

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных
технологий, механики и оптики

Мегафакультет трансляционных информационных технологий

Факультет информационных технологий и программирования

Лабораторная работа №4

По дисциплине «Введение в цифровую культуру и программирование»

Исправление ошибок

Выполнил студент группы №М3101:

Назаров Егор Александрович

Проверил:

Хлопотов Максим Валерьевич

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2019

ВВЕДЕНИЕ

Цель работы: Реализовать алгоритм поиска и замены ошибок в тексте основанный на поиске редакторского расстояния.

Ход работы:

1. Предобработка текста.
 - 1.1. Разделение текста на слова.
 - 1.2. Удаление знаков препинания.
 - 1.3. Приведение к строчным символам.
2. Проведение первичных расчетов.
 - 2.1. Подсчет количества словоформ(слов) в тексте.
 - 2.2. Подсчет количества различных словоформ(слов) в тексте.
 - 2.3. Подсчет количества различных словоформ(слов) текста, присутствующих в словаре.
3. Поиск и исправление ошибок.
 - 3.1. Подсчет количества потенциальных ошибок
 - 3.2. Поиск редакторского расстояния для каждой потенциальной ошибки.
 - 3.3. Вывод всех потенциальных ошибок в указанном формате.
 - 3.4. Исправление ошибок.
4. Проведение повторных расчетов.
 - 4.1. Подсчет количества словоформ(слов) в тексте.
 - 4.2. Подсчет количества различных словоформ(слов) в тексте.
 - 4.3. Подсчет количества различных словоформ(слов) текста, присутствующих в словаре.

ИСХОДНЫЙ ТЕКСТ

Мозг и сенсорные системы

Наш организм довольно богато снабжен различными органами чувств. Еще в античные времена выделили основные пять чувств: зрение, слух, обоняние, осязание и вкус. На самом деле мы снабжены сенсорными системами гораздо богаче. Их назначение понятно: мы собираем информацию из внешней среды и из внутренней среды организма, потому что нашему мозгу важно, в каком состоянии находятся внутренние органы, насколько растянут кишечник или бронхи — все это достаточно значимо.

Большинство сенсорных систем имеют стандартное строение, и все начинается с клеток-рецепторов, то есть таких датчиков, которые реагируют на сигнал — на химический сигнал (молекулы появились в окружающей среде) или на физический, прикосновения, электромагнитные волны, как в случае зрения. Дальше этот датчик, клетка-рецептор, передает электрические импульсы на проводящий нерв. Нерв — это такой провод, который связывает датчик и центральный процессор, головной и спинной мозг. У нас, как известно, 31 пара спинномозговых нервов, и все они занимаются передачей сенсорных сигналов от разных этажей тела. Кроме того, из 12 пар черепных нервов большинство тоже занимаются сенсорикой. И наконец, третий, самый сложный этап: сигнал попадает в центральную нервную систему и дальше сначала внутри спинного мозга, а потом и головного мозга последовательно обрабатывается, запускаются те или иные реакции, информация запоминается. Чем выше сигналы двигаются по центральной нервной системе, тем более сложные вычислительные операции реализуются. Самые сложные человеческие моменты обработки информации случаются в коре больших полушарий. Если смотреть подробнее на наши рецепторы, с них, собственно, все начинается. Мы видим, что они делятся на два типа: это могут быть нервные клетки или ненервные клетки. Если рецептор — это нейрон или его отросток, такие рецепторы называются первично чувствующими. В каком-то смысле эволюция начинала с них. На нервные клетки приходил сигнал, дальше генерировался электрический импульс, и в этом понятном для мозга виде информация поднималась в спинной мозг, головной мозг. Но сигналов очень много, и они разные. Видимо, ресурсов нейронов не хватает на то, чтобы реагировать на все на свете, а чем больше сенсорных потоков вы считываете, тем полней информация об окружающей среде, тем правильнее ваше поведение, поэтому эволюция искала еще какие-то датчики, кроме нейронов. В конце концов ряд клеток, прежде всего эпителиальных, покровных клеток на поверхности кожи или на поверхности полостей организма, тоже превратились в рецепторы. Но это уже не нервные клетки, а такие рецепторы называются вторично чувствующими. Для того чтобы им передать сигнал в ЦНС, нужна помощь нейронов периферической нервной системы. То есть рецептор реагирует на стимул, потом он должен передать его на так называемый проводящий нейрон, и уже только отростки проводящего нейрона доберутся до головного и спинного мозга.

