

УДК 621.397.3

АДАПТАЦИЯ ПРИКЛАДНОЙ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ СИСТЕМЫ К ДИНАМИКЕ СЮЖЕТА

Бобровский А.И., к.т.н., старший научный сотрудник, начальник научно-исследовательского центра ФГУП «ГосНИИПП», e-mail: albob@mail.ru.

APPLIED TELEVISION SYSTEM ADAPTATION TO THE PLOTS DYNAMIC

Bobrovsky A.I.

The main methods of adaptation of the image decomposition parameters in the applied television system to the dynamics of the plot and the criteria of optimization of its control system are considered.

Key words: optimization, adaptation, control, information processing.

Ключевые слова: оптимальность, адаптация, управление, обработка информации.

Рассмотрены основные методы адаптации параметров разложения изображения в прикладной телевизионной системе к динамике сюжета и критерии оптимизации её системы управления.

Введение

Адаптация прикладной телевизионной системы к динамике сюжета ниже рассматривается на примере контроля сближения космических аппаратов (КА) с использованием оптико-электронных (телевизионных) измерительных систем, предназначенных для измерения пространственно-временных координат кооперируемых КА. С. П. Королёв в самом начале космической эры сформулировал «Предложения по созданию средств для орбитальной сборки» [1], где выдвинул проблему обеспечения сближения и стыковки КА на орбитах спутников Земли, и наметил несколько этапов «создания на базе корабля «Восток» полуавтоматического комплекса сборки» (интерактивного управления). Эта методология С. П. Королёва в основном используется до настоящего времени: в процессе сближения и сейчас используется принцип итераций [2], [3].

Для обеспечения контроля сближения КА с помощью телевизионных систем уже более полувека измеряются координаты кооперируемого КА [4]. При этом итерационный принцип и два диапазона дальностей наблюдения сразу привели к применению двух телекамер – с широким и узким углом поля зрения. При этом в силу простоты телевизионных систем считалось, что «Первый этап (автоматический поиск и «захват» спутников радиотехническими средствами) не имеет существенных особенностей» [5]. Рождение твердотельного телевидения открыло новые возможности телевидения, в том числе перестройки параметров телевизионных систем [6] и распространения итерационного принципа С. П. Королёва на изменение параметров разложения изображения в ходе изменения дистанции между КА [7-10]. При разработке теоретических основ и методов адаптации телевизионных систем к динамике сюжета было установлено, что:

на класс измерительных телевизионных систем распространяется принцип совместного кодирования сигналов в телекамере и цифровом кодере [11];

– система управления параметрами разложения изображения в фотоприёмной матрице так же, как и

другие системы управления КА [2], [3], [5], должна обладать инерционностью и гистерезисом [7], [8], [9];

– синтез телевизионной системы (рис. 1) должен опираться на принципы построения проблемно-ориентированных систем управления и принятия решения, а также на методы оптимизации технических объектов и критерии оценки эффективности управления и обработки информации.

Цель указанного синтеза – преодоление противоречия между стремлением разработчика если не к нулевым ошибкам, то к оптимальности системы при ограниченном отношении сигнал/шум и при широком диапазоне априорной неопределённости сигналов. Сложность системы обработки информации связана также с существенными изменениями видимой яркости, размеров и скорости объекта и ограничениями – фотоприёмник имеет не только конечное число $N_{\text{макс}}$ пикселей, но и конечную скорость считывания информации $F_{\text{сч}}$, т.е. максимальную кадровую частоту $F_{\text{к}}$ при этом числе пикселей: $F_{\text{к}} \times N_{\text{макс}} \leq F_{\text{сч}}$.

Взгляд на кодирование видеoinформации в фотоприёмнике телекамеры как на инструмент повышения качества информации [6] здесь дополняется акцентом на специфику цифровой обработки сигналов в цифровом процессоре проблемно-ориентированной системы управления.

Этапы адаптации и оптимизации телевизионной системы

Адаптация параметров разложения для разных дистанций имеет свои важные особенности. На очень больших дальностях после обнаружения КА и оценки его пространственных координат осуществляется переход:

– от широкоугольной телекамеры к соосной узкоугольной телекамере [4] (широкоугольная продолжает работу для предотвращения срыва слежения);

– от наблюдения при большом времени накопления (низкой кадровой частоте, необходимой для повышения дальности обнаружения) к кадровой частоте $F_{\text{к0}}$, предельно возможной при полной чёткости $N_{\text{макс}}$ пикселей применённой фотоприёмной матрицы [6], [8] (рис. 2).

