

АЛГОРИТМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ С БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В.А. Хорошко, Н.А. Дуксенко

Национальный авиационный университет,
пр. Космонавта Комарова, 1, Киев, 03058, Украина; e-mail: professor_va@ukr.net

Рассматриваются вопросы, связанные с работой беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в условиях активного радиоэлектронного противодействия. Важным фактором работы БПЛА является восстановление переданного им изображения на землю. Предложен алгоритм, который для полученного изображения в результате обработки его рецепторного поля позволяет на каждую из фигур распространить свой обобщенный признак, причем он распространяется одновременно на все фигуры видеокартинки. Таким образом можно легко восстановить и отдельно выделить любое изображение из представленных на рецепторном поле, что позволяет распознать и классифицировать изображение в реальном масштабе времени.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, алгоритм восстановления, видеоизображение, рецепторное поле

Введение

Широкое применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для проведения разведывательных операций различного назначения поставило большое количество вопросов, на которые необходимо отвечать:

- какую систему видеонаблюдения следует использовать?
- как работать в условиях активного применения различных типов помех?
- как обрабатывать изображения, получаемые с БПЛА?

В последнее время все большее распространение получают цифровые, а не аналоговые системы видеонаблюдения. С одной стороны, за последние годы компьютерные технологии сделали качественный скачок в своем развитии, и в настоящее время цифровые системы видеонаблюдения, как по техническим, так и по ценовым характеристикам теснят аналоговые. С другой стороны, современные комплексы разведки и наблюдения все больше начинают напоминать интегрированные распределенные сетевые системы, где устаревшему аналоговому оборудованию видеоразведки все труднее качественно и эффективно выполнять свои функциональные обязанности [1,2,3] и по качеству видеоотображения, и по реально достигаемому разрешению канала записи/воспроизведения, и по удобству формирования и дальнейшего оперативного использования видеоархива в режиме триплекса (одновременного видеоотображения, записи и просмотра видеоархива). Кроме того, современное цифровое оборудование видеоконтроля по своим характеристикам все больше приближается к современным интеллектуальным компьютерным системам, что позволяет строить очень гибкую политику обеспечения разведанными, приближенную по своим функциям к механизмам принятия решения, близким к человеческой логике. Именно поэтому некоторые из современных цифровых систем видеоконтроля по праву можно назвать интеллектуальными, а их возможности не могут быть реализованы в полной мере никаким аналоговым оборудованием видеоконтроля.

В статье рассматриваются вопросы, связанные с работой БПЛА в условиях активного радиоэлектронного противодействия.

Очень важным фактором работы БПЛА является восстановление изображения. Эта процедура, связанная с концепцией распознавания сложных изображений, заключается в том, что сложное изображение разделяется на простые фигуры, а затем анализируются взаимоположения отдельных фигур. Анализ таких взаимоположений позволяет составлять трехмерное описание изображения, представленное двухмерным сложным изображением, и складывается из процесса нахождения общих контурных линий отдельных фигур, разметки вершин и линий, объединения фигур в объекты.

Целью работы является разработка алгоритма обработки рецепторного поля, позволяющего восстанавливать и отдельно выделять любое изображение, представленное на рецепторном поле.

Основная часть

Метод восстановления несвязанных объектов основывается на использовании понятия общих отрезков [4]. Эта задача является весьма важной при распознавании видеоизображений в условиях помех.

Рассмотрим возможность восстановления изображения объекта для его последующего анализа.

Отрезком p будем называть последовательность идущих подряд элементов. Отрезок, принадлежащий изображению объекта, на любой строке рецепторного поля характеризуется координатами левой и правой точек или длиной отрезка и одной из координат. На любой строке может находиться несколько отрезков, причем некоторые из них могут принадлежать одному объекту, а некоторые – другому, либо все отрезки принадлежат разным объектам [5].

