

SIMPACK in der Biomechanik

Die Simulation von Bewegungsabläufen des menschlichen Körpers gehört zu den anspruchsvollsten Herausforderungen der MKS-Anwendung. Schon vor 100 Jahren entwickelte O. Fischer Modelle der menschlichen Physiologie als Mehrkörpersysteme, deren Einzelkörper durch Gelenke, Muskeln und Sehnen verbunden sind, verfügte jedoch nicht über die Mittel, die Bewegungsgleichungen zu lösen [1]. Diesbezüglich hat sich die Lage zwar deutlich verbessert, aber auch heute noch erweist sich die hohe Komplexität biomechanischer Systeme als schwer zu simulieren. Für SIMPACK liefern biomechanische Anwendungen wichtige Impulse und nehmen durchaus eine Schlüsselrolle in der Entwicklung ein.

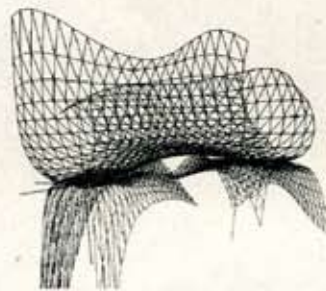
Gerhard Hippmann, DLR

Auf Grund ihrer Komplexität und der Schwierigkeit, Modelle ausreichend mit Parametern zu versorgen, sind biomechanische Simulationen oft stark vereinfacht oder beschreiben nur Teilsysteme genauer. Häufig wird versucht, mit Beobachtungssystemen die Kinematik menschlicher Bewegungen zu messen und mittels inverser Dynamik auf die Kräfte und Momente in Muskeln und Gelenken rückzuschließen. Es hat sich jedoch gezeigt, daß bei dieser Methode die großen Unterschiede zwischen Realität und Modell häufig zu unbrauchbaren Ergebnissen führen; deshalb empfiehlt es sich auch hier, die (schwierigere) sogenannte Vorwärtssimulation anzuwenden [3]. SIMPACK ist auf Grund seiner offenen Struktur, seiner Konzeption als *High End MKS-Tool* und seiner leistungsstarken Lösungsverfahren prädestiniert für die Darstellung hoch komplexer biomechanischer Modelle.

Kniegelenk und Skisprung

Im Fachbereich Feinwerk- und Mikrotechnik der FH München (Prof. Wallrapp) wurde im Rahmen einer Diplomarbeit das menschliche Kniegelenk simuliert (siehe Bild) [4]. Hierbei wurde die Berührung der Knochenoberflächen mit dem SIMPACK 3D-Kontakt modelliert und die Lage der Kontaktpunkte sowie das Verhalten der Faserbündellängen der beteiligten Bänder und Gelenkkapseln in Abhängig-

keit der Beugstellung ermittelt. Neuere Arbeiten befassen sich mit Landevorgängen alpiner Skiläufer. So wurden ausgehend von Messungen des TÜV Product Service München die Nachgiebigkeit der Sprunggelenke im Skischuh und die Gelenkkräfte im Kniegelenk [5] untersucht, sowie



die beim Landevorgang erforderlichen resultierenden Muskelmomente im Hüft-, Knie- und Sprunggelenk durch Modellgesetze für eine Zeitsimulation approximiert [6].

Muskelmodelle

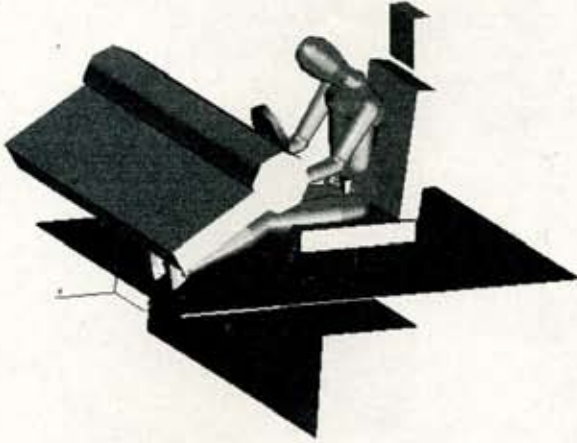
Am Institut für Sportwissenschaft und Sport der Bundeswehruniversität München (Abteilung Bewegungs- und Trainingswissenschaft, Professor Schneider) werden komplexe Muskelmodelle mit SIMPACK User-Routinen in die MKS-Welt übertragen. Wie bei den Gelenken erweist sich die biomechanische Realisierung eines Aktuators als wesentlich schwieriger wie bei den technischen Pendants, etwa hydrodynamischen oder elektrischen Antrieben. Effekte wie Sättigung, Hysterese, variierendes Übertragungsverhalten und

Reflexmechanismen sowie in Abhängigkeit von den Gelenkstellungen wirkende Kraftumlenkungen an Sehnen stellen höchste Ansprüche an die Modellierung. Von Seiten der Entwicklung soll hierfür die Möglichkeit geschaffen werden, Kraftelemente mit mehr als zwei Wirkstellen zu definieren (was derzeit nur mit SIMPACK CONTROL machbar ist).

Unfallforschung

Interessante Projekte auf dem Gebiet der Biomechanik finden sich auch in der Unfallforschung. Am Institut für Rechtsmedizin der Ludwig-Maximilian-Universität München (Prof. Beier) wird SIMPACK zur Erstellung von Gutachten eingesetzt. Typische Szenarien sind dabei Stürze und Verkehrsunfälle zwischen Fahrzeugen und Fußgängern. Bei solchen Anwendungen tritt 3D-Kontakt zwischen zahlreichen frei zu definierenden Körperoberflächen auf, was mit SIMPACK schon seit längerem modellierbar ist (*Moved Marker vom Typ 87*). Seit Version 7.1 kann der Benutzer auch eigene Routinen zur Flächenbeschreibung einbinden. In Zukunft sollen im Rahmen einer Dissertation weitere Verbesserungen wie CAD-Facettenflächen als Kontaktflächen und weiter erhöhte Performance und Stabilität der numerischen Integration erzielt werden, wobei die Biomechanik die wichtigsten Impulse liefert.