К первично чувствующим рецепторам относятся рецепторы нашей обонятельной системы, а еще рецепторы таких систем, как кожная, мышечная, болевая, еще рецепторы системы внутренней чувствительности. Вторично чувствующие рецепторы — это зрение, слух, вестибулярная система и вкус. Получается, что у нас девять больших серьезных сенсорных систем. Хотя на самом деле иногда предлагают выделить больше. Критерий выделения некой части нашего тела в отдельную сенсорную систему в общем и целом довольно понятен. Мы говорим об особой сенсорной системе, если есть свои рецепторы, свои проводящие пути и свои отдельные центры в головном и спинном мозге, которые обмениваются внутри сенсорной системы информацией. С этой точки зрения кожная чувствительность, болевая чувствительность и мышечная чувствительность — это разные сенсорные системы, хотя когда-то говорилось об общей чувствительности тела. Обоняние — отдельная сенсорная система, но существует так называемая дополнительная обонятельная система — вомероназальный орган. Эта конструкция, хоть она и небольшая, удовлетворяет всем критериям, приложимым к сенсорной системе. Поэтому довольно логично вомероназальный орган и все, что с ним связано, то есть сигналы, которые возникают при появлении феромонов, а потом

уходят в гипоталамус, выделять в отдельную сенсорную систему. Но она получается уж больно маленькая, просто она очень сильно редуцирована.

Как рецептор вообще реагирует на сигнал? За счет чего чувствительная клетка или ее отросток отвечает на физическое или химическое воздействие? Логика работы здесь довольно близка к тому, что вообще делают нейроны. Обычная нервная клетка отвечает на появление вещества медиатора. Рецепторы вкуса или рецепторы обоняния, рецепторы внутренней чувствительности примерно так же реагируют на появление химического вещества. На мембране рецептора есть чувствительные белки, с которыми связаны ионные каналы. При появлении определенного запаха они открываются, в клетку входят положительно заряженные ионы, возникает сдвиг заряда вверх, деполяризация, и это может служить причиной генерации электрических импульсов. Дальше эти импульсы убегают опять-таки в головной или спинной мозг. Примерно по такому же принципу работают рецепторы механической чувствительности и даже зрительные рецепторы. Как правило, некое адекватное сенсорное воздействие вызывает на мембране рецептора открывание (правда, иногда закрывание) тех или иных ионных каналов, возникает сдвиг заряда в клетке и генерируется потенциал действия, убегающий в центральную нервную систему. И чем сильнее сенсорное воздействие, тем чаще бегут импульсы (потенциалы действия) сначала по сенсорному нерву, а потом уже в нутри сенсорных центров головного и спинного мозга.

Это является первым из двух базовых законов работы сенсорных систем. Закон звучит так: интенсивность энергии сенсорного сигнала кодируется частотой потенциала действия в проводящем нерве. То есть чем громче звук, чем ярче свет, чем более концентрированный раствор, например, глюкозы, тем чаще бегут импульсы по тому или иному нерву. В зависимости от этой частоты наш головной мозг и высшие центры узнают об интенсивности сенсорного сигнала. Если говорить уже о реальных цифрах, то сигнал, который субъективно воспринимается как довольно слабый, где-то 20–40 импульсов в секунду. Если импульсы бегут с частотой 50–70 Гц по нерву, то это для нас субъективно сигнал средней силы. Когда ближе к 100 импульсам в секунду, то есть 100 Гц, это сильный сигнал. А когда уходит за 100 Гц, это уже сверхсильный сигнал, и такие сигналы для нас зачастую субъективно неприятны. Слишком яркий свет, слишком громкий звук — мы стараемся уйти от таких воздействий, потому что велик шанс повреждений тех самых рецепторов или, что еще хуже, сенсорных центров головного и спинного мозга. Для того чтобы рецепторы хорошо и качественно работали, им, как правило, нужны некие вспомогательные структуры, создающие для них все условия. Рецепторы функционируют уже внутри этих структур. Такие структуры мы называем органами чувств. Не нужно путать понятия «орган чувств» и «сенсорная система». Орган чувств — это место, где рецептору хорошо. Скажем, глаз — это орган зрения. Внутреннее ухо или улитка — орган слуха. Кожа — это орган осязания, болевой чувствительности.

