

МЕТОДЫ И КРИТЕРИИ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ (РАЗДЕЛЬНОЙ) ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ, ДВИЖУЩИХСЯ В ГРУППЕ, ПАССИВНЫМИ ЦИФРОВЫМИ ОПТИЧЕСКИМИ ЛОКАТОРАМИ

Ваниев А.А.

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого

Аннотация

Статья посвящена разработке методов и критериев идентификации подвижных объектов при их групповом наблюдении пассивными цифровыми оптическими локаторами. Анализируются подходы к решению задачи идентификации объектов наблюдения, приводится математическая модель перспективной измерительной системы и некоторые результаты практических исследований. Разработанная модель может быть использована в различных измерительных и контрольно-наблюдательных системах реального времени для раздельного оценивания движения объектов в группе.

Ключевые слова: пассивный цифровой оптический локатор; объекты, движущиеся в группе; идентификация; траекторные измерения.

Введение

Пассивный цифровой оптический локатор (ПЦОЛ) представляет собой комплекс разнесённых в пространстве цифровых теодолитов (ЦТ) с единым пространственно-временным обеспечением [1]. Система из двух и более ЦТ позволяет оценивать такие параметры движения летательного аппарата (ЛА), как координаты в избранной центральной системе координат (СК), скорости и ускорения.

Рассмотрим случай, когда в поле обзора ПЦОЛ попадает группа ЛА, двигающихся с высокой скоростью по одному курсу, и требуется раздельно оценить параметры движения каждого ЛА.

Как показано в [1], обработка траекторной информации при использовании ПЦОЛ условно может быть разбита на два этапа: первичную обработку и вторичную, что на практике и делается.

Первичная обработка заключается в определении угловых координат объектов наблюдения по зарегистрированным данным с каждого из теодолитов.

Вторичная обработка подразумевает совместную обработку данных с нескольких теодолитов и определение параметров движения каждого из наблюдаемых объектов в пространстве.

Известные методики первичной и вторичной обработки, как правило, подразумевают оценку параметров движения наблюдаемых объектов на этапе послесенной обработки при участии человека-оператора. Однако в настоящее время с распространением цифровых каналов наблюдения на основе ПЗС-матриц и развитием вычислительной техники появилась возможность использовать оптические средства для локации объектов в реальном режиме времени.

В работе [2] показано, что к числу принципиальных задач пассивной оптической локации относится задача идентификации объектов наблюдения. Авторы предлагают идентифицировать цели в группе по пространственным признакам совместности пар измерений. Однако процедуры идентификации осуществляются без учёта параметров движения наблюдаемых объектов в местных СК измерительных пунктов, что приводит к быстрому росту количества вычислительных процедур с увеличением числа объектов в поле

зрения и появлению ситуаций, приводящих к необходимости использования трёх и более измерительных постов для принятия однозначного решения.

Математическая модель траекторных измерений с возможностью идентификации

Изложенный подход в обобщённом виде может быть представлен следующей базовой математической моделью:

$$\begin{aligned} (X_k^*(i), Y_k^*(i), Z_k^*(i))^T &= P_{втор} \times \\ &\times \left[P_{ид} \left[\bigcup_{l=1}^L P_{перв} [X_{Цк,l}(i), Y_{Цк,l}(i), \alpha_{0l}(i), \beta_{0l}(i)], v \right] \right], \quad (1) \end{aligned}$$

где $P_{перв}$ – оператор первичной обработки траекторной информации; $P_{втор}$ – оператор вторичной обработки траекторной информации; $P_{ид}$ – обобщённый оператор идентификации наблюдаемых объектов; L – количество ИП; K – количество ЛА в группе; $l \in [1; L]$ – номер ИП; $k \in [1; K]$ – номер ЛА; i – номер текущего отсчёта времени t_i ; $X_k^*(i), Y_k^*(i), Z_k^*(i)$ – оценки координат ЛА с номером k в декартовой СК по результатам траекторных измерений в момент времени i ; v – вектор координат привязки теодолитов; $X_{Цк,l}(i), Y_{Цк,l}(i)$ – координаты ЛА с номером k в СК ПЗС-матрицы; $\alpha_{0l}(i), \beta_{0l}(i)$ – показания датчиков углового положения (ДУП) ИТ на ИП с номером l в момент времени t_i .

