

Последние улучшения метода S-ALE программы LS-DYNA®

Хао Чэнь, Йен Ду
Livermore Software Technology Corporation
Перевод В. Б. Литвинова под ред. Б. Г. Рубцова

Резюме

Пакет ALE/FSI программы LS-DYNA широко используется для исследования конструкций, подвергающихся взрывному нагружению. В общем случае, в методике ALE обоснованно используется неструктурированная сетка, обеспечивающая описание сложной геометрии, однако в случае простой прямоугольной геометрии можно обратиться к структурированной, логически регулярной сетке. Применение такой сетки приводит к упрощению алгоритмов, снижению затрат памяти и улучшению производительности, чего невозможно достичь при неструктурированной геометрии сетки.

В 2015 году компания LSTC внедрила новый вариант решателя ALE, S-ALE, предназначенный для решения подмножества задач ALE, для которых целесообразно применять структурированную сетку. Как и предполагалось, применение логической регулярности сетки привело к уменьшению времени моделирования для случая структурированной сетки по сравнению с неструктурированным подходом.

*Новый решатель S-ALE использовать несложно, особенно пользователям, знакомым с решателем ALE. Вводятся всего два новых ключевых слова: *ALE_STRUCTURED_MESH и *ALE_STRUCTURED_MESH_CONTROL_POINTS. Первое используется для построения сетки и обращения к решателю S-ALE, а второе - для получения информации о расстоянии между узлами сетки вдоль всех локальных направлений. Другие ключевые слова метода ALE остаются без изменений.*

В этом докладе мы расскажем о новых разработках и улучшениях метода S-ALE программы LS-DYNA за последние два года.

Преобразование моделей ALE в модели S-ALE

Сетки в моделях S-ALE генерируются автоматически. В карточке *ALE_STRUCTURED_MESH имеются три поля: CPIDX, CPIDY и CPIDZ. Каждое соответствует карте *ALE_STRUCTURED_MESH_CONTROL_POINTS, которая задает интервалы в направлениях x, y и z. Координаты, которые используются в карте _CONTROL_POINTS, берутся как локальные координаты. В случае, если задано начало координат сетки (NID0) и/или локальная система координат (LCSID), глобальные координаты рассчитываются по следующей формуле.

За последние два года мы заметили тенденцию роста потребности в преобразовании существующих моделей ALE для использования с решателем S-ALE. Это – не сложная работа, но утомительная. Необходимо извлечь координаты и построить локальную координатную систему. Для сеток с неравномерными интервалами это требует приложения более заметных усилий, и мы разработали автоматический конвертор.

Чтобы его использовать, нужно просто в существующую модель ALE добавить карточку *ALE_STRUCTURED_MESH с параметром CPIDX, равным 0 или -1. Оба значения этого параметра, CPIDX=0 и CPIDX=-1, конвертируют модель ALE в модель S-ALE и выдают файл ASCII с именем «saleconvrt.inc», содержащий конвертированные ключевые слова метода S-ALE. Разница между этими двумя значениями параметра состоит в том, что при CPIDX=-1 прогон продолжается с решателем S-ALE, а при CPIDX=0 используется решатель ALE. Значения идентификаторов части (DPID), начала узла (NBID) и начального элемента (EBID) задаются по выбору пользователя.

Преобразовании моделей происходит в три этапа. Во-первых, из входных наборов модели ALE извлекается геометрическая информация, затем сетка перестраивается с использованием ключевых слов метода S-ALE. Во-вторых, в случае, если в модели ALE используются части мо-

дели с несколькими сетками, то необходимо специально позаботиться о том, чтобы объединить эти части со многими сетками в часть с одной сеткой и заполнить объем новой сетки теми текущими средами, которые представлены в разных частях сетки. В-третьих, если используются части модели, описывающие окружающую среду, мы преобразуем их в «окружающие элементы» при помощи карточек *BOUNDARY_AMBIENT.

Второй и третий этапы, возможно, немного трудны для понимания. Чтобы понять, что происходит на самом деле, необходимо объяснить критическое различие между подходами ALE и S-ALE, а именно, роль формулировки ключевого слова *PART. В структурном анализе, формулировка ключевого слова *PART содержит три объекта: сетку, материал и правило интегрирования. Сетка задается идентификатором части, на который также есть ссылка в картах *ELEMENT_; материал задается идентификаторами материала, UPC и контроля «песочных часов» (MAT ID+ EOS ID + HOURGLASS ID); правило интегрирования или формулировка элемента – идентификатором секции (SECTION ID).

Можно сразу заметить, что это определение не вполне соответствует методу ALE. В моделях ALE обычно используется сетка, в которую затекают многие текущие среды (материалы). В моделировании по методу Лагранжа сетка и материал принадлежат к одной общей части и не могут быть разделены. Однако в моделировании по методу ALE это совершенно не имеет значения.

