

НАЦИОНАЛЬНИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ УКРАИНЫ  
"КИЕВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ"

На правах рукописи

МОХАМЕД ХУССЕЙН АЛИ  
(ИРАК)

УДК 681.3.014

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ  
РЕКОНСТРУКЦИИ ТОМОГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Специальность 05.13.08 – Вычислительные машины, системы  
и сети, элементы и устройства вычислительной техники  
и систем управления

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Киев – 1996



00754296 (X)

004, 03

Диссертация является рукоп  
Работа выполнена на кафедр  
систем Национального техническо  
политехнический институт" (НТУУ "КПИ").

- Научный руководитель - доктор технических наук,  
профессор Синьков М. В.
- Официальные оппоненты - доктор технических наук,  
профессор Брюхович Е. И.,  
- кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник  
Калиновский Я. А.
- Ведущая организация - Холдинговая компания  
"Реле и автоматика".

Защита состоится " 8 " апреля 1996 г. в 14<sup>30</sup> часов на  
заседании специализированного совета Д 01.02.06 в Национальном  
техническом университете Украины "Киевский политехнический  
институт" (г. Киев, проспект Победы, 37, корп. 18, ауд. 306).

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах), заверенные  
печатью учреждения, просим направлять по адресу:

252056, г. Киев-56, проспект Победы, 37, КПИ,  
Ученому секретарю.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Киевского  
политехнического института.

Автореферат разослан " 1 " марта 1996 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета,  
доктор технических наук,  
профессор

О. В. Бузовский

ЛНБ ім. В. Стефаніка  
АН України

АННОТАЦИЯ

Целью диссертационной работы является повышение производительности тракта обработки томографических данных при реконструкции изображений.

Для достижения указанной цели в диссертации решаются следующие задачи:

1. Анализ требований, предъявляемых к современным алгоритмическим и аппаратным средствам для реконструкции томографических изображений.

2. Разработка метода повышения производительности при реконструкции проекционных данных на основе метода обратного проецирования.

3. Разработка структуры специализированного высокопроизводительного вычислителя для реконструкции данных.

4. Разработка структуры спецпроцессора реконструкции томографических изображений на основе СБИС обработки сигналов.

Автор защищает следующие положения и результаты:

-Новый вариант алгоритма обратного проецирования со сверткой для веерной геометрии сканирования.

-Способ генерации адресов отсчетов свернутых проекций.

-Структурные схемы генераторов адресов с различными способами коррекции запаздывания.

-Многоканальная система восстановления матрицы изображения  $1024 \times 1024$  на основе универсального процессора ЦПС ТМС320С30 в реальном времени.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Интерес к методам вычислительной томографии как инструменту диагностирования внутреннего состояния объекта постоянно растет. Стремительный прогресс методов компьютерной томографии предопределен их преимуществом перед используемыми ранее методами диагностики, заключающимися в его высокой информативности. Постоянно расширяются области практического применения томографических методов в промышленности, медицине, физике и т.д.

Томографические исследования могут отличаться многими параметрами. Так в медицинских томографах пространственное разрешение

должно быть порядка 0.5-1 мм, а в промышленных томографах оно измеряется величиной в единицы микрон. Медицинский томограф использует энергию порядка 100 кэВ, а в промышленных томографах эта величина достигает -5-10 мэВ. Можно привести еще ряд примеров, которые демонстрируют существенные различия этих двух методов. Но в обоих случаях существует один важный вопрос - это высокопроизводительная обработка томографических изображений.

В вычислительном тракте томографические данные проходят обработку и корректировку в различных алгоритмических и аппаратных блоках и устройствах. Из них наиболее сложной частью можно считать реконструкцию изображений, определяющую в значительной степени скорость реакции томографической системы на появление на экране дисплея выходной матрицы изображения.

Повышение производительности реконструкции может достигаться как алгоритмическим путем, так и аппаратными средствами. Алгоритмические средства включают новые методические подходы к построению алгоритмов и программные улучшения. Дальнейшее повышение производительности может быть достигнуто применением новой специализированной аппаратуры.

