
Expertensystem zur Abstimmung der Dynamik von Bobschlitten

Heiko Freudenberg, Frank Grüllich & Peter Maißer (Projektleiter)

TU Chemnitz
Institut für Mechatronik

1 Problem

In verschiedenen Vorarbeiten wurden am Institut für Mechatronik, Chemnitz (IfM) mehrkörperdynamik-basierte Simulationsmodelle von Bobschlitten erstellt. Diese Simulationsmodelle repräsentieren den konstruktiven Aufbau eines Bobschlittens. Durch die Verwendung des mehrkörperdynamik-basierten Menschmodells DYNAMICUS, das ebenfalls am IfM entwickelt wurde, ist es möglich, den Einfluss der Bob-Mannschaft zu berücksichtigen. Darüber hinaus wird der unilaterale Kontakt zwischen den Kufen und der Eisbahn abgebildet. Das Simulationsmodell in seiner Gesamtheit (Schlitten, Mannschaft, Kufe-Eis-Kontakt) ist parametrisiert und strukturiert aufgebaut, es gestattet Modellvariationen durch Änderung von Parameterwerten und die (z. T. alternative) Berücksichtigung verschiedener Modellkomponenten und stellt somit die Voraussetzungen für umfangreiche Variantenuntersuchungen dar. Die Durchführung derartiger Untersuchungen erfordert jedoch Kenntnisse der Modellstruktur sowie der Bedienung des zu Grunde liegenden Simulationswerkzeuges alaska. Daraus leitet sich direkt das Ziel des Forschungsvorhabens ab: die Entwicklung eines Software-Systems, das es dem Anwender ermöglicht, auch ohne umfassende Kenntnis der implementierten Modelle und der Bedienung des zum Einsatz kommenden Simulationswerkzeuges auf einfache Art und Weise simulative Untersuchungen zur Abstimmung der Dynamik von Bobschlitten durchführen zu können. Ein solches System wird im Weiteren als Bob-Expertensystem (BES) bezeichnet.

2 Methode

Anfängliche Überlegungen zielten darauf, das BES als ein eigenständig lauffähiges Programm zu entwickeln. Ein fest definiertes Modell des Systems Bobschlitten-Mannschaft-Eisbahn, das in einigen Parametern variabel ist, wird dabei für die Untersuchungen verwendet. Dieses Modell wird in einer Programmbibliothek abgelegt. Der Anwender hat nur über die Änderung von Parameterwerten die Möglichkeit, das Simulationsmodell zu modifizieren. Umfang und Art der Resultate werden während der Entwicklung des BES bzw. während der Definition des hinterlegten Modells festgelegt. Wesentliche Vorteile dieser Herangehensweise sind:

- unbeabsichtigte Änderungen am Simulationsmodell durch den Anwender sind ausgeschlossen,
- es fallen keine Lizenzgebühren für ein zu verwendendes Simulationswerkzeug an,
- Kenntnisse in der Handhabung des Simulationswerkzeuges sind nicht erforderlich.

Diesen Vorteilen stehen jedoch gravierende Nachteile gegenüber. Die wichtigsten sind:

- Modelländerungen und -anpassungen sind sehr aufwändig bzw. vom Anwender nicht durchführbar,
- eine vorbereitete Modellvariabilität ist nur in einem sehr begrenzten Umfang möglich,
- dem Anwender ist es nicht möglich, nachträglich das vordefinierte Resultat-Set zu erweitern,
- Visualisierung des Simulationsmodells und Darstellung von Informationen über das Systemverhalten während der Durchführung der Simulationsrechnung sind nicht möglich,
- die fehlende visuelle Kontrolle des Simulationsprozesses verhindert ein frühzeitiges Eingreifen im Fehlerfall, etwa bei ungünstiger Parameterwahl.

Diese Nachteile sowie eine Reihe von Weiterentwicklungen im Simulationswerkzeug *alaska* führten zu der Entscheidung, das BES *alaska*-basiert zu realisieren. Durch die Schaffung geeigneter Schnittstellen wird der Anwender in die Lage versetzt, Parameteränderungen und Modellkonfigurationen über Eingabeschablonen durchzuführen. Aus der problemspezifischen Umsetzung neuer *alaska*-Funktionalitäten resultiert ein System, das dem Anwender ermöglicht, ohne Modellierungswissen und Kenntnis von Modellinternia weitreichende Parameteränderungen und Modellanpassungen/-variationen durchzuführen, ohne Gefahr zu laufen, dabei versehentlich ungewollte Modelländerungen zu verursachen. Der Anwender kann alle Standardfunktionalitäten von *alaska* bezüglich der Durchführung, Überwachung und Bewertung von Simulationsuntersuchungen nutzen, d. h., er ist während der Simulationsrechnung permanent numerisch und visuell über den aktuellen Systemzustand informiert und kann gegebenenfalls eingreifen. Darüber hinaus stehen dem Anwender weitere Werkzeuge zur Bewertung der Simulationsergebnisse zur Verfügung.

