

## Глава 7

# Отделить зерна от плевел

*В этой главе...*

- ✓ Два типа данных — атрибутивные и непрерывные
- ✓ Способность системы измерения
- ✓ Немногочисленные критичные и многочисленные малозначительные факторы влияния
- ✓ Наблюдательные исследования как фильтрующий инструмент

**В** главах 4, 5 и 6 мы познакомились с многочисленными способами обнаружения всех возможных переменных  $X$ , влияющих на важный результат, процесс или характеристику, т.е.  $Y$ . В данной главе мы научимся выделять из массы потенциальных факторов влияния те немногочисленные, на которых следует сосредоточить свои усилия по улучшению.

Так же как резчик по дереву для каждого вида древесины выбирает другой нож, мы должны уметь выбирать из разнообразного набора инструментов “Шесть сигм” те, которые помогут нам сузить круг подозреваемых переменных. Выбор инструмента во многом зависит от типа используемых данных. Поэтому для начала необходимо научиться определять тип данных, с которыми мы работаем.

Областью потенциального влияния, которую часто упускают из виду при реализации проектов “Шесть сигм”, является сама система измерения. В “Шесть сигм” данные образуют фундамент наших знаний и решений. Несложно представить, что произойдет, если весь наш анализ и все наши решения будут базироваться на ошибочных данных. Поэтому нам совершенно необходимо исключить такую возможность.

Уменьшив большую подборку потенциальных факторов до небольшого количества основных, мы сконцентрируем свои ограниченные ресурсы на вопросах, которые действительно способствуют улучшению. Мы хотим, чтобы наши решения базировались на достоверных данных, а не на мнениях и догадках.

## *Типы данных*

Подобно йогуртам в рекламе, не все данные одинаково полезны. Прежде чем перейти к анализу собранных данных, надо понять, какого они типа. Так же как знание пищевых предпочтений рыбы говорит рыбаку, на какую наживку ловить разные виды, знание типа данных подскажет нам выбор измерительного инструмента.

### **Атрибутивные, или категориальные данные**

Некоторые данные описывают свойства (атрибуты) характеристики или процесса. Эти свойства называются категориями, а данные, в свою очередь, называются *атрибутивными*, или *категориальными*. Такие данные — качественные, т.е. описательные; они показывают не количественное измерение характеристики, а ее принадлежность к какой-

нибудь категории. Они также дискретные, прерывистые, в отличие от количественных данных, которые непрерывны.

Атрибутивные данные встречаются на каждом шагу.

- ✓ Телефонные коды регионов страны.
- ✓ Размеры одежды *S, M, L, XL, XXL*.
- ✓ Оценка только что собранного изделия: “Годно” или “Негодно”.
- ✓ Оценка результата процесса: “Хорошо” или “Плохо”.
- ✓ Названия фирм — производителей автомобилей: *Ford, Chevy, GM*.

Как проще всего определить, с данными какого типа вы работаете? Просто задайте себе вопрос: имеют ли смысл с этими данными такие математические действия, как сложение и вычитание?

Если ответ “нет”, вы имеете дело с атрибутивными (категориальными, качественными) данными. Например, что вы получите, просуммировав рубашку размера *S* с рубашкой размера *M*? Очевидно, такое действие бессмысленно. Еще пример: какой смысл в том, чтобы вычесть из телефонного кода 415 телефонный код 213? Формально мы получим число 202, но оно не имеет никакого смысла. Другими словами в обоих случаях (с рубашками и телефонными кодами) мы имеем дело с атрибутивными данными.

Никаких математических действий с атрибутивными данными производить нельзя, но можно подсчитать, сколько раз возникает каждая категория или атрибут. Например, в результате определенного производственного процесса за определенный период времени мы получили 152 годных изделия и 28 негодных. Именно с такого подсчета часто начинаются процедуры анализа, которые мы рассмотрим далее в главах 8, 9 и 10.

Еще раз повторим слова лорда Кельвина: “Мы немного знаем только о том, что способны измерить и описать в цифрах. Если же наши знания невозможно выразить в цифрах, это скудные и неудовлетворительные знания”. Измерение с помощью атрибутивных данных является первым шагом к удовлетворительному знанию того, *что* вы собираетесь улучшить. Даже несмотря на ограничения таких данных, они представляют собой гигантский первый шаг в мире улучшений “Шесть сигм”.



Среди атрибутивных данных есть подкатегория, дающая немного больше возможностей для анализа. Это так называемые *порядковые* данные. Их можно логично расположить по порядку от наименьшего к наибольшему или по шкале времени (временной шкале). Например, месяцы года: январь, февраль, март и т.д. Если вам нужно рассортировать внушительную пачку прошлогодних накладных, то одним из способов будет сортировка по месяцам, начиная с января. Еще пример. Если несколько работников выполняют одно и то же задание, то, даже не зная, сколько именно времени потратил каждый из них, вы можете расположить их в порядке завершения работы: первый, второй, третий и т.д. Порядковые данные — это мощный инструмент для начала анализа и программы улучшения.

## Непрерывные, или переменные данные

Еще раз вспомним главный вопрос, позволяющий нам определить тип данных: имеют ли смысл с ними такие математические действия, как сложение и вычитание?

Если мы отвечаем да, то, значит, мы имеем дело с *непрерывными*, или *переменными* данными.