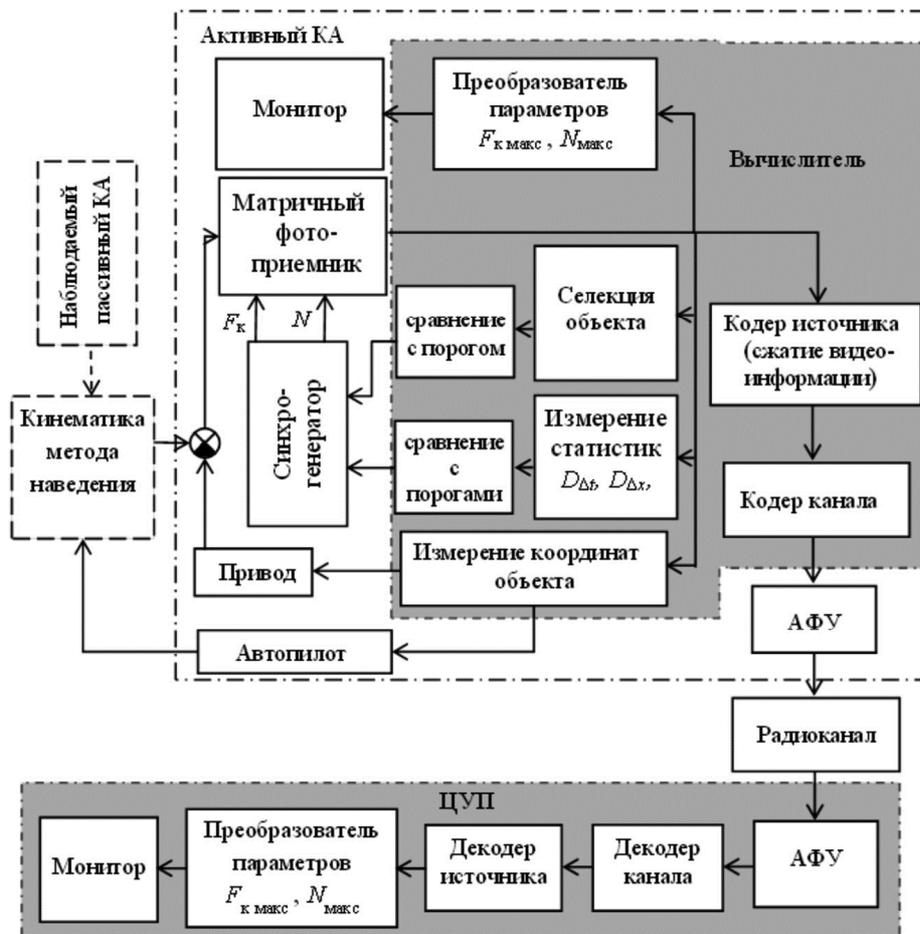
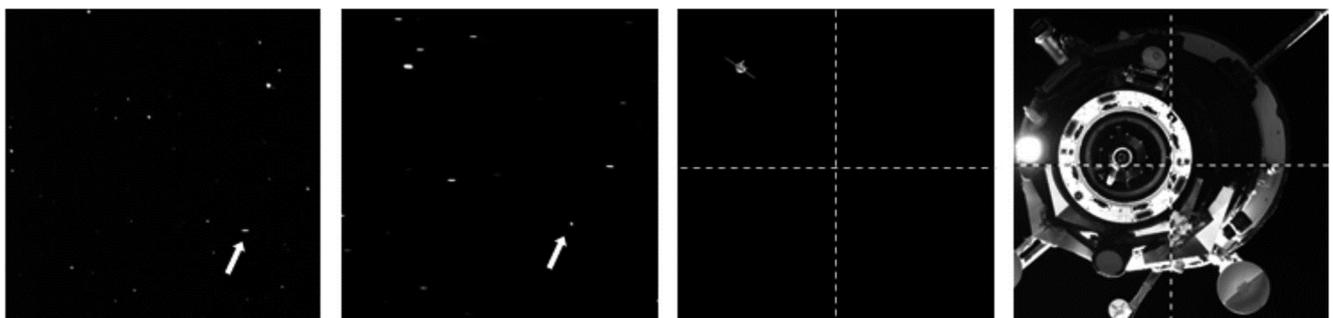


