



Более того, может быть можно проводить анализ, не используя амплитуды, а только их квадраты. Тогда можно не вычислять корень из суммы квадратов оценок q_{i1} и q_{i2} , в выражении (6), что еще упрощает все расчеты.

Предложенный датчик-сигнализатор пожара очень прост в изготовлении, при этом его несложно монтировать в самолете. Поэтому авторы считают перспективным его использования для сигнализации возможных пожаров на самолетах, в том числе и беспилотных.

Литература

1. Бочкарев, А.Н. Система противопожарной безопасности на авиатранспорте / А.Н. Бочкарев, И.А. Бочкарев // Мир транспорта, 2013. – № 3. – С. 162-167.
2. L’vov, A.A. The use of current loop circuit as a signal conditioner for high accuracy digital piezoresistive pressure sensors / A.A. L’vov, P.A. L’vov, R.S. Konovalov, S.A. Kuzin // Proceedings of X International Scientific and Technical Conference “Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines”. – Omsk: Omsk State Technical University, 2016. – P. 24-28.
3. L’vov, A. Improvement of Piezoresistive Pressure Sensor Accuracy by Means of Current Loop Circuit Using Optimal Digital Signal Processing / A. L’vov, P. L’vov, R.Konovalov // Proceedings of the 2016 IEEE North West Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference (2016 EIConRusNW), February 2-3, 2016, St. Petersburg, Russia, P. 279-282.

П.К. Кузнецов, Б.В. Мартемьянов

МЕТОД СОВМЕЩЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ИНВАРИАНТНЫЙ К ОСВЕЩЕННОСТИ СЦЕНЫ

(Самарский государственный технический университет)

Введение. Базовой операцией при решении задачи построения 3-D модели сцены, наблюдаемой видеосистемой, является совмещение регистрируемых видеосистемой кадров изображения. Одним из факторов, существенно затрудняющих такое совмещение, является изменение освещенности наблюдаемой сцены в процессе регистрации. В докладе излагается вариант метода совмещения изображений, инвариантный к изменению освещенности сцены. Метод является развитием изложенного в [1, 2] метода функционализации параметров изображений (далее, метод функционализации). Предлагаемый вариант метода функционализации отличается от исходного тем, что в нем использован нелинейный нормированный функционал, инвариантный к вариации освещенности сцены.

Постановка задачи совмещения изображений

Функцию распределения освещенности (ФРО) изображения, формируемую бортовой либо стационарной изобразительной системой (ИС) в момент времени t , обозначим как $E(\mathbf{x}, t)$. Считается, что ИС изопланатична.



Процесс съемки организован так, что в анализируемых L и R кадрах существуют подобласти, содержащие изображения одних и тех же объектов наблюдаемой сцены (сопряженные фрагменты), то есть кадры имеют «перекрывтия». Задача состоит в том, чтобы на кадрах L и R найти сопряженные фрагменты и совместить их. При этом условимся: L и R кадры сформированы в моменты времени t_0 и t_1 соответственно; совмещение осуществляется преобразованием изображения кадра R на кадр L .

Примем, что выполняется:

$$E_R(\mathbf{x}) = E_L(\mathbf{x} - \mathbf{s}(\mathbf{x}, t)), \quad (1)$$

где $\mathbf{s}(\mathbf{x}, t) = [s_x(\mathbf{x}, t) \quad s_y(\mathbf{x}, t)]^T$ - вектор смещения; координаты \mathbf{x} в кадрах L и R определяются в локальных системах координат каждого кадра.

Задача состоит в восстановлении векторного поля $\mathbf{s}(\mathbf{x}, t_1)$ в подобласти перекрытия изображений кадров L и R и осуществлении преобразования $E_L(\mathbf{x}) = E_R(\mathbf{x} + \mathbf{s}(\mathbf{x}, t_1))$, обратного к преобразованию (1).