Оба названия — *непрерывные* и *переменные* — неудачны для данных этого типа, однако они закрепились по историческим причинам. Предполагается, что название “непрерывные” отражает возможность появления любого значения этих данных на непрерывной шкале, такой, например, как шкала ртутного термометра. Название “переменные” передает ту же мысль: вдоль определенной шкалы данные меняются в любых пределах. Например, температура тела человека может равняться  $36,4^{\circ}\text{C}$  или  $36,5^{\circ}\text{C}$ , или  $36,6^{\circ}\text{C}$ . А теперь объясним, почему оба названия неудачны. Независимо от того, насколько непрерывной или переменной выглядит ваша шкала, когда вы переносите результаты измерений на бумагу или заносите в компьютер, вы все равно используете прерывистые (дискретные) значения. Например, хотя температура тела человека в действительности меняется непрерывно, в медицинской карточке ее записывают с шагом в одну десятую градуса ( $36,4^{\circ}\text{C}$  или  $36,5^{\circ}\text{C}$ , но не  $36,472^{\circ}\text{C}$ ). Волей-неволей мы перешли от непрерывных данных к прерывистым, хотя и очень дробным. Тем не менее, если над вашими данными можно производить такие математические действия, как суммирование и вычитание, вы имеете дело с непрерывными или переменными данными. Например, количество детей в любой семье всегда выражается целым числом — 1, 2 или 3 ребенка (физически невозможно иметь 2,3 ребенка). Поэтому шкала измерения количества детей в семье явно дискретна. И все же мы имеем дело с непрерывными данными, поскольку над ними можно производить имеющие смысл математические действия и определять, например, среднее по городу количество детей в семье, стандартное отклонение и т.п. Именно возможность производить математические действия служит признаком, отделяющим непрерывные данные от атрибутивных.

В табл. 7.1 показаны различные типы данных.

**Таблица 7.1. Типы данных**

Тип данных	Описание	Примеры
Атрибутивные, или категориальные	<ul style="list-style-type: none"><li>• Наблюдения попадают в отдельные (дискретные), со своим названием категории</li><li>• Над исходными данными невозможно выполнять никаких математических действий</li><li>• Можно подсчитать, сколько наблюдений попало в каждую категорию</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Цвет глаз: карие, голубые, зеленые</li><li>• Место: фабрика 1, фабрика 2, фабрика 3</li><li>• Результаты проверки: прошел, не прошел</li><li>• Размер: большой, средний, малый</li><li>• Проверка соответствия: годен, не годен</li><li>• Ответ в анкете: да, нет</li><li>• Посещаемость: присутствует, отсутствует</li><li>• Имя работника: Фред, Сюзанна, Холли</li><li>• Обработка: операция А, операция В</li></ul>
Непрерывные, или переменные	<ul style="list-style-type: none"><li>• Наблюдения принимают численное значение и не ограничены номинальными категориями</li><li>• Над исходными данными можно выполнять такие имеющие смысл математические действия, как сложение и вычитание</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Баланс банковского счета: доллары</li><li>• Длина: метры</li><li>• Время: секунды</li><li>• Сила электрического тока: амперы</li><li>• Ответы при опросе: 1 = не согласен, 2 = безразличен, 3 = согласен</li></ul>

Приведем примеры непрерывных данных.

- ✓ Оценки в школе.
- ✓ Температура духовки.

- ✓ Количество денег, которые вы тратите на бакалейные товары.
- ✓ Время, необходимое для выполнения задания.
- ✓ Расход бензина и километраж при поездке на автомобиле.

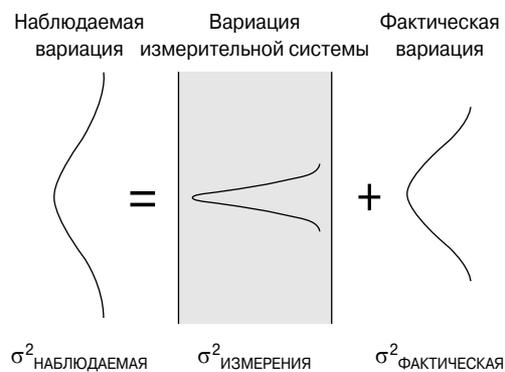
## *Избавляемся от иллюзий: анализ способности измерительной системы*

Измерения крайне важны. Это основа знаний и дальнейших улучшений. Посредством измерений мы проверяем, правильный ли получен ответ, устранена ли проблема, улучшена ли ситуация.

Без измерений даже при всем нашем желании обойтись невозможно. Потому что все наши наблюдения обязательно проходят через фильтр той или иной системы измерения: наши глаза, мозг, восприятие; линейку, секундомер; лазерный интерферометр и т.д. О любом предмете или явлении мы узнаем через ту или иную систему измерения. Поэтому мы должны точно знать, правильно ли наша система измерения отражает действительность.

Итак, избежать измерений невозможно. Заметим, что собственно акт измерения — это тоже процесс. И, подобно любому другому процессу, измерения тоже имеют свою вариацию. Вспомним олимпийское фигурное катание. Судьи исполняют роль своеобразной измерительной системы. Каждый судья оценивает выступление фигуристов какой-то оценкой. Чаще всего эти оценки разнятся. Значит, мы имеем вариацию измерительной системы. А на следующей Олимпиаде те же судьи поставят выступлению того же фигуриста другие оценки. Пример с олимпийскими судьями иллюстрирует работу практически любой измерительной системы.

Все, что мы наблюдаем в окружающем мире, мы наблюдаем через какую-нибудь несовершенную систему измерения. Каждый раз, помещая наблюдение в какую-либо категорию или выражая какой-нибудь атрибут (свойство) этого наблюдения количественно, мы делаем это через какую-то несовершенную систему измерения. Изложенная концепция отражена на рис. 7.1.



*Рис. 7.1. Все, что мы наблюдаем, искажается дополнительной вариацией нашей измерительной системы*

Метод “Шесть сигм” учит, что данные и измерения — это исходный пункт для обретения знаний и улучшения. Значит, прежде чем пойти по пути улучшения, надо выяснить, не искажает ли наша измерительная система наши наблюдения до степени иллюзии, когда то, что мы видим, не совпадает с действительностью.

## Источники вариации измерительной системы

Существует несколько аспектов измерительной системы, искажающих наши наблюдения.

