

# Применение FPGA-технологии в автоматизированных системах для сегментации сложноструктурируемых изображений



---

Чудинов С.М. ОАО «НИИ Супер-ЭВМ», г.Москва  
Томакова Р.А., Филлист С.А. ФГБОУ ВПО «Юго-  
Западный университет», г. Курск

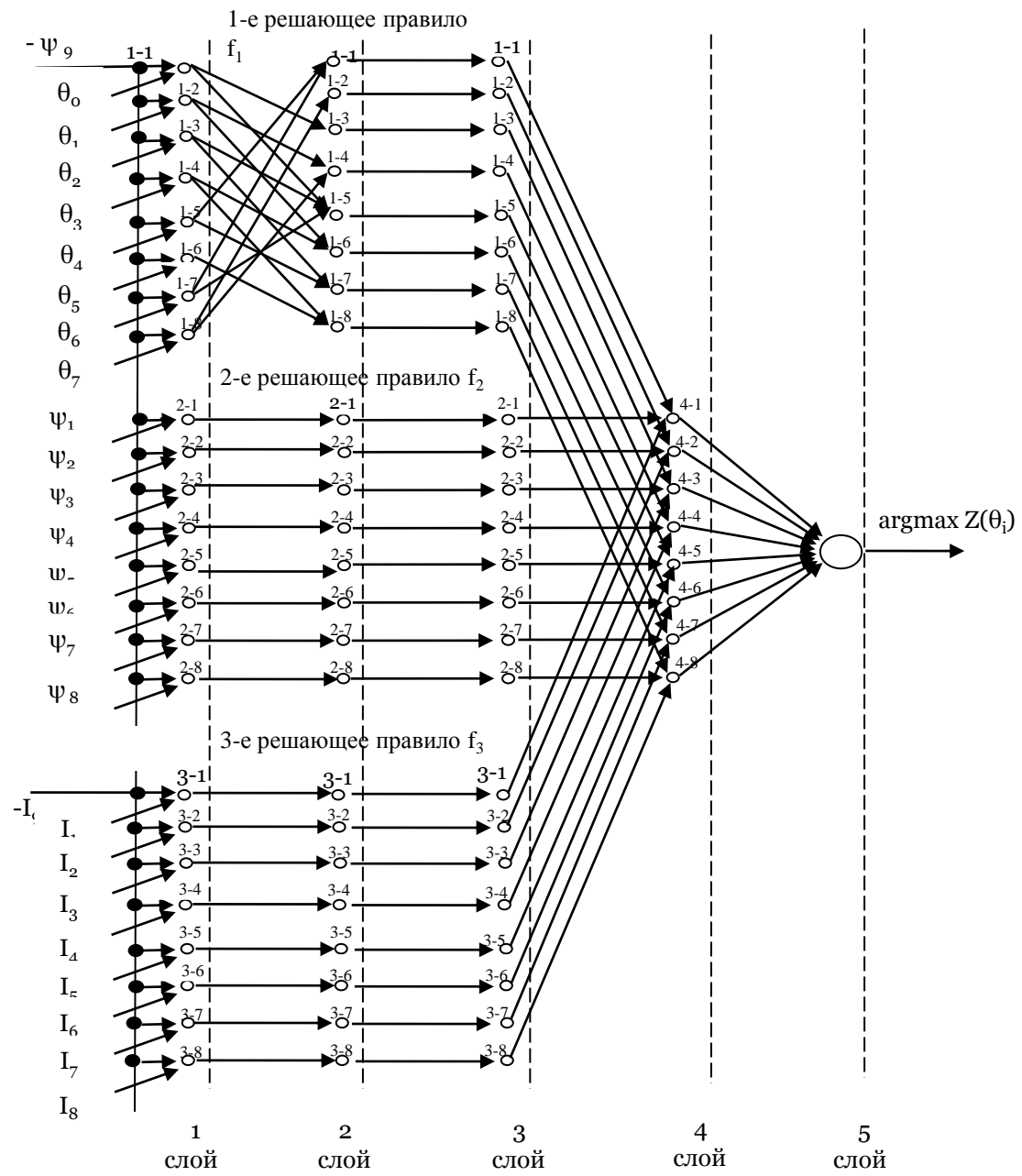
# Постановка задачи

При выделении контуров объектов на изображениях в большинстве случаев используется последовательность градиентной и морфологической обработки. Наиболее узким местом такого подхода является время обработки данных, которое становится критическим при использовании многомасштабных преобразований или гибридных методов обработки данных.

Для морфологической обработки сложноструктурируемых изображений нами было предложено использовать интеллектуальный морфологический оператор, использующий гибридный подход к выделению сегментов изображения.

Бинарное изображение границ сегментов получают из градиентного изображения путем использования сетевой модели, представленной на слайде 3.

# Модель нечеткой нейронной сети, реализующей интеллектуальный оператор выделения границ сегмента



# Структура сетевой модели интеллектуального морфологического оператора

Эта модель включает 5 слоев. За основу формирования слоя взята девятиэлементная маска с восьмью направлениями  $\theta$  ( $\theta = \overline{0,7}$ )

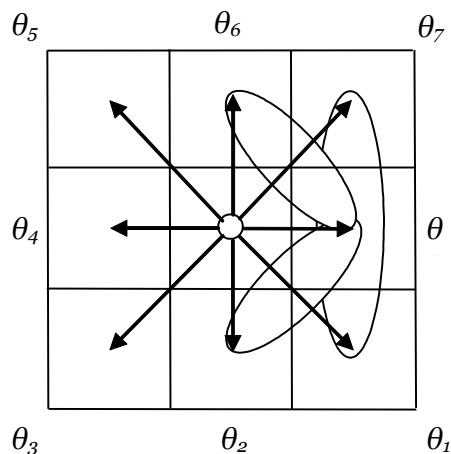


Рис.1,а. Схема формирования направлений градиентов в девятиэлементном окне

1	2	3
8	9	4
7	6	5

Рис.1,б. Схема обозначения пикселей в девятиэлементном окне

