Специальная Астрофизическая Обсерватория РАН

"УТВЕРЖДАЮ"
Директор САО РАН
Член-корреспондент РАН
Балега Ю.Ю.

"___" августа 2001г.

Спектральный комплекс фокуса Нэсмита БТА. Локальный корректор положения звезды.

*Технический отчет № **278***

ИСПОЛНИТЕЛИ:

Панчук В.Е.

Иванов А.А.

Шергин В.С.

Нижний Архыз
2001 г.

Локальный корректор положения звезды для спектрального комплекса фокуса Нэсмита 6-метрового телескопа БТА.

Описание системы, результаты испытаний и инструкция по эксплуатации

Оптика, механика, общее руководство: Панчук В.Е.
Электронная аппаратура: Иванов А.А.
Матобеспечение: Шергин В.С.

В настоящем документе описывается результат разработки средств коррекции положения звезды на входной апертуре трех спектрографов, стационарно размещенных в фокусе Нэсмит-2 телескопа БТА. Система коррекции в значительной мере компенсирует колебания положения центра звезды в диапазоне частот ниже 0.5 Гц.

Содержание

1 Введение. История разработки гидирующих систем БТА

Первоначально БТА был оснащён телевизионными средствами наведения и телевизионными или фотоэлектрическими средствами сопровождения объекта (Маларев, 1977). Питающей оптикой поисково-гидирующей системы являлся гид с ломаной оптической осью, в котором удалось совместить функции поиска объекта и гидирования по звезде во вращающемся поле. Сигналы рассогласования координат, выработанные поисково-гидирующей системой, подавались на систему управления приводами БТА. Компенсация дифференциальных гнутий между телескопом и гидом осуществлялась отклоняющей пластиной в малом поле гида, управляемой с рабочего места астронома. В полном объеме возможностей эта система гидирования эксплуатировалась не более трех лет.

Для облегчения работы астронома при наблюдениях на Основном звёздном спектрографе (ОЗСП, Васильев и др., 1977), стационарно размещённом в фокусе Нэсмит-2 (Н2), была разработана система местного фотогида, которая применялась до 1980 года. Аналогичной (но не используемой) системой был оснащён фокус Нэсмит-1.

Отказ спектроскопистов от использования системы фотогидирования в Н2 произошёл следовательным образом: сначала (из-за больших потерь света) прекратили пользоваться компенсатором вращения поля и компенсатором атмосферной дисперсии, использование последнего заменили визуальным гидированием по окрашенному изображению звезды (при наблюдениях в ультрафиолете изображение звезды в видимом диапазоне необходимо было полностью выводить за пределы щели, выигрыш по сравнению с режимом фотогидирования превосходил одну звездную величину). Кроме того, механика приводов пластины фотогида обладала значительной инерционностью, что в принципе не позволяло компенсировать колебания телескопа. Подчеркнём, что работа фотогида фокуса Нэсмит-2 была основана на том фундаментальном (и печальном) обстоятельстве, что при наблюдениях на большом телескопе с высоким спектральным разрешением ширину щели приходится выбирать такой, что большая часть изображения звезды отражается от щёчек щели. Внедрение телевизионных подсмотров с усилителями яркости сделало работу спектроскописта более комфортной, и, в отсутствие средств дистанционного управления системой локальной коррекции положения звезды, наблюдатели смирились с необходимостью ручной коррекции телескопа, как целого, из аппаратной БТА.

В последние годы произведено несколько этапов модернизации АСУ БТА каждый из которых обеспечивал всё более тесное взаимодействие с ней других компьютеров влючённых в локальную сеть БТА. В 1996-м году (Афанасьев,Власюк и др.) для эксперимента MPFS в СПФ была разработана гидирующая система на основе небольшой ПЗС-матрицы подсоединёной к компьютеру, который контролировал изображение внеосевой звезды и вычислял необходимые величины коррекции телескопа. Система рассматривалась как подготовительный этап в разработке локального корректора СПФ и некоторое время эксплуатировалась авторами. Был накоплен полезный опыт. В настоящее время работы по созданию локального корректора СПФ для платформы SCORPIO близятся к завершению.

С другой стороны в последние годы освоена технология оцифровки изображений с телевизионных подсмотров. На этой основе в 1999-м году (Шергин) разработана программа автогидирования ***tvguide*** использующая возможности оцифровки телевизионного изображения звезды, анализа этого изображения и формирования соответствующих корректирующих команд для АСУ БТА. Эта система автогидирования имеет настойку на конкретные условия эксперимента, особенности ТВ-подсмотра и фокус телескопа (СПФ,Н1,Н2). Она испытана по крайней мере в семи экспериментах в разных фокусах и находится в опытной эксплуатации с конца 1999-го года, набрана достаточная статистика её свойств. Это, в совокупности с возможностями элементной базы современной электроники, позволило с учётом многолетнего опыта наблюдений, с учётом нового технологического уровня, – обратиться к проблеме создания локального корректора положения звезды в фокусе Нэсмита.

2 Схема и принцип действия локального корректора

Основное назначение локального корректора состоит в удержании центра изображения звезды на центре щели спектрографа, т.е. локальный корректор служит для экономии света, используемого в спектрографе. В процессе ввода в действие предыдущей программы автогидирования ***tvguide*** с передачей коррекции на автоматическую систему управления (АСУ) БТА выявилась еще одна важная функция локального корректора – его работа должна освободить алгоритм гидирования через АСУ от необходимости корректировать телескоп на высоких (для телескопа) частотах.

2.1 Состав технических средств

К настоящему времени система локального корректора фокуса Нэсмит-2 поддерживается следующими техническими средствами:

1. Компьютер ***sky.bta.sao.ru***. Pentium/200МГц/32Мб.
2. Карта TV-граббера **VS60**.
3. Интерфейс **RS-232** (сериал порт COM2).
4. Сетевой интерфейс **Ethernet**.
5. Преобразователь для оптических линий.
6. TV-подсмотр.
7. Блок управления шаговыми двигателями.
8. X/Y шаговые двигатели.
9. Пластина кварцевого корректора с подвесом и редукторами.
10. Узел искусственной звезды (для настройки системы).

На рис.1 приведена схема размещения аппаратуры и структура сигнальных связей в системе локального корректора.

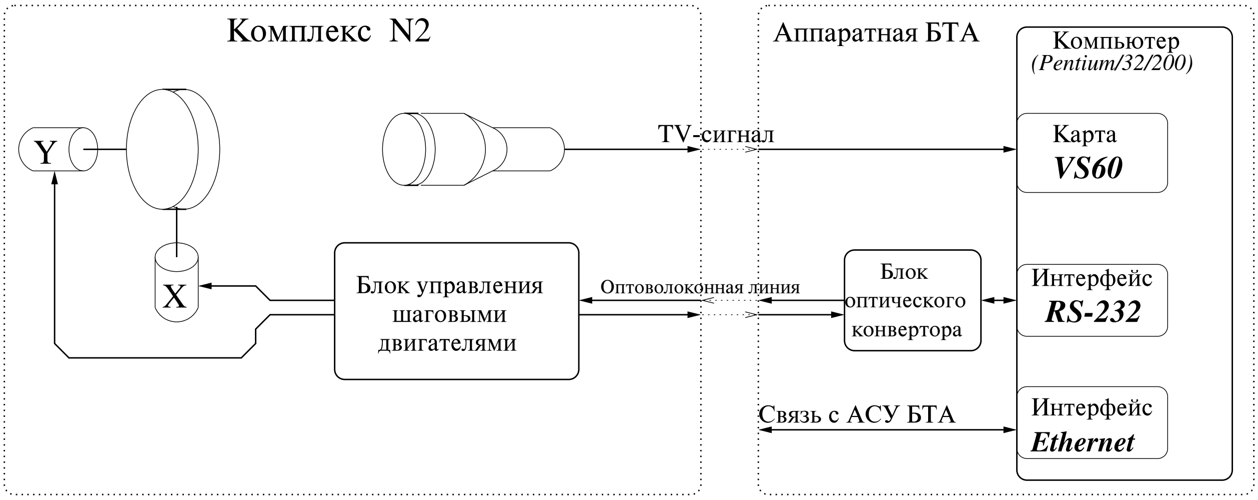


Рис. 1. Структурная схема используемой аппаратуры.

2.2 Оптическая схема

Первоначально была предложена следующая оптическая схема локального корректора (рис.2). Сходящийся пучок (F/30) от третьего плоского зеркала БТА проходит через плоскопараллельную пластину из плавленого кварца, две перпендикулярные оси которой связаны с механизмами цифровых приводов. Затем свет проходит через тонкую плоскопараллельную пластинку, наклонённую к оси "Z" телескопа на 45 градусов. Около 5% света отклоняется этой пластинкой на оптику телевизионного подсмотра (подсмотр поля), укорачивающую эффективное фокусное расстояние телескопа. Остальной свет попадает на щелевую часть ОЗСП или деккеры эшелле спектрографов, где положение звезды контролируется другим телевизионным подсмотром (подсмотр щели). Сигнал, оцифрованный подсмотром поля, анализируется с целью определения величины рассогласования текущих координат центра звезды, с указанным центром, положение последнего определяется в начале экспозиции по картинке "звезда на центре щели", сформированной подсмотром щели. Для устранения влияния атмосферной дисперсии канал подсмотра щели снабжен турелью цветных светофильтров, что позволяет центрировать на щели изображение в том участке спектра, в котором производится его регистрация.

