Simulationsdienste via Grid computing

Hochleistungs-Simulationsrechnungen unterstützen den Mediziner

Das EU-Projekt GEMSS bietet über Grid computing Ärzten die Möglichkeit, auf entfernte medizinische Hochleistungs-Simulationsdienste zuzugreifen und damit Diagnose und Planung medizischer Eingriffe zu verbessern.

Numerische Simulation ist ein mächtiges Werkzeug, das aus vielen Bereichen nicht mehr wegzudenken ist, etwa im Automobilbau, der Bauwirtschaft oder auch der Meteorologie. Medizinische Anwendungen hinken hier noch hinterher. Zwar belegen eine Vielzahl von Forschungsprojekten ein großes Potenzial, z.B. im Bereich der Planung von Strahlentherapie, Hyperthermie oder plastischer Chirurgie (siehe unser Beispiel weiter unten), aber der Einsatz in der täglichen Praxis findet nur vereinzelt statt, zumeist an großen Universitätskliniken. Eine mögliche Ausnahme bilden Trainingssysteme, bei denen an (generischen) virtuellen Patienten geübt werden kann.

Die Gründe hierfür sind vielschichtig. Zunächst macht die Komplexität des menschlichen Körpers und seiner Funktionen eine mathematisch-physikalische Modellierung zu einer Herausforderung. Für den jeweiligen konkreten Fall sind maßgeschneiderte Lösungen erforderlich, die wiederum eine enge interdisziplinäre Kooperation zwischen Medizinern, Naturwissenschaftlern und Simulationsexperten voraussetzen. Aber auch wenn für eine medizinische Aufgabenstellung prinzipiell geeignete Modellierungen und Simulationen zur Verfügung stehen, gibt es erhebliche Hindernisse für eine breite Anwendung.

Zum einen sind für die Bedienung der numerischen Simulationspakete umfangreiche Vorbehandlungen der Eingangsdaten erforderlich, die in der Regel von speziell ausgebildeten Fachleuten mit technischem Hintergrund vorgenommen werden. Zum anderen benötigen derartige Simulationen in aller Regel ein geballtes Maß an Rechenkraft und Speicher. Für die Simulation der Distraktions-Osteogenese (s.u.) etwa werden ca. 10-30 Gigabyte an Hauptspeicher benötigt, umso mehr, je genauer die Ergebnisse sein sollen. Die erforderliche Soft- und Hardware (typischerweise PC-Cluster oder Hochleistungsrechner) steht nur wenigen Kliniken und wohl kaum einem niedergelassenen Arzt zur Verfügung; eine Anschaffung wird sich für die meisten nicht rechnen.

Simulation aus der Steckdose!?

An dieser Stelle kommt die Idee des *Grid computing* ins Spiel. Der Name leitet sich aus einer Analogie zum Stromnetz (engl. *power grid*) her: Rechenleistung soll so direkt verfügbar sein wie Strom aus der Steckdose. Ganz so einfach wird es in der Praxis sicher nicht, jedoch ist der Grundgedanke vielversprechend: Ein Arzt, der einen bestimmten Simulationsdienst benutzen möchte, lädt die benötigten Daten (etwa ein CT des Patienten) auf einen Server, spezifiziert vorher ggf. noch einige Parameter (im Falle der plastischen Chirurgie sind dies z.B. Schnitte und Verlagerungen), und erhält die Ergebnisse zurück. Die Vorteile liegen auf der Hand: Er muss keine neue teure Soft- und Hardware anschaffen, braucht keine technischen Spezialkenntnisse zu erwerben, und benutzt automatisch immer die aktuelle Version der Simulationssoftware.

Natürlich sind auf dem Weg dahin eine Menge Probleme zu bewältigen: Sicherheit, Zuverlässigkeit, Abrechnung, Erreichbarkeit, Einfachheit der Bedienung. Genau mit diesen Aspekten beschäftigt sich das europäische Forschungsprojekt GEMSS (Grid Enabled Medical Simulation Services). Die verschiedenen Herausforderungen des Grid computing im medizinischen Bereich werden innerhalb von GEMSS anhand von sechs Modellanwendungen untersucht: Plastische Chirurgie des Mittelgesichts mit Hilfe der Distraktions-Osteogenese (s.u.), schnelle Registrierung von intraoperativen MR-Daten in der Neuro-Chirurgie, Optimierung von Strahlentherapien, Simulation des Herz-Kreislaufsystems z.B. zur Optimierung von Stent-Einsätzen, Simulation und Optimierung der Aufnahme von Medikamenten über die Atemwege, sowie verbesserte 3D Rekonstruktion von SPECT Bildern.

