

стремлением к совершенствованию, приобретению все новых знаний и умений, обогащению деятельности. Психологической основой компетентности является готовность педагога к постоянному повышению своей квалификации, профессиональному развитию.

Профессиональная компетентность педагога характеризуется его адаптационными способностями к условиям многоуровневой профессиональной деятельности, в том числе способностью ее проектировать и осуществлять; лично и профессионально самореализовываться; устанавливать межличностные, деловые, профессиональные, социальные связи и продолжать самообразование.

Накопление учителем практического опыта служит необходимым, но недостаточным условием роста профессиональной компетентности. Развитие мастерства происходит лишь при постоянном осмыслении, анализе собственной деятельности, поступков, поведения. Осознание, критический анализ и определение путей кон-

структивного совершенствования работы осуществляется с помощью педагогической рефлексии. По степени значимости мы ставим это социально-психологическое качество личности на первое место. Если рефлексия – это «принцип человеческого мышления, направляющий его на осмысление и осознание собственных форм и предпосылок; предметное рассмотрение самого знания, критический анализ его содержания и методов познания; деятельность самопознания, раскрывающая внутреннее строение и специфику духовного мира человека», то педагогическая рефлексия – применение всех этих характеристик к педагогической деятельности. Именно самоанализ поможет учителю осознать свой уровень профессиональной компетентности, свои профессиональные знания учебного предмета, его методики, а также педагогики и психологии. Важная особенность профессионального педагогического знания – комплексность и интеграция.

Технические науки

НЕЛИНЕЙНЫЕ СТРУКТУРНО- ОРИЕНТИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

¹Баранов В.А., ¹Бразовский В.В.,
¹Кулешов В.К., ²Эверт У.

¹Томский политехнический
университет, Томск,

²Bundesanstalt für Materialforschung
und prüfung, Берлин,
e-mail: chek_acc@mail.ru

Структурно-ориентированный подход к реконструкции изображений

Обратные задачи обработки изображений (ОИ), возникающие в неразрушающем контроле, медицине, геофизике и пр., чаще всего бывают остро некорректными [1]. По критерию Адамара задача корректна, если решение:

- 1) существует;
- 2) единственно;
- 3) устойчиво.

На практике условия 2 и 3 обычно нарушены. Трудности реконструкции дополнительно усугубляются еще и тем, что информация о формирующей исходное изображение передаточной

функции часто остается недоступной. Данные обстоятельства стимулируют разработку унифицированного подхода к реконструктивным задачам, позволяющего с уверенностью выявлять важные для практики характеристики объекта контроля и визуализировать их пространственные распределения в условиях острой некорректности задачи. Это достижимо в рамках разработанного авторами «структурно-ориентированного» подхода [3, 4, 5] к исследованию и реконструкции объектов, основанного на сближении классического *структурного метода* с методами математической статистики. Темой данной работы является дальнейшее развитие этого подхода и разработка на его основе математических моделей и алгоритмов ОИ, пригодных для решения широкого круга практических задач.

Структура в быденном понимании – это *строение* или *форма*. В науке и философии *структурой* называют совокупность устойчивых связей и отношений в объекте, обеспечивающих его целостность и *самотождественность* при различных внешних и внутренних изменениях. Такое, более строгое, понимание складывалось постепенно и окончательно оформилось в конце XIX-ого столетия, сначала в химии в связи с возникновением «теории химического строения», а затем распространилось как в естественных, так и в гуманитарных науках.

В этом же смысле понятие *структура* трактуется и в современной математике. Оно применяется к множествам, природа элементов которых не определена. Чтобы определить структуру (не элементы) задаются соотношения, в которых находятся между собой элементы множества (т.н. *типовая характеристика* структуры), которые затем используются как *аксиомы структуры*. Все происходящие в объекте изменения реализуются на уровне его элементов, тогда как его структура остается неизменной. В математизированных моделях такие изменения чаще всего описываются *теоретико-групповыми преобразованиями* [2], точнее, *автоморфизмами объекта*, образующими его *группу автоморфизмов*. В структуре отражены интегративные свойства объекта, которые не могут быть непосредственно выведены из свойств составляющих ее элементов. Связи и отношения между элементами (*структурно-функциональные связи*), остающиеся при преобразованиях неизменными, называются *структурными инвариантами*. Основная задача как структурного подхода вообще, так и структурно-ориентированных методов [3, 4] – это выявление, оценка и классификация таких инвариантов. Все другие характеристики исследуемых объектов оцениваются на их основе

