

НОВЫЕ ГОРИЗОНТЫ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ В НАНОМИРЕ

В.В. Некрасов, В.А. Никитенко (МИИТ)

Отмечено, что системы машинного зрения (СМЗ), оборудованные специфическими сенсорными устройствами, могут увидеть и распознать объекты, недоступные человеческому глазу. Перспективное направление развития СМЗ связано с расширением их спектрального диапазона восприятия и проникновением в наномир. В статье рассмотрены принципиальные возможности использования спектрально-селективных оптических характеристик контролируемых объектов в СМЗ на примере результатов работ по исследованию качественно-количественного поведения микропримесей воды.

Ключевые слова: системы машинного зрения, спектрально-селективные оптические характеристики, микропримеси, наноструктурная самоорганизация, идентификация.

Системы машинного зрения (СМЗ) – сравнительно молодая область высоких технологий, связанная с распознаванием образов [1]. История СМЗ как наукоемкой области знаний берет начало с конца 50-х годов XX века, что по меркам точных наук не выходит за рамки становления. Тем не менее, современный мир уже невозможно представить без этих технологий.

Использование СМЗ является одним из ключевых моментов промышленной стратегии развития большинства передовых предприятий всего мира. Об этом свидетельствует лавинообразный рост рынка потребления СМЗ, наблюдающийся в последние годы. Мировой рынок промышленного внедрения этих систем, составлявший на рубеже прошлого и нынешнего столетия около 8 млрд. долл. США, имеет тенденцию утраиваться каждые 2...3 года. Ежегодные темпы развития предприятий, работающих в этой области, составляют 15...30%. Тем не менее, имеющиеся коммерческие разработки покрывают менее 10% всех потенциальных возможностей СМЗ [2].

Возможности и области применения СМЗ долгое время развивались преимущественно как электронный аналог органа зрения человека. Основным функциональным назначением таких систем является контроль внешнего вида и расположения наблюдаемых объектов, а также преобразование изображений в цифровую форму для последующей компьютерной обработки и/или дистанционной передачи. К наиболее значимым направлениям использования таких СМЗ принято относить зрение роботов и устройства для дистанционного управления, средства обработки и распознавания зрительных образов и символьной информации, различного рода системы мониторинга и обеспечения безопасности, системы биометрического контроля и медицинской диагностики [1].

Вместе с тем, СМЗ имеют и существенные преимущества перед человеческим зрением. Системы машинного зрения, оборудованные специфическими сенсорными устройствами, могут увидеть и то, что простому невооруженному глазу недоступно. Расширение спектрального диапазона восприятия СМЗ за пределы чувствительности человеческого глаза значительно расширяет функциональные возможности этих систем. Примером таких устройств, в частности, являются системы безопасности, работающие в тепловом диапазоне спектра и приборы ночного видения. Важной особенностью последних является и то, что такие системы обеспечивают

трансформацию невидимого изображения объектов в доступный для человеческого восприятия диапазон, расширяя возможности человека в принятии оперативных решений.

Реализация вышеперечисленных возможностей СМЗ надежно обеспечивается современными фотоприемными устройствами (видеокамерами), определяющими высокую пространственную селекцию освещенности контролируемых объектов. Использование спектрально-селективных оптических детекторов и источников света, способных избирательно различать электромагнитное излучение разных длин волн с шагом порядка 1 нм, то есть значительно превосходящих спектральную селективность человеческого глаза, открывает качественно новый уровень возможностей СМЗ. Открываемый с применением таких устройств новый уровень связан с использованием СМЗ в решении задач автоматического мониторинга специфических свойств контролируемых объектов, обусловленных их химическим составом и наноструктурной самоорганизацией. Эти возможности до недавнего времени не находили практической реализации в СМЗ, несмотря на широко известный факт, что спектральные зависимости распределения света, испытывавшего взаимодействие с объектом, содержат богатую информацию о его химическом составе и специфических особенностях взаимодействия химических компонент на наномасштабном уровне. Такая ситуация была обусловлена отсутствием эффективных алгоритмов извлечения этой информации из экспериментально наблюдаемых величин и недостаточной мощностью вычислительных устройств. Немаловажным обстоятельством, ограничивавшим широкое использование спектрально-селективных сенсоров в СМЗ, являлась и относительно высокая стоимость и массо-габаритные характеристики классических спектрометров.

