5 STRUCTURED TYPES, MUTABILITY, AND HIGHER-ORDER FUNCTIONS

الانواع المركبة – الأنواع القابلة للتغير – الدوال عالية الرتبة

حتى الان، كل أنواع البرامج التى عملنا عليها كانت تحتوى على ثلاثة انواع أساسية من البيانات ، الأعداد الطبيعية INT والأعداد التى تحتوى على نقطة عائمة FLOAT والسلاسل الحرفية (النصوص) STR ، وكلها بيانات من النوع المفرد (Scalar) ، ولهذا يمكننا أن نقول أنها كائنات لا نستطيع الوصول الى مكوناتها لانها لا تحتوى على مكونات ، كل كائن منها عبارة عن وحدة واحدة .

على عكس النصوص (str) يمكننا أن نراها على أنها مركبة ، أو نوع من البيانات الغير فردية ، لانك قد تستخدم الفهرسة (indexing) لاستخراج حرف أو أكثر عن طريق تشريح النص وتكوين نصوص فرعية منه.

فى هذا الفصل ، سوف نتعرض الى ثلاثة أنواع جديدة للبيانات يمكننا أن نقول عنها متراكبة ، أى تتكون من أجزاء ، أولها يسمى المجموعة (tuble) وهو بالاحرى تعميم بسيط للنوع المعروف str . النوعين الآخرين أحدهما هى القائمة List والآخر هو الاملاءى (dict) ، وسوف تكون دراسها أكثر متعة باذن من الله. وذلك بسبب قابليتها للتغير.

سوف نعود أيضا للجزئية المتعلقة بالدوال ، مع بعض الامثلة التى تصور الادوات التى تتيح لنا التعامل مع الدوال مثلها مثل باقى انواع الكائنات.

5-1 المجموعات Tuples

مثل النصوص ، المجموعة تتكون من تتابع مرتب من العناصر. الفرق هنا هو ان عناصر المجموعة لا يشترط أن تكون حروف أو نصوص ، كل عنصر يمكن أن يكون أى نوع من البيانات ، ولا نحتاج الى ان تكون كل العناصر من نفس النوع ، بل ان كل عنصر يمكنه أن يكون نوع مستقل عن الاخر ، حرفيا تتم كتابة عناصر المجموعة كقائمة ويفصل بين كل عنصر وعنصر آخر بفاصلة ، ويحاط جميه العناصر بأقواس مدورة .على سبيل المثال يمكننا كتابة:

```
t1 = ()
t2 = (1, 'two', 3)
print t1
print t2
```

ولا داعى للدهشة عندما ترى أن أمر الطباعة ينتج لك المخرجات التالية :

```
( )
(1, 'two', 3)
```

بالنظر الى هذا المثال ، ربما – و هذا شىء طبيعى – تعتقد ان المجموعة تحتوى على قيمة مفردة ، 1 سوف يتم كتابتها (1) ولكن ، على حد تعبير ريتشارد نيكسون (that would be wrong) .

عندما ترى التعبير (1) ربما تعتقد ان هذه طريقة مطولة لكتابة العدد الصحيح 1 ، ولكنها تكتب هكذا للدلالة على مجموعة مفردات تحتوي على هذه القيمة ، نكتب (1,) ، تقريبا كل شخص يستخدم بايثون لمرة أو أكثر قد قام بحذف - عن طريق الخطأ - تلك الفاصلة المزعجة ، مثل السلاسل النصية ، يمكن تجميع المجموعات ، فهرستها ، وتسريحها .انظر :

```
t1 = (1, 'two', 3)
t2 = (t1, 3.25)
print t2
print (t1 + t2)
print (t1 + t2)[3]
print (t1 + t2)[2:5]
```

التعيين الُثانى يربط المتغير t2 الى القيم التالية : المجموعة التى تم تعيينها الى المتغير t1 بالاضافة الى الرقم العشرى 3.25 ، وهذا جائز ، لأنه مثله مثل أى شىء آخر فى بايثون ، عبارة عن كائن ، لذا فالمجموعة يمكن أن تحتوى بداخلها على مجموعات ، تماما كما أخرجته لنا أمر الطباعة الأول :

```
((1, 'two', 3), 3.25)
```

أخرج لنا أمر الطباعة الثانى القيمة التى تم توليدها عن طريق الجمع بين القيمة التى تم تعيينها الى المتغير t1 مضافا اليها القيمة التى تم تعيينها الى المتغير t2 وقامت باخراج الناتج:

```
(1, 'two', 3, (1, 'two', 3), 3.25)
```

امر الطباعة التالى قام بانتقاء وطباعة العنصر الرابع الناتج من جمع المجموعات (دائما ما تبدأ الفهارس فى بايثون من الصفر) ، وقامم أمر الطباعة التالى بانشاء وطباعة شريحة من المجموعة كما فى المخرجات التالية :

```
(1, 'two', 3)
(3, (1, 'two', 3), 3.25)
```

يمكننا استخدام الحلقة التكرارية for لتكرر نفسها وتلتقط عناصر المجموعة ، على سبيل المثال الكود التالى يقوم بحساب القواسم المشتركة للأعداد 20 و 100 ثم يقوم بعدها بجمع هذه القواسم :

```
def findDivisors (n1, n2):
    """ Assumes that n1 and n2 are positive ints
            Returns a tuple containing all common divisors of n1 & n2"""
    divisors = () #the empty tuple
    for i in range(1, min (n1, n2) + 1):
      if n1%i == 0 and n2%i == 0:
          divisors = divisors + (i,)
    return divisors
divisors = findDivisors(20, 100)
print divisors total = 0
for d in divisors:
    total += d
print total
```

5 - 1 - 1 التتالى والتعيين المتعدد Sequences and Multiple Assignment

اذا كنت تعرف عدد مكونات سياق معين – على سبيل المثال سلسلة حرفية أو مجموعة – انه الوقت المناسب لاستخدام التعيين المتعدد فى بايثون لاستخراج عناصر مفردة ، على سبيل المثال ، بعد تنفيذ حالة التعيين (3, 4) = x , y سوف

يتم تعيين القيمة 3 الى x وتعيين القيمة 4 الى y ، وبالمثل حالة التعيين a, b, c = 'xyz' سوف يتم تعيين القيمة 'x' الى المتغير a والقيمة 'y' الى المتغير b والقيمة 'z' الى المتغير c . هذه الآلية تناسب الدوال التى تعيد سياقات محددة الحجم.

```
Consider, for example the function
def findExtremeDivisors(n1, n2):
    """ Assumes that n1 and n2 are positive ints
        Returns a tuple containing the smallest common divisor > 1 and the
        largest common divisor of n1 and n2 """
    divisors = () #the empty tuple
    minVal, maxVal = None, None
    for i in range(2, min(n1, n2) + 1):
        if n1%i == 0 and n2%i == 0:
            if minVal == None or i < minVal:
                minVal = i
            if maxVal == None or i > maxVal:
                maxVal = i
    return (minVal, maxVal)



The multiple assignment statement
minDivisor, maxDivisor = findExtremeDivisors(100, 200) will bind
 minDivisor to 2 and maxDivisor to 100.
```

5 - 2 القوائم والقابلية للتغير Lists and Mutability

مثل المجموعات ، القواءم Lists هى سياق مرتب من القيم ، عندما تكون كل قيمة معرفة بفهرس . القاعدة اللغوية للتعبير عن عناصر القائمة يشبه تلك المستخدمة فى المجموعات ؛ الفرق هو أننا نستخدم أقواسا مربعة بدلا من تلك الدائرية التى نستخدمها مع المجموعات ، والقائمة الفارغة تكتب [ ] ، والقائمة المفردة بدون تلك الفاصلة قبل اغلاق القوس ، لهذا ، على سبيل المثال :

```
L = ['I did it all', 4, 'love']
for i in range(len(L)):
    print L[i]
```

سوف تكون النتيجة :

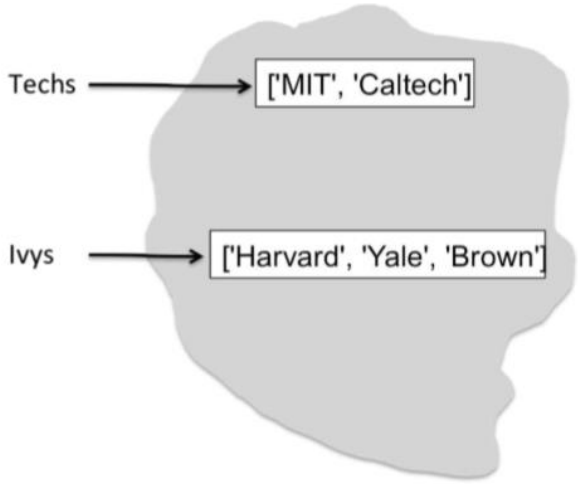
```
I did it all
4
love
```

بالمناسبة ، حقيقة استخدام الاقواس المربعة هى لأنه حرفيا نوع البيانات – القواءم Lists – مفهرسة الى عناصر ، وتشريح القوائم ربما يؤدى الى بعض التداخل أو التعارض ، على سبيل المثال ، التعبير [1, 2, 3, 4][1:3] ، قيمته 3 يستخدم الاقواس المربعة بثلاث طرق مختلفة ، هذه نادرا ما يكون بسبب مشكلة فى الممارسة ، لانه فى معظم الوقت يتم بناء القوائم عن طريق الاطراد وليس حرفيا كما يحدث فى المجموعات ، وتختلف القوائم عن المجموعات فى أن الأولى قابلة للتغير Mutable . في المقابل ، المجموعات و السلاسل الحرفية غير قابلة للتغيير Immutable . هناك العديد من العوامل التي يمكن استخدامها لإنشاء كائنات من هذه الأنواع الغير قابلة للتغيير . والمتغيرات يمكن ربطها بكائنات من هذه الأنواع . لكن الكائنات من النوع Immutable لا يمكن التعديل عليها . بينما على الجانب الآخر فان الكائنات من النوع List يمكن التعديل عليها بعد انشائها ، التمييز بين عملية تغير كائن وعملية تعيين كائن الى متغير ربما – للوهلة الاولى – نراها خفية . على كل حال يمكنك الاستمرار فى تلاوة التعويذة .

