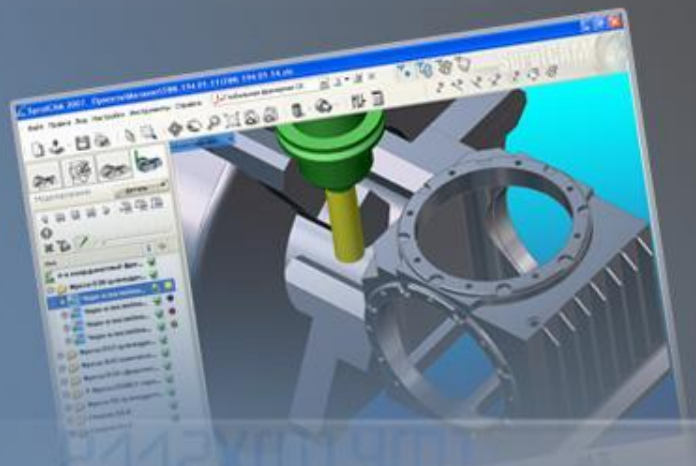
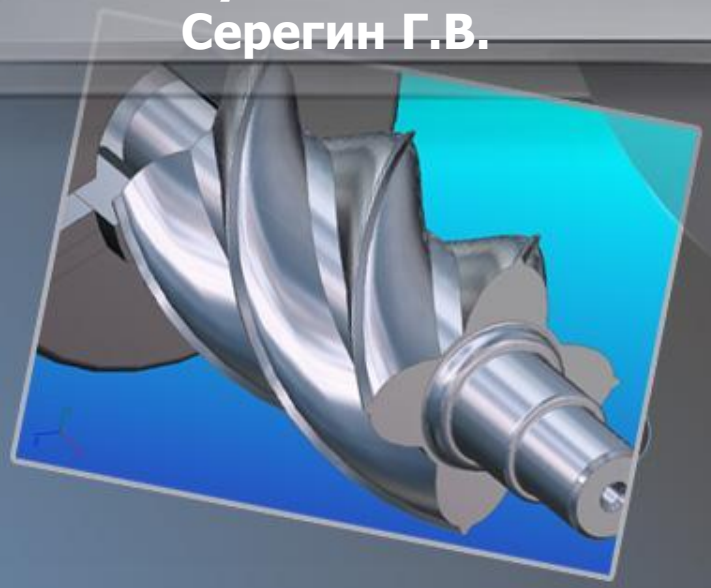


современные методы программирования для станков с ЧПУ

д.т.н., проф. Евгенев Г. Б.
Кузьмин Б.В.
Серегин Г.В.



Геометрические ядра CAD-систем

Обменные форматы между CAD и CAM системами

Геометрические ядра

Основные понятия о ядре
Ядро - это библиотека основных математических функций CAD-системы, которая определяет и хранит 3D-формы ожидая команды пользователя.

Лицензируемые ядра
Лицензируемые ядра геометрического моделирования разработаны и поддерживаются одной компанией, которая лицензирует их другим компаниям для их CAD-систем

Частные ядра
Частные ядра геометрического моделирования разрабатываются и поддерживаются разработчиками CAD-систем для использования исключительно в своих приложениях.

Ядра, доступные в исходном коде
Ядра, доступные в исходном коде подобны лицензированным ядрам. Они также разрабатываются и поддерживаются одной компанией и затем лицензируются другим компаниям для использования в CAD-приложениях.
Отличие стоит в том, что эти разработчики обеспечиваю исходный код ядра. Для пользователей которые имеют группы разработки и хотят сами настраивать ядро системы очень удобно иметь возможности настройки, поскольку исходный код доступен.

Геометрические ядра
ACIS 3D Geometric Modeler (Spatial/Dassault Systemes)

ACIS - это объектно-ориентированная C++ геометрическая библиотека, которая состоит из более чем 35 DLL-файлов и включает каркасные структуры, поверхности и твердотельное моделирование. Оно дает разработчикам программ богатый выбор геометрических операций для конструирования и манипулирования сложными моделями а так же полный набор булевых операций. Его математический интерфейс Laws Symbolic и основанная на NURBS деформация позволяют интегрировать поверхностное и твердотельное моделирование. Ядро ACIS осуществляет вывод в формат файлов **SAT**, который любая поддерживающая ACIS программа может читать напрямую.

