

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[ 51 ] Int. Cl<sup>7</sup>

H04N 5/21

H05G 1/60 A61B 6/00



# [12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 00135672.0

[45] 授权公告日 2004 年 5 月 26 日

[11] 授权公告号 CN 1151663C

[22] 申请日 2000.12.18 [21] 申请号 00135672.0

[30] 优先权

[32] 1999.12.17 [33] US [31] 09/465313

[71] 专利权人 通用电气公司

地址 美国纽约州

[72] 发明人 P·J·达瓦勒 T·莱比亨

G·M·考茨

审查员 杜江峰

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

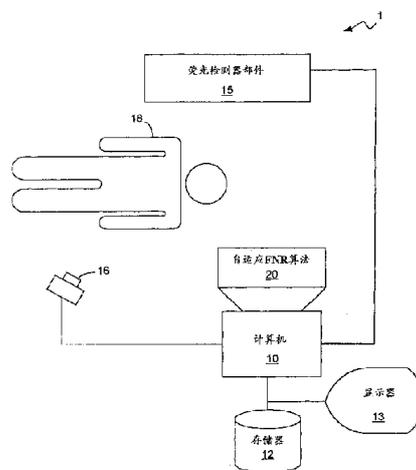
代理人 王岳 王忠忠

权利要求书 3 页 说明书 15 页 附图 8 页

[54] 发明名称 实施自适应降低噪扰的方法和 X 射线荧光系统

[57] 摘要

一种自适应荧光噪扰降低算法，用来对由 X 射线荧光显示系统所获的图象数据实施荧光降噪。FNR 算法用各种数据采集参数产生与荧光 X 射线检测器部件相关的噪扰统计值评估。利用数据采集参数和对用于 X 射线荧光显示过程的对象的知识来预测与对象相关的最小对象对比度。然后用噪扰统计值的评估和对象对比度的预测来修正 FNR 算法的某些变量。噪扰统计值的评估和对象对比度的预测可以在逐个像素的基础上被修正。



ISSN 1008-4274

1. 一种在由 X 射线荧光系统 (1) 获得的图象数据上实施降低荧光  
噪扰的设备, 该系统包括一个荧光 X 射线源 (16) 和一个荧光 X 射线  
检测器部件 (15), 该检测器部件 (15) 位于能接收由 X 射线源 (16)  
5 发出的 X 射线的位置, X 射线源 (16) 在被驱动时以一特定的帧速率发  
射 X 射线, 检测器部件 (15) 响应照射到检测器部件 (15) 上的 X 射  
线而产生并输出由象素构成的图象帧, 每个象素有一个象素值, 该设  
备包括:

和检测器部件 (15) 通信的一台计算机 (10), 该计算机 (10)  
10 接收从检测器部件 (15) 来的象素的图象帧, 该计算机 (10) 经编程  
以执行一个自适应荧光噪扰降低 (FNR) 算法 (20), 该计算机 (10)  
按照自适应 FNR 算法 (20) 处理每个图象帧的各象素值从而在图象帧  
上实施降低噪扰, 噪扰降低是通过对象素值进行按时间的低通滤波而  
实现的, 这些象素值对应于没有运动存在的图象帧中的区域, 而对应  
15 于存在运动的图象帧中的区域上的象素值则是不加滤波的, 自适应 FNR  
算法 (20) 评估 (23) 噪扰统计值和预测 (25) 对象对比度并根据噪  
扰统计值的评估和对象对比度的预测来修正自适应 FNR 算法 (20) 的  
一个或多个变量。

2. 权利要求 1 的设备, 其特征在于其中的噪扰统计值的评估和对  
20 象对比度的预测是在逐个象素基础上修正的 (39, 51) 以得到一个修  
正的噪扰统计值评估和修正的对象绝对对比度预测, 上述的一个或多  
个自适应 FNR 算法 (20) 的变量是根据修正的噪扰统计值的评估和修  
正的对象绝对对比度的预测而修正的 (27)。

3. 权利要求 2 的设备, 其特征在于其中的数据采集参数包括曝光  
25 管理 (EM) 轨迹参数。

4. 权利要求 1 的设备, 其特征在于还包括:

和计算机 (10) 通信的一个显示设备 (13), 该计算机 (10) 使  
得降噪后的图象显示在显示设备 (13) 上。

5. 权利要求 4 的设备, 其特征在于其中的自适应 FNR 算法 (20)  
30 是利用数据采集的参数来评估噪扰统计值和预测对象对比度的, 这些  
数据采集参数是和 X 射线源 (16) 的 X 射线的发射并和照射在荧光 X  
射线探测器部件 (15) 上的 X 射线转换成电信号相关联的, 这些电信

号相当于象素值。

6. 权利要求 4 的设备, 其特征在于自适应 FNR 算法所用的变量包括一个滤波变量 A1, 和一个阈值变量 A2, 滤波变量 A1 被自适应 FNR 算法用来控制对在图象帧中不存在运动的区域中的象素值实施时间滤波的范围, 而变量 A2 则被自适应 FNR 算法用来识别图象帧中不存在运动的区域和图象中存在运动的区域, 变量 A2 的值取决于修正的噪扰统计值评估和修正的对象绝对对比度预测, 当前帧中每一象素的值和前一图象帧中同一个象素的值进行比较以得到一个差值 $\Delta$ ,  $\Delta$ 的值和阈值变量 A2 的值相比较以确定在当前图象帧中的该象素是否对应着当前图象帧中是在运动的, 其中当 $\Delta$ 的值相对于变量 A2 的值在减小时, 则变量 A1 的值被调整以增加所实施的时间滤波的范围, 而其中的 $\Delta$ 的值趋近于变量 A2 的值时, 则 A1 的值被调整以减少所实施的时间滤波的范围。

7. 权利要求 6 的设备, 其中所述自适应 FNR 算法还包括一个时间适应特性来校正采集所述象素值的变化的时间特征。

8. 权利要求 7 的设备, 其中时间适应特性的作用是当数据采集速率下降时增加 A1。

9. 一种在 X 射线荧光系统 (1) 中实施荧光噪扰降低的方法, 该方法包括的步骤为:

用荧光 X 射线检测器部件 (15) 收集 X 射线, X 射线是由以特定的帧速率驱动的 X 射线源 (16) 发射的, 检测器部件 (15) 响应照射在检测器部件 (15) 上的 X 射线而产生并输出由象素构成的图象帧, 每一象素具有象素值;

利用数据采集的参数评估噪扰统计值;

利用数据采集的参数和对相关对象的知识去预测最小的对象对比度, 该相关对象对应于在荧光显示 X 射线过程中所用的对象; 以及

对图象帧实施降低噪扰的过程, 降噪过程利用一个或多个变量, 它们是在对噪扰统计值评估的基础上以及对对象对比度预测 (63) 的基础上作了修正的, 降噪过程是对那些对应于在图象帧中不存在运动的区域中的象素实施按时间的低通滤波而实现的, 其中对于那些对应于图象帧中存在运动的区域中的象素则不实施低通滤波。

10. 权利要求 9 的方法, 其特征在于其中噪扰统计值评估和对象对

比度预测(25)是在逐个象素的基础上修正的(39, 51)以得到修正的噪扰统计值的评估和修正的对象绝对对比度的预测, 还在于其中自适应FNR算法(20)的上述一个或多个变量是按照修正的噪扰统计值的评估和修正的对象绝对对比度的预测而修正的(27, 65)。

5 11. 权利要求10的方法, 其特征在于还包括下列步骤:

将降噪后的图象显示在显示设备(13)上。

12. 权利要求10的方法, 其特征在于其中的数据采集的参数是与由X射线源(16)的X射线发射(31、33、41、43、45)和照射在荧光X射线检测器部件(15)上的X射线转换(35, 47)成为电信号相关联的, 这些电信号对应于象素值。

13. 权利要求12的方法, 其特征在于其中的数据采集的参数包括曝光管理(EM)轨迹参数。

14. 权利要求10的方法, 其特征在于其中的降噪过程是由与检测器部件(15)相通信的计算机(10)所执行的自适应荧光显示噪扰降低(FNR)算法所实施的, 该自适应FNR算法(20)利用一个滤波变量A1(69), 和一个阈值变量A2, (67), 滤波变量A1被自适应FNR算法(20)用来(69)控制对在图象帧中不存在运动的区域中的象素值实施时间滤波的范围, 而变量A2则被自适应FNR算法(20)用来(67)识别图象帧中不存在运动的区域和在图象中存在运动的区域, 变量A2  
20 的值取决于(61, 63)修正的噪扰统计值评估和修正的对象绝对对比度预测, 当前帧中每一个象素的值和前一图象中同一个象素的值进行比较以得到一个差值 $\Delta$ ,  $\Delta$ 的值和阈值变量A2的值相比较以确定在当前图象帧中的该象素是否对应着当前图象帧中是在运动的, 其中当 $\Delta$ 的值相对于变量A2的值在减小时, 则变量A1的值被调整以增加所实施的时间滤波的范围, 而其中 $\Delta$ 的值趋近于变量A2的值时, 则变量A1的值  
25 被调整以减少所实施的时间滤波的范围。