فى بايثون المتغير هو مجرد اسم ،ن على سبيل المثال – علامة يتم الحاقها بكائن ما ، ربما عملت التعويذة عملها وظهر جزء من الغموض ، لنرى هذه السطور ربما تتضح الامور أكثر :

```
Techs = ['MIT', 'Caltech']
Ivys = ['Harvard', 'Yale', 'Brown']
```

عند التنفيذ ، سيقوم المترجم Interpreter بانشاء قائمتين ، وربط كل واحدة بالاسم المناسب لها كما فى الشكل التالى :



الشكل 5 – 1 قائمتين

ولنلاحظأيضا فى عمليات التعيين الآتية :

```
Univs = [Techs, Ivys]
Univs1 = [['MIT', 'Caltech'], ['Harvard', 'Yale', 'Brown']]
```

هنا أيضا يقوم المترجم بانشاء قائمتين جديدتين وبربط لهما المتغيرات كما يبدو لنا . وعناصر هذه القواءم هى نفسها قوائم ، لنأخذ أوامر الطباعة الثلاثة الآتية :

```
print 'Univs =', Univs
 print 'Univs1 =', Univs1
print Univs == Univs1
```

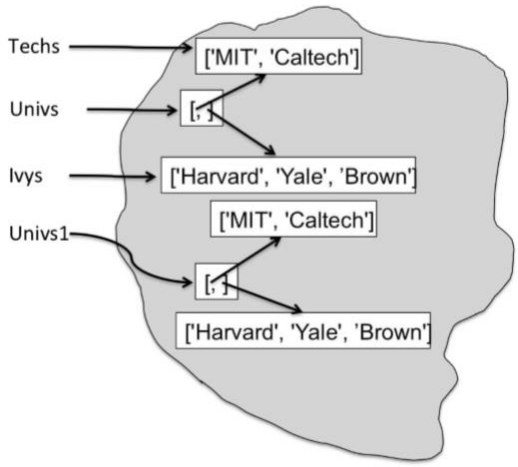
وشيكون الناتج :

```

```

```
Univs = [['MIT', 'Caltech'], ['Harvard', 'Yale', 'Brown']]
Univs1 = [['MIT', 'Caltech'], ['Harvard', 'Yale', 'Brown']]
True
```

ما هذا ! ، يبدو كما لو أنهما قائمة واحدة ، ويبدو أيضا أن المتغيرات univ و univ1 قد تم ربطهما الى نفس القائمة ، لكن قد تبدو المظاهر خادعة فى بعض الاحيان ، وهذا ما سوف يتضح فى الشكل التالى أن المتغيرات univ و univ1قد تم ربط كل منهما الى قيمة مغايرة تماما للاخرى :



الشكل 5 – 2 صورة لقائمتين يبدو أنها واحدة لكنهما ليستا كذلك

الصورة توضح أن المتغيرات univ و univ1 مربوطة الى قيم منفصلة تماما عن بعضها ، يمكننا التحقق من ذلك باستخدام الدالة الداخلية idوالتى تعيد رقم تعريفى مختلف وفريد لكل كائن مخزن فى الذاكرة . وهذه الدالة عادة ما تستخدم لاختبار التكافؤ ، عندما يتم اجراء الكود لاتالى :

```
print Univs == Univs1 #test value equality
print id(Univs) == id(Univs1) #test object equality
print 'Id of Univs =', id(Univs)
print 'Id of Univs1 =', id(Univs1)
```

وسيكون ناتج الطباعة

```
True
False
  Id of Univs = 24499264
Id of Univs1 = 24500504
```

لا تتوقع أن تحصل على نفس المعرفات عند اجراء هذا الكود ، الدلالات اللفظية فى بايثون semanticsتقول لا تسأل عن ماهية معرفات الكائنات ولا كيف يتم توليدها ، هى فقط لمجرد تحقيق ان يكون لكل كائن رقم تعريفى فريد ،لاحظ فى الشكل 5 – 2 ان عناصر univ هى ليست نسخ من عناصر المجموعة المربوط اليها techs and lvys ولكن بالأحرى فانها القوائم نفسها ، العناصر فى univ1 هى قوائم تحتوى على نفس العناصر والتى تم سردها فى القائمة univ . لكنها ليست العناصر نفسها ، يمكننا التحقق من ذلك باجراء الكود :

```
print 'Ids of Univs[0] and Univs[1]', id(Univs[0]), id(Univs[1])
print 'Ids of Univs1[0] and Univs1[1]', id(Univs1[0]), id(Univs1[1])
```

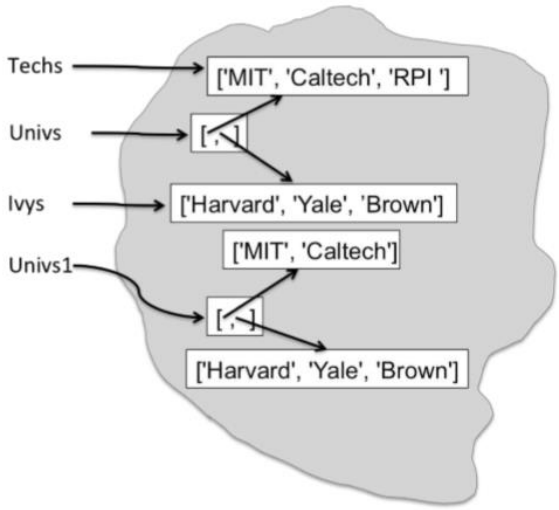
وستكون النتيجة :

```
Ids of Univs[0] and Univs[1] 22287944 22286464
Ids of Univs1[0] and Univs1[1] 22184184 22287984
```

لماذا يحدث هذا؟! .. سبب هذا أن القوائم Lists هى كائنات قابلة للتغير ، وقد نلاحظ ذلك بعد اجراء :

```
Techs.append('RPI')
```

الأسلوب append له جانب تأثيرى ، فبدلا من انشاء قائمة جديدة ، هى تقوم بالتعديلفى القائمة الموجودة بالفعل Techs عن طريق اضافة عنصر جديد ، وسيتم اضافة النص 'RPI' بعد آخر العناصر الموجودة . وبعد الحاق العنصر ستكون حالى الحوسبة كالتالى :



الشكل 5 – 3 الاثبات لعملية التحور

القائمة univ لازالت تحتوى على نفس القائمتين ، ولكن محتوى هاتين القائمتين قد تغيرتا ، فلنقم بإجراء أمر الطباعة التالى :

```
print 'Univs =', Univs
print 'Univs1 =', Univs1
```

وستكون نتيجة الطباعة :

```
Univs = [['MIT', 'Caltech', 'RPI'], ['Harvard', 'Yale', 'Brown']]
Univs1 = [['MIT', 'Caltech'], ['Harvard', 'Yale', 'Brown']]
```

ما حدث لدينا هنا هو شىء يسمى Aliasing – الاسم المستعار - ، يوجد هناك مساران متمايزان ، مسار واحد من خلال المتغير Tech والآخر من خلال العنصر الأول لكائن القائمة الذي يرتبط به Univ ، أحدهم أن يحور الكائن عبر أي من المسارين ، وسوف يكون تأثير التحور مرئياً من خلال كلا المسارين . قد يكون هذا مناسبا ، لكنه أيضا قد يكون غادرا . تؤدى الأسماء المستعارة الغير مقصودة الى أخطاء برمجية يكون من الصعب تعقبها .

كما فى المجموعات، الحلقة التكرارية for يمكنها أن تدور داخل القائمة وتخرج لنا محتواها ،

```
for e in Univ:
    print 'Univ contains', e
    print '  which contains'
```

```
    for u in e:
        print '    ', u
```

وسيكون الناتج :

```
Univs contains ['MIT', 'Caltech', 'RPI']
  which contains
    MIT
    Caltech
    RPI
Univs contains ['Harvard', 'Yale', 'Brown']
  which contains
    Harvard
    Yale
    Brown
```

عندما نضيف قائمة إلى أخرى ، على سبيل المثال ، (Techs.append (Ivys)) ، يتم الحفاظ على البنية الأصلية ، والنتيجة هي قائمة تحتوي على قائمة. لنفترض أننا لا نريد الحفاظ على هذا الهيكل ، ولكن نريد إضافة عناصر قائمة واحدة إلى قائمة أخرى. يمكننا القيام بذلك عن طريق استخدام تسلسل القوائم Concatenate أو طريقة التمديد Extend ، على سبيل المثال ،

```
L1 = [1,2,3]
L2 = [4,5,6]
L3 = L1 + L2
print 'L3 =', L3
L1.extend(L2)
print 'L1 =', L1 L1.append(L2)
print 'L1 =', L1
```

وسيكون الناتج :

```
L3 = [1, 2, 3, 4, 5, 6]
L1 = [1, 2, 3, 4, 5, 6]
L1 = [1, 2, 3, 4, 5, 6, [4, 5, 6]
```

لاحظ أن المشغل + ليس له تأثير جانبي. يقوم بإنشاء قائمة جديدة وإرجاعها. في المقابل ، وتمديد وإلحاق كل تحور الى القائمة L1.

