



ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

Цифровая Обработка Сигналов (ЦОС) является одной из самых мощных технологий, которая охватит науку и технику в двадцать первом веке. Революционные изменения уже коснулись *широкого* круга областей: коммуникация, медицинская визуализация изображений, радиолокация и гидролокация, высококачественная воспроизведение музыки, разведка нефтяных месторождений и многих других. В каждой из этих областей произошло *глубокое* проникновение технологии цифровой обработки сигналов, включающее разработку собственных алгоритмов, математических выводов и специальных методов. Эта комбинация «ширины» и «глубины» проникновения цифровой обработки сигналов делает невозможным индивидуально овладеть всей технологией, которая уже разработана к настоящему времени. Обучение ЦОС включает в себя две задачи: усвоение основных принципов и изучение специализированных методов, которые необходимы для применения ЦОС в конкретных областях науки и техники. Эта глава начинает наше приключение в мир Цифровой Обработки Сигналов, описывая эффект, который произвела технология ЦОС в различных областях науки и техники. Революция началась!

Истоки DSP

Цифровая Обработка Сигналов выделяется из других областей знаний вычислительной техники уникальным типом данных, который она использует – *сигналы*. В большинстве случаев эти сигналы представляют собой информацию от датчиков из окружающего мира: сейсмические колебания, визуальные изображения, звуковые волны и т.п. ЦОС представляет собой математику, алгоритмы и методы, используемые для обработки этих сигналов, после того как они были переведены в дискретную форму. Обработка может содержать в себе несколько задач: улучшение визуального отображения, распознавание и синтез речи, сжатие данных для их хранения и передачи и др. Предположим, что вы подсоединили аналого-цифровой преобразователь к компьютеру и используете его для сбора некоторого количества данных. ЦОС ответит на вопрос: *что делать дальше?*

История ЦОС начинается в 60-х годах, когда появились первые цифровые компьютеры, но в то время они были дорогими, и поэтому область применения ЦОС ограничивалась несколькими приложениями. Первыми из них стали: *гидро- и радиолокация*, в которых был интерес национальной обороны, *разведка нефтяных месторождений*, где можно было заработать большие деньги, *освоение космоса*, где существовала нехватка данных, и медицинская визуализация изображений, где речь шла о жизни людей.

Революция, произведенная персональными компьютерами в 80-х и 90-х годах, расширила применения ЦОС еще новыми приложениями. Кроме военных и правительственных нужд, технология цифровой обработки сигналов широко распространилась на коммерческий рынок. ЦОС получила распространение в таких общественных приложениях как: мобильные телефоны, проигрыватели компакт-дисков и электронная речевая почта. Рис.1-1 показывает некоторые из этих областей применения.

Техническая революция привела к тому, что в 80-х годах ЦОС была включена в курс обучения электротехники для получения ученой степени. Десятью годами позже ЦОС стала обязательной частью обучения студентов. Сегодня технология цифровой обработки сигналов является базовыми знаниями, которые необходимы ученым и инженерам.

ЦОС	Космос	<ul style="list-style-type: none">- улучшение космических фотографий- сжатие данных- анализ сигналов от удаленных космических зондов, полученных от интеллектуальных сенсоров
	Медицина	<ul style="list-style-type: none">- диагностика медицинских изображений- анализ электрокардиограмм- хранение и чтение медицинских изображений
	Коммерция	<ul style="list-style-type: none">- сжатие изображений и звука для мультимедийных презентаций- специальные эффекты в кино- созыв видео конференций
	Телефония	<ul style="list-style-type: none">- сжатие данных и речевых сигналов- подавление эха- мультиплексирование сигналов- фильтрация
	Армия	<ul style="list-style-type: none">- радиолокация- ультразвуковая локация- наведение на цели- защищенная связь
	Промышленность	<ul style="list-style-type: none">- предсказание месторождений нефти и минералов- процессы проверки и управления- неразрушающий контроль- CAD и инструменты проектирования
	Наука	<ul style="list-style-type: none">- запись и анализ землетрясений- сбор данных- спектральный анализ- моделирование

Рис.1-1. Области применения ЦОС.