15. 权利要求14的方法, 其特征在于由计算机执行的FNR算法还包括一个时间适应特性来校正采集所述象素值的变化时间特征。

16. 权利要求15的方法, 其中时间适应特性的作用是当数据采集  
30 速率下降时增加A1。

## 实施自适应降低噪声的方法和 X 射线荧光系统

### 技术领域

- 5 本发明涉及 X 射线荧光系统，具体地讲，涉及在由 X 射线荧光系统所获得的图象数据上实施自适应降低荧光噪声的算法的方法和设备。

### 背景技术

- 10 在 X 射线荧光系统中，要在由 X 射线荧光系统的荧光 X 射线检测器所获得的图象画面上实现一种称作为降低荧光噪声 (FNR) 的处理。FNR 处理的目的是滤除图象数据中的噪声但同时保留图象数据中的对比度信息。为了做到这点，要在没有运动的图象的区域上实施对时间的滤波。在有运动的图象的区域，则不执行滤波。

- 15 FNR 一般是通过对画面中没有运动的区域对图象画面进行时间上取均值而实现的。利用对逐个象素的运动检测来确定各个画面之间的图象数据存在或不存在运动。因此，逐个象素的运动检测是 FNR 处理中最关键的阶段之一，因为运动检测的精度影响在图象中的活动对象对比度的保持，例如对导引线或印模的对比度。

- 20 当前的 FNR 技术依赖于规定运动检测的全局性极限，这些极限适用于整个图象。这些极限会影响在图象数据上所实施的取时间均值的强度和范围。当前的 FNR 技术的缺点之一是这种全局性极限是在事先规定的，而这种规定是针对整个图象的，它并没有考虑到图象统计数字在空间的非静态的特性。此外，全局性极限并没有考虑下列事实，即对象的对比度和噪声是 X 射线荧光系统的曝光管理 (EM) 轨迹参数和其它采集参数的函数。

- 25 噪声统计值是随 X 射线荧光检测器的检测器元件中的均值光子而变的函数，而检测器又取决于背景、被摄象的对象、以及所用的 EM 轨迹。另外，X 射线荧光系统的板面参数也在给定的 EM 轨迹下把光量子噪声转换成数字信号中起着重要作用。因此在实现运动检测及在确定  
30 要在图象数据中所实施的时间滤波的范围中希望能够提供这样一种 X 射线荧光系统，它能考虑到噪声统计值、对象对比度和其它系统参数。

### 发明内容

因此，存在这样一种需要，即需要一种实施降低荧光噪扰的方法和设备，它们在确定图象中哪些部分需要按时间滤波时要用到噪扰统计值、对象对比度和其它系统参数，并且还要确定要实施按时间滤波的范围。

- 5 本发明提供一种自适应降低荧光噪扰 (FNR) 的算法，用于对由 X 射线荧光系统所采集的图象数据实现荧光降噪。这个 FNR 算法利用各种数据采集的参数来产生对与 X 射线荧光系统的荧光 X 射线检测器部件相伴随的各种噪扰统计值的评估。FNR 算法利用数据采集参数和关于在 X 射线荧光处理中所用的对象的知识来预测在给定的采集条件、成  
10 象几何形状和病人大小下与对象相关联的对比度。然后这种噪扰统计值的评估和对象对比度的预测被用于去修正 FNR 算法的某些变量。

- 噪扰统计值的评估和对象对比度的预测是在区域性的基础上也就是在逐个象素的基础上进行修正的。然后 FNR 算法的变量利用修正过的噪扰统计值和修正过的对象对比度来修正。因此，FNR 算法的变量能够  
15 在区域的或逐个象素的基础上被修正。

本发明的这些和其它的特点和优点将通过下面的说明、附图和权利要求而变得更加清楚。

#### 附图说明

- 图 1 是 X 射线荧光系统的功能性方块图。
- 20 图 2 是表明本发明的一个实施例的自适应 FNR 算法的流程图。
- 图 3 是说明按照优选实施例为了评估噪扰统计值而由图 2 所示的流程图所表示的 FNR 算法所实现的功能的流程图。
- 图 4 是说明按照优选实施例在预测相关对象的对比度中由图 2 所表明的流程图所示的 FNR 算法所实现的功能的流程图。
- 25 图 5 是按功能来说明按照优选实施例的本发明的 FNR 算法的各组成部分的方块图。
- 图 6 是对时间采样率为每秒 30 帧 (fps) 和 15fps 时系统响应的匹配的图解表示。
- 图 7 是对时间采样率为每秒 30 帧 (fps) 和 7.5fps 时系统响应的  
30 区配的图解表示。
- 图 8 是按照本发明在不同的采样速率下用于降低荧光噪扰的校正系统的预期加权值的图解描绘。

### 具体实施方式

图 1 是说明本发明的 X 射线荧光系统的功能性方块图，该系统实施本发明的自适应 FNR 算法。本发明的 X 射线荧光系统 1 包括一个荧光 X 射线源 16，它把 X 射线投射到病人 18 的身上，还包括一个荧光 X 射线检测器部件 15，它检测投射于其上的 X 射线并产生荧光图象数据。系统 1 还包括一台对由荧光 X 射线检测器部件 15 产生的荧光图象数据进行处理的计算机 10、存储器设备 12 和显示监视器 13。

正如熟悉本技术的人们所理解的，本发明的自适应 FNR 算法 20 并不局限于针对利用自适应 FNR 算法 20 的那种类型的 X 射线荧光系统。熟悉本技术的人们还会理解，X 射线荧光系统 1 也并不局限于任何特定的部件。例如，本技术中人们都知道，各种不同的荧光 X 射线检测器部件可以用来收集 X 射线并用来产生荧光 X 射线图象数据。人们还都知道，可以得到各种不同的荧光观察系统，它们都适合用于 X 射线荧光系统。

荧光 X 射线检测器部件 15 最好包括一个数字平面型的 X 射线检测器。在本技术中数字平面 X 射线检测器是已知的。适合使用于本发明中的这种类型的检测器使用碘化铯闪烁器，它吸收 X 射线的光子并将它转为可见光。光被包含在检测器中的光敏二极管阵列转变成电能。检测器包括读出电子电路，它将在每个象素上的电子电荷转变成数字数据，后者适合于被计算机 10 进行图象处理。

但是，其它类型的检测器也适用于本发明。例如，图象增强器（未示出）接收 X 射线并将 X 射线转换成可见光子，然后光子再转换成为电模拟信号。这些电模拟信号可以再转换成适合于由计算机 10 处理的数字信号。

计算机 10 连接到荧光 X 射线源 16 和荧光 X 射线检测器部件 15。计算机 10 控制由荧光 X 射线源 16 和荧光 X 射线检测器部件 15 合作实行的数据采集过程。计算机 10 可以和一个存储设备 12 相连，它可以用来存程序和数据。计算机 10 最好还连接到显示监视器 13 以便在显示监视器 13 上能够显示按照自适应 FNR 算法 20 处理过的 X 射线图象数据。

按照本发明的一个实施例，自适应 FNR 算法 20 是由软件实施的，该软件由计算机 10 执行。但是，熟悉本技术的人们将会理解，自适应

FNR 算法 20 可以仅仅用硬件来实现，也可以用硬件和软件的组合来实现。应该指出，计算机 10 并不局限于任何特定类型的计算机。如在这里所使用的这个术语，术语“计算机”的本意是指任何能够实现本发明的任务所需要而去执行运算或计算的机器。本质上，这包括任何机器，它能够接受结构化的输入并按照预定的规则处理这些输入以产生一个输出。因此，熟悉本技术的人们会理解，计算机 10 并不局限于任何特定的物理的、结构的或电气的配置。

图 2 是说明本发明的自适应 FNR 算法 20 的各种功能的流程图。如上所述，本发明的自适应 FNR 算法 20 评估噪扰统计值和预测所关心的对象的对比度。FNR 算法 20 最好在区域性的或逐个象素基础上来修正噪扰评估和对比度预测。然后修正的噪扰评估和对比度被 FNR 算法所利用以便适应性地规定 FNR 算法 20 的运动检测的窗口和适应性地规定要在图象数据上实施的时间滤波的范围。如在这里所用的，“适应性地规定”及其类似的提法是指去改变那些对从背景上识别要被成象的对象进行控制的参数和改变那些针对时间滤波的范围的参数，这里将进一步说明。应该指出，没有必要在区域性的基础上修正对噪扰统计值的评估和对对象对比度的预测。FNR 算法 20 能够在没有在区域性的基础上修正对噪扰统计值的评估和对对象对比度预测的情况下得到充分的实施。但是，如果它的参数是使用了在区域性的基础上修正的噪扰统计值评估和对象对比度预测而作了修正，那么 FNR 算法 20 将以更好的坚固性（鲁棒性）来实现（例如，提供改进了的对象识别程度和降低噪扰）。因此，本发明将按照一个实施例来说明，在该实施例中噪扰统计值评估和对象对比度预测是在区域性基础上修正的。

为了评估伴随着输入图象的噪扰统计值，首先要确定平均光子计数，如方块 21 所示。荧光 X 射线检测部件通常称作为平坦面板（平板），它具有有限的增益，这个增益是和平板的转换系数有关的。噪扰的数量是从和平均光子计数相伴随的电子数目来评估的，如方块 23 所示。有关与荧光 X 射线检测器部件 15 相伴随的噪扰统计值的确定方式将在下面对照图 3 作详细的讨论。

一旦噪扰统计值被确定，就预测相关对象的对比度，如方块 25 所示。在实时荧光成象中，像印模或导引线这样的对象是在病人的身体中在由 X 射线荧光系统所成象的区域内操纵的。对象的对比度将取决

