2022년 Codeengn 컨퍼런스

Android static taint analysis 기법과 발전 방향

논문 230편을 통해 정리한 연구 동향

2022-07-04

손지훈

Digital Forensic Research Center
Institute of Cyber Security & Privacy, Korea University.

목차

Introduction

Introduction

Android static taint analysis

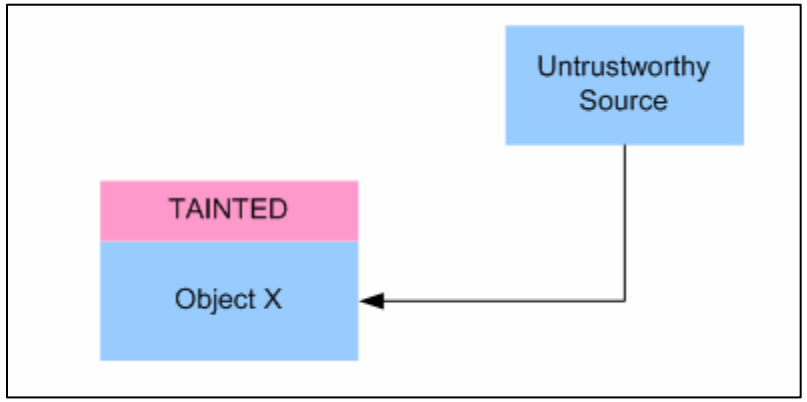
- **Android application을 자동화 분석하는 하나의 기법**
  - 분석해야 할 애플리케이션의 수는 점차 증가
  - 기존의 악성 애플리케이션에서 코드 일부만을 바꾸는 기법 → 자동 생성 가능
  - 분석가의 시간은 한정되어 있으므로 자동화 탐지가 필요함
- **Static taint analysis 기법을 이용하면 악성 애플리케이션 자동 탐지 가능**
  - Taint analysis 기법은 데이터의 흐름을 분석할 수 있는 기법 중 하나임
  - Static taint analysis 기법을 Android application에 적용하기 위해서 많은 어려움이 있음
- **Flowdroid를 이용하면, 10분 내외의 시간에 1개의 애플리케이션 분석 가능**
  - 애플리케이션 전체의 코드 구조를 모델링하고, 가능한 모든 데이터의 흐름을 파악
  - 사용자의 개인 정보를 유출하는지 혹은 해킹을 시도하는지 여부를 파악

Android static taint analysis 소개

Android static taint analysis 소개

Taint analysis

- 신뢰할 수 없는(Untrustworthy) 데이터의 프로그램 내부 흐름을 분석하는 기법




```
1   main:
2       call SOURCE     // create taint (eax)
3       cmp eax, 20
4       je if
5       jne else
6   if:
7       mov ebx, eax    // taint propagation (eax -> ebx)
8       push ebx
9       call SINK       // source to sink
10  else:
11      xor eax, eax    // delete taint
```

- 용어 정리
  - Taint: "오염"이라는 뜻으로 추적의 대상. tainted 데이터로부터 영향을 받은 데이터들은 tainted 된다.
  - Source: taint 데이터가 생성되는 위치. 분석가가 추적하기를 원하는 데이터의 생성 지점. 외부 입력 값
  - Sink: taint 데이터가 도착하는 위치. tained 데이터가 sink에 도착하는지 여부를 파악

Android static taint analysis 소개

Taint analysis on Android application

- **패러다임의 변화**
  - Taint analysis 의 목적, "개인정보를 유출하는 악성 앱 탐지"
  - Source: 사용자의 개인정보를 반환하는 함수
  - Sink: 사용자 데이터를 외부로 유출할 수 있는 함수

```
1 void onCreate() {
2     // Get the data
3     TelephonyManager mgr = (TelephonyManager) this.getSystemService(TELEPHONY_SERVICE);
4     String deviceId = mgr.getDeviceId();
5
6     // Leak the data
7     SmsManager sms = SmsManager.getDefault();
8     sms.sendTextMessage("+49 1234", null, deviceId, null, null);
9 }
```