### **Разрешающая способность измерительной системы**

Разрешающая способность измерительной системы — это минимальное приращение (или “минимальный шаг”) нашего процесса (или характеристики), которое она (система) способна обнаружить. Допустим, мы измеряем размер песчинок портновским метром. Очевидно, что серьезно к результатам таких измерений относиться нельзя. Миллиметровая шкала портновского метра недостаточно чувствительна (недостаточно “дробная”), чтобы “заметить” мелкие песчинки. Чтобы точно измерить размеры песчинок, нам понадобится более тонкая измерительная система, допустим, микроскоп, который позволяет наблюдать и измерять объекты, отличающиеся друг от друга на тысячные доли миллиметра. При такой системе мы вправе доверять измерениям размера песчинок.



На практике удобно руководствоваться таким правилом: шаг измерительной системы должен быть по крайней мере в десять раз меньше спецификации или вариации измеряемого процесса. Например, чтобы точно замерить вариацию процесса, длительность которого колеблется в пределах от девяти до десяти минут, нужна измерительная система с шагом не более чем 0,1 минуты.

Концепция разрешающей способности используется и в случае измерения атрибутивных данных. Например, опрос потребителей, при котором нужно дать один из двух ответов — “удовлетворен” или “не удовлетворен”, — имеет меньшую разрешающую способность, чем опрос, при котором у потребителей есть пять вариантов ответов — “в полном восторге”, “удовлетворен”, “безразличен”, “неудовлетворен” и “совершенно возмущен”.

### **Точность измерений**

Понятие “точность” подразумевает степень смещения вариации вашей измерительной системы относительно фактической вариации процесса или характеристики. Это изображено на рис. 7.2. На рис. (а) центр точек, представляющих изменчивость показаний измерительной системы, приблизительно совпадает с центром мишени, представляющим фактическую вариацию измеряемого процесса (или характеристики), поэтому мы признаем измерительную систему, изображенную на рис. (а), точной. С другой стороны, измерительная система на рис. (б) смещена относительно центра фактической вариации процесса или характеристики, поэтому ее мы называем неточной.

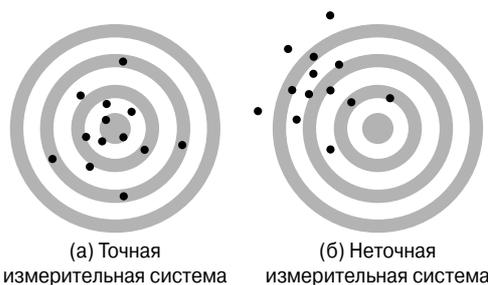


Рис. 7.2. Каково положение вариации измерительной системы относительно центра фактической вариации процесса (характеристики)?



Породить в измерительной системе проблемы с точностью способны несколько условий. Иногда в ней наблюдается проблема с *линейностью*. Измерительная система называется достаточно линейной, если центрирование и величина ее вариации остаются постоянными на всем рабочем диапазоне. И наоборот: она считается недостаточно линейной, если центрирование и величина ее вариации меняются в пределах рабочего диапазона. Измерительная система называется *стабильной*, если она постоянно остается центрированной и не имеет проблем смещения. В нестабильной измерительной системе положение центра вариации постоянно меняется.

### **Прецизионность измерений**

Точность и прецизионность — два разных свойства измерительной системы. *Точность* характеризует расположение вариации измерительной системы относительно центра фактической вариации процесса (или характеристики). *Прецизионность* же характеризует ширину разброса вариации измерительной системы относительно фактической вариации измеряемого процесса (или характеристики). Понятие прецизионности измерительной системы представлено на рис. 7.3. На рис. (а) точки, показывающие изменчивость измерительной системы, сгруппированы кучно относительно центра мишени, представляющего фактическую вариацию измеряемого процесса (или характеристики). Измерительная система, изображенная на рис. (а), является прецизионной даже несмотря на то, что она неточная по своему положению. На рис. (б) вариация измерительной системы меняется в широких пределах в сравнении с фактической вариацией процесса или характеристики. Хотя измерительная система (б) точна по своему положению, она не прецизионна.

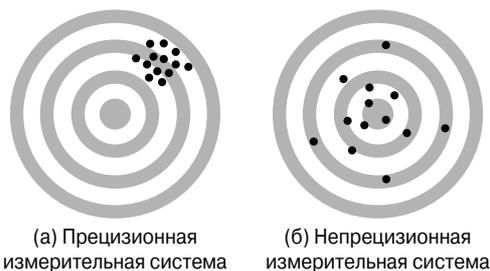


Рис. 7.3. Вариация измерительной системы

Прецизионность измерительной системы зависит от двух компонентов, названия которых часто упоминаются в разговорах практиков “Шесть сигм”: повторяемость и воспроизводимость.

- ✓ *Повторяемость* — это часть вариации измерений, которая возникает при их повторении с тем же объектом, по тому же измерительному протоколу, с тем же измерительным оборудованием и в идентичных условиях. В определенном смысле повторяемость можно рассматривать как краткосрочную часть вариации измерительной системы.
- ✓ *Воспроизводимость* — это часть вариации измерений, которая возникает при их повторении с разными объектами, по разным измерительным схемам, с использованием различного измерительного оборудования и в разных условиях. Воспроизводимость отражает все влияния долгосрочной вариации в вашей измерительной системе.

Совместно повторяемость и воспроизводимость охватывают всю прецизионность измерительной системы. В “Шесть сигм” эти два понятия обозначают одним акронимом — Пив (услышав это слово, гоните прочь от себя мысли о пиве, а думайте о качестве своей измери-

тельной системы). Акроним ПиВ (*R&R*) используют для описания прецизионности измерительного прибора.

