



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 03141118.5

[43] 公开日 2004 年 1 月 14 日

[11] 公开号 CN1467918A

[22] 申请日 2003.6.9 [21] 申请号 03141118.5

[30] 优先权

[32] 2002. 6. 7 [33] EP [31] 02090207.8

[71] 申请人 汤姆森许可贸易公司

地址 法国布洛里

[72] 发明人 亚历山大·克拉夫特琴科

[74] 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公
司

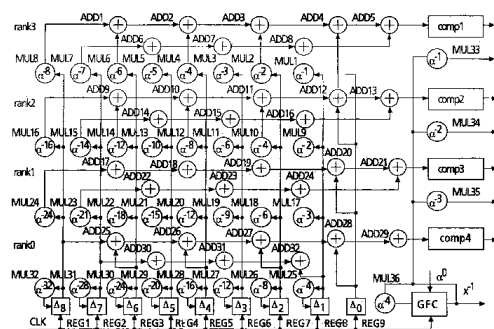
代理人 戎志敏

权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 3 页

[54] 发明名称 里得-索罗门解码器

[57] 摘要

本发明涉及里得-索罗门解码器(RS)解码器,包括装置,用于计算误差位组多项式 $S(x)$ 和擦除定位器多项式 $\Gamma(x)$; 装置,用于计算修改的误差位组多项式 $T(x) = S(x) \Gamma(x)$ 模 $2t$, 其中 t 是 RS 码的符号校正容量; 装置,用于执行 Euclid 算法来计算误差定位器多项式 $\Delta(x)$ 和误差评估器多项式 $\Omega(x)$; 装置,用于计算第二误差/擦除定位器多项式 $\Psi(x) = \Delta(x) \Gamma(x)$; 装置,用于执行并行 Chien 搜索; 装置,用于根据 Forney 方程串行计算误差大小。本发明减少了需要计算误差位置和误差值的循环次数,同时只需要比较低的硬件复杂性。



1. 一种里得-索罗门 (RS) 解码器, 包括:
- 5 装置 (110), 用来计算误差位组多项式 $S(x)$ 和擦除定位器多项式 $\Gamma(x)$;
- 装置, 用来计算修改的误差位组多项式 $T(x) = S(x) \Gamma(x)$ 模 $2t$, 其中 t 是 RS 码的符号校正容量;
- 装置 (120), 用来执行计算误差定位器多项式 $\Delta(x)$ 和误差评估器
- 10 多项式 $\Omega(x)$ 的 Euclid 算法;
- 装置, 用来计算误差 / 擦除定位器多项式 $\Psi(x) = \Delta(x) \Gamma(x)$;
- 装置, 用来执行 Chien 搜索;
- 装置, 用来根据 Forney 方程串行计算误差大小。
2. 根据权利要求 1 所述的解码器, 其特征在于修改的 Forney 方程
- 15 用于误差大小的串行计算, 它计算误差值 e_{ik} 和擦除值 f_{ik} ,

$$e_{ik} = \Omega(X_k^{-1}) / X_k^{-1} \Psi'(X_k^{-1}) \quad f_{ik} = \Omega(Y_k^{-1}) / Y_k^{-1} \Psi'(Y_k^{-1})$$

3. 根据权利要求 1 所述的解码器, 其特征在于用于计算误差值 e_{ik}
- 20 和擦除值 f_{ik} 的修改的 Forney 方程, 用于串行计算误差大小,

$$e_{ik} = \Omega(X_k^{-1}) / X_k^{-1} \Psi'(X_k^{-1})$$

$$f_{ik} = \Omega(Y_k^{-1}) / Y_k^{-1} \Psi'(Y_k^{-1})$$

4. 根据权利要求 1、2 或 3 所述的解码器, 其特征在于所述的装置执行具有 n 排的平行 Chien 搜索, 用于并行核对 n 个试验根。
- 25 5. 根据权利要求 1 至 4 中任一所述的解码器, 其特征在于根据 Forney 方程串行计算误差大小的装置包括移位寄存器装置 (SHR1), 用于存储由并行 Chien 搜索装置确定的根。

6. 根据权利要求 1 至 5 中任一所述的解码器, 其特征在于用于根据 Forney 方程串行计算误差大小的装置包括 Galois 字段反相器装置 (GFI),

