

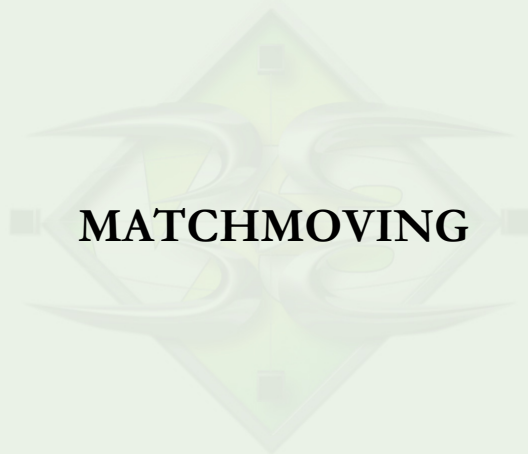


## 3D EQUALIZER

the cutting edge of matchmoving



SCIENCE-D-VISIONS



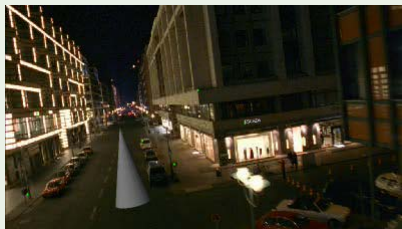
# MATCHMOVING

## Введение

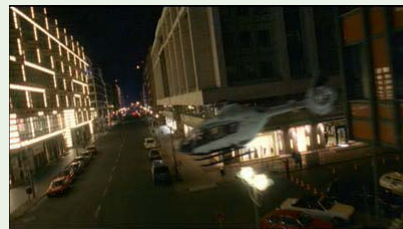


source sequence

Создание большинства современных спецэффектов было бы невозможно без совмещения движения и геометрии сцены виртуальной со сценой реальной. Технология, давшая возможность совмещать реальный и виртуальный миры получила название "match moving".



matchmoving



final sequence

## Терминология

Match moving ("camera tracking", "3d tracking", "3d tracing") – это процесс вычисления трехмерной траектории камеры и ее параметров, а так же положений объектов в сцене (в том числе, и движущихся) на основе уже отснятых изображений. Match moving является разделом проективной геометрии.

Трэкинг – процесс автоматического отслеживания точки или серии точек в изображении от кадра к кадру. Сама концепция трэкинга появилась в американском министерстве обороны в начале 80-х годов. Первый опыт применения трэкинга в VFX состоялся в 1985 году в серии рекламных роликов для National Geographic.

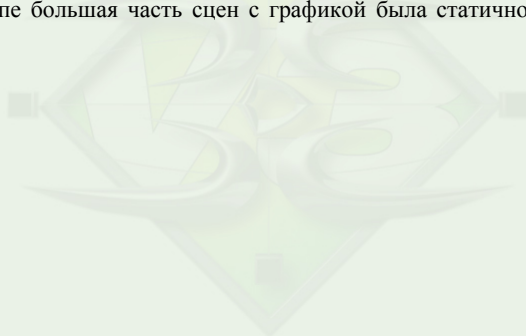
Проективная геометрия – это раздел геометрии, изучающий проективные свойства фигуры (в частности, проекция на плоскость – плоскостная проективная геометрия). Проективная геометрия появилась в 4 веке до нашей эры, а ее законы позволяют создавать сложные визуальные эффекты в наши дни.

## Этапы развития технологии

### *Этап 1. Руки, руки, и еще раз руки.*

На этом этапе существовал только один способ совмещения – ручной. В данном случае, профессиональный matchmover успевал делать трэкинг 80-90 кадров в день и при этом трэкинг не был точным.

На этом этапе большая часть сцен с графикой была статичной (без движения камеры).



## Этапы развития технологии

### *Этап 2. Аппаратный. Motion Control Systems.*

Десять-двенадцать лет назад программного трэкинга камеры не существовало как такового. Первый пакет программного трэкинга камеры gas\_track появился в 1996 году (в 1998 году разработчики получили Technical Achievement Award).

Motion Control Camera. Когда мы говорим об аппаратных системах, то подразумеваем прямое получение трехмерных данных с датчиков. Motion Control системы обладают поразительными возможностями и высокой точностью, успешно сочетающейся с не менее высокой ценой.