В практических задачах координаты объекта на ПЗС-матрице $X_{Цк,l}(i), Y_{Цк,l}(i)$ оцениваются по входному изображению $I_i(x, y)$ путём применения к нему операторов выделения движущихся объектов $P_{выд}$ и операторов оценки координат центров объектов $P_{центр}$:

$$(X_{Цк,l}(i), Y_{Цк,l}(i))^T = P_{центр} [P_{выд} [I_i(x, y)]] \quad (2)$$

При этом входное изображение может быть представлено в виде [3]:

$$\begin{aligned} I_i(x, y) &= b_i(x, y)g_i(x, y) + \\ &+ f_i(x, y)(1 - g_i(x, y)) + \xi_i(x, y), \quad (3) \end{aligned}$$

где $I_i(x, y)$ – наблюдаемое изображение, $b_i(x, y)$ и $f_i(x, y)$ – интенсивности пикселей, принадлежащих соответственно фону и объекту, $g_i(x, y)$ – бинарная маска, характеризующая принадлежность пикселя движущемуся объекту, $\xi(x, y, i)$ – аддитивный шум фотоприёмного устройства. Предполагается, что значение шумовой составляющей не коррелирует со значениями элементов изображения и их пространственными координатами и влияние шума на исходное изображение описывается аддитивной моделью. Соответственно, наиболее подходящим методом восстановления является пространственная фильтрация, которая, наряду с бинаризацией, снижает влияние данного эффекта.

Оператор выделения объекта решает задачу обнаружения объекта и его локализации (определение области D предполагаемого размещения наблюдаемого объекта в кадре).

Оператор оценки координат центра на основе интенсивностей пикселей, входящих в область D , оценивает координаты центра объекта.

Конкретный вид операторов $P_{\text{выд}}$ и $P_{\text{центр}}$ зависит от типа измерительного прибора и особенностей задачи.

В обобщённом виде задача обнаружения и локализации объектов на изображениях рассматривается в работе [3].

Метод выделения движущихся объектов, основанный на усовершенствованном методе межкадровой разности применительно к оптическим локаторам следающего типа, предложен в работе [4].

Методы вычисления координат центров для случая наблюдения точечных объектов, а также вопросы зависимости погрешности вычисления координат центров объекта от размеров проекции объекта на плоскость ПЗС-матрицы рассматриваются в работе [5].

Оператор первичной обработки в общем случае отображает координаты наблюдаемых объектов в СК ПЗС-матрицы прибора в СК измерительного пункта с учётом показаний ДУП:

$$P_{\text{перв}} : (f \ Y_{\text{цк},l}(i) \ X_{\text{цк},l}(i))^T \rightarrow (\alpha_{\text{цк},l}(i) \ \beta_{\text{цк},l}(i))$$

где $X_{\text{цк},l}(i)$ и $Y_{\text{цк},l}(i)$ – координаты объекта (цели) на изображении с ПЗС-матрицы прибора; f – фокусное расстояние объектива; $\alpha_{\text{цк},l}(i)$ и $\beta_{\text{цк},l}(i)$ – соответственно азимут и угол места цели в местной СК ИП; l – номер ИП; k – номер объекта в кадре; i – номер текущего отсчёта времени t_i . Он может строиться в различных вариантах, зависящих от разновидности измерительного прибора.

Оператор вторичной обработки строится на основе известной методики, приведённой в работе [1]. В общем случае он отображает совокупность угловых измерений объекта, полученных с ИП, в центральную СК (как правило, прямоугольную):

$$P_{\text{втор}} : ((\alpha_{\text{цк},l}(i) \ \beta_{\text{цк},l}(i))^T, \dots, (\alpha_{\text{цк},L}(i) \ \beta_{\text{цк},L}(i))^T) \rightarrow (X_k^*(i) \ Y_k^*(i) \ Z_k^*(i));$$

где $X_k^*(i), Y_k^*(i), Z_k^*(i)$ – оценки координат ЛА в декартовой системе координат; $\alpha_{\text{цк},l}(i)$ и $\beta_{\text{цк},l}(i)$ – азимут и угол места цели в местной системе координат ИП; l – номер ИП; k – номер объекта в кадре; i – номер текущего отсчёта времени.