По аналогии ЦОС может быть сравнен с предыдущей технической революцией: *электроникой*. Пока эра электротехники продолжается, почти каждый ученый и инженер имеет основные навыки проектирования принципиальных схем. Без этого они бы потерялись в технологическом мире. ЦОС ждет то же будущее.

Предположим, что вы столкнулись с задачей, которая требует знаний ЦОС, и обратились к учебникам и другим публикациям, чтобы найти решение. В обычном случае, вы найдете страницы уравнений, неизвестных математических символов и незнакомой терминологии. Большинство литературы по ЦОС непонятно даже для тех, кто обладает опытом в этой области. Это не означает, что материал, который там представлен, неправильный, просто он предназначен для очень специализированной аудитории. Современные исследователи нуждаются в этой детализированной математике, чтобы понять теоретические предпосылки работы.

Основным предположением этой книги является то, что методы ЦОС могут быть изучены и использованы без традиционных препятствий в виде детализированной математики и теории. *Научно-техническое руководство по цифровой обработке сигналов* написано для тех, кто хочет изучить ЦОС как *инструмент*, а не науку.

Далее в этой главе иллюстрируются области, в которых ЦОС произвела революционные изменения. Читая про каждое приложение, заметьте, что ЦОС является междисциплинарной, поскольку включает в себя множество смежных областей. Как показано на Рис.1-2, границы между ЦОС и другими техническими дисциплинами определены не строго, а скорее размыты или перекрываются. Поэтому, если вы хотите специализироваться по ЦОС, это потребует дополнительного обучения другим дисциплинам.

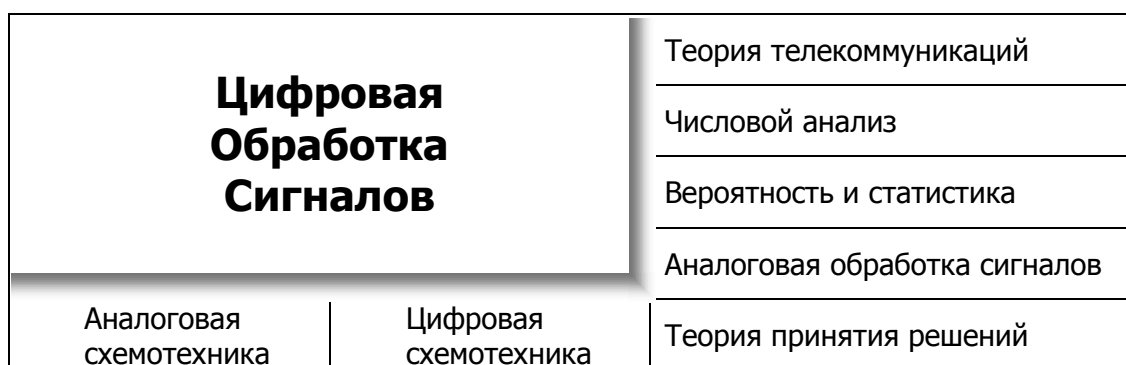


Рис.1-2. Границы между ЦОС и другими техническими дисциплинами определены не строго, а скорее размыты и перекрываются.

Телекоммуникации

Телекоммуникация осуществляет передачу информации из одного местоположения в другое. Типы информации включают в себя: телефонные разговоры, телевизионные сигналы, компьютерные файлы и др. Чтобы передать информацию требуется канал связи, соединяющий два пункта. Это может быть витая пара, радио сигнал, светопровод и т.д. Телекоммуникационные компании взимают плату за передачу информации заказчика, поскольку они должны оплатить проведение канала и поддерживать его работоспособность. Финансовая стратегия компании проста: чем больше информации она может пропустить через один канал, тем больше денег будет заработано. ЦОС совершила революцию телекоммуникационной индустрии во многих областях: генерирование и детектирование тоновых сигналов, сдвиг полосы частот, фильтрация сетевых радиопомех и т.д. Мы обсудим три специфических примера из телефонных сетей: мультиплексирование, сжатие и подавление отраженных сигналов.