В рамках структурно-ориентированного подхода [4] обратная некорректная задача представима как дедуктивная система с исходным набором аксиом структуры A_O – «объективных утверждений» об объекте, неявным образом ограничивающих множество возможных решений этой задачи. В простейшем случае аксиомами могут быть сами исходные уравнения задачи для конкретного объекта (т.е. в них входят реальные экспериментальные данные, например, для вычислительной томографии [5] это измеренные луч-суммы). Решается всегда не исходная некорректная задача, а некоторая другая, корректная, для которой набор аксиом структуры A является пересечением наборов аксиом A_O и A_S , где A_S – это переменный набор, вносимый субъектом исследования в качестве гипотез и предположений, т.е. $A = (A_O \cap A_S)$. Возникающий при этом субъективный произвол принципиально неустраним, что, однако, не лишает задачу четкости постановки.

В структурно-ориентированном подходе [3, 4, 5] гипотезы A_S являются предположениями о группе автоморфизмов G_S объекта исследования. Группа G_S является при этом формальным инструментом для унификации подхода к обратным задачам A , порождаемым некорректной задачей A_O . Конкретной группе G_S соответствует и определенная проблемная область для задачи

A , таким образом осуществляется структурная классификация всего проблемного поля для задачи A_O , включая алгоритмизируемые области для корректных задач.

Математическая модель в рамках структурного подхода может быть как детерминистской, так и статистической. При решении обратных задач на основе чисто детерминистской (т.н. жесткой) модели аксиомы A_O и A_S часто оказываются несовместными, а при их совместности предположения A_S малоинформативными. Наиболее эффективные методы решения обратных задач развиты авторами на основе «мягких» моделей, в которых существенную роль играет оценка статистической совместности A_O и A_S . При этом задача выявления инвариантов преобразуется в задачу их *статистической оценки* [4, 5], а теоретико-групповые гипотезы A_S становятся теоретико-групповыми *статистическими гипотезами* и для их проверки развивается адекватная математическая техника, в основе которой разработанные и введенные авторами в употребление множественные *меры сходства* и *меры различия* [3, 4, 5] для набора изображений, порождаемых группой автоморфизмов G_S , связанной с гипотезой A_S . Меры сходства являются *неклассическими статистиками*, выводимыми на основе нелинейного обратного проецирования [3]. Для их вывода используются и традиционные методы математической статистики. Существенные характеристики реконструируемого объекта строятся при этом как функции этих, как правило, нелинейных, мер.

Статистические теоретико-групповые методы реконструкции изображений, основанные на «геометрии в малом»

Вышеизложенное представляет собой ядро структурно-ориентированного подхода [3, 4], общее для разработанных авторами методов ОИ. В рамках данной публикации целесообразно рассмотреть подробнее легко алгоритмизируемые методы, основанные на проверке гипотез о «локальной симметрии» структурно-функциональных связей в объекте контроля, определяемой «группой локальной симметрии» L_S [3, 4, 5]. Это группа Ли или ее конечная подгруппа. В данном случае «нулевая гипотеза» относительно объекта реконструкции состоит в том, что он может быть представлен как гладкое *многообразие* W в конфигурационном пространстве C , для которого в бесконечно малой окрестности каждого его элемента применимы соображения *геометрии в малом*. Предполагается также, что автоморфизмы группы L_S описывают «фон» этого изображения.