Рис. 1. Структурная схема адаптивной телевизионной системы с вычислителем контура проблемно-ориентированной системы управления; кодер канала и декодер понимаются обобщенно, с учётом усилителей; схема отражает не только управление параметрами разложения в зависимости от принятия решений об обнаружении объекта и его динамике, но и взгляд С. П. Королёва [1] на системы контроля сближения КА: «Одновременно с подачей изображения с наружной телекамеры на бортовое видеоконтрольное устройство информация может передаваться по радиоканалу на Землю»



Широкоугольная камера, обнаружение
Стабилизация по звёздам, сигнал КА смазан
Максимум чувствительности
 $F_k < F_{k0}$
 $N = N_{макс}$

Широкоугольная камера, сопровождение
Стабилизация по КА, сигналы звёзд смазаны
Минимум ошибки измерения азимута
 $F_k < F_{k0}$
 $N = N_{макс}$

Узкоугольная камера, большая дистанция
Наведение на кооперируемый КА
Минимум ошибки измерения пространственно-временных координат
 $F_k < F_{k0}$
 $N = N_{макс}$

Узкоугольная камера, малая дистанция
Наведение на кооперируемый КА
Минимум ошибки измерения пространственно-временных координат
 $F_k = 2F_{k0}$
 $N = N_{макс}/4$

Рис. 2. Этапы адаптации телевизионной системы

При измерении пространственно-временных координат КА, наблюдаемого узкоугольной телекамерой, имеется несколько этапов, характеризуемых различной динамикой сюжета. Так как при освещении КА Солнцем ошибки измерения этих координат определяются пространственно-временной дискретизацией изображения в фотоприёмной матрице, то параметры разложения долж-

ны оптимизироваться по критерию минимума их суммы (при ограничении на скорость считывания сигнала). Эта задача относится к изопериметрическим, в которой в роли переменных выступают дисперсии парциальных ошибок оценивания $\varepsilon_i = D_{\Delta i}$, а в роли «периметра» – доступная скорость $F_{сч}$ считывания информации с фотоприёмной матрицы.

Решение уравнения Эйлера с неопределёнными множителями Лагранжа приводит к *правилу равенства дисперсий приращений сигнала по всем аргументам*, т.е. равенства дисперсий межэлементных (по горизонтали и по вертикали) и межкадровой разностей видеосигнала [7], [9], [10]:

$$D\Delta_x = D\Delta_y = D\Delta_t. \quad (1)$$

Такое выравнивание дисперсий ошибок позволяет минимизировать промах при измерении пространственно-временных координат КА. Наличие этого условного оптимума параметров разложения интуитивно ясно, так как на большой дальности видимые размеры и скорость объекта малы, и актуальна предельная чёткость, а на малой дистанции размеры и скорость объекта велики, и актуальна высокая кадровая частота. Вместе с тем абсолютно точное выравнивание этих статистик в твердотельных телекамерах невозможно в силу дискретного изменения числа эффективных пикселей, и система управления должна опираться на решающую статистику (z -статистику) отношения указанных дисперсий приращений сигналов по разным аргументам.

Система измерения координат, реализующая правило (1) с помощью *взаимообмена чёткости* (числа элементов разложения N) и кадровой частоты F_k , включает подсистему измерения статистики z_k (равной текущему отношению оценок дисперсий межэлементной и межкадровой разностей $z_k = D_{\Delta xk}/D_{\Delta tk}$). Если считать, что видеосигнал – случайный процесс с нормальным распределением (включающий некоррелированные сигнальную и шумовую компоненты), то статистика z является модифицированной статистикой Фишера-Снедекора [7], [9], которую можно аппроксимировать гауссовским законом распределения [11].

Оптимизация проблемно-ориентированной системы управления адаптивной измерительной телевизионной системой основана на концепции условного максимума информации об объекте в задаче контроля сближения, (минимума динамического промаха), который достигается в несколько этапов на основе группы критериев (перечисляемых по мере нарастания общности для данной системы) несколькими средствами.