Im Kern setzt das Grid-System von GEMSS (Abb. 1) dabei auf bewährte und allgemein verfügbare Web-Standardprotokolle wie z.B. *https*, das auch beim Online-Banking eingesetzt wird. Damit ist ein GEMSS-Dienst von jedem Rechner mit Internetanschluss aus benutzbar. Zusätzliche Verschlüsselungs- und Authentifizierungs-Module (Public-Key-Infrastruktur und Zertifikate nach *X.509*) gewährleisten eine lückenlose Sicherheit vom Desktop zum Server und zurück. Weiterhin werden im Rahmen des Projektes die rechtlichen Grundlagen solcher medizinischen Grid-Dienste untersucht.

Beispiel virtuelle Distraktions-Osteogenese

Betrachen wir eine konkrete GEMSS-Anwendung etwas genauer. Lippen-Kiefer-Gaumen-Spalten sind die zweithäufigste angeborene Fehlbildung. Bei etwa 20-30% der

Patienten besteht ein Missverhältnis im Wachstum von Ober- und Unterkiefer, so dass das Mittelgesicht mit dem Oberkiefer zurückbleibt (Abb. 2 oben links). Eine relativ neue Möglichkeit der operativen Korrektur bei großen Verformungen stellt die Distraktions-Osteogenese dar. Hierbei werden die entsprechenden Abschnitte des Mittelgesichts durch Knochenschnitte gelöst und schrittweise mit Hilfe eines externen Distraktors (Abb. 2 oben rechts) ca. 1mm pro Tag verlagert, bis die Korrektur abgeschlossen ist. Durch die langsame Bewegung können sich die Weichgewebe anpassen, weiterhin bildet sich zwischen den auseinanderweichenden Knochenkanten neuer Knochen, so dass auch bei großen Verlagerungen kein Knochen in den sonst entstehenden Spalt verpflanzt werden muss.

Bei der Planung solcher Operationen, insbesondere in komplexen Fällen, ist erhebliche Erfahrung und geometrisches Vorstellungsvermögen von seiten des Arztes notwendig, um das Ergebnis bzw. die nötige (Über-)Korrektur richtig vorherzusagen. Zudem verursachen Kraftspitzen bei der Distraktion dem Patienten unnötige Schmerzen.

Die Planung solcher Eingriffe kann durch numerische Simulation entscheidend verbessert werden. Es ist möglich, aus einem CT-Datensatz des Patienten ein dreidimensionales geometrisches Modell zu erzeugen, das in Verbindung mit definierten Schnitten und Knochenverlagerungen eine Vorhersage der Gesamtverlagerung, also auch des Weichgewebes, sowie der auftretenden Kräfte erlaubt. Damit kann dann ein optimierter Operationsplan erstellt werden.

Für die Simulation ist eine ganze Kette von Einzelschritten nötig, die glücklicherweise weitgehend automatisiert werden können. Zunächst werden in dem CT-Datensatz Knochen und Weichgewebe identifiziert (segmentiert). Aus diesen Daten wird dann ein Oberflächenmodell des Knochens erstellt. Daraufhin ist der Chirurg am Zuge und benutzt ein graphisches (und möglicherweise sogar haptisches) Interface, um virtuelle Knochenschnitte und Verlagerungen anzugeben (Abb. 3). Mit diesen Informationen wird wieder automatisch ein Volumenmodell des Patienten-Kopfes erstellt, das zusammen mit den gewünschten Verlagerungen den Input für eine Finite-Elemente-Simulation darstellt. Das Ergebnis dieser Simulation sind dann die resultierende Verlagerung des Weichgewebes und die auftretenden Kräfte.

