Data Science для решения задач информационной безопасности

Лекция 1. Экспертные системы, полнота, точность. Задачи ИБ, решаемые ЭС.

Павел Владимирович Слипенчук

17 сентября 2019

Москва, МГТУ им.Бауманка,
каф.ИУ-8, КИБ

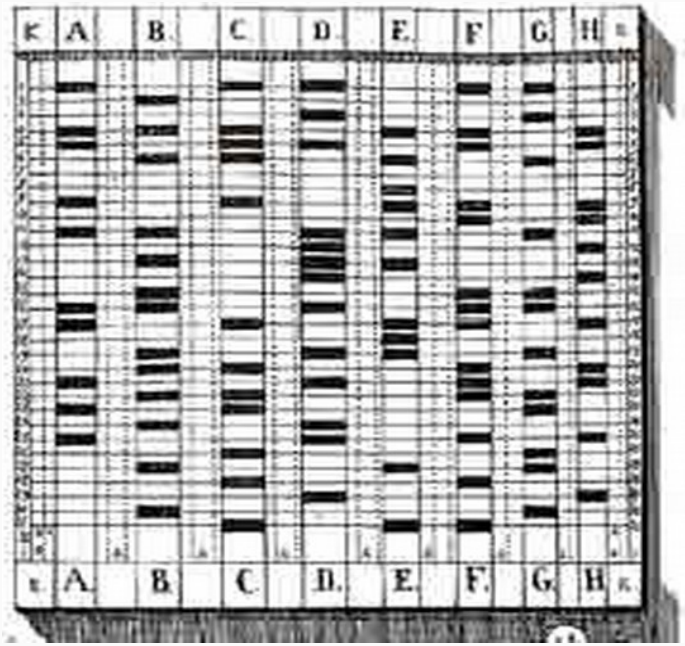
План лекции

1. История. Заметки
2. Экспертная система. Априорная и апостериорная вероятности. Полнота, точность экспертной системы
3. Задачи ИБ, решаемые экспертными системами

История. Заметки

Гомеоскоп Корса́кова

Семён Павлович Корса́ков (1787-1853) – изобретатель первых экспертных систем (механических): гомеоскопов, применявшихся в медицине.



Домашнее задание:
`https://ru.wikipedia.org/wiki/Гомеоскоп`

XVII-XIX

- **«Паскалина»** – суммирующая машина Блеза Паскаля (1642).
- Разностная машина Иоганна Мюллера (1788, не построена)
- Разностная машина Чарльзя Бебиджа (малая 1822, построена; большая 1849, построена в 2000)
- Гомеоскоп С.Н.Корсакова (1832)

1930-е

- Советский физиолог Пётр Кузьмич Анохин формулирует понятие «обратной связи» (1935)
- Взлом шифровальной машины «Энигма» (Мариан Реевски). Проект «Бомба» (Ежи Рожицки, Генрих Зыгальски). Передача чертежей и спецов в Кабацком лесу под Варшавой английской разведке (1936). Проект «Колосс» (под руководством Алана Тьюринга,1936-1941)
- Фашистский антикварный проект (первый гипертекст, 1937)
- Первые ЭС для военных целей (зенитные орудия, ТАУ, 1939).
- Системы автоматического регулирования (САР), Владимира Викторовича Солодовникова (1939)

1940-е

- Машина Конрада Цузе (1941) и высокоуровневый язык програмирования: Планкалкюль (1948)
- ENIAC Джона Мокли и Джона Преспера Эккерта (1943, 1946 публично представлен)
- «Кибернетика» Норберта Винера (1948)

В.М.Глушков & А.И.Китов. Проект ОГАС.

- ОГАС[1] и ЕГСВЦ[2] Анатолия Ивановича Китова и Виктора Михайловича Глушкова. (1958-1964).
- МИР[3] Глушкова – первый ПК.

(!) В 1964 году выходит статья в The Washington Post «Перфокарта управляет Кремлём», после которой Политбюро ЦК КПСС принимает решение о сворачивании проекта ОГАС.

ДЗ. Проект «Киберсин» в Чили.

[1] Общегосударственная Автоматизированная Система
[2] Единая Государственная Сеть Вычислительных Центров
[3] Машина для инженерных расчётов

Машинное обучение. Пионеры

- Метод опорных векторов (Support vector machine) Алексея Яковлевича Червоненкиса и Владимира Наумовича Вапника (1963).
- Случайный лес (Random Forest) Юрия Леонидовича Павлова (1977)
- Bootstrap Бредли Эйфон (1977)
- Байесовские сети Джуды Перла Judea Pearl (1988)
- Bagging (Bootstrap Aggregating) Лео Брейманa (1994)
- Boosting Роберта Шапира (1990)

