

Debuggen und "WhiteBox"-Unittests mit dem gleichen Tool für Python und C/C++

Reinhard Wobst, @(#) Mar 07 2012, 22:59:30

Inhaltsverzeichnis

1. Idee
 2. Beispiele
 - 2.1 Mehrere Breakpoints in Python oder C/C++ setzen:
 - 2.2 Bedingte Breakpoints:
 - 2.3 Breakpoint-Kommandos:
 - 2.4 "White Box Test"
 - 2.5 Vordefinierte Funktionen
 - 2.6 Mehrere Sets von Tests oder Breakpoints
 - 2.7 Quellfiles angeben
 3. Aufruf, Files, Voraussetzungen
 4. Unterschied zu "assert" und normalem Debugging
 - 4.1 Debugging
 - 4.2 Testen
 5. Konfiguration der Breakpoints und Tests
 - 5.1 Python
 - 5.2 C/C++
 6. Weitere Beispiele
 - 6.1 Breakpoint-Kommandos in Python
 - 6.2 Nutzen des gdb-Python-Interfaces
 - 6.3 "Tests mit Gedächtnis" in Python und C/C++
 7. Links
-

1. Idee

Drei Ideen werden mit diesem Tool **wbd** ("white box debugging"; ein griffiger Name wird noch gesucht) realisiert:

- Es wird ein Debugger genutzt, um interne Zustände während der normalen Ausführung zu testen.
- Gleichzeitig sollen möglichst bequem ein oder mehrere Sets von Breakpoints automatisiert gesetzt werden können.
- Testanweisungen sollen in Kommentaren versteckt werden, d.h., der eigentliche Code wird durch das Nutzen des Skripts nicht verändert.

1.1 Nutzungsarten

- Einmal zum Durchführen von "erweiterten Unittests": So lange alle Bedingungen erfüllt sind, läuft das Programm ohne Änderung durch (nur durch den Debugger gebremst).
- Zum anderen als bequemes Hilfsmittel zum Debuggen, wobei komplexe Testfunktionen und mehrere Szenarien fest im Quellcode enthalten sind (im einfachsten Fall nutzt man mehrere feste Breakpoints, die auch beim Umstrukturieren des Codes erhalten bleiben).

Das Tool lässt sich sowohl für Python als auch für C/C++ anwenden. Für Pythonskripte wird der mitgelieferte Python-Debugger pdb genutzt, für C/C++ der Debugger gdb; das Parsen des Quellcodes erledigt in beiden

Fällen ein Pythonskript.

1.2 Arbeitsweise

Python: Es wird ein Initialisierungsfile `.pdbrc` für den Python -Debugger `pdb` im aktuellen (Aufruf-)Verzeichnis erzeugt, das eine Liste von Breakpoints, optional mit Bedingungen, enthält. Breakpoint-Kommandos können auf diese Weise leider nicht erzeugt werden - vgl. aber 6.1. Zusätzliche, ständig verfügbare Funktionen können in einem Modul untergebracht werden, das beim Start anzugeben ist.

C/C++: Für `gdb` wird ein temporäres File `.wbdgdb` mit entsprechenden Breakpoint-Beschreibungen erzeugt. Zusätzliche Python-Funktionen, die vom `gdb`-Python-Interface aus nutzbar sind, können im File `AAA-gdb.py` definiert werden, wobei `AAA` der Name des ausführbaren Programms sei.

1.3 Installation

Das Python-Skript `wbd` ist in einem `bin`-Verzeichnis unterzubringen und dort auf `cwbd` zu verlinken. Das Python-Modul `wbdhelp.py` muss in einem Pfad aus `PYTHONPATH` untergebracht werden. Getestet wurde mit Python 2.6 und `gdb` mit Python-Unterstützung (getestet wurde mit Version 7.2).