Методы исследования. В диссертационной работе использовался математический аппарат теории интегральных преобразований, методы теории вычислительных систем, методы теории обработки сигналов. Для подтверждения основных теоретических результатов применялся эксперимент и моделирование на ЭВМ.

Научная новизна выполненных исследований заключается в следующем:

-Разработан новый вариант алгоритма обратного проецирования со сверткой для верной геометрии сканирования, который позволил существенно сократить объем вычислений, сделав его соизмеримым с объемом вычислений для систем с параллельными лучами.

-Предложен способ генерации адресов отсчетов свернутых проекций. Способ основан на приближенном интегрировании производной угла расположения детектора в проекции. Способ эффективно реализуется аппаратными средствами.

-Предложены структуры генераторов адресов с различными способами коррекции запаздывания, обеспечивающие при заданной сложности соответствующую точность адресации.

-Разработана структура многоканальной системы восстановления

изображения, решающая задачу обратного проецирования матрицы изображения  $1024 \times 1024$  в реальном времени, на основе универсального процессора ЦПС тм3320с30.

Практическая ценность работы. Полученные научные и практические результаты позволяют реализовать процесс реконструкции томографических изображений на основе универсального процессора ЦПС тм3320с30 в реальном времени в медицинских и промышленных томографах, которые разрабатываются в ИПГи НАН Украины и организациях со-исполнителях конструкторских работ и серийного производства томографов.

Апробация работы: Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях «Компьютерные технологии в промышленности» (Бахчисарай, 1994г), «Композиционные материалы. Технология и производство» (Бахчисарай, 1994г).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 6 работ.

Структура и объем работы: Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 115 наименований и приложений. Работа содержит 175 страницы машинописного текста, включая 30 рисунков и 5 таблиц, приложения включают 24 страницы.

Во введении обоснован выбор темы, ее актуальность, сформулирована цель исследований, приведено краткое содержание работы по главам и перечислены основные результаты, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрены тенденции развития вычислительной томографии, даны основные технические характеристики томографов последних поколений. Проанализированы требования, предъявляемые к современным системам реконструкции томографических изображений. Рассмотрены, с точки зрения реализации алгоритмов реконструкции изображения, характеристики современных СБИС и показано, что одним из наиболее эффективных средств для реализации этого алгоритма являются ЦПС.

Во второй главе рассматриваются алгоритмические средства вычислительной системы восстановления изображения по проекциям. Предложена модификация алгоритма обратного проецирования для вращательной геометрии сканирования, которая позволила существенно сократить объем вычислений, сделав его соизмеримым с объемом

вычислений для систем с параллельными лучами.

В третьей главе рассмотрены различные методы построения генератора адресов. Предложен способ генерации адресов свернутых проекций, основанный на интегрировании производной угла расположения детектора в проекции. Проведено моделирование погрешностей при вычислении угла детектора. Рассмотрены вопросы разработки функциональных блоков спецпроцессора обратного проецирования.

В четвертой главе Проанализировано построение системы реконструкции изображения в реальном времени. Разработана структура системы восстановления изображения на основе ЦПС тмсз20с30, решающая задачу обратного проецирования матрицы изображения  $1024 \times 1024$  в реальном времени.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

В приложениях представлены таблицы результатов моделирования генератора адресов, листинг программы.

#### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Изучение внутренней структуры объектов без разрушения представляет собой важную задачу, решение которой во многом предопределяет успехи в ряде отраслей науки и техники. Зачастую единственной информацией об объекте, внутреннюю структуру которого мы желаем изучить, является набор проекционных данных, которые представляют собой набор коэффициентов поглощения излучения, прошедшего через объект вдоль различных направлений от источника к детектору.

К настоящему времени сформировались системы томографии пяти поколений. В работе рассмотрены принципы построения систем томографов и даны основные технические характеристики каждого поколения, а также приведен анализ требований, предъявляемых к современным системам реконструкции томографических изображений. При жестких требованиях к разрешающей способности томографа необходимы сканирующие системы с большим числом детекторов и ракурсов, а также ведение восстановления на матрицах большого размера. Эти обстоятельства приводят к необходимости повышения производительности реконструкции как алгоритмическим путем, так и аппаратными средствами.

