

OBJEKTE IM RAUM.

Die bisher größte Herausforderung für die Datenverarbeitung in der Astronomie: die Gaia-Mission.

Im Rahmen meiner Arbeit stieß ich auf ein äußerst spannendes Projekt der Europäischen Weltraumbehörde: die Gaia-Mission¹. Unter Fachleuten gilt sie als „bisher größte Herausforderung für die Datenverarbeitung in der Astronomie“.

Mein Interesse war geweckt. Um mehr zu erfahren, sprach ich mit William O`Mullane, Science Operations Development Manager der Europäischen Weltraumbehörde, und Vik Nagjee, Produktmanager, Core Technologies, bei der InterSystems Corporation. Beide sind eng in den Machbarkeitsnachweis für den Datenmanagementteil dieses Projekts eingebunden.

Ich hoffe, dieses Gespräch bietet Ihnen interessante Einblicke.

RVZ

von Roberto V. Zicari, Herausgeber ODBMS.ORG, www.odbms.org

26. März 2011

reprinted with permission of ODBMS.ORG

¹ <http://sci.esa.int/science-e/www/area/index.cfm?fareaid=26>

F1. Weltraummissionen sind langfristig angelegt. In der Regel auf 15 bis 20 Jahre. Für 2012 plant die Europäische Weltraumbehörde den Start des Satelliten Gaia. Welche Aufgabe wird Gaia haben?

O'Mullane:

Zunächst wissen wir seit kurzem, dass sich der Start auf Anfang 2013 verschiebt. Verzögerungen dieser Art sind bei komplexen Weltraummissionen nicht unüblich. Gaia ist die ehrgeizige Astrometrie-Mission der ESA. Ihr Hauptziel ist es, eine Milliarde Himmelskörper (der Großteil in unserer Galaxie) mit bisher unerreichter Genauigkeit astrometrisch, fotometrisch und spektroskopisch zu kartografieren. Dabei wird der Satellit über die Dauer von 5 Jahren an die 100 Terabyte Telemetrie-Rohdaten zur Erde übermitteln.

Um die erforderliche Präzision von 10 Mikrobogensekunden zu erreichen, bedarf es einer hoch entwickelten Datenverarbeitung. Dieser Aufgabe widmen wir uns im Rahmen eines gemeinschaftlichen europäischen Projekts, mit dem das Gaia DPAC (Data Processing and Analysis Consortium) betraut ist. Am Ende werden wir über eine Phasenraumkarte unserer Galaxie verfügen, die uns bei der Erforschung ihres Ursprungs und ihrer Entwicklung hilft.

F2. In Ihrem Bericht „Charting the Galaxy with the Gaia Satellite²“ schreiben Sie, dass „die Gaia-Mission als bisher größte Herausforderung für die Datenverarbeitung in der Astronomie gilt. Gaia soll etwa 1 Milliarde Himmelskörper kartografisch erfassen.“ Welche Daten soll Gaia dabei sammeln? Und welche Daten benötigt Gaia für den eigenen Betrieb?

O'Mullane:

Gaia verfügt über zwei Teleskope und ein Radialgeschwindigkeitsspektrometer. Von beiden Teleskopen werden zur Berechnung von Himmelsposition und Helligkeit im Parallelbetrieb Bilder aufgenommen. Zwei spezielle CCD-Sets am Ende der Brennebene zeichnen zur Erfassung von Fotometriedaten für jedes Objekt Bilder im Rot- und Blauspektrum auf. Zudem werden für eine große Zahl von Objekten spektrografische Bilder aufgenommen.

Aus der Kombination dieser Daten leiten wir die genauen Positionen, Entfernungen und Eigenbewegungen von Himmelskörpern ab. Darüber hinaus erhalten wir Daten zur Metallizität, Temperaturwerte usw., mit denen wir die Objekte nach verschiedenen Sternengruppen kategorisieren können. Wir verwenden den Begriff Himmelskörper, weil nicht alle Objekte, die Gaia erfasst, Sterne sind.

² http://www.odbms.org/downloads.aspx#odbms_ap

So beobachten wir mit Gaia beispielsweise auch Asteroiden und präzisieren deren bekannte Umlaufbahn. Wir werden auch viele Planeten entdecken (wenn auch nicht direkt observieren).

