

---

---

# АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ

---

---

УДК 621.383

Ю. И. БЕЛОУСОВ, В. Т. ФИСЕНКО

## ОСОБЕННОСТИ АЛГОРИТМОВ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Представлен подход к обобщению требований к алгоритмам цифровой обработки изображений как к одному из обязательных функциональных элементов обработки сигнала, участвующих в преобразованиях информации в оптико-электронных системах нового поколения. Изложены общие идеи относительно разработки и аппаратной реализации алгоритмов цифровой обработки и синтеза изображений, выработки исходных данных для них в форме фоноцелевых моделей и обоснования методов оценки качества алгоритмов обработки.

*Ключевые слова:* цифровая обработка изображений, оптико-электронные системы.

Цифровая обработка изображений является одной из наиболее стремительно развивающихся областей знаний. Количество алгоритмов и компьютерных программ цифровой обработки изображений столь велико, что вряд ли можно назвать конкретных авторов наиболее распространенных алгоритмов обработки, например, телевизионных изображений. Зачастую одновременно появляются сообщения о разработке схожих процедур преобразований цифровых массивов, которые в самом общем виде можно отнести к алгоритмам обработки изображений. Учитывая разнообразие целей, методов и аппаратных средств, а также отсутствие общепризнанных количественных критериев качества обработки изображений, следует согласиться с мнением, что „обработка изображений в большей степени прикладная технология, чем теоретическая наука“.

И хотя действительно трудно найти бесспорный количественный критерий качества обработки изображений, необходимость решения практических задач современного оптико-электронного приборостроения заставляет разработчиков создавать или выбирать вполне определенные алгоритмы обработки телевизионных и тепловизионных изображений. Процедура обработки изображения уже не выступает как дополнительная опция (что характерно для оптико-электронных систем, ОЭС, предыдущих поколений), но является непременной составляющей общей процедуры обработки сигнала в цепочке преобразований информации от ее регистрации фотоприемным устройством до предъявления оператору. Так же как и другие основные составляющие ОЭС, „удачная“ обработка изображений может существенно повысить эффективность всей системы, либо, наоборот, свести на нет успех в разработке и конструировании других функциональных узлов. Поэтому практика заставляет оценивать и выбирать алгоритмы обработки изображений исходя из их системной полезности и пригодности.

Целесообразно определить роль и место самих ОЭС среди технических средств получения информации. В общих чертах задача ОЭС состоит в получении такой информации, которая позволила бы оператору делать надежный прогноз развития наблюдаемой ситуации, причем чем больше промежуток времени, на который дан надежный заблаговременный прогноз, тем лучше функционирует система в целом. Количественным критерием эффективности информационной системы может служить *время* такого прогноза, а *надежность* традиционно оценивается вероятностными характеристиками. Время заблаговременного прогноза развития ситуации должно быть больше, чем время, необходимое для принятия решения и выполнения оператором ответных упреждающих действий.

Такой подход годится для медицинских оптико-электронных приборов, для экологических дистанционных обследований и для военного применения ОЭС. Более того, такой подход применим и для большинства других технических средств, поэтому можно сравнивать эффективность различных по физическому принципу приборов, например, радиолокационных, гидроакустических и ОЭС обнаружения, ультразвуковых и тепловизионных приборов медицинской диагностики и т.д. Таким образом, обобщенным критерием эффективности информационных систем, и ОЭС в частности, можно принять *время и надежность прогноза* развития наблюдаемой ситуации или процесса.

Надежность прогноза обеспечивается в первую очередь достоверностью получаемой информации. Речь идет не о количественном (шенноновском) подходе к информации, а о содержательной структуре воспринимаемой оператором информации, которая понятна ему без дополнительной расшифровки, достоверна и не нуждается в перепроверке или уточнениях.

Понятие достоверности интерпретации информации наиболее просто можно представить в количественном виде в задачах, связанных с обнаружением, распознаванием и классификацией объектов, в которых может быть рассчитана или измерена соответствующая вероятность правильного решения задачи на данном иерархическом уровне принятия решений, время или дистанция, на которых такое решение принимается с заданной вероятностью. Более сложная трактовка понятия интерпретации информации присуща задачам, в которых оператор на основе содержательной структуры тепловизионного изображения выбирает один вариант решения из нескольких, и она характерна для медицинских, промышленных и экологических областей применения ОЭС.

