

Учреждение предприятия наиболее легко осуществить в каком-либо региональном центре Центральной России. Для реализации проекта потребуются инвестиции в размере 968500 тыс. р. Источник финансирования инвестиционного проекта – взносы учредителей создаваемого общества с ограниченной ответственностью. Все оборудование планируется выкупить сразу.

Таким образом, предоставляя услуги доступа в Интернет по технологии Wi-Max, компания сможет обеспечить достойную конкуренцию на рынке связи.

### ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ ИТЕРАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

А. Е. Хасанов

*Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск*

Научный руководитель В. С. Юденков

При решении задач восстановления изображений искаженных формирующей системой предлагается рисунок, где  $x, v$  – координаты исходного изображения,  $x, y$  – координаты сформированного изображения используются различные алгоритмы, как имеющие строгое математическое обоснование, так и эмпирические.

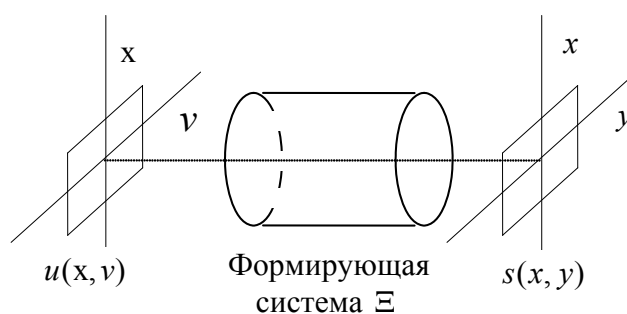


Схема формирования изображения

Для искажений, описываемых уравнением свертки:

$$\begin{aligned}
 s(x, y) &= h(x, y) \otimes \otimes u(x, y) = \iint_{(x, v) \in \Theta^{(u)}} h(x - x, y - v) u(x, v) dx dv = \\
 &= \iint_{(x, v) \in \Theta^{(h)}} h(x, v) u(x - x, y - v) dx dv, \quad (x, y) \in \Theta^{(s)}, \quad (1)
 \end{aligned}$$

где  $s(x, y)$  – изображение, полученное путем линейного искажения исходного изображения при отсутствии шума, определяется интегралом свертки;  $\otimes \otimes$  – символ двумерной свертки;  $h(x, y)$  – двумерная импульсная характеристика (или ФРТ – функция рассеяния точки) линейной искажающей системы;  $u(x, v)$  – значение функции яркости исходного изображения в точке с координатами  $(x, v)$ .

Одним из способов решения данной задачи являются итерационные методы восстановления. Так называют способы решения задач, в которых, выбирая некоторое начальное приближенное решение, вычисляют следующие, более точные приближения, используя предыдущие.

Рассмотрим один из способов построения итерационных процедур, основанный на разложении в ряд частотной характеристики инверсного фильтра. Спектр оценки исходного изображения при инверсной фильтрации определяется соотношением

$$\widehat{U}(u_1, u_2) = \frac{1}{H(u_1, u_2)} S(u_1, u_2). \quad (2)$$

Представим передаточную функцию инверсного фильтра  $\frac{1}{H(u_1, u_2)}$  в виде геометрической прогрессии:

$$\frac{1}{H(u_1, u_2)} = \sum_{l=0}^{\infty} (1 - H(u_1, u_2))^l. \quad (3)$$

Подставляя (3) в (2), получим

$$\widehat{U}^{(n)}(u_1, u_2) = S(u_1, u_2) + (1 - H(u_1, u_2))\widehat{U}^{(n-1)}(u_1, u_2), \quad (4)$$

где каждое последующее приближение вычисляется по предыдущему. Взяв преобразование Фурье от соотношений (4), получим итерационную процедуру Ван Циттера:

$$\widehat{u}^{(0)}(i_1, i_2) = s(i_1, i_2); \quad (5)$$

$$\widehat{u}^{(n)}(i_1, i_2) = s(i_1, i_2) + (1 - h(i_1, i_2)) \otimes \otimes \widehat{u}^{(n-1)}(i_1, i_2),$$

