



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102203876 B

(45) 授权公告日 2015. 07. 15

(21) 申请号 200980143076. 7

(22) 申请日 2009. 09. 30

(30) 优先权数据

61/194, 751 2008. 09. 30 US

PCT/US09/49333 2009. 06. 30 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2011. 04. 29

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2009/059077 2009. 09. 30

(87) PCT国际申请的公布数据

W02010/039866 EN 2010. 04. 08

(73) 专利权人 LSI 公司

地址 美国加利福尼亚

(72) 发明人 E · F · 哈拉特什 M · 伊威科维克

V · 克拉琦科夫斯基

N · 米拉德诺维奇 A · 维缇亚埃夫

C · 威廉姆森 J · 延

(74) 专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限公司
11287

代理人 王田

(51) Int. Cl.

G11C 16/26(2006. 01)

G11C 16/34(2006. 01)

G11C 7/10(2006. 01)

G11C 11/56(2006. 01)

审查员 姚楠

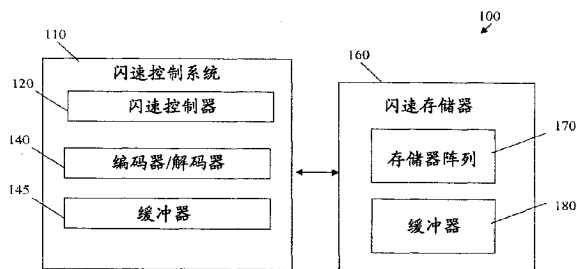
权利要求书6页 说明书32页 附图28页

(54) 发明名称

用于存储器器件的软数据生成的方法和装置

(57) 摘要

提供了用于存储器器件的软数据生成的方法和装置。通过获得至少一个硬读取值;并且基于关于读取硬读取值的统计数据数据生成与至少一个硬读取值关联的软数据值,生成了关于存储器器件的至少一个软数据值。硬读取值可以是数据位、电压电平、电流水平和电阻水平中的一个或更多个。所生成的软数据值可以是如下中的一个或更多个:(i) 用于生成一个或更多个对数似然比的软读取值;或者(ii) 一个或更多个对数似然比。统计数据数据包括基于位的统计数据数据和基于单元的统计数据数据中的一个或更多个。统计数据数据还可以包括至少一个侵略者单元对目标单元的取决于模式的干扰以及位置特定的统计数据数据。通过获得软读取值;并且基于关于读取软读取值的统计数据数据生成与软读取值关联的软数据值,生成了关于存储器器件的至少一个软数据值,其中统计数据数据包括位置特定的统计数据数据和取决于模式的统计数据数据中的一个或更多个。



1. 一种用于生成关于存储器器件的可靠性信息和对数似然比中的至少一个的方法,所述方法包括以下步骤:

获得至少一个硬读取值;以及

根据所获得的至少一个硬读取值和关于从所述存储器器件读取硬读取值的统计数据,生成与所述至少一个硬读取值关联的所述可靠性信息和对数似然比中的至少一个。

2. 如权利要求 1 所述的方法,其中所述硬读取值包括数据位、电压电平、电流水平和电阻水平中的一个或多个。

3. 如权利要求 1 所述的方法,其中所述硬读取值包括软数据和硬数据中的一个或多个。

4. 如权利要求 1 所述的方法,其中所述可靠性信息和对数似然比中的至少一个包括用于生成一个或多个对数似然比的软读取值。

5. 如权利要求 1 所述的方法,其中所述可靠性信息和对数似然比中的至少一个包括一个或多个对数似然比。

6. 如权利要求 1 所述的方法,其中所述一个或多个所述步骤是由控制器、读取通道、信号处理单元和解码器中的一个或多个实现的。

7. 如权利要求 1 所述的方法,其中所述统计数据包括至少一个概率密度函数。

8. 如权利要求 1 所述的方法,其中所述统计数据在多个字线上取平均,并且其中所平均的统计数据用于生成所述可靠性信息和对数似然比中的至少一个。

9. 如权利要求 1 所述的方法,其中所述统计数据包括基于位的统计数据、基于单元的统计数据和取决于模式的统计数据中的一个或多个。

10. 如权利要求 9 所述的方法,其中针对所述存储器器件中的多个字线维持分立的基于单元的统计数据。

11. 如权利要求 9 所述的方法,其中关于一个或多个写入电平 LVL_{write} 的所述基于单元的统计数据基于当所述写入电平 LVL_{write} 被写入或解码时电平 LVL_{read} 被读取的概率。

12. 如权利要求 9 所述的方法,其中关于一个或多个读取电平 LVL_{read} 的所述基于单元的统计数据基于当所述读取电平 LVL_{read} 被读取时电平 LVL_{write} 被写入或解码的概率。

13. 如权利要求 1 所述的方法,进一步包括如下步骤:获得表示针对所述存储器器件中的至少一个侵略者单元存储的数据的值 $\bar{h}$ 。

14. 如权利要求 13 所述的方法,其中所述值 $\bar{h}$ 包括硬数据和软数据中的一个或多个。

15. 如权利要求 13 所述的方法,其中所述获得表示针对所述存储器器件中的至少一个侵略者单元存储的数据的值 $\bar{h}$ 的步骤进一步包括读取所述至少一个侵略者单元的步骤。

16. 如权利要求 13 所述的方法,其中所述获得表示针对所述存储器器件中的至少一个侵略者单元存储的数据的值 $\bar{h}$ 的步骤进一步包括读取所述至少一个侵略者单元所处的一个或多个页或字线的步骤。

17. 如权利要求 1 所述的方法,其中所述统计数据包括目标单元上的干扰的指示。

18. 如权利要求 17 所述的方法,其中所述干扰包括后模式依赖性、单元间干扰、编程干

扰、读取干扰和额外噪声中的一个或多个。

19. 如权利要求 1 所述的方法,其中所述统计数据包括至少一个侵略者单元对目标单元的取决于模式的统计数据。

20. 如权利要求 19 所述的方法,其中关于一个或多个识别模式以及关于一个或多个参考电平 LVL_{ref} 的所述取决于模式的统计数据基于当所述参考电平 LVL_{ref} 被解码或写入时电平 LVL_{read} 被读取的概率。

21. 如权利要求 19 所述的方法,其中关于一个或多个识别模式和关于一个或多个读取电平 LVL_{read} 的所述取决于模式的统计数据基于当所述读取电平 LVL_{read} 被读取时参考电平 LVL_{ref} 被解码或写入的概率。

22. 如权利要求 1 所述的方法,其中所述统计数据包括位置特定的统计数据,并且其中为所述存储器器件的所期望的位置生成所述可靠性信息和对数似然比中的至少一个。

23. 如权利要求 22 所述的方法,其中关于至少一个所期望的位置以及关于一个或多个参考电平 LVL_{ref} 的所述位置特定的统计数据基于当所述参考电平 LVL_{ref} 被解码或写入时在所述所期望的位置读取电平 LVL_{read} 的概率。

24. 如权利要求 22 所述的方法,其中关于至少一个所期望的位置和关于一个或多个读取电平 LVL_{read} 的所述位置特定的统计数据基于当所述读取电平 LVL_{read} 在所述所期望的位置被读取时参考电平 LVL_{ref} 被解码或写入的概率。

25. 如权利要求 1 所述的方法,其中所述统计数据被表示为存储的表格和表达式中的一个或多个。

26. 如权利要求 1 所述的方法,其中使用高斯近似来表达所述统计数据。

27. 如权利要求 1 所述的方法,进一步包括向解码器提供所述可靠性信息和对数似然比中的至少一个的步骤。

28. 如权利要求 27 所述的方法,其中所述可靠性信息和对数似然比中的至少一个被迭代地提供给所述解码器。

29. 如权利要求 28 所述的方法,其中所述可靠性信息和对数似然比中的至少一个被提供给所述解码器,并且其中所述解码器计算新的可靠性信息和对数似然比中的至少一个,并且其中使用迭代处理来处理所述新的可靠性信息和对数似然比中的至少一个,直至所述迭代处理收敛。

30. 如权利要求 1 所述的方法,其中所述存储器器件是闪速存储器器件。

31. 如权利要求 1 所述的方法,其中所述存储器器件在每个单元能够存储至少两个数据电平 s 。

32. 如权利要求 1 所述的方法,其中所述获得步骤进一步包括读取单元中的多个位的步骤。

33. 如权利要求 1 所述的方法,其中所述获得步骤进一步包括读取字线中的一个或多个页的步骤。

34. 如权利要求 1 所述的方法,其中所述统计数据包括概率和概率分布的平均值或方差中的一个或多个。

35. 如权利要求 1 所述的方法,其中所述可靠性信息和对数似然比中的至少一个包括如下计算的一个或多个对数似然比:

$$L_e(C_i) \approx \log \frac{\sum_{s \in X_0^i} P(\hat{s}|s) \cdot \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}{\sum_{s \in X_1^i} P(\hat{s}|s) \cdot \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}$$

其中, $L_e(C_i)$ 是关于位 C_i 的外在对数似然比, $L_a(C_j)$ 是关于编码位 C_j 的先验对数似然比, $\mathbf{P}(\hat{\mathbf{s}}|\mathbf{s})$ 是在电平 s 被写入所述存储器器件的条件下所述硬读取值 $\hat{\mathbf{s}}$ 被读取的概率;

其中 m 是每个单元的位数, i 和 j 是位置, c_j 是编码位, X_0^i 是在位置 i 处位标志具有值 $C_i = 0$ 的状态或电平的子集, X_1^i 是在位置 i 处位标志具有值 $C_i = 1$ 的状态或电平的子集。

36. 如权利要求 1 所述的方法, 其中所述可靠性信息和对数似然比中的至少一个包括如下计算的一个或更多个对数似然比:

$$L_e(C_i) \approx \log \frac{\sum_{s \in X_0^i} P(s|\hat{s}) \cdot \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}{\sum_{s \in X_1^i} P(s|\hat{s}) \cdot \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}$$

其中, $L_e(C_i)$ 是关于位 C_i 的外在对数似然比, $L_a(C_j)$ 是关于编码位 C_j 的先验对数似然比, $\mathbf{P}(s|\hat{\mathbf{s}})$ 是在所述硬读取值 $\hat{\mathbf{s}}$ 被读取的条件下电平 s 被写入所述存储器器件的概率;

其中 m 是每个单元的位数, i 和 j 是位置, c_j 是编码位, X_0^i 是在位置 i 处位标志具有值 $C_i = 0$ 的状态或电平的子集, X_1^i 是在位置 i 处位标志具有值 $C_i = 1$ 的状态或电平的子集。

37. 如权利要求 1 所述的方法, 其中所述可靠性信息和对数似然比中的至少一个包括如下计算的一个或更多个对数似然比:

$$L_e(C_i) \approx \log \frac{\sum_{s \in X_0^i} P(\hat{s}, \bar{h}|s) \cdot \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}{\sum_{s \in X_1^i} P(\hat{s}, \bar{h}|s) \cdot \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}$$

其中, $L_e(C_i)$ 是关于位 C_i 的外在对数似然比, $L_a(C_j)$ 是关于编码位 C_j 的先验对数似然比, $\mathbf{P}(\hat{\mathbf{s}}, \bar{\mathbf{h}}|\mathbf{s})$ 是在电平 s 被写入所述存储器器件的条件下所述硬读取值 $\hat{\mathbf{s}}$ 被读取并且模式 $\bar{\mathbf{h}}$ 被存储在一个或更多个侵略者单元中的概率;

其中 m 是每个单元的位数, i 和 j 是位置, c_j 是编码位, X_0^i 是在位置 i 处位标志具有值 $C_i = 0$ 的状态或电平的子集, X_1^i 是在位置 i 处位标志具有值 $C_i = 1$ 的状态或电平的子集。

38. 如权利要求 1 所述的方法, 其中所述可靠性信息和对数似然比中的至少一个包括如下计算的一个或更多个对数似然比:

$$L_e(C_i) \approx \log \frac{\sum_{s \in X_0^i} P(s|\hat{s}, \bar{h}) \cdot \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}{\sum_{s \in X_1^i} P(s|\hat{s}, \bar{h}) \cdot \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}$$

其中, $L_e(C_i)$ 是关于位 C_i 的外在对数似然比, $L_a(C_j)$ 是关于编码位 C_j 的先验对数似然比, $\mathbf{P}(s|\hat{\mathbf{s}}, \bar{\mathbf{h}})$ 是在所述硬读取值 $\hat{\mathbf{s}}$ 被读取并且一个或更多个侵略者单元中的模式是 $\bar{\mathbf{h}}$ 的条件下电平 s 被写入所述存储器器件的概率;

其中 m 是每个单元的位数, i 和 j 是位置, c_j 是编码位, X_0^i 是在位置 i 处位标志具有值 $C_i = 0$ 的状态或电平的子集, X_1^i 是在位置 i 处位标志具有值 $C_i = 1$ 的状态或电平的子集。

39. 如权利要求 1 所述的方法, 其中所述可靠性信息和对数似然比中的至少一个包括如下计算的一个或更多个对数似然比:

$$L_e(C_i) = \log \frac{\sum_{s \in X_0^i} \exp(-\frac{1}{2\sigma^2} (E\{r|\hat{s}\} - E\{r|s\})^2 - \sum_{j=1, j \neq i}^m L_a(C_j) \cdot c_j)}{\sum_{s \in X_1^i} \exp(-\frac{1}{2\sigma^2} (E\{r|\hat{s}\} - E\{r|s\})^2 - \sum_{j=1, j \neq i}^m L_a(C_j) \cdot c_j)}$$

其中, $L_e(C_i)$ 是关于位 C_i 的外在对数似然比, $L_a(C_j)$ 是关于编码位 C_j 的先验对数似然比;

其中 m 是每个单元的位数, i 和 j 是位置, c_j 是编码位, X_0^i 是在位置 i 处位标志具有值 $C_i = 0$ 的状态或电平的子集, X_1^i 是在位置 i 处位标志具有值 $C_i = 1$ 的状态或电平的子集, 且 σ 是多个状态的电压分布的标准偏差;

其中 $E\{r|s\}$ 是关于状态 s 的软输出 r 的平均值或预期值, 并且 $E\{r|\hat{s}\}$ 是关于硬输出 $\hat{s}$ 的软输出 r 的平均值或预期值, 并且 $E\{r|s, \bar{h}\}$ 是关于状态 s 且侵略者单元中的模式是 $\bar{h}$ 的软输出 r 的平均值或预期值, 且 $E\{r|\hat{s}, \bar{h}\}$ 是关于硬输出 $\hat{s}$ 且侵略者单元中的模式是 $\bar{h}$ 的软输出 r 的平均值或预期值。

40. 如权利要求 1 所述的方法, 其中所述可靠性信息和对数似然比中的至少一个包括如下计算的一个或更多个对数似然比:

$$L_e(C_i) \approx \max_{s \in X_0^i} \left[-\frac{1}{2\sigma^2} (E\{r|\hat{s}\} - E\{r|s\})^2 - \sum_{j=1, j \neq i}^m L_a(C_j) \cdot c_j \right] \\ - \max_{s \in X_1^i} \left[-\frac{1}{2\sigma^2} (E\{r|\hat{s}\} - E\{r|s\})^2 - \sum_{j=1, j \neq i}^m L_a(C_j) \cdot c_j \right]$$

其中, $L_e(C_i)$ 是关于位 C_i 的外在对数似然比, $L_a(C_j)$ 是关于编码位 C_j 的先验对数似然比, 关于多个状态的电压分布具有标准偏差 $\sigma(s) = \sigma$;

其中 m 是每个单元的位数, i 和 j 是位置, c_j 是编码位, X_0^i 是在位置 i 处位标志具有值 $C_i = 0$ 的状态或电平的子集, X_1^i 是在位置 i 处位标志具有值 $C_i = 1$ 的状态或电平的子集;

其中 $E\{r|s\}$ 是关于状态 s 的软输出 r 的平均值或预期值, 并且 $E\{r|\hat{s}\}$ 是关于硬输出 $\hat{s}$ 的软输出 r 的平均值或预期值, 并且 $E\{r|s, \bar{h}\}$ 是关于状态 s 且侵略者单元中的模式是 $\bar{h}$ 的软输出 r 的平均值或预期值, 且 $E\{r|\hat{s}, \bar{h}\}$ 是关于硬输出 $\hat{s}$ 且侵略者单元中的模式是 $\bar{h}$ 的软输出 r 的平均值或预期值。

41. 如权利要求 1 所述的方法, 其中所述可靠性信息和对数似然比中的至少一个包括如下计算的一个或更多个对数似然比:

$$L_e(C_i) = \log \frac{\sum_{s \in X_0^i} \exp(-\frac{1}{2\sigma^2} (E\{r|\hat{s}, \bar{h}\} - E\{r|s, \bar{h}\})^2 - \sum_{j=1, j \neq i}^m L_a(C_j) \cdot c_j)}{\sum_{s \in X_1^i} \exp(-\frac{1}{2\sigma^2} (E\{r|\hat{s}, \bar{h}\} - E\{r|s, \bar{h}\})^2 - \sum_{j=1, j \neq i}^m L_a(C_j) \cdot c_j)}$$

其中, $L_e(C_i)$ 是关于位 C_i 的外在对数似然比, $L_a(C_j)$ 是关于编码位 C_j 的先验对数似然比, 关于多个状态的电压分布具有标准偏差 $\sigma(s) = \sigma$;

其中 m 是每个单元的位数, i 和 j 是位置, c_j 是编码位, X_{0i} 是在位置 i 处位标志具有值 $C_i = 0$ 的状态或电平的子集, X_{1i} 是在位置 i 处位标志具有值 $C_i = 1$ 的状态或电平的子集, 且 σ 是多个状态的电压分布的标准偏差;

其中 $E\{r|s\}$ 是关于状态 s 的软输出 r 的平均值或预期值, 并且 $E\{r|\hat{s}\}$ 是关于硬输出 $\hat{s}$ 的软输出 r 的平均值或预期值, 并且 $E\{r|s, \bar{h}\}$ 是关于状态 s 且侵略者单元中的模式是 $\bar{h}$ 的软输出 r 的平均值或预期值, 且 $E\{r|\hat{s}, \bar{h}\}$ 是关于硬输出 $\hat{s}$ 且侵略者单元中的模式是 $\bar{h}$ 的软输出 r 的平均值或预期值。

42. 如权利要求 1 所述的方法, 其中所述可靠性信息和对数似然比中的至少一个包括如下计算的一个或更多个对数似然比:

$$L_e(C_i) \approx \max_{s \in X_{0i}} \left[-\frac{1}{2\sigma^2} (E\{r|\hat{s}, \bar{h}\} - E\{r|s, \bar{h}\})^2 - \sum_{j=1, j \neq i}^m L_a(C_j) \cdot c_j \right] \\ - \max_{s \in X_{1i}} \left[-\frac{1}{2\sigma^2} (E\{r|\hat{s}, \bar{h}\} - E\{r|s, \bar{h}\})^2 - \sum_{j=1, j \neq i}^m L_a(C_j) \cdot c_j \right]$$

其中, $L_e(C_i)$ 是关于位 C_i 的外在对数似然比, $L_a(C_j)$ 是关于编码位 C_j 的先验对数似然比;

其中 m 是每个单元的位数, i 和 j 是位置, c_j 是编码位, X_{0i} 是在位置 i 处位标志具有值 $C_i = 0$ 的状态或电平的子集, X_{1i} 是在位置 i 处位标志具有值 $C_i = 1$ 的状态或电平的子集, 且 σ 是多个状态的电压分布的标准偏差;

其中 $E\{r|s\}$ 是关于状态 s 的软输出 r 的平均值或预期值, 并且 $E\{r|\hat{s}\}$ 是关于硬输出 $\hat{s}$ 的软输出 r 的平均值或预期值, 并且 $E\{r|s, \bar{h}\}$ 是关于状态 s 且侵略者单元中的模式是 $\bar{h}$ 的软输出 r 的平均值或预期值, 且 $E\{r|\hat{s}, \bar{h}\}$ 是关于硬输出 $\hat{s}$ 且侵略者单元中的模式是 $\bar{h}$ 均软输出 r 的平均值或预期值。

43. 一种用于生成关于存储器器件的可靠性信息和对数似然比中的至少一个的方法, 所述方法包括以下步骤:

获得软读取值; 以及

根据所获得的至少一个软读取值和关于从所述存储器器件读取值的统计数据, 生成与所述软读取值关联的所述可靠性信息和对数似然比中的至少一个, 其中所述统计数据包括位置特定的统计数据和取决于模式的统计数据中的一个或更多个。

44. 如权利要求 43 所述的方法, 其中从解码器获得所述软读取值。

45. 一种用于生成关于存储器器件的可靠性信息和对数似然比中的至少一个的设备, 所述设备包括:

用于获得至少一个硬读取值的装置; 以及

用于根据所获得的至少一个硬读取值和关于从所述存储器器件读取硬读取值的统计数据, 生成与所述至少一个硬读取值关联的所述可靠性信息和对数似然比中的至少一个的装置。

46. 一种用于生成关于存储器器件的可靠性信息和对数似然比中的至少一个的设备,

所述设备包括：

用于获得软读取值的装置；以及

用于根据所获得的至少一个软读取值和关于从所述存储器器件读取值的统计数据，生成与所述软读取值关联的所述可靠性信息和对数似然比中的至少一个的装置，其中所述统计数据包括位置特定的统计数据和取决于模式的统计数据中的一个或多个。

用于存储器器件的软数据生成的方法和装置

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求在 2008 年 9 月 30 日提交的、题为“Methods and Apparatus for Soft Demapping and Intercell Interference Mitigation in Flash Memories”的美国临时专利申请第 61/194,751 号和在 2009 年 6 月 30 日提交的国际专利申请 PCT/US09/49333 的优先权,它们均通过引用合并于此。

[0003] 本申请涉及题为“Methods and Apparatus for Soft Data Generation for Memory Devices Based on Performance Factor Adjustment”的国际专利申请、题为“Methods and Apparatus for Soft Data Generation for Memory Devices Using Reference Cells”的国际专利申请和题为“Methods and Apparatus for Soft Data Generation for Memory Devices Using Decoder Performance Feedback”的国际专利申请,它们均与本申请同时提交并且通过引用合并于此。

技术领域

[0004] 本发明通常涉及闪速存储器器件,更具体地,涉及改进的软解映射和软数据生成技术,用于减轻这些闪速存储器器件中的单元间干扰、后模式依赖性 (back pattern dependency)、噪声和其他失真的影响。

背景技术

[0005] 诸如闪速存储器器件的许多存储器器件使用模拟存储器单元来存储数据。每个存储器单元存储诸如电荷或电压的模拟值,其也被称为存储值。存储值表示单元中存储的信息。在闪速存储器器件中,例如,每个模拟存储器单元典型地存储特定的电压。关于每个单元的可能的模拟值的范围典型地被分为多个阈值区,每个区对应于一个或更多个数据位值。通过写入对应于期望的一个或更多个位的额定模拟值来将数据写入模拟存储器单元。

[0006] 单级单元 (SLC) 闪速存储器器件例如,每个存储器单元存储一个位 (或者两个可能的存储器状态)。另一方面,多级单元 (MLC) 闪速存储器器件在每个存储器单元存储两个或更多个位 (即,每个单元具有四个或更多个可编程状态)。对于 MLC 闪速存储器器件的更详细的讨论,参见例如,在 2009 年 3 月 11 日提交的题为“Methods and Apparatus for Storing Data in a Multi-Level Cell Flash Memory Device with Cross-Page Sectors, Multi-Page Coding And Per-Page Coding”的国际专利申请 PCT/US09/36810 号,其通过引用合并于此。

[0007] 在多级 NAND 闪速存储器器件中,例如,使用浮栅器件,其可编程阈值电压范围被分为多个区间,每个区间对应于不同的多位值。为了将给定多位值编程到存储器单元中,存储器单元中的浮栅器件的阈值电压被编程到对应于该值的阈值电压区间。

[0008] 存储器单元中存储的模拟值常常失真。这些失真典型地归因于例如,后模式依赖性 (BPD)、噪声和单元间干扰 (ICI)。对于闪速存储器器件中的失真的更详细的讨论,参见例如, J. D. Lee 等人的“Effects of Floating-Gate Interference on NAND Flash

Memory Cell Operation, " IEEE Electron Device Letters, 264-266 (2002 年 5 月) 或者 Ki-Tae Park 等人的 " A Zeroing Cell-to-Cell Interference Page Architecture With Temporary LSB Storing and Parallel MSB Program Scheme for MLCNAND Flash Memories, " IEEE J. of Solid State Circuits, Vol. 43, No. 4, 919-928, (2008 年 4 月), 它们均通过引用合并于此。

[0009] 已提出或建议了许多用于减轻 ICI 和其他干扰的影响的技术。例如, Ki-Tae Park 等人描述了现有的减轻 ICI 的编程技术, 诸如偶 / 奇编程、由下而上编程和多级编程。在 2009 年 6 月 30 日提交的题为 "Methods and Apparatus for Soft Demapping and Intercell Interference Mitigation in Flash Memories" 的国际专利申请 PCT/US09/49333 公开了闪速存储器中的用于软解映射和干扰减轻的方法和装置。

[0010] 尽管这些现有方法有助于提高闪速存储器的解码性能, 但是它们受到许多限制, 如果克服了这些限制, 则可以进一步提高闪速存储器的可靠性。例如, 当前的闪速存储器典型地仅向闪速控制系统提供用于解码的硬数据。然而, 公知的是, 软数据可以提高解码处理中的错误率性能。因此, 需要使用来自闪速存储器的硬数据来估计或增强软数据并且从而提高解码性能的软数据生成技术。

发明内容

[0011] 通常, 提供了用于存储器器件的软数据生成的方法和装置。根据本发明的一个方面, 通过获得至少一个硬读取值 ; 并且基于关于读取硬读取值的统计生成与至少一个硬读取值关联的软数据值, 生成了关于存储器器件的至少一个软数据值。硬读取值可以包括软数据或硬数据 (或者它们的组合), 诸如一个或更多个数据位、电压电平、电流水平和电阻水平。所生成的软数据值可以包括 (i) 用于生成一个或更多个对数似然比的软读取值 ; 或者 (ii) 一个或更多个对数似然比。

[0012] 统计可以包括基于位的统计、基于单元的统计和取决于模式的统计中的一个或更多个。关于一个或更多个可能电平 LVL_{write} 的基于单元的统计可以基于当写入电平 LVL_{write} 被写入或解码时读取电平 LVL_{read} 的概率。可替代地, 关于一个或更多个可能电平 LVL_{read} 的基于单元的统计可以基于当读取电平 LVL_{read} 被读取时写入或解码电平 LVL_{write} 的概率。

[0013] 统计还可以包括至少一个侵略者单元对目标单元的取决于模式的干扰。关于一个或更多个识别模式以及关于一个或更多个可能的参考电平 LVL_{ref} 的取决于模式的统计可以基于当参考电平 LVL_{ref} 被解码或写入时读取电平 LVL_{read} 的概率。可替代地, 关于一个或更多个识别模式和关于一个或更多个可能的读取电平 LVL_{read} 的取决于模式的统计可以基于当读取电平 LVL_{read} 被读取时解码或写入参考电平 LVL_{ref} 的概率。