于许多因素，包括对象的形状、大小和对象的组成。对象的对比度还取决于其它一些因素，包括病人的大小和荧光 X 射线检测器部件的特性、成象几何外形和 X 射线源。

5 通过把这些因素都考虑到之后，就可以产生一个模型，它将预测在一组给定的采集参数的情况下病人体内对象的对比度。熟悉本技术的人们会懂得产生这样一个模型的方式。因此，为了简明起见这里将不提供像印模这样的有关对象建模方式的详细讨论。

10 还应该指出，对相关对象的对比度的预测这一步骤通常是以查找表（未示出）的形式实现的。要生成在 X 射线荧光显示中经常使用的各种不同对象的模型，并把有关对象的对比度的预测以及这些预测都存放在查找表中。在对病人实施 X 射线荧光显示之前，实施这一步骤的人员把有关对象的和病人的大小和体重的数据输入到 X 射线荧光显示系统 1 中。可能包括在例如存储设备 12 中的查找表就输出一个最小的对比度预测，这个预测是和由实施这一步骤的人员所输入的信息和  
15 系统的采集参数相关联的。

然后，这个对比度预测和噪扰统计值评估就在有必要的情况下去修正 FNR 参数，如方块 27 所示。然后 FNR 算法 20 就利用修正的 FNR 参数去实施降低荧光噪扰以修正运动检测窗口和所实施的时间滤波的范围，如方块 29 所示。和对象相关联的绝对对比度，在这里也称作灰度级差，以及噪扰统计值评估一般是以实时方式在区域的基础上被修正或更新，从而使 FNR 算法的参数能够在区域的基础上被修正。与对象相关联的灰度级差和噪扰统计值评估的在区域性基础上进行修正的方式将在下面参考图 3 和 4 加以讨论。  
20

在详细说明本发明的 FNR 算法 20 之前，将首先提供有关曝光管理  
25 （EM）参数和这些参数如何影响噪扰统计和对象对比度的方式的讨论。在一次 X 射线荧光显示期间，X 射线由 X 射线源 16 以一个特定的帧速率照射，这个帧速率一般是在每秒 5 到 30 次这个范围之内。X 射线用给定的峰值电压照射，这个电压通常为以 KVp 表示的若干千伏。X 射线源 16 通常是以毫安级（mA）的电流来驱动。X 射线荧光检测器部件 15 具有与它相关联的检测剂量，它的特性取决于 X 射线的频谱（即  
30 作为能量的函数的 X 射线光子的分布）、频谱滤波器、衰减途径、用来驱动 X 射线源 16 的电流，以及成象几何形状。

频谱滤波器一般由铜组成，铜能够过滤 X 射线。频谱滤波器（未示出）一般位于 X 光束途径中靠近 X 射线源 16 的地方。在数据采集期间，通过对 X 射线源 16 的 X 光管加上一定持续时间的脉冲而得到每一帧，这个持续时间通常称为 X 射线源 16 的脉冲宽度。脉冲宽度的典型值在 1 到 20 毫秒之间。源到象的距离 (SID) 和源到对象的距离 (SOD) 决定了对象的放大倍数。

曝光管理 (EM) 参数包括了所有这些采集参数，即脉冲宽度、帧速率、X 光管的峰值电压 (KVp)、用于驱动 X 射线源 16 的电流、频谱滤波器以及检测器剂量。通常在 X 光束的途径中靠近 X 射线荧光检测器部件 15 的地方要放置一个栅网（未示出）。这个栅网减轻了由于散射的光子所引起的对比度的降低，但是也进一步衰减了 X 光束。非无限小的焦点束斑的大小减少了对比度，尤其是对于小尺寸的对象，这种减小和放大倍数有关。这些因素也是曝光管理的因素，它们应该在确定对象的对比度时加以考虑。对比度还和组成对象的材料高度相关。一般说来，由具有高原子序数的元素所构成的材料能更有效地吸收 X 射线的光子，因此会产生比起背景来更高的对比度。

所有这些因素都影响对象的对比度。这些因素中的某些因素也会影响图象数据中所包含的噪扰的数量。因此，这些参数也被用来评估噪扰的统计值和预测图象中对象的对比度。在评估噪扰统计值和预测对象对比度中如何考虑这些因素的影响的方式将参考图 3 和 4 而在这里加以讨论。

图 3 是从功能上说明为了评估噪扰统计值而实施的各个步骤的流程图。图 3 的流程图相当于由图 2 中方块 23 所代表的步骤。如上所述，X 射线的频谱相当于作为与光子相关联的能量的函数的光子的分布，这种分布取决于峰值电压 (KVp)、靶体材料和 X 光束与靶体所夹的角度。与荧光 X 射线检测器部件 15 相关联的 X 射线的频谱最好是在执行 FNR 算法 20 之前先行计算出存放在像存储设备 12 这样的存储器的文件中。在文件中存放着对于每一个峰值电压、靶体夹角和靶体材料的 X 射线频谱。在文件中存放的 X 射线频谱最好对应于驱动电流为 1 毫安 (mA) 的 X 射线源。

为了得到与检测器部件 15 相关联的 X 射线频谱，FNR 算法 20 从存放在存储器中的文件中获得对应于给定的峰值电压、靶体夹角和靶体

材料的相应的频谱文件。然后要修正光通量以便将所用的任何频谱滤波器考虑进去，同时还要考虑与病人身体相关的滤波特性，如方块 33 所示。利用在典型的 X 射线荧光系统中正常会实施的大小预测器来预测通过病人的丙烯酸等价衰减系数（就是说，用丙烯酸材料来模拟组织）。在实施这一步骤之前，在频谱文件中相关联的通量还要根据 X 光管的效率和实际所使用的电流值来定标。

然后，根据 X 光管的内在滤波特性、频谱滤波器和丙烯酸等价病人的厚度进一步修正频谱文件，而且对在检测器上的 X 射线频谱的吸收进行建模，如方块 35 所示。一旦这些步骤都实现之后，就对平均的背景评估其噪扰统计值，这时还要考虑到检测器部件 15 的性质和与所用的 X 射线剂量相关联的电子噪扰的影响，如方块 37 所示。

为了评估噪扰统计值，要通过将散射的和主要的成分两者合并起来而计算对应于修正了的 X 射线频谱的每个象素的光子数。然后计算所得到的修正过的 X 射线频谱的“斯旺克因子”（“Swank Factor”）。术语“斯旺克因子”在文献中是众所周知的，它是因为在闪烁器中进行转换过程的 X 射线有非单一能量的特性而得来的。利用在步骤 35 中所产生的对修正的 X 射线频谱的吸收模型，通过确定与吸收模型相关联的光子数量和通过预测光子变成电子的转换，在次象素的基础上计算对于所产生的背景的能量。

一旦光子已经转变成为电子，在考虑到由于闪烁器的平滑作用而导致的任何噪扰的降低，就可评估与电子相关联的噪扰统计值。在评估了噪扰统计值之后，就利用区域性的平均值来对噪扰统计值进行定标，这个区域性的平均值是利用按照本发明的 FNR 算法 20 经过降低噪扰后的图象帧计算而得的，如方块 39 所示。区域性的平均值可以很简单地通过对最靠近降噪过的图象帧中有关象素相邻的一群象素取平均值而获得。因此，噪扰统计值的评估是在区域性的基础上利用这个区域平均值而修正的。

熟悉本技术的人将会理解，上面所讨论的在评估噪扰统计值中所实施的各步是优选的，但对于本发明来说并不是必需的。熟悉本技术的人们将会理解上面所讨论的为了评估噪扰的过程所用的方式可以通过消除或修改某些步骤而变化。选择上面参考图 3 所讨论的用来评估噪扰统计值的步骤的特定组合是因为它优化了本发明的自适应 FNR 算

法的性能。熟悉本技术的人们将会理解这些参数可以用于评估噪扰统计值中的方式。

在评估了噪扰统计值之后，相关对象的对比度就可进行预测，这个对象可以是举例而言一个印模。不过，这些步骤不一定要按上述次序进行；对比度预测可以在评估噪扰统计值之前得到。图 4 是说明由本发明的自适应 FNR 算法 20 在预测相关对象的对比度时所执行的各个步骤的流程图。图 4 的流程图对应于图 2 中方块 25 所代表的步骤。预测相关对象的对比度的过程最好在对病人实施荧光 X 射线过程之前实现。因此，各种不同的相关对象的对比度最好是事先计算并存放在存储器中（例如一个查找表），而存储器可以是存储设备 12。实时的散射评估是在过程期间得到的，它用于更新事先计算的对象对比度。

应该指出，这里所用的术语“对比度”是指有关对象的灰度级强度和背景强度之间的差别，并把该差别除以背景强度。换句话说，如果背景强度用变量 A 来表示，而对象的强度用变量 B 来表示，则对比度定义为  $(A - B) / A$ 。如上所述，对比度或强度差别是预测的或预先计算的。然后通过评估区域性的平均值，预测的强度差别在区域的基础上也就是在逐个象素的基础上被更新。为了将最好是预先计算好的预测的对比度和利用区域均值修正以后的对象对比度区别开来，在这里将把前者简单地称之为“对比度”，而后者在这里将称之为“绝对对比度”。