3 Ergebnisse

Im Vorfeld der Entwicklung des BES wurden am IfM mehrere Projekte zum Thema Bobschlitten bearbeitet. Ausgangspunkt der Beschäftigung mit der Bob-Thematik war die Entwicklung eines Bob-Fahrsimulators für das Training von Bob-Piloten. Wesentliches für das BES nutzbares Resultat dieses Projektes war die Bereitstellung von Bobbahn-Daten (Günther, Kielau & Maißer, 1994). Grundlage des im BES verwendeten Simulationsmodells ist das Mehrkörpermodell eines Zweier-Bobschlittens. Dieses Modell ist

ein Resultat der Bearbeitung des Projektes „Bobdynamik – Optimales Layout von Bobschlitten“. Es basiert auf CAD-Daten eines realen Bobschlittens, die vom Kooperationspartner FES zur Verfügung gestellt wurden (Günther & Maißer, 2002). Die benannten Forschungsprojekte wurden, wie das hier dokumentierte, vom Bundesinstitut für Sportwissenschaft gefördert.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Struktur des BES. Das Expertensystem ist gewissermaßen eine Schale um das Simulationsmodell. Diese Schale schützt das Modell vor versehentlichen Änderungen und stellt Schnittstellen für die Kommunikation des Modells mit dem Anwender und anderen Software-Komponenten zur Verfügung. Die Kommunikation mit dem Anwender erfolgt über Schnittstellen der interaktiven Ebene, die Kommunikation mit anderen Softwarekomponenten mittels Schnittstellen der Dateiebene.

Wesentlicher Bestandteil des BES sind Eingabemasken, mit deren Hilfe der Anwender auf das Simulationsmodell, die Simulationsdurchführung und die Auswertung Einfluss nimmt, z. B. für die

- Eingabe von Werten für Konstruktionsparameter (Kufenlänge, Achsabstand u. ä.),
- Eingabe von Mannschaftsparametern (Größe, Masse),
- Eingabe von Werten für Systemparameter (Steifigkeits- und Dämpfungswerte),
- Parameter zur Beschreibung der Eiswelligkeit,
- Eingabe der Bauteilmassen,
- Auswahl der darzustellen Geometrielemente,
- Modelldefinition (Kufe-Eis-Kontaktmodell, Bahnbeschreibung, Sollfahrspur, ...),
- Simulationssteuerung.

Zur Auswertung stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung. Grundsätzlich sind alle von alaska standardmäßig bereitgestellten Informationen nutzbar. Neben der visuellen Bewertung der Simulation im Modell-Viewer sind Informationen über die Starrkörper (z. B. Lage und Geschwindigkeit im Raum) des Modells, die sie verbindenden Gelenke (z. B. Gelenkwinkel und -geschwindigkeiten, Reaktionskräfte) sowie die Kontaktpaarungen abrufbar. Für Bob-spezifische Resultate (Kufenaufstandskräfte) ist eine statistische Auswertung vorbereitet. In einem Ausgabefenster werden Minimum, Maximum, Mittelwert und Varianz der Kufenaufstandskräfte für den vorderen und hinteren Kufenpunkt jeder Kufe angegeben. Mehrere Plots für spezifische Resultate wie z. B. Lenkwinkel, Gesamtgeschwindigkeit des Bobschlittens, Gelenkwinkel des Vorder- und Hinterboot verbindenden Kardangelenkes usw. sind vorbereitet. Es besteht weiterhin die Möglichkeit, Resultate als Zeitschrieb in eine Resultatdatei zu exportieren. Zur externen Auswertung dieser Dateien steht für MS-Excel ein Add-In zu Verfügung. Unter einem Add-In ist ein Zusatzprogramm zu verstehen, dass das Hauptprogramm (Excel) um nutzerspezifische

Funktionalität erweitert. Das Add-In ermöglicht den direkten Vergleich von Resultaten unterschiedlicher Simulationsvarianten in einem Diagramm.

4 Diskussion

Resultat der mit dem BES durchgeführten Untersuchungen können nur Trendaussagen sein. Das BES bietet also die Möglichkeit, Aussagen darüber zu treffen, wie sich die Änderung eines oder mehrerer Modellparameter auf einzelne oder mehrere Systemeigenschaften auswirken bzw. wie sich Änderungen in der Bobkonstruktion und -kinematik auf das fahrdynamische Verhalten tendenziell auswirken können. Die Vorhersage „realistischer Ergebnisse“, beispielsweise die für eine bestimmte Bahn mit einer gewählten Modellkonfiguration exakt erreichbare Fahrzeit, ist aus unterschiedlichen Gründen nicht möglich und unter Berücksichtigung der Komplexität des dynamischen Prozesses Bobfahrt auch nicht zu erwarten. Verschiedene auf den Prozess einwirkende physikalische Vorgänge wurden im Modell nicht berücksichtigt. Hier sind z. B. der Anschub-Prozess und die Eiszerstörung durch die Kufen zu nennen. Gründe dafür sind eine nur unzureichende mathematische Modellierung derartiger Vorgänge, ebenso wie eine unzureichende Verfügbarkeit verwertbarer Prozessdaten

Zur Verbesserung der Realitätsnähe sind Vergleiche mit Messergebnissen erforderlich. Dabei stellt die Aufzeichnung von Messwerten, vor allem der tatsächlich gefahrenen Fahrspur ein Problem dar. Weitere Verbesserungen des Systems sind durch die Berücksichtigung spezieller Phänomene, bspw. der Eiszertrümmerung durch die Kufen, denkbar. Allerdings setzt das die Verfügbarkeit geeigneter mathematischer Modelle dieser Effekte voraus.

Das BES wurde auf dem Workshop „Biomechanik und Sport“ des Institutes für Mechatronik an der TU Chemnitz am 8. November 2004 präsentiert (Freudenberg, 2004).

5 Literatur

- Günther, M., Kielau, G. & Maißer, P. (1994). Simulation von Fahrten gesteuerter Bobschlitten. *Zeitschrift für Angewandte Mathematische Mechanik* 73, 9, 434-435.
- Günther, M. & Maißer, P. (2002). Abschlussbericht Bobdynamik III, Institut für Mechatronik, Chemnitz, 05/2002.
- Freudenberg, H. (2004). Sportgeräteentwicklung im Bobsport- Expertensystem Bob. Biomechanik-Workshop des Institutes für Mechatronik an der TU Chemnitz, 8. November 2004.