Когда в поле зрения теодолитов попадает группа объектов, встаёт задача определения номеров объектов, совместно привлекаемых к обработке. Для её решения в модель (2) вводится оператор идентификации наблюдаемых объектов $P_{\text{ид}}$. Он осуществляет отождествление результатов первичной обработки в соответствии с выбранными критериями идентификации.

Критерии идентификации объекта наблюдения

В общем случае решение задачи идентификации сводится к построению функции правдоподобия всех возможных вариантов распределения измерений по траекториям и поиску её максимума, как показано в [6].

На практике же задача может быть решена путём вычисления матрицы расстояний между отождествляемыми измерениями по некоторой метрике и последующего выбора комбинаций измерений, которым соответствуют её минимальные элементы.

При этом задача идентификации разбивается на две подзадачи – пространственную и временную.

Пространственная идентификация подразумевает отождествление измерений, зарегистрированных различными постами на один и тот же момент времени, тогда как временная – измерений, зарегистрированных в разные моменты времени.

Рассмотрим пространственную идентификацию. Геометрия задачи показана на рис. 1 [2].

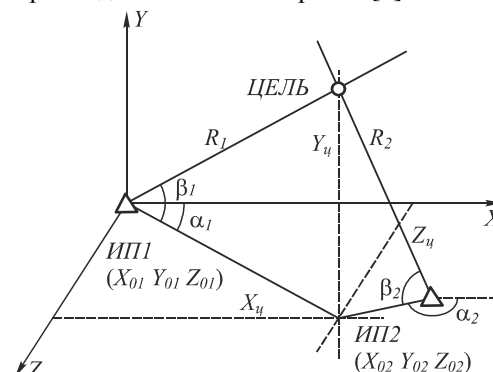


Рис. 1. Геометрия задачи пространственной идентификации: ИП1, ИП2 – измерительные пункты; α_1, β_1 – координаты цели в СК ИП1; α_2, β_2 – координаты цели в СК ИП2; $X_{\text{ц}}, Y_{\text{ц}}, Z_{\text{ц}}$ – координаты цели в прямоугольной системе координат; X_{02}, Y_{02}, Z_{02} – координаты привязки ИП2 относительно ИП1

В радиолокации задача пространственного отождествления измерений решается методом пересечения пеленгов [7]. Аналогичный критерий пересечения

пеленгов применительно к ПЦОЛ может быть сформулирован в следующем виде [2]:

$$\begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \end{bmatrix} = A_1^{-1} \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \end{bmatrix} = A_2^{-1} \begin{bmatrix} X_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} = A_3^{-1} \begin{bmatrix} Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

где X_0, Y_0, Z_0 – координаты привязки второго измерительного пункта относительно первого; A_1, A_2, A_3 – матрицы преобразования координат.

Если пеленги не пересекаются, то решения разными способами дают различные результаты и условие не соблюдается. Строгого выполнения этого условия на практике не наблюдается ввиду того, что измерения выполняются с погрешностями. В связи с этим вводятся допустимые пределы разностей расстояний ΔR_{ij}^1 и ΔR_{ij}^2 , значения которых выбираются исходя из плана расстановки измерительных приборов и их погрешностей измерения угловых координат.

Далее рассмотрим временную идентификацию. Критерий отождествления измерений, зарегистрированных в соседние моменты времени, формулируется на базе принимаемой модели движения ЛА.

Во-первых, в соответствии с классом решаемых задач критерий может быть построен на основе известной модели прямолинейного движения ЛА, приведенной в [7]:

$$S_{i+1} = A_i S_i + \mu_i, \quad (7)$$

где $S_i = (X_{k,i} \ Y_{k,i} \ Z_{k,i} \ V_{X,k,i} \ V_{Y,k,i} \ V_{Z,k,i})^T$ – вектор состояния ЛА в момент времени t_i (в данном случае рассматриваются координаты в трёхмерном пространстве); $A_i = \begin{pmatrix} E_3 & E_3 \tau_i \\ O_3 & E_3 \end{pmatrix}$ – составная матрица прогноза, где E_3 – единичная матрица 3×3 , O_3 – нулевая матрица 3×3 , $\tau_i = t_i - t_{i-1}$ – промежуток времени между измерениями; μ_i – вектор нормально распределённых случайных величин с нулевым математическим ожиданием. Вектор μ_i может быть представлен в виде: $\mu_i = U_i v_i$, где $v_i = (v_x \ v_y \ v_z)$ – вектор ускорений ЛА, $U_i = \begin{pmatrix} (\tau_i^2 / 2) E_3 \\ \tau_i E_3 \end{pmatrix}$ – матрица размерности 6×3 , характеризующая влияние ускорений на компоненты вектора состояния ЛА.