يحتوي الشكل 5.4 على أوصاف مختصرة لبعض الطرق المرتبطة بالقوائم. لاحظ أن كل هذه الأرقام باستثناء العد والفهرس تحوّل القائمة

```
L.append(e) adds the object e to the end of L.
L.count(e) returns the number of times that e occurs in L.
L.insert(i, e) inserts the object e into L at index i.
L.extend(L1) adds the items in list L1 to the end of L.
L.remove(e) deletes the first occurrence of e from L.
L.index(e) returns the index of the first occurrence of e in L.  It raises an exception (see Chapter 7) if e is not in L.
L.pop(i) removes and returns the item at index i in L.  If i is omitted, it defaults to -1, to remove and return the last element of L.
L.sort() sorts the elements of L in ascending order.
L.reverse() reverses the order of the elements in L.
```

5 – 2 – 1 النسخ Cloning

على الرغم من أنه متاح ، لكن تجنب التتغيير فى قائمة تخضع للتكرار، لاحظ المثال التالى :

```
def removeDups(L1, L2):
    """Assumes that L1 and L2 are lists.
      Removes any element from L1 that also occurs in L2"""
    for e1 in L1:
        if e1 in L2:
            L1.remove(e1) L1 = [1,2,3,4] L2 = [1,2,5,6]
removeDups(L1, L2)
print 'L1 =', L1
```

ربما تتفاجأ عندما ترى أمر الطباعة يخرج هذه النتيجة :

```
L1 = [2, 3, 4]
```

خلال الحلقة for ، يقوم التطبيق Python Implementation بتتبع مكان وجوده في القائمة باستخدام عداد داخلي يتزايد في نهاية كل عملية تكرار. عندما تصل قيمة العداد إلى الطول الحالي للقائمة تتوقف الحلقة ، هذا قد يؤدى كما قد نتوقع منه أن يفعل إذا لم يتم تحور القائمة داخل الحلقة التكرارية ، ولكن يمكن أن يكون لها عواقب مفاجئة إذا تم تحوير القائمة ، في هذه الحالة ، يبدأ العداد المخفي عند 0 ، ويكتشف أن L1[0] في L2 ، ويزيله - مما يقلل من طول L1 إلى 3. ثم يتم زيادة العداد إلى 1 ، وتستمر عملية للتحقق مما إذا كانت قيمة L1[1] موجودة في L2 . لاحظ أن القيمة الحالية لـ L1[1] ليست 2 ولكنها أصبحت 3 ، كما ترى أنه من السهل اكتشاف ما يحدث . . . تبدو أنها غير مقصودة كما فى هذا المثال .

ولتجنب هذا النوع من المشاكل التى قد تنتج بغير قصد .. يفضل استخدام النسخ Clone لاجراء التقطيع أو تشريح القوائم ، (بمعنى انشاء نسخة من) القائمة وكتابتها فى e1 فى القائمة L1[:] .

و لاحظ انه عن طريق كتابة newL1 = L1 متبوعا بـ for e1 in newL1 لم يتم حل المشكلة لاننا بهذه الطريقة لم ننشئ نسخة جديدة من L1بل قمنا بتقديم نفس القائمة باسم جديد .

طريقة التقطيع slice ليست هى الطريقة الوحيدة لانشاء جديدة من الكائنات فى بايثون ، التعبير list(L) يعيد لنا نسخة جديدة من L ، واذا كانت القائمة تحتوى على كائنات قابلة للتغير وتريد استنساخها فيمكنك استدعاء المكتبة copy واستخدام الدالة copy.deepCopy

5 – 2 – 2 فهم القائمة List Comprehension

.

يقدم لنا فهم القائمة طريقة مختصرة لتطبيق عملية ما على العناصر فى سياق القائمة ، ويقوم بانشاء قائمة جديدة تكون عناصرها هى العناصر التى تم تطبيق العمليات عليها ، على سبيل المثال انظر العناصر فى القائمة التالية :

```
L = [x**2 for x in range(1,7)] print L
will print the list
[1, 4, 9, 16, 25, 36]
```

التكرار فى الحلقة التكرارية for يمكن أن يتعبه حالة شرطية if أو تكرارية for ، واحدة أو أكثر ، والتى يتم تطبيقها على القيم التى ينتجها هذا التكرار . هذه الحلقات التكرارية الاضافية التى تم تطبيقها تقوم بتعديل القيم التى أنتجتها الحلقة التكرارية الاولى ، وتنتج سياقا جديدا من القيم ، الى أى العمليات المرتبطة يتم التطبيق ..

هذا المثال سوف يوضح أكثر :

```
mixed = [1, 2, 'a', 3, 4.0]
print [x**2 for x in mixed if type(x) == int]
```

سوف يقوم بتربيع القيم فى السياق mixed فقط اذا كانت أعداد صحيحة ويطبع : [1, 4, 9]

بعض مبرمجين بايثون يحبون استخدام فهم القوائم List Comprehension بعدة طرق قد تكون رائعة ومبهمة ، لكن تذكر أن أناس آخرون قد يقرءون أكوادك ، والإبهام ليست خاصية مرغوبة .

5 – 3 الدوال ككائنات Functions as Objects

فى البايثون ، الدوال functions هى فى المقام الاول كائنات Objects ، وهذا يعنى أنه يمكن معاملته على أنها كائنات من نوع ما ، على سبيل المثال ، الأعداد الصحيحة Int أو القوائم List ، لها أنواع Types ، فمثلا ، التعبير type(fact) سيكون له القيمة < type 'function' > ؛ يمكنها أيضا أن تظهر فى التعبيرات ، فمثلا ، فى الجانب الأيمن من عمليات التعيين ، أو تعيين متغير لدالة ، أو يمكنها أن تكون عنصر من عناصر قائمة .

استخدام الدوال كمتغيرات Arguments يمكن أن يكون مناسب بشكل جزئى عند الاقتران بالقوائم Lists ، وهى تقودنا الى اسلوب فى البرمجة يسمى البرمجة عالية الرتبة Higher-Order-programming ، ناخذ مثالا على ذلك :

```
def applyToEach(L, f):
    """Assumes L is a list, f a function
       Mutates L by replacing each element, e, of L by f(e)"""
    for i in range(len(L)):
        L[i] = f(L[i])

L = [1, -2, 3.33]
print 'L =', L
print 'Apply abs to each element of L.' applyToEach(L, abs)
print 'L =', L
print 'Apply int to each element of', L applyToEach(L, int)
print 'L =', L
print 'Apply factorial to each element of', L applyToEach(L, factR)
print 'L =', L
print 'Apply Fibonnaci to each element of', L applyToEach(L, fib)
```

الشكل 5-5 تطبيق الدالة على كل عنصر من عناصر القائمة

الدالة التى يتم تطبيقها على الكل تسمى عالية الرتبة Higher-Order ، وذلك لانها لا تحتوى على متغيرات ، هى بذاتها دالة ، عند تطبيقها فى أول سطر من الكود الموجود فى الشكل 5-5 ، قامت بتغيير عناصر L عن طريق تطبيق الدالة abs الى كل عنصر من عناصرها ، وفى المرة الثانية قامت بتطبيق الدالة Int الى كل العناصر فقامت باجراء تحويل للانواع . . . وهكذا ....

```
L = [1, -2, 3.33000000000000001]
Apply abs to each element of L.
L = [1, 2, 3.33000000000000001]
Apply int to each element of [1, 2, 3.33000000000000001]
L = [1, 2, 3]
Apply factorial to each element of [1, 2, 3]
L = [1, 2, 6]
Apply Fibonnaci to each element of [1, 2, 6]
```

```
L = [1, 2, 13]
```

البايثون تحتوى على دوال من النوع عالى الرتبة مثل map والتى تشبه هذه الدالة لكنها أكثر شمولية ، فلتعيين كل دالة الى كل عناصر القائمة L كما فى الشكل 5-5 يمكننا استخدام الدالة map فى أبسط اشكالها ، وهو ما يسمى الدالة الوحيدة (الدالة التى تحتوى على متغير وحيد) والمتغير الثانى عبارة عن أى ترتيب من المتغيرات التى يمكن ان تكون من أى نوع من القيم ، وتعيد لنا قائمةتم توليدها عن طريق تطبيق الدالة فى المتغير الاول الى كل عنصر من عناصر المتغير الثانى ، فمثلا ، التعبير map(factR, [1, 2, 3]) يعيد لنا القائمة [1, 2, 6] .

عامة ، المتغير الاول للدالة map يمكنه أن يكون دالة بأى عدد n من المتغيرات ، والتى من المفترض ان تتوافق مع عدد التتابع فى السياق الموجود فى ترتيب المتغيرات التالية له ،

النصوص – المجموعات - القوائم Strings – Tuples - Lists

لقدرأينا ثلاثة أنواعع مختلفة من أنواع البيانات ، وتجمعها خصائص مشتركة فى أنه لأى كائن من هذه الأنواع يمكن تطبيق الدوال المبينة فى الشكل التالى :

```
seq[i] returns the ith element in the sequence.
len(seq) returns the length of the sequence.
seq1 + seq2 returns the concatenation of the two sequences.
n * seq returns a sequence that repeats seq n times.
seq[start:end] returns a slice of the sequence.
e in seq is True if e is contained in the sequence and False otherwise.
 e not in seq is True if e is not in the sequence and False otherwise.
 for e in seq iterates over the elements of the sequence
```

الشكل 5-6 العمليات المشتركة لأنواع السياق

وأيضا مقارنة لبعض الاشياء المتشابهة والمختلفة فى كل نوع مختصرة كما فى الشكل التالى :

النوع	نوع العناصر	أمثلة لأنواع العناصر	القابلية للتغير
str	Characters	‘ ’ , ‘ a ’ , ‘ abcd ’ , ‘ any string’	immutable

immutable	( ), (1), (2, 'a', 'abcd'), ('a', (2, 3))	Any	tuple
mutable	[ ], [3], ['abc', 4]	Any	list

الشكل 5-7 مقارنة بين أنواع السياقات

يميل مبرمجى البايثون الى استخدام القوائم lists اكثر من استخدامهم للمجموعات tuples ، وذلك لانها قابلة للتغير ، ولانها أيضا يمكن اضافة أى عدد من العناصر اليها بشكل مطرد .

```
evenElems = [ ]
for e in L:
  if e%2 == 0:
     evenElems.append(e)
```

أحد الخواص التى تجعل المجموعات مفضلة هى كونها غير قابلة للتغير ، الاسماء البديلة ليست مقلقة ، وعدم قابليتها للتغير يجعل منها الحل الافضل لكى تستخدم كمفاتيح فى قاموس كما سنرى فى القسم التالى.

