

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G06F 9/38 (2006.01)

G06F 1/32 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200910133156.6

[43] 公开日 2009年9月2日

[11] 公开号 CN 101520725A

[22] 申请日 2000.11.21

[21] 申请号 200910133156.6

分案原申请号 00818992.7

[30] 优先权

[32] 1999.12.23 [33] US [31] 09/471795

[71] 申请人 英特尔公司

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 E·T·格罗乔夫斯基 V·沙马

G·S·马休斯 V·乔希

R·M·克林

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
代理人 王丹昕

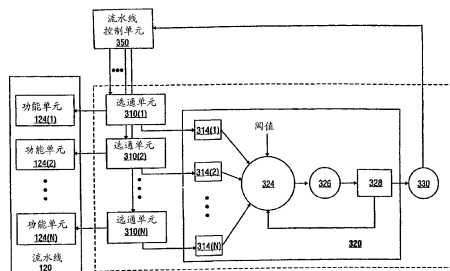
权利要求书 1 页 说明书 13 页 附图 6 页

[54] 发明名称

具有数字功率调节的微处理器

[57] 摘要

本发明提供了一个基于数字的机制，用于调整在一个处理器中的功率损耗。该处理器包含一个或者多个功能单元和一个数字调节，该数字调节监控该处理器功能单元的活动状态，以估计处理器的功率损耗。该数字调节的一个实施例包含一个或者多个选通单元、一个监控电路(320)、以及一个调节电路(330)。每一个选通单元控制传送到该处理器的一个功能单元的功率传送，并且提供一个信号指示它的相关功能单元的活动状态。该监控单元从该信号中确定估计的功率损耗水平，并将估计的功率损耗和一个阈值功率电平相比较。如果估计的功率损耗超过一个阈值功率电平，则该调节电路调整在一个处理器中的指令流。



1. 一种处理器，包含：

至少一个执行单元；

至少一个时钟选通电路，用于对第一数目的指令由所述执行单元执行进行响应而去耦合来自所述至少一个执行单元的至少一个时钟信号；

数字调节电路，用于对第二数目的指令被所述至少一个执行单元执行进行响应而降低指令被从高速缓存取出和提供给所述至少一个执行单元的速率。

2. 如权利要求 1 所述的处理器，其特征在于：所述第一数目的指令和所述第二数目的指令是相同的。

3. 如权利要求 1 所述的处理器，还包括指令取出电路，用于从所述高速缓存取出指令和将所述指令提供给发布单元，以将所述指令派发给所述至少一个执行单元。

4. 如权利要求 1 所述的处理器，还包括至少一个寄存器，用于存储使所述数字调节电路降低指令被提供给所述至少一个执行单元的速率的信息。

具有数字功率调节的微处理器

本申请是申请日为2000年11月21日，申请号为00818992.7，发明名称为“具有数字功率调节的微处理器”的中国专利申请的分案申请。

技术领域

本发明涉及微处理器，而且尤其涉及用于控制在微处理器中的功率消耗的机制。

背景技术

现代的处理器的包含广大的执行资源以支持多条指令的并行处理。一个处理器一般包含一个或多个整数、浮点、转移、和存储器执行单元以分别实现整数、浮点、转移，和加载/存储指令。此外，整数和浮点单元一般包含寄存器堆以相对接近于该处理器核心保持数据。向一个处理器提供广大的执行资源的一个缺点是要求有大数量的功率来运行它们。取决于执行单元的大小和它们实现的功能，不同的执行单元可以耗费或多或少的功率，但是把这么多逻辑封装到一个相对小的处理芯片上的效果是将产生重要功率耗散问题的可能性。

几乎没有程序需要一个处理器执行资源的全部范围持续很长的时间间隔。运行一个程序耗散的功率取决于它的组件指令的属性和它们被并行执行的可能性。程序一般包含各种指令类型，但是很少有足够多的正确类型指令可以用来使得处理器的全部执行资源忙碌相当长的时间周期。为此，大多数处理器使用一个时钟选通机制，以当执行资源不被使用时切断传送到该执行资源的时钟，由此减小功率。此外，当指令进入和退出由该组件服务的流水线阶段时，一个执行资源的不同组件能够被打开和关闭。因此，普通的程序可以耗散相对可管理的功率电平。

某些程序确实激活处理器的许多执行资源持续相对长的间隔，因此耗散比普通程序多很多的功率。除非提供了一个机制来限制处理器的功率消耗，该处理器通常被设计成处理耗费最大功率的程序。这可能需要以低于它的最高性能水平为所有程序运行该处理器，而与运行普通程序所要求的功率无关。

功率调节是一个已经提出用来处理由高性能处理器产生的功率消耗问题的策略。当一个处理器的功率消耗过高时，功率调节降低一个处理器的性能。这可以通过临时减小该处理器执行指令的速率直到功率消耗降低到一个安全水平为止来进行。功率调节允许处理器被设计成用于普通程序运行的功率电平。当运行一个资源消耗较多的程序时，处理器减小它的指令执行速率以保持它的功率消耗在一个已确定的范围内。

提出的功率调节机制取决于模拟参数来监控由一个处理器耗散的功率。例如，一个热量调节机制监控该处理器芯片的温度，并且当温度超过一个阈值时减小处理器的执行速度。其它已经提出的调节方案监控由一个处理器耗损的电流、或者监控在一个开关调节器中的一个脉冲宽度调制器的占空比。

这些功率调节机制具有许多缺点。它们引入附加的模拟电路到一个主要数字环境，即处理器中。它们易于随在处理器环境（温度、电压、组成）中的变化而改变。它们可以在处理器的功率电平中产生低频率的变化。它们不直接限制由该处理器耗损的功率，而且它们不是决定性的。这就是说，它们的行为不能在一个时钟接一个时钟的基础上进行预计。

