Лабораторная работа №3 ФАПЧ

Савельева Софья Б01-006

В этой лабораторной работе рассматриваются алгоритмы грубой и точной частотной синхронизации с разными алгоритмами Phase detector: Delay and Multiplay и Luise and Reggiannini.

Петлевой фильтр

Петлевой фильтр используется для сглаживания результатов Phase detector в грубой частотной синхронизации. Передаточная функция для данного фильтра:

$$H(s)=\frac{\Psi(s)}{\Phi(s)}=\frac{K_d\cdot K_o\cdot F(s)/s}{1+K_d\cdot K_o\cdot F(s)/s}=\frac{K_d\cdot K_o\cdot F(s)}{s+K_d\cdot K_o\cdot F(s)}$$

(1)

$$K_d\cdot K_o\cdot K_i=\omega_p^2,\quad K_d\cdot K_p\cdot K_o=2\cdot\zeta\cdot\omega_p,\qquad H(s)=\frac{2\cdot\zeta\cdot\omega_p\cdot s+\omega_p^2}{s^2+2\cdot\zeta\cdot\omega_p\cdot s+\omega_p^2}.$$

ω_P - резонансная частота,

_ - коэффициент затухания (damping factor)

(2)

$$H(j\omega)=\frac{\omega_p^2+j\cdot 2\cdot\zeta\cdot\omega_p\cdot\omega}{\omega_p^2-\omega^2+j\cdot 2\cdot\zeta\cdot\omega_p\cdot\omega}.$$

(3)

В данной работе характеристики фильтра через параметры Xi, BnTs, Kd. Из формулы (3) находим резонансную частоту (после пересчета на нормализованную полосу BnTs):

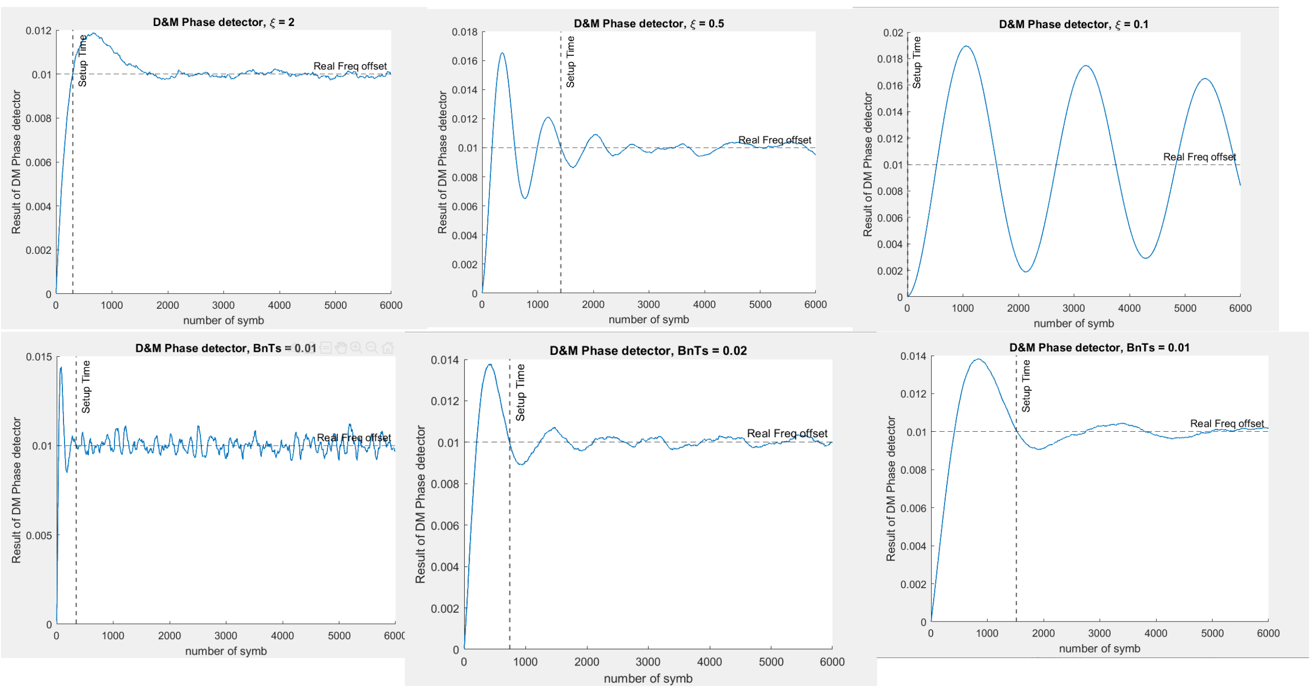
$$\omega_p = BnTs/(\xi + 1/(4 * \xi))$$

Тогда после пересчета коэффициентов:

$$K_P = 2 * \xi * \omega_p/K_dK_0 \qquad K_i = \omega_p^{\,2}/K_dK_0$$

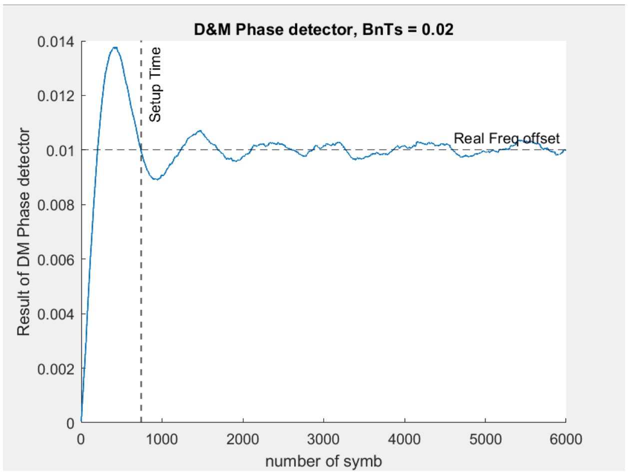
При росте ширины нормализованной полосы BnTs уменьшается время установки частотного синхронизатора, но увеличивается амплитуда колебаний вокруг настоящего значения (после установки) => уменьшается точность

Чем меньше Damping Factor тем больше размах колебаний и дольше время установки.



Delay and Multiply

Data-Aided алгоритм оценки частотного смещения:



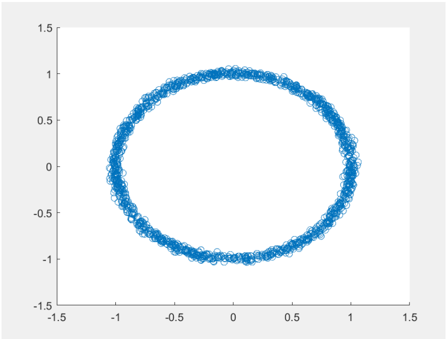
$$\hat{f} = \frac{1}{2\pi D} \arg\left[\sum_{k=D}^{L-1} z(k)\, z^*(k-D)\right]$$

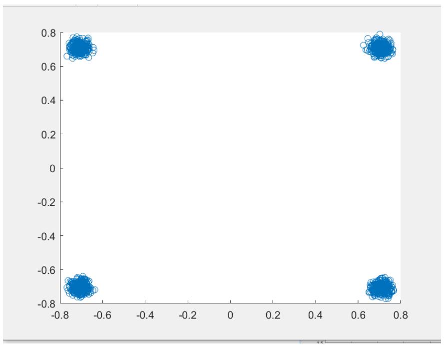
при этом существуют ограничения:

$$|\hat{f}| < \frac{1}{2D}$$

Для данной синхронизации, время схождения составляет ~ 23 кадр

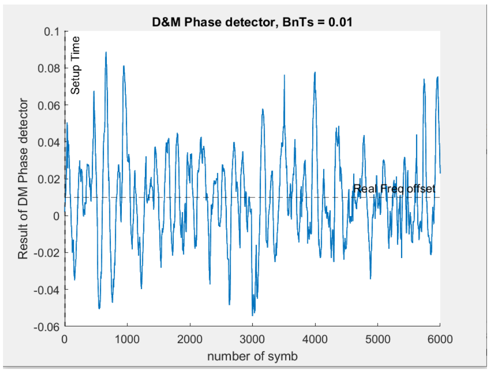
После применения алгоритма созвездие после setup time приходят в вид, когда на них подействовал только белый гауссовский шум:





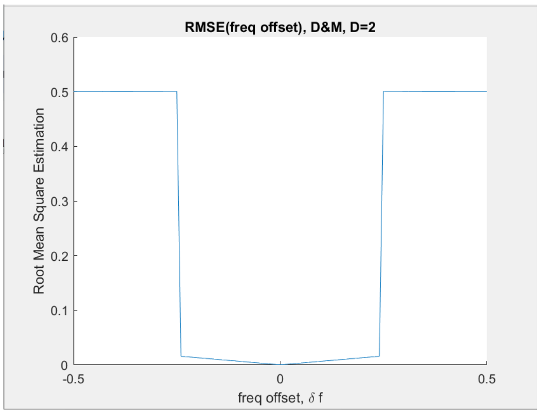
До и после символьной синхронизации (для 100-го фрейма > время установки)

При увеличении мощности шума (SNR = 0) наблюдаем такой график сходимости:



Видно, что сходимость рушится

Для параметра D = 2 график RMSE(freq offset) будет выглядеть как:

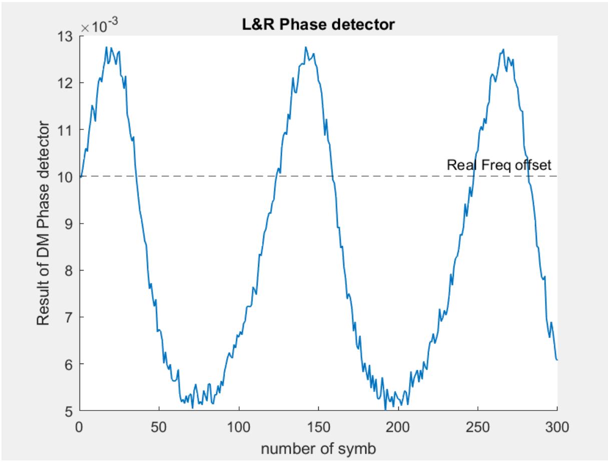


Luise and Reggiannini

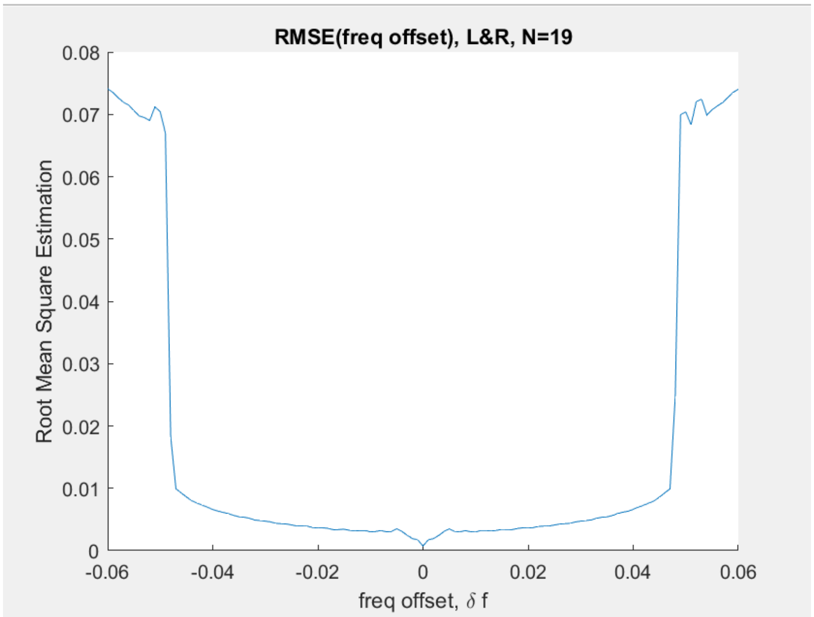
Data-Aided алгоритм, основанный на автокорреляции. Используется для тонкой синхронизации. Из-за его точности, мы можем использовать его в петле feedforward без петлевого фильтра.

$$\hat{f} = \frac{1}{\pi(N+1)} \arg\left\{\sum_{m=1}^{N} R(m)\right\} \qquad |\hat{f}| < \frac{1}{N+1}$$

для параметра N = 19 график сходимости ниже. Видно, что Phase detector достаточно точно (10^-3), но все время колеблется.



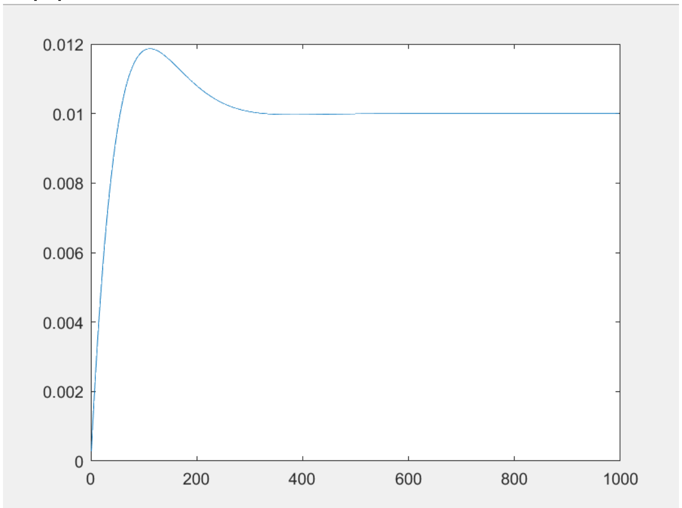
Для параметра N = 19 график RMSE(freq offset) будет выглядеть как:



Изменение в кадровой структуре

Пронаблюдаем, что изменится, если мы будем отправлять только пилотные сигналы:

D&M. Видно, что график сходится намного плавнее и быстрее (~50 символ в отличие 453 символа). Это говорит о том, что на идеальных условиях(передача только пилотов) схема feedback+ФАПЧ сходит очень хорошо. Кадровая структура вносит ухудшение в нашу схему, т.к. у нас образуются скачки в freq offset при вычислении дифф. коэффициентов.



На алгоритм L&R это изменение никак не влияет, потому что он определяет точный freq_offset, по сути, первого фрейма, если длина априорно известного блока остается такой же L = 20, то изменение в кадровой структуре не влияет на сходимость алгоритма.