

УДК 621.387.2 : 519.685

Г.Н. ГЛАЗОВ, А.Г. КОСТЕВИЧ.

ОБ ОПТИМАЛЬНОМ КОДИРОВАНИИ СЛУЧАЙНЫХ ПОЛЕЙ

Опубликовано: В кн. «Интеллектуальные системы в управлении, конструировании и образовании»./Под ред. А. А. Шелупанова. – Томск: СГТ, 2001. Стр. 97-105.

Системы передачи и архивирования двумерных и многомерных массивов данных быстро развиваются в теоретическом и техническом планах. Особое ускорение их развитию дали быстрый прогресс вычислительной техники и возникшая с развитием лазеров техническая возможность использования коротковолновых оптических каналов, как атмосферных, так и по волоконно-оптическим линиям. Мощная вычислительная техника позволяет использовать сложные способы цифровой обработки информации, обеспечивающие эффективное сжатие, и большие объемы памяти для архивации данных. Коротковолновый оптический диапазон дает потенциальную возможность большой символьной скорости передачи. Эти тенденции соединяются с нарастанием числа приложений, в которых требуется быстрая передача больших массивов данных по электромагнитным каналам связи или/и их архивация, и с нарастанием требований к качеству и скорости передачи.

Традиционно наиболее актуальной, капиталоемкой и рентабельной была и остается область вещательного телевидения, в котором с определенной частотой передаются цветные двумерные *изображения*. Требования к скорости передачи информации в этой области резко возрастут с теперь уже неизбежным и скорым переходом на цифровое вещание. В соединении с проблемой электромагнитной совместимости эти возрастающие требования обуславливают необходимость оптимизации кодирования передаваемых сигналов. Но **телевизионное вещание – далеко не единственная область, где необходимо кодирование информации и стоит проблема оптимизации обработки.**

Кодирование в широком смысле означает цифровую обработку данных [1 – 4], включая предварительную обработку, например, редукцию пространственных шумов, дискретизацию по "пространству" и времени, сжатие информации, кван-

тование по уровню, кодирование в узком смысле и другие операции, и связано с цифровой передачей по каналу связи, т. е. в виде последовательности двоичных символов. Чтобы отличать кодирование в широком смысле от частных операций, предлагается использовать какой-то другой термин; **мы предлагаем и будем использовать термин *препарация*.**

Переход на цифровую технику обработки и передачи информации обусловлен рядом общеизвестных причин и в целом уже состоялся. В литературе по обработке и, в частности, кодированию, объект обработки, если он более чем одномерен, обычно называется *изображением* [1]; это обусловлено историческими причинами [2]. На самом деле, поскольку изображения связаны условием неотрицательности информативной величины, например, яркости, они составляют лишь часть более общего класса – *полей*. Для наших целей *поле* можно определить как m -мерную функцию n -мерного аргумента ($m = 1, 2, \dots; n = 2, 3, \dots$), и при необходимости различать скалярные и векторные поля двумерного (например, на плоскости), трехмерного (например, в пространстве или на плоскости и во времени), четырехмерного (например, в пространстве и во времени) или более многомерного аргумента. В случае $m = 1, n = 1$ объект обработки можно назвать *процессом*. На разных стадиях обработки аргументы могут быть непрерывными или дискретными, а поля – непрерывно-значными или квантованными.

Традиционными объектами препарации являются следующие поля:

- ◆ цветные и черно-белые сцены эфирного, кабельного, спутникового вещательного телевидения;
- ◆ сцены видеоконференций в Интернете;
- ◆ изображения в системах факсимильной передачи газетных матриц, других печатных и рукописных материалов;
- ◆ погодные карты;
- ◆ снимки природных ресурсов и облачности с ИСЗ;
- ◆ многочисленные динамические изображения типа ”цель на сложном фоне”, например, в системах контроля за дистанционно-управляемыми летательными аппаратами;
- ◆ изображения в системах архивации: живопись, техническая документация, отпечатки пальцев и прочее;

◆ передаваемые и архивируемые медицинские поля: динамические и статические изображения активной и пассивной рентгеноскопии, рентгенограммы, томографические проекции, эндоскопические и бронхоскопические изображения, динамические поля ультразвукового лоатора (УЗИ), карты пространственного изотопного анализа, карты кровяного давления и температуры поверхности тела, кардиограммы, изображения бульбары и радужки глаза.

