

Основы цифровой обработки изображений

В ходе развития электронной микроскопии различные подходы применялись для улучшения качества изображений. Большинство из них было основано на усовершенствовании технических средств. Радиально симметричные линзы широко использовались в электронных микроскопах, но хроматические aberrации первого порядка и сферическая aberrация третьего порядка ограничивали разрешение электронных микроскопов. В 1936 Scherzer показал, что хроматические и сферические aberrации статических круглых линз всегда положительны при распространении пучка в незаряженной области. С другой стороны, при отказе от круговой симметрии могут быть получены отрицательные коэффициенты aberrации для компенсации коэффициентов хроматической и сферической aberrации круглой линзы до нуля.

Основы цифровой обработки изображений

- В 1948 Gabor предложил использовать голограмму для коррекции изображения при сильной аберрации линз. В этом случае устраняется негативное влияние недостатков оптических элементов на изображение в последующем шаге восстановления.
- Цифровая обработка изображений вскоре продвинулась далеко за пределы голографического восстановления. В конце 1960-х и в 1970-х годах трёхмерная реконструкция и фазовая проблема были основными задачами обработки изображения. После включения коррекции сферической аберраций в стандартные процедуры появились другие подходы к восстановлению выходной волны; в то же время применение коррекции в электронной томографии представляется трудной задачей.

Основы цифровой обработки изображений

Изображения, полученные с помощью электронного микроскопа, являются аппроксимациями идеальных 2D проекций наблюдаемых 3D структур. Результатом таких факторов, как aberrации линз, рассеяние электронов и дефокусировка, являются изображения, не представляющие истинные математические проекции. Такие изображения напоминают свёртку идеальной проекции с функцией рассеяния точки (ФРТ). Функция рассеяния точки (или размытие) - это отклик изображающей системы на предмет в виде точечного источника. Упрощённо процесс формирования изображения может быть формально записан как двумерная свёртка истинного изображения с ФРТ изображающей системы в виде:

$$\tilde{f} = f * h + n \quad (25)$$

где \tilde{f} – полученное изображение, f – истинное изображение, h – ФРТ, n – шум наблюдения, $*$ - дискретный 2D линейный оператор свертки.

Основы цифровой обработки изображений

ФПК часто используется в ПЭМ высокого разрешения для оценки и сравнения разрешения и предела увеличения различных микроскопов. ФПК модулирует амплитуду и фазу изображения дифракции электронов сформированного в задней фокальной плоскости линзы объектива. ФПК зависит от коэффициента сферической aberrации линзы объектива; длины волны, определяемой ускоряющим напряжением; степенью дефокусировки, пространственной частотой.

Основы цифровой обработки изображений

Основные стадии цифровой обработки изображений

Было бы полезно разделить изложенный в последующих главах материал на две большие категории, упомянутые в Разделе 1.1: методы, в которых на входе и на выходе имеются изображения, и методы, где на вход поступают изображения, а на выходе возникают признаки и атрибуты, выделенные на основании этих изображений. Такая организация материала книги сведена в схему, изображенную на Рис. 1.23. Эта схема не подразумевает, что к изображению применяется каждый из описанных процессов, напротив, целью было донести принципы всех методов обработки, который могут применяться к изображениям в различных целях и, возможно, с различными получаемыми результатами.

Основы цифровой обработки изображений



Рис. 1 Основные стадии цифровой обработки изображений.

Основы цифровой обработки изображений

Регистрация изображения — первый из процессов, показанных на Рис. 1. Заметим, что регистрация изображения может оказаться предельно простой, как в случае, когда исходное изображение уже представлено в цифровой форме. В общем случае стадия регистрации изображения включает некоторую предобработку, например, масштабирование.

Улучшение изображения входит в число наиболее простых и впечатляющих областей цифровой обработки изображений. По существу, за методами улучшения изображений стоит идея выявления плохо различимых деталей или просто подчеркивания интересующих характеристик на исходном изображении. Известным примером улучшения является усиление контраста изображения, потому что в результате «оно выглядит лучше». Важно иметь в виду, что улучшение качества — весьма субъективная область в обработке изображений.

Основы цифровой обработки изображений

Восстановление изображений — это область, также связанная с повышением визуального качества изображения, однако, в отличие от собственно улучшения, критерии которого субъективны, восстановление изображения является объективным в том смысле, что методы восстановления изображений опираются на математические или вероятностные модели искажений изображения. Напротив, улучшение изображений основано на субъективных предпочтениях человеческого восприятия, которые связаны с тем, что именно считается «хорошим» результатом улучшения.