[0014] 根据另一方面, 统计可以包括位置特定的统计并且随后生成关于存储器器件的所期望的位置的软数据值。关于至少一个所期望的位置以及关于一个或更多个可能的参考电平 LVL_{ref} 的位置特定的统计可以基于当参考电平 LVL_{ref} 被解码或写入时在所期望的位置读取电平 LVL_{read} 的概率。可替代地, 关于至少一个所期望的位置和关于一个或更多个可能的读取电平 LVL_{read} 的位置特定的统计可以基于当读取电平 LVL_{read} 在所期望的位置被读取时解码或写入参考电平 LVL_{ref} 的概率。

[0015] 根据本发明的另一方面, 通过获得软读取值 ; 并且基于关于读取软读取值的统计

生成与软读取值关联的软数据值,生成了关于存储器器件的至少一个软数据值,其中统计包括位置特定的统计和取决于模式的统计中的一个或更多个。

[0016] 通过参考下面的详细描述和附图,将获得本发明的更完整的理解以及本发明的另外的特征和优点。

附图说明

[0017] 图 1 是传统的闪速存储器系统的示意性框图;

[0018] 图 2 图示了关于图 1 的示例性闪速存储器的示例性阈值电压分布;

[0019] 图 3 图示了多级单元 (MLC) 闪速存储器器件中的示例性闪速单元阵列的架构;

[0020] 图 4 图示了关于图 2 的电压分配方案的示例性两级 MLC 编程方案;

[0021] 图 5A 和 5B 共同地图示了减少强加在相邻单元上的 ICI 的可替代的 MLC 编程方案;

[0022] 图 6 更详细地图示了多级单元 (MLC) 闪速存储器器件中的示例性闪速单元阵列;

[0023] 图 7 图示了由于许多示例性侵略者单元而对目标单元呈现的干扰,诸如单元间干扰、后模式依赖性、噪声和其他失真;

[0024] 图 8 是根据本发明的并入了基于控制器的软解映射/软数据生成技术的示例性闪速存储器系统的示意性框图;

[0025] 图 9 是根据本发明的可替代的实施例的并入了基于控制器的软解映射/软数据生成技术的示例性闪速存储器系统的示意性框图;

[0026] 图 10 图示了具有迭代的解映射和解码以及可选的交织的示例性闪速读取通道架构;

[0027] 图 11 图示了根据本发明的具有软数据生成的示例性闪速存储器系统;

[0028] 图 12A 和 12B 分别是描述示例性软解映射处理和软数据生成处理的流程图;

[0029] 图 13 是低密度奇偶校验 (LDPC) 码的示例性二部图表示;

[0030] 图 14 是示例性 LDPC 解码器架构的框图;

[0031] 图 15 图示了根据本发明的一个实施例的具有软数据生成的示例性闪速存储器系统;

[0032] 图 16 是图示关于示例性二进制通道的错误概率 p 和 q 的网格图;

[0033] 图 17A 至 17C 是记录关于从闪速存储器读出数据的统计数据的示例性的基于单元的统计数据表格;

[0034] 图 18 是记录关于从闪速存储器读出数据的取决于模式的统计数据的示例性的取决于模式的基于单元的统计数据表格;

[0035] 图 19 更详细地图示了关于本发明的参考单元实施例的图 3 的示例性闪速单元阵列;

[0036] 图 20 是描述关于本发明的参考单元实施例的基于位的统计数据生成处理的示例性实现的流程图;

[0037] 图 21 是描述关于本发明的参考单元实施例的基于单元的统计数据生成处理的示例性实现的流程图;

[0038] 图 22 是描述关于本发明的解码码字实施例的基于位的统计数据生成处理的示例

性实现的流程图；

[0039] 图 23 是描述关于本发明的解码码字实施例的基于单元的统计数据生成处理的示例性实现的流程图；

[0040] 图 24 是描述计算关于存储器阵列中的许多不同位置的错误概率统计数据的示例性的基于位的位置特定的统计数据生成处理的流程图；

[0041] 图 25 是描述计算关于存储器阵列中的许多不同位置的统计数据的示例性的基于单元的位置特定的统计数据生成处理的流程图；

[0042] 图 26 图示了基于每个侵略者单元的所有可能值的指示针对给定目标单元的取决于模式的干扰影响的概率密度函数的集合；

[0043] 图 27 是描述估计取决于与至少一个目标单元关联的一个或多个侵略者单元中的给定数据模式的错误概率统计数据的示例性的基于位的取决于模式的统计数据生成处理的流程图；

[0044] 图 28 是描述估计取决于与至少一个目标单元关联的一个或多个侵略者单元中的给定数据模式的统计数据的示例性的基于单元的取决于模式的统计数据生成处理的流程图；

[0045] 图 29 是描述关于本发明的参考单元实施例的估计关于两个可能的二进制值的错误概率统计数据的示例性的非对称统计数据生成处理的流程图；

[0046] 图 30 是描述关于本发明的解码码字实施例的估计关于两个可能的二进制值的错误概率统计数据的示例性的非对称统计数据生成处理的流程图；

[0047] 图 31 是描述使用未满足的奇偶校验的统计数据生成处理的示例性实现的流程图；

[0048] 图 32 是描述使用未满足的奇偶校验估计关于存储器阵列中的许多不同位置的错误概率统计数据的示例性的位置特定的统计数据生成处理的流程图；以及

[0049] 图 33 是描述使用未满足的奇偶校验估计关于两个可能的二进制值的错误概率统计数据的示例性的非对称统计数据生成处理的流程图。

具体实施方式

[0050] 本发明的各种方面涉及用于改进诸如单级单元或多级单元 (MLC) NAND 闪存存储器器件的存储器器件中的解码的软数据生成技术。如这里使用的，多级单元闪存存储器包括其中每个存储器单元存储两个或更多个位的存储器。典型地，一个闪存单元中存储的多个位属于不同的页。如对于本领域的普通技术人员明显的，尽管这里说明的本发明使用将模拟值存储为电压的存储器单元，但是本发明可以使用关于存储器器件的任何存储机制，诸如使用电压或电流来表示所存储的数据。

[0051] 图 1 是传统的闪存存储器系统 100 的示意性框图。如图 1 中所示，示例性闪存存储器系统 100 包括闪存控制系统 110 和闪存存储器模块 160。示例性闪存控制系统 110 包括闪存控制器 120、编码器 / 解码器模块 140 和一个或多个缓冲器 145。在可替选的实施例中，编码器 / 解码器模块 140 和一些缓冲器 145 可以在闪存控制器 120 内部实现。编码器 / 解码器模块 140 和缓冲器 145 可以例如，使用公知的商用技术和 / 或产品来实现。

[0052] 示例性闪存存储器模块 160 包括存储器阵列 170 和一个或多个缓冲器 180，它们

均可以使用公知的商用技术和 / 或产品来实现。存储器阵列 170 可以被实施为单级或多级单元闪速存储器,诸如 NAND 闪速存储器、相变存储器 (PCM)、MRAM 存储器、NOR 闪速存储器或者另外的非易失性闪速存储器。如对于本领域的普通技术人员明显的,尽管主要在多级单元 NAND 闪速存储器的背景下说明了本发明,但是本发明也可以应用于单级单元闪速存储器和其他非易失性存储器。

[0053] 多级单元闪速存储器

[0054] 在多级单元 NAND 闪速存储器中,典型地使用阈值检测器将与特定单元关联的电压值翻译为预先定义的存储器状态。图 2 基于美国专利第 6,522,580 号 (其通过引用合并于此) 的教导图示了关于图 1 的示例性多级单元闪速存储器 170 的示例性阈值电压分布。通常,单元的阈值电压是需要施加到单元的电压,从而使得单元传导特定量的电流。阈值电压是关于存储在单元中的数据的数据量。

[0055] 在图 2 中示出的示例性实施例中,每个存储元件使用四个可能的数据状态来在每个存储器单元中存储两位的数据。图 2 图示了四个峰值 210-213,每个峰值对应于一个状态。在多级单元闪速存储器中,阈值电压分布曲线 200 的不同的峰值 210-213 被用于将两个位存储在单元中。

[0056] 阈值电压分布曲线 200 的峰值 210-213 标记有相应的二进制值。因此,当单元处于第一状态 210 时,其表示低位 (还被称为最低有效位 LSB) 的“1”和高位 (还被称为最高有效位 MSB) 的“1”。状态 210 通常是单元的初始未编程或者擦除状态。同样地,当单元处于第二状态 211 时,其表示低位的“0”和高位的“1”。当单元处于第三状态 212 时,其表示低位的“0”和高位的“0”。最后,当单元处于第四状态 213 时,其表示低位的“1”和高位的“0”。

[0057] 阈值电压分布 210 表示处于擦除状态 (“11”数据状态) 的阵列中的单元的阈值电压 V_t 的分布,具有 0 伏以下的负阈值电压电平。存储“10”和“00”用户数据的存储器单元的阈值电压分布 211 和 212 分别被示出为分别在 0 和 1 伏之间和 1 和 2 伏之间。阈值电压分布 213 示出了已被编程到“01”数据状态的单元的分布,具有设定在 2 和 4.5 伏读通电压之间的阈值电压电平。

[0058] 因此,在图 2 的示例性实施例中,0 伏、1 伏和 2 伏可以用作每个电平或状态之间的电压电平阈值。闪速存储器 160 (例如,闪速存储器 160 中的感测电路) 使用电压电平阈值来确定给定单元的电压电平或状态。闪速存储器 160 将基于测量的电压与电压电平阈值的比较将一个或更多个位分配给每个单元,它们随后作为硬判决被传送到闪速控制系统 110。此外或者可替代地,在使用软信息的实现中,闪速存储器 160 可以将测量的电压或者测量的电压的量化形式作为软信息传送到闪速控制系统 110,其中与存储器单元中存储的位数相比,使用数目更大的位来表示测量的电压。

[0059] 进一步注意到,典型地使用公知的编程 / 验证技术来对单元编程。通常,在编程 / 验证周期期间,闪速存储器 160 逐渐施加增加的电压以将电荷存储在单元晶体管中,直至超过最小目标阈值电压。例如,在图 2 的示例中编程“10”数据状态时,闪速存储器 160 可以逐渐施加增加的电压以将电荷存储在单元晶体管中,直至超过了 0.4V 的最小目标阈值电压。

[0060] 如下文进一步讨论的,存储在单个存储器单元中的两个位中的每一个来自不同的

页。换言之,存储在每个存储器单元中的两个位中的每个位承载了不同的页地址。当输入较低页地址时访问图 2 中示出的右侧位。当输入较高页地址时访问图 2 中示出的左侧位。

[0061] 图 3 图示了多级单元 (MLC) 闪速存储器器件 160 中的示例性闪速单元阵列 300 的架构,其中每个示例性单元典型地对应于存储两个位的浮栅晶体管。在图 3 中,每个单元与两个位所属的两个页的两个编号关联。示例性单元阵列部分 300 示出了字线 n 至 $n+2$ 和四个位线。示例性闪速单元阵列 300 被分为偶数和奇数页,其中例如具有偶数编号(诸如具有编号 0 和 2 的单元)的单元对应于偶数页,并且具有奇数编号(诸如具有编号 1 和 3 的单元)的单元对应于奇数页。字线 n 存储例如偶数位线中的偶数页 0 和 2 以及奇数位线中的奇数页 1 和 3。

[0062] 此外,图 3 指示了示例性编程顺序,其中按所指示的顺序连续地(自下而上)选择并编程偶数或奇数位线单元。编号指示其中对页编程的顺序。例如,页 0 在页 1 之前被编程。对于偶数和奇数页的编程的进一步的讨论,参见例如 K.-T.Park 等人的“A Zeroing Cell-to-Cell Interference Page Architecture With Temporary LSB Storing and Parallel MSB Program Scheme for MLC NAND Flash Memories,” IEEE J. of Solid State Circuits, Vol. 43, No. 4, 919-928, (2008 年 4 月),其通过引用合并于此。

[0063] 图 4 图示了关于图 2 的电压分配方案的示例性两级 MLC 编程方案 400。如图 4 中所示,在 LSB 编程阶段期间,如果 LSB 是零,则处于擦除状态 410 的所选择的单元的状态移动到最低编程状态 411。因此,在 LSB 编程阶段中,将存储器单元从擦除状态“11”编程到“10”。接下来,在 MSB 编程阶段期间,根据前一 LSB 数据,连续形成两个状态,即状态“00”(412) 和状态“01”(413)。通常,在 MSB 编程阶段期间,“10”状态被编程到“00”,并且状态“11”被编程到“01”。

[0064] 注意,图 4 的编程方案 400 图示了与从状态 410 到状态 413 的状态改变关联的最大电压漂移。已提出或建议了许多编程方案来减少与状态改变关联的最大电压漂移,从而减少由电压漂移引起的 ICI。

[0065] 图 5A 和 5B 共同地图示了减少强加在相邻单元上的 ICI 的可替代的 MLC 编程方案 500。如图 5A 中所示,在 LSB 编程阶段期间,按与 SLC 编程相似的方式将存储器单元从状态“11”编程到作为临时(或中间)状态的状态“x0”。在同一字线中的相邻单元也被 LSB 编程之后,由于 ICI,分布可能被扩宽,如图 5A 中的峰值 510 所示。随后,在图 5B 中所示的 MSB 编程阶段中,“x0”状态被编程到作为对应于输入数据的最终状态的“00”和“10”,或者“11”状态被编程到最终的“01”状态。通常,在 MSB 编程阶段中除“11”单元以外的所有存储器单元从关于 LSB 数据的临时编程状态重新编程到其最终状态,从而可以极大地减少由相邻单元引起的 ICI。处于最终状态的单元将不会受到当其处于中间状态时经历的 ICI,这是因为其已被重新编程到最终状态。处于最终状态的单元将仅受到由于其处于最终状态而经历的 ICI。如上文提到的,图 5A 和 5B 的多步骤编程顺序使用中间编程状态,从而减少了最大电压改变并且因此减少由这些电压改变引起的 ICI。在图 5B 中可以看到,例如 MSB 编程阶段期间的最大电压漂移分别与从状态“11”到“01”和从状态“x0”到状态“10”的变换关联。这些电压漂移明显小于图 4 中的从状态“11”到“01”的最大电压漂移。

[0066] 图 6 更详细地图示了多级单元 (MLC) 闪速存储器器件 130 中的示例性闪速单元阵列 600。如图 6 中所示,闪速单元阵列 600 的每个闪速单元 c_i 存储三个位。图 6 图示了关

于一个模块的闪速单元阵列架构,其中每个示例性单元典型地对应于存储三个位的浮栅晶体管。示例性单元阵列 600 由 m 个字线和 n 个位线组成。典型地,在当前的多页单元闪速存储器中,单个单元中的位属于不同的页。在图 6 的示例中,每个单元的三个位对应于三个不同的页,并且每个字线存储三个页。在下面的讨论中,页 0、1 和 2 被称为字线中的较低、中间和较高页级。

[0067] 如上文指示的,闪速单元阵列可以被进一步分为偶数和奇数页,其中例如具有偶数编号的单元(诸如图 6 中的单元 2 和 4)对应于偶数页,并且具有奇数编号的单元(诸如图 6 中的单元 1 和 3)对应于奇数页。在该情况中,页(诸如页 0)将包含偶数单元中的偶数页(偶数页 0)和奇数单元中的奇数页(奇数页 0)。

[0068] 单元间干扰和其他干扰

[0069] 图 7 图示了由于许多示例性侵略者单元 720 而对目标单元 710 呈现的干扰,诸如单元间干扰、后模式依赖性、噪声和其他失真。在图 7 中使用如下记号:

[0070] WL:字线;

[0071] BL:位线;

[0072] BLo:奇数位线

[0073] BLe:偶数位线

[0074] C:电容。

[0075] 例如,ICI 由在目标单元 710 已被编程之后编程的侵略者单元 720 引起。ICI 改变目标单元 710 的电压 V_t 。在示例性实施例中,采取“自下而上”的编程方案并且位线 i 和 $i+1$ 中的相邻的侵略者单元引起了目标单元 710 的 ICI。对于块的这种自下而上的编程,如图 7 中所示,来自较低位线 $i-1$ 的 ICI 被移除,并且高达五个相邻单元作为侵略者单元 720 对 ICI 有贡献。然而,注意,如对于本领域的普通技术人员明显的,这里讨论的技术可以归纳为如下情况,其中来自诸如字线 $i-1$ 的其他字线的侵略者单元也对 ICI 有贡献。如果来自字线 $i-1$ 、 i 和 $i+1$ 的侵略者单元对 ICI 有贡献,则需要考虑高达八个最近的相邻单元。远离目标单元的其他单元可被忽略,条件是它们对 ICI 的贡献是可忽略的。通常,通过分析编程顺序方案(诸如自下而上或偶/奇技术)来识别侵略者单元 720,从而识别在给定目标单元 710 之后编程的侵略者单元 720。

[0076] 通常, V_t 是表示存储在单元上并且在读取操作期间获得的数据的电压。 V_t 可以通过读取操作获得,例如,作为具有比每个单元存储的位数目更高的精度的软电压值,或者作为按与每个单元存储的位数目相同的分辨率(对于 3 位/单元闪速存储器,其是 3 位)量化到硬电压电平的值。

[0077] 对于 ICI 减轻技术的更详细的讨论,参见例如,题为“Methods and Apparatus for Read-Side Intercell Interference Mitigation in Flash Memories”的国际专利申请 PCT/US09/49326 或者题为“Methods and Apparatus for Write-Side Intercell Interference Mitigation in Flash Memories”的国际专利申请 PCT/US09/49327,它们均通过引用合并于此。

[0078] 软数据生成

[0079] 本发明提供了用于闪速存储器的软解映射和软数据生成技术。在下文结合图 12A 进一步讨论的一个示例性实施例中,使用概率统计数据(诸如概率密度函数、其近似、基于

位的概率或者基于单元的概率),根据闪速存储器分配的软数据生成增强的软数据。在下文结合图 12B 进一步讨论的另一示例性实施例中,使用概率统计数据(诸如概率密度函数、其近似、基于位的概率或者基于单元的概率),根据闪速存储器分配的硬数据生成软数据。通常,在最初时获得由闪速存储器分配的数据。本发明随后基于来自闪速存储器的数据生成或增强诸如概率或可靠性信息的软信息。所生成的软信息可以可选地用于软判决解码。如这里使用的,术语“概率密度函数”应包括概率密度函数及其近似,诸如直方图和高斯近似。

[0080] 图 8 是根据本发明的并入了基于控制器的软数据生成技术的示例性闪速存储器系统 800 的示意性框图。如图 8 中所示,示例性闪速存储器系统 800 包括由接口 850 连接的闪速控制系统 810 和闪速存储器模块 860。示例性闪速控制系统 810 包括闪速控制器 820 和读取通道 825,其典型地位于一个或更多个集成电路上。

[0081] 示例性读取通道 825 包括信号处理单元 830、编码器/解码器模块 840 和一个或更多个缓冲器 845。注意,术语“读取通道”也可以涵盖写入通道。在可替选的实施例中,编码器/解码器模块 840 和一些缓冲器 845 可以在闪速控制器 820 内部实现。编码器/解码器模块 840 和缓冲器 845 可以例如使用公知的商用技术和/或产品来实现,进行如这里的修改以提供本发明的特征和功能。

[0082] 示例性信号处理单元 830 包括一个或更多个处理器,其实现一个或更多个软解映射器和/或软数据生成处理 835,如下文例如分别结合图 12A 和 12B 进一步讨论的。示例性闪速存储器模块 860 包括存储器阵列 870 和一个或更多个缓冲器 880,它们均可以使用公知的商用技术和/或产品来实现。

[0083] 在所公开的软数据生成技术的各种实施例中,示例性接口 850 可能需要传送与传统的闪速存储器系统相关的额外信息,诸如表示与侵略者单元关联的信息的值。因此,接口 850 可能需要具有比传统的闪速存储器系统中的接口更高的容量或更快的速率。接口 850 可以可选地例如,根据在 2009 年 6 月 30 日提交的并且通过引用合并于此的题为“Methods and Apparatus for Interfacing Between a Flash Memory Controller and a Flash Memory Array”(代理人编号 08-0769)的国际 PCT 专利申请 PCT/US09/49328 的教导来实现,其使用例如双数据速率(DDR)技术来增加接口 850 的信息承载容量。在写入操作期间,接口 850 典型地使用页或字线级访问技术来传输将被存储在目标单元中的编程值。对于示例性的页或字线级访问技术的更详细的讨论,参见例如,在 2009 年 3 月 11 日提交的题为“Methods and Apparatus for Storing Data in a Multi-Level Cell Flash Memory Device with Cross-Page Sectors, Multi-Page Coding And Per-Page Coding”的国际专利申请 PCT/US09/36810,其通过引用合并于此。

[0084] 在读取操作期间,接口 850 传输已从存储器阵列 870 获得的关于目标和侵略者单元的硬和/或软读取值。例如,除了关于具有目标单元的页的读取值之外,在接口总线上传输关于较高/较低字线或者相邻偶数或奇数位线中的一个或更多个相邻页的读取值。在图 8 的实施例中,所公开的软数据生成技术是在闪速存储器外部实现的,典型地以为逻辑电路优化以实现最低面积的处理技术实现。然而,这是以可能在接口 850 上传输额外的侵略者单元数据为代价的。

[0085] 图 9 是根据本发明的可替选的实施例的并入了基于存储器的软数据生成技术的示例性闪速存储器系统 900 的示意性框图。如图 9 中所示,示例性闪速存储器系统 900 包

括由接口 950 连接的闪速控制系统 910 和闪速存储器模块 960。

[0086] 示例性闪速控制系统 910 包括闪速控制器 920 和可选的读取通道 925, 其典型地位于一个或更多个集成电路上。在可替换的实施例中, 编码器 / 解码器模块 940 和一些缓冲器 945 可以在闪速控制器 920 内部实现。示例性闪速控制器 920 可以例如使用公知的商用技术和 / 或产品来实现, 进行如这里的修改以支持本发明的特征和功能。示例性读取通道 925 包括编码器 / 解码器模块 940 和一个或更多个缓冲器 945。编码器 / 解码器模块 940 和缓冲器 945 可以使用公知的商用技术和 / 或产品来实现。

[0087] 示例性闪速存储器模块 960 包括存储器阵列 970 和一个或更多个缓冲器 980, 它们均可以使用公知的商用技术和 / 或产品来实现。此外, 示例性闪速存储器模块 960 包括示例性的信号处理单元 985, 其包括实现一个或更多个软解映射和 / 或软数据生成处理 990 的一个或更多个处理器, 如下文例如分别结合图 12A 和 12B 进一步讨论的。

[0088] 在所公开的软数据生成技术的各种实施例中, 示例性接口 950 可能需要传送与传统的闪速存储器系统相关的额外信息, 诸如表示与侵略者单元关联的信息的值。因此, 接口 950 可能需要具有比传统的闪速存储器系统中的接口更高的容量或更快的速率。接口 950 可以可选地例如, 根据在 2009 年 6 月 30 日提交的并且通过引用合并于此的题为 “Methods and Apparatus for Interfacing Between a Flash Memory Controller and a Flash Memory Array” (代理人编号 08-0769) 的国际 PCT 专利申请 PCT/US09/49328 的教导来实现, 其使用例如双数据速率 (DDR) 技术来增加接口 950 的信息承载容量。

[0089] 在写入操作期间, 接口 950 传输将被存储到目标和侵略者单元中的编程数据。在读取操作期间, 接口 950 传输关于目标单元和可选地侵略者单元的新的硬或软读取值或数据。典型地, 对于单次读取访问所传送的信息是数据的页或字线。注意, 以使用用于制造闪速存储器的存储器加工技术在存储器内部实现软数据生成处理为代价 (典型地针对存储器和非逻辑电路进行优化), 仅发送关于目标单元的数据减少了接口 950 的带宽要求。

[0090] 图 10 图示了具有根据在 2009 年 6 月 30 日提交的题为 “Methods and Apparatus for Soft Demapping and Intercell Interference Mitigation in Flash Memories” 的国际专利申请 PCT/US09/49333 (其通过引用合并于此) 的教导的迭代的解映射和解码以及可选的交织的示例性闪速读取通道架构 1000。如图 10 中所示, 示例性写入路径包括编码器 1010、可选的交织器 1020、串并转换器 1030 和映射器 1040。数据以已知的方式被写入存储器 1050 并从其中读取。示例性读取路径包括软解映射器或软数据生成器 1060、并串转换器 1070、解交织器 1080、解码器 1090 和交织器 1095。通常, 如下文进一步讨论的, 软解映射器或者软数据生成器 1060 生成如下文进一步描述的软信息, 该软信息由解码器 1090 处理以生成新的软信息并且以迭代的方式反馈到软解映射器, 直至迭代处理收敛到最终判决。

[0091] 在下文的题为 “使用读取统计数据计算软数据 (LLR)” 的部分中讨论了根据本发明的由软解映射器 1060 使用的用于生成软信息 (LLR) 的等式。如图 10 中所示, 由解映射器 1060 生成的软信息可以用于反馈路径中的软解映射器 1060、解交织器 1080、解码器 1090 和交织器 1095 之间的迭代的解映射和解码。

[0092] 基于来自闪速存储器的数据的软数据生成

[0093] 本发明认识到, 当前的闪速存储器 860、960 典型地仅向闪速控制系统 810、910 提供硬数据。然而, 公知的是, 软数据可以提高解码处理中的错误率性能。因此, 根据本发明

的一个方面,使用来自闪速存储器 860、960 的硬数据来估计软数据并且从而提高闪速控制系统 810、910 中的解码性能。例如,如下文讨论的,硬数据的统计性质可以用于估计或增强软数据。随后可以使用所生成的软数据用于解码,诸如 LDPC 码的置信传播解码,以提高错误率性能。

[0094] 根据本发明的另一方面,闪速存储器 860、960 向闪速控制系统 810、910 提供软数据或软信息。根据由闪速存储器 860、960 提供的软数据生成增强的软数据,从而提高闪速控制系统 810、910 中的解码性能。在使用软信息的实现中,闪速存储器系统 860、960 将测量的电压或者测量的电压的量化形式作为软信息传送到闪速控制系统 810、910,其中与存储器单元中存储的位数目相比,使用数目更大的位来表示测量的电压。

[0095] 图 11 图示了根据本发明的一个实施例的具有基于控制器的软数据生成的示例性闪速存储器系统 1100。如图 11 中所示,示例性闪速存储器系统 1100 包括由接口 1115 连接的闪速存储器模块 1110 和闪速控制系统 1120。如后面讨论的,软或硬数据值(或此两者)可以由闪速存储器模块 1110 分配并且在接口 1115 上被传输到闪速控制系统 1120 用于进一步解码和处理。示例性闪速控制系统 1120 包括下文结合图 12A 和 12B 进一步讨论的软解映射器/软数据生成器 1200 以及下文结合图 13-14 进一步讨论的解码器 1400。解码器 1400 可以例如,使用 LDPC 解码算法来实施,诸如 Belief Propagation、Message Passing、Sum-Product 或者 Min-Sum 算法。

[0096] 如图 11 中所示,软解映射器/软数据生成器 1200 生成的软信息可以可选地用于软解映射器/软数据生成器 1200 和解码器 1400 之间的迭代的解映射和解码。通常,如图 11 中所示,软解映射器/软数据生成器 1200 生成如下文的题为“使用读取统计数据计算软数据(LLR)”的部分中讨论的具有 LLR, L_e 的形式的软信息。在最初时,由软解映射器/软数据生成器 1200 计算的 LLR, L_e 基于来自闪速存储器 1110 的软或硬读出数据(或此两者)以及相应的统计数据。LLR, L_e 由解码器 1400 处理以生成新的软信息 L_a , 其以迭代的方式反馈回到软解映射器/软数据生成器 1200, 直至迭代处理收敛到最终判决。