В диссертационной работе рассматриваются существенные, с

точки зрения реализации алгоритмов реконструкции томографического изображения, характеристики современных СБИС, таких как RISC, CISC и ЦПС. Из проведенного анализа существующих СБИС следует, что для построения системы реконструкции изображения в реальном времени наиболее эффективным является 32-разрядный ЦПС tms320c30, включающий в свой состав всю основную аппаратуру реконструкции изображения.

Проанализированы основные положения теории восстановления изображений по проекциям. Для определения математических средств рассматриваемой системы в работе используется следующая постановка задачи реконструкции.

Пусть функция изображения  $f(x, y) \in L_2(\Omega)$  равна нулю вне  $\Omega$  - окружности радиуса единица. Требуется восстановить значения этой функции по проекции  $p(\gamma, \beta)$ , которая связана с  $f(x, y)$  формулой:

$$p(\gamma, \beta) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \delta(\iota(\gamma, \beta, x, y)) dx dy, \quad (1)$$

где  $\delta(u)$  - дельта-функция, а выражение  $\iota(\gamma, \beta, x, y) = 0$  определяет прямую, вдоль которой ведется интегрирование. Параметры  $\gamma, \beta$  имеют различный смысл в зависимости от геометрии сканирования: в работе рассматриваются параллельная и веерная геометрии пучка прямых.

Известен ряд различных методов решения поставленной задачи. В работе основное внимание уделено методу обратного проецирования со сверткой, использующий аппарат преобразования Фурье и проекционную теорему.

Следует отметить, что уравнение (1) представляет собой идеализированную абстрактную модель прикладной задачи, в которой по дискретным данным о проекциях, заданным в виде оценок функции  $p$  по конечной совокупности лучей, требуется найти двумерное изображение  $f^*$ , служащее восстановленной оценкой  $f$ . В работе рассматривается случай, когда отсчеты функции  $p$  берутся равномерно по  $\gamma$  и  $\beta$ . Число  $n$  дискретных значений  $\gamma$  называется числом детекторов, а число  $m$  дискретных значений  $\beta$  - числом углов поворота сканирования. При использовании преобразования Фурье для дискретизированных функций (в данном случае для проекций  $p(\gamma_i, \beta_j)$ ) следует учитывать известный эффект наложения спектров,

который возникает, если спектр функции не ограничен по ширине или предельное значение частоты выше частоты Найквиста  $\nu=1/2\alpha$ , где  $\alpha$  - шаг дискретизации. Влияние этого эффекта можно уменьшить фильтрацией функции  $f(\gamma, \beta)$ , выбрав частотную характеристику фильтра в виде окна. Поэтому, согласно теореме о проекциях и сечениях, которая связывает спектр искомой функции  $f$  с преобразованием Фурье проекции, можно заключить, что метод преобразований для восстановления изображения позволяет получить его аппроксимацию в виде функции  $f^*(x, y)$  с ограниченной шириной спектра.

В диссертационной работе приведены формулировки и отмечены особенности некоторых методов реконструкции изображений: различных итерационных методов, метода на основе преобразования Радона, непосредственного метода Фурье, метода  $\rho$ -фильтрации.

Рассматриваются вопросы практической реализации метода обратного проецирования со сверткой, которая сводится к свертке проекции с ядром и обратному проецированию свернутых проекций для параллельных и веерных лучей.

Сложность восстановления изображения по проекциям в значительной степени определяется геометрией сканирования. При веерной геометрии необходимо учесть мгновенное расстояние  $S$  от источника излучения до каждой точки объекта  $(x, y)$ .

Другой важной задачей при веерной геометрии является определение луча веера  $(\gamma)$ , проходящего от источника через точку с координатами  $(x, y)$ .