用于倒置乘积 $X_k^{-1}\Psi'(X_k^{-1})$ 。

7. 一种用于 RS 解码的方法，包括下列步骤：

计算 (110) 误差位组多项式 $S(x)$ 和擦除定位器多项式 $\Gamma(x)$ ；

计算修改的误差位组多项式 $T(x) = S(x) \Gamma(x)$ 模 $2t$ ，其中 t 是

5 RS 码的符号校正容量；

执行 (120) Enclid 算法，用于计算误差定位器多项式 $\Delta(x)$ 和误差评估器多项式 $\Omega(x)$ ；

执行并行 Chien 搜索和并行计算误差 / 擦除定位器多项式 $\Psi(x) = \Delta(x) \Gamma(x)$ ；

10 根据 Forney 方程串行计算误差大小。

8. 根据权利要求 7 所述的方法，其特征在于修改的 Forney 方程用来计算误差值 e_{ik} 和擦除值 f_{ik} ，它用于误差大小的串行计算：

$$e_{ik} = \Omega(X_k^{-1}) / X_k^{-1}\Psi'(X_k^{-1}) \quad f_{ik} = \Omega(Y_k^{-1}) / Y_k^{-1}\Psi'(Y_k^{-1})$$

15

9. 根据权利要求 7 所述的方法，其特征在于修改的 Forney 方程用于误差大小的串行计算，该方程用于计算误差值 e_{ik} 和擦除值 f_{ik} ，

$$e_{ik} = \Omega(X_k^{-1}) / X_k^{-1}\Psi'(X_k^{-1})$$

$$f_{ik} = \Omega(Y_k^{-1}) / Y_k^{-1}\Psi'(Y_k^{-1})$$

20 10. 根据权利要求 7, 8 或 9 所述的方法，其特征在于 n 个试验根借助于 n 排装置并行核对。

11. 根据权利要求 7 至 10 中任一所述的方法，其特征在于根据 Forney 方程串行计算误差大小是由用于倒置乘积 $X_k^{-1}\Psi'(X_k^{-1})$ 的 Galois 反相器装置来执行的。

25 12. 一种电子系统，例如 CD，DVD，蓝光激光 DVD 或其它光或磁存储系统，包括权利要求 1 至 6 之一的 RS 解码器。

里得-索罗门解码器

技术领域

本发明涉及差错检测和校正，更具体地说，涉及用于里得-索罗门解码器的系统和方法。

背景技术

通常所用的校正技术是里得-索罗门校正码，用里得-索罗门 (RS) 原理，发射固定长度的码字，每一码字包括 k 信息符和 $n-k$ 附加校正 (奇偶性) 符，每一符号包括 S 比特，RS 解码器能纠正码字中含有误差的 $(n-k) / 2$ 个符号。

因为每一可纠正的符号可包括多个位出错，RS 编码技术特别适合于突发性误差，该误差影响多个相连的比特。一般 RS 编码方案使用 255 个 8 比特符号的码字，其中的 223 个是信息符，其余 32 个是校正奇偶符。这种编码方案能在每 255 比特的字码中校正 16 个误差符，因而提供了对“接收的”比特误差率实质性的改善。

RS 编码方案也将检测“擦除”，它是在已知位置的误差，要求较少信息纠正，擦除数加上两倍 RS 解码器能纠正的误差数为 $(n-k) / 2$ 。

图 1 是现有技术 RS 解码器 100 方块图的例子。解码器 100 接收每一码字 $r(x)$ 101，并产生纠正的码字 $c(x)$ 151。误差位组计算器 110 处理码字 101，以产生相应的误差位组多项式 $S_i(x)$ 111。每一码字具有 $n-k$ 出错码组，它只与误差有关，而与发射的码字无关。从这些出错码组 111，产生误差定位器多项式 $\Delta(x)$ 121。欧几里德 (Euclid) 算法 120 用来提供误差定位器多项式 121 和误差大小多项式 $\Omega(x)$ 122，虽然也可应用其它技术，例如 Berlekamp-Massey 算法。每一 RS 码有一参数“ α ”，它是伽罗瓦 (Galois) 场 (FG) 的原始要素，选择来用于 RS 码。误差定位器多项式这样构成，如果误差发生在 P 位置， α^P 将是误差多项

式的根 (p 是从 0 到 $n-1$ 的指数)。

对码字中每一位置 p ，用迭代法可很方便地来测试每一 α^p 值，以确定 α^p 是误差定位器多项式的根， X_k^{-1} 。通常对这种迭代试验所用的算法是 Chien 误差定位器 130，Chien 定位器 130 也提供有关的误差差分项， $X_k^{-1} \Delta' (X_k^{-1})$ 132。它典型地通过 Forney 误差确定算法，简化了误差大小 141 的确定，如方块 140 的说明。