[0097] 软解映射器/软数据生成器 1200

[0098] 图 12A 是描述并入本发明的用于根据闪速存储器 810、910 提供的软数据生成增强的软数据的特征的示例性软解映射处理 1200 的流程图。如图 12A 中所示,示例性软解映射处理 1200 在最初时在步骤 1210 期间从闪速存储器 810、910 获得关于目标单元的软数据 r , 并且可选地获得表示存储在与目标单元关联的侵略者单元(一个或更多个)中的数据的一个或更多个值 h 。

[0099] 软解映射处理 1200 随后在步骤 1220 期间基于 r 和可选地 h 获得统计数据(或概率), 诸如一个或更多个概率密度函数。下文在题为“统计数据的收集”的部分中进一步地讨论了统计数据。

[0100] 随后在步骤 1230 期间,使用所获得的统计数据计算 LLR(一个或更多个)。在下文的题为“使用读取统计数据计算软数据(LLR)”的部分中讨论了 LLR。随后在步骤 1240 期间,将计算的 LLR 提供给解码器 1400, 或者可选地提供给解交织器。计算的 LLR 可以可选地被用于例如基于 LLR 的符号进行关于读取数据的最终判决。

[0101] 图 12B 是描述并入本发明的用于根据闪速存储器 810、910 提供的硬数据生成软数据的特征的示例性软数据生成处理 1250 的流程图。如图 12B 中所示,示例性软数据生成处

理 1250 在最初时在步骤 1260 期间从闪速存储器 810、910 获得关于目标单元的硬数据 $\hat{s}$,并且可选地获得表示存储在目标单元关联的侵略者单元(一个或多个)中的数据的一个或多个值 $\bar{h}$ 。硬数据 $\hat{s}$ 可以是例如,由闪速存储器 810、910 分配给每个单元的二进制位或者电平。

[0102] 为了计算关于单元中的一个位的 LLR 并且其他位不可用,使用例如页和字线访问技术来读取单元中的其他位。对于示例性的页或字线级访问技术的更详细的讨论,参见例如,在 2009 年 3 月 11 日提交的题为“Methods and Apparatus for Storing Data in a Multi-Level Cell Flash Memory Device with Cross-Page Sectors, Multi-Page Coding And Per-Page Coding”的国际专利申请 PCT/US09/36810,其通过引用合并于此。对于页访问技术,读取 LLR 正被计算的页,并且可选地,也可以读取同一字线中的其他页,从而可以将硬数据映射到关于单元的级别 $\hat{s}$ 。通过字线访问技术,可以读取整个字线以获得单元中的所有位,从这些位获得硬数据级 $\hat{s}$ 。

[0103] 例如,通过从侵略者单元 720(或者其中存储侵略者单元 720 的页或字线)读出多个位来获得模式 $\bar{h}$ 。对于用于读出侵略者单元的技术的更详细的讨论,参见例如,题为“Methods and Apparatus for Read-Side Intercell Interference Mitigation in Flash Memories”的国际专利申请 PCT/US09/49326,其通过引用合并于此。

[0104] 软数据生成处理 1250 随后在步骤 1270 期间基于 $\hat{s}$ 和可选地 $\bar{h}$ 获得统计数据(或概率),诸如一个或多个概率密度函数。如下文在题为“统计数据的收集”的部分中进一步地讨论的,统计数据也可以是基于位的或基于单元的概率。如下文的题为“使用读取统计数据计算软数据(LLR)”的部分中关于各种高斯近似等式的讨论,当使用关于软读取值的分布的高斯近似时,统计数据包括分布的平均值或方差。可以例如在闪速存储器芯片针对不同性能因数的特征化期间(诸如编程/擦除周期、读取周期和温度)预先计算平均值和方差并且将其存储在表格中。可以基于性能因数,并且可选地还基于侵略者单元 720 中存储的模式 $\bar{h}$ 从表格获得平均值和方差。

[0105] 随后在步骤 1280 期间使用所获得的统计数据来计算 LLR。在下文的题为“使用读取统计数据计算软数据(LLR)”的部分中讨论了 LLR。注意,如题为“使用读取统计数据计算软数据(LLR)”的部分中解释的,除了统计数据或者替代统计数据,可以可选地使用由解码器提供的先验 LLR L_a 来计算 LLR。当计算了关于单元中的位的 LLR 时,使用关于单元中的至少一个位(可选地所有其他位)的先验 LLR L_a 。这需要单元中的这些其他位已被读取并且已由解码器计算关于它们的先验 LLR L_a 。

[0106] 随后在步骤 1290 期间将计算的 LLR 提供给解码器 1400,或者可选地提供给解交织器。计算的 LLR 可以可选地用于例如基于 LLR 的符号进行关于读取数据的最终判决。注意,如在 2009 年 3 月 11 日提交的题为“Methods and Apparatus for Storing Data in a Multi-Level Cell Flash Memory Device with Cross-Page Sectors, Multi-Page Coding And Per-Page Coding”的国际专利申请 PCT/US09/36810(其通过引用合并于此)中描述的,单元中的所有位(或者字线中的所有页)可以被共同地编码和解码。在另一实施例中,再次如国际专利申请 PCT/US09/36810 中描述的,单元中的位(或者字线中的所有页)可以被分立地编码和解码。

[0107] 解码器 1400-LDPC 实现

[0108] 下面的 LDPC 码和 LDPC 解码的背景讨论基于 A. J. Blanksby 和 C. J. Howland 的 " A 690-mW 1-Gb/s 1024-b, Rate-1/2 Low-Density Parity-Check Decoder, " IEEE J. Solid-State Circuits, Vol. 37, 404-412 (Mar. 2002) 中的讨论, 其通过引用合并于此。对于更详细的讨论, 请读者参考 Blanksby 和 Howland 的完整论文。

[0109] LDPC 码的图表示

[0110] 还可以使用二部图来表示 LDPC 码, 其中一个节点集合表示奇偶校验约束而另一集合表示数据位。图 13 是 LDPC 码的示例性二部图表示 1300。奇偶校验矩阵是图的关联矩阵, 其中如果设定了 H 中的元 h_{ji} , 即非零, 则对应于 H 中的列 i 的位节点 i 连接到对应于 H 中的行 j 的校验节点 j。

[0111] 一种用于对 LDPC 码解码的算法被称为和 - 积算法。为了该算法的良好解码性能, 重要的是, LDPC 码的图表示中的周期长度是尽可能长的。在图 13 的示例性表示中, 图示了长度为四的示例性短周期。诸如图 13 中图示的长度为 4 的周期的短周期使和 - 积算法的性能劣化。另一用于对 LDPC 码解码的公知算法是最小和算法。

[0112] 和 - 积算法

[0113] 和 - 积算法是用于对 LDPC 码解码的迭代算法。和 - 积算法还被称为消息传递算法或置信传播。对于和 - 积算法的更详细的讨论, 参见例如, A. J. Blanksby 和 C. J. Howland 的 " A 690-mW 1-Gb/s 1024-b, Rate-1/2 Low-Density Parity-Check Decoder, " IEEE J. Solid-State Circuits, Vol. 37, 404-412 (Mar. 2002)、D. E. Hocevar 的 " LDPC Code Construction With Flexible Hardware Implementation, " IEEE Int'l Conf. on Comm. (ICC), Anchorage, AK, 2708-2712 (May, 2003) 以及 R. N. S. Ratnayake、E. F. Haratsch 和 Gu-Yeon Wei 的 " A Bit-node centric architecture for low-density parity check decoders, " ' IEEE Global Telecommunications Conference (Globecom), Washington, D. C., 265-270 (November 2007), 它们均通过引用合并于此。

[0114] 从位节点 i 到校验节点 j 的消息 $Q_{i,j}$ 由下式给出:

$$[0115] \quad Q_{i,j} = \sum_{l \in B_i, l \neq j} R_{l,i} + L_{e,i}$$

[0116] 其中 $L_{e,i}$ 是关于位 i 的由软解映射器 / 软数据生成器提供的外在 LLR。从校验节点 j 到位节点 i 的消息 $R_{j,i}$ 由下式给出:

$$[0117] \quad R_{j,i} = s_{j,i} \cdot \phi \left(\sum_{l \in C_j, l \neq i} \phi(|Q_{l,j}|) \right)$$

[0118] 其中:

$$[0119] \quad s_{j,i} = \prod_{l \in C_j, l \neq i} \text{sign}(Q_{l,j}); \text{ and}$$

$$[0120] \quad \phi(x) = -\log \tanh(x/2) = \log \frac{e^x + 1}{e^x - 1}$$

[0121] 关于位 i 的后验信息值 (其还被称为后验对数似然比 (LLR)) Λ_i 由下式给出:

$$[0122] \quad \Lambda_i = \sum_{i \in B_i} R_{i,i} + L_{e,i}$$

[0123] 提供给软解映射器 / 软数据生成器用于迭代解映射和解码的关于位 i 的 LLR $L_{a,i}$ 被给出为

$$[0124] \quad L_{a,i} = \sum_{i \in B_i} R_{i,i}$$

[0125] 其中 B_i 是连接到位节点 i 的校验节点的集合 ; 并且 C_j 是连接到校验节点 j 的位节点的集合。

[0126] LDPC 解码器 - 硬件共享解码器架构

[0127] 实现用于对 LDPC 码解码的和 - 积算法时的重大的挑战是管理消息的传递。由于校验节点和位节点的功能相对简单, 因此它们各自的实现仅牵涉小数目门的。主要问题是在功能节点之间传递消息所需要的带宽的实现。

[0128] 图 14 是示例性硬件共享 LDPC 解码器架构 1400 的框图。如图 14 中所示, 通用的 LDPC 解码器架构 1400 包括分别实现校验或位节点的功能的许多功能单元 1410、1420 以及用于存储消息和实现图连接性的存储器构造 1450。控制逻辑 1430 控制存储器构造 1450 的配置。对于硬件共享 LDPC 解码器架构 1400 的实现的详细讨论, 参见例如, E. Yeo 等人的 " VLSI Architectures for Iterative Decoders in Magnetic Recording Channels, " IEEE Trans. On Magnetics, Vol. 37, No. 2, 748-755 (2001 年 3 月)。

[0129] 已认识到, 该硬件共享架构减少了解码器的面积。

[0130] 图 15 图示了根据本发明的一个实施例的具有软数据生成的示例性闪速存储器系统 1500。如图 15 中所示, 示例性闪速存储器系统 1500 包括闪速存储器模块 1510。如后面讨论的, 硬或软数据值 (或此两者) 典型地由闪速存储器模块 1510 分配并且在接口 1515 上传输到闪速控制系统 1520 用于进一步解码和处理。示例性闪速控制系统 1520 包括下文结合图 16 进一步讨论的 LLR 生成器 1550、在下文的题为 " 统计数据的收集 " 的部分中进一步讨论的统计数据生成器 1570 以及解码器 1530。统计数据生成器 1570 生成的统计数据可选地被记录在下文例如结合图 17A 至 17C 和 18 进一步讨论的一个或更多个统计数据表格 1560 中, 或者可替代地, 可以实时地生成。

[0131] LLR 生成器 1550 使用统计数据生成器 1570 生成的统计数据来生成具有 LLR, L_e 的形式的软数据。在最初时, LLR, L_e 基于来自闪速存储器 1510 的软或硬读出数据 (或此两者) 以及相应的统计数据。LLR, L_e 由解码器 1530 处理以生成新的软信息 L_a , 其以迭代的方式反馈到 LLR 生成器 1550, 直至迭代处理收敛到最终判决。

[0132] 解码器 1530 可以再次例如使用 LDPC 解码算法来实施, 诸如置信传播、消息传递、和 - 积或最小和算法。注意, 这里描述的统计数据生成器 1570 和 LLR 生成器 1550 的功能可以在闪速控制系统 1520、解码器 1530 和读取通道 825 (参见例如, 图 8) 中的一个或更多个中实现。

[0133] 使用读取统计数据计算软数据 (LLR)

[0134] 关于位 c 的先验对数似然比 (LLR) L_a 可以被定义如下 :

$$[0135] \quad L_a(c) = \log \frac{P(c=0)}{P(c=1)}$$

[0136] 其中 $P(\dots)$ 是概率。

[0137] 同样地,在闪速输出 r 上调节的位 c 的 LLR 被计算如下:

$$\begin{aligned} [0138] \quad L(c|r) &= \log \frac{P(c=0|r)}{P(c=1|r)} = \log \frac{P(c=0)}{P(c=1)} + \log \frac{p(r|c=0)}{p(r|c=1)} \\ [0139] \quad &= L_a(c) + L_e(c) \end{aligned}$$

[0140] 其中 $L_e(c)$ 是传递到后继解码器的外在 LLR 或软信息,并且 $p(\dots)$ 是概率密度函数 (PDF)。

[0141] 图 16 是图示关于示例性二进制通道的错误概率 p 和 q 的网格图 1600。注意,在二进制通道的背景下, p 表示错误概率,而 $p(\dots)$ 另外表示概率密度函数。当 $p \neq q$ 时,该二进制通道是非对称的。当 $p = q$ 时,该二进制通道是对称的。如图 16 中所示, p 是关于二进制 0 的错误概率(即当写入 0 时读取 1 的概率)。同样地, q 是关于二进制 1 的错误概率(即当写入 1 时读取 0 的概率)。正确地读取二进制 0 的概率(即当写入 0 时读取 0 的概率)可以被表达为 $1-p$ 。相似地,正确地读取二进制 1 的概率(即当写入 1 时读取 1 的概率)可以被表达为 $1-q$ 。

[0142] 关于二进制非对称通道的外在 LLR

[0143] 关于由网格图 1600 定义的二进制非对称通道的位 c 的外在 LLR, $L_e(c)$ 可以被表达如下:

$$[0144] \quad L_e(c) = \log \frac{P(\hat{c}|c=0)}{P(\hat{c}|c=1)}.$$

[0145] 关于读取位 $\hat{c}=0$ 的外在 LLR, $L_e(c)$ 被计算为:

$$[0146] \quad L_e(c) = \log \frac{P(\hat{c}=0|c=0)}{P(\hat{c}=0|c=1)} = \log \frac{1-p}{q}.$$

[0147] 关于读取位 $\hat{c}=1$ 的外在 LLR, $L_e(c)$ 被计算为:

$$[0148] \quad L_e(c) = \log \frac{P(\hat{c}=1|c=0)}{P(\hat{c}=1|c=1)} = \log \frac{p}{1-q}.$$

[0149] 关于二进制对称通道(其中 $p = q = p_0$)的外在 LLR

[0150] 关于读取位 $\hat{c}=0$ 的外在 LLR, $L_e(c)$ 被计算为:

$$[0151] \quad L_e(c) = \log \frac{P(\hat{c}=0|c=0)}{P(\hat{c}=0|c=1)} = \log \frac{1-p_0}{p_0}.$$

[0152] 关于读取位 $\hat{c}=1$ 的外在 LLR, $L_e(c)$, 该 LLR 被计算为:

$$[0153] \quad L_e(c) = \log \frac{P(\hat{c}=1|c=0)}{P(\hat{c}=1|c=1)} = \log \frac{p_0}{1-p_0}.$$

[0154] 关于来自闪速存储器的软输出的外在 LLR

[0155] 对于 2 位/单元闪速存储器,可以如下计算关于从闪速存储器 810、910 接收到的软值 r 的外在 LLR:

$$[0156] \quad L_e(c_0) = \log \frac{p(r|c_0=0)}{p(r|c_0=1)} = \log \frac{P(c_0=0)}{P(c_0=1)} \cdot \frac{P(c_0=0, c_1=0|r) + P(c_0=0, c_1=1|r)}{P(c_0=1, c_1=0|r) + P(c_0=1, c_1=1|r)}$$

$$[0157] \quad = \log \frac{p(r | c_0 = 0, c_1 = 0) + \frac{P(c_1 = 1)}{P(c_1 = 0)} p(r | c_0 = 0, c_1 = 1)}{p(r | c_0 = 1, c_1 = 0) + \frac{P(c_1 = 1)}{P(c_1 = 0)} p(r | c_0 = 1, c_1 = 1)}$$

$$[0158] \quad = \log \frac{p(r | c_0 = 0, c_1 = 0) + \exp(-L_a(c_1)) \cdot p(r | c_0 = 0, c_1 = 1)}{p(r | c_0 = 1, c_1 = 0) + \exp(-L_a(c_1)) \cdot p(r | c_0 = 1, c_1 = 1)}$$

[0159] 通常, 对于每个单元的任何数目的位, 关于位 C_i 的外在 LLR 可以被表达为

$$[0160] \quad L_e(C_i) = \log \frac{\sum_{s \in \chi_0^i} p(r|s) \cdot \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}{\sum_{s \in \chi_1^i} p(r|s) \cdot \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)},$$

[0161] 其中:

[0162] r : 接收信号

[0163] s : 由存储的位 ($c_0, c_1, \dots, c_m$) 给出的原始存储状态或电平

[0164] c_i : 编码位

[0165] 每个单元 m 个位

$$[0166] \quad L_a(C_i) = \log \frac{P(C_i = 0)}{P(C_i = 1)} \quad \text{先验 LLR}$$

[0167] $L_e(C_i)$: 外在 LLR

[0168] $\chi_{c_i}^i$: 在位置 i 处位标志具有值 $C_i = c_i$ 的状态或电平的子集

[0169] 其中 $L_a(C_i)$ 例如由解码器提供, 诸如 LDPC 解码器 1090 或 1400。在第一次迭代中, $L_a(C_i)$ 可以被初始化为 0。

[0170] 使用如下等式:

$$[0171] \quad p(r|s) = \frac{p(r)}{P(s)} \cdot P(s|r),$$

[0172] 关于外在 LLR 的表达式也可以被写为如下形式:

$$[0173] \quad L_e(C_i) = \log \frac{\sum_{s \in \chi_0^i} \frac{P(s|r)}{P(s)} \cdot \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}{\sum_{s \in \chi_1^i} \frac{P(s|r)}{P(s)} \cdot \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}$$

[0174] 该表达式可以被进一步简化为:

$$[0175] \quad L_e(C_i) = \log \frac{\sum_{s \in \chi_0^i} P(s|r) \cdot \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}{\sum_{s \in \chi_1^i} P(s|r) \cdot \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}$$

[0176] 如果所有状态或电平是均等地可靠的, 则该表达式在数学上等同于上面的表达式。

[0177] 关于来自闪速存储器的软输出的取决于模式的 LLR

[0178] 对于从闪速存储器 810、910 接收到的关于目标单元的一个或更多个软值 r 以及关于侵略者单元的一个或更多个值 $\bar{h}$, 可以示出:

$$[0179] \quad L_e(C_i) = \log \frac{\sum_{s \in \chi_0^i} p(r, \bar{h} | s) \cdot \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}{\sum_{s \in \chi_1^i} p(r, \bar{h} | s) \cdot \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)},$$

[0180] 其中 $\bar{h}$ 是存储在周围单元中或者其他单元中的引起对目标单元的干扰的数据模式。例如：

[0181] $\bar{h} = (h^{k \pm 1, l}, h^{k, l \pm 1}, h^{k \pm 1, l \pm 1})$ 表示在正在计算 LLR 的位置 (k, l) 处与目标单元相邻的所有侵略者单元。

[0182] 可以例如通过从侵略者单元读出硬数据来获得模式 $\bar{h}$ 。关于外在 LLR 的表达式也可以被写为如下形式：

$$[0183] \quad L_e(C_i) = \log \frac{\sum_{s \in \chi_0^i} \frac{P(s | r, \bar{h})}{P(s)} \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}{\sum_{s \in \chi_1^i} \frac{P(s | r, \bar{h})}{P(s)} \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}.$$

[0184] 该表达式可以被进一步简化为：

$$[0185] \quad L_e(C_i) = \log \frac{\sum_{s \in \chi_0^i} P(s | r, \bar{h}) \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}{\sum_{s \in \chi_1^i} P(s | r, \bar{h}) \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}.$$

[0186] 如果所有状态是均等地可靠的，则该表达式在数学上等同于上面的表达式。

[0187] 关于来自闪速存储器的硬输出的外在 LLR

[0188] 当来自闪速存储器的软输出不可用，并且闪速存储器仅提供硬数据 $\hat{s}$ （其是由闪速存储器分配给存储数据的状态或电平）时，外在 LLR 可以被计算为：

$$[0189] \quad L_e(C_i) \approx \log \frac{\sum_{s \in \chi_0^i} p(E\{r | \hat{s}\} | s) \cdot \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}{\sum_{s \in \chi_1^i} p(E\{r | \hat{s}\} | s) \cdot \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}$$

$$[0190] \quad \approx \log \frac{\sum_{s \in \chi_0^i} P(\hat{s} | s) \cdot \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}{\sum_{s \in \chi_1^i} P(\hat{s} | s) \cdot \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}$$

[0191] 其中 $\mathbf{E}\{r|\hat{s}\}$ 是假设硬值 $\hat{s}$ 的关于软值 r （诸如电压）的预期值或者关于软值 r 的某个其他估计。 $\mathbf{P}(\hat{s}|s)$ 是在假设原始写入存储状态或电平 s 的情况下读取硬值（诸如状态或电平） $\hat{s}$ 的概率。

[0192] 可替代地，外在 LLR 可以被计算为

$$[0193] \quad L_e(C_i) \approx \log \frac{\sum_{s \in \chi_0^i} \frac{P(s | E\{r | \hat{s}\})}{P(s)} \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}{\sum_{s \in \chi_1^i} \frac{P(s | E\{r | \hat{s}\})}{P(s)} \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}$$

$$[0194] \quad \approx \frac{\sum_{s \in \chi_0^i} \frac{P(s | \hat{s})}{P(s)} \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}{\sum_{s \in \chi_1^i} \frac{P(s | \hat{s})}{P(s)} \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}$$

$$[0195] \quad \approx \frac{\sum_{s \in \mathcal{X}_0'} P(s | \hat{s}) \cdot \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}{\sum_{s \in \mathcal{X}_1'} P(s | \hat{s}) \cdot \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}$$

[0196] 其中 $\mathbf{P}(\mathbf{s}|\hat{\mathbf{s}})$ 是在假设读取硬值（诸如状态或电平） $\hat{\mathbf{s}}$ 的情况下原始写入或存储状态或电平 s 的概率。

[0197] 关于来自闪速存储器的硬输出的取决于模式的 LLR

[0198] 当来自闪速存储器的软输出不可用，并且闪速存储器仅提供硬数据 $\hat{\mathbf{s}}$ （其是由闪速存储器分配给存储数据的状态或电平）时，可以基于存储在侵略者单元中的模式 $\bar{\mathbf{h}}$ 来计算外在 LLR：

$$[0199] \quad L_e(C_i) \approx \log \frac{\sum_{s \in \mathcal{X}_0'} p(E\{r | \hat{s}, \bar{h}\}, \bar{h} | s) \cdot \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}{\sum_{s \in \mathcal{X}_1'} p(E\{r | \hat{s}, \bar{h}\}, \bar{h} | s) \cdot \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}$$

$$[0200] \quad \approx \log \frac{\sum_{s \in \mathcal{X}_0'} P(\hat{s}, \bar{h} | s) \cdot \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}{\sum_{s \in \mathcal{X}_1'} P(\hat{s}, \bar{h} | s) \cdot \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}$$

[0201] 其中假设原始写入存储状态或电平 s ， $\mathbf{P}(\hat{\mathbf{s}}, \bar{\mathbf{h}} | \mathbf{s})$ 是读取硬值（诸如状态或电平） $\hat{\mathbf{s}}$ 的概率并且侵略者单元中的模式是 $\bar{\mathbf{h}}$ 。 $\bar{\mathbf{h}}$ 是存储在周围单元中或者其他单元中的引起对目标单元的干扰的数据模式。例如：

[0202] $\bar{h} = (h^{k \pm 1, l}, h^{k, l \pm 1}, h^{k \pm 1, l \pm 1})$ 表示在正在计算 LLR 的位置 (k, l) 处与目标单元相邻的所有侵略者单元。

[0203] 可以例如通过从侵略者单元读出硬数据来获得模式 $\bar{\mathbf{h}}$ 。

[0204] 可替代地，取决于模式的 LLR 可以被计算为：

$$[0205] \quad L_e(C_i) \approx \log \frac{\sum_{s \in \mathcal{X}_0'} \frac{P(s | E\{r | \hat{s}, \bar{h}\}, \bar{h})}{P(s)} \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}{\sum_{s \in \mathcal{X}_1'} \frac{P(s | E\{r | \hat{s}, \bar{h}\}, \bar{h})}{P(s)} \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}$$

$$[0206] \quad \approx \frac{\sum_{s \in \mathcal{X}_0'} \frac{P(s | \hat{s}, \bar{h})}{P(s)} \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}{\sum_{s \in \mathcal{X}_1'} \frac{P(s | \hat{s}, \bar{h})}{P(s)} \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}$$

$$[0207] \quad \approx \frac{\sum_{s \in \mathcal{X}_0'} P(s | \hat{s}, \bar{h}) \cdot \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}{\sum_{s \in \mathcal{X}_1'} P(s | \hat{s}, \bar{h}) \cdot \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}$$

[0208] 其中 $\mathbf{P}(\mathbf{s}|\hat{\mathbf{s}}, \bar{\mathbf{h}})$ 是在假设读取硬值（诸如状态或电平） $\hat{\mathbf{s}}$ 的情况下原始写入或存储状态或电平 s 的概率并且侵略者单元中的模式是 $\bar{\mathbf{h}}$ 。

[0209] 关于来自闪速存储器的软输出在没有软解码器反馈的情况下的外在 LLR

[0210] 当在软解映射器 / 软数据生成器中没有使用来自解码器的软输出时（换言之， $L_a(C_i) = 0$ ），软解映射器 / 软数据生成器中的外在 LLR 可以被计算如下：

$$[0211] \quad L_e(C_i) = \log \frac{\sum_{s \in X_0^i} p(r|s)}{\sum_{s \in X_1^i} p(r|s)}$$

$$[0212] \quad L_e(C_i) = \log \frac{\sum_{s \in X_0^i} \frac{P(s|r)}{P(s)}}{\sum_{s \in X_1^i} \frac{P(s|r)}{P(s)}} \approx \log \frac{\sum_{s \in X_0^i} P(s|r)}{\sum_{s \in X_1^i} P(s|r)}$$

[0213] 这些外在 LLR 随后被传递到如图 10 和 11 中所示的解码器。LDPC 随后可以应用例如消息传递解码算法用于解码器内部的局部迭代,直至数据位被解码。在该情况中,没有执行软解映射器 / 软数据生成器之间的全局检测 / 解码迭代以减少整体计算的复杂性。

[0214] 在该情况中可以如下计算取决于模式的 LLR :

$$[0215] \quad L_e(C_i) = \log \frac{\sum_{s \in X_0^i} p(r, \bar{h}|s)}{\sum_{s \in X_1^i} p(r, \bar{h}|s)}$$

$$[0216] \quad L_e(C_i) = \log \frac{\sum_{s \in X_0^i} \frac{P(s|r, \bar{h})}{P(s)}}{\sum_{s \in X_1^i} \frac{P(s|r, \bar{h})}{P(s)}} \approx \log \frac{\sum_{s \in X_0^i} P(s|r, \bar{h})}{\sum_{s \in X_1^i} P(s|r, \bar{h})}$$

