

## **Wissenschaftliches Schreiben WS 2008/09**

Autor: Gamif110  
HfT-Stuttgart

2. November 2008

### **Flight-Recorder**

eine Applikation, die Speicherabbilder nach Objekte analysiert  
und auf deren Elemente zugreift.

# Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
  - 1.1. Einleitung und Umfeld des Themas
  - 1.2. Begriffserklärungen
2. Speicherabbilder
  - 2.1. Was ist ein Speicherabbild
  - 2.2. Typen von Speicherabbildern
  - 2.3. Generierung von Dumps
  - 2.4. Vorbereitung mit JEXTRACT
3. Programm
  - 3.1. Vorgehensweise mit DTFJ
  - 3.2. Programmierung auf Windows-Architektur
4. Portierung und Test auf z/OS
  - 4.1. Problematiken
5. Zusammenfassung, Fazit und Ausblicke

# 1 Einleitung

## 1.1 Einleitung und Umfeld des Themas

Ein Flight-Recorder stellt ein Programm dar, welches zur Aufgabe die Aufzeichnung und Analyse von Speicherabbildern hat.

Unkontrollierte, nicht mit Regelmäßigkeit auftretende Fehler

Der Flight-Recorder stellt ein Programm zur Unterstützung der Fehlersuche dar. Er soll Speicherabbilder von Anwendungen nach unkontrollierten, nicht mit Regelmäßigkeit auftretenden Fehlern, untersuchen. Man versucht somit, einfacher und schnell an Informationen zur Behebung von Fehlerfällen zu kommen.

Nicht jede Fehlermeldung ist ohne weitere Informationen nachvollziehbar. Der Flight-Recorder verbessert die Nachvollziehbarkeit von Fehlerfällen, Abstürzen oder hängenden Programmen, indem man das letzte mögliche Speicherabbild analysiert und Variablen und Objekte nach ihren Inhalten prüft. Das Programm durchläuft Adressräume, Laufzeitumgebungen und Speicher, bis es auf die Ebene von Objekten gelangt. Ausgewählte Objekte werden nach Variablen und Unterobjekten ausgewertet. Die Aufgabe des Programms ist, Fehlerfälle besser verständlich zu machen und genauer entgegen zu gehen.

Es stellt sich die Frage, ob es möglich ist, mit dem Diagnostic Toolkit and Framework for Java (DTFJ) ein Programm zu erstellen, das aus Speicherabbildern Daten und Objekte extrahieren kann und dies anschließend auf z/OS zu portieren.

## 1.2. Begriffserklärungen

DTFJ:

Diagnostic Toolkit and Framework for Java

beschreibt eine Anzahl von Klassen, die mithilfe von Reflection die Möglichkeit ergeben, Speicherabbilder von Programmen auszulesen und zu analysieren.

Java:

objektorientierte Programmiersprache

JVM – Java Virtual Machine:

Laufzeitumgebung, in der die Java-Programme ausgeführt werden.

Java-Programme laufen nicht direkt im Betriebssystem sondern in einer eigenen Umgebung. So wird gewährleistet, daß Programme für verschiedene nicht neu kompiliert werden müssen.

z/OS:

Großrechner-Betriebssystem der Firma IBM

## 2 Speicherabbilder

### 2.1. Was ist ein Speicherabbild?

Ein Speicherabbild ist ein Spiegel der Informationen, die im Arbeitsspeicher zu finden sind. Aus der englischen Literatur gibt es für Speicherabbild andere Ausdrücke. Diese sind Image, Dump oder Imagedump.

Ein Unterschied zu einer einfachen Kopie ist, daß nicht einfach nur die Daten und Dateien kopiert werden. Es werden auch Verwaltungsdaten gespeichert.

### 2.2. Typen von Speicherabbilder

Folgende Typen von Speicherabbilder können erzeugt werden[1]:

- Console dump
- System dump
- Heap dump
- Java (core) Dump

#### Console dump

Ein Console dump ist eine sehr beschränkte Möglichkeit der Analyse. Er gibt nur Einsicht in den jeweiligen Status in Java Threads. Geschrieben werden die Informationen über den Stderr-Kanal.

