

权 利 要 求 书

1. 一种连接到主存储器单元的数字数据处理设备，该主存储器单元包括多个存储位置，用于存储向量操作数和向量指令，每一个所述存储位置由一个物理地址进行标识，一种类型的所述向量指令是用于启动计算操作的计算指令，另一种类型的所述向量指令是用于启动转移操作和标识虚地址的转移向量指令，其特征在于，所述数字数据处理设备包括：

A. 向量寄存器，用于存储向量操作数；

B. 向量执行单元，用于执行向量操作，所述向量操作由与所述向量寄存器中的向量操作数有关的计算类型的向量指令进行标识；

C. 向量地址产生单元，它响应接收到的转移向量指令类型的指令，以便执行地址变换操作，从而：(1) 根据对应于所述主存储器单元中的物理地址的、由转移向量指令所标识的虚地址，产生出物理地址，以允许向量操作数在由所述物理地址标识的存储位置与所述向量寄存器之间转移，和(2) 如果由所述转移向量指令标识的所述虚地址不与所述主存储器单元中的物理地址对应，则产生页面故障指示；和

D. 指令发送单元，用于从所述主存储器单元反复地检索向量指令和执行指令发送操作，以便将所述计算指令类型的指令转移到所述向量执行单元和将所述转移向量指令类型的指令转移到所述向量地址产生单元，从而允许该向量地址产生单元执行地址变换操作，所述指令发送单元响应于来自所述向量地址产生单元的页面故障指示而终止执行指令发送操作和产生再启动信息，以便识别引起页面故障指示的向量指令。

2. 如权利要求 1 所述的数字数据处理设备，其特征在于，所述主存储器包括对应于所述虚地址的页面表项目，所述向量地址产生单元包括

用于检索所述页面表项目的装置和用于测试所述页面表项目以便确定被所述转移指令标识的所述虚地址是否对应所述主存储器单元中的物理地址。

3. 如权利要求 2 所述的数字数据处理设备, 其特征在于, 所述页面表项目包括存取权信息, 所述向量地址产生单元包括一种装置, 该装置用于测试所述存取权信息以便确定是否允许存取被所述页面表项目标识的虚地址, 以及用于在上述存取不被允许的情况下启动一个预定的操作。

4. 如权利要求 2 所述的数字数据处理设备, 其特征在于, 所述页面表项目包括操作权信息, 所述向量地址产生单元包括一种装置, 该装置用于测试所述操作权信息以便确定一个预定的操作是否可以执行, 执行该操作与被所述页面表项目标识的虚地址所标识的信息相关联, 该装置还用于在不可执行上述操作的情况下启动一个预定的操作。

5. 如权利要求 1 所述的数字数据处理设备, 其特征在于包括:

程序模块, 用于在所述主存储器单元中允许建立对应于虚地址的物理地址, 该虚地址产生所述页面故障指示; 和

故障指令处理程序模块, 用于允许使用所述重新启动信息以便处理向量指令, 该向量指令已导致利用建立的物理地址的页面故障指示。

6. 如权利要求 5 所述的数字数据处理设备, 其特征在于, 所述指令发送单元在核心堆栈上按照一个重新启动帧的形式来建立所述重新启动信息, 所述故障指令处理程序模块允许在所述核心堆栈上处理所述重新启动信息帧。

7. 如权利要求 6 所述的数字数据处理设备, 其特征在于, 所述指令发送单元在所述重新启动信息帧内建立一个指示符, 用以指示是否已在所述核心堆栈上建立了先前的重新启动的信息帧, 所述故障指令处理模块利用该指示符以便允许处理所述先前的重新启动信息帧。

8. 如权利要求 1 所述的数字数据处理设备, 其特征在于, 所述主存储器单元在所述存储位置中存储标量操作数和标量指令, 其中一种类型的所述标量指令为用于启动计算操作的计算指令, 另一种类型的所述标量指令为用于启动转移操作和标识第二虚地址的转移标量指令, 所述数字数据处理单元还包括:

A. 标量寄存器, 用于存储标量操作数;

B. 标量执行单元, 用于执行被计算类型标量指令所标识的标量操作, 执行该标量操作与所述标量寄存器中的标量操作数有关;

C. 标量地址产生单元, 响应接收到的转移标量指令类型的指令, 从而执行标量地址变换操作, 以便:

(1) 根据与主存储器中的物理地址相对应的、被转移标量指令所标识的第二虚地址从而产生第二物理地址, 以便允许标量操作数在被所述第二物理地址和所述标量寄存器标识的存储位置之间进行转移; 和

(2) 如果被所述转移标量指令标识的所述第二虚地址与所述主存储器单元中的物理地址不对应, 则产生第二页面故障指示;

D. 所述指令发送单元从所述主存储器单元中反复检索标量指令, 并且执行标量指令发送操作, 以便将所述计算指令类型的标量指令转移至所述标量执行单元以及将所述转移标量指令类型的指令转移至所述标量地址产生单元, 从而允许它执行标量地址变换操作; 所述指令发送单元响应于来自所述标量地址产生单元的第二页面故障指示, 从而决定执行指令发送操作和产生标量重新启动信息以便标识标量指令, 该标量指令导致了来自所述标量地址产生单元的第二页面故障指示。

9. 如权利要求 8 所述的数字数据处理设备, 其特征在于, 所述主存储器包括对应于所述第二虚地址的页面表项目, 所述标量地址产生单元包括:

一种装置, 用于检索所述页面表项目; 和

一种装置，用于测试所述页面表项目，以便确定被所述转移标量指令所标识的所述第二虚地址是否对应于所述主存储器单元中的物理地址。

10. 如权利要求 9 所述的数字数据处理设备，其特征在于，所述页面表项目包括存取权信息，所述标量地址产生单元包括一种装置，该装置用于测试所述存取权信息以便确定是否存取被所述页面表项目标识的第二虚地址，该装置还用于在上述存取不被允许的情况下启动一个预定的操作。

11. 如权利要求 9 所述的数字数据处理设备，其特征在于，所述页面表项目包括操作权信息，所述标量地址产生单元包括一种装置，该装置用于测试所述操作权信息，以便确定是否可执行预定的操作，该预定的操作的执行与被所述页面表项目标识的第二虚地址所标识的信息相关联，该装置还用于在上述预定的操作不可执行的情况下启动一个预定的操作。

12. 如权利要求 8 所述的数字数据处理设备，其特征在于包括：

程序模块，用于在所述主存储器单元中允许建立对应于虚地址的物理地址，该虚地址产生所述第二页面故障指示；和

故障指令处理程序模块，用于允许使用所述标量重新启动信息从而处理标量指令，该标量指令导致第二页面故障指示使用与虚地址对应的物理地址，该虚地址产生所述第二页面故障指示。

13. 如权利要求 12 所述的数字数据处理设备，其特征在于，所述指令发送单元在核心堆栈上以重新启动信息帧的形式建立所述标量重新启动信息，该故障指令处理程序模块允许在所述核心堆栈上处理该标量重新启动信息帧。

14. 如权利要求 13 所述的数字数据处理设备，其特征在于，所述指令发送单元在所述重新启动信息帧内建立一个指示符，指示它是否已在

所述核心推栈上建立了一个原先的重新启动信息帧，该故障指令处理程序模块使用该指示符从而允许处理所述原先的重新启动信息帧。

15. 如权利要求1所述的数字数据处理设备，其特征在于包括连接到所述主存储器单元的数字数据处理单元。

16. 如权利要求15所述的数字数据处理设备，其特征在于，所述主存储器单元包括对应于所述虚地址的页面表项目，

所述向量地址产生单元包括：一种装置，用于检索所述页面表项目，还包括一种装置，用于测试所述页面表项目以便确定：被所述转移向量指令标识的所述虚地址是否与所述主存储器单元中的物理地址相对应。