Геометрические ядра Parasolid (UGS)

Parasolid - обеспечивает технологию для твердотельного моделирования, обобщенного ячеистого моделирования, интегрированные поверхности свободной формы и листовое моделирование. Parasolid позволяет разработчикам быстро создавать конкурентоспособные продукты используя эти технологии.

Parasolid поддерживает SMP (многопроцессорное аппаратное обеспечение), что позволяет увеличить производительность.

Parasolid включает более чем 600 объектно-ориентированных функций для приложений под управлением Windows NT, UNIX, и LINUX.

Ядро используется более чем в 230 программных продуктах. В дополнении к формату обмена **XT**, Parasolid позволяет трансляцию и восстановление данных из других систем моделирования с помощью уникальной технологии Tolerant Modeling.

Геометрические ядра
Ядра, доступные в исходном коде

Open CASCADE (Matra Datavision)

Open CASCADE представляет Visual C++ проекты, которые позволяют пользователям компилировать код Open CASCADE на их платформах. Представлен Open CASCADE Application Framework для быстрой разработки приложений 3D моделирования. Компания Open CASCADE обеспечивает специфицированную разработку приложений для индустриальных клиентов и разработчиков программного обеспечения.

SMLib (Solid Modeling Solutions)

SMLib от Solid Modeling Solutions - это набор основанных на NURBS геометрических и топологических библиотек, который существует на рынке семь лет и который используют более чем 200 компаний. SMLib включает обширный набор NURBS-функций криволинейного и поверхностного моделирования а также оптимизированный код для быстрого измерения расстояния между объектами.

Ядро SMLib недавно предоставило новые возможности, включая основанную на топологии сеточную генерацию для двумерных сот, расширенное заполнение и затенение, смещение оболочки и возможности множественного объединения.

SMLib имеет уникальную бизнес-модель, по которой продукт распространяется в форме исходного кода без авторских отчислений.

Интеграция через форматы обмена

Нейтральные форматы обмена данными, такие как IGES, часто вынуждают систему конвертировать разные геометрические представления. Если это возможно, лучше всего полагаться на отправляющую систему, поскольку она имеет доступ к изначальным данным. Это может быть достигнуто путем корректировки IGES в отправляющей системе. Корректировка устанавливает, какие из всех возможных типов данных должны быть использованы в IGES-файле. Некоторые системы имеют готовые наборы IGES-настроек для работы с популярными системами.

Прямая интеграция

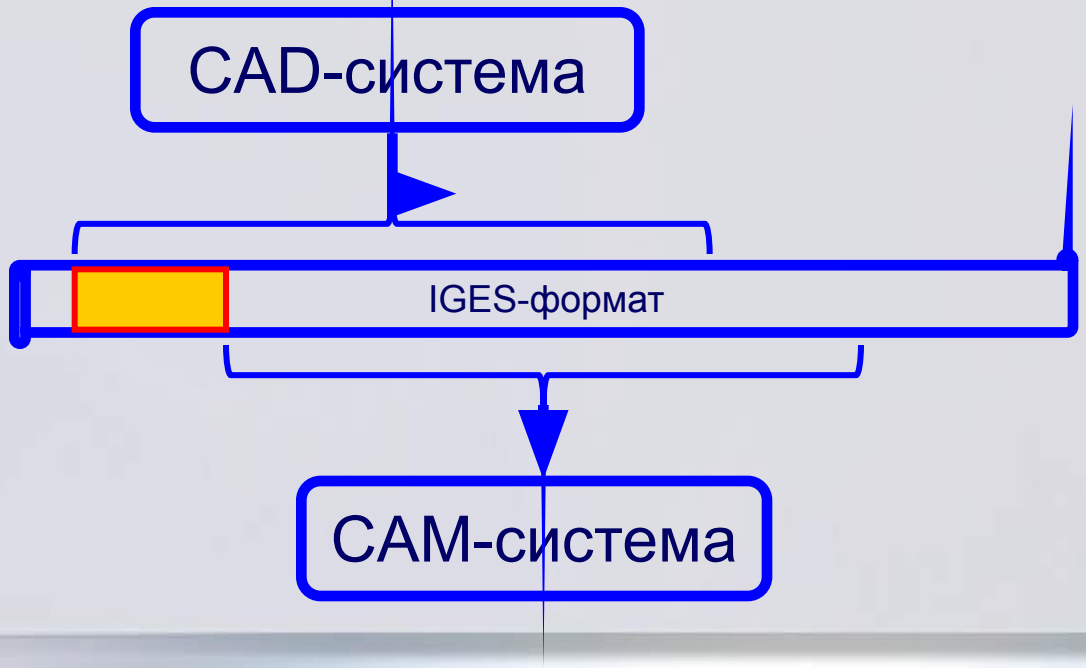
Путь минимизировать потери при конвертации — использование прямых интерфейсов. Прямой интерфейс позволяет одной системе напрямую читать файлы другой.

