

SCAIMapper

Kopplung von Umform- und Crashsimulation

Uwe Scholl
Fraunhofer Institut SCAI, Sankt Augustin, Deutschland

Abstract:

In this paper we present a new mapping tool (SCAIMapper) that simplifies the process of mapping forming results to the crash model. The tool assists the user in setting up the mapping by an easy to handle graphical user interface. Several important features are integrated ranging from automatic alignment of the meshes, native support of fully integrated shell elements up to mapping of LS-Dyna history variables. The development is aiming at the automation of the whole mapping procedure.

Keywords:

Mapping, forming, stamping, crash, simulation, automatic aligning

1 Kopplung von Umform und Crashsimulation

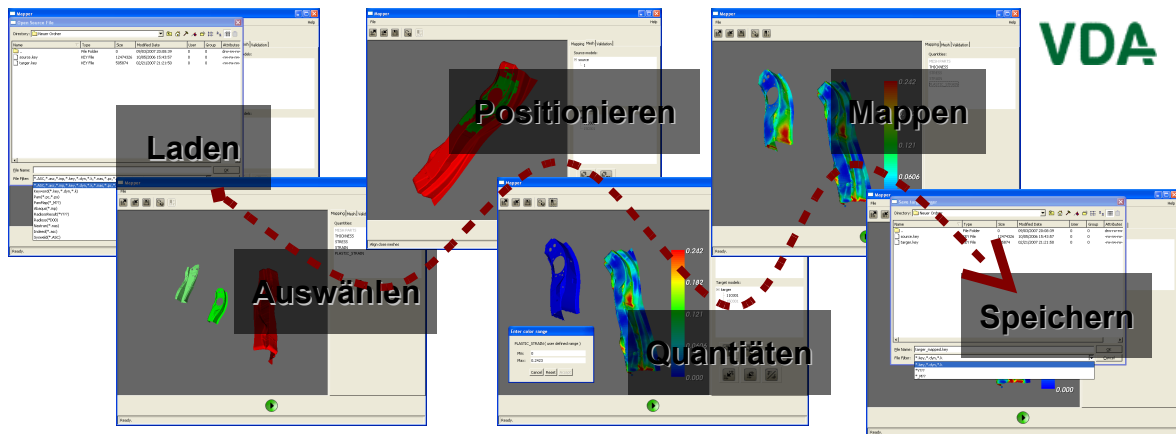


Bild1: Schritte des Mappingprozesses

In diesem Artikel wird ein neues Werkzeug vorgestellt, das die Kopplung von Umform- und Crashsimulation vereinfacht. Dieses Mappingtool (SCAIMapper) unterstützt die folgenden Kernaufgaben des Mappings:

1. Einlesen der zu mappenden Modelle
2. Spiegeln von Umformbauteilen
3. Auswählen zu mappenden Partitionen und Modelle
4. Aufeinanderlegen der Modelle
5. Auswahl der zu mappenden Größen
6. Mapping
7. Validierung
8. Speichern der gemappten Randbedingungen

Im Allgemeinen können diese Kernaufgaben in der oben gegebenen Reihenfolge von oben nach unten ausgeführt werden. In der Praxis hat sich gezeigt, dass es nützlich ist diese Aufgaben interaktiv steuern zu können. Daher wurde der SCAIMapper mit einer graphischen Benutzeroberfläche (GUI) ausgestattet, die dem Nutzer genau dieses ermöglicht.

An jede der Kernaufgaben werden verschiedenen Anforderungen gestellt. Im Weiteren wird im Detail auf diese Anforderungen eingegangen.

1.1 Einlesen der Modelle

Damit der SCAIMapper im industriellen Kontext eingesetzt werden kann, muss er ein breites Spektrum an Dateiformaten abdecken. Zurzeit werden die gängigsten Codes über ihre ASCII-Formate angebunden:

- LS-Dyna Keyword
- Abaqus (*.inp)
- Incedd (*.asc)
- NASTRAN (*.nas),
- PAM-Stamp, PAM-Crash (*.pc, *.ps, _Mxx)
- RADIOSS (Yxxx, Dxxx)
- Sysweld (*.ASC)

Die Erweiterbarkeit um Ein-/Ausgabemodule ist wesentlich für die Entwicklung des SCAIMappers. Daher ist eine generische Schnittstelle entworfen worden, mit deren Hilfe E/A-Module mit geringem Aufwand ergänzt oder erweitert werden können. Diese Schnittstelle muss allen Anforderungen an das Mapping genügen ohne die Anbindung an die sehr unterschiedlichen Dateiformate einzuschränken. Die wichtigsten Anforderungen werden im Folgenden aufgelistet:

- Dicke und dünne Schalenelementen müssen unterstützt werden.