#### Heap dump

Ein Heapdump generiert ein Abbild aller bei Erstellung lebende Java-Objekte, die sich im Java Heap befanden. Diese Art von Speicherabbild erzeugt eine binär komprimierte Datei. Heapdumps werden im phd-Format erzeugt.

#### Java dump

ein Javadump spiegelt eine interne Analyse der Java Virtual Machine wieder. Hieraus kann man Informationen über Java Threads, geladene Klassen und Statistiken über die Heaps bekommen. Dateien, die über Javadump generiert wurden enthalten Diagnoseinformationen über die Java Virtual Machine und das Programm während der Ausführung. Die Informationen können das Betriebssystem, die Umgebung des laufenden Programms, Speicherbereiche oder Verklemmungen betreffen. Ein anderer Name für Javadump ist Javacore. Dieser hat nichts mit Systemdump zu tun.

## System dump

System-Speicherabbilder sind die größten, da sie den kompletten Adressraum widerspiegeln. Auf einer z-Architektur kann ein sich ein Programm über mehrere Adressräume erstrecken. Diese Rechner haben sehr große Speicher. Es kann somit passieren, daß das Speicherabbild mehrere Gigabyte groß ist.

### 2.3 Generierung von Dumps

Möglichkeiten, einen Dump zu generieren, gibt es mehrere.

Man kann per Aufruf eines Javaprogramms Optionen angeben, wie und wann ein Speicherabbild erstellt werden soll. Eine weitere Option ist es, innerhalb des Javaquellcodes eine Anweisung zu notieren, die das System veranlaßt, den momentanen Zustand des Programms auf die Festplatte zu schreiben. Ein drittes Verfahren funktioniert über das Betriebssystem und ist nicht immer möglich. Man kann per Anweisung das Betriebssystem veranlassen einen Systemdump zu produzieren.

#### Dump durch Programmaufruf

Beim Aufruf eines Programmes von der Konsole oder einem Befehlsinterpreter gibt es mehrere Optionen und Parameter, die man einem Programm übergeben kann. Die Java Virtual Machine kann man auf gleiche Weise über den Aufruf eines Programms steuern. Mit der Option -Xdump wird angegeben, zu welchem Zeitpunkt welche Art von Speicherabbild erzeugt wird[2].

Die erste Angabe nach -Xdump: stellt die Art von Dump dar.

Die Optionen sind:

- tool: startet externe Anwendungen, eine Art Konsole
- Console: allgemeine Angaben über Threads, die auf den Kanal stderr geschrieben werden.
- snap: Es werden Traces auf den Buffer geschrieben.
- heap: Heapdump, der alle lebende Java Objekte enthält
- java: erstellt eine Zusammenfassung der Anwendung
- system: erstellt ein komplettes Systemdump in Binärformat

die nächste Option in der Anweisung stellt die Events dar, wann ein Dump ausgelöst wird. Folgende Auflistung stellt eine Auswahl dar.

- gpf = ein genereller Fehler ist aufgetreten
- user = die JVM empfängt ein SIGQUIT/ SIGQUIT-Signal vom Betriebssystem
- abort = die JVM empfängt ein SIGABRT-Signal
- vmstart = die JVM wurde gestartet
- vmstop = die JVM wurde gestoppt
- catch = eine Java-Exception wurde abgefangen
- uncaught = eine Java-Exception wurde nicht abgefangen
- thrstart = ein neuer Thread wurde gestartet
- thrstop = ein Thread wurde gestoppt

Ein Beispiel: `java -Xdump:system:events=user`

## **Dump durch Java-Anweisung**

Die Firma IBM hat eine eigene Version der Java Virtual Machine, die sie für ihre Software-Entwicklungen benutzt.

Im Package `com.ibm.jvm.Dump` sind folgende Funktionen/ Methoden untergebracht, die einen Dump auslösen:

- `com.ibm.jvm.Dump.SystemDump()`
- `com.ibm.jvm.Dump.HeapDump()`
- `com.ibm.jvm.Dump.JavaDump()`

Diese Funktionen lassen sich aus einem Java-Programm heraus starten.

Der generierte Status ist der, der sich zur Zeit der Anweisungsausführung vor fand.