Для формирования множества альтернативных решений по выбору пикселя границы сегмента сформированы три решающих правила (представлены на слайде 5)

# Решающие правила формирования бинарного изображения границы сегмента

---

## Первое решающее правило:

активируется тот пиксель, большая ось эллипса направления которого, определяемая параметром  $\theta_i$  ( $i = \overline{1, 8}$ ), имеет наименьшее отклонение от фазы активного пикселя  $\psi_9$ .

## Второе решающее правило:

активируется тот пиксель, параметр фазы которого наиболее близок к параметру фазы текущего активизированного пикселя

$$|\psi_9 - \psi_i| \rightarrow \min, \quad i = \overline{1, 8}.$$

## Третье решающее правило:

яркость  $I_i$  активируемого пикселя должна быть близка к яркости предшествующего пикселя границы сегмента

$$|I_9 - I_i| \rightarrow \min, \quad i = \overline{1, 8}.$$

Эти правила реализуются тремя слоями сети.

# Нелинейное преобразование величин на основе нечетких решающих правил

Решающие правила третьего слоя:

$$S1 = f_1(u1_i), \quad S2 = f_2(u2_i), \quad S3 = f_3(u3_i), \quad \text{где } u1_i, u2_i, u3_i - \text{ выходы узлов второго слоя, } i = \overline{1, 8}.$$

$$S1 = \begin{cases} 0, & \text{при } u1 < -\pi/4; \\ (4 \cdot v1 / \pi) \cdot u1 + v1, & \text{при } -\pi/4 \leq u1 < 0; \\ -(4 \cdot v1 / \pi) \cdot u1 + v1, & \text{при } 0 \leq u1 \leq \pi/4; \\ 0, & \text{при } u1 > \pi/4. \end{cases}$$

Нелинейное преобразование  $S2$  позволяет оценить уверенность в выборе пикселя границы сегмента на основе сравнения градиента в текущем и выбираемом пикселе.

