

Расширенные возможности параметрического проектирования

Сергей Прейс (ЛЕДАС, Новосибирск)

spr@ledas.com

В предыдущих наших статьях мы уже рассказывали о возможностях, которые предоставляют пользователям САПР средства параметрического проектирования. В первую очередь, к таким возможностям стоит отнести упрощение создания и модификации чертежей за счет включения в чертеж знаний о взаимоотношении его элементов. Это позволяет наметить при черчении лишь примерный вид изделия – при последующем вводе значений длин и углов в качестве параметров, чертеж автоматически становится абсолютно точным. Модификация такого параметрического чертежа также значительно упрощается, поскольку при изменении объектов автоматически учитываются взаимосвязи с другими частями чертежа. Кроме того, зачастую можно менять лишь параметры, не затрагивая объекты, что позволяет не только вносить в чертеж изменения, но и анализировать поведение проектируемого механизма при различных значениях параметров.

В большей мере всё вышесказанное относится к двумерному черчению – процесс проектирования в большинстве современных САПР начинается с плоских чертежей, которые в дальнейшем преобразуются в трехмерные. Средние и “тяжелые” системы сохраняют информацию о двумерных чертежах и при моделировании в 3D, что дает возможность трансформировать трехмерную модель, меняя параметры чертежей, на основе которых он построен. У “легких” САПР такая возможность обычно отсутствует, однако параметрическое проектирование на этапе двумерного моделирования всё равно очень полезно. В последнее время стали появляться системы, поддерживающие трехмерное черчение: модель сразу строится из трехмерных объектов. В этом случае возможность задавать ограничения между трехмерными примитивами еще важнее: точно разместить их вручную гораздо более сложно.

В трехмерных модулях параметрическое проектирование облегчает и задачу сборки механизма из деталей: задание ограничений (таких, как *соосность*) позволяет строить механизм и анализировать его поведение в соответствии с наложенными ограничениями. Посмотреть, как будет функционировать построенная модель, помогает еще одна базовая функция – *move under constraints* – движение (или поворот) при наложенных ограничениях. Используя её, конструктор может, захватив какую-то часть механизма и “потянув” за нее мышью, увидеть, как будут двигаться другие части с учетом имеющихся степеней свободы. О базовых возможностях, которые предоставляет параметрическое проектирование, и о том, как они поддерживаются в современных геометрических решателях, мы рассказывали в самой первой нашей публикации в 2003 году (*Observer #3/2003*).

Однако, не все связи на чертеже могут быть описаны только геометрическими ограничениями между объектами. Часто соотношения задаются с помощью уравнений, связывающих параметры некоторых базовых объектов, либо с использованием инженерных параметров. Кроме того, сами отношения такого рода могут быть выражены не только обычными формулами, но и неявными алгоритмическими зависимостями или таблицами. Все такие негеометрические ограничения называются *инженерными*. В современных геометрических решателях они поддерживаются наравне с геометрическими ограничениями, и эта поддержка обычно включает всё вышеперечисленное – через связь уравнениями или неявно заданными функциями параметров геометрических объектов и пользовательских переменных. Более подробно об этих возможностях и об их реализации в параметрическом решателе **LGS** компании **ЛЕДАС** рассказывает наша предыдущая статья (*Observer #2/2005*).

Данная публикация посвящается дальнейшему рассмотрению функциональности параметрических решателей: мы поговорим о средствах диагностики заданных ограничений и о поддержке неравенств на параметрах чертежа. Эти инструменты, расширяющие функциональность современных геометрических решателей, могут быть интересны широкому кругу производителей САПР, Однако, знать о них полезно и рядовым пользователям, поскольку поддержка таких возможностей либо уже реализована в современных САПР, либо появится в ближайшее время – следовательно, их надо грамотно использовать.

Диагностика объектов и ограничений

Используя средства параметрического проектирования, конструктор часто задается вопросом о том, сколько же ограничений достаточно, чтобы все части построенной модели были зафиксированы друг относительно друга. И это не праздный вопрос: если в модели остаются лишние степени свободы (часть модели *недоопределена*), то дальнейшая работа может привести к изменению уже законченной, казалось бы, части модели.

С другой стороны, наложение избыточных ограничений тоже к добру не ведет: если ограничений слишком много (часть модели *переопределена*), то попытки изменить некоторые параметры чертежа могут приводить к противоречиям. Изначально эти противоречия могут быть скрыты от пользователя, так как, при некоторых значениях параметров ограничений, система может быть *совместна* (то есть иметь смысл).