2. Beispiele

2.1 Mehrere Breakpoints in Python oder C/C++ setzen:

- **Vor** die entsprechenden Zeilen ist jeweils eine Zeilen im Quellcode einzufügen, die lediglich den Kommentar `#DEB` (Python) bzw. `//DEB` (C/C++) enthält. Die Zeile kann eingerückt sein.
- Das Programm ist wie üblich zu starten, nur muss vor die Kommandozeile noch der Skriptname "wbd" gesetzt werden.

Beispiel für Python: Die normale Kommandozeile laute

```
tt.py 40
```

In diesem Fall ist also zu tippen

```
wbd tt.py 40
```

Es erscheint eine Ausschrift etwa wie

```
Breakpoint 1 at /home/wobst/util/python/wbd/tt.py:9  
> <string>(1)<module>()  
(Pdb)
```

Nun ist das Programm wie üblich mit "c" zu starten und läuft unter der Regie des Python-Debuggers `pdb`.

Beispiel für C: Die normale Kommandozeile laute

```
prototyp 12
```

Man tippt

```
cwbd prototyp 12
```

(der Skriptname ist hier also `cwbd`) - und der Debugger `gdb` startet:

```
cwbd.py prototyp 12
GNU gdb (GDB) SUSE (7.1-3.12)
...
Breakpoint 1 at 0x4005f8: file prototyp.c, line 15.
(gdb)
```

Hier muss der Debugger mit "r" gestartet werden.

2.2 Bedingte Breakpoints:

Eine Bedingung wird nach dem Marker #DEB bzw. //DEB-Zeile als Kommentar in der Folgezeile angegeben, wobei diese mit "\" am Zeilenende fortgesetzt werden kann. **Beispiel für Python:**

```
//DEB
// a<3 or a==3 or \
// a == b
c = f(a)
```

Es sind alle Ausdrücke erlaubt, die der Debugger (pdb bzw. gdb) zulässt.

2.3 Breakpoint-Kommandos:

Zusätzlich kann man für C/C++ (Tool cwbd) noch **nach** den (optionalen) Bedingungen Kommandos angeben, die auf den Marker "//CMD" folgen müssen.

Beispiel:

```
//DEB
//CMD
//python V("r"); V("x")
```

In diesem Beispiel ist V eine vordefinierte Python-Funktion, vgl. 2.5.

In Python ist das nur über Modulfunktionen möglich, vgl. 2.5.

2.4 "White Box Test"

Der Sourcecode wird wie bei Breakpoint-Kommandos vorbereitet, nur hält der Debugger **nicht** an, wenn die Bedingung erfüllt ist. Der Marker muss in diesem Fall **TEST** heißen, nicht **DEB**, und der Schalter *-u* (wie *unit test*) ist beim Aufruf zu setzen:

tt.py:

```
#TEST
# a > 0
...
```

Kommandozeile:

```
wbd -u tt.py 40
```

Für C/C++:

```
cwbd -u prototyp 12
```

2.5 Vordefinierte Funktionen

Es können Python-Funktionen vordefiniert werden, die man in Bedingungen und Kommandos von Breakpoints aufrufen kann.

Python:

Die Funktionen müssen in einem Modul definiert sein, z.B. *M.py* mit dem Inhalt

```
def _p(s):
    print s, '****'
    return True
```

Der Kommentar vor einem Breakpoint kann dann so aussehen:

```
#DEB
# M._p(a) and a == 33
```

Dann ist *wbd* mit dem Schalter *-m* zu rufen:

```
wbd -m M tt.py 40
```

C/C++:

Python-Funktionen, die zur Laufzeit mit *python* oder als Komfortfunktion (vgl. 6.3) zu rufen sind, müssen im File *prototyp-gdb.py* definiert sein, wenn *prototyp* das zu debuggende Programm ist (vgl. *info-Dokumentation zu gdb > Extending GDB > Python > Python-API > Auto-loading*). Mehr dazu im Beispiel in 6.3. Der Schalter *-m* ist nur bei *wbd* zugelassen.

