Глава 7. GIT UART

Ежелев Г. И.

20 декабря 2025 г.

Структура проекта

В нашем проекте уже появилось несколько файлов с совершенно разным функционалом - это и управление тактированием и временем, и управление GPIO - General Purpose Input Output, и ADC, а скоро еще и UART - это цифровой протокол передачи данных.
Настала пора навести порядок в проекте. Начнем с файловой структуры проекта, откройте проводник, чтобы убедиться что у вас так же:

- Корень - в нем лежит файл *.uvprojx - файл-проект.
- Папка src(source - источник/исходник) - в ней лежит весь разработанный вами код и библиотеки.
- Папка Objects - все скомпилированные программные компоненты. Каждый файл - отдельный объект, созданный компилятором. Далее их будет собирать воедино Linker от слова Link - связь/ссылка.

Возникает довольно логичный вопрос - как именно распределять файлы и папки. Вспомните любой свой проект - в какой-то момент он становится таким громоздким, что в нем очень трудно разобраться вам самим. В таком случае жесткая формальная структура приходит на помощь:

- Layer-first - подход, в котором все файлы распределяются по папкам в зависимости от их "слоя в проекте". Нам важно не то, какие функции используют этот файл, а то чем он является сам - все интерфейсы в папке interfaces, вся обработка датчиков в sensors и т.д..
- Feature-first - здесь все файлы, ответственные за одну "фичу" группируются в одну папку: camera/{uart.cpp, camera.cpp, gpio.cpp}
- В нашем случае лучше использовать именно первый вариант, т.к. мы делаем универсальный проект.

- Очевидно, что каждая пара *.cpp и *.h лежат в отдельной папке с таким же названием.
- В каждом файле должен быть #include "project_config.h"
- Каждый файл должен быть добавлен в группу (папки в левой части экрана)
- Каждая папка должна быть указана в options for target(значок волш палочки) →C/C++ →include paths
  И все подпапки!!!

Хороший пример: `https://github.com/haaroner/ITMO_Clown/tree/main/Java/lab3_4`
Плохой: `https://github.com/haaroner/ITMO_Clown/tree/main/Java/Lab2`

