

А.Е. БАРИНОВ,  
А.А. ЗАХАРОВ

**Динамическое моделирование  
слоев из полученной  
видеопоследовательности**

УДК 65.011.56

Муромский институт  
(филиал) ФГБОУ ВПО  
«Владимирский  
государственный  
университет имени  
А.Г. и Н.Г. Столетовых»,  
г. Муром

*В данной статье рассматривается применение визуального контроля на промышленном производстве. Приводится сравнительная классификация алгоритмов слежения за объектами с жестко заданной формой. Описывается алгоритм динамического моделирования слоев из полученной видеопоследовательности. Эти слои могут использоваться в алгоритме слежения для предотвращения влияния взаимных перекрытий.*

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 13-07-97523*

Современное промышленное предприятие имеет сложнейшую инфраструктуру, состоящую из множества технологических подразделений. В совокупности они осуществляют производственный процесс. Для эффективной работы этого комплекса необходимо осуществлять контроль качества выпускаемой продукции. На современном промышленном предприятии контроль, выполняется с использованием средств автоматизации. Автоматизация может быть осуществлена путем внедрения систем технического зрения. Это позволяет более качественно производить контроль, сократить влияние человеческого фактора, избежать нежелательных ошибок [1, 2].

Визуальный контроль технологических процессов по изображениям является актуальной задачей при производстве деталей машин, электроники и т.д. С помощью систем визуального контроля можно отслеживать такие характеристики, как размеры, качество

геометрии поверхностей, корректность операций сборки, правильную последовательность выполнения технологических операций.

Одной из важных задач визуального контроля является отслеживание положения и ориентации объектов в пространстве. Алгоритмы, использующиеся в оптических системах на данный момент, успешно работают в промышленных производствах. Чаще всего сцена, обрабатываемая такими алгоритмами на промышленном производстве, характеризуется следующими свойствами:

- объект движется по жестко заданной траектории;
- форма объекта не меняется кардинально по времени;
- присутствуют взаимные перекрытия другими объектами сцены;
- на заднем плане могут присутствовать аналогичные производственные линии.

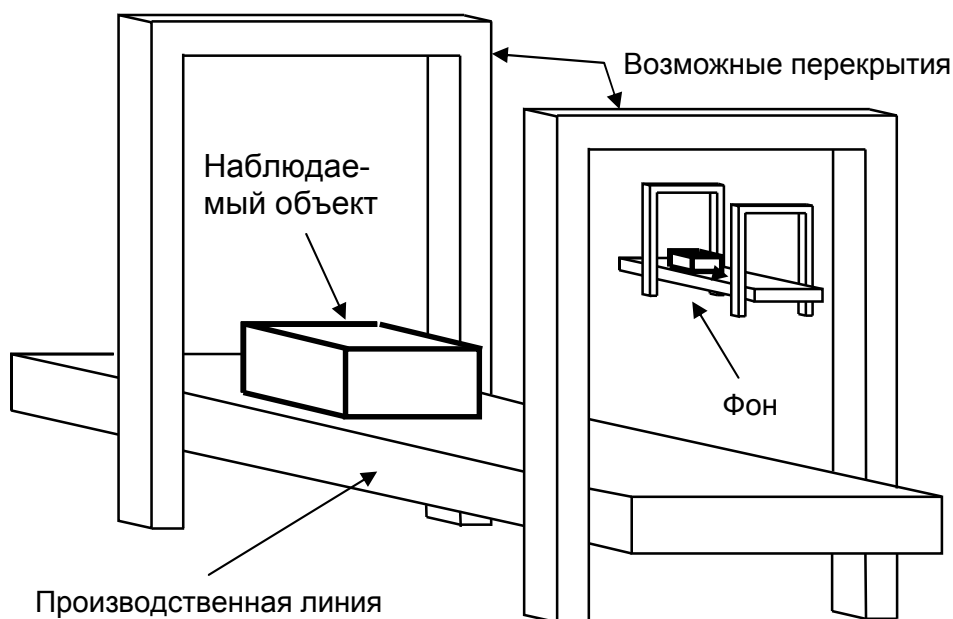


Рис. 1. Схема линии промышленного производства

Были выделены следующие типы алгоритмов слежения за объектами:

- анализ совпадений с шаблоном (simple template matching);
- алгоритм смещения среднего (Mean-shift);
- анализ оптического потока (KLT);
- анализ модели отображения (Appearance Tracking);
- анализ собственных векторов (Eigen Tracker);
- метод опорных векторов (SVM);

- метод разбиения сцены на слои (Layering) [3].