[0217] 关于来自闪速存储器的硬输出在没有软解码器反馈的情况下的外在 LLR

[0218] 如果来自闪速存储器的软数据不可用,并且没有使用来自解码器的软输出以减少计算的复杂性,则外在 LLR 可以被计算如下 :

$$[0219] \quad L_e(C_i) \approx \log \frac{\sum_{s \in X_0^i} p(E\{r|\hat{s}\}|s)}{\sum_{s \in X_1^i} p(E\{r|\hat{s}\}|s)}$$

$$[0220] \quad \approx \log \frac{\sum_{s \in X_0^i} P(\hat{s}|s)}{\sum_{s \in X_1^i} P(\hat{s}|s)}$$

[0221] 其中 $E\{r|\hat{s}\}$ 是假设硬值 $\hat{s}$ 的关于软值 r (诸如电压) 的预期值或者关于软值 r 的某个其他估计。 $P(\hat{s}|s)$ 是在假设原始写入存储状态或电平 s 的情况下读取硬值 (诸如状态或电平) $\hat{s}$ 的概率。

[0222] 在可替选的实现方案中,外在 LLR 可以被计算为 :

$$[0223] \quad L_e(C_i) \approx \log \frac{\sum_{s \in X_0^i} \frac{P(s|E\{r|\hat{s}\})}{P(s)}}{\sum_{s \in X_1^i} \frac{P(s|E\{r|\hat{s}\})}{P(s)}}$$

$$[0224] \quad \approx \frac{\sum_{s \in X_0^i} \frac{P(s|\hat{s})}{P(s)}}{\sum_{s \in X_1^i} \frac{P(s|\hat{s})}{P(s)}}$$

$$[0225] \quad \approx \frac{\sum_{s \in X_0^i} P(s|\hat{s})}{\sum_{s \in X_1^i} P(s|\hat{s})}$$

[0226] 其中 $\mathbf{P}(\mathbf{s}|\hat{\mathbf{s}})$ 是在假设读取硬值（诸如状态或电平） $\hat{\mathbf{s}}$ 的情况下原始写入或存储状态或电平 s 的概率。

[0227] 在该情况中取决于模式的 LLR 可以被计算如下：

$$[0228] \quad L_e(C_i) \approx \log \frac{\sum_{s \in X_0^i} P(\hat{s}, \bar{h} | s)}{\sum_{s \in X_1^i} P(\hat{s}, \bar{h} | s)}$$

$$[0229] \quad L_e(C_i) \approx \frac{\sum_{s \in X_0^i} \frac{P(s | \hat{s}, \bar{h})}{P(s)}}{\sum_{s \in X_1^i} \frac{P(s | \hat{s}, \bar{h})}{P(s)}}$$

$$[0230] \quad \approx \frac{\sum_{s \in X_0^i} P(s | \hat{s}, \bar{h})}{\sum_{s \in X_1^i} P(s | \hat{s}, \bar{h})}$$

[0231] 关于来自闪速存储器的软输出的外在 LLR 的高斯近似

[0232] 如果来自闪速存储器的软输出（诸如读取阈值电压）被建模为具有高斯分布，则假设原始存储或写入电平 s 的关于软输出 $p(r)$ 的条件 PDF $p(r|s)$ 可以被表示为：

$$[0233] \quad p(r|s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma(s)} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma(s)^2} (r - E\{r|s\})^2\right)$$

[0234] 其中 $\sigma(s)$ 是标准偏差并且 $E\{r|s\}$ 是关于状态 s 的软输出（诸如阈值电压）的平均值或预期值。

[0235] 随后，外在 LLR 可以被计算为：

$$[0236] \quad L_e(C_i) = \log \frac{\sum_{s \in X_0^i} \frac{1}{\sigma(s)} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma(s)^2} (r - E\{r|s\})^2\right) \cdot \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}{\sum_{s \in X_1^i} \frac{1}{\sigma(s)} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma(s)^2} (r - E\{r|s\})^2\right) \cdot \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}$$

$$[0237] \quad = \log \frac{\sum_{s \in X_0^i} \frac{1}{\sigma(s)} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma(s)^2} (r - E\{r|s\})^2\right) - \sum_{j=1, j \neq i}^m L_a(C_j) \cdot c_j}{\sum_{s \in X_1^i} \frac{1}{\sigma(s)} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma(s)^2} (r - E\{r|s\})^2\right) - \sum_{j=1, j \neq i}^m L_a(C_j) \cdot c_j}$$

[0238] 如果关于所有状态的电压分布具有相同的标准偏差 $\sigma(s) = \sigma$ ，则该等式可以被简化为如下表达式：

$$[0239] \quad L_e(C_i) = \log \frac{\sum_{s \in X_0^i} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} (r - E\{r|s\})^2\right) \cdot \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}{\sum_{s \in X_1^i} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} (r - E\{r|s\})^2\right) \cdot \prod_{j=1, j \neq i}^m \exp(-L_a(C_j) \cdot c_j)}$$

$$[0240] \quad = \log \frac{\sum_{s \in X_0^i} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} (r - E\{r|s\})^2\right) - \sum_{j=1, j \neq i}^m L_a(C_j) \cdot c_j}{\sum_{s \in X_1^i} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} (r - E\{r|s\})^2\right) - \sum_{j=1, j \neq i}^m L_a(C_j) \cdot c_j}$$

[0241] 该等式可以被进一步简化为：

$$[0242] \quad L_e(C_i) \approx \max_{s \in X_0^i} \left[-\frac{1}{2\sigma^2} (r - E\{r|s\})^2 - \sum_{j=1, j \neq i}^m L_a(C_j) \cdot c_j\right] - \max_{s \in X_1^i} \left[-\frac{1}{2\sigma^2} (r - E\{r|s\})^2 - \sum_{j=1, j \neq i}^m L_a(C_j) \cdot c_j\right]$$

$$[0243] \quad \sum_{j=1, j \neq i}^m L_a(C_j) \cdot c_j]$$

[0244] 关于来自闪速存储器的硬输出的外在 LLR 的高斯近似

[0245] 当来自闪速存储器的软输出不可用时,假设软输出是高斯分布的,则 LLR 可以被计算如下:

$$[0246] \quad L_e(C_i) = \log \frac{\sum_{s \in \chi_0^i} \frac{1}{\sigma(s)} \exp(-\frac{1}{2\sigma(s)^2} (E\{r | \hat{s}\} - E\{r | s\})^2 - \sum_{j=1, j \neq i}^m L_a(C_j) \cdot c_j)}{\sum_{s \in \chi_1^i} \frac{1}{\sigma(s)} \exp(-\frac{1}{2\sigma(s)^2} (E\{r | \hat{s}\} - E\{r | s\})^2 - \sum_{j=1, j \neq i}^m L_a(C_j) \cdot c_j)}$$

[0247] 其中 $E\{r | s\}$ 是关于状态 s 的软输出 r (诸如阈值电压) 的平均值或预期值,并且 $E\{r | \hat{s}\}$ 是关于硬输出 $\hat{s}$ 的软输出 r (诸如阈值电压) 的平均值或预期值,其是由闪速存储器分配和提供的状态或电平。

[0248] 如果对于所有状态的电压分布具有相同的标准偏差 $\sigma(s) = \sigma$,则该等式可以被简化为如下表达式:

$$[0249] \quad L_e(C_i) = \log \frac{\sum_{s \in \chi_0^i} \exp(-\frac{1}{2\sigma^2} (E\{r | \hat{s}\} - E\{r | s\})^2 - \sum_{j=1, j \neq i}^m L_a(C_j) \cdot c_j)}{\sum_{s \in \chi_1^i} \exp(-\frac{1}{2\sigma^2} (E\{r | \hat{s}\} - E\{r | s\})^2 - \sum_{j=1, j \neq i}^m L_a(C_j) \cdot c_j)}$$

[0250] 该等式可以被进一步简化为:

$$[0251] \quad L_e(C_i) \approx \max_{s \in \chi_0^i} [-\frac{1}{2\sigma^2} (E\{r | \hat{s}\} - E\{r | s\})^2 - \sum_{j=1, j \neq i}^m L_a(C_j) \cdot c_j]$$

$$[0252] \quad -\max_{s \in \chi_1^i} [-\frac{1}{2\sigma^2} (E\{r | \hat{s}\} - E\{r | s\})^2 - \sum_{j=1, j \neq i}^m L_a(C_j) \cdot c_j]$$

[0253] 关于来自闪速存储器的硬输出的取决于模式的外在 LLR 的高斯近似

[0254] 如果关于软输出的分布被建模为高斯,则关于硬输出的取决于模式的 LLR 可以被计算如下:

$$[0255] \quad L_e(C_i) = \log \frac{\sum_{s \in \chi_0^i} \frac{1}{\sigma(s, \bar{h})} \exp(-\frac{1}{2\sigma(s, \bar{h})^2} (E\{r | \hat{s}, \bar{h}\} - E\{r | s, \bar{h}\})^2 - \sum_{j=1, j \neq i}^m L_a(C_j) \cdot c_j)}{\sum_{s \in \chi_1^i} \frac{1}{\sigma(s, \bar{h})} \exp(-\frac{1}{2\sigma(s, \bar{h})^2} (E\{r | \hat{s}, \bar{h}\} - E\{r | s, \bar{h}\})^2 - \sum_{j=1, j \neq i}^m L_a(C_j) \cdot c_j)}$$

[0256] 其中 $\bar{h}$ 是如上文定义的存储在侵略者单元中的模式,并且 $\sigma(s, \bar{h})$ 是关于状态 s 和模式 $\bar{h}$ 的软输出的分布的标准偏差。

[0257] 如果对于所有状态和模式的电压分布具有相同的标准偏差 $\sigma(s, \bar{h}) = \sigma$,则该等式可以被简化为如下表达式:

$$[0258] \quad L_e(C_i) = \log \frac{\sum_{s \in \chi_0^i} \exp(-\frac{1}{2\sigma^2} (E\{r | \hat{s}, \bar{h}\} - E\{r | s, \bar{h}\})^2 - \sum_{j=1, j \neq i}^m L_a(C_j) \cdot c_j)}{\sum_{s \in \chi_1^i} \exp(-\frac{1}{2\sigma^2} (E\{r | \hat{s}, \bar{h}\} - E\{r | s, \bar{h}\})^2 - \sum_{j=1, j \neq i}^m L_a(C_j) \cdot c_j)}$$

[0259] 该等式可以被进一步简化为:

$$[0260] \quad L_e(C_i) \approx \max_{s \in \chi_0^i} [-\frac{1}{2\sigma^2} (E\{r | \hat{s}, \bar{h}\} - E\{r | s, \bar{h}\})^2 - \sum_{j=1, j \neq i}^m L_a(C_j) \cdot c_j]$$

$$[0261] \quad -\max_{s \in \chi_1^i} \left[-\frac{1}{2\sigma^2} (E\{r | \hat{s}, \bar{h}\} - E\{r | s, \bar{h}\})^2 - \sum_{j=1, j \neq i}^m L_a(C_j) \cdot c_j \right]$$

[0262] 关于来自闪速存储器的软输出在没有软解码器反馈的情况下的外在 LLR 的高斯近似

[0263] 当没有使用软解码器反馈时,当来自闪速存储器的软输出可用时可以使用关于软输出分布的高斯近似来如下计算外在 LLR :

$$[0264] \quad L_e(C_i) = \log \frac{\sum_{s \in \chi_0^i} \frac{1}{\sigma(s)} \exp(-\frac{1}{2\sigma(s)^2} (r - E\{r | s\})^2)}{\sum_{s \in \chi_1^i} \frac{1}{\sigma(s)} \exp(-\frac{1}{2\sigma(s)^2} (r - E\{r | s\})^2)}$$

[0265] 如果对于所有状态的电压分布具有相同的标准偏差 $\sigma(s) = \sigma$,则该等式可以被简化为如下表达式:

$$[0266] \quad L_e(C_i) = \log \frac{\sum_{s \in \chi_0^i} \exp(-\frac{1}{2\sigma^2} (r - E\{r | s\})^2)}{\sum_{s \in \chi_1^i} \exp(-\frac{1}{2\sigma^2} (r - E\{r | s\})^2)}$$

[0267] 该表达式可以被进一步简化为:

$$[0268] \quad L_e(C_i) \approx \max_{s \in \chi_0^i} \left[-\frac{1}{2\sigma^2} (r - E\{r | s\})^2 \right] - \max_{s \in \chi_1^i} \left[-\frac{1}{2\sigma^2} (r - E\{r | s\})^2 \right]$$

[0269] 关于来自闪速存储器的硬输出的没有软解码器反馈的外在 LLR 的高斯近似

[0270] 当没有使用软解码器反馈时,当仅来自闪速存储器的硬输出可用时可以使用关于软输出分布的高斯近似来如下计算外在 LLR :

$$[0271] \quad L_e(C_i) = \log \frac{\sum_{s \in \chi_0^i} \frac{1}{\sigma(s)} \exp(-\frac{1}{2\sigma(s)^2} (E\{r | \hat{s}\} - E\{r | s\})^2)}{\sum_{s \in \chi_1^i} \frac{1}{\sigma(s)} \exp(-\frac{1}{2\sigma(s)^2} (E\{r | \hat{s}\} - E\{r | s\})^2)}$$

[0272] 如果对于所有状态的电压分布具有相同的标准偏差 $\sigma(s) = \sigma$,则该等式可以被简化为如下表达式:

$$[0273] \quad L_e(C_i) = \log \frac{\sum_{s \in \chi_0^i} \exp(-\frac{1}{2\sigma^2} (E\{r | \hat{s}\} - E\{r | s\})^2)}{\sum_{s \in \chi_1^i} \exp(-\frac{1}{2\sigma^2} (E\{r | \hat{s}\} - E\{r | s\})^2)}$$

[0274] 该等式可以被进一步简化为:

$$[0275] \quad L_e(C_i) \approx \max_{s \in \chi_0^i} \left[-\frac{1}{2\sigma^2} (E\{r | \hat{s}\} - E\{r | s\})^2 \right]$$

$$[0276] \quad -\max_{s \in \chi_1^i} \left[-\frac{1}{2\sigma^2} (E\{r | \hat{s}\} - E\{r | s\})^2 \right]$$

[0277] 相应的取决于模式的 LLR 被计算如下:

$$[0278] \quad L_e(C_i) = \log \frac{\sum_{s \in x_0^i} \frac{1}{\sigma(s, \bar{h})} \exp(-\frac{1}{2\sigma(s, \bar{h})^2} (E\{r | \hat{s}, \bar{h}\} - E\{r | s, \bar{h}\})^2)}{\sum_{s \in x_1^i} \frac{1}{\sigma(s, \bar{h})} \exp(-\frac{1}{2\sigma(s, \bar{h})^2} (E\{r | \hat{s}, \bar{h}\} - E\{r | s, \bar{h}\})^2)}$$

[0279] 如果对于所有状态和模式的电压分布具有相同的标准偏差 $\sigma(s, \bar{h}) = \sigma$, 则该等式可以被简化为如下表达式:

$$[0280] \quad L_e(C_i) = \log \frac{\sum_{s \in x_0^i} \exp(-\frac{1}{2\sigma^2} (E\{r | \hat{s}, \bar{h}\} - E\{r | s, \bar{h}\})^2)}{\sum_{s \in x_1^i} \exp(-\frac{1}{2\sigma^2} (E\{r | \hat{s}, \bar{h}\} - E\{r | s, \bar{h}\})^2)}$$

[0281] 这可以被进一步简化为:

$$[0282] \quad L_e(C_i) \approx \max_{s \in x_0^i} [-\frac{1}{2\sigma^2} (E\{r | \hat{s}, \bar{h}\} - E\{r | s, \bar{h}\})^2]$$

$$[0283] \quad -\max_{s \in x_1^i} [-\frac{1}{2\sigma^2} (E\{r | \hat{s}, \bar{h}\} - E\{r | s, \bar{h}\})^2]$$

[0284] 读取统计数据表格

[0285] 图 17A 至 17C 是记录关于从闪速存储器读出数据的统计数据的示例性的基于单元的统计数据表格。图 17A 是指示对于给定的电平 (写入 (s) 和读取($\hat{s}$)) 对的、当写入电平 (s) 被写入时读取电平($\hat{s}$)被读取的次数的示例性的基于单元的统计数据计数表格 1700。例如, 当写入电平 (s) 也等于 00 时, 读取电平($\hat{s}=00$)被读取 10617 次。此外, 当写入电平 (s) 等于 01 时, 读取电平($\hat{s}=00$)被错误读取 148 次。计数表格 1700 还可选地指示每个行和列的和。计数表格 1700 中的值由下文结合图 21、23、25 和 28 讨论的许多个基于单元的统计数据处理使用。

[0286] 图 17B 是指示关于给定的电平 (写入 (s) 和读取($\hat{s}$)) 对的、在读取电平($\hat{s}$)被读取的条件下写入电平 (s) 被写入的概率 $p(s|\hat{s})$ 的示例性的基于单元的统计数据表格。图 17C 是指示关于给定的电平 (写入 (s) 和读取($\hat{s}$)) 对的、在写入电平 (s) 被写入的条件下读取电平($\hat{s}$)被读取的概率 $p(\hat{s}|s)$ 的示例性的基于单元的统计数据表格 1740。

[0287] 图 18 是示例性的取决于模式的基于单元的统计数据表格 1800, 其记录关于在存在给定模式的情况下从闪速存储器读出数据的取决于模式的统计数据。示例性表格 1800 指示关于给定的电平 (写入 (s) 和读取($\hat{s}$)) 对的、在存在给定模式 $\bar{h}$ 的情况下的、在写入电平 (s) 被写入的条件下存在模式 $\bar{h}$ 的情况下读取电平($\hat{s}$)被读取的概率 $p(\hat{s}, \bar{h} | s)$ 。

[0288] 统计数据的收集

[0289] 使用参考单元的统计数据收集

[0290] 图 19 更详细地图示了图 3 的示例性闪速单元阵列。如图 19 中所示, 示例性闪速单元阵列 1900 包括多个参考单元 1920-ref₁ 至 1920-ref_N (在这里被共同称为参考单元 1920) 以提供所有操作条件中的可靠的信道估计或统计数据。

[0291] 图 19 中示出的示例性参考单元 1920 具有哈希背景。参考单元 1920 可以周期性地或者间歇地使用诸如已知的位模式或者已知的符号模式的已知模式进行编程。注意, 参

考单元 1920 可以以任何期望的方式在闪速单元阵列 1900 中分布,例如在每个字线中使用数目一致的或可变数目的单元。参考单元 1920 的位置可以是固定的或者随时间变化的,例如用于避免磨损或损坏的单元。在一个实现方案中,参考单元 1920 的位置是固定的并且可以随时间观察相同参考单元 1920 的性能。在该固定位置的实现方案中,参考单元 1920 可以可选地仅被写入一次,或者可以被写入或读取与闪速存储器阵列中的其他单元相当的次数。

[0292] 在另一变化方案中,参考单元 1920 的位置随时间变化以便于使参考单元 1920 的性能反映整个阵列 1900 的性能。在又一变化方案中,可以从许多不同的阵列 1900 中的参考单元 1920 获得统计数据并且随后对结果求平均。

[0293] 如下文进一步讨论的,读取参考单元 1920 并且将其与已知模式比较。例如,可以如下获得检测到错误的概率 p_0 的估计:

[0294]

$$p_0 = \frac{\text{不正确的读出数据的数目}}{\text{参考单元的数目}}$$

[0295] 参考单元的编程和读取可以可选地以已知的方式与跨越存储器展开的磨损和损毁的磨损程度算法组合。

[0296] 在各种实施例中,参考单元 1920 可以存储所有可能的电平,可以具有周期性的模式(其中电平交替)并且随时间被周期性地写入或读取。

[0297] 如后面讨论的,本发明的各种实施例收集并且使用基于位的统计数据、基于单元的或者取决于模式的统计数据。对于使用基于位的统计数据的实施例,测量位错误性能。对于使用基于单元的统计数据的实施例,基于单元测量读取统计数据。对于取决于模式的统计数据,读取统计数据还考虑存储在侵略者单元中的数据模式。

[0298] 1. 使用参考单元的基于位的统计数据

[0299] 图 20 是描述关于本发明的参考单元实施例的基于位的统计数据生成处理 2000 的示例性实现的流程图。通常,基于位的统计数据生成处理 2000 计算检测到位错误的概率 p_0 。LLR 生成器 1550(图 15)随后可以使用检测到位错误的概率 p_0 来计算所期望的软数据。在最初时,统计数据生成处理 2000 在步骤 2010 期间将已知模式写入一个或更多个参考单元 1920。如先前表明的,已知模式可以是例如,已知位模式或已知符号模式。

[0300] 随后,在步骤 2020 期间读取参考单元。统计数据生成处理 2000 随后在步骤 2030 期间确定错误度量,诸如参考单元 1920 中的错误位的数目。如先前表明的,可以将在步骤 2020 期间读取的参考单元 1920 与已知模式比较。

[0301] 统计数据生成处理 2000 在步骤 2040 期间如下计算错误概率统计数据:

[0302]

$$p_0 = \frac{\text{错误位的数目}}{\text{参考单元的总数}}$$

[0303] 2. 使用参考单元的基于单元的统计数据

[0304] 图 21 是描述关于本发明的参考单元实施例的基于单元的统计数据生成处理 2100 的示例性实现的流程图。如图 21 中所示,基于单元的统计数据生成处理 2100 在最初时在步骤 2110 期间将一个或更多个已知的电压电平写入参考单元 1920。

[0305] 随后,基于单元的统计数据生成处理 2100 在步骤 2120 期间从参考单元 1920 读取电压电平。对于每个可能的写入电平 s 或 LVL_{write} ,基于单元的统计数据生成处理 2100 在步骤 2130 期间对当该写入电平 s 或 LVL_{write} 被写入时每个电平 $\hat{s}$ 或 LVL_{read} 被读取的次数进行计数。

[0306] 在步骤 2140 期间如下计算错误概率统计数据:

[0307]

$$p(\hat{s}|s) = \frac{\text{当 } LVL_{write} \text{ 被写入时, } LVL_{read} \text{ 被读取的次数}}{LVL_{write} \text{ 被写入的总次数}}$$

[0308] 其中 # 表示数目。

[0309] 可替代地,在步骤 2140 期间可以如下计算错误概率统计数据(相反情况):

[0310]

$$p(s|\hat{s}) = \frac{\text{当 } LVL_{read} \text{ 被读取时, } LVL_{write} \text{ 被写入的次数}}{LVL_{read} \text{ 被读取的总次数}}$$

[0311] 注意,对于在步骤 2140 期间计算的等式,可以在分母中使用可替代的归一化项。

[0312] 使用解码码字的统计数据收集

[0313] 在本发明的解码码字的实施例中,使用从作为参考单元的解码码字获得的数据生成关于诸如闪存存储器器件 810、910 的存储器器件的软数据。通常,对来自诸如闪存存储器器件的存储器器件的硬数据解码,并且获得错误度量,诸如错误解码位的数目。例如,可以通过将解码位与从存储器器件获得的硬数据比较来获得错误解码位的数目。这样,可以假设解码码字是正确的并且其可以用作上文讨论的参考单元。

[0314] 1. 使用解码码字的基于位的统计数据

[0315] 图 22 是描述关于本发明的解码码字实施例的基于位的统计数据生成处理 2200 的示例性实现的流程图。通常,基于位的统计数据生成处理 2200 使用解码码字计算检测到错误的概率 p_0 。LLR 生成器 1550(图 15)随后可以使用检测到错误的概率 p_0 来计算所期望的软数据。在最初时,统计数据生成处理 2200 在步骤 2210 期间从闪存存储器获得硬数据。

[0316] 随后,基于位的统计数据生成处理(解码码字)2200 在步骤 2220 期间对硬数据解码。在步骤 2230 期间确定错误度量,诸如来自闪存存储器的错误位的数目。可以例如通过将解码的位(其被假设是正确的)与来自闪存存储器的硬数据比较来确定错误位的数目。

[0317] 统计数据生成处理 2200 在步骤 2240 期间如下计算错误概率统计数据:

[0318]

$$p_0 = \frac{\text{错误位的数目}}{\text{解码位的总数}}$$

[0319] 2. 使用解码码字的基于单元的统计数据

[0320] 图 23 是描述并入本发明的特征的基于单元的统计数据生成处理(解码码字)2300 的示例性实现的流程图。通常,统计数据生成处理 2300 使用解码码字计算基于单元的错误概率。在最初时,基于单元的统计数据生成处理 2300 在步骤 2310 期间从闪存存储器获得硬数据。

[0321] 随后,基于单元的统计数据生成处理(解码码字)2300 在步骤 2320 期间对硬数据解码。随后在步骤 2325 期间将解码位映射到相应的电压电平。

[0322] 对于每个可能的解码电压电平 s 或 LVL_{decod} , 基于单元的统计数据生成处理 (解码码字) 2300 随后在步骤 2330 期间对当该解码电平 s 或 LVL_{decod} 被解码时每个电压电平 $\hat{s}$ 或 LVL_{read} 被读取的次数进行计数。

[0323] 在步骤 2340 期间如下计算错误概率统计数据:

[0324]

$$p(\hat{s} | s) = \frac{\text{当 } LVL_{\text{decod}} \text{ 被解码时, } LVL_{\text{read}} \text{ 被读取的次数}}{LVL_{\text{decod}} \text{ 被解码的总次数}}$$

[0325] 可替代地, 在步骤 2340 期间可以如下计算错误概率统计数据 (相反情况):

[0326]

$$p(s | \hat{s}) = \frac{\text{当 } LVL_{\text{read}} \text{ 被读取时, } LVL_{\text{decod}} \text{ 被解码的次数}}{LVL_{\text{read}} \text{ 被读取的总次数}}$$

[0327] 条件特定的错误概率

[0328] 如先前表明的, 可选地可以针对不同的条件, 诸如针对存储器阵列的不同位置, 针对侵略者单元的不同模式, 针对不同的温度, 针对编程 / 擦除或读取周期的不同的数目等, 获得错误概率统计数据。随后, 当观察相同的条件时, 可以使用适当的取决于条件的统计数据或概率来获得软数据。

[0329] 如下文结合图 24 和 25 讨论的, 示例性的位置特定的统计数据生成处理 2400、2500 分别使用基于位的统计数据 and 基于单元的统计数据获得关于存储器阵列的不同位置的错误概率统计数据。

[0330] 基于位的位置特定的统计数据

[0331] 图 24 是描述估计关于存储器阵列中的许多不同位置的检测到位错误的概率的示例性的基于位的位置特定的统计数据生成处理 2400 的流程图。例如, 可以针对不同的页位置、字线位置、位线位置 (诸如偶数和奇数位线) 和多级单元中的不同的位 (诸如最高有效位 (MSB) 和最低有效位 (LSB)) 中的一个或多个, 获得检测到错误的概率 $p_{0, \text{LOC}}$ 。如图 24 中所示, 示例性的基于位的位置特定的统计数据生成处理 2400 在最初时在步骤 2430 期间基于所期望的位置特定的统计数据, 确定在参考单元或解码码字的期望位置的错误位的数目。例如, 如果位置特定的统计数据是关于 MSB 的, 则在步骤 2430 期间评估错误的 MSB 位的数目。注意, 当正在获得 MSB 统计数据时, 例如, 可选地可以忽略每个单元中的任何其他位, 诸如 LSB 位。