Проблемы при интеграции CAD- и CAM-систем

Точность:

1. Допуски, используемые при создании модели детали конструктором, грубее, чем допуски при чистовой обработке
2. Потенциальный источник проблем с точностью — это обмен данными. При импорте в CAM-систему происходит преобразование исходного формата в формат представления CAM-системы (триангуляция и т.п.). Желательно, чтобы точность исходной модели была бы в 10 раз выше. Чем, допуск чистовой обработки.

Потеря информации при конвертации:



Стандарт представления геометрической и графической информации IGES

Стандарт IGES (Initial Graphics Exchange Specification) был разработан в США в 1980 году для унификации структуры файлов обмена данными между системами CAD и CAM. Метафайл IGES состоит из 80-символьных записей в коде ASCII (7-bit) и содержит пять секций, каждая из которых имеет свой формат:

- стартовая секция (S);
- глобальная секция (G);
- секция директорий (D);
- секция параметров (P);
- конечная секция (T).

Перечисленные буквенные обозначения секций заносятся в 73 позицию записи, за которой следует порядковый номер записи в секции, начиная с 1.

Стартовая секция (S) имеет свободный формат и содержит информацию для человека.

Глобальная секция (G) также имеет свободный формат и содержит информацию о препроцессоре, создавшем файл, и другие данные, необходимые постпроцессору для правильной интерпретации информации.

Секция директорий (D) содержит по одному входу для каждой сущности модели. Каждый элемент директории имеет фиксированный формат и занимает две записи для каждой сущности.

Секция параметров (P) IGES-файла содержит значения параметров, связанных с каждой сущностью. Данные параметров заносятся в «свободном формате», в котором первое поле всегда содержит номер типа сущности. Позиции 65 по 72 каждой записи содержат указатель на порядковый номер первой записи директории, относящейся к данной сущности. Параметры сущности могут занимать несколько записей. Набор параметров сущности завершается символом «точка с запятой».

Конечная секция (T) состоит из одной записи, в которой фиксируется число записей в каждой из предшествующих секций.

Структура IGES-файла

Геометрические элементы в IGES

Тип моделирования	Версия IGES																					
	IGES 2.0							IGES 3.0		IGES 4.0												
Твердые тела										150	152	154	156	158	160	162	164	168	180	184	430
										Параллелепипед	Прямоугольный клин	Прямой круглый цилиндр	Прямой круглый конус	Сфера	Тор	Тело вращения	Тело линейного переноса	Эллипсоид	Булево дерево	Объемный агрегат	Экземпляр твердотельного объекта
Поверхности	108	114	118	120	122	128		140	144													
	Плоскость	Поверхность параметрического сплайна	Линейчатая поверхность	Поверхность вращения	Табулированный цилиндр	Поверхность рационального B-сплайна		Поверхность смещения	Усеченная параметрическая поверхность													
Кривые	100	102	104	110	112	116	126	130	142													
	Дуга окружности	Составная кривая	Коническая дуга	Линия	Кривая параметрического сплайна	Точка	Кривая рационального B-сплайна	Кривая смещения	Кривая на параметрической поверхности													
Прочие	106	124	125	134	136			132	138	146	148											
	Множественные данные	Матрица преобразования	Отражение	Узел	Конечный элемент			Точка соединения	Узловое отображение и вращение	Узловые результаты	Элементные результаты											