## Измеряем измерения: анализ измерительной системы (*MSA*)

Итак, как же измерить качество измерительной системы? Делается это несколькими способами в зависимости от типа собираемых данных измерений и типа используемой измерительной системы. Рассмотрим три типичных вида анализа измерительной системы (*MSA*): аудит, анализ системы измерения атрибутивных данных и анализ системы измерения непрерывных переменных.

### **Аудит измерительной системы**

*Аудитом* называют анализ измерительной системы, при котором измерения сравниваются с известным и правильным стандартом. Например, можно сравнить показания вашей компьютерной складской системы учета с фактическим наличием физических объектов на складе. Любые различия между двумя инвентарными списками отражают вариацию измерительной системы.

Рассмотрим такой пример. Прочтите следующий абзац как можно быстрее. Во время чтения обводите кружочком все буквы “п”, независимо от того, какого они вида — прописные или строчные. Читайте быстро, не возвращаясь назад и не перечитывая фрагменты текста.

- ✓ Необходимость подготовки сельскохозяйственных помощников для первоклассных сельхозпредприятий, где племенной скот содержится в превосходных условиях, с патриархальной заботой и опекой, является первостепенной проблемой для сельхозпроизводителей. Поскольку предки и предшественники этих сельхозпроизводителей воспитывали себе помощников в духе патриархальной заботы и опеки над племенным скотом, который выращивают сельхозпредприятия, нынешние сельхозпроизводители понимают, что они должны поддерживать патриархальные правила и порядки в части подготовки сельскохозяйственных помощников для первоклассных сельхозпредприятий по выращиванию племенного скота, потому что они, т.е. сельхозпроизводители, признают приоритет превосходной профессиональной подготовки в племенном животноводстве.

А теперь подсчитайте, сколько букв “п” вы нашли в этом абзаце. На самом деле их ровно 46.

Быстрое чтение абзаца с одновременным выделением букв “п” — это тоже измерительная система. (Она очень похожа на инспекции, которые вводят в процесс для определения качества производимой продукции.) Насколько хороша ваша измерительная система? Сколько процентов найденные вами буквы “п” составляют от их общего количества в выделенном абзаце? Такой анализ измерительной системы и называется аудитом.

### **Визуальная инспекционная система**

В середине 1980-х годов одна компания — производитель жестких компьютерных дисков — никак не могла решить проблему низкого выхода качественной продукции. Сложность заключалась в том, что чувствительное магнитное покрытие дисков имело дефекты. Чтобы обнаружить и устранить их, разработали свод очень строгих стандартов и испытаний.

И вот однажды конструкторы заметили на магнитном покрытии дисков видимые дефекты и пятна. Они решили, что это и есть проблема, которую они так долго искали. Конструкторская служба немедленно потребовала у производственной ввести визуальную инспекцию каждого диска по окончании и без того строгого проверочного цикла. Каково же было удивление конструкторов, когда после введения визуальной инспекции уровень брака подскочил с восьми процентов до десяти! При цене 30 долл. за диск завод стал терять в месяц почти 300 тыс. долл.!

Тогда разработчики предложили ужесточить спецификации магнитного покрытия. Однако производственная служба попросила конструкторскую сначала прислать представителя, чтобы тот выполнил аудит визуального инспекционного процесса. По прибытии на место представитель решил провести несколько экспериментов для изучения визуальной инспекции качества магнитного покрытия дисков. Сначала он отправил партию забракованных дисков опять на визуальную инспекцию, но инспекторам об этом не сказал. Результат оказался настолько поразительным, что представитель повторил эксперимент еще несколько раз. И каждый раз появлялись все те же пресловутые десять процентов!

Вооруженный новыми знаниями, конструктор провел следующий эксперимент. Теперь он тайно отправил на повторную визуальную инспекцию уже успешно ее прошедшую партию дисков. И что же? Откуда ни возьмись опять появились ровно десять процентов брака.

И последний тест. Конструктор отправил на заключительный сборочный этап две партии дисков — прошедших визуальную инспекцию и не прошедших. Результат можно было бы назвать удивительным, но конструктора уже ничего удивить не могло: жесткие диски с забракованным визуальной инспекцией магнитным покрытием прошли итоговый контроль качества лучше, чем диски с признанным качественным магнитным покрытием.

Очевидно, эта компания жила в иллюзии измерительной системы. Визуальная инспекция, которую она включила в процесс контроля качества, не только не принесла компании каких-либо преимуществ, но еще и стоила ей 300 тыс. долл. убытков ежемесячно из-за ошибочно забракованного магнитного покрытия.

Промышленные инженеры установили, что инспекционные измерительные системы, в которых главную роль играет человек (инспектор), эффективны приблизительно на 80%. Однако большинство людей пребывают в плену иллюзии, будто они обеспечивают 100%-ный контроль. Простой аудит покажет, насколько эффективна ваша измерительная система.

Как улучшить эффективность инспекционной измерительной системы?

- ✓ Разделить крупный объем проверки на меньшие части и распределить их между несколькими инспекторами.
- ✓ Точнее сформулировать критерии инспекции и проиллюстрировать их графическими изображениями, примерами и т.д.
- ✓ Проверку одного объекта должны выполнять по очереди несколько инспекторов, что позволит постепенно повысить эффективность инспекционного процесса в целом.
- ✓ Для исключения человеческой ошибки следует использовать технологии и автоматизацию.