Мультиплексирование

В мире приблизительно *один миллиард* телефонов. При нажатии нескольких кнопок коммутируемая сеть позволяет за пару секунд установить соединение между двумя людьми. Необъятность этой задачи просто поражает! До 60-х годов соединение требовало прохождения аналоговых речевых сигналов через механические ключи и усилители. Одно соединение требовало одну пару проводов. ЦОС преобразует звуковые сигналы в поток последовательных цифровых данных. Поскольку биты могут быть упаковываться и далее разделяться, несколько телефонных разговоров могут передаваться по одному каналу связи. Например, телефонный стандарт, известный как *система T-carrier*, может одновременно передавать 24 речевых сигнала. Каждый речевой сигнал дискретизируется 8000 раз в секунду с использованием 8-битного аналого-цифрового преобразования с компандированием (логарифмическое сжатие). Результат по каждому речевому сигналу будет представлять собой поток со скоростью 64000 бит/с, а все 24 канала будут заключены в потоке 1.544 Мб/с. Этот сигнал может передаваться по обыкновенной телефонной линии на расстояние до 1800 м. Экономическое преимущество цифровой передачи громадно. Провода и аналоговые ключи дорогостоящие, цифровые логические элементы дешевы.

Сжатие

Когда речевой сигнал оцифровывается с дискретизацией 8000 выборок в секунду, большая часть полученной информации *избыточна*. То есть, информация, содержащаяся в одном отсчете, часто повторяется в последующих отсчетах. Для того чтобы уменьшить поток данных разработаны множество алгоритмов *сжатия* данных. Для восстановления оригинальной формы сигнала применяются соответствующие алгоритмы *распаковки данных*. Эти алгоритмы различаются по степени достигаемого сжатия и качества восстановленного звука. Например, уменьшение потока от 64 Кб/с до 32 Кб/с не оказывает особенного влияния на качество звука. При сжатии потока данных до 8 Кб/с, качество звукового сигнала

заметно ухудшается, но является приемлемым для передачи по телефонным линиям. Наибольшее достигаемое сжатие потока данных составляет около 2 Кб/с. При этом звуковой сигнал получается значительно искаженным, но может использоваться в некоторых приложениях, например, в военной или подводной коммуникации.

Подавление отраженных сигналов

Отраженные сигналы (эхо) представляют собой серьезную проблему при передаче сигналов на длинные расстояния. При телефонном разговоре сигнал, представляющий голос, доходит до приемного устройства, после чего его часть возвращается в виде отраженного сигнала. Если расстояние между передатчиком и приемником несколько сотен километров, время возврата отраженного сигнала составляет несколько миллисекунд. Ухо человека не замечает отраженный сигнал при таких небольших задержках, и качество воспринимаемого звука будет нормальным. Если расстояние значительно больше, отраженные сигналы становятся заметными и раздражающими. Время возврата эха при межконтинентальных соединениях может составлять несколько сотен миллисекунд. ЦОС борется с этой проблемой, измеряя возвращающийся сигнал и генерируя соответствующий *антисигнал* для подавления эха. Такой метод позволяет пользователям телефонов одновременно и говорить, и слушать без задержки звукового сигнала. Метод может применяться и для подавления шума окружающей среды, подавляя его генерируемым *антишумом*.

Обработка звуковых сигналов

Два основных чувства восприятия человека – это зрение и слух. Поэтому большая часть ЦОС посвящена обработке изображений и звуковых сигналов. Люди слушают как *музыку*, так и *речь*. ЦОС совершила революционные изменения в этих областях.

