

УДК 681.327.12

Г.И. Алексеев, С.Г. Алексеев, А.А. Камович, А.И. Люлис,  
В.А. Мильман, С.В. Решетник

## КОМБИНИРОВАННЫЙ ВВОД В КОМПЬЮТЕР ГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАЛОФОРМАТНОГО ПЛАНШЕТНОГО СКАНЕРА И ДИГИТАЙЗЕРА

*Рассматривается ввод крупноформатных изображений с помощью комплекса, построенного на основе малоформатного сканера и дигитайзера. Вводимое изображение разбивается на фрагменты, которые сканируются последовательно. Наведение сканера на фрагмент осуществляется с помощью встроенных индукционных датчиков, подключенных к дигитайзеру. Из отсканированных фрагментов программным путем формируется крупноформатное изображение. Предлагаемые алгоритмы склейки обеспечивают невидимость стыка между фрагментами.*

### Введение

Внедрение растровых методов оцифровки больших информационных массивов (инженерных чертежей, карт и планов местности, топологий БИС, текстовой информации и других документов), представленных на бумажной или пленочной основе, обусловило динамично развивающийся рынок средств ввода графики.

Для ввода малоформатных документов распространение получили сравнительно недорогие планшетные сканеры форматов А4 и А4 Legal известных зарубежных фирм, таких как Hewlett Packard, Mustek, Canon, Microtek и др.

При вводе документов форматов А2, А1, А0 и рулонных практикуются различные широкоформатные планшетные и рулонные сканеры, а также аппаратно-программные комплексы на их основе. Лидерами поставок таких комплексов считают несколько зарубежных фирм. Так, например, фирма Katsuragawa Electric Co, Ltd занимает до 40 % американского и канадского рынков и до 25 % европейского рынка, поставляя устройство ввода серии KIP 2000 [1]. Фирма Ose Technologies выпустила серию устройств CS 4000 [2], включающих связку «сканер – плоттер», в которой использованы режимы сканирования разных документов (текстов, синек, фотографий, карандашных чертежей и т. п.). Компания Deskan продвигает на рынок систему широкоформатного сканирования для задач САПР и ГИС [3]. В системе Deskan Express сканирующая линейка перемещается по траверсе перпендикулярно ее центральной оси, захватывая полосу сканирования до 870×1260 мм. Программное обеспечение реализует бесшовную «склейку» синтезируемого изображения. Широкоформатные рулонные сканеры, успешно конкурирующие с зарубежными аналогами, выпускает одна из фирм Зеленограда (Московская область).

Имеются сообщения о разработке так называемых виртуальных широкоформатных сканеров [4], пофрагментно сканирующих документы без аппаратной привязки сканирующей линейки к какой-либо координатной системе. Формирование готового изображения в таких системах происходит путем автоматического нахождения общих областей на отсканированных фрагментах. Такие сканеры применяются для оцифровки карт и планов местности.

В Объединенном институте проблем информатики Национальной академии наук Беларуси также ведутся разработки по комбинированному вводу с использованием малоформатных планшетных сканеров и крупноформатных дигитайзеров, объединенных в аппаратно-программный комплекс. К числу ранних работ в этом направлении можно отнести устройство на базе широкоформатного планшетного дигитайзера и ручного сканера [5]. Это позволило решить проблему ввода крупноформатных изображений. Однако устройство имело невысокую скорость ввода и необходимость ручного сканирования документа, следствием чего являлось низкое качество отсканированных фрагментов. Последующие исследования привели к замене ручного сканера планшетным малоформатным сканером. Это позволило сократить ручной труд и существенно повысить производительность процесса ввода и качество получаемого результата.

## 1. Пофрагментный ввод малоформатным планшетным сканером

Для ввода разноформатных графических документов предлагается сканирование документа малоформатным планшетным сканером по фрагментам с их последующей автоматической склейкой в единый растровый файл. Сканер используется в перевернутом положении, а для обеспечения скользящего перемещения каретки со сканирующей линейкой по внутренней стеклянной поверхности сканера к ее корпусу крепится упорный элемент из материала с низким коэффициентом трения. Для облегчения работы с боков корпуса сканера прикреплены ручки. В зависимости от конкретной модели сканера возможны другие небольшие доработки конструкции.

