Biztonsági tesztelés forráskód alapú hibainjektálással[1]

Tóth Gergely, Hornák Zoltán

SEARCH-LAB Kft.

{gergely.toth, zoltan.hornak}@search-lab.hu

Az informatikai rendszerekben megbújó kihasználható biztonsági szoftverhibák hatalmas károkat okoznak világszerte. A bemutatásra kerülő biztonsági hibákat hibainjektálás alapú teszteléssel felderítő módszer célja, hogy költséghatékony alternatívát nyújtson a jelenlegi drága biztonság-növelő lehetőségeknek, a formális validálásnak illetve a kimerítő tesztelésnek. Az új módszer lényege, hogy a használt adatstruktúrák leírójára támaszkodva képes generikus teszt algoritmusokat futtatni, melyek közvetlenül a tesztelni kívánt kódrészletekbe injektálnak automatizáltan generált teszt vektorokat, majd képes megfigyelni, hogy ezen szélsőséges esetekben a vizsgált rendszer le tudja-e kezelni a hibát, vagy biztonsági hibához hasonló reakciót vált-e az ki.

Kulcsszavak: biztonsági tesztelés, hibainjektálás, forráskód alapú tesztelés

Bevezetés

A programozói hibákat három csoportra oszthatjuk: (1) általános, *funkcionalitást befolyásoló hibák*; (2) *biztonsági szempontból veszélyes hibák*, melyek bizonyos esetekben azt okozhatják, hogy az adott rendszer biztonsági tulajdonságai sérülnek (de ebben a kategóriában még nem feltétlenül kihasználható a hiba, csupán fennáll annak veszélye); (3) végül pedig *kihasználható biztonsági lyukak*, amelyeken keresztül közvetlen támadás intézhető a rendszer ellen. A gyakorlatban akkor nevezhetünk egy rendszert biztonságosnak, ha nincs benne kihasználható biztonsági lyuk. Ennek bizonyításához azonban komplex formális módszerek vagy kimerítő tesztelés szükséges.

Ha azonban nem csak közvetlenül a kihasználható biztonsági lyukak felderítésére koncentrálunk, hanem azok okait, a biztonsági szempontból veszélyes hibákat kívánjunk felfedezni és kiküszöbölni, akkor – bár látszólag szélesebb körű tesztelést kell végrehajtani – költséghatékonyabban aránylag magas fokú biztonságot tudunk elérni. A leggyakoribb biztonsági szempontból veszélyes hiba típusokhoz ugyanis léteznek algoritmusok, melyek ezeket költséghatékonyan, mégis nagy megbízhatósággal detektálni tudják és a legtöbb felhasználási területen az így elérhető biztonsági szint lényeges is javulást eredményezne.

A bemutatásra kerülő módszer – illetve a *Flinder* keretrendszer – lényege, hogy a tesztelendő programban (Target of Evaluation, ToE) felkutassa a biztonsági szempontból veszélyes hibákat mielőtt kihasználható biztonsági lyukakká válnának. Flinder erre két lehetőséget biztosít: az úgynevezett black-box (amikor a forráskód nem ismert) és a forráskód alapú tesztelést.

Black-box tesztelés

Black-box tesztelés során Flinder a ToE és az úgynevezett Input Generátor (IG) eszköz közötti (pl. egy kliens-szerver alkalmazás esetén a kliens és a szerver közötti) üzeneteket manipulálja oly módon, hogy az algoritmikusan módosított teszt vektorok minél nagyobb

[1] A projektet a Gazdasági Versenyképesség Operatív Program támogatta (GVOP – 3.3.1 – 2004 – 04 – 0094/3.0).