误差确定器 140 评估相应于定位的误差符的误差大小多项式 122，对于每一误差定位器 130 定位的误差，校正器 150 根据这一误差的位置 131 和大小 141 确定纠正的码字 $c(x)$ 151。如果对给定的符号没有检测到误差，则在纠正的码字 $c(x)$ 151 中，在这一鉴别的位置，该符号等于接收的码字 $r(x)$ 101 中的符号。

WO-A-01 / 39378 公开了一种 RS 解码器，它同时搜索误差定位器多项式和误差大小多项式的 m 个根，多项式求值算子包括多个片单元，它相应于多项式的每一项，每一片单元包括一组系数倍乘器，它构成对不同值来评估该项，从而实现在每一不同值同时评估多项式。US-B-279137 公开了一种用于储存有效平行 Chien 搜索的系统和方法，该系统采用实现 Chien 搜索的平行结构来确定多项式的根，并减少所需要的存储量。码字中误差的位置可从误差定位器多项式的根来推断，Chien 搜索的性能因平行结构而加强，误差的位置能用简单的计算很容易确定，该计算优先包括周期数，平行度，和倍乘器 / 加法器的等级指数，它指示一个根。倍乘器的多个等级接收存在数据储存单元阵列中的数据，每一倍乘器的倍乘值以 Galois 场的单元为基础。

EP-A-1102406 公开了一种解码器的电路，用于 RS 编码的解码。解码器提供执行 Chien 搜索的并行运行，对接收的码字确定误差定位器多项式和 Forney 算法，后者计算误差模式。US-B-6347389 表示流水线 RS 误差 / 擦除解码器，以流水线方式处理多个码字。流水线 RS 误差 / 擦除解码器设在来处理被感染的 RS 编码字，借助于通过简单的迭代修改的校验子方法处理误差以及擦除。

发明内容

本发明要解决的问题是提供一种改善的里得-索罗门 (RS) 解码器和改善的 RS 解码方法。此外, 提供包括 RS 解码器的改进的电子系统, 例如 DVD 系统。

借助于应用权利要求书中的各特性, 这一问题基本解决, 本发明的实施例在有关的权利要求中给出。

实际上, 本发明借助于把并行 Chien 搜索与改进的串行 Forney 计算相联合提供改进的 RS 解码器, 它能减少所需硬件的复杂性, 同时增加解码器的性能。

根据本发明, 误差位置只在并行 Chien 搜索方块内计算, 在 CD 或 DVD 系统中, 擦除位置在 Chien 搜索中不需要计算, 因为它们从 CD 或 DVD 系统的解调块已知。

因为擦除位置, 通常它作为“根”已知, 因此可减少并行 Chien 搜索逻辑的复杂性, 这意味着 Chien 搜索逻辑只要评估误差定位器多项式 $\Delta(x)$ 。

在评估了误差定位器多项式后, 误差位置和相应于这些误差的位置的根就已知了, 优先地, 这些根存在移位寄存器中。

由于利用改进的串行 Forney 算法, 而进一步减少了硬件复杂性, 联合 Chien 和 Forney 模块的高性能使能执行多传送校正, 实质性地减少了输出误差率。

本发明的 RS 解码器能用于许多电子系统中, 例如 DVD 系统或其它光或磁存储系统。

原理上, 本发明的方法适合于 RS 解码器, 并包括如下步骤:

- 计算出误差位组多项式 $S(x)$ 和擦除定位器多项式 $\Gamma(x)$;
- 计算改进的误差位组多项式 $T(x) = S(x) \Gamma(x) \bmod 2^t$, 其中 t 是 RS 码的符号校正容量;
- 执行 Enclid 算法, 用于计算误差定位器多项式 $\Delta(x)$ 和误差评估器多项式 $\Omega(x)$;
- 执行并行 Chien 搜索和并行计算误差 / 擦除定位器多项式 $\Psi(x) = \Delta(x) \Gamma(x)$;
- 根据 Forney 方程串行计算误差大小。

原则上，本发明的 RS 解码器包括：

- 用于计算误差位组多项式 $S(x)$ 和擦除定位器多项式 $\Gamma(x)$ 的装置；
- 用于计算修改的误差位组多项式 $T(x) = S(x) \Gamma(x)$ 模 $2t$ 的装置，其中 t 是 RS 码的符号校正容量；
- 用于执行 Enclid 算法来计算误差定位器多项式 $\Delta(x)$ 和误差评估器多项式 $\Omega(x)$ 的装置；
- 用于执行误差 / 擦除定位器多项式 $\Psi(x) = \Delta(x) \Gamma(x)$ 的装置；
- 用于执行并行 Chien 搜索装置；
- 用于根据 Forney 方程串行计算误差大小的装置。