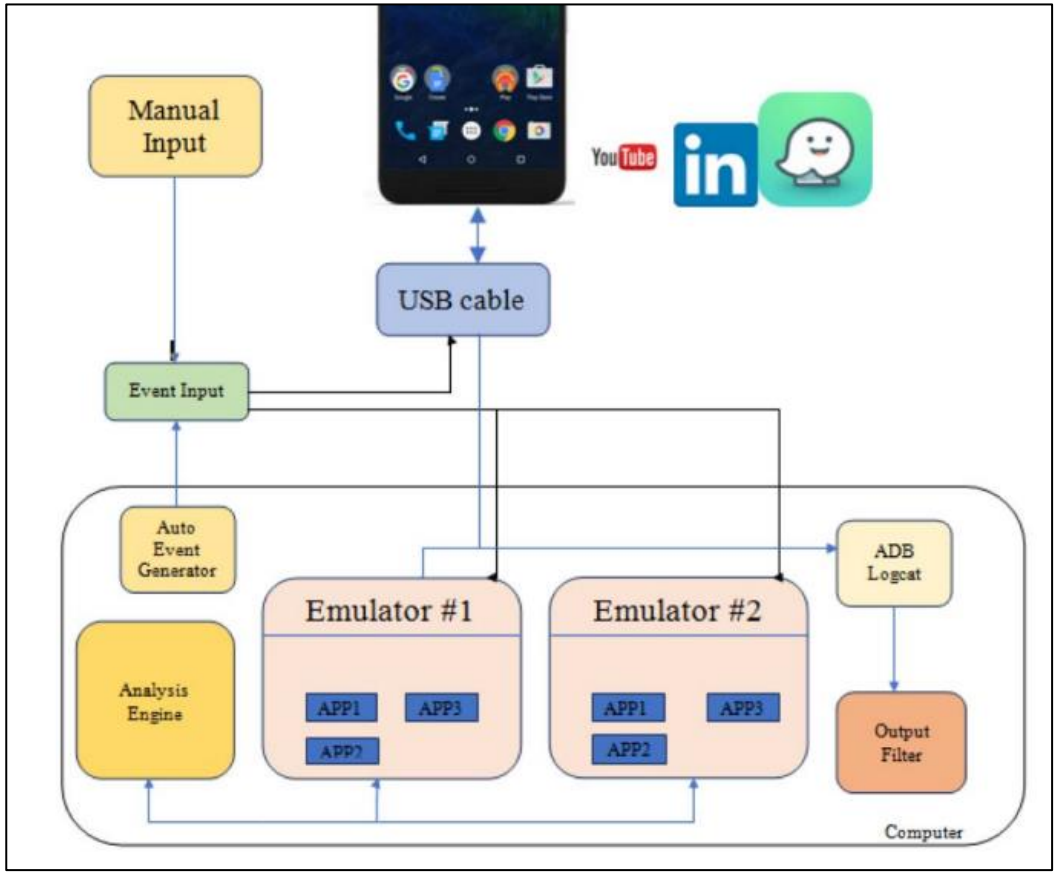
Listing 1: Simple Data Leakage Example. Adapted from the *DirectLeak1* test case in DroidBench

Arzt, S. (2017). Static data flow analysis for android applications.

Android static taint analysis 소개

Static vs Dynamic static analysis

- **Dynamic static analysis**
  - 안드로이드 실행 환경(DVM, ART)을 일부 수정하거나 모니터링하는 방법으로 taint analysis 수행
  - User input, Event를 자동으로 발생시키고, 로그 데이터나 함수 실행 등을 추적함
  - 장점
    - 실제 실행 환경과 거의 유사하게 동작하기 때문에 정확성이 높음
  - 단점
    - 코드 실행 환경 구축이 까다로움
    - 시간이 오래 걸림
    - 코드 커버리지가 낮음



Z. Xu, C. Shi, C. C. -C. Cheng, N. Z. Gong and Y. Guan, "A Dynamic Taint Analysis Tool for Android App Forensics," 2018 IEEE Security and Privacy Workshops (SPW), 2018, pp. 160-169, doi: 10.1109/SPW.2018.00031.

Android static taint analysis 소개

Static vs Dynamic static analysis

- **Static taint analysis**
  - 소스 코드(혹은 컴파일된 코드)를 input으로 받아서, 코드를 실행하지 않고 taint analysis 수행
  - 코드 구조와 문법, 순서, 의미를 고려하여 taint가 전달되는 과정을 분석
  - 장점
    - 코드 실행 환경 구축이 쉽다
    - 시간이 적게 걸린다
    - 코드 커버리지가 높다
  - 단점
    - 애플리케이션 실행 환경을 알 수 없기 때문에 정확성이 떨어진다
      (특히 False Positive가 높음)

Li, L., Bissyandé, T. F., Papadakis, M., Rasthofer, S., Bartel, A., Octeau, D., ... & Traon, L. (2017). Static analysis of android apps: A systematic literature review. Information and Software Technology, 88, 67-95.