[0332] 位置特定的统计数据生成处理 2400 随后在步骤 2440 期间如下计算位置特定的错误概率统计数据:

[0333]

$$p_{0, \text{LOC}} = \frac{\text{在期望位置的错误位的数目}}{\text{在期望位置的所考虑的位的总数}}$$

[0334] 基于单元的位置特定的统计数据

[0335] 对于基于单元的位置特定的实现方案, 存储器阵列中的所关注的不同的位置可以包括例如, 不同的字线位置或位线位置 (诸如偶数和奇数位线) 中的一个或多个。

[0336] 图 25 是描述获得关于存储器阵列 1900 中的许多不同位置 (诸如一个或多个不同的字线位置或位线位置 (诸如偶数和奇数位线)) 的错误概率统计数据的示例性的基于

单元的位置特定的统计数据生成处理 2500 的流程图。如图 25 中所示,对于每个可能的参考电压电平 s 或 LVL_{ref} ,示例性的基于单元的位置特定的统计数据生成处理 2500 在最初时在步骤 2530 期间对当参考电平 s 或 LVL_{ref} 被解码或写入时每个电压电平 $\hat{s}$, LVL_{read} 在期望位置被读取的次数进行计数。

[0337] 基于单元的位置特定的统计数据生成处理 2500 随后在步骤 2540 期间如下计算位置特定的错误概率统计数据:

[0338]

$$p(\hat{s}|s) = \frac{\text{当 } LVL_{ref} \text{ 被写入或解码时, } LVL_{read} \text{ 被读取的次数}}{LVL_{ref} \text{ 被写入/解码的总次数}}$$

[0339] 可替代地,如上文讨论的,可以计算 $p(s|\bar{s})$ 。

[0340] 在本发明的各种实施例中,可以针对每个页、字线或存储器阵列,或者针对页、字线或存储器阵列的组(诸如针对字线中的不同的页级,或者针对存储器阵列中的底、中和顶字线),收集分立的基于位的、基于单元的或者基于模式的统计数据。此外,可以在多个页、字线或存储器阵列上对统计数据取平均,并且随后可以将平均统计数据用于这些页、字线或存储器阵列。

[0341] 取决于模式的统计数据

[0342] 如先前表明的,本发明的各种实施例计算关于目标单元的一个或更多个软值 r 以及关于侵略者单元的一个或更多个值 $\bar{h}$ 的外在 LLR, L_e , 其中 $\bar{h}$ 是存储在侵略者单元(诸如周围单元)中的数据模式。

[0343] 图 26 图示了基于每个侵略者单元 720 的所有可能值的、关于示例性多级单元闪存存储器 600 的给定目标单元 710 的概率密度函数 2610 的示例性集合 2600。示例性多级单元闪存存储器的每个单元具有四个电平(两位),并且对于取决于数据的 pdf,考虑一个侵略者单元 720。可应用于给定目标单元 710 的每个可能的电平的概率密度函数的数目是增加到影响给定目标单元 710 的侵略者单元 720 的数目的关于每个侵略者单元 720 的可能电平的数目。如先前表明的,在示例性实施例中,每个单元可以具有四个可能值中的一个,对于每个目标单元 710 存在一个侵略者单元 720 并且每个侵略者单元 720 可以具有四个可能电平中的一个。因此,为了说明,概率密度函数的集合 2600 包括关于数据或电压电平 0 的四个概率密度函数 2610-1 至 2610-4,其可归因于侵略者单元的模式。对于其他数据电平 1、2 和 3 中的每个,也存在四个概率密度函数。如对于本领域的普通技术人员将明显的,本发明可以扩展到每个单元具有任意数目的电平的多级单元闪存存储器 600 以及任意数目的侵略者单元 720。

[0344] 通常,除了噪声和干扰影响之外,图 26 中的每个概率密度函数表示了关于相应的侵略者单元 720 的给定值对给定目标单元 710 的 ICI 影响。在本发明的另一实施例中,代替 ICI 或者除了 ICI 之外,取决于数据的概率密度函数可以表达其他取决于数据的失真。如后面讨论的,在各种实施例中,概率密度函数可以被预先定义并且是静态的,基于实时观察进行调整,或者被表示为关于侵略者单元 720 的测量或检测的值 h 的函数,诸如高斯函数。

[0345] 根据本发明的一个方面,闪存存储器器件中的干扰的特征可以通过获得一个或更多个概率密度函数来描述,该概率密度函数表达了一个或更多个侵略者单元对至少一个目标单元的取决于模式的干扰。干扰可以包括,例如,后模式依赖性、单元间干扰、编程干扰、

读取干扰和 / 或额外的噪声。概率密度函数可以基于一个或更多个数据判决进行更新。概率密度函数可以被表示为存储的表格和 / 或表达式。

[0346] 进一步注意, 概率密度函数的表元或函数参数可以可选地例如, 基于接收到的数据判决进行自适应地更新。例如, 基于接收到的侵略者模式 h 选择概率密度函数。随后使用已知的技术基于接收到的目标单元值 r , 按最新的事件更新所选择的概率密度函数 (例如, 通过增加相应的计数器)。

[0347] 如先前表明的, 影响给定目标单元 710 的侵略者单元 720 的数目可以基于许多因素而被减少或忽略。这样, 需要考虑的概率密度函数的数目可以减少。例如, 在减轻 ICI 的示例性实现方案中, 如果对角耦合系数 k_{xy} 比其他耦合系数小得多 (情况常常如此), 则来自位于对角线的单元的 ICI 可以被忽略。此外, 编程顺序影响需要考虑的侵略者单元 720 的数目。例如, 如果总是以固定顺序 (诸如自下而上的方式) 写入字线, 则可能不存在来自较低字线中的单元的干扰 ICI 贡献。此外, 如果干扰 ICI 相对于目标单元 710 的左邻和右邻是对称的, 则需要描述其特征的概率密度函数的数目被减少一半。

[0348] 如先前表明的, 在一个示例性实现方案中, 可以使用高斯概率密度函数来近似概率密度函数。在另外的变化方案中, 如果概率密度函数基于例如直方图, 则可以以额外的复杂性为代价获得提高的性能。当使用直方图实现概率密度函数时, 可以使用成功解码的字线来自适应地更新概率密度函数以训练直方图。

[0349] 在另一实施例中, 可以通过诸如 Viterbi、软输出 Viterbi (SOVA) 和 BCJR 算法的基于网格图的检测算法使用概率密度函数及其近似, 以检测读取数据。

[0350] 1. 基于位的取决于模式的统计数据

[0351] 图 27 是描述估计关于与至少一个目标单元 710 (图 7) 关联的一个或更多个侵略者单元 720 的给定模式 $\bar{h}$ 或 PATT 的检测到位错误的概率 $p_{0, \text{PATT}}$ 的示例性的基于位的取决于模式的统计数据生成处理 2700 的流程图。在最初时, 基于位的取决于模式的统计数据生成处理 2700 在步骤 2720 期间读取参考目标单元 710 并且潜在地读取关联的侵略者单元 720。此外, 在步骤 2725 期间针对每个读取目标位, 识别关联的侵略者单元 720 的模式, PATT。在步骤 2725 期间可以例如通过评估被写入的已知模式或者基于参考单元或解码码字的实际读取操作来识别模式。

[0352] 在步骤 2730 期间针对一个或更多个识别模式, 确定具有相应的模式的错误目标位的数目。随后在步骤 2740 期间如下计算错误概率统计数据:

[0353]

$$P_{0, \text{PATT}} = \frac{\text{具有相应的模式 PATT 的错误目标位的数目}}{\text{具有相应的模式 PATT 的目标位的总数}}$$

[0354] 注意, 如对于本领域的普通技术人员将明显的, 上述技术可以可选地集成以获得位置特定的、取决于模式的统计数据。此外, 在另外的变化方案中, 还可以或者可替代地根据耐久性、读取周期、保持、温度或者存储器器件的其他参数获得读取统计数据。

[0355] 2. 基于单元的取决于模式的统计数据

[0356] 图 28 是描述估计关于与至少一个目标单元关联的一个或更多个侵略者单元的给定模式的检测到错误的概率的示例性的基于单元的取决于模式的统计数据生成处理 2800 的流程图。如图 28 中所示, 基于单元的取决于模式的统计数据生成处理 2800 在最初时在

步骤 2820 期间读取一个或更多个目标单元。随后,在步骤 2825 期间识别关联的侵略者单元的模式 $\bar{h}$ 或 PATT。

[0357] 随后,对于一个或更多个识别模式,并且对于每个可能的参考电压电平 s 或 LVL_{ref} ,基于单元的取决于模式的统计数据生成处理 2800 在步骤 2830 期间对当该参考电平 s 或 LVL_{ref} 被解码或写入时每个电压电平 $\hat{s}$ 或 LVL_{read} 被读取的次数进行计数。

[0358] 在步骤 2840 期间如下计算取决于模式的错误概率统计数据:

[0359]

$$p(\hat{s}, h | s) = \frac{\text{当 } LVL_{ref} \text{ 被写入或解码时, 侵略者单元中的具有模式 PATT 的 } LVL_{read} \text{ 被读取的次数}}{LVL_{ref} \text{ 被写入/解码的总次数}}$$

[0360] 非对称错误概率统计数据

[0361] 如先前表明的,在诸如 NAND 闪速存储器通道的某些通道中,关于不同的可能的二进制值(诸如二进制 0 和二进制 1)的检测到错误的概率可以明显不同。因此,本发明可选地提供关于非对称通道的检测到错误的概率。图 29 和 30 提供了估计关于两个可能二进制值(诸如二进制 1 和二进制 0)的错误概率 p 和 q 的示例性的非对称统计数据生成处理 2900、3000。如下文进一步讨论的,图 29 使用参考单元估计非对称统计数据,而图 30 使用解码码字估计非对称统计数据。本发明因此基于来自闪速存储器的硬数据提供关于每个可能的二进制值的非对称 LLR。

[0362] 非对称错误概率 - 参考单元

[0363] 如先前表明的,在诸如 NAND 闪速存储器通道的某些通道中,关于不同的可能的二进制值(诸如二进制 0 和二进制 1)的检测到错误的概率可以明显不同。因此,本发明可选地提供关于非对称通道的检测到错误的概率。图 29 是描述关于本发明的参考单元实施例的估计关于两个可能二进制值的错误概率的示例性的非对称统计数据生成处理 2900 的流程图。

[0364] 如图 29 中所示,非对称统计数据生成处理 2900 在最初时在步骤 2910 期间将已知模式写入参考单元 1920 并且随后在步骤 2920 期间读取参考单元 1920。非对称统计数据生成处理 2900 在步骤 2930 期间确定参考数据中具有二进制 0 的错误位的数目,并且随后在步骤 2940 期间如下计算关于二进制 0 的错误概率统计数据:

[0365]

$$p = \frac{\text{错误0的数目}}{\text{参考位中的0的总数}}$$

[0366] 随后,非对称统计数据生成处理 2900 在步骤 2950 期间确定参考数据中具有二进制 1 的错误位的数目,并且随后在步骤 2960 期间如下计算关于二进制 1 的错误概率统计数据:

[0367]

$$q = \frac{\text{错误1的数目}}{\text{参考位中的1的总数}}$$

[0368] 非对称错误概率 - 解码码字

[0369] 图 30 是描述关于本发明的解码码字实施例的估计关于两个可能二进制值的错误概率的示例性的非对称统计数据生成处理 3000 的流程图。如图 30 中所示,非对称统计数

据生成处理 3000 在最初时在步骤 3010 期间从闪速存储器获得硬数据并且在步骤 3020 期间对硬数据解码。

[0370] 非对称统计数据生成处理 3000 随后在步骤 3030 期间确定来自闪速存储器的在解码数据中具有二进制 0 的错误位的数目。随后在步骤 3040 期间如下计算关于二进制 0 的错误概率统计数据：

[0371]

$$p = \frac{\text{错误0的数目}}{\text{解码位中的0的总数}}$$

[0372] 相似地,随后在步骤 3050 期间确定来自闪速存储器的在解码数据中具有二进制 1 的错误位的数目。随后在步骤 3060 期间如下计算关于二进制 1 的错误概率统计数据：

[0373]

$$q = \frac{\text{错误1的数目}}{\text{解码位中的1的总数}}$$

[0374] 在一个实施例中,可以在 NAND 闪速存储器空闲时(即,未在活跃地读取或写入用户数据)收集、计算和存储统计数据。

[0375] 尽管示例性实施例已采用使用参考单元或解码器反馈的统计数据收集,但是也可以采用自适应方法使用检测或解码数据来估计统计数据,例如,使用最小均方差标准。

[0376] 在可替选的实施例中,可以例如,基于闪速存储器的实验特征针对最差操作条件(例如,在编程/擦除周期数目、保持时间和温度的方面)预先计算统计数据或相应的 LLR,并且随后使用它们用于差的通道条件。这样,当错误概率最高时,更准确的统计数据或 LLR 是可用的。换言之,可以针对预先定义的操作条件预先计算预先定义的统计数据或者相应的 LLR。

[0377] 在另一变化方案中,可以基于不同的统计数据(诸如错误概率)迭代地生成软数据,直至解码成功。统计数据可以随范围变化,直至数据的成功检测或解码。本发明的该变化方案提供了数据的虚拟重新读取。尽管实际上未从闪速存储器重新读取数据,但是利用不同的软信息对数据成功地解码。

[0378] 基于未满足的奇偶校验的错误性能

[0379] 本发明的各方面认识到,还可以使用未满足的奇偶校验作为获得软数据的性能度量。考虑 (N, K, J, L) LDPC 码,其中 N 是码字长度, K 是未编码码字长度(码字中的用户数据长度),并且 J 和 L 分别是奇偶校验矩阵的列和行权重。当 (N, K, J, L) LDPC 码字以错误概率 p_0 被传送或存储时,首次迭代中校验和失败的概率可以被表达如下：

$$[0380] \quad p_c = \frac{1 - (1 - 2p_0)^L}{2}.$$

[0381] 该概率可以被估计如下：

[0382]

$$p_c = \frac{\text{首次迭代中的未满足的校验的数目}}{N-K}$$

[0383] 因此,错误概率 p_0 可以被估计如下：

$$[0384] \quad p_0 = \frac{1 - \sqrt{1 - 2p_c}}{2} \approx \frac{p_c}{L}.$$

[0385] 在以上过程中,可以在执行迭代解码之前估计通道和初始 LLR 值。通道估计复杂性和延时小于软判决解码的一次迭代的通道估计复杂性和延时,且具有明显优于 LDPC 码的硬判决解码的性能收益。较之软判决解码的标准实现方案的附加的硬件是执行如下计算的模块:

[0386]

$$p_0 \approx \frac{\text{首次迭代中的未满足的校验的数目}}{L(N-K)}$$

[0387] 图 31 是描述根据本发明的一个方面的使用未满足的奇偶校验的统计数据生成处理 3100 的示例性实现的流程图。在一个实施例中,使用首次迭代之后的未满足的奇偶校验。通常,统计数据生成处理 3100 使用未满足的奇偶校验计算检测到错误的概率 p_0 。随后 LLR 生成器 1550 (图 15) 可以使用检测到错误的概率 p_0 来计算期望的软数据。

[0388] 在最初时,统计数据生成处理 3100 在步骤 3110 期间获得未满足的奇偶校验的数目。统计数据生成处理 3100 随后在步骤 3120 期间如下计算错误概率统计数据:

[0389]

$$p_0 \approx \frac{\text{未满足的校验的数目}}{L(N-K)}$$

[0390] 位置特定的统计数据 - 未满足的奇偶校验

[0391] 图 32 是描述使用未满足的奇偶校验获得关于存储器阵列 1900 中的许多不同位置的错误概率统计数据的示例性的位置特定的统计数据生成处理 3200 的流程图。例如,可以针对不同的页位置、字线位置、位线位置 (诸如偶数和奇数位线) 和多级单元中的不同的位 (诸如最高有效位 (MSB) 和最低有效位 (LSB)) 中的一个或多个,获得错误概率统计数据。通常,通过使用将多个位定位在期望位置的码字,使用未满足的奇偶校验来获得位置特定的统计数据 (步骤 3210)。

[0392] 如图 32 中所示,示例性的位置特定的统计数据生成处理 3200 随后在步骤 3220 期间获得关于码字的未满足的奇偶校验的数目。随后,在步骤 3230 期间如下计算位置特定的错误概率统计数据:

[0393]

$$p_{0,Loc} \approx \frac{\text{未满足的校验的数目}}{L(N-K)}.$$

[0394] 基于未满足的奇偶校验的非对称统计数据

[0395] 图 33 是描述使用未满足的奇偶校验估计关于两个可能二进制值的检测到错误的概率的示例性的非对称统计数据生成处理 3300 的流程图。本发明的该方面认识到可以基于未满足的奇偶校验来计算平均错误概率 $\bar{p}$ (其中 $\bar{p} = (p + q) / 2$)。可以基于平均错误概率 $\bar{p}$ 和错误概率 p 和 q 的比 k 来计算关于 p 和 q 的值。

[0396] 可以使用数据分析,诸如上文描述的解码码字技术来获得错误概率 p 和 q 的比 k 。可替代地,可以例如,使用与本申请同时提交并且通过引用合并于此的题为“Methods

and Apparatus for Soft Data Generation for Memory Devices Based Using Reference Cells”的国际专利申请中描述的参考单元技术来获得错误概率 p 和 q 的比 k 。错误概率 p 和 q 的比 k 典型地将离线计算并且存储在例如表格中。如图 33 中所示, 示例性的非对称统计数据生成处理 (未满足的奇偶校验) 3300 最初时在步骤 3310 期间获得错误概率 p 和 q 的比 k 。

[0397] 可以在步骤 3320 期间使用上文结合图 16 描述的技术获得平均错误概率 $\bar{p}$ 。特别地, 平均错误概率 $\bar{p}$ 可以被估计如下:

[0398]

$$\bar{p} \approx p_0 \approx \frac{\text{未满足的 校验的数目}}{L(N \cdot K)}$$

[0399] 随后, 在步骤 3330 期间如下计算关于二进制 0 的错误概率统计数据 p :

[0400]
$$p = \frac{2\bar{p}}{k+1}。$$

[0401] 随后, 在步骤 3340 期间如下计算关于二进制 1 的错误概率统计数据 q :

[0402]
$$q = \frac{2k\bar{p}}{k+1}。$$

[0403] 注意, 通过非对称统计数据生成处理 (未满足的奇偶校验) 3300 计算的错误概率统计数据 p 和 q 可以可选地是位置特定的和 / 或取决于模式的。

[0404] 处理、系统和制造物品的细节

[0405] 尽管这里的许多流程图描述了示例性的步骤序列, 但是序列变化的实施例也是本发明的实施例。算法的各种置换被考虑为本发明的可替换的实施例。如对于本领域的普通技术人员将明显的, 尽管已参照软件程序中的处理步骤描述了本发明的示例性实施例, 但是在作为软件程序中的处理步骤的数字域中, 通过电路元件或状态机在硬件中, 或者以软件和硬件的组合, 可以实现各种功能。可以在例如, 数字信号处理器、专用集成电路、微控制器或者通用计算机中使用该软件。该硬件和软件可以在集成电路中实现的电路中实施。

[0406] 因此, 本发明的各个功能可以以方法和用于实践这些方法的装置的形式实施。本发明的一个或更多个方面可以以程序代码的形式实施, 该程序代码例如, 存储在存储介质中, 加载到机器中和 / 或由其执行, 或者在某种传送介质上传送, 其中, 当程序代码被加载到诸如计算机的机器中并且由其执行时, 机器变为用于实践本发明的装置。当在通用处理器上实现时, 程序代码段与处理器组合以提供模仿特定逻辑电路操作的器件。本发明还可以在集成电路、数字信号处理器、微处理器和微控制器中的一个或更多个中实现。

[0407] 如本领域中已知的, 这里讨论的方法和装置可以作为制造物品来分送, 其自身包括具有在其上实施的计算机可读代码部件的计算机可读介质。计算机可读程序代码部件可以结合计算机系统操作以执行用于执行这里讨论的方法或者创建这里讨论的装置的所有或一些步骤。计算机可读介质可以是可记录介质 (例如, 软盘、硬盘驱动器、紧凑盘、存储卡、半导体器件、芯片、专用集成电路 (ASIC)) 或者可以是传送介质 (例如, 包括光纤、万维网、线缆的网络, 或者使用时分多址、码分多址的无线信道或者其他射频信道)。可以使用可以存储适于与计算机系统一起使用的信息的任何已知或已开发的介质。计算机可读代码部件是用于允许计算机读取指令和数据的任何机制, 诸如磁介质上的磁变化或者紧凑盘的表

面上的高度变化。

[0408] 这里描述的计算机系统和服务端均包含将关联的处理器配置为实现这里公开的方法、步骤和功能的存储器。存储器可以是分布式的或者本地的,并且处理器可以是分布式的或者单独的。存储器可以被实现为电、磁或光存储器或者这些或其他类型的存储器件的任何组合。而且,术语“存储器”应被足够广泛地解释以涵盖能够被读取或者写入关联的处理器访问的可寻址空间中的地址的任何信息。通过该定义,网络上的信息仍在存储器的范畴内,这是因为关联的处理器可以从网络取回信息。