本发明先进的附加例在各有关的权利要求中说明。

附图说明

本发明的实施例参考附图进行说明，其中：

图 1 是现有技术误差校正解码器方块图；

图 2 是本发明的并行 Chien 搜索电路；

图 3 是本发明用于并行 Forney 方程计算电路方块图。

具体实施方式

采用下列定义：

误差定位器多项式：	$\Delta(x)$
擦除定位器多项式：	$\Gamma(x)$
误差 / 擦除定位器多项式：	$\Psi(x)$
误差位置：	$i_1, \dots, i_v$
误差定位：	$X_l = a^{i_l}$
误差值：	$e_k, 0 \leq k < n$
擦除位置：	$j_1, \dots, j_f$
擦除定位器：	$Y_l = a^{j_l}$
擦除值：	$f_k, 0 \leq k < n$

RS 解码可采用五个步骤。

步骤 1:

RS 解码从计算误差位组多项式 $S(x)$ 开始:

$$S(x) = 1$$

进而计算擦除定位器多项式 $\Gamma(x)$, 其中

$$\Gamma(x) = 2$$

从而找到擦除位置 (根)。

步骤 2:

计算修改的误差位组多项式 $T(x) = S(x) \Gamma(x)$ 模 2^t , 其中 t 是 RS 码符号误差校正容量。

步骤 3:

用 Euclid 算法, 这是求两个多项式最大共同因子的方法, 参见 Y. M. Sugiyama, S. H. Kasahara, 和 T. Namekawa, "A Method for Solving the Key Equation for Decoding of Goppa Codes", Information and Control, volume 27, pp. 87—89, January 1975。

无论是误差定位器多项式 $\Delta(x)$ 和误差评估器多项式 $\Omega(x)$ 都能用 Enclid 算法计算, 这是从现有技术知道的, 参见 Steven B. Wicker, Vijay K. Bhargava, "Reed-Solomon codes and their applications", IEEE Press 1994。

步骤 4:

接着, 用并行 Chien 方块计算误差位置。同时, 计算新的误差 / 擦除定位器多项式 $\Psi(x) = \Delta(x) \Gamma(x)$ 。以增加 RS 解码器的性能, 这是本发明的特别的优点。

步骤 5:

新的误差 / 擦除多项式的系数装入串行 Forney 方块的寄存器, 并计算误差 / 擦除的大小值。

擦除位置（根）在执行步骤 1 后就已知，或借助于 CD 或 DVD 系统的解调块来获得。因此，擦除位置并不需要步骤 5 的 Chien 搜索中来计算。有利的是，因为擦除位置已知，就可减少并行 Chien 搜索逻辑的复杂性，亦即 Chien 搜索逻辑只需要评估误差定位器多项式 $\Delta(x)$ 。有利的是，误差定位器多项式 $\Delta(x)$ 只有九个系数，误差位置和相应于这些误差位置的根，在评估了该误差定位器多项式后就知道了。

图 2 表示并行 Chien 搜索逻辑，它包括四个排列，每一 Chien 搜索逻辑的循环将并行核对四个试验性的根：

Chien 搜索逻辑的排列 0 搜索每一第四字段单元（它由字段单元 α^0 , α^4 , α^8 , 等等，亦即误差在码字中的位置 0, 4, 8, ……的顺序确定）的根。

Chien 搜索逻辑的排列 1 搜索每一第四字段单元（它由字段单元 α^3 , α^7 , α^{11} , 等等，亦即误差在码字中的位置 3, 7, 11, ……的顺序确定）的根。

Chien 搜索逻辑的排列 2 搜索每一第四字段单元（它由字段单元 α^2 , α^6 , α^{10} , 等等，亦即误差在码字中的位置 2, 6, 10, ……的顺序确定）的根。

Chien 搜索逻辑的排列 3 搜索每一第四字段单元（它由字段单元 α^1 , α^5 , α^9 , 等等，亦即误差在码字中的位置 1, 5, 9, ……的顺序确定）的根。