1. *Минимум ошибок пространственно-временной дискретизации* в фотоприёмнике, обеспечиваемый адаптацией кадровой частоты и чёткости (эффективного числа элементов разложения, определяющих интервалы дискретизации Δx по полю и Δt по времени), в условиях ограничения скорости считывания информации с матрицы – условный минимум, достигаемый взаимобменом в соответствии с решением изопериметрической задачи:

$$\min \sum_i \varepsilon_i \rightarrow \{F_k, N\} = \arg \min_{\Delta_t, \Delta_x} \sum_i \varepsilon_i \text{ при } F_k \times N \leq F_{\text{св}}; (2)$$

В силу дискретности раstra матричных фотоприёмников изменение чёткости изображения может осуществляться только дискретно, что в совокупности с флуктуациями статистики z_k из-за шумов видеосигнала вносит свою специфику в синтез системы управления. В общем случае система может иметь множество состояний с различным числом эффективных пикселей (полу-

ченных группированием исходных пикселей по 2×2, 3×3, 4×4 и т. д.) с соответствующим правилом (1) увеличением кадровой частоты (рис. 3).

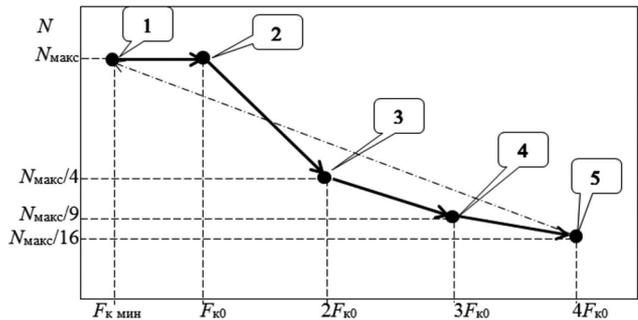


Рис. 3. Фазовый портрет адаптивной телевизионной системы

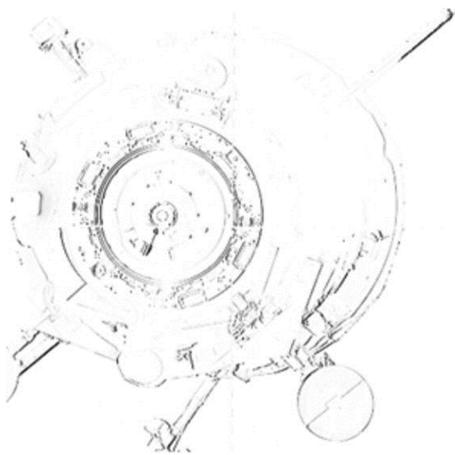
Динамика изменения параметров разложения, качественно намеченная на рис. 2, иллюстрируется фазовым портретом системы (рис. 3), показывающим изменение *состояния* системы по мере сближения КА: состояние 1 – низкая кадровая частота, высокая чёткость; состояние 2 – максимальная при полной чёткости кадровая частота F_{k0} ; состояние 3 – повышенная в 2 раза кадровая частота, состояние 4 – повышенная в 3 раза кадровая частота, состояние 5 – повышенная в 4 раза кадровая частота. Пунктир – переход системы в исходное состояние по завершении стыковки КА. В общем случае таких состояний может быть и больше, но ниже рассмотрим наиболее простой случай системы с двумя состояниями 2 и 3.

Экспериментальная проверка обмена пространственной чёткости и кадровой частоты (рис. 4) [7], [10] показала реализуемость и эффективность разработанной концепции.

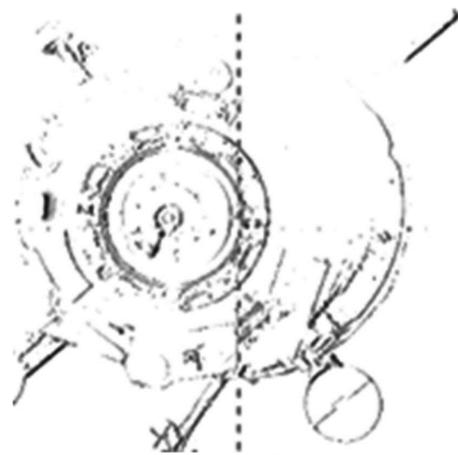
2. *Минимум ошибок линейной фильтрации* решающей статистики, обеспечивающий минимум ошибок принятия решений об изменении состояния системы. Линейная фильтрация, т.е. инерционность системы управления, уменьшает шумовую ошибку, но увеличивает задержку. Минимум ошибок фильтрации обеспечивается оптимизацией (адаптацией) инерционности сглаживающего фильтра, импульсная характеристика которого h_k позволяет сформировать оптимальную (квазиоптимальную) оценку \hat{z}_k флуктуирующей в силу наличия шумов в видеосигнале z -статистики путём свёртки наблюдения z_k с импульсной характеристикой h_k фильтра: $\hat{z}_k = z_k \otimes h_k$:

$$\begin{aligned} \min \sum_i \varepsilon_i \rightarrow h_k &= \arg \min \sum_k (\varphi_k - \hat{z}_k)^2 = \\ &= \arg \min \sum_k (\varphi_k - z_k \otimes h_k)^2. \end{aligned} \quad (3)$$

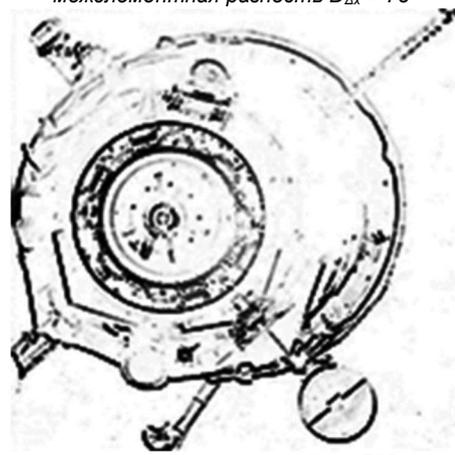
Функцию $\varphi(t)$ можно моделировать кусочно-полиномиальной зависимостью (в реальных условиях стыковки КА работают корректирующие двигатели, вносящие аддитивные скачки в закон изменения $\varphi(t)$). Учитывая в среднем монотонный вид функции $\varphi(t)$, можно получать её оценку с использованием оптимального фильтра Калмана, вводящего переменную во времени инерционность в процесс оценивания. Упрощённый вариант такой фильтрации может быть реализован с по-



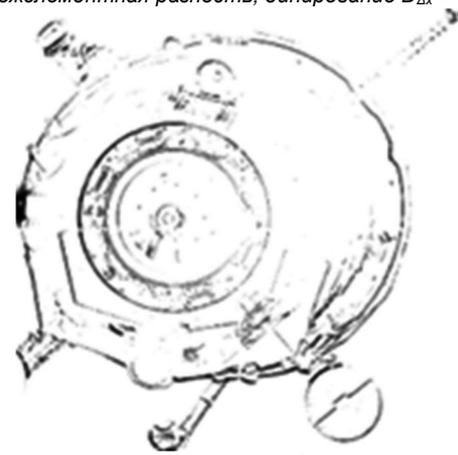
межэлементная разность $D_{\Delta x} = 78$



межэлементная разность, бинирование $D_{\Delta x} = 157$



межкадровая разность $D_{\Delta t} = 585$



межкадровая разность, бинирование и удвоение кадровой частоте $D_{\Delta t} = 251$

Рис. 4 Статистики изображения приближающегося КА

мощью нелинейного накопления, т.е. с помощью принятия решения после превышения статистикой z уменьшенного порога подряд в нескольких кадрах. В этом простом случае существует оптимальное число m совместно анализируемых последовательных кадров, зависящее от текущего значения производной математического ожидания φ статистики z по времени $d\varphi(t)/dt$ [6]. Промежуточный по точности и сложности метод субоптимальной фильтрации использует рекурсию в соответствии с разностным уравнением, включающим постоянную обратной связи α , определяющую инерционность фильтра и пороговое устройство обнаружения аномальных выбросов фильтруемого процесса, соответствующих импульсной коррекции положения наблюдаемого кооперируемого КА, по сигналам которого память цифрового фильтра очищается [13]:

$$\hat{z}_k = \alpha z_k + (1 - \alpha)\hat{z}_{k-1}. \quad (4)$$

Результаты моделирования системы управления адаптивной телекамерой с использованием критерия [12] показали его практическую эффективность.

