 0, 则需要 L_{local} 级) 级蝶形运算。本发明中的装置以基 2 的蝶形运算为例, 但实际应用不仅限于基 2 的情况。

[0068] 旋转因子存储装置用于依次存储蝶形运算所需要的旋转因子。旋转因子均事先计算好并存入旋转因子存储装置, 使用时不在现场计算, 直接从存储装置读出。旋转因子的生成公式为: $L_2^{2^n} (I_{2^i} \otimes T_{2^{n-i}}^{2^{n-i}}) L_2^{2^n} (I_{2^{n-L_{local}}} \otimes L_2^{2^{L_{local}}})$, 其中 i 是位于整体 FFT 计算过程中的级数 (下同)。通过旋转因子计算公式可以计算出任意一级的旋转因子。

[0069] 块内存储控制器用于将蝶形运算装置计算完成的 N_{local} 个数据点, 按照正确的块内数据交织地址存放入块内数据存储装置。其中块内数据交织地址直接从块内交织地址存储装置读入。

[0070] 块内交织地址存储装置用于依次存储块内存储控制器所需要的交织地址。块内交织地址均事先计算好并存入块内交织地址存储装置, 使用时不在现场计算, 直接从存储装置读出。块内交织地址的计算公式为 $L_2^{2^{Local}}$ 。图 3 为 8 点尺寸的块内交织模式示例。

[0071] 本发明所公开的 FFT 运算装置, 任意级的块内交织地址都完全相同, 这不仅较少了存储空间 (只需存储 N_{local} 个数据), 而且降低了寻址电路的设计复杂度、增加了硬件的复用程度。另外, 由于任意级的块内交织地址都完全相同, 块内存储控制器在整个运行过程中只需读入一次数据, 大大减少了数据访存操作。

[0072] 当数据点按照不同的位宽和点数组合形式读入时, 如:

[0073]

[0074] 4N_{local} 个 N_{bit}/4 位数据、

[0075] 2N_{local} 个 N_{bit}/2 位数据、

[0076] N_{local}/2 个 2N_{bit} 位数据、

[0077] N_{local}/4 个 4N_{bit} 位数据

[0078]

[0079] 该装置都只需要计算 $\dots L_2^{2^{4Local}}, L_2^{2^{2Local}}, L_2^{2^{Local/2}}, L_2^{2^{Local/4}} \dots$, 并存入块内交织地址存储装置, 即可提供给块内存储控制器用于数据寻址。

[0080] 块内数据存储装置用于存储经过一级蝶形运算的数据。存入该存储装置的数据,

是已经按正确的数据交织顺序排好的数据,下一级蝶形运算可直接按照该顺序将数据读入。

[0081] 块内输出数据通路选择器主要为块内数据存储装置中存放的数据,选择不同的输出去向。当计算完第 $\lceil (n/L_local - 1) \rceil * 2^{n-L_local}$ 个到第 $\lceil (n/L_local) \rceil * 2^{n-L_local}$ 个 N_local 点 FFT 计算块的第 $n \bmod L_local$ (若 $n \bmod L_local$ 为 0,则为 L_local 级) 级蝶形运算时 (如图 2 中第 3、 $4N_local$ 点 FFT 计算块的第 1 级蝶形运算),数据直接存入块外数据存储装置;当计算完其他小尺寸 FFT 的第 L_local 级蝶形运算时,数据存入块外数据存储装置 (如图 2 中第 1、 $2N_local$ 点 FFT 计算块的第 3 级蝶形运算);当计算完其他情况蝶形运算时,数据被蝶形运算装置读入 (如图 2 中第 1、 $2N_local$ 点 FFT 计算块的第 1、2 级蝶形运算)。该装置可以与块内输入数据通路选择器合并为一个装置,在此分开列出只是为了说明方便。

[0082] 块外存储控制器用于每计算完成 1 个 N_local 点 FFT 计算时,按照正确的块外数据交织地址将计算结果存放入块外数据存储装置。其中块外数据交织地址直接从块外交织地址存储装置读入。

[0083] 块外交织地址存储装置用于依次存储块外存储控制器所需要的交织地址。块外交织地址均事先计算好并存入块外交织地址存储装置,使用时不在现场计算,直接从块外交织地址存储装置读出。块外交织地址的计算公式为 $L_2^{2^{Local}}$ 。图 4 为 64 点 FFT 计算块被分解为 8 点 FFT 计算块的块外交织模式示例。

[0084] 本发明所公开的 FFT 运算装置,任意级的块外交织地址都完全相同,这不仅较少了存储空间,而且降低了寻址电路的设计复杂度、增加了硬件的复用程度。

[0085] 当数据点按照不同的位宽和点数组合形式读入时,如:

[0086]

[0087] $4N_local$ 个 $N_bit/4$ 位数据、

[0088] $2N_local$ 个 $N_bit/2$ 位数据、

[0089] $N_local/2$ 个 $2N_bit$ 位数据、

[0090] $N_local/4$ 个 $4N_bit$ 位数据

[0091]

[0092] 该装置都只需要计算 $\dots L_2^{2^{1n}}, L_2^{2^{2n}}, L_2^{2^{n/2}}, L_2^{2^{n/4}} \dots$, 并存入块外交织地址存储装置,即可提供给块外存储控制器用于数据寻址。

[0093] 在计算完最后第 $\lceil (n/L_local - 1) \rceil * 2^{n-L_local}$ 个到第 $\lceil (n/L_local) \rceil * 2^{n-L_local}$ 个 N_local 点 FFT 计算块时 (如图 2 中第 3、 $4N_local$ 点 FFT 计算块),块外交织地址的计算公式为 $L_2^{2^n} (I_2 \otimes L_2^{2^{n/2+1}}) \dots L_2^{2^n}$ 。在此将位反序交织与一般块外交织结合在一起,提供给块外存储控制器。由于除最后一个块外交织地址不同外,其他任意块外交织地址都完全相同,块外存储控制器在整个运行过程中只需读入两次数据,大大减少了数据访存操作。

[0094] 当数据点按照不同的位宽和点数组合形式读入时,如:

[0095]

[0096] 4N_local 个 N_bit/4 位数据、
 [0097] 2N_local 个 N_bit/2 位数据、
 [0098] N_local/2 个 2N_bit 位数据、
 [0099] N_local/4 个 4N_bit 位数据

[0100] ……

[0101] 该装置都只需要计算：

[0102] ……，

$$[0103] L_2^{2^{4n}} (I_2 \otimes L_2^{2^{4n/2+1}}) \cdots L_2^{2^{4n}},$$

$$[0104] L_2^{2^{2n}} (I_2 \otimes L_2^{2^{2n/2+1}}) \cdots L_2^{2^{2n}},$$

$$[0105] L_2^{2^{n/2}} (I_2 \otimes L_2^{2^{n/4+1}}) \cdots L_2^{2^{n/2}},$$

$$[0106] L_2^{2^{n/4}} (I_2 \otimes L_2^{2^{n/8+1}}) \cdots L_2^{2^{n/4}},$$

[0107] ……

[0108] 并存入块外交织地址存储装置,即可提供给块外存储控制器用于数据寻址。

[0109] 块外数据存储装置用于存储经过 N_local 点 FFT 计算的数据。每计算完成 2^{n-L_local} 个 N_local 点 FFT 计算,该存储装置中已存入完整的 2^n 个已经按正确数据交织顺序排好的数据。进行后面 2^{n-L_local} 个 N_local 点 FFT 计算时,可直接按照该顺序将数据读入。

[0110] 块外数据通路选择器主要为块外数据存储装置中存放的数据,选择不同的输出去向。当计算完第 $\lceil (n/L_local - 1) \rceil * 2^{n-L_local}$ 个到第 $\lceil (n/L_local) \rceil * 2^{n-L_local}$ 个 N_local 点 FFT 计算时(如图 2 中第 3、4N_local 点 FFT 计算块的第 1 级蝶形运算),数据直接存入外部存储装置;当计算完其他情况的 N_local 点 FFT 计算时(如图 2 中第 1、2N_local 点 FFT 计算块),数据被块状运算装置读入。本发明提供了一种单一内外交织结构的可变尺寸块状 FFT 运算装置,该装置使用分块处理的思想,将一个大尺寸 FFT 运算分解为多个独立的小尺寸 FFT 计算块。小尺寸 FFT 计算块的数据交织范围小并且交织方式一致,减小了结构复杂度和读取功耗,提高了数据的访问速度和计算封闭性。分块处理后只需要较少的全局数据交织,并且所有全局数据交织的方式一致。当块尺寸固定之后,该装置可灵活处理不同位宽的数据。

[0111] 本发明中的 FFT 运算装置进行了块状分解以避免寻址空间过于分散,同时可以一次取数计算多级,减少存取数据次数。其先进性具体体现在：

[0112] 可根据用户选定的数据位宽,自动生成相对应的分解块模式。如果硬件结构使用固定块状尺寸,当用户更改位宽时,只需生成相应的旋转因子、内外交织地址,其他结构并不需要改变；