Für die Entwicklung des Flight-Recorders wurde alleine die Anweisung `com.ibm.jvm.Dump.SystemDump()` verwendet.

## **Dump durch Betriebssystem-Anweisung/ Signal**

Es gibt Situationen, in denen ein Programm nicht mehr reagiert und es intern nicht mehr die Möglichkeit gibt, ein Speicherabbild zu erstellen. In solchen Situationen muß man auf Betriebssystem-Ebene das Erstellen eines Speicherabbilds starten. Hierfür stehen betriebssystembedingte Anweisungen zur Verfügung.

## **Speicherabbild durch JEXTRACT mit Index versehen**

Um die System-Speicherabbilder unabhängig der Maschine von der sie kommen, bearbeiten zu können, müssen sie mit einem Index versehen werden. System-Speicherabbilder verschiedener Systeme haben ein verschiedenes Format und können ohne Hilfe nicht vom DTFJ gelesen werden. Verschiedene Wortgröße, Endians und Arten von Datenstrukturen machen es schwer, ohne Vorbereitungen Informationen verschiedener Systeme bereitzustellen. Um diese Hürde zu nehmen und die Informationen der Dumps bereitzustellen und darzulegen, müssen sie, bevor man mit der DTFJ-API darauf zugreifen kann, mit JEXTRACT vorbereitet werden. JEXTRACT erstellt eine XML-Datei, die den Dump beschreibt. Hiermit ist es später möglich die Lage der Datenstrukturen innerhalb des Dumps zu identifizieren. Nachdem die Vorbereitungen durch Dumperstellung und anschließender Formatierung durch JEXTRACT vollendet sind, kann man durch die DTFJ-API auf den Speicher des zu untersuchenden Programms zugreifen[3].

## **3 Erstellung des Flight-Recorders**

### **3.1. Vorgehensweise mit DTFJ**

Das Diagnostic Toolkit and Framework for Java liefert Möglichkeiten, um auf Adressräume, Laufzeitumgebungen, Heap, Klassen und deren Objekte und Variablen zuzugreifen und auszulesen.

Die Technik basiert auf Reflection und gibt die Möglichkeit über verschachtelte while-Schleifen über mehrere Ebenen von Adressräumen, Runtimes, Heap zu Objekten.

Felder von Objekten werden über deren Definition innerhalb der Klasse abgefragt.

Ein Programm, das untersucht werden soll, kann von mehreren Adressräumen, Laufzeitumgebungen, Heaps sowie Klassen und Objekte abhängen. Zu diesem Zweck steht eine Technik zur Verfügung, die auf Iteratoren und while-Schleifen beruht. Auf jeder Ebene steht ein Iterator zur Verfügung, der alle Objekte der Ebene bedient und den Zugriff ermöglicht.

### **3.2. Programmierung auf Windows-Architektur**

Im folgenden soll das Szenario beschrieben werden, wie man auf Objekte/ Instanzen von Klassen zugreift und deren Variablen ausliest. Genau dies ist die Aufgabe des Flight-Rekorders, Daten und Objekte von Java-Programmen darzustellen.

Um auf Objektebene zuzugreifen, ist es nötig, verschiedene höher stehende Ebenen zu durchlaufen.

Man muß Informationen zu Adressräume, Java-Laufzeitumgebungen und Heap durchlaufen, um an JavaObjekte zu gelangen.

Der erste Schritt ist, dem DTFJ den Zugriff auf das komprimierte Verzeichnis mit dem Speicherabbild und der dazugehörigen XML-Datei zu ermöglichen.

Dies geschieht nach allgemeinen Javabedingungen. Hierzu lassen sich die Methoden und Konstruktoren der File-Klasse zur Erstellung von File-Objekten benutzen.

Daraufhin erstellt man mittels Reflection ein ImageFactory-Objekt.

Mittels ImageFactory-Object wird das File-Objekt an ein statisch angelegtes Image-Objekt übergeben, welches den Einstieg in die Analyse des Speichers darstellt.

Nach diesen programmiertechnischen Vorarbeiten kann man auf Adressräume und deren untergeordnete Ebenen zugreifen[4].