Auch bei Prof. Ruder vom Institut für Astronomie und Astro-



physik der Universität Tübingen (Abteilung Theoretische Physik und Computational Physics), der sich für SIMPACK als Basis-MKS-Software entschieden hat, wird die Simulation von Pkw-Fußgänger Kollisionen weiterentwickelt [7]. Weitere Projekte befassen sich mit Belastungen im Bewegungsapparat von Fahrzeuginsassen bei Fahrzeugunfällen (siehe Bild) und von Turnerinnen beim Landen auf Sporthallenböden.

Springende Turnerinnen

Letztgenanntes Projekt wird in Zusammenarbeit mit Frau Professor Gruber vom Institut für Sportwissenschaft der Universität Koblenz durchgeführt. Ziel ist zunächst, anhand von Messung und Simulation Parameter zu identifizieren, und schließlich - vermutlich schädlich - große Gelenkbelastungen zu berechnen.

Zur Berücksichtigung der Dynamik des menschlichen Gewebes setzen sich die Körper aus Bewegungsapparat und daran mit Krafterelementen gekoppelte sog. Schwabbelmassen zusammen.

SIMPACK Features

Die Argumente der Biomechaniker für den Einsatz von SIMPACK sind vielfältig. Der 3D-Kontakt ist hier nicht auf eine Auswahl einfacher Primitive beschränkt, sondern auch zwischen spline-interpolierten oder -approximierten Kontaktflächen modellierbar. Als Kontaktelemente stehen bewährte Krafterelemente für die Normal- und Reibkraftmodellierung, Stick-Slip-Elemente (Haft-Gleit-Übergänge) und bald auch einseitige Zwangsbindungen in strukturvariabler Formulierung [8] zur Verfügung. Schliesslich ist die hohe Effizienz und Stabilität des SIMPACK-Solvers SODASRT mit Root Function Handling [9] ein entscheidender Vorteil für die erfolgreiche Integration nicht stetiger Systeme.

SIMPACK Entwicklung

Die SIMPACK-Entwicklungsabteilung beim DLR sieht die komplexen Problemstellungen der Biomechanik als Herausforderung und Motor zur Weiterentwicklung der Software. Sie ist derzeit in verschiedene Forschungsprojekte und -vorhaben involviert:

- Zusammenarbeit mit Prof. Beier, Prof. Ruder und Prof.

Schneider, die im DFG-Schwerpunkt 'Homunkulus' an der interdisziplinären Entwicklung eines modular aufgebauten und universell einsetzbaren Modells des menschlichen Körpers mitarbeiten.

- Im neuen interdisziplinären Projekt 'Biodynamik' unter Prof. Gruber, welches 'Homunkulus' im Hinblick auf Parameteridentifizierung, Entwicklung mathematischer Modelle und Methoden zur effizienten Simulation und Optimierung ergänzen soll.
- Im Projekt 'EUREKA', in dem in Zusammenarbeit mit Prof. Kovanda von der TU Prag Menschmodelle von Fahrzeuginsassen entwickelt werden, was eine zukünftige Erweiterung von SIMPACK im Bereich der passiven Sicherheit möglich macht.

Die erzielten Erfolge werden in allgemein verfügbare Software einfließen und eine durchaus auf andere Bereiche übertragbare Verbesserung und Erweiterung von SIMPACK ergeben.

Biomechanik User Group

Zur Verständigung der SIMPACK Anwender aus der Biomechanik wurde vor kurzem eine *User Group* mit *Mailing List* ins Leben gerufen. Nähere Informationen gibt es bei Professor Gruber (gruber@uni-konstanz.de).

- [1] Roberson, R.E., Schwertassek, R.: Dynamics of multibody systems. Springer Verlag, Berlin, 1988.
- [2] Huston, R.L.: Multibody dynamics. Butterworth-Heinemann Verlag, 1990.
- [3] Gruber, K., Ruder, H.: Simulation of different movements in sports via direct dynamics. In: Proceedings of the XVI ISBS Symposium 1998, Universitätsverlag Konstanz.
- [4] Lehner, S.: 3D-Simulation des menschlichen Kniegelenks. Diplomarbeit, FH München, Fachbereich Feinwerk- u. Mikrotechnik, 1995.
- [5] Hollweck, F.: 3D-Simulation von Sprung- und Landebewegungen im alpinen Skilauf. Diplomarbeit, FH München, Fachbereich Feinwerk- u. Mikrotechnik, 1997.
- [6] Toth, E.: Implementierung von Muskelfunktionen in ein Computermodell des menschlichen Körpers und deren Abstimmung anhand vorgegebener Optimierungskriterien. Diplomarbeit, FH München, Fachbereich Feinwerk- u. Mikrotechnik, 1998.
- [7] Schützler, O., Ruder, H.: Unfallsimulation Pkw-Mensch. SIMPACK News 2. Jahrgang 3. Ausgabe, INTEC GmbH, 1997.
- [8] Klisch, T.: Kontaktmechanik in Starrkörpersystemen. Dissertation, Universität Karlsruhe, Fakultät für Maschinenbau, 1997. Shaker Verlag, Aachen, 1997.
- [9] Hippmann, G.: Root-Funktionen. SIMPACK News, 2. Jahrgang, 2. Ausgabe, INTEC GmbH, 1997.