Современный уровень развития аппаратных средств и разработка новых принципов компьютерного анализа спектроскопической информации [3, 4] открывают перспективу создания нового поколения СМЗ. К числу сенсорных устройств нового поколения, обеспечивающих качественно новый уровень развития СМЗ, относится, в частности, разработанное голландским холдингом Avantes BV семейство спектрометров AvaSpec, появившееся на российском рынке к середине текущего десятилетия [5]. Автоматизированные спектрометры

AvaSpec, при габаритах в сотни и стоимости в десятки раз меньше сопоставимых классических устройств, отличаются высокой эффективностью и надежностью благодаря использованию оптических измерительных модулей с высокочувствительными матричными детекторами и уникальных микропроцессорных электронных платформ. Диапазон восприятия этих устройств (180-2500 нм) без малого в 10 раз шире, а их спектральная селективность на два – три порядка выше возможностей человеческого глаза. Имеющиеся данные указывают, что такие устройства перспективны для весьма актуальной области практических приложений: мониторинга качества и безопасности объектов промышленного [4] и природного [6-8] происхождения, контроля изменений в экосистемах, экспресс-диагностики загрязнения объектов несвойственными им, в том числе и неизвестными соединениями.

Рассмотрим принципиальные возможности использования спектрально-селективных оптических характеристик контролируемых объектов в СМЗ на примере результатов работ [6-8] по исследованию качественно-количественного поведения микропримесей воды. Физической основой сенсорной части устройств, использованных в этих работах для получения набора взаимодополняющих аналитических параметров, были выбраны методы фотоабсорбционной и люминесцентной спектроскопии в ультрафиолетовом и видимом диапазоне оптического спектра. Спектральная селективность использованных в этих работах оптических сенсорных устройств составляла 1...10 нм. Получение и обработку экспериментальных данных осуществляли в соответствии с разработанными и запатентованными оригинальными алгоритмами. В дальнейшем изложении не будем углубляться в методические тонкости этих процедур. Уделим основное внимание обсуждению результатов этих работ, заключающихся в демонстрации принципиальных возможностей СМЗ для извлечения из спектроскопических данных информативных количественных параметров, характеризующих состояние и безопасность водных объектов в режиме РВ без применения каких-либо предварительных процедур подготовки и/или обогащения пробы.

Методы оптического спектрального анализа в выбранном диапазоне являются привлекательными для реализации в СМЗ контроля качественно-количественного состава многокомпонентных смесей по следующей причине. Особенностью таких спектров является то обстоятельство, что в физико-химических механизмах их формирования находит комплексное отражение как компонентный состав смеси и свойства составляющих индивидуальных компонент, обусловленные их химическим строением, так и сложный набор взаимодействий компонент смеси друг с другом нековалентной природы (супрамолекулярных взаимодействий [9]). Эти взаимодействия определяют характер наноструктурной самоорганизации вещества на надмолекулярном уровне. В воде они играют важнейшую роль, опре-

Самые большие загадки таит в себе то, что мы видим, а не то, что скрыто от наших глаз.

Оскар Уайльд

деляя в значительной степени ее физико-химические свойства. Зачастую именно супрамолекулярные взаимодействия изменяют, а порой и задают характер химической и биологической активности присутствующих в воде соединений. Они же ответственны и за особенности характера формирования оптических спектров [10, 11]. В силу этих обстоятельств, оптические спектры многокомпонентных систем обладают уникальной чувствительностью к малейшим изменениям компонентного состава объектов, проявляющихся как за счет механизмов внутримолекулярной фотоники, так и вследствие влияния на спектроскопические проявления этих механизмов супрамолекулярных взаимодействий и обусловленной ими микрогетерогенной структуры оптических свойств реальных объектов анализа.

Совокупный набор доступных для экспериментального наблюдения спектроскопических параметров водных систем формируется в ходе комплекса практически одновременно протекающих процессов их взаимодействия с оптическим излучением. Этот набор определяется тремя основными характеристиками (рис. 1) – способностью анализируемого образца пропускать зондирующее излучение $T(\lambda)$, рассеивать это излучение $S(\lambda)$ и трансформировать его в люминесценцию $L(\lambda)$. Спектральные и пространственные проявления поведения каждой из этих характеристик связаны с физико-химическими и структурными свойствами анализируемой системы фундаментальными физическими закономерностями. Уже в силу этого обстоятельства набор перечисленных характеристик обладает перекрестной чувствительностью к различным свойствам примесных компонент, удовлетворяющей требованиям методологии компьютерной аналитики.