На *рис. 1* приведен простейший пример подобной модели. Из трех ограничений расстояния (d_1 , d_2 , d_3)

одно является избыточным ($d1+d2=d3$), однако при данных значениях они не противоречат друг другу ($15+15=30$). Изменив значение $d1$, мы получим *несовместную* модель, поскольку расстояния $d2$ и $d3$ не изменятся и станут противоречить новому значению ($20+15 \neq 30$).

Приведенный пример прост, но даже такая ситуация может остаться незамеченной, если этот фрагмент является частью достаточно сложной модели, содержащей сотни объектов и ограничений. Более сложные случаи обнаружить на глаз еще тяжелее.

Для того, чтобы решить обе описанные проблемы (т.е., найти те части модели, в которых ограничений слишком много и слишком мало), и предназначена такая функция поддерживающего параметрическое проектирование геометрического решателя, как *диагностика недоопределенности и переопределенности* объектов. Эта функция, основывающаяся на анализе мгновенных степеней свободы модели, позволяет выделить недоопределенные и переопределенные области (под областью здесь понимается совокупность объектов и наложенных ограничений). Речь идет именно об областях, а не об отдельных объектах и ограничениях, поскольку противоречие возникает между несколькими ограничениями, наложенными на несколько объектов.

Удаление любого ограничения может сделать переопределенную модель *хорошо определенной* (т.е. такой, в которой ограничений – достаточно). И наоборот: добавление одного или нескольких ограничений между любым хорошо определенным объектом и объектом недоопределенным сделает последний тоже хорошо определенным. Как много ограничений надо добавить – это зависит от количества степеней свободы недоопределенного объекта.

В современных САПР, содержащих средства параметрического проектирования, визуализация результатов диагностики обычно реализуется путем раскрашивания объектов и условных изображений ограничений в соответствии с их статусом. Например, переопределенные объекты и ограничения будут рисоваться в таком режиме красными линиями, хорошо определенные – голубыми, а недоопределенные – белыми. Кроме того, если система имеет *дерево объектов и ограничений*, то статус объектов и ограничений может отображаться там. Именно таким образом эта функциональность и реализована в демонстрационном приложении **LEGE'n'D**, распространяемом бесплатно для ознакомления с возможностями решателей LGS – как двухмерного, так и трехмерного.

Пример диагностики объектов и ограничений в действии можно увидеть на иллюстрациях. На **рис.1** красным

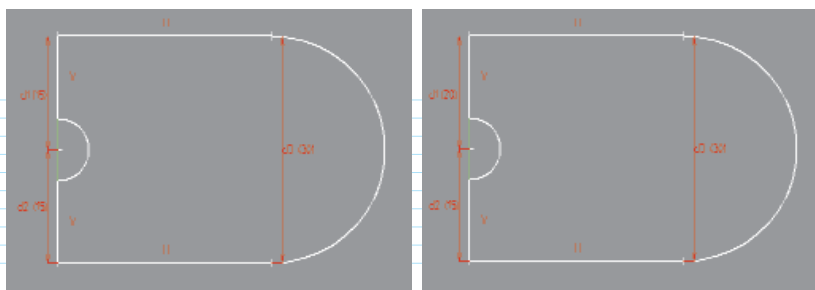


Рис. 1. Скрытая (совместная) и явная (несовместная) переопределенность

цветом выделены переопределенные ограничения: удаление любого из них сделает остальные два хорошо определенными. На **рис. 2** белым цветом обозначены недоопределенные объекты, а голубым – хорошо определенные. Здесь первые два эскиза содержат недоопределенную часть, которая может меняться без изменения значений заданных параметров. На третьем и четвертом показаны возможные варианты доопределения модели: заданием второго радиуса и длины или добавлением ограничения касания и длины.

Заметим, что недоопределенность – это свойство только объектов (поскольку ограничений в этом случае как раз и недостаточно, чтобы зафиксировать один объект относительно других). Понятие же переопределенности имеет смысл и для объектов (на них может быть наложено больше ограничений, чем нужно, чтобы зафиксировать), и для ограничений – они могут быть потенциально избыточными.