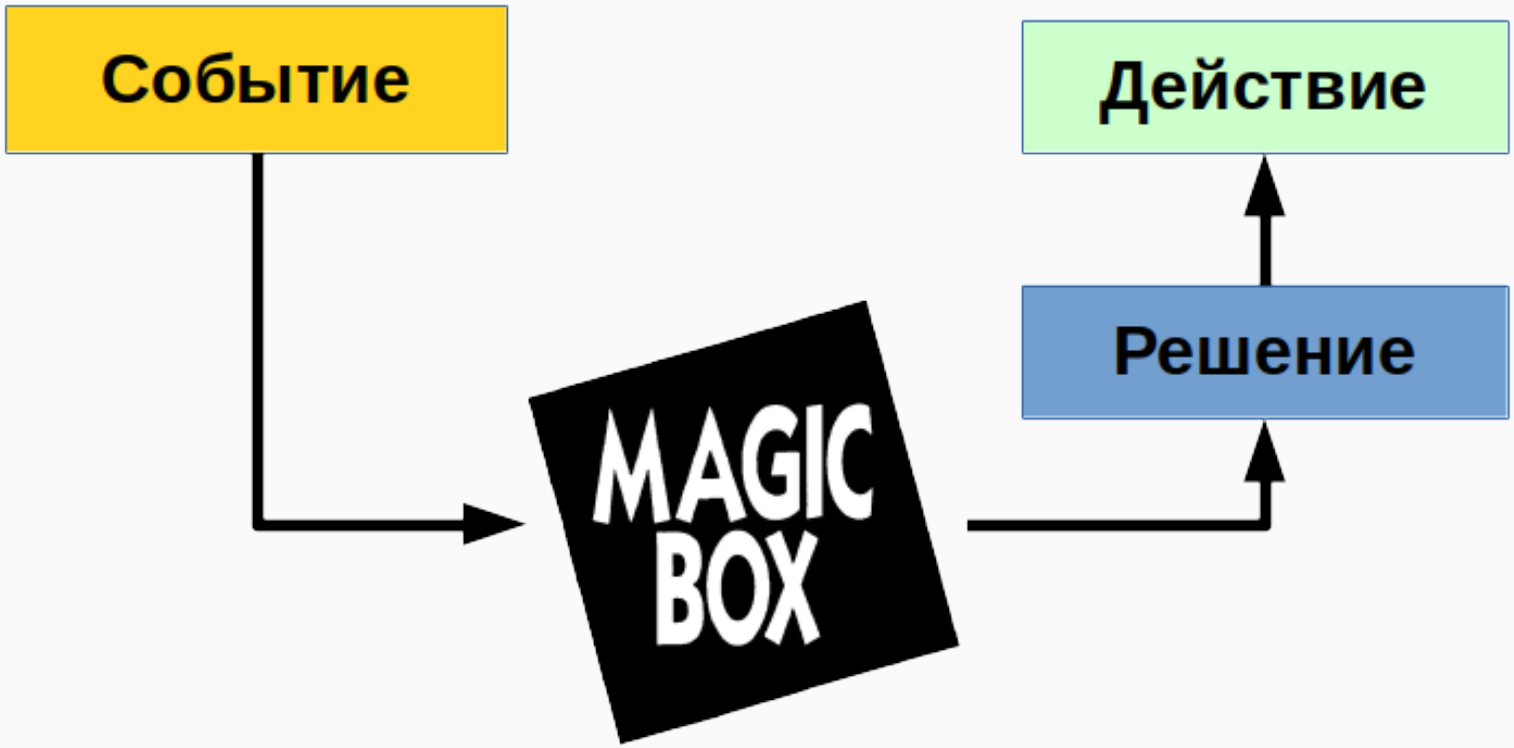
Машинное обучение. Пионеры

- “Закон Мура” и появление доступных персональных компьютеров открыло новую эпоху в ML и DM (1990 – н.в.)
- первая[4] NoSQL СУБД “Strozzi NoSQL” Карло Стрози (1998)

[4] после появления релационной алгебры

Экспертная система. Априорная и апостериорная вероятности. Полнота, точность экспертной системы.

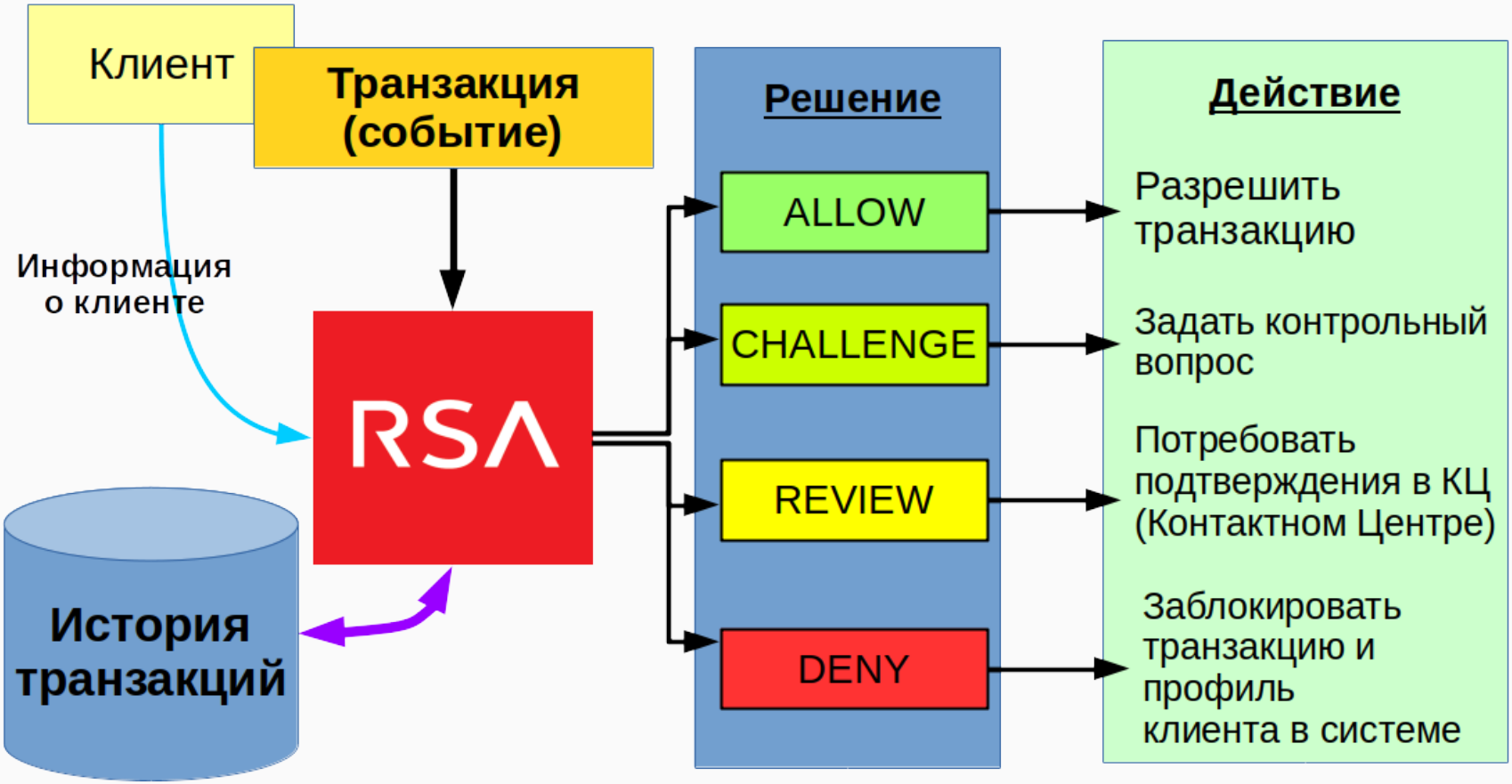
Экспертная система



Процесс:

1. Событие
2. Экспертная система
3. Решение (экспертной системы)
4. Действие (основанное решением экспертной системы)

ФМ система RSA



Есть открытое описание бизнес-процессов в Хакере:
`https://xakep.ru/2017/05/22/bank-antifraud-uncovered/`

Замечание.

Для улучшения качества работы экспертной системы, понимания границ ее применения, необходимо знать о её внутреннем устройстве.

Но для оценки её качества на тестовых данных, ЭС можно воспринимать как чёрный ящик. Таким образом, чтобы принять работу, не требуется быть специалистом в области DS/ML.

Априорная и апостериорная вероятности

Априорная вероятность – вероятность взятая из каких-либо умозаключений или правил. Примеры:

1. Вероятность выпадения орла 0.5, потому что он ничем не лучше и не хуже решки и монетка не может упасть ребром (это пренебрежимо мало)
2. Мы отправили *событие* на вход ЭС и получили на выходе решение: ”вероятность мошенничества равна 0.7 для данного события”.

Априорная и апостериорная вероятности

Апостериорная вероятность – статистическая вероятность[5], посчитанная на каких-либо конкретных данных.

Примеры:

1. Мы 100 раз подбросили монету и 47 раз выпал орёл. Следовательно вероятность выпадения орла 0.47
2. Мы взяли экспертную систему и посчитали, что ”вероятность мошенничества 0.7” выпало на 10 мошеннических и 100 легитимных операций за определённое время. Значит *точность* системы для данного *решения* на данном промежутке времени равна 0.1

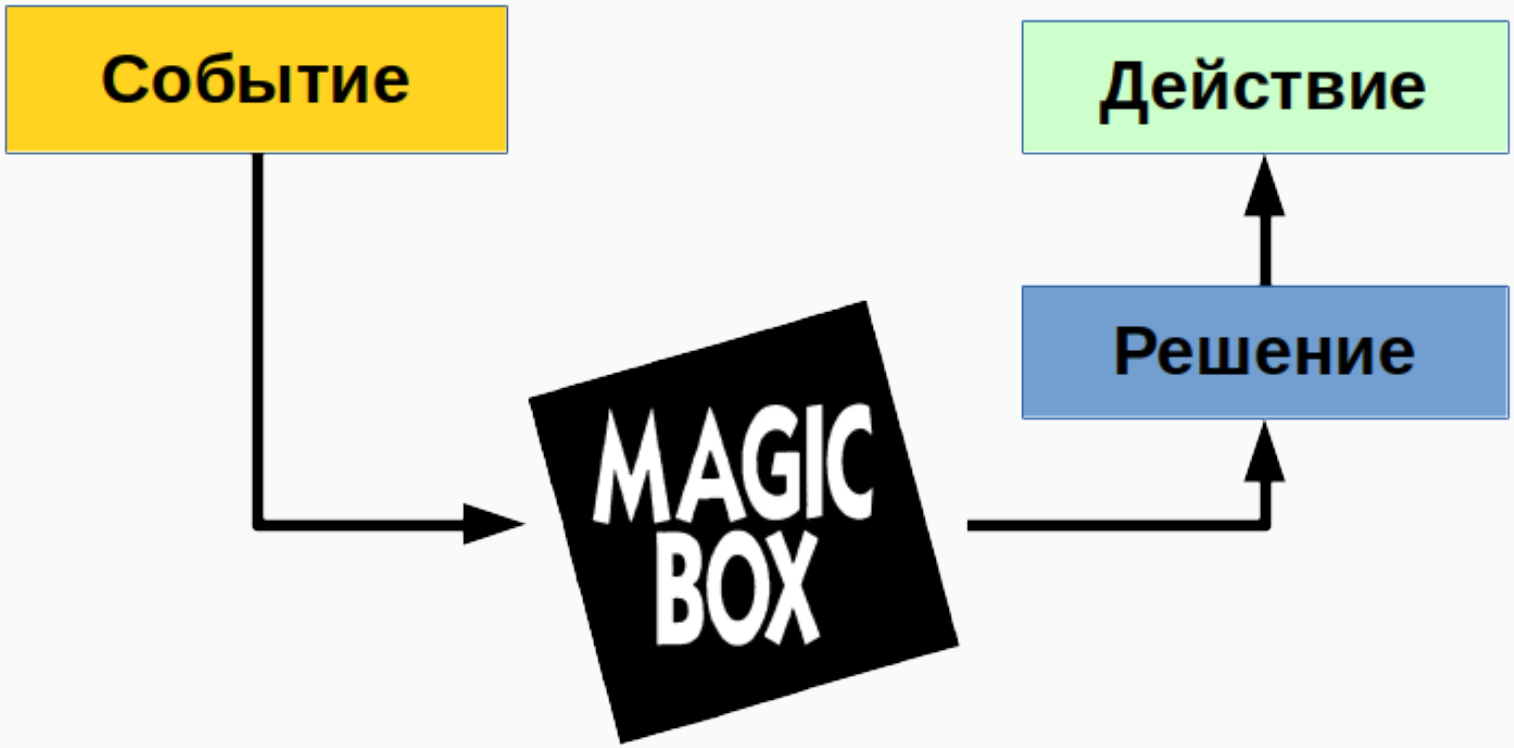
[5] Вообще то говоря, апостериорная вероятность имеет более глубокий и широкий смысл. Но в рамках нашего курса апостериорная вероятность – это просто статистическая доля того или иного события.