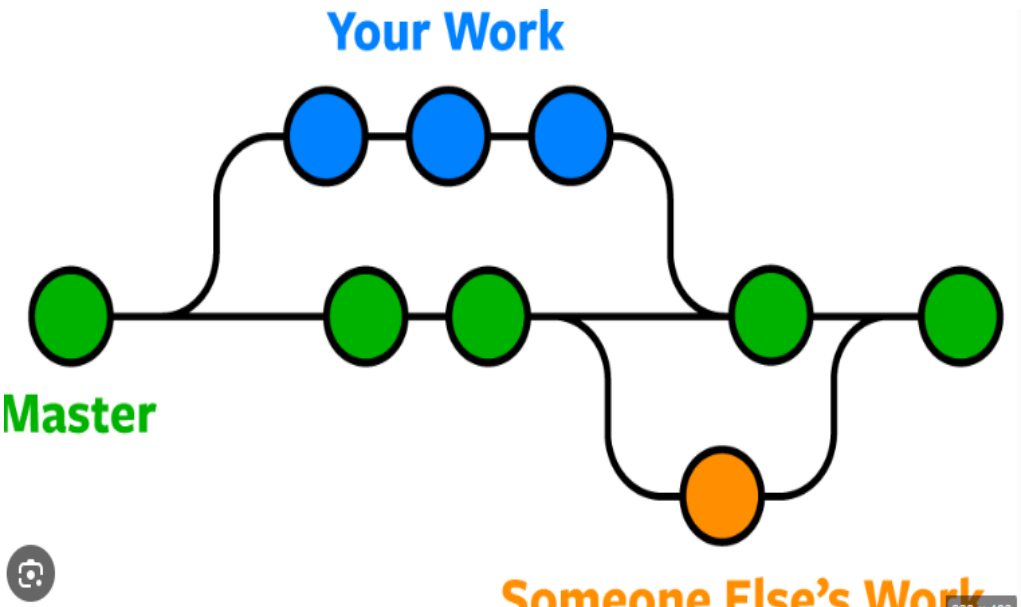
GIT

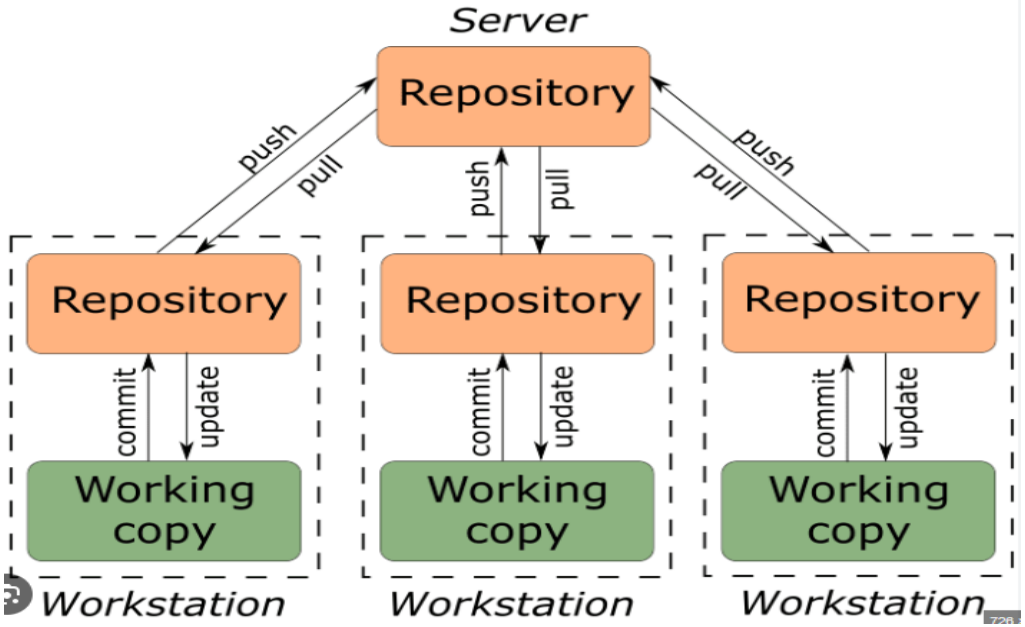
Следующая проблема ой, а куда я жмав, все сломалось. Чтобы не тратить много времени имеет смысл сохранять стабильные версии проекта. Можно сделать zip и отправить себе в телеге способ невероятно удобный.

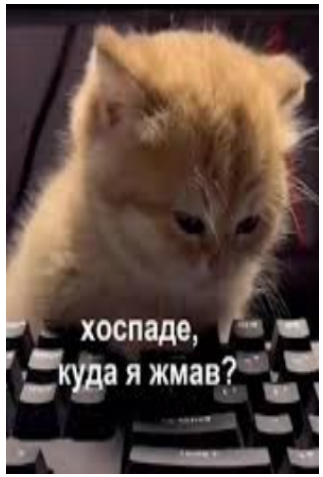
Но если брать более адекватный вариант то это GIT распределенная система управления версиями.

- В ней ваш проект состоит из веток(branches)
- Каждая ветка таймлайн версий проекта.
- Несколько веток позволяют разрабатывать проект параллельно и из каждой брать по кусочку
- В каждой ветке сохранены все версии вы можете откатиться к любой
- GIT поддерживает работу с локальными репозиториями и удаленными (remote). Обновление репозитория через push, скачивание конкретной версии - pull

GIT


Your Work
Master
Someone Else's Work
968 x 496


Server
Repository
push
pull
push
pull
push
pull
Repository
Repository
Repository
commit
update
commit
update
commit
update
Working copy
Working copy
Working copy
Workstation
Workstation
Workstation


хоспаде,
куда я жмав?

Очень советую самостоятельно углубиться в эту тему.
Сейчас только самое важное. Подробности:
https://www.perplexity.ai/search/kak-sdelat-pervyi-push-na-gith-8OL1XRYNSeKcqL5kORofHw.

UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) — универсальный асинхронный приёмопередатчик — это интерфейс для последовательной передачи данных между устройствами без общего тактового сигнала. Он преобразует параллельные данные из шины микроконтроллера в последовательный поток битов и обратно, используя две линии: TX (передача) и RX (приём). Каждый байт передается в формате кадра:

- Изначально линия находится в состоянии покоя - HIGH
- Стартовый бит всегда - LOW. По спадающему фронту происходит синхронизация устройств.
- Момент чтения каждого следующего бита определяется этим фронтом и baud rate - скорость передачи, которая на обоих устройствах должна быть одинакова.