## Этапы развития технологии

### *Этап 3. Программно-аппаратный.*

Системы Motion Control по-прежнему актуальны во многих ситуациях, но значительная часть процесса совмещения перенесена на программную основу. Ввиду дешевизны и удобства программной реконструкции трехмерных данных этот способ получил огромное количество сторонников. Когда мы говорим о программном трэкинге, то подразумеваем реконструкцию трехмерных данных. Ниже приведен список основных продуктов на этом сегменте рынка.

#### **Доступные коммерческие и бесплатные системы**

3DEqualizer

BouJou

Match Mover

PFTrack

SynthEyes

VoodooCameraTracker

#### **Закрытые In-House системы**

MARS (Motion and Structure Recovery System)

TRACK



## Эволюция программных систем

Изначально появился так называемый "survey-base tracking". Название обусловлено тем, что пользователь должен был знать трехмерное положение каких-то точек в пространстве (например, углы зданий). Затем указывалась их локализация в двухмерном пространстве изображения и проводился двухмерный трэкинг. И тогда программа строила трехмерную точечную модель на основе соотношения двухмерных позиций точек на изображении и их трехмерных координат.

В процессе эволюции технологий, появился "survey-free tracking". Трэкинг при котором не требуется знание каких-то трехмерных координат в снимаемой сцене. Первым продуктом из "survey-free" систем считается 3D Equalizer (в 2001 году разработчики получили Scientific and Engineering Award). Для построения трехмерной точечной модели используется алгоритм "Structure From Motion". При использовании этого алгоритма сначала происходит двухмерный трэкинг структур изображения, а затем на основе двухмерных точек происходит реконструкция трехмерных данных.

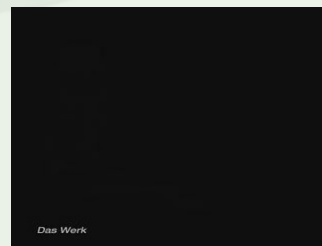
[3DE\\_reel](#)

## Применение 3D Equalizer

**Виртуальные (CG) объекты, помещенные в реальную среду.** В создании архитектурной визуализации такие объекты используются для добавления частей зданий, отдельных строений или целых городов в реальное фото или видео изображение. Используя сходные методы, с помощью "CG-протезирования" или виртуальной "косметики" (make-up) можно добавлять актерам в отснятой сцене некоторые интересные особенности. Например, крылья...



**Реальные объекты, помещенные в виртуальную (CG) среду.** Примером этого может служить движение живого актера по созданной на компьютере студии. В ТВ-студиях часто применяются "virtual sets" для решения подобных задач, требующих большого количества дорогих и сложных устройств. Однако сейчас эти задачи можно решить на пост продакшене, так как используя 3DE можно быстро воссоздать движение.

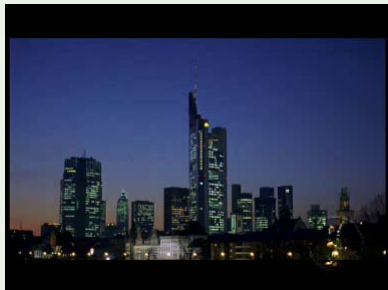


## Применение 3D Equalizer

**Реальные объекты, помещенные в реальную среду.** Изображения, сочетающие различные реальные элементы, выглядят неубедительно, если масштабы и перспективы всех элементов слишком сильно отличны друг от друга. Реальная окружающая среда снимается на камеру. Затем вся информация о движении воссоздается в 3DE и передается на программно-управляемую motion control camera, которая снимает другие реальные объекты для интеграции в первичную реальную среду.

**Стабилизация.** Вы, конечно, смотрели фильмы из серии "Matrix", в которых активно применялась технология "*bullet time*" (или "slice of life"). В основе технологии лежит одновременная съемка одной сцены большим количеством фотокамер. Информация о движении и точечная модель, экспортированная из программы 3DE исключает любые произвольные сдвиги положения и ориентации группы камер, для того чтобы кадр получился безупречным.

