

МЕТОД ИТЕРАЦИОННОГО СОВМЕЩЕНИЯ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИГНАЛОВ В ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

DOI: 10.36724/2072-8735-2024-18-1-21-29

Manuscript received 15 November 2023;

Accepted 17 December 2023

Диязитдинов Ринат Радмирович,
Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики,
г. Самара, Россия, rinat.diyazitdinov@gmail.com

Ключевые слова: совмещение, итерационный,
телевизионный сигнал, техническое зрение,
лог-полярный, восстановление

Измерительные системы технического зрения получили широкое распространение при решении промышленных задач. Подобные системы используются для работы в агрессивных условиях: при наличии осадков в виде дождя и снега, грязи, пыли, в широком температурном диапазоне. В таких условиях, несмотря на работоспособность аппаратуры, происходит потеря данных в измерительных системах. Потеря данных приводит к искажениям измерений и увеличению вероятности пропуска обнаружения объектов. Подобные ситуации представляют собой актуальную проблему для организаций, эксплуатирующих измерительные системы технического зрения. Для восстановления данных необходимо повторное проведение измерений, что связано с временными, трудовыми и финансовыми затратами. В ряде случаев потеря данных несет потенциальную угрозу для обеспечения безопасности жизни людей и техники. Различные измерительные системы технического зрения формируют различные виды телевизионных сигналов: одномерные сигналы, профили и изображения. Для восстановления данных был разработан метод итерационного совмещения различных видов телевизионных сигналов для систем технического зрения. Апробация метода показала повышение надежности и достоверности измерений.

Информация об авторе:

Диязитдинов Ринат Радмирович, доцент кафедры Сети и системы связи, к.т.н., доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, г. Самара, Россия

Для цитирования:

Диязитдинов Р.Р. Метод итерационного совмещения телевизионных сигналов в измерительных системах технического зрения // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2024. Том 18. №1. С. 21-29.

For citation:

Diyazitdinov R.R. (2024). The iteration superposition method of television signals for machine vision measuring system. T-Comm, vol. 18, no.1, pp. 21-29. (in Russian)

Введение

Измерительные системы технического зрения применяются в различных промышленных сферах. Подобные системы характеризуются высокой надежностью и живучестью, что позволяет использовать их в агрессивных условиях эксплуатации при наличии осадков в виде дождя и снега, грязи, пыли, в широком температурном диапазоне и т.д. Однако, несмотря на то что аппаратура будет работать исправно, сами данные могут стать непригодными для использования. Например, загрязнение оптических поверхностей датчиков системы технического зрения приводит к частичной или полной потере измерений. К аналогичной ситуации приводит солнечная засветка, которая искажает данные.

Подобные ситуации приводят к потере измерений и к увеличению вероятности пропуска обнаружения объектов. В особенности такая ситуация является критичной для систем, обеспечивающих безопасность жизни людей и движения транспорта. Потеря данных даже на относительно малом интервале времени (или на протяжении относительно короткого участка измерений) несет потенциальную угрозу для безопасности. В подобных случаях измерения проводятся повторно, чтобы их восстановить. Однако повторное проведение измерений ведет к дополнительным временным, трудовым и финансовым затратам.

Также следует отметить, что измерительные системы технического зрения содержат различных виды датчиков, которые формируют различные телевизионные сигналы.

Анализ этой предметной области показал, что телевизионные сигналы систем технического зрения можно классифицировать следующим образом:

- одномерные сигналы с равномерным шагом дискретизации;
- двумерные сигналы с неравномерным шагом дискретизации (контуры или профили);
- двумерные сигналы с равномерным шагом дискретизации (изображения).

Эта особенность подталкивает к мысли о разработке целого ряда методов, ориентированных на обработку каждого вида сигнала по отдельности, что, конечно, требует не только огромных вложений в разработку методов, но и их последующую поддержку.

Кроме указанной особенности, связанной с различными видами сигналов, существует еще и требование поддержки работы систем технического зрения в режиме реального времени.

Данные требования возникают по двум причинам. Во-первых, измеренная информация часто используется для принятия оперативных решений. Во-вторых, объем данных, формируемый измерительными системами технического зрения, огромен, поэтому запись, хранение, копирование, передача данных по сети является трудоемкой задачей и может требовать больше времени, чем непосредственно обработка данных.

Вычислительные возможности процессоров до недавнего времени являлись достаточно скромными, что не позволяло реализовывать сложные алгоритмы обработки восстановления данных для обеспечения их высокой надежности и достоверности.

Поэтому появление более совершенных процессоров и развитие теории обработки сигналов открывают новые возможности для совмещения телевизионных сигналов в

измерительных системах технического зрения, что позволяет повысить надежность и достоверность измерений, распознавания и обнаружения объектов.

Совмещение сигналов – это процесс сопоставления одного сигнала под названием шаблон с другим сигналом. С помощью совмещения можно восстановить искаженный сигнал на основании измерений, полученных в близкие моменты времени.

Несмотря на то, что существует большое разнообразие типов сигналов, принципы совмещения являются едиными. В данной статье представлен универсальный итерационный метод совмещения, который позволяет в режиме реального времени обрабатывать различные виды сигналов (одномерных и двумерных), регистрируемых системами технического зрения.

Можно выделить ряд важных задач, которые существуют в настоящее время.