В настоящее время повышение достоверности информации, получаемой с помощью современных ОЭС, напрямую связывается с увеличением их чувствительности и разрешающей способности. Однако для некоторых приложений этого уже сейчас недостаточно. В частности, для систем, имеющих несколько каналов, реализация потенциального преимущества (например, в многоспектральных ОЭС), наталкивается на проблему адаптации к текущим условиям приоритетов отличительных признаков, регистрируемых в разных каналах. Чаще всего выход находится в использовании дополнительной информации в виде количественных (радиометрических, фотометрических и др.) данных, которые непосредственным образом включаются в алгоритмы обработки информации.

В области военного применения ОЭС достоверность информации определяется не столько их пороговой чувствительностью, сколько помехозащищенностью, т.е. способностью выделять нужные объекты в присутствии сложных фоновых и организованных помех и маскировки целей. Поэтому прямое наращивание потенциальной пороговой чувствительности и разрешающей способности уже не дает пропорционального прироста эффективности ОЭС, поскольку одновременно возрастает вклад фоновых помех. Обработка изображений в этом случае чаще всего направлена на дискриминацию отображения тех деталей сюжета, которые априорно отнесены к помехам.

Благодаря малоальтернативному характеру принимаемых решений в области военного применения ОЭС существует возможность *количественно* оценивать эффективность обработки изображений вообще или сопоставлять между собой эффективность разных алгоритмов обработки изображений, например, телевизионных или тепловизионных. Критериями сравнения могут выступать либо *время*, требующееся оператору для принятия правильных решений по изображению без обработки и после обработки определенным способом, либо *совокупность вероятностей* правильных и ошибочных решений до и после обработки при прочих равных условиях и при использовании единых тестовых сюжетов. Поскольку исходно получение тепловизионных и телевизионных изображений ориентировано на их восприятие человеком, то для количественной оценки эффективности разных алгоритмов обработки изображений можно использовать все методы экспертных оценок времени и вероятности правильного обнаружения и распознавания тестовых объектов по их телевизионному изображению.

Два направления на пути создания ОЭС нового поколения можно очертить сегодня. Первое связано с расширением физических характеристик оптического поля, регистрируемых и привлекаемых к анализу отличительных признаков целей. Регистрация дополнительного устойчивого отличительного признака может дать качественный выигрыш в достоверности интерпретации получаемой информации. Именно таким путем может быть реализован переход к ОЭС следующего поколения.

Однако прямое наращивание количества объединяемых каналов многоспектральных ОЭС обуславливает столь существенное увеличение нагрузки на оператора, что при традиционных способах обработки и предъявления ему информации потенциальные возможности ОЭС не реализуются. Их эффективность ограничивается неспособностью оператора в течение длительного времени достоверно выделять нужные объекты в присутствии сложных естественных и искусственных помех, особенно при смене приоритета отличительных признаков целей и помех в изменяющихся условиях наблюдения. Преодоление этой проблемы составляет содержание второго направления при формировании облика ОЭС нового поколения.

Для реализации потенциальных возможностей перспективных ОЭС принципиально необходимо освободить оператора от рутинных операций и предъявлять ему необходимую и достаточную совокупность данных и прогнозов, на основании которой он с большей достоверностью принимает решения более высокого иерархического уровня в широком диапазоне изменяющихся условий наблюдения. Статьи [1, 2] в определенной степени описывают практические приемы, направленные на решение этой задачи. Ключевым моментом является процедура измерения скорости перемещения изображения цели в плоскости ее телевизионного изображения. Количественные данные позволяют прогнозировать (краткосрочно) маневры объекта и на основании совпадения или несовпадения результатов прогноза с текущим положением цели выносить решения более высокого уровня — от предварительной классификации до выработки параметров вектора движения цели.

В настоящее время технические возможности создания систем, получающих информацию об окружающей обстановке в разных диапазонах длин волн электромагнитного излучения, опережают теоретическую базу, обосновывающую наиболее эффективное использование этой информации. Современные системы ограничиваются лишь выбором того приоритетного спектрального канала, в котором в данный момент обеспечивается наибольшее отношение полезного сигнала к совокупности внешних и внутренних помех. Однако преимущества совместного автоматического анализа спектральных характеристик оптического поля потенциально значительно шире: он повышает помехоустойчивость многоспектральных ОЭС, позволяет оператору за более короткое время оценивать развитие наблюдаемой ситуации и более надежно прогнозировать ее развитие. Общая идея построения перспективной многоспектральной ОЭС состоит в том, чтобы вести непрерывную автоматическую обработку информации, поступающей по каждому из каналов, оповещать об отклонениях от нормы и