当选择了一个特定的记录时，即当选定了 X 射线的参数和相关的对象后，查找表就输出与该选定对象相关联的对比度预测。然后该预测就在对病人实施的 X 射线处理期间由本发明的自适应 FNR 算法 20 所使用。采集参数最好被用来得到查找表的地址。对比度预测被自适应 FNR 算法 20 所使用的方式将在下面参考图 5 而详细讨论。

预测相关对象的对比度的第一步是产生 X 射线的频谱，如方块 41 所示。这一步骤和图 3 中的方块 31 所表示的步骤基本上相同。在 X 射线频谱产生之后，就将在检测器上产生图象背景，如方块 43 所示。在这一步中，自适应 FNR 算法 20 使用上面讨论过的病人的大小预测器来预测通过病人的丙烯酸等值衰减。通过根据检测器部件 15 的闪烁器材料和可见光子的产生而对修正的 X 射线频谱的吸收所作的建模，并通过可见光子转换成电子的预测，在次象素的基础上对背景来计算积聚

在检测器部件 15 上的能量。然后再考虑到这样一些因素，如与成象几何相关联的散射光和主要光的影响、病人的厚度以及栅网的性能等来获得最后的图象背景。

在检测器上产生图象背景之后，产生对象的轮廓，如方块 45 所示。  
5 相关对象的形状和相关对象的组成是已知的。在给定的过程中要使用的医疗记录也是已知的，例如当选择了带有导引线的介入型荧光显示记录时，要优化的对象一般就是直径为 0.014 英寸的导引线。另一方面，对于诊断型导管化记录，要优化的对象则是引导用的导管。另一种医疗记录类型的例子是对比注入过程。在这种类型的过程中，相关的对象是预定直径的动脉，其中充满了对比材料。  
10

由于相关对象的形状和特性是已知的，因此 X 射线束会遇到的衰减途径就可以产生。只要相关对象的形状和特性是已知的，而且要使用的医疗记录和与其相关的采集参数是已知的，那么了解本技术的人就懂得能够产生这样的一条衰减途径的方式。因此，对于一个具体的  
15 相关对象产生这样一条衰减途径的方式的详细讨论为了简单起见将不  
在这里提供。

然后利用源到象的距离 (SID) 和源到对象的距离 (SOD) 之比来得到相应的几何放大倍数。相关对象的投影图象就利用所得到的几何放大而生成。这是产生对象轮廓的最后一步。一旦产生了对象的轮廓，  
20 对象在检测器部件 15 上的投影就可产生，如方块 47 所示。

在产生在检测器部件 15 上的对象投影时，上面所讨论的病人大小预测器被用来预测通过病人的丙烯酸等值衰减。然后根据病人的等值丙烯酸厚度来修改与修正过的 X 射线频谱相关联的 X 射线通量。然后这个修改过的 X 射线通量被用来产生放大对象的投影。

25 然后，通过对修正后的 X 射线频谱在相应的检测器部件 15 的闪烁材料上的吸收的建模，所产生的可见光子的数量、和可见光子变成电子的转换，可以在次象素的基础上计算相关对象在检测器部件 15 上积聚的能量。然后合成图象上的所有各点都被背景所取代，这个背景是由方块 43 所表示的步骤在不存在对象的地方获得的。然后根据检测器  
30 部件 15 的调制转移函数 (MTF) 来修改投影，这个函数对于给定的荧光检测器部件来说一般都是已知的。

通过考虑有限聚焦束斑的模糊性，投影要作进一步的修正。然后

根据由成象几何尺寸、气隙、视场、病人厚度和栅网性能进行建模所得的散射的及主要的分量对投影进行修改。再把荧光显示系统 1 的固有的时间延迟考虑进去以得到在检测器部件 15 上的最后的对象投影。熟悉本技术的人们会懂得利用这些参数以预测相关对象的对比度的方式。

在对象的对比度得到预测之后，随着图象帧的采集，对比度以实时方式在区域性基础上逐个象素地被定标以便产生由对象产生的灰度级差或绝对对比度。图 4 中的方块 49 和 51 分别表示区域均值的计算和根据区域均值所作的对象对比度的定标。

就像熟悉本技术的人们所理解的，上面所讨论的在预测相关对象的对比度中所实施的许多步骤是可以省略或修改的。熟悉本技术的人们知道，对于本发明许多这样的步骤是可取的但并不是必需的。上面所讨论的用于预测对象对比度的各个步骤的组合是可取的，因为它优化了本发明的自适应 FNR 算法 20 的性能。熟悉本技术的人们会理解为了修改本发明的自适应 FNR 算法 20 而修改或干脆省略某些步骤的方式。熟悉本技术的人们也会懂得所有这些都对本发明的自适应 FNR 算法 20 的修改是在本发明的范围之内。

如上面针对图 2 所述，一旦评估了噪扰统计值并预测了相关对象的对比度后，评估的噪扰统计值和预测的对比度就在区域基础上加以修正以得到区域性的评估的噪扰统计值和与对象相关联的区域性的绝对对比度。修正的噪扰统计值和对比度用于适应性地改变 FNR 算法 20 的参数。然后通过利用修正的参数，如有需要，去改变运动检测的窗口和在图象上实施的时间滤波的范围来实施降低荧光显示噪扰。这些功能的实施方式将在下面参考图 5 而说明。

图 5 是说明按照优选实施例的本发明的自适应 FNR 算法 20 的各个功能部件的方块图。方块 47 表示运动辨识过程而方块 53 表示噪扰降低过程。这些方块以及方块 43、45 和 51 将在下面详细讨论。但是，在详细讨论所有这些方块之前，先提供关于如何获得方块 51 中所示的变量 A1 和 A2 的方式的讨论。

在得到了修正的噪扰统计值和绝对对比度之后，这些变量被用来修正 FNR 算法 20。按照本发明的优选实施例，降低荧光噪扰是按照下列等式进行的：

$$Y_i(n) = f_1(\Delta, \text{NOISE}, \text{CONTRAST}, \text{STRENGTH}, \text{EM}) * X_i(n) + (1 - f_1) * f_2(Y_{iir}(n), \bar{X}(n), \bar{Y}(n-1), \text{EM}), \quad (\text{式 } 1)$$

这里  $Y_i(n)$  表示在当前的帧  $n$  中当前象素  $i$  的输出值，而  $X_i(n)$  表示当前帧  $n$  中当前象素  $i$  的输入值。变量  $\Delta$  表示在低通滤波过的帧  $n$  中的象素  $i$  的输入值和和低通滤波过的输出帧  $n-1$  中的同一个象素的输出值之间的差，该  $n-1$  帧相当于前一帧。因此，变量  $\Delta$  可表示为  $\bar{X}_{bar}(n) - \bar{Y}_{bar}(n-1)$ 。

变量  $\text{EM}$  表示曝光管理轨迹参数，而变量  $\text{STRENGTH}$  表示滤波器的基线强度，后者最好由用户选定。参数  $\text{NOISE}$  和  $\text{CONTRAST}$  分别表示修正的噪扰统计估值和修正的对象绝对对比度，它们是以上面参考图 1-4 所讨论的方式得到的。变量  $Y_{iir}(n)$  表示不存在任何运动检测的情况下按时间平均的响应。它是由简单的递归等式按时间取平均值的，即  $Y_{iir}(n) = A_1 * Y_{iir}(n-1) + (1 - A_1) * X(n)$ 。变量  $A_1$  将在下面详细讨论。

函数  $f_1$  乘以  $X_i(n)$ ，这相当于在帧  $n$  中的输入象素  $i$  的值。这个函数确定了包含在帧  $n$  中的象素  $i$  的输出值中帧  $n$  的输入象素  $i$  的值的百分比，这里象素  $i$  的输出值由  $Y_i(n)$  表示。在等式 1 中可以看到，在确定在象素  $i$  输出值中所包含的输入象素  $i$  值的数量中区域的噪扰统计值评估和区域的对比度预测都已被考虑在内。换句话说，在确定要在输入象素上实施的时间滤波的范围时区域的噪扰评估和区域的对比度预测是被考虑在内的。在确定要在输入象素上实施的时间滤波的范围时曝光管理 ( $\text{EM}$ ) 参数也是予以考虑的。

函数  $f_2$  通常表示经过时间滤波也就是经过降噪的过去的输入图象和过去的输出图象的某些组合。因此，帧  $n$  的象素  $i$  的输出值保留着一定百分比的在象素  $i$  的输出值  $Y_i(n)$  中的这些过去已滤波的值。

因此，函数  $f_1$  和  $f_2$  以一种类似于比例增减 (滑动比例) 的方式工作，也就是当运动存在时，在象素  $i$  的输出值中包含着更多或全部的象素  $i$  的输入值而较少的或没有经时间滤波的图象。相反，当运动不存在时，在象素  $i$  的输出值中包含着较少的象素  $i$  的输入值而更多的经时间滤波的图象。

等式 1 可以改写成如下方式：

$$Y_i(n) = f_1(\Delta, A_2, \text{STRENGTH}, \text{EM}) * X_i(n) + (1 -$$

$$f1) * f2(Y_{iir}(n), X\text{-bar}(n), Y\text{-bar}(n-1), EM), \quad (\text{式 } 2)$$