Wie jeder Satellit ist Gaia mit einer Vielzahl von Bordinstrumenten wie Gyroskopen, Sternnachlaufgeräten und Thermometern ausgerüstet. Deren Daten werden ausgelesen und als ‚Systempflege‘-Telemetrie zur Erde übermittelt. All diese Daten werden zur Überwachung des Status und der Position von Gaia benötigt. Ziemlich einzigartig ist für Gaia vielleicht der Einsatz von Daten, die zu einer Art Selbstkalibrierung über wissenschaftliche Instrumente gewonnen werden. Bei Gaia geht es darum, mittels statistischer Daten dem Hintergrundrauschen Herr zu werden.

F3. Programmiersprache für die Gaia-Datenverarbeitungssoftware ist Java. Welche Aufgaben hat die Software? Welche Vorgaben galten für sie?

O`Mullane:

Aufgabe der Software ist es, alle gesammelten Daten zu verarbeiten und auf Einträge in einem Sternenkatalog einzudampfen. Die Anforderungen variieren – im Wissenschaftszentrum empfangen wir 50 bis 80 Gigabyte Daten pro Tag, die die Software jeweils innerhalb von 8 Stunden verarbeiten muss. Das ist die strengste Vorgabe. Wenn wir bei der Verarbeitung der eingehenden Daten nämlich in Rückstand geraten, holen wir diesen nie wieder auf.

Das astrometrische System umfasst einige Terabyte Daten, die aus dem Gesamtdatenbestand extrahiert werden. Der Prozess läuft in größeren Abständen (alle sechs Monate bis einmal jährlich). Die Verarbeitung durch die Software muss dann jeweils innerhalb von 4 Wochen erfolgen.

Wir haben eine Vielzahl von Systemen mit jeweils eigenen Anforderungen an Datenmenge und Verarbeitungszeit: Systeme für die Fotometrie, Spektroskopie, Nicht-Einzelstern-Objekte, Klassifizierung, Variabilitätsanalyse usw.

F4. Welche technischen Herausforderungen stellt das Projekt hinsichtlich der Datenverarbeitung, -bearbeitung und -speicherung?

Nagjee:

Allein der erwartete Umfang der vom Gaia-Satelliten erfassten Daten ist eine technische Herausforderung. Gaia beobachtet etwa 1 Milliarde Himmelskörper. Für jedes Objekt werden etwa 1.000 Observationen (100 x 10) erfasst. Das macht in der Summe 1.000 Milliarden Observationen; jede

Observation wird als diskretes Java-Objekt dargestellt und enthält viele Eigenschaften, die verschiedene Charakteristika dieser Himmelskörper beschreiben.

Der Trick besteht darin, diese Informationen nicht nur zu erfassen und sehr schnell in die Datenbank einzuspeisen, sondern dies in Form diskreter (Nicht-BLOB-)Objekte zu machen, um die nachgelagerte Verarbeitung zu vereinfachen. Darüber hinaus muss das System auf sehr schnelle Schreib- und Lesevorgänge (Abfragen) getrimmt werden. All dies muss sehr wirtschaftlich und kostengünstig erfolgen – Stromverbrauch, Kühlung usw., damit die Kosten so weit wie möglich gesenkt werden.

Dies sind nur einige der Herausforderungen dieses Projekts.

F5. Ein spezieller Teil der Gaia-Datenverarbeitungssoftware ist die sogenannte Astrometric Global Iterative Solution (AGIS). Programmiersprache für diese Software ist Java. Welche Aufgabe hat dieses Modul? Und welche speziellen Anforderungen an Daten und Technik gibt es?

Nagjee:

AGIS ist eine Lösung bzw. ein Programm, das die Rohdaten iterativ zu aussagekräftigen Daten verarbeitet.

O'Mullane:

AGIS nimmt eine Teilmenge der Daten, die sogenannten Primärsterne (Sterne ohne spektrale Auffälligkeiten), und gleicht die Observationen mit einem astrometrischen Modell ab. Das schließt die Feinjustierung der Lage des Satelliten (unter Rückgriff auf den bekannten Basiswinkel und die parallelen Observationen der einzelnen Teleskope) sowie die Kalibrierung ein (auf der Basis einer Lage und bekannter Sternenpositionen, die zu bestimmten Zeiten an festen Punkten im CCD-Detektor erscheinen müssen). Das ist eine große (eigentlich zu große) Matrizenumkehrung, aber wir führen eine blockbasierte iterative Annäherung auf der Basis des Gradientenverfahrens mit konjugierten Richtungen durch. Dies erfordert ein bis zu 40-maliges Durchlaufen (bzw. Iterieren) der Messdaten, mit dem wir uns der Lösung nähern. Der IO muss also ausreichend schnell sein – wir kennen aber die Zugriffsmuster; daher können wir die Daten so strukturieren, dass die Lesevorgänge nahezu seriell erfolgen.