Вдобавок имеется также и перекрестная чувствительность к одинаковым физико-химическим свойствам анализируемой системы каждого из поимено-

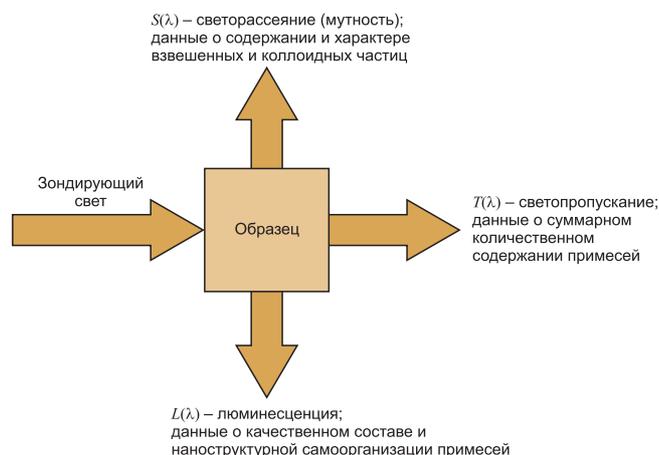


Рис. 1. Взаимодополняющие спектроскопические параметры водных систем и характеризующие ими свойства микропримесей

ванных параметров. Так, в частности, светорассеяние обязано своим существованием оптической неоднородности анализируемого объекта. Спектральная зависимость "чистого" светорассеяния $S(\lambda)$ определяется, в основном, размерами и количественным содержанием коллоидных и взвешенных частиц, неспособных поглощать оптическое излучение наблюдаемого диапазона, но имеющих коэффициент преломления отличный от воды. Наличие молекулярного поглощения в той или иной степени искажает (ослабляет) измеряемые значения величины светорассеяния. Характер этих искажений зависит от суммарного поглощения частиц, присутствующих в объекте в форме молекулярного раствора. Поглощательные свойства многокомпонентных систем формируются аддитивным наложением совокупности этих свойств индивидуальных частиц и определяются их концентрацией и химическим строением. Для идеальных растворов, состоящих из частиц с одинаковыми значениями индивидуальных коэффициентов преломления и неспособных рассеивать зондирующее излучение, параметр $T(\lambda)$ однозначно определяется исключительно поглощательными свойствами этих частиц. Наличие светорассеивающих свойств у анализируемого объекта ведет к увеличению экспериментально измеряемых значений этого параметра.

Люминесцентные свойства вещества $L(\lambda)$ определяют исключительно способностью индивидуальных молекул трансформировать поглощенную энергию в излучение другого спектрального диапазона. Это обстоя-

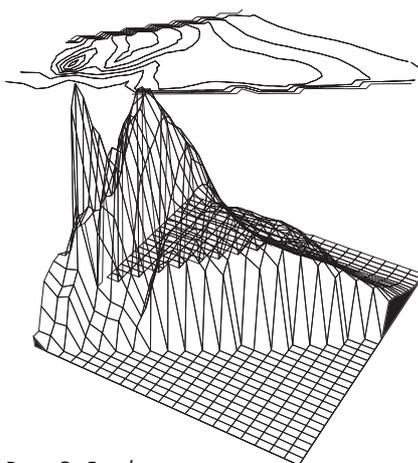


Рис. 2. Графический вид обобщенного оптического образа природной воды в виде трехмерной диаграммы и ее топографического сечения изолиниями равной интенсивности – "отпечатка пальца". Селективность по спектральным координатам – 5 нм

тельство в некоторой степени минимизирует искажения, вносимые поглощением и рассеянием света. В результате повышается селективная чувствительность этого параметра к индивидуальным физико-химическим свойствам люминесцирующих систем, что делает люминесценцию наиболее информативной характеристикой качественного состава компонент анализируемого объекта.