变量 A2 是从按区域修正的噪扰统计评估和绝对对比度预测获得的。因此，在等式 1 中所表示的 NOISE 和 CONTRAST 预测变量在等式 2 中用变量 A2 来取代。虽然由于 A2 是和噪扰统计值评估及对象对比度预测是相关的这一事实而使变量 A2 已考虑到了 EM 参数，但在等式 2 中，EM 仍然作为独立的变量而出现。这为下列情况提供了灵活性，那就是 f1 可以通过允许将 EM 参数的改变分解到等式 2 中来实施而不需要 A2 值的改变。

变量 A2 的作用是作为在输入图象中检测运动所用的阈值。变量 A2 的值要根据按区域修正的噪扰统计值评估和对象绝对对比度预测而修正。因此，变量 A2 的值是在区域性基础上修正的。通过在区域性的基础上自适应地改变变量 A2 的值，FNR 算法 20 的运动识别窗口也是在区域的基础上修正的。

变量 A2 的值和  $\Delta$  的值相比较以确定函数 f1 的值。具体地说，当  $\Delta$  小于 A2 的值时，FNR 算法 20 就作出确定，即不存在运动，等式 2 可以这样改变，即函数 f1 可以直接设置成等于变量 A1 的值。函数 f2 则设置成等于  $Y_i(n-1)$ ，它是在前面的帧中象素 i 的输出值。

当  $\Delta$  小于 A2 的值时，函数 f1 和 f2 可表示为：

$$f1(\Delta, A2) = A1 \quad (\text{式 } 3)$$

$$f2 = Y_i(n-1) \quad (\text{式 } 4)$$

因此，等式 1 可以重新写成：

$$Y_i(n) = A1 * X_i(n) + (1-A1) * Y_i(n-1) \quad (\text{式 } 5)$$

当  $\Delta$  大于 A2 的值时，函数 f1 设置成等于 1 且输出象素的值就被赋以输入象素的值而不实施时间滤波。应该指出，如在等式 1 和 2 中所表达的函数 f2，比起在等式 4 中所给出的这一函数的表达式而言，是这一函数更为通用的表达式。在等式 1 和 2 中所表达的函数 f2 允许保留在 FNR 过程的输出中的过去图象数据的类型是可以极大地变化的，这将提高对 FNR 过程进行优化的能力。

变量 A1 的值最好是根据  $\Delta$  和变量 A2 之间的差值来变化。当  $\Delta$  远小于变量 A2 的值时，输入象素明显地是在运动识别窗口之外。因此，在这种情况下，在输入象素上所实施的时间滤波的范围将比较大。相反，当  $\Delta$  只是略小于变量 A2 的值时，这个差值表明在有运动的区域和无运

动的区域之间的图象中的一个边界。在这个区域内，在输入象素上实施的时间滤波将是较小的。

因此，为了实施运动识别，FNR 算法 20 所利用的分界机制是非线性的，因为当 $\Delta$ 小于变量 A2 的值时， $\Delta$ 和变量 A2 的值之间的差值的大小决定了要实施的时间滤波的范围。但是，不仅仅分界机制是非线性的，而且它还是在区域性基础上可修正的，这导致了运动识别窗口和所实施的时间滤波的范围也是在区域性的基础上可修正的。NFR 算法 20 的这种总体的可修正性允许对荧光显示噪扰降低进行优化并且可以在逐个象素和逐帧基础上进行动态修正。熟悉本技术的人们会懂得提供能够以这种方式进行修正的 FNR 算法的优点。

如上所述，图 5 是说明本发明的自适应 FNR 算法 20 的功能部件的方块图。方块 47 表明运动检测过程，在此过程中 FNR 算法 20 确定输入象素是否对应着图象帧中的运动。方块 53 表示当作出了输入象素是对应着运动的决定时所进行的降噪过程。方块 43 和 45 分别表示在区域的基础上评估噪扰统计值的过程和在区域的基础上预测相关对象的绝对对比度的过程。方块 51 表示利用修正的噪扰统计值的评估和修正的绝对对比度去相应地修正参数 A1 和 A2。

从方块 51 指向方块 47 和 53 的箭头表明，在降低噪扰过程期间使用了参数 A1 和在运动识别过程期间使用了参数 A2，如上面参考了等式所说明的那样。参数 A2 用来修改参数 A1，然后它被用来按上面参考等式 5 所说明的方式实施噪扰降低。

系统的数学建模可以用来作为对修正的参数规定其设置的一种手段。当 EM 参数或病人的特性变动时，其它的系统参数通过考虑系统模型而从它们的正常工作值被修改以便在 X 射线成象过程中保持相类似的质量。

例如，一个 EM 参数帧采集速率的改变可能是需要的以便服从规定的剂量限制。不同的帧速率会影响可见的图象质量。本发明的 FNR 算法可以被修正以包括一个时间适应特性来考虑到过程的时间特性（如在这里所用“适应于”及其类似的措词指的是把算法编程或嵌入到计算机或芯片中以便根据算法所希望的用处来处理数据）。通过考虑整个系统的时间模型，可以导出一个修正 FNR 参数的方法以便在该“系统”中提供相同的成象性能。这个“系统”被说成是包括 X 射线源、

对象/背景、X射线检测器、处理过程、监视器、以及人类观察者。为了说明的目的，提出了系统的一个简单的模型。对于包含低延迟的检测器平板和短持续时间的X射线脉冲以便在对象运动时导致产生可忽略的模糊化的系统来说，对系统的时间频率响应起主要影响的因素如下所示：

帧采集/显示：假定瞬时的图象采样和在帧速率  $F_R$  下的持续显示，则频率响应为：

$$H_{fps}(f) = \text{Sin}(\pi f / F_R) / (\pi f / F_R).$$

FNR 处理：使用基于等式 5 的简化模型的递归 FNR，这里允许  $A_1$  的值根据改变着的帧速率而改变。将象素  $n$  的滤波器输出重新表述为  $Y_n = A_1 X_n + (1 - A_1) Y_{n-1}$ ，则滤波器的转移函数可按下式计算： $H_{FNR}(f) = A_1 / (1 - [1 - A_1] e^{-j2\pi f})$ 。人类观察者；观察者是用对周期  $T_{int} = 0.1$  秒的理想积分而建模的：

$$H_{oyo}(f) = \text{Sin}(\pi f T_{int}) / (\pi f T_{int})$$

因此，系统在时间频率域内是由三个主要的（线性）分量所表示的，即  $H_{system}(f) = H_{fps}(f) H_{FNR}(f) H_{oyo}(f)$ 。 $A_1$  的综合是通过将频谱和参照情况下的频谱相匹配（例如，在最小二乘方的意义上、观察，等）而完成的。作为一个例子，考虑一个参照场合其操作为 30fps，FNR 值  $A_1 = 0.24$ 。图 6 和 7 提供了  $A_1$  综合（观察匹配）的两个例子。图 6 在曲线 610 上提供了 30fps 采样率的模型的响应数据（dB）；对于相应的  $f_1$  值在 15fps 采样率时的相对应的模型数据则示于曲线 620。与此相似，在图 7 中，对于所示值的 30fps 采样率的建模数据示于曲线 710，而在曲线 720 则是 7.5fps 采样率的数据。在图 6 和 7 中分别使用了迭代值  $A_1 = 0.42$  和 0.66 以便匹配这两个系统，大部分信息就存在于其中（能量含量主要在 7 赫及以下）。

对于不同的帧速率重复上述方法并收集优化的  $A_1$  值就产生了图 8 所示的曲线。曲线规定了对于任意帧速率的  $A_1$  设置值以产生恒定的相对于 70fps 和  $A_1 = 0.24$  标准的成象性能。一般说来，随着帧速率降低， $A_1$  要增加。

应该指出，本发明是参考特定的实施例而说明的，但是本发明并不局限于这些特定的实施例。熟悉本技术的人们会理解，对上面讨论的实施例可以作出许多变动和修改而所有这些变动和修改是在本发明

的范围之内的。例如，熟悉本技术的人们会理解，上面讨论的函数  $f_1$  和  $f_2$  可以用各种不同方式来实现。熟悉本技术的人们也会懂得，参考各等式而在上面讨论的各参数和变量也并不是非有不可的。

5 例如，尽管函数  $f_2$  被说明是取决于各种不同的当前和过去的经滤波的图象帧的，但这只是为了表明  $f_2$  的优选的相关性而不是要说明函数  $f_2$  的唯一可能的相关性。最好是用过去和当前的经滤波的图象数据来产生  $f_2$ ，因为这些图是已经经过了降噪的。函数  $f_2$  可以直接以前面的帧的经滤波的输出象素  $Y_i(n-1)$  为基础。熟悉本技术的人们将理解，许多对上面等式的这种变动都可以在不偏离本发明的精神和范围的情况下作出。

10 因此，函数  $f_1$  和  $f_2$ ，以及变量  $A_2$ ，并不局限于任何特定的函数，而一般情况下，将由各种不同的能优化 FNR 过程的通用规则所定义。例如，下列规则将作用于函数  $f_1$  的特性。随着某一区域的灰度级别强度的降低，函数  $f_1$  从基线值降低，这个值是区域性统计值的函数。当强度增加时，函数  $f_1$  降低。当 X 射线管的功率趋于它的极限时， $f_1$  从它的基线值降低。当  $\Delta$  增加时， $f_1$  增加而且对于大于或等于  $A_2$  的值它趋近于 1。当脉冲宽度增大时， $f_1$  增大。当噪扰增加时， $f_1$  减小。当对病人的剂量趋近于规定极限时， $f_1$  减小。