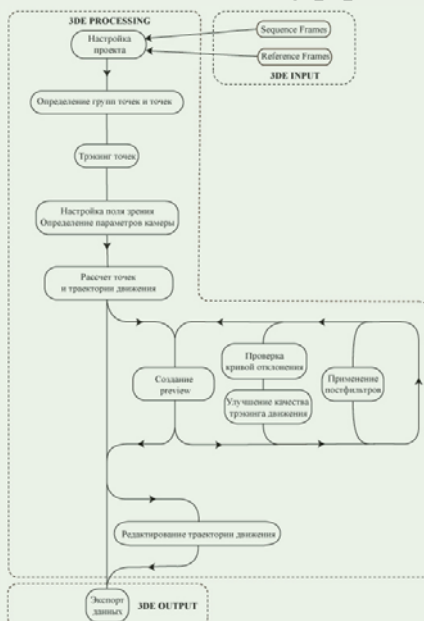




Поддерживается импорт всех основных форматов.

Экспорт трехмерных данных возможен во все современные пакеты трехмерной графики и композитинга.

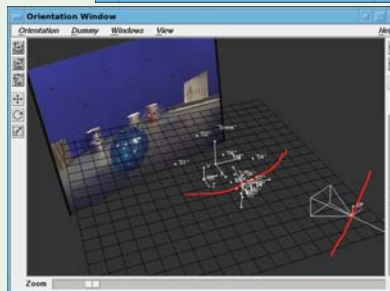
## Matchmoving pipeline



## Группа точек камеры и объектов

Для разделения различных движений в 3DE существует 3 типа групп точек:

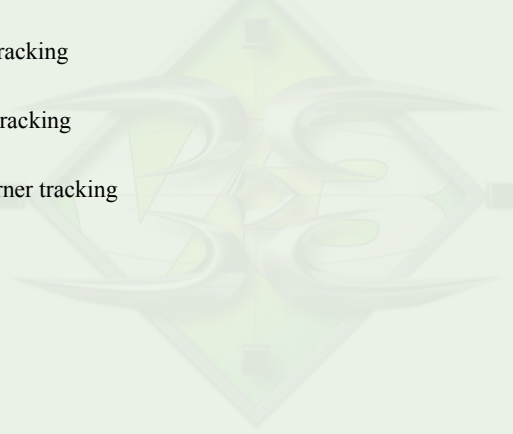
1. Camera Point Group
2. Object Point Group
3. Motion Capture Point Group



## 2d трэкинг в 3D Equalizer

Существует 3 типа 2d трэкинга в 3DE:

1. Pattern tracking
2. Marker tracking
3. Edge/corner tracking

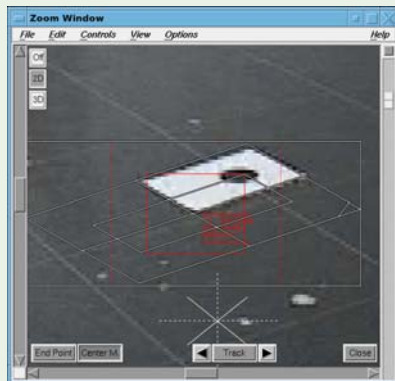


## Pattern-tracking

Основной принцип трэкинга точки таков: пользователь определяет положение точки на экране в определенном кадре (например, кадре  $j$ ).

Программа пытается отыскать "*search pattern*", заданную в кадре  $j$ , сканируя "*search area*" вокруг predeterminedной точки в кадре  $j+1$ .

Reference pattern отображает трансформацию образца во время трэкинга (см. рисунок ниже).



## Marker-tracking

Представим себе точку на поверхности. Эта точка будет маркером, если:

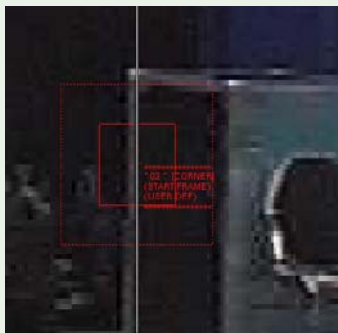
- точка одноцветна и симметрична относительно центра
- поверхность одноцветная и ровная