Оптико-механические свойства узла плоскопараллельной пластины были исследованы на стенде, включающем осветитель (F/30) с диафрагмами. Максимальный угол отклонения пластины от среднего положения составляет ±9 градусов (это уже с учетом установленных концевиков).

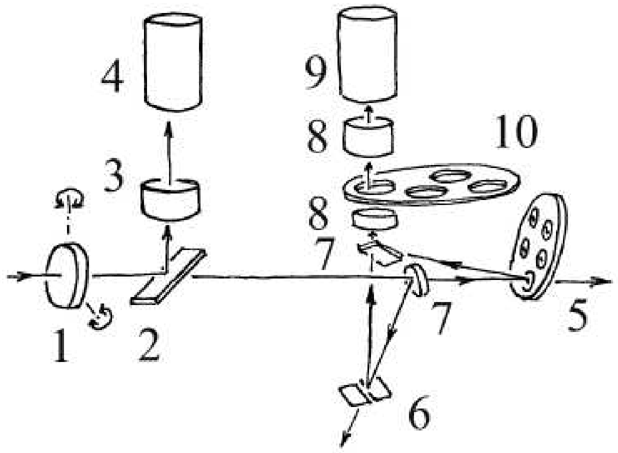


Рис. 2. Оптическая схема локального корректора. Обозначения: 1 – пластина из плавленого кварца, 2 – тонкая светоделительная пластина, 3 – оптика подсмотра поля, 4 – телевизионный подсмотр поля, 5 – деккер эшелле спектрографа, 6 – щель ОЗСП, 7 – зеркало переключения пучка (ОЗСП/эшелле), 8 – оптика подсмотра щели/деккера, 9 – телевизионный подсмотр щели/деккера, 10 – турель цветных светофильтров.

2.3 Электромеханика

В качестве исполнительных устройств применены два четырёхтактных шаговых двигателя FB-20-4-1B, с шагом 15 градусов и крутящим моментом 0.2 Н/м. Вращение осей двигателей передаётся через систему шестерён, карданный вал и червячную передачу. Коэффициент редукции с оси двигателя на ось карданового подвеса составляет 100:1 для каждой пары осей. Одному шагу двигателя соответствует наклон пластины на 9 угловых минут. Была исследована работоспособность приводов пластины в диапазоне интересующих нас частот. С этой целью в лаборатории была собрана простая установка, в которой роль искусственной звезды играла точка на экране осциллографа, проецируемая объективом через плоскопараллельную пластину на вход телевизионной трубки, для набора частот координаты точки изменялись по закону, заданному на осциллографе. Максимальная частота отработки шагов привода составляет 20 и 25 Гц по обеим осям соответственно. Потребляемая мощность блоков электроники и шаговых двигателей составляет 70 Вт, двигатели расположены таким образом, что рассеиваемый незначительный тепловой поток не попадает в корректируемый пучок света.

2.4 Электроника

Расположенный вблизи приводов пластины блок электроники преобразует оптические сигналы управления двигателями в электрические и передаёт на ЭВМ код состояния концевых выключателей, расположенных на элементах карданового подвеса. Оптический сигнал преобразуется в последовательный электрический при помощи микросхемы SC4D4003. Эта же микросхема осуществляет и обратное преобразование. Кроме того, данная микросхема имеет встроенную систему постоянного контроля приёмной линии связи. Имеется индикация состояния линии и работы передатчика на противоположном конце оптоволоконной линии. Передающая линия связи контролируется аналогичным образом в схеме блока сопряжения с ЭВМ. Последовательный сигнал, принятый блоком электроники, преобразуется в параллельный код микросхемой КР1002ХЛ1, стабилизированной от кварцевого генератора. Этот код сдвигает два разряда четырёхразрядного кольцевого регистра управления фазами шагового двигателя на одну позицию вправо или влево, и запускает схему подачи напряжения на фазы двигателя. Если узел пластины находится в крайнем положении по одной из координат, то концевой выключатель блокирует прохождение соответствующей команды на сдвиг регистра. После отработки двигателем одного шага на ЭВМ передаётся код положения концевых выключателей. Этот код является признаком готовности устройства для приема следующей команды. В одной команде можно подавать параллельные сигналы на пуск обоих двигателей. Во время простоя двигателей на них подаются короткие импульсы частотой около 16 кГц, что обеспечивает его стабильное положение и снижение потребляемой мощности. Питание на силовые обмотки двигателей поступает через силовые ключи. Для снятия с обмоток запасённой реактивной энергии используется схема "разрядки" фазы двигателя, перед очередным её включением. При включении питания блока электроники все схемы устанавливаются в исходное состояние коротким импульсом сброса.

Блок питания вырабатывает два стабилизированных напряжения +5в и +12в для питания электрических схем и нестабилизированное напряжение +36в для питания шаговых двигателей. Блок размещён рядом с блоком электроники и подключён к стабилизированной сети 220в 50Гц.

2.5 Программные средства

При разработке программной поддержки учитывался позитивный (и негативный) опыт разработки и эксплуатации предыдущей программы автогидирования через АСУ БТА ***tvguide*** Решалась противоречивая задача: с одной стороны иметь приемлемый для наблюдателя итерфейс с возможностью работы по сети, а с другой получить максимальную скорость обработки кадров и управления. Кроме того необходимо было минимизировать трудозатраты чтобы основная разработка могла быть выполнена в приемлемые сроки. Поэтому был принят принцип максимального использования предыдущих разработок и написания одной программы, не содержащей ресурсоёмких графических интерфейсов, но зато работающей в режиме реального времени. Эта программа ***local_guide*** вместе с драйвером граббера работает с наивысшим приоритетом, остальные поддерживающие и интерфейсные программы используют ресурсы по остаточному принципу. Организация регистрации результатов и управления процессом гидирования выполнена ввиде командных файлов.

Полный состав используемых программных средств:

1. ОС ***Linux***.
2. Графическая оболочка ***X11***.
3. Программа связи с АСУ ***bta_control_net***.
4. Драйвер TV-граббера ***vs60***.
5. Программа для работы с TV-изображениями ***tvimage***.
6. Программа локального гида ***local_guide***.

7. Программа представления графиков ***xmoda***.

8. Панель управления ***control.tcl*** (для интерпретатора ***Tcl/Tk***).

9. Shell-скрипт запуска гидирования ***n2_ guide***

Кроме того, при начальном определении параметров центрирования объекта и пересчёта для АСУ, необходима программа ***tvguide*** с её развитым графическим интерфейсом.

На рис.3 приведена схема взаимосвязей программ системы локального корректора и взаимодействия этих программ с АСУ БТА.

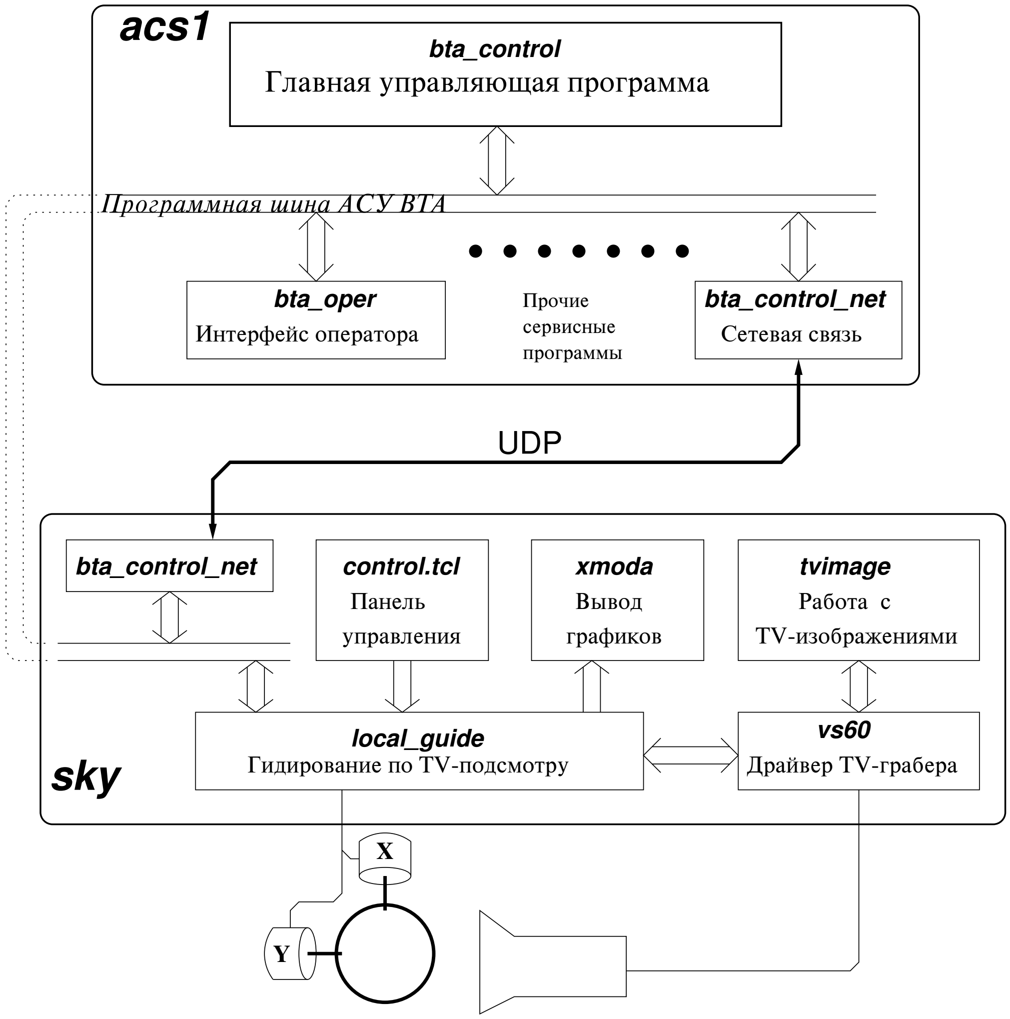


Рис. 3. Структурная схема взаимосвязей программ и взаимодействия с АСУ БТА.