*Диаграммы Парето* — мощный диагностический инструмент для обнаружения проблем измерительной системы. Вильфредо Парето (1848-1923 годы) — итальянский экономист, предположивший, что 80% общественного богатства сосредоточены в руках 20% населения. С тех пор как Парето сформулировал свое знаменитое утверждение, другие исследователи подтвердили его применимость и ко многим другим явлениям, включая распределение измеренных дефектов. Например, обнаружилось: 80% наблюдаемых дефектов товара или процесса обусловлены двадцатью процентами возможных причин. Если построить столбиковую диаграмму для наблюдаемого количества дефектов разных типов, а затем расположить столбики в порядке убывания частоты встречаемости разных дефектов, то мы увидим, что лишь несколько первых категорий обуславливают существенную часть общего

количества дефектов. Поэтому если в вашей измерительной системе предусмотрена функция распределения дефектов по разным категориям, а диаграмма Парето показывает приблизительно равный вклад каждой категории в суммарное количество дефектов, то вы должны заподозрить: с вашей измерительной системой что-то не так. И наоборот: здоровая измерительная система ясно показывает, что большинство дефектов обусловлены всего лишь несколькими причинами. (*Принцип Парето* еще называют *правилом 80–20*.)

### **Анализ атрибутивной измерительной системы**

Когда вы измеряете атрибутивные данные — например, определяя, успешен или неуспешен процесс выпики накладной, или распределяя бракованные товары по типу брака, — вам важно установить насколько надежна и стабильна ваша способность разносить объекты по правильным категориям. Опасность неточной атрибутивной измерительной системы двояка: вы можете ошибочно принять бракованный объект или же отвергнуть качественный. В любом случае вы примете решение, противоречащее действительности.

Рассмотрим некую измерительную систему, распределяющую объекты (будь то характеристика или процесс) в одну из двух категорий — выдержал или не выдержал проверку. Ниже предложен пошаговый план исследования эффективности такой измерительной системы.

#### **1. Отберите 15–30 измеряемых образцов.**

Эти образцы должны представлять полный диапазон обычно наблюдаемой вариации; приблизительно половина образцов должна представлять категорию “выдержал проверку”, другая половина — категорию “не выдержал проверку”.

#### **2. Создайте золотой стандарт, точно распределив образцы по двум категориям.**

Для этого соберите группу экспертов или используйте какой-нибудь заведомо абсолютно правильный стандарт.

#### **3. Выберите двух или трех инспекторов.**

Они должны инспектировать образцы в случайном порядке и записывать свои выводы — выдержал образец проверку или не выдержал.

#### **4. Затем перемешайте образцы (или покрутите инспекторов до головокружения), после чего инспектора опять должны проверить образцы в случайном порядке и записать повторные измерения.**

*Примечание.* Важно обеспечить условия для беспристрастной работы инспекторов, чтобы они во второй раз инспектировали образцы так же, как в первый. Возможно, стоит между первым и вторым циклом измерения выдержать один день. Для второго инспектирования образцы должны быть расположены в случайном порядке — это критичное условие.

#### **5. Для каждого инспектора рассчитайте процентную долю совпадений первых результатов измерения со вторыми. Это будет *повторяемость* для каждого отдельного инспектора.**

Усреднив все индивидуальные уровни повторяемости инспекторов, получим общую повторяемость системы измерения.

*Примечание.* Расчетная повторяемость отдельных инспекторов должна быть как можно более близкой к 100%. Если же у какого-нибудь инспектора она заметно меньше этой величины, то данного человека придется признать неспособным стабильно отличать качественные объекты от некачественных. Правда, тренировки позволяют повысить качество работы инспектора.

6. Для каждого образца рассчитайте процентную долю тех зарегистрированных измерений, которые каждый инспектор дважды повторил правильно сам и так же правильно их повторили все другие инспектора. Это называется *воспроизводимостью* измерительной системы.

Расчетная воспроизводимость измерительной системы показывает, насколько прецизионна измерительная система за длительное время — для разных инспекторов, разных измерительных протоколов и при разных внешних условиях.

7. Вы также можете рассчитать процентную долю времени, когда отдельные инспектора и группа инспекторов приходят к одному мнению и измеряют согласно золотому стандарту, созданному на шаге 2.

Так вы выясните, насколько стабильно ваша измерительная система обнаруживает образцы, которые действительно выдержали или не выдержали проверку по заключению группы экспертов.

Приведем пример. При изучении измерительной системы 63%-ное согласие между всеми инспекторами для всех образцов с золотым стандартом означает, что данная измерительная система правильно распознает образцы лишь с 63%-ной вероятностью, а вероятность ошибки составляет 37%. Очевидно, цель заключается в создании измерительной системы с как можно более высокой эффективностью, для чего согласие должно максимально возможно приближаться к 100%.



Для случаев, когда атрибутивная измерительная система имеет больше двух категорий, предусмотрены более тонкие аналитические инструменты, такие как каппа-анализ. Они встроены в мощные программные пакеты статистического анализа — Minitab, JMP, другие.

### **Анализ измерительной системы непрерывных данных**

Для анализа измерительной системы непрерывных, или переменных, данных в нашем распоряжении имеется больше инструментов и методов. Но во всех случаях обязательно математическое сравнение общей наблюдаемой вариации с той долей вариации, которая порождена самой измерительной системой.

Вспомним рис. 7.1. Общая наблюдаемая вариация составлена из двух частей — вариации измеряемого объекта или процесса и вариации, порожденной самой измерительной системой. Уравнение полной вариации записано через дисперсии (определение дисперсии см. в главе 5):

$$\sigma_{\text{НАБЛЮДАЕМАЯ}}^2 = \sigma_{\text{ИЗМЕРЕНИЯ}}^2 + \sigma_{\text{ФАКТИЧЕСКАЯ}}^2$$

Вклад эффективной измерительной системы мал по сравнению с общей наблюдаемой вариацией. В табл. 7.2 показаны различные значения соотношения между дисперсиями измерительной системы и наблюдаемой, а также приведены рекомендуемые действия в каждой ситуации.

Математически сравнить вариацию измерительной системы с общей наблюдаемой вариацией несложно. Сложно другое: получить хорошую оценку вариации измерительной системы, от которой можно отталкиваться при сравнении.