## Edge/corner-tracking

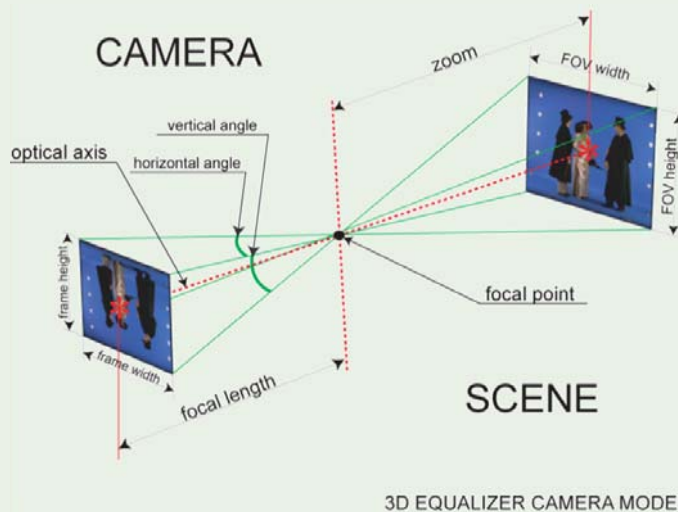
Этот тип трэкинга способен определять контрастные края объектов, а так же пересечение двух контрастных краев (углы на объектах).

Если вам нужно притрэкаться к стыкам пола и стен, ребрам прямоугольной колонны, или к однотонной стенке грузового фургона – то этот метод просто идеален.



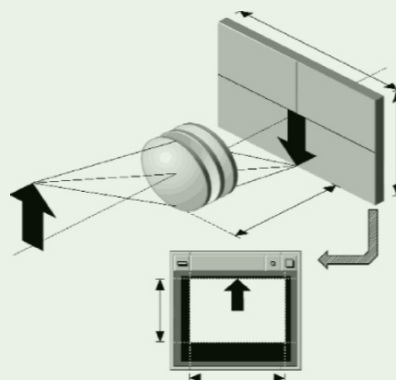
## Сущность программной реконструкции данных

При реконструкции камеры и объектов используются формулы проективной геометрии. Законы проективной геометрии допускают как прямой ход лучей (съемка объектов на камеру), так и обратный (реконструкция данных объектов).



## Определение параметров камеры

Камера программы 3DE имеет 14 параметров. 5 из них относятся к линзовому искажению. Они позволяют очень точно настроить и реконструировать виртуальную камеру соответственно камере, на которую сцена была снята.



## Условия успешной реконструкции данных

Для успешной реконструкции трехмерных данных пользователь должен предоставить программе достаточное количество информации.

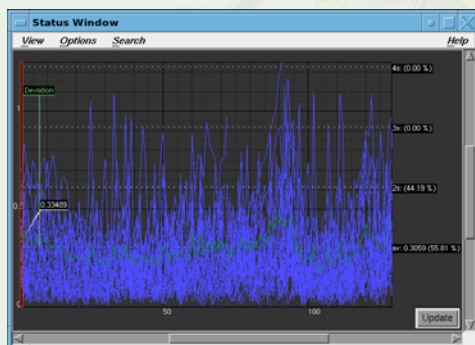
Общие условия, необходимые для воссоздания движения камеры или объекта таковы:

1. Все детали ("*features*"), положение которых определяется с помощью точек, используемые для воссоздания камеры должны быть неподвижны по отношению друг к другу.
2. В каждом кадре, на экране должно быть как минимум 4 точки.
3. Всего должно быть не менее 6 точек.
4. Как минимум в двух кадрах эти 6 точек должны размещаться на экране, они называются корневыми кадрами ("*rootframes*").

## Анализ полученных результатов

В отличие от большинства matchmoving систем с автоматическим трэкингом в 3DE вам предоставлены мощные средства для анализа полученных результатов. Кроме того, вы можете использовать автоматические алгоритмы выявления плохо отслеженных точек.

Для анализа качества реконструкции применяется тест на отклонение проекции трехмерной точки на экран относительно соответствующей точки трэкинга.