При веерной геометрии сканирования, конечном числе поворотов и детекторов восстановленное значение некоторой функции определяется формулами:

$$f(x, y) = 2\pi/M \sum_{j=1}^M \frac{1}{S^2} g_{\beta_j}(\gamma), \quad (2)$$

$$\gamma = \arctg \frac{x \cos \beta + y \sin \beta}{\rho + x \sin \beta - y \cos \beta} \quad (3)$$

$$\frac{1}{S^2} = \frac{1}{(\rho \cos \beta - \gamma)^2 + (\rho \sin \beta + x)^2} \quad (4)$$

где  $g_{\beta_j}$  - значение свернутой проекции на  $j$ -м положении;  $\beta$  - угловое положение сканирующей системы относительно оси  $y$ ;

$\rho$ -расстояние от вращающегося излучателя до начала координат.

Трудоемкость реконструкции изображения по проекциям при веерной геометрии определяется задачей обратного проецирования (2) - (4). Что касается выполнения свертки, то объем вычислений при веерной геометрии практически совпадает с вычислением свертки для случая параллельных лучей. Основная трудность реконструкции изображения заключается в большом объеме вычислений при определении  $\gamma$  и  $1/S^2$ . В работе показано, что непосредственная реализация выражений (3) и (4) на основе ЦПС ТМС320С30 для матрицы изображения  $1024 \times 1024$  и 1000 положений трубки требует около 2 часа. Очевидно, что при практических расчетах такое время неприемлемо.

Для повышения производительности реконструкции проекционных данных на основе этого метода, в диссертационной работе предложена следующая модификация.

Согласно рис. (1) имеем:

$$\operatorname{tg}(\beta + \gamma) = \frac{\rho \sin \beta + x}{\rho \cos \beta - y} \quad (5)$$

$$\cos(\beta + \gamma) = \frac{\rho \cos \beta - y}{S} \quad (6)$$

Тогда вклад в матрицу при заданных  $\beta, x, y$ :

$$\frac{g(\gamma)}{S^2} = \frac{P(\gamma)}{(\rho \cos \beta - y)^2} \quad (7)$$

где

$$P(\gamma) = g(\gamma) \cos^2(\beta + \gamma)$$

Вычисление модифицированной свертки  $P(\gamma)$  по объему практически совпадает (с точностью до процента) с вычислением обычной свертки  $g(\gamma)$ .

Выражение (7) отражает задачу обратного проецирования в виде, наиболее удобном для технической реализации. Поскольку такой подход позволяет ограничиться одним значением  $\frac{1}{(\rho \cos \beta - y)^2}$  для всей строки.

Выше рассматривалось упорядоченное вычисление вдоль строки матрицы ( $\cos^2 \beta > 0.5$ ). Подобным же образом для случая ( $\cos^2 \beta < 0.5$ ) расчет ведется по столбцу.

Таким образом модификация свертки  $P(\gamma) = g(\gamma) \cos^2(\beta + \gamma)$  практически полностью снимает вопрос о вычислении весовых множителей  $1/s^2$ .

Один из основных вопросов, рассматриваемых в работе, связан с методом построения генератора адресов спецпроцессора обратного проецирования. Путем преобразования (5) выражение для  $\gamma$  можно представить в виде

$$\gamma = \arctg\left(\frac{\rho \sin \beta + x}{\rho \cos \beta - y}\right) - \beta. \quad (8)$$

Из (5) видно, что при упорядоченном вычислении по строке значение тангенса является линейной функцией от  $x$ , т.е. номера шага. Каждое очередное значение тангенса может быть вычислено путем одного суммирования, а для вычисления  $\gamma$  понадобится обращение к таблице  $\arctg(z)$  и вычитание  $\beta$ . В работе рассмотрены связь объема таблиц  $\arctg(z)$ , записанных в ПЗУ, с точностью вычислений и точностью исходных данных, вопрос о разрядности накапливавшего сумматора для формирования текущего значения  $\arctg(\beta + \gamma)$ .

Предложены эффективные методы, позволяющие сократить количество операций и аппаратных затрат при вычислении адресации свернутых проекций.

Для матриц восстанавливаемого изображения большого размера и реальных углов веерного пучка  $30^\circ - 40^\circ$  можно ожидать достаточно высокую эффективность кусочно-линейной аппроксимации. Однако, она применима только в том случае, если точность вычислений  $\gamma$  соответствует заданной.