Galois 字段计数器 GFC 确定 GF 单元的幂，初始化期间， α^0 单元装入寄存器，在每一循环（时钟 CLK）中，计数器 GFC 倒计算，如果比较器 Comp 1 指示零，那么在倍乘器 MUL33 中来自计数器 GFC 当前幂的乘积和 α^1 单元就是误差定位器多项式的根；如果比较器 Cmp 2 指示为零，那么在倍乘器 MUL34 中来自计数器 GFC 当前幂的乘积和 α^2 单元就是误差定位器多项式的根；如果比较器 Cmp 3 指示为零，那么在倍乘器 MUL35 中来自计数器 GFC 当前幂的乘积和 α^3 单元就是误差定位器多项式的根；如果比较器 Cmp 4 指示为零，那么计数器 GFC 确定该根。

移位寄存器 SHR1（图 3 中）用来存储相应于擦除或误差位置的根。在解码过程的步骤 1 期间，相应于擦除位置的根存入 SHR1 寄存器，SHR1

寄存器的深度为 16，这对存储所有 CD 或 DVD 系统 RS 码字中解码的误差和擦除足够了。

在步骤 3 中，计算误差定位器多项式 $\Delta(x)$ ，其九个系数装入并行 Chien 搜索块中的寄存器 REG1 至 REG9(见图 2)，这些寄存器由时钟 CLK 计时，在每一排列内，它们的输出值馈送给倍乘器 MUL*和相加器 ADD*链，排列 3 的链的输出送到比较器 Comp1，排列 2 的链的输出送到比较器 Comp 2，排列 1 的链的输出送到比较器 Comp 3，排列 0 的链的输出送到比较器 Comp 4。在每种情况下，寄存器 REG1 至 REG8 的输出，通过倍乘器 MUL32 至 MUL25 分别作用于每种情况下的 α^{-32} ， α^{-28} ， α^{-24} ， α^{-20} ， $\dots$ ， α^{-4} 。

在评估误差定位器多项式期间，在 Chien 搜索中找到误差定位器，误差定位器的逆值从 MUL33，MUL34，MUL35 和 GF 计数器输出。这些误差的位置装入上面的 SHR1 寄存器。

图 3 是在各符号位置计算误差和擦除大小值，得到误差或擦除模式的方块图，这一方块实现修改的 Forney 算法（串行实现）。误差大小值和擦除大小值由修改的 Forney 算法给出：

$$e_{ik} = \Omega(X_k^{-1}) / X_k^{-1} \Psi'(X_k^{-1}) \quad \text{和} \quad f_{ik} = \Omega(Y_k^{-1}) / Y_k^{-1} \Psi'(Y_k^{-1}) \quad (1)$$

这里， $\Omega(X_k^{-1})$ 是在 $x = X_k^{-1}$ 计算的误差定位器多项式， $\Psi'(X_k^{-1})$ 是在 $x = X_k^{-1}$ 计算的误差 / 擦除定位器多项式的形式导数的 $\Psi'(X_k^{-1})$ ， $\Omega(Y_k^{-1})$ 是在 $x = Y_k^{-1}$ 计算的误差评估器多项式 $\Omega(x)$ 。

$\Omega(x)$ 和 $\Psi'(x)$ 多项式表示如下：

$$\Omega(x) = \Omega_0 + \Omega_1 x + \Omega_2 x^2 + \Lambda + \Omega_{15} x^{15} \quad (2)$$

$$\Psi'(x) = \Psi_1 + \Psi_3 x^2 + \Psi_5 x^4 + \Lambda + \Psi_{15} x^{14} \quad (3)$$

误差定位器多项式的系数 (Ω_0 至 Ω_{15}) 装入各寄存器 REG0 至 REG15。误差 / 擦除多项式 $\Psi(x)$ 的一次导数 $\Psi'(x)$ 的系数 Ψ_1 至 Ψ_5 装入

各寄存器 REG16 至 REG23，这些寄存器以及寄存器 REG0 至 REG15 由时钟计时。

之后，相应于擦除或误差位置的根从寄存器 SHR1 输出，并输入 Forney 块。在乘法器 MUL0 至 MUL13 的链中，从 x 计算 x 的次数 $x^1, x^2, x^3, \dots, x^{15}$ ，系数 Ω_1 至 Ω_{15} 分别用乘法器 MUL14 至 MUL29 当前的根 x 的 $x^1, x^2, x^3, \dots, x^{15}$ 乘，在每次循环中，这 15 组乘积由各相加器 ADD2 至 ADD15 相加，此外，在 ADD1 中，值 Ω_0 加到第一个乘积中，相加器 ADD15 的输出就是误差定位器多项式 $\Omega(x)$ 在当前根 $x=X_k^{-1}$ 的计算结果。