Музыка

Путь от микрофона музыканта до акустической системы любителя музыки очень долг. Цифровое представление данных в основном используется для предотвращения ухудшения, связанного с аналоговыми запоминающими устройствами и их работой. Это легко понять, если сравнить качество музыки, записанной на аудиокассете и компакт-диске. Обычно музыкальное произведение записывается в звуковой студии на нескольких каналах или дорожках. В некоторых случаях, каждый инструмент и голос исполнителя записываются отдельно. Это предоставляет звукорежиссеру большую гибкость в работе над финальным продуктом. Комплексный процесс объединения отдельных треков называется *сведением фонограмм*. ЦОС обеспечивает множество важных функций, необходимых при сведении фонограмм, включая: фильтрацию, сложение и вычитание сигналов, редактирование сигнала и т.п.

Одним из самых интересных приложений ЦОС в подготовке музыки – это *искусственная реверберация*. Если отдельные каналы просто складываются вместе, полученный звук будет слабым и приглушенным, как если бы музыканты играли на открытом воздухе. ЦОС позволяет добавить искусственное эхо и реверберацию, чтобы имитировать различные условия, окружающие слушателя. Например, эхо с задержкой несколько сотен миллисекунд дает эффект исполнения музыкального произведения в кафедральном соборе. Добавление эха с задержкой 10-20 секунд вызывает ощущения прослушивания музыки в меньшем по размерам помещении.

Генерация речи

Генерация и распознавание речи используется для установления связи между человеком и машиной. Человек чаще использует свои рот и уши, чем руки и глаза. Это особенно удобно, если руки и глаза заняты чем-то другим, например, вождением автомобиля или проведением хирургической операции. Для генерации речи используются два подхода: *цифровая запись* и *имитация речевого тракта*. При цифровой записи, речевой сигнал дискретизируется и хранится, обычно в сжатой форме. При воспроизведении записанные данные восстанавливаются и преобразуются в аналоговый сигнал. Целый час записанного речевого сигнала требует всего лишь три мегабайта памяти и может быть размещен даже на машинах с небольшими аппаратными ресурсами. Такой подход является на сегодняшний день самым распространенным.

Имитаторы речевого тракта значительно сложнее, так как они пытаются имитировать физический механизм, которым люди создают речь. Речевой тракт человека – это акустический резонатор с частотами, определяемыми размерами и формой полости. Звук в речевом тракте создается из двух основных компонент, названных *вокализованными* и *фрикативными* звуками. При вокализованных звуках, вибрация голосовых связок производит близкие к периодическим вибрации воздуха в ротовой полости. Фрикативные звуки порождаются при прохождении воздуха через сжатые губы или зубы. Действие имитаторов речевого тракта основано генерации цифровых сигналов, которая имеет похожие два типа возбуждения. Характеристики акустического резонатора имитируются прохождением сигнала через цифровой фильтр с подобными резонансами. Этот подход использовался в одном из успешных ранних применений ЦОС – *Speak & Spell*, электронном обучающем помощнике для детей.

Распознавание речи

Автоматизированное распознавание речи гораздо сложнее, чем генерация. Распознавание речи это классический пример того, что человеческий делает хорошо, а цифровой компьютер плохо. Цифровой компьютер может хранить и вызывать большое количество данных, выполнять математические расчеты с огромной скоростью и повторять одну и ту же задачу, не уставая и без потери качества. К сожалению, современные компьютеры работают плохо, когда сталкиваются с необработанными данными от датчиков. Обучить компьютер ежемесячно посылать счет на оплату легко. Научить тот же компьютер

распознавать ваш голос - сложное дело. ЦОС пытается решить проблему распознавания речи в два этапа: *выделение признаков* с последующим *сопоставлением признаков*. Каждое слово речевого сигнала выделяется и анализируется, чтобы определить тип возбуждения и резонансные частоты. Эти параметры сравниваются с записанными ранее примерами слов, чтобы найти среди них наиболее похожее. Часто такие системы ограничены одной или несколькими сотнями слов; способны воспринимать речь с отчетливыми паузами между словами; должны быть натренированы для индивидуального голоса. Эти ограничения некритичны для некоторых коммерческих приложений, однако в этой области предстоит еще большая работа.