При веерной геометрии  $x/y = \arctg(\beta + \gamma)$ . Следовательно, на отрезке  $\Delta x$  приращение  $\Delta \gamma$  равно:

$$\Delta \gamma = (\beta + \gamma_{i+1}) - (\beta + \gamma_i) = \arctg \frac{Y \cdot (X_{i+1} - X_i)}{Y^2 + X_{i+1} X_i}, \quad (9)$$

где

$$X = \rho \sin \beta + x, \quad Y = \rho \cos \beta - y.$$

Учитывая малость  $\Delta \gamma$  ( $\Delta \gamma \approx 2\gamma_{\max} / M_T$ ) при больших размерах матрицы, легко построить простые и, в то же время, достаточно точные формулы для его определения.

Разлагая арктангенс в ряд и ограничившись двумя членами ряда, получим весьма точное приближение:

$$\Delta y \cong \operatorname{tg} \Delta y - \frac{(\operatorname{tg} \Delta y)^3}{3}. \quad (10)$$

Его погрешность в реальных условиях не превышает величины порядка  $10^{-15}$  радиана. для учета кубической поправки необходимо дополнительно 3 операции умножения и одно вычитание.

Возможно исключить и эти 4 дополнительные операции путем использования достаточно точного приближения  $\Delta y \cong K \operatorname{tg}(\Delta y)$ .

Для  $i$ -го участка

$$\frac{\Delta y_i}{\Delta x} = \frac{Y K_i}{x_i x_{i+1} + Y^2}. \quad (11)$$

Таким образом, обеспечивается более чем достаточная точность при резком сокращении объема вычислений. В предлагаемом подходе на каждый участок необходимо  $2t_s + t_d$  времени для определения  $\Delta y/\Delta x$ . С учетом длины участка на каждую точку вычисления  $y$  необходимо затратить

$$T_i = t_s + \frac{q}{M_T} (2t_s + t_d). \quad (12)$$

Ясно, что эффективность вычислений ( $t_i$ ) зависит от используемых аппаратных средств ПЭВМ. Наименьший выигрыш будет в случае использования сопроцессора с плавающей точкой, который аппаратно реализует вычисление арктангенса. Однако даже в рассматриваемом случае при использовании во всех операциях представления с плавающей точкой применение данного подхода дает почти пятикратное сокращение времени.

Далее рассматривается возможность аппаратной реализации генератора адресов на основе интегрирования производной функции  $y$  (8):

$$\frac{dy}{dx} = \frac{Y}{x^2 + Y^2} = \frac{1}{Y} \cdot \cos^2(\beta + \gamma). \quad (13)$$

Аппаратурно генератор адресов представляет собой соединение множителя-накопителя с регистрами и функционального преобразователя в цепи обратной связи. Используется простейший способ

интегрирования, что обеспечивает предельную простоту схемы. Однако, ограниченная разрядность операндов умножителя-накопителя, дискретность задания адреса ПЗУ и запаздывание из-за наличия регистров приводит к погрешности цифрового интегрирования.

Наличие запаздывания приводит к тому, что вместо интегрирования производной (13) интегрируется производная

$$\frac{Y}{Y^2 + (X - \Delta x)^2} \quad (14)$$

Погрешность запаздывания при интегрировании от  $x_1$  до  $x$  очевидно, будет равна:

$$\begin{aligned} \Delta\beta &= 1.5 \Delta x \left[ \frac{Y}{Y^2 + X^2} - \frac{Y}{Y^2 + X_1^2} \right] = \\ &= \frac{1.5 \Delta x}{Y} \left[ \cos^2(\beta + \gamma) - \cos^2(\beta + \gamma_1) \right], \end{aligned} \quad (15)$$

Где

$\Delta x$  - шаг интегрирования по  $x$ .

Уменьшить погрешность запаздывания при вычислении текущих значений  $\gamma$  можно путем введения компенсации запаздывания.

В диссертационной работе проведен анализ погрешностей запаздывания в цепи обратной связи интегратора и оценка погрешности из-за конечной разрядности операндов, а также ограниченного объема ПЗУ. Предложены структурные схемы генератора адресов при введении коррекции запаздывания по  $\beta$ , одинаковой для любой точки  $(x, y)$  данного ракурса, введении коррекции запаздывания отдельно для каждой строки и коррекции запаздывания в каждой точке.