1. Повышение точности измерения скорости движения протяженного объекта (вагонов) при наличии внешних помех (осадков, тумана и т.д.)
2. Обнаружение движущихся объектов для контроля автомобильного трафика.
3. Восстановление профиля рельса на основе совмещения данных профильных датчиков.
4. Проведение измерений износов и подуклонки с использованием одного профильного датчика (*примечание*: в настоящее время для этой цели используется два датчика).
5. Восстановление формы контактного провода путем совмещения измерений, проведенных в близкие моменты времени.
6. Распознавание фиксаторов по изображениям с камер обзорного видео (*примечание*: для контроля, что фиксатор обеспечивает защиту от касания контактного провода, находящегося под высоким напряжением, к металлическим конструкциям контактной сети).
7. Обнаружение несанкционированных переходов через железнодорожные пути.

В представленной статье рассматриваются вопросы, связанные с измерительными системами технического зрения, и, в частности, с обработкой сигналов для решения вышеперечисленных задач.

Математическая модель для совмещения телевизионных сигналов

Анализ систем технического зрения показал, что для совмещения телевизионных сигналов приемлемой для практического использования является математическая модель подобия.

Эта модель описывается рядом параметров:

- мещением вдоль оси абсцисс и ординат;
- поворотом;
- масштаб бом;
- адд тивной и мультипликативной составляющей.

Математически модель подобия описывается следующим образом.

Пусть $f(x_i, y_i)$, $g(x_i, y_i)$ – это совмещаемые изображения, где x_i, y_i – координаты i -того пикселя.

Модель подобия описывается уравнениями:

$$\begin{aligned} f(x_i, y_i) &= s(x_i, y_i) + k(x_i, y_i), \quad g(x_i, y_i) = \\ &= \lambda s(x'_i, y'_i) + \gamma + m(x_i, y_i), \end{aligned} \quad (1)$$

где $s(x_i, y_i)$ – детерминированный, но неизвестный сигнал;

$k(x_i, y_i), m(x_i, y_i)$ – помехи;

λ, γ – мультипликативная и аддитивная составляющая, соответственно;

$x'_i = \alpha \cdot x_i \cdot \cos(\varphi) - \alpha \cdot y_i \cdot \sin(\varphi) + h, y'_i = \alpha \cdot x_i \cdot \sin(\varphi) + \alpha \cdot y_i \cdot \cos(\varphi) + p;$

α – масштаб;

φ – поворот;

h, p – смещения вдоль координатных осей абсцисс и ординат.

Вопросами совмещения сигналов занимаются очень давно. Исследования проводились как отечественными, так и зарубежными учеными. В следующем параграфе представлен обзор современных достижений.

Релевантные работы

Одним из направлений исследований является использование реперных точек. Идея совмещения заключается в поиске особых точек на изображении, вычислении некоторого описателя (дескриптора) и сопоставлении особых точек между изображениями. Зная сопоставление, вычисляются параметры модели совмещения при помощи метода наименьших квадратов. А для борьбы с неверно сопоставленными точками используется проверка гипотез по выбранному критерию или метод RANSAC [1].

Этому направлению посвящены работы [2-7]. Метод на основе дескриптора SIFT [3, 4] широко используется при решении прикладных задач, но ориентирован он только на совмещение изображений, но не может применяться для совмещения других видов сигналов: профилей и одномерных сигналов.

В работе [5-7] используются предварительно распознанные контуры на изображениях и особые точки на них. Недостатком методов, предложенных в этих работах, является узкая специфичная область применения. Например, в работе [5] анализируются медицинские данные с изображением одного органа человека, что существенно упрощает задачу совмещения. В работах [6, 7] для совмещения снимков поверхности Земли предлагается специфическая процедура поиска контура, которая не может использоваться для обработки не только других видов сигналов (профилей и одномерных), но даже и изображений с другими статистическими характеристиками.

Методы по стохастическому совмещению [8, 9] обладают узкой областью сходимости относительного оцениваемых параметров [10], что ограничивает практическое использование в задачах реального времени. Это требование, фактически, является обязательным условием при работе с измерительными системами технического зрения.

Метод неподвижной точки [10] чувствителен к аддитивным и мультипликативным составляющим, что требует предварительной нормировки изображений. Также более поздние исследования [11], что масштаб на основе предложенной эвристической процедуры для проверки гипотетических неподвижных точек оценивается нестабильно и метод преимущественно ориентирован на совмещения путем поворота и смещений, что ограничивает его область применения в системах технического зрения.

Наиболее близкой к предложенному методу являются работы [12, 13], в которых предложено использовать декартовую систему координат для оценки смещений и логарифмически-полярную для оценки масштаба и поворота. Однако диапазон сходимости у данных методов достаточно узкий ($\pm 0,2$ по масштабу, ± 30 градусов по повороту, $\pm 0,1$ от размера

совмещаемого фрагмента по смещению) и изображение должно содержать однородный фон по краям.

Таким образом, существующие работы по совмещению ориентированы на совмещение только определенных типов сигналов (изображений или профилей), могут не удовлетворять требованиям работы в режиме реального времени, или ориентированы на работу с изображениями с определенными статистическими характеристиками. Поэтому применение их для совмещения сигналов в измерительных системах технического зрения затруднительно, и требует их модернизации.

Для решения этих проблем был разработан метод для совмещения сигналов систем технического зрения. Особенностью этого метода является итерационная обработка, при которой на каждой итерации происходит уточнение параметров совмещения. При итерационной обработке оценивание параметров совмещения происходит быстрее, чем при «полном переборе», что обеспечивает обработку в режиме реального времени [14].

Метод итерационного совмещения

Ниже представлено краткое описание метода в виде последовательности шагов.

Шаг 1. Загрузка изображений.

Шаг 2. Определение реперной точки на первом изображении. Она будет соответствовать центральной точке – (X_0, Y_0) .