لأن النصوص strings تحتوى على أحرف فقط ، ربما هذا يجعلها أقل استخداما فى البرمجة ، لكن على الجانب الاخر نجد العديد من الدوال الداخلية فى اللغة والتى تجعل الحياة أكثر سهوله عند التعامل مع النصوص ، سيكون هذا موضحا باختصار فى الجدول التالى :

الدالة	ف
s.count(s1)	كم مرة تكرر النص s1 بداخل النص s
s.find(s1)	قم الفهرس لاول حرف من النص الفرعى s1 اذا كان موجودا داخل النص s أو تعيد -1 اذا لم يتم العثور على النص الفرعى
s.rfind(s1)	دالة السابقة ولكنها تعمل بشكل عكسى أى تبدأ من النهاية (الحرف r يشير الى rev)
s.index(s1)	الدالة find ولكنها تعيد حالة اعتراض(انظر الفصل السابع) exception فى حالة العثور على النص الفرعى
s.rfind(s1)	الدالة index ولكنها تعمل بشكل عكسى
s.lower( )	حالى كل الأحرف الى smallCase
s.replace(old, new)	باستبدال كل النصوص الفرعية التى توافق القيمة old بالقمة الجديدة new
s.rstrip( )	هذه الدالة بحذف المساحات البيضاء
s.split(d)	يع تقسيم النص على أساس محدد delimiter ويعيد قائمة تحتوى على

	وص المقطّعة واذا غاب المتغير d يتم التقسيم على أساس محددات افتراضية ان وجدت (space, tab, newline, return, form

الشكل 5-8 بعض الاساليب methods الخاصة بالنصوص

5 – 5 القواميس Dictionaries

الكائنات من النوع Dict (اختصارا لـ dictionary) تشبه القوائم غير أن الفهارس (Indices) لا يشترط أن تكون أرقام صحيحة .. بل يمكنها ان تكون أى نوع من الانواع الغير قابلة للغير ، ولأنها غير مرتبة سنسميها مفاتيح ، يمكنك أيضاً النظر الى الكائنات من النوع dict على انها أزواج من (المفاتيح / القيم) أو (Keys / Values) .

حرفيا يتم تقديم الكائنات من النوع Dict محاطة بأقواس مجعدة {} او curly braces ويتم ادراج العناصر بالداخل على هيئة (مفتاح : قيمة) أى كلمة تعبر عن المفتاح متبوعة بنقطتين رأسيتين (: colon) ثم قيمة هذا المفتاح .

المثال التالى يوضح الطريقة المتبعة لتعريف كائن من النوع dict :

```
monthNumbers = {'Jan':1, 'Feb':2, 'Mar':3, 'Apr':4, 'May':5,
                1:'Jan', 2:'Feb', 3:'Mar', 4:'Apr', 5:'May'}
print 'The fourth month is ' + monthNumbers[3]
dist = monthNumbers['Apr'] - monthNumbers['Jan']
print 'Apr and Jan are', dist, 'months apart'
```

وستكون النتيجة :

```
The fourth month is Mar Apr
and Jan are 3 months apart
```

المدخلات فى القاموس غير مرتبة ويصعب استهداف البيانات عن طريق الفهارس ، ففى المثال السابق وعند طلب الرقم الخاص بشهر يناير بهذا الشكل monthNumber[1] سيعيد لنا نتيجة غير التى نرغب بها ، فالفهرس 1 يشير الى فبراير وليس يناير ، ويمكننا معرفة ذلك بشكل أكثر قربا عندما نستخدم الوسيلة keys والتى تعيد لنا قائمة بداخلها كل المفاتيح الموجودة فى الكائن من النوع dict ، فاذا طلبنا منه الامر monthNumber.keys() ربما يكون العائد شيئا من هذا القبيل [' 1, 2, 3, 4, 'Jan', 'May', 5, 'Apr', 'Feb', 'Mar'] .

عند استخدام الحلقة التكرارية for فان القيم التى يتم اضافتها الى القاءمة المتولدة هى عبارى عن مفاتيح هذا القاموس وليس (المفتاح / قيمته) كما فى الكود التالى :

```
for e in monthNumbers:
    keys.append(e)
    keys.sort()
print keys
prints [1, 2, 3, 4, 5, 'Apr', 'Feb', 'Jan', 'Mar', 'May']
```

الكائنات من النوع dic هى إضافة عظيمة للغة البايثون ، فهى تجعل كتابة العديد من البرامج شيئا سهلا ،

على سبيل المثال وفى الشكل التالى كتابة قاموس يستخدم فى الترجمة بين اللغات ليس بالشىء الصعب :

```
# تمثيل لقاموس مصغر لبعض الكلمات من الانجليزية الى الفرنسية
EtoF = {'bread':'pain', 'wine':'vin', 'with':'avec', 'I':'Je','eat':'mange', 'drink':'bois',
'John':'Jean',
        'friends':'amis', 'and': 'et', 'of':'du','red':'rouge'}
# تمثيل لقاموس مصغر لبعض الكلمات من الفرنسية الى الانجليزية
FtoE = {'pain':'bread', 'vin':'wine', 'avec':'with', 'Je':'I', 'mange':'eat', 'bois':'drink',
'Jean':'John',
 'amis':'friends', 'et':'and', 'du':'of', 'rouge':'red'}
# تمثيل لقاموس كبير يجمع كل القواميس التى تم تعريفها
dicts = {'English to French':EtoF, 'French to English':FtoE}

# التعريف لدالة الترجمة لكل كلمة على حدة
def translateWord(word, dictionary):
    if word in dictionary.keys():
 return dictionary[word]
    elif word != '':
 return '"' + word + '"'
    return word
# التعريف لدالة الترجمة لمقطع كامل
```

```
def translate(phrase, dicts, direction):
    UCLetters = 'ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ'
    LCLetters = 'abcdefghijklmnopqrstuvwxyz'
    letters = UCLetters + LCLetters
    dictionary = dicts[direction]
    translation = ''
    word = ''
   for c in phrase:
    if c in letters:
            word = word + c
        else:
            translation = translation+ translateWord(word, dictionary) + c
            word = ''
    return translation + ' ' + translateWord(word, dictionary)
print translate('I drink good red wine, and eat bread.', dicts, 'English to French')
print translate('Je bois du vin rouge.', dicts, 'French to English')
```

الشكل 5-9 الترجمة الحرفية

وستكون نتيجة الترجمة كالتالى :

```
Je bois "good" rouge vin, et mange pain.
I drink of wine red.
```

كما ترى ، ومثل القوائم ، فان الكائنات dict هى كائنات muable أى قابلة للتغير ، فلابد أن تكون حذرا فيما يخص الجانب التأثيرى ، لاحظ المثال :

```
FtoE['bois'] = 'wood'
print translate('Je bois du vin rouge.', dicts, 'French to English' )
        = = =   will print     = = =
I wood of wine red
```

لقد أضفنا فهرس الى القاموس بكود مثل هذا : 'FtoE['blanc'] = 'white . '

كالقوائم ، هناك عدة وسائل method للتعامل مع الكائنات من النوع Dict سنعرض لها فيما يتناسب مع الامثلة فى مكان متقدم من هذا الكتاب ، ونقدم منها على بيل المثال لا الحصر :

الدالة	الوصف
Len(d)	تحسب عدد عناصر القاموس d
d.keys()	تعيد قائمة تكون عناصرها المفاتيح المتاحة أو الموجودة فى الفهرس d
d.values	تعيد قائمة تكون عناصرها القيم الموجودة فى القاموس d
K in d	تعيد True اذا كانت k موجودة فى d
d[k]	تعيد القيمة المقابلة للمفتاح k
d.get(k, v)	تعيد القيمة d[k] اذا كانت موجودة أو v اذا كان العكس
d[k] = v	تقوم بتعيين القيمة v داخل القاموس الى المفتاح k اذا كان موجودا، أو تنشئه
Del d[k]	تقوم هذه الدالة بحذف المفتاح k مع القيمة المقابلة
For k in d	تقوم بالتكرار على كل المفاتيح الموجودة فى d وتطبق عليها العمليات المطلوبة

الشكل 5-10 بعض الاساليب المرتبطة بالبيانات من النوع DICT

معظم لغات البرمجة لا تحتوى على مثل هذا النوع من البيانات ، لكن المبرمجين يبتكرون حيلا لتفادى هذا ، فعلى سبيل المثال يمكن تسجيل القيم هكذا ، (('word1', 'trans1'), ('word1', 'trans1'), ('word1', 'trans1')) = dict ، ويمكن استهداف كلمة معينة داخل هذا الترتيب بتعديل سيناريو الطلب كأن تطلب من حلقة تكرارية من النوع for ان تكرر مقارنة على جميع العناصر فان وجدت القيمة التى تقابل الفهرس 0 من عنصر داخل عناصر القاموس التى سنعتبرها مفتاحا ستعيد القيمة التى تقابل الفهرس 1 ، هذا قد يكون حلا للمشكلة لكن تصور بدلا من أن تذهب للكلمة المستهدفة بشكل مباشر ستضطر الى تكرار الاختبار على كل العناصر الموجودة ، وسوف يتوقف وقت التنفيذ على حجم القاموس ، ولن تستطيع تحديد مكان الكلمة المستهدفة فى كل مرة فربما كان مكانها فى آخر القاموس .

