

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ЗДАНИЙ ПО ИХ ИНФРАКРАСНЫМ ПОРТРЕТАМ ДЛЯ НАВЕДЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Предлагается новый метод локализации зданий по информации от инфракрасной (ИК) системы переднего обзора в сложных условиях наблюдения, предназначенный для наведения беспилотных летательных аппаратов. В предложенном методе активно используется информация о месте действия, что позволяет определять координаты даже небольших или затененных зданий. Результаты экспериментов показывают, что метод обеспечивает точную локализацию зданий по их радиолокационным изображениям в сложных условиях использования ИК-системы.

1. Введение

Инерциальные навигационные системы (ИНС) широко используются для наведения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) на заданную цель [1]. Как известно, ИНС неэффективны на больших интервалах времени, поэтому для обеспечения высокоточной навигации БПЛА предлагается множество корректирующих систем, которые интегрируются с ИНС. Среди таких систем наибольший интерес вызывают системы навигации с использованием изображений с камеры (видеонавигация). К ним относятся система инерциальной видеонавигации с использованием оценок относительного положения, рассчитанных с помощью энтропийно-подобной функции стоимости, предложенная Corato и др. [2], а также цветная оптическая корреляционно-экстремальная система навигации летательных аппаратов [3]. В данной статье рассмотрен следующий аспект использования изображений с камеры: как локализовать здание по данным ИК-системы переднего обзора. Применение ИК-системы формирования изображений обусловлено тем, что она способна работать почти круглосуточно в пассивном режиме, а также обеспечивать режим «электромагнитного молчания».

Знание координат здания при использовании ИК-изображений очень важно для наведения БПЛА. Однако локализация зданий по ИК-изображениям представляет собой непростую задачу. Главные трудности связаны со следующими тремя аспектами.

1. Очень сложно предсказать интенсивность ИК-излучения от здания, в силу чего начальные данные о «яркости» здания в ИК-изображениях недоступны.

Юэмин Цинь. Аспирант Национальной научно-технической лаборатории по многоспектральной обработке информации. Школа автоматизации, Научно-технологический университет Хуачжун (Вухан, Китай)

Чжиго Цао. Профессор Национальной научно-технической лаборатории по многоспектральной обработке информации. Школа автоматизации, Научно-технологический университет Хуачжун.

Ханьсун Ли. Аспирант Национальной научно-технической лаборатории по многоспектральной обработке информации. Школа автоматизации, Научно-технологический университет Хуачжун.

Сяоцзин Ван. Аспирант Национальной научно-технической лаборатории по многоспектральной обработке информации. Школа автоматизации, Научно-технологический университет Хуачжун.

Вэнь Чжо. Аспирант Национальной научно-технической лаборатории по многоспектральной обработке информации. Школа автоматизации, Научно-технологический университет Хуачжун.

Научный редактор перевода к.т.н. Б.С.Ривкин.

В результате многие методы, например [4–6], предусматривающие распознавание или извлечение теплых/холодных целей (автомобилей, танков, самолетов), на более холодном/теплом фоне по ИК-изображениям, не подходят для локализации зданий.

2. В ИК-изображениях помимо локализуемого здания обычно присутствуют и другие, похожие на него здания.

3. Здание, которое необходимо локализовать, может быть небольшим (узким или низким), или может быть затенено другими объектами.

Если учесть второй и третий аспекты, метод, предлагаемый в [7], неэффективен в случае небольшого размера здания или присутствия аналогичных зданий в ИК-изображениях. Главная причина этого заключается в том, что данный метод использует информацию лишь о локализуемом здании, но игнорирует пространственные соотношения между ним и другими объектами в ИК-изображениях.

Разработчики заметили, что по форме зданий можно получить стабильную информацию для их локализации. Для этих целей обычно используют начальные знания о форме зданий, полученные из их 3D-моделей. Dorota Iwaszczuk и др. [8] предложили метод соотнесения 3D-моделей зданий с ИК-изображениями. Однако этот метод годится только при одновременной работе GPS, ИНС и точной калибровке системы. Используя структурные элементы разного масштаба, сгенерированные на основе 3D-моделей зданий, Yang и др. [7] продемонстрировали морфологический метод подавления фона для распознавания зданий на ИК-изображениях. Метод позволяет распознавать только достаточно большие здания (например 40-этажное здание или здание размером с целый квартал). Wang и др. [9] предложили метод относительной локализации зданий по информации об отдельно стоящих монолитных ориентирах. Данный метод может локализовать небольшие здания – малоэтажные и занимающие небольшую площадь, но не может работать при отсутствии таких ориентиров в поле зрения. Также при отдалении здания от ориентира точность локализации резко падает вследствие погрешности измерения местоположения и ориентации камеры.

Существующие методы локализации зданий используют данные лишь о них самих и рассматривают остальные объекты – реки, мосты и дома – как фон в ИК-изображениях. Таким образом, информация о других объектах используется не полностью, в то время как эти объекты в ИК-изображении могут предоставить большой объем данных для локализации зданий.

В данной статье предлагается новый метод локализации зданий с использованием их 3D-моделей и портретов зданий, полученных в результате дистанционного зондирования. Схема метода приведена на рис. 1. Сначала формируется некоторое эталонное изображение, на котором заранее отмечено локализуемое здание. Затем путем соотнесения ИК-изображения с соответствующим эталонным изображением устанавливается соответствие ИК- и нашего эталонного изображения, и, наконец, определяемое здание локализуется в ИК-изображении. В отличие от существующих, в предлагаемом методе для локализации зданий активно используется информация об окружающей обстановке. Все элементы ИК-изображения предоставляют важные данные для установления соответствия эталону, поэтому новый метод способен обеспечить хорошие результаты даже в случае, если определяемое здание в ИК-изображении мало или затенено, а также при наличии других подобных зданий. Другими словами, сначала в ИК-изображении локализуется «пейзаж», а затем определяемое здание, так как пространственные соотношения здания и окружающей обстановки практически не меняются.