Кусочно-линейная аппроксимация функции  $S2$  представлена уравнением

$$S2 = \begin{cases} 0, & \text{при } u2 < 0; \\ -(2 \cdot v2 / \pi) \cdot u2 + v2, & \text{при } 0 \leq u2 \leq \pi/2; \\ 0, & \text{при } u2 > \pi/2. \end{cases}$$

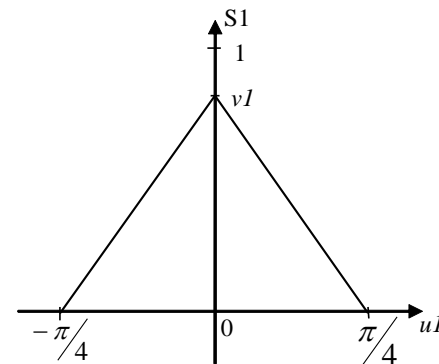


Рис.1. Нелинейное преобразование  $S1$

Нелинейное преобразование  $S3$  позволяет оценить уверенность в выборе границы пикселя на основе того, насколько его яркость близка к яркости текущего пикселя.

Аргумент нелинейного преобразования  $u3_i$  определяется как 
$$u3_i = \frac{\text{abs}(I_i - I_9)}{I_9 + \varepsilon} \cdot 100,$$

где  $I_9$  - яркость текущего пикселя,  $I_i$  - яркость пикселей в маске,  $i = \overline{1, 8}$ ;  $\varepsilon$  - достаточно малая величина, определяемая шумовыми характеристиками изображения.

$$S3 = \begin{cases} 0, & \text{при } u3 < 0; \\ -0,01 \cdot v3 \cdot u3 + v3, & \text{при } 0 \leq u3 \leq 100; \\ 0, & \text{при } u3 > 100. \end{cases}$$

**В четвертом слое** осуществляется агрегация решающих правил  $S1, S2, S3$  для каждого пикселя 1 ... 8 маски.

**В пятом слое** выбирается один из восьми пикселей, агрегирующая функция  $Z$  для которого имеет максимальное значение.

Максимальное значение этой функции определяется путем сравнения ее значения в восьми пикселях. Вводится расстояние в пространстве  $(S1, S2, S3)$  с использованием манхэттенской метрики. Агрегатор определяется как

$$Z = S1 + S2 + S3.$$

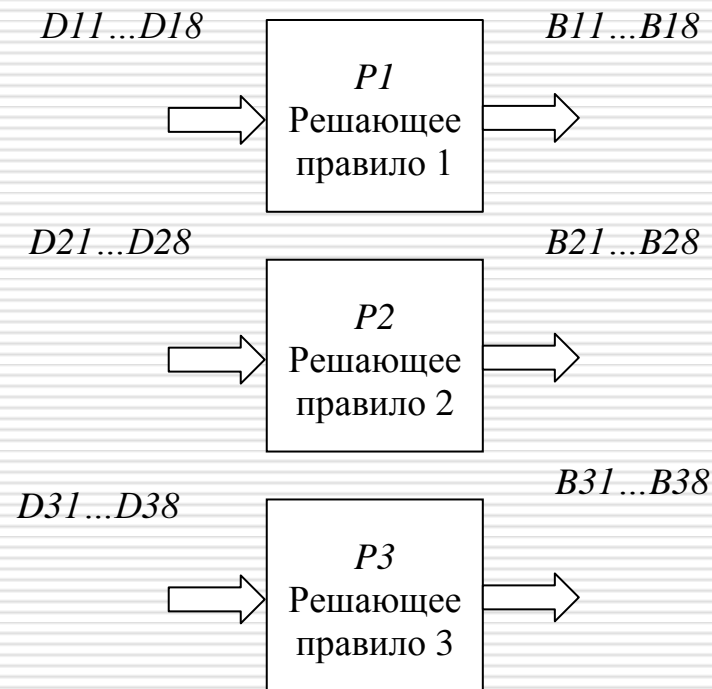
## Процесс обработки данных

Процесс обработки данных интеллектуальным оператором может рассматриваться как потоковый и заключается в преобразовании кортежа (потока) вектора входных данных  $D$  в кортеж (поток) вектора выходных данных  $B$ .