على النقيض ، ستجد الدوال المبنية والجاهزة للتطبيق سريعة بشكل مذهل ، يعتمد مطوروا اللغة على ما يسمى بالتشفير hashing (سيتم شرحه فى الفصل العاشر) ، وهذا من شأنه تقليص وقت التنفيذ الى أقل ما يمكن .

6 الاختبار والتصحيح TESTING AND DEBUGGING

نحن نكره هذا الطرح ، ولكن ، قد كان الدكتور Dr. Pangloss على خطأ ، نحن لا نعيش فى أفضل مكان فى عالم الممكن ، هناك مناطق باردة على الأرض ، وهناك مناطق حارة ، هناك مناطق باردة اكثر من الطبيعى فى الشتاء ، وأخرى أكثر حرارة فى فصل الصيف ، ربما ينخفض سوق الأسهم – كثيرا – وربما الأسوا ألا تعمل برامجنا بشكل صحيح من المرة الأولى ، تم اخراج هذا الفصل ليعلمنا كيف نتعامل مع هذه المشكلة ، وهناك الكثير أيضا فى انتظارنا لنتعلمه بقراءة هذا الكتاب .

ومع ذلك ، وحرصًا على تزويدك ببعض التلميحات التي قد تساعدك في الحصول على هذه التلميحات ، المشكلة التالية قد جاءت في الوقت المناسب ، يقدم هذا الفصل مناقشة مكثفة للغاية حول الموضوع . في حين أن جميع الأمثلة البرمجية موجودة في بايثون ، فإن المبادئ العامة تنطبق على أي نظام معقد وتعيده للعمل .

الاختبار testing هو عملية تشغيل برنامج لمحاولة التحقق مما إذا كان يعمل أم لا. أمّا التصحيح debugging هو محاولة إصلاح البرنامج الذي تعرف أنه بالفعل لا يعمل على النحو المنشود .

لا يعتبر الاختبار وتصحيح الأخطاء عمليات يجب عليك البدء في التفكير فيها بعد إنشاء أحد البرامج ، يقوم المبرمجون الجيدون بتصميم برامجهم بطرق تجعل من السهل اختبارها وتصحيحها ، المفتاح لفعل هذا هو تقسيم البرنامج إلى مكونات منفصلة يمكن تنفيذها واختبارها وتصحيحها بشكل مستقل عن المكونات الأخرى .

حتى هذه المرحلة من الكتاب ، ناقشنا فقط آلية واحدة لدمج البرامج ، الدوال Functions . لذلك ، في الوقت الحالي ، ستستند جميع أمثلتنا حول الدوال ، و عندما نصل إلى آليات أخرى ، التصنيفات Classes بصفة خاصة ، سنعود إلى بعض المواضيع التي يتناولها هذا الفصل .

الخطوة الأولى في دفع برنامج للعمل هو جعله متوافق مع نظام ومتطلبات اللغة التى سوف يعمل على نظامها ، أي التخلص من أخطاء التركيب syntax والأخطاء الدلالية الثابتة semantics التي يمكن اكتشافها بدون تشغيل البرنامج. إذا لم تكن قد تجاوزت هذه النقطة في البرمجة ، فأنت لست مستعدًا لهذا الفصل ، اعمل قضاء بعض الوقت في العمل على برامج صغيرة ، ثم عد الى هنا .

6 – 1 الاختبار Testing

أهم ما يمكن قوله عن الاختبار هو أن الغرض منه هو إظهار وجود أخطاء ، وليس لإظهار أن البرنامج خالي من الأخطاء. على حد تعبير إدجر دجكسترا ، "يمكن استخدام اختبار البرنامج لإظهار وجود أخطاء ، وليس لإثبات غيابهم أبدًا!" أو كما قال ألبرت أينشتاين ذات مرة ، "لا يمكن لأي قدر من التجارب إثبات الحقيقة ، لكن كل تجربة تثبت لي خطأ ".

لماذا هو كذلك؟ حتى أبسط البرامج يمكن أن يتولد لديه مليارات من المدخلات الممكنة ، خذ بعين الاعتبار ، على سبيل المثال ، البرنامج الذي يزعم تلبية المواصفات :

```
def isBigger(x, y):
    """Assumes x and y are ints
       Returns True if x is less than y and False otherwise""".
```

تشغيله على جميع أزواج الأعداد الصحيحة سيكون ، على أقل تقدير ، شيء ممل. أفضل ما يمكننا القيام به هو تشغيله على أزواج من الأعداد الصحيحة التي لديها احتمالية معقولة لإنتاج إجابة خاطئة إذا كان هناك خلل في البرنامج .

مفتاح الاختبار هو العثور على مجموعة من المدخلات ، تسمى مجموعة اختبار ، والتي لديها احتمالية عالية للكشف عن الأخطاء ، ولكن لا تستغرق وقتا طويلا للتشغيل ، و المفتاح لفعل هذا هو تقسيم كافة المدخلات الممكنة إلى مجموعات فرعية توفر معلومات متكافئة حول صحة البرنامج ، ثم إنشاء مجموعة اختبار تحتوي على إدخال واحد من كل قسم. (وفى العادة ، بناء مثل هذا الاختبار التجريبي ليس ممكنًا في الواقع . ولكن فكر في هذا كمثال غير قابل للتحقيق) .

كل مجموعة من التقسيمات يتم تعيينها في مجموعة فرعية بحيث ينتمي كل عنصر في المجموعة الأصلية إلى واحدة من المجموعات الفرعية ، خذ بعين الاعتبار ، على سبيل المثال ، isBigger(x , y) . مجموعة من المدخلات الممكنة لهذه الدالة هي جميع مجموعات من الأعداد الصحيحة. تتمثل إحدى طرق تقسيم هذه المجموعة في المجموعات الفرعية السبعة التالية:

- x positive, y positive
- x negative, y negative
- x positive, y negative
- x negative, y positive
- x = 0, y = 0
- x = 0, y ≠ 0
- x ≠ 0, y = 0

إذا قمت باختبار التطبيق على قيمة واحدة على الأقل من كل مجموعة من هذه المجموعات الفرعية ، سيكون هناك احتمال معقول (ولكن ليس مضمون) لكشف الخطأ إذا وجد .

بالنسبة لمعظم البرامج ، فإن العثور على تقسيم جيد للمدخلات أسهل بكثير من فعله . عادة يعتمد الناس على الاستدلال على أساس استكشاف مسارات مختلفة من خلال مزيج من الكود والمتطلبات . الاستدلال على أساس استكشاف مسارات من خلال الكود تقع تحت ما يسمى اختبار صندوق زجاجي Glass-Box-Test. الاستدلال على أساس استكشاف المسارات من خلال المتطلبات تقع تحت ما يسمى اختبار الصندوق الأسود Black-Box-Test .

6 – 1 – 1 اختبار الصندوق الأسود Black Box Testing

من حيث المبدأ ، يتم إنشاء اختبارات الصندوق الأسود دون النظر إلى الكود المراد اختباره . يسمح اختبار الصندوق الأسود باختيار المختبرين Testers والمنفذين Implementers من مجموعات منفصلة . نحن نقوم عادة بابتكار حالات اختبار كتلك ، أولئك الذين يقومون بتدريس دورات البرمجة يختلقون حالات اختبار لمجموعة الطلاب لاختبارهم واعطائهم درجات عليها ، عندئذ فإننا نقوم بتطوير مجموعات اختبار الصندوق الأسود. غالبًا ما يكون لمطوري البرامج التجارية مجموعات منفصلة لضمان الجودة وتكون مستقلة إلى حد كبير عن مجموعات المطورين .

هذا الاستقلال يقلل من احتمالية توليد أخطاء مرتبطة بأخطاء في الكود. لنفترض ، على سبيل المثال ، أن كاتب أحد البرامج قدم افتراضًا ضمنيًا ، ولكنه غير صالح ، افترض أنه لن يتم استدعاء الدالة برقم سالب. إذا قام نفس الشخص ببناء حاشية الاختبار للبرنامج ، فمن المحتمل أن يكرر هذا الخطأ ، ولا يختبر الوظيفة بمتغيرات سالبة .

خاصية اخرى أيجابية فى اختبارات الصندوق الاسود ، هي أنها قوية فيما يتعلق بالتغييرات في التنفيذ. نظرًا لأنه يتم إنشاء بيانات الاختبار دون معرفة بكيفية التنفيذ ، فلا يتم تغييرها عند تغيير التنفيذ .

كما قلنا سابقا ، فغن أفضل الطرق لتوليد اختبار الصندوق الاسود هو استكشاف المسارات من المتطلبات ، فلنرى هذا المتطلبات :

```
def sqrt(x, epsilon):
    """Assumes x, epsilon floats
            x >= 0
            epsilon > 0
       Returns result such that
            x-epsilon <= result*result <= x+epsilon"""
```

يبدو أنه لا يوجد سوى مسارين مختلفين فقط من خلال هذه المتطلبات : الاول هو المتوافقة x = 0 والآخر المتوافقة x > 0 . ومع ذلك ، فإن الحدس السليم يخبرنا ، في حين أنه من الضروري اختبار هاتين الحالتين ، فإن ذلك لا يكاد يكفي .