В новой версии решателя **LGS 2D 1.3**, выход которой намечен на середину июля, к диагностике недоопределенности для ограничений добавились все остальные из описанных возможностей, а именно: диагностика недо- и переопределенности для объектов. Дальнейшее развитие диагностической функциональности заключается в разработке средств автоматического добавления недостающих ограничений (*доопределение* модели). По сути, это уже не функция

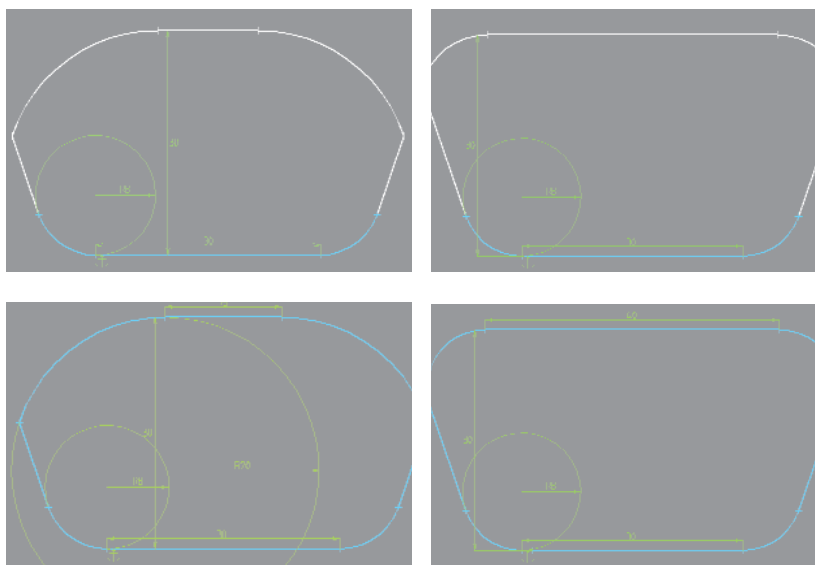


Рис. 2. Диагностика объектов и ограничений

решателя как такового – решатель нужен лишь для того, чтобы выявить, достаточно ограничений или нет. Модуль же, добавляющий ограничения, – это уже своего рода экспертная система, которая должна руководствоваться соображениями “естественности”: выбирать из возможных равнозначных ограничений между теми или иными парами объектов то ограничение, которое наложил бы человек, а также распознавать не совсем точные чертежи (например, исправлять небольшие отклонения от прямых углов и т.п.).

Разработка такого модуля стоит в планах развития *LGS*. Впрочем, уже сейчас разработчики САПР на основе *LGS* могут сами создать подобный модуль, используя средства диагностики *LGS* для получения информации о том, между какими объектами можно наложить ограничения, какие объекты и части не зафиксированы друг относительно друга. Компания ЛЕДАС приглашает заинтересованные компании к сотрудничеству в этой области и готова оказать поддержку независимым разработчикам такого модуля.

Использование неравенств в параметрическом проектировании

Далеко не всегда проектируемую модель можно описать только в терминах геометрических ограничений и уравнений. Зачастую некоторые параметры не могут (или не должны быть) вычислены точно – и, тем не менее, они не должны превышать определенных значений. Ярким примером может служить телескопическая антенна из трех вложенных конусов. Неравенства здесь задают ограничения на вложенность элементов друг в друга. Ориентированные расстояния между их поверхностями должны быть больше нуля.

Для работы с подобными ограничениями современные геометрические решатели, включая и *LGS 2D 1.3*, предоставляют возможность задавать не только уравнения на параметрах, но и *неравенства*. Работа с неравенствами практически не отличается от работы с инженерными уравнениями, описанной в нашей предыдущей статье (*Observer #2/2005*).

Для приведенного выше примера плоская модель с неравенствами будет выглядеть следующим образом (*рис. 3*). Выдвигая одну из частей, мы будем

получать разные значения для параметра *p1* (расстояние между стенками самой вложенной и второй секций), пока он не достигнет границы. Дальнейшие попытки выдвинуть самую внутреннюю секцию приведут к движению и второй секции (к изменению параметра *p2*). Если внешняя секция зафиксирована, то наступит такой момент, когда движение станет невозможным – антенна окажется полностью разложенной.

Использование неравенств позволяет не только создавать такие модели, в которых некоторые элементы не зафиксированы. Помимо этого, неравенства дают и дополнительные возможности по анализу механизмов в различных условиях. Так, меняя границы, можно определить, до какого значения исследуемого параметра механизм будет работоспособен. Важно отметить, что путем простой фиксации разных значений мы можем и не достичь желаемого эффекта, поскольку не обязательно все значения параметра являются допустимыми.