Шаг 3. Определение совокупности выбранных точек на втором изображении $(u_i, w_i), i = 1, K$, где K – количество выбранных точек (см. рис. 1).

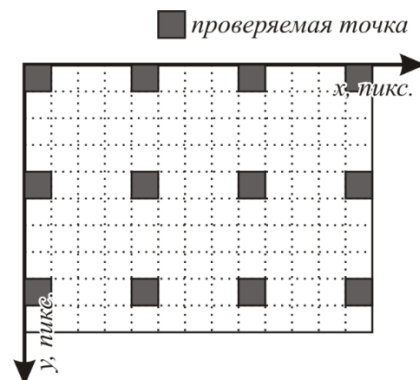


Рис. 1. Проверяемые точки для метода итерационной обработки

Шаг 4. Проверка i -ой выбранной точки $(U_0, W_0) = (u_i, w_i)$, которая выявляет параметры совмещения и коэффициент корреляции, определяющий меру совпадения обрабатываемых изображений:

$$R(\theta) = \frac{\left(\sum_{i=1}^N g(x_i, y_i) \cdot f(x_i, y_i | \theta) \right) / N - \left(\left(\sum_{i=1}^N g(x_i, y_i) \right) / N \right) \cdot \left(\left(\sum_{i=1}^N f(x_i, y_i | \theta) \right) / N \right)}{\left(\left(\sum_{i=1}^N g^2(x_i, y_i) \right) / N - \left(\sum_{i=1}^N g(x_i, y_i) / N \right)^2 \right)^{1/2} \cdot \left(\left(\sum_{i=1}^N f^2(x_i, y_i | \theta) \right) / N - \left(\sum_{i=1}^N f(x_i, y_i | \theta) / N \right)^2 \right)^{1/2}} \quad (2),$$

где $f(x_i, y_i | \theta)$ – первое изображение (фрагмент), преобразованный в соответствии с параметрами совмещения θ ; $g(x_i, y_i)$ – второе изображение; N – количество пикселей (элементов) изображения; $\theta = \{h, p, \varphi, \alpha, \lambda, \gamma\}$ – параметры совмещения.

Шаг 4 соответствует итерационной обработке, которая выполняется поэтапно.

Этап 1. Определение исходных точек (X_0, Y_0) , (U_0, W_0) на первом и втором изображении, соответственно.

Этап 2. Расчет положения точек в соответствии с номером итерации j :

– если $j = 1$, то $X_0^j = X_0$, $Y_0^j = Y_0$, $U_0^j = U_0$, $W_0^j = W_0$;

– если $j > 1$, то $X_0^j = X_0$, $Y_0^j = Y_0$,

$$U_0^j = X_0 \cdot \alpha^{j-1} \cos(\varphi^{j-1}) - Y_0 \cdot \alpha^{j-1} \sin(\varphi^{j-1}) + h^{j-1}, \quad (3)$$

$$W_0^j = X_0 \cdot \alpha^{j-1} \sin(\varphi^{j-1}) + Y_0 \cdot \alpha^{j-1} \cos(\varphi^{j-1}) + p^{j-1}, \quad (4)$$

где h^{j-1} , p^{j-1} , α^{j-1} , φ^{j-1} – смещения, масштаб, угол поворота, оцененные на $j-1$ итерации.

Этап 3. Проверка на завершение итерационной обработки. Если:

$$|U_0^j - U_0^{j-1}| < TU \text{ и } |W_0^j - W_0^{j-1}| < TW, \quad (5)$$

где TU , TW – это пороги (примечание: для проведения экспериментов значения порогов выбирались равными 0,5 пикселя), то итерационная процедура завершается, в противном случае проводится уточнение параметров.

Этап 4. Преобразование первого изображения в логарифмически-полярную систему координат относительно точки (X_0^j, Y_0^j) .

Этап 5. Преобразование второго изображения в логарифмически-полярную систему координат относительно точки (U_0^j, W_0^j) .

Этап 6. Оценка масштаба и поворота по изображениям в логарифмически-полярной системе координат [2, 13] – α^j , φ^j .

Этап 7. Преобразование первого изображения в соответствии с оцененным масштабом и поворотом. Масштабирование и поворот изображения проводится относительно точки (X_0^j, Y_0^j) . Это эквивалентно трем преобразованиям:

– смещение изображения, чтобы точка (X_0^j, Y_0^j) совпала с точкой $(0, 0)$:

$$M1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -X_0^j \\ 0 & 1 & -Y_0^j \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

– масштабирование и поворот в соответствии с α^j , φ^j :

$$M2 = \begin{bmatrix} \alpha^j \cos(\varphi^j) & -\alpha^j \sin(\varphi^j) & 0 \\ \alpha^j \sin(\varphi^j) & \alpha^j \cos(\varphi^j) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

– смещение изображения для возврата в точку (X_0^j, Y_0^j) :

$$M3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & X_0^j \\ 0 & 1 & Y_0^j \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Преобразование, эквивалентное этим трем последовательным преобразованиям, записывается следующим образом:

$$M = M3 \cdot M2 \cdot M1 =$$

$$= \begin{bmatrix} \alpha^j \cos(\varphi^j) & -\alpha^j \sin(\varphi^j) & X_0^j - X_0^j \cdot \alpha^j \cos(\varphi^j) + Y_0^j \cdot \alpha^j \sin(\varphi^j) \\ \alpha^j \sin(\varphi^j) & \alpha^j \cos(\varphi^j) & Y_0^j - X_0^j \cdot \alpha^j \sin(\varphi^j) - Y_0^j \cdot \alpha^j \cos(\varphi^j) \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Этап 8. Оценка смещений по преобразованному первому (этап 7) и второму изображению в декартовой системе координат [12] – H , P .

