

Berechnungen mit Attributen in der Multiple-Domain-Matrix

von Wieland Biedermann

Einführung zur Multiple-Domain-Matrix

Die Entwicklung technischer Produkte wird immer komplexer. Ursache ist u. a. die zunehmende Individualisierung der Produkte. Der Kunde erwartet die Anpassung der Produkte an seine spezifischen Bedürfnisse. Dadurch nimmt das Variantenspektrum zu und wird immer komplexer. Gleichzeitig werden die Produktlebenszyklen immer kürzer. Daher müssen immer mehr Produkte in immer kürzerer Zeit entwickelt werden. Die Beherrschung der Komplexität ist ein Schlüssel zu Bewältigung dieser Herausforderung.

Viele Bereiche der Produktentwicklung sind von Komplexität betroffen. Durch vielfältige Kundenwünsche entstehen komplexe Märkte, die durch komplexe Produkte bedient werden. Zur Entwicklung komplexer Produkte werden komplexe Prozesse benötigt, die zu komplexen Organisationen führen. Da die Komplexität all diese Bereiche betrifft, müssen Methoden zur Komplexitätsbeherrschung generisch sein. Sie müssen sich auf alle Aspekte des betrachteten Systems anwenden lassen. Komplexe Systeme zeichnen sich durch verschiedene Arten von Elementen aus, die auf unterschiedliche Weise miteinander Wechsel wirken. Ziel der Methoden des Komplexitätsmanagements ist die Handhabung komplexer Systeme. Dies umfasst Erfassung, Visualisierung und Analyse komplexer Systeme. (MAURER 2007)

Die Design-Structure-Matrix (DSM) ist eine grundlegende Methode des Komplexitätsmanagements. Bei ihr steht nicht die genaue Kenntnis aller Abhängigkeiten im Vordergrund, sondern allein die Kenntnis deren Existenz. Aus dem Zusammenspiel der Abhängigkeiten bzw. Relationen und ihrer Struktur lassen sich Rückschlüsse auf das System und dessen Verhalten ziehen. Die Methodik der DSM kann fast auf beliebige Systeme angewendet werden z. B. Produkte, Organisationen, Märkte oder Prozesse (BROWNING 2001). Sinnvolle Analysen sind jedoch nur bei Fokussierung auf eine Elementart und eine Relationsart möglich. Insbesondere die Interpretation von Substrukturen wird durch verschiedene Element- und Relationsarten erschwert. Im Komplexitätsmanagement treten jedoch mehrere Elementarten mit verschiedenen Relationstypen auf. Die DSM muss also erweitert werden, um den Anforderungen des Komplexitätsmanagements Rechnung zu tragen. (MAURER 2007)

Der Multiple-Domain-Ansatz ist eine Erweiterung der DSM zur Betrachtung verschiedener Elementarten und Relationstypen. Jede Elementart wird durch eine eigene Domäne abgebildet. Diese Domänen werden als Matrix, der so genannten Multiple-Domain-Matrix (MDM), dargestellt. In den Feldern der Matrix werden die Vernetzungen abgelegt. Es gibt zwei Vernetzungsarten. Die DSM, also die Vernetzungen innerhalb einer Domäne, und die Domain-Mapping-Matrizen (DMM), die Relationen zwischen Elementen verschiedener Domänen beschreiben. Innerhalb der MDM sind Berechnungen von neuen DSM und DMM aus bestehenden Vernetzungen möglich. Durch diese Berechnungen ist die Abbildung einer Vernetzung von einer Domäne in eine andere möglich. Man kann von der Projektion einer

Vernetzung sprechen. Die MDM erlaubt eine genauere Modellierung als einzelne DSM, da alle Aspekte, die das System betreffen, explizit modelliert werden. Darüber hinaus wird die Erfassung erleichtert, da DMM besser zu erstellen sind als DSM. Bei Berechnungen mit der erfassten DMM werden Gedankengänge nachvollzogen, die ansonsten bei der Erfassung der DSM nötig sind. Da sowohl Modellierung als auch die Berechnung der DSM nachvollziehbar sind, wird die Analyse und Interpretation der berechneten Ergebnisse vereinfacht. (MAURER 2007)

In dieser Arbeit sollen die Berechnungen in der MDM untersucht und erweitert werden. Dabei wird nur ein Teil der MDM betrachtet. Ziel ist eine detaillierte Analyse der bekannten Berechnungen sowie deren Erweiterung zur Berücksichtigung von Attributen. Diese können sich auf Relationen und Elemente der Domänen beziehen. Durch die Einbeziehung von Attributen werden neue Analysen möglich, die sich nicht nur auf die Struktur der Relationen sondern auch auf deren Gewichtung beziehen. Die neuen Analysemöglichkeiten müssen auch bei der Modellierung berücksichtigt werden und wirken sich auch auf die Erfassung der Daten aus. Die Erweiterungen der Berechnung wirken sich also auch auf andere Bereiche der MDM aus.