Помимо интенсивности, энергии каждый сенсорный сигнал характеризуется еще одним качеством. С точки зрения организации сенсорной системы качественно разными сигналами считаются те, которые действуют на разные рецепторы. Это не очень сходится с нашим бытовым восприятием работы органов чувств и сенсорных систем, но это именно так. Проще всего это понять на примере кожной чувствительности. У нас есть поверхность кожи, по которой рассеяны рецепторы, отростки нервных клеток, и разные рецепторы обслуживают разные участки кожи. Соответственно, есть рецептор и нейрон, работающий с большим пальцем, и есть нейрон, работающий с мизинцем. Качественно разные сигналы — это сигналы, которые считываются от разных участков кожи. Для слуховой системы организация нашей улитки такова, что разные рецепторы реагируют на сигналы разной тональности. Есть рецепторы, настроенные на высокие частоты, на низкие частоты, средние частоты. Для нашей зрительной системы качественно разными сигналами являются сигналы, приходящие от разных точек пространства, потому что разные фоторецепторы у нас на сетчатке как бы сканируют свой кусочек этой 2D-картинки и отчитываются перед центральной нервной системой о неких точках в определенных местах пространства. То есть качественно разные сигналы — это сигналы, действующие на разные рецепторы.

Дело еще в том, что рецепторы, как правило, расположены в определенном месте нашего тела. Эта зона называется рецепторная поверхность. Каждый рецептор передает сигнал своим нервным клеткам, информация от соседних рецепторов передается соседним нервным клеткам. В итоге рецепторная поверхность параллельно отображается на структурах головного и спинного мозга — этот параллельный перенос знаком вам из геометрии. В результате возникает очень интересный эффект: у нас в головном или спинном мозге формируется карта рецепторных поверхностей. Наша кожная поверхность с большим пальцем, ухом, спиной, мизинцем, коленом и так далее отображается в центрах кожной чувствительности, сетчатка отображается в зрительных центрах, а улитка и ее базилярная мембрана — в слуховых центрах. Параллельный перенос позволяет нашему мозгу различать сигналы разного качества. Каким образом мозг узнает, что прикоснулись к носу или к колену? Ведь импульсы, которые бегут по нервным клеткам, абсолютно одинаковые. Узнать можно, только если посмотреть, по какому аксону прибежал сигнал. В кибернетике это называется кодировка номером канала. Принцип кодировки номером канала лежит и в основе работы сенсорных систем. Это второй базовый закон работы сенсорных систем. Он звучит так: качество сенсорного сигнала кодируется номером канала. Мы можем закодировать интенсивность сигнала с помощью частоты ПД, закодировать качественные характеристики с помощью номера канала, и этого достаточно головному мозгу, для того чтобы дальше обрабатывать эту сенсорную информацию.

Что происходит в головном и спинном мозге с сенсорными сигналами? Они фильтруются и способны запускать различные реакции. Головной и спинной мозг, особенно головной, способны опознавать так называемые сенсорные образы. Сенсорная область — это совокупность нескольких сенсорных сигналов, информационная сущность более высокого порядка. Спинной мозг в основном работает с чувствительностью тела, 31 сегмент спинного мозга считывает информацию с 31-го этажа нашего тела: это булевая чувствительность, кожная, мышечная чувствительность и сигналы от внутренних органов — это называется интерорецепция, внутренняя чувствительность. Дальше белое вещество спинного мозга, скопление аксонов позволяет провести, передать эту информацию уже в головной мозг. Главными восходящими трактами спинного мозга, теми, которые передают такую сенсорную информацию, являются так называемые дорзальные столбы, идущие на самой задней поверхности спинного мозга. Еще есть спинно-мозжечковые тракты, взаимодействующие с мозжечком. Для передачи болевой чувствительности очень важен спинно-таламический тракт.

Если мы говорим о головном мозге, то ему достается львиная доля сенсорных входов. Существует обонятельный нерв, зрительный нерв, вестибуло-слуховой нерв — три нерва, занимающиеся исключительно сенсорикой. Кроме того, такие нервы, как лицевой, языкоглоточный, тройничный, тоже передают различные сенсорные сигналы.

Очень важным уровнем обработки сенсорных сигналов является таламус — структура, через которую все сенсорные потоки, кроме обоняния, поднимаются в кору больших полушарий. Таламус — это важнейший информационный фильтр, работающий по заказу коры больших полушарий и пропускающий то, что здесь и сейчас является значимым. Кроме того, таламус очень охотно пропускает новые сильные сигналы. В выполнении этой функции ему помогает четверохолмие среднего мозга, где расположены наши древние зрительные и слуховые центры. В конце концов сенсорная информация поднимается в кору больших полушарий, где есть зрительные центры, слуховые центры, вкусовые центры. Затылочная доля — это зрительная кора, височная доля — слуховая, область в районе центральной борозды — это наша чувствительность. Внутри этих сенсорных зон выделяют первичную, вторичную, а также третичную кору, которая занимается узнаванием все более сложных образов. Первичная зрительная кора — это узнавание линий, вторичная зрительная кора — узнавание геометрических фигур, а третичная — это уже лица конкретных людей. После обработки в конкретных сенсорных центрах сенсорная информация передается в ассоциативную теменную кору, где находятся нейроны, способные работать одновременно с разными сенсорными потоками.