3. *Максимум времени наблюдения* при нахождении системы в потенциально минимальной зоне нечувствительности подсистемы управления, необходимой для устойчивости системы, обеспечиваемый оптимизацией порогов γ_v и γ_n переключения её состояния. Этот принцип является следствием и обобщением необходимости достижения ряда экстремумов при синтезе рассматри-

ваемой системы управления. С учётом частных критериев (2) и (3) можно поставить целью синтеза адаптивной системы определение совокупности её параметров:

$$\{F_k, N, \gamma_v, \gamma_n, h_k\} = \arg \min_{\Delta_t, \Delta_x} \min_{\gamma_v, \gamma_n} \min_{h_k} \int_T \sum_i \varepsilon_i. \quad (5)$$

Анализ функционирования системы управления при оценке её эффективности по критерию (4) показал, что методологически более общим является критерий максимума времени ($\max T$) наблюдения объекта при нахождении системы в зоне приемлемых значений решающей статистики \hat{z}_k . Критерий $\max T$ (имеющий очень широкое применение [13]) формализует метод обработки информации, при котором система управления путём выбора совокупности оптимальных параметров – кадровой частоты F_k , чёткости N (числа пикселей), порогов гистерезиса γ_v и γ_n , импульсной характеристики h_k фильтра формирования оценки \hat{z}_k решающей статистики – обеспечивает максимум времени T , когда оценка \hat{z}_k решающей статистики z_k принадлежит потенциально минимальной зоне нечувствительности системы управления, т.е. $\hat{z}_k \in [1/2, 2]$. При общем времени наблюдения T_n , кратном времени кадра T_k , $T_n = K T_k$, $K \gg 1$, пренебрегая переходными процессами при включении системы, критерий $\max T$ принимает вид:

$$\begin{aligned} \max T \rightarrow \{F_k, N, \gamma_v, \gamma_n, h_k\} = \\ = \arg \max \sum_{k=1}^K \text{sign} \{1 - |\log_2 \hat{z}_k|\}. \end{aligned} \quad (6)$$

Результаты моделирования

Результаты моделирования системы управления адаптивной телекамерой и определения оптимальных порогов гистерезиса системы управления с использованием этого критерия [14] показали его практическую эффективность для простейшего случая, когда адаптивная система наблюдения должна иметь два состояния A^1_{k-1} с максимальной чёткостью и A^2_{k-1} с максимальной кадровой частотой. В этом случае гистерезис определяется верхним γ_b и нижним γ_n порогами ($\gamma_b = 1/\gamma_n$). Минимальное отношение порогов $d = \gamma_b/\gamma_n$ соответствует изменению отношений интервалов пространственной и временной дискретизации, что в простейшем случае системы с двумя состояниями даёт $d = 4$. Вместе с тем из-за неизбежного наличия в видеосигнале шумов для обеспечения устойчивости адаптивной системы необходимо увеличение «расстояния» d между порогами.

Гистерезис системы проявляется в том, что в каждом k -м кадре она может иметь два текущих состояния:

- при $\hat{z}_k > \gamma_b$ переход из состояния A^2_{k-1} с максимальной кадровой частотой в состояние A^1_k с максимальной чёткостью;
- при $\hat{z}_k < \gamma_n$ переход из состояния A^1_{k-1} с максимальной чёткостью в состояние A^2_k с максимальной кадровой частотой;
- при $\gamma_n \leq z \leq \gamma_b \rightarrow$ сохранение имеющегося состояния $A_k = A_{k-1}$.

Такая динамическая система функционирует в соответствии с *уравнением состояния*, реализуемым с помощью JK триггера, функционирующего в соответствии с таблицей истинности [12]

K	J	Q_k	Q_{k+1}	Функция F
0	0	0	0	Хранение информации
0	0	1	1	
0	1	0	1	Установка 1, переход в состояние A^1
0	1	1	1	
1	0	0	0	Установка 0, переход в состояние A^2
1	1	1	0	

$Q_{k+1} = F(Y_{Jk+1}, Y_{Kk+1})$ (7)
при соответствующем *уравнении управления* его входами J и K (рис. 5):

$$Y_{k+1} = \left\{ \begin{array}{l} Y_{Jk+1} = \text{sign}(\hat{z}_k - \gamma_b) \\ Y_{Kk+1} = \text{sign}(\gamma_n - \hat{z}_k) \end{array} \right\} \quad (8)$$