Современные ЭС состоят из двух блоков:

1. ***Score Engine*** – программный модуль, выдающий значение скоринга (как правило от 0 до 1000, от 0.0 до 1.0 или от -1.0 до 1.0). Чем выше это значение, тем больше *априорная вероятность* что произошёл какой-либо инцидент. Score Engine выдает либо одно значение (RSA) либо несколько (Secure Bank, Group-IB).
2. ***Rules Engine*** – программный модуль, использующий данные Score Engine и другие данные и выдающий *решение* экспертной системы.

Иногда ЭС называют только Score Engine. Таким образом получаем большое разнообразие решений вида: ”априорная вероятность мошенничества равна X”.

Экспертная система



Как понять, как хорошо работает экспертная система?

Ложная сработка & пропуск цели

Ошибка I рода	Ошибка II рода
α ошибка	β ошибка
false positive (fp)	false negative (fn)
Ложная сработка	Пропуск цели

Четыре События

На примере задачи фрод-мониторинга в банковской сфере.

1. F_r (fraud real) – событие, означающее что банковская операция в действительности является мошеннической.
2. F_s (fraud system) – событие, когда некая система фрод-мониторинга оценила данную операцию как мошеннической.
3. L_r (legitim real) – событие, означающее что банковская операция в действительности является легитимной (не мошеннической).
4. L_s (legitim system) – событие когда некая система фрод-мониторинга оценила данную операцию как легитимную (не мошеннической).

События F_s и L_s *несовместны*, а так же F_r и L_r *несовместны*.

Таким образом можно рассматривать следующие события: $P(F_r \cap F_s)$, $P(F_r \cap L_s)$, $P(L_r \cap F_s)$, $P(L_r \cap L_s)$. Для удобства будем обозначать их просто: $P(F_rF_s)$, $P(F_rL_s)$, $P(L_rF_s)$, $P(L_rL_s)$.

Так же имеет смысл рассматривать условные вероятности: $P(F_r|F_s)$, $P(F_s|F_r)$, ...

Ложная сработка & пропуск цели

Ошибка I рода	Ошибка II рода
α ошибка	β ошибка
false positive (fp)	false negative (fn)
Ложная сработка	Пропуск цели
$P(L_r \mid F_s)$	$P(F_r \mid L_s)$

Замечание.

Иногда false positive называют событие $P(L_r F_s)$, а не $P(L_r \mid F_s)$. Аналогично false positive называют $P(F_r L_s)$, а не $P(F_r \mid L_s)$. Это очень важно! Не запутайтесь!

Полнота & точность

Основными показателями качества системы являются ***полнота*** (П, ***recall***) и ***точность*** (T, ***precision***).

Их определения:

$$\text{П} \stackrel{def}{=} P(F_s|F_r) \tag{1}$$

$$T \stackrel{def}{=} P(F_r|F_s) \tag{2}$$

Полноту и точность можно вычислить через формулы:

$$\text{П} = \frac{P(F_sF_r)}{P(F_sF_r) + P(L_sF_r)} \tag{3}$$

$$T = \frac{P(F_sF_r)}{P(F_sF_r) + P(F_sL_r)} \tag{4}$$

ДЗ: докажите эти формулы

Использование формул (3) и (4)

Формулы (3) и (4) полезны для определения полноты и точности через статистические данные.

Предположим, что в каком-либо банке за определенный промежуток времени произошло **562** мошеннических транзакций. Выберем их все и случайным способом ещё **100 000** легитимных транзакций. Предположим что всего за этот промежуток произошло 67 234 134 234 операций.

Тогда наша выборка легитимных операций это $1/q$ от общей доли, где:

$$q = \frac{67234134234}{100000} \simeq 672 \cdot 10^3$$

Мы прогнали все эти транзакции через ЭС и обнаружили количество пар событий: $C(F_s F_r) = 386$, $C(F_s L_r) = 18$, $C(L_s F_r) = 176$, $C(L_s L_r) = 999982$.

... ...

Использование формул (3) и (4)

... ...

Таким образом через формулу (4) можно найти точность:

$$T = \frac{P(F_s F_r)}{P(F_s F_r) + P(F_s L_r)} = \frac{C(F_s F_r)}{C(F_s F_r) + q \cdot C(F_s L_r)} =$$
$$\simeq \frac{386}{386 + 18 \cdot 672 \cdot 10^3} \simeq \frac{386}{18 \cdot 672 \cdot 10^3} \simeq 3 \cdot 10^{-5}$$

Замечание

Очень часто при подсчёте точности забывают про коэффициент q и совершают ошибку, измеряя точность на конкретных данных. На практике физически невозможно выбрать все легитимные транзакции, поэтому берут их подмножество.

ДЗ: найдите полноту

O_1 и O_2 через П и T

Ошибки I и II рода можно выразить через полноту и точность.

$$O_2 = 1 - \text{П} \tag{5}$$

$$O_1 = \frac{P(F_r)}{P(L_r)} \cdot \text{П} \cdot \left(\frac{1}{T} - 1 \right) \tag{6}$$

ДЗ. Докажите формулы (5) и (6)

ДЗ. Выразите полноту и точность, через O_1 и O_2

Пропуск цели

vs

Ложная сработка

Что важнее?

ЭС диагностики раковой опухоли:

- **Ложная сработка** – решение ЭС в том, что пациент болен; но на самом деле пациент здоров.
- **Пропуск цели** – система говорит больному раком пациенту, что он здоров.