одновременно обеспечивать возможность предъявления оператору исходной „картинки“ от любого из каналов для общей ориентации оператора в текущей обстановке. Результаты автоматической обработки в символьном виде отображаются на мониторах одновременно с традиционным телевизионным/теповизионным изображением наблюдаемой обстановки. За счет этого резко снижается помеховая нагрузка на оператора, но не уменьшается надежность регистрации опасных целей или возникновения внестатных ситуаций. Кроме того, оператор сохраняет пространственную и временную ориентацию, может прогнозировать развитие ситуации. Качественное отличие от ОЭС предыдущего уровня состоит в том, что оператор может достоверно судить о степени возможной угрозы со стороны наблюдаемой цели при изменении условий наблюдения, когда изменяется приоритетность отличительных признаков целей в разных спектральных диапазонах.

Отличительная особенность ОЭС следующего поколения состоит в том, что при прочих равных условиях они позволяют решать более сложные задачи, т.е. принимать решения более высокого иерархического уровня. Если вопрос об обеспечении регистрации изображений, получаемых в разных спектральных каналах, может быть решен прямым конструктивным совмещением поля зрения и оптической оси различных каналов (как, например, в цветном телевидении), то обработка и представление этой информации традиционными способами принципиально не позволяют реализовать потенциальную эффективность ОЭС. Направленность статьи [3] свидетельствует о наличии резервов не только в элементной базе и схемотехнике, но и в области алгоритмов обработки сигналов при борьбе за повышение эффективности ОЭС.

Определяя место и роль процедуры обработки изображений как одной из ключевых функциональных составляющих ОЭС нового поколения, следует сделать вывод, что развитие алгоритмов обработки изображений должно иметь опережающий характер.

В настоящее время не существует общепринятых теоретически обоснованных методов создания алгоритмов обработки и предъявления оператору информации от нескольких спектральных каналов ОЭС с автоматической адаптацией критериев выбора и приоритетности отличительных признаков целей и помех в каждом из спектральных каналов при изменяющихся условиях наблюдения. Поэтому разработка цифровых алгоритмов автоматического распознавания с помощью многоспектральных оптико-электронных систем дистанционного зондирования динамических объектов сложной формы на фоне естественных и организованных помех носит характер экспериментальных поисков.

Оставляя в стороне (совершенно незаслуженно) проблемы творческого характера при разработке алгоритмов, следует обозначить еще три проблемы, несомненно, влияющие на реальное положение дел в данной области. Первая связана с качеством используемых исходных данных относительно тех изображений, которые должны обрабатываться новыми алгоритмами. Поскольку речь идет о перспективных системах, то разработчики алгоритмов не имеют возможности проверять свои решения на „реальных“ натуральных данных. Аналитические модели фоноцелевой обстановки являются редким исключением и не удовлетворяют в полной мере по форме и содержанию разработчиков алгоритмов. В наиболее удачных моделях сделан акцент на физические аспекты формирования оптического поля, и они непригодны для простой формализации.

Вторая проблема связана с количественной оценкой качества алгоритмов обработки изображений, которая позволила бы судить как об эффективности применения данного алгоритма при решении круга конкретных задач, так и сравнивать несколько разных алгоритмов между собой. Возвращаясь к исходной посылке о том, что алгоритмы разрабатываются для новых ОЭС, следует констатировать: в настоящее время не наблюдается опережающего характера создания алгоритмической базы и как необходимого инструмента для этого — способов количественного сравнения между собой разных алгоритмов.

Третья проблема носит комплексный характер, и ее можно было бы в самых общих чертах обозначить следующим образом: „аппаратная реализация разработанных алгоритмов и сроки/процедура/критерии модернизации алгоритмов в реальных ОЭС“. Трудно найти границы необходимой и достаточной избыточности аппаратных средств, рассчитанные на предполагаемую модернизацию и усовершенствование алгоритмов (без замены физических устройств обработки информации).

На решение вопросов, связанных с обозначенными проблемами, направлена другая группа статей настоящего сборника. В статье [4] развивается аналитическая модель ИК-излучения взволнованной поверхности моря. Предшествующие исследования установили существенно негауссов характер закона распределения флуктуаций ИК-излучения пригоризонтной области моря — обстоятельство, которое необходимо учитывать при разработке алгоритмов выделения пороговых сигналов в присутствии фоновых помех. Связь вида и параметров закона распределения флуктуаций фонового излучения с количественно измеряемыми параметрами условий наблюдения входит в совокупность исходных данных при разработке алгоритмов и моделировании работы ОЭС различного назначения.