本发明解决了可用功率调节机制的这些及其它不足。

发明内容

本发明提供了一种数字调节器来控制一个微处理器的功率消耗。

根据本发明，一种处理器包含一个或多个功能单元和数字调节器。该数字调节器监控处理器功能单元的动作状态以估计该处理器的功率消耗。

根据本发明的第一方面，提供一种处理器，包含：

形成指令执行流水线的功能单元；

选通电路，控制到该功能单元的功率传送，并且提供一个指示传送给该功能单元的功率电平的信号；

一个监控电路，把指示的功率电平与一个阈值功率电平进行比较；
以及

一个调节电路，如果指示的功率电平超过阈值功率电平，则调整所述处理器中的指令流。

根据本发明的第二方面，提供了一种控制在一个处理器中的功率消耗的方法，包含：

收集来自于在该处理器中的选通电路的功率信号，该功率信号指示当前传送到与选通电路相关联的多个功能单元的功率电平；

根据收集的功率信号调整估计的功率消耗水平；

将该估计的功率消耗水平与一个阈值功率消耗水平相比较；以及
当该估计的功率消耗水平超过阈值功率消耗水平时，调整处理器的一个指令执行速率。

根据本发明的第三方面，提供了一种处理器，包含：

形成指令执行流水线的一个或多个功能单元；以及

一个数字调节器，监控该一个或多个功能单元的动作状态以估计用于该处理器的一个功率消耗水平，其中该数字调节器包含：

一个或多个选通单元，其中每一个选通单元控制到一个相关功能单元的功率传送，并且指示用于该相关功能单元的一个动作状态；一个监控电路，从指示的一个或多个功能单元的动作状态中确定处理器功率消耗水平的估计，其中所述估计将与预定的阈值进行比较；以及

一个调节电路，在所述估计超过所述预定阈值时，调整所述处理器中的指令流。

对于本发明的一个实施例，该数字调节器包含一个或多个选通单元、一个监控电路、和一个调节电路。每一个选通单元控制传送到该处理器一个功能单元的功率传送，并且提供一个信号来指示它的相关功能单元的动作状态。该监控电路从信号中确定该处理器的一个估计的功率消耗水平，并且将估计的功率消耗与一个阈值功率电平相比较。如果该估计的功率消耗水平超过该阈值功率电平，则调节电路调整在处理器中的指令流。

附图说明

参考以下附图可以理解本发明，其中类似的单元用类似的数字指示。提供这些附图以说明本发明中的选定实施例并且不用于限制本发明的范围。

图 1 是一个可以在其上实现本发明的一个计算机系统的一个实施例的框图。

图 2 是根据本发明，实现了一个数字功率调节的一个处理器的一

个实施例的框图。

图 3 是由图 2 中的处理器实现的数字功率调节的一个实施例的框图。

图 4 是一个表示图 3 中的调节电路的一个实施例的示意图。

图 5 是一个流程图，表示了一种根据本发明、用于调整一个处理器的功率消耗的方法。

图 6A 和 6B 是根据本发明，表示实现数字调节器的多个执行核心处理器的实施例的框图。

具体实施方式

在下面的讨论中，阐述了许多具体的细节以便提供对本发明的一个彻底了解。然而，本领域普通技术人员利用这个公开的优点，将会理解：可以实践发明而不需要这些细节。此外，各种众所周知的方法、过程、组件和电路没有被详细描述以便把注意力集中在本发明的特征上。

本发明提供了一种机制，用于通过监控一个处理器的功能单元响应于一个指令序列的动作来控制该处理器的功率损耗。例如哪个功能单元由当前在进行中的指令激活的动作，可以由指示相应功能单元是否被打开或者关闭的二进制信号表示。由处理器耗损的功率的一个估计是通过求和与当前“打开”的每一个功能单元相关联的功率加权来提供。用于一个功能单元的功率加权表示当该功能单元被激活时它耗损的功率数量。如果估计的功率超过一个阈值电平，则一个调节机制调整通过该处理器的指令流以减少该功能单元的动作。

用于每一个功能单元的功率加权可以通过一个校准处理过程进行确定。例如，作为设计过程的一部分该数字调节器可以被校准一次，或者它可以被自我校准。在后面的情况中，该数字调节器可以使用当前的监控电路和一个校准算法定期地调整用于每一功能单元的功率加权。

对于该发明的一个实施例，一个选通单元与每一功能单元相关联，以响应于当前在进行中的指令，控制到该功能单元的功率传送。一个流水线控制电路向每一个选通单元指示它的相关功能单元的打开/关闭状态。来自每一个选通单元的一个信号向一个监控电路指示它的相关功能单元的打开/关闭状态。监控电路依据指示状态，在该处理器

当前功率消耗的一个估计中包含或者忽略相应的功率加权。做为选择，当功能单元是“打开”时，每一个选通单元信号可以把它的相关功能单元的功率加权传送到该监控电路。本发明的其它实施例可以使用其它机制用于指示在该估计的功率中要被考虑的功率加权。

该监控电路计算用于活动功能单元的功率加权的总和，并且把它们和一个阈值进行比较，以逐时钟提供该处理器的功率消耗的估计。对于该数字调节器的一个实施例来说，经由多个时钟周期积累这些估计以提供一个积累的功率值，其平滑了在该处理器功率消耗中逐时钟的变化。依据积累的功率值，一个调节电路调整指令被处理的速率。例如，该调节电路可以注入“气泡”到该处理器的指令执行流水线中以降低性能，或者它可以减少该处理器时钟操作的频率。

所公开的机制因此依赖于在该处理器逻辑中的数字事件（动作状态）来估计功率消耗，并且直接通过指令被处理的速率来调整这些事件的速率。这提供了一个快速、直接、和确定性的机制，用于控制一个处理器的功率消耗，而且它这样做时不会把模拟电路引入到处理器中。

图 1 是一在其中可以实现本发明的一个计算机系统 100 的一个实施例的一个框图。计算机系统 100 包含一个或多个处理器 110、一个主存储器 140、一个非易失性存储器 150、各种外围设备 160、和系统逻辑 170。系统逻辑 170 控制在处理器（多个）110、主存储器 140、非易失性存储器 150、和外围设备 160 当中的数据传输。提供了计算机系统 100 来说明本发明的各种特征。显示的特定配置不是实现本发明所必需的。

处理器 110 包含多个功能单元 124，其形成一个指令执行流水线 120。指令从主存储器 140 和非易失性存储器 150 提供到处理器 110。一个数字调节器 130 响应于处理的指令监控在各种功能单元 124 中的功率消耗，并且因此调整通过流水线 120 的指令流动。

当一个指令沿着流水线 120 向下进行时，它引导各种功能单元 124 执行一个或多个操作，这些操作合起来实现该指令。例如，一个浮点乘法累加指令（FMAC）可以导致在指示的资源中发生下列操作：一个浮点寄存器堆读出三个操作数；一个 FMAC 执行单元将两个操作数相乘，并且添加乘积到第三个操作；一个例外单元检查该乘积并且为错误进