Этап 9. Вычисление смещений h^j , p^j :

$$h^j = X_0^j - X_0^j \cdot \alpha^j \cos(\varphi^j) + Y_0^j \cdot \alpha^j \sin(\varphi^j) + H, \quad (7)$$

$$p^j = Y_0^j - X_0^j \cdot \alpha^j \sin(\varphi^j) - Y_0^j \cdot \alpha^j \cos(\varphi^j) + P. \quad (8)$$

Этап 10. Преобразование первого изображения в соответствии с оцененным масштабом, поворотом и смещениям согласно матрице:

$$\begin{bmatrix} \alpha^j \cos(\varphi^j) & -\alpha^j \sin(\varphi^j) & h^j \\ \alpha^j \sin(\varphi^j) & \alpha^j \cos(\varphi^j) & p^j \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Этап 11. Оценивание параметров $\{\lambda^j, \gamma^j\}$ по методу наименьших квадратов:

$$\lambda^j = \frac{Sg \cdot Sf - N \cdot Sfg}{Sf^2 - N \cdot Ef}, \quad \gamma^j = \frac{Sg \cdot Sfg - Sg \cdot Ef}{Sf^2 - N \cdot Ef}, \quad (10)$$

$$\text{где } Sf = \sum_{i=1}^N f(x_i, y_i | \theta), \quad Sg = \sum_{i=1}^N g(x_i), \quad Sfg = \sum_{i=1}^N f(x_i, y_i | \theta) \cdot g(x_i),$$

$$Ef = \sum_{i=1}^N f^2(x_i, y_i | \theta), \quad \theta = \{h^j, p^j, \varphi^j, \alpha^j\}; \quad f(x_i, y_i | \theta) -$$

сигнал после преобразования с учетом найденных смещений и угла поворота.

Этап 12. Вычисление коэффициента корреляции по формуле (3).

Этап 13. Переход к этапу 2.

Шаг 5. Из K вариантов совмещений выбирается тот, который соответствует максимальному коэффициенту корреляции, то есть такому совмещению, при котором изображения будут совпадать наилучшим образом.

Разработанный итерационный метод совмещения используется не только для изображений, но и для профилей (для расчета меры сходства сигналов используется на максимум коэффициента корреляции, а минимум евклидова расстояния, также отсутствует оценка аддитивной и мультипликативной составляющей) и для одномерных сигналов (отсутствует поворот и смещение по оси ординат, что приводит к упрощению формул (6-9)).

Разработанный метод является более общим, чем алгоритмы и методики, представленные в работах [14-17]. В отличие от работ [14-17] в разработанном методе оцениваются координаты реперной точки на совмещаемом телевизионном сигнале, что позволяет увеличить вероятность сходимости к глобальному, а не локальному оптимуму при оценке параметров совмещения [15]. Это позволило:

– увеличить скорость обработки за счет уменьшения количества проверяемых точек;

– оценивать масштаб для расширения области применения при решении прикладных задач (*примечание:* см. ниже задачу распознавания фиксаторов контактной сети).

На основе предложенного метода совмещения были разработаны алгоритмы восстановления данных для различных систем технического зрения. В следующем параграфе представлены результаты апробации метода.

Апробация

В таблице 1 представлены задачи, связанные с обработкой телевизионных сигналов в измерительных системах технического зрения.

Также на основании метода итерационного совмещения был разработан ряд алгоритмов, которые можно использовать в качестве «готовых решений»:

- совмещение изображений на основе линейаризации сигналов (с единичным масштабом и масштабом, отличным от единицы) [14];
- совмещение профиля с профилем, описываемым параболой;
- совмещение профиля с профилем, описываемым окружностью и прямой линией [15].

Ниже представлены примеры решенных задач для различных систем технического зрения.

Для измерения скорости движения протяженных объектов (вагонов) используется видеокamera высокого разрешения с технологией глобального затвора. Разработанный метод совмещения применяется для обработки двух соседних кадров, что позволяет вычислить скорость движения вагона. На рисунке 2 показан пример вычисления смещения по изображениям вагонов, снятых во время снегопада [16].

Для измерения геометрии железнодорожного пути используются профильные датчики. Однако из-за агрессивных условий эксплуатации (осадки, пыль и грязь) оптические поверхности датчиков загрязняются, что приводит к искажению профиля рельса. Алгоритмы распознавания перестают работать, что приводит к потере измерений.

Разработанный метод позволяет совместить измеренный профиль с эталонным профилем, что обеспечивает восстановление недостающих участков профиля (см. рис. 3) [17].

Использование метода совмещения позволило восстановить профили рельсов и обеспечить более высокий процент достоверных измерений.

На рисунке 4 показан пример измерения «подуклонки рельса» [18, 19] на участке длиной 2000 м. Без восстановления процент измерений составлял 65,0%, а после восстановления – 99,7%. На графике видно, что кроме потери измерений наблюдается участок с искаженными измерениями, который выглядит как импульсный шум.

В системе контроля положения фиксаторов используется алгоритмы распознавания на основе нейронных сетей. Однако при съемке в движении не все кадры обеспечивают приемлемую погрешность измерения положения фиксатора (изображение фиксатора может быть относительно малого размера, на кадре может быть только фрагмент фиксатора, кадр может быть искажен солнечной засветкой и т.д.).

Для этого в случае отсутствия распознавания предлагается совмещать два соседних кадра, если на одном из них был обнаружен фиксатор. Это позволит восстановить пропущенный объект.