Принцип позиционирования сканера в системе координат широкоформатного дигитайзера заключается в следующем. В состав комплекса входят дигитайзер и сканер, объединенные между собой блоком сопряжения (рис. 1). На рабочем поле дигитайзера закрепляется вводимое изображение на носителе из диэлектрического материала. Для фиксации изображения в процессе ввода его накрывают специальным тонким прозрачным стеклом. Такой способ фиксации позволяет выпрямить некоторые неровности носителя и получить более качественный результат. На поверхности стекла размещается блок сканирования (далее сканер), представляющий собой перевернутый планшетный малоформатный сканер, в корпус которого монтируются одна или две пары индукционных датчиков координат. Датчики представляют собой катушки индуктивности, аналогичные традиционно используемой катушке индуктивности указателя координат дигитайзера. Подробнее принцип работы электромагнитных датчиков описан в статье [5].

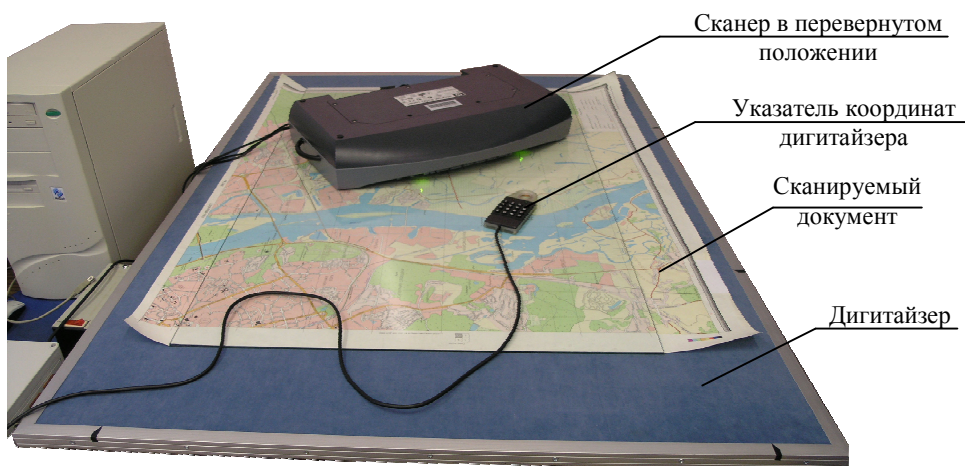


Рис. 1. Внешний вид комплекса

При установке сканера в зону ввода очередного фрагмента от дигитайзера поступает информация о координатах пары датчиков. Эти данные передаются в компьютер в специальном формате. Управляющая программа вычисляет положение сканера и, следовательно, положение и ориентацию сканируемого фрагмента в системе координат дигитайзера. Таким образом осуществляется однозначная привязка каждого отсканированного фрагмента в системе координат дигитайзера и на основании полученных данных программным способом формируется крупноформатное изображение.

## 2. Формирование крупноформатного изображения по фрагментам

Для формирования крупноформатного изображения с последующим сохранением в растровый файл используется специально разработанное программное обеспечение. Программой выполняются операции сканирования крупноформатного документа по фрагментам с последующей деформацией и совмещением фрагментов в единый растровый файл.

### 2.1. Сканирование крупноформатного изображения

После того как изображение подготовлено к сканированию (размещено на рабочей поверхности дигитайзера и накрыто стеклом), выполняется сканирование документа по фрагмен-

там. Для удобства можно указать область (при помощи указателя координат дигитайзера), предназначенную для сканирования (рис. 2).

На основании полученных данных от датчиков положения в окне управляющей программы отображается положение сканера относительно сканируемого документа. Это позволяет с точностью до нескольких миллиметров установить сканер для оцифровки очередного фрагмента.