行求和；以及如果没有检测到错误的话，则一个收回单元把该结果写到浮点寄存器堆中。取决于特定的处理器实现，这些资源或者它们的组件可以被组合到一个或多个功能单元中，当该指令沿着流水线向下进行时打开或者关闭这些功能单元。当每一个功能单元由指令激活时，它损耗一定量的功率。

对于本发明的一个实施例，由一个功能单元 124 损耗的功率由一个相关的功率加权表示。当一个功能单元由一条指令激活时，数字调节器 130 检测它的活动状态，并且添加它的相关功率加权到该处理器总功率消耗的一个估计中。数字调节器 130 在一个选定的间隔上实现这些操作，产生由当前执行指令序列损耗的功率的一个估计，并且如果估计的功率消耗超过一个指定的阈值电平的话，则调整通过流水线 120 的指令流。

图 2 更详细地表示了处理器 110 的一个实施例。对于处理器 110 的公开实施例来说，流水线 120 被分别表示为取出 (FET)、扩展 (EXP)、登记 (REG)、执行 (EXE)、检测 (DET)、以及收回 (RET) 阶段，而且指示对应于每一个阶段的执行资源。本发明不需要把处理器 110 划分到一个特定流水线阶段集合中。例如，一个公开的阶段可以被再分成两个或更多阶段，以解决定时发布或者便于高处理器时钟频率。做为选择，两个或更多阶段可以组合到单个阶段中。其它实施例可以包含用于无序处理指令的硬件。公开的流水线仅仅提供了在实现本发明的一个处理器中可以如何划分操作的一个示例。

流水线 120 的前端包含取出单元 210 和发布单元 220，其提供指令到流水线 120 的后端中的执行单元用于执行。取出单元 210 直接从存储器 140 中或者通过一个局部高速缓存（没有显示）获取指令，并且提供取出的指令到发布单元 220。发布单元 220 解码该指令，并且发布它们到流水线 120 后端中的执行资源。

在这个讨论中，使用的术语“指令”通常涉及指令、宏指令、指令束或者任何许多用于编码处理器操作的其它机制。例如，该解码操作可以转换一个宏指令到一个或多个微操作 (μops) 中、把一个指令束分解到一个或多个指令节中、或者获取一个与一个指令相关联的微码序列。

流水线 120 的后端包含寄存器单元 230、执行单元 250、例外单元

260 和回收单元 270。寄存器单元 230 包含一个寄存器重命名单元和各种寄存器堆（没有显示），以分别标识在该指令中指定的寄存器以及从标识的寄存器中访问该数据。执行单元 250 包含一个或多个转移执行单元（BRU）252、整数执行单元（IEU）254、加载/存储单元（LSU）256、以及浮点执行单元（FPU）258，以处理转移、整数、加载/存储、和浮点指令。例外单元 260 检查由执行单元 250 产生的结果，并且如果遇到一个异常条件的话则调整该控制流。如果没有检测到异常条件的话，则回收单元 270 用该结果更新处理器 110 的体系结构状态。

由不同的指令激活的功能单元对应于被指示用于流水线 120 的执行资源的不同组合和子集。数字调节器 130 监控这些功能单元的动作状态，并且因此调整指令通过流水线 120 处理的速率。例如，一个功能单元可以包含一个浮点寄存器（在寄存器单元 230 中），而且 FPU 258 可以具有在两个或更多功能单元中的组件。通常，一个功能单元包含被一起激活和去激活的各种执行资源（寄存器堆、执行单元、跟踪逻辑）。本发明不取决于在图 2 中显示的功能单元和执行资源之间的详细映射。

图 3 是一个表示数字调节器 130 的一个实施例以及它与流水线 120 的功能单元 124 相互作用的框图。数字调节器 130 的公开实施例包含选通单元 310 (1) - 310 (n)（一般称为选通单元 130）、一个监控电路 320、和一个调节电路 330。每一个选通单元 310 与在流水线 120 中的一个功能单元 124 相关联，以控制到该功能单元的功率传送。例如，依据功能单元 124 的服务是否为实现当前在该功能单元在其中进行操作的流水线阶段中的一条指令所必需，选通单元 310 可以是一个耦合或者去耦合一个时钟信号到功能单元 124 的时钟选通电路。还在图 3 中显示了一个流水线控制电路 350，其向选通单元 310 指示对于当前执行的指令哪个功能单元是活动的。

对于数字调节器 130 的公开实施例，每一个选通单元 130 提供一个信号到监控电路 320，以指示功率是否正被传送给功能单元 124。例如，信号可以是功能单元 124 的一个动作状态，当功能单元 124 被“打开”时，认定该信号。当该信号被认定时，即当选通单元 130 提供功率到功能单元 124 时，用于该功能单元的功率加权被添加到用于处理器 110 的估计的功率消耗中。当该信号没有被认定时，即当选通单元 130 切断到功能单元 124 的功率时，相关的功率加权没有被加到估计的

功率消耗中。一个典型的处理器可以包含 10 - 20 个选通单元 310 以控制到 10 - 20 个功能单元 124 的功率传送。

监控电路 320 从选通单元 130 收集信号，并且从收集的信号中确定用于处理器 110 的一个当前估计的功率消耗水平。对于数字调节器 130 的公开实施例，监控电路 320 包含加权单元 314(1)-314(n)（一般称为加权单元 314）、一个加法器 324、一个饱和电路 326、以及一个累加器 328。对于本发明的一个实施例，每一个加权单元 314 通过一个相应的选通单元 310 与功能单元 124 中的一个相关联。当来自它的选通单元 310 的动作状态信号被认定了时，加权单元 314 提供一个功率电平到加法器 324。当该动作状态信号没有被认定时，加权单元 314 输出零。

加法器 324 计算由加权单元 134 指示的功率加权总和，并且从该总和中减去阈值电平。加法器 324 的输出通过饱和电路 326 转发到累加器 328。包含饱和电路 326 以在由加法器 324 转发的值溢出时防止绕回。累加器 328 提供该转发的值到调节电路 330，提供一份副本回到加法器 324 以依据处理器的后续活动状态进行更新。

在选定间隔处，累加器 328 的内容（“积累的功率”）被提供到调节电路 330。如果积累的功率是正，例如在指定间隔上估计的积累功率消耗超过阈值功率电平的话，调节电路 330 的一个实施例减少通过流水线 120 的指令流动。调节电路 330 发信号通知取出单元 210，以注入“气泡”到被提供给流水线 120 后端的指令流中。实际上，当为指定间隔估计的功率消耗水平超过阈值电平时，调节电路 330 调整处理器时钟的占空比。