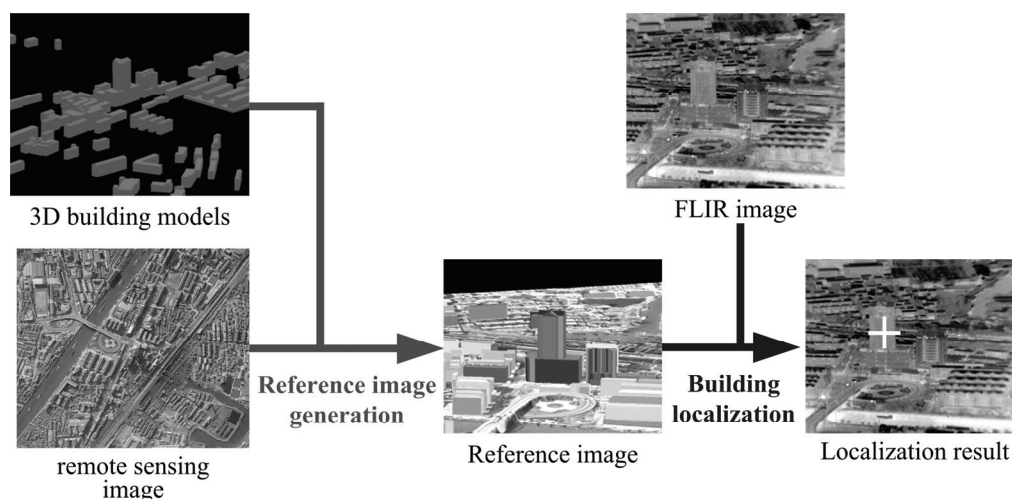


Рис. 1. Схема предлагаемого метода.

3D-Building models – 3D-модели зданий, FLIR image – ИК-изображение, Remote sensing image – изображение дистанционного зондирования, Reference image generation – формирование эталонного изображения, Building localization – локализация здания, Localization result – результат локализации

Следует отметить (хоть это и вне рамок данного исследования), что предлагаемый метод может использоваться и для других целей, кроме наведения БПЛА: например, при текстурировании (придании определенной «фактуры») 3D-моделям зданий с помощью серии ИК-изображений. Известно, что 40% энергии потребляется самими зданиями, и в странах ЕС 47% этой энергии идет на обогрев [8]. Текстурирование существующих 3D-моделей зданий с помощью ИК-изображений может помочь определить, где происходят неоправданные потери тепла от зданий, что можно использовать при построении экологических домов.

2. Обзор предлагаемого метода

Для каждого изображения ИК-камеры на борту БПЛА с использованием ИНС определяется местоположение и ориентация (дифферент, рыскание и крен). Пусть x, y, z – координаты БПЛА, а θ, ψ, ϕ – углы дифферента, рыскания и крена ИК-камеры, а также известны параметры ИК-камеры (фокусное расстояние f , горизонтальный угол обзора α и вертикальный угол обзора β).

Прямой метод локализации зданий подразумевает нанесение здания на некий проекционный экран (с использованием проективного преобразования). Такой метод, однако, неэффективен, даже если система формирования изображений точно откалибрована [8]. Главная причина в том, что данные о положении и ориентации ИК-камеры неточны из-за наличия погрешности измерений.

В данной статье представлен новый метод локализации зданий. Он состоит из следующих шагов.

Сначала формируется эталонное изображение путем проецирования 3D-моделей и изображений дистанционного зондирования (и те, и другие с привязкой к местности) на основе данных о положении (x, y, z) и ориентации камеры (θ, ψ, ϕ). Интересующая нас точка (x'_b, y'_d) , соответствующая локализуемому зданию, назначается вручную. Затем путем сопоставления устанавливается соответствие между ИК- и эталонным изображением. В результате получаем параметры проектирования, привязывающие эталонное изображение к соответствующему ИК-изображению. Наконец, на основе этих параметров локализуется

цель. На первом этапе проецирование основано на модели камеры с точечной диафрагмой (камеры-обскуры). Так как проективное преобразование является хорошо изученным методом в компьютерном зрении, мы не будем более подробно рассматривать эту технологию.

Нахождение соответствия между ИК- и эталонным изображением является ключом к локализации цели. Пусть каждому пикселю (x', y') эталонного изображения соответствует пиксель (x^I, y^I) ИК-изображения. Соответствие будет выглядеть следующим образом:

$$(x^I, y^I) = F_1(x', y'). \quad (1)$$

Полагая погрешности определения положения (x, y, z) и ориентации камеры (θ, ψ, ϕ) малыми, двумерное аффинное преобразование является хорошим приближением F_1 , в связи с чем F_1 имеет вид:

$$\begin{bmatrix} x^I \\ y^I \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1 & m_2 \\ m_3 & m_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x^r \\ y^r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \end{bmatrix} \quad (2)$$

где $[t_x, t_y]$ – перенос, а аффинные вращение, масштаб и сжатие представлены параметрами m_i . С учетом F_1 координаты (x^I_t, y^I_t) цели на ИК-изображении:

$$(x^I_t, y^I_t) = F_1(x^r_t, y^r_t) \quad (3)$$

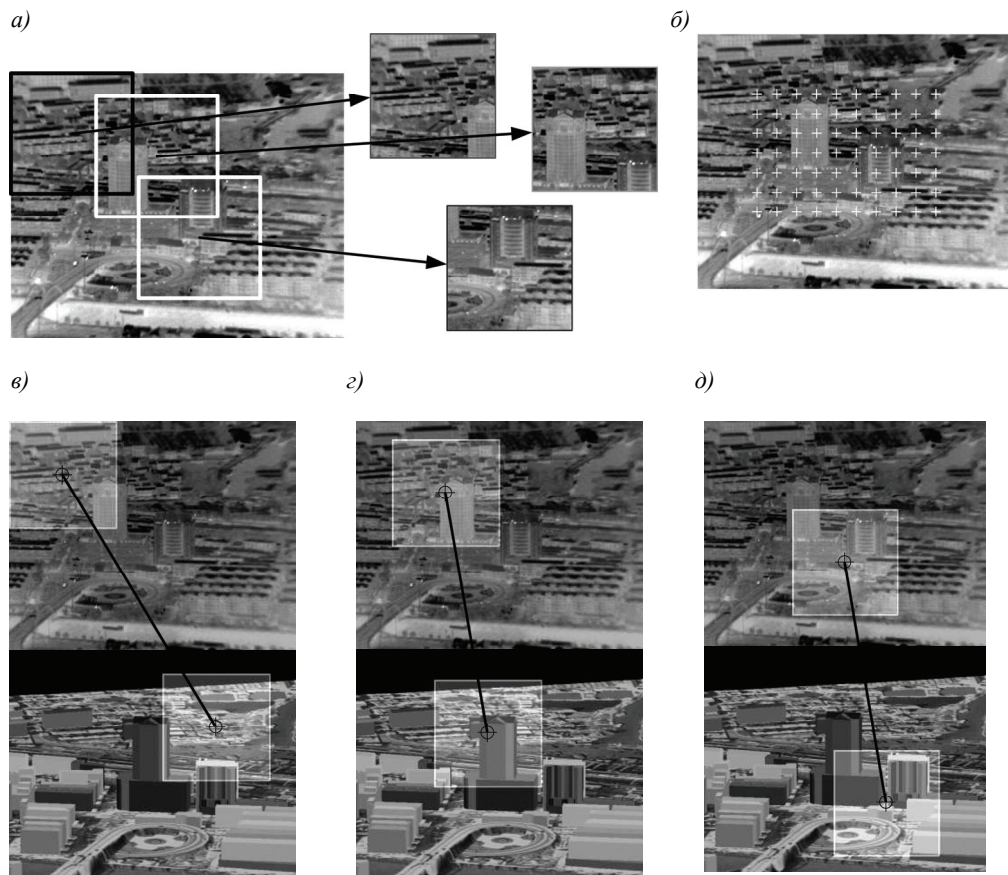


Рис. 2. Сопоставление ИК-изображения с соответствующим эталонным изображением: а – несколько фрагментов изображения, выделенных из ИК-изображения. б – центры фрагментов изображения, в – пример отсутствия соответствия, г, д – два примера наличия соответствия

Для определения F_1 мы предложили следующую новую схему.

1) Для каждого ИК-изображения I мы формируем несколько его фрагментов (рис. 2, *a*). Каждый фрагмент I_i имеет размеры $n \times n$ и центр (x_i, y_i) (рис. 2, *б*). Фрагменты находятся на расстоянии m пикселей друг от друга.

2) Каждый фрагмент I_i сопоставляется с эталонным изображением, пусть (u_i, v_i) будет результатом такого сопоставления (рис. 2, *в, г, д*).

3) С помощью известного алгоритма RANSAC (оценивание параметров модели на основе случайных выборок) получаем параметры (t_x, t_y, t_z) путем двумерного аффинного преобразования между (x_i, y_i) и (u_i, v_i) .

Стоит обратить внимание на один момент, касающийся этой схемы. При формировании ряда фрагментов из ИК-изображения все объекты на нем принимаются во внимание и становятся полезными источниками информации для нахождения соответствия. Это – существенное отличие описанного подхода от существующих методов. Именно поэтому описанный метод может работать даже тогда, когда предполагаемое здание очень мало или затенено другими объектами. Например, когда здание на ИК-изображении закрыто облаками, с помощью описанного метода можно найти соответствие между ИК-изображением и эталонным изображением, если на ИК-изображении присутствуют другие, невидимые, объекты, такие как река, дорога, другие здания.

В следующем разделе вводится понятие эталонного изображения. Метод сопоставления ИК-изображения с эталонным изображением представлен в разделе 4.

3. Создание эталонного изображения

Первый этап предлагаемого метода – это создание эталонного изображения. Для каждого ИК-изображения ИНС определяет соответствующее положение и ориентацию (крен, дифферент и рыскание) ИК-камеры. Зная положение и ориентацию камеры, можно спроецировать 3D-модели и изображения дистанционного зондирования (оба с привязкой к местности) на изображение основанное на модели камеры с точечной диафрагмой. На рис. 3, *a* показана идея проектирования, на рис. 3, *б* – ИК-изображение, 3, *в* – результаты проектирования.

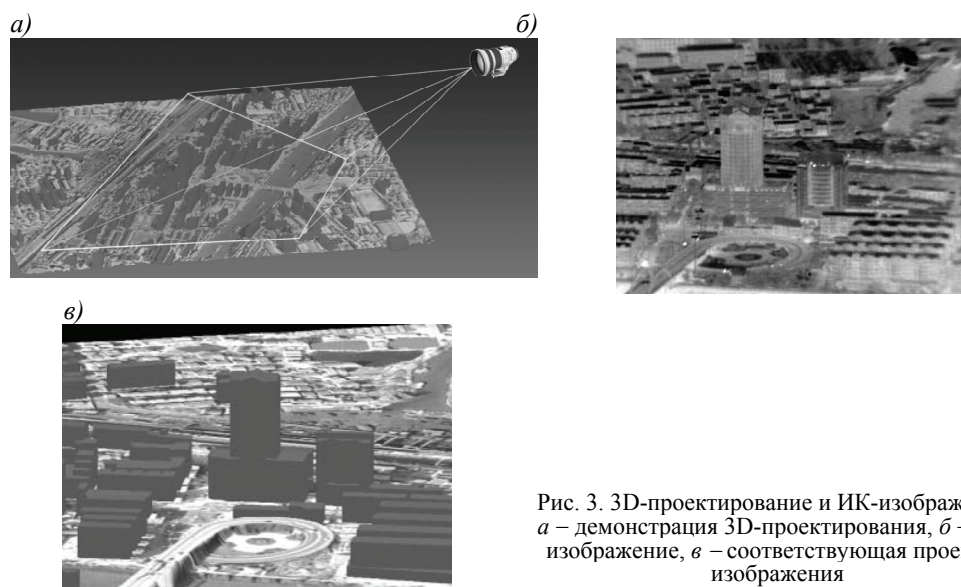


Рис. 3. 3D-проектирование и ИК-изображение: *a* – демонстрация 3D-проектирования, *б* – ИК-изображение, *в* – соответствующая проекция изображения