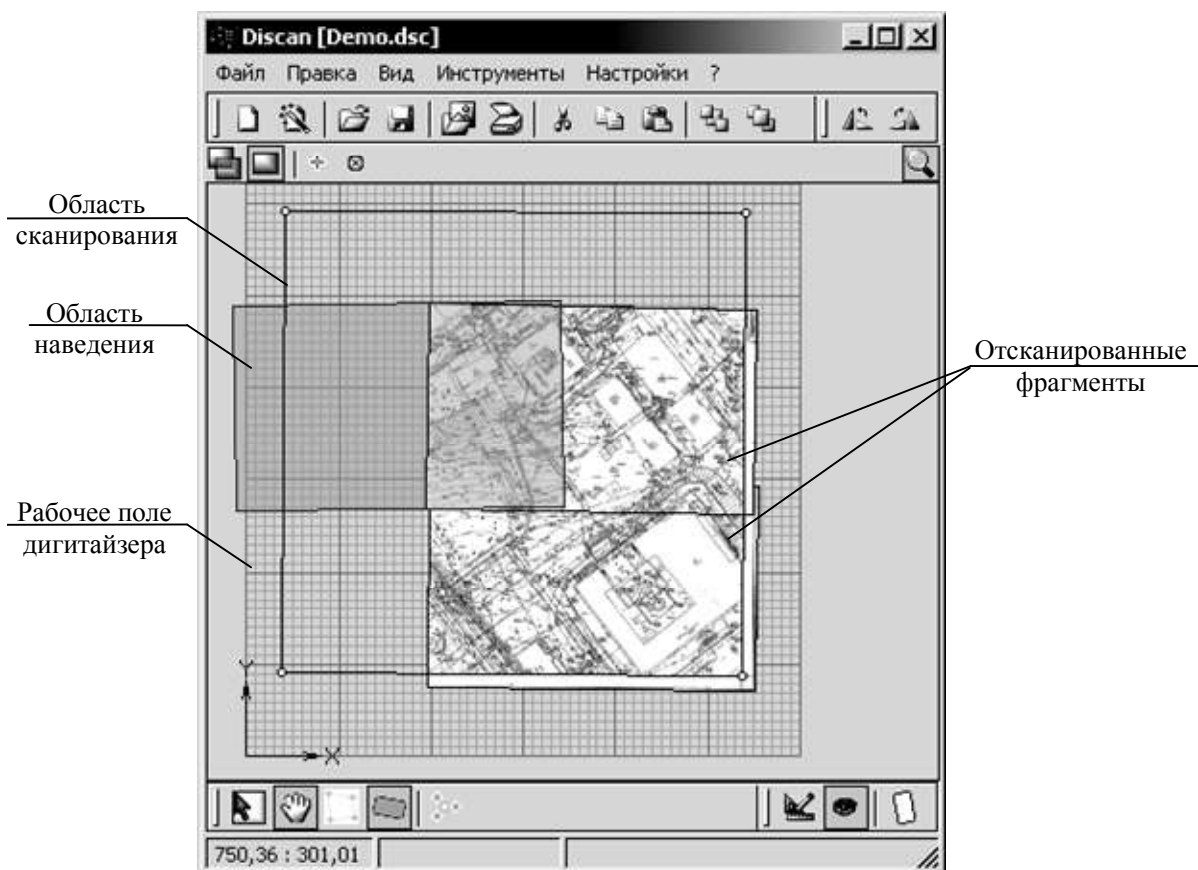


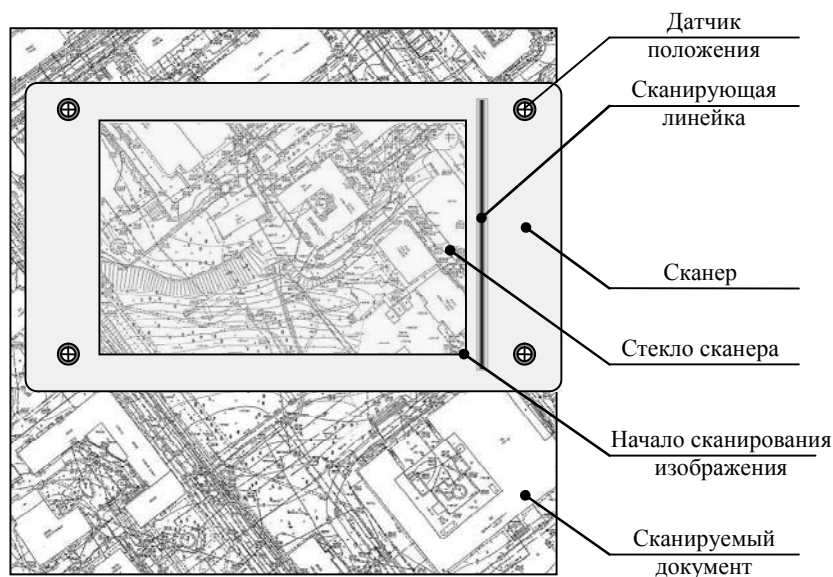
Рис. 2. Рабочее окно программы сканирования крупноформатных документов

Для отображения области наведения необходимо иметь данные о положении окна сканирования относительно датчиков положения, закрепленных на его корпусе (рис. 3) и расположенных с двух сторон от сканирующей линейки. Для нормальной работы комплекса необходимо, чтобы в любой момент времени одна из пар датчиков находилась в рабочем поле дигитайзера. Применение двух пар датчиков позволяет расширить поле сканирования документа при выходе одной из пар за поле дигитайзера. Определение параметров, описывающих положение окна сканирования относительно датчиков, производится для каждой пары в отдельности.

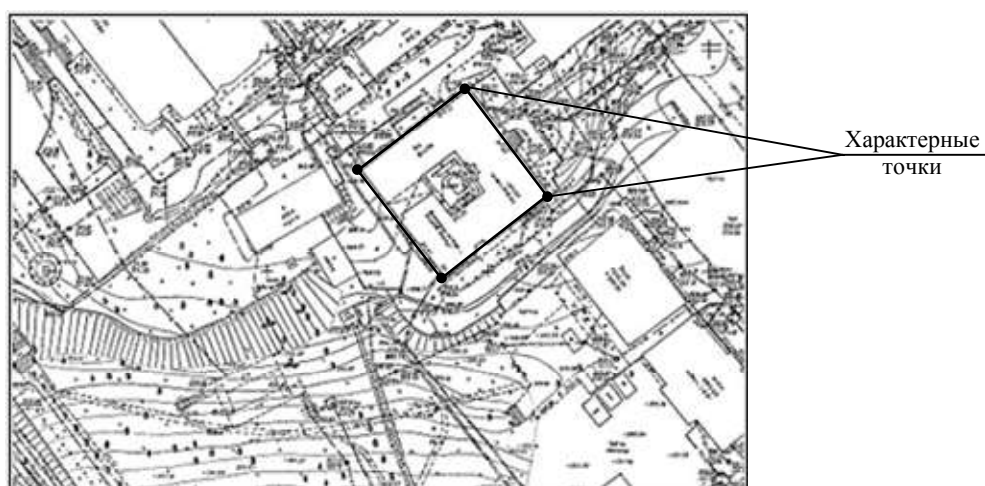
Рассмотрим работу сканера с одной парой индукционных датчиков (например, правой). Определение параметров для второй пары индукционных датчиков производится аналогичным способом.

Так как точка начала сканирования изображения и рассматриваемая пара датчиков жестко зафиксированы друг относительно друга, будем рассматривать их как единую систему. Предположим, что координаты, полученные от нижнего датчика, определяют положение изображения в системе координат дигитайзера, а полученные от верхнего – задают угол поворота изображения относительно осей координат дигитайзера. Точка начала сканирования в общем случае не совпадает с нижним датчиком положения, а ось сканирующей линейки не параллельна линии, проходящей через центры катушек (исходя из условия крепления катушек); необходимо найти величины смещения начала сканирования от нижнего датчика положения и его ориентацию относительно пары катушек. Определить эти величины при помощи геометриче-

ских измерений не представляется возможным, так как не известно точное положение точки начала сканирования изображения. Для решения этой задачи использован следующий способ.