КОД ПОДСЧЕТА РЕДАКТОРСКОГО РАССТОЯНИЯ

```

fn split_into_strings(s: &str, pos: usize) -> (String, String) {
    let mut v1: Vec<char> = Vec::new();
    let mut v2: Vec<char> = Vec::new();
    let mut index = 0;

    for symbol in s.chars() {
        if index < pos {
            v1.push(symbol);
        } else {
            v2.push(symbol);
        }
        index += 1;
    }

    let s1: String = v1.into_iter().collect();
    let s2: String = v2.into_iter().collect();

    (s1, s2)
}

fn levenstein_distance(word_1: &str, word_2: &str) -> usize{
    let word_1 = word_1.chars().collect::<Vec<char>>();
    let word_2 = word_2.chars().collect::<Vec<char>>();

    let m = word_1.len();
    let n = word_2.len();
    let mut d = vec![vec![0; n + 1]; m + 1];

    d[0][0] = 0;

    for j in 1..(n + 1) {
        d[0][j] = d[0][j - 1] + 1;
    }

    for i in 1..(m + 1) {
        d[i][0] = d[i-1][0] + 1;
        for j in 1..(n + 1) {
            if word_1[i - 1] != word_2[j - 1] {
                d[i][j] = cmp::min(d[i - 1][j], cmp::min(d[i][j-1], d[i-1][j-1]));
                d[i][j] += 1;
            } else {
                d[i][j] = d[i-1][j-1];
            }
        }
    }

    d[m][n]
}

fn redactors_distance (word: &str, dictionary: &Vec<(&str, usize)>) -> (usize, usize){
    let mut result: usize = 10;
    let m = word.len()/2;
    let mut frequency = 0;
    let mut index = 0;
    let mut t = 0;

    for element in dictionary {
        let reference_word = element.0;
        let mut intermediate_result = 0;
        let levenstein_distance_0 = levenstein_distance(word, reference_word);

        for i in 1..m {
            let (s1, s2) = split_into_strings(word, i);

```

```
        intermediate_result = levenstein_distance(&s1, reference_word) +
                               levenstein_distance(&s2, reference_word) + 1;
    }

    if cmp::min(levenstein_distance_0, intermediate_result) < result {
        result = cmp::min(levenstein_distance_0, intermediate_result);
        index = t;
        frequency = element.1;
    } else if cmp::min(levenstein_distance_0, intermediate_result) <= result
        && frequency < element.1 {
        frequency = element.1;
        index = t;
    }
    t += 1;
}
(index, result)
}
```

КОД ЗАМЕНЫ И РАССЧЕТОВ ДЛЯ ОТВЕТОВ НА ЗАДАНИЯ

Вспомогательные функции

```
fn read_files(file_1: &String, file_2: &String) -> (String, String) {
    let text = fs::read_to_string(file_1).expect("Error");
    let dictionary_string = fs::read_to_string(file_2).expect("Error");

    (text, dictionary_string)
}

fn split_string_into_dict_element(s: &str) -> (&str, usize) {
    let v: Vec<&str> = s.split(" ").collect();
    let word = v[0];
    let number: usize = v[1].parse().unwrap();

    (word, number)
}

fn capitalise(input: &str) -> String {
    let mut v: Vec<char> = input.chars().collect();
    v[0] = v[0].to_uppercase().nth(0).unwrap();
    let result: String = v.into_iter().collect();
    result
}
```

Функция расчета количеств словоформ

```
fn calculations(text: &Vec<&str>, dict: &Vec<(&str, usize)>) {
    let words_count = text.len();
    let text_of_different_words: Vec<&&str> = text.into_iter().unique().collect();
    let different_words_count = text_of_different_words.len();

    let mut dictionary_words: Vec<&str> = Vec::new();

    for element in dict {
        dictionary_words.push(element.0);
    }

    let matches_in_dictionary = {
        let mut result: usize = 0;
        for s1 in &text_of_different_words {
            for s2 in &dictionary_words {
                if *s1 == s2 {
                    result+=1;
                }
            }
        }
        result
    };

    println!("Word count: {:?}", words_count);
    println!("Different word count: {:?}", different_words_count);
    println!("Matches in dictionary: {:?}", matches_in_dictionary);
}
```