ЭС обнаружения превышения скорости автомобиля:

- **Ложная сработка** – штраф будет выписан добропорядочному водителю.
- **Пропуск цели** – лихач не будет наказан за превышение скорости и ему не выпишут штраф

Сложные случаи

Фрод мониторинг

- **Ложная сработка** – заблокировать легитимную транзакцию.
- **Пропуск цели** – позволить хакерам украсть деньги клиента

На практике: определяют допустимое количество нагрузки на контактный центр и забивают эту нагрузку «под завязку».

Отсюда выводы: мелкие хищения менее интересны чем крупные.

Булевый и вероятностный отклик

Булевый отклик – либо 0, либо 1. Либо -1, либо 1. (виновен/не виновен).

Вероятностный отклик – классификатор выдает вероятностное *априорное* решение $p \in [0, 1]$: 0 – нет, 1 – да, 0.5 – неопределенно. (или $p \in [-1, 1]$: -1 –нет)

Любое вероятностное решение можно свести к булевому. Для этого определяется некое значение, называемое ***отсечкой*** (cutoff):

$$p \geqslant cutoff \Longrightarrow return\ 1 \tag{7}$$

$$p < cutoff \Longrightarrow return\ 0$$

Замечание

Значение p – это *априорные вероятности* ЭС. Они могут не иметь никакого отношения к реальности

Влияние отсечки на полноту и точность

Было:

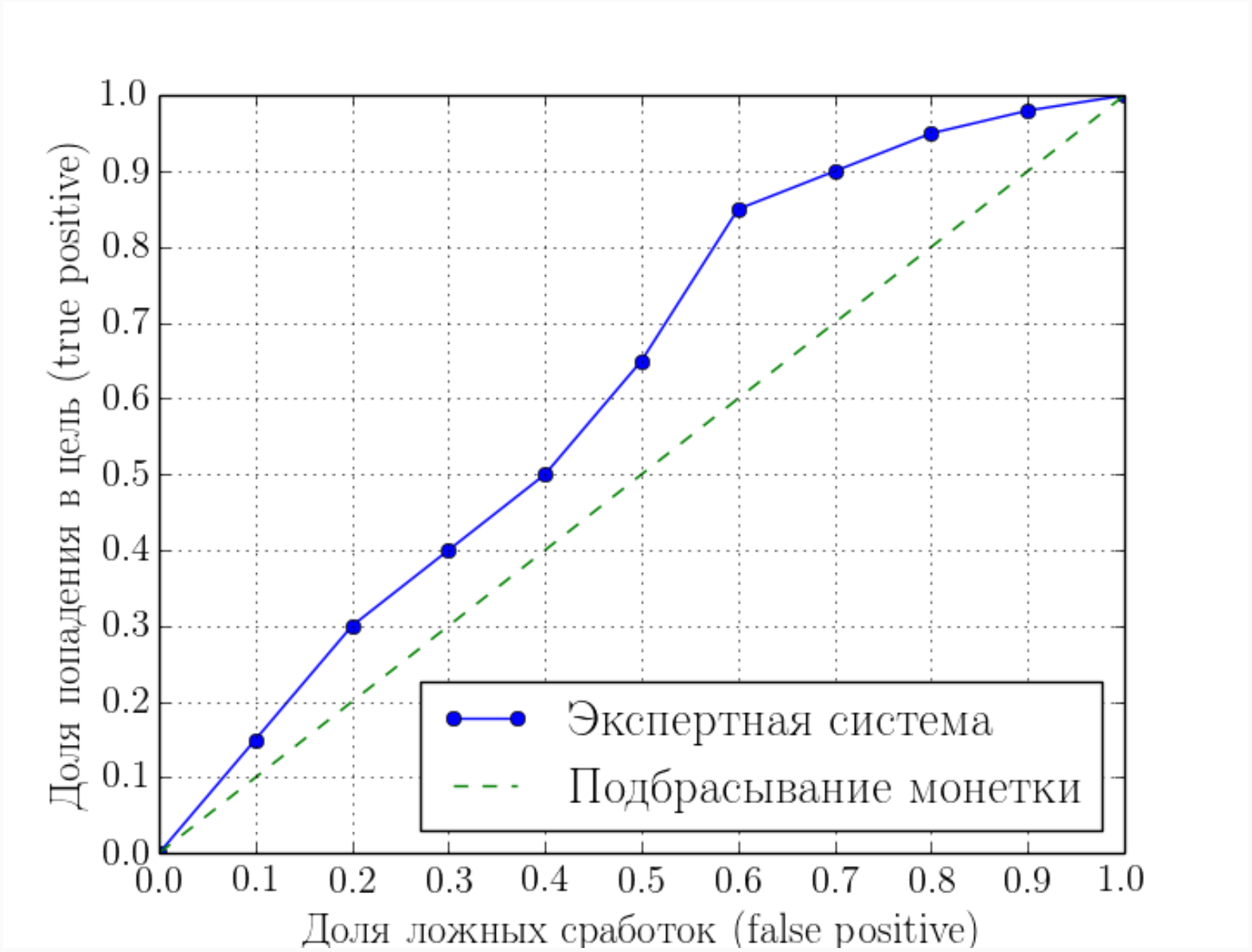
$$p \geqslant 0.5 - \text{виновен};\ < 0.5 - \text{не виновен}$$

Поменяли отсечку. Стало:

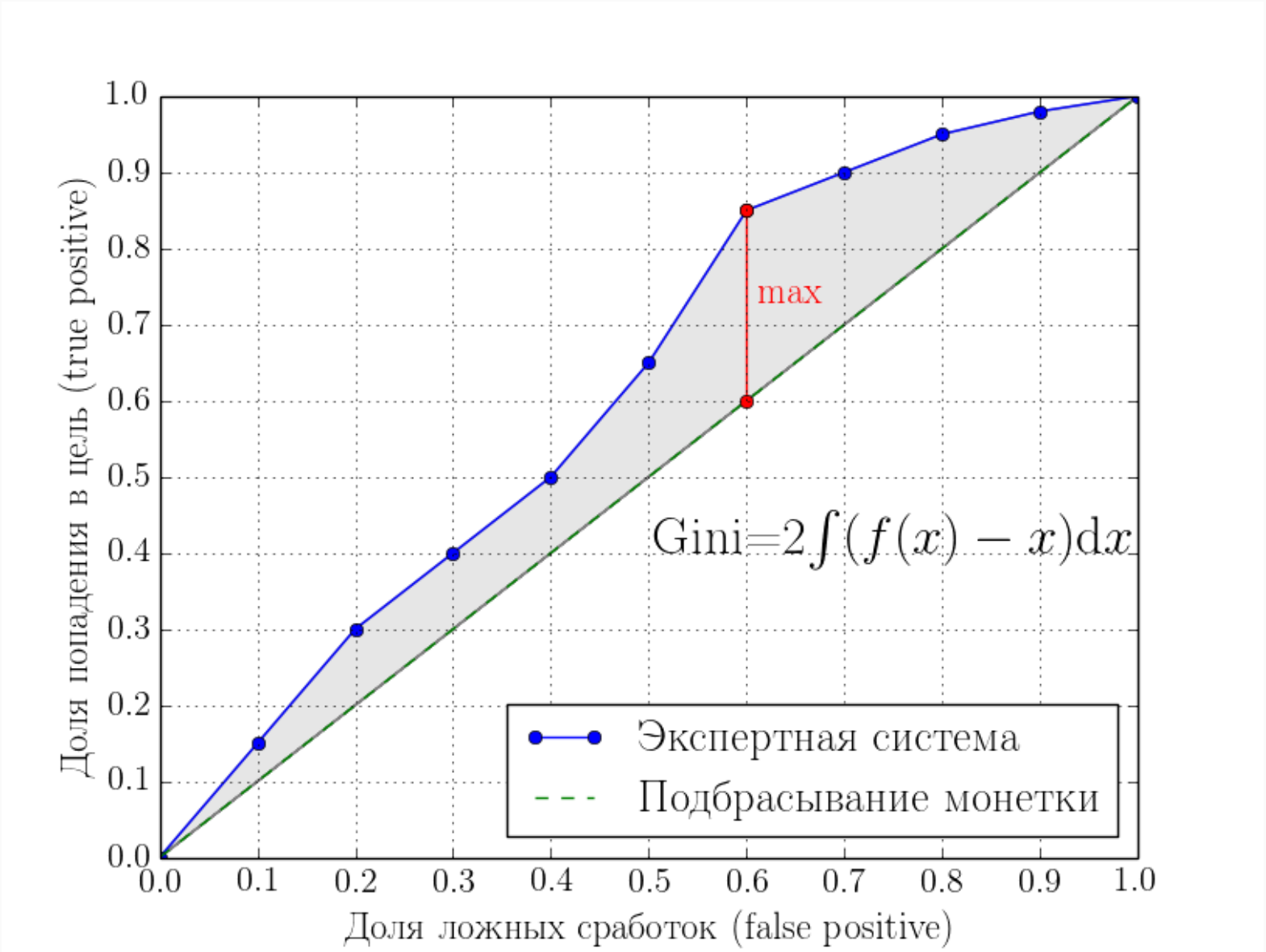
$$p \geqslant 0.8 - \text{виновен};\ < 0.8 - \text{не виновен}$$

Что стало с полнотой и точностью? Что стало с ложной сработкой и пропуском цели? Что не увеличилось, а что не уменьшилось?