Эхолокация

Самый распространенный метод получения информация об удаленном объекте состоит в получении от них отраженных волн. Например, радар посылает импульсы радиоволн и принимает отраженный сигнал от воздушных объектов. В сонаре для определения подводных объектов через воду посылаются звуковые волны. Геофизики зондируют землю, производя взрывы и анализируя отраженный сигнал от залегающих горных пород. В то время как эти приложения имеют некоторое общие принципы, каждое из них обладает собственными специфическими проблемами и потребностями. ЦОС произвела революционные преобразования во всех трех областях.

Радиолокация

Слово *radar* (*радар*) является аббревиатурой от *RAdio Detection And Ranging* (радиообнаружение и определение расстояния). В простейшей радиолокационной системе радиопередатчик излучает импульсы радиочастотной энергии длительностью несколько микросекунд. Этот импульс подается на передающую антенну, откуда радиоволна распространяется со скоростью света. Воздушное пространство на пути этой волны будет отражать некоторую часть энергии обратно в направлении приёмной антенны, размещенной около передающей. Дистанция до объекта вычисляется из прошедшего времени между переданным импульсом и принятым отражением. Направление на объект находят просто, так как известно, куда была направлена антенна, когда был принят отраженный сигнал.

Диапазон действия радиолокационной системы определяется двумя параметрами: энергией в начальном импульсе и уровнем шума радиоприёмника. К сожалению, увеличение энергии в импульсе обычно сопровождается его удлинением. В свою очередь, увеличение продолжительности импульса понижает точность измерения времени запаздывания. Это отражается в противоречии двух важных параметров: возможностью определения объектов на дальних расстояниях и возможностью точно определить расстояние до объекта.

ЦОС произвела революцию в трех областях радиолокации, которые все относятся к основным проблемам. Во-первых, ЦОС может *сжать* импульс после приёма, что приводит к лучшему определению расстояния до объекта без уменьшения рабочего диапазона. Во-вторых, ЦОС может фильтровать принятый сигнал, чтобы снизить шум. Это увеличивает диапазон, без снижения точности определения расстояния. В-третьих, ЦОС способна быстро выбирать и генерировать импульсы различной формы и длительности. Кроме прочего, это позволяет оптимизировать импульс для специфичных задач обнаружения. И самое удивительное: многие эти функции выполняются со скоростью выборок, сравнимыми с используемой радиочастотой – выше нескольких сотен мегагерц! После прихода ЦОС в радиолокацию, потребовалось как проектирование высокоскоростного оборудования, так и разработка эффективных алгоритмов.

Гидролокация

Слово sonar (*сонар*) это аббревиатура от *SOund Navigation And Ranging* (звуковая навигация и определение расстояния). Сонары (звуковые локаторы) делятся на две категории: *активную* и *пассивную*. В активном звуковом локаторе, звуковые импульсы в диапазоне от 2 КГц до 40 КГц передаются в воду, и полученные отраженные сигналы обнаруживаются и анализируются. Использование активного сонара включает в себя: обнаружение и фиксация местоположения подводных объектов, навигация, связь, картографирование морского дна. Типичный максимальный диапазон действия составляет от 10 до 100 километров.