F6. In Ihrer komplexen Architektur nutzen Sie zwei Datenbanken, eine Hauptdatenbank und eine AGIS-Datenbank. Welchen Grund hat das und welche Aufgaben haben die beiden Datenbanken?

O'Mullane:

In der Hauptdatenbank werden alle von Gaia empfangenen Daten und die Ergebnisse der Verarbeitung gespeichert. Ihr Inhalt wird im Verlauf der Mission von einigen Terabyte auf einige hundert Terabyte anwachsen. Das ist eine riesige Datensammlung. Wir könnten uns jetzt eine Unmenge von Aufgaben für das Auslesen und Aktualisieren des Bestandes überlegen, aber vom Verwaltungsaufwand her wäre das ein Alptraum – und Astronomen wissen gerne, wie ihre Ergebnisse zustande gekommen sind. Deshalb haben wir die Aktualisierung der Hauptdatenbank etwas verlangsamt und erklären jeweils eine Version für final. Diese bildet dann den Input für alle Verarbeitungsaufgaben, deren Output dann die nächste Version bildet. Für AGIS (und andere Aufgaben) benötigen wir indessen nur einen Teil dieser Daten. Die Aufgaben sind häufig iterativ und umfassen das häufige Scannen der Daten oder eine bestimmte Zugriffsart. Auch hier ist es für den, der die einzelnen Aufgaben entwirft, einfacher, auch gleich sein Daten-system zu entwerfen und zu optimieren, statt ein System für alle Aufgaben zu verwenden.

F7. Sie schreiben, dass die AGIS-Datenbank Daten für etwa 500.000.000 Quellen (mit in der Summe 50.000.000.000 Observationen) enthält. Dies sind etwa 100 Terabyte an Java-Datenobjekten. Können Sie erläutern, welche Attribute die Java-Objekte haben und was Sie mit diesen 100 Terabyte Daten anstellen wollen? Ist Skalierbarkeit bei Ihrer Software ein wichtiger Faktor? Gibt es spezielle zeitliche Vorgaben für das Handling der 100 Terabyte an Java-Datenobjekten?

O'Mullane:

Die letzte Frage zuerst – Ziellaufzeit für AGIS sind 4 Wochen. Das bedeutet rund 40 Durchläufe durch den Datenbestand. Die 500 Millionen Quellen plus die zugehörigen Beobachtungen von Gaia bilden eine Teilmenge der Gaia-Daten. Wir rechnen mit ungefähr 10 Terabyte. In der Quintessenz ist jede Objektobservation ein Zeitpunkt – der Zeitpunkt, an dem das Himmelsbild die Bezugslinie des CCD-Detektors kreuzt. Für eine Passage gibt es 10 solcher Observationen bei durchschnittlich 80 Passagen pro Quelle. Zusammen damit wird über die 5 Jahre der Dauer der Mission das kleine vom CCD-Detektor erfasste Ausschnittsbild übermittelt. Außerdem liegen verschiedene weitere Daten vor, z. B. Angaben über das verwendete

Teleskop und die Abweichungen für jede Observation. Für jede Quelle berechnen wir die astrometrischen Parameter. Das sind sechs Zahlen plus Fehler: Position (Alpha und Delta), Entfernung bzw. Parallaxe (varPi), Eigenbewegung (muAlpha und muDelta) und Radialgeschwindigkeit (muRvs).

Darüber hinaus werden ein Schätzwert der Helligkeit (Größe) und verschiedene weitere Parameter erfasst. Uns bleibt gar keine andere Wahl, als die Applikation zu skalieren, um die gewünschten Laufzeiten zu erzielen. Von jeher war sie als verteilte Applikation angelegt.

Nagjee:

Das AGIS-Datenmodell umfasst mehrere Objekte und ist über Java-Schnittstellen definiert. Das heißt konkret, dass AGIS jede Observation als diskretes AstroElementary-Objekt behandelt. Wie im Aufsatz beschrieben, enthält das AstroElementary-Objekt verschiedene Eigenschaften (meist in IEEE-Langdatenformat). Auf der Festplatte belegt es etwa 600 Byte. Darüber hinaus enthält die AGIS-Datenbank mehrere unterstützende Indizes, die in der Einspeisephase erzeugt werden. Diese Indizes beschleunigen Abfragen bei der AGIS-Verarbeitung und bilden die Grundlage für schnelle Ad-hoc-Reporting-Funktionen. Unter Verwendung von InterSystems Caché mit Caché eXTreme für die Java-Funktionen speisen mehrere AGIS-Java-Programme innerhalb von 5 Tagen die von Gaia erzeugten 100 Terabyte Daten als 50 Milliarden diskrete AstroElementary-Objekte in die Datenbank ein (das sind über 5 Tage hinweg 115.000 Objektschreibvorgänge pro Sekunde).