20 对于函数  $f_2$  来说，这个函数最好被规定为它的各个变量的线性组合，尽管这并非是必须这样的。一般说来，当 X 射线管的功率趋向于它的极限时，由 FNR 算法 20 使用来实施低通滤波的空间和时间滤波器的强度增加。对于变量  $A_2$  而言，当强度降低时， $A_2$  从基线值降低。当强度增加时， $A_2$  增加。当 X 射线管的功率增加时， $A_2$  从基线值增加。当脉冲宽度增加时， $A_2$  保持不变或减少。当对比度减少时， $A_2$  减少。25 当对比度增加时， $A_2$  增加。

熟悉本技术的人们将理解，可以实现许多函数，它们都适合于以总体上与这些规则相一致的方式来动态地修正本发明的 FNR 算法 20。熟悉本技术的人们会懂得，别的修改和变动也可实施于本发明，它们都是在本发明的范围之内的。

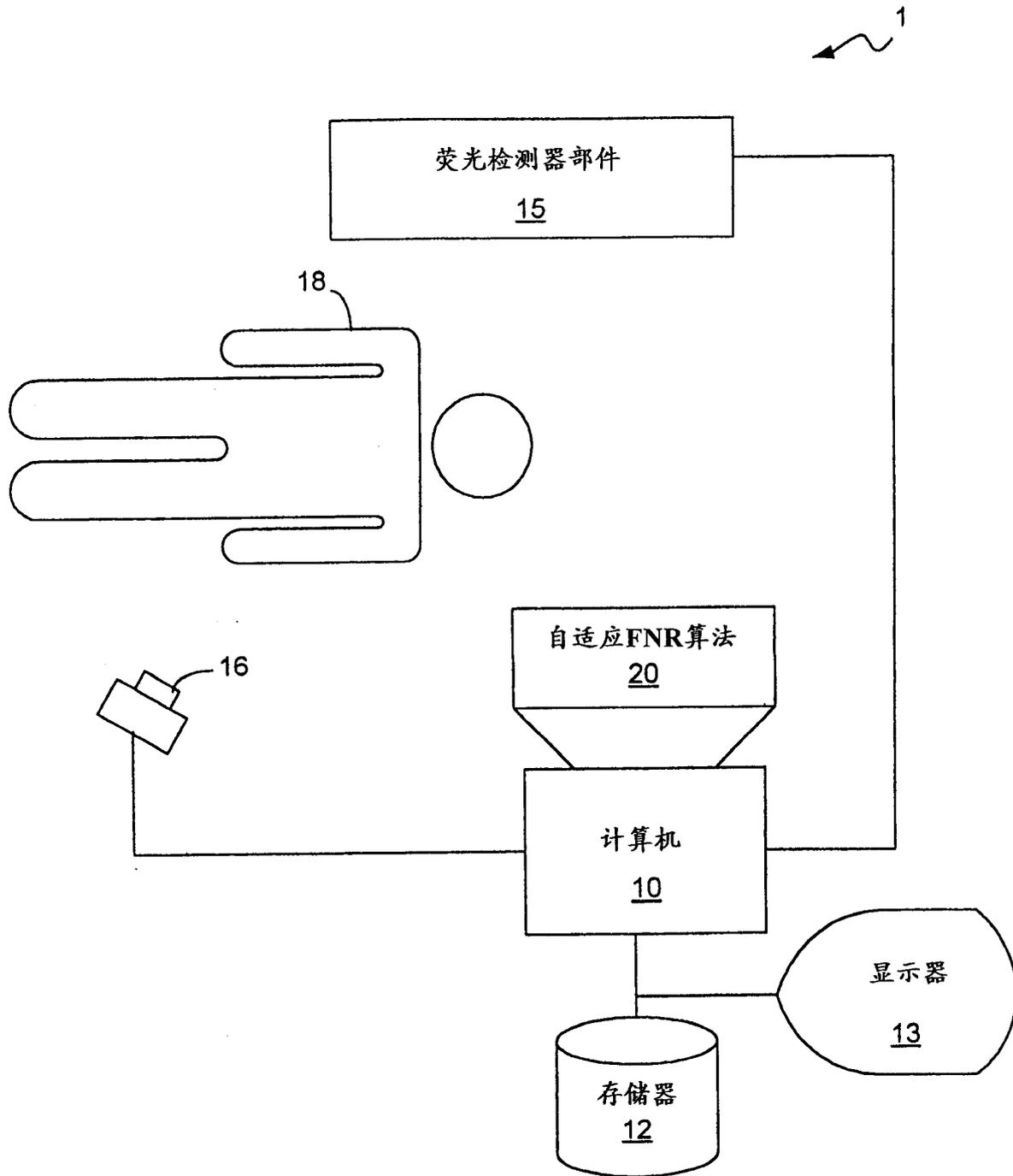


图 1

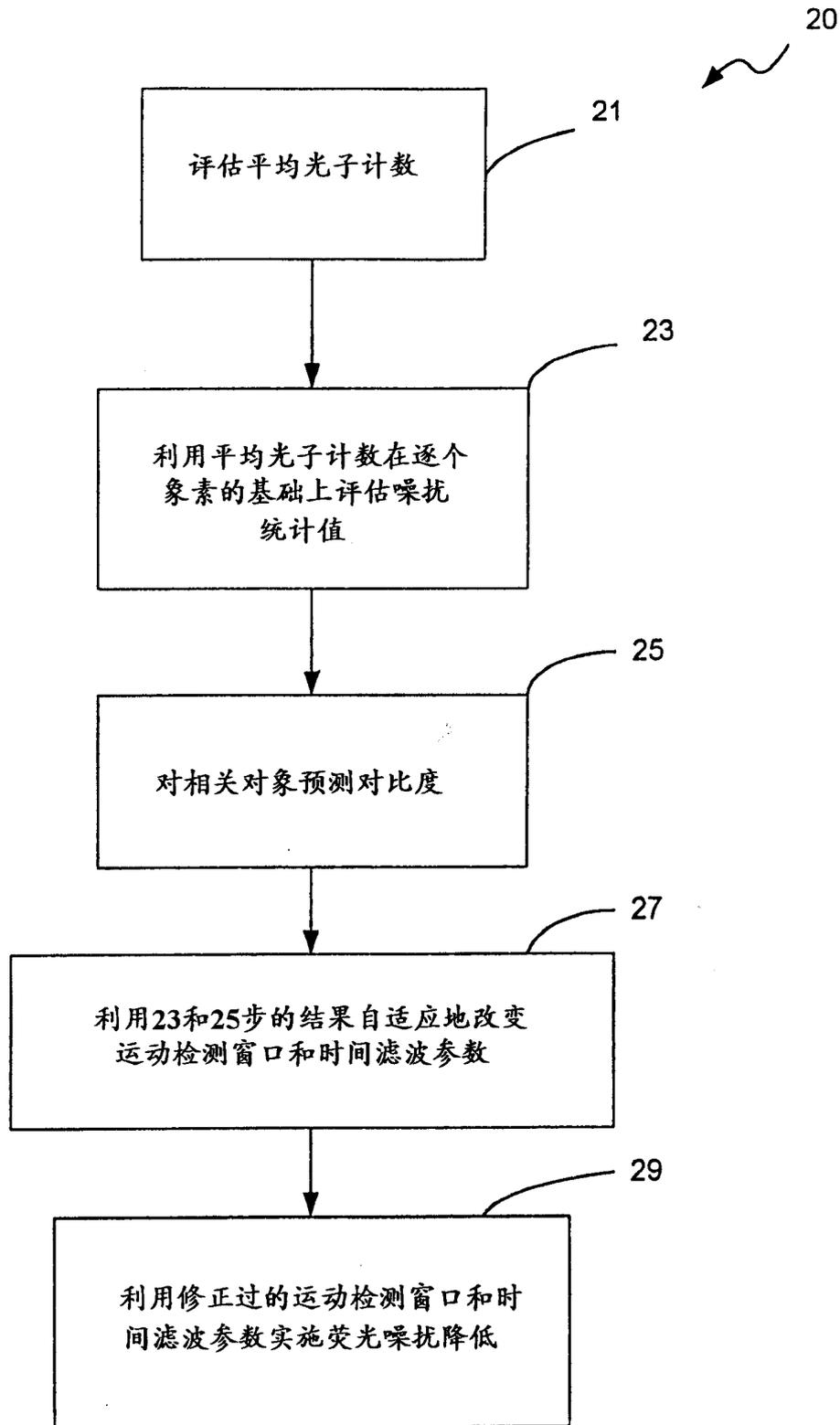


图 2

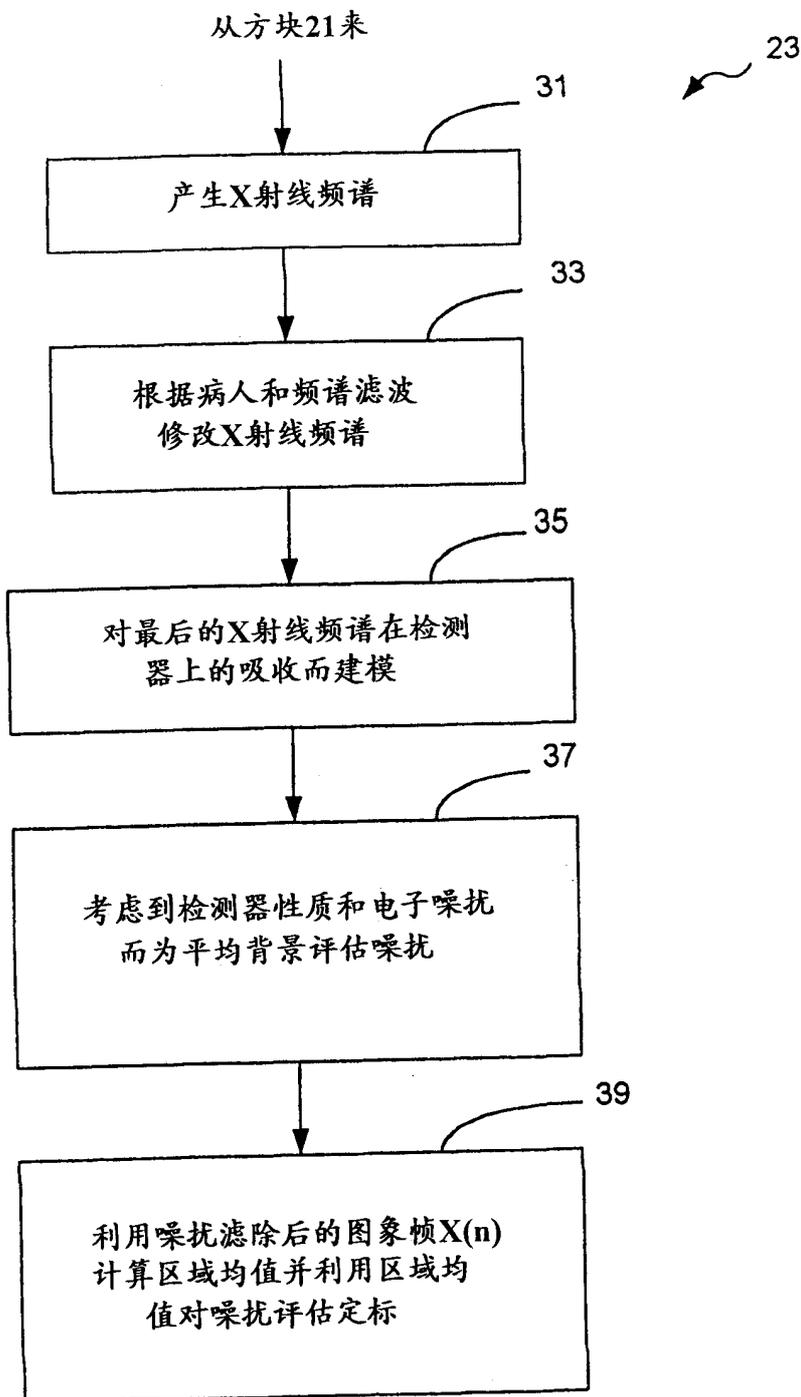


图 3