В общем случае в измеряемых значениях $S(\lambda)$, $T(\lambda)$ и $L(\lambda)$ анализируемых объектов всегда в той или иной мере присутствуют вклады механизмов и рассеяния, и поглощения света. Таким образом, общую характеристику контролируемого объекта, однозначно характеризующую его совокупный компонентный состав, можно представить в виде цифровой матрицы спектральных зависимостей интенсивностей света, сформированных в ходе вышеуказанных процессов:

$$\|M\| = \begin{vmatrix} T(\lambda) \\ L(\lambda) \\ S(\lambda) \end{vmatrix}$$

Такая матрица, сформированная со спектральной селективностью порядка 1 нм, является по существу обобщенным показателем контролируемого объекта, однозначно характеризующим его компонентный состав [6]. Этот набор параметров может быть представлен графически в виде трехмерного образа или его топографического сечения, подобного отпечатку пальца (рис. 2).

На рис. 3 представлены такие образы для чистой воды разного происхождения и воды, содержащей различные загрязняющие примеси. Из рисунка видно, что уже графическое представление оптических образов

имеет самостоятельную аналитическую ценность. Они обеспечивают визуализацию состояния компонентного состава объектов в удобном для зрительного сопоставления виде, обеспечивая возможность проведения дальнейшей диагностики состояния объектов даже простым невооруженным глазом.

Представление матрицы набора спектрально-селективных оптических характеристик объекта в цифровой форме и различный характер проявления соотношения вкладов индивидуальных механизмов взаимодействия

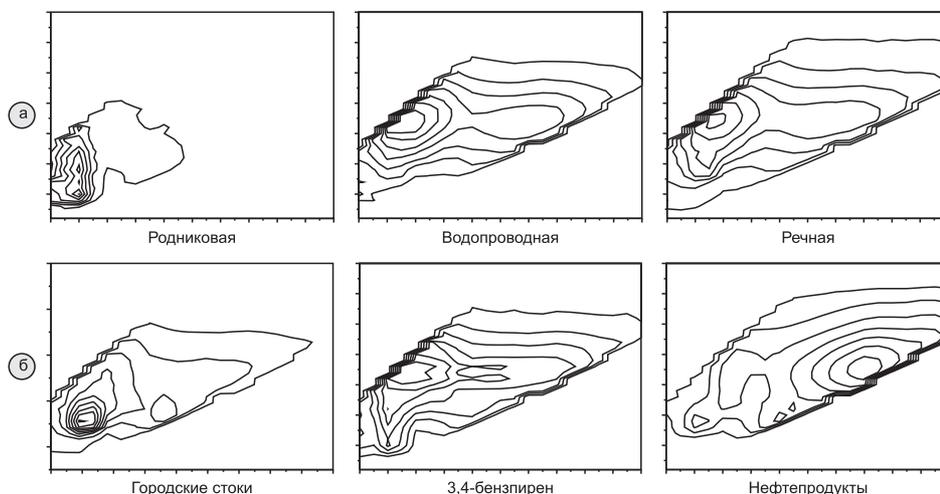


Рис. 3. Обобщенные оптические образы воды различного происхождения (а) и проявление загрязнений различной природы в оптических образах водопроводной воды (б). Спектральная селективность – 5 нм

света с веществом в спектральные зависимости измеряемых величин $S(\lambda)$, $T(\lambda)$ и $L(\lambda)$ определяет перспективы применения методов компьютерного анализа для их разделения и повышения аналитической информативности наблюдаемых параметров и проведения подробного качественно-количественного анализа состояния микропримесей в контролируемых объектах.

Немаловажным обстоятельством, определяющим применимость этого совокупного набора характеристик в СМЗ, является и принципиальная возможность измерения всей совокупности отраженных на рисунке параметров в едином аналитическом цикле на единственном специализированном измерительном устройстве. Такая возможность способствует также и уменьшению совокупности экспериментальных погрешностей и минимизации временных затрат на проведение измерений.

К достоинствам предлагаемого подхода относится то обстоятельство, что как процедура получения "отпечатков пальцев" анализируемых объектов, так и их идентификация, основанные на привлечении спектроскопических методов и возможностей современных информационных технологий, могут осуществляться автоматически на специализированных аналитических устройствах, не требующих привлечения высококвалифицированного персонала.