2.6 Mehrere Sets von Tests oder Breakpoints

Die Marker DEB/TEST können durch andere ersetzt werden, die nach dem Schalter *-t* (wie *token*) beim Aufruf anzugeben sind:

tt.py:

```
#Special
# (a>>1) & 3
```

Kommandozeile:

```
wbd -t Special -u tt.py 37
```

2.7 Quellfiles angeben

Standardmäßig werden alle Python/C/C++ Files im aktuellen Baum durchsucht, erkenntlich an den Endungen *.py* (Python) bzw. *.c*, *.cc* oder *.cpp* (C/C++).

Mit dem Schalter *-s* (*source*) kann der Name eines Files mit einer Liste der Quellfiles angegeben werden, jeweils einer pro Zeile. Ein führendes *./* ist zulässig.

3. Aufruf, Files, Voraussetzungen

Das Kommando *wbd -h* gibt folgenden Hilfetext aus:

```
wbd.py [options] cmdline
```

Options:

```
-h, --help          show this help message and exit
-u, --utest         unittest modus: stop if breakpoint condition is false;
                   default: debug modus, stop if breakpoint condition is
                   true
-t marker, --token=marker
                   name of the marker; default: DEB for debug modus, TEST
                   for unittest modus
-m FILE, --module=FILE
                   module containing extra definitions available at
                   breakpoints
-s FILE, --src=FILE file with source file names, one per line; default:
                   *.py in tree for wbd, *.c/*.cpp in tree for cwbd
```

Bei *cwbd* fehlt die Option *-m*.

Erzeugte Files:

wbd erzeugt im aktuellen Verzeichnis ein File *.pdbrc*; falls dieses bereits existiert, wird es nach *.pdbrc.bck* verschoben. In jedem Fall wird *.pdbrc* nach Abschluss des Skripts gelöscht.

cwbd erzeugt ein temporäres File mit dem Präfix *.wbdgdb* im aktuellen Verzeichnis, das nach Abschluss des Skripts wieder entfernt wird.

Voraussetzungen:

wbd wurde mit Python 2.6 und Python 2.7 getestet und *gdb* mit der Version 7.1 verwendet. Um den eingebauten Python-Interpreter von *gdb* zu nutzen, muss *gdb* dafür übersetzt worden sein (standardmäßig ist das in modernen Distributionen der Fall).

4. Unterschied zu "assert" und normalem Debugging

4.1 Debugging

Gegenüber einem von Hand gestarteten Debugger können hier ganze Klassen von optional bedingten Breakpoints vorgegeben werden; es entfällt die Eingabe von Hand. Ein *.rc*-File müsste bei jeder Quelltextumstellung angeglichen werden; hier reicht es, die entsprechenden Marker mit folgenden Kommentarzeilen mitzuziehen.

Das ist nützlich, wenn die Fehlersuche schwierig wird und es eine Anzahl "verdächtiger Stellen" gibt, an denen Daten inspiziert werden müssen. Ebenso können Kontrollausgaben erscheinen, ohne dass in auszuführenden/compilierten Quelltextzeilen etwas verändert wird. Auch könnte das im folgenden Abschnitt "Testen" erwähnte Einteilen in Breakpoint-Klassen nützlich werden.

Nachteil: Bei zu vielen Breakpoints wird der Quelltext unlesbar.

4.2 Testen

assert-Anweisungen:

Gegenüber *assert*-Anweisungen (die sich bei Python-Skripten verbieten, wenn deren Aufrufbedingungen nicht zu kontrollieren sind, z.B. in Plugins), hat *wbd/cwbd* zwei wichtige Vorteile:

- Zum einen ist über vordefinierte Funktionen eine Wechselwirkung zwischen einzelnen Stellen möglich, z.B. der Test auf die Aufrufreihenfolge von Funktionen oder Codestücken.

- Zum zweiten können die Tests mittels variabler Marker in Klassen eingeteilt werden, wobei immer nur eine Art Test ausgeführt wird (Schalter `-t`).

Es ist sogar möglich, in Abhängigkeit von Test Breakpoints zu manipulieren (zumindest bei gdb über das Python-Interface).