- Die wichtigsten Integrationsregeln in der Ebene (reduziert und vollintegriert) und in Normalenrichtung (Simpson, Trapez, Gauss-Legendre, Gauss-Lobatto) müssen unterstützt werden.
- Die Integrationsregeln können sich zwischen den Ergebnisgrößen unterscheiden.
- Innerhalb eines Modelles können beliebige und sich unterscheidende Integrationsregeln auftreten
- Ergebnisgrößen können an Knoten, elementweise an Knoten und an Integrationspunkte gebunden sein.
- Es gibt skalare, vektorielle, tensorielle und positionielle Ergebnisgrößen. Letztere sind Vektoren, die bei Translation des Modelles mitbewegt werden.
- Es können Standardwerte für Quantitäten definiert werden (z.B. für Dicken).
- Die Elemente können über nutzerdefinierten Knotennummern definiert werden.
- Elemente werden über Partitionen gruppiert.

Zusätzlich existieren weitere, geringere Anforderungen (z.B. Partitionen können Namen zugeordnet werden).

1.2 Spiegeln von Umformbauteilen

Für spiegelsymmetrische Automobilbauteile wie B-Säulen braucht die Umformung nur für eines der Bauteile simuliert werden. Im Crashmodell werden aber die Umformergebnisse beider Bauteile benötigt. Daher ist es wichtig, dass Modelle vor dem Mappen gespiegelt werden können.

1.3 Aufeinanderlegen der Modelle

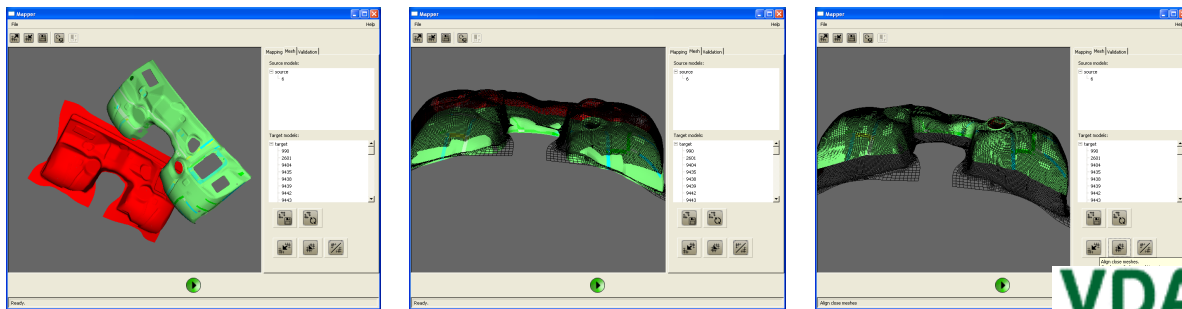


Bild 3: (l.) Original Position, (m.) grob positioniert, (r.) aneinanderezogen.

Damit gängige Interpolationsverfahren für das Mapping genutzt werden können, müssen Umform- und Crashbauteil aufeinanderliegen. Falls die Lagetransformation nicht bekannt ist, kann das Aufeinanderlegen sehr zeitaufwendig werden. Daher ist es wünschenswert, diesen Prozess soweit wie möglich zu automatisieren. Der SCAIMapper teilt den Prozess in zwei Schritte:

1. Grobe Positionierung
2. Aneinanderziehen der Gitter

Das grobe Positionieren kann im SCAIMapper per Maus oder per symmetriebereinigter Hauptachsentransformation vorgenommen werden. Dabei wird nach der gewöhnlichen Hauptachsentransformation durch Umklappen an den berechneten Hauptachsen die Orientierung gefunden, bei denen die Gitter den geringsten Abstand haben.

Die Hauptachsentransformation ist geeignet für den Fall, dass Crash- und Umformbauteil sich geometrisch nicht stark unterscheiden. Häufig wird der Beschnitt bei der Umformung nicht mehr simuliert, weshalb diese Voraussetzung nicht erfüllt wird. Die vollständige Automatisierung ist daher zurzeit nicht möglich. Im Praxistest hat sich gezeigt, dass die grobe Positionierung mit geringem Aufwand von Hand ausgeführt werden kann.