Из-за наличия погрешностей определение положения и ориентации ИК-камеры не является точным. На деле, определение ориентации гораздо точнее определения положения. В результате спроецированная модель не точно отображает положение объектов на ИК-изображении. Основное отличие между ИК-изображением и соответствующей проекцией – наличие смещения. На это явление указывают также Dorota Iwaszczuk и др. [8].

Сравнивая рис. 3, б и 3, в, можно увидеть, что спроецированные изображения не точно соответствуют ИК-изображениям. Чтобы локализовать здание, нужно найти соответствие между ИК и спроецированными изображениями. Это, однако, очень непросто. Основная проблема в нахождении соответствия состоит в том, что 3D-модели зданий и ИК-изображения имеют разную природу, поэтому здания на спроецированных изображениях сильно отличаются от соответствующих зданий на ИК-изображениях. В то же время на спроецированных изображениях трудно различить стороны зданий, следовательно, в них нет градиентной информации, которая с избытком присутствует в ИК-изображениях.

Для решения этой проблемы мы предлагаем простой, но эффективный способ. 3D-модели проецируются на изображение с окраской сторон здания разными цветами, чтобы обеспечить различимость сторон. Для каждой стороны здания пусть i – индекс здания, а $V = (v_x, v_y, v_z)$ – нормальный вектор стороны. Тогда цвет $C = (R, G, B)$ этой стороны может быть описан уравнениями:

$$\begin{cases} R = 255 \times |\sin(i + v_y)|, \\ G = 255 \times |\sin(i + v_z)|, \\ B = 255 \times |\sin(i + v_x)|. \end{cases} \quad (4)$$

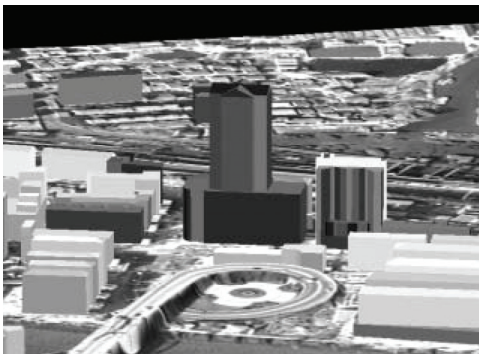


Рис. 4. Эталонное изображение

При использовании уравнений (4) каждое здание и каждая сторона здания на спроецированном изображении становятся различимы. Следовательно, формы зданий на спроецированном изображении становятся очень четкими, и их легко описать. Поскольку 3D-проектирование – это хорошо изученная технология в компьютерном зрении, используемая многими разработчиками, например Dorota Iwaszczuk и др. [8], в этой статье мы далее не будем останавливаться на нем или на пространствен-

ном разрешении спроецированного изображения.

Поскольку ИК-изображения серого цвета, мы используем традиционный способ конвертирования RGB -значений цветного спроецированного изображения в оттенки серого путем формирования взвешенной суммы компонентов R , G и B . Черно-белая версия спроецированного изображения (рис. 4) используется в качестве эталонного изображения.

4. Сопоставление фрагмента ИК-изображения и эталонного изображения

По нашему мнению, залог успешного сопоставления изображений – это корректное их представление. В литературе представлен ряд визуальных дес-

крипторов: SIFT [10], SURF [11], BRIEF [12], и ORB [13]. Эти дескрипторы изобретены более 10 лет назад, в литературе доказана их эффективность для ряда приложений. Однако они не подходят для сопоставления фрагментов ИК-изображений и эталонных изображений. В данном исследовании для представления фрагментов ИК-изображений и эталонных изображений используется гистограмма направленных градиентов (Histogram of Oriented Gradients, HOG) [14].

Следует отметить, что значение пикселя в эталонном изображении может отличаться от его значения в ИК-изображении. И ориентация градиента пикселя в эталонном и ИК-изображении может быть даже противоположна. Чтобы с помощью метода HOG можно было извлечь важные данные о форме, в предлагаемом подходе ориентация градиента модифицируется:

$$r = \begin{cases} r_0 + \pi & \text{при } r_0 \leq 0, \\ r_0 & \text{при } r_0 > 0. \end{cases} \quad (5)$$

В уравнении (5) r_0 – традиционный вариант ориентации градиента. На рис. 5 показан пример нашей модификации ориентации градиента. Кружки обозначают пиксели, а стрелки – направление градиента. Если ориентация градиента принадлежит третьему или четвертому квадранту (см центральный и левый нижний пиксели на рис. 5), к ее значению добавляется π . Вследствие такой модификации метод HOG даст возможность извлечь важные данные о форме здания, не страдая при этом от значительной разницы в яркости между ИК-и эталонным изображениями.