## **Zugriff auf Adressräume**

Auf einem Großrechner gibt es die Möglichkeit, daß einem Programm mehrere Adressräume zugeteilt werden. Somit müssen auf der Suche nach den richtigen Informationen alle vorhandenen Adressräume durchlaufen werden oder man gibt einen bestimmten an. Eine Möglichkeit ist, dies mit einem Iterator und einer while-Schleife durchzuführen. Man legt einen Iterator an und ruft die Methode `getAddressSpaces()` des Objektes `Image` auf. Innerhalb des Schleifenkopfes wird der Iterator darauf geprüft, ob er weitere Objekte enthält. Im Schleifenkörper wird durch die Methode `Iterator.next()` ein Objekt des Adressraumes angelegt. Dieses Objekt läßt sich nach Informationen abfragen.

Ein Auszug der Informationen, die sich auf der Ebene der Adressräume darstellen lassen:

- Abgleich auf andere Objekte mittels `AddressSpace.equals(object)`
- Rückgabe des Prozesses, der
- Man kann sich die unbehandelten Speicherbereiche zurückgeben lassen
- kein direkter Zugriff auf Variablen

## **Zugriff auf Prozesse**

Jedem Adressraum sind Prozesse zugeteilt. Diese stellen die nächste zu überbrückende Ebene dar. Um Objekte abfragen zu können, werden die Prozesse abgefragt und iteriert. Dazu stellt das Framework dieselben Instrumente zur Verfügung, wie in der Ebene der Adressräume. Innerhalb der while-Schleife der Adressräume legt man mithilfe der Methode `getProcesses()` einen Iterator an, der den Kopf der while-Schleife darstellt. Innerhalb der while-Schleife erstellt man mit jedem Iteratordurchgang ein Objekt der Klasse `ImageProcess` an.

Auszug der Informationen, die sich über Prozesse abfragen lassen:

- Abgleich mittels `ImageProcess.equals(object)`
- `ImageProcess.getLibraries()` liefert einen Iterator über geladenen Bibliotheken
- `ImageProcess.getEnvironment()` liefert die Umgebungsvariablen für diese Prozess
- `ImageProcess.getSignalNumber()` liefert die Betriebssystemnummer des Signals, daß die Erstellung des Speicherabbildes gestartet hat.
- `ImageProcess.getCurrentThread()` liefert den `ImageThread`, der die Erstellung des Speicherabbildes ausgelöst hat.
- `ImageProcess.getThreads()` liefert einen Iterator über die Threads, die sich im Image befinden
- kein direkter Zugriff auf Variablen



## **Zugriff auf die JavaRuntime**

Das Objekt ImageProcess stellt einen Iterator zur Verfügung, der den Zugriff auf die Laufzeitumgebung der Prozesse zurückgibt. Die Methode hierfür heißt Imageprocess.getJavaRuntimes() und gibt einen Iterator auf die Laufzeitumgebungen wieder. Die Technik beruht auf einer while-Schleife, die den Iterator weiter zählen lässt. Innerhalb des Körpers wird ein Objekt der Klasse JavaRuntime angelegt.

Auszug der Informationen auf dieser Ebene:

- Abgleich mittels JavaRuntime.equals(object)
- JavaRuntime.getCompiledMethods() liefert einen Iterator, der alle kopierten Methoden widerspiegelt.
- JavaRuntime.getHeaps() liefert einen Iterator zu den Heaps in der Virtual Machine
- JavaRuntime.getJavaVM() liefert ein Objekt, das die Virtual Machine repräsentiert.
- kein direkter Zugriff auf Variablen

## **Zugriff auf Heaps**

Die Ebene der JavaRuntime ermöglicht den Zugriff auf Objekte der Klasse JavaHeap.