[0409] 将理解,这里示出和描述的实施例和变化方案仅是本发明的原理的说明,并且在不偏离本发明的范围和精神的前提下本领域的技术人员可以实现各种修改。

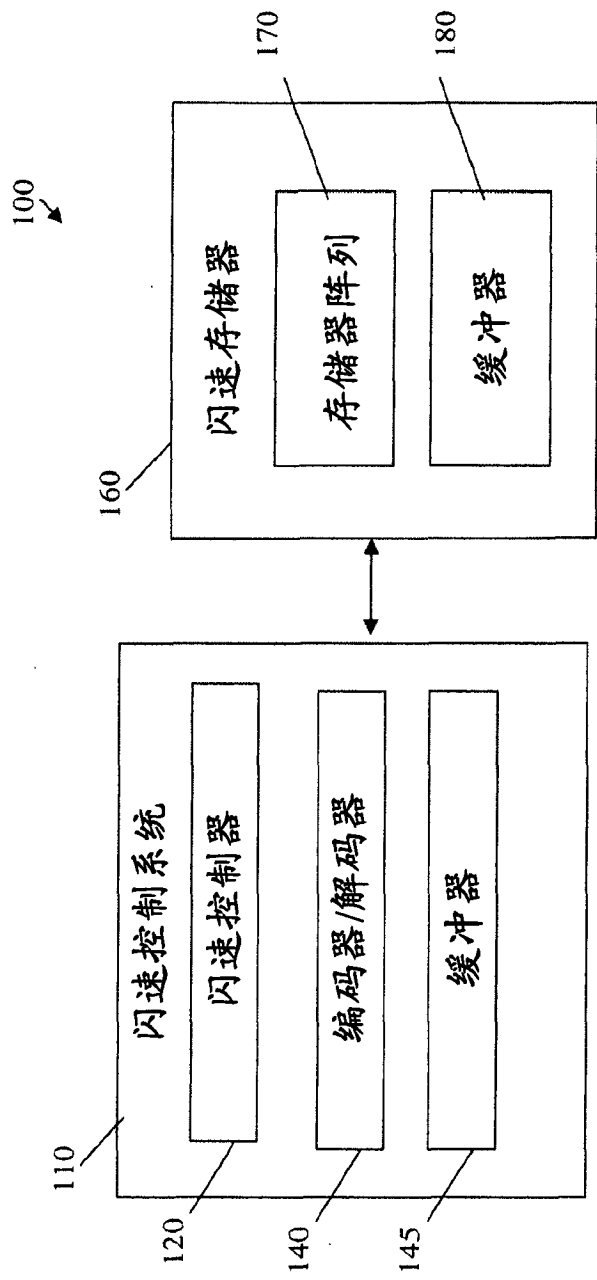


图 1 现有技术

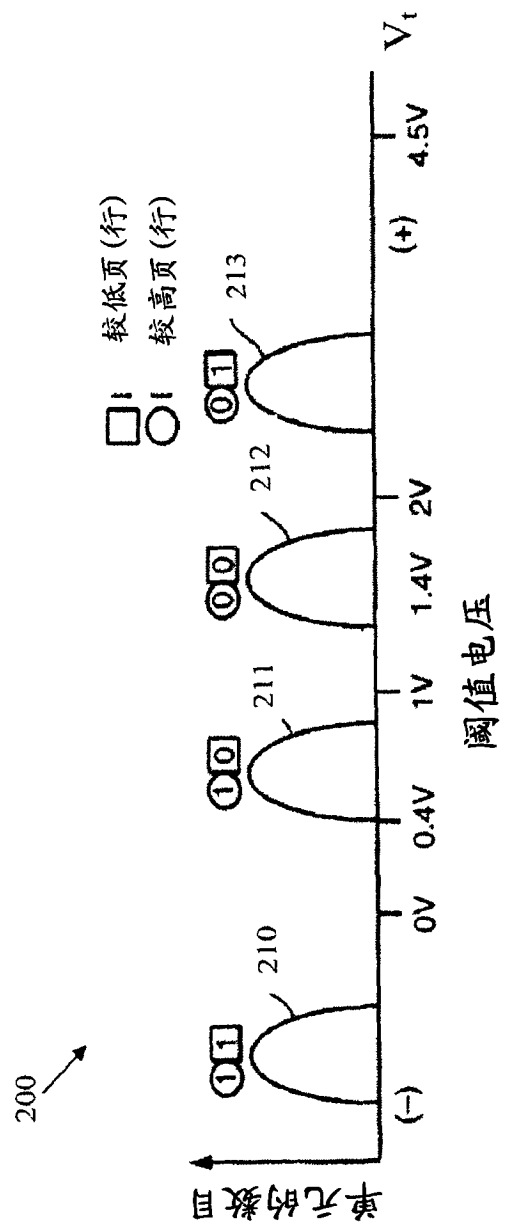


图 2

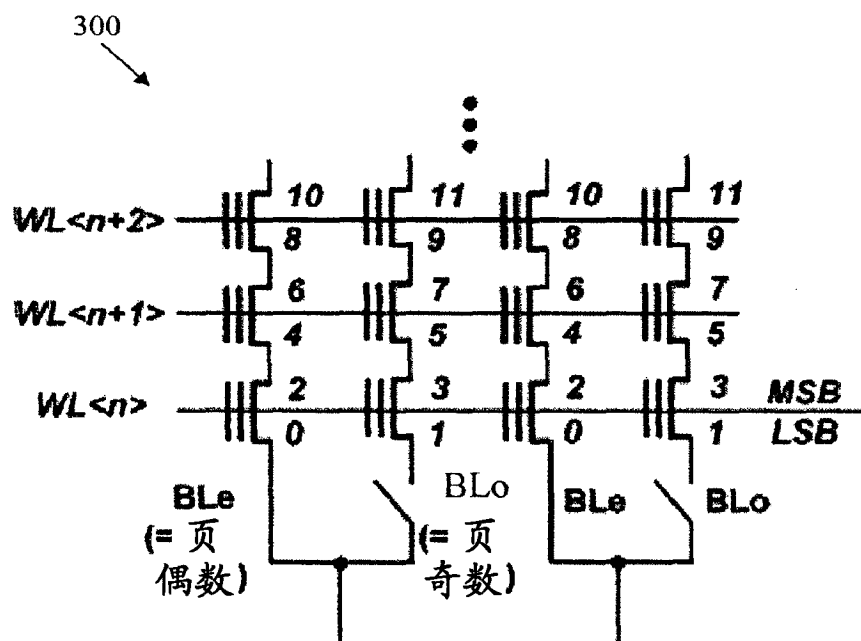


图 3

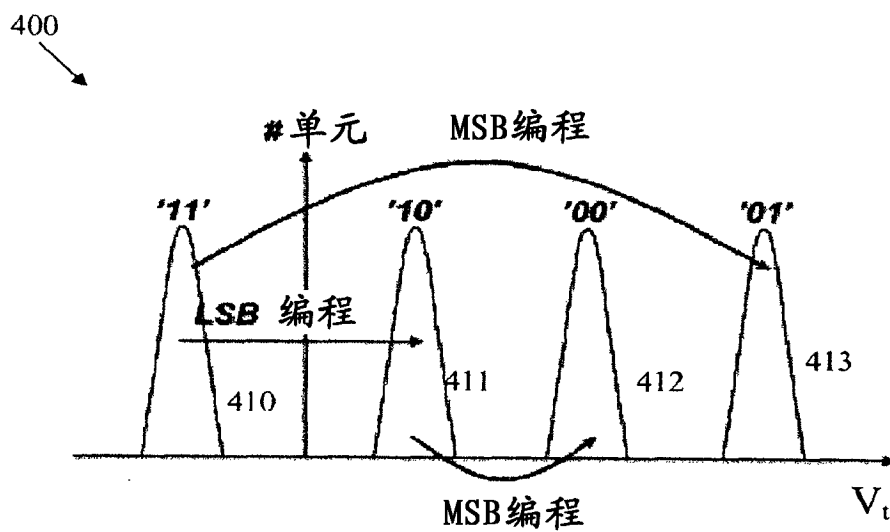


图 4

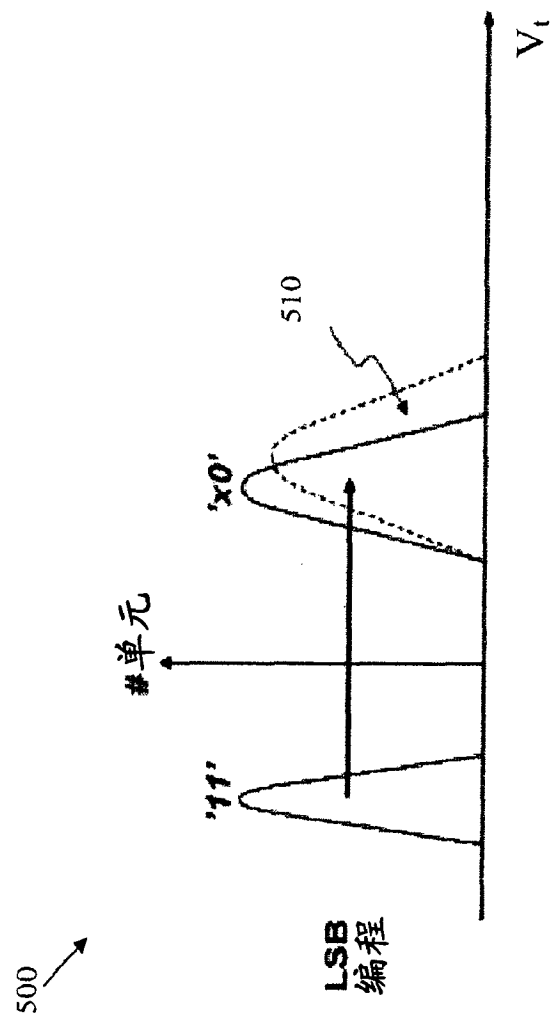


图 5A

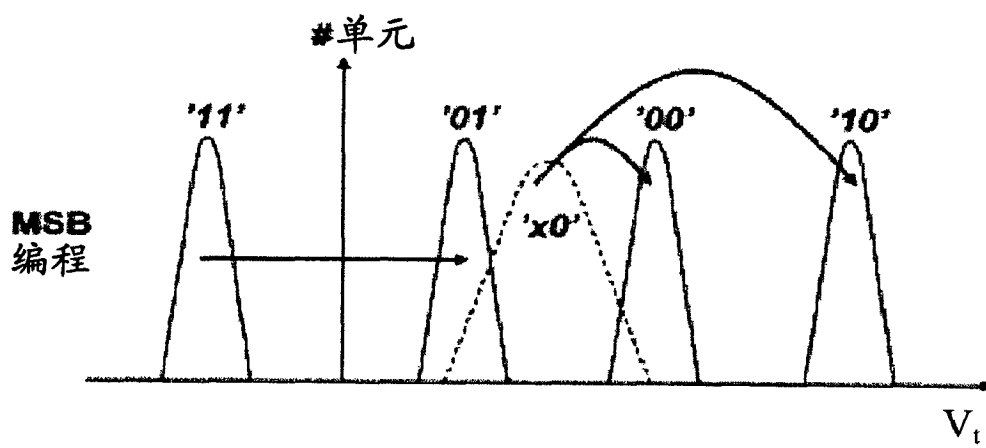


图 5B

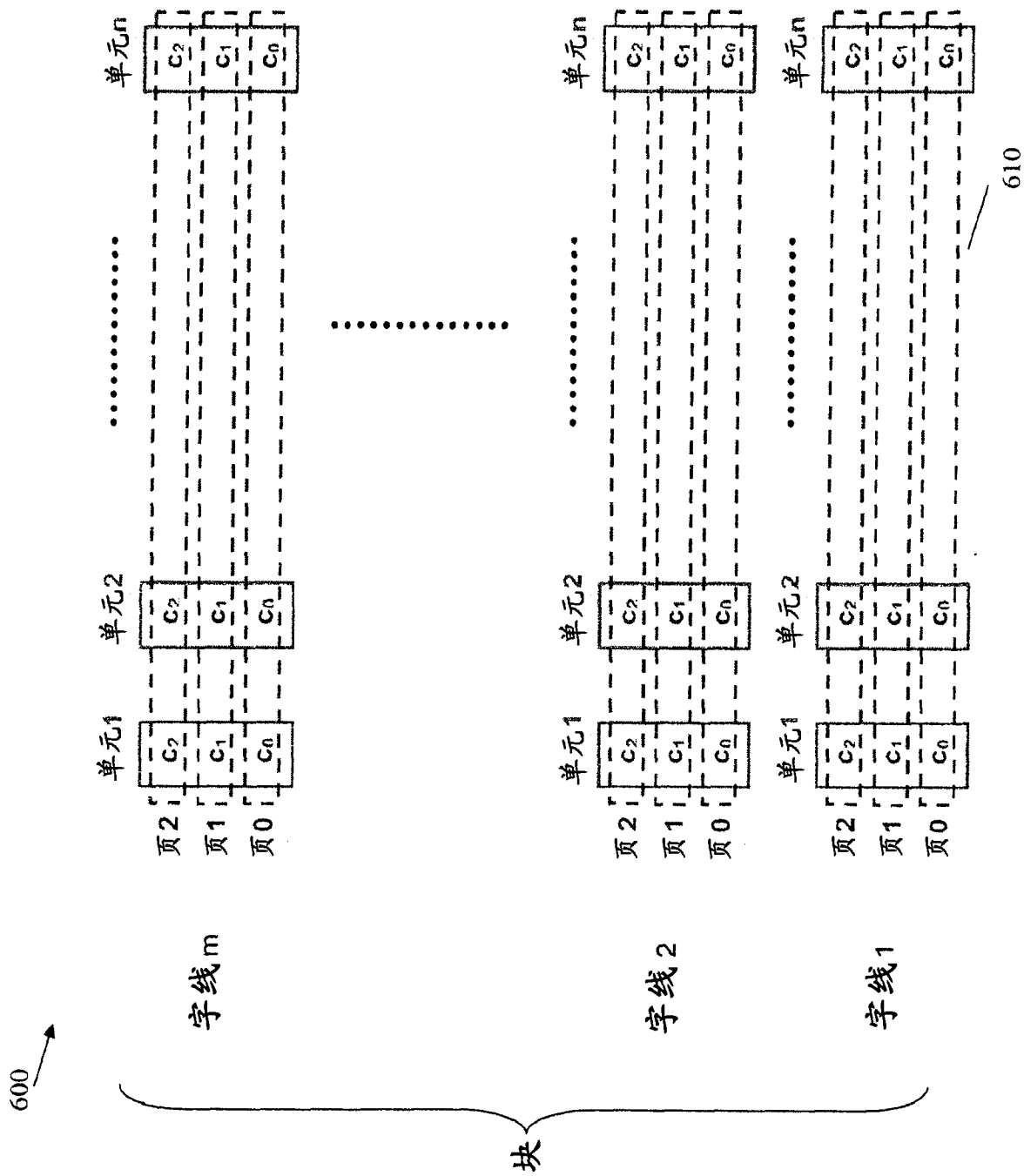


图 6

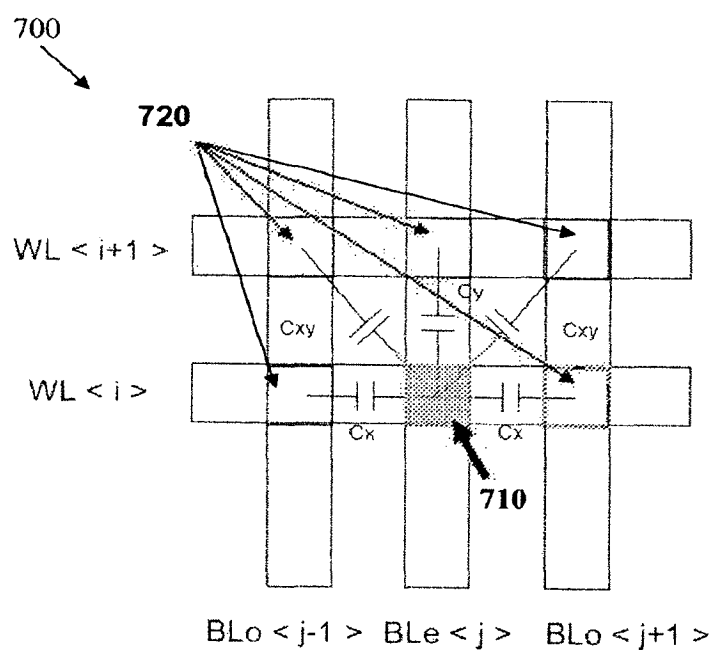


图 7

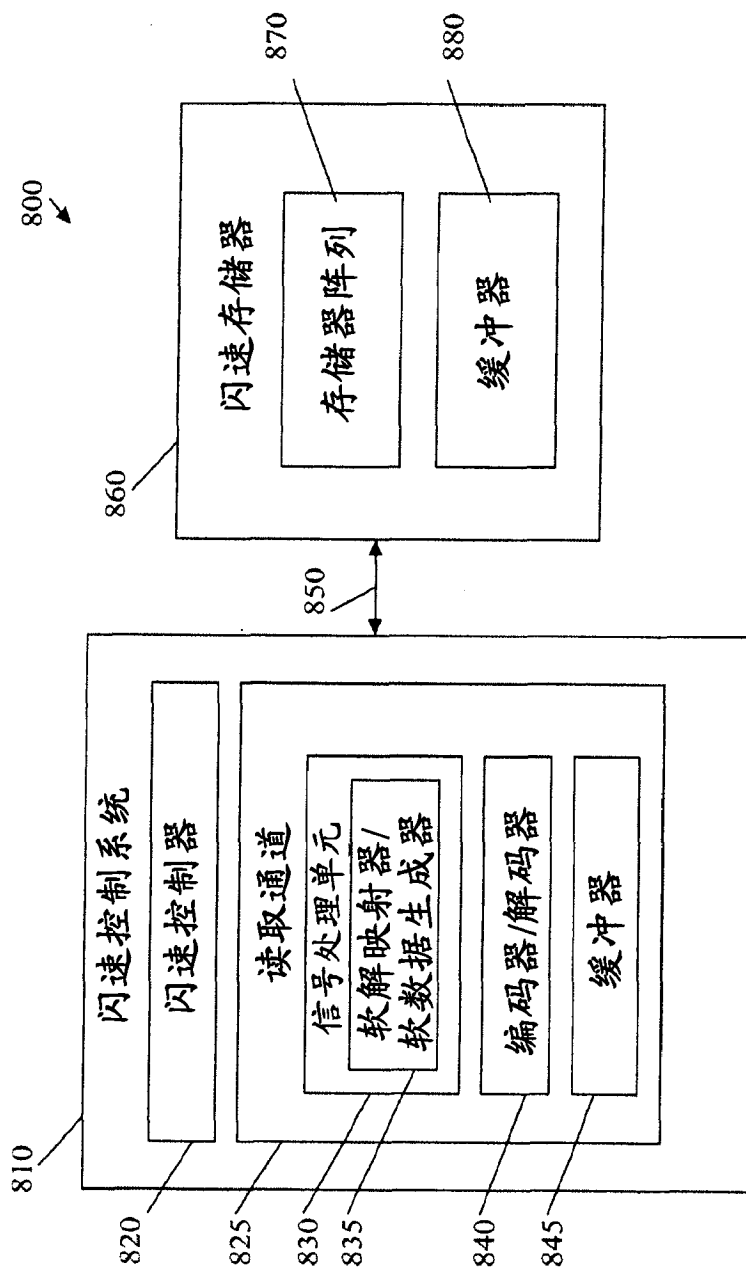


图 8

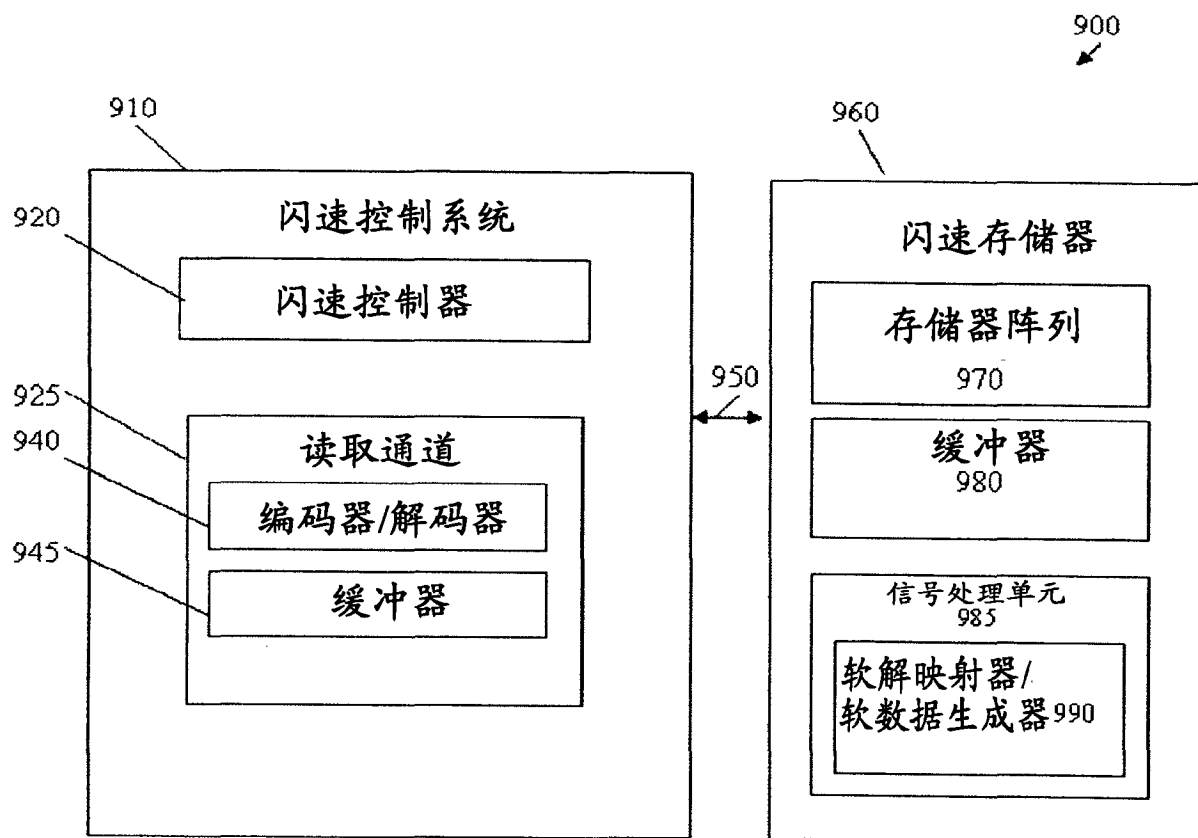


图 9

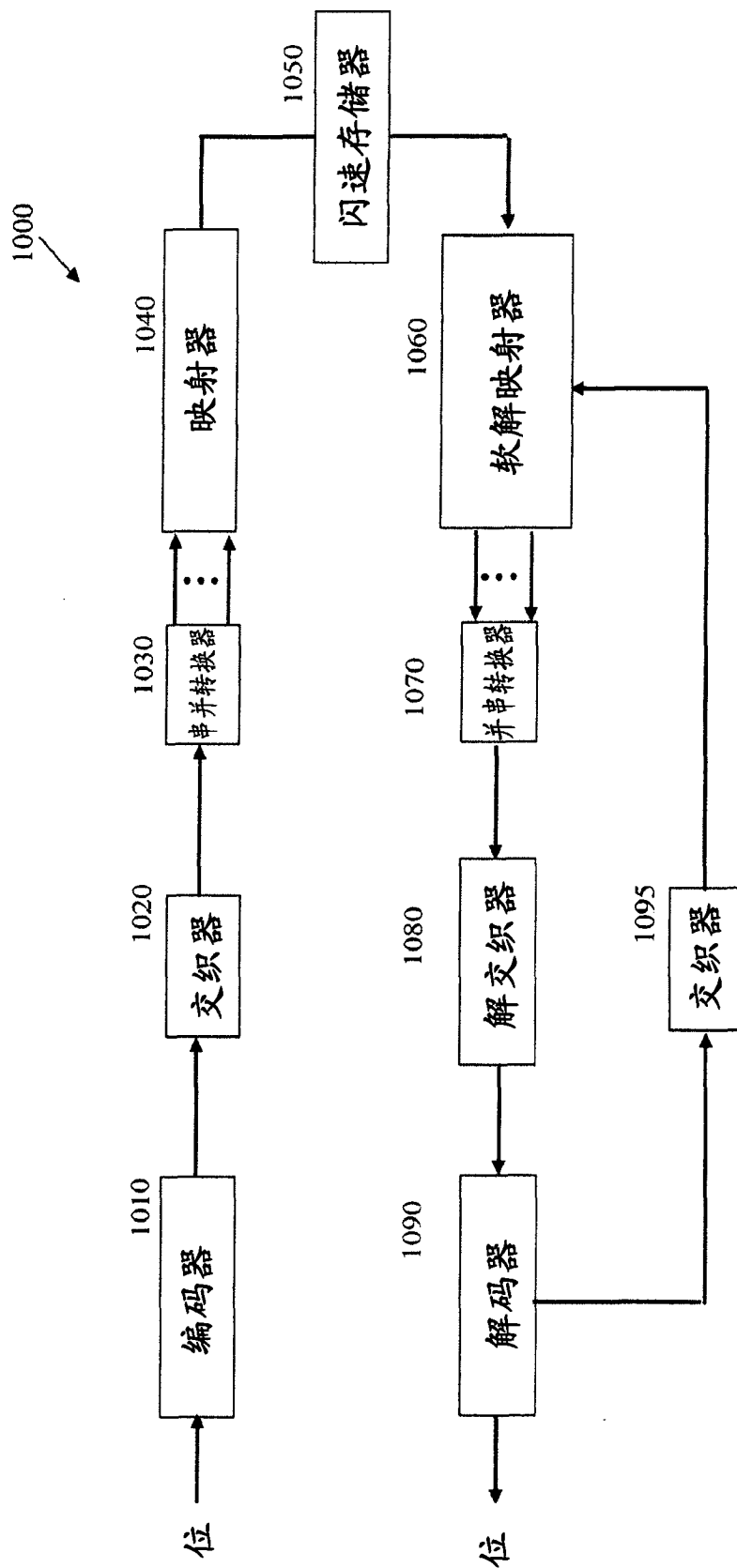


图 10

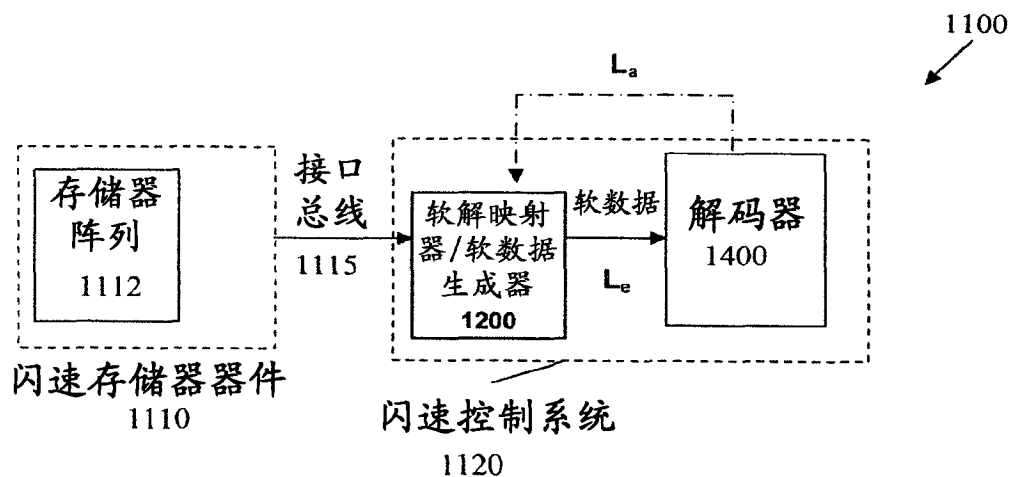


图 11

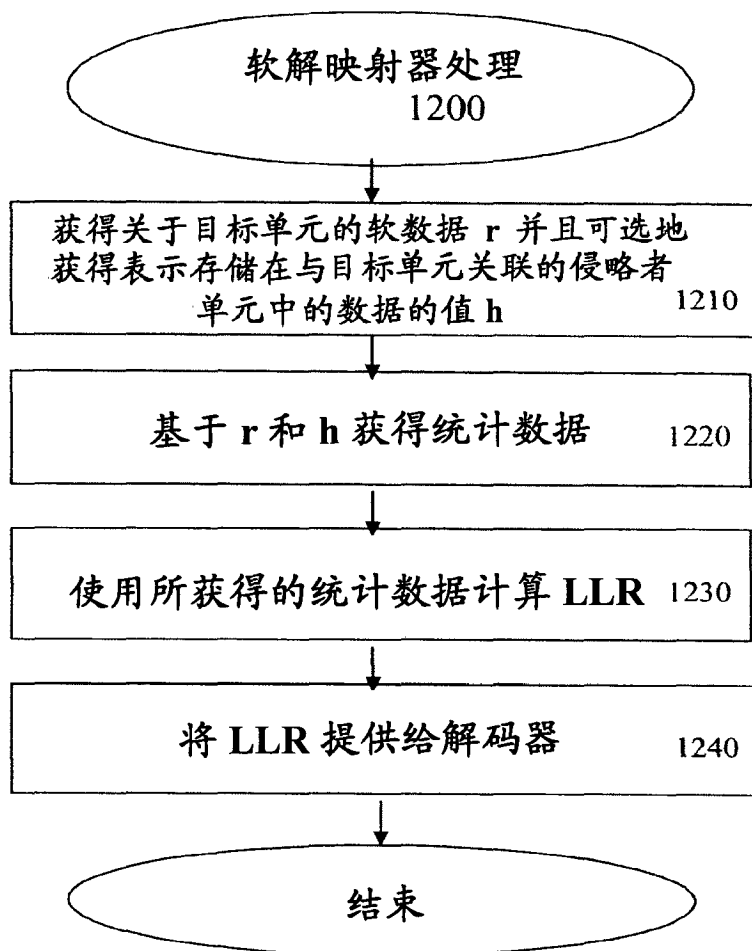


图 12A

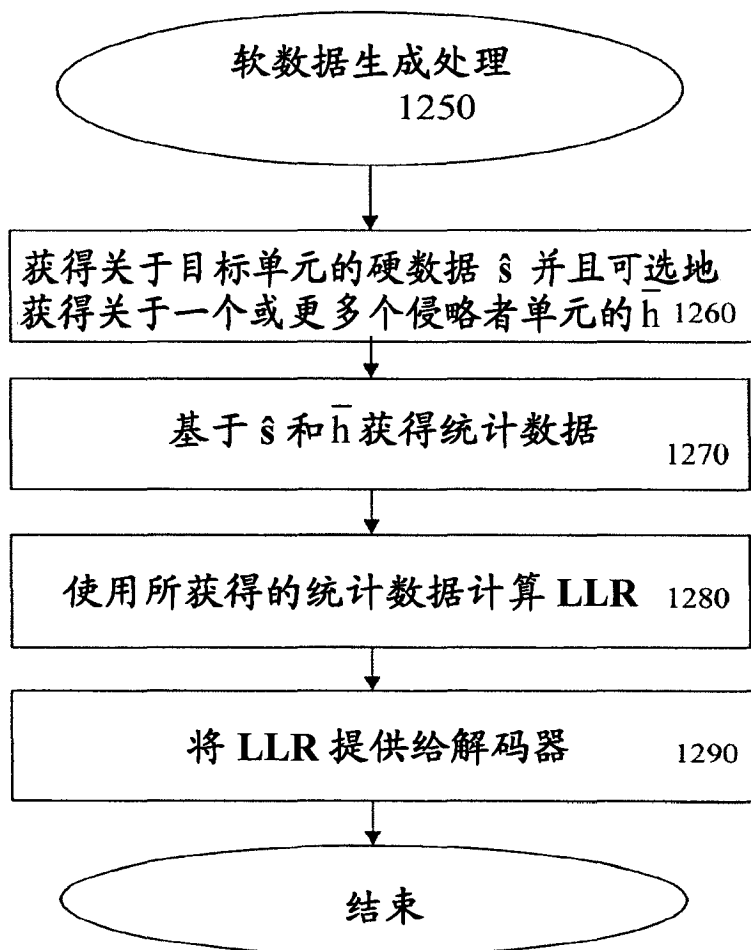


图 12B

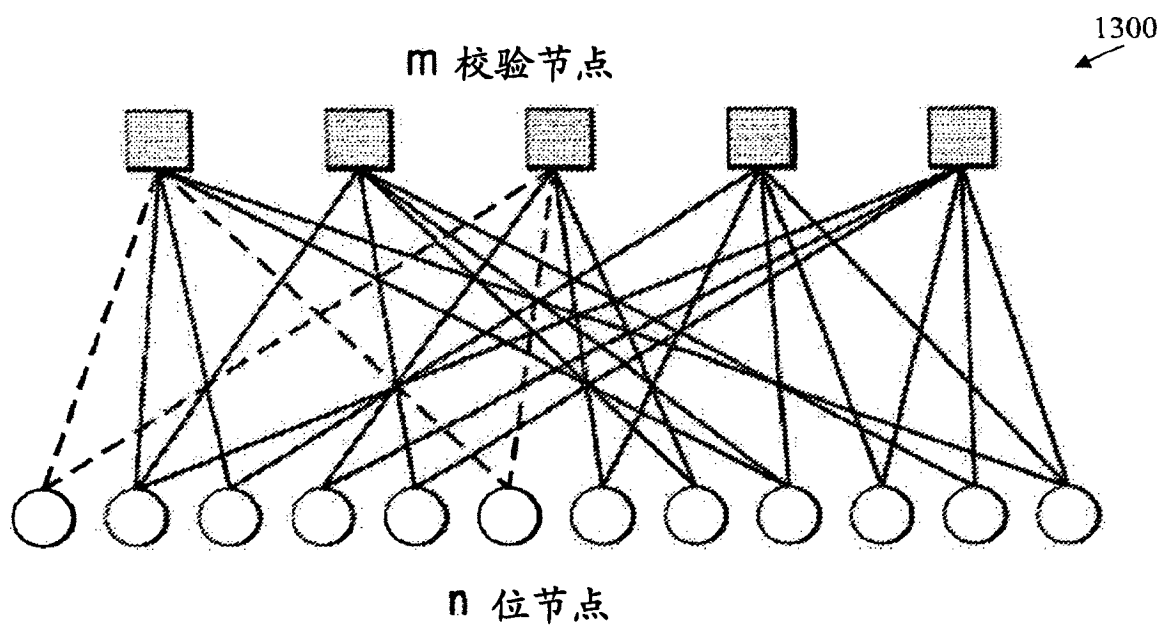


图 13

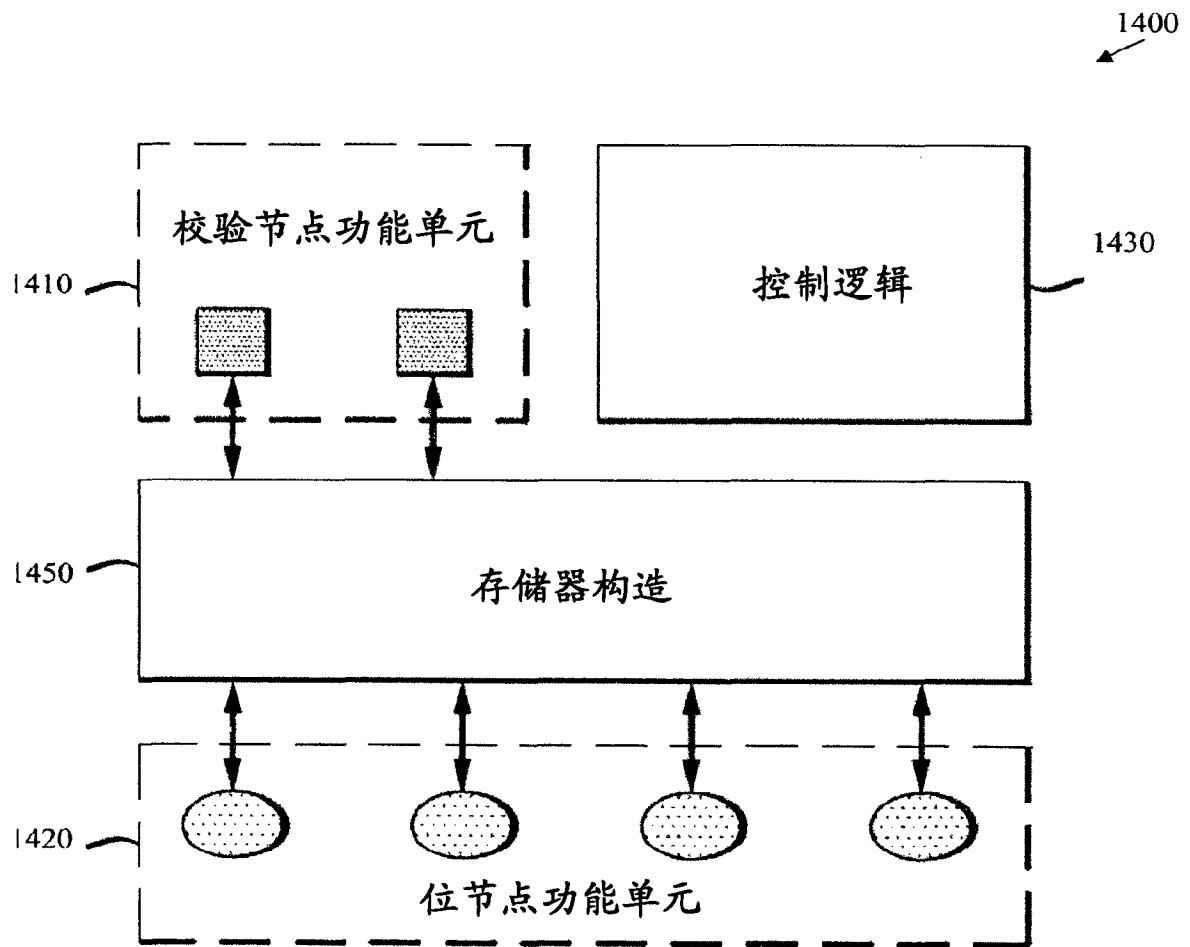


图 14

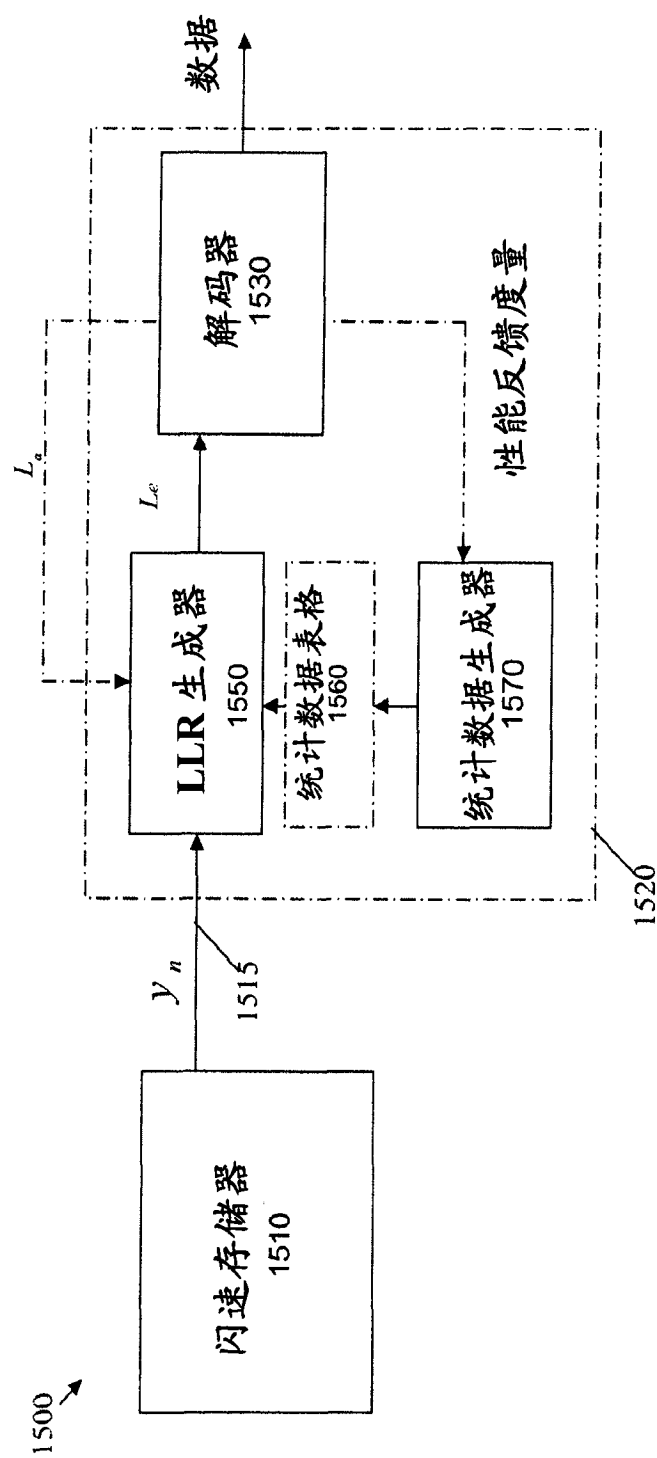


图 15

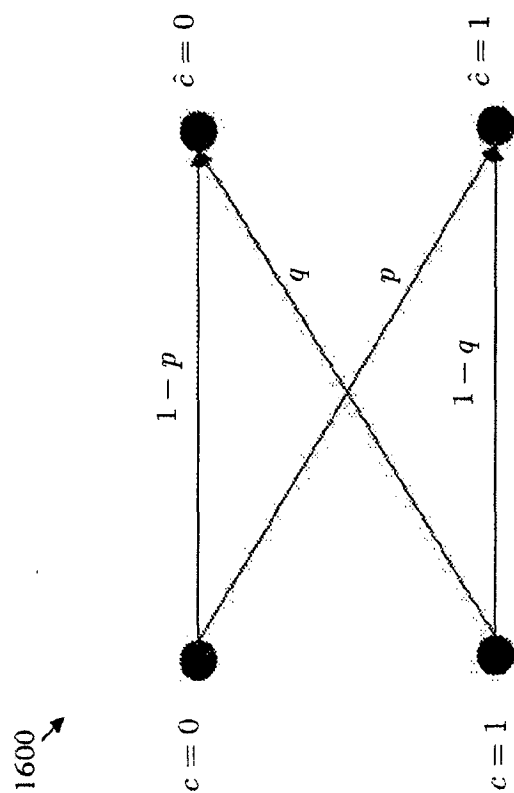


图 16

基于单元的统计数据计数表格 1700