Извлечение из наблюдений максимума информации о пространственно-временных координатах объекта в приложении к системе, адаптирующей параметры при синтезе системы в целом и в каждой частной задаче должна быть формализована опорная триада синтеза – априорная информация, критерий качества и ограничения. Например, в *частной задаче оптимизации порогов (гистерезиса)* в априорную информацию входит результат решения *другой частной задачи оптимизации параметров разложения* (изопериметрическая задача привела к правилу равенства дисперсии приращений сигнала

по всем аргументам) [6], [8-10]. Решение задачи оптимизации гистерезиса возможно, например, при следующей опорной триаде статистического синтеза:

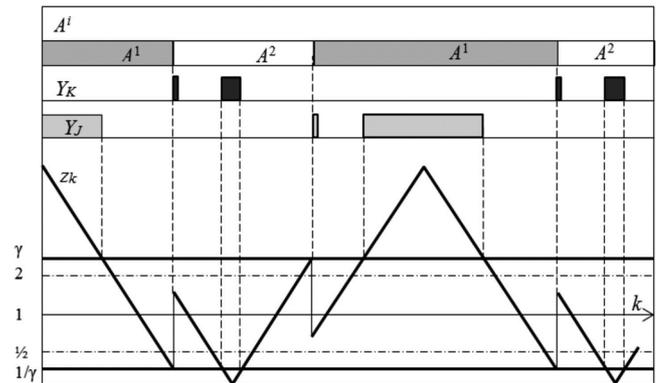


Рис. 5. Формирование управляющих сигналов Y_K, Y_J и состояние системы управления A^i при изменении во времени решающей статистики z_k

Априорная информация:

- изменяющееся во времени математическое ожидание $\varphi(t)$ z -статистики имеет распределение в интервале $[a, 1/a]$, $a > 2$ вида $p(z) = 1/2z$, обеспечивающее равенство вероятностей значений z -статистики, больших и меньших 1;
- при фиксированном значении математического ожидания $\varphi_k = \varphi$ z -статистики при гауссовском распределении видеосигнала функция плотности вероятности описывается распределением Фишера-Снедекора [6] и при ряде условий может аппроксимироваться гауссовским законом распределения [10]. Эксперимент [12] показал, что в широком диапазоне изменения параметров сюжетов функция плотности вероятности статистики может аппроксимироваться гауссовским законом распределения. Для такой аппроксимации справедлива связь математического ожидания φ и дисперсии D_z : $D_z = 2\varphi^2/N$. При сравнительно небольших порогах, обеспечивающих малую вероятность ложной тревоги, и достаточно больших значениях числа пикселей N^2 можно использовать формулу, связывающую значения математического ожидания φ z -статистики и используемого порога γ :

$$\gamma - \varphi \approx \frac{\varphi}{p_{лт} \sqrt{\pi N}}; \quad (9)$$

система для обеспечения устойчивости обладает гистерезисом, т.е. имеет не один, а два порога изменения состояния: пороги принятия решения о переходе из состояния A^2_{k-1} с максимальной кадровой частотой в состояние A^1_k с максимальной чёткостью и обратно симметричны относительно единичного значения: $\gamma_b = 1/\gamma_n$ (далее для упрощения записей упоминаем только один порог γ_b , опуская нижний индекс); требование устойчивости из-за изменения при переключении состояния вдвое и чёткости, и кадровой частоты, приводит к неравенству $\gamma > 2$ [6], [8-10].

Критерий качества (охарактеризованы выше):

- критерий минимума за всё время наблюдения интеграла суммы ошибок по всем аргументам;

сий межэлементных и межкадровых приращений. Обеспечения устойчивости системы автоматического управления параметрами разложения измерительной системы требует введения доверительного интервала при измерении статистик сигнала, превышающего минимально допустимое значение 4, определяемое дискретностью раstra.

Изложенная концепция, опирающаяся на правило (1), критерии (2), (3), (5), (6) и уравнение управления (8), является отражением новой парадигмы в теории прикладных телевизионных систем, пришедшей на смену старой парадигме пассивного учёта деградации разрешающей способности при движении наблюдаемого объекта. Оптимизация рассмотренной системы космического телевидения имеет целью извлечение информации максимального качества, без оглядки на ограниченность зрения человека-наблюдателя, с учётом ограничения пропускной способности каналов связи телекамеры и бортового компьютера и/или ЦУП, отражает важный эффект влияния твердотельной технологии на изменение методов системного анализа и синтеза, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации в прикладном телевидении.