Intern werden wir die Daten mit Hilfe unserer Global & Subscript Mapping-Funktionen über mehrere Datenbankdateien innerhalb von Caché verteilen (mehr über diese Funktionen erfahren Sie hier³), ohne den nahtlosen und bereichsübergreifenden Zugriff auf die Daten zu gefährden. Die Verteilung der Daten auf mehrere Datenbankdateien erfolgt hauptsächlich aus Gründen der Verwaltbarkeit.

F8. Sie haben für die AGIS-Datenbank mit Caché einen Machbarkeitsnachweis durchgeführt. Was waren dabei die größten technischen Herausforderungen und welche Ergebnisse haben Sie erzielt? Warum wählten Sie für die AGIS-Datenbank statt einer relationalen Datenbank Caché?

O'Mullane:

Wir arbeiten seit Jahren mit Oracle zusammen und können AGIS auf Derby laufen lassen. Wir haben MySql und Postgress getestet (wenn auch nicht

³ http://docs.intersystems.com/cache20102/csp/docbook/DocBook.UI.Page.cls?KEY=GSA_config

mit AGIS). Damit die Relationssysteme schnell genug arbeiteten, mussten wir unsere Zeilenanzahl reduzieren – dazu fassten wir Objekte wirksam zu BLOBs zusammen – mit dem Ergebnis, dass die RDBMs eher wie ein Dateisystem gerieten. Tests mit Caché haben gezeigt, dass wir die gewünschte Lese- und Schreibgeschwindigkeit auch ohne das Zusammenfassen von Daten zu BLOBs erreichen. Das macht uns logischerweise viel flexibler. Möglicherweise hätten wir das auch mit einem anderen Produkt geschafft, aber was die Unterstützung angeht, war InterSystems einzigartig. Wenn wir ein Problem hatten, war InterSystems unverzüglich zur Stelle und half uns bei dessen Lösung. Für den jüngsten Test hatten wir gefordert, dass ein spezieller repräsentativer Datensatz innerhalb von 24 Stunden auf unserer Hardware geschrieben werden muss – schon nach 12 Stunden war die Aufgabe erledigt. Außerdem ist Caché die preiswertere Lösung.

Nagjee:

Die größte technische Herausforderung besteht bei einem solchen Machbarkeitsnachweis darin, dass realistische Daten erzeugt und auf das System geladen werden müssen. Dazu muss das System so justiert und konfiguriert werden, dass es die strengen Schreibanforderungen erfüllt und gleichzeitig ausreichend für das nachgelagerte Abfragen der Daten optimiert werden kann.

Im White Paper „Charting the Galaxy with the Gaia Satellite“⁴ werden die Ergebnisse ausführlich beschrieben. Zusammenfassend gesagt waren wir jedoch in der Lage, innerhalb von etwa 12 Stunden insgesamt 5 Milliarden AstroElementary-Objekte (etwa 1/10 des geplanten Projektumfangs) in die Datenbank zu schreiben. Angestrebt hatten wir eine Laufzeit von 24 Stunden; geschafft haben wir es in der Hälfte der Zeit.

Caché ist eine extrem leistungsfähige Datenbank. Wie der im White Paper beschriebene Machbarkeitsnachweis belegt, ist Caché mehr als fähig, die strengen Zeitvorgaben des Gaia-Projekts zu erfüllen. Das gilt sogar bei Einsatz relativ bescheidener Hardware.

F9. Wie wickeln Sie das Einspeisen der Daten in die AGIS-Datenbank ab und wie übertragen Sie aktualisierte Objekte zurück in die Hauptdatenbank?

Nagjee:

Für die Interaktion mit der Java-AGIS-Applikation nutzen wir die Fähigkeiten von Caché eXTreme for Java.

⁴ http://www.odbms.org/downloads.aspx#odbms_ap

F10. Ein wichtiger Bestandteil des Machbarkeitsnachweises bildet das neue Caché eXTreme for Java. Warum ist es so wichtig und wie wurde es beim Machbarkeitsnachweis eingesetzt? Wie garantieren Sie bei Datenspeicherung und -abruf in der AGIS-Lösung eine niedrige Latenz?

Nagjee:

Caché eXTreme for Java⁵ ist eine neue Funktion der InterSystems Caché-Datenbank. Sie überträgt die Enterprise- und High-Performance-Funktionen von Caché über das JNI (Java Native Interface) auf Java. Sie ermöglicht eine „prozessinterne“ Kommunikation zwischen Java und Caché. Das sorgt für eine extrem niedrige Latenz beim Speichern und Abrufen von Daten.

