

Методы метапрограммирования в компьютерном зрении: 7-точечный алгоритм и автокалибровка

О.С.Сидоркина, Д.В.Юрин
Факультет вычислительной математики и кибернетики
Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия
sidorkina_olga@mail.ru, yurin_d@inbox.ru

Аннотация

Неогъемлемой частью практически всех систем восстановления трехмерных сцен является 7-точечный алгоритм, линейная задача автокалибровки также часто используется в таких системах. Эти задачи включают в себя вычисление коэффициентов полинома (3 или 4 степени) задаваемого как детерминант линейной комбинации двух матриц. Показано, как с помощью методов метапрограммирования на C++, для этой специфичной для области компьютерного зрения технической задачи построить решение с помощью компактного и ясного кода, значительная часть которого выполняется в момент компиляции программы до ее исполнения. Результатом компиляции является близкий к оптимальному ассемблерный код без циклов и условных переходов, реализующий вычисления по явной формуле, построенной компилятором. С детальным пояснением методов и алгоритмов приведен полный и переносимый исходный код, готовый к использованию при решении практических задач.

Keywords: 7-ми точечный алгоритм, автокалибровка, метапрограммирование, C++

1. ВВЕДЕНИЕ

Традиционным языком программирования в задачах компьютерного зрения и компьютерной графики является C++. Этот выбор обусловлен высокой вычислительной сложностью характерных задач. Однако, в настоящее время, наблюдается разрыв между огромными возможностями современных C++ и компиляторов и используемыми техниками программирования, зачастую берущими начало от языка C или «C с классами». Тем не менее, постепенно современные методы программирования проникают и в область компьютерного зрения, иногда – неявно, через используемые библиотеки, например матричных вычислений, таких как uBlas из библиотеки Boost [1], а в ряде случаев появляются разработки, специализированные для задач компьютерного зрения. В качестве таких положительных примеров можно отметить библиотеку VIGRA [2,3] и алгоритмы на основе минимизации энергии на графах [4,5], включенные в настоящее время в библиотеку Boost.

Настоящая работа посвящена некоторым техническим аспектам проблемы восстановления трехмерных сцен, а именно задачам вычисления фундаментальной матрицы по междукадровым точечным соответствиям [6, pp. 281, 291] с помощью 7-точечного алгоритма и автокалибровке с помощью абсолютной дуальной квадрики [6, p. 465]. В обоих случаях математически задача формулируется следующим образом. Ищется решение системы линейных уравнений

$$C\bar{x} = 0 \quad (1)$$

с помощью сингулярного разложения как правые собственные векторы, принадлежащие нуль-пространству матрицы C . Количество уравнений на два меньше, чем число переменных, поэтому в нуль-пространстве оказываются два собственных вектора и общее решение выражается их линейной комбинацией. Компоненты искомого вектора \bar{x} – суть элементы фундаментальной матрицы F для первой задачи и элементы матрицы абсолютной дуальной квадрики Q_∞^* для второй. Для того чтобы свести задачу к линейной, в системе уравнений (1) наложены не все ограничения. Матрица F имеет размер 3×3 , определена с точностью до множителя и имеет ранг 2, а матрица Q_∞^* имеет размер 4×4 , симметрична (это требование учтено при построении системы (1)) и удовлетворяет условию $\det Q_\infty^* = 0$. Формируя из двух векторов нуль-пространства матрицы C две матрицы X_1 и X_2 , решение, удовлетворяющее всем ограничениям, ищется как $X = (1 - \lambda)X_1 + \lambda X_2$, где λ удовлетворяет уравнению $\det((1 - \lambda)X_1 + \lambda X_2) = 0$. Это алгебраическое уравнение 3 или 4 степени (для F или Q_∞^* соответственно) можно переписать в виде:

$$\det(A + \lambda B) = 0 \quad (2)$$

где $A = X_1$, $B = X_2 - X_1$.

Однако здесь возникает техническая сложность: по известным матрицам A и B вычислить коэффициенты полинома (2). Обычно используется один из двух подходов. 1) написать численный алгоритм, 2) получить явные выражения для коэффициентов через элементы матриц с помощью программ аналитических вычислений (Maple, Mathematica). Первый подход обычно связан с выполнением «лишних» вычислений, что неприемлемо при погружении 7-точечного алгоритма внутрь процедуры RANSAC. Второй подход требует использования дорогостоящего программного обеспечения и ведет к объемному, трудночитаемому и некрасивому коду на C. В настоящей работе предлагается третий подход вычисления коэффициентов таких полиномов (2), основанный на технике метапрограммирования в C++ [7]. Суть подхода можно сформулировать как «заставить компилятор построить явные выражения для коэффициентов полинома во время компиляции».