Folgende Informationen stehen auf dieser Ebene zur Verfügung:

- JavaHeap.getName() liefert eine kurze Beschreibung des Heaps
- JavaHeap.getSections() liefert einen Iterator zu den Speicherbereichen, die der Heap belegt.
- JavaHeap.equals(object) liefert einen Vergleich auf ein Objekt
- kein direkter Zugriff auf Variablen

## **Zugriff auf Objekte**

Innerhalb der Ebene der JavaHeap-While-Schleife wird ein Iterator instanziiert, der den Zugriff auf die Objekte des zu untersuchenden Programms ermöglicht. Um alle Objekte zu erfassen, wird die Technik des Iterators angewandt. Innerhalb einer while-Schleife wird ein Objekt der Klasse JavaObjekt angelegt. Diese spiegeln die Objekte des angegebenen Programms wieder.

Folgende Informationen und Methoden stehen zur Verfügung:

- `JavaObject.getJavaClass()` liefert die Klasse von der das Objekt abstammt
- `JavaObject.equals()` vergleicht zwei Objekte
- `JavaObject.isArray()` fragt, ob ein Objekt ein Array ist
- `JavaObject.arraycopy(int, object, int, int)` kopiert Teile des Object-Arrays in ein anderes
- `JavaObject.getID()` liefert eine eindeutige Identifikation zu einem Objekt
- `JavaObject.getSize()` liefert die Größe eines Objektes
- kein direkter Zugriff auf Variablen

Auf Objektebene kann man nicht auf deren Namen zugreifen. Hier besitzen Objekte Identifikationsnummern. Um die Anzahl der Objekte für eine Suche zu begrenzen, wird die Methode `getJavaClass()` bedient, die die Klasse wiedergibt, von der das Objekt instanziiert wurde.

### **Zugriff auf JavaClass**

Der Zugriff auf Objekte der Klasse `JavaClass` ist wichtig, um Felder und Methoden auslesen zu können.

Auszug der Informationen auf dieser Ebene:

- `JavaClass.equals(object)` vergleicht zwei Klassen miteinander
- `JavaClass.getComponentType()` liefert die Klasse der Objekte innerhalb eines Arrays
- `JavaClass.getDeclaredFields()` liefert einen Iterator über die Felder einer Klasse
- `JavaClass.getDeclaredMethods()` liefert einen Iterator über die Methoden einer Klasse
- kein direkter Zugriff auf Variablen

### **Felder und Methoden eines Objektes abfragen**

Für die Abfrage von Variablen und Methoden von Objekten steht direkt keine Methode innerhalb von `JavaObject` zur Verfügung. Abfragen über Elemente eines Objektes werden über die Klasse `JavaClass` realisiert.

Jedes `JavaObject` verfügt über eine Methode `JavaObject.getJavaClass()`. Diese gibt als Returnwert ein Objekt der Java-Klasse wieder von der das Objekt instanziiert wurde. Die Klasse `JavaClass` besitzt eine Methode, die einen Iterator zu den Feldern einer Klasse zurückgibt. Diese heißt: `JavaClass.getJavaFields()`. Mit diesem Iterator kann in einer weiteren Schleife jedes Feld einer beliebigen Klasse ausgegeben werden. Für Methoden eines Objektes funktioniert es gleich, jedoch mit der Methode `JavaClass.getJavaMethods()`.

Auszug der Informationen der Klasse `JavaField`:

mittels eines Objektes der Klasse `JavaField` lassen sich die Informationen aus Feldern, elementaren Datentypen auslesen. Für jeden elementaren Datentyp gibt es eine Funktion `get...`, `getInt(object)`, `getDouble(object)`, `getChar(object)`, etc.

weitere Methoden:

- `JavaField.getModifier()` liefert einen Int-Wert, der Modifizierer, wie `private`, `public`, `transient`, etc. zurückgibt.
- `JavaField.getName()` liefert den Namen der Variable zurück
- `JavaField.getSignature()` liefert den Typ einer Variable
- kein direkter Zugriff auf Variablen

## **4 Portierung auf z/OS**

In Java geschriebene Programme sind betriebssystemunabhängige Applikationen, die in einer eigenen Umgebung, der JVM – Java Virtual Machine, laufen. Somit müssen sie nicht für jedes Betriebssystem übersetzt werden.

Trotzdem können Probleme beim Portieren auf andere Systeme entstehen.