Формулировка ALE наследует определение PART (части) из формулировки Лагранжевой модели. Это вызывает заметную путаницу, так как часть (PART) в модели ALE может ссылаться на сетку, может ссылаться на материал, а иногда и на то, и на другое одновременно. Можно легко запутаться, заполняя поля PID во всех этих ключевых словах метода ALE.

При разработке метода S-ALE мы решили разделить использование ключевого слова *PART на две категории: для сетки части и для материала части. В методе ALE часть относится или к сетке, или к материалу. Она не может относиться и к тому, и к другому. «Материальная» часть охватывает набор из идентификаторов MAT+EOS+HOURGLASS. Ее идентификатор используется только один раз в карточке *ALE_MULTI-MATERIAL_GROUP. Все другие использования запрещены. Идентификатор «сеточной» части (DPID в *ALE_STRUCTURED_MESH) является набором объемных элементов и узлов. Он используется во всех других ключевых словах метода ALE для ссылок на сетку.

Вернемся к упомянутым выше этапам 2 и 3. В случае, если модель ALE содержит несколько частей, по умолчанию сетка каждой части заполняется материалом, на который стоит ссылка в формулировке этой части. Такие случаи надо находить и обрабатывать. «Окружающие части» этапа 3 определенно содержат и сетку, и материал, и не могут соответствовать формулировке части в методе S-ALE. В силу этого мы разделили их на две концепции и перечислили их ключевом слове *BOUNDARY_AMBIENT. Что касается сетки, мы преобразовали часть в набор объемных элементов, а что касается материала, мы задаем его при помощи ключевого слова ALE_MULTI-MATERIAL_GROUP ID (AMMG ID).

Удаление сетки S-ALE при прогоне

Метод ALE в основном используется для решения инженерных задач с приложением большого импульса в течение короткого времени. В большинстве случаев приложение импульса происходит в начале моделирования, и эффекты этого приложения очень быстро затухают, даже если и не успевают быстро закончиться. В таких случаях обход ненужного расчета элементов ALE, адвекции и взаимодействия конструкции с текучей средой (FSI) становятся очень увлекательной задачей.

Недавно в карточку *ALE_STRUCTURED_MESH было добавлено поле TDEATH. Когда время достигает значения TDEATH, все ALE-элементы в этой сетке S-ALE удаляются, адвекция

обходится, а расчет FSI прекращается. Заметьте, что для остановки FSI не нужно никаких дополнительных действий: происходит внутренний поиск всех карточек FSI, таких как *CONSTRAINED_LAGRANGE_IN_SOLID, *ALE_COUPLING_NODAL_ и карточки, относящиеся к удаленной сетке, выбираются, их работа останавливается.

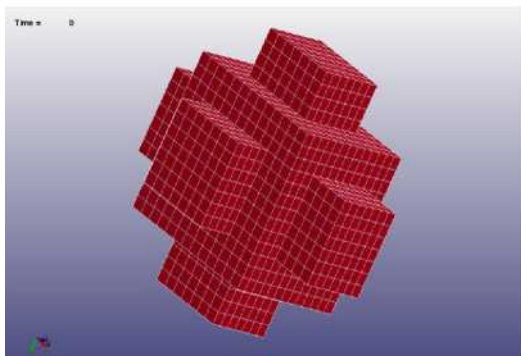
Слияние сеток S-ALE

Метод S-ALE допускает использование нескольких сеток. Эти сетки могут примыкать друг к другу или быть на расстоянии друг от друга. Они могут находиться в различных пространственных областях или накладываться друг на друга. Каждая сетка S-ALE, заданная картой *ALE_STRUCTURED_MESH, является независимой. Расчет ведется автономно в каждой сетке S-ALE и «не знает», что происходит в других сетках.

Но есть одно исключение. Любые две такие независимые сетки можно объединить по границе раздела сеток - конечно, при условии, что, во-первых разбиение сеток одинаково на границе раздела, а, во-вторых, расстояние между сетками равно нулю или пренебрежимо мало. Для того чтобы это сделать, нужно задать одинаковое значение поля DPID в двух или более карточках *ALE_STRUCTURED_MESH. Все узлы в совместной области границы раздела сеток объединяются, а связность элементов перестраивается. Это свойство позволяет методом S-ALE решать задачи с использованием сеток, содержащих несколько «коробок».

На иллюстрации ниже приводится пример семи полностью объединенных сеток. Входная колода для этого примера находится по адресу:

<http://ftp.lstc.com/anonymous/outgoing/hao/sale/models/meshmerge/salemerger.tar>.



Обрезка сетки

Метод S-ALE поддерживает ограниченное число типов сеток. Сетка представляет собой или прямоугольную «коробку» или комбинацию соединяющихся областей такой формы (за счет слияния сеток). Это ограничение – плата за простоту геометрической информации. В определенных случаях использование большой «коробки», которой пользователь пытается охватить всю конструкцию, может быть очень затратным. Допустим, мы строим модель для изучения дождевых капель, падающих на ветровое стекло. С одной стороны, мы должны сделать сетку достаточно большой, чтобы туда попало все искривленное ветровое стекло, с другой стороны, мы знаем, что в элементах сетки, находящих на расстоянии нескольких элементов от ветрового стекла, нет необходимости.