Таблица 1

**Методы слежения за объектами с жесткой формой (КО – количество объектов, МД – модель движения, О – требуется ли обучение, АП – производится ли анализ перекрытий, И – требуется ли инициализация, знаками «+» и «-» обозначено соответственно «Да» и «Нет», ПД – поступательное движение, АД – аффинное движение, СД – движение с масштабированием, ВД – вращательное движение.)**

Метод	КО	МД	О	АП	И
Анализ совпадений с шаблоном	1	ПД	-	-	+
Алгоритм смещения среднего	1	ПД, СД	-	-	+
Анализ оптического потока	1	АД	-	-	+
Анализ модели отображения	1	ПД, МД, АД	-	-	+
Анализ собственных векторов	1	АД	+	-	+
Метод опорных векторов	1	ПД	+	-	+
Метод разбиения сцены на слои	> 1	ПД, МД ВД	-	+	-

На промышленном производстве предлагается использовать алгоритм, в основе которого лежит техника разбиения динамической сцены на слои. Данный алгоритм не требует предварительной инициализации, может отслеживать одновременно несколько объектов, а также позволяет решить проблему с взаимными перекрытиями. В основе процесса слежения за объектом лежит динамическое формирование слоев из кадров видеопоследовательности. Пример разбиения на слои на рисунке 2.

В ходе алгоритма динамического моделирования слоев сцена разбивается на основные и вспомогательные слои. Основные слои содержат отслеживаемый объект. Таких слоев может быть несколько, если предполагается слежениями за несколькими объектами сразу. Дополнительные слои содержат в себе объекты, перекрывающие основные слои, а также фон динамической сцены.

Слои получаются путем сравнения текущего и предыдущего кадров. Например, на первом кадре, присутствует один дополнительный слой, в котором содержится только фон. Далее при появлении в кадре объекта, он относится к основному слою, так как обладает движением. Если объект в какой-либо момент времени частично становится невидимым из-за перекрытий, создается допол-

нительный слой. В дополнительном слое присутствует объект, перекрывающий основной слой.