Таблица 1

Существующие задачи, решаемые с использованием измерительных систем технического зрения

№	Тип сигнала	Задача	Итерационный/неитерационный*	Оцениваемые параметры	Лог-пол. сист. коор.	Свертка/линеаризация	Характеристика сигнала	Скорость обработки, кадров/с.
1	изображение (двумерные сигналы с равномерным шагом дискретизации)	Определение скорости движения протяженного объекта, формирование панорамы	неитерац.	смещение вдоль оси абсцисс	нет	свертка	разреш. 1920 x 1080	30
		Совмещение изображений с камер линейного видео для улучшения визуального качества, распознавания	неитерац.	смещение вдоль оси ординат	нет	свертка	разреш. 1024 x 500	40
		Распознавание фиксаторов по данным камеры обзорного видео	итерац.	смещения, масштаб, поворот, аддитив., мультипликатив.	да	свертка и линеаризация	разреш. 1920 x 1080	10
		Обнаружение несанкционированных переходов через железнодорожные пути	итерац.	смещения, масштаб, поворот, аддитив., мультипликатив.	да	свертка и линеаризация	разреш. 1920 x 1080	10
2	профиль/контур (двумерные сигналы с неравномерным шагом дискретизации)	Восстановление профиля рельса путем совмещения с эталонным профилем	итерац.	смещения, поворот	нет	линеаризация	300 точек в профиле	1000
		Уменьшение погрешности износов и подуклонки рельсов путем совмещения измеренного и эталонного проф.	итерац.	смещения, поворот	нет	линеаризация	300 точек в профиле	1000
		Восстановление профиля контактного провода по соседним измерениям	итерац.	смещения	нет	линеаризация	50 точек в профиле	1000
		Совмещение профилей различных датчиков для определения их качества	итерац.	смещения вдоль осей, поворот	да	свертка	300 точек в профиле	1000
3	одномерные сигналы	Совмещение измерений для определения повторяемости	итерац.	смещения, масштаб, поворот, аддитив., мультипликатив.	да	линеаризация	–	–

Примечание: неитерационное совмещение означает, что обработка проводится за одну итерацию.