Android static taint analysis 소개

Challenges to static taint analysis

- **안드로이드 애플리케이션에 대해서는 static 기법이 더 많이 사용되었음**
  - dynamic 기법의 단점 > static 기법의 단점
- **그러나 Android application에 대해 Static analysis를 적용하는 것은 쉽지 않음**
  - Dalvik bytecode에 대한 분석의 어려움
  - Main entrypoint가 없음
  - Java reflection, Implicit flow, Inter-component communication(ICC) 등 처리가 어려움

Li, L., Bissyandé, T. F., Papadakis, M., Rasthofer, S., Bartel, A., Octeau, D., ... & Traon, L. (2017). Static analysis of android apps: A systematic literature review. Information and Software Technology, 88, 67-95.

Flowdroid를 통해 알아보는 static taint analysis

Flowdroid를 통해 알아보는 static taint analysis

Considerations 1 – Android specific features

- **Android framework modeling**
  - Android system에서 제공하는 클래스, 함수들
  - 1) Android framework 모델링, 2) Conservative approach
- **Component lifecycle**
  - Android application은 4가지 컴포넌트(Activity, Service, Broadcast Receiver, Content Provider)로 구성됨
  - 각각의 컴포넌트는 생성/시작/재개/정지/중지/종료의 lifecycle을 가짐
  - Main entrypoint가 존재하지 않으며, 컴포넌트들의 lifecycle을 분석해야 실행 흐름을 파악할 수 있음
  - 시스템/유저 이벤트(버튼 클릭, GPS 변경 등)에 따른 callback 함수를 분석해야 함

Zhang, J., Wang, Y., Qiu, L., & Rubin, J. (2021). Analyzing android taint analysis tools: FlowDroid, Amandroid, and DroidSafe. IEEE Transactions on Software Engineering.

Flowdroid를 통해 알아보는 static taint analysis

Considerations 1 – Android specific features

- **Inter-component communication(ICC)**
  - 컴포넌트가 다른 컴포넌트와 소통할 때 Intent를 이용함
  - Explicit Intent는 어떤 컴포넌트와 소통할지 명시해주는 것이지만,
    Implicit Intent는 소통할 컴포넌트를 Android system이 찾아주도록 요청하는 것
- **Native code**
  - C나 C++로 컴파일된 라이브러리를 Android 에서 사용할 수 있음(Android NDK, JNI)
  - 문제는, Java 입장에서 C나 C++ 라이브러리를 전혀 해석할 수 없다는 점
  - 마찬가지로 1) Native Function 모델링, 2) Conservative approach

Zhang, J., Wang, Y., Qiu, L., & Rubin, J. (2021). Analyzing android taint analysis tools: FlowDroid, Amandroid, and DroidSafe. IEEE Transactions on Software Engineering.

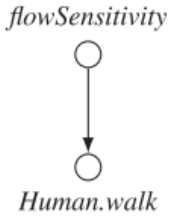
Flowdroid를 통해 알아보는 static taint analysis

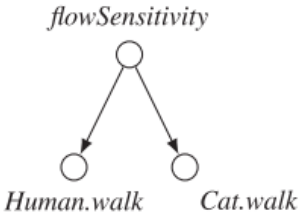
Considerations 2 – Sensitivities

- **Flow sensitivity**

Code Snippet	Sensitive Call-Graph	Insensitive Call-Graph

```
1 public void flowSensitivity() {
2   Animal a = new Human();
3   a.walk();
4   a = new Cat();
5 }
```

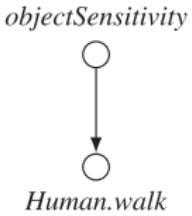


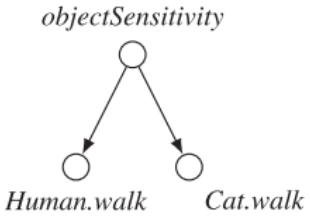


(a) Flow Sensitivity

- **Object sensitivity**

```
1  public void objectSensitivity() {
2    Contains c1 = new Contains();
3    Contains c2 = new Contains();
4    c1.setAnimal(new Human());
5    c2.setAnimal(new Cat());
6    c1.animal.walk();
7  }
8  public class Contains {
9    Animal animal;
10   public void setAnimal(Animal a) {
11     this.animal = a;
12   }
13 }
```





(e) Object Sensitty

Li, L., Bissyandé, T. F., Papadakis, M., Rasthofer, S., Bartel, A., Octeau, D., ... & Traon, L. (2017). Static analysis of android apps: A systematic literature review. Information and Software Technology, 88, 67-95.