17. 如权利要求16所述的数字数据处理设备，其特征在于，所述向量地址产生单元包括一种装置，该装置用于测试所述存取权信息，以便确定：对被所述页面表项目识别的虚地址的存取是否被允许，该装置还用于在上述存取不被允许的情况下启动一个预定的操作。

18. 如权利要求16所述的数字数据处理设备，其特征在于，所述页面表项目包括操作权信息，所述向量地址产生单元包括：一种装置，该装置用以测试所述操作权信息，从而确定是否可执行一个预定的操作，该操作与被所述页面表项目标识的虚地址所标识的信息相关联，该装置还用于在上述操作不可执行的情况下启动一个预定的操作。

19. 如权利要求15所述的数字数据处理设备，其特征在于包括：

程序模块，该模块用于在所述主存储器单元内允许建立物理地址，该物理地址与产生所述页面故障指示的虚地址相对应；

故障指令处理程序模块，该模块用于允许使用所述重新启动信息从而处理向量指令，该向量指令导致了页面故障指示使用已建立的物理地址。

20. 如权利要求19所述的数字数据处理设备，其特征在于，所述指

令发送单元在核心堆栈上按照重新启动信息帧的形式建立所述重新启动信息，所述故障处理程序模块允许在所述核心堆栈上处理该重新启动信息帧。

21. 如权利要求20所述的数字数据处理设备，其特征在于，所述指令发送单元在所述重新启动信息帧内建立一个指示符，该指示符指示它是否已在所述核心堆栈上建立了一个原先的重新启动信息帧，该故障指令处理程序模块使用该指示符从而允许处理所述原先的重新启动信息帧。

22. 如权利要求15所述的数字数据处理设备，其特征在于，所述主存储器单元在所述存储位置中存储标量操作数和标量指令，一种类型的所述标量指令是用于启动计算操作的计算指令，另一种类型的所作标量指令是用于启动转移操作和用于标识第二虚地址的转移标量指令，所述数字数据处理设备包括：

A. 标量寄存器，用于存储标量指令；

B. 标量执行单元，用于执行被计算类型的标量指令标识的标量操作，该操作的执行与所述标量寄存器中的标量操作数相关联；

C. 标量地址产生单元，用于根据接收到的转移标量指令类型指令而执行标量地址变换操作，以便：

(1) 根据被与主存储器单元中的物理地址对应的转移标量指令所标识第二虚地址，从而产生第二物理地址，以便允许标量操作数在被所述第二物理地址标识的存储位置与所述标量寄存器之间进行转移；

(2) 如果被所述转移标量指令标识的第二虚地址不与所述主存储器单元中的物理地址相对应，则产生第二页面故障指示；和

D. 所述指令发送单元反复被索取自所述主存储器单元的标量指令，并且执行标量指令发送操作，以便：将所述计算指令类型的标量指令转移至所述标量执行单元，以及将所述转移标量指令类型的指令转移至所

述标量地址产生单元，从而允许它执行标量地址变换操作，所述指令发送单元根据来自所述标量地址产生单元的第二页面故障指示而确定执行指令发送操作和产生标量重新启动信息，以便识别标量指令，该标量指令导致来自所述标量地址产生单元的第二页面故障指示。

23. 如权利要求22所述的数字数据处理设备，其特征在于，所述主存储器单元包括与所述第二虚地址对应的页面表项目，所述标量地址产生单元包括：

一种装置，用于检索所述页面表项目；和

一种装置，用于测试所述页面表项目，以便确定：被所述转移标量指令标识的所述第二虚地址是否对应于所述主存储器单元中的物理地址。

24. 如权利要求23所述的数字数据处理设备，其特征在于，所述页面表项目包括存取权信息，所述标量地址产生单元包括一种装置，该装置用于测试所述存取权信息从而确定：对被所述页面表项目标识的第二虚地址的存取是否被允许，该装置还用于在上述存取不被允许时启动一个预定的操作。

25. 如权利要求23所述的数字数据处理设备，其特征在于，所述页面表项目包括操作权信息，所述标量地址产生单元包括一种装置，该装置用于测试所述操作权信息，以便确定：一个预定的操作是否可执行，该操作的执行与被所述页面表项目标识的第二虚地址所标识的信息相关联，该装置还用于当所述操作不可执行时启动一个预定的操作。

26. 如权利要求22所述的数字数据处理设备，其特征在于包括：

程序模块，用于在所述主存储器单元中允许建立对应于虚地址的物理地址，该虚地址产生所述第二页面故障指示；和

故障指令处理程序模块，用于允许使用所述标量重新启动信息以便处理标量指令，该标量指令导致了第二页面故障指示使用对应于虚地址的物理地址，该虚地址产生所述第二页面故障指示。

27. 如权利要求26所述的数字数据处理设备，其特征在于，所述指令发送单元在核心堆栈上按照重新启动信息帧的形式建立所述标量重新启动信息。该故障指令处理程序模块允许在所述核心堆栈上处理该标量重新启动信息帧。

28. 如权利要求22所述的数字数据处理设备，其特征在于，所述指令发送单元在所述重新启动信息帧内建立一个指示符，该指示符指示它已在所述核心堆栈上建立了一个原先的重新启动信息帧，该故障指令处理程序模块使用该指示符以便允许处理所述原先的重新启动信息帧。

29. 如权利要求1所述的数字数据处理设备，其特征在于，所述主存储器单元包括与所述虚地址对应的页面表项目，所述页面表项目包括存取权信息和操作权信息，

所述向量地址产生单元包括：

i. 一种装置，根据接收到的转移向量指示类型指令而检索所述页面表项目；

ii. 页面故障测试装置，用于使用被检索的页面表项目从而确定：被所述转移向量指令所标识的所述虚地址是否与所述主存储器单元中的物理地址相对应，并且如果它们之间不对应，则该装置用于产生页面故障指示；

iii. 存取权测试装置，用于测试被检索的页面表项目中的存取权信息，以便确定：对被所述页面表项目标识的虚地址的存取是否被允许，并且该装置用于在上述存取不被允许时启动一个预定的操作；

iv. 操作权测试装置，用于测试被检索的页面表项目内的操作权信息，以便确定预定的操作是否可执行，该操作的执行与被所述页面表项目标识的虚地址所标识的信息相关联，还用于在所述操作不可执行时启动一个预定的操作；和

v. 一种装置，用于执行地址变换操作，以便根据被对应于所述主存

存储器单元中的物理地址的转移向量指令标识的虚地址而产生物理地址，从而允许向量操作数在被所述物理地址标识的存储位置和所述向量寄存器之间进行转移，如果所述页面故障测试装置确定该虚地址与该主存储器单元内的物理地址相对应，则所述存取权测试装置确定：对虚地址的存取被允许，并且所述操作权测试装置确定：预定的操作可执行；并且，

所述指令发送单元根据来自所述向量地址产生单元的页面故障指示而在核心堆栈上产生重新启动信息帧，从而标识导致页面故障指示的向量指令，所述重新启动信息帧包括一个指示符，用以指示它已在所述核心堆栈上建立原先的重新启动信息帧；

所述数字数据处理设备包括：

E. 程序模块，用于在所述主存储器单元中建立与产生所述页面故障指示的虚地址相对应的物理地址；

F. 故障指令处理程序模块，用于允许在所述堆栈上处理重新启动信息帧，该模块使用指示符以允许处理所述原先的重新启动信息帧。

30. 如权利要求 1 所述的数字数据处理设备，其特征在于，所述主存储器单元存储标量操作数和标量指令，一种类型的所述标量指令是用于启动第二计算操作的第二计算指令，另一种类型的所述标量指令是用于启动标量转移操作和标识第二虚地址的转移标量指令，所述主存储器单元还包括与各所述虚地址对应的页面表项目，各所述页面表项目包括存取权信息和操作权信息，所述数字数据处理单元还包括：