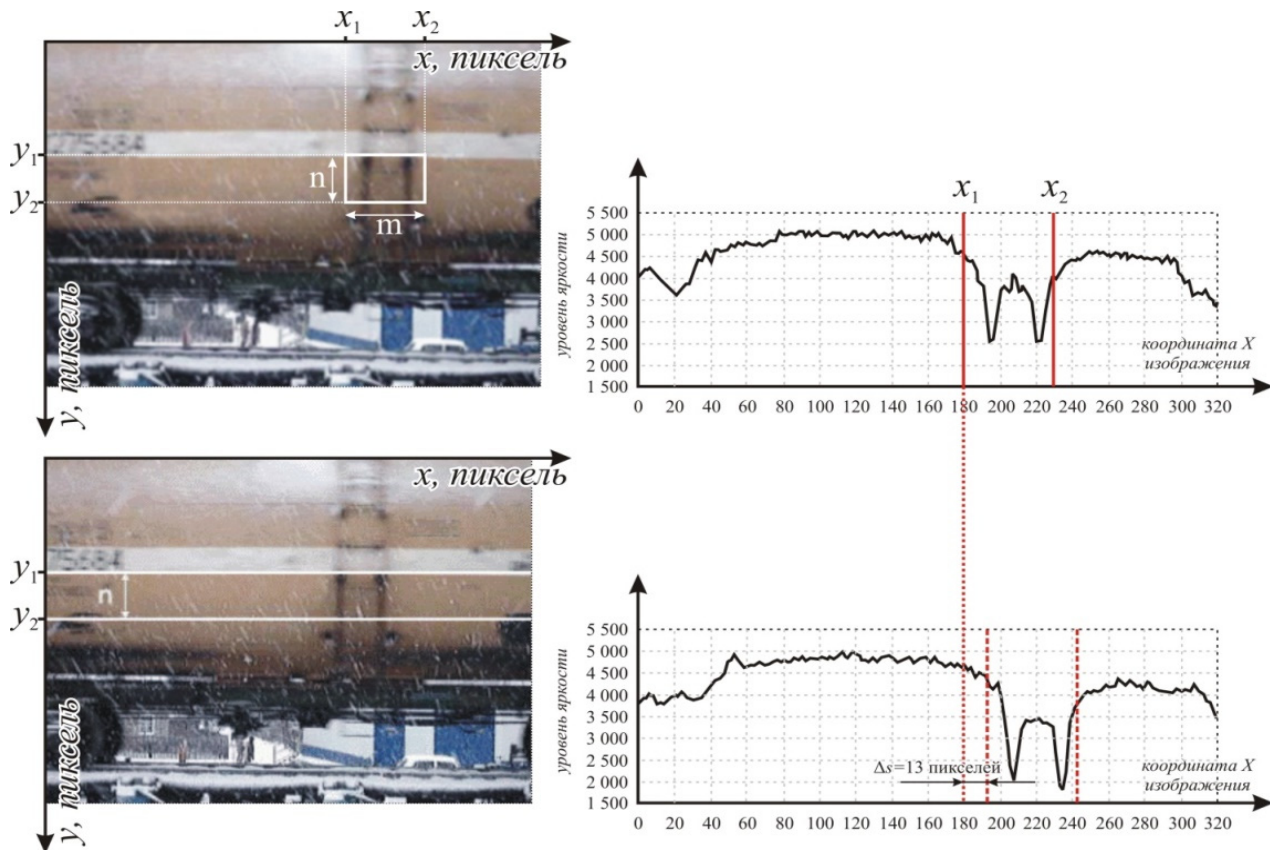


Рис. 2. Измерение скорости

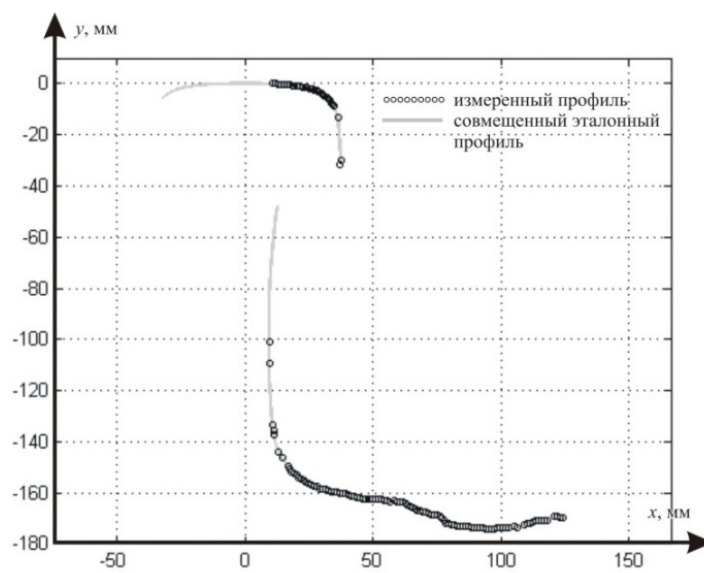


Рис. 3. Совмещение профиля с эталонным

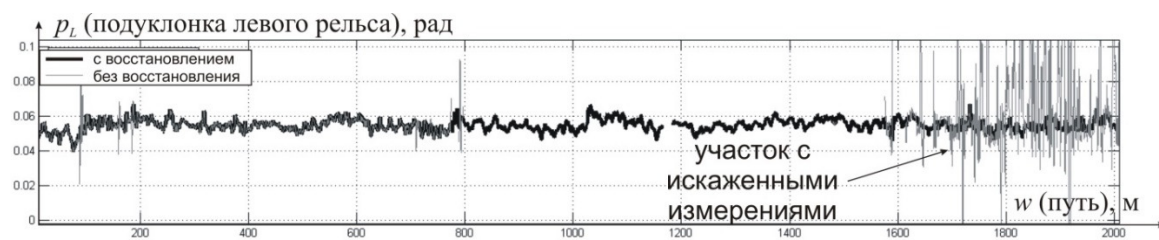


Рис. 4. Измерение подуклонки рельса

Апробация метода проводилась на основе данных, полученных на вагоне-путеизмерителе. Было сформировано 1000 наборов данных, в каждом наборе хранится пять изображений фиксаторов: одно размеченное изображение с положением фиксатора и четыре неразмеченных изображения. В ходе эксперимента проводилось совмещение изображения с размеченным положением фиксатора с другими изображениями в наборе.

По результатам обработки оценивалось количество верно совмещенных изображений (табл. 2).

Таблица 2

Статистика

№	Количество верно совмещенных изображений/ количество изображений в наборе	%
1	4/4	98,5
2	3/4	0,8
3	2/4	0,3
4	1/4	0,2
5	0/4	0,2

Пример совмещения изображения представлен на рисунке 5.

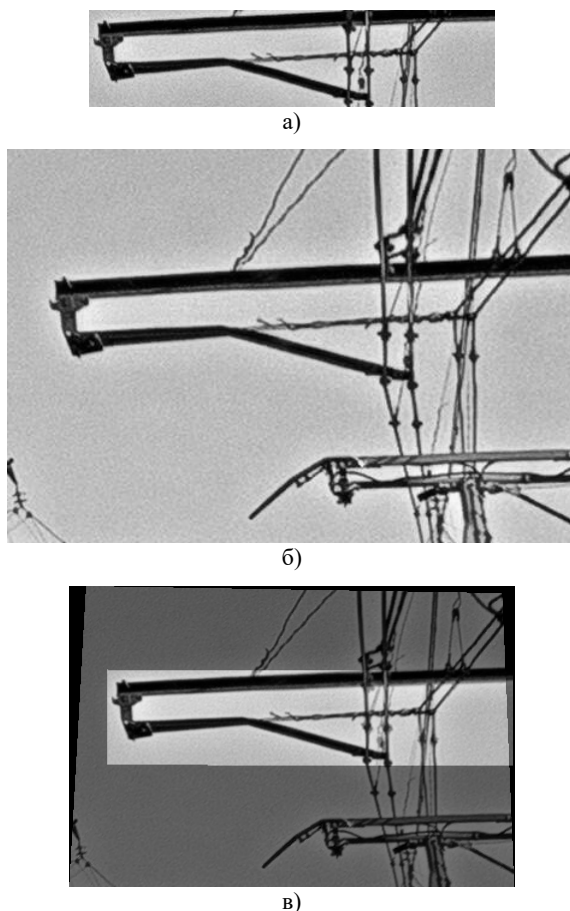


Рис. 5. Пример совмещения: изображение с размеченным фиксатором (а); изображение с неразмеченным фиксатором (б); результат совмещения (в)

Как можно видеть из представленных результатов, разработанный метод позволяет практически полностью восстановить положение фиксатора, если в наборе данных присутствует хотя бы один распознанный кадр.

Таким образом, разработанный метод совмещение телевизионных сигналов позволяет существенно повысить технические возможности ряда измерительных систем технического зрения, используемых на железной дороге. Это обеспечивает повышение надёжности и достоверности измерений, что в свою очередь обеспечивает повышение безопасности движения.

Заключение

Развитие методов совмещение телевизионных сигналов технического зрения является актуальной темой исследования не только для измерительных систем железнодорожного, но и для автомобильного и воздушного транспорта.