Для правильной оценки дисперсии измерительной системы обычно требуются два-три инспектора и пять-десять результатов процесса или характеристик. Затем каждый инспектор два-три раза измеряет каждый результат процесса или каждую характеристику. Получив эти данные, далее можно использовать такие мощные инструменты статистического анализа, как Minitab или JMP, для автоматических аналитических расчетов, чтобы потом, если потребуется, диагностировать и улучшить измерительную систему.

**Таблица 7.2. Значения отношения дисперсии измерительной системы к наблюдаемой дисперсии и их интерпретация**

Расчетное отношение дисперсий	Диагноз	Рекомендации
$\frac{\sigma_{\text{ИЗМЕРЕНИЯ}}^2}{\sigma_{\text{НАБЛЮДАЕМАЯ}}^2} \leq 0,1$	Хорошая измерительная система. Вклад измерительной системы в общую наблюдаемую вариацию достаточно мал, поэтому мы вправе принимать решения на основании наших измерений	Данную измерительную систему можно использовать в ее существующем виде. Разве что поискать возможности упростить ее или сделать менее дорогостоящей или более экономичной
$0,1 \leq \frac{\sigma_{\text{ИЗМЕРЕНИЯ}}^2}{\sigma_{\text{НАБЛЮДАЕМАЯ}}^2} \leq 0,3$	Маргинальная измерительная система (т.е. на границе между хорошей и плохой). Ее вклад в общую наблюдаемую вариацию начинает искажать результаты измерения. Присутствует значительный риск принять на основании наших измерений ошибочные решения	Используйте эту измерительную систему осторожно и лишь в отсутствие альтернативы. Займитесь улучшением данной измерительной системы через тренировку операторов, стандартизацию измерительных процедур, поиск нового измерительного оборудования
$\frac{\sigma_{\text{ИЗМЕРЕНИЯ}}^2}{\sigma_{\text{НАБЛЮДАЕМАЯ}}^2} \geq 0,3$	Неприемлемая измерительная система. Простое угадывание (“метод научного тыка”) дает, пожалуй, такую же точность. Не принимайте важных решений на основании информации, полученной с помощью этой измерительной системы	Прежде чем собирать достоверную информацию с помощью этой измерительной системы, ее необходимо исправить. Для начала следует выяснить причины столь неточной ее работы

## *Заполняем фильтрующую воронку*

Чтобы получить из носика фильтрующей воронки концентрированный поток, сначала надо заполнить ее до краев. Фильтрующая воронка “Шесть сигм” тоже подчиняется данному правилу. Вы начинаете с того, что, отрешившись от эмоций, включаете в свой проект все возможные причины проблем. Но по мере того как вы анализируете данные, вам становится понятно, какие переменные сохранить для последующего анализа, а какие смело отбросить как ненужный балласт.

### **Пусть говорят данные**

Один из признаков зрелости в “Шесть сигм” — это способность без тени сомнения полагаться на данные. Данные позволяют понять прошлые события. С их помощью мы понимаем и улучшаем текущую ситуацию. А еще они служат базой для прогнозирования будущего.

В “Шесть сигм” данные имеют приоритет перед мнениями, рассуждениями, догадками и политикой. Принимать решения на основании данных — это культура “Шесть сигм”. Люди “Шесть сигм” говорят: “Богу мы просто верим; все остальные должны предоставить факты”.

При использовании “Шесть сигм” в чистом виде мы следуем правилу “Пусть говорят данные”. Мы отказываемся от суждений о проблемах нашей организации и о возможном их решении, а вместо этого спокойно слушаем то, что говорят данные о ситуации и о том, как ее исправить. Такой новый образ действий проистекает из приобретенной уверенности в науке и силе “Шесть сигм” — в том, что более эффективный сбор данных о процессе и их анализ раскрывают реальную, неискаженную правду о нем, а также самое эффективное решение задачи длительного улучшения.

## Забрасывайте широкую сеть

“Пусть говорят данные”, а слушать их мы можем разными способами. В главе 11 мы рассмотрим такие инструменты, как карту процессов, диаграммы “рыбья кость” (елочная), матрицы  $X$ - $Y$  и анализ эффектов отказных режимов (АЭОР ( $FMEA$ )). Это очень мощные инструменты, позволяющие выявить потенциальные факторы влияния на процесс. В данной же главе мы рассмотрим графические инструменты для обработки данных и поиска таких факторов; в главе 8 научимся проводить проверку статистических гипотез; глава 9 посвящена экспериментальным исследованиям. На рис. 7.4 показано, как последовательно использовать все перечисленные инструменты, чтобы идентифицировать — а затем сузить — поле потенциальных входных факторов  $X$  в уравнении  $Y = f(X)$ .



Рис. 7.4. Инструменты для идентификации всех потенциальных входных факторов  $X$  и выбора из них только критичных  $X$

Для успеха программы по улучшению необходимо забросить широкую сеть, чтобы выловить как можно больше потенциальных  $X$ . Затем с помощью инструментов “Шесть сигм” — а не полагаясь на свои предубеждения или мнения, — естественным образом удалить не критичные  $X$  и оставить критичные. Это одно из замечательных свойств “Шесть сигм”: применяя метод механически, по алгоритму, а не полагаясь на свою проницательность, вы все равно целенаправленно идете к решению поставленной задачи по улучшению.

## Обработка данных

Обработка данных сродни переработке золотоносной руды — нужно перелопатить горы пустой породы, чтобы найти несколько самородков. В “Шесть сигм” мы перерабатываем массу исходных данных, чтобы отыскать подсказки для своего проекта по улучшению.

## Начинайте с простейшего: наблюдательные исследования

С чего мы начинаем поиск самородков улучшения? И какие для этого нужны инструменты? Практики “Шесть сигм” усовершенствовали процесс обработки данных и свели его к набору эффективных и мощных инструментов.