يجب أيضًا اختبار شروط الحدود* أيضا . عند النظر إلى القوائم ، غالبًا ما يعني ذلك النظر إلى القائمة الفارغة ، وقائمة تحتوي على عنصر واحد فقط ، وقائمة تحتوي على قوائم . عند التعامل مع الأرقام ، يعني ذلك عادةً النظر إلى القيم الصغيرة جدًا وكبيرة جدًا على انها قيم متطابقة. بالنسبة لـ sqrt ، قد يكون من المنطقي محاولة اختبار قيم x و epsilon بطريقة مشابهة لتلك الموجودة في الجدول التالي :

x	epsilon
0.0	0.0001
25.0	0.0001
0.5	0.0001
2.0	0.0001
2.0	1.0/2.0**64.0
1.0/2.0**64.0	1.0/2.0**64.0
2.0**64.0	1.0/2.0**64.0
1.0/2.0**64.0	2.0**64.0
2.0**64.0	2.0**64.0

الصفوف الأربعة الأولى مخصصة لتمثيل الحالات النموذجية .لاحظ أن قيم x تتضمن مربعًا كاملاً ، ورقمًا أقل من رقم واحد ، ورقمًا به جذر تربيعي غير منطقي .إذا فشلت أي من هذه الاختبارات ، هناك خلل في البرنامج و يحتاج إلى إصلاح.

تختبر الصفوف المتبقية قيمًا كبيرة وصغيرة جدًا من x و epsilon. إذا فشل أي من هذه الاختبارات ، فلابد ان هناك شيئٌ ما يجب إصلاحه . شيء ما يحتاج الى اصلاح في التعليمات البرمجية أو تحتاج إلى تغيير المتطلبات حتى يكون من السهل تلبيتها . قد يكون ، على سبيل المثال ، من غير المعقول أن نتوقع قيم تقريبة لجذر مربع عندما يكون epsilon صغيرًا بشكل يبعث على السخرية .

* شرط الحدود : يعبر عن الشرط اللازم لتساوى الحدود فى المعادلات الرياضية

وشرط حدود أخر لابد أن نفكر فيه وهو ما يتعلق بالأسماء المزيفة ، انظر الى الكود التالى :

```
def copy(L1, L2):
    """Assumes L1, L2 are lists
      Mutates L2 to be a copy of L1"""
    while len(L2) > 0: #remove all elements from L2
        L2.pop() #remove last element of L2
    for e in L1: #append L1's elements to initially empty L2
        L2.append(e)
```

سوف تظل تعمل هذه الدالة طوال الوقت بشكل سليم ، ولكن ليس عندما تشير L2 , L1 الى نفس القائمة . قائمة الاختبارات لا تتضمن الاختبار copy(L, L) ، سوف لا يظر النتيجة المرغوبة مع انه لن يقود الى وجود خطأ بالكود .

6 – 2 – 2 اختبار الصندوق الزجاجى glass-Box Test

اختبار الصندوق الاسود لايمكن تخطيه ، لكنه ليس كافيا بالمرة ، بدون النظر داخل الكود يصعب تحديد نوعيه الاختبارات اللازمة للتحقق من صحة البرنامج ، ففى المثال البسيط التالى :

```
def isPrime(x):
    """Assumes x is a nonnegative int
      Returns True if x is prime; False otherwise"""
    if x <= 2:
        return False
    for i in range(2, x):
        if x%i == 0:
            return False
    return True
```

بالنظر الى الكود يمكننا أن ندر أنه وبسبب الشرط x <= 2 فإن القيم 0, 1, 2 يتم معاملتها على أنها حالات خاصة ، ولهذا السبب يجب اختبارها ، بدون النظر الى داخل الكود قد لا تفكر فى اختبار isPrime(2) ، لاننا عند اختبارها وكانت النتيجة False الأمر الذى يعنى وجود خطأ حيث يشير الى أن 2 ليست عدد أولى .

عادةً ما تكون مجموعات اختبار الصندوق الزجاجى أسهل في البناء من مجموعات اختبار الصندوق الأسود . و عادةً ما تكون المواصفات غير مكتملة وغالبًا ما تكون سيئة جدًا ، مما يجعلها تحديًا لتقدير مدى استفادة مجموعة اختبار الصندوق الأسود من مساحة المدخلات المثيرة للاهتمام .

وعلى النقيض من ذلك ، فإن فكرة استكشاف مسار من خلال الكود هى فكرة محددة بشكل جيد ، ومن السهل نسبياً تقييم مدى دقة استكشاف المساحة ، في الواقع ، الأدوات التجارية التي يمكن استخدامها لقياس استيفاء اختبارات صندوق زجاجي بشكل موضوعي .

مجموعة اختبار صندوق زجاجي تكون مكتملة المسار Path-Complete إذا كانت تختبر كل مسار محتمل من خلال البرنامج . وهو ما يستحيل تحقيقه ، لأنه يعتمد على عدد المرات التي يتم فيها تنفيذ كل حلقة وعمق كل عملية عودية recursion. على سبيل المثال ، التنفيذ العودى لدالة المضروب factorial function يتبع مسارًا مختلفًا لكل المدخلات الممكنة (لأن عدد مستويات التكرار سيختلف) .

علاوة على ذلك ، حتى جناح اختبار المسار المكتمل لا يضمن أن جميع الأخطاء سيتم كشفها . انظر :

```
def abs(x):
    """Assumes x is an int
      Returns x if x>=0 and –x otherwise"""
    if x < -1:
        return –x
    else:
        return x
```

تشير المتطلبات إلى أن هناك حالتين محتملتين ، x إما سالبة أو ليست كذلك. هذا يشير إلى أن مجموعة المدخلات {2 ، -2} قد تكون كافية لاستكشاف جميع المسارات في المتطلبات . يحتوي جناح الاختبار هذا على خاصية جميلة إضافية لإجبار البرنامج عبر جميع مساراته ، لذا يبدو كجناح صندوق زجاجي كامل كذلك . المشكلة الوحيدة هي أن هذا الجناح التجريبي لن يكشف حقيقة أن القيمة المطلقة (-1) ستعيد -1.

على الرغم من محدودية اختبار الصندوق الزجاجي ، فهناك عدد قليل من القواعد الأساسية التي عادة ما تكون جديرة باتباعها :

- اختبار كل الفروع للحالات الشرطية
- تأكد من أن كل استثناء يعطى النتيجة الصحيحة عند التنفيذ (انظر الفصل السابع)
- لكل حالة تكرارية من النوع for يوجد حالات اختبار عندما :
    - عندما لا تدخل الحلقة –كن متأكدت من تجربة الحلقة على القواءم الفارغة عندما يكون مطلوب منها الدخول –
    - عندما يتم تنفيذ حاشية الحلقة التكرارية مرة واحدة
    - عندما يتم تنفيذ حاشية الحلقة التكرارية مرات عديدة
- لكل حلقة تكرارية من النوع while يوجد أيضا حالات اختبار عندما :

- نفس الحالات المتبعة مع الحلقات من النوع for
- افحص جميع حالات الاختبار التى تطابق جميع الطرق الممكنة للخروج من الحلقة . على سبيل المثال ، عند بدء حلقة بـ 0 <len (L) when وليس L [i] == e ، عليك العثور على الحالات التي تخرج فيها الحلقة عندما يكون len(L) أكبر من الصفر والحالات التي تخرج فيها لأن L[i] == e

- فى حالات اعادة استدعاء الدوال function recursive call اختبر جميع القيم التى تجعل الدالة لا تتكرر ، أو تتكرر مرة واحدة ، أو تتكرر مرات عديدة .

6 – 1 – 3 اختبار التصرف Conducting Tests

غالباً ما يُعتقد أن الاختبار يتم على مرحلتين. ينبغي للمرء أن يبدأ دائما باختبار الوحدات . خلال هذه المرحلة ، يقوم المختبِر ببناء واختبار اختبارات مصممة للتأكد مما إذا كانت وحدات الكود - مفردة - (مثل ، الدالات semantics) تعمل بشكل صحيح. ويتبع ذلك اختبار التكامل ، الذي تم تصميمه للتأكد مما إذا كان البرنامج ككل يتصرف على النحو المنشود . يدور المختبرين حول هاتين المرحلتين ، فان الفشل ان وجد فى اختبار التكامل يؤدى ذلك الى اجراء تعديل فى الوحدات .

اختبار التكامل يكاد يكون دائمًا أكثر تحديًا من اختبار الوحدة. وأحد أسباب ذلك هو أن السلوك المقصود للبرنامج بكامله غالبا ما يكون أصعب بكثير في تحديد خصائص السلوك المقصود لكل جزء من أجزائه. على سبيل المثال ، يعد توصيف السلوك المقصود لمعالج الكلمات أكثر تحديًا بشكل كبير من توصيف سلوك دالة تقوم بحساب عدد الحروف في الوثيقة. مشاكل الحجم يمكن أن تجعل اختبار التكامل صعبًا أيضًا. انه لمن غير المعتاد أن تستغرق اختبارات التكامل ساعات أو حتى أيام للتشغيل .

فى الغالب يكون لدى العديد من منظمات تطوير البرمجيات الصناعية مجموعات ، مجموعة لضمان جودة البرمجيات (SQA) منفصلة عن المجموعة المكلفة بتنفيذ البرنامج . تتمثل مهمة هذه المجموعة في التأكد من أنه قبل إصدار البرنامج يكون مناسبًا للغرض المقصود . في بعض المؤسسات ، تكون مجموعة التطوير مسؤولة عن اختبار الوحدات وتكون مجموعة ضمان الجودة مسئولة عن اختبار التكامل .