Strukturelle Eigenschaften berechneter Vernetzungen

Wesentliche Eigenschaften von Vernetzungen sind Gerichtetheit und Dynamik bzw. Statik. Durch die Gerichtetheit werden Strukturmerkmale festgelegt, die sinnvoll analysiert werden können. So macht die Bestimmung von Hierarchiebäumen nur bei gerichteten Vernetzungen Sinn, bei ungerichteten Vernetzungen kann hingegen keine eindeutige Wurzel des Baums bestimmt werden. Die Dynamik einer Vernetzung bestimmt deren Interpretation sowie mögliche Analyserichtungen wesentlich. Dynamische Vernetzungen beinhalten immer einen Zeitaspekt, stellen z. B. einen Prozess oder Materialfluss dar. Statische hingegen stellen einen Zustand dar, der sich mit der Zeit nicht ändert. Gerichtetheit und Dynamik sind nicht unabhängig voneinander. Dynamische Vernetzungen sind immer gerichtet, ungerichtete Vernetzungen immer statisch. Gerichtete Vernetzungen können hingegen sowohl statisch als auch dynamisch sein; statische Vernetzungen sowohl gerichtet als auch ungerichtet.

Innerhalb der MDM können aus vorhanden DMM und DSM neue Vernetzungen berechnet werden. Die vorgeschlagenen Berechnungen innerhalb der MDM können auf verschiedene Arten strukturiert werden. Mögliche Strukturierungsmerkmale sind u. a. die Gerichtetheit der Ergebnisse oder die Projektion einer DSM aus einer Domäne in eine andere. Zur Strukturierung der Arbeit wurden Art und Anzahl der Vernetzungen verwendet, die in die Berechnung eingehen.

Die Gerichtetheit der berechneten Vernetzungen hängt wesentlich von der Art der Berechnungen ab. Einige Berechnungsarten wie z. B. die Berechnung aus einer DMM ergeben auf jeden Fall eine ungerichtete Vernetzungen. Andere Berechnungsarten wie z. B. die aus zwei DMM erlauben nur Vorhersagen für den allgemeinen Fall. Diese sagen gerichtete Ergebnisse voraus. In einigen Fällen kann das Ergebnis dieser Berechnungen jedoch ungerichtet sein.

Neben der Gerichtetheit lassen sich in Allgemeinen keine weiteren Aussagen über strukturelle Eigenschaften der Vernetzungen treffen. In einzelnen Anwendungsfällen sind durchaus weitere Aussagen möglich. So können in einigen Fällen Strukturmerkmale wie z. B. Kreise

von vornherein ausgeschlossen werden. Diese zusätzlichen Aussagen können für Plausibilitätschecks verwendet werden, um etwa Modellierungs- oder Berechnungsfehler aufzudecken.

Numerische Eigenschaften berechneter Vernetzungen

In der bisherigen Beschreibung der Multiple-Domain-Berechnungen wurden nur die strukturellen Aspekte der Berechnung vorgestellt. Bei der Anwendung wurde jedoch der Bedarf einer Erweiterung der Berechnungen ersichtlich. Die strukturell beschriebenen Berechnungen sollen mit Formeln hinterlegt werden und damit die Grundlage für weiter führende Analysen gelegt werden.

Basis der Berechnungen ist die Suche nach indirekten Pfaden über mehrere Domänen. Diese Pfade werden durch eine oder zwei DMM und möglicherweise eine DSM beschrieben. Mit Hilfe der Graphentheorie können Formeln zur Berechnung dieser Pfade hergeleitet werden. Diese Formeln basieren auf Matrixprodukten der beschreibenden DMM und DSM.