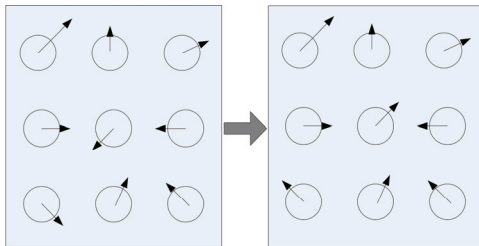


Рис. 5. Пример модификации ориентации градиента

Пусть I_i – фрагмент ИК-изображения, T – эталонное изображение, и $F(I_i)$ – модифицированная гистограмма HOG изображения I_i . $F(I_i)$ представляет собой вектор, пропорциональный размеру изображения I_i (рис. 6). Наилучшее соответствие P между I и T устанавливается равенством

$$\hat{P} = \underset{p}{\operatorname{argmin}} \{d(F(I_i), F(T_p))\}, \quad (6)$$

где $d(a, b)$ – евклидово расстояние между a и b . $p = (x, y)^T$ – вектор искомых параметров, T_p – фрагмент эталонного изображения T такого же размера, как и фрагмент ИК-изображения. Для любого пикселя с индексами (u, v) в T выполняется соотношение $T_p(u, v) = T(u + x, v + y)$. Для решения уравнения (6) используется метод обхода.

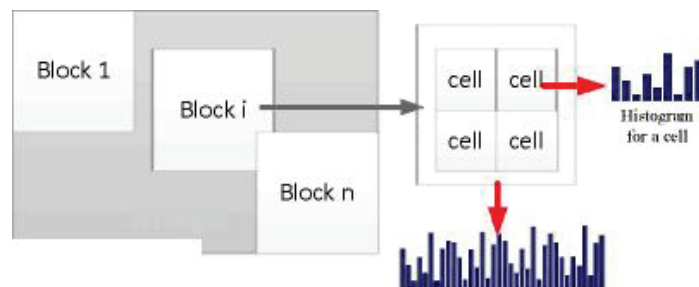


Рис. 6. Гистограмма HOG для изображения. В каждом «блоке» имеется несколько «ячеек». Объединяя гистограммы всех «ячеек», можно получить гистограмму для описания «блока». После обработки всех «блоков» их гистограммы объединяются для получения гистограммы HOG

На рис. 7 показаны начальные результаты сопоставления. Можно отметить, что для большинства фрагментов соответствие установлено верно. На основе результатов сопоставления получаем возможное соответствие $(x_i, y_i) \leftrightarrow (u_i, v_i)$.

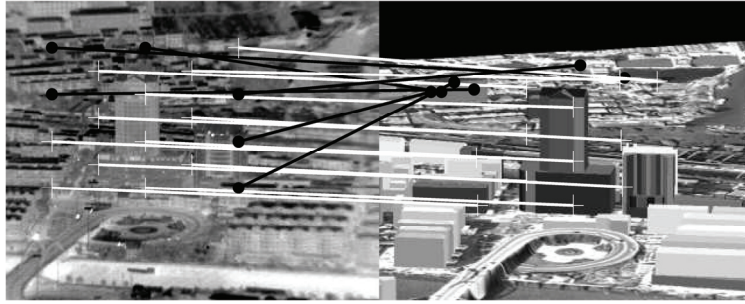


Рис. 7. Результаты сопоставления фрагментов ИК-изображения с эталонным изображением. Белые линии обозначают корректные соответствия, а черные – некорректные. Для лучшей различимости результатов сопоставления фрагмент справа построен на результатах сопоставления лишь четверти фрагментов

Поскольку есть несколько неверных соответствий, использование метода наименьших квадратов не может обеспечить хороший результат, поэтому наилучшее приближение к эталону формируется с помощью метода RANSAC, что помогает игнорировать выбросы и сделать алгоритм робастным. После выработки аффинных параметров наилучшего соответствия производится локализация цели по уравнению (3).

5. Параметры в предлагаемом подходе

В предлагаемом подходе используются два параметра: n и m . Если n слишком мало, количество некорректных соответствий увеличится; если n слишком велико, количество некорректных соответствий уменьшится за счет уменьшенного объема вычислений. Продолжительность решения задачи и доля корректного сопоставления фрагментов (ДКС) (correct matching rate – CMR) ИК-изображения размера $n \times n$ (пикселей) с эталонным изображением (320×256 пикселей) показаны на рис. 8.

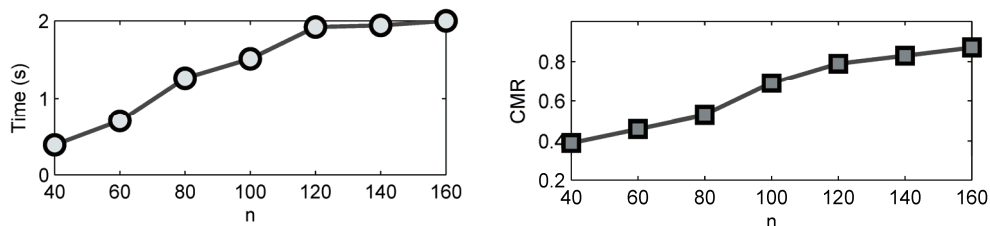


Рис. 8. Продолжительность решения и доля корректного сопоставления для разных n (CMR – ДКС)

Эксперименты проводились с использованием ноутбуке (ЦП T7500 2.20 ГГц, ОЗУ 2 Гб). Доля корректного сопоставления определялась следующим образом:

$$ДКС = \frac{\text{Кол-во корректно соотнесенных фрагментов ИК-изображения}}{\text{Общее количество фрагментов ИК-изображения}} \quad (7)$$

Чтобы обеспечить достаточно высокую ДКС и в то же время небольшой объем вычислений, зададим $n = 120$. Тогда можно образовать $(320-120+1) \times (256-120+1) = 27537$ фрагментов, так как размер ИК-изображения равен 320×256 .