F11. Welche Schritte sind für das AGIS-Projekt und die vor Ihnen liegenden technischen Herausforderungen geplant?

Nagjee:

Schwerpunkt der nächsten Testreihe wird die Untersuchung weiterer Datenquellen sein – bis zu 50 % der insgesamt geplanten Objekte. Dann werden wir uns der Feinjustierung der Applikation und des Systems für die Lesevorgänge (Abfragen) sowie der weiteren Erforschung zusätzlicher Deployment-Optionen für die Lese-/Abfragephase des Projekts widmen (so planen die ESA und InterSystems beispielsweise, Hunderte von AGIS-Knoten in die EC2 Cloud von Amazon auszulagern, um den Hardwarebedarf der ESA zu senken).

O`Mullane:

Technisch gesehen müssen wir AGIS für die Produktion definitiv in Caché überführen. Es gibt immer Engpässe bei der Datenübertragung, die sich limitierend auf die Skalierbarkeit auswirken und untersucht werden müssen. AGIS selbst muss auch weiterentwickelt werden. So benötigen wir beispielsweise ein stabileres Ausreißer-Schema und einen umfassenderen Satz mit Kalibrierungsformeln. AGIS ist schon recht weit gediehen. Es bedarf aber noch einiger Arbeit, bis die Verarbeitung der Missionsdaten fehlerfrei gelingt.

⁵ <http://www.intersystems.com/java/>

**William O`Mullane, Science Operations Development Manager,
Europäische Weltraumbehörde.**

William O`Mullane ist Informatiker und arbeitet seit 1996 in der Weltraumforschung. Eines seiner ersten Projekte war die Entwicklung der Hipparcos-CD-ROMs. In dieser Zeit befasste er sich außerdem mit den Bodenkontrollsegmenten Planck und Integral sowie dem Problem der Verarbeitung der Gaia-Daten. Von 2000 bis 2005 widmete er sich der Entwicklung des US National Virtual Observatory (NVO) und des Sloan Digital Sky Survey (SDSS) in Baltimore (USA). Im August 2005 kehrte er als Science Operations Development Manager für das Gaia-Projekt zur Europäischen Weltraumbehörde zurück. In dieser Funktion leitet er das ESAC-Entwicklungsprojekt für das Gaia Data Processing & Analysis Consortium.

**Vik Nagjee, Produkt Manager, Core Technologies,
InterSystems Corporation.**

Vik Nagjee ist Product Manager for Core Technologies in the Systems Development group bei InterSystems. Er ist zuständig für die Bereiche Ausfallsicherheit, Verfügbarkeit, Skalierbarkeit und Performance der Kernprodukte von InterSystems – Caché und Ensemble. Vor seinem Wechsel zu InterSystems im Jahr 2008 war Nagjee u. a. Sicherheitsarchitekt, Entwicklungsleiter und Leiter der Performance & Scalability-Gruppe bei der Epic Systems Corporation, einem führenden US-amerikanischen Anbieter von Applikationen für das Gesundheitswesen.



Der Autor:
Roberto V. Zicari.

Prof. Roberto V. Zicari ist Herausgeber von ODBMS.ORG (www.odbms.org), der aktuellsten Sammlung frei verfügbarer Dokumente zum Thema objektorientierte Datenbanktechnologien im Internet. Das Portal wurde für Softwareentwickler der Open Source Community, kommerziellen Unternehmen aber auch Fakultäten und Studenten in Bildungseinrichtungen und Forschungszentren geschaffen. ODBMS.ORG ist gedacht um den immer schneller wachsenden Bedarf an Beiträgen mit Fokus auf Service-Plattformen, skalierbare Cloud-Plattformen, Plattformen für die Datenanalyse, Objektdatenbanken, objekt-relationale Bindings, NoSQL-Datenbanken und neue Ansätze im Bereich Concurrency Control gerecht zu werden. Roberto ist ordentlicher Professor für Datenbanken und Informationssysteme an der Goethe Universität Frankfurt und Repräsentant der Object Management Group (OMG) in Europa. Zuvor war Roberto außerordentlicher Professor am Politecnico di Milano, Italy; Gastwissenschaftler im IBM Almaden Research Center, USA sowie der University of California in Berkeley, USA; Gastprofessor an der EPFL in Lausanne, Schweiz; der National University of Mexico City, Mexiko und der Copenhagen Business School, Dänemark.