Вполне понятно, что изображение как содержательное сообщение не сводится к одному лишь фону и, таким образом, в некоторых его элементах должно наблюдаться понижение локальной симметрии, т.е. в них автоморфизмы группы L_S не выполняются (это альтернативная гипотеза). Пониженная локальная симметрия описывается какой-то другой группой L_R . Содержательность изображения достигается разницей симметрий L_S и L_R . Для ее количественной оценки конструируется «мера различия» $\Phi = \Phi(L_S, L_R, \xi_1, \xi_2, \dots, \xi_{1A})$. (Здесь $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_{1A}$ – координаты элемента изображения в конфигурационном пространстве S). Для меры Φ справедливо неравенство $\Phi \geq 0$, причем равенство в нем (соответствующее «черному фону» для описываемого Φ «вторичного изображения») достигается при совпадении L_S и L_R (или при условии, что L_S есть подгруппа L_R).

При доступности исследователю информации об объекте контроля в форме многообразия W , он мог бы «рисовать» мерой Φ «вторичные изображения» этого объекта, которые будучи «беднее» самого многообразия, все же более информативны при оценке структурно-функциональных связей. В этом случае «расстояние между симметриями» L_S и L_R в точке $(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_{1A})$ отображается на неотрицательную шкалу яркостей. В реальной ситуации это невозможно, поскольку объект представлен сильно зашумленными (например, в измерительном тракте интроскопа) изображениями, следовательно, топология многообразия M уже разрушена. Тем не менее, как структурные инварианты, характеризующие фон, также как и структурно-функциональные связи объекта, продолжают еще сохраняться в видоизмененной деградированной форме – не в бесконечно малой, а в некоторой конечной окрестности элемента зашумленного изображения. Это возможно, поскольку алгебраические, т.е. теоретико-групповые свойства объекта, в значительной степени более устойчивы, чем «лежащие на поверхности» и потому легко разрушаемые топологические свойства. Поэтому если степень разрушения не превы-

шает некоторого «порога необратимости», то для реконструкции существенных свойств объекта применим статистический подход [3, 4], в рамках которого симметрия L_S локального изображения в этой конечной окрестности рассматривается уже как нулевая *статистическая гипотеза*. При этом строится нелинейная мера отклонения от симметрии L_S (мера различия), аналогичная $\Phi(L_S, L_R, \xi_1, \xi_2, \dots, \xi_{1A})$, но уже статистическая по своей природе, используемая затем в качестве распределения яркостей результирующего изображения. Меняя ключевую группу L_S можно выявлять разнообразные субструктуры объекта.

Среди разработанных авторами методов этого класса наиболее широко использованы в приложениях методы распознавания и оценки локальной анизотропии с группой $SO(2)$ в роли L_S . В алгоритме пространственной фильтрации, соответствующему одному из них, все выборочные статистики вычисляются на некоторых подмножествах локального изображения, а именно вдоль прямых линий, проходящих через центральный элемент скользящего окна. Выбираются N различных фиксированных направлений, соответствующих N группам данных для этих подмножеств. Для определенности скользящее окно предполагается квадратным с полушириной M . Пусть p_{ij} и r_{ij} – яркости элементов исходного и итогового изображений ($i = 1, 2, \dots, I, j = 1, 2, \dots, J$, где I и J – размерности изображения), n ($n = 1, 2, \dots, N$) – номер произвольного направления, $a_{1ij}, a_{2ij}, \dots, a_{Nij}$ – средние значения и $q_{1ij}, q_{2ij}, \dots, q_{Nij}$ – среднеквадратичные в N группах данных (при вычислении этих значений центральный элемент не принимался во внимание). Для того чтобы в дальнейшем не делать формулы громоздкими, индексы i и j будут опущены. Параметр n рассматривается как фактор, предположительно влияющий на средние значения a_1, a_2, \dots, a_N . В соответствии с основными принципами дисперсионного анализа может быть построена статистика (F – отношение Фишера, т.е. межгрупповая дисперсия, поделенная на общую внутригрупповую) с $N - 1$ и $N(2M - 1)$ степенями свободы:

$$F = \frac{N(2M - 1) \sum_{n=1}^N \left(a_n - \frac{1}{N} \sum_{l=1}^N a_l \right)^2}{(N - 1)2M \sum_{n=1}^N (q_n^2 - a_n^2)}$$