Перечисленные поля далеко не исчерпывают списка полей в актуальных приложениях. Более того, эти последние зачастую превосходят перечисленные приложения в серьезности требований к количеству и скорости передачи информации. Приведем некоторые примеры полей из других приложений, также требующих эффективной препарации:

- ◆ изображения в системах технического телевидения и технического зрения;
- ◆ изображения в системах тепловидения и видения в темноте;
- ◆ изображение в системах контроля в металлургии;
- ◆ поля пассивной ИК-локации, ИК-зондирования подстилающей поверхности самолета и из космоса;
- ◆ отсчеты электромагнитных пространственно-временных поляризованных полей в радиоэлектронных системах различных частотных диапазонов при использовании антенных решеток и ПЗС;
- ◆ изображения самолетных и космических РЛС бокового обзора вместе с характерными спекловыми полями;
- ◆ поля пассивной и активной подводной звуколокации вместе с характерными спекловыми полями;
- ◆ поля атмосферной звуколокации и радио-акустического зондирования атмосферы;
- ◆ поля радио-, рентгеновской и гамма-астрономии;
- ◆ поля лазерного зондирования атмосферы, суши, океана, с Земли или носителя [5]: поля концентраций аэрозоля, концентраций атмосферных газов различного значения (газы экологического значения, газы, принадлежащие циклам углекислого газа, озона, водяного пара и т. д.), температуры, вектора скорости ветра,

структурной постоянной атмосферной турбулентности, поля фитоактивности, океанического волнения и другие;

- ◆ поля радиозондирования облачности, полярных льдов, полярных сияний, метеорных следов и других объектов;

- ◆ полученные с помощью лазерного зондирования или другими экспресс-методами карты концентраций газовых и пылевых выбросов в районах пустынь, вулканов, взрывных работ при разработке месторождений открытым способом, отвалов, терриконов, труб ТЭЦ, двигателей внутреннего сгорания, лесных и других пожаров, мусоросжигающих установок, цементных заводов, нефтяных и газовых фонтанов, взрывов военного характера;

- ◆ поля в применениях автоматизированных микроскопов, электронных микроскопов, пузырьковых камер, радио-, оптических, рентгено- и гамма-спектрометров, и других наблюдательных и измерительных средств физики и физической химии;

- ◆ поля в экспериментальной электростатике, магнитостатике, электродинамике, гидродинамике, аэродинамике, сверхзвуковой аэродинамике.

При обсуждении требований того или иного приложения к объему и скорости передачи или архивации полей необходимо иметь в виду, что в узком смысле обработка данных обычно сводится к образованию небольшого числа функционалов от них, т. е. резкому уменьшению мерности массивов. При этом почти всегда только результаты обработки далее хранятся и используются, а исходный материал не сохраняется и не может быть использован. Такова ситуация например, в подавляющем большинстве применений радиоэлектроники: в радиолокации, радиоастрономии, лазерном зондировании и т. д. Между тем, переданный и архивированный *весь исходный материал* мог бы понадобиться и быть использован, когда появятся новые, более совершенные методы обработки или новые применения исходных данных, диктующие изменения целей и, следовательно, алгоритмов обработки, или возникнет необходимость совместной обработки массивов данных разного рода, например, радиолокационных, метеорологических, спутниковых телеметрических и т. д. Сказанное означает, что **в ряде приложений повышение возможных объемов и скоростей передачи и архивации полей позволит увеличить эффективность использования информации.** Приведем два примера

того, что в ближайшем будущем требования к перерабатываемым объемам данных и, следовательно, к скоростям их передачи, могут резко возрасти.