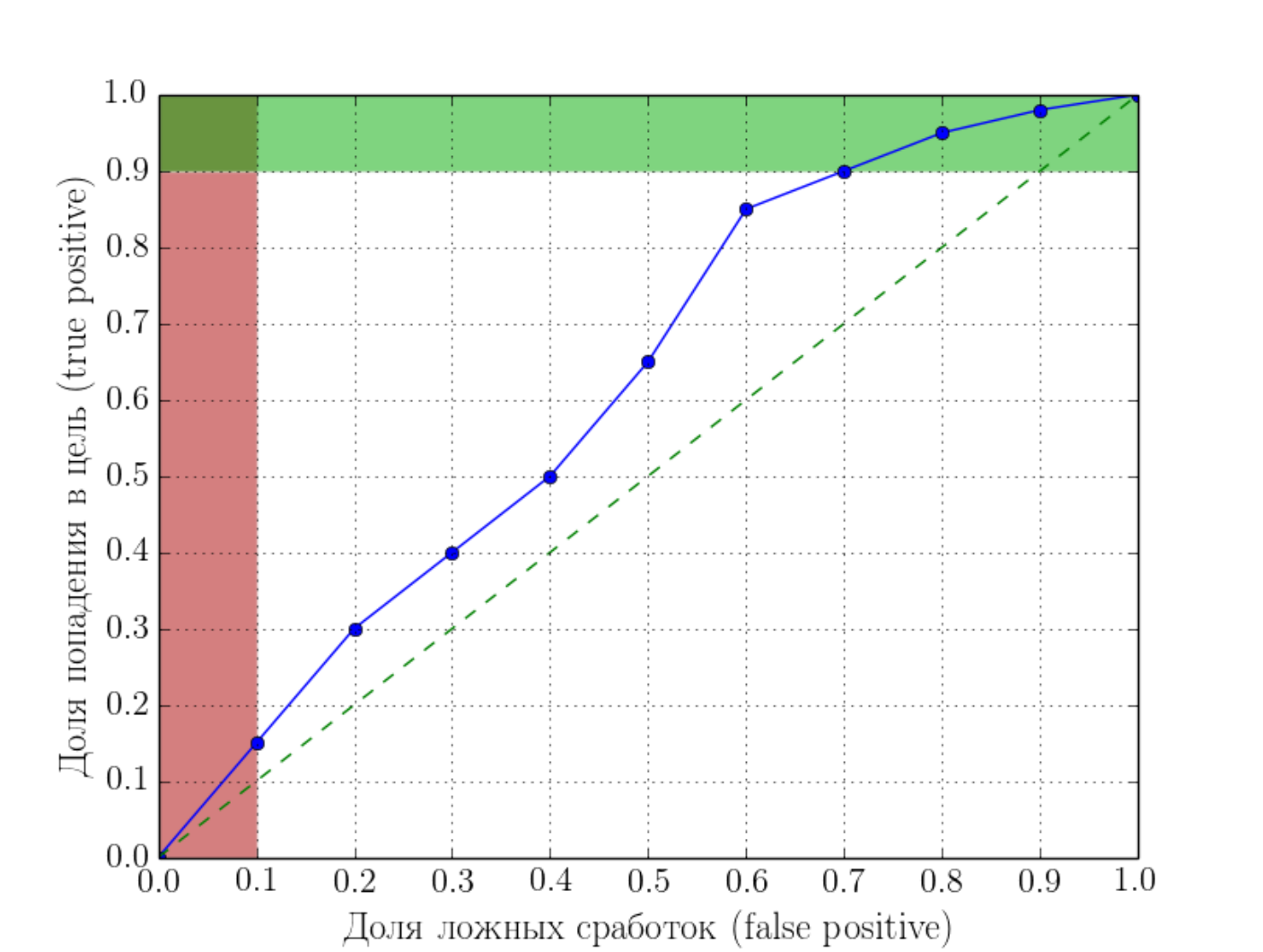
ROC-кривая


Receiver Operating Characteristic
Доля попадения в цель (true positive)
Доля ложных сработок (false positive)
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0
Экспертная система
Подбрасывание монетки

Коэффициент Джини & Максимальное отклонение («Расстояние Робина Гуда»)