описывающая итоговое изображение. Более точно к полученной формуле может быть применено некоторое нелинейное преобразование

$r_{ij} = f(F_{ij})$ типа «look-up-table» так, чтобы обеспечить приемлемую для человеческого глаза гистограмму яркости. Итоговое изображение, та-

ким образом, «рисует» статистикой Фишера, являющейся в данном случае статистическим аналогом меры $\Phi(L_S, L_R; \xi_1, \xi_2, \dots, \xi_{1\Lambda})$ – мерой различия между средними по различным направлениям. В данном подходе предполагалось, что та же самая статистика, на основе которой отвергается или принимается гипотеза, может быть использована как количественная мера отклонения от точной симметрии (здесь от изотропии) и служить как характеристика яркости результирующего изображения

Данный алгоритм был с успехом применен в двух исследовательских программах, осуществленных в «Федеральном институте по контролю и исследованию материалов» (Берлин):

1) в программе контроля строительных конструкций, проводившейся при технической поддержке фирмы Fuji Film Europe (Дюссельдорф) и ее европейского директора д-ра М. Калинга [4];

2) в разработке методов томографического выявления зарождающихся трещин в компонентах АЭС и ядерных реакторов в процессе их работы [5].

При контроле железобетонных конструкций [3, 4] структурно-ориентированная фильтрация полностью (даже без томографии) решает практическую проблему, поставленную заказчиком, т. е. инженерами-строителями, осуществляющими надзор за сооружениями. Отметим, что соответствующая математическая задача – некорректная в острой форме, когда даже сам «оператор размытия» исходного незашумленного изображения если и известен, то весьма приблизительно. Фактически, в качестве его параметра использовалась только полуширина окна M . Разными авторами предпринимались также попытки решить эту задачу (фильтрацию предельно зашумленных проекций) на основе хорошо известных и новых методов обработки изображений (модифицированная инверсная фильтрация, процедуры, основанные на соображениях теории фракталов, «Wavelets» и т.д.), однако они не привели к позитивному результату. Ограниченные рамки данной статьи не позволяют, к сожалению, представить в ней и скольнибудь детально проанализировать синтезируемые изображения. См. подробности в [3, 4].

Предложенные методы первоначально разрабатывались для нужд неразрушающего контроля, однако сфера их приложений значительно шире. Помимо вычислительной диагностики они применимы также в математической фи-

зике, прежде всего как средство визуализации различных нелинейных явлений на фоне линейных. Они хорошо приспособлены для решения различных проблем на стыке дефектоскопии и материаловедения. Перспективно также их использование для морфологического анализа изображений и ситуационного распознавания образов.

Авторы благодарят д-ра М. Калинга (Fuji Film Europe) за помощь в экспериментальной части работы.

Список литературы

1. Тихонов А.Н. Математическая модель // Математический энциклопедический словарь. – М.: Изд-во «Большая Российская энциклопедия», 1995. – С. 343–344.
2. Вейль Г., Классические группы, их инварианты и представления. – М.: Иностранная литература, 1947. – 408 с.
3. Ewert U., Baranov V., Borchard K. Cross-sectional imaging of building elements by new non-linear tomosynthesis technique using imaging plates and Co^{60} radiation // NDT & E International, Elsevier Science Ltd. – 1997. – V. 30, № 4. – P. 243–248.
4. Баранов В.А., Бразовский В.В., Кулешов В.К., Эверт У. Статистические теоретико-групповые методы обработки изображений // Известия Томского политехнического университета / Издательство ТПУ, 2009. – Т. 315, № 5 – С. 108–112.
5. Баранов В.А., Эверт У. Томографическая визуализация зон образования трещин в компонентах атомных электростанций // Известия Томского политехнического университета / Издательство ТПУ, 2008. – Т. 312, № 2 – С. 299–311.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИСКРЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПОТОКОВЫХ СТЕГОСИСТЕМ

Макаревич О.Б.

*Технологический институт Южного
федерального университета, Таганрог,
e-mail: mak@tsure.ru*

В связи с широким распространением сетевых средств передачи мультимедийной информации, в частности, голосового трафика в IP