UART

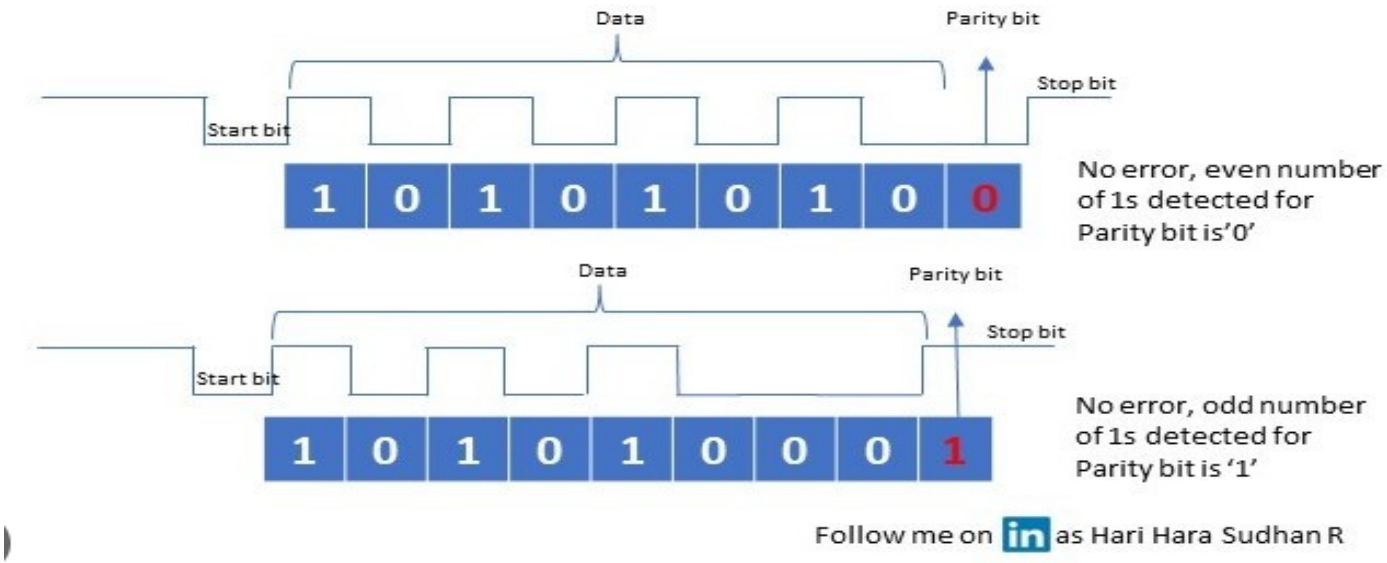
- Далее идет (обычно) 8 бит данных начиная с LSB (Low significant bit), опциональный PARITY BIT (бит четности - простая проверка корректности приема байта) и 1 или 2 STOP BITS - возврат линии в покой.
- Одна логическая последовательность байтов называется пакет. У пакета, обычно есть явное начало и конец, чтобы было понятно, какой байт что значит, например:
  255, X, Y, 254
- UART имеет стандартные скорости - загуглите какие
- устройства подключаются крест-накрест tx1 в rx2 и tx2 в rx1

UART - особенности

UART не самый крутой протокол и имеет множество недостатков:

- Проблема рассинхронизации
- Много служебных битов
- Невозможно подключить более двух устройств для full duplex(двухсторонней) коммуникации.
- Не самая высокая скорость по сравнению с другими протоколами