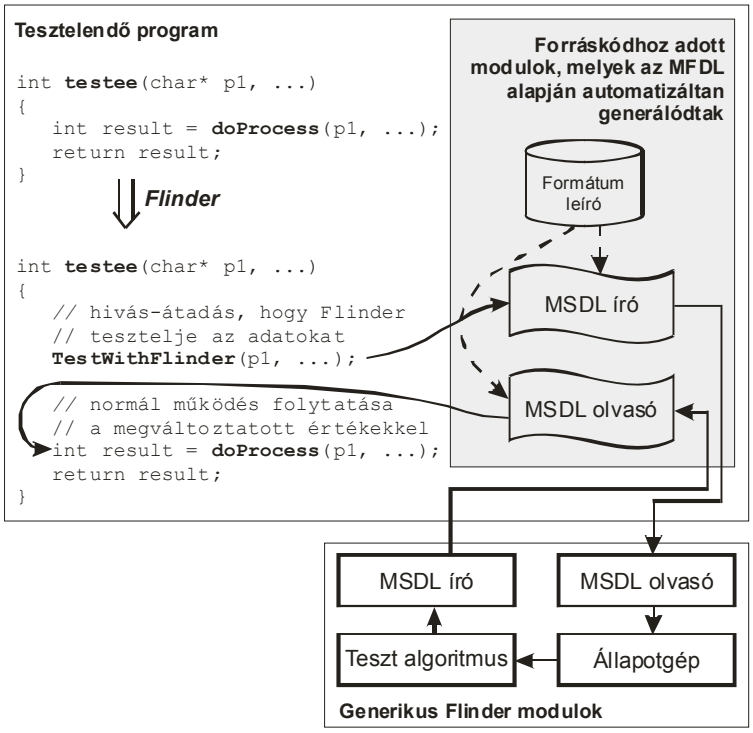
valószínűséggel okozzanak anomáliát (pl. lefagyást, védelmi hibát) a ToE-ben, amit utána detektálni lehet és így fény derülhet a biztonsági hibára.

Flinder az üzenetmódosítást a következőképpen végzi: beépül a tesztelendő program (ToE) és az azt input üzenetekkel működésre bíró Input Generátor (IG) közé, majd megfigyeli és manipulálja a közöttük folyó kommunikációt. Miután a ToE és IG közötti üzeneteket Flinder elkapta, szükség van a nyers bináris formátum értelmezésére, egységes formátumra való transzformációjára. A Flinder *értelmező* (parser) moduljának feladata, hogy a bináris üzenetet egy belső, általános fa struktúrába, ún. MSDL-be (Message Structure Description Language) konvertálja. Ehhez egy *formátum leíróra* van szüksége, ami a bináris üzenetek formátumát specifikálja. A formátum leíró az MFDL (Message Format Description Landuage) követelményeinek megfelelő XML dokumentum (egy példát az 2. ábrán mutatunk be).

Ezek után a konkrét teszt vektort a megfelelő algoritmus az MSDL módosításával generálja, amit az ún. *szerializáló* modul (az értelmező ellentettje) transzformál vissza bináris formába, ami így jut el a címzetthez, a ToE-hez. A tesztelés és a kommunikáció során használt protokoll állapotát Flinder egy *állapotgépben* tárolja, melynek segítségével nem csak egy kérés-válasz jellegű kommunikációt, hanem több üzenetváltást is magába foglaló protokollt is értelmezni tud. Fontos megjegyezni, hogy az MSDL általános volta miatt a konkrét bináris formátumtól függetlenül generikus tesztelő algoritmusok futhatnak (így tehát pl. ugyanaz az algoritmus tud futni a DER kódolású üzenetek tesztelésénél és a szöveg alapú HTTP-nél is).

Forráskód alapú tesztelés

Forráskód alapú tesztelés során a cél, hogy a tesztelő algoritmusok a teszt vektorokat a program belső függvényeibe (pl. mint függvényparaméterek) tudják bejuttatni, a mi szóhasználatunkban *injektálni*. Ehhez a munkamódszer adaptálásra szorul: az architektúrát úgy kell módosítani (lásd 1. ábra), hogy a tesztelni kívánt programhoz hozzá kell fordítani az MFDL formátum leíró alapján automatizáltan generált forráskódú értelmezőt (MSDL író) és szerializálót (MSDL olvasó), melyek képesek Flinder számára a tesztelendő adatstruktúrákat MSDL formátumba átírni (MSDL író), majd a teszt vektort Flindertől fogadva az adott nyelv belső adatstruktúrájának megfelelően visszafordítani (MSDL olvasó). Maga a teszt vektor előállítása így továbbra is általános: eredeti MSDL-ből kell az algoritmikusan generált teszt MSDL-t előállítani.



1. ábra – Forráskód alapú hibainjektálás Flinderrel

A black-box tesztelés menetét és a felmerült problémákat [1]-ben publikált írásunk elemzi, ebben a cikkben a forráskód alapú tesztelésre fókuszálunk, mivel ez integrálható legjobban a szoftverfejlesztési életciklusba. Itt kell megemlíteni, hogy Flinder tervezésénél fontos szempont volt, hogy minél több modult tudjunk mind black-box, mind pedig forráskód alapú tesztelésnél is használni – ezért is hasonlít a két megközelítés architektúrája.

