

УДК 681.7.013.6/.8

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ВИДЕОКАМЕРЫ

И. Г. Бронштейн,
генеральный директор

А. П. Старченко,
инженер-программист
ЗАО «КБ Юпитер»

Унчун Чо,
доктор техн. наук, профессор
Корейский политехнический университет

Предложен метод контроля частотно-контрастной характеристики видеокамеры по перепаду яркости с использованием преобразования Фурье. Рассчитаны предельные угловые скорости и ускорения, влияющие на качество изображения. Получены соотношения угловых ускорений и качества изображения, позволяющие компенсировать произвольный триммер рук в серийных видеокамерах и цифровых фотоаппаратах.

В ходе совершенствования системы видеонаблюдения дошли до достаточно высокого уровня, о котором несколько лет назад мало кто задумывался. Параллельно с этим увеличивался и спектр задач, решаемых такими системами. Задача обеспечения безопасности — одна из приоритетных для любой системы видеонаблюдения. Существует огромное число модификаций систем видеонаблюдения, обеспечивающих достижение целей в сфере безопасности.

В изменяющихся условиях перед инженерами и разработчиками стоят задачи по созданию принципиально новых оптических систем, позволяющих получать видеoinформацию от различных объектов. Причем носитель такой видеосистемы, т. е. объект, на котором установлена система видеонаблюдения, может быть и подвижным. Действительно, намного удобнее наблюдать за чем-нибудь, будучи мобильным. Мобильный объект-носитель может легко изменить свое положение в пространстве, получить информацию от исследуемого объекта под любым углом, а при возникновении каких-либо проблем носитель может покинуть территорию. Таким носителем может быть как человек, так и техническое устройство, например летательный аппарат.

Применение подвижных объектов-носителей систем наблюдения влечет за собой некоторые трудности. Во-первых, носимая видеосистема должна быть малогабаритной, так как система с крупны-

ми и даже средними габаритами существенно затруднит эксплуатацию объекта-носителя, минимизируя его мобильность. Во-вторых, применение подвижного носителя предполагает использование систем стабилизации.

Именно системе стабилизации изображения и ее оценке будет уделено внимание в этой работе.

Описание испытательного стенда

Исследования проводились с видеокамерой SONY DCR-HC96E и стенда (рис. 1).

Описание работы стенда

Разработан специальный испытательный стенд для анализа системы стабилизации изображения.



■ **Рис. 1.** Специальный испытательный стенд с видеокамерой

Стенд имеет две оси вращения — горизонтальную и вертикальную. Также имеются два эксцентрика: один вращается в горизонтальной плоскости, другой — в вертикальной.

Разъемы двигателей подключаются к блоку стабилизированного питания, на котором можно регулировать напряжение и силу тока. Видеокамера смещается горизонтально и вертикально относительно плоскости наблюдения тест-объекта.

Характеристики видеокамеры:

- фокусное расстояние объектива $f = 5,1 \sim 51$ мм;
- размер матрицы 1/3 CCD (прибор с зарядовой связью);
- диагональ/горизонталь/вертикаль матрицы — 6/4,8/3,6 мм.

Определение расстояния до тест-объекта

Все испытания проводились при отклонении видеокамеры в горизонтальной плоскости. Для определения расстояния до тест-объекта производились следующие расчеты:

$$\frac{1,25}{5,1} = \frac{143,5}{x},$$

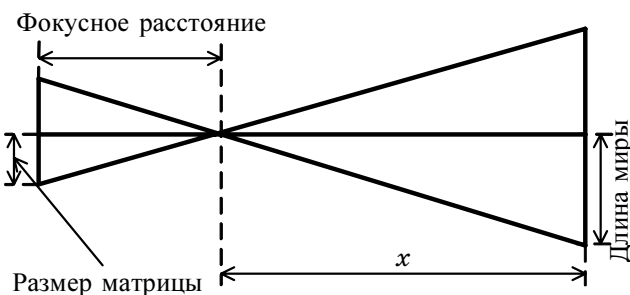
где 1,25 см — размер матрицы; 5,1 см — фокусное расстояние видеокамеры; 143,5 см — длина мира [1]; x — расстояние до тест-объекта: $x = 58,5$ см.

Было рассчитано расстояние до тест-объекта по чертежу (рис. 2).

