

УДК: 004.89 + 004.65:004.896

В.Д. Яшунский

### РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ НА ОСНОВЕ РАСФОКУСИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИИ

Современные системы технического зрения находят широкое применение для решения множества различных прикладных задач, связанных, например, с охраной объектов и территорий, с контролем дорожной обстановки, с оперативной оценкой внешней обстановки при управлении автономными мобильными роботами и т.д.. По сравнению с другими средствами оцувствления, СТЗ обладает наиболее широким набором потенциальных возможностей по сбору разнородной информации, включая идентификацию форм и распознавание типов наблюдаемых объектов, определение расстояний и т.д.. Поэтому в тех случаях, когда габариты и масса готового устройства диктуют жесткие ограничения на используемые системы (что актуально для мобильных роботов) предпочтение отдаётся именно СТЗ.

В данной статье рассматриваются принципы построения СТЗ на основе эффекта расфокусирования объектов на изображении. В основу метода положен тот факт, что объектив проецирует четкое изображение лишь для тех объектов, которые располагаются в пределах диапазона резкости. Объекты, расположенные ближе или дальше, оказываются размыты. Таким образом, по серии снимков, снятых с одной точки с различным значением фокусного расстояния, можно определить дистанцию до объектов, расположенных в поле зрения объектива [1-2].

Принцип определения дистанции заключается в нахождении кадра, на котором объект становится резким, притом, что на предыдущем кадре он был размыт. В случае нахождения такого кадра можно говорить о том, что дистанция до объекта лежит в диапазоне, ограниченном расстояниями до ближних границ резкости этих двух кадров. Необходимыми условиями для получения приемлемой точности являются малое значение числа диафрагмы и малое изменение фокусного расстояния между последовательными кадрами. Выполнение первого условия обеспечивает резкое размытие изображения объекта при его выходе из области фокусировки (что упрощает определение граничного кадра), а второе условие напрямую определяет дискретность определения расстояний.

Критерием резкости изображения является степень отличия цвета точки от цветов окружающих точек и может быть вычислена по формуле:

$$C_i = \sum_J f_{\text{разн}}(X_i, X_j), \quad (1)$$

где  $C_i$  – степень контрастности для текущей точки,

$J$  – множество соседних точек,

$X_i$  – цвет текущей точки,

$X_j$  – цвет рассматриваемой точки из множества  $J$ ,

$f(X_i, X_j)$  – функция определения разности цветов, например сумма разностей по каждому из цветовых каналов, взятых по модулю.

Функция зависимости степени контрастности каждой точки от фокусного расстояния должна, в идеальном случае, содержать один ярко выраженный максимум, соответствующий тому, что расположенный в данном направлении объект оказался в фокусе при низких значениях функции на всём остальном диапазоне. Таким образом, достоверность обратно пропорциональна количеству пиков на

графике. Для практического применения требовалось определить критерии пика, так как наличие произвольного локального максимума на графике не является достаточным условием для снижения достоверности данных.

Адекватным критерием того, снижает ли данная точка степень достоверности данных, является ее близость к максимуму. Таким образом, достоверность можно определить по формуле

$$R = \frac{C_{\max}}{\sum_{i=1}^N (C_i - C_{\min})}, \quad (2)$$

где  $R$  – степень достоверности;

$N$  – количество кадров;

$C_{\max}$  – максимальное значение контрастности на рассматриваемом диапазоне;

$C_{\min}$  – минимальное значение контрастности на рассматриваемом диапазоне;

$C_i$  – значение контрастности для текущего кадра.

Значение степени достоверности будет стремиться к 1 с приближением к идеальному случаю, когда мы используем объектив с бесконечно малой глубиной резкости, в следствии чего  $C_{\min}$  стремится к 0, а  $C_i$  стремится к  $C_{\max}$  для всех кадров, кроме одного, для которого  $C_i = C_{\max}$ .

Практические испытания показали, что с учётом шумов и реального значения глубины резкости, хорошим показателем качества является степень достоверности превышающая 0,03 .. 0,05.

После исключения всех точек, достоверность которых не была признана достаточной, в нашем распоряжении оказывается сетка высот с некоторым количеством опорных точек, для которых известно расстояние до них и степень достоверности этого расстояния. Для большинства же точек расстояние не определено. Задачей процедуры интерполяции является определение этих расстояний на основе данных опорных точек. Например, возможна интерполяция методом близлежащего распространения. На каждом шаге этого метода значение расстояния, присвоенное каждой из опорных точек, распространяется на соседние точки, до которых расстояние еще не определено. То есть шаг алгоритма будет осуществляться по формуле

$$P \subset J_{P_0}, R_P = 0 \Rightarrow D_P := D_{P_0}, R_P := R_{P_0}, \quad (3)$$

где  $P_0$  – какая-либо из опорных точек;

$J_{P_0}$  – ближайшая окрестность опорной точки  $P_0$ ;

$P$  – произвольная точка, принадлежащая множеству  $J_{P_0}$ ;

$D_{P_0}$  – расстояние до опорной точки,

$R_{P_0}$  – степень достоверности определения расстояния до  $P_0$ ;

$D_P$  – расстояние до  $P$ ;

$R_P$  – степень достоверности определения расстояния до  $P$ .