Использование оптических датчиков, обладающих информативностью и быстродействием, но при этом и большой чувствительностью к внешним помехам вынуждает разработчиков аппаратуры придумать различные способы защиты и восстановления данных.

Важность этой темы связано с агрессивными условиями эксплуатации, которые приводят в потере и искажению данных. Представленный в статье метод итерационного совмещения телевизионных сигналов позволяют частично решить данную задачу за счет программной обработки.

Литература

1. Raguram R., Frahm J.M., Pollefeys M. A comparative analysis of RANSAC techniques leading to adaptive real-time random sample consensus // Computer Vision–ECCV 2008. 2008, pp. 500-513. DOI:10.1007/978-3-540-88688-4_37.
2. Leng C., Zhang H., Li B., Cai G., Pei Z., He L. Local Feature Descriptor for Image Matching: A Survey // IEEE Access, vol. 7, pp. 6424-6434, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2888856.
3. Liang T., Shuhua M., Xianchun M., Hairong Y. Research on Image Matching of Improved SIFT Algorithm Based on Stability Factor and Feature Descriptor Simplification // Applied Sciences, no. 12(17), p. 8448, 2022, DOI: 10.3390/app12178448.
4. Anca I., Ioan P. Keypoint. Selection Algorithm for Palmprint Recognition with SURF // Procedia Computer Science. No. 192(2), pp. 270-280, 2021, DOI: 10.1016/j.procs.2021.08.028.
5. Mojica M., Pop M., Ebrahimi M. Medical image alignment based on landmark- and approximate contour-matching // J Med Imaging (Bellingham). 2021 Nov, no. 8(6), p. 064003. DOI: 10.1117/1.JMI.8.6.064003.
6. Новиков А.И. Модели и методы совмещения 2D и 3D изображений в системах технического зрения авиационного применения: диссертация ... доктора Технические наук: 05.13.17, 2018. 332 с.
7. Елесина С.И., Ефимов А.И. Отбор критериальных функций для систем улучшенного и комбинированного видения // Известия ТулГУ. Технические науки. 2013. Вып. 9. Ч.1. С. 229-236.
8. Магдеев Р.Г., Ташлинский А.Г. Сравнительный анализ среднего квадрата межкадровой разности и коэффициента межкадровой корреляции для задач идентификации объектов на полутоновых изображениях // Современные проблемы проектирования, производства и эксплуатации радиотехнических систем. Сборник научных трудов, Ульяновск, УлГТУ, 2021. С. 62-69.
9. Kovalenko R., Ibragimov R., Smirnov P. Deformation field estimate for image sequence by applying stochastic adaptation in the block method // CEUR Workshop Proceedings. ITNT-IPERS 2020 - Proceedings of the 6th International Conference Information Technology and Nanotechnology. Session Image Processing and Earth Remote Sensing" 2020, pp. 145-148.
10. Васильев К.К., Крашенников В.Р. Статистический анализ изображений // Ульяновск: Издательство УлГТУ, 2014. 214 с.

11. Крашенинников В.Р., Кадеев А.Д. Алгоритм оценивания взаимного сдвига и поворота изображений на основе метода неподвижной точки с использованием проекций // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, том 16, № 6(2), 2014. С. 469-473.

12. Мясников Е.В. Определение параметров геометрических трансформаций для совмещения портретных изображений // Компьютерная оптика. 2007. Т. 31. № 3. С. 77-82.

13. Dong Y., Long T., Jiao W. Eliminating Effect of Image Border with Image Periodic Decomposition for Phase Correlation Based Image Registration // Proceedings of the IGARSS 2018-2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Valencia, Spain, 23-27 July 2018; pp. 4977-4980.

14. Diyazitdinov R. Multidimensional Optical Video Signals Superposition for Measurement Offset and Rotation Angle with Additive and Multiplicative Noise // Proc. SPIE 11516, Optical Technologies for Telecommunications 2019, 115161G (22 May 2020). DOI: 10.1117/12.2566308.

15. Васин Н.Н., Диязитдинов Р.Р. Обработка данных оптических триангуляционных сканеров для измерения профилей рельсов // Компьютерная оптика. 2018. Т. 42, № 6. С. 1054-1061. DOI: 10.18287/2412-6179-2018-42-6-1054-1061.

16. Диязитдинов Р.Р., Васин Н.Н. Использование фрагментов телевизионного изображения системы технического зрения для верификации повышения помехоустойчивости измерений скорости протяженного объекта // Труды учебных заведений связи. 2022. Т. 8. №1. С. 34-40. DOI:10.31854/1813-324X-2022-8-1-34-40.

17. Diyazitdinov R. Iterative Algorithm of Optical Triangulation Sensors Signals Superposition for Measuring Solid Deformation // CEUR Workshop Proceedings. 2020. Vol. 2665, pp. 93-99.

18. Распоряжение от 23 октября 2014 г. № 2499р об утверждении и введении в действие инструкции "Дефекты рельсов. классификация, каталог и параметры дефектных и остродефектных рельсов". <https://www.tdesant.ru/info/item/144>

19. ГОСТ 33320-2015. Шпалы железобетонные для железных дорог. Общие технические условия. М.: Стандартиформ, 2016. 28 с.