Метод контроля частотно-контрастной характеристики видеокамер по перепаду яркости с использованием преобразования Фурье

В классической теории обычно исследуется тестовое изображение края черной области, имеющей форму прямоугольника (рис. 3).

Предлагается метод измерений и анализа частотно-контрастной характеристики (ЧКХ) объективов. Метод заключается в исследовании изображения резкого края при помощи матрицы ПЗС.



■ Рис. 2. Определение расстояния до тест-объекта



■ Рис. 3. Пример изображения тест-объекта в формате bitmap

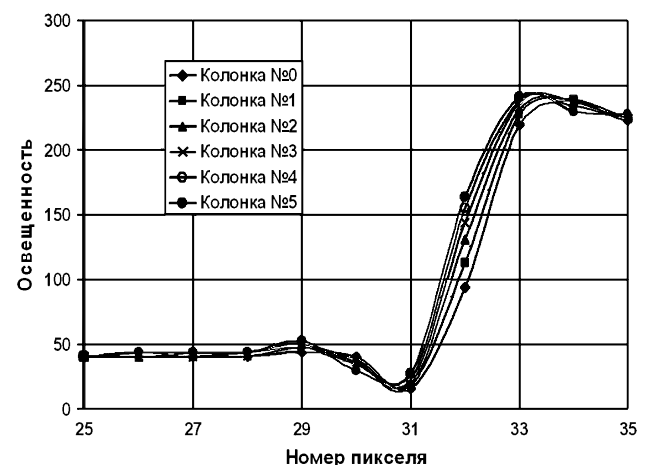
После дифференцирования и преобразования Фурье с последующим усреднением ЧКХ по колонкам матрицы возможно получение ЧКХ всей системы в целом. Очень важно, чтобы изображение тест-объекта было слегка наклонено. Любое изображение такого наклонного края будет восприниматься ступенчатым. Это происходит потому, что точки отображения располагаются в этом случае различно по отношению к перепаду яркости (см. рис. 3). Такой метод обладает большой чувствительностью в силу того, что небольшое изменение положения точки по отношению к резкому краю приводит к другой форме ЧКХ.

Как только изображение считывается, небольшой участок исследуемого изображения импортируется в MathCAD [2] в формате bitmap. Как выглядит импортированное изображение, иллюстрирует рис. 4. Видно, что точки располагаются различно по отношению к бело-черной границе из-за того, что резкий край наклонен. Небольшое изменение положения точки на резком крае вызывает значительное изменение полученной ЧКХ, что приводит к необходимости усреднения.

Для дифференцирования можно вычесть цифровые значения яркости для двух последующих друг за другом точек в колонке матрицы. После этого можно произвести преобразование Фурье с учетом расстояния между пикселями и получить ненормированную оптическую передаточную функцию для данной колонки матрицы:

$$F(v) = \sum_{n=0}^{N-2} D_{n,L} \exp(-i2\pi v x_n) d,$$

где v — пространственная частота, пар линий на миллиметр; N — число рядов матрицы; n — номер строки матрицы; $D_{n,L} = I_{n+1,L} - I_{n,L}$ — разница освещенности соседних пикселей в колонке с номером L bitmap матрицы изображения; $x_n = dn$ — координата точки отображения; d — расстояние между пикселями, мм.



■ Рис. 4. Импортированное изображение в MathCAD

Для вычисления расстояния между пикселями необходимо знать такой важный параметр матрицы, как число пикселей на миллиметр. В действительности это число дает частоту Найквиста, которая представляет собой предельное разрешение системы. Результат преобразования Фурье по различным колонкам матрицы будет различным, и необходимо произвести усреднение и нормализацию:

$$F(v) = \frac{1}{M} \sum_{m=0}^{M-1} \left| \sum_{n=0}^{N-2} D_{n,L} \exp(-i2\pi v x_n) d \right|$$

В то же время ЧКХ, рассчитанная по каждой отдельной колонке, представляет большой интерес для анализа, так как если пиксель находится точно по середине перепада яркости, то будет получен наилучший результат.