Критерий принадлежности очередного набора измерений S_i тому же объекту, которому принадлежат зарегистрированные ранее наборы измерений S_{i-1} и S_{i-2} , формулируется следующим образом:

$$\begin{cases} v_x < v_x; \\ v_y < v_y; \\ v_z < v_z; \end{cases} \quad (8)$$

где v_x, v_y, v_z – заданные пределы ускорения цели по каждой из осей координат.

В некоторых частных задачах, когда линейная модель изменения параметров ЛА применима не только к его координатам, но и каким-то другим наблюдаемым признакам (яркость, размер и т.п.), эти признаки и скорости их изменения могут быть также включены в вектор состояния цели S_i . Если требуется временная идентификация в угловых координатах измерительного пункта (по результатам первичной обработки без привлечения информации с других ИП), то вектор состояния цели будет складываться из угловых координат и угловых скоростей объекта в местной СК ИП, что будет рассмотрено далее.

Во-вторых, в основе критерия временной идентификации может лежать гипотеза о том, что наблюдаемые ЛА совершают групповое движение по одному курсу и, как следствие, отклонение произвольного ЛА с вектором состояния $S_{k,i}$ от центра группы с течением времени меняется незначительно.

Математическое ожидание [8] координат наблюдаемых объектов в момент времени t_i принимается в качестве координат центра группы объектов и имеет вид:

$$\begin{aligned} S_i^0 &= M(X_{k,i}, Y_{k,i}, Z_{k,i})^T = \\ &= \left(\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K X_{k,i} \ \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K Y_{k,i} \ \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K Z_{k,i} \right)^T. \end{aligned} \quad (9)$$

Координаты некоторого ЛА относительно центра группы запишутся следующим образом:

$$S_{k,i}^c = S_{k,i} - S_i^0. \quad (10)$$

Для случая направленного движения группы объектов предлагается соотношение:

$$S_{k,i+1}^c = S_{k,i}^c + \mu_{k,i}, \quad (11)$$

где $\mu_{k,i} = (\Delta X_{k,i} \ \Delta Y_{k,i} \ \Delta Z_{k,i})^T$ – вектор нормально распределённых случайных величин с нулевым математическим ожиданием, характеризующих случайные перемещения ЛА в СК, связанной с центром группы.

Тогда критерий принадлежности $S_{n,i+1}$ и $S_{k,i}$ одному и тому же ЛА для случая группового движения в трёхмерном пространстве в общем виде может быть сформулирован в виде:

$$\begin{cases} |\Delta X_{k,i}| < d_v \sigma_x \\ |\Delta Y_{k,i}| < d_v \sigma_y, \\ |\Delta Z_{k,i}| < d_v \sigma_z \end{cases} \quad (12)$$

где $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ – среднеквадратические отклонения компонентов вектора $\mu_{k,i}$; d_v – ширина доверительного интервала [8]. Эти параметры задаются заранее, например на основе результатов статистического анализа ранее зарегистрированных данных.

**Сокращение перебора
на этапе пространственной идентификации**

Если в поле зрения L измерительных пунктов попадают K объектов (т.е. необходимо сформировать K наборов координат по L пар в каждом), то максимальное количество проверяемых гипотез пространственной идентификации составит K^L . С увеличением количества объектов в поле зрения число гипотез растёт, причём согласно [2] проверять их требуется для момента времени каждого кадра. Под гипотезой идентификации здесь и далее будем понимать набор из L измерений (по одному с каждого ИП), относительно которых делается предположение об их принадлежности одному и тому же объекту. Нетрудно подсчитать, что для проверки одной гипотезы идентификации требуется не менее $L-1$ операций проверки критерия (6).

В многопозиционной радиолокации (при условии, что каждый ИП измеряет 3 координаты), как правило, проблему сокращения перебора при пространственной идентификации решают путём пространственного стробирования на основе показаний одного из пунктов и последующего отождествления измерений в пределах строба, как показано в [7].