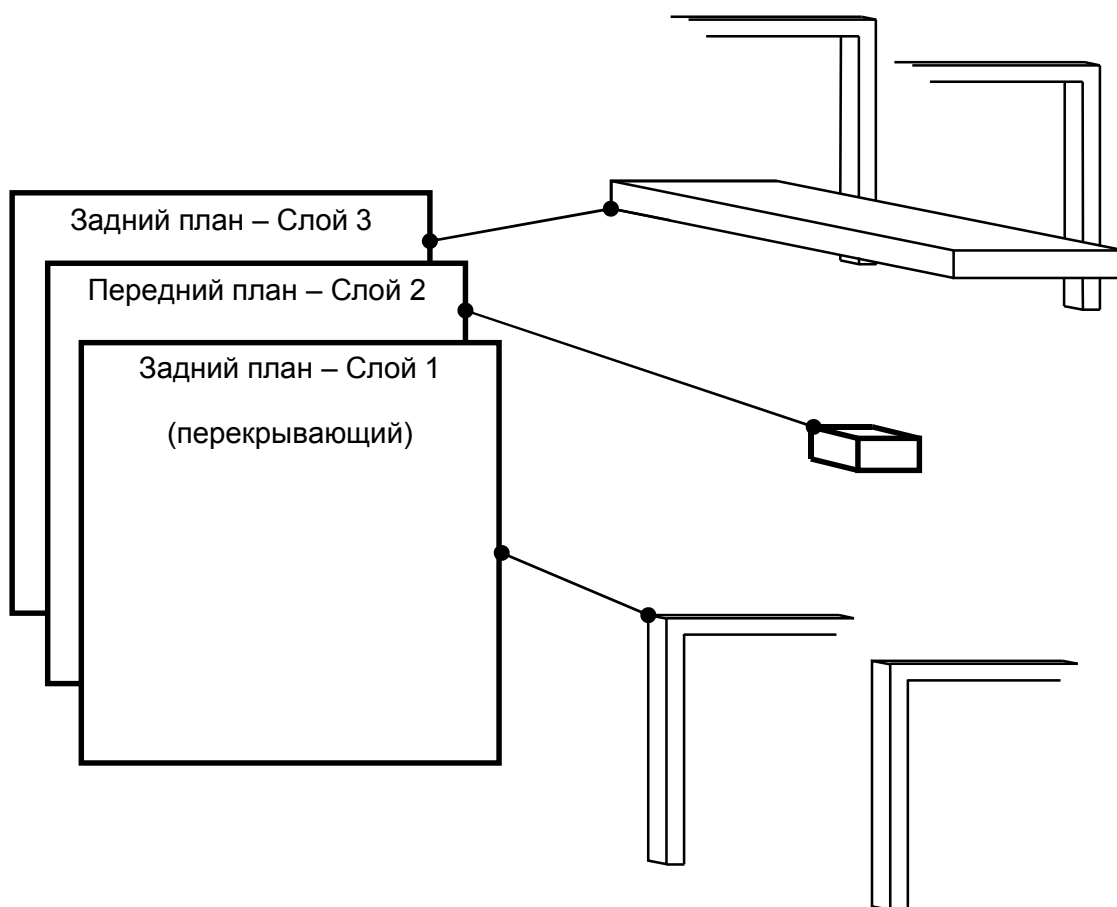


Рис. 2. Разбиение сцены на слои

Основные и дополнительные слои вместе образуют последовательность слоев, где порядок их следования устанавливается в зависимости от удаленности от точки наблюдения [4, 5].

Моделирование слоев подразумевает расчет следующих моделей:

- модели движения;
- модели формы;
- модели отображения.

Основные слои включают в себя модель движения, модель формы и модель отображения. Дополнительные слои не претерпевают значительных изменений, поэтому для них модели движения не используются.

Полный набор моделей слоя в момент времени  $t$  обозначается как  $\Lambda_t$ . Если имеется  $L$  основных слоев, также существует как мини-

мум  $L + 1$  дополнительных слоев заднего плана, так как считается, что присутствует перекрывающий слой. Все слои переднего плана в момент времени  $t$  образуют последовательность, обозначаемую как  $O_t = [i_1, i_2, \dots, i_L]$ .

Основным слоям присуща модель движения с постоянной скоростью с параметрами позиции  $\mu$ , ориентации  $\omega$ , фактора масштабирования  $s$  и их производными. Принимая параметры движения как  $\theta = [\mu, \omega, s, \dot{\mu}, \dot{\omega}, \dot{s}]$ , можно описать динамику движения:

$$P(\theta_t | \theta_{t-1}) = N(\theta_t: \Phi \theta_{t-1}, Q), \quad (1)$$

где  $\theta_t$  – параметры движения в момент времени  $t$ ,

$\Phi$  – стандартная матрица перехода для модели движения с постоянной скоростью,

$N(\theta_t: \Phi \theta_{t-1}, Q)$  – нотация, показывающая многомерное нормальное распределение с ковариационной матрицей,

$Q$  – ковариационная матрица, показывающая связь параметров движения, между двумя соседними кадрами.

Основные и дополнительные слои ассоциируются с матрицей вероятностей проявления пикселей или картой пикселей. Каждому пикселю соответствует значение вероятности, с которой этот пиксель представляет объект в каком-либо слое. Пример процесса получения карты пикселей в следующем. Если имеется только фон, расположенный в дополнительном слое и отсутствуют любые другие слои, значения вероятности для каждого пикселя в карте пикселей равно 1. Если появляется новый объект, для него создается новый слой. При этом, анализируются пиксели, принадлежащие объекту. В соответствующей им карте пикселей проставляются значения. Если создан дополнительный слой, перекрывающий отслеживаемый объект, карта пикселей нормализуется таким образом, что сумма всех значений конкретной позиции пикселя всех дополнительных слоев должна быть равна 1. На рисунке 3 показан пример рассчитанных карт пикселей.