2.6 Технические параметры

Часть технических характеристик определена параметрами использованной аппаратуры, некоторые заданы разработчиком программы исходя из поставленной задачи, остальные определены при лабораторных и натурных испытаниях системы. При этом также были выявлены "узкие места" ограничивающие скорость отработки корректора.

2.6.1 Полученные технические параметры

- масштаб изображения 0.142"x0.142"/пиксель;
- максимальный (стартовый) размер фрейма 500x450 (71"x64");
- минимальный (рабочий) размер фрейма 100x100 (14"x14");
- скорость считывания и обработки одиночных фреймов (минимальных) 0.08сек (12.5Гц т.е. "через кадр") плюс $\simeq$0.04сек на каждый кадр при работе с накоплением (например: накопление 5 $\simeq$0.25сек – 4Гц);
- размер шага двигателя X:0.068", Y:0.057";
- диапазон регулирования $X : \pm 58$, $Y : \pm 59$ шагов ($\pm 3.95'' \times 3.35''$);
- скорость управления двигателями: максимально возможная $\simeq$17Гц, реально используемая $\simeq$11Гц (т.е. X:0.7"/сек Y:0.6"/сек);
- частота полных циклов управления с центрированием одиночных кадров: 6-10Гц
- обнаруженные собственные колебания контура управления X: частота 1.5-1.6Гц амплитуда 2 шага, Y: частота 0.8-0.9Гц амплитуда 4 шага;

2.6.2 Возможные пути повышения скорости отработки

- объединение программы драйвера граббера *vs60* и программы локального гида *local_guide* в одну программу позволо бы выйти за ограничение 12.5Гц т.е. ("через кадр");
- применение более современного компьютера повысило бы скорость статистической обработки кадров и центрирования объекта, что снизило бы зависимость скорости от размера фрейма;
- переделка интерфейса управления ШД, так чтобы в одной команде можно было задавать несколько шагов, позволило бы "распараллелить" управление граббером и двигателями (сейчас программа вынуждена управлять по одному шагу, ожидая ответа устройства управления);
- применение стандартного граббера на основе чипа типа **BT878** позволило бы освободить ресурсы процессора от переписи видеопамяти в программном режиме, что существенно замедляет работу при использовании грабберов фирмы **Videoscan**.

2.7 Моделирование управления локальным корректором

Для того чтобы лучше понимать особенности управления в такой системе выполнялось программное моделирование по схеме представленной на рис.4. Модельное положение объекта включало в себя пяти и двухсекундные особенности с амплитудой 0.3-0.7" на фоне случайного сигнала. На рис.5 представлен один из вариантов такого моделирования.

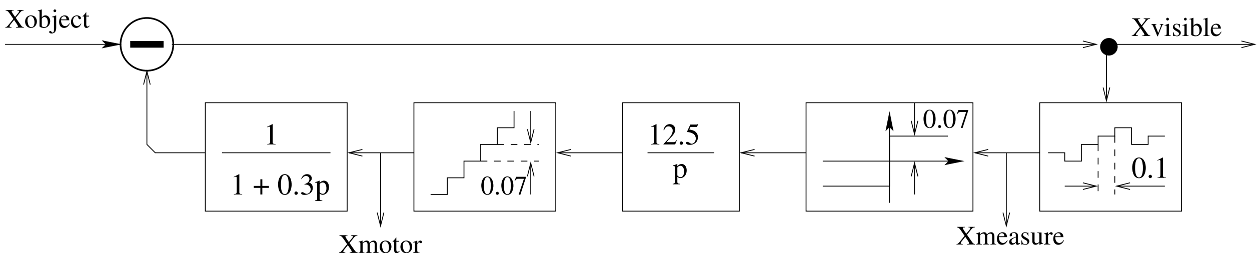


Рис. 4. Схема модели одной координаты локального корректора.

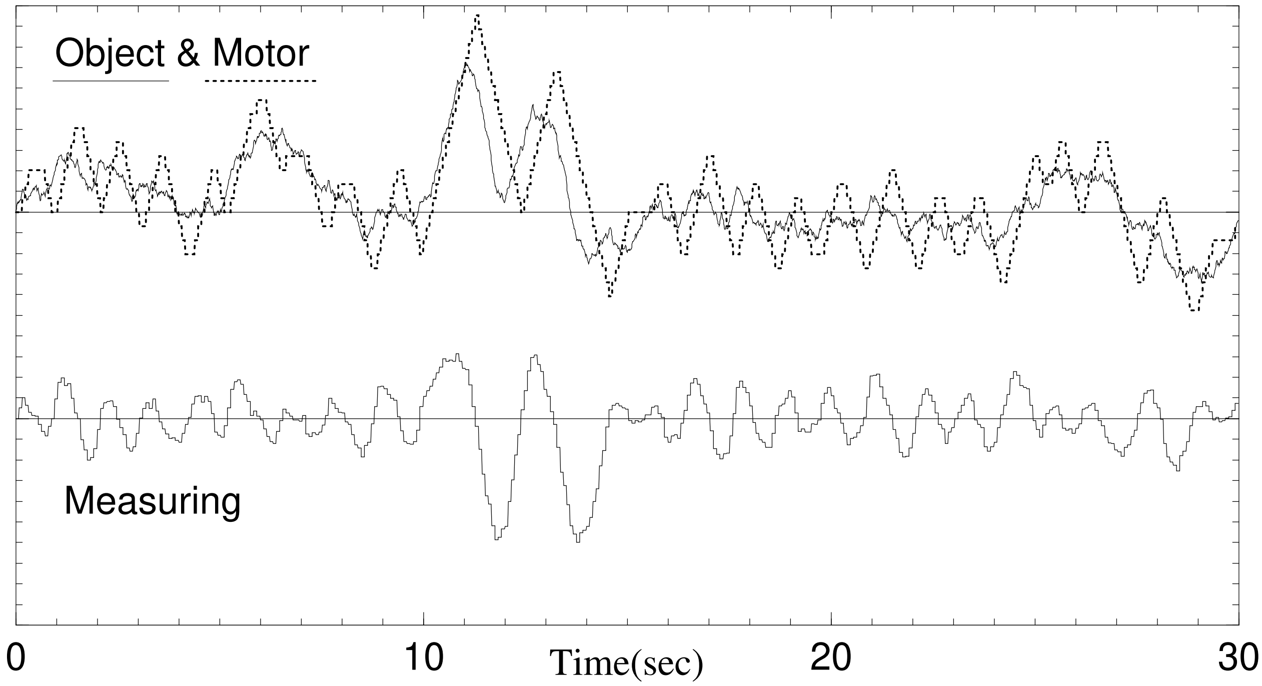
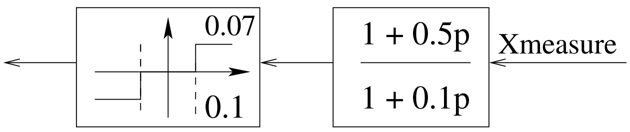


Рис. 5. Результат моделирования по схеме на рис. 4.

Видно что модель нормально отрабатывает пятисекундные периоды, но из-за запаздывания в обратной связи, совсем не отрабатывает двухсекундные и имеет склонность к атоколебаниям на частоте около 0.9Гц.

Простой способ борьбы с этими проблемами состоит в использовании производных от измеряемого сигнала и порога делающего управление нечувствительным к малым отклонениям его от нуля. Проблемы дискретности измерений делают бессмысленным использование производных выше первой, поэтому обратная связь управления дополнялась простым дифференцирующим цифровым фильтром и зоной нечувствительности $\pm 0.1''$.



Полученный результат (по той же самой реализации изменения положения объекта) представлен на рис. 6.