Пусть на рецепторном поле R размерностью $n \times n$ имеется сложное изображение, которое представляется уровнем яркости:

$$G^* = \{\tilde{m}_0, \tilde{m}_1, \tilde{m}_2, \dots, \tilde{m}_m\},$$

где \tilde{m}_s – уровень яркости, $0 \leq s \leq m$; \tilde{m}_0 – уровень фона.

Определение 1. Сегментом $R_{ks}(i)$ назовем i -ю последовательность элементов уровня яркости \tilde{m}_s на k -той строке.

В свете определения 1 фигура рассматривается как совокупность перекрывающихся по вершинам сегментов. Множество сегментов на k -той строке по каждому уровню яркости представляет собой k -ю строку рецепторного поля:

$$R_k = \bigcup_s \bigcup_i R_{ks}(i);$$

$$i = \overline{1, I_{ks}}; s = \overline{1, m}; k = \overline{1, n},$$

где I_{ks} – общее число сегментов s -й градации яркости на k -той строке.

Для характеристики отрезка p некоторой строки, принадлежащей объекту, кроме координат вводится понятие «список признаков PR».

Определение 2. Каждому сегменту $R_{ks}(i)$ ставится в соответствие по заданным правилам список признаков $PR_{ks}(i)$, элементы которого являются признаками алфавита признаков для каждой градации:

$$R_{ks}(i) \rightarrow PR_{ks}(i) = \{a_x^s, a_y^s, a_z^s, \dots\};$$

$$a_x^s, a_y^s, a_z^s \in A_s = \{a_x^s, a_y^s, a_z^s, \dots\},$$

где A_s – алфавит с бесконечным числом элементов (например, натуральный ряд чисел).

В результате образуются пары: $S_{ks}^i = \{R_{ks}(i), PR_{ks}(i)\}$.

Определение 3. Классом s -й градации k -й строки называются пары s -й градации на k -й строке:

$$K_{ks} = \{S_{ks}^1, S_{ks}^2, S_{ks}^3, \dots, S_{ks}^{I_{ks}}\}.$$

Определение 4. Классом k -й строки называются классы градаций k -й строки:

$$K_k = \{K_{k1}, K_{k2}, K_{k3}, \dots, K_{km}\},$$

где условие $K_{ks} = 0$ обозначает, что на k -й строке нет ни одного сегмента s -й градации.

Определение 5. Общим классом поля называются классы строк:

$$K = \{K_1, K_2, K_3, \dots, K_n\}.$$

Будем считать, что на первой и n -й строках имеется хотя бы по одному сегменту любой градации, т.е. $K_1 \neq 0$ и $K_n \neq 0$; в противном случае можно отбросить пустые строки и обрабатывать остальные.

В списке признаков $PR_{ks}(i)$ признаки a_x^s из алфавита A_s будут записываться по следующему алгоритму. На первой строке ($k \neq 1$) каждому сегменту s -й градации последовательно присваиваются признаки из алфавита A_s по всем s , для которых есть сегменты на первой строке:

$$k = 1; s = \overline{1, m}; PR_{1s}(i) = a_i^s \in A_s, i = \overline{1, I_{1s}}. \quad (1)$$

Для $1 < k \leq n$ проводим сравнения по классам $K_{k-1,s}$ и K_{ks} между сегментами $R_{k-1,s}(j)$ и $R_{ks}(i)$ на перекрытие по вертикали сегментов двух смежных строк:

$$1 < k \leq n; s = \overline{1, m}; e_{ij} = R_{k-1,s}(j) \wedge R_{ks}(i); E_i = \bigvee_j e_{ij}; j = \overline{1, i_{k-1,s}}; \quad (2)$$

$$PR_{ks}(i) = \begin{cases} PR_{ks}(i) \oplus PR_{k-1,s}(j) & \text{по тем } j, \text{ для которых } e_{ij} = 1 \\ E_i = 0 \vee K_{k-1,s} = 0, & \end{cases}$$

где \wedge, \vee – обычные логические операции конъюнкции и дизъюнкции; операция \oplus означает дополнение из $PR_{k-1,s}(j)$ в $PR_{ks}(i)$ признаков, которых нет в $PR_{ks}(i)$; a_f^s – очередной признак из A_s (очередной – следующий после последнего выбранного признака, $f \in \{1, 2, 3, \dots\}$).