Модель видеосигнала

Видеосигнал, получаемый после преобразования с помощью ОЭП изображения $E(\mathbf{x}, t)$, содержит различного рода шумы и помехи. Представим модель видеосигнала (обозначим её как $\tilde{E}(\mathbf{x}, t)$) в виде:

$$\tilde{E}(\mathbf{x}, t) = (1 + \gamma(t)) E(\mathbf{x}, t) + g(\mathbf{x}) + h(\mathbf{x}, t), \quad (2)$$

где $(0 \geq \gamma(t) > -1)$ – мультипликативная помеха, создаваемая вариацией освещенности наблюдаемой сцены; $g(\mathbf{x})$ низкочастотная помеха (геометрический шум) ПЗС матриц в составе ОЭП; $h(\mathbf{x}, t)$ – случайная функция шума с нулевым средним, вызванная преобразованиями видеосигнала при его передаче и обработке.

С учетом (3) кадры видеосигнала определяются так:

$$\text{«кадр } L\text{»} \equiv \tilde{E}_L(\mathbf{x}) \equiv \tilde{E}(\mathbf{x}, t_0); \text{ «кадр } R\text{»} \equiv \tilde{E}_R(\mathbf{x}) \equiv \tilde{E}(\mathbf{x}, t_1).$$

Методика поиска сопряженных фрагментов изображений

Процесс поиска сопряженных фрагментов организуется в виде итерационной процедуры, в которой положение фрагмента и его конфигурация на кадре L задаются произвольно (требуется только односвязность фрагмента и особенность его границы). На кадре R сопряженный фрагмент подбирается в процессе реализации итерационной процедуры так, чтобы он наилучшим (в некотором смысле) образом совпадал с фрагментом, заданным на L , то есть осуществляется совмещение сопряженных фрагментов. Алгоритм совмещения реализует вариант метода функционализации [1]. В методе функционализации обрабатывается не непосредственно изображение, а значения определенного на нем функционала специального вида, который называется [3] *основным* функционалом метода. Вид его определяет адаптивность процесса совмещения к особенностям решаемой задачи. Предлагаемая далее итерационная процедура модифицирует метод функционализации. В рассматриваемом случае строится функционал, инвариантный к изменению освещенности наблюдаемой сцены. Схема построения такого функционала следующая.



Совмещаемые фрагменты покрываются идентичными системами окон анализа (ОА) D^i . Системы окон анализа, покрывающие фрагменты кадров L и R идентичны, и создаются такими, чтобы пары смежных по положению ОА перекрывались, например, на половину своих характерных размеров, как в направлении оси Ox , так и в направлении оси Oy . С использованием построенных систем покрытий, в соответствии с методом функционализации, строится основной функционал метода [4] следующим образом. На системах ОА, образующих покрытие, задают множество Ψ «допустимых» пар номеров ОА:

$$\Psi = \{(i, j): (i, j \in \{1, \dots, M\}) \wedge (i > j) \wedge (D^i \cap D^j \neq \emptyset)\}. \quad (3)$$

Имеется некоторый произвол в задании «допустимых» пар номеров. Конкретный выбор определяется с использованием экспертной оценки, вырабатываемой экспертами в соответствии с типом обрабатываемого изображения.

На каждой паре ОА с номерами $(i, j) \in \Psi$ на изображении фрагмента L кадра строится основной функционал $\Phi_L^{(i,j)}$ в виде:

$$\Phi_L^{(i,j)} = N_L^{(i,j)} G_L^{-0,5}, \quad (4)$$

где $N_L^{(i,j)} = F_L^i - F_L^j$; $G_L = \sum_{(i,j) \in \Psi} (N_L^{(i,j)})^2$;

$$F_L^i = \iint_{D^i} K_{D^i} \tilde{E}_L(\mathbf{x}) dx dy; \quad (5)$$

K_{D^i} - функция веса, задаваемая на соответствующих окнах анализа, и отвечающая условиям [1] непрерывности и дифференцируемости почти всюду по всем своим аргументам и равенства нулю на границе окна анализа.

Основной функционал (4), по сути, является комбинацией, в данном случае нелинейной, линейных функционалов вида (5), которые можно назвать "базовым" функционалом метода.