Der Standardalgorithmus für Matrixprodukte kann variiert werden, wenn die strukturellen Bedingungen der Berechnungen erfüllt werden. So dürfen nur Pfade ermittelt werden, die auch strukturell existieren, außerdem müssen vorhandene Pfade auf Relationen innerhalb der berechneten Vernetzung abgebildet werden. Neben dem Standardmatrixprodukt ergeben sich eine Reihe weiterer Berechnungsmöglichkeiten. Im konkreten Anwendungsfall muss eine geeignete Berechnungsweise ausgewählt werden, die dem modellierten Sachverhalt entspricht und eine zielführende Interpretation der Ergebnisse erlaubt.

Bei der Berücksichtigung von Elementattributen darf die Struktur des berechneten Ergebnisses nicht verändert werden. Die Existenz von berechneten Relationen soll unabhängig von der Verwendung von Elementattributen sein. Diese Forderung wird durch die Modellierung der Elementattribute als eine Diagonalmatrix erfüllt. Wird eine beliebige Matrix mit einer Diagonalmatrix multipliziert, wird die Struktur der Matrix nicht verändert. Es ändern sich zwar die Werte der Matrixeinträge, jedoch werden keine neuen Nulleinträge erzeugt bzw. Nulleinträge durch Nichtnulleinträge ersetzt. Auf der Diagonale der Diagonalmatrix darf es jedoch keine Nulleinträge geben, da sonst neue Nulleinträge in der berechneten Matrix entstehen

Anwendungsbeispiele für die theoretischen Ergebnisse

Ein Beispiel war die funktionale Betrachtung eines Turbinengetriebes und wurde aus EHRENSPIEL 2005 übernommen. Ziel ist die Bestimmung wichtiger Bauteile und Relationen zwischen Bauteile aus funktionaler Sicht. Basis der Analyse ist die DMM zwischen Bauteile und Funktionen des Getriebes. Sowohl die DMM als auch die Funktionen wurden mit Attributen versehen. Die Attribute der Funktionen sind deren Zielkosten. Die Relationen in der DMM zwischen Bauteilen und Funktionen wurden mit der Bedeutung der Bauteile für die Erfüllung der jeweiligen Funktion gewichtet. Durch geeignete Wahl der Gewichtung war sicher gestellt, dass die Gesamtsumme der Kosten in allen Beschreibungsformen gleich ist. Die daraus berechnete Vernetzung erlaubt direkte Vergleiche der Relationen untereinander, da sich deren Gewichtung auf die Gesamtzielkosten des Getriebes beziehen. Darüber hinaus können Bauteile mit ihren Relationen zu anderen Bauteilen verglichen werden. Damit ist

möglich zu entscheiden, ob es sinnvoller ist, sich auf die Optimierung eines Bauteils oder auf die Optimierung des Zusammenspiels mit anderen Bauteilen zu konzentrieren.

Das nächste Beispiel behandelt die Abgeordneten des Bundestags. Dabei stand die Abbildung der Einflussmöglichkeiten der Abgeordneten aufeinander im Vordergrund. Der mögliche Einfluss wurde durch die gemeinsame Mitarbeit in verschiedenen Gremien innerhalb und außerhalb des Bundestags abgebildet. Neben der Verwendung geeigneter Attribute war auch die Auswahl einer geeigneten Berechnungsweise von Bedeutung, da damit das Verhältnis verschiedener Mitarbeitersarten in den Gremien untereinander abgebildet wird.

Zwei Beispiele stammen aus einem größeren Multiple-Domain-Projekt, das in MAURER & LINDEMANN 2007 vorgestellt wird. Das Projekt wurde in Zusammenarbeit mit der Gruppe TUfast (www.tufast.de) durchgeführt. TUfast ist eine Gruppe von Studenten der TU München, die einen Rennwagen für die Formula Student (www.formulastudent.de) entwickelt. In dem Multiple-Domain-Projekt wurden verschiedene Aspekte der Rennwagenentwicklung betrachtet, u. a. der Entwicklungsprozess und der Wagen selbst sowie die Organisation der Entwickler.