Обработка цветных изображений приобрела особую важность в связи со значительным расширением использования цветных изображений в Интернет.

Основы цифровой обработки изображений

Вейвлеты образуют фундамент для представления изображений с несколькими степенями разрешения одновременно. В частности, этот аппарат используется применительно к сжатию данных изображения, а также для построения пирамидального представления, при котором изображение поэтапно разбивается на все более мелкие фрагменты.

Сжатие, как следует из самого названия, относится к методам уменьшения объема памяти, необходимого для хранения изображения, или сужения полосы пропускания канала, требуемой для его передачи. Хотя техника запоминающих устройств за последнее десятилетие была значительно усовершенствована, этого нельзя сказать в отношении пропускной способности линий связи.

Основы цифровой обработки изображений

Это особенно справедливо по отношению к информации в Интернет, где изобразительная составляющая является существенным элементом содержимого. Со сжатием изображений знакомо (возможно, не отдавая себе в этом отчета) большинство пользователей компьютеров, встречающих в именах графических файлов определенные расширения; например, jpg используется в стандарте сжатия изображений, разработанном Объединенной группой экспертов по фотографии (Joint Photographic Experts Group — JPEG).

Морфологическая обработка связана с инструментами для извлечения таких компонент изображения, которые могут быть полезны для представления и описания формы.

Основы цифровой обработки изображений

Сегментация разделяет изображение на составные части или объекты. В целом автоматическая сегментация принадлежит к числу самых трудных задач цифровой обработки изображений. Излишне подробная сегментация уводит процесс решения задачи обработки изображения на сложный путь, если требуется идентифицировать объекты по отдельности. С другой стороны, недостаточно подробная или же ошибочная сегментация почти неизбежно приведет к возникновению ошибок на финальной стадии обработки. В общем, чем точнее сегментация, тем больше шансов на успех при распознавании.

Представление и описание почти всегда следуют непосредственно за этапом сегментации, на выходе которого обычно имеются лишь необработанные данные о пикселях, которые либо образуют границу области (т.е. дается множество пикселей, отделяющих одну область изображения от другой), либо представляют все точки самих областей.

Основы цифровой обработки изображений

. В обоих случаях необходимо преобразовать данные в форму, пригодную для компьютерной обработки. Первое решение, которое следует принять, — должны ли эти данные представляться в форме границ областей или областей целиком. Представление границами подходит для тех случаев, когда в центре внимания находятся внешние характеристики формы областей, например, углы и изгибы. Представление областями более уместно, если акцент делается на внутренних свойствах объектов, например, текстуре или форме скелета. В некоторых приложениях эти представления дополняют друг друга. Выбор способа представления — лишь часть принятия решения по преобразованию «сырых» пиксельных данных в подходящую для дальнейшей компьютерной обработки форму. Должен быть еще указан метод описания данных, при котором бы выдвигались на передний план интересующие признаки.

Основы цифровой обработки изображений

Построение описания, иначе называемое *выбором признаков*, связано с выделением атрибутов, которые бы выражали интересующую количественную информацию или бы могли служить основой для различения классов объектов.

Распознавание представляет собой процесс, который присваивает некоторому объекту идентификатор (например, «транспортное средство») на основании его описателей.

Основы цифровой обработки изображений

До настоящего момента ничего не говорилось о необходимости априорных знаний. На самом деле, знание о проблемной области, т.е. база знаний, некоторым образом закодировано внутри самой системы обработки изображений. Это знание может быть очень простым, как детальное указание участков изображения, где должна находиться интересующая информация, что позволит ограничить область ее поиска. База знаний может быть и очень сложной, как, например, взаимосвязанный список всех наиболее вероятных дефектов в задаче контроля материалов, либо база данных спутниковых изображений некоторого района с высоким разрешением в прикладных задачах обнаружения изменений, происходящих в этом районе.

Основы цифровой обработки изображений

Помимо того, что база знаний руководит работой каждого модуля обработки, она также управляет взаимодействием между модулями. Эта отличительная особенность показана на Рис. 1 с помощью двунаправленных стрелок между обрабатывающими модулями и базой знаний, в отличие от однонаправленных стрелок, которые связывают модули обработки друг с другом.

Основы цифровой обработки изображений

Хотя мы не обсуждаем в этом месте задачу визуализации изображений, важно иметь в виду, что на выходе любой из показанных на Рис. 1.23 стадий может выполняться отображение результатов обработки. Отметим также, что не во всех прикладных задачах обработки изображений требуется вся сложность взаимодействия, подразумеваемого Рис. 1.23. На самом деле, в ряде случаев даже не все эти модули необходимы. Например, улучшение изображений для визуальной интерпретации человеком редко нуждается в использовании каких-либо других стадий из числа показанных на Рис. 1.23. В общем случае, однако, чем выше сложность задачи обработки изображений, тем большее число процессов требуется привлечь для решения этой задачи.