系数 $\Psi^1, \Psi^2, \Psi^3, \dots, \Psi^{15}$ 由各乘法器 MUL30 至 MUL37 与当前根 x 的次数 $x^1, x^2, x^3, \dots, x^{15}$ 相乘，在每一时钟的循环中，这些乘法器的这组乘积由各相加器 ADD16 至 ADD22 相加，ADD22 的输出就是误差 / 擦除多项式 $\Psi(x)$ 在当前根 $x=X_k^{-1}$ 的计算结果。

如果在方程 (1) 中，乘法用除法代替，看起来像

$$e_{ik} = \Omega(X_k^{-1})(X_k^{-1}\Psi'(X_k^{-1}))^{-1} \quad f_{ik} = \Omega(Y_k^{-1})(Y_k^{-1}\Psi'(Y_k^{-1}))^{-1} \quad (4)$$

从加法器 ADD22 输出的乘积 $X_{k-1}\Psi'(X_{k-1})$ 在 GF 反相器 GFI 中反转，并在乘法器 MUL38 中与上面加法器 ADD15 的输出值相乘，分别得到误差大小 e_{ik} 和擦除大小 f_{ik} 。算得的擦除或误差大小值从乘法器 MUL38 输出，并存入寄存器 SHR2，这一寄存器与寄存器 SHR1 有相同的深度。

所有已存入寄存器 SHR1 的根，以同样的方法，在 Forney 块中进行处理，算得的大小值存入寄存器 SHR2。

有利的是，本发明用于在 DVD 系统中确定误差位置和误差值的 Chien 和 Forney 阶段只要求下列最少的硬件：

Chien 搜索块：38 个乘法器，22 个相加器，24 个寄存器和一个 GF 反相器，

而已知的 Chien 和 Forney 阶段需要下列最少的硬件：

Chien 搜索块：34 个乘法器，31 个加法器，33 个寄存器，1 个比较器，1 个计数器和 1 个反相器。

Forney 块: 136 个乘法器, 124 个加法器, 33 个寄存器, 4 个比较器, 4 个计数器和 4 个反相器。

在本发明中, 只要 67 个循环对外部码, 62 个循环对内部码来计算误差 / 擦除位置和误差 / 擦除大小, 当它与一般的 Chien 和 Forney 方块相比时要快很多。

本发明可用于需要确定和 / 或纠正误差的任何电子系统, 例如 CD, DVD, 蓝光激光 DVD (蓝射线) 或其它存储系统。本发明能减少用于计算误差位置和误差值的循环次数, 同时, 要求的硬件复杂性较低。