In einem Abschnitt der Arbeit wurde der Entwicklungsprozess betrachtet. Der Prozess besteht aus verschiedenen Prozessschritten, die verschiedene Daten nutzen und generieren. Aus diesen strukturellen Informationen wurden Vernetzungen der Daten sowie der Prozessschritte untereinander berechnet. Die Prozessschritte wurden zusätzlich mit Attributen wie Dauer oder Arbeitsaufwand hinterlegt, die in die Berechnung der Datenvernetzungen auf verschiedene Arten integriert wurden. Die beispielhafte Analyse diente vor allem der Verdeutlichung zweier wichtiger Konzepte. Zum Einen wird die konsistente Aufteilung des Aufwands auf alle Relationen besprochen. Ohne konsistente Aufteilung sind in sich stimmige Analysen des Prozesses bezüglich des Aufwands kaum möglich. Zum Anderen wird die implizite Annahme einer Prozessstruktur bei der Integration der Prozessdauer diskutiert. Durch die Berechnung können mit rein seriellen oder rein parallelen Prozessen zwei Extreme der Prozessgestaltung abgebildet werden.

Das andere Beispiel aus dem TUfast-Projekt behandelte die Organisation der Rennwagenentwickler. Ausgangspunkt der Analyse ist die Vernetzung der Bauteile untereinander. Dabei bedeutet eine Relation von einem Bauteil zum anderen, dass eine Änderung am Startbauteil eine Änderung am Endbauteil bewirken kann. Jedem Bauteil werden die Entwickler, die es bearbeiten, in einer DMM zugeordnet. Aus diesen beiden Vernetzungen können die Relationen zwischen den Entwicklern berechnet werden. Zwei Entwickler sind genau dann vernetzt, wenn der erste Entwickler an einem Bauteil arbeitet, das Änderungen an einem Bauteil bewirken kann, das vom zweiten Entwickler bearbeitet wird. Damit konnten zwar Art und Anzahl jedoch nicht die Intensität der Kontakte zwischen den Entwickler ermittelt werden. Um die Intensität ermitteln zu können, wurden zusätzliche Attribute in die Berechnung integriert. Dafür wurde eine Reihe von möglichen Attributen u. a. Variantenanzahl oder Punktbewertungen diskutiert.

Ein weiteres Beispiel war das Antiblockiersystem eines Autos. Das Beispiel wurde nicht mit Attributen hinterlegt. Jedoch wurde anhand des Beispiels aufgezeigt, dass nicht nur die Berechnung sondern auch die Modellierung die Eigenschaften der berechneten Vernetzung bestimmen. Durch Vorhersagen, die sich aus der Modellierung ergeben, lassen sich Plausibilitätsprüfungen ableiten. In diesem Fall waren z. B. Kreise in der Struktur nicht zu

erwarten. Werden diese Vorhersagen verletzt, müssen diese Abweichungen erklärt werden, um z. B. Modellierungsfehler nachzuweisen.

Weiterführende Problemstellungen

Anhand der Beispiele konnten verschiedene Einflüsse auf die Interpretation der Werte identifiziert werden. Dazu zählen z. B. die Art des Attributs, die Berechnung und die Modellierung. Kosten sollten etwa konsistent auf alle Relationen der berechneten Vernetzung verteilt werden. Dies ist nur möglich, wenn ein Elementattribut und ein Relationsattribut kombiniert werden. Der Einfluss der Berechnung wird bei Zeitattributen deutlich. Durch die Wahl der Berechnungsformel wird eine Annahme über die Struktur des zeitlichen Ablaufs getroffen. Je nach Formel werden parallele oder serielle Abläufe angenommen. Unter Umständen kann der gleiche Aspekt durch zwei verschiedene Modellierungen abgebildet werden. Bei der Kombinatorik von Bauteilvarianten können alternativ Element- oder Relationsattribute verwendet werden. Die Modellierung mit Relationsattributen wäre zwar genauer, jedoch lassen sich Elementattribute leichter erfassen.

Bei allen Analysen und deren Interpretation sollte die Plausibilität der Ergebnisse geprüft werden. Sowohl strukturelle als auch numerische Prüfungen sind möglich. Jedoch wurden die Prüfungen noch nicht systematisch erfasst und strukturiert. Das sollte Bestandteil folgender Arbeiten sein.

Die Genauigkeit der Werte ist bei allen Berechnungen von Bedeutung. Bei einigen Attributen wie z. B. Stückzahlen können exakte Werte berechnet werden, wenn die Ausgangsdaten exakt bekannt sind. Schätzwerte hingegen sind immer mit Fehlern behaftet, durch Fehlerrechnung kann die Genauigkeit der berechneten Werte abgeschätzt werden. Werden Punktbewertungen verwendet, sind Sensitivitätsanalysen sinnvoll, um die Ergebnisse zu verifizieren. Weder Fehlerrechnungen noch Sensitivitätsanalysen wurden in dieser Arbeit durchgeführt und müssen in der MDM-Praxis noch erprobt werden.