Все это с лихвой компенсируется его простотой в использовании

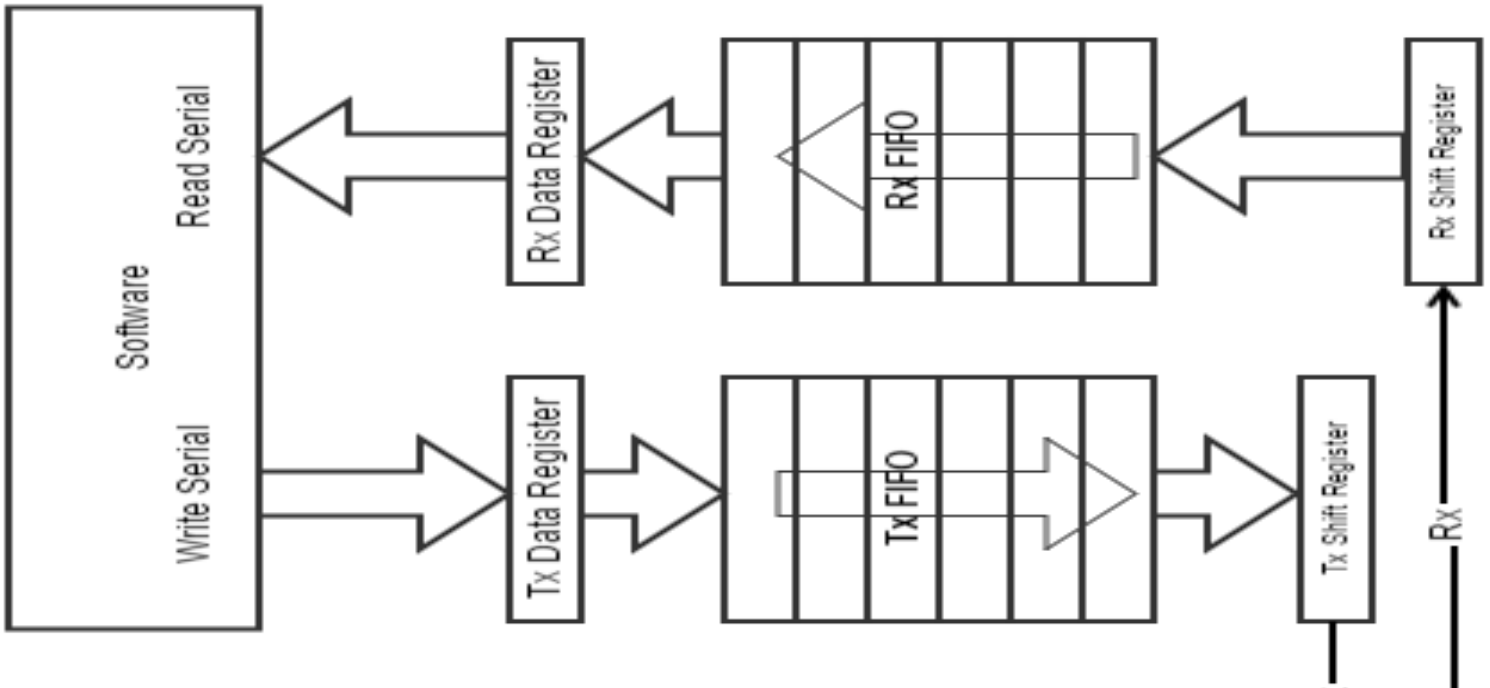


UART - код

Пожалуйста, не копируйте. Пишите сами, ориентируясь на пример. Все места с xxx - вам нужно подумать что вставить по аналогии с уже сделанным кодом.
`https://github.com/haaroner/ezh239/tree/main/STM32_25_26/7_UART_GIT`