2. АЛГОРИТМ

Объем публикации в формате POSTER не позволяет сколь угодно подробно представить материал. Однако полный 8-страничный вариант статьи может быть найден:

1. На диске с трудами конференции в электронной форме.
2. Будет выложен в трудах конференции на сайте <http://www.graphicon.ru>
3. На сайте лаборатории Математических методов обработки изображений по адресу http://imaging.cs.msu.su/~yurin/notes_on_CVision.html

Полный вариант статьи содержит исходные коды на C++ с детальными пояснениями всех алгоритмов, способами модификаций, применения и тестовыми примерами.

Приведенные листинги являются *полными*, будучи собранными (Copy-Paste из текста статьи) вместе, компилируются, верно работают и могут быть использованы при решении практических задач, даже без детального понимания кода.

Просмотр дизассемблированного кода показывает отсутствие вызовов функций, циклов, условных и безусловных переходов. Кроме считывания значений элементов матриц, все вычисления проходят в регистрах SSE.

3. БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 09-01-92470-МНКС_а, 09-07-92000-ННС_а. Авторы выражают благодарность инженеру фирмы Sensor-IC (Москва, Зеленоград) Осипенко А.С. за плодотворные обсуждения методов сигнализации об ошибках во время компиляции и помощь в тестировании кода на UNIX-платформах.

4. ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Boost libraries*. <http://ww.boost.org>
- [2] U.Köthe. *STL-Style Generic Programming with Images // C++ Report Magazine 12(1), pp. 24-30, January 2000.* <http://kogs-www.informatik.uni-hamburg.de/~koethe/>.
- [3] U.Köthe, K.Weihe. *The STL Model in the Geometric Domain // in: M. Jazayeri, R. Loos, D. Musser (Eds.): Generic Programming, Proc. of a Dagstuhl Seminar, Lecture Notes in Computer Science 1766, pp. 232-248, Berlin: Springer, 2000*
- [4] Y.Boykov, V.Kolmogorov. *An Experimental Comparison of Min-Cut/Max-Flow Algorithms for Energy Minimization in Vision // In IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 26, no. 9, pp. 1124-1137, Sept. 2004* <http://www.csd.uwo.ca/faculty/yuri/Abstracts/pami04-abs.html>.
- [5] http://www.boost.org/doc/libs/1_39_0/libs/graph/doc/kolmogorov_max_flow.html
- [6] R.Hartley, A.Zisserman. *Multiple View Geometry in Computer Vision // Cambridge University Press, 2004. - 672 p.*
- [7] А. Александреску. *Современное проектирование на C++ // Серия C++ In-Depth, т.3.:Пер. с англ. -М.:Издательский дом "Вильямс",2002. -336 с. ил. -Парал. тит. англ.*
- [8] Г.Уоррен, мл. *Алгоритмические трюки для программистов // Пер. с англ. -М.:Изд. Дом «Вильямс», 2003. -288 с.:ил. -Парал. тит. англ.*

Об авторах



Сидоркина Ольга Станиславовна– аспирантка лаборатории Математических методов обработки изображений факультета Вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова. sidorkina_olga@mail.ru



Юрин Дмитрий Владимирович, к.ф.-м.н., с.н.с. лаборатории Математических методов обработки изображений факультета Вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова. yurin_d@inbox.ru

Metaprogramming Techniques in Computer Vision: 7-point Algorithm and Auto-calibration

Olga S. Sidorkina, Dmitry V. Yurin
Department of Computational Mathematics and Cybernetics

Moscow State University, Moscow, Russia
sidorkina_olga@mail.ru, yurin_d@inbox.ru

7-point algorithm is an essential part of almost all 3D reconstruction systems based on images set. Frequently, a linear auto-calibration algorithm is a part of such systems too. Both algorithms include coefficients calculation of 3-d or 4-th order polynomial defined as determinant of linear combination of two matrices. We show how with metaprogramming techniques in C++, this specific for computer vision problem can be solved with compact and clear code. A significant part of this code executes in the compile time. The result of the code compilation is near optimal assembler code without loops and jumps, implementing calculation with direct formula, constructed by compiler. Ready-to-use complete C++ code is given with detailed methods and algorithms description.

Keywords: 7-point algorithm, auto-calibration, metaprogramming, C++

About the authors

Olga S. Sidorkina is a PhD student at Laboratory of Mathematical Methods of Image Processing, Chair of Mathematical Physics, Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics, Moscow Lomonosov State University. Her contact email is sidorkina_olga@mail.ru

Dmitry V. Yurin, PhD, is a senior scientist at Laboratory of Mathematical Methods of Image Processing, Chair of Mathematical Physics, Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics, Moscow Lomonosov State University. His contact email is yurin_d@inbox.ru