Mit Hilfe eines solchen System kann der Arzt verschiedene Behandlungspläne durchspielen. Bei der Simulation kann er zwischen verschiedenen Genauigkeiten wählen, etwa einer einfachen Rechnung, die in wenigen Minuten die Weichgewebeverlagerung angenähert liefert, bis zu einer nicht-linearen Simulation, die genauere Verlagerungen, den zeitlichen Verlauf und die auftretenden Kräfte ausgibt, aber entsprechend länger braucht.

Das System zur virtuellen Osteogenese ist zur Zeit in der Entwicklung; ein erster klinischer Test wird in Kürze beginnen. Es ist geplant, die Gewebearten weiter zu differenzieren, etwa Haut, Fett und Muskelgewebe zu unterscheiden.

Fazit

Der Grid-Ansatz, wie er im GEMSS-System realisiert wird, bietet gegenüber herkömmlichen rein lokal arbeitenden medizinischen Software-Paketen entscheidende Vorteile: Der einfache Zugriff auf rechenintensive Simulations- und Bildverarbeitungswerkzeuge auf dem neuesten Stand der Technik in Verbindung mit ggf. anforderbarer Online-Unterstützung durch Experten (Grid Consulting) erlaubt es Medizinern, von z.T. drastisch verbesserten und vereinfachten Diagnose- und Planungsmethoden zu profitieren, ohne zuvor erhebliche Investitionen tätigen zu müssen.

Der Bereich der möglichen Anwendungen ist noch kaum zu überblicken, und reicht von einfachen Volumen-Visualisierungen z.B. von CT-Daten (Abb. 2 unten) über die automatische Suche und Vergleiche in Bild-Datenbanken bis hin zu komplexen Simulationen, wie oben vorgestellt. Die entstandenen Behandlungspläne könnten auch zur Aufklärung der Patienten genutzt werden. Weitere Möglichkeiten des Grids liegen in der Schulung und Beratung am virtuellen Modell und in der Telemedizin.

Bevor dieses Szenario Wirklichkeit wird, sind noch einige Hürden zu nehmen. Pilotstudien müssen bei jeder einzelnen Anwendung die klinische Relevanz und Eignung belegen. Bis Grid computing ein fester Bestandteil der ärztlichen Praxis ist, wird es daher wohl noch einige Jahre dauern. Wir erwarten, dass sich das bis Februar 2005 laufende GEMSS Projekt als Meilenstein auf diesem Weg erweisen wird.

G. Berti, J. Fingberg, T. Hierl, J. G. Schmidt

Kontakt: Dr. Jochen Fingberg (GEMSS Koordinator)
C&C Research Laboratories, NEC Europe Ltd.
Rathausallee 10, 53757 St. Augustin
Telefon: 02241/92520
E-Mail: `fingberg@ccrl-nece.de`

GEMSS: `http://www.gemss.de`

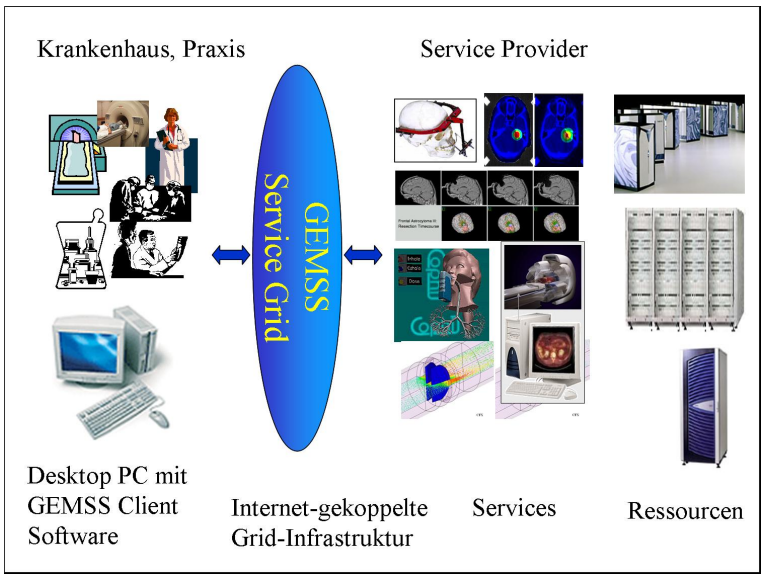

Abbildung 1: Schematische Darstellung des GEMSS-Systems. Das System kann von jedem PC mit Internet-Anschluss genutzt werden. Eine Grid-Infrastruktur (*middleware*) sorgt für einen sicheren Transport der Daten zu den jeweiligen Diensten, die auf Hochleistungs-Rechner zurückgreifen können.