Пассивным звуковым локатором просто *прослушивают* подводные звуки, которые включают в себя: природную турбулентность, морскую жизнь и механические звуки от подводных лодок и надводных кораблей. Поскольку пассивный сонар не излучает энергии, он является идеальным для секретных операций, поскольку можно обнаружить кого-либо без того, чтобы обнаружили вас. Основное применение пассивной звуковой локации – военные разведывательные системы, которые обнаруживают курсы подводных лодок. Пассивный сонар обычно использует более низкие частоты, чем активный, так как они распространяются в воде с меньшими потерями. Диапазон обнаружения может составлять тысячи километров.

В гидролокации ЦОС произвела революцию в тех же областях, что и в радиолокации: генерация импульса, сжатие импульса и фильтрация обнаруженных сигналов. На первый взгляд, сонар проще, чем радар, потому что он связан с более низкими частотами. С другой стороны, сонар более сложен, чем радар, потому что окружающая среда намного менее однородна и стабильна. Системы гидролокации обычно включают в себя множество передающих и приемных элементов. При корректном управлении и смешивании сигналов в этом множестве элементов, сонары могут фокусировать передаваемый импульс в желаемом направлении и определять направление, откуда принят отраженный сигнал. Чтобы управлять этим множеством каналов, системы гидролокации требуют такую же вычислительную мощность массив, как и радары.

Сейсморазведка методом отраженных волн

В 20-х годах геофизики открыли, что структура земной коры может быть исследована с помощью звука. Геологоразведчики научились устраивать взрывы и записывать отражения от граничных слоев до десяти километров ниже поверхности земли. Эти отраженные сейсмограммы интерпретировались для представления внутренних структур. Метод отраженных волн быстро стал основным методом обнаружения залежей нефти и минералов и остается им до сегодняшнего дня.

В идеальном случае, звуковой импульс, посылаемый в землю, производит единичное отражение, проходя через каждый граничный слой. К сожалению, ситуация не так проста. Каждое отражение, вернувшееся к поверхности, должно пройти через все другие граничные слои, расположенные выше. Это может быть причиной увеличения отражения между слоями, вызывающее *отражения от отражений*, которые будут обнаружены на поверхности. Такие вторичные отражения могут усложнить обнаруженный сигнал и, соответственно, его интерпретацию. С 60-х ЦОС широко используется для разделения начального и вторичного отражения в сейсмограммах. Как же обошлись геофизики без ЦОС? Ответ прост: они искали в *простых* местах, где многочисленные отражения были минимизированы. ЦОС позволяет находить нефть в *труднодоступных* местах, например, под океаном.

Обработка изображений

Изображения являются сигналами с особыми характеристиками. Во-первых, они измеряются параметрами *пространства* (расстояния), в то время как большинство сигналов измеряются параметрами во *времени*. Во-вторых, они содержат много информации, например, для записи одной секунды телевизионного видео может потребоваться более 10 Мб. Это в тысячу раз больше, чем для речевого сигнала той же продолжительности. В-третьих, окончательная оценка качества чаще зависит от человеческого вкуса, чем от объективных критериев. Эти особые характеристики сделали обработку изображений отдельной подгруппой в ЦОС.

Медицина

В 1895 году Вильгельм Конрад Рентген обнаружил, что *X-rays* (рентгенолучи) могут проходить через материю. С возможностью наблюдать изнутри человеческое тело, в медицине произошла революция. Медицинские системы на рентгенолучах распространились в мире за несколько лет. Несмотря на этот очевидный успех, рентгеновские изображения были ограничены четырьмя проблемами, до тех пор пока в 70-х годах не появилась ЦОС и соответствующая техника. Во-первых, перекрывающиеся структуры в теле могли закрываться одна другой. Например, часть сердца могла быть не увидена за рёбрами. Во-вторых, не всегда возможно различить похожие ткани. Например, можно отличить кости от

мягких тканей, но не опухоль от лёгких. В-третьих, рентгеновские лучи показывают *анатомию*, структуру тела, но не *физиологию*, процессы в организме. Рентгеновское изображение живого человека точно такое же, как изображение мертвого! В-четвёртых, рентгеновское воздействие может быть причиной возникновения рака и требует умеренного использования.