THE ITERATION SUPERPOSITION METHOD OF TELEVISION SIGNALS FOR MACHINE VISION MEASURING SYSTEM

Rinat R. Diyazitdinov, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russia,
rinat.diyazitdinov@gmail.com

Abstract

Measuring systems of machine vision have become widely used in solving technical problems. The operating conditions of such machine vision systems are very aggressive: precipitation, dirt, dust, a wide temperature range, etc. Despite the equipment is work, measuring systems lose the data in such conditions. Data loss leads to measurement distortions and an increase in the probability of false positive of the object detection. Such situations are an urgent problem for organizations operating measurement systems of machine vision. The repeating measurements are necessary for restoring the data. But it leads to waste the time, labor and financial costs. In some cases, data loss poses a potential threat to the safety of people's lives and equipment. Various types of measuring systems of machine vision generate various television signals: one-dimensional signals, profiles and images. A method has been developed that allows superposition different types of television signals of machine vision measuring systems for data recovery. The tests have shown that method makes improving the reliability of the measurements.

Keywords: superposition, iteration, television signal, machine vision, measuring system, log-polar, recovery

References

1. R. Raguram, J.M. Frahm, M. Pollefeys, "A comparative analysis of RANSAC techniques leading to adaptive real-time random sample consensus," *Computer Vision-ECCV 2008*, pp. 500-513. DOI:10.1007/978-3-540-88688-4_37
2. C. Leng, H. Zhang, B. Li, G. Cai, Z. Pei and L. He, "Local Feature Descriptor for Image Matching: A Survey," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 6424-6434, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2888856
3. T. Liang, M. Shuhua, M. Xianchun, Y. Hairong, "Research on Image Matching of Improved SIFT Algorithm Based on Stability Factor and Feature Descriptor Simplification," *Applied Sciences*, no. 12(17), p. 8448, 2022. DOI: 10.3390/app12178448
4. I. Anca, P. Ioan, "Keypoint Selection Algorithm for Palmprint Recognition with SURF," *Procedia Computer Science*, no. 192(2), pp. 270-280, 2021. DOI: 10.1016/j.procs.2021.08.028

5. M. Mojica, M. Pop, M. Ebrahimi, "Medical image alignment based on landmark- and approximate contour-matching," *J Med Imaging* (Bellingham). 2021 Nov, no. 8(6), p. 064003. DOI: 10.1117/1.JMI.8.6.064003
6. A.I. Novikov, "Models and methods for combining 2D and 3D images in technical vision systems for aviation applications: dissertation," ... Doctor of Technical Sciences : 05.13.17, 2018. 332 p.
7. S.I. Elesina, A.I. Efimov, "Selection of criterion functions for improved and combined vision systems," *News of Tula State University. Technical science*. 2013. Issue. 9. Part 1, pp. 229-236.
8. R.G. Magdeev, A.G. Tashlinsky, "Comparative analysis of the mean square of the inter-frame difference and the inter-frame correlation coefficient for problems of object identification on halftone images," *Modern problems of design, production and operation of radio engineering systems, Collection of scientific papers*, Ulyanovsk, Ulyanovsk State Technical University, 2021, pp. 62-69.
9. R. Kovalenko, R. Ibragimov, P. Smirnov, "Deformation field estimate for image sequence by applying stochastic adaptation in the block method," *CEUR Workshop Proceedings. ITNT-IPERS 2020 - Proceedings of the 6th International Conference Information Technology and Nanotechnology. Session Image Processing and Earth Remote Sensing*. 2020, pp. 145-148.
10. K.K. Vasiliev, V.R. Krashennikov, "Statistical analysis of images," Ulyanovsk, 2014. 214 p.
11. V.R. Krashennikov, A.D. Kadeev, "Algorithm for estimating mutual shift and rotation of images based on the fixed point method using projections," *Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, vol. 16, no. 6(2), 2014, pp. 469-473.
12. E.V. Myasnikov, "Determining the parameters of geometric transformations for combining portrait images," *Computer Optics*. 2007. Vol. 31. No. 3, pp. 77-82.
13. Y. Dong, T. Long, W. Jiao, "Eliminating Effect of Image Border with Image Periodic Decomposition for Phase Correlation Based Image Registration," *Proceedings of the IGARSS 2018-2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Valencia, Spain, 23-27 July 2018, pp. 4977-4980.
14. R. Diyazitdinov, "Multidimensional Optical Video Signals Superposition for Measurement Offset and Rotation Angle with Additive and Multiplicative Noise," *Proc. SPIE 11516, Optical Technologies for Telecommunications 2019*, 115161G (22 May 2020). DOI: 10.1117/12.2566308
15. N.N. Vasin, R.R. Diyazitdinov, "Processing data from optical triangulation scanners for measuring rail profiles," *Computer Optics*. 2018. Vol. 42, No. 6, pp. 1054-1061. DOI: 10.18287/2412-6179-2018-42-6-1054-1061
16. R.R. Diyazitdinov, N.N. Vasin, "Using fragments of a television image from a technical vision system to verify the increase in noise immunity of measurements of the speed of an extended object," *Proceedings of educational institutions of communication*. 2022. Vol. 8. No. 1, pp. 34-40. DOI:10.31854/1813-324X-2022-8-1-34-40.
17. Diyazitdinov, R. Iterative Algorithm of Optical Triangulation Sensors Signals Superposition for Measuring Solid Deformation / R. Diyazitdinov // *CEUR Workshop Proceedings*. - 2020. - Vol. 2665. - P. 93-99.
18. Распоряжение от 23 октября 2014 г. № 2499р об утверждении и введении в действие инструкции "Дефекты рельсов. классификация, каталог и параметры дефектных и остродефектных рельсов". [<https://www.tdesant.ru/info/item/144>]
19. ГОСТ 33320-2015. Шпалы железобетонные для железных дорог. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2016. - 28 с.

Information about author:

Rinat R. Diyazitdinov, Associate professor of the department Networks and Communication Systems, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russia