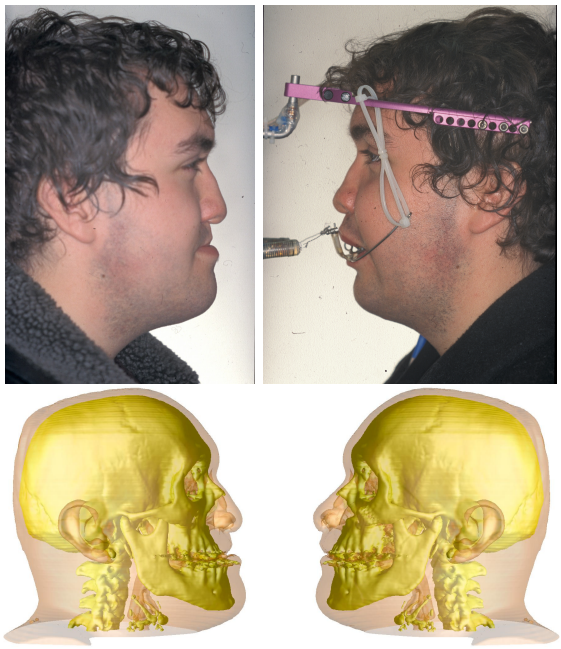

Abbildung 2: Distraktions-Osteogenese: Patient vor der Operation (oben links), mit Distraktions-Halo (oben rechts), Volume-rendering mit halb durchsichtiger Hautoberfläche des Original-CT vor der Operation (unten links) und Ergebnis der Simulation (unten rechts).

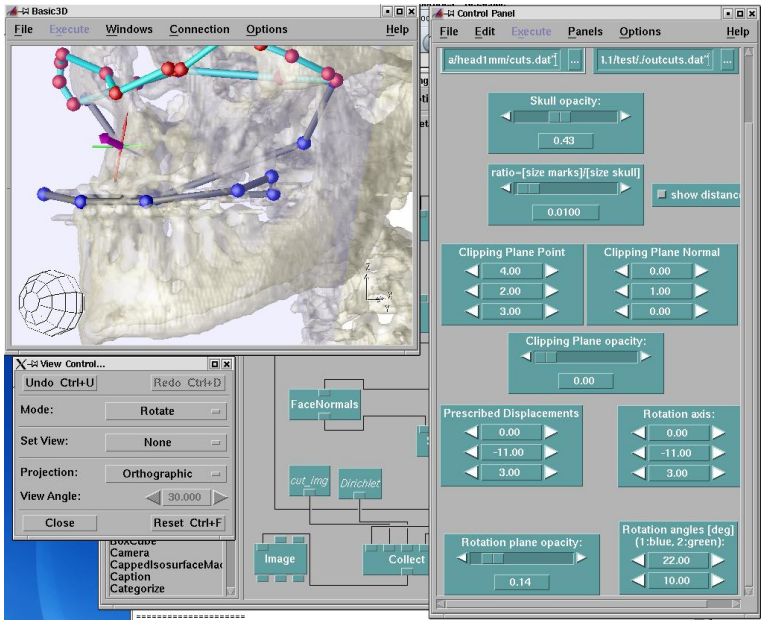

Abbildung 3: Virtuelles Knochenschneiden: Schnittführungen werden direkt auf den Knochen gemalt, Verschiebungen sind in dieser Prototyp-Version durch Pfeile kenntlich gemacht. Zugrunde liegt das frei erhältliche Programmpaket OpenDX, das um einige Module ergänzt wurde, und recht einfach an individuelle Vorlieben angepasst werden kann.