Пример представления IGES-файла

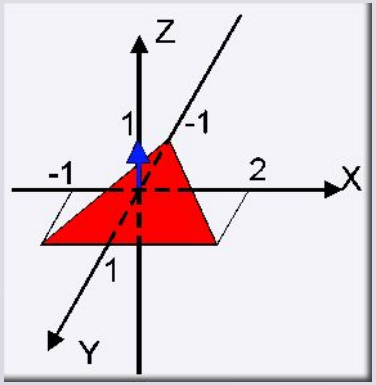

```
314     1     0     0     0     0     0     000000200                                        D     1
314,0.0,0.0,0.0,20HRGB(  0,  0,  0 );                                      0000001P     1
314     0    -1     1     0     0     0 COLOR     0                        D     2
406,2,1,7HDefault;                                                         0000003P     2
406     2     0     0     1     0     0     000000300                      D     3
406     0    -1     3     0     0 0LEVELDEF     0                          D     4
128,8,1,2,1,1,0,0,0,0,0,0D0,0.0D0,0.0D0,0.0D0,15.307337294603 59D0,                0000005P     3
15.307337294603 59D0,30.614674589207 17D0,30.614674589207 17D0,                    D     4
128     3     0     0     1     0     0     000000000                      D     5
45.922011883810 76D0,45.922011883810 76D0,61.229349178414 35D0,                    0000005P     5
128     0    -1    25     0     0     0 Shell     1                        D     6
61.229349178414 35D0,61.229349178414 35D0,0.0D0,0.0D0,24.0D0,                      0000005P     6
128    28     0     0     1     0     0     000010000                      D     7
24.0D0,1.0D0,0.7071067811865476D0,1.0D0,0.7071067811865475D0,                      0000005P     7
128     0    -1     8     1     0     0 Shell     0                        D     8
1.0D0,0.7071067811865475D0,1.0D0,0.7071067811865475D0,1.0D0,                       0000005P     8
126    36     0     0     1     0     0     000010000                      D     9
1.0D0,0.7071067811865476D0,1.0D0,0.7071067811865475D0,1.0D0,                       0000005P     9
126     0    -1    15     2     0     0 Shell     1                        D    10
0.7071067811865475D0,1.0D0,0.7071067811865475D0,1.0D0,0.0D0,                       0000005P    10
126    51     0     0     1     0     0     000010500                      D    11
1.0D0,0.9999999999999998D0,0.0D0,-0.9999999999999996D0,                    G    1  0000005P    11
126     0    -1     6     2     0     0 Shell     1                        D    12
6.9999999999999998D0,0.0D0,-2.8E-016,0.0D0,0.0D0,                          G    2  0000005P 2  12
126    57     0     0     1     0     0     000010500                      D    13
-2.7755756156289 1D-015,0.0D0,-0.9999999999999998D0,                       G    3  0000005P    13
126     0    -1     7     2     0     0 Shell     2                        D    14
26.0D0,0.0D0,0.0D0,1.0D0,-1.6653345369377 34D-015,                         G    4  0000005P 4  14
126    64     0     0     1     0     0     000010500                      D    15
32.0D0,0.0D0,0.9999999999999995D0,0.0D0,0.9999999999999996D0,              G    5  0000005P    15
126    70     0     0     2     0     0 Shell     3                        D    16
-0.9999999999999996D0,0.0D0,0.9999999999999996D0,                          G    6  0000005P    16
126    71     0     0     1     0     0     000010500                      D    17
1.0D0,0.0D0,-2.775575615628 91D-015,0.0D0,0.9999999999999996D0,            G    7  0000005P 7  17
126     0    -1     5     2     0     0 Shell     4                        D    18
0.0D0,0.0D0,0.9999999999999996D0,0.0D0,0.0D0,0.9999999999999998D0,24.0D0,   G    8  0000005P    18
102    76     0     0     1     0     0     000010500                      D    19
24.0D0,0.9999999999999998D0,24.0D0,-0.9999999999999996D0,                  G    9  0000005P    19
102     0    -1     1     0     0     0 Shell     1                        D    20
-0.9999999999999998D0,24.0D0,-0.9999999999999998D0,                        G   10  0000005P    20
141    77     0     0     1     0     0     000010000                      D    21
-2.7755756156289 1D-015,24.0D0,-0.9999999999999998D0,                      G   11  0000005P    21
141     0    -1     1     0     0     0 Shell     1                        D    22
1.0D0,0.0D0,-1.665334536937 734D-015,24.0D0,-1.665334536937734D-015,       0000005P    22
143,2,78,0,0,1,0,0,000000000                                                D    23
-0.9999999999999995D0,24.0D0,0.9999999999999996D0,                         0000005P    23
143     0    -1     1     0     0     0 Shell     2                        D    24
-0.9999999999999996D0,24.0D0,0.9999999999999996D0,                         0000005P    24
128    79     0     0     1     0     0     000010000                      D    25
1.1102230246251 56D-015,24.0D0,0.9999999999999996D0,                       0000005P    25
128     0    -1     8     1     0     0 Shell     0                        D    26
0.9999999999999996D0,24.0D0,0.0D0,0.9999999999999998D0,0.0D0,              0000005P    26
126    87     0     0     1     0     0     000010000                      D    27
61.229349178414 35D0,0.0D0,24.0D0;                                         0000005P    27
126     0    -1    15     2     0     0 Shell     1                        D    28
126   102     0     0     1     0     0     000010500                      D    29
126     0    -1     6     2     0     0 Shell     1                        D    30
126   108     0     0     1     0     0     000010500                      D    31
126     0    -1     7     2     0     0 Shell     2                        D    32
```