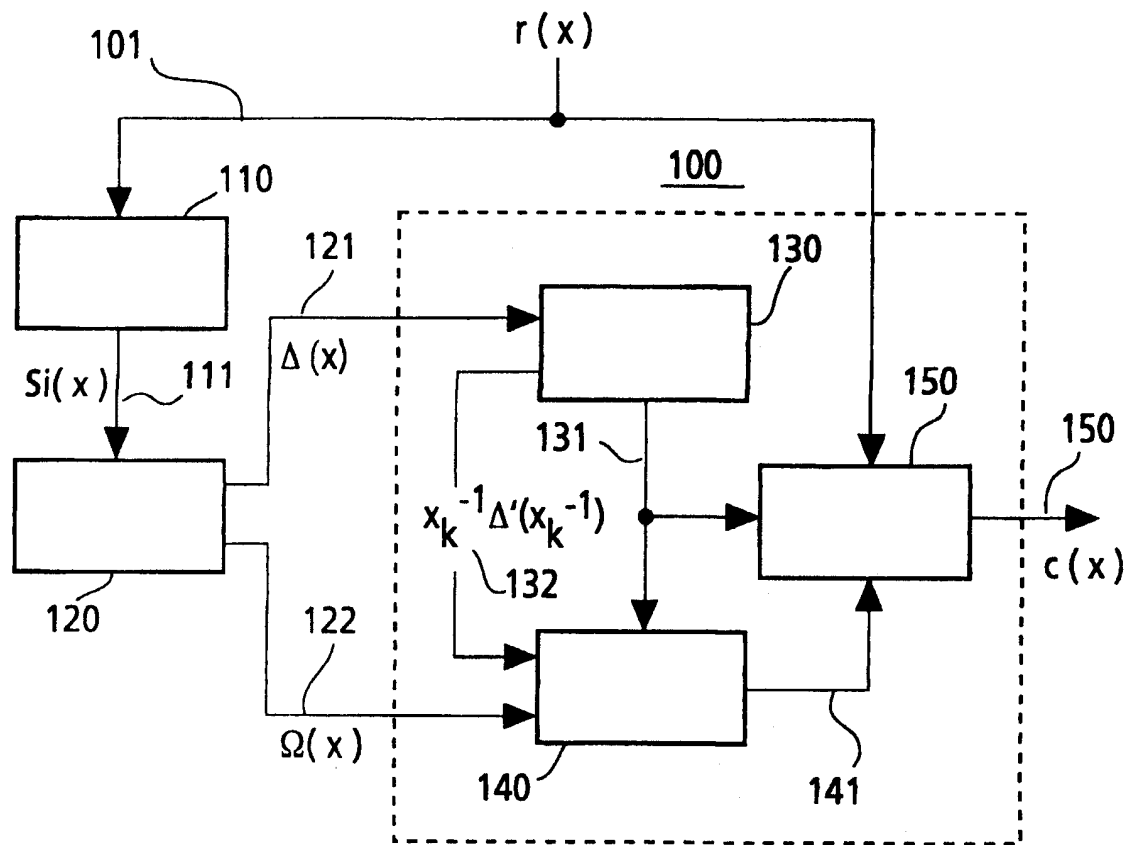


图 1

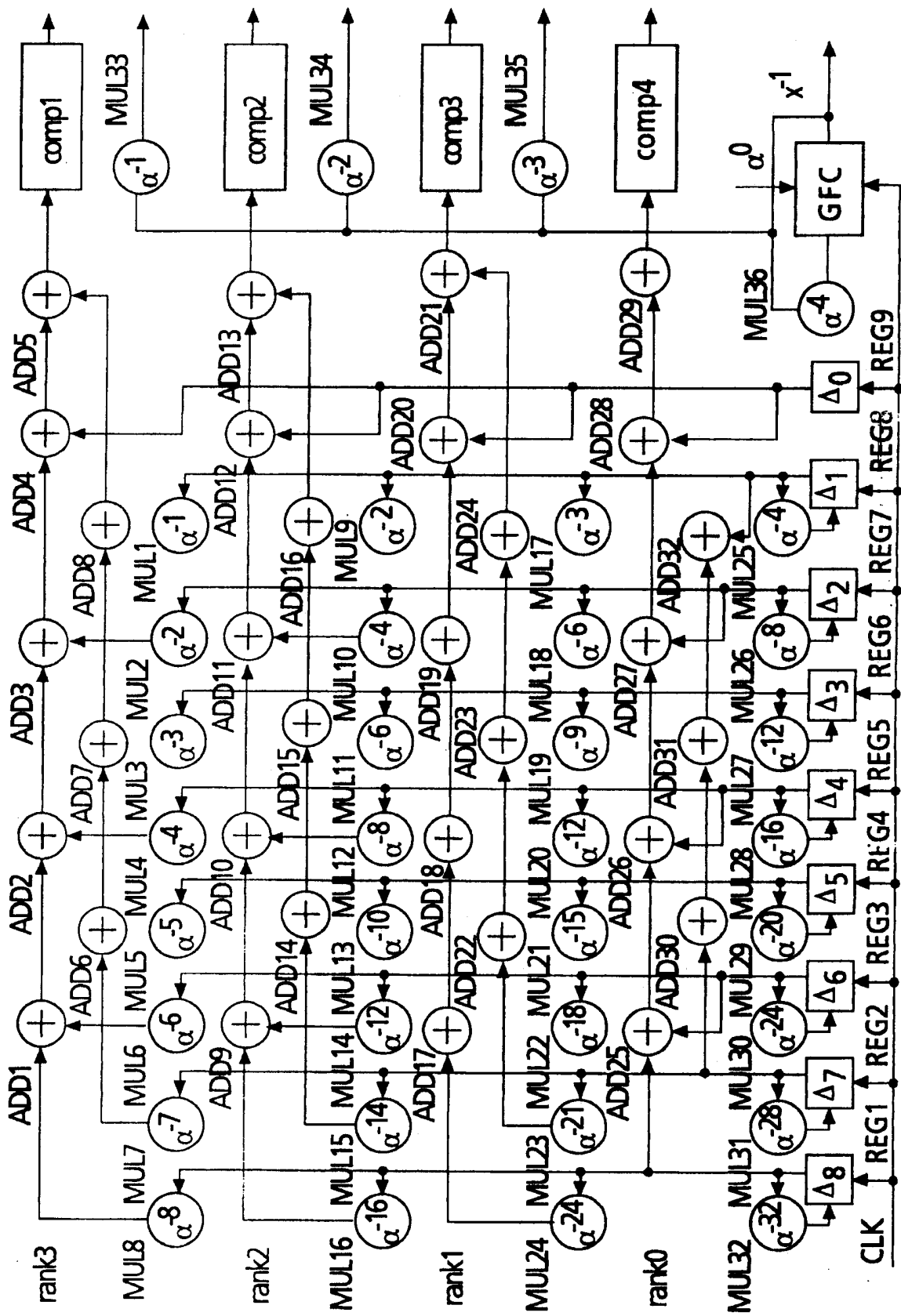