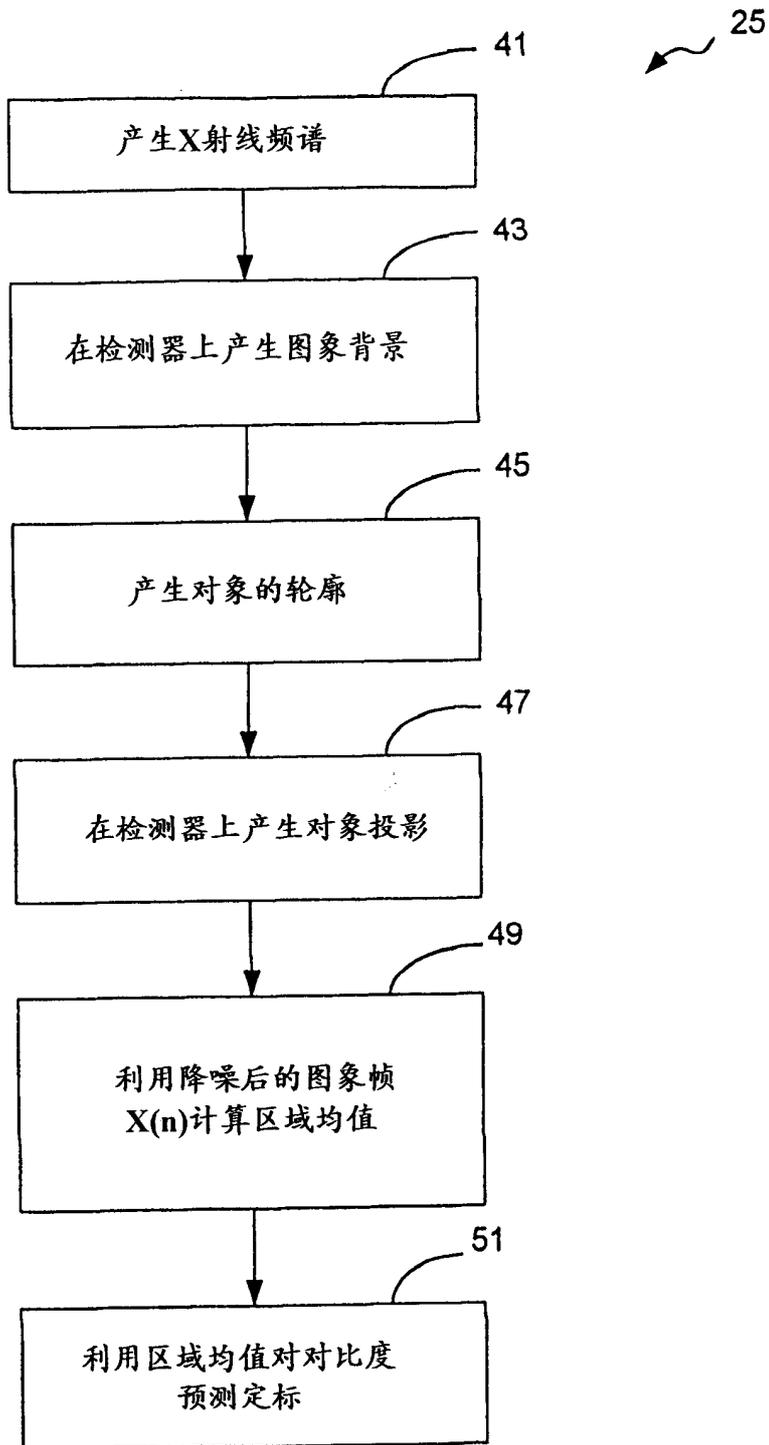


图 4

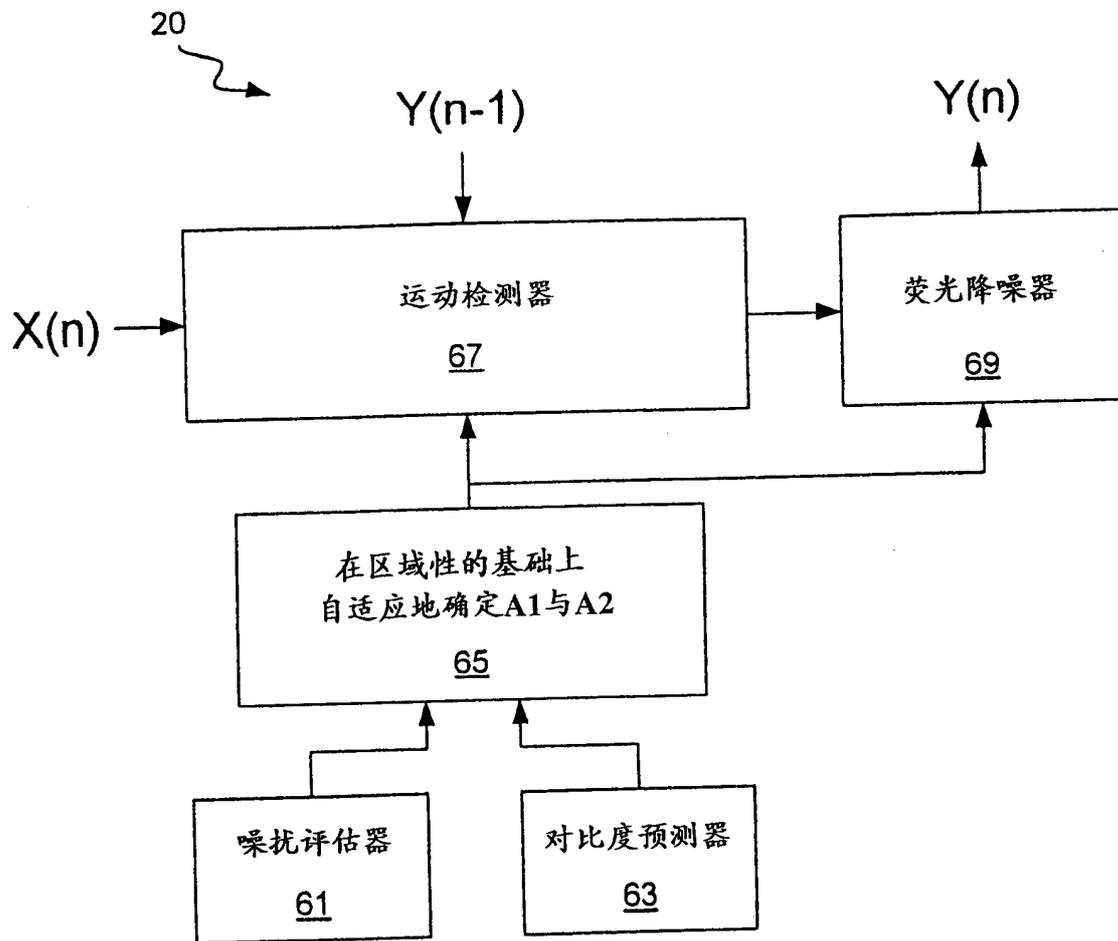


图 5

对 15fps 匹配系统响应

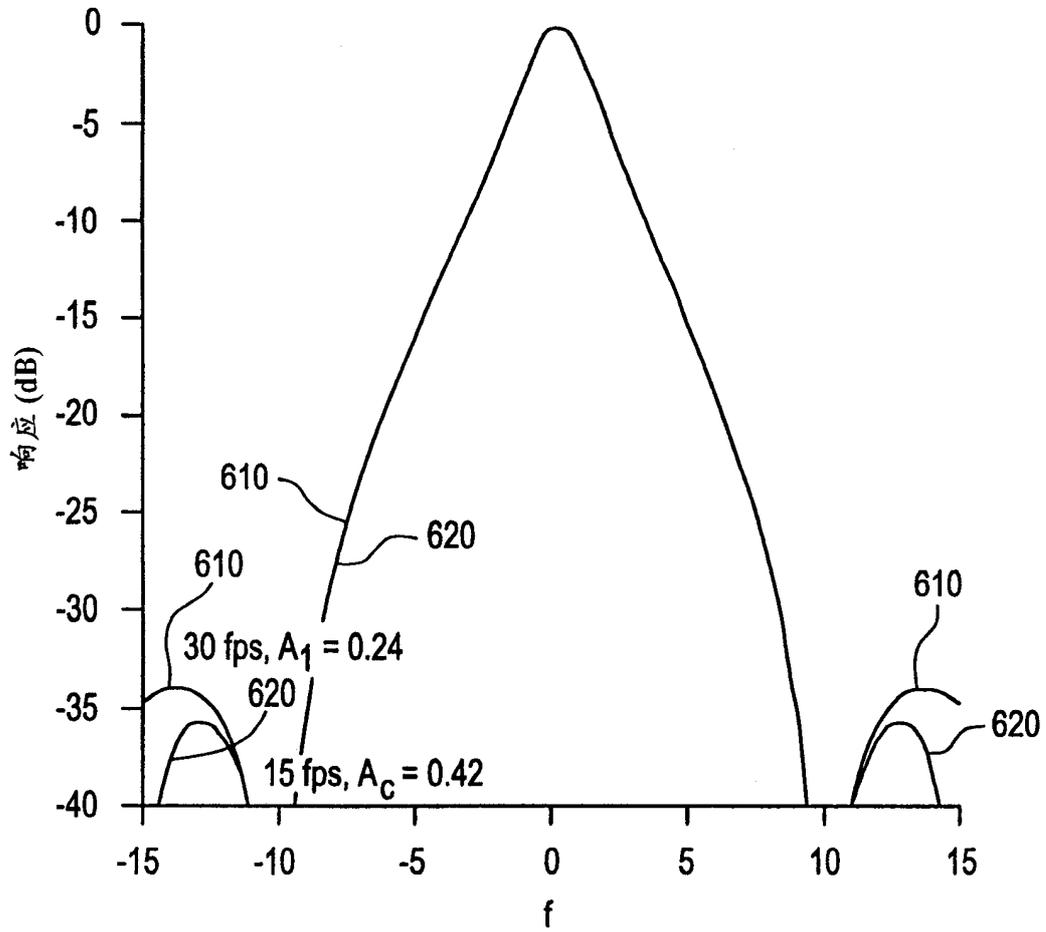


图 6

对 7.5fps 匹配系统响应

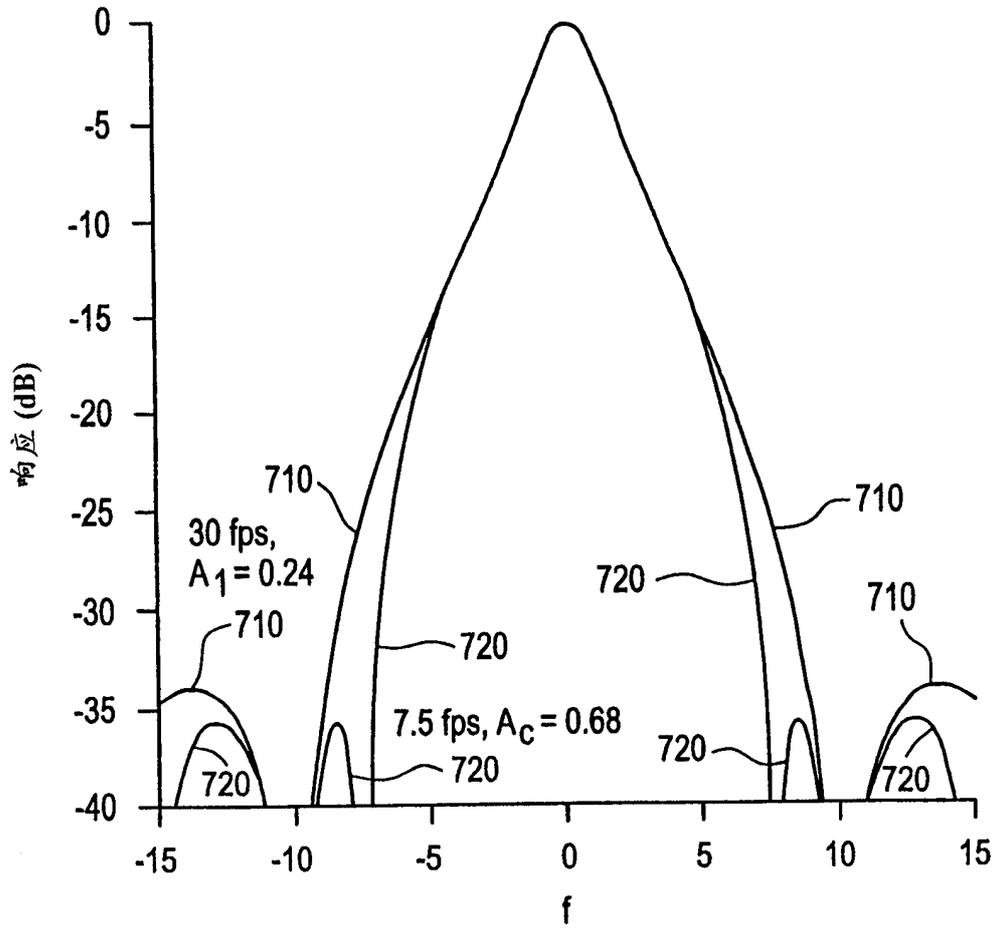


图 7

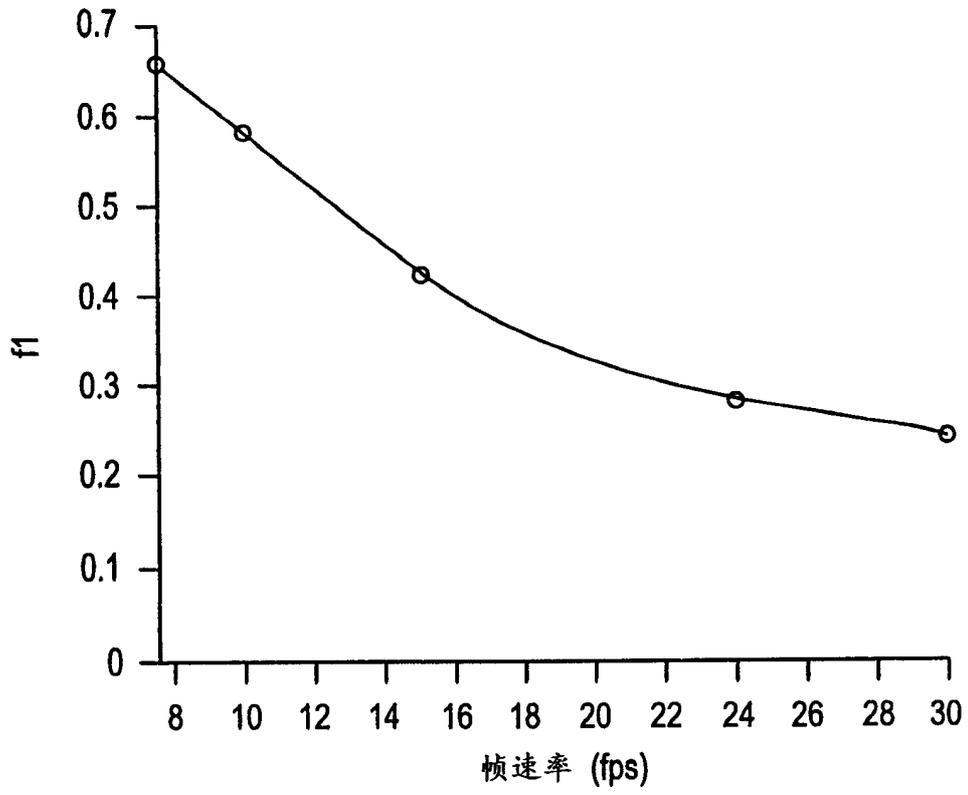


图 8