Формат STL файла

STL расшифровывается как STereoLithography (то есть, объемная литография). Формат STL и его спецификации были созданы компанией Albert Consulting group, которая занималась разработкой первого алгоритма послойной обработки по заказу компании 3D Systems.

В основе лежит метод 3-х мерной триангуляции поверхности модели 3-х мерная триангуляция поверхности модели осуществляется треугольниками и может быть сглажена геометрическими фигурами более высокого порядка.

В настоящее время является графическим стандартом представления данных о модели для систем быстрого прототипирования



Пример записи формата

```
solid
...
facet normal 0.00 0.00 1.00
outer loop
vertex 2.00 1.00 0.00
vertex -1.00 1.00 0.00
vertex 0.00 -1.00 0.00
endloop
endfacet
...
endsolid
```

Правильное описание триангулированной поверхности требует чтобы все соседние треугольники имели по две общие вершины.

Виды CAD систем

CAD системы могут быть разделены на две группы:
Системы автоматизированной разработки чертежей на плоскости (2D);
Системы геометрического моделирования в пространстве (3D).

Системы геометрического моделирования были созданы для того, чтобы преодолеть проблемы, связанные с использованием физических моделей в процессе проектирования. Эти системы создают среду, подобную той, в которой создаются и изменяются физические модели. Визуальная модель может выглядеть так, как физическая, но она нематериальна.

Системы геометрического моделирования делятся на каркасные, поверхностные и твердотельные.

CAD/CAM системы

Разработчик - DELCAM Plc., Великобритания

- **PowerShape** - Система трёхмерного моделирования.
- **PowerMILL** - Мощная и простая в использовании автономная система автоматической подготовки управляющих программ для 3/4 координатной фрезерной обработки на любом станке с ЧПУ изделий, спроектированных в любой CAD-системе.
- **CopyCAD** - система преобразования данных, полученных с координатно-измерительной машины, в компьютерную поверхно-стную модель.
- **PowerINSERT** - пакет для контроля точности с помощью 3-координатных измерительных машин.
- **ArtCAM** Pro - пакет для создания объёмного рельефа на базе плоского рисунка и создания управляющих программ для его мехобработки.
- **DUCT** 5 - CAD/CAM - система, позволяет проводить моделирование, черчение и подготовку управляющих программ для станков с ЧПУ.