Функции расчета редакторского расстояния

```
fn split_into_strings(s: &str, pos: usize) -> (String, String) {
    let mut v1: Vec<char> = Vec::new();
    let mut v2: Vec<char> = Vec::new();
    let mut index = 0;

    for symbol in s.chars() {
        if index < pos {
            v1.push(symbol);
        } else {
            v2.push(symbol);
        }
        index += 1;
    }

    let s1: String = v1.into_iter().collect();
    let s2: String = v2.into_iter().collect();

    (s1, s2)
}

fn levenstein_distance(word_1: &str, word_2: &str) -> usize {
    let word_1 = word_1.chars().collect::<Vec<char>>();
    let word_2 = word_2.chars().collect::<Vec<char>>();

    let m = word_1.len();
    let n = word_2.len();
    let mut d = vec![vec![0; n + 1]; m + 1];

    d[0][0] = 0;

    for j in 1..(n + 1) {
        d[0][j] = d[0][j - 1] + 1;
    }

    for i in 1..(m + 1) {
        d[i][0] = d[i - 1][0] + 1;
        for j in 1..(n + 1) {
            if word_1[i - 1] != word_2[j - 1] {
                d[i][j] = cmp::min(d[i - 1][j], cmp::min(d[i][j - 1], d[i - 1][j - 1]));
                d[i][j] += 1;
            } else {
                d[i][j] = d[i - 1][j - 1];
            }
        }
    }

    d[m][n]
}

fn redactors_distance(word: &str, dictionary: &Vec<(&str, usize)>) -> (usize, usize) {
    let mut result: usize = 10;
    let m = word.len()/2;
    let mut frequency = 0;
    let mut index = 0;
    let mut t = 0;

    for element in dictionary {
        let reference_word = element.0;
        let mut intermediate_result = 0;
        let levenstein_distance_0 = levenstein_distance(word, reference_word);

        for i in 1..m {
            let (s1, s2) = split_into_strings(word, i);

            intermediate_result = levenstein_distance(&s1, reference_word) +
                levenstein_distance(&s2, reference_word) + 1;
        }
    }
}
```

```

    }
    if cmp::min(levenstein_distance_0, intermediate_result) < result {
        result = cmp::min(levenstein_distance_0, intermediate_result);
        index = t;
        frequency = element.1;
    } else if cmp::min(levenstein_distance_0, intermediate_result) <= result
        && frequency < element.1 {
        frequency = element.1;
        index = t;
    }
    t += 1;
}
(index, result)
}

```

Функция поиска и формирования вектора замены потенциальных ошибок

```

fn correct_text(text: &Vec<&str>, dict: &Vec<(&str, usize)>) -> Vec<(usize, usize, usize)>{
    let mut result: Vec<(usize, usize, usize)> = Vec::new();

    let mut dictionary_words: Vec<&str> = Vec::new();
    let mut count = 0;
    let mut text_index = 0;

    for element in dict {
        dictionary_words.push(element.0);
    }

    println!("Potential errors:");

    for word in text {
        let mut not_found = true;

        for ref_word in &dictionary_words { not_found &= !(word == ref_word);}

        if not_found {
            let (dict_index, distance) = redactors_distance(word, dict);
            print!("{}", word);
            if 0 < distance && distance < 3 {
                println!("{}", dict[dict_index].0, distance);
            } else {println!("не найдено - >2");}

            if 0 < distance && distance < 3 {
                let mut flag = true;

                for mut element in &mut result {
                    if text[element.0] == *word && element.1 == dict_index {
                        (*element).2 += 1;
                        flag = false;
                    }
                }

                if flag {result.push((text_index, dict_index, 1));}
            }
            count += 1;
        }

        text_index += 1;
    }

    println!("Total: {}", count);

    result
}

```

Код основной функции main

```

fn main() {
    let args: Vec<String> = env::args().collect();

    let (text_string, dictionary_string) = read_files(&args[1], &args[2]);

    let mut result_text_string = text_string.clone();

    let text_string = text_string
        .replace(&['.', ',', '!', '?', ':', ';', '»', '«', '(', ')', '\r', '\n'][..], " ")
        .to_lowercase();

    let mut text: Vec<&str> = text_string.split(' ').collect();
    text.retain(|x| x.len() > 0);

    let dictionary_string = dictionary_string.replace('\r', "");

    let mut dictionary_elements: Vec<&str> = dictionary_string.split('\n').collect();
    dictionary_elements.retain(|x| x.len() > 0);

    let mut dictionary: Vec<(&str, usize)> = Vec::new();

    for s in &dictionary_elements {
        dictionary.push(split_string_into_dict_element(s));
    }

    calculations(&text, &dictionary);

    let correction_vector = correct_text(&text, &dictionary);

    for mistake in correction_vector {
        let mut from: String = text[mistake.0].to_string();
        let mut to: String = dictionary[mistake.1].0.to_string();
        from.insert(0, ' ');
        to.insert(0, ' ');
        result_text_string = result_text_string.replace(&from, &to);

        let mut from: String = capitalise(text[mistake.0]);
        let mut to: String = capitalise(dictionary[mistake.1].0);
        from.insert(0, ' ');
        to.insert(0, ' ');
        result_text_string = result_text_string.replace(&from, &to);
    }

    println!("\n\n{}\n\n", result_text_string);

    let result_text_string = result_text_string
        .replace(&['.', ',', '!', '?', ':', ';', '»', '«', '(', ')', '\r', '\n'][..], " ")
        .to_lowercase();

    let mut result_text: Vec<&str> = result_text_string.split(' ').collect();
    result_text.retain(|x| x.len() > 0);

    calculations(&result_text, &dictionary);
}

