

УДК 621.3.049.771.14

В. В. Губарев, А. И. Козлов, Е. И. Черепов

(Новосибирск)

## ВЫЧИСЛИТЕЛЬ РАНГОВ НА ПРИБОРАХ С ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗЬЮ

Предложен новый способ ранжирования данных в окне, скользящем вдоль сигнальной последовательности. Разработан вычислитель рангов, ориентированный на интегральное исполнение на приборах с зарядовой связью (ПЗС). Вычислитель содержит компараторы, сдвиговый регистр, блок сумматоров и элементов задержки. Входные и выходные сигналы представлены в зарядовой области, что обеспечивает возможность размещения вычислителя на одном кристалле с другими функциональными ПЗС.

Высокая эффективность при достаточно общей априорной информации определяет широкое распространение ранговых методов обработки [1—4]. Такие методы часто реализуются на основе вычислителей рангов. Однако практическое использование этих вычислителей ограничивается их исполнением на дискретных и цифровых элементах, большим числом компараторов (сравнительно сложных электронных узлов) и возникающими при этом трудностями миниатюризации [2, 3, 5]. В данной работе анализируется алгоритм ранжирования данных в скользящем окне с целью уменьшения операций сравнения и разработки вычислителя рангов, ориентированного на интегральную реализацию на основе приборов с зарядовой связью (ПЗС). Использование в качестве элементной базы ПЗС обеспечивает достижение высокого быстродействия и точности вычисления, достаточной для многих применений [2].

При ранжировании данных в скользящем окне локальные ранги элементов текущего фрагмента могут быть получены модификацией рангов элементов соседнего фрагмента, сдвинутого на один шаг (рис. 1). Модификация локальных рангов выполняется посредством подсчета разности между количеством вновь появившихся на текущем шаге сканирования элементов фрагмента, меньших по значению данного элемента, и количеством таких же элементов, ушедших из фрагмента, и прибавления этой разности к величине ранга на предыдущем шаге [6, 7]. Вычисление локальных рангов данных внутри скользящего окна заключается в выполнении трех групп операций. Первая

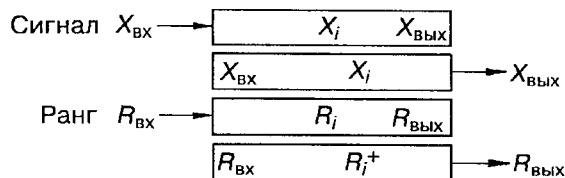


Рис. 1. Процесс сдвига скользящего окна вдоль сигнальной последовательности и изменения соответствующего набора рангов

группа — вычисление ранга элемента, появившегося последним в скользящем окне, вторая — сравнение ранга элемента, поступившего последним, с рангами остальных элементов в окне, третья — сравнение ранга элемента, ушедшего из скользящего окна, с рангами оставшихся в окне элементов. Таким образом, при построении вычислителей в соответствии с известным способом требуется  $3(N - 1)$  компараторов [5]. Однако величина рангов непосредственно связана с величиной элементов сигнала, причем большему элементу соответствует больший ранг и наоборот. Поэтому можно синтезировать способ ранжирования данных в скользящем окне с меньшим числом операций сравнения, чем известный.

Предложенный способ вычисления и модификации локальных рангов заключается в следующем:

$$R_{\text{вх}} = \sum_{i=1}^{N-1} C_i.$$

Здесь

$$C_i = \begin{cases} 1 & \text{при } X_{\text{вх}} \geq X_i, \\ 0 & \text{при } X_{\text{вх}} < X_i, \end{cases}$$

$$R_i^+ = R_i + \Delta R_i,$$

где

$$\Delta R_i = \begin{cases} 0 & \text{при } \begin{cases} X_i > X_{\text{вх}}, \\ R_i > R_{\text{вых}} \end{cases} \text{ или } \begin{cases} X_i \leq X_{\text{вх}}, \\ R_i < R_{\text{вых}}, \end{cases} \\ +1 & \text{при } \begin{cases} X_i > X_{\text{вх}}, \\ R_i < R_{\text{вых}}, \end{cases} \\ -1 & \text{при } \begin{cases} X_i \leq X_{\text{вх}}, \\ R_i > R_{\text{вых}}, \end{cases} \end{cases}$$

$R_{\text{вх}}$  — ранг элемента, введенного в скользящее окно при сдвиге на один такт;  $R_i^+$  — текущее значение ранга после сдвига на один такт;  $R_i$  — текущее значение ранга до сдвига на один такт;  $R_{\text{вых}}$  — ранг элемента, выведенного из скользящего окна при сдвиге на один такт.