Разработчик - Parametric Technology Corporation, США

Pro/ENGINEER

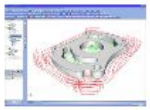
Система высокого уровня, САПР для единого цикла проектирование-производство. Программный комплекс Pro/ENGINEER охватывает весь цикл "конструирование - производство" в машиностроении.

CAD/CAM системы

Разработчик - Unigraphics Solutions, Inc., США. (с 2007 Siemens)
Система Unigraphics является CAD/CAM/CAE - системой высокого уровня. Unigraphics позволяет осуществлять полностью виртуальное проектирование изделий, механообработка деталей сложных форм. Серия продуктов: Unigraphics Solutions (NX), Parasolid, Solid Edge, Unigraphics, IMAN, TeamCenter, ProductVision.

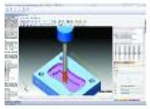
Разработчик DASSAULT SYSTEMES (Франция)
CATIA/CADAM Solutions - это полностью интегрированная универсальная CAD/CAM/CAE система высокого уровня, позво-ляющая обеспечить параллельное проведение конструкторско-производственного цикла CATIA, являясь универсальной систе-мой автоматизированного проектирования, испытания и изготовления, широко применяется на крупных машиностроительных предприятиях во всем мире для автоматизированного проектирования, подготовки производства, реинжиниринга

CAM системы



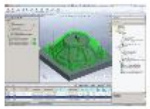
BobCAD-CAM, Inc.

Product Name: BobCAD-CAM Version 23 Softw...
Category: Manufacturing
Subcategory: CAM
Product Status: **Solution Partner**



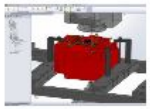
BobCAD-CAM, Inc.

Product Name: BobCAD-CAM for SolidWorks
Category: Manufacturing
Subcategory: CAM
Product Status: GOLD



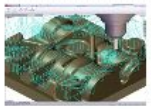
C&G SYSTEMS INC.

Product Name: CG CAM-TOOL
Category: Manufacturing
Subcategory: CAM
Product Status: **Solution Partner**



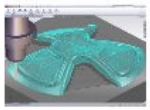
Camtek GmbH

Product Name: OPTICAM
Category: Manufacturing
Subcategory: CAM
Product Status: **Solution Partner**



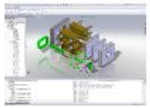
CNC Software, Inc.

Product Name: Mastercam
Category: Manufacturing
Subcategory: CAM
Product Status: **Certified CAM Partner**



CNC Software, Inc.

Product Name: Mastercam for SolidWorks®
Category: Manufacturing
Subcategory: CAM
Product Status: GOLD



DCAM GmBH

Product Name: DCAMCUT for SolidWorks®
Category: Manufacturing
Subcategory: CAM
Product Status: **Solution Partner**

Delcam plc

Product Name: Delcam for SolidWorks®
Category: Manufacturing
Subcategory: CAM
Product Status: GOLD

Delcam plc

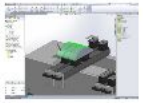
Product Name: FeatureCAM
Category: Manufacturing
Subcategory: CAM
Product Status: **Certified CAM Partner**

DP Technology Corp.

Product Name: ESPRIT
Category: Manufacturing
Subcategory: CAM
Product Status: **Certified CAM Partner**

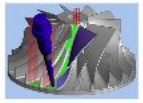
EFICAD

Product Name: EFICN SW
Category: Manufacturing
Subcategory: CAM
Product Status: **Solution Partner**



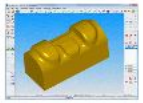
EFICAD

Product Name: SWOOD CAM
Category: Manufacturing
Subcategory: CAM
Product Status: **Solution Partner**



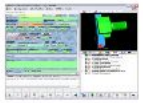
EXAPT Systemtechnik GmbH

Product Name: EXAPTsolid
Category: Manufacturing
Subcategory: CAM
Product Status: **Solution Partner**



EZ-CAM Solutions Inc.