Основной функционал на фрагменте R строится аналогичным образом с той лишь разницей, что базовые функционалы вычисляются для каждой итерации совмещения по-своему:

$$F_R^i(k) = \iint_{D^i} K_{D^i} \tilde{E}_R(\mathbf{x} + \mathbf{s}^*(\mathbf{x}, k)) dx dy, \quad (6)$$

где k – номер итерации процесса совмещения, $\mathbf{s}^*(\mathbf{x}, k)$ – вычисленная к началу k -ой итерации оценка истинного смещения $\mathbf{s}(\mathbf{x}, t_1)$ положения фрагмента на изображении R относительно положения сопряженного с ним заданного фрагмента на L .

В результате формируются два вектора основных функционалов:

$$\Phi_L = (\Phi_L^{(i,j)}) \text{ и } \Phi_R(k) = (\Phi_R^{(i,j)}(k)). \quad (7)$$

Очевидно, что основной функционал вида (4), благодаря использованию нормализации, инвариантен к мультипликативной помехе $\gamma(t)$, и, благодаря использованию в числителе (4) разницы базовых функционалов, и к геометрическому шуму, если, конечно, на фрагменте выполняется: $g(\mathbf{x}) = const$.

Для каждой пары одноименных компонентов из Φ_L и $\Phi_R(k)$ строится уравнение функциональной связи (ФС уравнение). В результате получается пе-



реопределенная система ФС-уравнений относительно искомой поправки $\Delta \mathbf{s}^*(k)$ к текущей оценке $\mathbf{s}^*(\mathbf{x}, k)$, которая имеет вид [3]:

$$\Delta \Phi(k) = \bar{\mathbf{C}}_{\mathbf{x}} \Delta \mathbf{s}^*(k), \quad (8)$$

где $\Delta \Phi(k) = \Phi_R(k) - \Phi_L$;

$\bar{\mathbf{C}}_{\mathbf{x}}$ – матрица-среднее матриц $\mathbf{C}_{Lx}^{(ij)}$ и $\mathbf{C}_{Rx}^{(ij)}$,

$\mathbf{C}_{Lx}^{(ij)} = [c_{Lx}^{(ij)} \quad c_{Ly}^{(ij)}]$ – вектор-строка,

$$c_{L\alpha}^{(ij)} = N_{L\alpha}^{(ij)} (G_L)^{-0,5} - \Phi_L^{(ij)} (G_L)^{-1} \Sigma (N_L^{(ij)} N_{L\alpha}^{(ij)}),$$

$$N_{L\alpha}^{(ij)} = F_{L\alpha}^i - F_{L\alpha}^j, \quad \alpha \in \{x, y\}; \quad F_{L\alpha}^\beta = \iint_{D_L^\beta} K_\alpha^\beta(\mathbf{x}) E(\mathbf{x}) dx dy, \quad \beta \in \{i, j\}.$$

$\mathbf{C}_{Rx}^{(ij)}$ вычисляется аналогично, но на текущем фрагменте изображения R .

Система ФС-уравнений (8) связывает измеримые характеристики совмещаемых изображений с текущей поправкой оценки относительного сдвига изображений \mathbf{s}^* .

Система (8) решается псевдообращением матрицы $\bar{\mathbf{C}}_{\mathbf{x}}$:

$$\Delta \mathbf{s}^*(k) = (\bar{\mathbf{C}}_{\mathbf{x}}^T \bar{\mathbf{C}}_{\mathbf{x}})^{-1} \bar{\mathbf{C}}_{\mathbf{x}}^T \Delta \Phi(k). \quad (9)$$

Условие существования и единственности решения системы (9) записывается в виде $\det(\bar{\mathbf{C}}_{\mathbf{x}}^T \bar{\mathbf{C}}_{\mathbf{x}}) \neq 0$. При конкретных вычислениях будем требовать «хорошей» обусловленности системы (9). С этой целью будем использовать критерий отделенности определителя от нуля в виде:

$$\bar{a}_{xy}^2 / (\bar{a}_{xx} \bar{a}_{yy}) < (1 - \delta), \quad (10)$$

где δ выбирается из некоторого диапазона, например $0,2 \geq \delta > 0$.