表 1: 说明了用于其中指定间隔是 128 个时钟周期的情况的一组占空比调整。

积累的功率	占空比
$X < 0$	128/128
$0 \leq X < 1$	127/128
$1 \leq X < 2$	126/128
$2 \leq X < 3$	125/128
$3 \leq X < 4$	124/128
...	...
$125 \leq X < 126$	2/128
$126 \leq X < 127$	1/128
$127 \leq X$	0/128

对于由表 1 说明的实施例，功率加权可以是 8 - 16 位的、与当该功能单元被激活时由它耗损的功率成比例的定点数。X 的上 8 位可以用来调整该处理器时钟的占空比。这些位变化更慢一些，以衰减由调节电路 330 指示的指令流变化。对于上述示例，其中采样间隔是 128 个时钟周期，数字调节器 130 提供了 128 个级别的调节。这些级别提供了精细调整的调节控制，其与该估计的功率消耗超过阈值功率消耗的数量成比例。更可取地是，调节电路 350 分布由在采样间隔上估计的功率消耗指示的打开 / 关闭阶段。该分布可以是均匀的、可以是随机的、或者它可以取决于某些其它模式。在下面将更详细地讨论一种这样的分布。

图 4 是调节电路 330 的一个实施例的示意表示。调节电路 330 的公开实施例包含一个存储器设备 410、一个控制单元 420、和一个计数器 430。还显示了在其中存储积累的功率的累加器 338 的一个寄存器 440。存储器设备 410 可以是，例如，一个只读存储器 (ROM)，响应于来自计数器 420 的一个计时指示和来自累加器 328 的一个积累的功率电平，通过控制单元 420 访问该存储设备的入口。

对于调节电路 330 的公开实施例，计数器 430 是一个对 128 求模的计数器。计数器 430 的输出在连续的时钟周期上从 0 - 127 递增在控制单元 420 中的一列索引，并且当到达 127 时回到 0。类似地，累加

器 328 的输出依据积累功率的当前值调整在控制单元 420 中的一行索引。对于该公开的实施例，当分别 $X \leq 0, 72,$ 和 124 时，行索引是 $0, 71,$ 和 123 。控制单元 420 使用这些索引从存储器设备 410 中读出一个相应入口。入口的值指示气泡是否应当被注入到处理器 110 的指令执行流水线中。例如，当输出是 0 时，气泡被注入，而当输出是 1 时，没有气泡被注入。

对于存储器设备 410 的一个实施例，每一行都用不同数量的 1 和 0 进行填充，0 的数目与映射到该行的 X 值成比例。例如，0 行可以包含所有的 1，以便当积累的功率电平 (X) 不超过零时，即当运行的功率估计不超过阈值电平时，没有气泡被注入到该指令执行流水线中。在该功率谱的另一端，行 127 可以不包含 1，以便只要积累的功率电平超过一个规定量就在每一个时钟周期上注入气泡到该指令执行流水线中。对于公开的示例，这个数量由饱和电路 328 确定为 127，即 $X = > 127$ 。在行 0 和行 127 之间的行可以用与 X 值成比例的 0 填充。例如，行 67 包含 68 个 0 分布在它的不同的列中，行 111 包含 112 个 0 横穿它的列分布，而且行 17 包含 18 个 0 横穿它的列分布。对于本发明的一个实施例，0 以一种随机方式横穿它们指定行的列分布。

数字调节器 130 的公开实施例包含一个反馈回路。调节量取决于功能单元的动作状态，其反过来受调节量的影响。累加器 328 执行一个在时间上的积分，其引入一个 90 度的滞后相移到这个反馈回路中。为了稳定性目的，在该反馈回路内最小化其它延迟，即相移是重要的。用于该数字反馈回路的稳定性标准将很可能取决于在一个间隔期间要多么显著地调整该处理器的功率消耗，该间隔对应于穿越该指令执行流水线需要的时钟周期数目（流水线间隔）。例如，功率加权应当被选择以确保在一个流水线间隔期间在功率消耗中相对小的变化。数字调节器 130 的响应时间由它的反馈回路控制。因为数字调节器响应于在该逻辑中的离散信号进行操作，而不是由处理器组件的集体行为确定的宏观现象（温度、电流）进行操作，所以它的响应时间是一个微秒量级。基于热量的调节机制的响应时间数量级为秒。数字调节器 130 不能控制在持续时间比这个响应时间还要短的功率消耗中的峰值。为了最小化由例如注入气泡表示的性能损失，数字调节器 130 和由该功率传送系统允许的响应一样慢。这意味着该功率传送系统应当能在比

响应时间还要短的间隔，处理在该处理器的功率消耗中、高于该阈值电平的峰值。对于这些峰值，能量可以从该处理器的电源电容器提供。

数字调节器 130 具有的、在该处理器的功率消耗上的控制程度越大，它将会越有效。在处理器 130 实现了覆盖该处理器功能单元大部分的地方，数字调节器 130 是最有效的。大范围的选通控制意味着：当超过该阈值电平时，数字调节器 130 能够快速和显著地调整功率消耗的水平。类似地，在功能单元上提供更精细的控制增加了数字调节器 130 的效率。例如，把处理器的执行资源划分到更大数量的功能单元 124 中。并且提供附加的选通单元来控制这些功能单元，向调节 130 提供了对处理器功率消耗更大的控制。

图 5 是一个流程图，表示一种根据本发明、用于调节一个处理器中的功率的方法。方法 500 首先在 510 确定在该处理器中哪个功能单元是活动的。例如，可以由来自一个时钟选通电路的信号来指示一个功能单元的状态（活动 / 不活动），其中该时钟选通电路提供功率到功能单元。例如，如果该选通电路提供功率到该功能单元（活动状态），则它可以认定该信号，而且如果它当前没有提供功率到该功能单元（不活动状态），则它可以解认定该信号。

一旦在 510 已经确定了活动功能单元，就在 520 估计用于该处理器的一个功率电平。这可以通过将一个功率加权与由每一选通单元提供的信号相关、并且向该估计的功率电平递增与每一个认定的信号相关联的功率加权，来完成。与解认定信号相关联的加权功率不对当前估计的功率电平有所贡献。

在 530 把当前估计的功率电平与一个阈值功率电平相比较。阈值功率电平表示，例如，在其上面处理器将不应被操作一段延长时间的一个功率电平。对于一个实施例，从当前估计功率电平中减去该阈值，并且把结果添加到一个正在运行的处理器相对功率电平估计，即积累的功率中。如果积累的功率是正的（ $EPL > \text{阈值}$ ），则在 540 调整该指令吞吐量。如果积累的功率是负的（ $EPL < \text{阈值}$ ），则不调整该指令吞吐量。