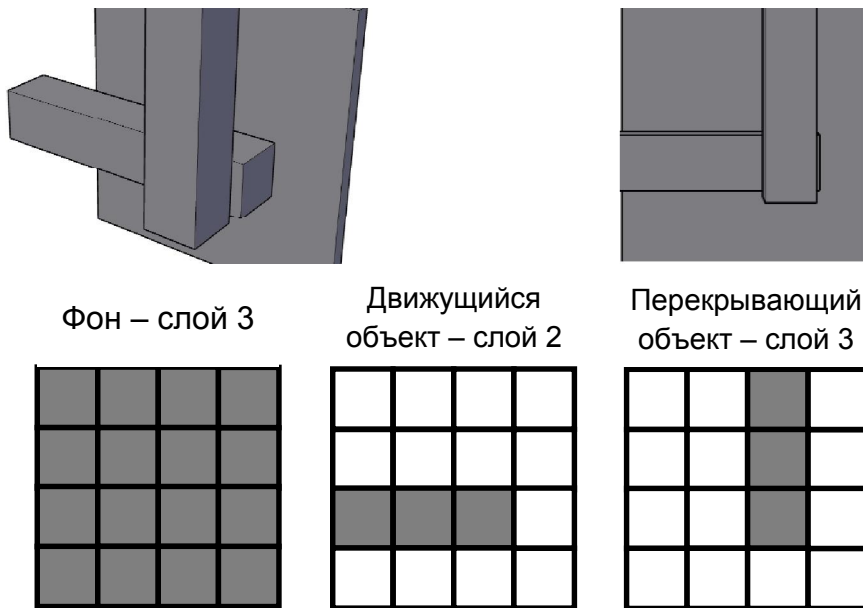
После инициализации карты пикселей для каждого слоя, можно вычислить вероятность того, что основной слой  $j$  является видимым, т.е. ни один другой слой его не перекрывает в пикселе  $x_i$ :

$$P_j(x_i) = \tau_j(x_i) \cdot \left( 1 - \sum_{l=1}^j \pi_l(x_i) \right) \cdot \prod_{s=1}^{j-1} [1 - \tau_s(x_i)], \quad (2)$$

где  $\tau_j(x_i)$  – значение карты пикселей для основного слоя,  
 $\pi_l(x_i)$  – значение карты пикселей для дополнительного слоя,  
 $(1 - \sum_{l=1}^j \pi_l(x_i))$  – вероятность того, что основной слой перекрывается дополнительным слоем,

$\prod_{s=1}^{j-1} [1 - \tau_s(x_i)]$  – вероятность того, что основной слой не перекрывается другим основным слоем.

Пример, возникшего перекрытия



Соответствующие карты пикселей

1	1	0,5	1
1	1	0,5	1
1	1	0,5	1
1	1	1	1

0	0	0	0
0	0	0	0
1	1	1	0
0	0	0	0

0	0	0,5	0
0	0	0,5	0
0	0	0,5	0
0	0	0	0

Рис. 3. Карты пикселей для слоев

Так как объекты основных слоев движутся, при получении каждого кадра видеопоследовательности необходимо модифицировать карту пикселей, полученную при инициализации. Используя модель движения, можно описать динамику изменения значений карты пикселей следующим образом:

$$P(\tau_{t,j}(x_i) | \tau_{t-1,j}) = N\left(\tau_{t,j}(x_i); \tau_{t-1,j} \left( \frac{R(-\dot{\omega}_{t,j})(x_i - \dot{\mu}_{t,j})}{\dot{s}_{t,j}} \right), \sigma_{\tau}^2 \right), \quad (3)$$

где  $R(-\dot{\omega}_{t,j})(x_i - \dot{\mu}_{t,j})/\dot{s}_{t,j}$  – трансформация карты пикселей для смещения в ней значений, в соответствии с текущей позицией, ориентацией и фактором масштабирования объекта.

Модель отображения представляет собой матрицу, соответствующую пикселям объекта. Расчет этой матрицы проводится с использованием данных яркостных характеристик, цветовых переходов, засвеченных и затененных областей. Модель отображения служит шаблоном и остается устойчивой к изменениям, которые могут произойти с объектом во времени. Каждому слою соответствует своя модель отображения. В зависимости от динамики объекта на сцене она меняется в соответствии с его параметрами [6].

Тестирование разработанных моделей проводилось на синтезированном наборе кадров, где присутствовала линия производства, отслеживаемый объект и перекрытия. На рисунке 4 показаны результаты динамического моделирования и анализ возникающих перекрытий. В первом ряду расположены полученные кадры. Во втором ряду рассчитанная модель объекта. В третьем ряду находятся изображения перекрывающихся объектов.

Тестирование показало, что динамическое моделирование слоев позволяет получать форму объекта при возникновении взаимных перекрытий, и оно может успешно использоваться при слежении за объектами на промышленном производстве, где объект имеет жестко заданную форму, и он иногда частично перекрывается другими объектами. Динамическое моделирование слоев в дальнейшем будет использоваться при разработке алгоритма слежения за объектами в промышленных системах.