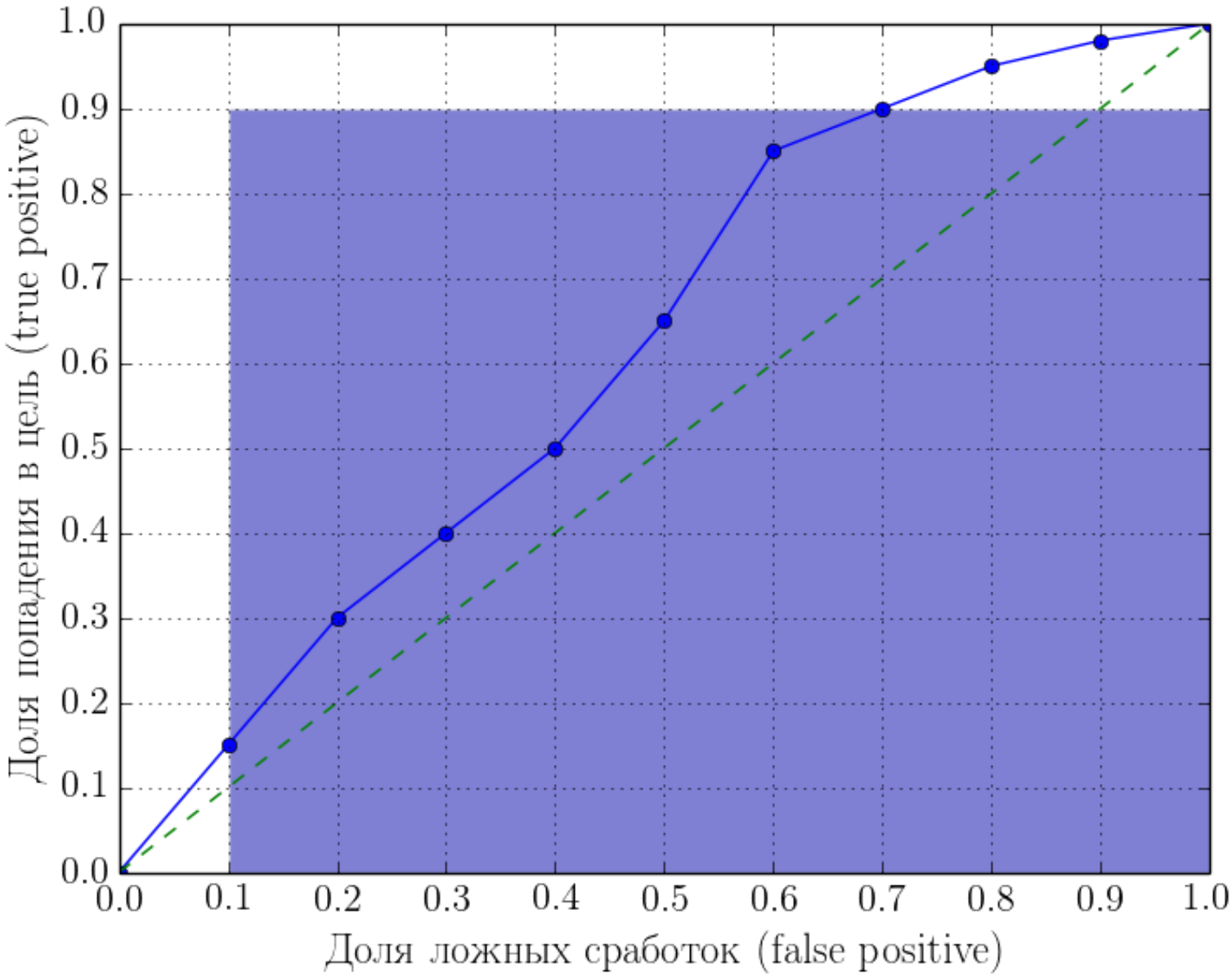


Используемые области

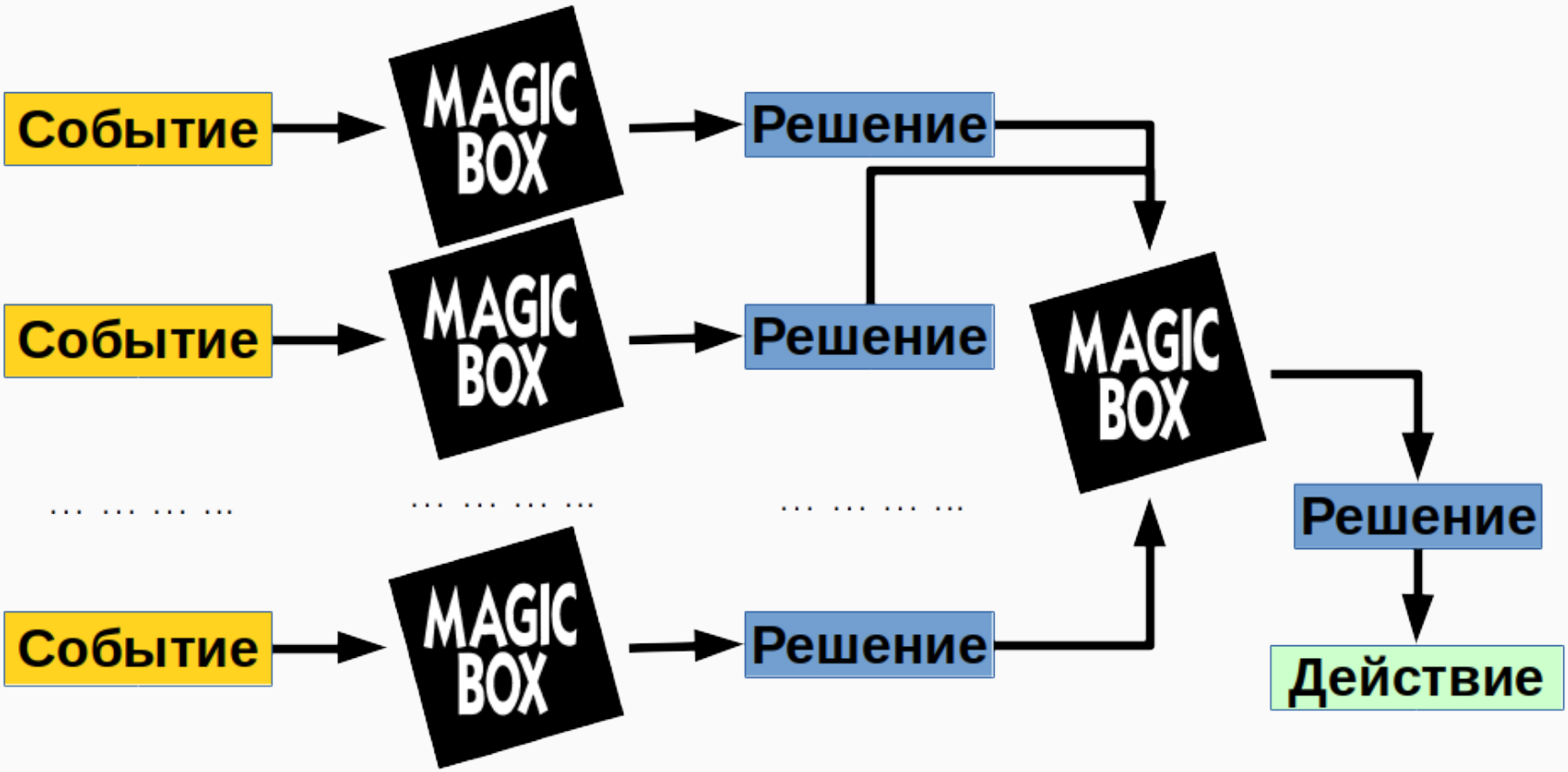


Какие области используются для детектирования рака и для обнаружения превышения скорости автомобилей?

А эти области никогда не используются???



Ансамбли


Событие
MAGIC BOX
Решение
Событие
MAGIC BOX
Решение
MAGIC BOX
Решение
Действие
Событие
MAGIC BOX
Решение

Задачи ИБ, решаемые экспертными системами

Задачи

- Банковский фрод
- Криминалистика
- Защита бренда, антипиратство, антиконтрафакт
- NGAV
- Дактилоскопия
- Анализ трафика
- Информационные войны
- Pay per click фрод
- Call фрод
- Анализ даркнета
- Противодействие спаму
- ...

Данные

- персональные данные
- вкусовые предпочтения, речь, увлечения (социальные сети)
- поведение
- mouse track analysys
- анализ данных телефона
- keystroke dynamics
- предпочтения
- фотография, голос, видео
- файлы
- данные трафика
- ...

Вопросы для самопроверки

- Вася посчитал, что в ЭС, обнаруживающей мошенничество в банковской сфере, доля ложных сработок всего 0.001% от общего числа транзакций. Вася внедрил систему. Васю уволили. Почему?
- Петя посчитал, что в ЭС детектирования наличия диабета у пациентов, которые подозревают у себя его наличие, доля ложных сработок всего 0.1% от общего числа операций. Петя внедрил систему. Петю повысили. Почему?
- Коля посчитал, что в ЭС детектирования наличия диабета у школьников, сдавшие «добровольно-принудительные» анализы, всего 0.1% от общего числа школьников. Коля внедрил систему. Колю уволили. Почему?
- Джон посчитал, что в ЭС детектирования наличия диабета у школьников, сдавшие принудительные анализы, всего 0.1% ложных сработок от общего числа школьников. Но в отличие от Коли, он работает в США. Джон внедрил систему. Джона повысили, в отличие от Коли. Почему?

1. Используя формулу Байеса, докажите формулы (3) и (4) из слайда №20
2. Найдите полноту в примере на слайде №21.
3. Докажите формулы (5) и (6): вычисление ошибок первого и второго рода через полноту и точность
4. Вычислите полноту и точность через ошибки первого и второго рода
5. Почему специалисты Data Science используют полноту и точность, но редко пользуются ошибками первого и второго рода?
6. классификатор выдает решение $p \in [0, 1]$, однако для решения определённой задачи хотелось бы чтобы классификатор выдавал решение $p \in [-1, 1]$. Предложите простой фильтр.