Результаты численного моделирования указанных выше погрешностей из-за ограниченной точности представления операндов при различных способах коррекции запаздывания приведены в таблице 1.

Проведенное численное моделирование показало возможность при не очень жестких требованиях к точности адресации ограничиться общей коррекцией ракурса и ПЗУ с организацией 512x8. При более жестких требованиях достаточно вести коррекцию по строке (рис. 2) и ограничиться ПЗУ емкостью 2048 12-разрядных слов и нет необходимости в сложных схемах коррекции погрешности.

Таблица 1

	Среднеквадратическое значение погрешность по ракурсу (в аперт. дет. )		
	Коррекция ракурса	Коррекция строки	Коррекция точки
Разр. вых. ПЗУ= 8 Адрес ПЗУ =9 Разр. сумм. =15	0.058	0.087	—
Разр. вых. ПЗУ= 8 Адрес ПЗУ =11 Разр. сумм. =15	0.050	0.088	0.048
Разр. вых. ПЗУ= 12 Адрес ПЗУ =11 Разр. сумм. =15	0.074	0.0391	0.012
Разр. вых. ПЗУ= 12 Адрес ПЗУ =13 Разр. сумм. =15	—	0.023	0.01

Модификация алгоритма обратного проецирования позволила существенно упростить структуру спецпроцессора обратного проецирования, которая подробно рассматривается в работе.

Восстановление изображений по полученным проекционным данным в реальном времени в компьютерной томографической системе возможно обеспечить применением параллельных вычислений. Степень распараллеливания при конвейерной обработке зависит при заданной производительности от времени выполнения самой длинной операции соответствующей ступени конвейера. Чаще всего такой операцией является операция с памятью: считывание, суммирование, запись. Ее длительность при использовании мегабитной динамической памяти обычно составляет сотни наносекунд. Следовательно, для достижения быстродействия в  $10^6$  операций в секунду потребуется распараллеливание в десятки раз.

В работе рассмотрены различные способы распараллеливания в зависимости от используемой элементной базы. В первую очередь это определяется применяемой памятью, ее организацией и быстродействием.

При малой плотности упаковки ОЗУ одновременная обработка соседних строк более предпочтительна. В этом случае матрица изображения распадается на несколько подматриц, в каждой из

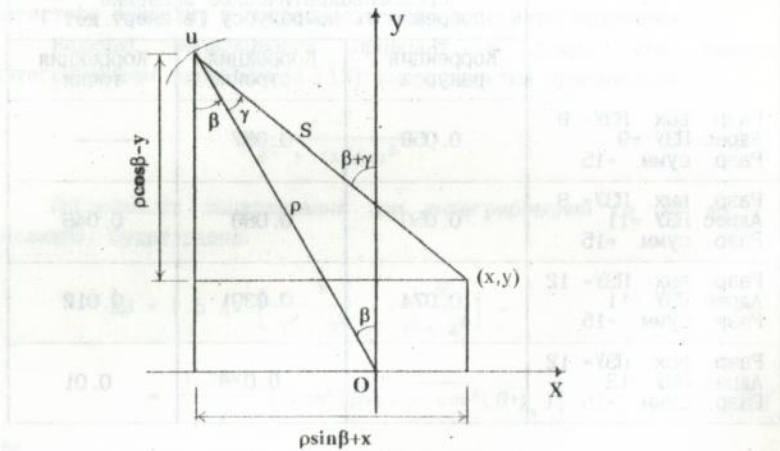


Рис.1.

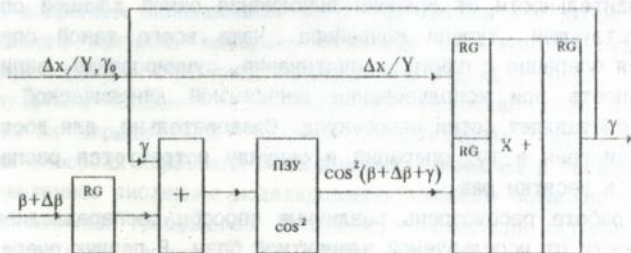


Рис.2.