После присвоения признаков всем сегментам последней строки ($k = n$) поля R необходимо провести замену списков признаков обобщенными признаками из алфавита обобщенных признаков $\tilde{A}_s = \{\tilde{a}_1^s, \tilde{a}_2^s, \tilde{a}_3^s, \dots\}$, так как при обработке изображения от первой строки до последней происходит «накапливание» признаков в списках признаков сегментов одного и того же объекта. Поэтому замена списков признаков обобщенными признаками производится от n -й строки до первой.

При $k = n$ по $s = \overline{1, m}$ для классов $K_{nk} \neq 0$ производится замена первых списков признаков каждой градации обобщенными признаками:

$$i = 0, PR_{ks}(1) = \{a_x^s, a_y^s, a_z^s, \dots\} = a_1^s \in \tilde{A}_s. \quad (3)$$

Затем сравниваем последовательно списки признаков той же строки, осуществляя поиск хотя бы одного одинакового признака в списках признаков. Если такой признак имеется, то список признаков заменяется тем же обобщенным признаком, который был присвоен сравниваемому списку признаков. Если же такого признака нет, то списку признаков присваивается очередной обобщенный признак:

$$k = n, s = \overline{1, m}, K_{nk} \neq 0, i = \overline{2, I_{ns}}, \tilde{e}_{ir} = PR_{ns}(i) \cap PR_{ns}(r); \quad (4)$$

$$\tilde{E}_i = V_r \tilde{e}_{ir}, r = \overline{1, i-1}, PR_{ns}(i) = \begin{cases} \tilde{a}[PR_{ns}(r)], \tilde{e}_{ir} = 1; \\ \tilde{a}_f^s, \tilde{E}_i = 0 \end{cases}, \quad (5)$$

где логическая операция сравнения $\tilde{e}_{ir} = PR_{ns}(i) \cap PR_{ns}(r)$ может быть представлена как поразрядное произведение, в котором единица в первом разряде означает наличие признака $a_s^s (a_s^s \in A_s)$, а ноль – его отсутствие; $\tilde{e}_{ir} = 1$, если хотя бы в одном одинаковом разряде $PR_{ns}(i)$ и $PR_{ns}(r)$ имеется единица, и $\tilde{e}_{ir} = 0$, если нет ни одного такого разряда; операция присваивания $PR_{ns}(i) = \tilde{a}[PR_{ns}(r)]$ означает, что списку признаков $PR_{ns}(i)$ присваивается тот же обобщенный признак, который был присвоен списку признаков $PR_{ns}(r)$, а \tilde{a}_f^s - очередной признак из $\tilde{A}(f \in \{1, 2, 3, \dots\})$.

После окончания процедуры присваивания на последней строке переходим к сравнению списков признаков s -й градации $(n-1)$ -й строки со списками признаков n -й строки. При наличии хотя бы одного одинакового признака обобщенный признак, присваиваемый списку n -й строки, присваивается и списку $(n-1)$ -й строки, при отсутствии такого сравниваем списки признаков последовательно (s) на $(n-1)$ -й строке (как и на n -й строке). Для строк k и $k+1$ рассуждения аналогичны:

$$1 \leq k \leq n; s = \overline{1, m}; K_{ks} \neq 0, K_{k+1,s} \neq 0, \quad (6)$$

$$\tilde{e}_{ij}^k = PR_{ks}(i) \cap PR_{k+1,s}(j); \tilde{E}_i^k = V_j \tilde{e}_{ij}^k; j = \overline{1, i_{k+1,s}};$$