Итерации продолжают до тех пор, пока в сетке присутствует хотя бы одна точка с неопределенным расстоянием. К особенностям данного подхода относится тот факт, что он не изменяет количество различных значений расстояний до точек. Это является оправданным с точки зрения самой методики определения расстояния до объектов по фокусированию объектов на изображении, так как, изменяя фокусное расстояние дискретно, мы можем получить лишь дискретное изменение данных о дальности для объектов. В результате полученная сетка глубины будет обладать той же дискретностью, с которой был снят эксперимент.

Достоинства метода:

- ◆ отсутствие необходимости в структурированном источнике освещения или каком-либо другом средстве активного воздействия на сканируемое пространство, что снижает требования к внешнему освещению;
- ◆ использование объективов с малым значением диафрагмы, обусловленное требованием к малой глубине резкости означает, что объектив обладает большой светосилой, и, следовательно, может производить сканирование в условиях худшей освещённости без использования дополнительных источников света;
- ◆ сканирование осуществляется с одной точки, без необходимости смены ракурса, благодаря чему нет необходимости точно выверять относительное положение камеры на различных снимках, или же использовать несколько камер, жёстко закреплённых друг относительно друга, что в первом случае повышает точность сканирования, а во втором – снижает необходимые габариты устройства;
- ◆ отсутствие необходимости сопоставления образов, как в методе построения модели по двум статичным изображениям.

Недостатки метода:

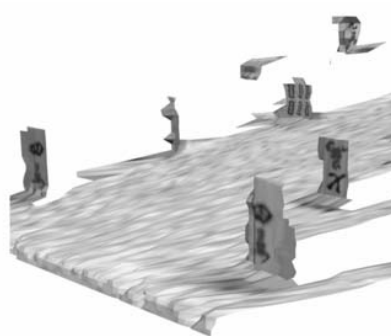
- ◆ для работы требуется высококачественный объектив, так как, требуемые характеристики присущи крупногабаритным и дорогостоящим моделям;
- ◆ при использовании объектива небольших габаритов, сканирование можно осуществлять только в пределах 10-20 метров от точки съёмки;
- ◆ существование проблем с определением расстояния до неконтрастных ровных поверхностей, связанных с тем, что не представляется возможным судить об их расположении внутри или вне зоны фокусировки.

Полученная сетка высот может быть представлена в виде трехмерной текстурированной поверхности, соответствующей пространству, расположенному в поле зрения объектива.

Предложенная методика была успешно апробирована в рамках широкой серии модельных экспериментов, подтвердивших возможность построения средств измерения расстояний и создания трехмерных сцен на основе эффекта расфокусирования объектов на изображении (рис. 1).



а



б

Рис. 1. Внешний вид полигона на котором производился эксперимент – а; построенная поверхность – б

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Chaudhuri S. and Rajagopalan A. Depth from defocus: a real aperture imaging approach, Springer Verlag, 1999.
2. Pentland A. A new sense for depth of field. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 9:523-531, 1987.

УДК 621.311.001.57

**В.Е. Высоцкий, А.А. Андреев, В.Д. Привалов, А.С. Гуртов, А.Н. Филатов**

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ МОДЕЛИРУЮЩИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ  
РАЗРАБОТКИ, ИССЛЕДОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА СИСТЕМ  
ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ АВТОНОМНЫХ ОБЪЕКТОВ**

Системы автономного электропитания (СЭП) относятся к разряду сложных динамических систем. Качество их функционирования во многом определяет живучесть и работоспособность объекта в целом, а масса и стоимость СЭП существенно влияют на его основные характеристики. Кроме того, значительная доля затрат необходима на стадии разработки и испытаний опытных образцов и готовых изделий [1, 2].

Несмотря на значительные преимущества аналитических методов разработки СЭП, они имеют ограниченную достоверность. Поэтому отдельные стадии разработки систем требуют обязательного использования физических элементов или физических моделей элементов СЭП. Сочетание вычислительных средств и методов с методами физического моделирования является естественным и необходимым при разработке автономных систем. В данной статье ставится и решается задача наиболее рационального сочетания этих методов.

Для решения задач разработки и исследования автономных СЭП предложен физико-математический моделирующий комплекс (ФММК).

ФММК рассматривается как универсальная моделирующая система, состоящая из комплекса программно-информационных средств математического моделирования и комплекса аппаратно-программных средств физико-математического моделирования СЭП автономных объектов. Он позволяет сформировать модель объекта исследований, модели внешних возмущающих факторов, исследовать на модели объекта испытаний поведение СЭП в различных режимах, а также предоставить пользователю средства формирования и ведения баз данных информационно-методической поддержки проектирования, отработки и эксплуатации системы.

Комплекс аппаратно-программных средств физико-математического моделирования рассматривается как совокупность физических моделей СЭП, образцов реальной аппаратуры и имитаторов внешних воздействующих факторов, математических моделей. С его помощью осуществляется расчет характеристик автономной СЭП при учете зависимостей параметров физических моделей от внешних условий, длительности функционирования, а также расчет элементов согласования физических и математических моделей и комплекса управления, позволяющего проводить отработку полномасштабных экспериментальных установок.

Данная структурная схема позволяет отказаться от проведения экспериментальной отработки СЭП на натуральных установках без потери достоверности и качества.

Структурная схема экспериментальной установки для обработки СЭП с использованием физико-математического моделирования приведены на рис. 1.