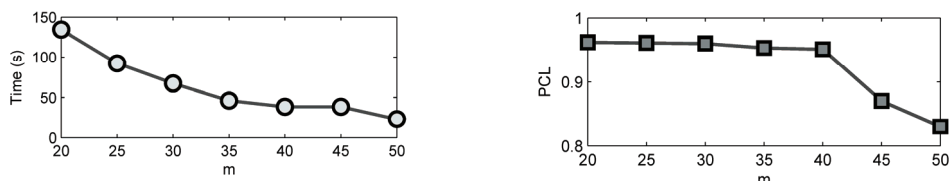


Рис. 9. Продолжительность решения и ВКЛ для разных m . (PCL – ВКЛ)

Однако, если сопоставлять все эти фрагменты с эталонным изображением, объем вычислений будет огромным. Продолжительность решения задачи и средняя вероятность корректной локализации (ВКЛ) (probability of correct localization – PCL) здания по ИК-изображениям показаны на рис. 9. Вероятность корректной локализации равна

$$ВКЛ = \frac{\text{Кол-во корректно локализованных ИК-изображений}}{\text{Общее кол-во ИК-изображений}} \quad (8)$$

Из рис. 9 видно, что продолжительность решения задачи и ВКЛ уменьшаются при увеличении параметра m , поэтому зададим $m=40$, чтобы обеспечить достаточно высокую ВКЛ и в то же время небольшой объем вычислений.

6. Результаты экспериментов

В нашем эксперименте по локализации зданий мы работали с 32000 ИК-изображений наподобие показанных на рис. 10.

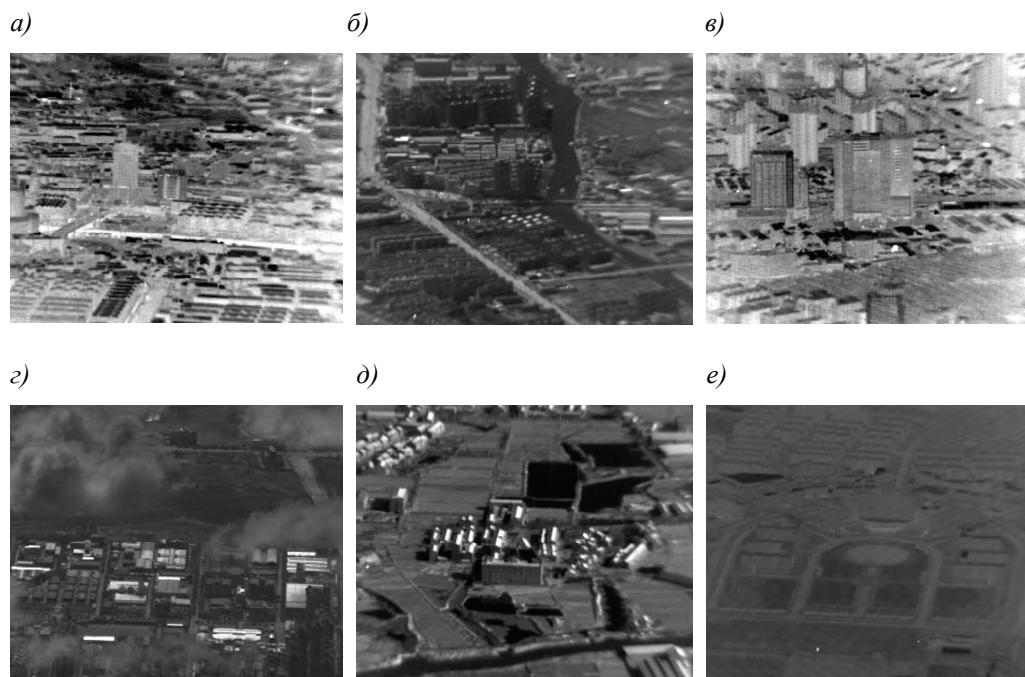


Рис. 10. Примеры используемых ИК-изображений

ИК-изображения были получены с помощью камеры (разрешение 320×256 , фокусное расстояние 19 мм, угол зрения $3,7 \times 2,9^\circ$) при двух типах погодных ус-

ловий: солнечно и пасмурно. ИК-изображения были сформированы на основе 29 серий кадров: 20 серий были сняты днем, а 9 – ночью. БПЛА находился на высоте около 1000 м, дальность до цели была от 6 до 1 км. 3D-модели зданий, используемые в эксперименте, были созданы для района размером 1×1 км. Пространственное разрешение применяемых изображений дистанционного зондирования составляло 1 м. Координаты характерных точек на зданиях-целях в ИК-изображениях были выбраны вручную и использовались как наземные контрольные данные.

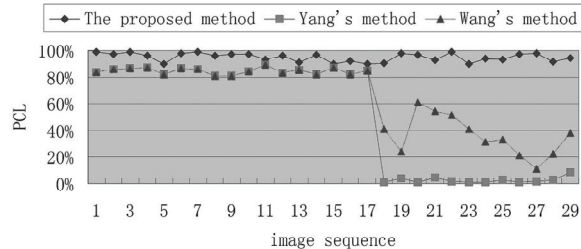


Рис. 11. Результаты работы разных методов. 1-17 – большие здания, 18-25 – небольшие низкие здания, закрытые облаками. 26-29 – здания, закрытые облаками

следнего, особенно при локализации небольших низких зданий или домов, закрытых облаками. Для предлагаемого подхода средняя доля корректной локализации составила 95,12%; при допустимой погрешности ± 3 пикселя, а для методов Yang [7] и Wang [9] – 50,68 и 64,47% соответственно. В данной статье мы не испытывали метод Dorota Iwaszczuk [8], так как он требует очень сложной калибровки системы.

На рис. 12 показаны три группы результатов локализации зданий при солнечной погоде. Две характерные точки на локализуемых зданиях отмечены в эталонных изображениях, а результаты локализации – в соответствующих ИК-изображениях. Некоторые здания на ИК-изображениях отсутствуют в данных 3D-моделей, так как на момент создания моделей здания еще не были построены, а ИК-изображения получены после окончания строительства зданий. Однако описываемый подход

Параметры диаграммы НОГ заданы следующим образом: в одном блоке 2×2 ячеек, ячейки размером 8×8 , гистограмма для ячейки имеет 5 столбцов. Ячейки не перекрываются. Перекрывание блоков зафиксировано на половине размера блока.