Синтезированный нами способ вычисления локальных рангов включает только две группы операций сравнения, поэтому достаточно  $2(N - 1)$  компараторов.

Первая группа — сравнение элемента, появившегося последним в скользящем окне, с остальными элементами окна, в результате вычисляется ранг нового элемента  $R_{\text{вх}}$  и получается информация о соотношении (меньше, больше) между рангом  $R_{\text{вх}}$  последнего поступившего элемента и рангами  $R_i$  остальных элементов окна.

Вторая группа — сравнение ранга элемента, ушедшего из скользящего окна, с рангами элементов, оставшихся в окне. Информация о сравнении ранга элемента, поступившего последним, и ранга элемента, ушедшего из скользящего окна, с рангами остальных элементов окна позволяет модифицировать локальные ранги в скользящем окне.

На основе проведенного анализа алгоритма ранжирования данных в скользящем окне разработана блок-схема рекурсивного вычислителя рангов, приведенная на рис. 2. Вычислитель включает регистр 1 сигнала с отводами от каждой ячейки, первые 2 и вторые 7 компараторы, многоходовый сумматор 3, инверторы 4, элементы задержки на один такт 5 и трехходовые сумматоры с одним вычитающим входом 6 [8]. По сравнению с известными разработанный вычислитель является более простым, так как он содержит в 1,5 раза

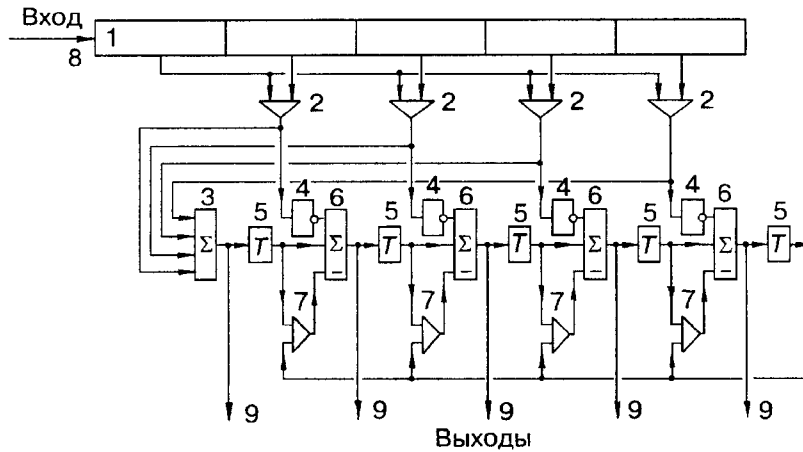


Рис. 2. Блок-схема вычислителя рангов

меньше компараторов. Уменьшение количества компараторов достигается их заменой на элементы НЕ. Это упрощает интегральную реализацию вычислителя на ПЗС, уменьшает активную площадь кристалла, приходящуюся на один элемент скользящего окна.

Данный вычислитель работает следующим образом. На вход вычислителя 8 подаются сигнальные зарядовые пакеты, а с выходов 9 снимают ранги элементов входного сигнала. После окончания предыдущего цикла вычислений в регистр 1 поступает новый элемент сигнала. При этом остальные данные сдвигаются на один шаг (см. рис. 1). Первые компараторы сравнивают их между собой. Сумматор 3 формирует ранг элемента ( $R_{вх}$ ), поступившего в регистр последним, а инверторы, вторые компараторы и сумматоры 6 модифицируют ранги остальных элементов ( $R_i$ ), содержащихся в регистре 1.