Первый пример. Еще в 1980-е годы стало ясно, что проблема научного, глобального, достаточно точного и надежного среднесрочного прогноза погоды требует решения трех подпроблем: исчерпывающая формулировка и алгоритмизация замкнутой системы уравнений; достижение необходимых мощностей и быстродействий компьютеров; оперативное получение и усвоение данных о подстилающей поверхности, атмосфере (тропосфера и нижняя стратосфера), актинометрических и некоторых других. Для решения сильно отстающей третьей подпроблемы, в частности, необходимо измерение в 20-ти километровом слое над всей поверхностью земного шара, с достаточными точностями и пространственно-временными разрешениями, полей [6 – 8]:

- ◆ векторного поля скорости ветра;
- ◆ скалярного поля температуры;
- ◆ скалярных полей спектрального коэффициента ослабления облачностью и аэрозолям на сетке оптических частот;
- ◆ скалярных полей концентраций значимых для радиационного баланса газов;
- ◆ скалярных полей восходящих и нисходящих потоков тепла – конвекционных и, с дополнительным спектральным разрешением, радиационных;
- ◆ двумерных спектральных альбедо подстилающей поверхности.

Большинство из этих полей может быть измерено в их глобальности только из космоса, путем лидарного зондирования [7], пассивного спектрального зондирования и некоторыми другими методами. Предстоит создать группировку спутников, оснащенных соответствующей аппаратурой. Часть соответствующих технических и методологических проблем уже решена. Вследствие огромной сложности и стоимости всего предприятия нерентабельно ограничиваться одной метеопрогнозной проблемой, необходимо использовать измерения перечисленных полей и некоторых других полей и характеристик атмосферы и подстилающей поверхности в интересах экологии, динамики атмосферы, атмосферной фотохимии (в частности, циклов водяного пара, озона и углекислого газа), актинометрии, радиационного баланса, микрофизики облаков и аэрозоля, геологии, фитоактинометрии, прогноза урожаев и биоактивности и т. д. По понятным причи-

нам, формируемые на спутниках огромные массивы данных не могут передаваться в наземные центры сбора данных постепенно, в течение суток, а должны "сбрасываться" в достаточно короткие интервалы времени. Это еще более усложняет требования к скорости их передачи.

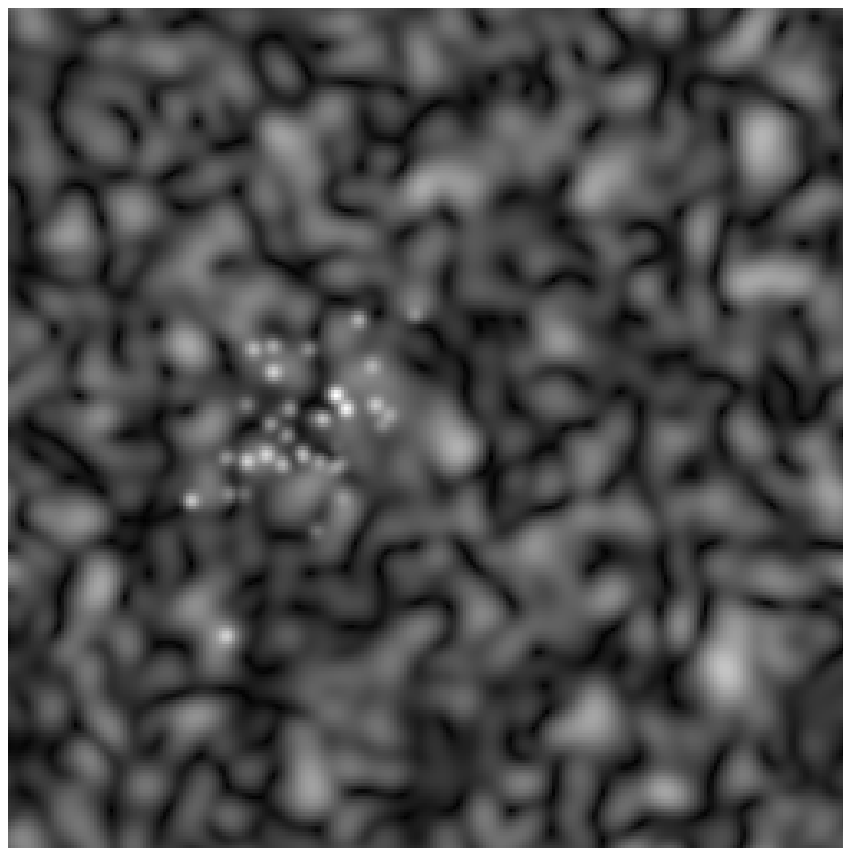
Второй пример. По мнению Билла Гейтса [9], Информационная Магистраль (Information Highway) должна будет предоставлять сотням миллионов пользователей со всего мира, в частности, такую услугу: любой фильм, телепередача, концерт и т. п., отснятые ранее в любое время, в любой стране, студии, зале, – для домашнего просмотра.