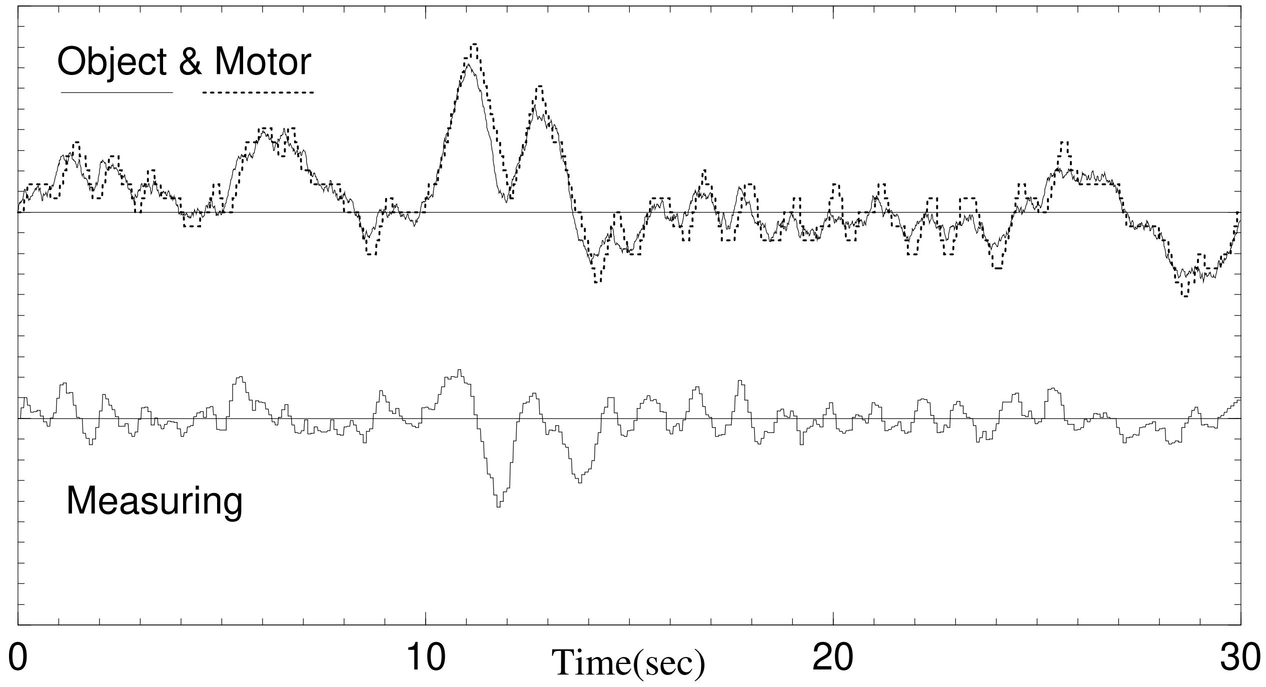


Рис. 6. Результат работы модели локального корректора после включения в контур управления цифрового фильтра и зоны нечувствительности.

Видно что модель начинает лучше отрабатывать изменения в положении объекта при одновременном уменьшении склонности к автоколебаниям.

2.8 Управление локальным корректором

На рис.7 дана примермая схема контура управления по одной координате локального корректора.

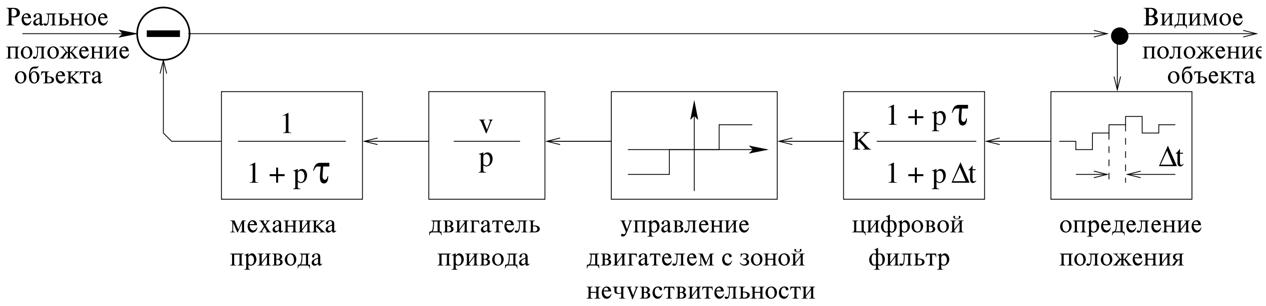


Рис. 7. Эквивалентная схема контура управления одной координатой локального корректора
Здесь:

- $\mathcal{T}$ – постоянная времени привода
- Δt – шаг цикла управления
- K – коэффициент усиления (обычно =1, но <1 для компенсации непропорционального смещения центра тяжести объекта поперёк щели)
- v – скорость двигателя

Цифровой фильтр позволяет несколько скомпенсировать постоянную времени привода за счёт использования производной от входного сигнала.
Зона нечувствительности выбрана порядка $\pm 0.1''$ и служит для подавления автоколебаний и уменьшения последствий от позиционной нестабильности TV-подсмотра.

2.9 Взаимодействие с АСУ телескопа

Для того чтобы пластина корректора работала на нормальных углах, не сильно отклоняясь от перпендикулярного положения, и тем более "не садилась" на концевики при тренде объекта, необходимо корректировать положение телескопа. Для этого программа гидирования разработана как клиент в новой сетевой версии АСУ БТА (см. рис. 2.). Она непрерывно считывает данные о состоянии телескопа необходимые для пересчёта $\Delta X, \Delta Y$ в $\Delta A, \Delta Z$.

Пользователь задаёт в конфиругации программы **T** – период передачи коррекций. В качестве $\Delta X, \Delta Y$ берутся: либо текущее смещение локального корректора (если он влючён), либо прямо текущее рассогласование положения объекта (если выключен или рассогласование слишком большое для него). Чтобы не передавать на АСУ случайные данные, они сначала усредняются фильтром с постоянной времени $\simeq \mathbf{T}$.

$$\Delta X, \Delta Y \longrightarrow \boxed{\frac{1}{1+Tp}} \longrightarrow \boxed{\text{Rotate}} \longrightarrow \Delta A, \Delta Z$$

Раз в **T** секунд усреднённые $\Delta X, \Delta Y$ пересчитываются в $\Delta A, \Delta Z$ и отсылаюся на АСУ. Телескоп подъезжает, корректор отрабатывает это смещение, возвращаясь в нормальное положение.

3 Результаты испытаний

Испытания выполнены в три этапа. На первом, в лаборатории, была проверена работа электронных схем и приводов. На втором, в фокусе Н2 в сочетании с искусственной звездой, были проведены испытания с одновременной работой подсмотров, линии связи, интерфейсов, программ. На третьем этапе выполнены астрофизические наблюдения на спектрографе с использованием всех составляющих системы локального корректора.

3.1 Тестирование по искусственной звезде

Для отладки схемы в условиях БТА и дальнейшей работы с корректором, – была проложена оптоволоконная линия связи "Н2-аппаратная", а также изготовлен узел искусственной звезды, позволяющий моделировать излучение разного спектрального состава, с разным "качеством изображения" на щели, с переменными координатами центра изображения, и даже с переменной интенсивностью потока. В процессе отладки системы локального корректора на телескопе, по техническим причинам мы отказались от схемы, указанной на рис.2, и остановились на варианте, в котором сигнал для оцифровки снимается с подсмотра щели, а непропорциональное смещение центра тяжести изображения, разделённого щелью, компенсируется коэффициентом усиления K<1 для направления поперёк щели. Тонкая пластина светоделителя при этом удалена из схемы. После определения величины рассогласования центра щели и центра звезды формируются команды, выдаваемые на привода плоскопараллельной пластины. Оптическая схема эксперимента приведена на рис.8.

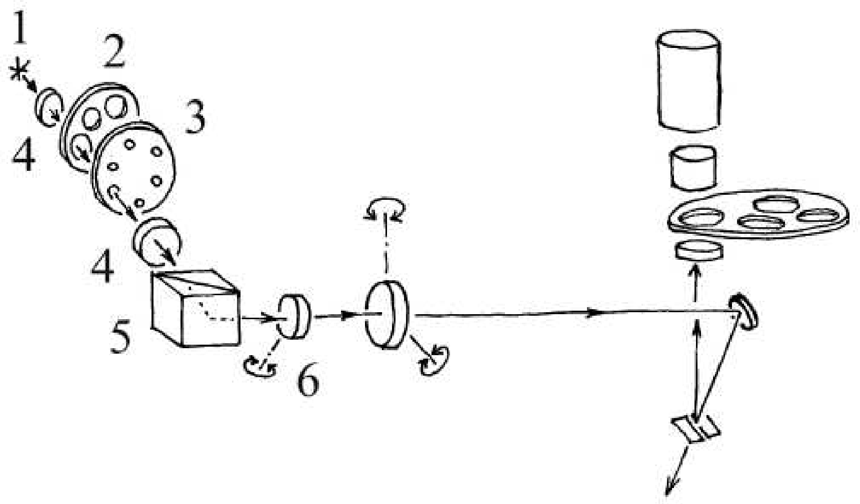


Рис. 8. Оптическая схема испытаний и настройки локального корректора в фокусе Н2. Обозначения: 1 – источники спектра искусственной звезды, 2 – турель светофильтров, 3 – турель диафрагм, 4 – оптика искусственной звезды, 5 – поворотная призма, 6 – плоскопараллельная пластина, отклоняющая положение искусственной звезды. Остальные элементы – те же, что и на рис.2, но тонкая светоделительная пластина удалена.