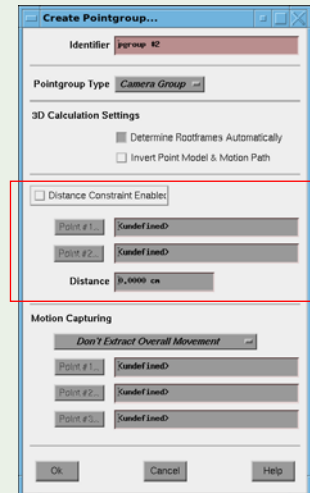
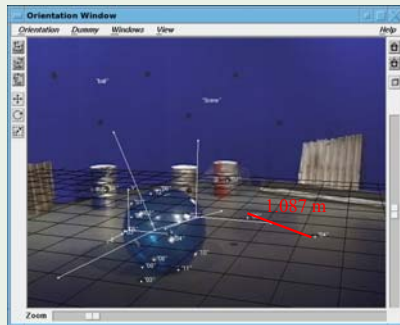
В результате теста вычисляется отклонение полученной трехмерной точки в каждом кадре.

Для количественной оценки качества трэкинга применяется метод 6 сигм, популярный критерий качества при бизнес прогнозировании. Идеальное качество – отклонение не выходящее за первую сигму. При сигме около 6 – качество наихудшее.

## Масштаб и ориентация геометрии в сцене

Для того, чтобы можно было манипулировать с реальными размерами при последующей работе в пакете трехмерной графики, обязательно необходимо совмещение масштабов сцены реальной и виртуальной.

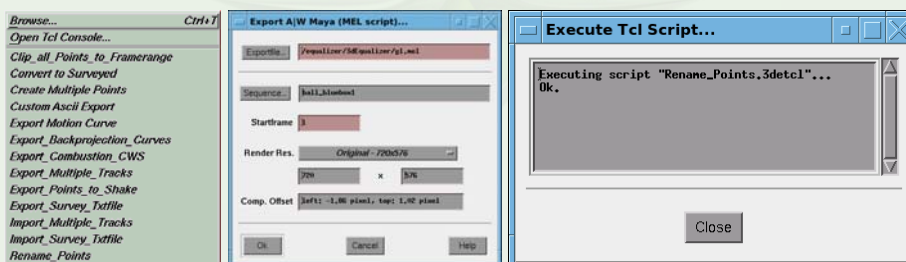
Кроме масштаба сцены, крайне желательно правильно ориентировать точки относительно земли (пола и т.д.).



## Экспорт данных и скриптинг

Последним этапом является экспорт реконструированных и подготовленных данных в пакет трехмерной графики или композитинга.

Встроенный скриптовый язык программирования на основе TCL/TK позволяет Вам изменять интерфейс программы, автоматизировать рутинные операции и писать собственные экспортеры в любые пакеты.



## Проблемы при matchmoving

На данном этапе развития существуют две основные программные проблемы:

1. Камера закрепленная на треножнике.

В результате трэкинга камеры с “position constraint”. Вы получаете набор точек сферически распределенных в пространстве и такая точечная модель не отражает реальной геометрии сцены.



2. Точки лежат перпендикулярно камере и перспектива мало изменяется на протяжении всей секвенции.

Эта проблема еще более неприятная, чем первая. Здесь речь идет уже о невозможности программным вычислительным ядром получить корректные результаты.



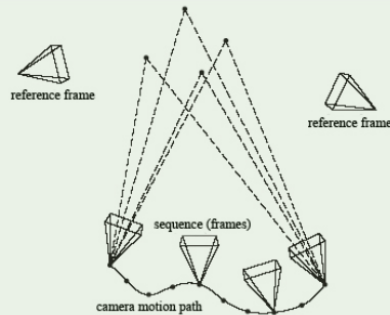
## Решение проблем при matchmoving

В 3DE существует три основных способа борьбы с некачественной реконструкцией:

1. Reference frames
2. Редактирование полученной траектории движения
3. Применение пост-фильтра

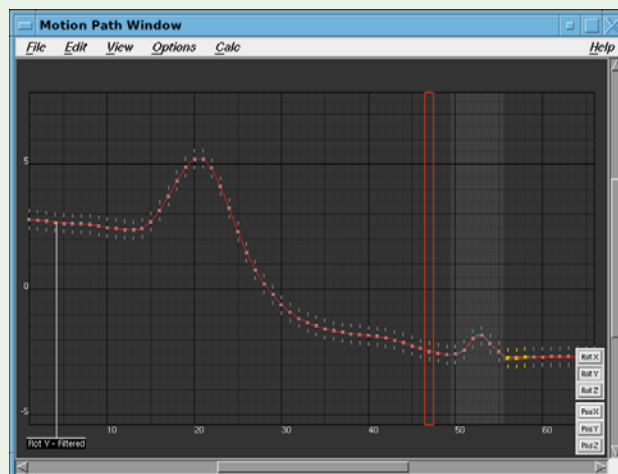
## Reference frames

reference frames – это кадры снятые в той же сцене, что и основная секвенция и служащие для уточнения положения точек в пространстве.