В ПЦОЛ в силу отсутствия прямых измерений дальности применение аналогичного подхода нецелесообразно и требуется использовать другие подходы к оптимизации.

Один из возможных способов заключается в предварительной временной идентификации объектов на этапе первичной обработки.

В случае, когда вектор состояния цели S_i содержит угловые координаты и угловые скорости ЛА, критерий временной идентификации (8) на основе линейной модели движения примет вид:

$$\begin{cases} v_\beta < v_\beta \\ v_\alpha < v_\alpha \end{cases}, \quad (13)$$

где v_β, v_α – заданные пределы угловых ускорений по углу места и азимуту соответственно. В удобной для практической реализации форме критерий запишется следующим образом:

$$\begin{cases} |(F)^2(\beta_{i,q} - 2\beta_{i-1,l} + \beta_{i-2,k})| < v_\beta \\ |(F)^2(\alpha_{i,q} - 2\alpha_{i-1,l} + \alpha_{i-2,k})| < v_\alpha \end{cases}, \quad (14)$$

где F – частота кадров, α_i и β_i – азимут и угол места объекта наблюдения в момент времени i .

Алгоритм межкадровой идентификации, основанный на данном критерии и ориентированный на применение в измерительных станциях следящего типа, предложен в статье [9].

Аналогично для случая, когда рассматривается движение группы целей в плоскости матрицы и требуется проверить принадлежность изображения объекта $(x_{Цн,l,i}, y_{Цн,l,i})$ тому же ЛА, которому принадлежит $(x_{Цк,l,i-1}, y_{Цк,l,i-1})$, критерий идентификации (12) принимает вид:

$$\begin{cases} |x_{Цн,l,i} - (X_i^o + C_x(x_{Цк,l,i} - X_{i-1}^o))| < d_v \sigma_x \\ |y_{Цн,l,i} - (Y_i^o + C_y(y_{Цк,l,i} - Y_{i-1}^o))| < d_v \sigma_y \end{cases}, \quad (15)$$

где $X_i^o = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K x_{Цк,l,i}$, $Y_i^o = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K y_{Цк,l,i}$ – оценки математического ожидания координат наблюдаемых объектов в системе координат ПЗС-матрицы; $C_x = \frac{a_{i,x}}{a_{i-1,x}}$

и $C_y = \frac{a_{i,y}}{a_{i-1,y}}$ – коэффициенты, обеспечивающие инвариантность к масштабу, где $a_{i,x}$, $a_{i-1,x}$, $a_{i,y}$, $a_{i-1,y}$ – средние линейные отклонения соответствующих координат для текущего и предыдущего кадров [8]:

$$a_{i,x} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K |x_{Цк,l,i} - X_i^o|; \quad a_{i,y} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K |y_{Цк,l,i} - Y_i^o|. \quad (16)$$

На практике критерии идентификации (14) и (15) могут быть использованы совместно.

Поскольку для проверки предлагаемого критерия временной идентификации в виде (15) не требуются угловые координаты объектов наблюдения, он может быть применён непосредственно к координатам объектов наблюдения в пространстве ПЗС-матрицы, определяемым по формуле (2). При этом данный критерий применим для измерительных приборов как патрульного, так и следящего типов. В случае использования на измерительном пункте многопроцессорной ЭВМ, алгоритм, проверяющий данный критерий, может выполняться параллельно с алгоритмом первичной обработки траекторной информации.

Пусть g_i – количество измерений, зарегистрированных на некотором ИП в кадре с номером i . По окончании процесса проверки критерия (15) станет известно количество измерений из кадра $i-1$, для которых удалось найти соответствующие измерения из кадра i . Обозначим это значение через p_i . По нему можно оценить качество отождествления измерений внутри группы:

$$Q_i = \frac{p_i}{g_i}. \quad (17)$$

Условие $Q_i = 1$ означает, что для всех объектов, зарегистрированных в одном из рассматриваемых кадров и принадлежащих группе G_i , удалось найти пару из числа зарегистрированных во втором кадре, что означает успешное отождествление всех измерений по предложенному критерию.