Литература

1. Творческое наследие академика Сергея Павловича Королёва. Избранные труды и документы / Под ред. М. В. Келдыша. М., Наука, 1980. – 592 с.
2. Легостаев В. П., Раушенбах Б. В. Автоматическая сборка в космосе/ Космические исследования, 1969, вып. 6. С. 803-813.
3. Микрин Е. А. Бортовые комплексы управления космических аппаратов. М., МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 245 с.
4. Брацлавец П. Ф., Росселевич И. А., Хромов Л. И. Космическое телевидение. М.: Связь, 1973. – 248 с. Легостаев В. П., Шмыглевский И. П. Управление сближением космических аппаратов на этапе причаливания. Управление в космосе. Т. 2. М., Наука, 1972. С. 218-228.
5. Твердотельная революция в телевидении: Телевизионные системы на основе приборов с зарядовой связью, систем на кристалле и видеосистем на кристалле / Под ред. А. А. Умбиталиева и А.К. Цыцулина. – М.: Радио и связь, 2006. – 312 с.
6. Теория и практика космического телевидения / Умбиталиев А. А., Пятков В. В., Бобровский А. И. и др. // Под ред. Умбиталиева А. А., Цыцулина А. К. СПб, НИИ телевидения, 2017. – 368 с.
7. Обнаружение объектов на звёздном фоне / Левко Г. В., Бобровский А. И., Морозов А. В., Цыцулин А. К. // Вопросы радиоэлектроники, серия Техника телевидения, 2016, вып. 2. С. 29-38.
8. Статистический синтез управления телевизионной системой, адаптивной к динамике сюжета / Умбиталиев А. А., Пятков В. В., Морозов А. В. и др. // Вопросы радиоэлектроники, серия Техника телевидения, 2016, вып. 1. С. 3-11.
9. Адаптация параметров разложения телевизионного координатора целей / Умбиталиев А. А., Пятков В. В., Бобровский А. И. и др. // Военно-научная конференция «Актуальные научно-технические аспекты разработки, испытаний и эксплуатации средств ракетно-космической обороны», СПб, ВКА им. А. Ф. Можайского, 20 октября 2017 г. С. 183-188.
10. Вероятностные характеристики решающей статистики в телевизионной системе, адаптивной к динамике сюжета/ Рогачёв В. А., Морозов А. В., Бобровский А. И. и др. Вопросы радиоэлектроники, серия Техника телевидения, 2018, вып. 1. – С. 71-78.
11. Хромов Л. И., Цыцулин А. К., Куликов А. Н. Видеоинформатика. М., Радио и связь, 1991. – 192 с.
12. www.digiteh.ru/digital/JK_trigg.php
13. Рекурсивная фильтрация опорной статистики адаптивной телевизионной системы / Морозов А. В., Чепелев А. Г., Бобровский А. И. и др. // Труды 14-й Международ. конф. «Телевидение: передача и обработка изображений», СПб, 26-27 июня 2018 г. СПб: Изд-во «Технолит», 2018. С. 199-203.
14. Шамис А. Л. Вектор эволюции. Жизнь, эволюция. Мышление с точки зрения программиста. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. – 200 с.
15. Оптимизация гистерезиса системы управления телекамерой, адаптивной к динамике сюжета/ Бобровский А. И., Рогачёв В. А., Морозов А. В. И др. // Труды 14-й Международ. конф. «Телевидение: передача и обработка изображений», СПб, 26-27 июня 2018 г. СПб: Изд-во «Технолит», 2018. С. 40-44.

НОВЫЕ КНИГИ

Витязев С.В. Цифровые процессоры обработки сигналов / Курс лекций – М.: Изд-во «Горячая линия-Телеком», 2017 г. – 100 с.: ил.

Рассмотрены основы построения архитектур и оптимизации программного обеспечения цифровых сигнальных процессоров. Сформулированы основные задачи цифровой обработки сигналов на сигнальных процессорах. Представлено описание инструментальных и программных средств работы с цифровыми сигнальными процессорами.

Для студентов технических вузов радиотехнических и инфокоммуникационных специальностей, будет полезна преподавателям, читающим соответствующие курсы.