Zusammenfassung und Ausblick

Ziel der Arbeit war die Analyse und Erweiterung der Berechnungen innerhalb der MDM. Dazu wurden zunächst die Berechnungen nach verschiedenen Kriterien klassifiziert und aus struktureller Sicht diskutiert. Anschließend wurde anhand von Beispielen der Bedarf für erweiterte Berechnungen aufgezeigt. Nun wurden die Formeln der MDM-Berechnungen hergeleitet. Die Berechnungen basieren in der Grundform auf Matrixprodukten, die variiert werden können und damit neue Möglichkeiten eröffnen. Nach der numerischen Diskussion der Berechnungen wurden sie um die Berücksichtigung von Elementattributen erweitert. Dadurch waren neue Analysen möglich, mit denen die ursprünglichen Fragestellungen beantwortet werden konnten. Jedoch müssen verschiedene Aspekte bei der Verwendung der Attribute beachtet werden, um sicher zu stellen, dass die Werte interpretiert werden können.

Als Attribute wurden in der Arbeit Kosten bzw. Aufwand, Dauer, Stückzahlen und Punktbewertungen sowie Relationengewichtungen verwendet. Bei der Verwendung von neuen Attributen müssen deren spezifische Eigenschaften beachtet werden, damit die berechneten Werte richtig interpretiert werden können. Eine Systematik der Attributarten mit

ihren spezifischen Eigenschaften gibt es für die MDM-Berechnungen noch nicht und sollte in künftigen Arbeiten erstellt werden.

In der Arbeit wurden nur MDM-Berechnungen betrachtet, die eine DSM aus ein oder zwei DMM sowie evtl. einer DSM bilden. Eine ganze Reihe anderer Berechnungen wurde noch nicht diskutiert. Dazu zählen z. B. Berechnungen, die eine DMM ergeben oder bei denen zwei Vernetzungen der gleichen Domäne kombiniert werden. All diese Berechnungen können mit Attributen hinterlegt werden und müssen in weiteren Arbeiten untersucht werden.

Abgesehen von den Berechnungen muss der gesamte MD-Ansatz systematisiert werden. Dazu zählen Methoden zur Erfassung von Vernetzungen z. B. in Workshops, zur Zieldefinition und Modellierung. Aber auch die Analysen der DSM müssen erweitert werden, um Gewichtungen von Relationen und Elementen zu berücksichtigen. Die Grafentheorie umfasst eine ganze Reihe von Algorithmen und Analysen, die Gewichtungen verwenden. Dazu gehören etwa minimale und maximale Spannbäume oder kürzeste Pfade. All diese Aspekte müssen aufeinander abgestimmt werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Erweiterung der MDM-Berechnungen um Attribute die bestehenden Ansätze stark verbessert. So können nun alle verfügbaren Informationen genutzt und neue Analysen durchgeführt werden, so dass viele Fragen beim Umgang mit komplexen Systemen und Situationen beantwortet werden können. Allerdings sind noch nicht alle Attributarten und MDM-Berechnungen erforscht worden. Darüber hinaus besteht weiterer Forschungsbedarf in allen Bereichen des MD-Ansatzes.

Literatur

BIEDERMANN, W.

Berechnungen mit Attributen in der Multiple-Domain-Matrix
München: TU, Lehrstuhl für Produktentwicklung, Unveröffentlichte Diplomarbeit 2007.
(Nr. 1088)

BROWNING, T.

Applying the Design Structure Matrix to System Decomposition and Integration
Problems: A Review and New Directions In: IEEE Transactions on Engineering
Management
New York: IEEE 2001, S. 292-306. (48(3).2001)

EHRENSPIEL, K.; KIEWERT, A.; LINDEMANN, U.

Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren – Kostenmanagement in der
Produktentwicklung. 5. überarbeitete Auflage
Berlin: Springer 2005

MAURER, M.

Struktural Awareness in Complex Product Design
München: Dr. Hut 2007
Zugl. München: TU, Diss. 2007

MAURER, M.; LINDEMANN U.

Facing Multi-Domain Complexity in Product Development
CiDaD Working Paper Series 03 (2007) 01, S. 1-11