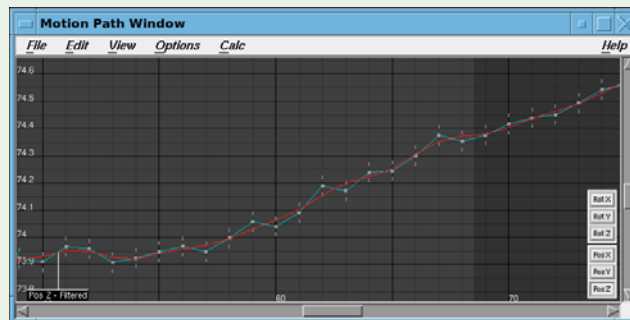
## Редактирование траекторий движения

Предположим, что необходимое число точек отслежено, а параметры камеры верны. Тем не менее остался один или несколько кадров, в которых положение и вращение камеры неверное, и Вы хотите исправить это вручную перед тем, как экспортировать информацию.



## Post-filter

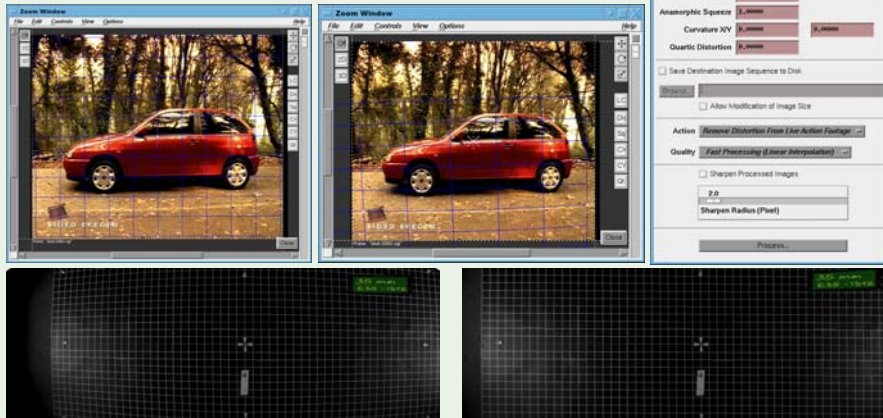
Суть постфильтрации состоит в следующем: во время процесса реконструкции гладкость траектории движения теряется. Задачей постфильтра является - восстановить эту информацию, не слишком искажая реконструированную траекторию движения. Для этого программа 3DE использует анализ и синтез Фурье ("*Fourier analysis and synthesis*"). Траектория движения камеры является наложением циклических движений разной частоты. Если траектория движения колеблется, значит есть много высокочастотных движений, которые оказывают неконтролируемое влияние на траекторию. Цель анализа Фурье – найти силу (амплитуду) каждой частоты.



## Линзовое искажение, WarpDistort, grid shot

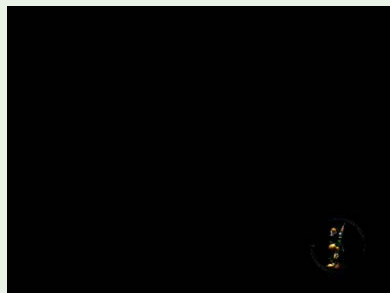
Часто при съемке получается изображение с линзовым искажением. Для того что бы избавиться от него или добавить его к просчитанной трехмерной сцене, в версию 3DE film включена программа WarpDistort.

Она извлекает информацию о линзе из сцены, в которой вы уже реконструировали линзовое искажение



# MOTION CAPTURE

## Типы современных motion capture систем



магнитные

Замеряется расстояние от датчика до слабого электро-магнитного поля.

Это громоздкие системы, с высокой ценой и низкой помехоустойчивостью.



механические

Самые недорогие из существующих систем motion capture. Но при этом они помехоустойчивы и отлично переносят движение скелета на трехмерную модель.