写入(s) 读取($\hat{s}$)	00	01	10	11	和
00	10617	148	2	1	10768
01	0	10480	0	14	10494
10	15	5	10610	4	10634
11	0	7	0	10603	10610
和	10632	10640	10612	10622	

图 17A

关于 $p(s|\hat{s})$ 的基于单元的统计数据表格 1720

写入(s) 读取($\hat{s}$)	00	01	10	11
00	0.98598	0.01374	1.86E-04	9.29E-05
01	0	0.99866	0	1.334E-3
10	1.41E-3	4.7E-4	0.9977	3.76E-4
11	0	6.6E-4	0	0.9993

图 17B

关于 $p(\hat{s}|s)$ 的基于单元的统计数据表格 1740

写入(s) 读取(s)	00	01	10	11
00	0.9986	1.39E-2	1.88E-4	9.41E-5
01	0	0.9850	0	1.32E-3
10	1.41E-3	4.70E-4	0.9998	3.76E-4
11	0	6.58E-4	0	0.9982

图 17C

取决于模式的基于单元的统计数据表格 $p(\hat{s}, \bar{h} | s) 1800$

写入 (s) 读取 (s), 模式 ($\bar{s}$)		00	01	10	11
00,00		0.24	1E-2	0	0
00,01		0.3	1E-2	0	0
00,10		0.25	5E-2	0	0
00,11		0.2	3E-2	1E-3	0
01,00		0	0.3	0	2E-2
01,01		0	0.2	9E-3	1E-2
01,10		0	0.1	0	2E-2
01,11		0	0.2	0	5E-2
10,00		1E-3	0	0.4	4E-3
10,01		2E-3	0	0.3	3E-3
10,10		3E-3	0	0.2	1E-3
10,11		4E-3	1E-1	9E-2	2E-3
11,00		0	0	0	0.35
11,01		0	0	0	0.35
11,10		0	0	0	0.3
11,11		0	0	0	0.09