فى العمليات الصناعية ؛ احيانا تتم عملية الاختبار بشكل آلى بالكامل ، لا يجلس المختبرون وراء المناضد يقذفون بالمدحلات وينتظرون المخرجات لفحصها ، وبدلا من ذلك يستخدمون سواقات الاختبار والتى يتوقع منها أن :

- تشغيل البيئة اللازمة لانطلاق البرنامج (أو الوحدة) المراد اختبارها
- اطلاق البرنامج (أو الزحدة) المراد اختبارها وتزويده بقيم معطيات arguments سواءا كانت مدخلة بشكل افتراضى أو يتم توليدها آليا أثناء الانطلاق فى هيئة مدخلات متتالية .
- حفظ النتائج التى يحصل عليها
- التحقق من مطابقتها للنتائج المتوقعة
- اعداد التقرير اللذيذ

أثناء اجراء الاختبار نحتاج لبناء بعض الحواشى stub كتلك السواقات test drivers ، السواقات تحاكى اجزاء البرنامج التى تستخدم الوحدات التى يتم اختبارها ، بينما الحواشى تحاكى أجزاء البرنامج التى تستخدمها تلك الوحدات . الحواشى Stubs مفيدة وعملية ، لانها تمكننا من اختبار وحدات تحتاج الى برمجيات Softwar وفى بعض الاحيان حتى لو كانت تعتمد على أجهزة hardware غير موجود . وهذا الشىء رائع حقاً ، فهو يمكن مجموعات المبرمجين من التطوير المحاكى ، والاختبار لكثر من أجزاء النظام .

ويتوقع من تلك الحواشى أن :

- تتأكد من ملامة البيئة environment والمعطيات arguments للمتطلبات التى يضعها المبرمج فى البرنامج (استدعاء دالة بمعطيات غير ملائمة حتما يؤدى الى أخطاء جسيمة)
- وان وُجِدَ اى اختلاف يستدعى التعديل على المعطيات والمتغيرات العامة Global variables فانها تقوم به حتى تتوافق مع المتطلبات

- ارجاع القيم حسب المتطلبات
- ارجاع القيم حسب المتطلبات

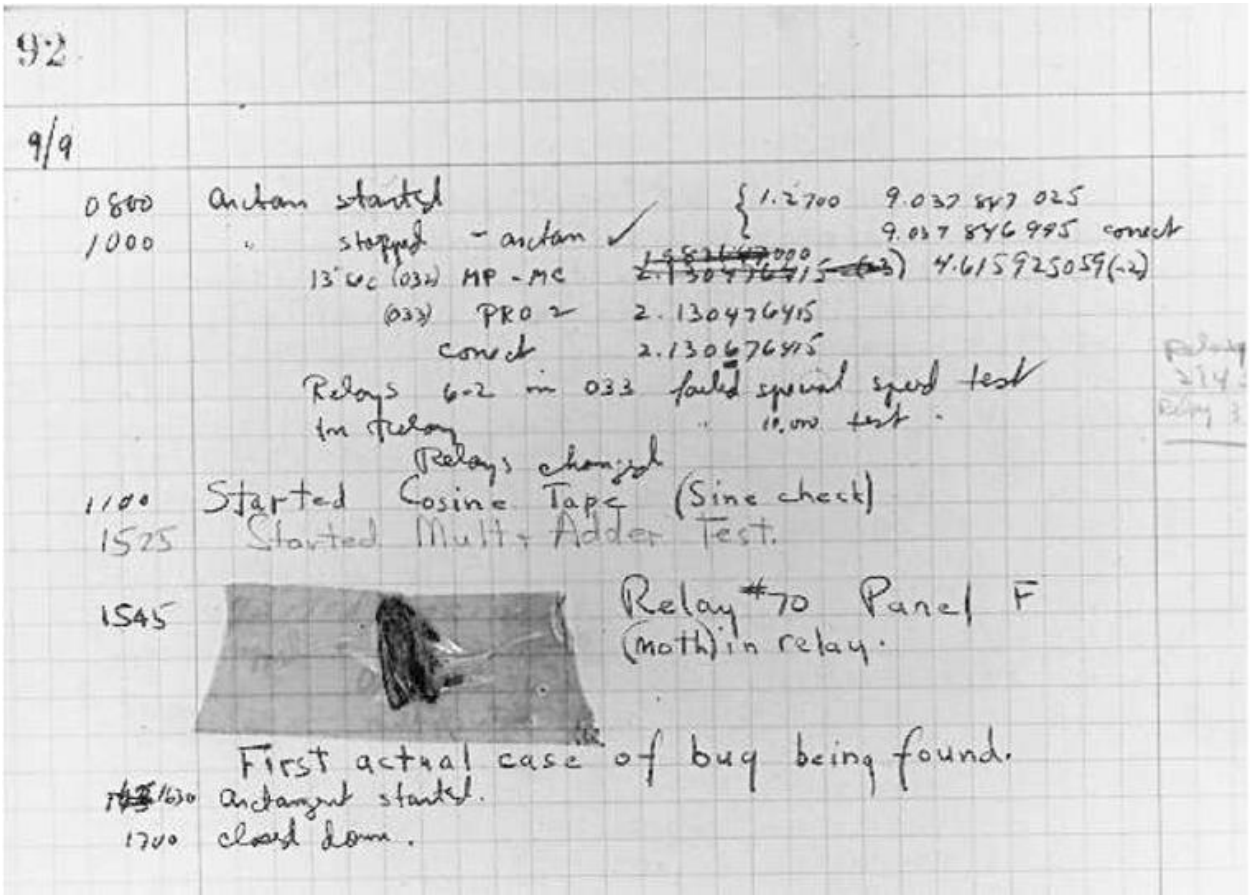
التحدى هنا هو أن تقوم ببناء حشوات بشكل كافٍ ، فاذا كانت الوحدة التى تستبدل بالحشوات تقوم بأداء مهام معقدة ، فان بناء حشوات تقود بأداء ما يتفق مع المتطلبات يكون بمثابة كتابة البرنامج الذى من المفترض أن يستبدل بعض أجزاؤه بالحشوات .

هناك طريقة واحدة للتغلب على هذه المشكلة ، هو تقليل المدخلات المقبولة عن طريق الحشوات ، و إنشاء جودل يحتوى على المخرجات المتوقعة والتى تقابل كل مدخل لاستخدامه فى مجموعة الاختبار .

الشىء الجذاب فى ان عملية الاختبار تتم أليا ، هو أنه يسهل اختبار الانحدارية regression testing . عندما يحاول المبرمجون عمل تصحيح debug لبرنامج ما ، فمن الشائع جدًا تثبيت "إصلاح" Fix يكسر شيئًا كان معتادا أن يعمل ، و عند إجراء أي تغيير ، مهما كان صغيراً ، يجب أن تتحقق من أن البرنامج لا يزال يمر بجميع الاختبارات التي كان يمر بها .

6 – 2 التنقية Debugging

هناك أسطورة ساخرة حول كيفية التعرف على عملية إصلاح العيوب في البرنامج باسم Debugging . الصورة أدناه في 9 سبتمبر 1947 ، عبارة عن صفحة في كتاب مختبر من المجموعة التي تعمل على حاسبة "مارك 2" المتناوبة في جامعة هارفارد



وقد ادعى البعض أن اكتشاف حشرة البق التي وقعت في أجزاء حاسبة مارك 2 أدى إلى استخدام عبارة تصحيح الأخطاء Debugging . على أية حال ، فإن الصياغة ، " First actual case of a bug being found" ، تشير إلى أن التفسير الحرفي للكلمة كان شائعاً بالفعل .

أوضحت غرايس موراي هوبر ، القائدة في مشروع حاسبة مارك 2 ، أن مصطلح "bug" كان بالفعل يستخدم على نطاق واسع لوصف مشاكل الأنظمة الإلكترونية خلال الحرب العالمية الثانية .

وقبل ذلك بفترة وجيزة ، شمل التعليم الحديث للكهرباء في هوكينز ، وهو كتيب كهربائي عام 1896 ، على المقتبس " ‘bug‘ is used to a limited extent to designate any fault or trouble in the connections or working of electric apparatus." ، "يُستخدم مصطلح "bug" بشكل محدّد لتحديد أي خطأ أو مشكلة في الاتصالات أو عمل في أجزاء الأجهزة الكهربائية." في اللغة الإنجليزية ، كلمة "bugbear" تعني "أي شيء غير ضرورى أو بدون داع أو مفرط

يبدو أن شكسبير قد اختصر هذا إلى "bug" ، عندما كتب عن تذمر هاملت "البق والعفاريت في حياتي".

إن استخدام كلمة "bug" يؤدي أحيانًا إلى تجاهل الناس للحقيقة الأساسية المتمثلة في أنه إذا كتبت برنامجًا ووجدت "خللاً به" ، فقد أفسدت الأمر . البق لا يزحف بدون داع داخل برنامج خال من البق . إذا كان برنامجك به خطأ ، فذلك لأنك وضعته هناك . البق لا تتكاثر في البرامج. إذا كان برنامجك يحتوي على أخطاء متعددة ، فذلك لأنك ارتكبت عدة أخطاء .

يمكن تصنيف أخطاء وقت التشغيل Runtime Bugs دائما على أساس بعدين :

خفى : Overt <--- علنى : covert

يحتوي الخطأ العلنى Overt Bug على مظهر واضح ، على سبيل المثال ، تعطل البرنامج أو أنه يستغرق وقتًا أطول (ربما إلى الأبد) للتشغيل مما ينبغي.

الخطأ الخفى Covert Bug ليس له مظهر واضح. قد يتم تشغيل البرنامج حتى لا ينتهي بأي مشكلة - بخلاف تقديم إجابة غير صحيحة .