В результате описанного выше анализа получается действительная ЧКХ цифровой видеосистемы, которую обозначим как $MTF(v)$:

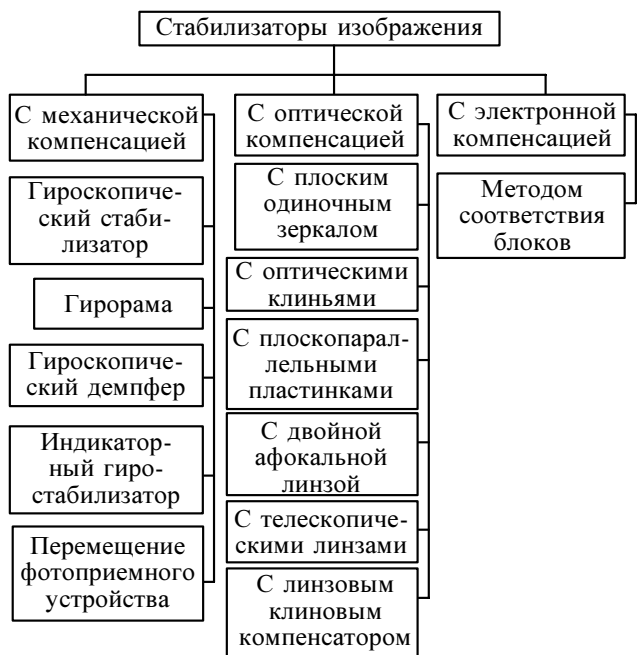
$$MTF(v) = |F(v)| / |F(0)| \text{ [лн/мм]},$$

где $F(v)$ — усредненный результат преобразования Фурье по колонкам матрицы изображения; m — номер колонки матрицы; M — число колонок матрицы.

Виды стабилизаторов изображения

Разработанная методика системы стабилизации изображения также применима ко всем нижеперечисленным видам стабилизации.

Для уменьшения влияния колебаний носителя на качество изображения используют способ



■ Рис. 5. Схема классификации стабилизаторов изображения

автоматической компенсации этих колебаний (стабилизацию изображения). Чаще всего для наземных и воздушных носителей применяется двухплоскостная стабилизация изображения (в вертикальной и горизонтальной плоскостях).

Стабилизаторы изображения могут быть условно разделены на три группы: стабилизаторы с механической, оптической и электронной компенсацией угловых рассогласований (рис. 5).

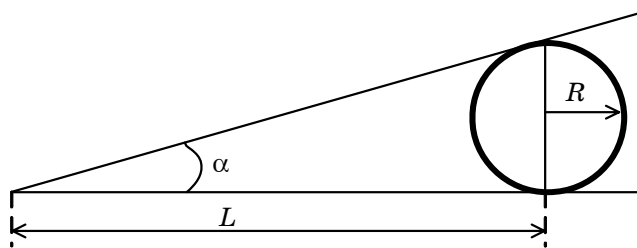
Расчет угловых скоростей и ускорения

Описание метода

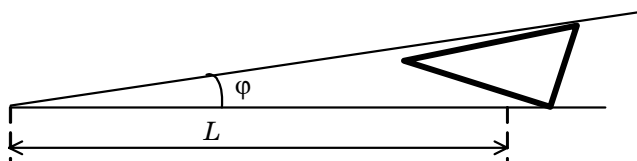
Расчеты выполнялись при использовании эксцентрика (рис. 6). Затем эксцентрик горизонтального отклонения снимался с вала и на его место ставился «скользящий шатун» (рис. 7). Далее вычисления выполнялись при использовании «скользящего шатуна». Это было необходимо для анализа стабилизации изображения. Были построены чертежи движения «скользящего шатуна» (рис. 8). Выведены формулы для расчета угловой скорости, ускорения и рывка.

Вычисления, сделанные при использовании скользящего шатуна

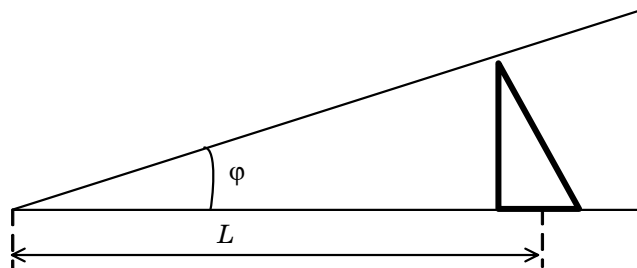
$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cdot \cos c;$$



■ Рис. 6. Чертеж при использовании эксцентрика



■ Рис. 7. Чертеж при использовании «скользящего шатуна» в начальном положении



■ Рис. 8. Чертеж при отклонении «скользящего шатуна»