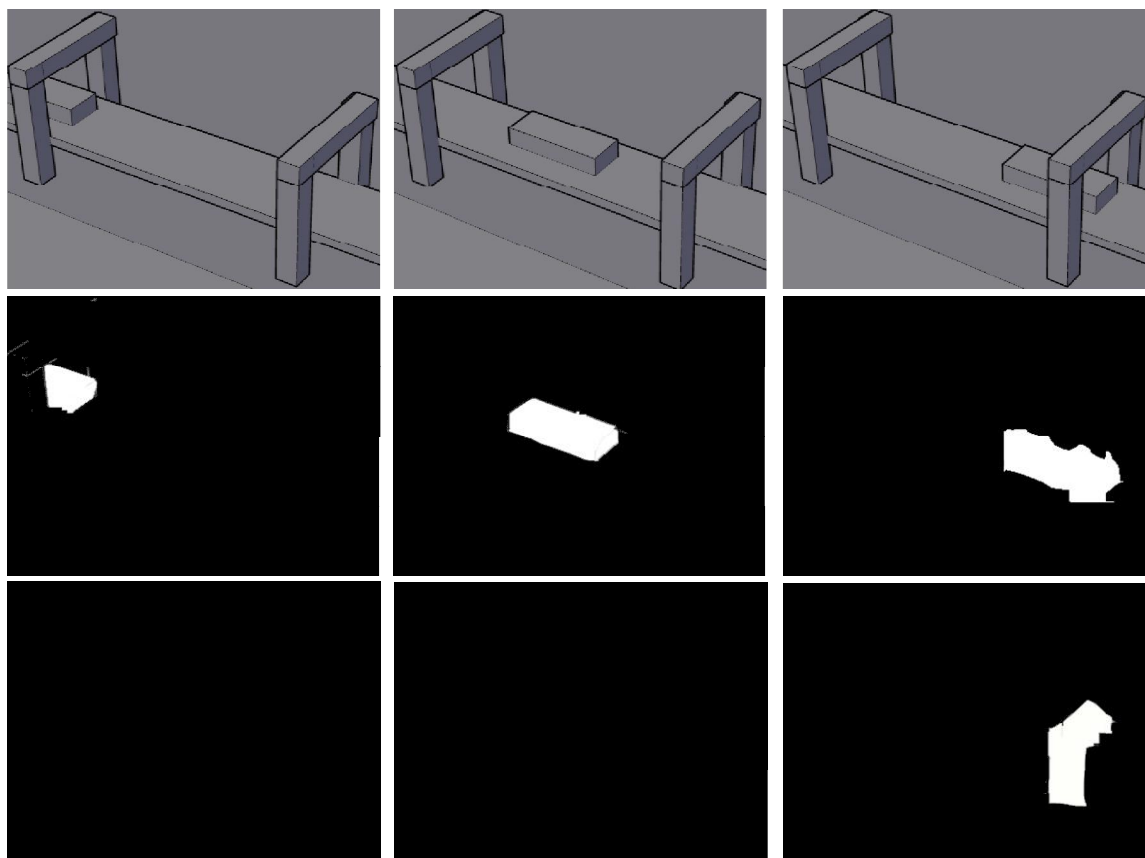


Рис. 4. Обнаружение отслеживаемого и перекрывающегося объекта

## Литература

1. Баринов А.Е., Фомин С.П. Анализ проблемной ситуации контроля процесса производства слябов// Алгоритмы, методы и системы обработки данных, 2012, №1. – С. 16-22.
2. Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Балашов О.Е., Степашкин А.И. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление. – М.: Радиотехника, 2008. – 178 с.
3. Yilmaz A., Javed O., Shah M. Object tracking: A survey// ACM Journal of Computing Surveys, 2006, №4. –pp. 1–45.
4. Jojic N., Petrovic N., Frey B., Huang T. S. Transformed hidden Markov models: estimating mixture models of images and inferring spatial transformations in video sequences// Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2000. – pp. 26-33.
5. Tao H., Sawhney H., Kumar R. Object tracking with Bayesian estimation of dynamic layer representations// Proceedings of the IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence, 2002. – pp. 75-89.
6. Black M.J., Fleet D.J., Yacoob Y. A framework for modeling appearance change in image sequences// Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, Mumbai, India, 1998. – pp. 660-667

АСПИРАНТ КАФЕДРЫ ИС

БАРИНОВ А.Е.

E-MAIL: ALEXEY.BARINOV.MUROM@YANDEX.RU