Das Aneinanderziehen von Hand ist im Gegensatz zur groben Positionierung zeitaufwendig. Deshalb ist ein Modul entwickelt worden, das die Gitter automatisch aneinander zieht. Der Zeitaufwand beträgt auch bei hochaufgelösten Bauteilen (> 300.000 Elemente) nur wenige Sekunden. Der Algorithmus sucht nach einer Transformation für das Umformgitter, welche die Abstände zum Crashgitter minimiert. Dazu werden aber nur die Bereiche des Crashgitters betrachtet, die in der unmittelbaren Nähe des Bauteils liegen. Auf die grobe Positionierung kann daher nicht verzichtet werden.

1.4 Auswählen zu mappender Partitionen und Modelle

Falls ein Crashmodell aus mehreren Bauteilen besteht, kann es notwendig werden, mehrere Umformbauteile auf das Crashmodell zu mappen. Zudem muss es möglich sein, Partitionen, für die es kein passendes Umformbauteil gibt, für das Mappen zu deaktivieren. Dadurch wird verhindert, dass Elementen Werte zugeordnet werden, die an zu mappende Partitionen grenzen.

Der Mapper bietet die Möglichkeit, Partitionen und Modelle im GUI für das Mappen oder für das Aufeinanderlegen zu aktivieren und zu deaktivieren.

1.5 Auswahl der zu mappenden Größen

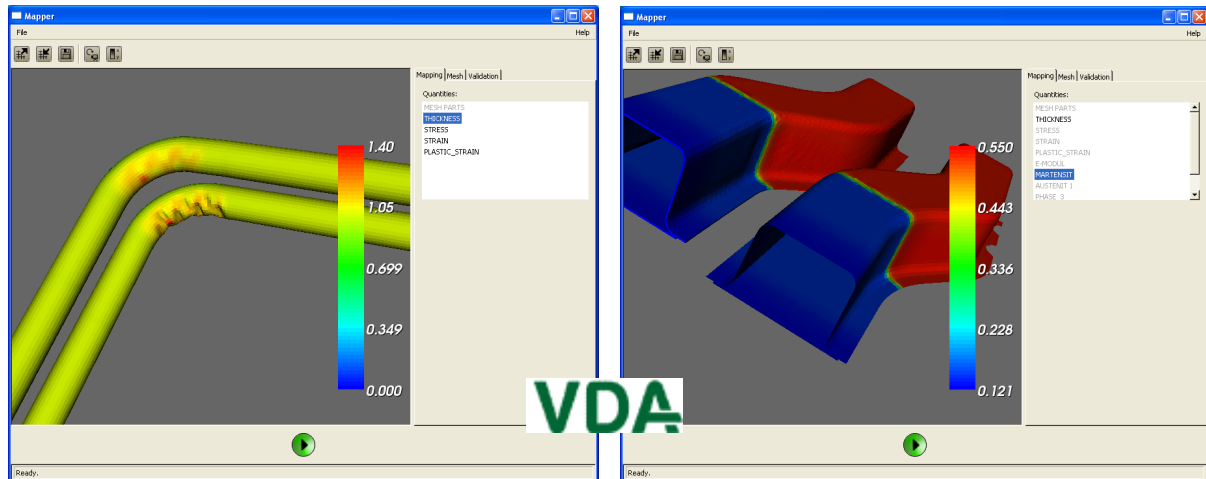


Bild 3: (l.) Geometrisch Unterschiede, (r.) Mapping von Phasenanteilen von dicken Schalen auf ein LS-Dyna Schalenmodell

Der SCAIMapper unterstützt das Mappen von Spannungen, Dehnungen und Dicken. Zusätzlich können Materialinformationen aus der Umformung oder aus einer nachgeschalteten Wärmerbehandlung auf das Crashgitter gemappt werden. Nicht alle Größen sind für jede Crashsimulation von Bedeutung. Daher muss es möglich sein, die relevanten Quantitäten für das Mappen auszuwählen.

Um Quantitäten für das Mappen auswählen zu können, muss der Mapper wissen, dass es sich auf Umform- und Crashseite um die gleiche Quantität handelt. Zum Beispiel werden in LS-Dyna Historie-Variablen abhängig vom verwendeten Materialmodell interpretiert. Es kann sinnvoll sein, Variablen mit gleicher Bedeutung zwischen unterschiedlichen Materialmodellen zu mappen. Der SCAIMapper bietet die Möglichkeit, solchen Variablen einen eindeutigen Namen und eine Typ zuzuordnen (z.B. „MARTENSIT_ANTEIL“, SCALAR und einheitenlos). Auf diese Weise kann z.B. Historie-Variable 9 auf Historie-Variable 8 gemappt werden.

1.6 Mapping

Für gleiche Gitter besteht das Mappen im Kopieren der Werte. Im Allgemeinen unterscheiden sich die Gittertopologien, die Geometrien, die Integrationstypen in der Ebene und in Normalenrichtung zwischen Umform- und Crashmodell. Zudem unterscheiden sich die Materialmodelle.