## Типы современных motion capture систем



### Оптические

В основе лежит система построенная на инфракрасных датчиках и фиксирующих камерах (от 1 до 16). На сегодняшний день это наиболее современные и используемые системы. Они очень масштабируемые и помехоустойчивые.



## Софтверный Motion Capture

Софтверный motion capture – это неплохой способ сэкономить на дорогостоящем оборудовании.

В отличие от аппаратных real-time систем, при софтверном moCap сначала происходит съемка видео, а затем трэкинг точек и построение moCap модели.

При софтверном moCap важно правильно подобрать количество камер и их расположение.

Кроме того, очень большое значение имеет качественная синхронизация камер.

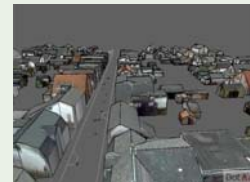
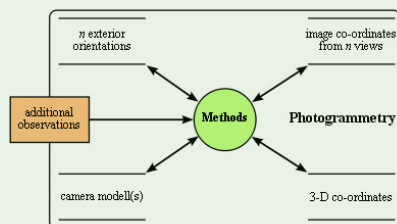


# PHOTOGRAMMETRY

«image modeling»

## Терминология

Фотограмметрия (от греч. Phos - свет + Gramma - запись + Metro - измеряю) - определение форм, размеров и положения объектов по их фотографическим изображениям. В современной CG, Image Modeling – построение трехмерной модели на основе фотографических изображений.