E. 标量寄存器，用于存储标量操作数；

F. 标量执行单元，用于执行被计算类型的标量操作数所识别的标量操作，该操作的执行与所述标量寄存器中的标量操作数相关联；

所述向量地址产生单元包括：

i. 向量页面表项目检索装置，该装置响应于接收到的转移向量指令

类型的指令，从而检索所述页面表项目；

ii. 向量页面故障测试装置，用于使用被检索的页面表项目，以便确定被所述被检索的转移向量指令标识的虚地址是否对应于所述主存储器单元中的物理地址，如果不对应，则用于产生页面故障指示；

iii. 向量存取权测试装置，用于测试被检索的页面表项目中的存取权信息，以便确定对被所述被检索的页面表项目所识别的虚地址的存取是否被允许，并且在上述存取不被允许时启动一个预定的操作；

iv. 向量操作权测试装置，用于测试被检索的页面表项目内的操作权信息，以便确定预定的操作是否可执行，该操作的执行与被所述被检索的页面表项目标识的虚地址所标识的信息相关联，并且在所述操作不可执行时启动一个预定的操作；和

v. 向量地址变换装置，用于执行地址变换操作，以便根据被对应于所述主存储器单元中的物理地址标识的虚地址而产生物理地址，从而允许向量操作数在被所述被产生的物理地址和所述向量寄存器之间进行转移，如果所述向量页面故障测试装置确定：被转移向量指令所标识的虚地址与所述主存储器单元中的物理地址相对应，则所述向量存取权测试装置确定：对被转移向量指令标识的虚地址的存取是允许的，并且向量操作权测试装置确定：预定的操作是可执行的；和

G. 标量地址产生单元，包括：

i. 标量页面表项目检索装置，用于响应接收到的转移标量指令类型指令，从而检索第二所述页面表项目；

ii. 标量页面故障测试装置，用于使用被检索的第二页面表项目，从而确定被所述转移标量指令标识的所述虚地址是否与所述主存储器单元中的物理地址相对应，并且在上述地址不相对应时，用于产生页面故障指示；

iii. 标量存取权测试装置，用于测试被检索的第二页面表项目中的

存取权信息，从而确定：对被所述被检索的第二页面表项目标识的虚地址的存取是否被允许，以及在该存取不被允许时启动一个预定的操作；

iv. 标量操作权测试装置，用于测试被检索的第二页面表项目中的操作权信息，从而确定预定的操作是否可执行，该操作的执行与被所述被检索的第二页面表项目标识的虚地址所标识的信息相关联，并且用于在上述操作不可执行时启动第二预定的操作；和

v. 标量地址变换装置，用于产生地址变换操作，以便根据被与所述主存储器单元中的物理地址对应的转移标量指令所标识的虚地址，从而产生第二物理地址，以便允许标量操作数在被所述被产生的第二物理地址所标识的存储位置和所述标量寄存器之间进行转移，如果所述标量页面故障测试装置确定：被转移标量指令所标识的虚地址与所述主存储器单元中的物理地址相对应，则所述标量存取权测试装置确定对被转移标量指令标识的虚地址的存取是允许的，并且标量操作权测试装置确定第二预定的操作是可执行的；和

II. 指令发送单元，用于反复检索来自所述主存储器单元中的向量和标量指令，以及用于执行指令发送操作，以便：

(i) 将所述计算指令类型的向量指令转移至所述向量执行单元；

(ii) 将所述转移向量指令类型的向量指令转移至所述向量地址产生单元，从而允许它执行地址变换操作；

(iii) 将所述计算指令类型的标量指令转移至所述标量执行单元，和

(iv) 将所述转移标量指令类型的标量指令转移至所述标量地址产生单元，从而允许它执行地址变换操作，所述指令发送单元根据来自所述向量地址产生单元的页面故障指示，从而确定执行指令发送操作和在核心堆栈上产生重新启动的信息帧，以便标识导致页面故障指示的向量指令，所述重新启动的信息帧包括一个指示符，用以指示它是否已在所述

核心堆栈上建立原先的重新启动信息帧；

I. 程序模块，用于允许在所述主存储器单元内建立与产生页面故障指示的虚地址相对应的物理地址；和

J. 故障指令处理程序模块，用于允许在所述核心堆栈上处理重新启动信息帧，该故障指令处理程序模块使用该指示符以便允许处理所述原先的重新启动信息帧。

31. 一种数字数据处理设备操作方法，该处理设备连接到包括有多个存储位置的主存储器单元，每个存储单元由一个物理地址标识，所述存储位置存储向量操作数和向量指令，一种类型的所述向量指令是用于启动计算操作的计算指令，另一种类型的所述向量指令是用于启动转移操作和标识虚地址的转移向量指令，所述方法包括以下步骤：

A. 从所述主存储器单元中反复检索向量指令和执行指令发送操作，从而将所述计算指令类型的指令转移至向量执行单元以便处理，并且当指令为转移向量指令类型时，将其转移至向量地址产生单元；

B. 根据接收到的转移向量指令类型指令，允许所述向量地址产生单元执行地址变换操作，从而

(1) 根据被与所述主存储器单元中的物理地址相对应的转移向量指令所标识的虚地址，从而产生一个物理地址，以便允许向量操作数在被所述物理地址所标识的存储位置和所述向量寄存器之间进行转移，

(2) 如果被所述转移向量指令标识的所述虚地址与所述主存储器单元中的物理地址不对应，则产生页面故障指示；

C. 根据来自所述向量地址产生单元的页面故障指示，终止执行指令发送操作，并且产生重新启动信息，从而标识导致了页面故障指示的向量指示；

D. 在所述主存储器单元中建立对应于虚地址的物理地址，该虚地址产生所述页面故障指示；和

E. 使用所述重新启动信息从而处理向量指令，该向量指令导致页面故障指示使用已建立的物理地址。

32. 如权利要求31所述的方法，其特征在于，所述重新启动信息包括一个指示符，用以指示该重新启动信息原先已被产生，上述使用步骤包括使用该指示符从而允许所述设备对所述原先的重新启动信息进行确定和处理。

在向量数据处理运算中从缺 页故障中恢复的设备和方法

本发明总的来说有关数据处理系统，具体地说，有关能在虚拟存储器环境下实现向量运算的数据处理系统。

为了提高某些类型重复运算的性能，目前已开发出了向量数据处理运算技术。例如，把二个数据数组的相应元素进行相加可用向量相加运算，再把结果的和数存放在一个第三数组内。这个过程可与执行相同计算的标量指令作对照，而后者将要求重复地执行一个循环例行程序。向量处理具有在一次运算中规定对大量数据作处理而无需发出多条指令或执行循环迭代控制的优点。此外，由于对每组操作数施加相同的运算，可有效地使用流水线技术来提高性能。一般来说，目前使用的有二种向量处理模型，基于寄存器的模型和基于存贮器的模型。

在基于寄存器的模型中，各组操作数是从主存贮器传送（装入）的，并存入称为向量寄存器的专用寄存器内。每个向量寄存器可贮存多个操作数，每个操作数有一个预定的长度。当一个或多个向量寄存器在其内部贮存有所需的操作数时，则贮存在向量寄存器中的所有操作数由一个共同的算术运算所处理，由此处理运算所得到的操作数再贮存于一个目标向量寄存器内。由于对向量寄存器的所有操作数完成相同的运算，故只需向处理执行装置发出一条指令来管理多个操作数。在对操作数组完成所有所需的运算后，操作数被送回（或贮存在）主存贮器单元中。

在基于存贮器的模型中，操作数被直接从主存贮器单元传送至执行单元，运算所得到的操作数也被直接送回主存贮器单元。从理论上说，由于在开始运算之前不需要把信息贮存在向量寄存器中，结束运算后也不需要送回存贮器，这种基于存贮器的模型提供效高的性能。但是，当向量运算开始时，第一个操作数从存贮器而到来需要一定的时间，因此，当这一启动时间可以在一个很长的向量运算期间分摊的时候，基于存贮器的向量模型最有效。