Измерения с текущего кадра, для которых не удалось найти соответствий, образуют множество $S_i \in C_i$. Они должны быть идентифицированы другим алгоритмом, например на основе критерия (14). Практика показывает, что критерий (15) обеспечивает высокое качество идентификации в условиях, когда количество объектов в кадре не меняется и наблюдаемые ЛА

движутся по одному курсу. В ситуациях, когда в поле зрения появляются новые объекты либо исчезают старые, значение Q_i снижается и для идентификации привлекается критерий (14).

После окончания временной идентификации на ИП угловые координаты выделенных объектов и присвоенные им номера траекторий передаются на центральный пост, где осуществляется вторичная обработка. Соответственно, при пространственной идентификации на центральной ЭВМ методика полного перебора всех возможных пар измерений может быть заменена на псевдооптимальную, когда в первую очередь сопоставляются измерения, получившие такие номера траекторий, которые в предыдущие моменты времени были признаны совместимыми.

Результаты экспериментов

Эксперимент 1. Сравнивалось количество вычислительных процедур при проверке критерия пересечения пеленгов на этапе пространственной идентификации с использованием методики полного перебора и с учётом результатов предварительной временной (межкадровой) идентификации в угловых координатах. Результаты приведены на рис. 2.

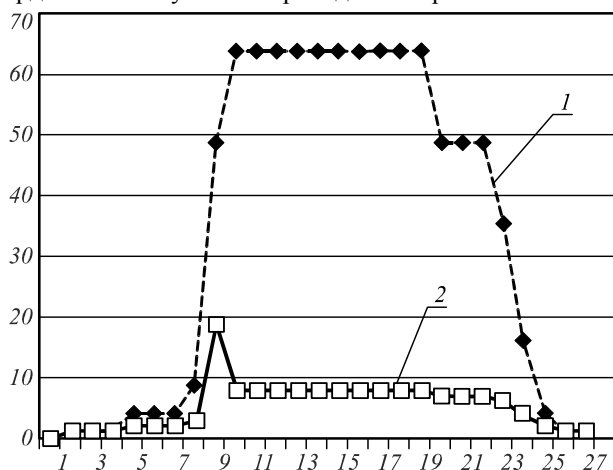


Рис. 2. Количество проверок критерия пересечения пеленгов в пассивном оптическом измерительном комплексе, состоящем из двух ИП:

1 – для метода полного перебора; 2 – для метода, учитывающего результаты временной идентификации

Моделировалась ситуация, когда в поле зрения ПЦОЛ из 2 ИП влетает группа из 10 объектов, некоторое время устойчиво наблюдается и затем покидает поле зрения. В соответствии с реальной ситуацией объекты появляются в поле зрения и исчезают не одновременно, а по очереди.

Причина выигрыша в производительности при пространственной идентификации заключается в том, что в случае предварительной межкадровой идентификации входные данные оказываются сгруппированы по признакам принадлежности к траекториям и перебор требуется только для новых объектов, появившихся в поле зрения теодолита в данный момент времени.

Эксперимент 2. Исследовалась результативность алгоритмов идентификации, работающих совместно

по предложенной ранее схеме. Рассматривалась ситуация использования 2 ИП.

Погрешности оценок угловых координат моделировались нормально распределёнными случайными величинами с нулевым матожиданием [8] и СКО, соответствующими типовым ситуациям при использовании реальной аппаратуры. Моделировалось движение группы из 20 ЛА со скоростью 200 м/с в течение сеанса регистрации в 500 кадров при частоте 50 кадров/с.

Отдельно подсчитывалось количество ошибок идентификации, соответствующих следующим случаям:

1. Ошибочная пространственная идентификация при верных результатах временной идентификации хотя бы на одном ИП.

2. Одновременная ошибочная временная идентификация на обоих ИП.

Следует подчеркнуть, что появление одиночных ошибок ложного обнаружения либо пропуска цели на отдельно взятом ИП ещё не означает ошибочного результата работы комплекса в целом, поскольку ложные измерения отсеиваются на этапе вторичной обработки при проверке критерия пересечения пеленгов. То же самое касается случаев ошибочной временной идентификации.