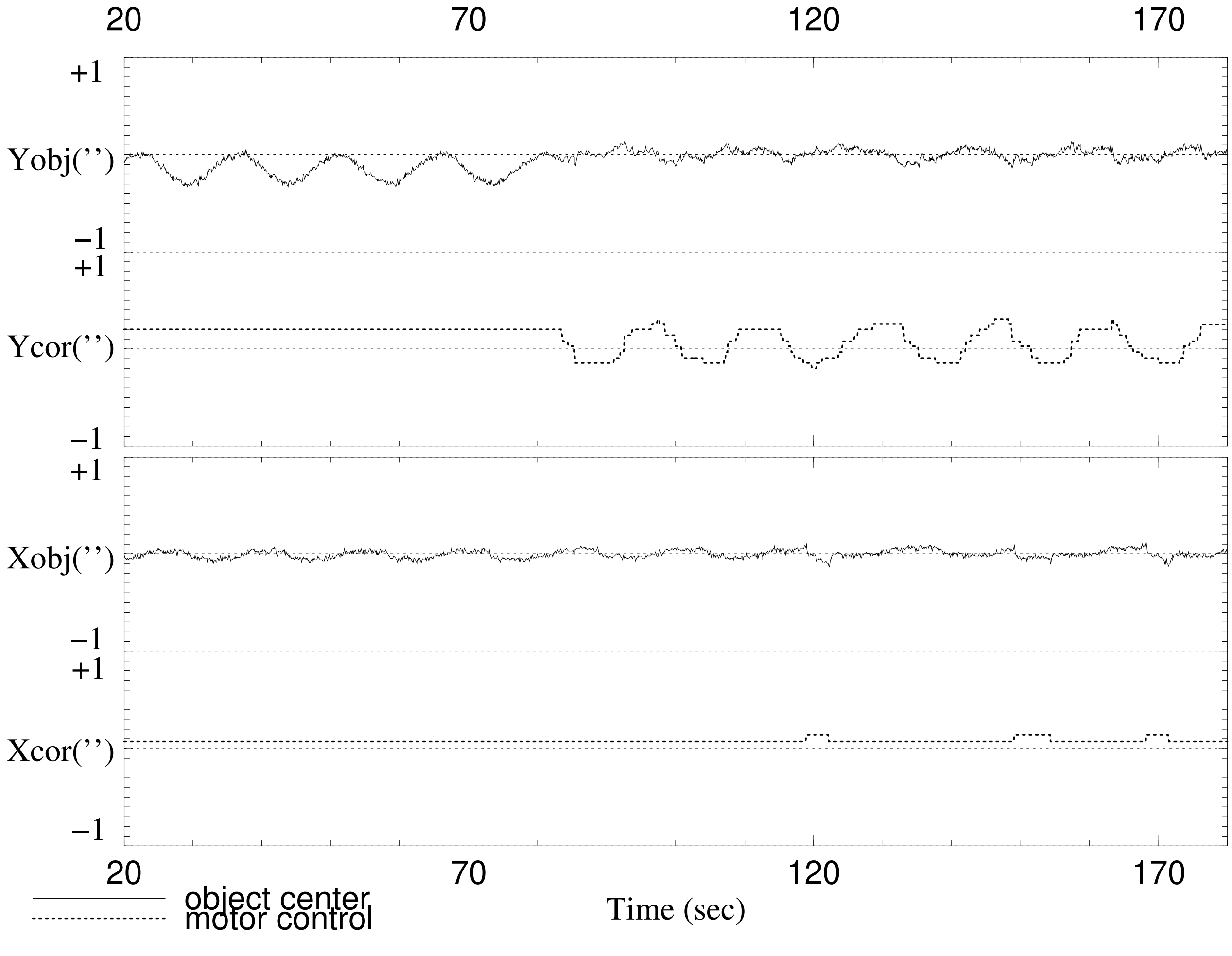


Рис. 9. Позиционная стабильность TV-подсмотра щели N2 и отработка её локальным корректором.

Таким образом, предварительные проверки системы и отладка программ производились с использованием искусственной звезды спектрального комплекса N2. Была выявлена проблема с позиционной стабильностью TV-подсмотра щели. Периодическое смещение по вертикали достигает 2.5 строк (0.3"-0.35"). Для нормальной эксплуатации корректора эту проблему в дальнейшем следует решить, например поставить другую подсмотровую камеру с выходом на ПЗС матрице (в данный монент используется старая "классическая" камера на ЭЛТ).

С другой стороны эта особенность позволила отлаживать систему на "движущемся" объекте. На рис. 9. показана работа программы управления корректором в этих условиях. Из таких записей можно сделать вывод, что шумовая дорожка определения центра объекта по одиночным кадрам TV-изображения не превышает 0.05" (0.35 пикселя).

Позиционная нестабильность мешает отределять механические характеристики привода, хотя из сравнения размаха кривых по координате Y, можно сделать косвенный вывод что возможный люфт в механике корректора не превышает 1.5 шага двигателя (0.09"). Для определения характера задержки отработки привода были сделаны записи многократных периодических движений корректора с постоянной скоростью. Затем они свертывались (усреднялись) по периоду чтобы уменьшить вклад от позиционной нестабильности. На рис. 10. приведён результат одного из таких экспериментов.

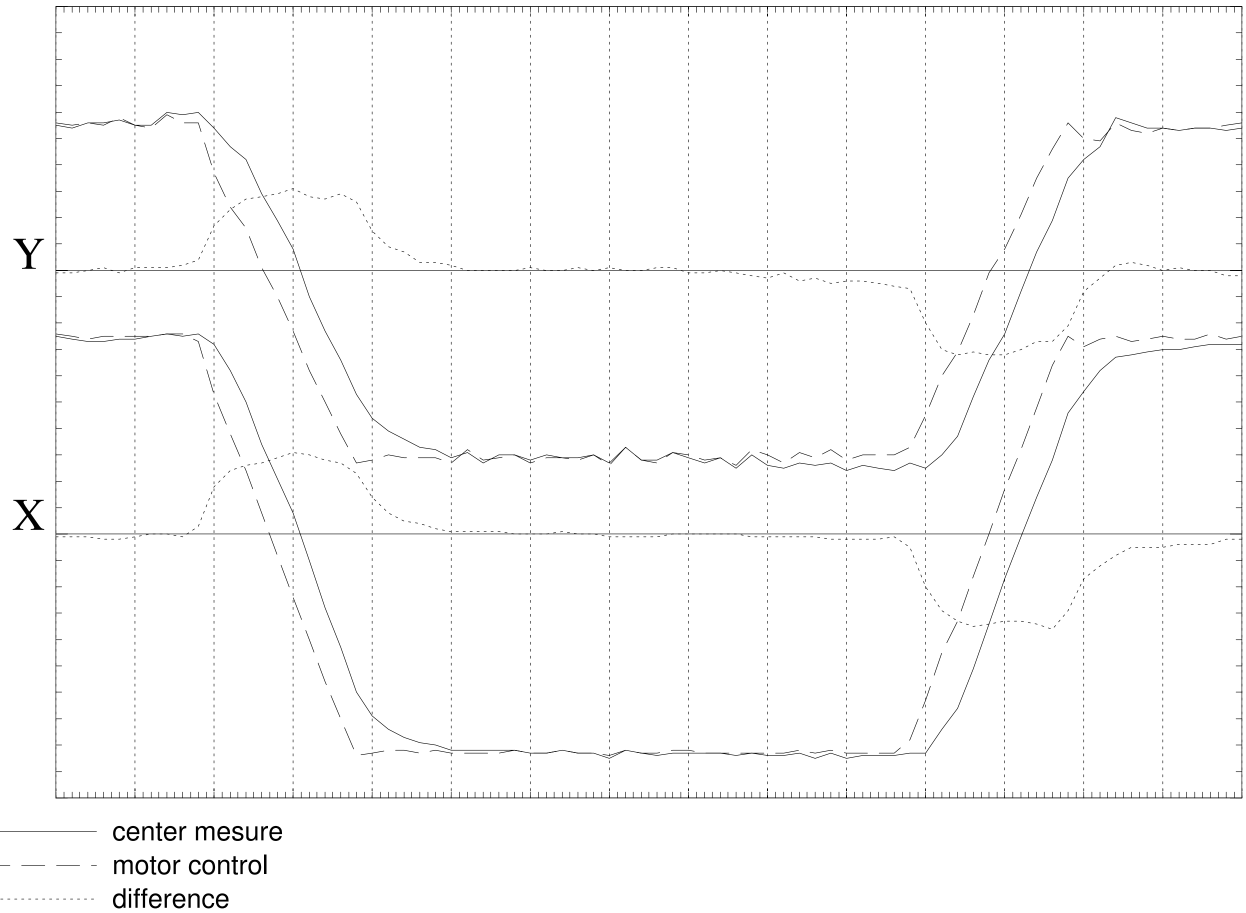


Рис. 10. Усреднённый график переезда между двумя положениями с постоянной скоростью.

Сделан вывод что привод можно рассматривать как простое апериодическое звено с $\tau_X = 0.3 - 0.4$ и $\tau_Y = 0.4 - 0.5$.
Эти значения и были использованы вдальнейшем как параметры цифрового фильтра.

3.2 Работа корректора по реальной звезде

Система локального корректора и первая предварительная версия программы гидирования были первый раз опробованы во время технических ночей 6-7.05.2001. Как минимум её работа освобождала наблюдателя от нудного процесса гидирования для другой работы или отдыха. К следующей технической ночи 3.06.2001 программа была дополнена управлением и регистрацией.

На рис. 11. представлена запись процесса сопровождения объекта в северной зоне ($A = 159.4^o$, $Z = 42.6^o, V_A = -0.7''/s, V_Z = +3.9''/s$) Качество изобажения было около 3". Для оценки вклада локального корректора управление им отключалось (но сохранялось гидирование через АСУ чтобы центр звезды в среднем оставался на щели).