一般来说，基于寄存器的向量模型具有很短的启动时间，因此对短的向量有较好的性能。操作数随着实际的向量运算而被装入和存贮，因此，短的启动时间的优点与最大程度的存贮器利用率得到结合，从而得到与在基于存贮器的向量模型中在长的向量运算时才能得到的相同的最大的向量运算的速率。

在现代数据处理系统中已很普遍使用虚拟存贮器，这已成为对数据处理系统的一个要求，在虚拟存贮器数据处理系统中，大量的为处理机所需的逻辑信号组贮存在大容量存贮单元（或称为后备存贮器）中。当数据处理系统需要指令和数据元素时，数据处理系统可以认为所需要的指令或数据元素贮存在主存贮器单元中，因此，数据处理系统将试图把所需的指令或数据元素从主存贮器单元中传送至要求指令或数据元素的那个数据处理单元。当数据处理系统确认，在主存贮器单元中没有所需的指令或数据元素，则产生一个页面故障。页面为贮存在海量存贮器中由数据处理系统管理的信息单位。页面故障使得数据处理系统设备贮存为对页面故障作出响应所必需的信息，然后把控制转移至操作系统，以便对页面故障作出响应。

为了对产生页面故障作出响应，数据处理系统将控制转移至操作

系统的相应模块，它将确定所需的指令或数据元素的位置，再把包括所要求的指令和/或数据元素的一“页”指令或数据元素传送至主存贮器单元。此外，操作系统模块将建立把主存贮器地址与在海量存贮器中所需的指令或数据元素的位置相连系的表。

在标量（非向量）工作方式中，存贮器访问指令是依次顺序执行的，只能访问单个数据。当访问一个在存贮器中不存在的数据时，必要的信息就被贮存起来，产生一个页面故障异常信息。操作系统接过控制，把所要的页面读入存贮器，然后再恢复程序计数器使继续执行指令序列而重新执行程序。

与此相反，一个向量装入或贮存运算可读出或写入贮存在一个向量寄存器中的全部数量的数据元素操作数。当正在执行一个向量装入/贮存运算时，继续发出进一步的向量和/或标量指令是有利的。这样与标量装入/贮存运算不同，在向量指令之后，但在缺页发生之前，可发出几个外加的指令。当所需的数据元素不存在于主存贮器单元中时，几项信息必须被贮存起来，以便当缺页被传送到主存贮器单元后，能重新开始或完成该指令的执行。

在执行向量运算时，数据处理系统的性能受到存贮器速度、能同时执行多少个向量装入和贮存运算、以及在完成向量运算时多少个功能或执行单元可以并行地工作所限制。很明显，根据标量和向量运算实现多次重迭的程度，数据处理系统的效率可以进一步提高。

但是，在虚拟存贮器环境下执行重叠的标量和向量指令增大了从由于向量指令形成的页面故障（即当所需的数据在主存贮器单元中不存在时）进行恢复的困难程度。事实上，在完成当前执行的指令期间，可以有不止一个向量运算会有一个页面故障被识别出来，这进一步使

向量处理运算的重新启动复杂化。对于标量装入/贮存运算（仅访问单个数据），可立即检测出一个存贮器管理问题，因此不发出进一步的指令。对一个向量指令来说，为使性能最优化，在检测出存贮器管理问题之前仍继续发出指令。这种插进来的指令可能会改变曾经是原来的向量指令的操作数的信息的状态，因而缺页的检索、程序计数器的恢复和重新执行指令可能不再提供对页面故障的正确响应。因此，需要有一种技术，它能在一个采用基于寄存器的向量模型的执行多次重迭向量运算的数据处理系统中，从页面故障或其它的向量异常状态进行恢复。

本发明的目的是提供一种改进性能的数据处理系统。

本发明的一个特点是提供一种能改进向量数据处理运算的数据处理装置。

本发明的另一个特点是由能够执行多个重叠的指令的中央处理单元从页面故障进行恢复。

本发明的又一个特点是提供一种技术，它由能够执行多个重叠的向量和标量运算指令的数据处理系统从页面故障进行恢复。

本发明的最后一个特点是提供这样一种技术，它能在一个具有虚拟存贮器能力的数据处理系统中，从向量运算引起的页面故障中进行恢复。

根据本发明，上述的和其它的特点是通过在一个具有向量运算能力和虚拟存贮器环境的数据处理系统中，提供一种对由于一个向量运算指令引起的向量异常信号（如页面故障信号）作出响应的设备来实现的。在任何时刻都可进行访问主寄存器单元的多个（向量）运算。当产生一个向量异常信号时，中央处理单元的指令发送单元停止发出

指令，而当前正在执行的指令则被允许继续完成。当所有指令完成时，标识由各个向量指令所遇到的虚拟存贮器问题的信息被贮存在内核栈上，它们包括标识故障的异常类型码、向量长度、初始基地址、初始跨距（stride），引起虚拟存贮器问题的虚拟地址、向量指令本身、处理器的当前状态和下一个待发出的指令的虚拟地址。（下一个指令的地址不一定用于向量指令之后的顺序指令）。此信息足以确定虚拟存贮器的问题。对于一个页面故障，缺页被传送至主存贮器，引起页面故障的指令被重新执行，程序继续在一个指令执行（下一个指令不一定是产生页面故障的向量指令之后的指令）。

在阅读下面的说明以及附图之后，就能对本发明的这些和其它特点得到更好的了解。

图 1 A 和 1 B 为可能使用本发明的数据处理系统实施方案的例子。

图 2 为可能使用本发明的数据处理系统的数据处理单元的例子。

图 3 示出虚拟存贮器在数据处理系统中的使用。

图 4 为按照本发明从一个页面故障进行恢复用的向量重新启动帧的例子。

图 5 为一个说明本发明工作的流程图。

1. 附图的详细说明

图 1 A 和图 1 B 示出的是二个典型的能使用本发明的数据处理系统实施方案。在图 1 A 中，中央处理单元（#1）11 连接至系统总线 19。其它的中央处理单元（如 #N）12 也可连接至该系统。中央处理单元 11（至 12）按照中央处理单元的结构以及中央处理单元控制程序处理数据，控制程序由驻留在主存贮器单元 15 中的指令组合。非驻留的数据和指令一般地贮存在一个或多个海量存贮器单元中，通过系

统总线 1 9 与主存贮器单元 1 5 间往返传送数据。输入/输出单元 (# 1) 1 6 (至 (# M) 1 7) 通过系统总线 1 9 把诸如海量存贮器单元、用户终端设备和通信设备连接至数据处理系统。海量存贮器单元贮存为数据处理单元所需的数据和指令。数据和/或指令组 (一般以数据和/或指令的页面表示) 为中央处理单元 1 1 至 1 2 的工作所要求, 它们是从存取速度相对较低的海量存贮器单元向中央处理单元能快速存取的主存贮器单元传送。面向总线的系统的一个优点是便于重新配置系统, 但其缺点是每个系统组成部分都需要控制设备以提供与系统总线间的接口。在图 1 B 所示的数据处理系统中, 中央处理单元 1 1 (至 1 2) 和输入/输出单元 1 6 (至 1 7) 通过一个存贮器控制单元 1 4 连接至主存贮器单元 1 5, 存贮器控制单元 1 4 代替了在图 1 A 中所示的面向总线的数据处理系统配置中的系统总线 1 9 和数据处理系统各个组成部件所完成的控制功能。存贮器控制单元 1 4 提供对于数据和指令传输的集中控制和监控, 它比图 1 A 的面向总线的配置更有效, 但损失了灵活性。

参见图 2, 它示出一种能有效地使用本发明的典型的中央处理单元的原理方块图。指令发送单元 2 2 负责向各种专用的执行单元 (包括标量运算地址产生单元 2 4、至少一个执行单元 (# 1) 2 5 (至执行单元 (# Q) 2 6) 和一个向量运算单元 2 8) 提供 (解码的) 的指令, 向量运算单元 2 8 包括向量运算处理单元 2 8 A、向量运算地址产生单元 2 8 B 和向量运算寄存器 2 8 C。由执行单元处理过的数据一般从标量寄存器 2 3 或向量寄存器 2 8 C 取出。执行单元得出的结果数据贮存在标量寄存器 2 3、向量寄存器 2 8 C 或数据高速缓冲存贮器单元 2 7 中。数据高速缓冲存贮器单元 2 7 可看作是在主存