На рис. 11 показана ВКЛ для методов Yang [7], Wang [9] и для предлагаемого метода. Видно заметное преимущество последнего

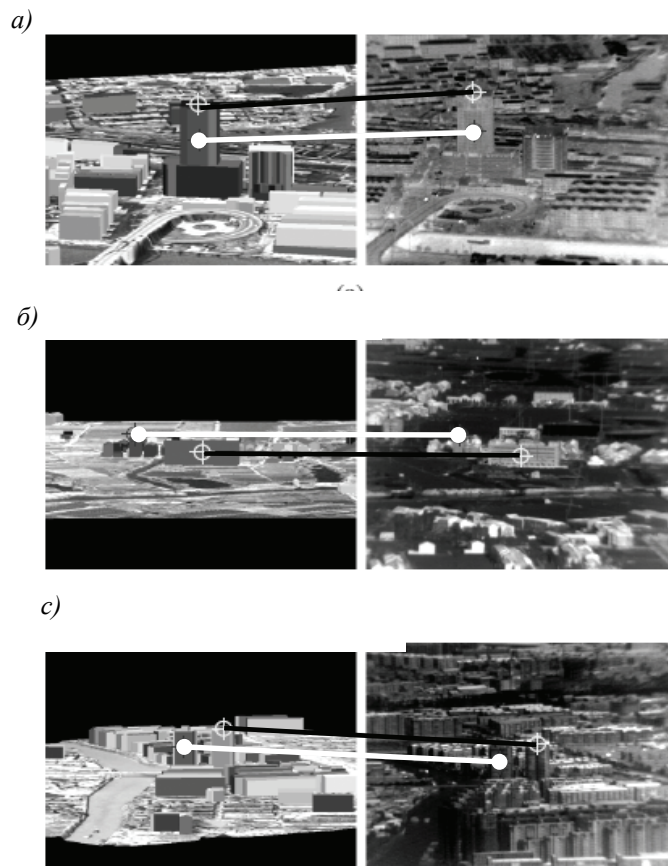


Рис. 12. Результаты локализации зданий

устойчив к такой проблеме и способен корректно локализовать интересующие здания.

На рис. 13 представлены результаты локализации маленького здания в пасмурную погоду. На рисунке 13, *а* – эталонное изображение, характерная точка на локализуемом здании отмечена черной стрелкой; рис. 13, *б*, *в*, *г* – результаты локализации различных кадров в серии ИК-изображений. Локализация проведена очень точно, несмотря на малый размер здания и присутствие облаков на ИК-изображениях. Таким образом, можно сказать, что предлагаемый метод позволяет локализовать маленькие, глубоко спрятанные или тщательно замаскированные здания в сложных условиях.

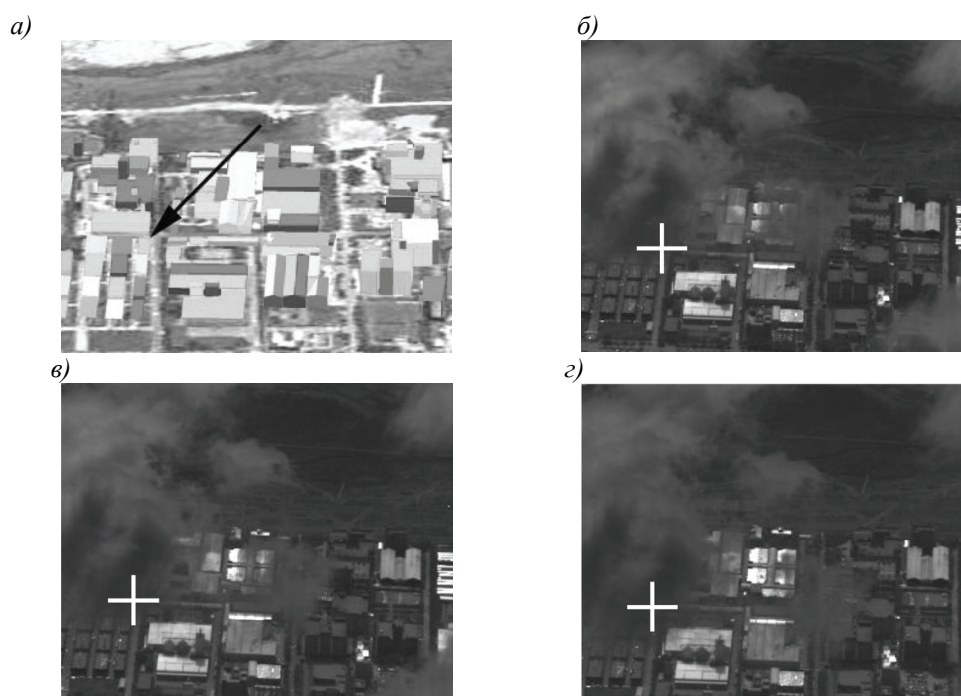


Рис. 13. Пример локализации здания в пасмурную погоду: *а* – эталонное изображение, *б*, *в*, *г* – результаты локализации разных кадров.

Также мы провели ряд опытов, чтобы продемонстрировать робастность подхода к погрешности определения положения и ориентации камеры. Положение камеры описывается координатами (x, y) в системе координат Гаусса–Крюгера и высотой h . Ориентация камеры описывается тремя параметрами: дифферент, рыскание, крен. Погрешности определения этих шести параметров влияют на локализацию зданий. Мы добавляли к ним гауссов белый шум сформировали эталонные изображения на основе зашумленных параметров. Собственно, для ИК-изображения также есть шесть параметров: $x, y, h, \text{дифферент}, \text{рыскание}, \text{крен}$. Мы добавили гауссов шум к одному из этих параметров, не меняя остальные пять. Так мы получили шесть вариантов зашумленных параметров для одного ИК-изображения. Затем мы сформировали шесть эталонных изображений на основе зашумленных параметров для этого ИК-изображения. Для определения наиболее чувствительного параметра снова использовалась вероятность корректной локализации. Случайная квадратическая погрешность гауссова бе-

лого шума, добавленного к координатам Гаусса–Крюгера (x , y) и высоте h составила 0–100, а для дифферента, рыскания и крена – 0–3. Результаты показаны на рис. 14, из которого видно, что из трех параметров местоположения самым чувствительным оказывается высота h , а из трех параметров ориентации – крен. К счастью, современные ИНС способны определять высоту h и угол крена с большой точностью. По сути, погрешности определения координат Гаусса–Крюгера являются основными погрешностями в ИНС. Однако предлагаемый подход устойчив к таким погрешностям измерения, что придает ему несомненную практическую ценность.