Nachteil für C/C++: `assert`-Anweisungen erlauben alle Ausdrücke, die der Compiler in diesem Kontext versteht (z.B. die Interpretation von Preprozessor-Makros).

Unittests:

- Zusätzlich zu den unter "assert" genannten Vorteilen erlaubt es `wbd`, Bedingungen und Werte innerhalb von Funktionen zu testen (also den "inneren Zustand"), und das, ohne extra auszuführenden oder zu compilierenden Testcode einzufügen.

Nachteil:

Natürlich erreichen diese Testszenarien nicht den Automatisierungsgrad von Unittests - diese werden damit ohnehin nicht überflüssig.

5. Konfiguration der Breakpoints und Tests

Beispiele wurden bereits in 2 angegeben, dies ist nur eine Syntaxübersicht:

5.1 Python

Marker:

```
#DEB
```

in gesonderten Zeilen; führende und angehängte Whitespaces werden ignoriert. Beim Schalter `-u` wird standardmäßig nach dem Marker

```
#TEST
```

gesucht.

Der Marker kann mit dem Schalter `-t` explizit angegeben (und damit auch geändert) werden.

Bedingungen:

Optional in der Folgezeile des Markers als Kommentar. Fortsetzung mit `"\"` ist zulässig, wobei die Fortsetzungszeilen ebenfalls mit `"#"` beginnen müssen. Es sind alle Ausdrücke zulässig, die von `pdb` verstanden werden wie komplexe Ausdrücke, Funktionsrufe, Rufe von Klassenmethoden und von Funktionen im Modul, der nach dem Schalter `-m` angegeben wurde, aber keine Funktionsdefinitionen.

Eine syntaktisch falsche Bedingung wird ignoriert (zumindest in Python 2.6), z.B. ein illegaler Modulname. Der Debugger hält dann in jedem Fall an.

5.2 C/C++

Marker:

```
//DEB
```

bzw.

```
//TEST
```

für den Unittest-Modus, wie bei Python.

Bedingungen:

Wie bei Python, nur ist die Syntax der Bedingungen gegenüber Python eingeschränkt, vgl. *info-Dokumentation von gdb > Stopping > Breakpoints > Conditions*.

Kommandos:

```
//CMD
```

in einer Zeile nach dem Marker. Optional kann in den Zeilen vorher eine Bedingung stehen; dann wird das Kommando nur bei erfüllter Bedingung ausgeführt.

Für Fortsetzungszeilen gilt das Gleiche wie oben.

6. Weitere Beispiele

6.1 Breakpoint-Kommandos in Python

Breakpoint-Kommandos können in *pdb* (und das auch erst ab Python Version 2.6) nur interaktiv eingegeben werden, nicht in *.pdbrc* hinterlegt. Das Manko lässt sich mit einem Trick leicht umgehen, wenn man im "globalen Modul" eine Funktion definiert, die das Kommando ausführt und *True* zurückgibt. Diese wird mit der Bedingung mit *and* verknüpft. Je nachdem, ob die Funktion vor oder nach der Bedingung erscheint, wird das Kommando immer oder nur bedingt ausgeführt. Das ist sogar flexibler als bei *gdb*.

Ein Beispiel wurde bereits in 2.5 gegeben.

6.2 Nutzen des gdb-Python-Interfaces

Das C-Programm heiße *prototyp.c*; in *prototyp-gdb.py* sei die Funktion

```
def V(name):
    print "%s:" % name, gdb.selected_frame().read_var(name)
    return True
```

definiert. Ein Breakpoint in *prototyp.c* der Gestalt

```
//DEB
//x == 12.
//CMD
//python V("r"); V("x")
```

führt etwa zu folgender Ausgabe nur für den Wert $x = 12$:

```
Breakpoint 1, main (argc=2, argv=0x7fffffffde38) at prototyp.c:16
16      printf("sqrt(%g) = %.15f\n", x, r);
r: 3.4641016151377548
x: 12
(gdb)
```

(vgl.a. *info gdb > Extending GDB > Python > Python-API > Frames in Python*).