贮器单元 1 5 和中央处理单元 1 1 之间提供一个接口的高速缓冲存贮器单元。(在图 2 中,数据高速缓冲存贮器单元 2 7 示出为直接连接至主存贮器单元。如图 1 A 和图 1 B 所示出的,实际的连接可包括中间的数据处理设备),指令发送单元 2 2 包括:用于确定哪个执行单元将处理选定的数据和用于确定何时该选定的执行单元能用于数据处理的设备。后一个特性还包括确认目标存贮位置将可用于贮存处理过的数据。指令高速缓冲存贮器单元 2 1 贮存指令,该指令经过解码后由指令发送单元送往有关的执行单元。指令发送单元 2 2 含有使执行单元的处理操作量为最大的设备。因此,指令发送单元 2 2 含有预取出设备和确保相应的指令(包括任何转移指令)在需要时能为指令发送单元 2 2 所用的算法程序。各种执行单元(如所示的标量运算地址产生单元 2 4 和向量运算单元 2 8)是用于进行特定类型运算的专用处理设备。例如,一个执行单元可配置成进行浮点运算或整数算术运算等。

标量寄存器 2 3 可贮存供执行程序用的数据或提供数据处理运算的一个记录。例如,一个寄存器是程序计数寄存器,它贮存正在执行的程序指令序列中下一个待处理的指令的(虚拟)地址。标量运算地址产生单元 2 4 用于把虚拟地址转换为主存贮器单元 1 5 中的物理位置。当各个执行单元以不同的速率处理指令时,指令发送单元 2 2 还负责以正确的顺序重新安排从执行单元来的数据。

如上面所提到,向量运算单元 2 8 含有一个向量运算处理单元 2 8 A、一个向量运算地址发生单元 2 8 B 和向量运算寄存器 2 8 C。向量运算处理单元的活动能控制向执行单元 2 5 ~ 2 6 分配数据和其中指令的执行。根据另一个实施例(未示出),为向量运算单元 2 8 专用于执行指令的

执行单元可以用于数据处理系统中。当执行单元可用于向量和标量运算时，控制取决于指令发送单元 2 2 的总的系统控制，由它分配数据处理单元的资源。

图 3 示出的是优选实施例中的虚拟编址机构的说明。在指令发送单元中的指令 3 0 1 具有相应的一个虚拟地址 3 0 2，它标识指令对之进行操作的数据。指令发送单元把虚拟地址 3 0 2 送至标量地址产生单元 2 4（或者是向量地址产生单元 2 8 B）。在地址产生单元 2 4（或 2 8 B）中，虚拟地址的一部分用于标识（通过地址产生单元中的设备 3 0 3）在主存贮器单元 1 5 中的一个页面表项目 3 0 4。页面表项目 3 0 4 被传送到地址产生单元 2 4（或 2 8 B），设备 3 0 5 测试在页面表项目中选出的字段以确定对数据元素的存取是否允许。当不允许存取时，则标识出一个存取违例 3 0 6，调用一个相应的操作过程以确定如何对此存取违例作出响应。当测试 3 0 5 确认对数据元素 3 1 2 的存取是允许时，则对页面表项目 3 0 4 进行测试 3 0 7，以确定该指令所需的数据元素在主存贮器单元 1 5 中是否存在，当测试 3 0 7 表明数据元素不存在时，产生一个页面故障 3 0 8，一个操作系统的程序把数据元素传送至主存贮器 1 5（在位置 3 1 2），更新有关的页面表项目 3 0 4，通知指令发送单元可重新开始从主存贮器位置中检索所需的数据元素。当测试 3 0 7 确认所需的数据元素素贮存在主存贮器单元中，测试 3 0 9 对页面表项目 3 0 4 进行测试，以确定有关指令所要求的数据元素的活动是否被标示为结果是发生故障。当该指令所确定的该项活动标示为故障状态，则读时故障、写时故障或执行时故障（视情况而定）将调用一个操作系统程序以便对此故障状态作出响应。如果测试 3 0 9 表明，与有关的数据元素相关的

指令的活动没有标示为故障状态，则地址产生单元 2 4（或 2 8 B）确定在主存贮器单元 1 5 中的贮存所需数据元素的物理地址 3 1 1。此地址上的数据元素 3 1 2 被传送至在标量寄存器 2 3、向量运算寄存器 2 8 C 或指令高速缓冲存贮器装置 2 1（即当数据元素是一条指令）中的一个存贮器位置 3 1 3。以这种方式，由虚拟地址所标识的所需的数据元素即可供指令 3 0 1 作处理之用。

图 4 所示的是按照本发明的一个向量重新启动帧。除去位的位置 0~2 外，信号组 4 0 1 都为逻辑 0。在 0~2 位的位置上，标示有下述类型的异常：存取违例、读时故障、写时故障、转换无效、向量对准和指令挂起。指令挂起码组与指令发送单元发出的向量装入/贮存指令有关，但其操作并没有实际开始。信号组 4 0 2 表示向量的长度或在向量操作中有关的数据元素的数量。信号组 4 0 3 表示初始的基地址。信号组 4 0 4 指示在相邻的数据元素之间的初始跨距或位移量。信号组 4 0 5 为引起异常的缺失数据元素的页面中有关的虚拟地址，而信号组 4 0 6 是导致异常的向量装入/贮存指令。信号组 4 0 7 为处理机状态。对本发明来说，位的位置 2（V R F）这个字段尤其重要，它表明保留一个以前的向量重新启动帧。信号组 4 0 8 则贮存下一个指令的虚拟地址。

图 5 所示为一个执行向量运算的数据处理单元从页面故障恢复的流程图。在步 5 0 1，在执行一个向量运算期间标识了页面故障。在步 5 0 2，指令发送单元中止发出进一步的指令，在步 5 0 3，允许在页面故障时正在执行的所有指令继续完成或形成页面故障（或某些其它的异常活动）。在步 5 0 4，对每个页面故障的参数（如图 4 所示的）进行贮存，以便从页面故障恢复。在步 5 0 5，未能完成执行

导致页面故障的每个指令的缺页被传送至主存贮器单元，在缺失数据被送入主存贮器单元后，导致故障的每个指令被执行（步506）。在对显示页面故障的所有指令和对所有异常事件作出响应后，程序恢复正常执行（步507）。

2. 优选实施例的操作

在优选实施例中，具有如图 2 的流水线方式的执行单元的中央处理单元的实施受到一些限制；但是，别的设计方案也可采用本发明。中央处理单元包括多个执行单元，每个单元用于执行一个类型的指令。例如，一个执行单元为标量地址产生单元 24，它控制中央处理单元和主存贮器单元之间逻辑信号组的传输，即执行标量装入/存贮指令。一个执行单元用于执行数据移位操作，一个执行单元用于浮点相加/相减运算，一个执行单元用于整数和浮点相乘运算，一个执行单元用于整数和浮点相除运算。专用的执行单元可以（但也不一定）在一个流水线配置中实施。中央处理单元的其它特性如下所述。处于正在执行的指令序列中的指令被从指令高速缓冲存贮器单元 21 传送到指令发送单元 22。在指令发送单元中，指令被分解成它的各个组成部分，由此产生与数据有关的控制信号和地址信号。但是，在一个指令可开始执行之前（即被发出前），必须满足几个限制条件。指令的所有源寄存器和目标寄存器必须可供使用，即没有一个对所需的寄存器进行的写操作可以是未完成的，寄存器写路径应在此指令贮存处理过的量的未来周期中提供使用。在执行期间用于处理指令所需的执行单元必须可供使用以完成运算。对于向量运算单元，一个向量运算在向量运算期间保留一个执行单元，当一个存贮器装入/存贮指令出现一个高速缓冲存贮器单元缺失，装入/存贮单元忙标志将使得随后的装入/存贮指令延迟，直至高速缓冲存贮器缺失响应结束为止。当一个指令