При помощи указателя координат дигитайзера на сканируемом изображении выбирается некоторый объект и отмечается не менее двух его характерных точек (рис. 4). Управляющая программа фиксирует полученные от дигитайзера данные и по ним строит такую же фигуру в рабочем окне. Затем сканер располагается над отмеченной фигурой так, чтобы она полностью попала в его поле сканирования. Изображение сканируется и загружается в управляющую программу. Используя сервисные функции, отсканированное изображение совмещается с полученной ранее фигурой так, чтобы указанные точки совпали с точками на отсканированном изображении. Затем методом подбора определяются коэффициенты, характеризующие положение и ориентацию поля сканирования относительно пары катушек. Результат этих изменений наблюдается визуально в окне программы. Процесс продолжается до тех пор, пока область наведения (см. рис. 2) не совпадет с отсканированным фрагментом.



Данная процедура подбора коэффициентов позволяет получить результат с точностью до миллиметра. Полученные данные сохраняются и затем используются для дальнейшей работы.

## 2.2. Совмещение фрагментов изображений

Формирование крупноформатного изображения выполняется после того, как на всех фрагментах в областях их перекрытия будут найдены совпадающие локальные области. Нахождение этих областей может быть выполнено различными способами, вплоть до указания их интерактивно. Рассмотрение данных алгоритмов выходит за рамки данной работы.

Перед совмещением фрагментов на каждом из них должны быть определены локальные точки, характеризующие одинаковые области перекрытия фрагментов (метки). Метки объединены в группы. Группа – совокупность меток, расположенных на различных изображениях и указывающих на совпадающие области.

Алгоритм совмещения является итерационным и основывается на минимизации интегральной меры расхождения совмещаемых меток, равной сумме абсолютных отклонений меток от центров тяжести групп. Начальное положение отсканированных фрагментов определяется координатами датчиков положения сканера на момент сканирования.

Каждая итерация алгоритма начинается с вычисления центров тяжести меток в каждой группе по формулам

$$m_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1...n} x_i ; \quad (1)$$

$$m_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1...n} y_i , \quad (2)$$

где  $m_x$  – координата  $X$  центра тяжести;  $m_y$  – координата  $Y$  центра тяжести;  $n$  – количество меток;  $x_i$  – координаты  $X$   $i$ -й метки;  $y_i$  – координаты  $Y$   $i$ -й метки.

Для каждой метки вычисляются ее смещения до центра тяжести группы:

$$dx_i = m_x - x_i ; \quad (3)$$

$$dy_i = m_y - y_i , \quad (4)$$

где  $dx_i$  – смещение  $i$ -й метки по оси  $X$ ;  $dy_i$  – смещение  $i$ -й метки по оси  $Y$ .

Для каждого фрагмента рассчитываются величины сдвига и поворота текущей итерации. Угол поворота определяется следующим образом. Для каждой пары меток, лежащих на одном фрагменте, вычисляется угол, который образуется между прямой, проходящей через эти метки, и осью  $X$ . Аналогичным образом вычисляется угол, образующийся между теми же прямыми после добавления поправок. Вычисляется разность двух углов. Разности углов по всем парам меток одного фрагмента усредняются. Поворот осуществляется вокруг вертикальной оси, проходящей через центр тяжести фрагмента.

Вектор сдвига каждого фрагмента вычисляется как среднее арифметическое векторов сдвига всех меток к центру тяжести своей группы. После поворота и сдвига всех фрагментов итерация алгоритма завершается. Отметим, что сдвигу и повороту подвергается не сам фрагмент, а только множество меток фрагмента.

Итерации выполняются до тех пор, пока величина максимального угла поворота и сдвига фрагмента не станет меньше заданного порога. Величина порога выбирается примерно равной размеру пикселя. Сходимость алгоритма теоретически не доказана. Возможны ситуации, когда при любом конечном числе итераций пороговое значение не достигается. Поэтому при расчетах максимальное число итераций ограничивается.