Совершенно очевидно, что методологические принципы, заложенные в основу обсуждаемого подхода, пригодны для контроля не только водных объектов, но и любых других многокомпонентных систем [12]. Эти принципы могут быть положены в основу создания нового поколения СМЗ для централизованного мониторинга промышленных и природных объектов, перспективных в решении задач:

- контроля качества, безопасности и выявления фальсификатов рыночной продукции;
- непрерывного мониторинга состояния безопасности систем жизнеобеспечения и объектов окружающей среды, предотвращения и минимизация последствий чрезвычайных ситуаций;
- контроля за состоянием экологического баланса и долгосрочного перспективного прогнозирования направления развития локализованных экосистем.

Проведенные оценки показывают, что применение СМЗ в решении подобного рода задач обеспечивает:

- сокращение времени аналитического цикла в 10...100 раз;
- снижение себестоимости анализов более чем в 10 раз;
- создание полностью автоматизированных систем непрерывного инструментального мониторинга без участия человека.

Такие СМЗ способны обеспечить человека оперативной информацией о составе воздуха, воды и объектов быта. Иными словами – обеспечить эффективное решение наиболее актуальных на сегодняшний день задач – определения качества и безопасности среды обитания и продуктов потребления.

Список литературы

1. Морзеев Ю. Зачем компьютеру зрение // Компьютер Пресс. 2002. №5.
2. Mintchell G.A. Пришла пора интеллектуальных датчиков // Control Engineering. 2002. №2 <http://www.asutp.ru/?p=600389>.
3. Вершинин В.И., Дерендяев Б.Г., Лебедев К.С. Компьютерная идентификация органических соединений. М.: Наука. 2002.
4. Королев В.Н., Маругин А.В., Цареградский В.Б. Метод определения детонационных характеристик нефтепродуктов на основе регрессионного анализа спектров поглощения в ближнем инфракрасном диапазоне // Журнал технической физики. 2000. т. 70, вып. 9.
5. Андреев А.И., Мухин С.В., Некрасов В.В., Никитенко В.А., Пауткина А.В. Модульная многофункциональная оптоволоконная спектрометрическая система // ООО "Лока-Мед". Москва. 2008 <http://www.avantes.ru/articles/up1/>.
6. Зайцева Е.О., Мельничук Т.Г., Некрасов В.В., Никитенко В.А. Супрамолекулярный люминесцентный скрининг в экологическом мониторинге водных систем // Тезисы Междун. конф. "Участие молодых ученых, инженеров и педагогов в разработке и реализации инновационных технологий", Москва. 2003.
7. Некрасов В.В. Проблемы мониторинга безопасности систем централизованного водоснабжения и перспективы их решения // Российский химический журнал. 2005. т. 49. № 4.
8. Некрасов В.В., Никитенко В.А., Фетисов И.В. Новые горизонты машинного зрения // Вестник МИИТа, 2006, вып. 14.
9. Lenn J.M. Supramolecular Chemistry. VCH Verlagsgesellschaft mbH. 1995.
10. Бахшиев Н.Г. Спектроскопия межмолекулярных взаимодействий. Л.: Наука, 1972.
11. Suppan P. Solvatochromic shifts: The influence of the medium on the energy of electronic states // J. Photochem. and Photobiol. A: Chem. 1990. V 50.
12. Некрасов В.В. Нанотехнологии аналитического контроля // Мир транспорта. 2008. № 4 <http://miit.ru/content/>.

Некрасов Виктор Васильевич – канд. ф.-м. наук, доцент;

Никитенко Владимир Александрович – д-р ф.-м. наук,

профессор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ).

Контактный телефон (926) 604-40-70. E-mail: v.v.nekrasov@gmail.com

АБС Энергонефть выиграла тендер

на обслуживание электрооборудования Варандейского нефтеотгрузочного терминала

АБС Энергонефть приступила к выполнению работ по сервисному обслуживанию и ремонту электрооборудования Варандейского нефтеотгрузочного терминала (ВНОТ) в Нефком АО. В тендере, выигранном в сентябре 2009 г., предприятие структуры АБС Холдингс обошло двух участников.

По результатам тендера в конце сентября АБС Энергонефть подписала договор с компанией ЛУКОЙЛ – Транс на обслужи-

вание и ремонт электрооборудования терминала. Кроме того, подписан договор на проведение высоковольтных испытаний электрооборудования напряжением до 1000 В. В состав обслуживаемого оборудования вошли электродвигатели и преобразователи частоты мощностью до 6,3 МВт, более 60 высоковольтных присоединений, трансформаторы, распределительные сети и т.д.

[Http://www.abs-holdings.ru](http://www.abs-holdings.ru)