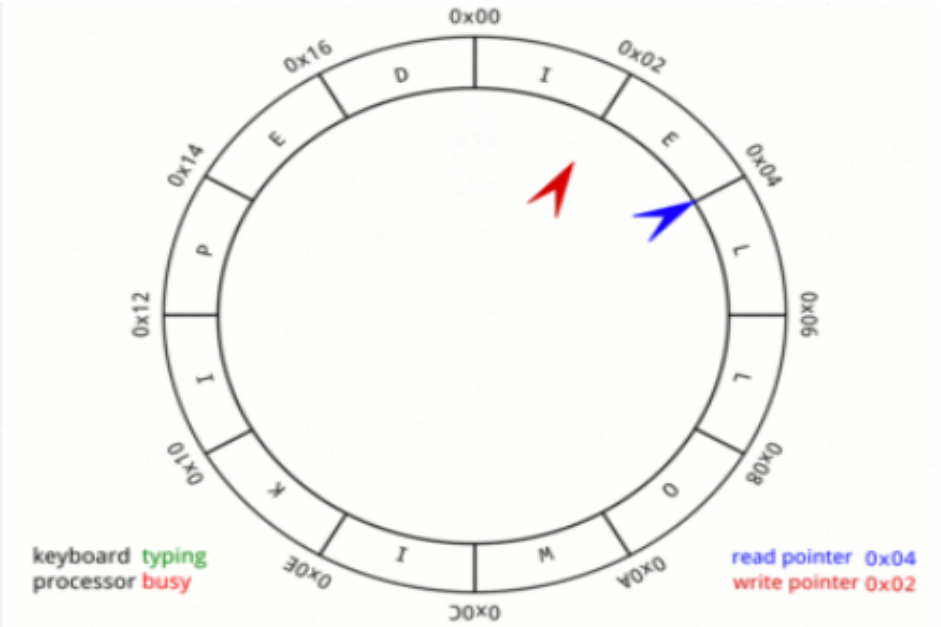
UART - FIFO buffer

FIFO - first input - first output. Часто называют сдвиговый регистр. Т.е. каждый бит, который вы хотите отправить отправляется в сдвиговый регистр трансмиттера. Трансмиттер отправляет последовательно байт за байтом. Ресивер принимает эти пакеты и так же последовательно передает устройству. Посредством шины эти два блока памяти на разных устройствах объединяются в один сдвиговый регистр, работающий как конвееер.



UART - буфер на массиве

- Чтобы заставить работать массив как буфер, т.е. часть сдвигового регистра (отправка и прием байтов не мгновенная). Нужно его закольцевать.
- Создадим два массива - uint8_t tx[16] и rx[16]
- Для каждого массива по 2 указателя - (byte_to_send, last_byte. Первый указывает, какой следующий байт нужно отправить, второй, какой последний байт лежит в массиве (после него лежат старые значения)



UART - checksum

В процессе передачи данных могут возникать **ошибки передачи**. Причины могут быть совершенно разными и сейчас нас это не интересует.

Есть различные подходы к решению проблемы ошибок в пакетах, все они обобщенно называются checksum - "чек-суммы"или проверочные суммы. Отправитель посылает данные, и считате эту сумму по специальному алгоритму. Приемник по полученным данным тоже считает эту сумму и сравнивает с присланной

Расстояние Хэмминга - максимальное количество обнаруживаемых ошибок, т.е. максимальное расстояние между двумя последовательностями, которые будут распознаны алгоритмом, как корректные.

UART - checksum. Виды

- Parity Bit - бит четности. Один бит, расположенный (обычно) в конце байти. Если в байте четное количество единиц - то бит четности 1, иначе 0.
- Среднее значение по байтам
- Код Хэмминга
- crc8, crc16, ...
- На самом деле подойдет любая операция, для которой можно явно найти обратное значение.

Код Хэмминга

Каждый бит r_i - бит четности для определенной группы информационных битов. Бит r_{i+1} - половина каждого сектора, покрываемого r_i. Каждый синдром S вычисляется как $S_i = r_i \oplus i_1 \oplus i_2 \oplus i_3$, где i_1, i_2, i_3 - биты конкретного r. Если S_i равен 1 - в этой части есть ошибка. Все S_i задают адрес бита с ошибкой

N ->	1	2	3	4	5	6	7	
2^X	r_1	r_2	i_1	r_3	i_2	i_3	i_4	S
1	X		X		X		X	s_1
2		X	X			X	X	s_2
4				X	X	X	X	s_3

$$r_1 = i_1 \oplus i_2 \oplus i_4$$
$$r_2 = i_1 \oplus i_3 \oplus i_4$$
$$r_3 = i_2 \oplus i_3 \oplus i_4$$
$$s_1 = r_1 \oplus i_1 \oplus i_2 \oplus i_4$$
$$s_2 = r_2 \oplus i_1 \oplus i_3 \oplus i_4$$
$$s_3 = r_3 \oplus i_2 \oplus i_3 \oplus i_4$$

- Какое расстояние Хэмминга в этом коде?

CRC8

CRC8 - алгоритм с намного большим кодовым расстоянием.

В следующих слайдах будет приведено строгое обоснование работы алгоритма, которое покажет вам в насколько простых и прикладных задачах математическое решение круче и эффективнее обычного алгоритмического.

Если вы что-то не поймете, возможно, это нормально. Следующая секция скорее для ознакомления.