Все вышесказанное означает, что, во-первых, возможностей препарации полей, передачи их по каналам связи и архивирования недостаточно уже сейчас, особенно в связи с необходимостью передачи и архивирования всего исходного материала, получаемого в конкретном приложении. Во-вторых, требования к объемам и скоростям передачи данных с течением времени будут быстро возрастать. Это, в свою очередь, повышает требования к эффективности препарации полей. Выполнить эти всё возрастающие требования невозможно на пути применения универсальных методов препарации: поля, возникающие в различных приложениях, очень разнятся по своей структуре, мерности, свойствам, степени зашумленности и т. д. Поэтому возможности универсальной оптимальной препарации во всем разнообразии полей весьма ограничены. Необходима разветвленная классификация полей и разработка методов оптимальной препарации в отдельных, подчас узких, классах полей. Следует ожидать, что такая стратегия "классовой специализации" методов препарации позволит достигнуть в целом более высокой эффективности. Традиционно такой "классовой привилегией" обладают только изображения вещательного телевидения.

Приведенный выше второй перечень полей показывает, что *случайные поля* составляют довольно обширный класс объектов препарации. В связи с тем, что даже при обработке традиционных изображений часто используются квазистатистические методы, полезно уточнить, что именно следует понимать под "истинно случайным полем" в контексте данной работы. Под таковым будем понимать поле, являющееся реализацией (выборкой) более общего (глобального) ан-

самбля с некоторыми стабильными ансамблевыми характеристиками. **В этом смысле традиционные изображения как поля *псевдослучайны***, т. к. в каждом таком поле ансамбль не превосходит его самого (и может даже быть его частью), и каждый экземпляр поля суть новый ансамбль.

На рисунке приведен результат компьютерного моделирования ситуации типа "цель на сложном фоне". "Фон": реализация случайного поля с релейевским распределением яркости и изотропной гауссовской ковариационной функцией; "цель": неоднородное пуассоновское поле "расплывшихся" точек, с релейевским распределением яркости и плотностью точечного поля (среднее число точек на единицу площади) в виде пространственной неизотропной гауссовской функции с "повернутыми" главными осями.