Проблема перекрывающихся структур была решена в 1971 году с появлением первого компьютерного томографического сканера (прежде называемой компьютерной осевой томографией, или КОТ сканер). Компьютерная томография (КТ) это классический пример ЦОС. Анализируются рентгеновские лучи, пропущенные через часть тела пациента с нескольких направлений. Вместо простого формирования изображения по принятым рентгеновским лучам, сигналы преобразуются в цифровые данные и записываются в компьютер. Эта информация используется, чтобы *вычислить* изображения, которые представляют собой срезы исследуемой части. Эти изображения показывают гораздо больше деталей и позволяют проводить существенно лучшее диагностирование и лечение. Революция, которую произвела компьютерная томография, была так же велика, как внедрение самих рентгеновских изображений. В течение только нескольких лет, каждый крупный госпиталь в мире получил доступ к сканеру КТ. В 1979 году два из основоположника компьютерной томографии, Годфри Хаунсфилд (Godfrey N. Hounsfield) и Алан Кормак (Allan M. Cormack), были удостоены Нобелевской премии в области медицины. Благодаря ЦОС!

Оставшиеся три проблемы рентгеновских лучей были решены с использованием, другой, нежели рентгеновские лучи, проникающей энергии, такой как радио и звуковые волны. ЦОС играет здесь ключевую роль. Например, магниторезонансное изображение (МРИ) использует магнитные поля в сочетании с радиоволнами для исследования внутренностей человеческого тела. Соответствующая установка силы и частоты полей вызывает резонанс атомных ядер между состояниями энергии квантов в локализованных областях тела. В результате резонанса возникает вторичное радиоизлучение, которое обнаруживается антенной, размещаемой вблизи тела. Мощность и другие характеристики этого сигнала дает информацию о локализованной области в состоянии резонанса. Регулирование магнитного поля позволяет сканировать область резонанса через тело, фиксируя внутренние структуры. Эта информация обычно представляется в виде изображения, как и в компьютерной томографии. Кроме способности точного разных типов мягких тканей, МРИ может сообщать информацию о физиологии, например, кровотоков через артерии. Метод МРИ полностью реализован на алгоритмах ЦОС.

Космос

Иногда необходимо улучшить качество плохого изображения. Эта задача часто встречается в случаях с изображениями, взятыми со спутников и космических исследовательских кораблей. Никто не согласится быть репортёром, посланным на Марс только для того, чтобы нажать кнопку на камере! ЦОС может улучшить качество изображений, полученных в экстремальных неблагоприятных условиях, несколькими способами: регулирование яркости и контрастности, выделение контуров, подавление шума, регулировка фокуса, коррекция нерезкости, вызванной движением и т.д. Изображения, которые имеют пространственные искажения, например, когда плоское изображение снимается со сферических планет, могут быть преобразованы в корректное представление. Несколько изображений могут быть соединены в единую базу данных, позволяющую представлять информацию особым способом. Например, последовательность видеок кадров, представляющих полет над поверхностью удаленной планеты.

Коммерческие видео продукты

Большое количество информации, содержащееся в изображениях, является проблемой для систем, продаваемых массовым потребителям. Продаваемые системы должны быть *дешевы*, при том всем, что они включают в себя большое количество памяти и устройства с высокой скоростью передачи. Единственным решением этой проблемы является сжатие изображения. Как и речевые сигналы, изображение содержит большое количество избыточной информации, и может быть обработано специальными алгоритмами, которые понижают количество разрядов требуемых для его представления. Телевидение и кинофильмы особенно предрасположены к сжатию, поскольку большая часть изображения остаётся неизменной от кадра к кадру. Коммерческие видео продукты, которые используют эту технологию, включают в себя: видеотелефоны, компьютерные программы для демонстрации кинофильмов, цифровое телевидение.