可以通过许多机制减小处理器的指令吞吐量。对于方法 500 的一个实施例，可以把气泡注入到指令执行流水线中，以减少处理器的功能单元是活动的时钟周期部分。例如，可以通过触发该发布单元以仅

仅在选定的处理器时钟周期上发布指令，来引入气泡。对于本发明的另一个实施例，可以减小处理器时钟操作的频率。

本发明的一个优点是依据在该流水线功能单元中的动作水平调整处理器流水线的执行资源。不同于基于热量或者电流估计功率消耗的技术，由该数字调节器监控的功能单元动作是在该处理器内各个流水线的特征。在分配动作和功率消耗到特定单元中的结果专一性在单个处理器芯片上实现了多个执行核心的处理器中尤其有用。这里，“执行核心”涉及与一个完整处理器相关联的执行资源，以便多个执行核心处理器有效地在单个芯片上实现多处理器。只要功率消耗总数不超过一个阈值电平，本发明中的数字调节器允许正处理一个能耗大的代码段的一个执行核心有效地从另一个执行核心（一个或多个）借用功率。做为选择，它允许每一个执行核心依据在它指令执行流水线中的动作被调节。

图 6A 是一个在其中实现了本发明的多执行核心处理器 610 的一个实施例的块级框图。处理器 610 包含执行核心 620(a) - 620(n)（一般称为执行核心（多个）630）。每一执行核心 620 都包含形成一个执行流水线 640 的功能单元 630。一个共享的数字调节器 650 监控和调整在所有流水线 640 中的功能单元 630 中的动作。只要没有超过总功率阈值，处理器 110 的这个实施例允许每一个执行核心 620 从剩余的执行核心借用功率。

图 6B 是一个在其中实现了本发明的多执行核心处理器 660 的另一个实施例的块级框图。处理器 660 包含执行核心 620(a) - 620(n)（一般称为执行核心（多个）630），其中每一个都包含形成一个执行流水线 640 的功能单元 630。每一个执行核心 630 还包含一个数字调节器 650，以监控和调整在它的功能单元 630 中的动作。处理器 110 的这个实施例允许每一个执行核心 620 由它的相关数字调节器 630 独立地进行调节。

因此这里提供了一个依据处理器功能单元的动作状态控制在一个处理器中的功率消耗的数字调节器。在指令执行期间监控动作状态，并且依据从动作状态中估计的一个功率消耗水平调整该执行速率。可以通过响应于估计的功率消耗注入“气泡”或者 NOP 到该指令执行流中，来控制功率消耗。

对于本发明的一个实施例，把一个功率加权分配给每一个功能单元，并且通过求和每一个正活动的功能单元的功率加权，来估计处理器的功率消耗。当估计的功率消耗超过一个阈值时，数字调节器减小处理器执行指令的速率。可以通过在处理器设计或者测试阶段期间的一个校准过程来确定各种功能单元的功率加权。数字调节器还可以包含电路来实现一个自校准过程。

已经提供了公开的实施例来说明本发明的各种特征。在处理器设计技术领域的专业人员，利用这个公开的优点，将会意识到：对公开实施例的变化和修改依然属于附加权利要求的精神和范围之内。