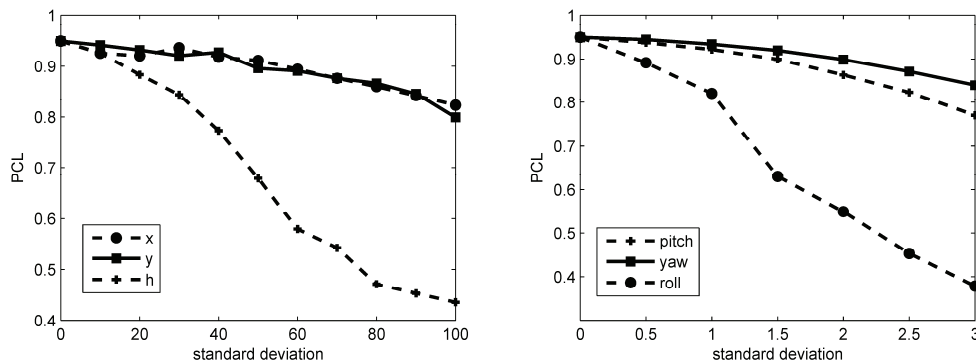


Рис. 14. Вероятность корректной локализации с разными СКО.

Pitch, yaw, roll – дифферент, рыскание, крен

Standard deviation – среднеквадратическая погрешность

7. Заключение

Предложен новый метод локализации зданий по ИК-изображениям, способный определять местоположение небольших или затененных зданий в сложных условиях. Проведены испытания метода с помощью серий реальных ИК-изображений. Результаты экспериментов подтверждают способность метода точно локализовать здание по ИК-изображениям. Также метод устойчиво работает и при ухудшении качества ИК-изображений из-за облаков.

Работа выполнена при поддержке Фонда перспективных исследовательских проектов Китая (9140A01060111JW0505).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Farooq, A. and Limebeer, D. J. N.** Bank-to-turn missile guidance with radar imaging constraints // Journal of A.Guidance, control, and dynamics. – 2005. - Vol. 28. - Pp. 1157–1170.
2. **Corato, F. D. Innocenti, M. and Pollini, L.** Robust vision-aided inertial navigation algorithm via entropy-like relative pose estimation // Gyroscopy and navigation. - 2013. –Vol. 4. - Ppp. 1– 13.
3. **Scherbinin, V. V., Shevtsova, E. V., Vasil'eva, Y. S., and Chizhevskaya, O. M.** Functioning methods and algorithms of color vision-based correlation-extremal aircraft navigation system // Gyroscopy and navigation. 2012. - Vol. 4. – Pp. 39–49.
4. **Lee, H.-Y., Kim, T.-H., and Park, K.-H.** Target extraction in forward-looking infrared images using fuzzy thresholding via local region analysis // Optical Review. – 2011. - Vol. 18. – Pp. 383–388.
5. **Yang, L., Yang, J., and Zheng, Z. L.** Detecting infrared small targets based on adaptive local energy threshold under sea-sky complex backgrounds // Journal of Infrared and Millimeter Waves. – 2006. - Vol. 25. – Pp. 41–45.

6. **Mahalanobis, A., Muise, R. R., and Stanfill, S. R.** Quadratic correlation filter design methodology for target detection and surveillance applications // *Applied Optics*. – 2004. - Vol. 43. – Pp. 5198–5205.
7. **Yang, X. Y., Zhang T. X., and Lu, Y.** Method for building recognition from flir images // *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*. – 2011. - Vol. 26. – Pp. 28–33.
8. **Iwazczuk, D., Hoegner, L., and Stilla, U.** Matching of 3D-building models with ir images for texture extraction, in *Urban Remote Sensing Event (JURSE)*, 2011. - Pp. 25–28.
9. **Wang, X. P., Zhang, T. X., and Yang, X. Y.** Indirect building localization based on a prominent solid landmark from a forward-looking infrared imagery // *Chinese Optics Letters*. – 2011. - Vol. 9.
10. **Lowe, D. G.** Distinctive image features from scale-invariant keypoints // *International Journal of Computer Vision*. 2004. - Vol. 60. – Pp. 91–110.
11. **Bay, H., Ess, A., Tuytelaars, T., and Gool, L. V.** Speeded-Up Robust Features (SURF) // *Computer Vision and Image Understanding*. 2008. - Vol. 110. – Pp. 346–359.
12. **Calonder, M., Lepetit, V., Strecha, C., and Fua, P.** BRIEF: Binary Robust Independent Elementary Features, in *Proceedings of ECCV*, 2010, pp. 778–792.
13. **Rublee, E., Rabaud, V., Konolige, K., and Bradski, G.** ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF, in *Proceedings of IEEE International Conference on Computer Vision*. - 2011. – Pp. 2564–2571.
14. **Dalal, N. and Triggs, B.** Histograms of oriented gradients for human detection, in *Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. – 2005. - Vol. 1. – Pp. 886–893.

Abstract. This paper proposes a new approach to localizing a designated building from forward-looking infrared images under complex scenes, which can be used in UAV guidance. The proposed approach makes full use of the scene information to localize buildings. Therefore, the proposed approach can localize small or occluded buildings under complex scenes. The experiment results show that the proposed approach can precisely localize the designated building from forward-looking infrared images under complex scenes.

Key words: building localization, forward-looking infrared images, UAV guidance

Материал поступил 22.04.2013