Product Name: EZ-CAM
Category: Manufacturing
Subcategory: CAM
Product Status: **Solution Partner**

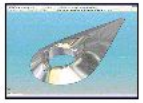


FASys Industrie-EDV-Systeme GmbH

Product Name: FATool Interface for SolidW...
Category: Manufacturing
Subcategory: CAM
Product Status: **Solution Partner**

Geometric Technologies, Inc.

Product Name: CAMWorks
Category: Manufacturing
Subcategory: CAM
Product Status: GOLD



Gibbs and Associates

Product Name: GibbsCAM
Category: Manufacturing
Subcategory: CAM
Product Status: **Certified CAM Partner**

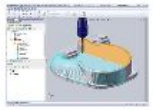
Griffo Brothers Inc.

Product Name: GB/GeoSolidPro
Category: Manufacturing
Subcategory: CAM
Product Status: **Solution Partner**

CAM системы

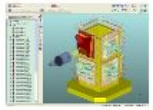
Majestic Solutions Inc.
Product Name: CMMWorks
Category: Manufacturing
Subcategory: CAM
Product Status: **Solution Partner**

McKenzie River Software LLC
Product Name: SmartCAM v18.0
Category: Manufacturing
Subcategory: CAM
Product Status: **Solution Partner**

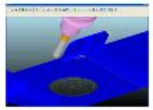


MecSoft Corporation
Product Name: VisualMILL for SolidWorks®
Category: Manufacturing
Subcategory: CAM
Product Status: GOLD

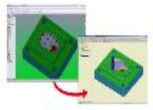
Metalcam S.L.
Product Name: Fikus Visualcam
Category: Manufacturing
Subcategory: CAM
Product Status: **Solution Partner**



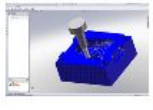
Missler Software
Product Name: GOelan
Category: Manufacturing
Subcategory: CAM
Product Status: **Solution Partner**



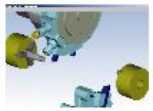
NCCS
Product Name: NCL
Category: Manufacturing
Subcategory: CAM
Product Status: **Solution Partner**



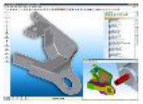
NCG CAM Solutions Ltd
Product Name: NCG CAM
Category: Manufacturing
Subcategory: CAM
Product Status: **Certified CAM Partner**



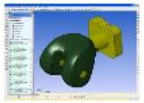
OPEN MIND Technologies AG
Product Name: hyperMILL for SolidWorks
Category: Manufacturing
Subcategory: CAM
Product Status: GOLD



PartMaker Inc.
Product Name: PartMaker
Category: Manufacturing
Subcategory: CAM
Product Status: **Certified CAM Partner**

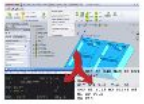


QARM, Pty, Ltd.
Product Name: OneCNC CAD/CAM
Category: Manufacturing
Subcategory: CAM
Product Status: **Solution Partner**

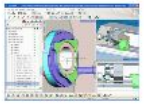


Sescoi International
Product Name: WorkNC
Category: Manufacturing
Subcategory: CAM
Product Status: **Solution Partner**

SolidCAM Ltd.
Product Name: SolidCAM
Category: Manufacturing
Subcategory: CAM
Product Status: GOLD

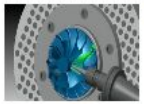


SolutionWare Corporation
Product Name: PowerCAM
Category: Manufacturing
Subcategory: CAM
Product Status: **Solution Partner**



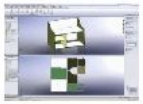
SPRUT Technology, Inc.
Product Name: SprutCAM
Category: Manufacturing
Subcategory: CAM
Product Status: **Solution Partner**

Studio Tecnico Turci
Product Name: X-Camme
Category: Manufacturing
Subcategory: CAM
Product Status: **Solution Partner**



Surfware, Inc.
Product Name: SURFCAM®
Category: Manufacturing
Subcategory: CAM
Product Status: **Certified CAM Partner**

Vero Software
Product Name: VISI
Category: Manufacturing
Subcategory: CAM
Product Status: **Solution Partner**



PASCAM GmbH
Product Name: PASCAM Bea
Category: Manufacturing
Subcategory: CAM
Product Status: **Solution Partner**