6.3 "Tests mit Gedächtnis" in Python und C/C++

Python:

Es soll die erwartete Reihenfolge von Rufen verschiedener Funktionen getestet werden. Im Beispiel werden Funktionen *fct1()*, *fct2()*, ... aus dem Modul *sub* gerufen. Erwartet wird, dass die Nummern der Funktionen nur ansteigen.

Das Modul **sub.py** habe folgende Struktur:

```
def fct1():
    global Sum
    #TEST
    #ordertest.order(1)
    Sum += 1

def fct2():
    global Sum
    #TEST
    #ordertest.order(2)
    Sum += 2
...
```

Das Modul **ordertest.py** (nur von *wbd* benutzt) habe den Inhalt

```
Order = [-1]

def order(i):
    global Order
    if i <= max(Order):
        return False
    Order.append(i)
    return True
```

Das Hauptprogramm **order.py** selbst sehe so aus:

```
import sub

for i in (1,2,5,8,13):
    exec ('sub.fct%d()' % i)

print "sum:", sub.Sum

sub.fct11()
```

Die Kommandozeile (Unittest-Modus)

```
wbd -u -m ordertest order.py
```

liefert die Ausgabe

```
...
(Pdb) c
sum: 29
> /home/wobst/util/python/wbd/sub.py(68)fct11()
-> Sum += 11
(Pdb)
```

Das ist korrekt: Die Funktion *order()* testet auf steigende "Funktionsnummern", was bis zur Ausgabe von *sum* der Fall ist. Beim Ruf *sub.func11()* wird das Prinzip verletzt, und der Debugger hält an dieser Stelle an.

C/C++:

Im Beispiel wird eine Wurzel iterativ berechnet. Es wird geprüft, ob die Defekte immer kleiner werden. Die zu

testende Funktion in *prototyp.c* sieht so aus:

```
double root(double x)
{
    int cnt = 0;
    double w = x/2.;
    double def;

    while((def = fabs(w*w - x)) > x*1.e-14)
    {
        //TEST
        // $smaller(w*w-x)
        printf("step %d:\tw = %.15g, def=%g\n", ++cnt, w, def);
        w = (w + x/w)/2.;
    }

    return w;
}
```

Zum Ausdruck " w^2-x ": *gdb* kann einfache Ausdrücke berechnen, aber ein " $fabs(w^2-x)$ " würde einen Fehler erzeugen, denn C-Bibliotheken können zur Laufzeit nicht dynamisch eingebunden werden.

Die sog. Komfortfunktion *smaller()* wird im Python-File *prototyp-gdb.py* definiert, vgl. *info-Dokumentation zu gdb > Extending GDB > Python > Python-API > Functions In Python*:

```
import gdb

class Pname(gdb.Function):
    def __init__(self):
        super(Pname, self).__init__("smaller")
        self.last = None

    def invoke(self, x):
        x = abs(x)
        if not self.last or self.last >= x:
            self.last = x
            return True
        print "*** increment: last value = %s, new value = %s" % \
            (self.last, x)
        return False

Pname()
```

Ein Lauf mit der Zeile

```
cwd -u prototyp 12
```

(Start mit *gdb*-Kommando "*r*") läuft nun glatt durch. Wird jedoch in der Zeile "*double w = x/2.*" das "*x/2.*" durch "*1.*" ersetzt, so vergrößert sich der Defekt nach dem ersten Schritt, und er erscheint

```
step 1: w = 1, def=11
*** increment: last value = 11, new value = 30.25

Breakpoint 1, root (x=12) at prototyp.c:30
30         printf("step %d:\tw = %.15g, def=%g\n", ++cnt, w, def);
(gdb)
```

Es ist klar, das mit dieser Methode weitaus intelligentere Tests automatisiert werden können.

7. Links

<http://sourceware.org/gdb/wiki/PythonGdbTutorial>