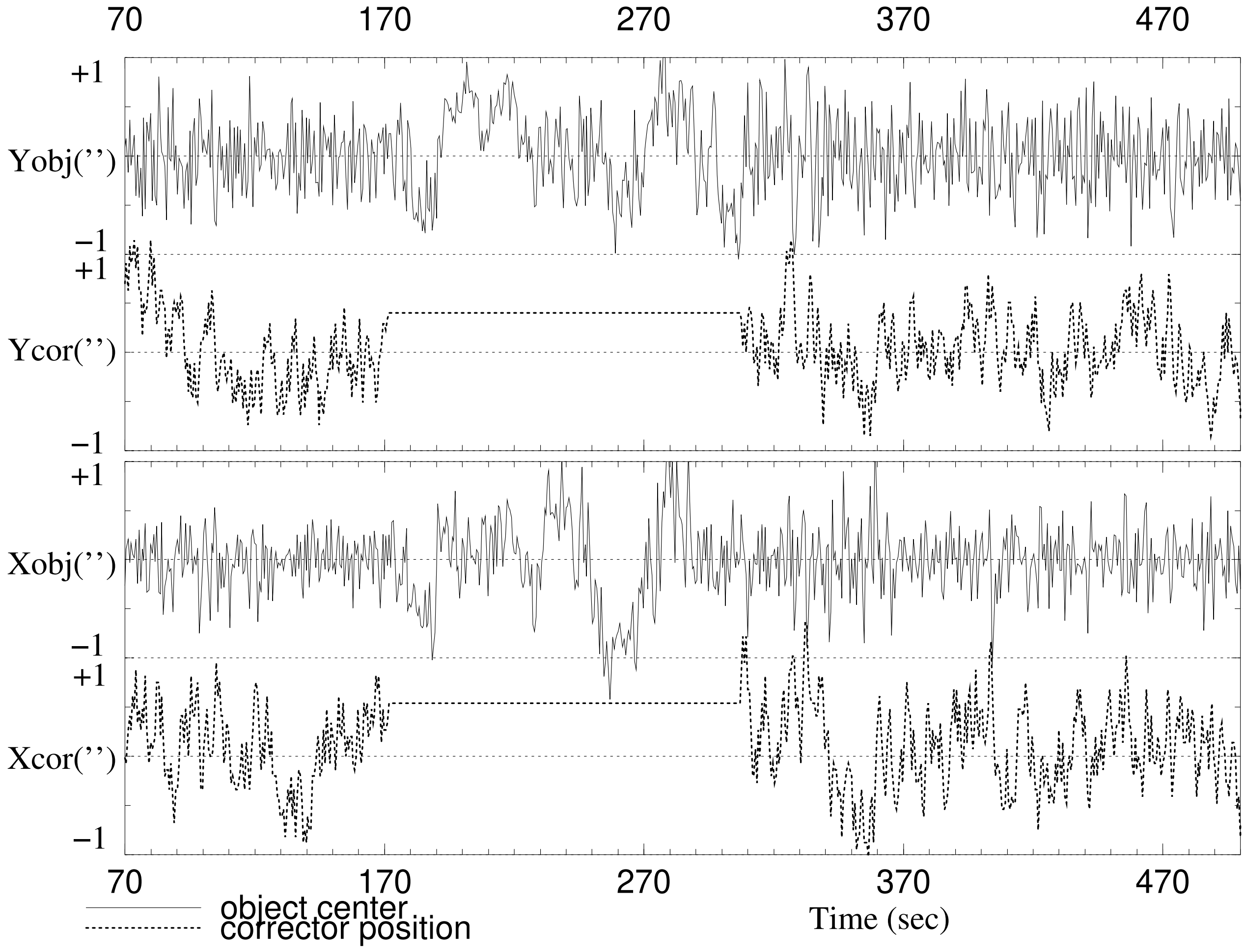


Рис. 11. Запись результатов гидирования с локальным корректором и без него.

По этой записи был рассчитан набор расстояний до центра тяжести изображения звезды, а также средние значения этого расстояния на участках с включённым и выключенным локальным корректором. Результат представлен на рис. 12. Верхняя кривая – интеграл от нижней (накопленная сумма уклонений от центра). Средние значения с включённым корректором составляют 60–70% от значения с выключенным.

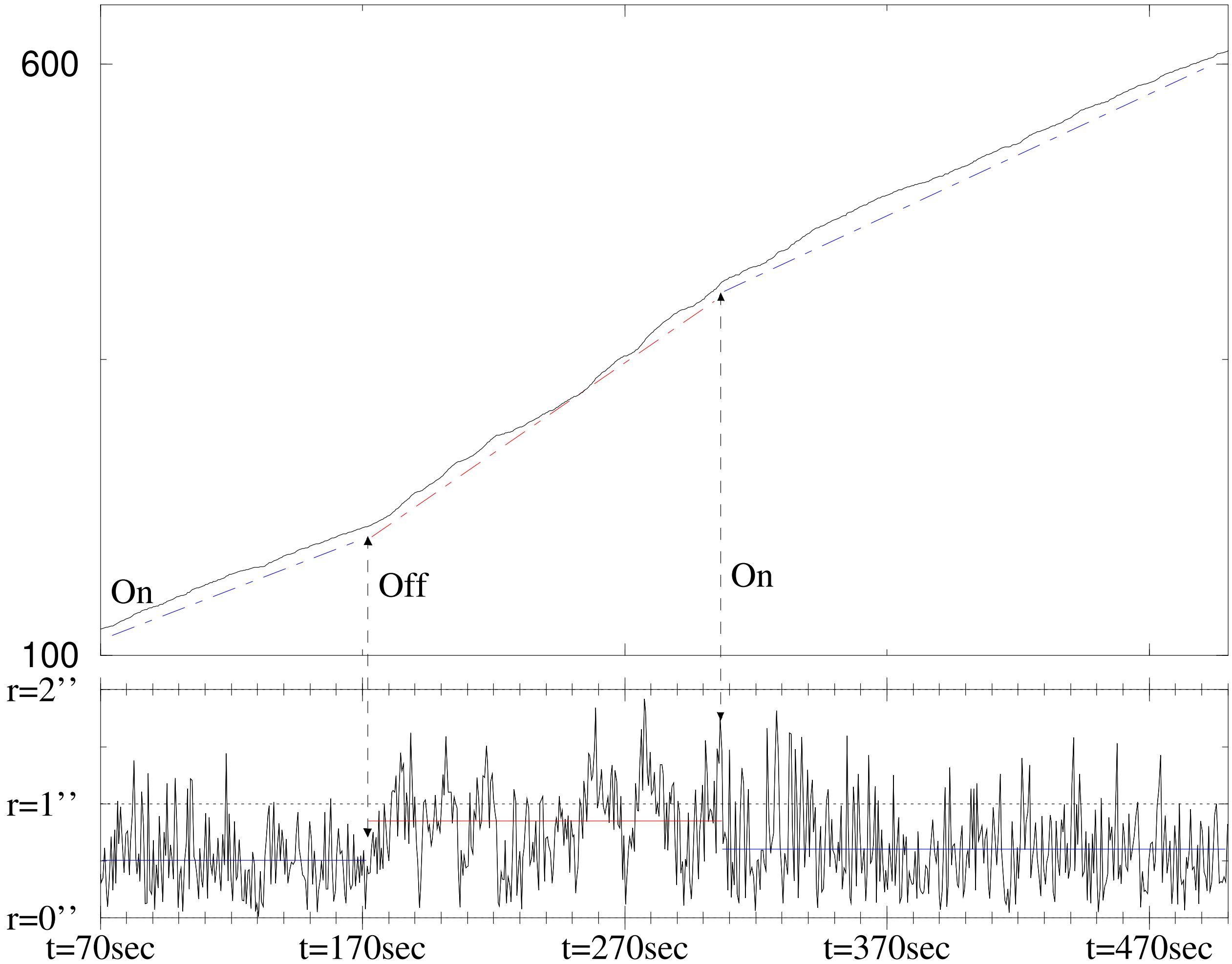
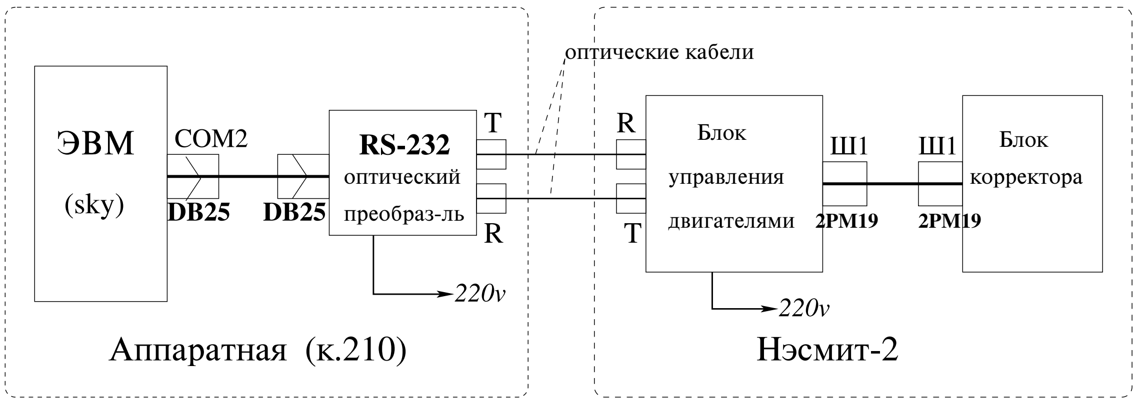


Рис. 12. Поведение расстояния до центра тяжести изображения объекта.

4 Порядок включения и контроля аппаратной части

1. Проверить все соединения согласно схеме подключения:



2. Влючить тумблёр питания преобразователя **RS-232** в комнате 210 и выключатель питания на блоке управления в Нэсмит-2.