С использованием (9) строится итерационная процедура совмещения фрагментов изображений в виде:

$$\begin{aligned} \mathbf{s}^*(\mathbf{x}, k) &= \mathbf{s}^*(\mathbf{x}, k-1) - \lambda \Delta \mathbf{s}^*(k), \\ \Delta \mathbf{s}^*(k) &= (\bar{\mathbf{C}}_{\mathbf{x}}^T \bar{\mathbf{C}}_{\mathbf{x}})^{-1} \bar{\mathbf{C}}_{\mathbf{x}}^T \Delta \Phi(k), \end{aligned} \quad (11)$$

где λ – коэффициент обратной связи, $\lambda > 0$.

Использование критерия (10) позволяет отсеивать фрагменты, на которых вероятно проявление «апертурного» эффекта [1, 3].

Заключение. ФС-уравнения, использованные в рассмотренном методе, устанавливают связь между *измеримыми характеристиками* анализируемых изображений и параметрами векторного поля скоростей движения точек изображения (оптического потока) и при этом не требуют непосредственного вычисления пространственных производных от ФРО изображения. Как следствие, метод инвариантен к помехам, вызванным изменением освещенности анализируемой сцены, характеризуется робастностью и обладает пониженной чувствительностью к локальным экстремумам автокорреляционных функций анализируемых изображений. Экспериментальные исследования предложенного алгоритма, проведенные на реальных изображениях, полученных космическим аппаратом типа "Ресурс-П", показали, что погрешность совмещения изображений не превышает 0,3 пиксела (3σ) при изменении освещенности за кадровый период в 10 раз и более.



Литература

1. Кузнецов, П. К. Техническое зрение подвижных объектов. Метод анализа поля скоростей динамического изображения / П. К. Кузнецов, Б. В. Мартемьянов, В. И. Семавин // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2014. № 1. С. 3 – 9.
2. Кузнецов, П. К. Техническое зрение подвижных объектов. Совмещение изображений как динамический процесс / П. К. Кузнецов, Б. В. Мартемьянов, В. И. Семавин // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2014. № 2. С. 3 –10.
3. Кузнецов П.К., Мишин В.Ю., Семавин В.И. Определение скорости по характеристикам последовательности кадров телевизионного изображения// Изв. вузов. Приборостроение. 1997. Т. 40, №2. С. 58-61.
4. Кузнецов, П. К. Техническое зрение подвижных объектов. Методика совмещения изображений, полученных при наблюдении с подвижного основания /П. К. Кузнецов, Б. В. Мартемьянов, А.В. Ращупкин // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2014. № 3. С. 10 –17.

П.К. Кузнецов, Б.В. Мартемьянов, Р.В. Шестов

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ВИЗУАЛЬНОГО ОДОМЕТРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ МОБИЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ

(Самарский государственный технический университет)

Введение

Рассматривается автономная мобильная платформа (АМП), на которой размещена система технического зрения, состоящая из изобразительной системы (ИС), оптико-электронного преобразователя (ОЭП), подсистемы преобразования получаемого ОЭП видеосигнала в оцифрованные видеоданные (кадры изображений) и бортового вычислителя. Предлагается решение задачи определения по изображениям подстилающей поверхности параметров поступательного движения АМП в условиях наличия заметных ускорений движения АМП.

Известны способы и реализующие эти способы системы определения параметров движения (СОПД) АМП по изображениям подстилающей поверхности. Эти способы основаны на анализе последовательности двух кадров видеоданных, получаемых либо с помощью кадровых камер, либо с помощью «двухстрочного» ОЭП, составленного из двух линейных (однострочных матриц) фотопреобразователей, установленных на фиксированном расстоянии друг за другом. В качестве однострочных фотопреобразователей, чаще всего, применяются однострочные матрицы фоточувствительных приборов с зарядовой связью – линейки ФПЗС. При использовании ФПЗС линеек кадры изображений формируются сканированием подстилающей поверхности методом "заметания".