## Данные повсюду вокруг нас

Вокруг нас существует целый мир потенциальных данных.

- ✓ Два-три раза в месяц вы доверху заполняете топливный бак вашей машины, но каждый раз получается несколько иное количество бензина.
- ✓ Количество пачек бумаги, которую расходует копировальный центр, меняется ежемесячно.
- ✓ В каждой аудитории находится свое количество студентов.
- ✓ На одном процессе в разные смены работают разные люди.
- ✓ Скорость подачи фрезерного станка меняется в зависимости от рабочего задания.

Этот список можно продолжать бесконечно.

Первый шаг переработки огромных массивов данных — просто начать наблюдение за всеми потенциальными входными и выходными переменными вашего проекта по улучшению и записывать их.



Данные по проекту записывайте в табличной форме; все переменные  $X$  и  $Y$  — в столбцах, а новые наблюдения — в строках, как в табл. 7.3.

Таблица 7.3. Типовая форма для регистрации данных наблюдений

№ наблюдения	Департамент ( $X_1$ )	Час дня ( $X_2$ )	Система ( $X_3$ )	Оператор ( $X_4$ )	Штук в час ( $Y$ )
1	B	8	Web	Салли	43
2	A	5	Web	Салли	37
3	B	4	Web	Боб	44
4	B	8	Настольный компьютер	Салли	35
5	B	4	Web	Салли	42
6	A	5	Web	Салли	39
7	B	3	Центральный компьютер	Салли	41
8	A	8	Центральный компьютер	Джоан	36
9	A	1	Web	Салли	39
10	B	4	Центральный компьютер	Джоан	40

### Пытливый ум: исследования на основе наблюдений

Думать, размышлять над зарегистрированными наблюдениями и анализировать их — это проверенный путь к лучшему пониманию. В “Шесть сигм” подобный процесс называют одним обобщающим термином *исследования на основе наблюдений* (или *наблюдательные исследования*). Они включают анализ вариации наблюдаемых критичных выходных факторов и исследование того, от каких входных факторов она зависит. Другими словами, мы ищем потенциальные источники вариации.

Наблюдательные исследования отличаются от плановых экспериментов. В первых мы исследуем вариацию и данные в их естественном виде, какие бы значения мы ни регистрировали. А в эксперименте мы целенаправленно регулируем переменные значения, чтобы выяснить, каким будет результат при определенных входных условиях. Правда, эксперименты обеспечивают большее понимание и разрешающую способность, чем наблюдательные иссле-

дования. (О разработке и выполнении экспериментов мы узнаем в главе 9.) Однако проводить масштабные эксперименты иногда невозможно по техническим или этическим причинам. Например, вряд ли будет правильно расширить учебную группу в детском саду до 75 человек, чтобы проверить, как такая “перенаселенность” повлияет на успеваемость малышей. Поэтому исследователи проблем образования собирают данные о реальных учебных группах разных размеров в детских садах, т.е. проводят наблюдательные исследования.



Обычно в результате исследований на основе наблюдений мы получаем список возможных подозреваемых. Этот более узкий список переменных мы далее исследуем с помощью методов, рассмотренных в главах 8 и 9, чтобы оправдать отдельного “подозреваемого” либо получить против него неоспоримые “улики”. Правда, иногда реальных “виновников” удастся выявить сразу же, на стадии наблюдательных исследований. Поэтому всегда надо быть внимательными, чтобы не делать лишнюю работу.

## Копаем глубже: графическим анализом выявляем потенциальные источники вариации

Чтобы узнать, влияет ли наблюдаемый входной фактор на наблюдаемый выходной, следует создать группу диаграмм “ящик с усами” для критичного выходного фактора таким образом, чтобы каждая отдельная ящичная диаграмма соответствовала новому условию входной переменной (подробно о таких диаграммах рассказывалось в главе 5). Для автоматического построения ящичных диаграмм существует несколько компьютерных программ, включая Minitab, JMP, Excel.

### Пример

Табл. 7.3 — это частичный список данных, собранных для одного транзакционного процесса. Ключевой результат ( $Y$ ) показывает часовую производительность в штуках. Нашей “широкой сетью” были захвачены такие возможные входные факторы влияния, как департамент, выполняющий транзакцию ( $X_1$ ), час дня, когда она была выполнена ( $X_2$ ), вид использованной рабочей системы ( $X_3$ ) и имя работника, выполнившего транзакцию ( $X_4$ ). В данном примере было собрано более 200 исторических наблюдений.

Какой эффект оказывает конкретный работник ( $X_4$ ) на производительность ( $Y$ , количество штук в час)? На рис. 7.5 представлен набор ящичных диаграмм  $Y$  для каждого значения входного фактора  $X_4$ .

Зависит ли количество выполненных за час транзакций от того, кто делал эту работу — Боб, Джоан или Салли? Из рис. 7.5 ясно видно, что операторы почти не разнятся между собой по производительности. У них приблизительно один и тот же средний уровень и вариация одной и той же величины. Из этого следует вывод, что переменная  $X_4$  (работник) не является ключевым фактором влияния на вариацию результата.



Статистики с помощью более сложных методов рассчитывают по данным рис. 7.5 вариацию между центрами вариации для разных значений  $X_4$  и называют полученную величину *межгрупповой вариацией*. Затем выполняют аналогичные вычисления для количественной оценки средней ширины вариации всех условий (значений) переменной и называют эту величину *внутригрупповой вариацией*. Если межгрупповая вариация велика по сравнению с внутригрупповой, статистики делают вывод, что исследуемая переменная действительно влияет на результат (на выходной фактор). Но описанный выше графический метод позволяет обойти все эти сложные математические вычисления и более простым, интуитивным способом прийти к аналогичным выводам.