### **4.1. Problematiken und aufgetretene Probleme**

#### **Größe des Temp-Speichers**

Bei der Vorbereitung des Speicherabbildes wird ein komprimiertes Verzeichnis mit Inhalt des Dump-Files und der dazugehörigen Beschreibungsdatei in XML-Format erstellt. Dieses wird dem Flight-Recorder beim Programmstart übergeben, der den Inhalt extrahiert. In Abhängigkeit der Größe des Speicherabbildes, daß auf z/OS mehrere hundert MB groß sein kann, muß ein temporärer Ordner existieren, der der Größe des extrahierten Speicherabbildes und der XML-Datei genügt. Im Fehlerfall wird auf der Konsole eine Nachricht ausgegeben, die auf einen zu kleinen Speicher hinweist. In dem Fall hilft eine Vergrößerung des Temporären Ordners oder die Angabe eines Ordners mit größerem Volumen.

#### **Übereinstimmende Java-Versionen**

Die Java-Versionen des zu analysierenden und der der JVM, unter der JEXTRACT ausgeführt wird, sollte dieselbe sein. Es wird empfohlen, daß das Ausführen des Dumps und die Vorbereitung auf derselben Maschine abgearbeitet werden. Eine mögliche Fehlermeldung beim Starten des Flight-Recorders ist, Daß der Dump und die Version von JEXTRACT nicht miteinander kompatibel sind. Konsolenausgabe: „J9RAS.length is incorrect. ... This Version of JEXTRACT is incompatible with this dump“

#### **Größe der Speicherabbildes**

die Größe eines System-Speicherabbildes auf einem Großrechner, kann, bedingt durch die Benutzung mehrere Adressräume, höherer Funktionalität und die Größe des Arbeitsspeichers gesamt größer sein als die auf einem Windows-Desktop-Systems. Eine Größe von über 100 Megabyte kann erreicht werden. Die Laufzeit der Analyse und eine Ausgabe der Daten kann größer ausfallen, als auf Windows-Desktop-Rechnern.

## **5 Zusammenfassung, Fazit und Ausblick:**

Zunächst muß nach einem Programmfehler ein System-Dump erstellt werden. Dieser sollte mit einem Tool vorbereitet werden, damit systemspezifische Informationen allgemein zugänglich gemacht werden. Im Anschluß kann mit einem Java-Programm, dass mit dem DFTJ-Framework erstellt worden ist, dieser Dump analysiert werden und die Daten in eine Datei gespeichert oder auf der Konsole ausgegeben werden.

Zum momentanen Zeitpunkt ist es möglich, auf einer Großrechner-Umgebung auf Speicherabbilder mit DTFJ zuzugreifen und nach Variablen und Werten zu untersuchen und auszuwerten.

Weitere Funktionalitäten sind eine Konfigurationsdatei, in der man Einstiegspunkte der Suche, eine Tiefe und die Objekte, nach denen gesucht werden soll, angibt. Des weiteren wurde eine Funktion implementiert, die die Identifikationsnummern der Objekte speichert und somit prüft, ob Objekte doppelt analysiert werden.

Es stellt sich die Frage der Erweiterung und der komfortablen Bedienung.

Nachdem das Ziel, das Extrahieren von Informationen von abgestürzten Programmen, erreicht wurde, wird überlegt, weitere Funktionalitäten zu implementieren.

## Referenzen:

- [1] Author: IBM, Person unbekannt  
IBM Diagnostics Guide (pdf)  
<http://download.boulder.ibm.com/ibmdl/pub/software/dw/jdk/diagnosis/diag50.pdf>  
Seite 221/ 229
  
- [2] Author: IBM, Person unbekannt  
IBM Diagnostics Guide (pdf)  
<http://download.boulder.ibm.com/ibmdl/pub/software/dw/jdk/diagnosis/diag50.pdf>  
Seite 229
  
- [3] Author: IBM, Person unbekannt  
IBM Diagnostics Guide (pdf)  
<http://download.boulder.ibm.com/ibmdl/pub/software/dw/jdk/diagnosis/diag50.pdf>  
Seite 258
  
- [4] Author: IBM, Person unbekannt  
IBM Diagnostics Guide (pdf)  
<http://download.boulder.ibm.com/ibmdl/pub/software/dw/jdk/diagnosis/diag50.pdf>  
Seite 373