На входе сети, представленной на слайде 3, имеется три независимых потока данных, поэтому одним из очевидных путей сокращения времени обработки изображения является распараллеливание процесса обработки.

# Параллельный способ обработки

В простейшем случае параллельный способ подразумевает наличие трех процессоров в первом-третьем слоях сети (см. слайд 3), как это показано на рисунке

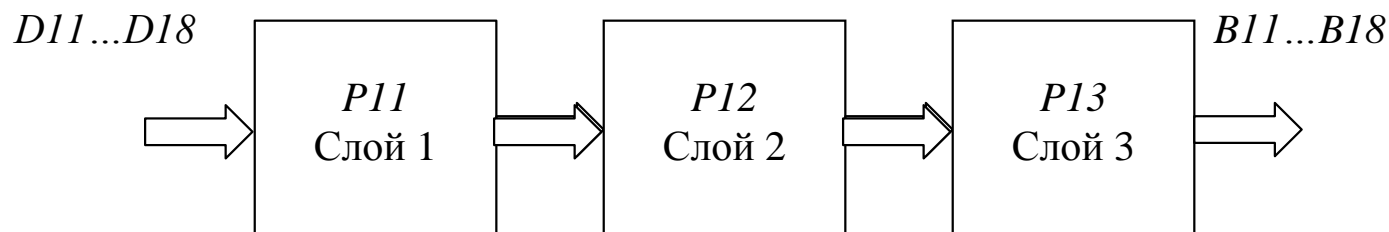


Параллельный способ обработки в слоях морфологического оператора



## Способ соединения процессоров в конвейер

Каждый из процессоров, изображенных на слайде 8, включает три процессора для первого решающего правила



Одним из путей увеличения темпа обработки информации в конвейере – это распараллеливание обработки на каждой ступени конвейера.

Вычислительная структура основана на гибридной технологии обработки данных, сочетает в себе как параллельный, так и конвейерный способ обработки информации,

# Способ реализации

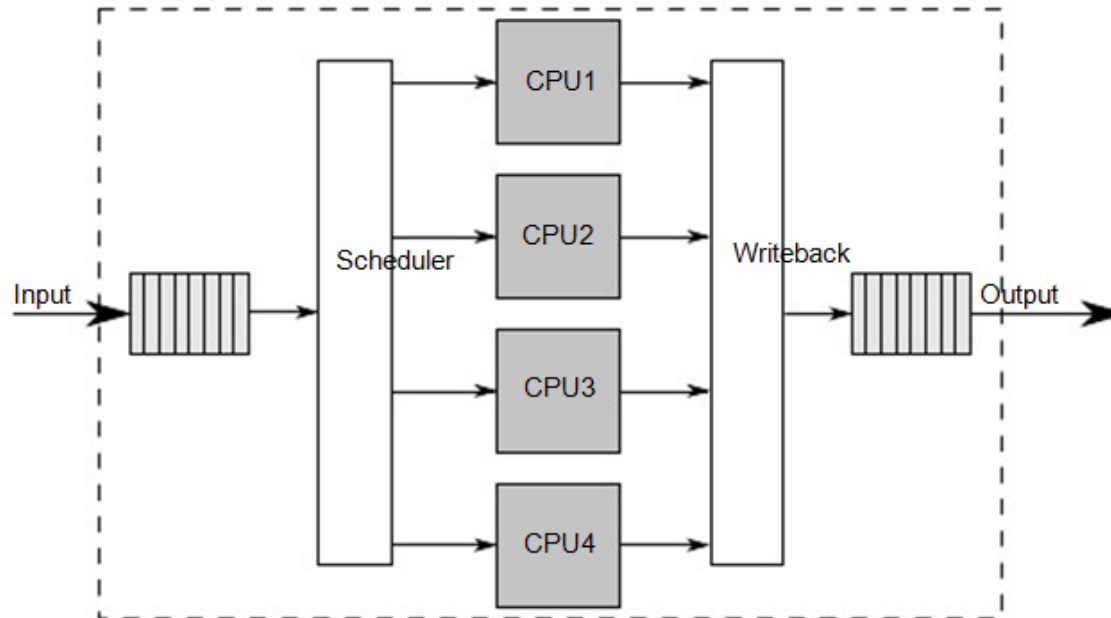
Реализовать рассмотренную гибридную технологию обработки данных можно на основе двух базовых аппаратных технологий: микропроцессорной техники и программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС). Обе технологии имеют как преимущества, так и недостатки.