Другая возможность использования неравенств – это оптимизация проектируемого изделия по определенному параметру. Имея один или несколько свободных параметров, можно оптимизировать, например, стоимость изделия – как сумму объемов его частей, сделанных из разных материалов. При этом, задание границ на параметры с помощью неравенств позволяет избежать тривиальных или просто неприемлемых решений.

Компания ЛЕДАС имеет огромный опыт реализации систем оптимизации в ограничениях, потому развитие решателя *LGS* в данном направлении представляется вполне естественным. Однако, как это всегда бывает с перспективными планами, требуется дополнительный анализ востребованности такой функциональности рынком. Только после его проведения может быть принято решение о реализации данной возможности. Если вашему программному продукту (связанному с САПР, двухмерным или трехмерным проектированием, компьютерной графикой и т.п.) требуются возможности оптимизации при наложенных геометрических и инженерных ограничениях – свяжитесь с нами по электронной почте (info@ledas.com). Нам важно ваше мнение, и мы, совершенно точно, сможем найти возможности для взаимовыгодного сотрудничества и скорейшей реализации требуемой функциональности.

Когда этот номер журнала попадет к вам в руки, решатель *LGS 1.3*, скорее всего, уже будет доступен для лицензирования. Это значит, что на сайте <http://lgs.ledas.com> вы сможете не только узнать больше об этом двухмерном продукте, но и **бесплатно загрузить демонстрационное приложение *LEGE'n'D***, построенное на ядре *OpenCASCADE*, в котором будут поддерживаться все новые возможности,

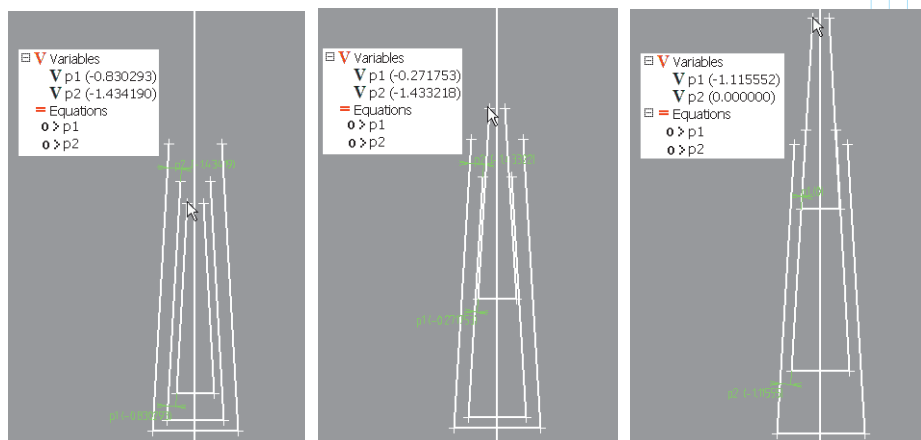


Рис. 3. Поведение с ограничениями, заданными неравенствами

описанные выше. Надо отметить, что все иллюстрации к статье подготовлены в *LEGE'n'D*, и эти модели могут быть получены любым желающим для тестирования и анализа возможностей продукта (тестовые примеры загружаются и устанавливаются вместе с приложением).

Клиентам ЛЕДАС можно напомнить, что компания проводит гибкую лицензионную политику, включающую широкий спектр ценовых предложений, партнерские программы и индивидуальный подход к каждому. Уровень технической поддержки, обеспечиваемый компанией ЛЕДАС, также очень высок: помимо стандартных способов

обращения в службу поддержки, таких как телефон и электронная почта, ЛЕДАС предлагает всем клиентам прямой доступ к специальной он-лайн системе *IMS (Incident Management System, <http://ims.sib3.ru>)*. С её помощью можно сообщать о выявленных проблемах, задавать вопросы специалистам компании и формулировать свое мнение. ЛЕДАС гарантирует не только оперативную реакцию на все сообщения, но и то, что ответы будут персональными и неформальными – система *IMS* используется непосредственно разработчиками компании и потому является наиболее оперативным средством для решения обнаруженных проблем.