Flinder fő tulajdonságai

Flinder fő célja a biztonsági szempontból veszélyes hibák felderítése függetlenül attól, hogy azok kihasználhatók-e, vagy sem. Erre a feladatra számos módszer és termék létezik már, azonban Flinder több újdonsággal is rendelkezik, melyek automatizmusokkal és új megközelítésekkel csökkentik a tesztelők által végrehajtandó munka mennyiségét:

- *Formátum leíró alapú tesztelés:* a Flinder által alkalmazott módszer lényege, hogy a teszt vektorok előállításához csak a formátum leírót használja, melyet más leírónyelvekből (pl. XML Schema [4]) akár automatizáltan is elő lehet állítani. Bár az MFDL pontos specifikációját terjedelmi okokból ez a cikk nem tartalmazza, egy könnyen megérthető példát az 2. ábra tartalmaz.

  A már meglevő módszerekkel szemben a nem megfelelő működés felismeréséhez Flinder nem igényli a helyes működés részletes specifikációját – a rendszer képes a teszt vektorokat helyes bemenetek és a formátum leírók alapján generálni.

- *Generikus, cserélhető teszt algoritmusok:* az architektúra további előnye, hogy a tesztelő algoritmusok generikus adatstruktúrán, az MSDL-en dolgoznak, így nem szükséges azok adaptációja az éppen tesztelni kívánt környezethez, ezek az algoritmusok ún. *plug-in* rendszerben működnek Flinderen belül. Fontos hangsúlyozni, hogy számos gyakori biztonsági hiba osztályhoz lehet ilyen általános tesztelő algoritmust készíteni (pl. puffertúlcsordulás, egész szám túlcsordulás, vagy kódolási hibák detektálására).

- *Állapotgép*: megemlítendő még, hogy Flinder bonyolultabb tesztek futtatásának segítéséhez egy ún. *protokoll állapotgépet* is futtat, mely az éppen tesztelni kívánt forgatókönyv *UML state machine* [2] alapú leírását tartalmazza. Ily módon a rendszer képes komplex folyamatok illetve protokollok követésére is. Forráskód alapú tesztelésnél ez az állapotgép használható akár a program futásának nyomon követésére is.
- *Kriptogrammok* támogatása: Flinder annak érdekében, hogy kriptográfiai eszközöket felvonultató protokollok implementációját is tesztelni tudja (pl. SSL) támogatja a különböző kriptográfiai primitíveket (lenyomatkészítés, titkosítás, digitális aláírás stb.). Az MFDL megfelelő kialakításával az értelmező képes pl. egy eredetileg titkosított üzenetet először dekódolni, majd tovább értelmezni (természetesen a szerializáló is támogatja ezeket a műveleteket), így akár egy teljesen rejtjelezett protokoll implementációja is tesztelhető Flinderrel.

Forráskód alapú tesztelés Flinderrel

Flinder általános ismertetése után most következzék a konkrét tesztelési módszer ismertetése:

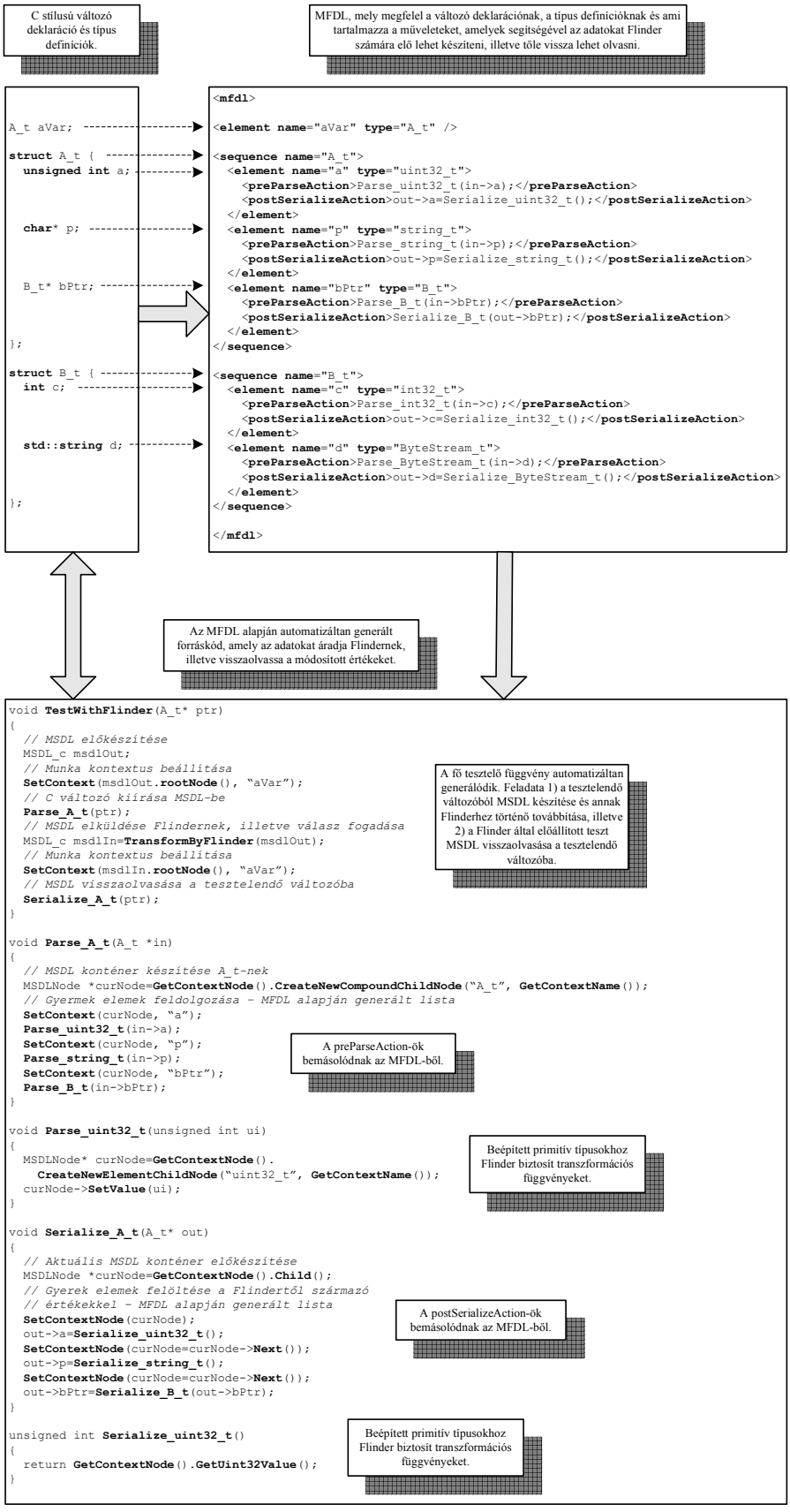
1. Első lépésként el kell készíteni a tesztelendő adatstruktúráknak megfelelő formátum leírót. Egy egyszerű példát C nyelvű adatstruktúrákhoz az 2. ábrán láthatunk.
2. Ezután az MFDL alapján Flinder olyan függvények forráskódját generálja, melyek képesek az MFDL-nek megfelelő adatstruktúra illetve objektum példányokat MSDL-lé konvertálni, illetve MSDL alapján egy konkrét példány változóit értékekkel feltölteni.
3. A generált forráskódot a tesztelendő programhoz fordítva előáll ezeket a belső kapcsolódási lehetőségeket (ún. *hook*-okat) tartalmazó ToE, melyet Flinder különböző konfigurációkkal fog futtatni.
4. Flinder futtatja a ToE-t, majd a megfelelő pontokon a tesztelő algoritmus módosítja a generált MSDL-t. A teszt vektor visszainjektálása után Flinder figyeli a korrekt futást (nem terminálódik-e abnormálisan a ToE, az állapotgépnek megfelelő állapotba kerül-e a tesztelt program stb.).

   Ezt a lépést Flinder többször is végrehajthatja, amennyiben egy többlépéses, ún. iteratív tesztelő algoritmust hajt végre.
5. Végül a tesztelések eredményeiről Flinder jegyzőkönyvet készít, melyben részletesen összefoglalja a végzett teszteket, rögzíti a felhasznált teszt vektorokat és a ToE reakcióit.

MFDL példa

A 2. ábrán a C nyelvű adatstruktúra-MFDL megfeleltetés kerül bemutatásra, valamint részlet látható az MFDL alapján generált C nyelvű MSDL író és olvasó funkciókból.

Fontos megemlíteni, hogy bár az MFDL automatikusan generálható a típus definíciókból, a tesztelő számára megtartottuk annak lehetőségét, hogy az MSDL-változó konverziót befolyásolja. Erre szolgálnak az MFDL-ben elhelyezendő *preParseAction* és *postSerializeAction* mezők, melyek olyan, a forráskód nyelvének megfelelő kódrészleteket tartalmazhatnak, amik az adott mező konvertálását hivatottak elvégezni.