[0113] 每一块内的数据交织模式完全相同,所有块外的数据交织模式完全相同。采用单一内外交织结构的可变尺寸块状 FFT 算法,不但约束了数据地址的离散化程度,减小了通讯开销,而且增加了数据的封闭性,使算法更易于并行化。

[0114] 支持任意 2^n 点数的 FFT 运算极大提高了硬件设计的灵活性,对于不同点数的 FFT

运算不用更改硬件架构。

[0115] 以上所述的具体实施例,对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明,应理解的是,以上所述仅为本发明的具体实施例而已,并不用于限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

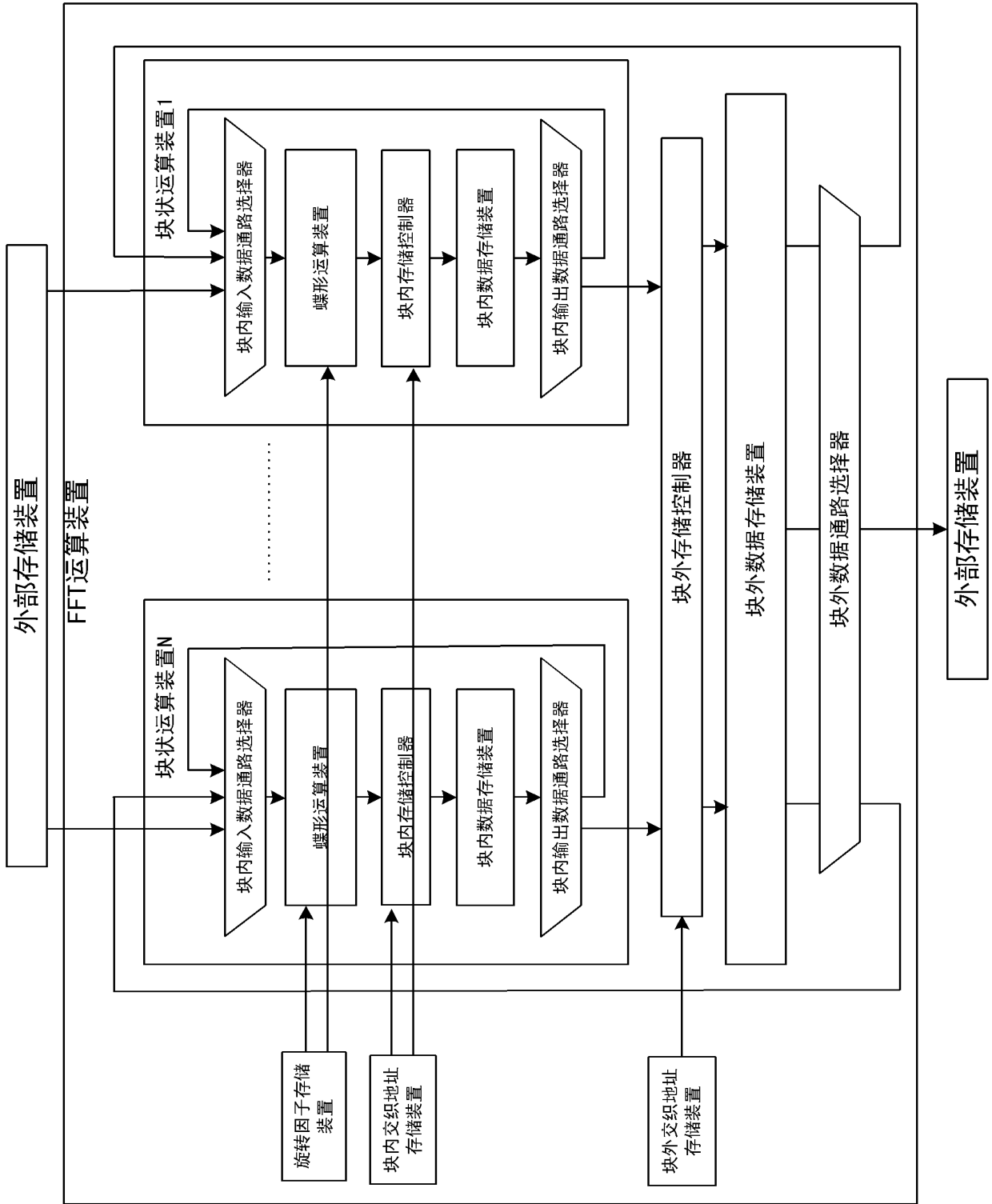


图 1

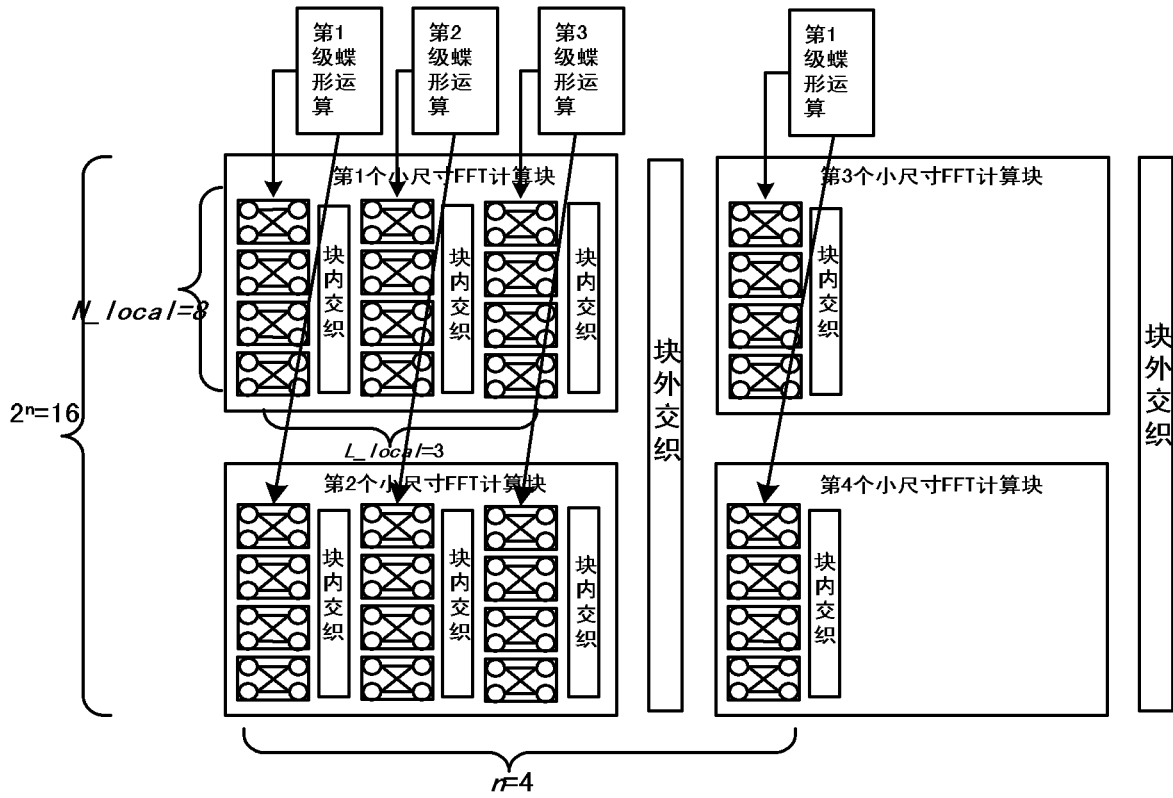


图 2

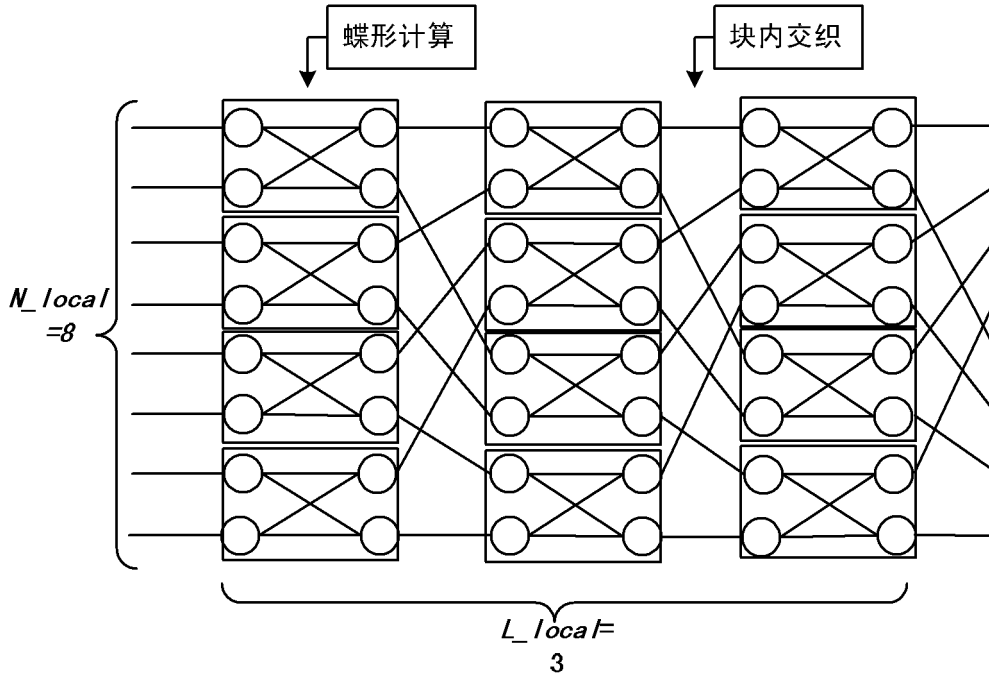


图 3

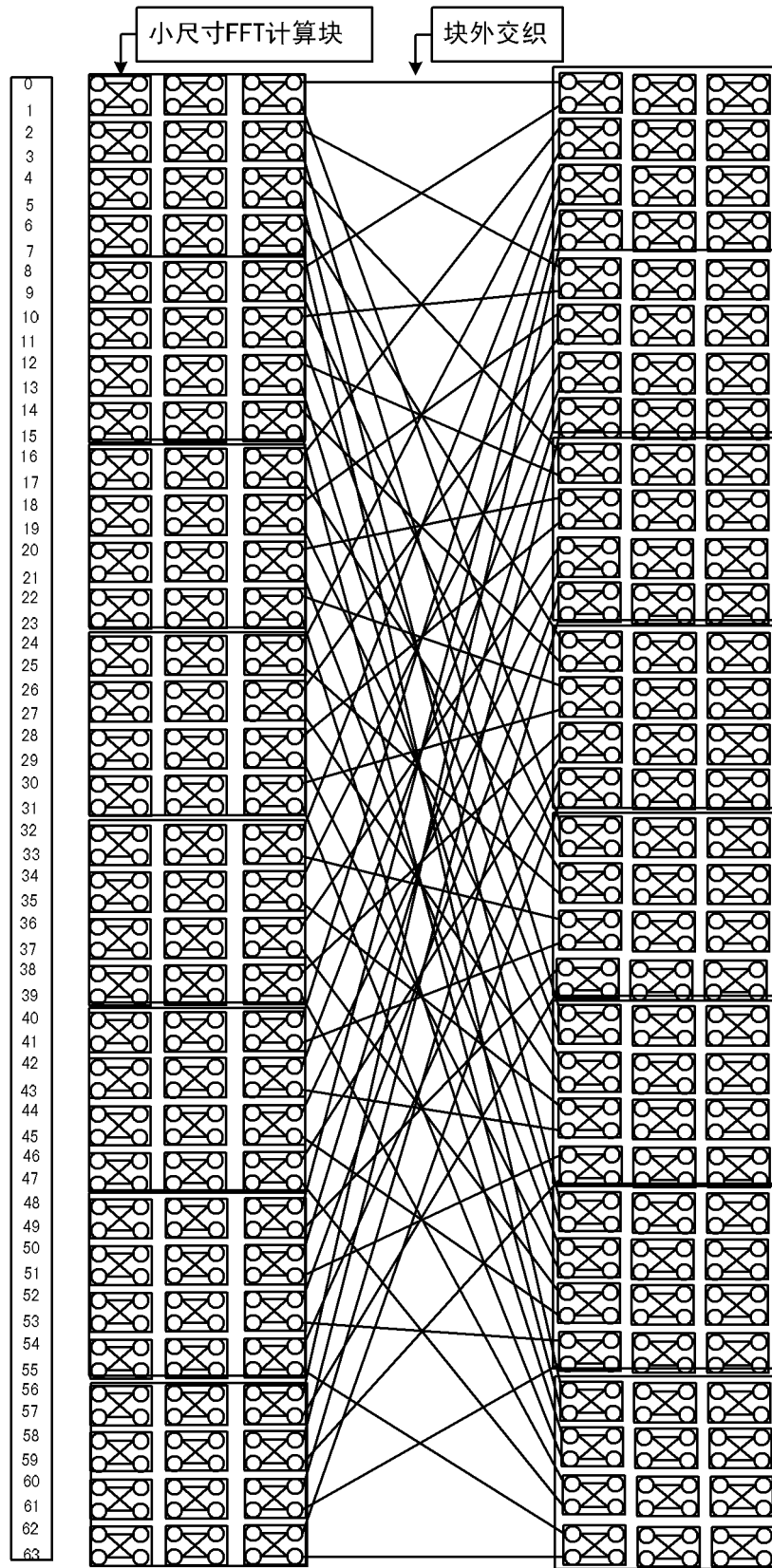


图 4