Geometrische Unterschiede zwischen Umform- und Crashmodell entstehen u.a., weil Beschnitt oder Abkantungen bei der Umformung nicht mitsimuliert wurden. Auch kurzfristige Änderungen von Designparametern im Crashmodell können nicht immer zeitnah durch passende Umformsimulationen verfolgt werden. Bei geringeren Änderungen sollten die Umformergebnisse der ursprünglichen Geometrie auf das neue Crashmodell gemappt werden können.

Augrund der geometrischen Unterschiede ist es notwendig, vor der Interpolation die Elemente, Knoten und Integrationspunkte beider Gitter aufeinander abzubilden. Dieser Prozess wird beim SCAIMapper Assoziation genannt. Basierend auf dieser Assoziation werden die Werte interpoliert.

Zurzeit wird eine modifizierte Version des Shepardsalgorithmus [1] für die Interpolation in der Ebene genutzt. Dieser Algorithmus erlaubt eine sehr glatte Interpolation. Zudem ist sie auch bei größeren geometrischen Unterschieden zwischen Umform- und Crashmodell robust. Im Gegensatz zum

ursprünglichen Algorithmus, passt sich die Interpolation des SCAIMappers an die Auflösungsunterschiede im Umformgitter an.

In Dickenrichtung wird ein Least-Square-Verfahren genutzt, das flächenintegralerhaltend auch zwischen unterschiedlichen Integrationsregeln und Anzahl an Integrationspunkten interpoliert. Dadurch wird verhindert, dass beispielsweise die plastische Vergleichsformänderung unterschätzt wird. Zudem werden durch den Vergleich der Normalenrichtungen die Orientierungsunterschiede zwischen den Gittern kompensiert. Das Verfahren wurde zudem so erweitert, dass zwischen Knoten, elementweise Knoten und Integrationspunkt gebundenen Werten interpoliert werden kann. Einzig die Dimension und Einheit müssen auf Quell- und Zielseite übereinstimmen.

Neben dieser Interpolation wurde zu Bewertungszwecken eine Interpolation implementiert, welche den Wert des nächsten Nachbarn im Umformgitter über Formfunktionen berechnet. Diese Interpolation ist für die Datenübertragung weniger robust und hat schlechte Glättungseigenschaften.

Zudem wurde eine Interpolation über Schnittflächen getestet. Die Qualität der Interpolation hing dabei wesentlich von der Assoziation der Elemente zwischen Umform- und Crashgitter ab. Das Verfahren von Jiao [2] lieferte für sehr ähnliche Gittergeometrien gute Ergebnisse, wird aber in Bereichen, in denen die Gittergeometrien voneinander abweichen, instabil.

1.7 Validierung

Die geometrischen Unterschiede zwischen den Gittern können über die Entfernungen der Gitter und über die Normalenabweichungen erfasst werden. Zusätzlich wurde eine punktweise Interpolation eingeführt, mit der die gemappten Größen vom gemappten Crashgitter auf das Umformgitter zurückübertragen und verglichen werden. Durch diese Rückinterpolation können Differenzen durch Glättung in der Interpolation gut erfasst werden.

1.8 Speichern der gemappten Randbedingungen

Nach dem Mappen müssen die Ergebnisse wieder in das Crashdeck geschrieben werden. Abhängig vom Ausgabeformat, werden entweder separate Dateien geschrieben, die ins Crashdeck inkludiert werden können, oder die ursprünglichen Dateien werden wieder eingelesen, ergänzt und herausgeschrieben. In vielen Fällen ist auch ein Konvertieren der Ergebnisse in andere Formate möglich. Formatspezifische Informationen wie Materialkarten und Steuerparameter müssen dann jedoch vom Anwender von Hand eingefügt werden.

Für das Mappen von Materialien wurde für LS-Dyna eine Möglichkeit geschaffen, die Elemente neuen Materialien zuzuordnen. Dazu gibt der Anwender eine Quantität an und bestimmt, für welche Werte der Quantität welche Materialnummer verteilt werden soll. Auf diese Weise können beispielsweise Bereiche des Crashgitters, die noch wärmebehandelt wurden, abhängig von Phasenanteilen neu gruppiert werden.