$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C};$$

$$r^2 = L^2 + R^2 - 2LR \cdot \cos \alpha,$$

где $L = 4,8 \cdot 10^{-2}$ м — расстояние от центра скользящего шатуна до центра стэнда; $R = 1,1 \cdot 10^{-2}$ м — радиус скользящего шатуна;

$$\Omega = \frac{180}{\pi} \text{ — формула для перевода радиан в градусы;}$$

дусы;

$$\frac{R}{\sin \varphi} = \frac{r}{\sin \alpha} \Rightarrow \sin \varphi = \frac{R \cdot \sin \alpha}{r};$$

$$\varphi = \sin^{-1} \left(\frac{R \cdot \sin \alpha}{\sqrt{L^2 + R^2 - 2LR \cdot \cos \alpha}} \right);$$

$$\sin \varphi = \frac{R \cdot \sin \alpha}{\sqrt{L^2 + R^2 - 2LR \cdot \cos \alpha}};$$

$$\Phi(t) = \left(a \sin \left(\frac{R \cdot \sin \left(\frac{At}{\Omega} \right)}{\sqrt{L^2 + R^2 - 2LR \cdot \cos \left(\frac{At}{\Omega} \right)}} \right) \right) \Omega;$$

A — угловая скорость на валу: $A = 110 \cdot \Omega \times \frac{\pi \cdot 2}{60} = 660$ град/с;

$\alpha(t) = At$ — формула для вычисления угла;
 $t = 0,004 \dots 0,6$ с — изменение времени;

ω — угловая скорость, град/с: $\omega(t) = \frac{d}{dt} \Phi(t)$;

ε — угловое ускорение, град/с²: $\varepsilon(t) = \frac{d}{dt} \omega(t)$;

ζ — рывок, град/с: $\zeta(t) = \frac{d}{dt} \varepsilon(t)$.

Вычисления, сделанные при использовании эксцентрика

$L = 4,8 \cdot 10^{-2}$ м; $R = 1,5 \cdot 10^{-2}$ м — радиус эксцентрика;

$t = 0,004 \dots 1,6$ с — изменение времени;

$\Delta = 3 \cdot 10^{-3}$ м — отклонение эксцентрика от первоначального положения;

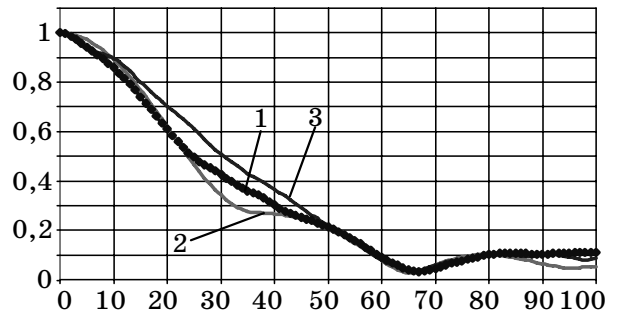
$\alpha = 0,1 \dots 180$ — изменение угла в диапазоне $0 \div 180^\circ$ с шагом 1° ;

$A = 330$ град/с;