Преимущества микропроцессоров: простота разработки устройств на их базе, которая, в сущности, сводится к написанию программного обеспечения.

Наиболее перспективно проектирование таких устройств обработки данных на базе последней технологии, а именно FPGA (field-programmable gate array).

# Задачи пользователя

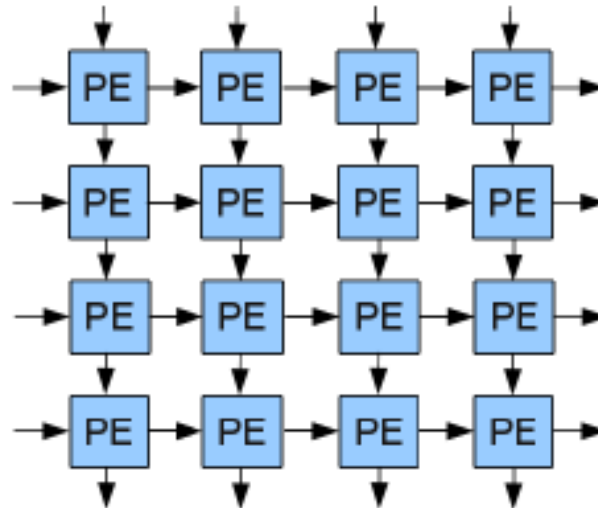
Задачей пользователя системы является правильная организация программы и распределение команд по отдельным обрабатывающим устройствам в системе. На входе обычно размещают специальное устройство-планировщик (scheduler), которое и производит распределение поступающих данных по отдельным процессорам в системе



Многопроцессорная обработка в гибридных системах обработки данных

Использование описанных выше особенностей FPGA дает широкие возможности для реализации аппаратным способом различных алгоритмов обработки изображений.

Использование FPGA для ускорения процесса вычислений основано на том, что на ее основе можно создать различное количество процессорных элементов (ПЕ), выполняющих одну и ту же операцию, которые позволяют сократить общее время, необходимое для обработки изображений. Для реализации сетевой структуры интеллектуального морфологического оператора требуется структура ПЕ в виде



## Выводы

- Имеющийся в настоящее время инструментарий морфологической обработки изображений не позволяет обеспечить требуемое качество сегментации сложноструктурируемых изображений.
- Интеллектуальные морфологические операторы, построенные на основе гибридных технологий, позволяют повысить качество сегментации сложноструктурируемых изображений, но не обеспечивают быстродействия, необходимого для современных систем обработки данных.
- Математические алгоритмы интеллектуальных морфологических операторов могут быть реализованы с помощью логических функций, встроенных в ПЛИС. Тем самым обеспечивается работа системы сегментации сложноструктурируемых изображений в реальном времени, что позволяет рекомендовать ее для обработки сложноструктурируемых изображений, в частности, для систем поддержки принятия решений медицинского назначения.