В микроэлектронном исполнении вычислителя сдвиговый регистр, блок сумматоров и элементов задержки реализуются на ПЗС (рис. 3), а компараторы — на МДП-транзисторах. При этом блок сумматоров и элементов задержки представляет собой сдвиговый регистр с дополнительными электродами для суммирования (вычитания) содержимого ячеек регистра и единичного зарядового пакета [9].

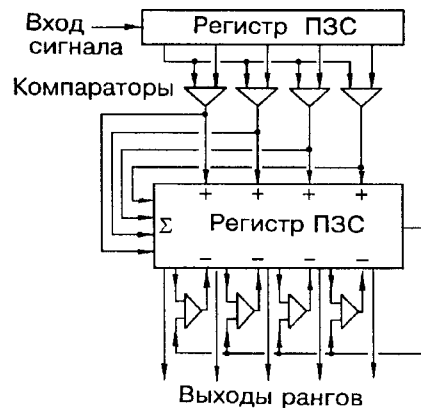


Рис. 3. Разработанный вычислитель рангов на ПЗС

Таким образом, входные и выходные сигналы представлены в зарядовой области, что обеспечивает структурно-технологическую совместимость данного вычислителя с другими функциональными ПЗС, в частности, совместимость вычислителя рангов и коррелятора при построении на ПЗС однокристалльного устройства для вычисления функций конкорреляции — нового перспективного класса характеристик нелинейной связи случайных сигналов [10]. Кроме того, разработанный вычислитель рангов может использоваться для реализации различных алгоритмов обработки сигналов, например, при медианной фильтрации, скользящей эквализации гистограмм и т. п. [1, 2, 7].

Итак, на основе анализа алгоритма ранжирования данных в скользящем окне разработан вычислитель рангов, ориентированный на интегральную реализацию на приборах с зарядовой связью и содержащий по сравнению с известными устройствами в 1,5 раза меньше компараторов. Это обеспечивает структурно-технологическую совместимость вычислителя рангов с другими функциональными ПЗС, а также уменьшает активную площадь кристалла, приходящуюся на один элемент скользящего окна.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ярославский Л. П. Цифровая обработка сигналов в оптике и голографии. Введение в цифровую оптику. М.: Радио и связь, 1987.
2. Балякин И. А., Егоров Ю. М., Родзивилов В. А. Приборы с переносом заряда в радиотехнических устройствах обработки информации. М.: Радио и связь, 1987.
3. Подрубный О. В. Комплект БИС для ранговой обработки изображений // Электрон. пром-сть. 1995. № 2. С. 9.
4. Козлов А. И., Черепов Е. И., Эпов А. Е. О медианной и низкочастотной фильтрации при контрастировании изображений // Обработка изображений и дистанционные исследования: Тез. докл. Междунар. конф. Новосибирск, 1990. С. 133.
5. А. с. 1109739 СССР. Устройство для ранжирования чисел /Ю. Н. Ложкин, А. А. Мамаев, Р. Д. Яхонтов. Оpubл. 23.08.84, Бюл. № 31.
6. Тьюки Дж. Анализ результатов наблюдений: Пер. с англ. М.: Мир, 1981.
7. Обработка изображений и цифровая фильтрация /Под ред. Т. Хуанга: Пер. с англ. М.: Мир, 1979.
8. А. с. 1795448 СССР. Вычислитель рангов /А. И. Козлов, Е. И. Черепов, А. Е. Эпов. Оpubл. 15.02.93, Бюл. № 6.
9. Козлов А. И., Черепов Е. И., Эпов А. Е. Вычислитель рангов // Распределенная обработка информации: Тез. докл. Третьего регион. сем. Улан-Удэ, 1989. С. 99.
10. Губарев В. В. Корреляционно-спектральные характеристики, инвариантные к взаимно однозначным безынерциальным функциональным преобразованиям случайных процессов // Автоматика и телемеханика. 1987. № 5. С. 75.

*Поступила в редакцию 3 января 1996 г.*