Рассмотрим измерительный пункт ИП1. Если на этапе временной идентификации по итогам проверки критерия (12) или (13) некоторое измерение $A_{i,ип1}$, зарегистрированное в момент времени i и в действительности принадлежащее объекту, которому ранее на этом посту был присвоен номер траектории $j_{1,ип1}$, будет ошибочно отнесено к траектории с номером $j_{2,ип1}$, то на этапе пространственной идентификации при сопоставлении измерений ИП1 и ИП2 критерий пересечения пеленгов (4) не покажет соответствия между измерением $A_{i,ип1}$ и измерением $B_{i,ип2}$ с ИП2, которое при временной идентификации получило номер траектории $j_{2,ип2}$, который, в свою очередь, в предыдущие моменты времени присваивался измерениям с ИП2, которые отождествлялись с измерениями с ИП1, имеющими номер траектории $j_{2,ип1}$. Затем во множестве неидентифицированных измерений с пункта ИП2 по критерию пересечения пеленгов (4) будет найдено измерение $A_{i,ип2}$, которое совместимо с измерением $A_{i,ип1}$ и соответствует тому же объекту в действительности. Таким образом, одиночные ошибки временной идентификации исправляются на этапе пространственной идентификации.

Если события «ошибочная временная идентификация на ИП1» и «ошибочная временная идентификация на ИП2» считать независимыми, то вероятность одновременного их наступления можно оценить по формуле умножения вероятностей [8].

Полученные показатели качества идентификации при различных значениях СКО ошибок измерения угловых координат приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты имитационного эксперимента

№ п/п	СКО погрешностей оценок угловых координат, угл.с.		Количество случаев ошибочной идентификации, %		Количество верно идентифицированных объектов, %
	σ_{AZ}	σ_{UM}	Вызванных ложным отождествлением пеленгов	Вызванных одновременным ложным отождествлением измерений обоими ИП либо потерей цели	
1	1	1	0,01	0,02	99,9
2	5	5	0,52	0,1	99,4
3	10	10	2,11	0,58	97,3
4	20	20	8,3	2,08	89,6
5	30	30	16	4,6	81,4

Заключение

1. Предложенная модель обеспечивает решение задачи идентификации при обработке траекторной информации в распределённой вычислительной системе и возможность комбинирования методов идентификации с получением приемлемых результатов с использованием всего двух ИП.

2. Разработанные алгоритмы обеспечивают сокращение количества вычислительных процедур на этапе пространственной идентификации, что позволяет расширить область применения ПЦОЛ, например, для оперативного контроля воздушного пространства и оперативной оценки результатов полигонных испытаний современных видов оружия, а также могут быть использованы в других областях, где требуется идентификация быстро движущихся групповых объектов.

3. Одним из перспективных направлений дальнейшего развития пассивных оптических комплексов траекторных измерений представляется введение в математическую модель, наряду с рассмотренными в данной статье операторами идентификации по координатным признакам, операторов идентификации, основанных на признаках формы, размера и распределения яркости объектов, что позволит повысить качество идентификации в ряде частных случаев и существенно расширить сферы применения подобных систем.

Литература

1. **Васильев, В.В.** Применение инвариантных условий ортогональности при оценивании движения летательных аппаратов / В.В. Васильев, А.П. Манин // Полёт. – 2007. – № 4. – С. 46-50.
2. **Манин, А.П.** Оценка координат групповой цели с использованием цифровых оптических пассивных локаторов / А.П. Манин [и др.]. – XVI Международная научно-техническая конференция «Радиолокация, навигация, связь». – Воронеж, 2010.
3. Методы компьютерной обработки изображений / М.В. Гашников, Н.И. Глузов, Н.Ю. Ильясова, В.В. Мясников, С.Б. Попов, В.В. Сергеев, В.А. Соيفер, А.Г. Храмов, А.В. Чернов, В.М. Чернов, М.А. Чичёва, В.А. Фурсов. – Под ред. В.А. Соифера. – 2-е изд., испр. – М.: Физматлит, 2003. – 784 с.
4. **Ваниев, А.А.** Метод выделения быстро движущихся объектов при использовании цифрового оптического локатора следящего типа / А.А. Ваниев, Г.М. Емельянов // Компьютерная оптика. – 2013. – Т. 37, № 4. – С. 483-489.