которую можно интерпретировать как процедуру последовательного нахождения поправок  $\sigma^{(n)} = (1 - h(i_1, i_2)) \otimes \otimes \widehat{u}^{(n-1)}(i_1, i_2)$  к искаженному изображению  $s(i_1, i_2)$ . Если в результате последовательных приближений на  $n$ -м шаге будет найдено точное решение:  $\widehat{u}^{(n)}(i_1, i_2) = u(i_1, i_2)$ , то на последующих шагах, как нетрудно убедиться, оценка изменяться не будет. В итерационном алгоритме (5) нахождение обратного оператора заменяется на многократное вычисление свертки.

При использовании итерационных алгоритмов необходимо знать ответы на два вопроса – сходится ли он и, если сходится, то к какому решению. Сходимость алгоритма (5) к решению (2) определяется сходимостью ряда бесконечной геометрической прогрессии (3). Этот ряд сходится при  $|1 - H(u_1, u_2)| < 1$ , т. е. когда передаточная функция искажающей системы удовлетворяет условию

$$0 < H(u_1, u_2) < 1. \quad (6)$$

Иначе соотношение (2) заменяют на эквивалентное соотношение:

$$\widehat{U}(u_1, u_2) = \frac{1}{|H(u_1, u_2)|^2} H^*(u_1, u_2) S(u_1, u_2). \quad (7)$$

Тогда итерационный алгоритм (7) имеет вид:

$$\hat{u}^{(0)}(i_1, i_2) = h_1(i_1, i_2) \otimes \otimes s(i_1, i_2); \quad (8)$$

$$\hat{u}^{(n)}(i_1, i_2) = h_1(i_1, i_2) \otimes \otimes s(i_1, i_2) + (1 - h_2(i_1, i_2)) \otimes \otimes \hat{u}^{(n-1)}(i_1, i_2),$$

где  $h_1(i_1, i_2)$  и  $h_2(i_1, i_2)$  – импульсные характеристики фильтров с передаточными функциями  $H^*(u_{i_1}, u_{i_2})$  и  $|H(u_{i_1}, u_{i_2})|^2$  соответственно. Свертка в (5) и (8) может быть выполнена с помощью БПФ в предположении, что изображения и импульсные характеристики являются периодически продолженными.

Наряду с описанными выше свойствами итерационные алгоритмы могут быть легко преобразованы в нелинейные путем введения нелинейных ограничений для восстанавливаемого изображения. Ограничения формулируются на основе априорных данных о форме или структуре объектов на исходном изображении. К априорным данным относятся такие свойства изображения, как неотрицательность яркости, ее верхний и нижний пределы, минимальная мощность сигнала, ограниченная пространственная и спектральная протяженность и т. п.

Даже учет такого простейшего ограничения как верхний и нижний пределы значений яркости приводит к значительному улучшению качества восстановления, т. к. среди всех возможных решений выбирается то, которое не имеет сильных осцилляций яркости. Итерационный алгоритм, например (8), с ограничением имеет вид:

$$\hat{u}^{(0)}(i_1, i_2) = h_1(i_1, i_2) \otimes \otimes s(i_1, i_2);$$

$$\hat{u}^{(n)}(i_1, i_2) = h_1(i_1, i_2) \otimes \otimes s(i_1, i_2) + (1 - h_2(i_1, i_2)) \otimes \otimes \mathfrak{Z}\{\hat{u}^{(n-1)}(i_1, i_2)\}, \quad (9)$$

где  $\mathfrak{Z}\{\}$  оператор ограничения.