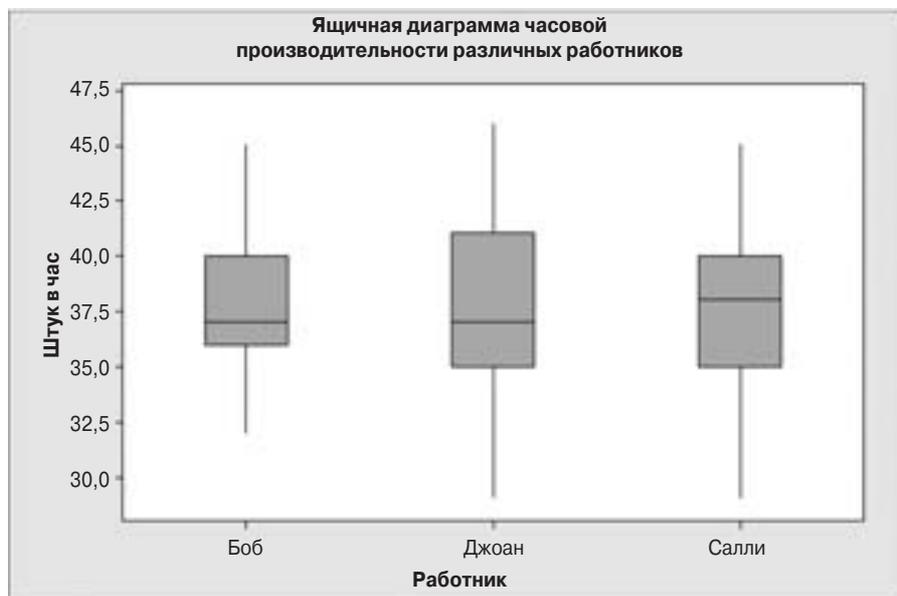


Рис. 7.5. Влияние каждого отдельного работника на часовую производительность

Вернемся к нашему примеру. Что мы скажем о зависимости результата от того, какой департамент ( $X_3$ ) выполняет транзакции? На рис. 7.6 изображена еще одна группа диаграмм “ящик с усами” для двух департаментов.

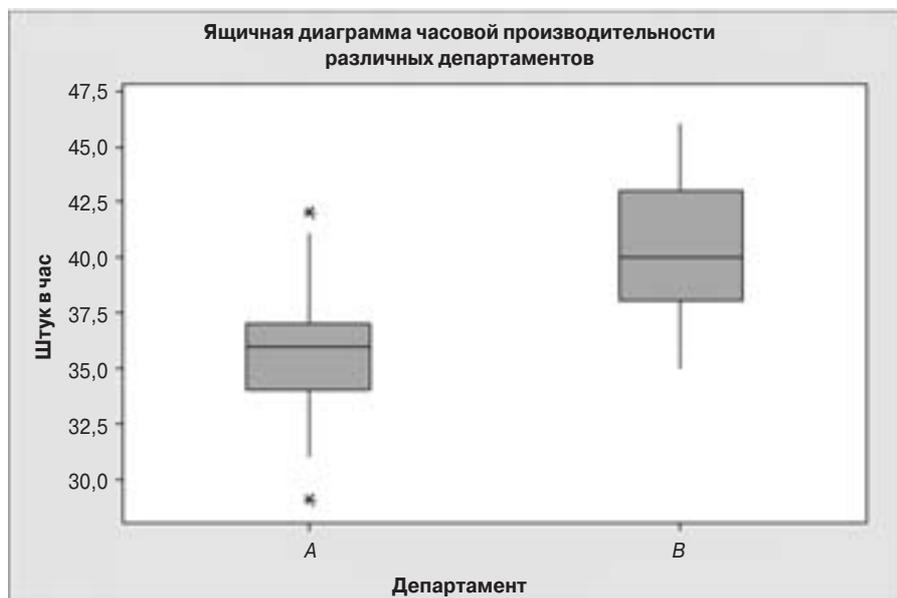


Рис. 7.6. Влияние каждого департамента на часовую производительность

По этому графическому изображению сразу видно, что разница между центрами вариации для департаментов *A* и *B* существенна по сравнению со средней шириной вариации внутри департаментов. Вывод: от того, какой департамент выполняет транзакции, действительно зависит часовое количество последних. Эта переменная проходит через нашу фильтрующую воронку и поступает на следующий этап исследований, чтобы мы могли вынести окончательное решение.



Еще один метод наблюдательных исследований заключается в корреляционных вычислениях (о них подробнее в главе 8). Они приводят нас к тем же выводам, но уступают графическому методу в простоте и легкости интерпретации.

### **Другие методы наблюдательных исследований**

Их довольно много; назовем основные.

- ✓ **Многoperенные исследования.** Позволяют изучить одномоментное влияние нескольких входных переменных на критичный результат.
- ✓ **Диаграммы основных эффектов.** Будут представлены в главе 8 как основной графический метод. Это чрезвычайно простой и мощный способ исследовать основной эффект переменной, а также его различные уровни, на критичный результат.
- ✓ **Диаграммы эффектов взаимодействия.** Иногда одна переменная сама по себе не существенно влияет на результат. Но в комбинации с другими переменными ее эффект становится гораздо заметнее. Это называется *эффектом взаимодействия*. Например, если в сырое тесто для торта добавить куриные яйца и попробовать смесь, она нам вряд ли понравится. Но если добавить еще *и* второй входной фактор — разогретую духовку, — то получим вкуснейший десерт.

Все эти дополнительные исследования на основе наблюдений доступны в большинстве существующих в продаже компьютерных программных пакетов “Шесть сигм” (см. главу 11). Сегодня мы имеем возможность выполнять такой анализ автоматически, что дает нам несомненное преимущество перед нашими предшественниками.