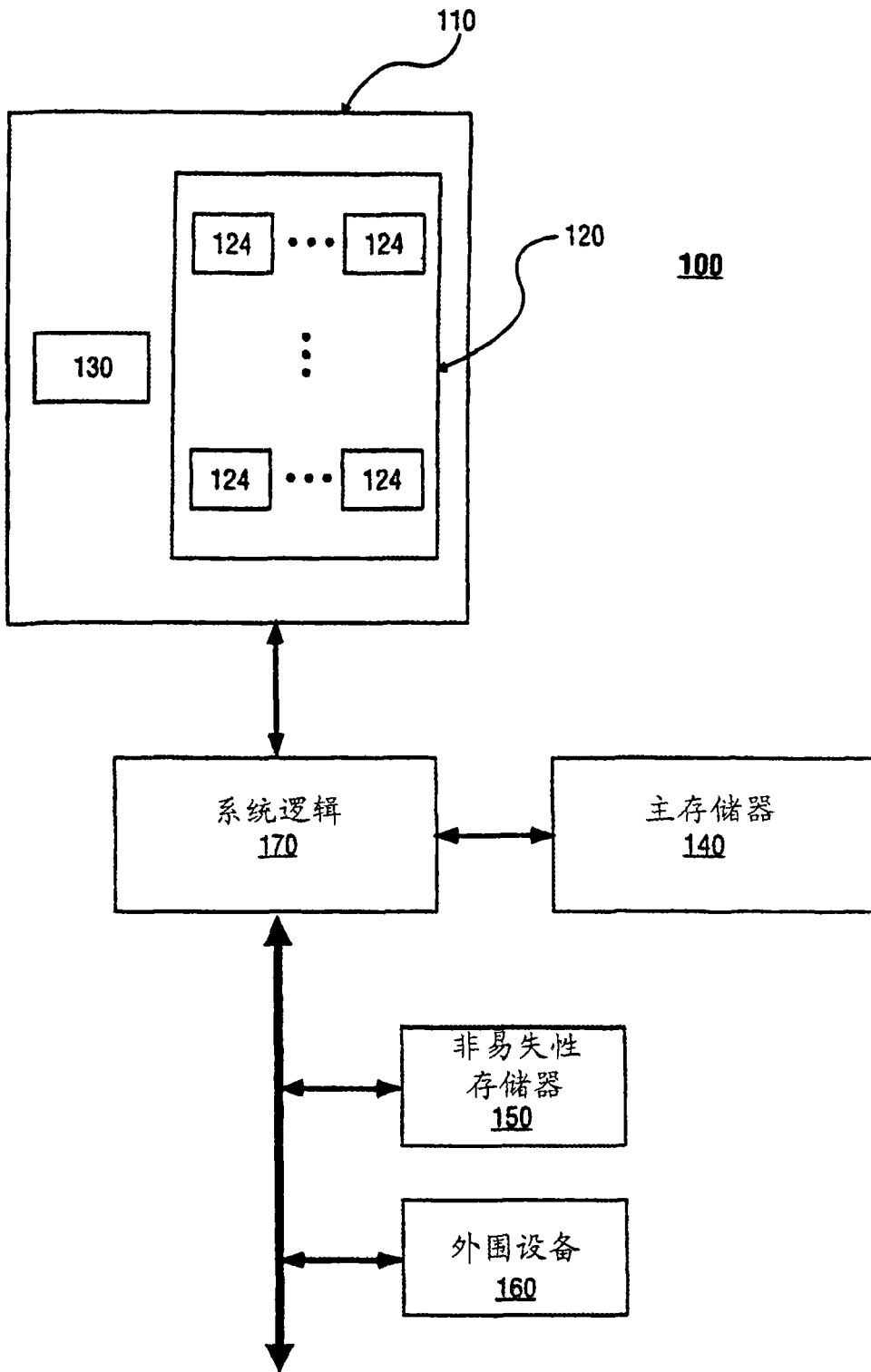


图 1

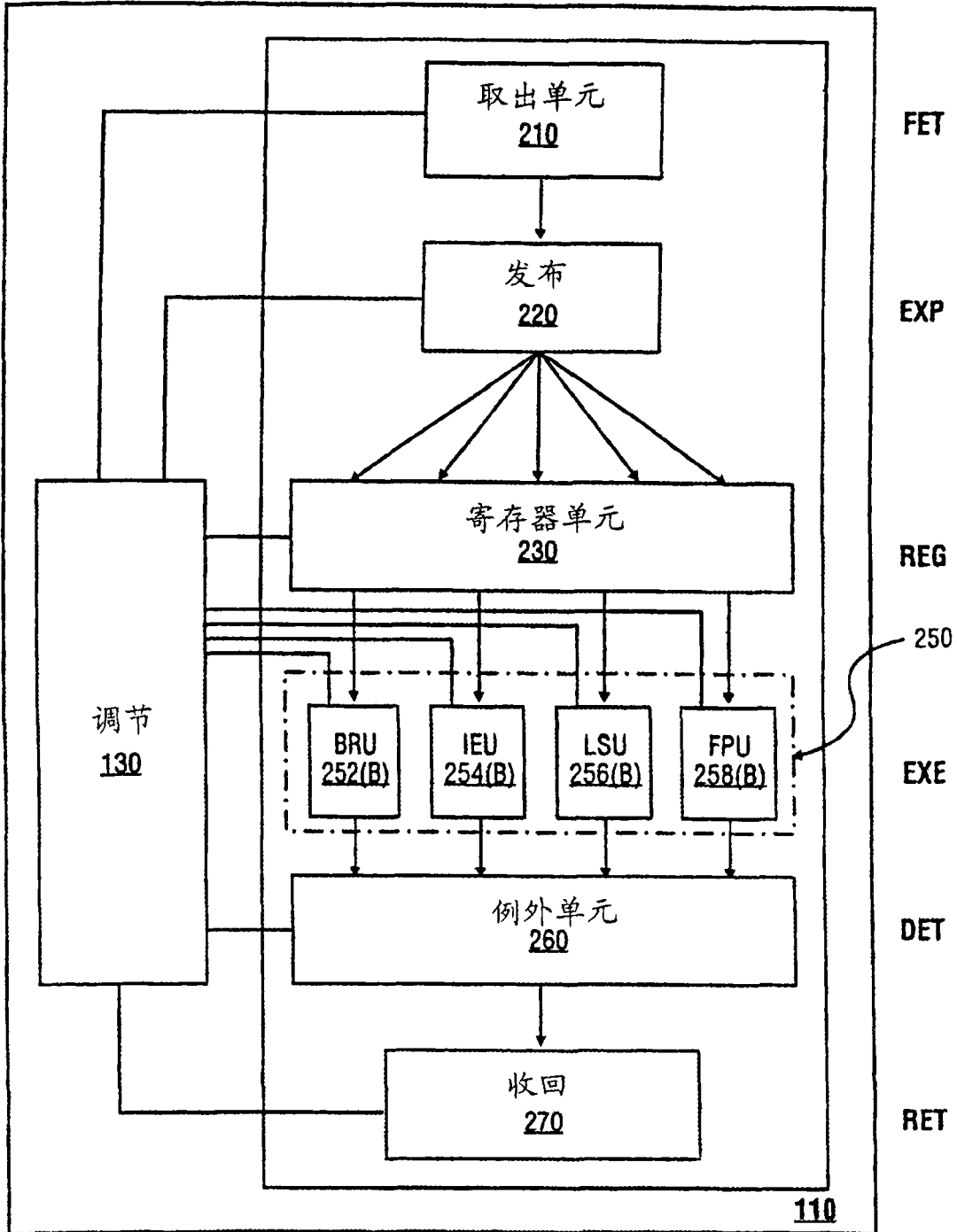


图 2