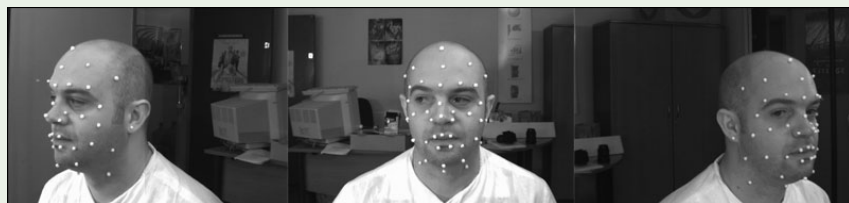
## Introduction to Photogrammetry

<http://www.univie.ac.at/Luftbildarchiv/wgv/intro.htm>

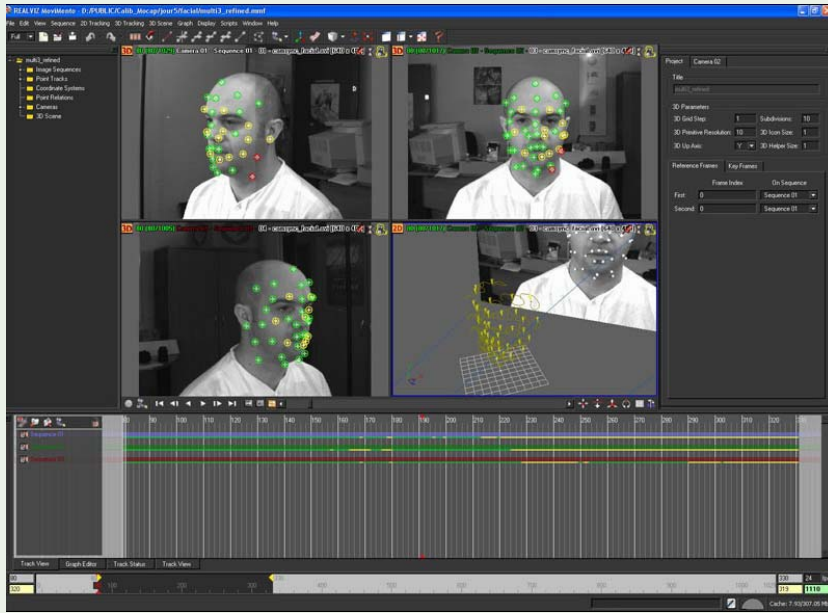
# Matchmoving

SIGGRAPH 2006

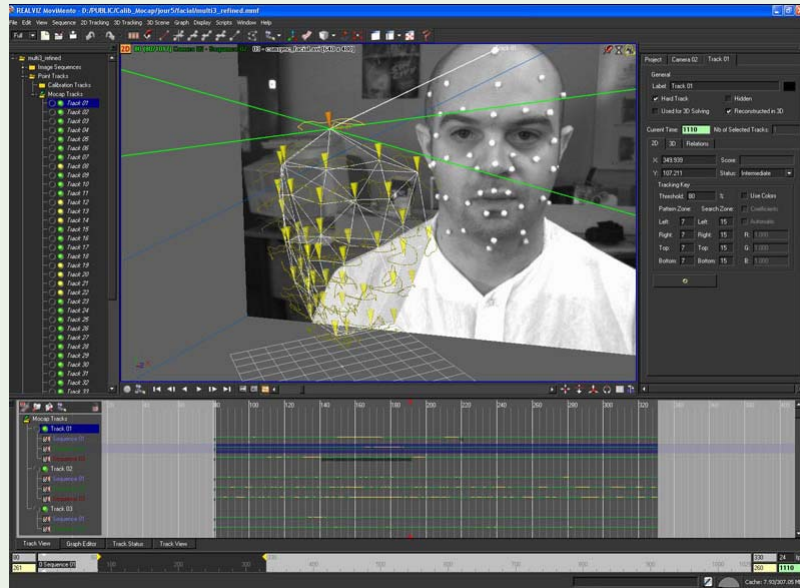
## Movimento



# Movimento



# Movimento



## SynthEyes 2007



*ULTRA LOW COAST FOR  
MATCHMOVING SOLUTION*

*The primary focus has been smarter, faster, and more robust auto-tracking, also including optimization for multiple cores and processors. Other new features include a green-screen tracking feature, 3-D curve finding, and UI improvements such as more right-click menus. A new exporter lets you do architectural visualization using Bentley MicroStation.*



## Boujou 4.0



### **FASTER, BETTER CAMERA SOLVES**

*An improved solver, more feedback and more tools enable you to exploit everything in the shot. Solve from an approximate camera path – boujou 4 can improve an existing camera path by filling in the gaps or by optimizing the camera position.*

### **MODEL-BASED CAMERA AND OBJECT TRACKING**

*Object tracking – if you don't have much parallax in a shot it can be difficult to get a good camera solve. boujou 4 enables you to import 3D objects. By importing 3D objects camera solves can then be created based on the correspondence between feature tracks and faces of a polygon mesh.*

*Survey points – Import survey information in the form of a 3D mesh to improve the accuracy of a 3D solve.*

*Eyeballing – Very occasionally boujou can't get the camera position correct. boujou 4 enables you to import a 3D object to eyeball the approximate camera positions in certain frames. boujou can then work out the camera position in the whole shot.*

### **IMPORT AND EXPORT 3D MESHES**

*Import your test objects to assess the quality of your shots. Export a 3D mesh of the 3D points calculated in boujou enabling you to create shadow casting objects or 3D terrain.*

### **SCRIPTING AND EXTENDED COMMAND SET**

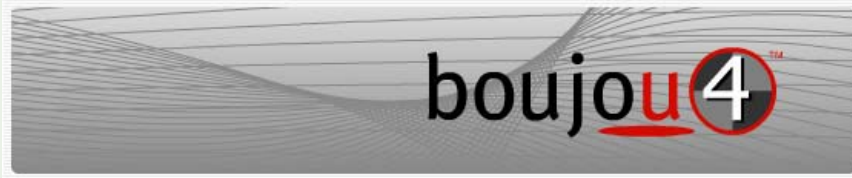
*Access boujou's core functionality with embedded scripting. Create your own import and export formats.*

*Control the number of 3D points generated by boujou. Reduce the number of 3D points so that only the most accurate are exported. Export more 3D points to make a more detailed mesh.*

### **GUI IMPROVEMENTS**

*boujou 4's interface has been re-designed for a much smoother workflow*

## Boujou 4.0



## 3DEqualizer V3R6B4

- new "lock positional channels constraint" (only calculate rotations)
- new TCL commands to import 3D pos. & rot. data (e.g. for importing Kuper files)
- two additional postfilter modes introduced that do not cause any oscillation
- "offset" tracking
- multithreaded already existing code: image buffer decompression & autotracking
- new image controls window (fully multithreaded, color keyer, freeform/spline curves, color control sliders & blur/sharpen)
- several user interface improvements
- Mac OSX/Intel supported