```

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛЕНИЙ И ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ОШИБКИ

| Тип кодирования | Количество словоформ | Количество разных словоформ | Количество совпадений со словарем |
|-----------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| Исходный текст | 1725 | 815 | 807 |
| Редактированный текст | 1725 | 812 | 811 |

Таблица 1. Результаты расчетов.

| Слово из текста | Ближайшее слово из словаря | Редакторское расстояние |
|-----------------|----------------------------|-------------------------|
| перифрической | периферической | 1 |
| нутри | внутри | 1 |
| внутреннее | внутреннее | 1 |
| перенос | не найдено | >2 |
| 31го | 31-го | 1 |
| булевая | болевая | 1 |
| среднего | среднего | 1 |
| сенсонрая | сенсорная | 2 |

Таблица 2. Потенциальные ошибки.

Количество потенциальных ошибок: 8

ИСПРАВЛЕННЫЙ ТЕКСТ

Мозг и сенсорные системы

Наш организм довольно богато снабжен различными органами чувств. Еще в античные времена выделили основные пять чувств: зрение, слух, обоняние, осязание и вкус. На самом деле мы снабжены сенсорными системами гораздо богаче. Их назначение понятно: мы собираем информацию из внешней среды и из внутренней среды организма, потому что нашему мозгу важно, в каком состоянии находятся внутренние органы, насколько растянут кишечник или бронхи — все это достаточно значимо.

Большинство сенсорных систем имеют стандартное строение, и все начинается с клеток-рецепторов, то есть таких датчиков, которые реагируют на сигнал — на химический сигнал (молекулы появились в окружающей среде) или на физический, прикосновения, электромагнитные волны, как в случае зрения. Дальше этот датчик, клетка-рецептор, передает электрические импульсы на проводящий нерв. Нерв — это такой провод, который связывает датчик и центральный процессор, головной и спинной мозг. У нас, как известно, 31 пара спинномозговых нервов, и все они занимаются передачей сенсорных сигналов от разных этажей тела. Кроме того, из 12 пар черепных нервов большинство тоже занимаются сенсорику. И наконец, третий, самый сложный этап: сигнал попадает в центральную нервную систему и дальше сначала внутри спинного мозга, а потом и головного мозга последовательно обрабатывается, запускаются те или иные реакции, информация запоминается. Чем выше сигналы двигаются по центральной нервной системе, тем более сложные вычислительные операции реализуются. Самые сложные человеческие моменты обработки информации случаются в коре больших полушарий.

Если смотреть подробнее на наши рецепторы, с них, собственно, все начинается. Мы видим, что они делятся на два типа: это могут быть нервные клетки или ненервные клетки. Если рецептор — это нейрон или его отросток, такие рецепторы называются первично чувствующими. В каком-то смысле эволюция начинала с них. На нервные клетки приходил сигнал, дальше генерировался электрический импульс, и в этом понятном для мозга виде информация поднималась в спинной мозг, головной мозг. Но сигналов очень много, и они разные. Видимо, ресурсов нейронов не хватает на то, чтобы реагировать на все на свете, а чем больше сенсорных потоков вы считываете, тем полней информация об окружающей среде, тем правильнее ваше поведение, поэтому эволюция искала еще какие-то датчики, кроме нейронов. В конце концов ряд клеток, прежде всего эпителиальных, покровных клеток на поверхности кожи или на поверхности полостей организма, тоже превратились в рецепторы. Но это уже не нервные клетки, а такие рецепторы называются вторично чувствующими. Для того чтобы им передать сигнал в ЦНС, нужна помощь нейронов

периферической нервной системы. То есть рецептор реагирует на стимул, потом он должен передать его на так называемый проводящий нейрон, и уже только отростки проводящего нейрона доберутся до головного и спинного мозга.