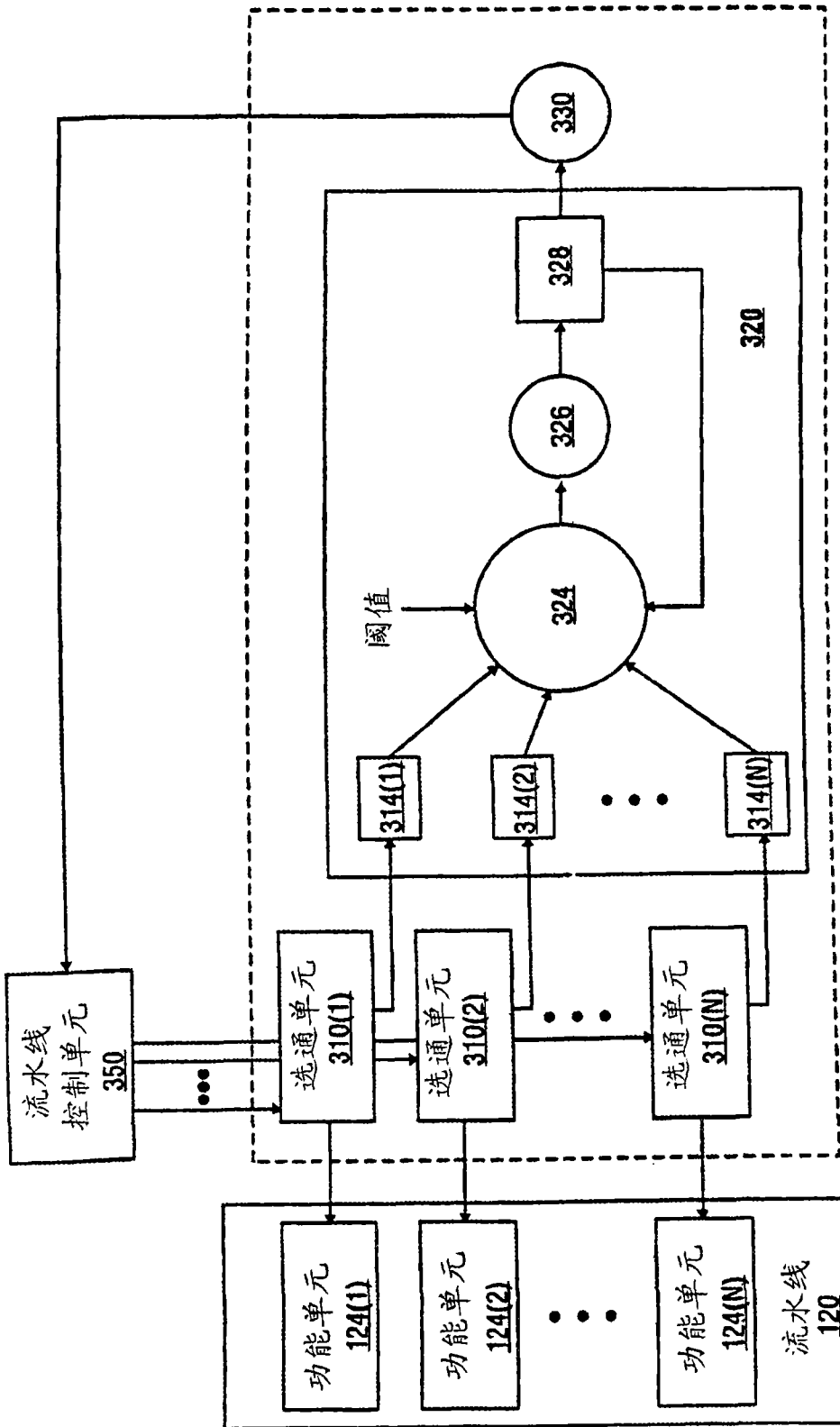


图 3

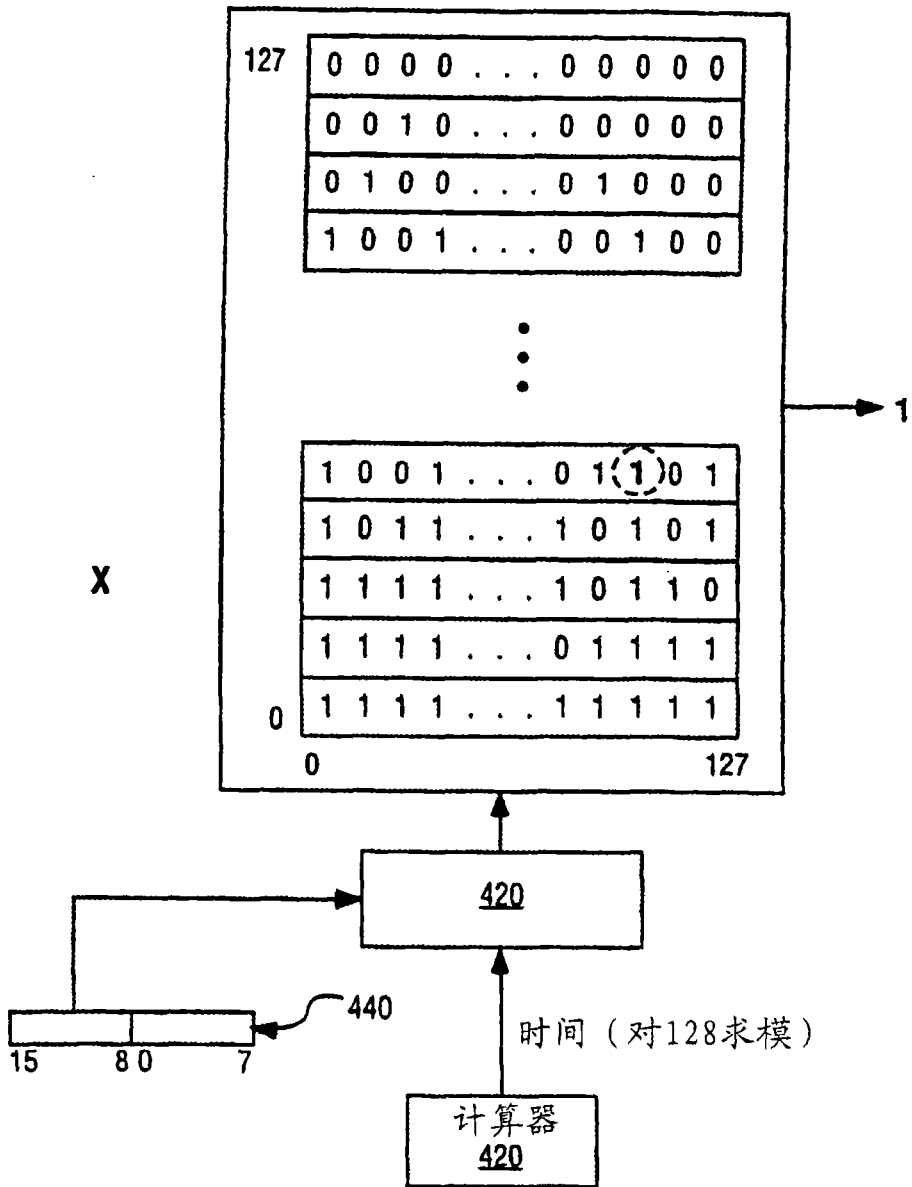


图 4

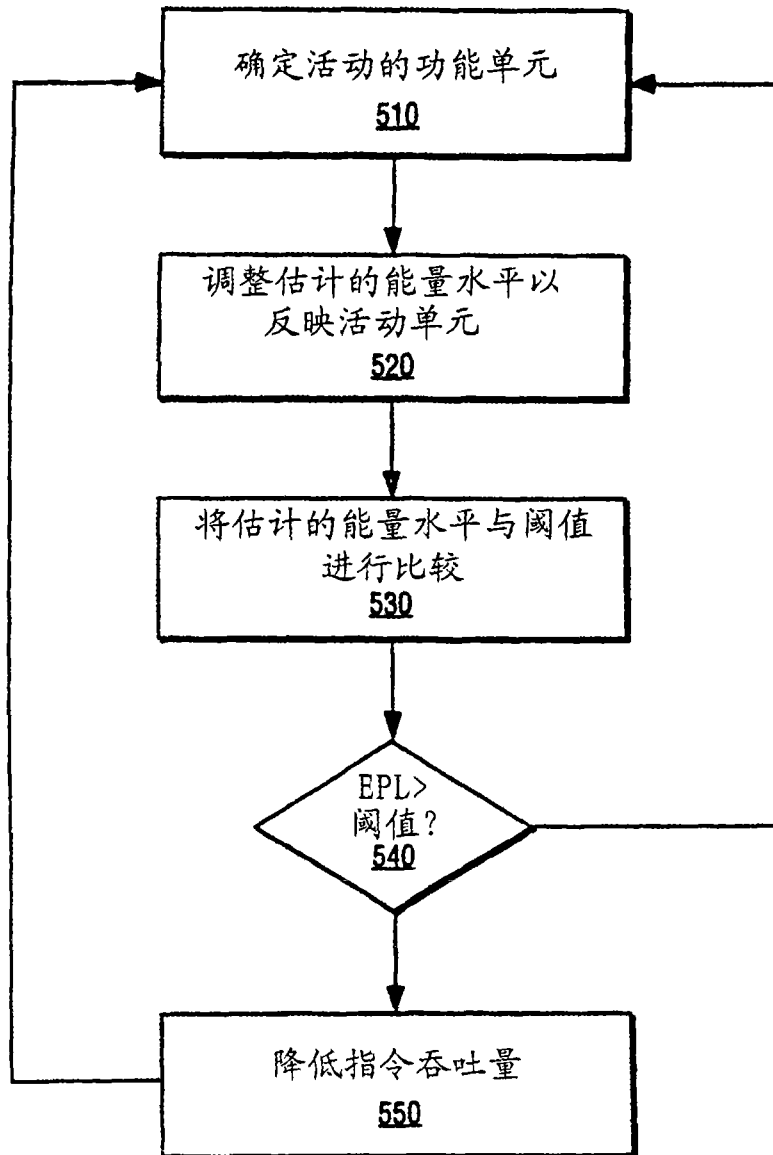