которых одновременно идет процесс восстановления. Применение в качестве ОЗУ БИС с высокой плотностью упаковки и сравнительно низкого быстродействия требует иного подхода, позволяющего сократить количество обращений к ОЗУ. Этого можно достичь путем вклада в ячейку матрицы изображения за одно обращение к ОЗУ сразу нескольких слагаемых, соответствующих нескольким соседним значениям  $\beta$  для данной точки  $(x, y)$  матрицы. Одновременная обработка нескольких положений сканирующей системы позволяет сравнительно просто снять ограничение по быстродействию ОЗУ матрицы. Основной цикл конвейера может быть в 2 раза меньше цикла памяти "считывание - модификация - запись". Следовательно, для согласования быстродействия всех звеньев конвейера необходимо сократить время обращения к ОЗУ путем его расслоения.

Далее в работе рассматриваются вопросы построения СПОП матрицы  $1024 \times 1024$  при максимальной скорости поступления проекций  $t_p = 12 \text{ мс/пр.}$  на основе ЦПС tms320c30.

32-разрядный процессор tms320c30 с плавающей точкой обладает рядом особенностей, весьма полезными для системы реконструкции томографических изображений. Благодаря наличию внутрикристалльного умножителя, высокой степени параллелизма, набору специальных команд для ЦОС удастся создать недорогую систему для реализации алгоритмов с большим объемом вычислений.

В работе рассматриваются основные характеристики узлов процессора полезных для построения системы реконструкции в реальном времени.

Обработка данных в системе восстановления осуществляется по выбранному модифицированному алгоритму обратного проецирования. Для восстановления точек матрицы изображения необходимо умножить значения свернутых проекции  $p_{c_n} \cos^2(\beta + \gamma)$ , хранящихся в ОЗУ проекций, на весовой множитель  $1/\gamma^2$  и просуммировать результаты с соответствующими накапливаемыми вкладами предыдущих ракурсов, находящихся в ОЗУ изображения. Широкий набор параллельных команд процессора позволяет осуществить вычисление накапливаемого вклада точки за 2 командных цикла, т.е.  $t_n = 120 \text{ нс}$ , путем выполнения последовательности команд ADDF3 (суммирование) и параллельная команда MPYF3|STF (умножение/хранение).

Для обеспечения работы системы реконструкции обратного проецирования в реальном времени необходима конвейерная система с

глубоким распараллеливанием, коэффициент  $K_p$ , которого должен быть:

$$K_p \geq \frac{M_T^2 \cdot \pi/4 \cdot t}{T_p} \approx 9 \quad (16)$$

Распараллеливания можно вести разными способами. Например, разделить матрицу изображения на 9 подматриц, в каждой из которых одновременно идет процесс реконструкции. Но в этом случае для каждой подматрицы необходим собственный генератор ( $\gamma$ ) и значительное количество операций настроек. Так же распараллеливание можно вести путем одновременной обработки соседних строк. В этом случае система восстановления изображения в реальном времени содержит:

- устройство управления и интерфейс ЭВМ;
- многоканальный генератор адресов свернутых проекций для 9-ти последовательных строк, позволяющий сократить количество настроек и уменьшить аппаратные затраты;
- 9 одинаковых каналов обратного проецирования на основе ТМС320С30, обрабатывающих части матрицы изображения, каждый из которых содержит, 16К слов ОЗУ свернутых проекций, 128К слов ОЗУ подматрицы изображения и устройства управления.

Таким образом, система реконструкции изображения на основе универсального и высокопроизводительного процессора ТМС320С30 позволяет создать гибкую, с низкой себестоимостью систему восстановления, получающую томографическое изображение в реальном времени.

#### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Разработан новый вариант алгоритма обратного проецирования со сверткой для верной геометрии сканирования, что позволило существенно сократить объем вычислений, сделав его соизмеримым с объемом вычислений для систем с параллельными лучами.
2. Предложен способ генерации адресов отсчетов свернутых проекций. Способ основан на приближенном интегрировании производной угла расположения детектора в проекции. Способ эффективно реализуется аппаратными средствами.
3. Предложены структуры многоканальных генераторов адресов свернутых проекций для одновременной обработки ряда строк

(столбцов) одного ракурса, что позволяет резко сократить количество настроек и уменьшить аппаратные затраты.