Например, если используется оператор ограничения на неотрицательность  $\mathfrak{Z}\{u(i_1, i_2)\} = \begin{cases} u(i_1, i_2); & u(i_1, i_2) \geq 0, \\ 0; & u(i_1, i_2) < 0, \end{cases}$  то из (9) следует, что в тех областях, где яркость оценки  $\hat{u}^{(n-1)}(i_1, i_2)$  меньше нуля, изменение оценки не происходит. Нелинейный итерационный алгоритм (9) будет сходиться, если сходится линейный алгоритм (5) и оператор  $\mathfrak{Z}\{\}$  является нерасширяющимся оператором. Для пространства сигналов  $L_2$  это означает, что действие оператора на изображение не должно приводить к увеличению его энергии. Очевидно, что к нерасширяющимся операторам относится оператор ограничения на неотрицательность, а также оператор ограничения диапазона, который определяется следующим соотношением:

$$\mathfrak{Z}\{u(i_1, i_2)\} = \begin{cases} u(i_1, i_2); & a \leq u(i_1, i_2) \leq b, \\ a; & u(i_1, i_2) < a, \\ b; & u(i_1, i_2) > b. \end{cases} \quad (10)$$

Для большинства цифровых изображений диапазон изменения яркости равен 0,255. Особенно эффективен этот алгоритм при восстановлении изображений с распределением яркости, близким к бинарному.

*Вывод.* Очевидно, что рассмотренные итерационные алгоритмы позволяют эффективно бороться с краевыми эффектами и чрезмерным усилением шумов при восстановлении изображений. Итеративный процесс всегда можно остановить, если шум и осциллирующая помеха на изображении резко усиливаются. А использование операторов ограничения позволяет сократить количество вычислений и повысить точность восстановления.

## СИСТЕМА ОНЛАЙН-ТЕСТИРОВАНИЯ SOTS

**М. А. Мартыневский, А. А. Воробьёв**

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

Научный руководитель О. В. Дубровина

В данный момент в системе образования остается достаточно актуальным вопрос проверки знаний учащихся. В недавнем времени была введена новая форма оценки знаний – тестирование. Тестирование получило большое распространение в Беларуси: различные тесты успеваемости в школах и университетах, тестирование при поступлении в ВУЗ, огромное количество психологических тестов. Достаточно актуальным стоит вопрос о подготовке к централизованному тестированию. Однако в условиях глобальной компьютеризации общество ищет ещё более совершенные методы оценки знаний. Впервые с электронным тестированием мы столкнулись на примере софта-репетитора – справочная система, которая позволяет обобщить и впоследствии проверить свои знания. Подобные тесты были очень неудобны в использовании, обладали не самым лучшим интерфейсом. Однако, можно было сделать вывод, что электронное тестирование – очень удобный и универсальный способ проверки знаний, который может сгодиться не только для абитуриентов, но и для студентов.

На наш взгляд, электронное тестирование является наиболее универсальным и перспективным. Основные достоинства электронного тестирования:

- Возможность использовать один и тот же интерфейс для множества различных как по тематике, так и по сложности тестов. Это улучшает понимание и восприятие информации, а также повышает концентрацию внимания непосредственно на задании.
- Совершенно чёткие критерии оценки знаний (у компьютера нет симпатии и антипатии). Известно немало случаев, когда преподаватель выставляет оценку не только из соображений знаний, но и из личной оценки учащегося. Электронное тестирование полностью исключает подобные недоразумения.
- Легкость в использовании, доступность и универсальность. Сейчас почти в каждом доме имеется компьютер, в большинстве из них – доступ в Интернет. Следовательно, учащиеся имеют возможность готовиться к экзаменам, зачётным работам и т. п. дома, не утруждая себя поиском необходимых задачников.
- Облегчение рутинной работы преподавателя по проверке работ учеников.
- Возможность хранения результатов в отдельной базе данных с возможностью последующей печати.

Однако, на практике очень сложно найти систему, которая бы удовлетворяла интересам всех групп пользователей тестов: учащихся, студентов, преподавателей. Чаще всего нам встречается программное обеспечение, изготовленное только для одной из этих групп или непосредственно для подготовки и наоборот, проверки зна-