发出时,其结果用的目标寄存器和写路径周期被保留。在操作数建立期间,要产生所有与指令无关的寄存器地址,操作数要被读出和贮存,要产生与数据有关的控制信号。指令操作数和控制信号被送至相应的执行单元供执行。执行单元所产生的结果被相应地贮存在寄存器文件或数据高速缓冲存贮器单元 2 7 中。当一个指令发出时,处理结果可能在几个机器周期期间不能得出。同时,在下一个机器周期期间,下一个指令可能被解码,而在所需的发出条件满足时被发出。因此,指令以正常的指令顺序被解码和发出,但由于执行单元的不同的指令执行时间,其结果可以不同的次序贮存。这种无顺序的贮存使异常处理和重试出错的指令变得复杂。但是,由于这种事件是较少发生的,因而无顺序贮存提供了在执行和硬件方面的优点。

在图 3 中,虚拟寻址技术被广泛地实施,此技术可使程序员不需考虑数据和指令元素的实际位置。地址产生机构将在程序地址和数据处理单元中的数据和指令元素之间提供一个接口,通过使用数据和指令元素页面,从大容量或海量存贮媒介的数据和指令元素的传输被加快,它无需传输单个的数据和指令元素。此外,程序一般地以这样的格式编写,使得为顺序的执行指令所需的数据和指令元素在程序或文件中贮存得相互比较靠近。因此,一页面数据和指令元素一般将包括程序执行用的多个有关数据和指令元素。但是,页面方案对分区

(granularity)的相对严格性具有这样一种结果(尤其是在执行向量指令时),即有关的数据和指令元素组可能会扩展出页面界限而处于数据处理系统的主存贮器单元中不存在的页面上,在优选的实施例中,地址产生机构 3 4 包括有进行地址翻译、并且当所需的信息页面不存在于主存贮器单元 1 5 中能产生一个异常(即测试 307)用的设备部分,还包括作为操作系统一部分的一个软件程序,以便在

大容量存储器单元和主存储器单元之间传送信息页面。当一个页面的数据和指令元素被传送至主存储器单元 15 时，地址产生机构 34 提供在主存储器单元 15 中相应的页面表项目，在此，当前正在执行的程序可标识贮存在主存储器单元 15 中的所有的数据和指令元素的页面（与虚拟地址有关），因此当被访问的数据或指令不存在于主存储器单元 15 中时，能发出一个页面故障信号。如图 3 所示，数据处理单元一般包括与虚拟寻址技术有关的过程，如用于当所要求的信息页面不存在于主存储器单元中时发出信号设备，以及通过检索缺页信息对页面故障作出响应的程序。

从向量页面故障的恢复一般由操作系统控制下的一个程序来提供，此操作系统程序具有向量重新启动帧可用，以标识出导致页面故障的程序部分。这样一个程序将确保被向量页面故障标识为缺页的数据元素会被传送到主存储器单元。被向量页面故障所中断的指令的执行即已完成。在所有中断的指令被重新执行之后，然后程序恢复正常的执行。在目前这种向量运算方式下，可要求 64 个数据元素，每个元素可能处于不同的页面中。因此，可能会需要 64 个关于各个页面的页面表以及一个用于指令的页面。因此，操作系统软件必须保持为执行一个向量指令所需的可能相当大量的页面供使用。

本发明的中央处理单元设计能提供对向量指令和标量指令的并行执行。因此，当检测到一个异常或中断状态时，指令发出过程停止，未完成的指令被完成。很明显，可能会存在多重异常和中断的状态。在本优选实施例中，算术自陷（arithmetic traps）具有最高的优先级，然后是向量异常、所有其它的异常（故障），最后是最高优先级的中断。

上述说明的目的是阐述本优选实施例的工作而不是限制本发明的范围，本发明的范围仅受到权利要求的限制。根据上述说明，对于熟悉本技术领域的人员来说，包含本发明的思路和范围的许多方案是显而易见的。