图 18

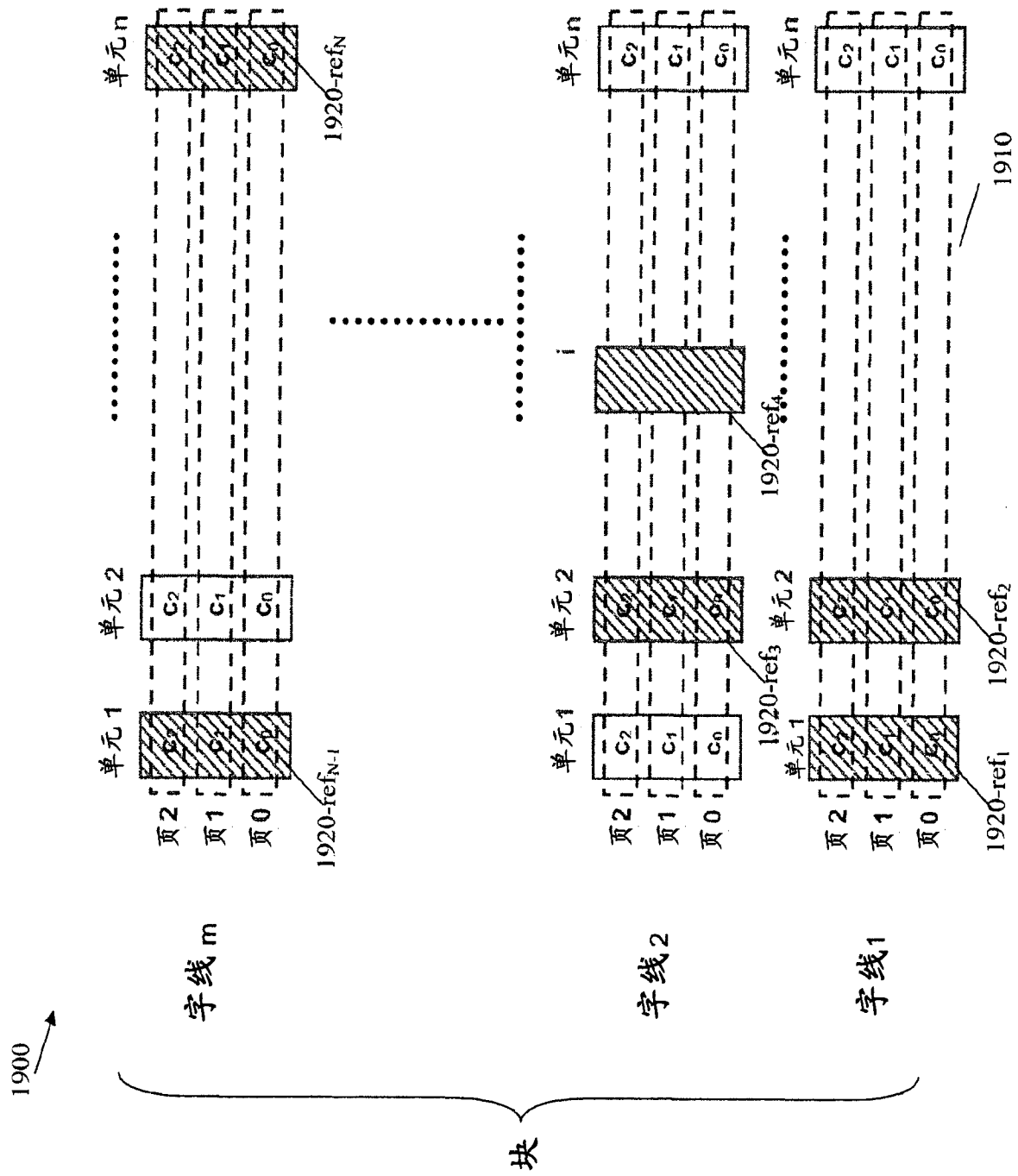


图 19

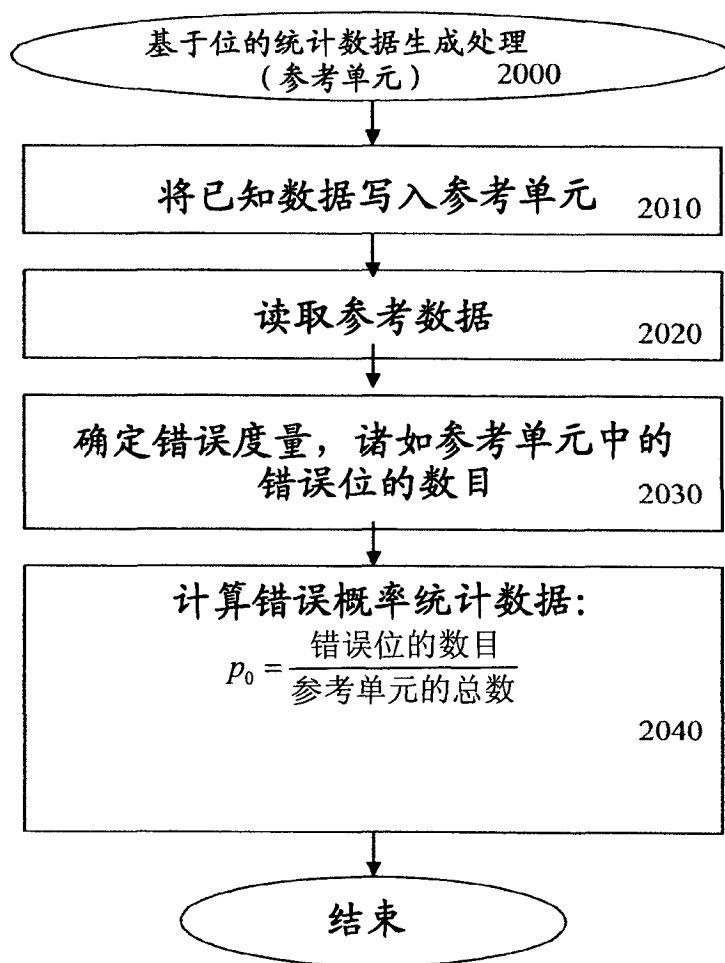


图 20

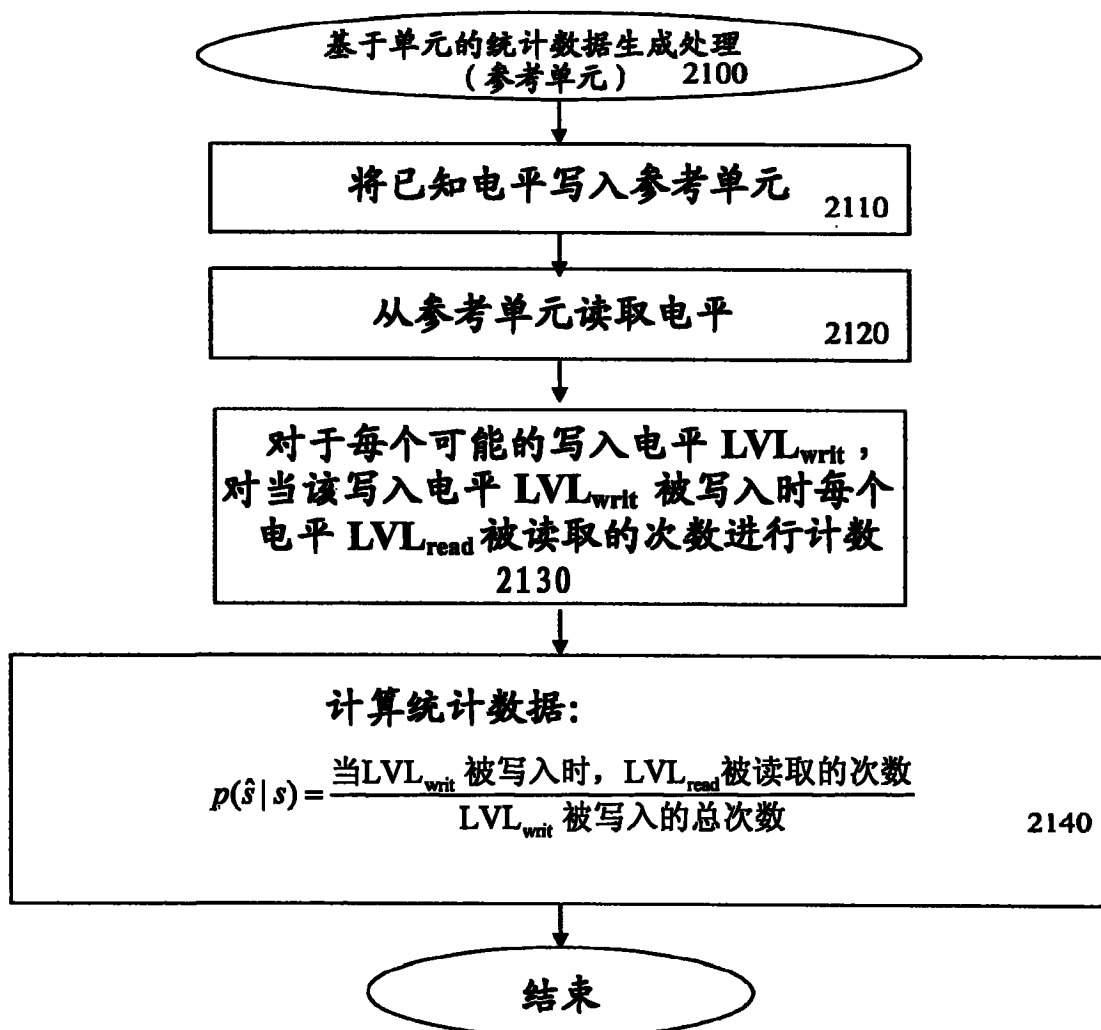


图 21

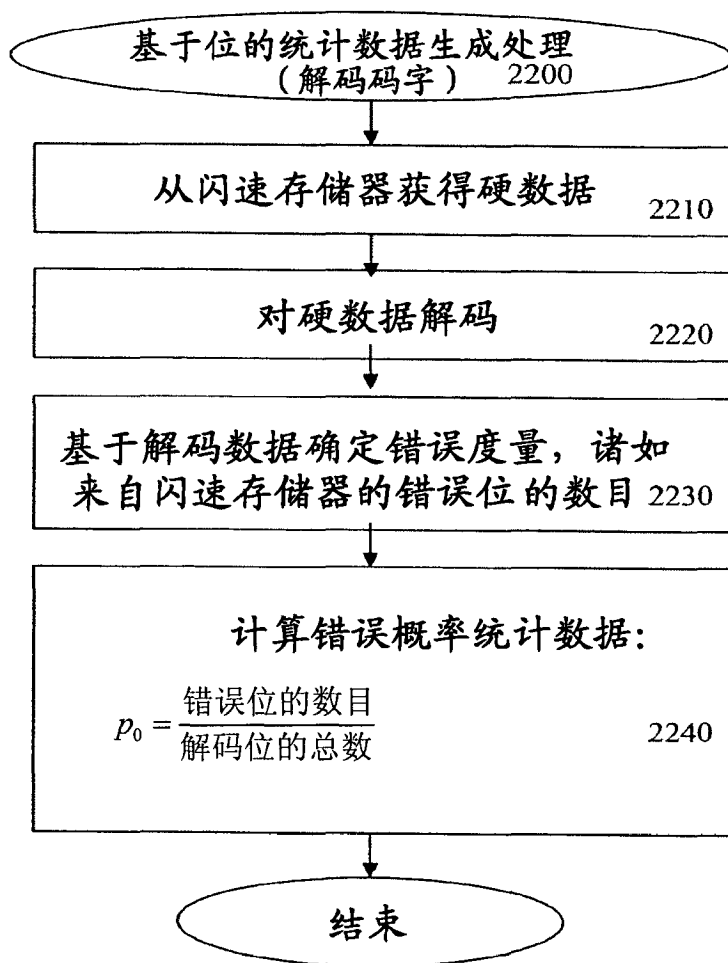


图 22

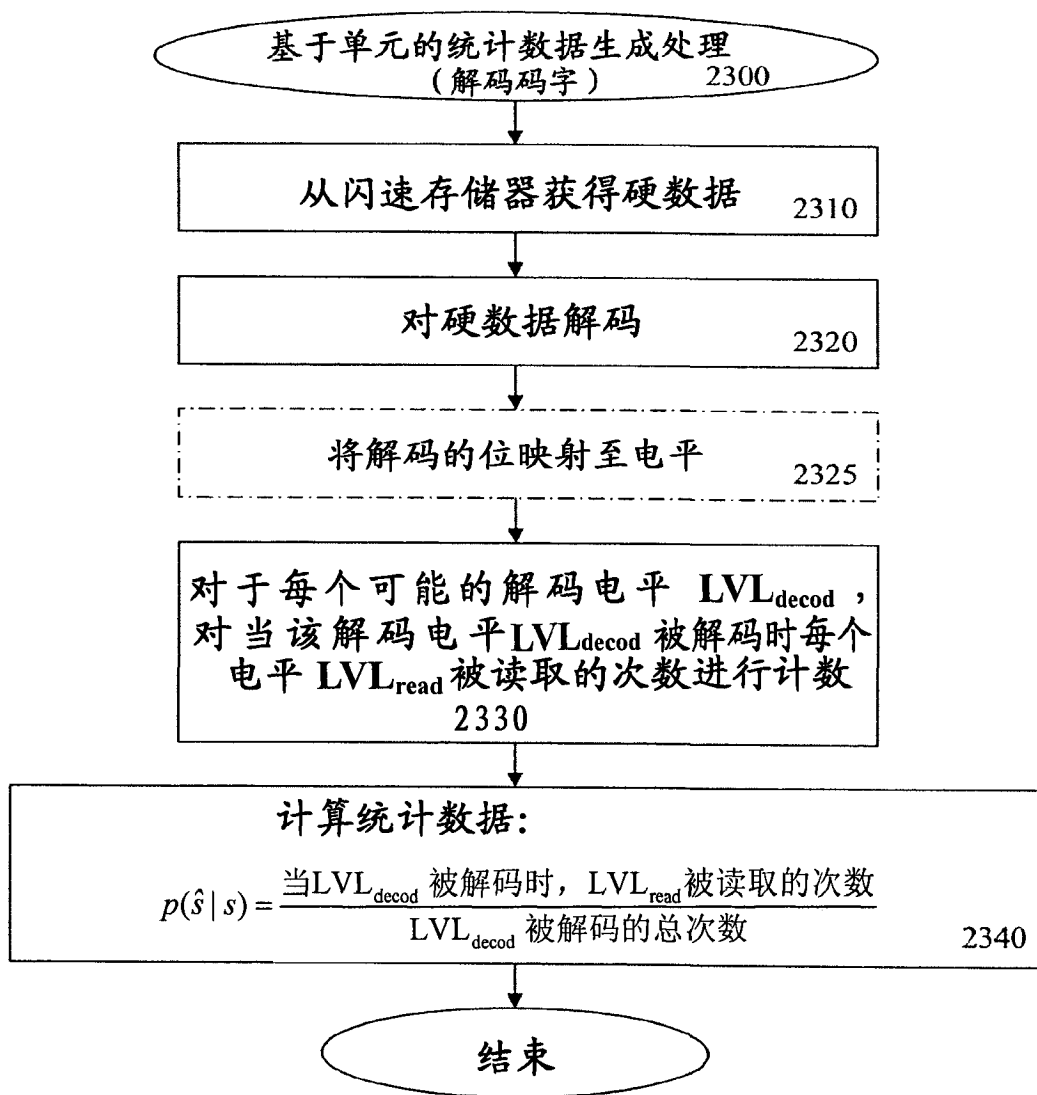


图 23

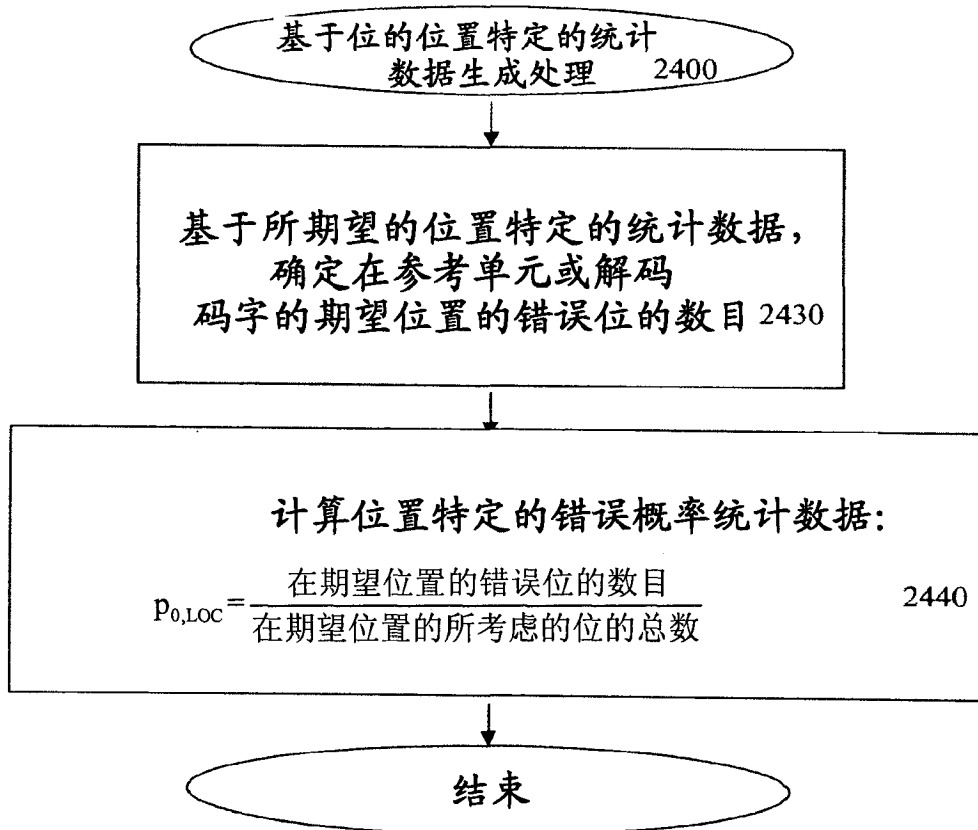


图 24

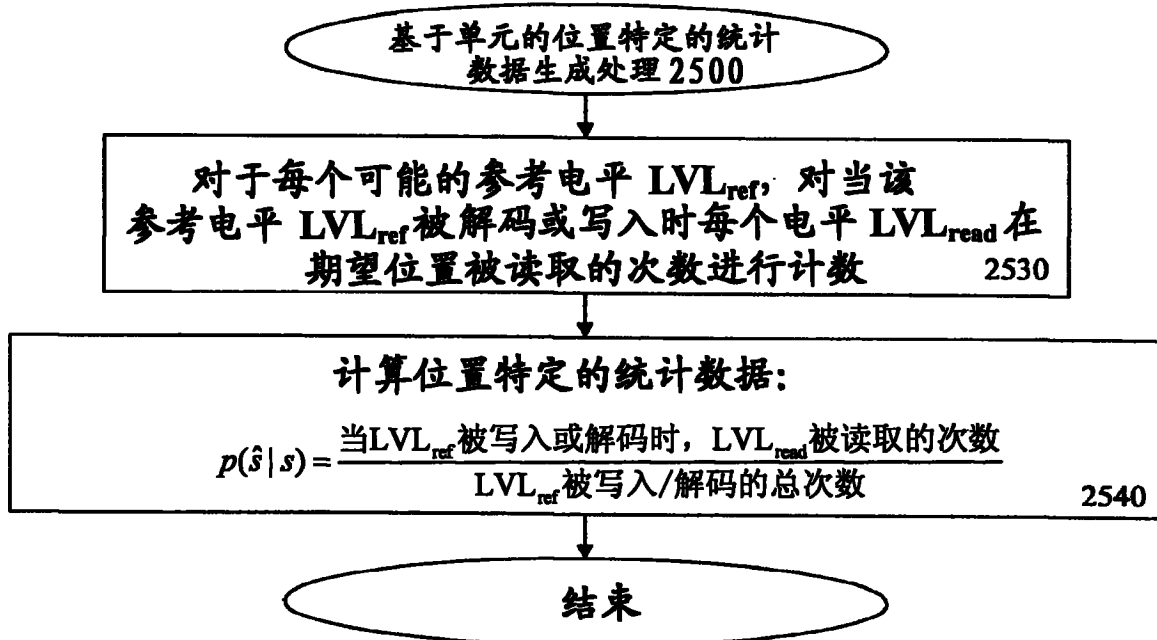


图 25

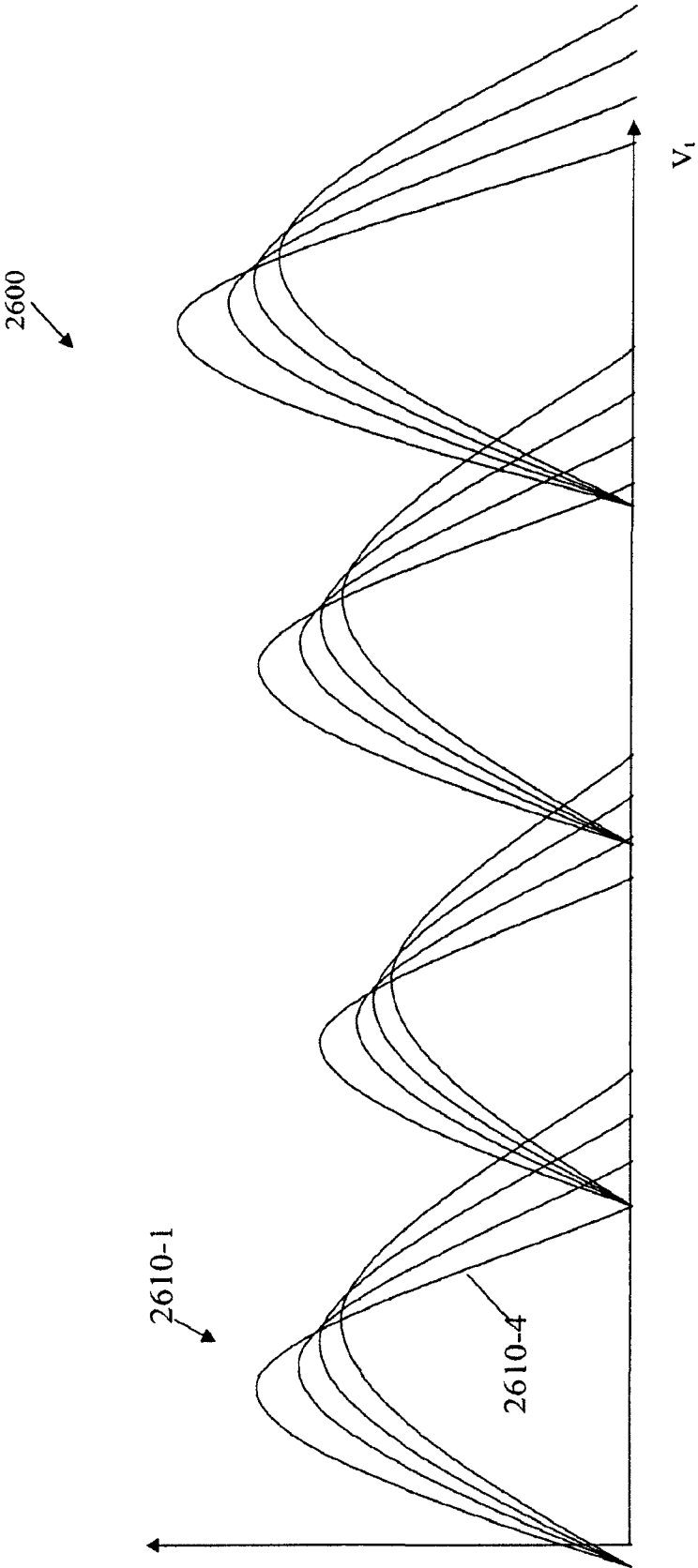


图 26

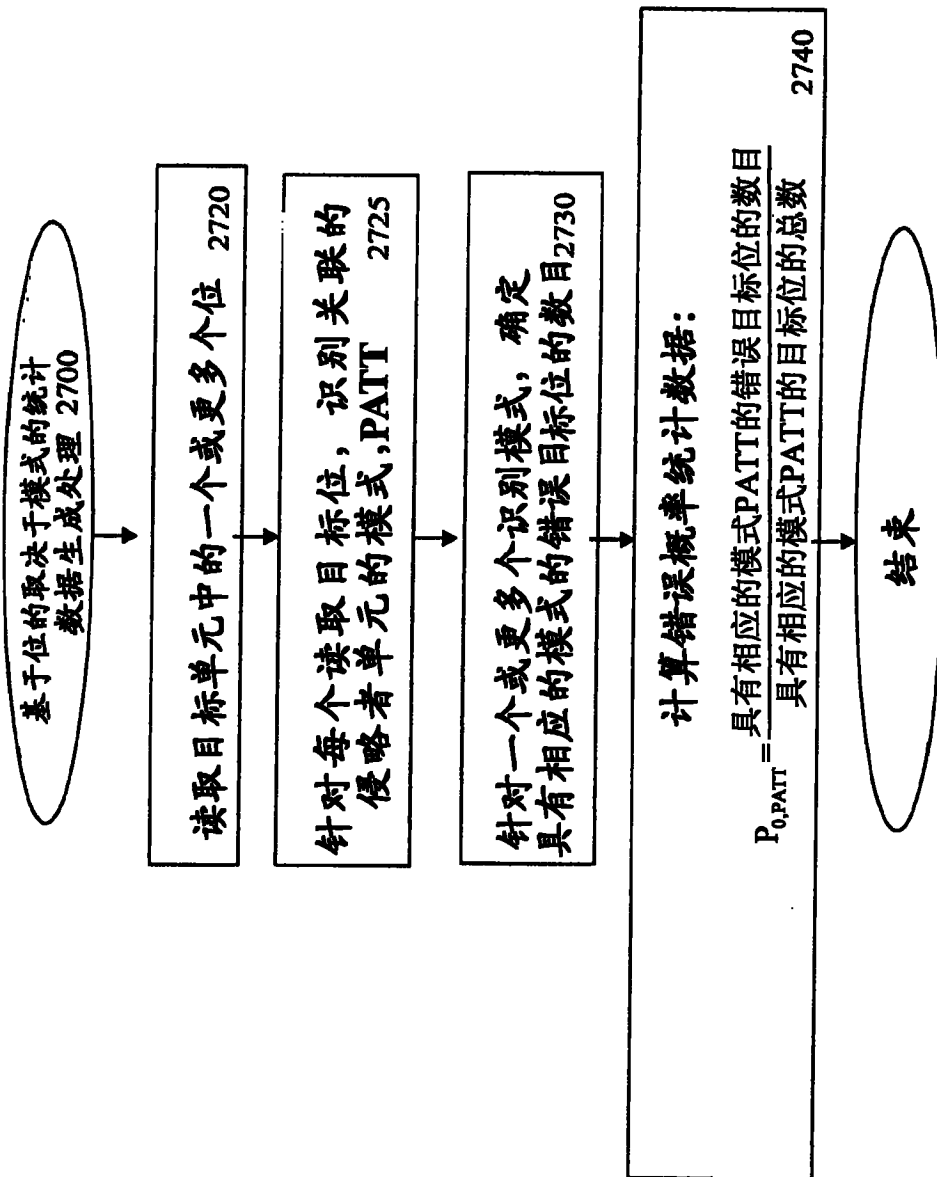


图 27

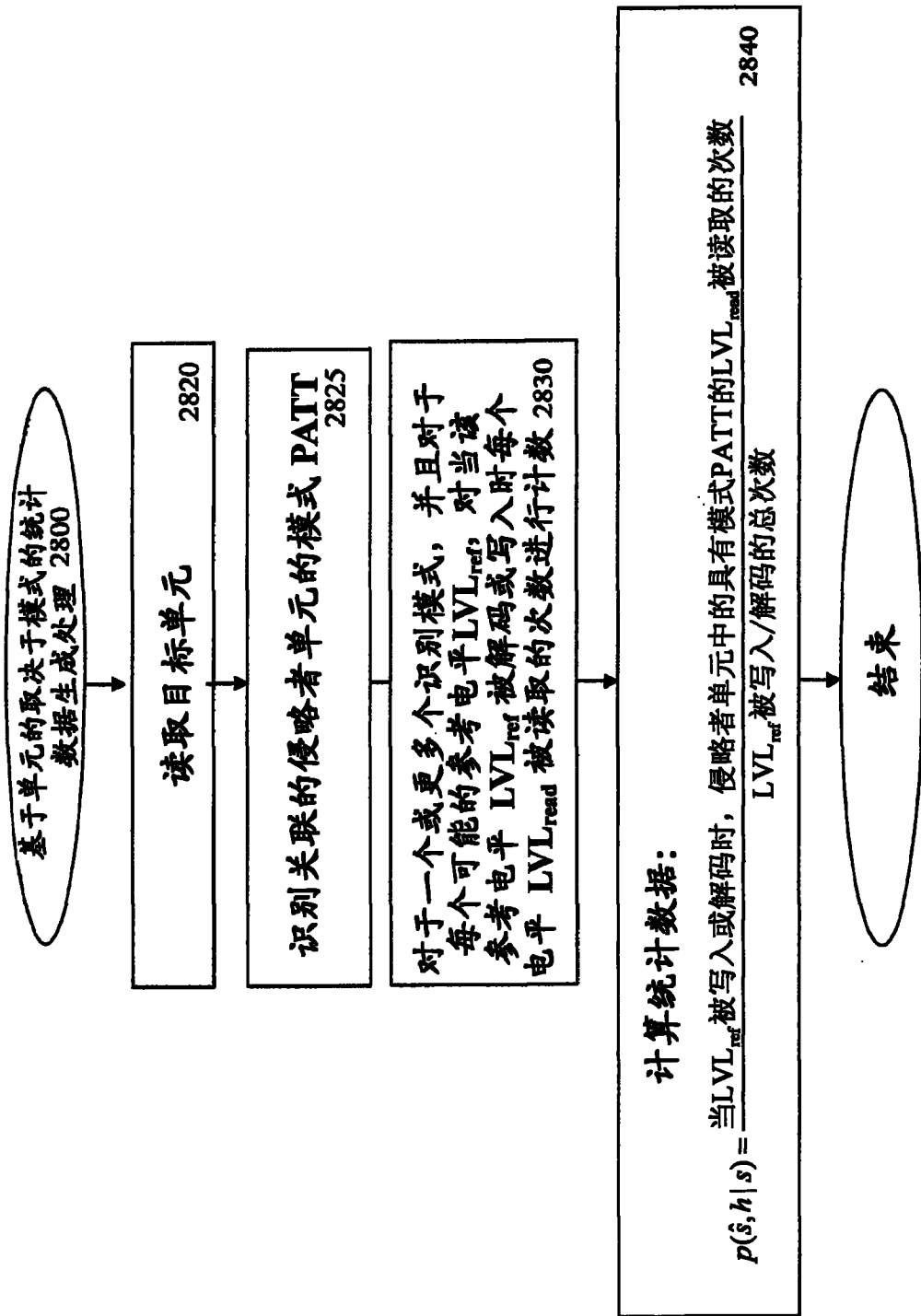


图 28

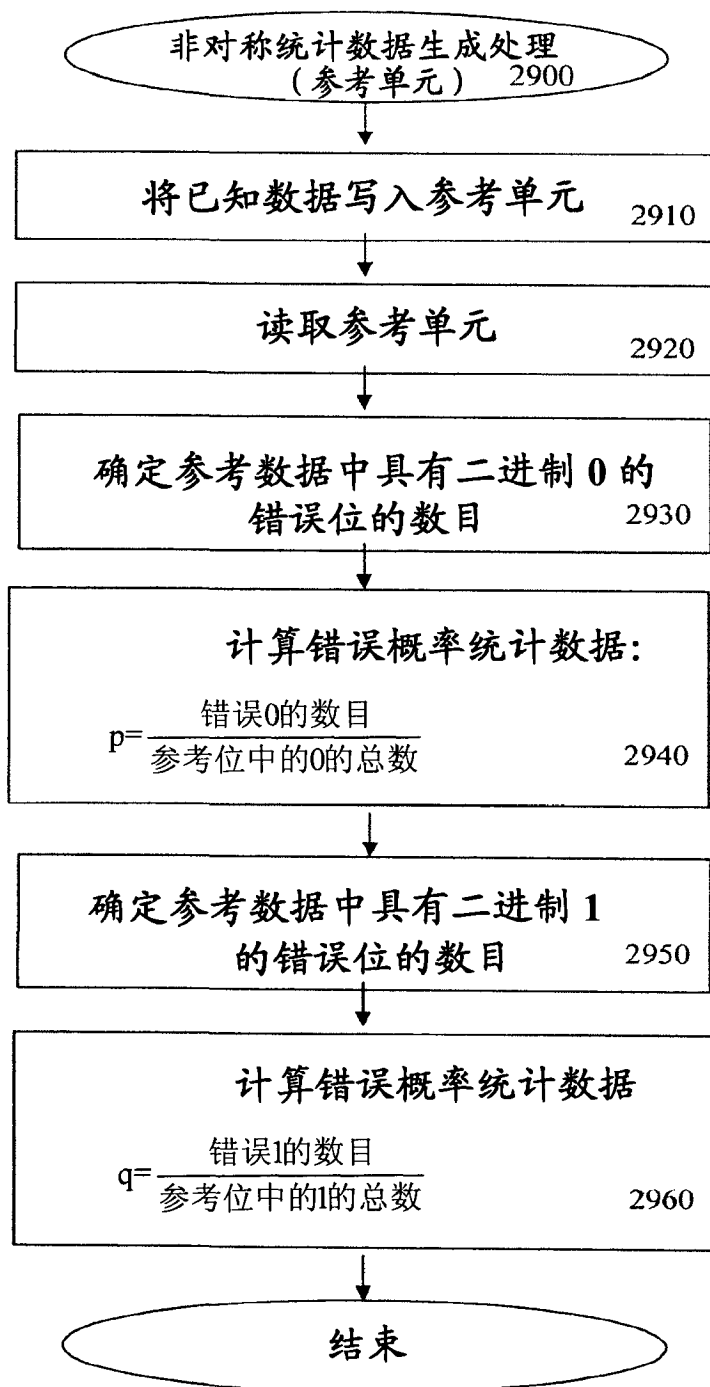


图 29

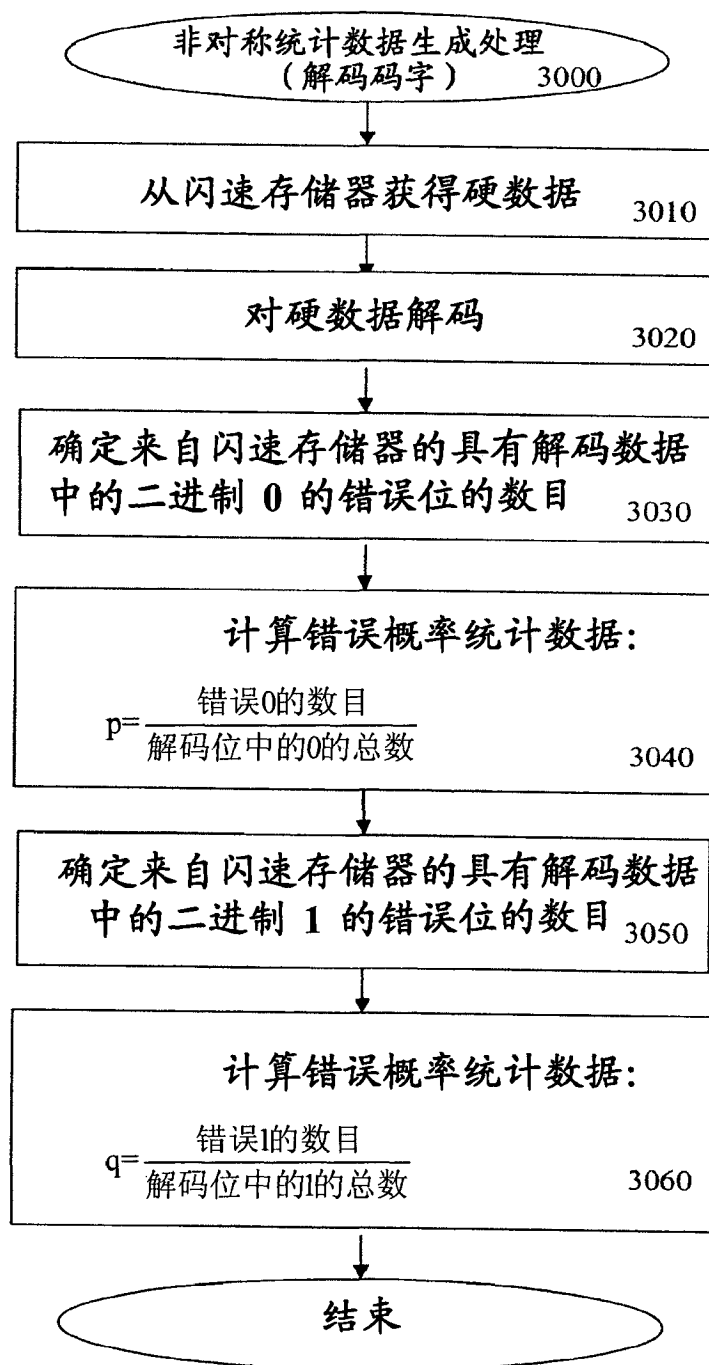


图 30

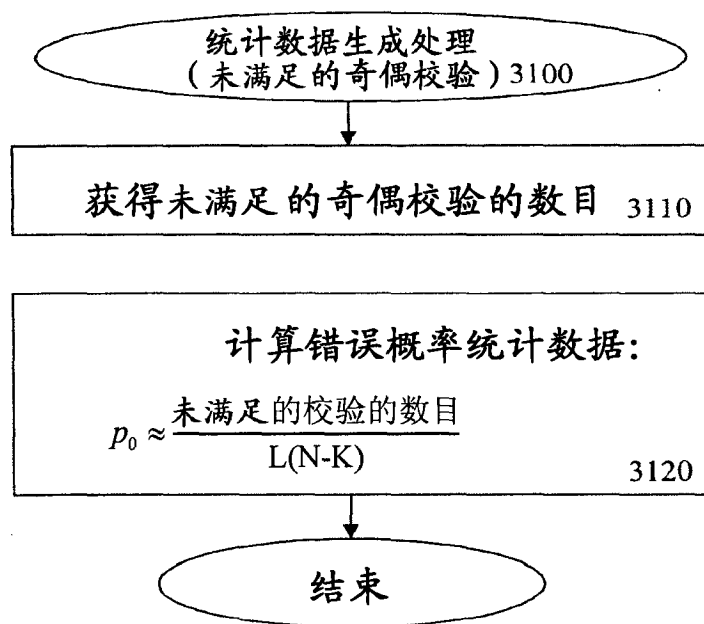


图 31

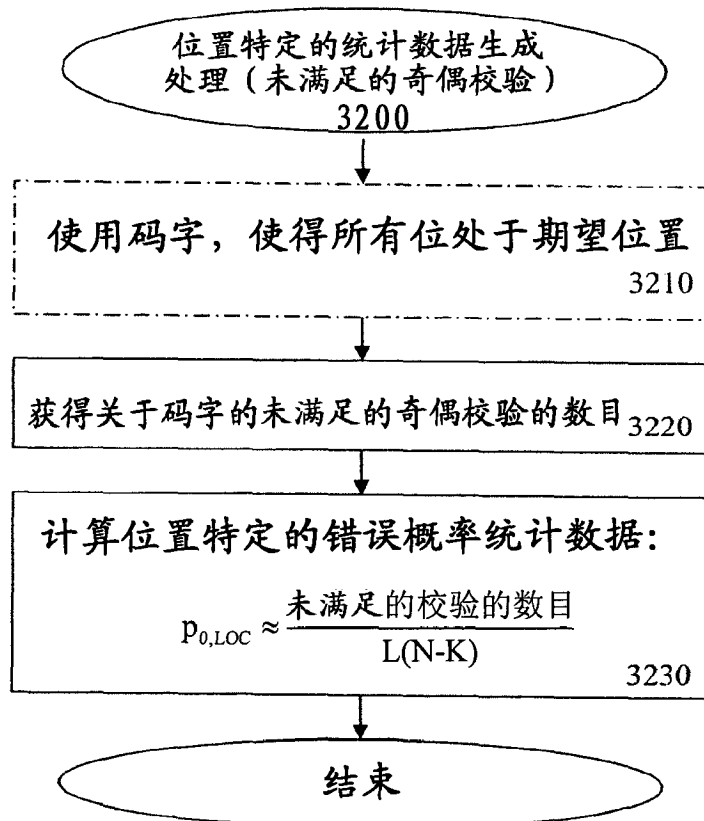


图 32

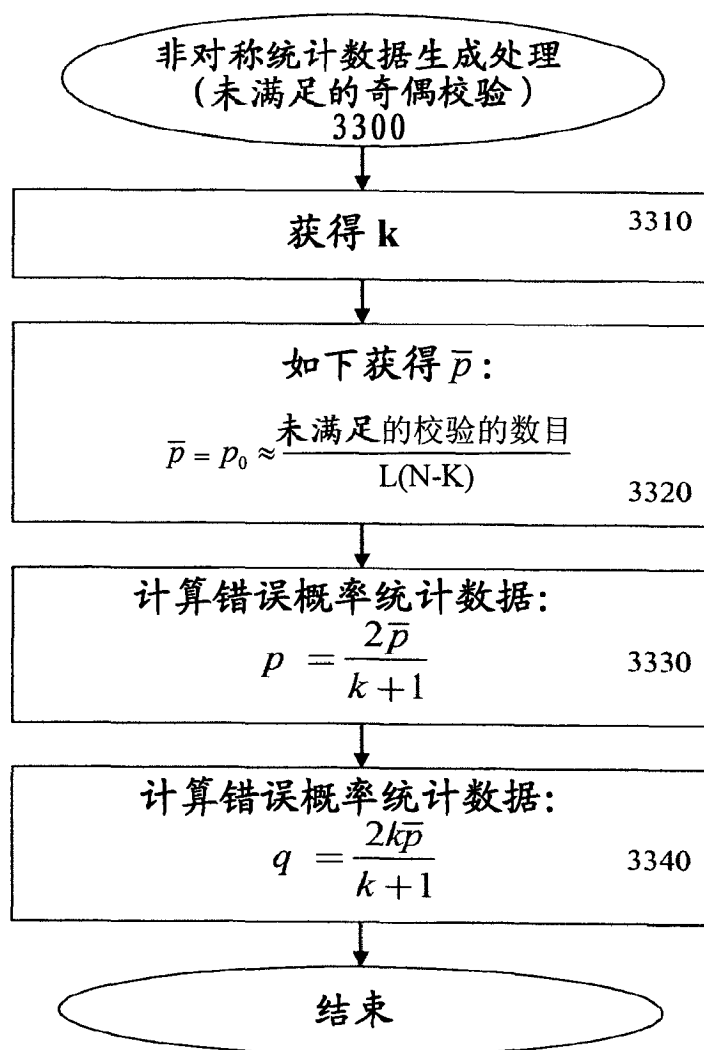


图 33