К первично чувствующим рецепторам относятся рецепторы нашей обонятельной системы, а еще рецепторы таких систем, как кожная, мышечная, болевая, еще рецепторы системы внутренней чувствительности. Вторично чувствующие рецепторы — это зрение, слух, вестибулярная система и вкус. Получается, что у нас девять больших серьезных сенсорных систем. Хотя на самом деле иногда предлагают выделить больше. Критерий выделения некой части нашего тела в отдельную сенсорную систему в общем и целом довольно понятен. Мы говорим об особой сенсорной системе, если есть свои рецепторы, свои проводящие пути и свои отдельные центры в головном и спинном мозге, которые обмениваются внутри сенсорной системы информацией. С этой точки зрения кожная чувствительность, болевая чувствительность и мышечная чувствительность — это разные сенсорные системы, хотя когда-то говорилось об общей чувствительности тела. Обоняние — отдельная сенсорная система, но существует так называемая дополнительная обонятельная система — вомероназальный орган. Эта конструкция, хоть она и небольшая, удовлетворяет всем критериям, приложимым к сенсорной системе. Поэтому довольно логично вомероназальный орган и все, что с ним связано, то есть сигналы, которые возникают при появлении феромонов, а потом уходят в гипоталамус, выделять в отдельную сенсорную систему. Но она получается уж больно маленькая, просто она очень сильно редуцирована.

Как рецептор вообще реагирует на сигнал? За счет чего чувствительная клетка или ее отросток отвечает на физическое или химическое воздействие? Логика работы здесь довольно близка к тому, что вообще делают нейроны. Обычная нервная клетка отвечает на появление вещества медиатора. Рецепторы вкуса или рецепторы обоняния, рецепторы внутренней чувствительности примерно так же реагируют на появление химического вещества. На мембране рецептора есть чувствительные белки, с которыми связаны ионные каналы. При появлении определенного запаха они открываются, в клетку входят положительно заряженные ионы, возникает сдвиг заряда вверх, деполяризация, и это может служить причиной генерации электрических импульсов. Дальше эти импульсы уйдут опять-таки в головной или спинной мозг. Примерно по такому же принципу работают рецепторы механической чувствительности и даже зрительные рецепторы. Как правило, некое адекватное сенсорное воздействие вызывает на мембране рецептора открывание (правда, иногда закрывание) тех или иных ионных каналов, возникает сдвиг заряда в клетке и генерируется потенциал действия, убегающий в центральную нервную систему. И чем сильнее сенсорное воздействие, тем чаще бегут импульсы (потенциалы

действия) сначала по сенсорному нерву, а потом уже в внутри сенсорных центров головного и спинного мозга.

Это является первым из двух базовых законов работы сенсорных систем. Закон звучит так: интенсивность энергии сенсорного сигнала кодируется частотой потенциала действия в проводящем нерве. То есть чем громче звук, чем ярче свет, чем более концентрированный раствор, например, глюкозы, тем чаще бегут импульсы по тому или иному нерву. В зависимости от этой частоты наш головной мозг и высшие центры узнают об интенсивности сенсорного сигнала. Если говорить уже о реальных цифрах, то сигнал, который субъективно воспринимается как довольно слабый, где-то 20–40 импульсов в секунду. Если импульсы бегут с частотой 50–70 Гц по нерву, то это для нас субъективно сигнал средней силы. Когда ближе к 100 импульсам в секунду, то есть 100 Гц, это сильный сигнал. А когда уходит за 100 Гц, это уже сверхсильный сигнал, и такие сигналы для нас зачастую субъективно неприятны. Слишком яркий свет, слишком громкий звук — мы стараемся уйти от таких воздействий, потому что велик шанс повреждений тех самых рецепторов или, что еще хуже, сенсорных центров головного и спинного мозга.

Для того чтобы рецепторы хорошо и качественно работали, им, как правило, нужны некие вспомогательные структуры, создающие для них все условия. Рецепторы функционируют уже внутри этих структур. Такие структуры мы называем органами чувств. Не нужно путать понятия «орган чувств» и «сенсорная система». Орган чувств — это место, где рецептору хорошо. Скажем, глаз — это орган зрения. Внутреннее ухо или улитка — орган слуха. Кожа — это орган осязания, болевой чувствительности.

Помимо интенсивности, энергии каждый сенсорный сигнал характеризуется еще одним качеством. С точки зрения организации сенсорной системы качественно разными сигналами считаются те, которые действуют на разные рецепторы. Это не очень сходится с нашим бытовым восприятием работы органов чувств и сенсорных систем, но это именно так. Проще всего это понять на примере кожной чувствительности. У нас есть поверхность кожи, по которой рассеяны рецепторы, отростки нервных клеток, и разные рецепторы обслуживают разные участки кожи. Соответственно, есть рецептор и нейрон, работающий с большим пальцем, и есть нейрон, работающий с мизинцем. Качественно разные сигналы — это сигналы, которые считываются от разных участков кожи. Для слуховой системы организация нашей улитки такова, что разные рецепторы реагируют на сигналы разной тональности. Есть рецепторы, настроенные на высокие частоты, на низкие частоты, средние частоты. Для нашей зрительной системы качественно разными сигналами являются сигналы, приходящие от разных точек пространства, потому что разные фоторецепторы у нас на сетчатке как бы сканируют свой кусочек этой 2D-картинки и отчитываются

перед центральной нервной системой о неких точках в определенных местах пространства. То есть качественно разные сигналы — это сигналы, действующие на разные рецепторы.