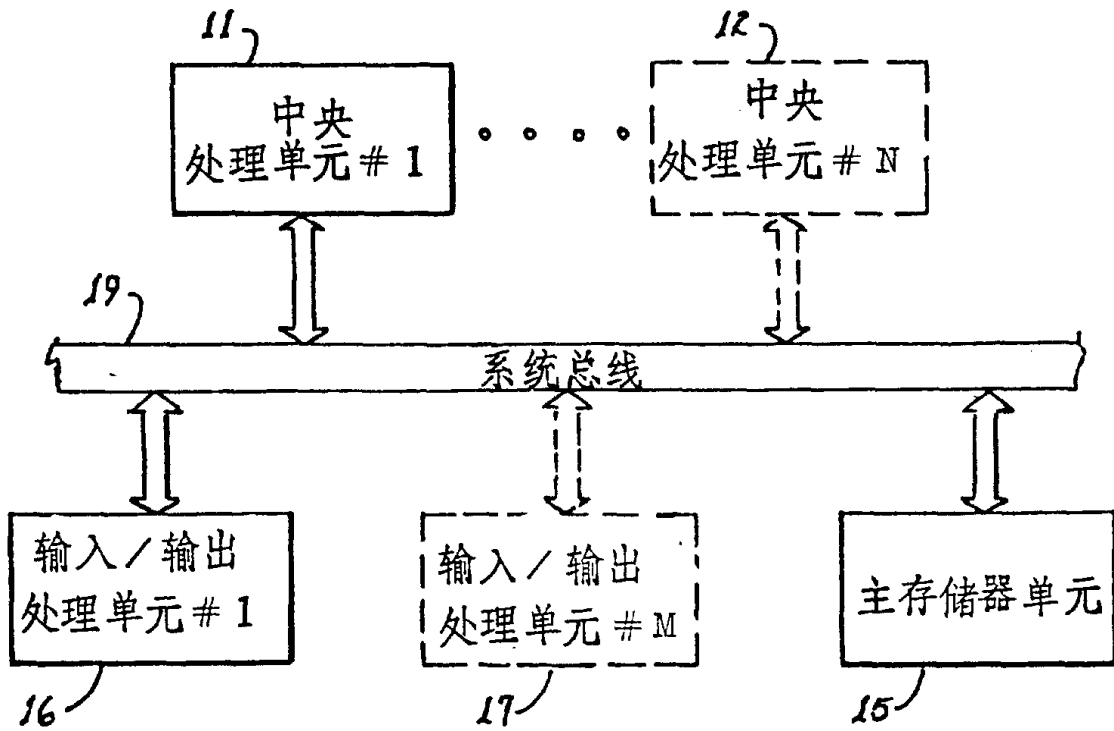


图 1 A

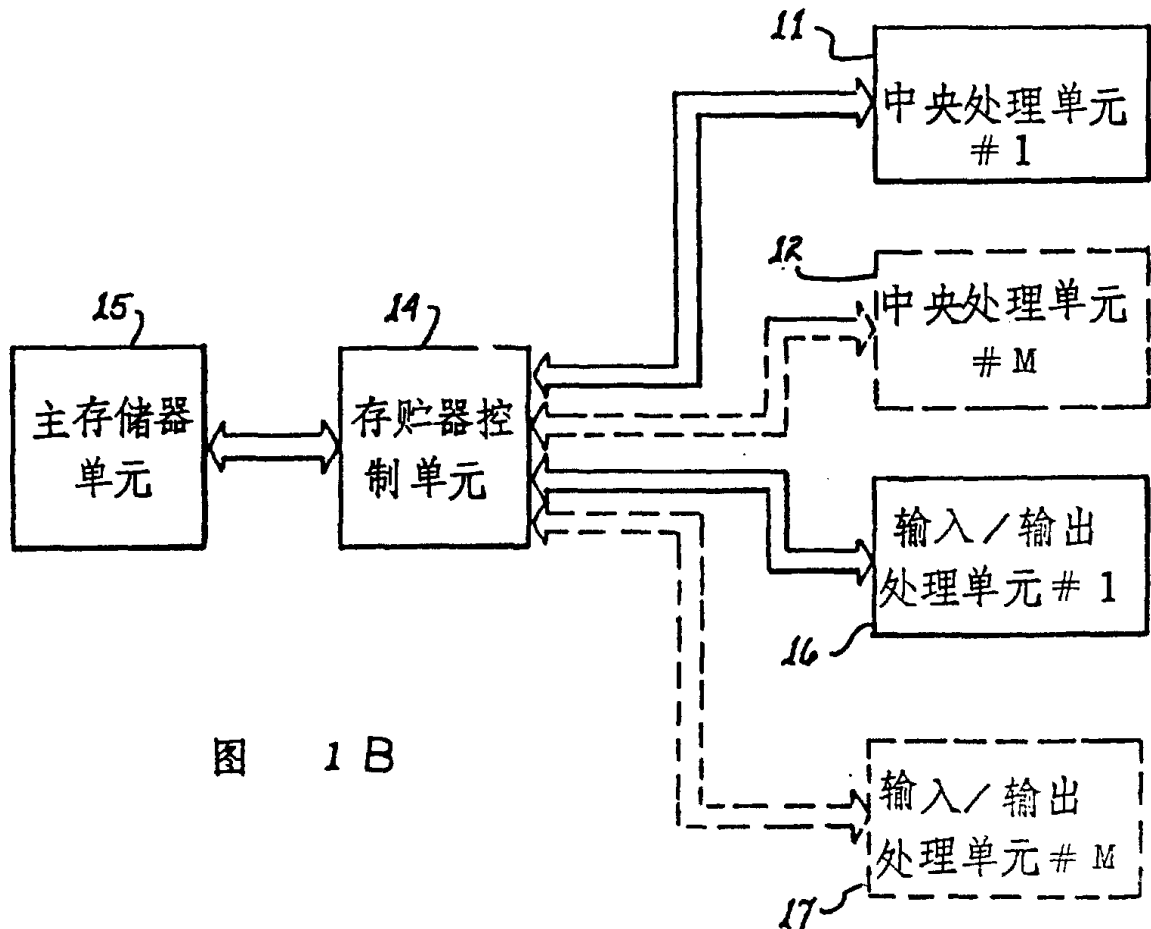


图 1 B

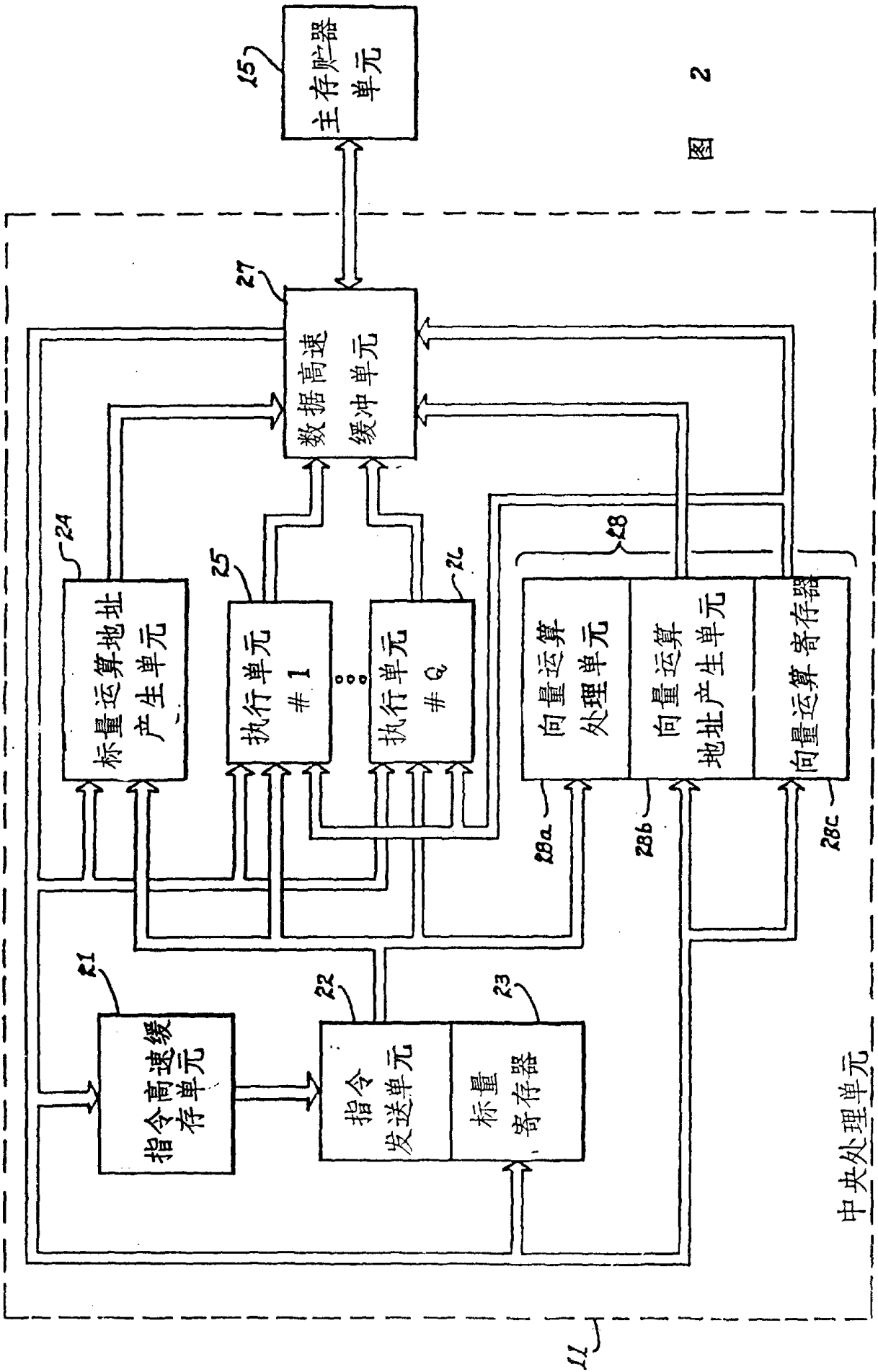