Основы цифровой обработки изображений

Повышение резкости

Один из самых популярных инструментов для повышения резкости изображения в фотографии - нерезкое маскирование. Этот фильтр резкости включает в себя три операции: размытие оригинала ядром сглаживания; вычисление маски вычитанием размытого изображения из оригинала; сложение маски, умноженной на коэффициент, с оригиналом. Хотя нерезкое маскирование не имеет теоретического обоснования, на практике оно зарекомендовало свою высокую эффективность в повышении резкости краёв без излишнего увеличения шума. Если ФРТ известна и шумы незначительны, то восстановить истинное изображение легко. Применение процедуры обратной свёртки основано на теоретической возможности воспроизведения изображения путём удаления эффекта рассеяния точки и шума.

Основы цифровой обработки изображений

Обратная свёртка может быть применена только к размытию, вызванному характерным профилем электронного зонда. В случае электронной микроскопии форма этого профиля известна лишь частично, но иногда и полностью неизвестна. Процесс определения ФРТ и восстановления неизвестного изображения в условиях отсутствия информации или частичных данных об изображающей системе известен как слепая обратная свёртка. Слепая обратная свёртка может быть выполнена итеративно, причём определение изображения и профиля пятна улучшается в каждом шаге, или не итеративно, если профиль пятна получен на основе внешней информации.

Основы цифровой обработки изображений

Целесообразная резкость зависит от величины контраста в прилегающих областях, т.е. можно больше повысить резкость краёв с лучшим воспринимаемым качеством, если окрестные области имеют более высокий контраст. Множество подходов разработано для коррекции влияния передаточных функций в процессе восстановления изображений электронной микроскопии. Большинство существующих в настоящее время методов допускают, что весь образец подвергнут размытию одной однородной передаточной функцией. Это предположение приемлемо в случае малости времени получения изображения по сравнению с процессами скапливания заряда, малости разрешения восстановленного изображения, однородности образца по материальному составу и топографии. Изменение размытия в пределах образца становится всё более очевидным с увеличением достижимого разрешения. Поэтому существует необходимость в методах коррекции изображений, учитывающих зависимость передаточных функций от положения в пространстве.

Основы цифровой обработки изображений

Устранение шума

В основном устранение шума производится с помощью сглаживающих фильтров, таких как размытие по Гауссу и сглаживание по прямоугольному окну. Медианная фильтрация также стала популярным инструментом предварительного сглаживания при обработке изображений, поскольку она обладает свойствами сохранения краёв (границ изображения) при удалении шума. Преимуществами медианного фильтра являются его концептуальная простота и минимальное размытие границ изображения.

Основы цифровой обработки изображений

Однако он менее эффективен в удалении Гауссова шума и шума случайной интенсивности, поскольку медианный фильтр может удалять шум при условии заполнения шумовыми пикселями менее половины окрестности области. В настоящее время более популярны сохраняющие края сглаживающие фильтры, включающие фильтр анизотропной диффузии и двусторонний фильтр. Двусторонний фильтр относительно прост и требует меньших вычислительных ресурсов по сравнению с фильтром анизотропной диффузии. Общие ограничения окрестности этих фильтров – это появление устойчивых областей, вызывающих эффект лестницы. Другим недостатком является невозможность сглаживания импульсного шума. В обсуждении отмечается, что Гауссовы фильтры сохраняют только плоские зоны, размывая или удаляя контура и детали изображения.

Основы цифровой обработки изображений

Анизотропная фильтрация сохраняет края прямыми, но вводит артефакты в плоские зоны. Таким образом, предлагается улучшить оба фактора посредством объединения двух фильтров. Двусторонняя фильтрация была применена для повышения контрастности и уменьшения шума, что позволило увеличить скорость выбора частиц в различных биологических приложениях электронной микроскопии. Основное отличие двусторонней фильтрации от других фильтров шумоподавления состоит в том, что она учитывает не только область наблюдения изображения, то есть соседство пикселей, но и диапазон значений пикселей. Фильтр заменяет значение пикселя средним значением подобных величин и значений близлежащих пикселей.

Основы цифровой обработки изображений

Двусторонняя фильтрация – это Гауссово размытие с сохранением изображения краёв. Этот алгоритм рассматривает только пиксели, близкие в пространстве и по их значениям. Если значения близки, то двусторонний фильтр работает как Гауссово размытие.