4. Разработана структурная схема спецпроцессора обратного проецирования, характеризующаяся высокой производительностью при восстановлении изображения.

5. Рассмотрены вопросы построения быстродействующих спецпроцессоров обратного проецирования на основе конвейеризации и распараллеливания. Предложены структуры, учитывающие высокую плотность упаковки динамических ЗУ с их сравнительно малым быстродействием.

6. Разработана структура многоканальной системы восстановления изображения, решающая задачу обратного проецирования матрицы изображения  $1024 \times 1024$  в реальном времени, на основе универсального процессора ЦПС tms320c30.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Синьков М. В., Мохамед Х. Али, Вопросы реализации системы реконструкции изображения в томографии на современной элементной базе, Сб. науч. тр. НАН Украины. Проблемы регистрации информации: -К.: Наук. думка, 1994, -9с.

2. Синьков М. В., Мохамед Х. Али, Методы реконструкции томографических изображений на основе интегральных преобразований. -К.: Киев. Политехн. ин-т. Рук. Деп. в ГНТБ Украины, №. 1762 - Ук1994, -6с.

3. Синьков М. В., Закидальский А. И., Мохамед Х. Али, Алгоритм обратного проецирования со сверткой для спецпроцессора реконструкции изображений. -К.: Киев. Политехн. ин-т. Рук. Деп. в ГНТБ Украины, №. 1764 - Ук1994, -7с.

4. Синьков М. В., Косинский В. И., Роечко Н. В., Мохамед Х. Али, Компьютерная томографическая система диагностики промышленных изделий. Тезис докл. науч. техн. конф. «Компьютерные технологии в промышленности» г. Бахчисарай, АР-Крым, 4-6 октября 1994. - : 1 назв. - Рус.

5. Синьков М. В., Косинский В. И., Роечко Н. В., Мохамед Х. Али. Томографические средства оценки внутренней структуры композиционных материалов. Тезис докл. науч. техн. конф. «Композиционные материалы. Технология и производство» г. Бахчисарай,

АР-Крым, 11-13 октября 1994. -: 1 назв. - Рус.

Б. Синьков М. В., Косинский В. И., Роечко Н. В., Мохамед Х. Али.  
 Экономико-социальные аспекты применения Компьютерных томографов в промышленности и медицине. Тезис докл. науч. техн. конф. «Компьютерные технологии в промышленности» г. Бахчисарай, АР-Крым, 4-6 октября 1994. -: 2 назв. - Рус.

Мохамед Хуссейн Али

Разработка высокопроизводительных средств реконструкции томографической информации.

Работой является рукопись на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.08 - Вычислительные машины, системы и сети, элементы и устройства вычислительной техники и систем управления.

г. Киев, 1996г.

Целью диссертационной работы является повышение производительности тракта обработки томографических данных при реконструкции изображений.

Mohammed Hussien Ali

Working out of high-performance means for reconstruction of tomographic data.

This scientific work is a manuscript to submit one's thesis for candidate's sciences in speciality 05.13.08 - Computers, systems and networks, elements and unites of computer technique and control systems.

The aim of the thesis is to increase performance of tomographic data processing in image reconstruction. For this aim achievement in the thesis the backprojection algorithm for fan-beam geometry has been modified. a hardware manner for address generation of convolved projections has been proposed. and a structure of real-time parallel processing system for image reconstruction has been developed on the base of DSP TMS320C30.

Ключові слова:

Комп'ютерна томографія, секторна геометрія, алгоритми, реконструкція зображення, зворотне проектування, генератор адрес, спецпроцесор, багатоканальний, реальний час.



Подп. к печ. 27.02.86. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага тип. № 2. Способ печати офсетный. Условн. печ. л. 0,83.  
Условн. кр.-отт. т. 0,04. Уч.-изд. л. 1,0.  
Тираж 100. Зак. № 6-740.

Фирма «ВИПОЛ»  
252151, г. Киев, ул. Волинская, 60.

44301

AB 34.123