图 2

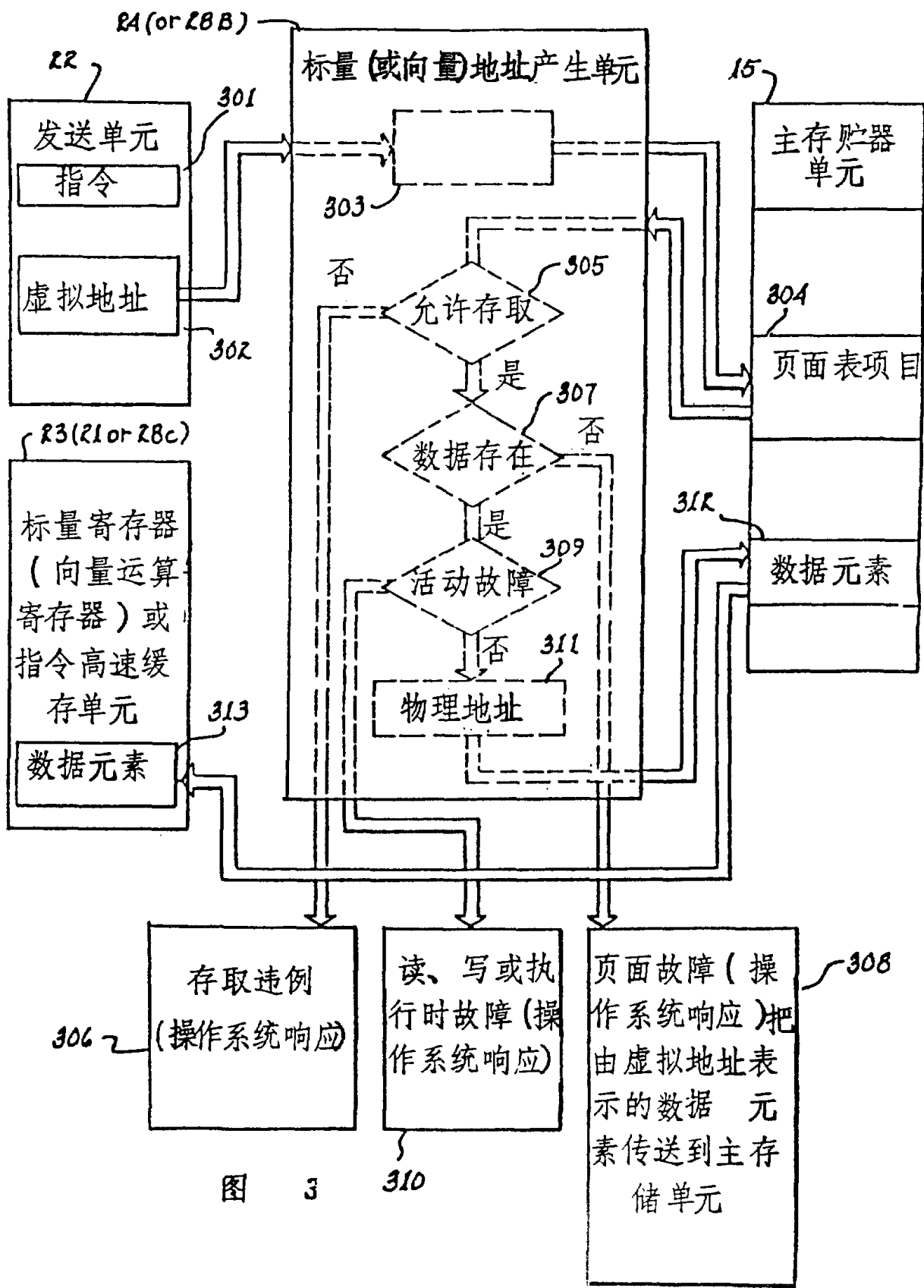


图 3

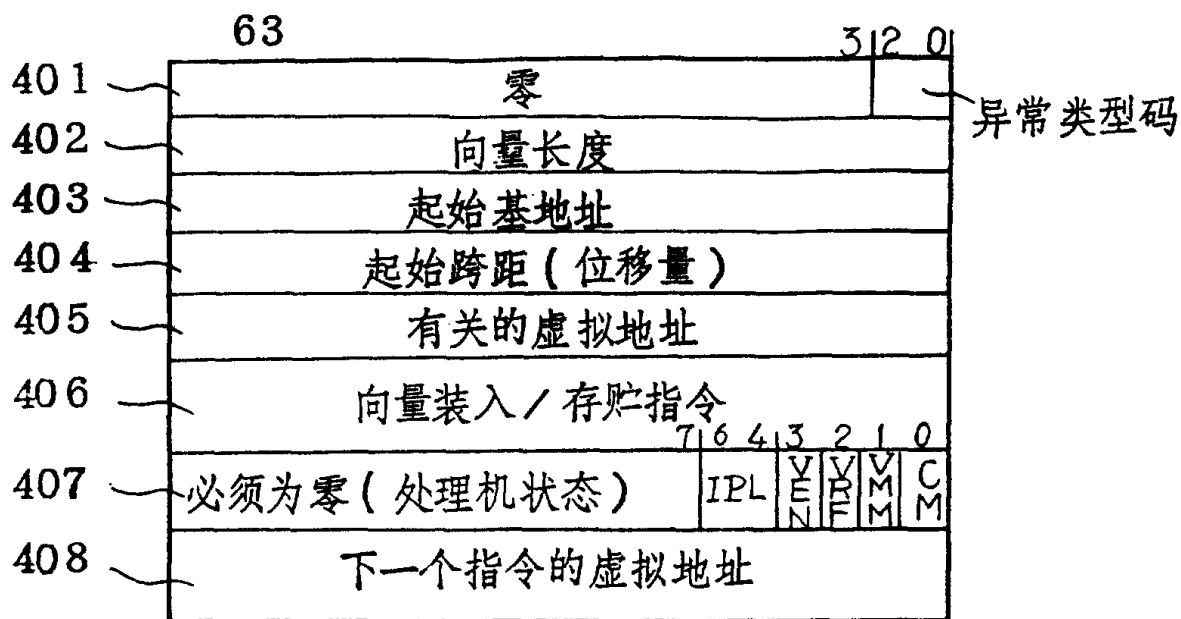


图 4

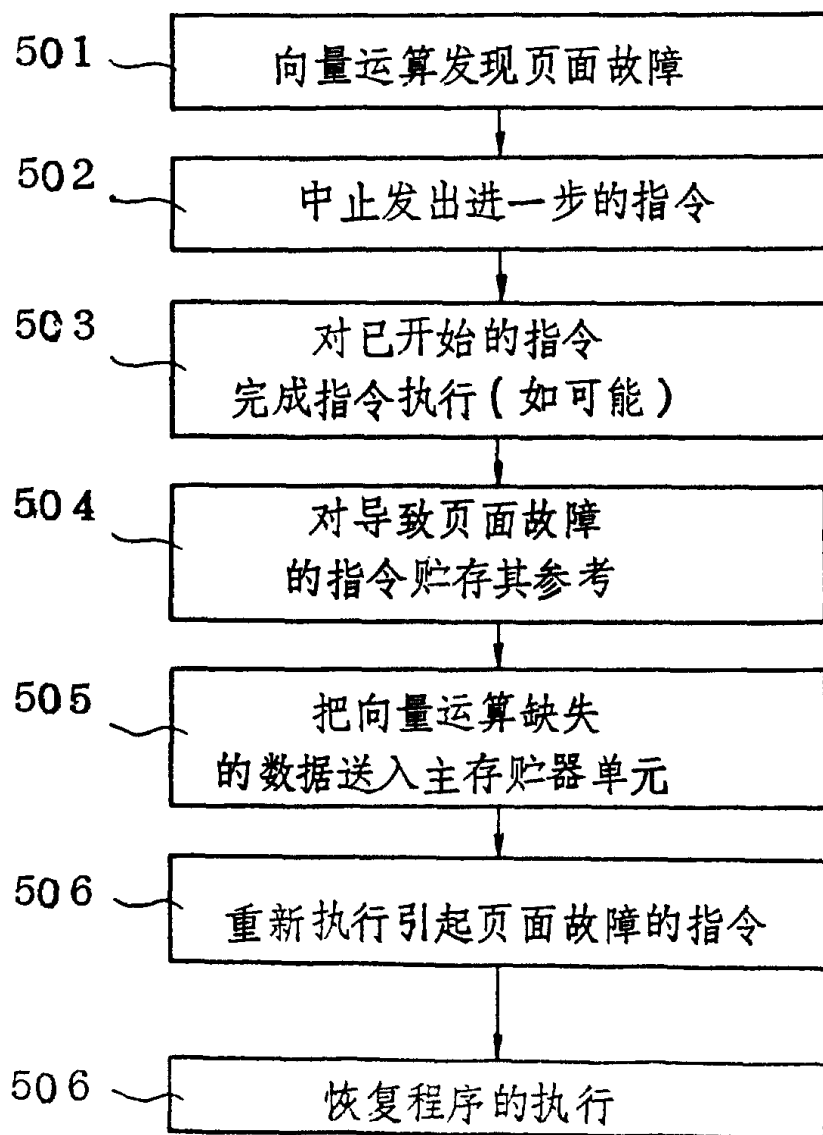


图 5