## 2.3. Деформация фрагментов

Итерационный алгоритм, как правило, не приводит к точному совмещению меток на фрагментах. Часто возможно такое расположение фрагментов, когда между некоторыми метками остается расстояние до 10 пикселей. Поэтому после выполнения итерационного алгоритма осуществляется деформация фрагментов с целью совмещения меток, что обеспечивает визуальное отсутствие шва между фрагментами. Для этого выбирается кусочно-линейный алгоритм [6], позволяю-

щий трансформировать произвольные выпуклые четырехугольники друг в друга. Выбранный алгоритм отличается от других вычислительной скоростью и необходимым качеством результата.

На первом этапе четырехугольное изображение делят на два треугольных (рис. 5) и для каждого треугольника получают коэффициенты пересчета (описаны ниже). На втором этапе осуществляют пересчет положения пикселей изображения в соответствии с рассчитанными коэффициентами.

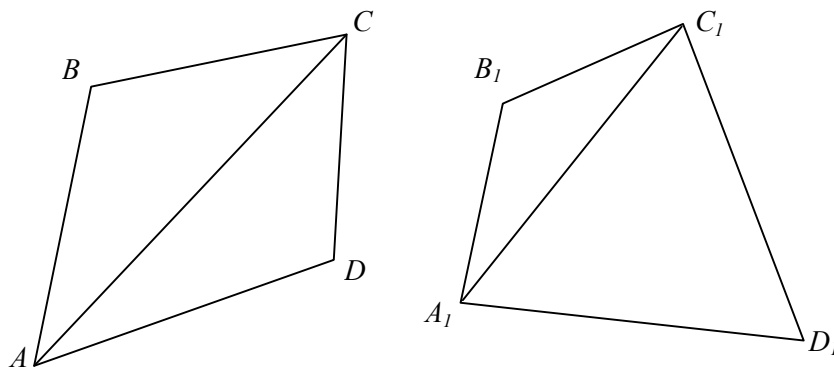


Рис. 5. Пример перехода одного четырехугольного изображения в другое (трансформируемое)

Рассмотрим преобразование треугольника  $ABC$  в треугольник  $A_1B_1C_1$ . Преобразование треугольника  $ACD$  в треугольник  $A_1C_1D_1$  производится аналогично.

Введем системы координат  $Axy$  и  $A_1uv$  (рис. 6).

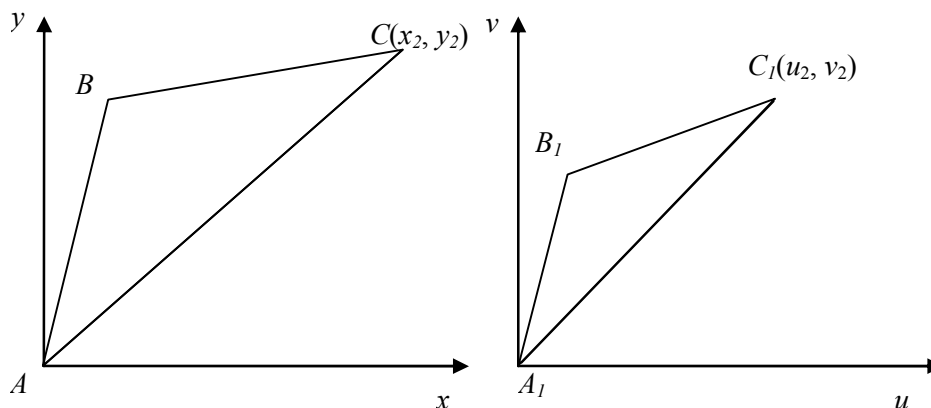


Рис. 6. Преобразование треугольника  $ABC$  в треугольник  $A_1B_1C_1$

Формулы перехода от координат  $(u, v)$  к координатам  $(x, y)$  запишем в виде

$$\begin{cases} x = k_{xu}u + k_{xv}v; \\ y = k_{yu}u + k_{yv}v, \end{cases} \quad (5)$$

где  $k_{xu}$ ,  $k_{xv}$ ,  $k_{yu}$ ,  $k_{yv}$  – коэффициенты, которые предстоит вычислить.