Если $\tilde{E}_i^k = 0$, то необходимо провести следующие вычисления:

$$\tilde{e}_{ir} = PR_{ks}(i) \cap PR_{ks}(r); \tilde{E}_i = V_r \tilde{e}_{ir}; r = \overline{1, i-1}; \quad (7)$$

$$PR_{ks}(i) = \begin{cases} \tilde{a}[PR_{k+1,s}(j)], \tilde{e}_{ij}^k = 1; \\ \tilde{a}[PR_{ks}(r)], \tilde{E}_i^k = o \wedge \tilde{e}_{ir} = 1; \\ \tilde{a}_j^s, \tilde{E}_i^k = o \wedge \tilde{E}_i = 0 \end{cases} \quad (8)$$

Если $K_{l+1,s_1} = 0 (1 < l < n, s_1 \in s)$, то для $K_{l,s_1} \neq 0$ присваивается очередной признак и для $PR_{l,s_1}(i) (i = \overline{2, I_{l,s_1}})$ проводятся замены обобщенными признаками по формуле (7). Если провести обобщение для формул (1)-(2) и (3)-(8), то получим следующее:

1 этап:

$$k = \overline{1, n}, s = \overline{1, m}, e_{ij} = R_{k-1,s}(j) \wedge R_{ks}(i); \quad (9)$$

$$PR_{ks}(i) = \begin{cases} a_i^s, k = 1 \\ PR_{ks}(i) \oplus PR_{k-1,s}(j) \text{ по тем, для которых } e_{ij} = 1; \\ a_i^s, E_i = O \vee K_{k-1,s} = 0; \end{cases} \quad (10)$$

2 этап:

$$k = \overline{n, 1}, s = \overline{1, m};$$

$$\tilde{e}_{ij}^k = PR_{ks}(i) \cap PR_{k-1,s}(j); \quad (11)$$

$$\tilde{E}_i^k = \bigvee_j \tilde{e}_{ij}^k, j = \overline{1, I_{k+1,s}};$$

$$\tilde{e}_{ir} = PR_{ks}(i) \cap PR_{ks}(r); \quad (12)$$

$$\tilde{E}_i = \bigvee_r \tilde{e}_{ir}, r = \overline{1, i-1};$$

$$PR_{ks}(i) = \begin{cases} \tilde{a}[PR_{k+1,s}(j)], \tilde{e}_{ij}^k = 1; \\ \tilde{a}[PR_{ks}(r)], \tilde{E}_i^k = O \wedge \tilde{e}_{ir} = I \vee K = n \wedge \tilde{e}_{ir} = 1; \\ \tilde{a}_f^s, \tilde{E}_i^k = O \wedge \tilde{E}_i = O \vee K_{k+1,s} = O \wedge i = 1; \\ \vee K_{k+1,s} = O \wedge \tilde{E}_i = 0; \\ \vee K = n \wedge i = 1; \\ \vee K = n \wedge \tilde{E}_i = 0 \end{cases} \quad (13)$$

Упрощая логические условия в выражении (13) получаем:

$$PR_{ks}(i) = \begin{cases} \tilde{a}[PR_{k+1,s}(j)], \tilde{e}_{ij}^k = 1; \\ \tilde{a}[PR_{ks}(r)], (\tilde{E}_i^k = O \vee K = n) \wedge \tilde{e}_{ir} = 1; \\ \tilde{a}_f^s, \tilde{E}_i^k = \wedge \tilde{E}_i = O \vee (K_{k+1,s} = O \wedge K = n) \wedge (i = I \wedge E_i = 0) \end{cases} \quad (14)$$

Следует отметить, что на первом этапе обработки – (9), (10) – анализируются сегменты на перекрытие по вертикали, а на втором – (11) – (14) списки признаков на наличие одинаковых признаков. Каждому сегменту одной и той же фигуры будет присвоен один и тот же обобщенный признак, но свой для данной фигуры, так как перекрывающимся сегментам присваиваются одинаковые признаки в списке признаков, последние же заменяются одним обобщенным признаком, поскольку имеют хотя бы по одному одинаковому признаку.