تقع العديد من الأخطاء بين خفى وعلنى ، وما إذا كان الخطأ علنا أم لا ، يمكن أن يعتمد على مدى دقة فحص سلوك البرنامج .

دائم : Persistent → متقطع intermittent

يحدث خطأ دائم في كل مرة يتم فيها تشغيل البرنامج بنفس المدخلات . بينما يحدث الخطأ المتقطع لبعض الوقت فقط ، حتى عندما يتم تشغيل البرنامج على نفس المدخلات وعلى ما يبدو تحت نفس الظروف . عندما نصل إلى الفصل 12 ، سنبدأ في كتابة برامج من النوع الذي تكون فيه الأخطاء المتقطعة شائعة .

أفضل أنواع البق أن تكون علنية ومستمرة. ينبغى ألا ينخدع المطورين بسهولة نشر البرامج . فحتى لو قام شخص أحمق باستخدام تلك البرامج ، فسوف يكتشف بسرعة حماقاتهم . ربما يقوم البرنامج بشيء فظيع قبل تحطمه ، على سبيل المثال ، حذف الملفات ، ولكن على الأقل سيكون لدى المستخدم سبب للقلق (إن لم يكن الذعر).

يحاول المبرمجون الجيدون أن يكتبوا برامجهم بطريقة تجعل أخطاء البرمجة تؤدي إلى أخطاء تكون علنية وثابتة. هذا ما يسمى في كثير من الأحيان البرمجة الدفاعية defensive programming .

هناك نقطة أخرى لا يمكن قبولها ، اذا كانت الأخطاء (Bugs) علنية ولكنها متقطعة . سيكون ذلك خطيرا عندما يتواجد فى أنظمة مراقبة المرور الجوى لرصد أماكن الممرات وارشاد الطائرات الى الطريق الصحيح ، حتما سيؤدى ذلك الى كوارث فادحة ، ستشعر حينها أنك تسكن فى جنة مليئة بالحمقى .يستطيع المرء أن يعيش فى الجحيم لبعض الوقت لكن لا يستطيع أن يقبع أمام برنامج يعج بالبقات ..

عاجلا أم آجلا ستظهر تلك البقات ، فاذا كانت الظروف التى تتطلب ظهور البقات يسهل اعادة انتاجها ، سيكون من السهل تحديدها وحصرها واصلاحها . أما اذا كانت تلك الظروف غير واضحة ، سيصبح التعايش معها فى غاية الصعوبة .

البرامج التي تقع فى منطقة البقات الخفية غالبا ما تكون خطيرة للغاية. وبما أنها لا تبدو منها أى مشاكل ، فإن الناس يستخدمونها ويثقون بها لفعل الشيء الصحيح . يعتمد المجتمع بشكل متزايد على برمجيات لأداء عمليات حسابية حاسمة تتجاوز

قدرة البشر على القيام بها ، أو حتى التحقق من صحتها . لذلك ، يمكن للبرامج أن تقدم إجابة خاطئة لا يتم كشفها لفترات طويلة من الزمن. مثل هذه البرامج يمكن أن تسبب الكثير من الضرر .

يمكن للبرنامج يقوم بتقييم محفظة السندات والرهونات العقارية ، ويقدم تقييمات خاطئة . الامر الذى يمكن أن يكلف البينك (والمجتمع أيضا) الوقوع فى مخاطر جسيمة . إن آلة العلاج الإشعاعي التي تولد إشعاعات أكثر بقليل أو أقل بقليل مما هو مطلوب يمكن أن يكون الفرق بين الحياة والموت بالنسبة لشخص مصاب بالسرطان .

البرامج التى تحتوى على أخطاء خفية وتظهر بشكل مستمر أحياناً (وأحياناً لا) تسبب ضررا أقل من تلك التى تسببة تلك الأخطاء الخفية المتقطعة . وخلاصة القول أن أصعب أنواع الأخطاء فى الاصلاح هى تلك التى تكود خفية ومتقطعة الحدوث .

6 – 2 – 1 تعلم كيفية الفحص Learning To Debugging

التصحيح هو مهارة مكتسبة. لا أحد يفعل ذلك جيداً بشكل غريزي . الجميل أنه ليس من الصعب تعلمها ، وهي أيضا مهارة قابلة للتحويل . يمكن استخدام نفس المهارات المستخدمة في تصحيح البرامج لمعرفة ما هو الخطأ في الأنظمة المعقدة الأخرى ، على سبيل المثال ، التجارب المعملية أو البشر المرضى .

منذ أربعة عقود على الأقل يقوم الناس ببناء برمجيات لغرض الفحص debugging وهناك أدوات مدمجة لفحص وتصحيح الاخطاء ندنجة بداخل الـ IDLE . هذه البرمجيات يفترض لها أن تساعد البشر فى البحث عن الأخطاء وتصحيحها . انها تستطيع المساعدة ، ولكن قليلا جداً . الأمر الأكثر أهمية هو كيفية التعامل مع المشكلة ، معظم المبرمجين الخبيرين لا يتعاملون مع ادوات الاختبار Debugging Tools . فهم يعتبرون أن أفضل أدوات البرمجة على الاطلاق هى حالة الطباعة Print .

يبدأ التصحيح عندما يثبت الاختبار أن البرنامج يتصرف بطرق غير مرغوب فيها . التصحيح هو عملية البحث عن تفسير لهذا السلوك . إن المفتاح لأن تكون دائمًا جيدًا في عملية تصحيح الأخطاء هى أن يتم بشكل منهجي في إجراء هذا البحث .

ابدأ بدراسة البيانات المتاحة . وهذا يشمل نتائج الاختبار ونص البرنامج. ادرس جميع نتائج الاختبار. لا تدرس فقط الاختبارات التي كشفت عن وجود مشكلة ، ولكن أيضا تلك التي يبدو أنها تعمل بشكل مثالي. محاولة لفهم سبب نجاح اختبار أو وآخر لا . عند النظر إلى نص البرنامج ، ضع في اعتبارك أنك لا تفهمه تمامًا. إذا فعلت ، فربما لن يكون هناك خطأ

بعد ذلك ، قم بتشكيل فرضية تعتقد أنها متسقة مع جميع البيانات. يمكن أن تكون الفرضية ضيقة مثل "إذا قمت بتغيير السطر رقم 403 من x < y إلى x <= y ، فإن المشكلة ستختفي" أو بشكل واسع مثل "لا يتم إنهاء البرنامج لأن لدي حالة خروج خاطئة في بعض الحلقات ".

بعد ذلك قم ببناء تجربة قابلة للتكرار مع امكانية دحض فرضية اتساق البيانات ، على سبيل المثال ، قد تقدم على كتابة حالة طباعة قبل وبعد كل حلقة تكرارية (من النوع while مثلا) ، اذا حصلت على نتيجة مزدوجة ، فان فرضية أن هذه الحلقة التكرارية تتسبب فى تعطيل البرنامج هى فرضية خاطئة ، يتم دحضها على الفور . تذكر قبل أن تقوم ببناء التجربة ان تبنى بعض التوقعات للنواتج المطلوبة فعلا (وليس التى تحصل عليها بعد الاختبار) . اذا حصلت على واحدة وانتظرت ظهور الاخرى فعليك أن تسجد شكرا لانك حصلت على موضع العطب .

أخيرًا ، من المهم الاحتفاظ بسجل للتجارب التي جربتها . عندما تقضي عدة ساعات في تغيير شفرتك في محاولةً لتعقب خللٍ بعيد المنال ، من السهل نسيان ما حاولت القيام به بالفعل . إذا لم تكن حريصًا ، فمن السهل إهدار عدد كبير جدًا من ساعات فى تجربة التجربة نفسها (أو على الأرجح تجربة تبدو مختلفة ولكنها ستمنحك نفس المعلومات) مرارًا وتكرارًا. تذكر ، كما قال الكثيرون ، "الجنون أن تفعل الشيء نفسه ، مرارا وتكرارا ، ولكن تتوقع نتائج مختلفة."

6 – 2 – 2 تصميم التجربة Designing Expirement

اعتبر عمليه التصحيح Debugging كعملية بحث ، وكل تجربة هى محاولة لتقليل حجم مساحة البحث. تتمثل إحدى طرق تقليل حجم مساحة البحث في تصميم تجربة يمكن استخدامها لتحديد ما إذا كانت منطقة معينة من الكود مسؤولة عن مشكلة تم اكتشافها أثناء اختبار التكامل (اختبار من الداخل الى الخارج). هناك طريقة أخرى لتقليل مساحة البحث وهي تقليل كمية بيانات الاختبار المطلوبة للامساك بأحد مناطق الخلل .

دعنا نلقي نظرة على مثال به خطأ مفتعل لنرى كيف يمكن للمرء أن يذهب نحو تصحيح الأخطاء. تخيل أنك كتبت رمز التحقق المتناظر في الشكل 6.1 وأنك واثق من مهاراتك في البرمجة التي وضعتها على الويب دون اختبارها. لنفترض أيضًا أنك تتلقى رسالة إلكترونية تقول: "لقد اختبرت البرنامج ! **! الخاص بك على النص 1000 ، وطبعت نعم . أي أحمق بعد يمكن أن يرى أنه ليس متناظر . أصلحه من فضلك .

```
def isPal(x):
    """Assumes x is a list
      Returns True if the list is a palindrome; False otherwise"""
    temp = x
    temp.reverse
    if temp == x:
        return True
    else:
        return False

def silly(n):
    """Assumes n is an int > 0
      Gets n inputs from user
      Prints 'Yes' if the sequence of inputs forms a palindrome;
          'No' otherwise"""
    for i in range(n):
        result = []
        elem = raw_input('Enter element: ')
        result.append(elem)
    if isPal(result):
        print 'Yes'
    else:
        print 'No'
```