图 5

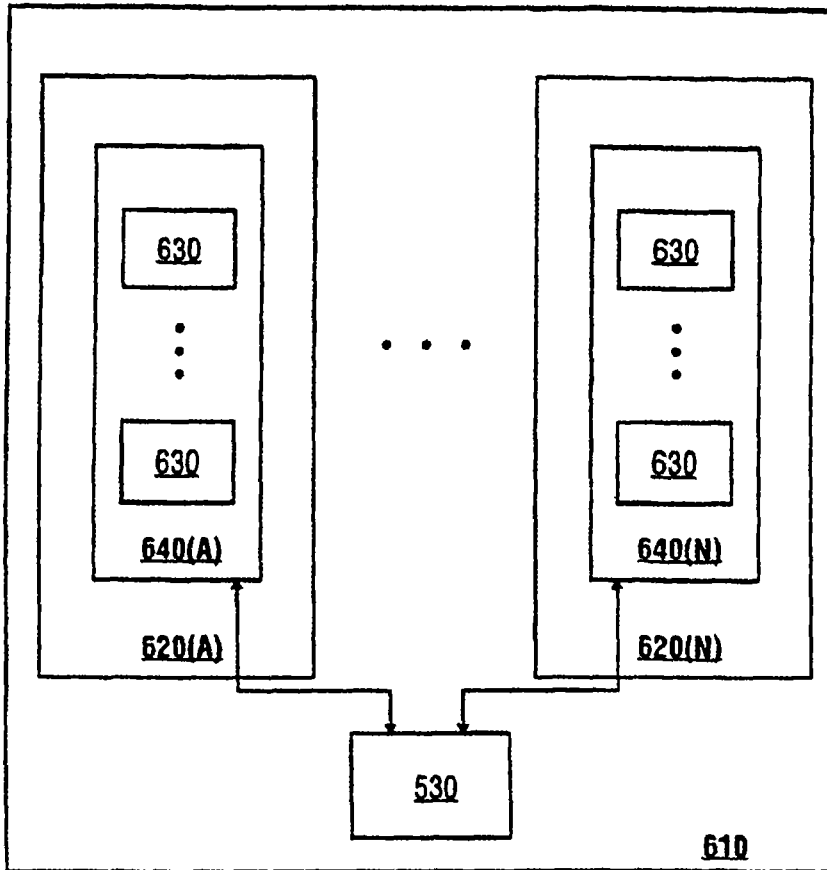


图 6A

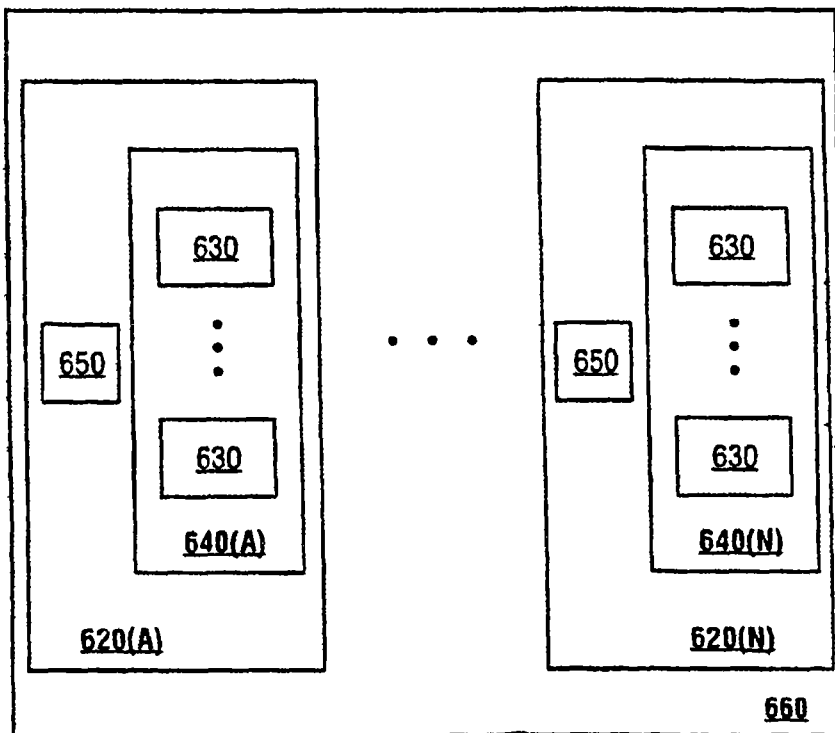


图 6B