3. Проконтролировать свечение зелёных светодиодов на блоке преобразователя

RS-232 и внутри блока управления двигателями. Их свечение сигнализирует о наличии сигнала на **выходе** оптического передатчика. Свечение красного светодиода сигнализирует об отсутствии **принимаемого** сигнала (т.е. обрыв оптической линии, отсутствие питания на другом конце и т.д.).

4. Для отключения аппаратуры выключить питание на блоке преобразователя **RS-232** и блоке управления двигателями.

5 Программа *local_ guide*

Программа локального гида сущесвует под двумя именами: *local_ guide_ init* и *local_ guide*. При запуске через первое имя она производит начальную установку локального корректора в центральное положение. Дело в том, что датчиков обратной связи в нем нет, всё делается по счёту шагов, единственными точками отсчёта являются концевые выключатели, поэтому чтобы установить корректор в начальное положение необходимо наехать на них, а затем отсчитать половину диапазона в обратном направлении. При завершении своей работы программа записывает текущее положение корректора в файл *local_ guide_ pos*. При запуске под вторым именем программа восстанавливает текущее положение корректора из этого файла.

Размер фрейма TV-изображения с которым работает программа переменный. Он выбирается автоматически: от максимального стартового (начальный поиск объекта) до минимального рабочего (сопровождение объекта). Минимальные ширина и высота фрейма сейчас выбраны около 1.8 диапазона корректора т.е. $\simeq 14.2''$ или $\simeq 100$ пикселей. Их можно увеличивать используя параметры конфигурации. Стартовый фрейм берётся либо из конфигурации либо установленный в ***tvimage***. При нормальном выделении объекта программа будет в каждом цикле сокращать размер фрейма, доводя его до минимального (чтобы ускорить работу), а при любых проблемах с выделением объекта будет снова возвращаться к максимальному.

Если параллельно запущена программа ***tvimage***, она будет показывать процесс чтения кадров, конечно не все кадры подряд, а с большими пропусками, т.к. работает с меньшим приоритетом. С её помощью можно оперативно менять цель гидирования (мышкой в режиме **Point**).

5.1 Запуск программы

В саму программу локального гида включены только функции которые необходимо выполнять в процессе гидирования с наивысшим приоритетом. Все действия по запуску всего комплекса гидирования с чтением параметров конфигурации, автоматической регистрацией, индикацией графиков и панелью управления выполняются в стартовом командном файле.

Перед запуском гидирования **необходимо** установить точку цели через программу ***tvimage***. Если положение фрейма задаётся явно, эта точка должна **обязательно** находиться внутри него. Выбирать предварительно фрейм через программу ***tvimage*** (как это было в ***tvguide***) необязательно. Можно записать его размеры в файле конфигурации, а положение будет выбрано программой исходя из начальной точки цели.

5.1.1 Стартовый командный файл

Как и сама программа он сущесвует под двумя именами: *n2_guide_init* и *n2_guide* для старта с начальной установкой корректора и без неё. Он имеет четыре необязательных позиционных параметра:

```
n2_guide   [ ConfName  [ Nadd [ TVchan [ Passwd ] ] ] ]
```

ConfName – имя файла конфигурации, полное или только имя без расширения *.conf*. Этот файл может находится либо в текущем справочнике либо в подсправочниках *Conf* и *TVconf*. Имя конфигурации по умолчанию можно найти в начале текста *n2_guide*, сейчас это *nes_slit*.
Остальные три параметра *Nadd TVchan Passwd* служат для оперативной подмены таких же параметров из файла конфигурации.

5.1.2 Пароль доступа к АСУ БТА

Для выполнения коррекций положения телескопа программа должна иметь 3-й уровень доступа к АСУ. Соответствующий ему пароль может задаваться в файле конфигурации или как параметр при вызове. Если пароль задан неправильно (например:"?") программа запрашивает его ввод с клавиатуры:

```
Password (ACS BTA for AccessLevel >= 3) :
```

Ввод пустого пароля приводит к отключению взаимодействия с АСУ и выводу предупреждения:

```
Warning! No password! -> No ACS BTA corrections!?
```

5.1.3 Регистрация процесса гидирования

Программа *local_guide* выполняет регистрацию своих действий если получает параметр **RegFile**. Это либо имя файла который программа должна создать, либо shell-команда предварённая символом '|' которую она должна запустить с открытием на неё pipe-канала. Регистрация выполняется распечаткой текстовой таблички вида:

```
Time    Xc     Yc     Xgd    Ygd    Xcorr  Ycorr  Acorr  Zcorr
7.59  -0.15  -1.51  +0.41  +0.57  -0.00  -0.00  +0.00  +0.00
8.12  -0.25  -1.15  +0.41  +0.57  -0.01  -0.01  +0.00  +0.00
8.72  -0.24  -1.25  +0.41  +0.57  -0.02  -0.03  +0.00  +0.00
9.23  +0.16  -0.92  +0.41  +0.57  -0.02  -0.04  +0.00  +0.00
```

Time – время от старта программы,
Xc,Yc – измеренное положение центра оъекта (относительно цели),
Xgd,Ygd – положение корректора,
Xcorr,Ycorr – тренд который нужно корректировать через АСУ,
Acorr,Zcorr – сумма коррекций уже выданных в АСУ.
Если взаимодействие с АСУ вообще выключено, последние четыре колонки не выводятся.

Регистрация выполняется либо в каждом цикле, либо через временной интервал заданный параметром **RegDelay**.

Если параметр **RegFile** отсутсвует в конфигурации или пуст командный файл *n2_guide* производит его атоматическое назначение по правилам похожим на принятые в NICE-е:

```
LGdata/YMDD/lgYMDD_NNN
```

например 7-й файл 3-го июля 2001 года:

```
LGdata/1703/lg1703_007
```

5.1.4 Индикация графиков

В командном файле *n2_guide* производится проверка есть ли доступ к графическому дисплею пользователя. В принципе можно работать и в чисто текстовом режиме не используя графических возможностей. Если доступ есть и регистрация производится в файл то запускается программа ***xmoda*** для графического представления данных появляющихся в этом файле.

В появившемся окне можно менять масштаб в два раза клавишами $<$,$>$ и менять пределы индикации (сдвигать графики) на половину окна клавишами $+$,**-**.

Если вам не нужна регистрация в файл, но хочется иметь индикацию графиков, можно записать команду индикации в параметр имени регистрации. Например:

```
RegFile="|xmoda -geometry 400x300 -n10000 -x0:180 -y-3:3 -c12:10:4:2"
```

5.2 Управление процессом гидирования

Программа *local_guide* воспринимает простые однобуквенные команды со стандартного ввода. В командном файле *n2_guide* выбирается вариант её запуска либо в конвейере с графической панелью управления либо без оной. В последнем случае команды просто вводятся с клавиатуры.

5.2.1 Управление от клавиатуры

q – выход из программы
p – пауза, прекращение чтения и обработки кадров
r – продолжение (отмена паузы)
g – подключение локального корректора
s – запрет использования локального корректора
t – использовать коррекцию через АСУ телескопа
l – не трогать телескоп
$+$,**-** – увеличение уменьшение накопления на 1 кадр
nN – где N=1,...,9,0 – установка накопления 1,...,9,10 кадров
$\leftarrow, \uparrow, \downarrow, \rightarrow$ – смещение цели гидирования на полпикселя.

5.2.2 Управление от панели *control.tcl*

Это относительно простая графическая панель написанная на интерпретаторе ***Tcl/Tk***. При кликании мышкой её кнопок она выдаёт на стандартный вывод те же самые однобуквенные команды.

5.3 Параметры программы. Файл конфигурации

Для обеспечения гибкости и перестраивамости под конкретные особенности аппаратуры (главным образом особенности TV-системы) и условия наблюдений программа ***local_guide*** имеет набор параметров. Внутри программы для каждого параметра "зашито" значение по умолчанию. Новые значения параметров программа считывает при старте через переменные окружения. В командном файле ***n2_guide*** перед стартом собсвенно программы ***local_guide*** считывается файл конфигурации и обнаруженные в нём определения переменных загружаются в окружение. Соответственно синтаксис файла конфигурации должен соотвествовать итерпретатору ***shell***. Т.е. # – знак комментария, параметры задаются в форме "Имя=Значение", если в строке значения нужны пробелы её следут заключить в кавычки.

Часть параметров связанных с выделением и центрированием объекта и пересчётом данных для посылки коррекций в АСУ, совпадают таковыми из программы ***tvguide***. Собственно из её файлов конфигурации их и следует брать. Т.е. если требуется создать конфигурацию параметров для нового варианта наблюдений или новой TV-системы нужно сначала настроить гидирование в программе ***tvguide*** пользуясь возможностями её графического интерфейса.