Выводы

В результате обработки рецепторного поля по предложенному алгоритму на каждую из фигур распространяется свой обобщенный признак, причем он распространяется одновременно на все фигуры видекартинки.

Таким образом, можно легко восстановить и отдельно выделить любое изображение, представленное на рецепторном поле, построить алгоритм, дающий

возможность анализировать каждое отдельно взятое изображение, поступающее с борта БПЛА, и тем самым восстанавливать и выделять интересное оператора изображение или часть изображения, а также изображения, которые являются помехами при применении средств радиоэлектронного противодействия. Этот подход может быть эффективно использован для обработки изображений в цифровых системах видеонаблюдения беспилотников для распознавания и классификации изображений в реальном масштабе времени.

Список литературы

1. Браиловский, Н.Н. Особенности распознавания изображений в цифровых системах видеонаблюдения / Н.Н. Браиловский, С.В. Моржов, В.А. Хорошко, Д.В. Чирков // Радиотехника. – 2004. – Вып.139. – С. 77 – 82.
2. Колпаков, А. Критерии сравнения и выбор цифровых систем видеоконтроля. Часть 1 / А. Колпаков // Бизнес и безопасность. – 2001. – №4. – С. 14 – 20.
3. Колпаков, А. Критерии сравнения и выбора цифровых систем видеоконтроля. Часть 2 / А. Колпаков // Бизнес и безопасность. – 2001. – №6. – С. 10 – 18.
4. Graham, R.L. Bounds on multiprocessing timing anomalies / R.L. Graham // SIAM J. Appl. Math. – 2009. – №2. – P. 416 – 429.
5. Attneave, F. Some informational aspects in visual perception / F. Attneave // Psychol. Rev. – 2000. – P. 23 – 29.

АЛГОРИТМ ВІДНОВЛЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ, ОТРИМАНИХ З БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

В.О. Хорошко, Н.А. Дуксенко

Національний авіаційний університет,
пр. Космонавта Комарова, 1, Київ, 03058, Україна; e-mail: professor_va@ukr.net

У роботі розглядаються питання, пов'язані з роботою безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в умовах активної радіоелектронної протидії. При цьому важливим фактором роботи БПЛА є відновлення переданого ними зображення на землю. Це зображення в результаті обробки його рецепторного поля за допомогою запропонованого алгоритму дозволяє на кожну з фігур поширити свій узагальнену ознаку, причому вона поширюється одночасно на всі фігури відеокартинки. Таким чином можна легко відновити і окремо виділити будь-яке зображення з представлених на рецепторном полі, що дозволяє розпізнати і класифікувати зображення в реальному масштабі часу.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, алгоритм відновлення, відеозображення, рецепторне поле

ALGORITHM FOR IMAGE RESTORATION OBTAINED FROM UNMANNED AERIAL VEHICLES

V.O. Khoroshko, N.A. Duksenko

National Aviation University, 1,
Kosmonavta Komarova Ave., Kiev, 03058, Ukraine; e-mail: professor_va@ukr.net

In this paper, issues related to the operation of unmanned aerial vehicles (UAVs) in the conditions of active electronic countermeasures are discussed. An important factor in UAV's work is to restore the image which it gives on the ground. In consequence of processing the receptor field of this image using proposed algorithm allows for each of the figures to extend its generic feature, and it is distributed its generic feature and it is distributed simultaneously to all the pieces of a video image. Thus, it is possible to easily recover and isolate separately from any image presented on the receptor field, which allows to recognize and classify the image in real time.

Keywords: unmanned aerial vehicle, recovery algorithm, video image, receptor field