Дело еще в том, что рецепторы, как правило, расположены в определенном месте нашего тела. Эта зона называется рецепторная поверхность. Каждый рецептор передает сигнал своим нервным клеткам, информация от соседних рецепторов передается соседним нервным клеткам. В итоге рецепторная поверхность параллельно отображается на структурах головного и спинного мозга — этот параллельный перенос знаком вам из геометрии. В результате возникает очень интересный эффект: у нас в головном или спинном мозге формируется карта рецепторных поверхностей. Наша кожная поверхность с большим пальцем, ухом, спиной, мизинцем, коленом и так далее отображается в центрах кожной чувствительности, сетчатка отображается в зрительных центрах, а улитка и ее базилярная мембрана — в слуховых центрах. Параллельный перенос позволяет нашему мозгу различать сигналы разного качества. Каким образом мозг узнает, что прикоснулись к носу или к колену? Ведь импульсы, которые бегут по нервным клеткам, абсолютно одинаковые. Узнать можно, только если посмотреть, по какому аксону прибежал сигнал. В кибернетике это называется кодировка номером канала. Принцип кодировки номером канала лежит и в основе работы сенсорных систем. Это второй базовый закон работы сенсорных систем. Он звучит так: качество сенсорного сигнала кодируется номером канала. Мы можем закодировать интенсивность сигнала с помощью частоты ПД, закодировать качественные характеристики с помощью номера канала, и этого достаточно головному мозгу, для того чтобы дальше обрабатывать эту сенсорную информацию.

Что происходит в головном и спинном мозге с сенсорными сигналами? Они фильтруются и способны запускать различные реакции. Головной и спинной мозг, особенно головной, способны опознавать так называемые сенсорные образы. Сенсорная область — это совокупность нескольких сенсорных сигналов, информационная сущность более высокого порядка. Спинной мозг в основном работает с чувствительностью тела, 31 сегмент спинного мозга считывает информацию с 31-го этажа нашего тела: это болевая чувствительность, кожная, мышечная чувствительность и сигналы от внутренних органов — это называется интерорецепция, внутренняя чувствительность. Дальше белое вещество спинного мозга, скопление аксонов позволяет провести, передать эту информацию уже в головной мозг. Главными восходящими трактами спинного мозга, теми, которые передают такую сенсорную информацию, являются так называемые дорзальные столбы, идущие на самой задней поверхности спинного мозга. Еще есть спинно-мозжечковые тракты, взаимодействующие с мозжечком. Для передачи болевой чувствительности очень важен спинно-таламический тракт.

Если мы говорим о головном мозге, то ему достается львиная доля сенсорных входов. Существует обонятельный нерв, зрительный нерв, вестибуло-слуховой нерв — три нерва,

занимающиеся исключительно сенсорикой. Кроме того, такие нервы, как лицевой, языкоглоточный, тройничный, тоже передают различные сенсорные сигналы.

Очень важным уровнем обработки сенсорных сигналов является таламус — структура, через которую все сенсорные потоки, кроме обоняния, поднимаются в кору больших полушарий. Таламус — это важнейший информационный фильтр, работающий по заказу коры больших полушарий и пропускающий то, что здесь и сейчас является значимым. Кроме того, таламус очень охотно пропускает новые сильные сигналы. В выполнении этой функции ему помогает четверохолмие среднего мозга, где расположены наши древние зрительные и слуховые центры. В конце концов сенсорная информация поднимается в кору больших полушарий, где есть зрительные центры, слуховые центры, вкусовые центры. Затылочная доля — это зрительная кора, височная доля — слуховая, область в районе центральной борозды — это наша чувствительность. Внутри этих сенсорных зон выделяют первичную, вторичную, а также третичную кору, которая занимается узнаванием все более сложных образов. Первичная зрительная кора — это узнавание линий, вторичная зрительная кора — узнавание геометрических фигур, а третичная — это уже лица конкретных людей. После обработки в конкретных сенсорных центрах сенсорная информация передается в ассоциативную теменную кору, где находятся нейроны, способные работать одновременно с разными сенсорными потоками.