О группе компаний ЛЕДАС

Основой успеха проекта *LGS* является многолетний опыт сотрудников ЛЕДАС в исследованиях и технологиях, связанных с *программированием в ограничениях (constraint programming)*, который уходит корнями во времена лаборатории искусственного интеллекта Новосибирского института систем информатики им. академика А.П. Ершова (ИСИ СО РАН). С другой стороны, огромный практический опыт приобретен специалистами ЛЕДАС за шесть лет своего постоянно расширяющегося сотрудничества с лидером мирового “сапстроения” – компанией *Dassault Systèmes* (Франция) – в области разработки интеллектуальных компонентов для *CATIA*.

ЛЕДАС – одна из ведущих групп в мире в области экспертизы и построения высокотехнологичных и интеллектуальных решений для систем автоматизации проектирования

и управления жизненным циклом изделия (*PLM*). Помимо геометрических решателей, ЛЕДАС разрабатывает системы для расчета и оптимизации расписаний проектов с учетом ограничений на ресурсы, для интеллектуального планирования оборудования и персонала, интервальный вычислитель, и др. (см. <http://ledas.com/solutions.html>).

Располагаясь в Новосибирском Академгородке, ЛЕДАС поддерживает тесные контакты с академическими исследовательскими группами. В штате компании – программисты и аналитики, имеющие высокую квалификацию в разработке и построении наукоемких решений и продуктов.

Более подробную информацию о группе компаний ЛЕДАС можно получить на сайте <http://ledas.com>. Связаться с представителями компании можно по *e-mail: info@ledas.com*, а также по тел. +7 (3832) 356-504 и факсу +7 (3832) 356-256. ☎

◆ Новости от компании ЛЕДАС ◆

Двумерный геометрический решатель

С 15 июля на сайте ЛЕДАС будет доступна очередная версия 2D-решателя – *LGS 2D 1.3*. Реализована поддержка неравенств, диагностика хорошо определенных, а также недо- и переопределенных объектов, добавлены ограничения расстояний со сложными объектами (эллипсами и кривыми) и пр.

Трехмерный геометрический решатель

1 августа в рамках программы предварительного доступа (*EAP*) обновится решатель *LGS 3D*. Версия *0.4* будет поддерживать инженерные параметры и ограничения, сферы, поверхности, получаемые протягиванием кривой. Улучшена функция *move under constraints* и работа с опорными точками, увеличена стабильность и производительность. Новый релиз (библиотеки, *SDK*, тестовое приложение и документация) будет доступен на <http://lgs.ledas.com/eap>.

Меняются условия продаж решателей *LGS*

ЛЕДАС намерена сделать свои геометрические решатели более доступными для широкого круга разработчиков САПР и пр. В ближайшие 1-2 месяца будет объявлено о нескольких конфигурациях, отличающихся по функциональности и уровню поддержки и нацеленных на различные группы разработчиков. Ожидается, что для самой “легкой” версии цена не превысит 40 000 рублей. Разрабатываются схемы лицензирования конфигураций, формируемых клиентами на основе списка возможностей решателя. Следите за новостями на <http://www.ledas.com>.

FreeTime – система планирования встреч

В середине июля открывается предварительный доступ к системе *FreeTime*. Время мероприятия подбирается автоматически, исходя из пожеланий участников, их загруженности и пр. В 1-й версии клиентское ПО будет доступно для платформы *Palm* и мобильных телефонов с *Java MIDP 2.0*, позже появится *web*-клиент для ПК (см. <http://freetime.ledas.com>).

Семинар *Dassault Systèmes* в Новосибирске

Компания ЛЕДАС совместно с *DS Russia Corp.* организовала в Новосибирском Академгородке семинар “*PLM* в действии! Готовность *Dassault Systèmes* к сотрудничеству с сибирской промышленностью”. Цели семинара – продемонстрировать эффективные решения для поддержки и управления ЖЦИ. Компанию *DS* и её недавно образованное российское отделение на семинаре представляла большая делегация, которую возглавлял президент *DS Russia* г-н **Francis Bernard**.

Международная конференция *GraphiCon'2005*

Компания ЛЕДАС выступила соорганизатором 15-й международной конференции по компьютерной графике и её приложениям, прошедшей 20-24 июня в Новосибирском Академгородке. Этот крупнейший в Европе и Азии форум по фундаментальным и прикладным вопросам компьютерной графики ежегодно проводится в России с 1991 г. Спектр тем – от вычислительной геометрии и теории обработки изображений до современных форматов обмена 3D-данными и САПР (подробный отчет см. на <http://isicad.ru/graphicon2005>). ☎