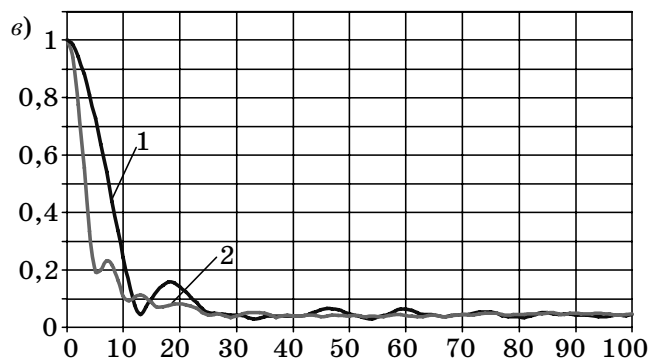
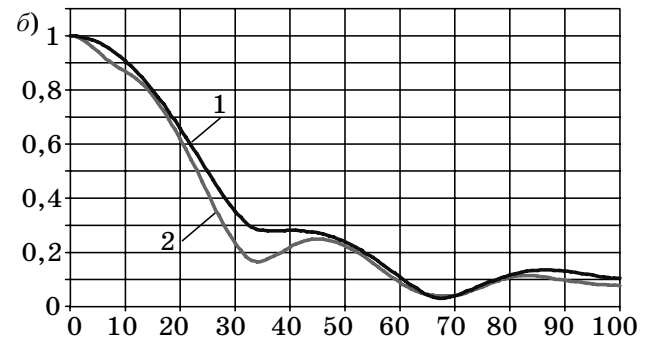
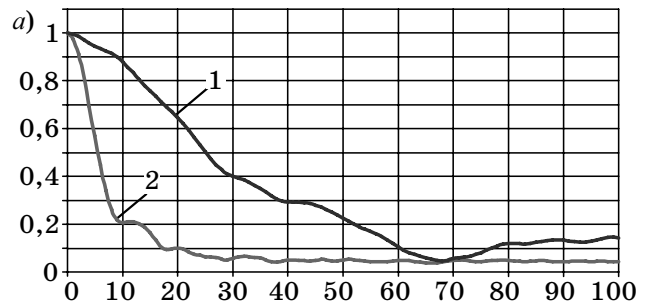
$$\Phi(t) = \left(a \tan \left(\frac{\sqrt{\Delta^2 + R^2 - 2\Delta R \cdot \cos \left(\frac{At}{\Omega} \right)}}{L} \right) \right) \Omega.$$

Результаты измерений

Измерялись ЧКХ при различных угловых скоростях со стабилизацией изображения и без стабилизации. Измерения проводились в статическом



■ Рис. 9. ЧКХ в статическом положении (1) видеокамеры, со стабилизацией (2), без стабилизации (3)



■ Рис. 10. ЧКХ: а — при равномерном движении; б — в момент рывка; в — в момент наибольшей угловой скорости и ускорения: 1 — со стабилизацией; 2 — без стабилизации

положении видеокамеры (рис. 9). Далее измерения были сделаны со стабилизацией изображения и без стабилизации при равномерном движении (рис. 10, а). В момент рывка, в момент наибольшей угловой скорости и ускорения были получены следующие ЧКХ со стабилизацией изображения и без стабилизации (рис. 10, б, в).

Заключение

- Результатом работы стало создание специального испытательного стенда и методики исследований систем со стабилизацией изображения.

- Объектом исследования являлась цифровая видеокамера с электронной стабилизацией изображения.

- В процессе работы проводились экспериментальные исследования системы со стабилизацией изображения и без. Исследования проводились в различных диапазонах угловых скоростей и ускорений.

- В статье показано, что с увеличением угловой скорости и ускорения система со стабилизацией работает эффективнее.

- Были определены способы оценки качества стабилизации изображения. Предложен метод исследования ЧКХ оптической системы с использованием ПО MathCAD.

- Показатели системы со стабилизацией изображения и без приведены ниже.

При равномерном движении в диапазоне:

- угловой скорости $15 \div 20^\circ/\text{с}$;
- углового ускорения $80 \div 140^\circ/\text{с}^2$;
- рывка $800 \div 700^\circ/\text{с}$

— параметры ЧКХ со стабилизацией и без стабилизации изображения отличаются незначительно.

При скачкообразном движении в диапазоне:

- угловой скорости $100 \div 200^\circ/\text{с}$;
- углового ускорения $2300 \div 2200^\circ/\text{с}^2$;
- рывка $53000 \div 15000^\circ/\text{с}$

— параметры ЧКХ со стабилизацией и без стабилизации изображения отличаются значительно.

Исходя из вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

- при создании носимых систем видеонаблюдения для компенсации произвольных рывков и тремора рук следует использовать серийно выпускаемые видеокамеры и цифровые фотоаппараты со стабилизацией изображения;

- при создании систем наблюдения для подвижных объектов целесообразнее использовать систему стабилизации при изменении траектории визирования с учетом угловых скоростей и угловых ускорений.

Работа выполнена в рамках международного контракта между СПб ГОУ ИТМО и Корейским политехническим университетом при поддержке гранта KRF-2006-613-C00002 Корейского исследовательского фонда, основанного корейским правительством.

Литература

1. Сайт компании Idatest LLC //http://www.idatest.com
2. Гурский Д. А., Турбина Е. С. Вычисления в MathCad 12. СПб.: Питер, 2005. С. 44.