5. **Кружилов, И.С.** О влиянии относительного размера изображения на погрешность определения координат / И.С. Кружилов // Компьютерная оптика. – 2009. – Т. 33, № 2. – С. 210-215.
6. **Фарбер, В.Е.** Основы траекторной обработки радиолокационной информации в многопозиционных РЛС: учеб. пособие / В.Е. Фарбер. – М.: МФТИ, 2005. – 160 с.
7. **Черняк, В.С.** Многопозиционная радиолокация / В.С. Черняк. – М.: Радио и связь, 1993. – 416 с.
8. **Вентцель, Е.С.** Теория вероятностей: учеб. для вузов / Е.С. Вентцель. – 5-е изд. стер. – М.: Высшая школа, 1998. – 576 с.
9. **Ваниев, А.А.** Идентификация групповой цели пассивным цифровым оптическим локатором / А.А. Ваниев // Вопросы оборонной техники. Сер. 3. – 2011. – Вып. 4. – С. 36-41.

References

1. **Vasiliev, V.V.** Application of invariant orthogonality conditions when estimating the movement of aircraft / V.V. Vasiliev, A.P. Manin // ONTZH "Flight". – 2007. – V. 4. – P. 46-50. – (In Russian).
2. **Manin, A.P.** Evaluation coordinate multiple target using digital optical passive locator / A.P. Manin [et al.]. – XVI International Scientific and Technical Conference "Radar, navigation, communication". – Voronezh, 2010. – (In Russian).
3. Computer Image Processing, Part II: Methods and algorithms / A.V. Chernov, V.M. Chernov, M.A. Chicheva, V.A. Fursov, M.V. Gashnikov, N.I. Glumov, N.Yu. Ilyasova, A.G. Khranov, A.O. Korepanov, A.V. Kupriyanov, E.V. Myasnikov, V.V. Myasnikov, S.B. Popov, V.V. Sergeyev. edited by Victor A. Soifer (Editor). VDM Verlag, 2009. 584 p.
4. **Vaniev, A.A.** Method for the segmentation of fast-moving objects using digital optical locator of tracking type / A.A. Vaniev, G.M. Emelyanov // Computer Optics. – 2013. – V. 37(4). – P. 483-489. – (In Russian).
5. **Kruzhilov, I.S.** Influence of the relative size of the image on the error in determining the coordinates / I.S. Kruzhilov // Computer Optics. – 2009. – V. 33(2). – P. 210-215. – (In Russian).
6. **Farber, V.E.** Fundamentals of data processing in multiposition radar: Study material / V.E. Farber. – Moscow: MIPT Publisher, 2005. – 160 p. – (In Russian).
7. **Chernyak, V.S.** Multiposition radiolocation / V.S. Chernyak. – Moscow: "Radio and communication" Publisher, 1993. – 416 p. – (In Russian).
8. **Wentzel, E.S.** Probability theory: Proc. for universities / E.S. Wentzel. – 5th ed., sr. – Moscow: "Vysshaya Shkola" Publisher, 1998. – 576 p. – (In Russian).
9. **Vaniev, A.A.** Identification of multiple target using passive optical digital locator / A.A. Vaniev // Problems of defense equipment. Series 3. – 2011. – V. 4. – P. 36-41. – (In Russian).

METHODS AND CRITERIA FOR INDIVIDUAL (SEPARATE) IDENTIFICATION OF MOBILE OBJECTS, MOVING IN THE GROUP BY THE PASSIVE DIGITAL OPTICAL LOCATORS

A.A. Vaniev

*"Yaroslav-the-Wise Novgorod State University"***Abstract**

Article is devoted to the development of methods and criteria for identification of multiple moving objects observed by passive optical digital locator. Approaches to the development of methods of identification of multiple moving objects are examined. Mathematical model of the promising measuring system and some results of practical research are provided. The developed model can be used in various measurement and control systems, real-time observation for the separate estimation of motion of objects in the group.

Key words: digital optical passive locator, identification, group of moving objects, trajectory measurements.

Сведения об авторе

Ваниев Александр Александрович, 1987 г.р., окончил с отличием Новгородский государственный университет в 2010 г. по специальности «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем», аспирант НовГУ (г. Великий Новгород). Область научных интересов: цифровая обработка изображений, распознавание образов, траекторные измерения.

E-mail: threep2005@yandex.ru.

Alexander Alexandrovich Vaniev (b.1987) graduated with honors from Novgorod State University in 2010, majoring in Software of Computers and Automated Systems. Now he is post-graduate student of Novgorod State University. Research interests: digital image processing, pattern recognition, trajectory measurement.

Поступила в редакцию 9 декабря 2013 г.