Список параметров общих с ***tvguide***:

- **TVsystem** – имя TV-системы, выводится при старте;
- **TelFocus** – имя рабочего фокуса (**CPF, N1, N2**), контролируется при работе с АСУ;
- **PosAngle** – аппаратный угол "доворота" осей координат;
- **Xscale** – горизонтальный масштаб, т.е. размер пикселя в угловых секундах;
- **Yscale** – вертикальный масштаб;
- **FlipX** – горизонтальный зеркальный переворот (*yes/no*);
- **FlipY** – вертикальный зеркальный переворот (*yes/no*);
- **Nadd** – число накапливаемых кадров;
- **CorrFactor** – множитель для $\Delta A, \Delta Z$ отсылаемых в АСУ;

- **CorrDelay** – задежка (сек) на отработку $\Delta A, \Delta Z$ телескопом;
- **ObjLevel** – значение уровня выделения объекта в единицах "σ" над фоном;
- **MinSquare** – минимально допустимая площадь объекта в квадратных угловых секундах;

Список прочих параметров:

- **TVchan** – номер канала граббера 0-3;
- **CorrFactorA,CorrFactorZ** – раздельные множители для $\Delta A, \Delta Z$ (вместо **CorrFactor**);
- **Passwd** – пароль 3-го уровня доступа к АСУ, при неправильном пароле он будет запрошен при запуске программы, если пароль пуст("") или параметр вообще отсутствует программа блокирует работу с АСУ;
- **XStepScale,YStepScale** – масштабы приводов, т.е. размеры шагов в угловых секундах
- **XStepPix,YStepPix** – другой вариант задания масштабов – число шагов в пикселе изображения
- **XStepFlip,YStepFlip** – обратное направление движения по горизонтали и/или вертикали (*yes/no*);
- **CorrFactorX,CorrFactorY** – множители (коэффициенты усиления) измеренных рассогласований, с их помощью можно частично компенсировать проблемы связанные с непропорциональным смещением центра тяжести объекта разрезанного щелью;
- **TauX,TauY** – постоянные времени приводов;
- **RegFile** – имя **постоянного** файла или shell-команды "|command" для регистрации результатов гидирования, если оно пусто("") или параметр вообще отсутствует в командном файле ***n2_guide*** перед стартом программы ***local_guide*** будет автоматически сформировано очередное имя;
- **RegDelay** – минимальный период регистрации (сек.);
- **PointX,PointY** – начальное положение объекта на экране, при отсутствии берётся указанное мышкой через ***tvimage***;
- **FrameWidth,FrameHeight** – начальный размер фрейма, при отсутствии берётся установленное в ***tvimage***;
- **FrameX0,FrameY0** – начальное положение фрейма(левый верхний угол), при отсутствии положение выбирается так чтобы центр соотвествовал начальному положению объекта;
- **MinWidth,MinHeight** – минимальные ширина и высота фрейма, нормально отсутствуют, с их помощью можно увеличивать минимальные размеры "зашитые" в программе (14.2x14.2" = 100x100).

6 Приложение. Используемые вычислительные алгоритмы

Статистические алгоритмы используемые в программе гидирования ***local_guide*** для обработки фрагмента TV-изображения в основном взяты из уже эксплуатируемой программы ***tvguide***. Они должны обладать свойствами *робастности* (т.е. устойчивости к различным ошибкам, помехам, искажениям в изображениях с различных TV-камер) к ситуациям возникающим в реальных условиях наблюдений. Главным результатом должна быть реализация принципа *не навреди* при работе с локальным корректором и телескопом.

6.1 Определение уровня и дисперсии фона

Алгоритм должен обладать нечувствительностью к наличию яркого объекта, если конечно он не занимает большую часть фрейма. Производится обработка накопленного фрейма для определения статистических параметров фона. Используется итеративный метод "обрезанной" гистограммы. Размер гистограммы – 6554 элемента.

1. Сначала составляется *грубая* полная гистограмма с размером бокса 10. Она перекрывает весь диапазон значений ± 32767. По ней определяется первое, приближённое, значение медианы Med.

2. Выбирается диапазон для *точной* гистограммы $Med \pm 3277$ от медианы.

3. Эта ограниченная гистограмма составляется с размером бокса 1. Значения выходящие за диапазон попадают в крайние боксы.

4. Снова определяется значение медианы Med, затем нижняя граница j_{bot}, отсекающаяя 3% нижних значений. Начальная верхняя граница ставится симметрично относительно медианы $j_{top} = Med + (Med - j_{bot})$.

5. По значениям гистограммы H_j (где j в диапазоне $j_{bot}, ..., j_{top}$) вычисляются среднее значение Avr и дисперсия $Disp$:
   $Avr = \frac{\sum j \cdot H_j}{\sum H_j}$
   $Disp = \sigma^2_{bgd} = \frac{\sum (j - Avr)^2 \cdot H_j}{\sum H_j}$

6. Затем корректируется верхняя граница $j_{top} = Avr + 2 \cdot \sigma_{bgd}$ и повторяется предыдущий шаг. Всего делается 7 итераций. В итоге верхняя граница должна отсечь значения принадлежащие объекту и окончательные Avr и $Disp$ будут относится к фону.

6.2 Выделение объекта

Используется принцип выделения – **пороговый уровень** (**threshold level**). Пользователь задаёт в параметрах программы ***ObjLevel*** значение уровня выделение объекта L_{obj}. Считается что это количество «σ» над фоном. Т.е. реальный уровень:
$Lev = Avr + L_{obj} \cdot \sigma_{bgd}$

Совокупность пикселей со значениями $> Lev$ считается объектом. Рекомендуемое значение параметра ***ObjLevel*** для нормального фона равно 4. Разумеется если значения фона и/или дисперсия завышены (например очень неровный, "горбатый" фон, или он испорчен накоплением "вертикальной полосатости" дешёвых CCD-камер) значение L_{obj} приходится искусственно занижать. И наоборот, если в объект лезут "звездообразные" артефакты TV-камеры или случайные флуктуации шума, значение L_{obj} приходится искусственно завышать чтобы оставить только точки объекта.

6.3 Критерий есть/нет объект

Алгоритм гидирования обязательно должен включать в себя некое решающее правило по которому программа решает подходит выделенный объект для использования или он подозрительно слабый и лучше ничего не делать. Например, гидирование должно автоматически прекращаться при наползании облака или "закручивании" высокого напряжения. Критерий должен задаваться пользователем и быть очень "прозрачным" для него.

В данной программе принят простой принцип, в котором по известному размеру пикселя определяется площадь объекта в квадратных угловых секундах. Пользователь задает в параметрах программы ***MinSquare*** – минимальное значение этой площади, исходя из условий наблюдений.

6.4 Центр объекта

Для определения координат центра объекта X_C, Y_C используется метод центра тяжести (1-го момента).

$X_C = \frac{\sum x \cdot I_{xy}}{\sum I_{xy}}$

$Y_C = \frac{\sum y \cdot I_{xy}}{\sum I_{xy}}$

Здесь I_{xy} значение интенсивности над уровнем фона в пикселе с координатами x, y. Суммирование производится для всех точек, принадлежащих к выделенному объекту.

6.5 Рассогласование положения

Измеренные "пиксельные" координаты центра объекта сравниваются с положением цели X_{tag}, Y_{tag}. Результат домножается на S_X, S_Y – масштабы, т.е. размеры пикселя в угловых секундах, задаваемые в параметрах программы как ***Xscale*** и ***Yscale***.

$\Delta X = S_X(X_C - X_{tag})$

$\Delta Y = S_Y(Y_C - Y_{tag})$

6.6 Пересчет координат для коррекции телескопа

Если установлен параметр программы ***FlipX*** – горизонтальное зеркальное отражение, то $\Delta X = -\Delta X$.

Если ***FlipY*** – вертикальное зеркальное отражение, то $\Delta Y = -\Delta Y$.

Далее $\Delta X, \Delta Y$ переводится в телескопные $\Delta A, \Delta Z$ с использованием обычных формул поворота на угол φ:

$\Delta A = \Delta X cos(\varphi) - \Delta Y sin(\varphi)$

$\Delta Z = \Delta X sin(\varphi) + \Delta Y cos(\varphi)$

В параметрах программы задаётся ***PosAngle*** – угол, определяемый установкой аппаратуры наблюдателя и её конструкцией. Будем обозначать его φ_{hw}. Способ вычисления φ зависит от фокуса телескопа. Для ПФ учитывается угол поворотного стола P_2, для N1,N2 – положение трубы по Z.

- **для ПФ** – угол $\varphi = P_2 - \varphi_{hw}$
- **для N1** – угол $\varphi = 180^o + Z - \varphi_{hw}$
- **для N2** – угол $\varphi = 270^o + Z - \varphi_{hw}$
- **для N2** ещё $\Delta Z = -\Delta Z$

6.7 Цифровой фильтр

Для цифровой фильтрации используетсяется расчёт простого апериодического звена:

$$\longrightarrow \text{X(t)} \boxed{\frac{b_0 p + b_1}{a_0 p + a_0}} \text{Y(t)} \longrightarrow$$

где a и b – параметры апериодического звена.
То есть численное решение дифференциального уравнения 1-го порядка:

$$a_0 \frac{dy}{dt} + a_1 y = b_0 \frac{dx}{dt} + b_1 x \tag{1}$$

Вычисления выполняются по рекурсивной формуле:

$$y_n = \frac{y_{(n-1)} \left(2a_0 - \Delta\ ta_1\right) + 2b_0 \left(x_n - x_{(n-1)}\right) + \Delta t\ b_1 \left(x_n + x_{(n-1)}\right)}{\Delta t\ a_1 + 2a_0} \tag{2}$$

где:

- x_n и $x_{(n-1)}$ – текущее и предыдущее входные значения;
- y_n и $y_{(n-1)}$ – результаты расчёта на текущем и предыдушем шаге;
- Δt – шаг по времени. Для повышения точности он должен быть много меньше чем цикл гидирующей программы. Сейчас используется шаг $\Delta t = 0.01$сек.