2 SCAIMapper Architektur

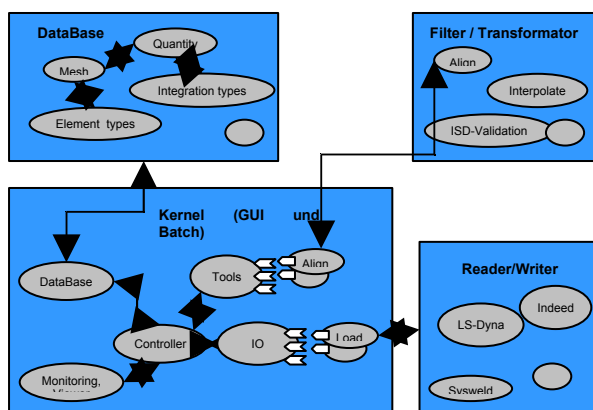


Bild 3: (1.) Erweiterte Darstellung der Architektur

Nachdem die Kernaufgaben des SCAIMappers beschrieben wurden, wird kurz auf die Architektur des SCAIMappers eingegangen. Diese ist wesentlich verantwortlich für die Erweiterbarkeit und Zuverlässigkeit des Mappers.

Bei der Entwicklung des SCAIMappers wurden vier Kernmodule identifiziert:

- die Ein-/Ausgabe,
 - die zentrale Steuereinheit,
 - die Gruppe der Filter und Transformatoren
 - und die Datenhaltung.
- Das GUI gehört nicht zu den Kernmodulen.

2.1 Ein-/Ausgabe

Das Ein-/Ausgabemodul umfasst eine nach außen sichtbare Schnittstelle über die auf die Daten im SCAIMapper zugegriffen werden kann. Neben den bereits beschriebenen Ein-/Ausgaberoutinen für die Modelle umfasst es auch die Konfigurationsparameter für das Mappen, Zugang zu den Positionen der Gitter, und Zugriff auf die Validierungsgrößen. Mit Hilfe dieser Schnittstelle kann der Entwickler neue Ein-/Ausgaberoutinen schreiben oder den Mapper an bestehende Programme anbinden.

2.2 Zentrale Steuereinheit

Jedes Modul meldet sich bei der zentralen Steuereinheit an. Diese überwacht den Daten- und Kontrollfluss. Unzulässige Aktionen werden von ihr geblockt und neue Möglichkeiten freigeschaltet. Beispielsweise ist ein Mapping unzulässig, wenn kein Crashmodell geladen wurde, oder alle Partitionen des Crashgitters deaktiviert sind. Umgekehrt wird das automatische Aufeinanderlegen freigeschaltet, wenn Umform- und Crashmodell geladen wurden.

2.3 Filter und Transformatoren

Alle Features des Mappers werden als passive Filter oder aktive Transformatoren klassifiziert und bei der zentralen Steuereinheit registriert. Die Interpolation ist beispielsweise ein Transformator. Die Validierungsgrößen sind als Filter implementiert.

2.4 Datenhaltung

Alle Informationen über die Gitter und Ergebnisgrößen werden zentral gespeichert. Die Filter und Transformatoren können über die zentrale Steuereinheit auf diese zugreifen.

3 Zusammenfassung

Mit dem SCAIMapper steht dem Anwender ein einfach zu bedienendes und übersichtliches Werkzeug zur Verfügung, das den Mappingvorgang vereinfacht. Neben einer großen Bandbreite an Dateiformaten und einem robusten Mappingverfahren stehen dem Anwender alle wichtigen Hilfsmittel für die Kopplung von Umform- und Crashsimulation zur Verfügung. Dazu gehören das Spiegeln von Bauteilen, das automatische Aufeinanderziehen der Modelle, und das Validieren der Ergebnisse. Zusätzlich können alle Schritte des Mappings interaktiv im GUI begleitet werden. Durch den modularen Aufbau des SCAIMappers können weitere Dateiformate mit geringem Aufwand hinzugefügt werden.

4 Ausblick

Zurzeit wird an einer vollständigen Automatisierung des groben Positionierens gearbeitet. Der Algorithmus kann einzelne Bauteile auch in einem Gesamtfahrzeug finden und aufeinanderlegen. Damit könnte der gesamte Mappingprozess automatisiert im Hintergrund ablaufen. Erste Tests sind vielversprechend. Leider ist der Berechnungsaufwand noch sehr hoch.

Ein weiteres Forschungsfeld ist das Mapping zwischen Volumenelementen und Schalenelementen. Auch hier gibt es bereits vielversprechende Ansätze, die zurzeit evaluiert werden.

5 Literatur

- [1] Shepard, Donald, "Two-Dimensional Interpolation Function for Irregularly-spaced Data". ,1968, Proc ACM National Conference: 517-524.
- [2] Jiao, X, "Efficient and Robust Algorithms for Overlaying Surface Meshes", 10th International Meshing Roundtable, 2001.