图 2

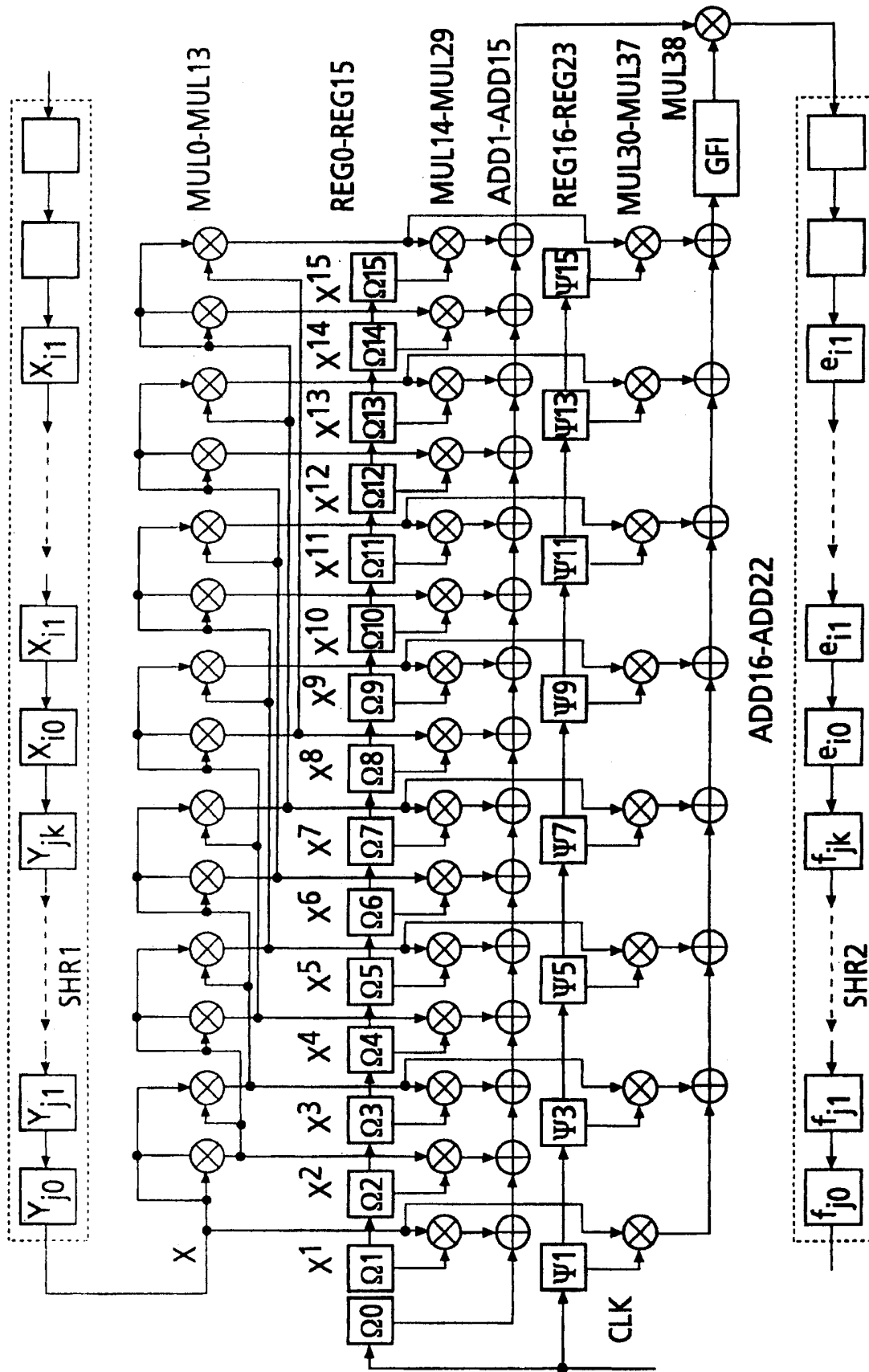


图 3