Обозначим координаты точек  $B$  через  $(x_1, y_1)$ ,  $C$  – через  $(x_2, y_2)$ ,  $B_1$  – через  $(u_1, v_1)$ ,  $C_1$  – через  $(u_2, v_2)$ . Из условий перехода точек  $B$  и  $C$  в точки  $B_1$  и  $C_1$  получаем систему линейных уравнений

$$\begin{cases} x_1 = k_{xu}u_1 + k_{xv}v_1; \\ x_2 = k_{xu}u_2 + k_{xv}v_2; \end{cases} \quad (6)$$

Решая эту систему, получаем

$$\begin{cases} k_{xu} = D_u / D; \\ k_{xv} = D_v / D, \end{cases} \quad (7)$$

где

$$\begin{aligned}D_u &= x_1v_2 - x_2v_1; \\D_v &= x_2u_1 - x_1u_2; \\D &= u_1v_2 - u_2v_1.\end{aligned}\tag{8}$$

Аналогично составляется и решается система линейных уравнений для коэффициентов  $k_{yu}$  и  $k_{yv}$ . Окончательные формулы для пересчета координат записываются в виде

$$\begin{aligned}x &= x_0 + k_{xu}u + k_{xv}v; \\y &= y_0 + k_{yu}u + k_{yv}v,\end{aligned}\tag{9}$$

где  $(x_0, y_0)$  – координаты вектора, направленного из точки  $A$  в точку  $A_1$ .

Таким же образом получаются формулы пересчета для треугольника  $ACD$ .

При программной реализации системы уравнений (9) операцию умножения можно заменить сложениями в цикле, предварительно рассчитав начальные значения, так как значения  $u$  и  $v$  будут иметь постоянный шаг приращения при каждом пересчете положения очередного пикселя. Такая замена существенно увеличивает скорость вычисления.

Для трансформирования изображений по кусочно-линейному алгоритму для каждого пикселя требуется установить, какому из двух треугольников ( $ABC$  или  $ACD$ ) принадлежит пиксель. Для этого формируется массив  $P$ , число строк которого равно числу строк пикселей изображения, пересекающих четырехугольник. В каждой строке содержатся три числа  $(a, b, c)$ . При рассмотрении пикселя с координатами  $(x, y)$  числа  $(a, b, c)$  извлекаются из строки с номером  $(y - y_{\min})$  и при  $a \leq x \leq b$  пиксель относится к треугольнику  $ABC$ , а при  $b < x \leq c$  – к треугольнику  $ACD$ .

Для построения массива  $P$  применяется метод преобразования отрезка в растровую форму, близкий к алгоритму Брезенхема [6, 7]. Каждая из сторон четырехугольника и диагональ преобразуются в растровую форму. Пиксели, относящиеся к одной строке, собираются в массив, производится упорядочение пикселей по возрастанию координаты  $x$ , удаление повторяющихся и отбор необходимых пикселей. Такие действия производятся с каждой строкой.

После получения параметров формул пересчета и формирования массивов  $P$  для исходного и формируемого изображений производится собственно трансформирование изображений. Для этого в памяти компьютера отводится массив, размеры которого определяются габаритами изображения, получаемого в результате. Этот массив обходится построчно. В начале обработки строки из соответствующей строки массива  $P$  извлекается тройка чисел  $(a, b, c)$ . Каждый пиксель строки проверяется на принадлежность четырехугольнику  $A_1B_1C_1D_1$ , для чего проверяется принадлежность координаты  $u$  отрезку  $(a, c)$ . Если пиксель принадлежит четырехугольнику, определяется, какому из двух треугольников он принадлежит. Далее по формулам пересчета вычисляются координаты  $(x, y)$  пикселя-прообраза. Значение пикселя заполняется значением пикселя прообраза.