Кольцо

- Сами по себе числа это просто знаки, как и знаками являются операции.
- В каждом конкретном случае мы можем задавать совершенно разные операции и у чисел будет разное поведение
- Строго говоря нам даже не важно, числа это или другие объекты. Например, мы умеем складывать и умножать многочлены, значит для них тоже справедливы многие мат. утверждения, что и для чисел.
- Обычно, удобно, чтобы ваши числа и операции удовлетворяли следующим правилам: $ab = ba, a(bc) = (ab)c, 1 * a = a, a * a^{-1} = 1$ и те же свойства по сложению(существование обратного элемента по умножению для a, вообще-то не гарантировано)
- Если у всех элементов есть обратный - то это множество - поле, иначе кольцо

- В школе это утверждается как аксиомы, хотя вообще существуют числа, где это не так. Например кватернионы, матрицы тоже не выполняют всех условий, хотя их можно складывать и умножать.
- Главное, что нам нужно - с такими правилами нам гарантированно, что никакая операция между любыми такими объектами не даст результат, выходящий за это множество.
- Например $\mathbb{Z}$(целые числа) - кольцо, а $\mathbb{R}$(все действительные) - поле. Проверьте!
- Главное отличительное свойство поля от кольца, в поле вы можете прыгнуть из любого числа в другое за одну операцию, в кольце не всегда. Попробуйте взять два числа из $\mathbb{Z}$: 3 и 2 и умножить 3 на какое-то целое число(из кольца целых), чтобы получилось 2. Такого нет. А у действительных оно есть: $\frac{2}{3} * 3 = 2$.

Оказывается если взять любое кольцо и умножить каждый элемент на число из кольца, то получится новое кольцо $\mathbb{I}$, обладающее интересным свойством: для любых x из кольца и i из $\mathbb{I}$ $xi \in I$. Такое множество называется Идеал. пример $2 * \mathbb{Z}$ - все четные числа. При умножении любого числа на четное, очевидно, будет четное

К чему это всё?

- Если любые 2 числа a и b такие, что: $a - b \in I$ то $a \equiv b \pmod{n}$ Проверьте на примере $2 * \mathbb{Z}$
- Как упоминалась раньше многочлены тоже можно складывать и умножать. Значит из них тоже можно составить кольцо - кольцо многочленов - и идеал по какому-то многочлену.
- Если построить множество всех многочленов, с коэффициентами из 0, 1 то они будут соответствовать всем возможным последовательностям битов (и это даже окажется полем, но мы это уже не сможем так легко доказать)

Итак преамбулу мы завершили, возвращаемся к CRC8

CRC8 через многочлены над полем GF(2)

Пусть первый байт соответствует многочлену M(x), crc8 - R(x), а порождающий многочлен (по которому сделан идеал) - это G(x) с коэффициентами либо 0, либо 1. Его степень должна быть равна 8 для максимального расстояние Хэмминга, а сам он должен быть простым, почему так мы выясним чуть позже.

CRC8 через многочлены над полем GF(2)

- Итак, G(x) - порождающий ($\mathbb{I} = G(x) * GF(2)$), $M(x)$ - байт, $R(x)$ - чек сумма, $Q(x)$ - целая часть от деления.
- Тогда, аналогично тому, как любое число можно поделить с остатком, можно и многочлен $M(x) * x^8$ на $G(x)$:
  $M(x) * x^8 = G(x) * Q(x) + R(x)$
- Умножение на x^8 сделано, чтобы степени совпадали у M(x) и G(x)
- Тогда сумма самого байта (M(x)) и чек суммы (R(x)) - C(x) попадает в идеал:
  $C(x) = M(x) * x^8 - R(x) = G(x) * Q(x) \equiv G(x) \equiv 0 \pmod{G(x)}$ почему я сказал про сумму а написал про разность?

- Разность и сумма эквивалентны в GF(2): 1-1 = 1+1 $\equiv$ 0 (так же работают и побитовые операции)
- Если окажется, что произошла ошибка передачи, то $C(x) \neq 0(modG(x))$ Степень G(x) равна 8, значит расстояние Хэмминга - расстояние между двумя разрешенными (т.е. алгоритм сочтет их правильными) комбинациями - равно 8, что довольно солидно.
- Если порождающий многочлен (по которому сделан идеал, и на который должна разделиться сумма CRC8 и байта, чтобы алгоритм счел байт переданным без ошибок) будет имет степень меньше 8, то и максимальное расстояние будет меньше (многочленов, которые разделятся на x^6 явно больше чем на x^8).
- Если порождающий многочлен не простой (приводимый), то $G(x) = H(x) * F(x)$ Степень каждого из них меньше, а по предыдущему пункту это уменьшит расстояние Хэмминга.