Моделирование работы систем занимает важнейшее место при создании любых приборов и комплексов. На первоначальном этапе разработки систем нового поколения компьютерное моделирование работы ОЭС является единственным способом оценки эффективности тех или иных технических решений. Поэтому на разработчиков моделей такого рода воздействуют два обстоятельства. С одной стороны, ценность любой модели определяется ее достоверностью (валидностью), и удостовериться в степени соответствия модели реальным процессам можно лишь при сопоставлении с результатами натурных экспериментов. С другой стороны, сама возможность проведения натурального эксперимента (по определению) имеется только в перспективе. Кроме того, исходные данные для модели получены с помощью технических средств предыдущего поколения, как правило, более грубых по техническим параметрам. Поэтому разработчики должны отчетливо представлять (и уведомлять потребителя) о соотношениях между качественными зависимостями и количественными параметрами, которые можно прогнозировать с помощью используемых моделей функционирования ОЭС.

Непременным требованием является возможность корректировки тех данных, которые могут измениться или уточниться в реальных условиях. Две статьи [5, 6] посвящены описанию законченных программных продуктов, позволяющих в интерактивном режиме исследовать как качественные закономерности особенностей наблюдения морского дна с подводного аппарата, так и поверхности Земли с космического носителя телевизионной аппаратуры. Хотя предметы и методы исследования (моделирования) этих работ различны, их объединяет то, что они позволяют как визуально наблюдать изменяющуюся ситуацию, так и оперировать количественными значениями текущих параметров модели. Последнее позволяет использовать данные модели в качестве составляющих блоков в более крупных моделях.

Таким образом, при всем различии содержания статей настоящего сборника они направлены на достижение общей цели — разработку цифровых алгоритмов автоматической обработки изображений, оперативно адаптирующихся к текущим условиям наблюдения за счет оптимизации выбора критериев принятия решений и приоритетности отличительных признаков целей и помех, обеспечивающих повышение надежности прогнозов развития наблюдаемой обстановки и принятия оператором решений высокого иерархического уровня с большей достоверностью.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фисенко В. Т., Вилесов Л. Д., Можейко В. И., Фисенко Т. Ю. Обнаружение маневра объекта и прогнозирование его траектории в телевизионной следящей системе // Изв. вузов. Приборостроение. 2009. Т. 52, № 8. С. 12—19.

2. Можейко В. И., Обухова Н. А., Тимофеев Б. С., Фисенко В. Т., Фисенко Т. Ю. Телевизионные методы сопровождения объектов в сложных условиях наблюдения // Изв. вузов. Приборостроение. 2009. Т. 52, № 8. С. 20—29.
3. Можейко В. И., Фисенко В. Т., Фисенко Т. Ю. Адаптивный метод ранговой многоканальной фильтрации для подавления шумов в цветных изображениях // Изв. вузов. Приборостроение. 2009. Т. 52, № 8. С. 30—37.
4. Белоусов Ю. И., Иванов Д. В. Учет характеристик флуктуаций фонового излучения пригоризонтной области моря в алгоритмах обработки сигналов инфракрасных приборов // Изв. вузов. Приборостроение. 2009. Т. 52, № 8. С. 43—49.
5. Шмидт В. К., Галикеев Г. Б., Горбацевич Ф. Ф., Кудрявцев А. С. Моделирование и визуализация локальных областей на поверхности Земли при наблюдении со спутника // Изв. вузов. Приборостроение. 2009. Т. 52, № 8. С. 53—57.
6. Кудрявцев А. С. Система отображения и наблюдения подводных сцен для тренажерного комплекса // Изв. вузов. Приборостроение. 2009. Т. 52, № 8. С. 49—52.

**Сведения об авторах**

**Юрий Иванович Белоусов**

— д-р техн. наук, профессор; Центральный научно-исследовательский институт „Комета“, Научно-проектный центр оптоэлектронных комплексов наблюдения, Санкт-Петербург; зам. директора; E-mail: lab6@eoss.ru

**Валерий Трофимович Фисенко**

— канд. техн. наук, доцент; Центральный научно-исследовательский институт „Комета“, Научно-проектный центр оптоэлектронных комплексов наблюдения, Санкт-Петербург; директор; E-mail: valery@eoss.ru

Рекомендована кафедрой  
оптико-электронных приборов

Поступила в редакцию  
29.05.08 г.