В подавляющем большинстве многочисленных работ по обработке "истинно случайных" полей последняя рассматривается отдельно от функций препарации; в свою очередь эти функции рассматриваются (в других работах и, как правило, других авторов) на базе традиционных (универсальных) представлений о сжатии, квантовании и кодировании, или, в лучшем случае, делаются попытки оптимизи-

ровать эти функции для всех "истинно случайных" полей. Одним из немногочисленных исключений в обоих смыслах является работа [10], посвященная методу совместной цифровой редукции спеклов и сжатия при радиолокации бокового обзора. Представляется, что **применение принципа "классовой специализации" на основе дальнейшей разветвленной классификации "истинно случайных" полей даст возможность в полной мере использовать для оптимизации обработки потенциальные преимущества данного класса полей:**

- ◆ если в традиционной области изображений приемлемый критерий качества должен существенно учитывать психофизические свойства зрения [1], что зачастую приводит к непреодолимым аналитическим трудностям, то в данном классе полей приемлемы, а иногда целесообразны и даже адекватны простые критерии, вплоть до максимально удобного и простого критерия минимума среднего квадрата отклонения;

- ◆ в этом классе полей часто допустимо не только сжатие с потерями, но и со "средними" и "большими" потерями;

- ◆ если в традиционной области изображений оптимизационная роль априорной статистической информации обычно мала или отсутствует, то в данном классе она непременно большая: в зависимости от приложения и ситуации можно рассчитывать на априорное знание класса корреляционных функций, или даже одномерных и двумерных распределений, а в некоторых случаях – на полное задание априорной статистической информации;

- ◆ это, в свою очередь, дает возможность задания обрабатываемых полей в классах высокоэффективных для аналитических решений моделей: марковских [11], регрессионных [12], гауссовских;

- ◆ наличие априорной статистической информации и допустимость простых критериев качества поля дают возможность применения хорошо разработанных и эффективных методов оптимизации [13], таких как байесовский и другие;

- ◆ если в традиционной области изображений радиус временной стационарности обычно мал, например, в вещательном телевидении в сценах с движением он может составлять сотые доли секунды, то в сериях случайных полей он может быть во много раз большим временного дискрета, что увеличивает возможности адаптации [14] к изменяющимся характеристикам полей;

◆ в данном классе открывается широкая возможность сквозного моделирования для решения трудно поддающихся аналитическому исследованию прямых и обратных задач оптимальной обработки полей – от моделирования реализаций поля до моделирования редукции шумов, дискретизации, сжатия, квантования, собственно кодирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. – М.: Мир, 1982. – Т. 1 – 312 с., т. 2 – 480 с.
2. Тематический выпуск: Обработка изображений при помощи цифровых вычислительных машин. – ТИИЭР, 1972. – Т. 60, №7, 208 с.
3. Нетравали А. Н., Лимб Дж. О. Кодирование изображений: Обзор. – ТИИЭР, т. 68, №3, 1980. – С. 76 – 124.
4. Джайн А. К. Сжатие информации: Обзор. – ТИИЭР, т. 69, №3, 1981. – С. 71 – 117.
5. Глазов Г. Н. Статистические вопросы лидарного зондирования атмосферы. – Новосибирск: Наука, 1987. – 311 с.
6. Захаров В. М., Костко О. К. Метеорологическая лазерная локация. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 222 с.
7. Захаров В. М. и др. Лазерное зондирование атмосферы из космоса. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 216 с.
8. Захаров В. М., Костко О. К., Хмелевцов С. С. Лидары и исследование климата. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 320 с.
9. Bill Gates. Roadahea. 1996. Из Интернета: <http://www.roadahea.com/>
10. Guo H., Odegard J. E., Lang M. et al. Wavelet based speckle reduction with application to SAR based ATD/R. – Proc. ICIP, Austin, TX, Nov., 1994. – P. 1 – 5.
11. Кловский Д. Д., Конторович В. Я., Широков С. М. Модели непрерывных каналов связи на основе стохастических дифференциальных уравнений. – М.: Радио и связь, 1984. – 246 с.
12. Джайн А. К. Успехи в области математических моделей для обработки изображений. – ТИИЭР, 1981. – Т. 69, №5, с. 9 – 39.
13. Миддлтон Д. Введение в статистическую теорию связи. – М.: Советское радио, 1961. – Т. 2, 832 с.
14. Уидроу Б., Стирнз С. Адаптивная обработка сигналов. – М.: Радио и связь, 1989. – 440 с.