Это стало мотивацией для разработки такой возможности, как обрезка сетки. Возможность обрезать сетки S-ALE применяется для сокращения времени прогона и объема памяти. Для реализации этой возможности нужно добавить подраздел обрезки (trimming) в карту *ALE_STRUCTURED_MESH. Подраздел обрезки вставляется после первых двух карт и отмеча-

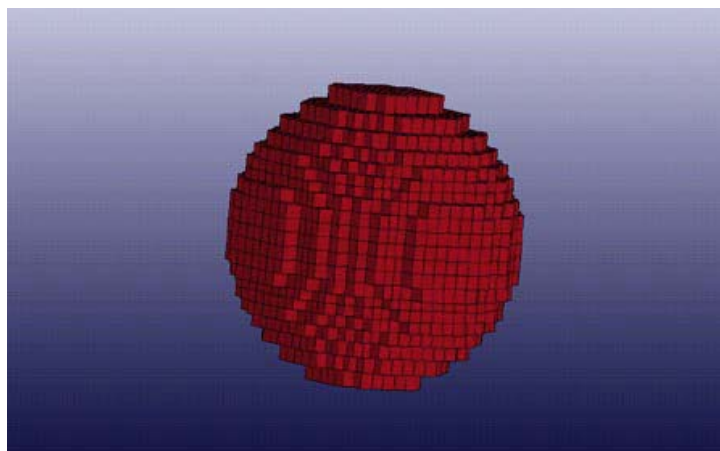
ется словом «_TRIM». Подраздел может содержать несколько карточек (?) и заканчивается, когда начинает считываться другой подраздел или достигается конец ключевого слова. Сейчас существует всего два подраздела в карточке *ALE_STRUCTURED_MESH: «_TRIM» и «_MOTION», которые описаны в следующем разделе статьи.

В настоящее время в подразделе «_TRIM» используется шесть команд: «PARTSET», «SEGSET», «PLANE», «CYLINDER», «BOX» и «SPHERE». Точный порядок использования этих команд приведен в Руководстве по LS-DYNA.

*ALE STRUCTURED MESH

\$ mshid	pid	nbid	ebid	
1	1 200001 200001			
\$ nptx	npty	nptz	nid0	lcsid
1001	1001	1001	1	234
_TRIM				
\$ command	oper	flip	nid	radius
SPHERE			5 0.10	
\$ command	oper	flip	psetid	radius
\$PARTSET			3	0.03

Внизу на рисунке показана сетка в виде области, обрезанная командой «SPHERE». Входную кода для этого примера можно взять по адресу <http://ftp.lstc.com/anonymous/outgoing/hao/sale/models/meshtrim/saletrim.tar>. В этом примере из элементов общим числом 9261 были удалены 3614 элементов. Это привело к сокращению времени моделирования почти на 40 %.



Движение сетки

Метод S-ALE не поддерживает карту *ALE_REFERENCE_SYSTEM_GROUP, которая используется для того, чтобы перемещать сетку ALE. В этом методе можно перемещать и вращать сетку, задавая смещение начала координат сетки (NID0) и трех узлов, используемых для определения локальной системы координат (LCSID). Пока это удовлетворительно работает в большинстве задач пользователей, с которыми мы сталкивались, но этот подход не дает сетке следовать за центром масс текучей среды. Поэтому мы добавили подраздел, описывающий движение

сетки.

В настоящее время в подразделе есть только одна команда, «FOLLOW_GC», которая заставляет сетку следовать за движением центра масс. Подраздел движения сетки может содержать несколько карт, которые начинаются словом «_MOTION».

Ниже приведен пример использования подраздела _MOTION. Пример полной входной колоды можно найти по адресу

<http://ftp.lstc.com/anonymous/outgoing/hao/sale/models/meshtrim/2bagstrim.tar>.

***ALE STRUCTURED MESH**

\$	mshid	pid	nbid	ebid	
	1	1	10001	10001	
\$	nptx	npty	nptz	nid0	lcsid
	1001	1001	1001	4001	234
_TRIM					
\$	command	oper	flip		
PARTSET			3	0.03	
_MOTION					
\$	command	ammgse t			
FOLLOW_ GC	1				

Заключение

В этой статье представлено несколько новых примечательных разработок, реализованных для структурированного ALE-решателя программы LS-DYNA. Эти новые возможности были добавлены исключительно с целью сокращения времени моделирования и затрат памяти. В последние годы наблюдается быстрый рост размеров моделей ALE и соответствующий рост потребности в скорости и объеме памяти. В настоящее время для пользователей метода S-ALE стало обычным проводить расчеты моделей с числом элементов до 60 миллионов и, видимо, эта тенденция сохранится. В компании LSTC разработчики метода S-ALE намерены вносить новые улучшения в программу LS-DYNA вместе с её пользователями.