2. ábra – Példa adatstruktúra, hozzá tartozó MFDL és generált kódrészlet

Teszt algoritmus példa

Az MFDL példát folytatva tekintsünk át egy egyszerű tesztelő algoritmust. Tételezzük fel, hogy a 3. ábrán látható tipikus, puffer túlcsordulásos biztonsági hibát tartalmazó kódrészletet teszteljük Flinderrel.

```
void ErroneousFunction A_t *aPtr
{
  // Flinder tesztelés
  TestWithFlinder aPtr ;

  // 10 bájt hosszú lokális tömb
  char locBuf[10];

  // Amennyiben aPtr->p hosszabb, mint 10 bájt,
  // úgy ez a másolás a hosszellenőrzés mellőzése
  // miatt felülírhatja a stacken tárolt függvény
  // visszatérési címet, ami biztonsági hibát
  // eredményez
  strcpy locBuf, aPtr->p ;
}
```

3. ábra – Puffertúlcsordulásos hibát tartalmazó függvény

Amennyiben a fenti függvény futtatása során az `A_t` típusú struktúra `p` mezője 10 bájtnál hosszabb sztringre mutat, úgy a másolás túl fogja írni a lokális fix méretű tömböt. A túlírás adott esetben elérheti a veremben tárolt vezérlési adatstruktúrákat is, sőt akár a függvény visszatérési címét is módosíthatja. Ily módon egy támadó eltérítheti a program futását a függvényből való visszatéréskor. Ha pedig nem támadó szándékkal véletlenszerű értékkel íródik felül ez a terület, akkor a program nagy valószínűséggel védelmi hibát fog okozni.[2]

Flinder ezen hibatípus felderítésére egy egyszerű algoritmust használ: az MFDL alapján a kapott MSDL-ben megkeresi a változó méretű mezőket (a példánkban ezek az `A_t` típus `p` tagváltozója és a `B_t` típus `d` tagválozója) és minden meghíváskor megduplázza azok méretét (így pl. `p` tartalma először „XX”, majd „XXXX” stb. lesz). Ez az algoritmus gyorsan képes a programozók által feltételezett értéktartományon kívülre jutni és túlméretes értékeket generálni, amik a méretellenőrzés hiánya vagy hibája miatt védelmi hibát okozhatnak. A hibásan lekezelt vagy nem ellenőrzött méretkorlátokat így Flinder már detektálni tudja, és fény derülhet a biztonsági hibára. Gyorsítási lehetőség még, ha a különböző mezőket egyszerre nyújtjuk, de opció lehet a mezők soros tesztelése is.

Fontos megjegyezni, hogy mivel a tesztalgoritmusok (ebben az esetben a puffertúlcsordulásos hibákat kereső algoritmus) az általános MSDL-en dolgoznak, ugyanaz az algoritmus alkalmazható függetlenül attól, hogy mi is volt a konkrét bemenet. Terjedelmi okokból további algoritmusok ismertetését mellőzzük, de hasonló elven számos gyakori típushibára készíthető effektív algoritmus, melyek együttes alkalmazása lényegesen javíthatja a tesztelt programok biztonsági tulajdonságait.

Összefoglalás

A cikkben biztonsági hibák automatizált felderítésére mutattuk be a Flinder keretrendszert, mely forráskód alapú hibainjektáláson alapul. A módszer lényege, hogy egy állapotgéppel követett programfutás közben generikus tesztelő algoritmusok gépesek egy univerzális formátum leíró alapján a program belső függvényeibe teszt vektorokat injektálni, melyek célja a biztonsági hibák miatti abnormális működés előidézése, amit aztán Flinder detektálni tud. Flinder újdonsága, hogy a teszteléshez nem szükséges a helyes működés formális

[2] A puffertúlcsordulásos hibák veszélyéről és kihasználásuk módszeréről [3] részletes áttekintést nyújt.

specifikációja, a tesztelőnek helyes bemeneteket, a kommunikáció állapotgépét (UML) és egy XML-alapú formátumleírót kell csak elkészítenie. Ezek alapján már számos gyakori biztonsági hiba típusra automatizáltan végezhető el a tesztelés.

Irodalomjegyzék

[1] Tóth G., Hornák Z.: Semi-automated detection of security-relevant programming bugs with Flinder, 2006, www.flinder.hu

[2] Object Management Group: UML – Unified Modeling Language, 2005

[3] Aleph One: Smashing the stack for fun and profit, Phrack 7, 1996

[4] W3C – World Wide Web Consortium: XML Schema, 20004