### 3. Экспериментальная проверка

Изготовлено несколько аппаратно-программных комплексов пофрагментного сканирования с привязкой сканера к координатной системе дигитайзера. Проведены эксперименты по вводу эталонных документов в виде регулярной сетки с шагом 10 мм и толщиной линий 0,2 мм. Точность склейки эталонного изображения составила  $\pm 0,25$  мм, что удовлетворительно для большинства предполагаемых областей использования устройств. Качество склейки фрагментов таково, что место склейки с трудом прослеживается визуально. К настоящему времени на готовые изделия, отданные в опытную эксплуатацию, имеются положительные отзывы.

### Заключение

В настоящей работе предлагается аппаратно-программный комплекс, состоящий из дигитайзера и малоформатного планшетного сканера, предназначенный для ввода крупноформатных документов по фрагментам с последующим формированием растрового изображения. Разработано программное обеспечение для пофрагментного ввода крупноформатных изображений. Пред-

ложены итерационные алгоритмы склейки фрагментов изображения и алгоритмы кусочно-линейного трансформирования изображений. Оработана методика определения параметров, описывающих положение окна сканирования относительно датчиков координат сканера.

Разработанные комплексы просты в эксплуатации, работе с ними легко обучается оператор невысокой квалификации. Комплексы легко переносятся, в разобранном виде занимают мало места. Внедрение комплексов показало, что разработанная методика и программное обеспечение позволяют качественно вводить крупноформатные документы.

Перечислим основные достоинства предлагаемого устройства комбинированного ввода. Комбинированное устройство базируется на стандартных широко распространенных средствах ввода графической информации – дигитайзерах и сканерах с небольшими техническими доработками, не влияющими на их функциональные характеристики. Возможен ввод различной графической информации: карт, планов, чертежей, фотоснимков. Допустимы все распространенные типы носителей, включая жесткие металлические планшеты, на которых в СНГ сформированы планы городских коммуникаций. Возможен избирательный ввод только отдельных актуальных фрагментов изображения.

### Список литературы

1. Московское представительство японской фирмы TOKYO BOEKI Ltd [Электронный ресурс]. – 2006. – Режим доступа: <http://www.tokyo-boeki.ru>.
2. Официальный сайт компании Ose Technologies [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.oseusa.com>.
3. Сайт, посвященный описанию модели широкоформатного сканера Deskan 6 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.deskan.com>.
4. Schutte, K. Accurate mosaicking scanned maps, or how to generate a virtual AO scanner / K. Schutte, A. Vossepel // Proc. of the first annual conference of the Advanced School for Computing and Imaging, ASCI'95. – Heijen, The Netherlands, 1995. – P. 353–359.
5. Комбинированный ввод в компьютер крупноформатных изображений / Г.И. Алексеев [и др.] // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2001. – № 1. – С. 135.
6. Алексеев, Г.И. Электромагнитные планшетные устройства ввода / Г.И. Алексеев. – Минск: Наука и техника, 1985. – 239 с.
7. Роджерс, Д. Алгоритмические основы машинной графики / Д. Роджерс. – М.: Мир, 1989. – 502 с.

Поступила 29.05.06

*Объединенный институт проблем  
информатики НАН Беларуси,  
Минск, Сурганова, 6  
e-mail: lai@tut.by*

**G.I. Alekseev, S.G. Alekseev, A.A. Kamovich, A.I. Liulis,  
V.A. Milman, S.V. Reshetnik**

### **COMBINED GRAPHICAL IMAGE INPUT INTO COMPUTER USING SMALL-FORMAT FLATBED SCANNER AND TABLET**

The input of large-format images by a system which is based on small-format scanner and tablet is considered. The image input is divided into fragments which are scanned sequentially. Scanner placing to the fragments is realized by using the inductive sensors built in the scanner. These sensors are connected to the tablet. The large-format image is programmatically formed from scanned fragments. Proposed algorithms provide invisible junction of fragments.