Flowdroid를 통해 알아보는 static taint analysis

Other Considerations

- **Implicit flows**
  - Taint가 실행 흐름에 간접적으로 영향을 주어, 결과 값을 다르게 만드는 것

```
3  if taint:
4      print(True)
5  else:
6      print(False)
```

- **Java-specific features**
  - Reflection: 중요 데이터 숨기거나, private 변수를 변경 가능함
  - Exception: 상황에 따라 예외처리가 달라지기 때문에 처리하기 까다로움

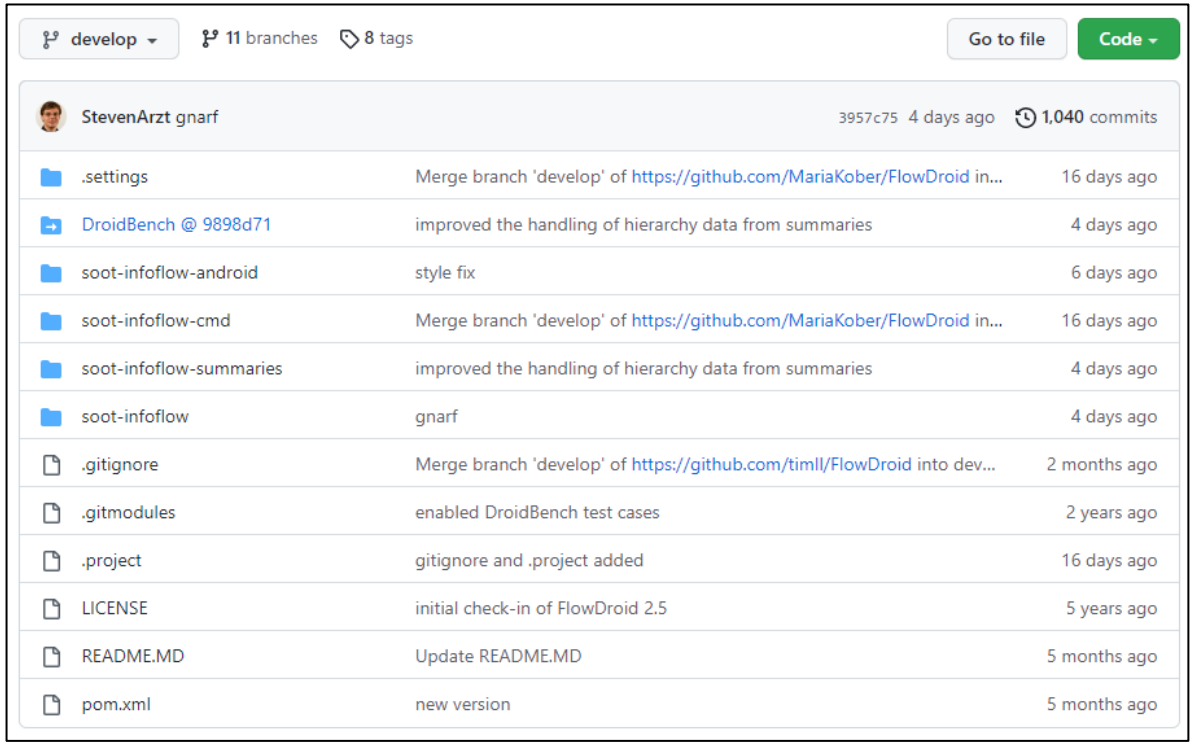
Zhang, J., Wang, Y., Qiu, L., & Rubin, J. (2021). Analyzing android taint analysis tools: FlowDroid, Amandroid, and DroidSafe. IEEE Transactions on Software Engineering.

Flowdroid를 통해 알아보는 static taint analysis

Flowdroid 소개

- **2014년에 발표된 Android application static taint analysis 도구**
  - Google Scholar 기준 2135회 인용, Github star 약 700개
  - 현재 존재하는 static analysis 도구 중에서 꽤(?) 뛰어난 성능
  - 현재까지 업데이트되고 있는 **유일한** 도구

Flowdroid: Precise context, flow, field, object-sensitive and lifecycle-aware taint analysis for android apps
S Arzt, S Rasthofer, C Fritz, E Bodden, A Bartel... - Acm Sigplan ..., 2014 - dl.acm.org
... In this work we thus present **FLOWDROID**, a novel and ... Novel on-demand algorithms help **FLOWDROID** maintain high ... Android test applications, **FLOWDROID** finds a very high fraction ...
☆ 저장 99 인용 2135회 인용 관련 학술자료 전체 28개의 버전 Web of Science: 794 »



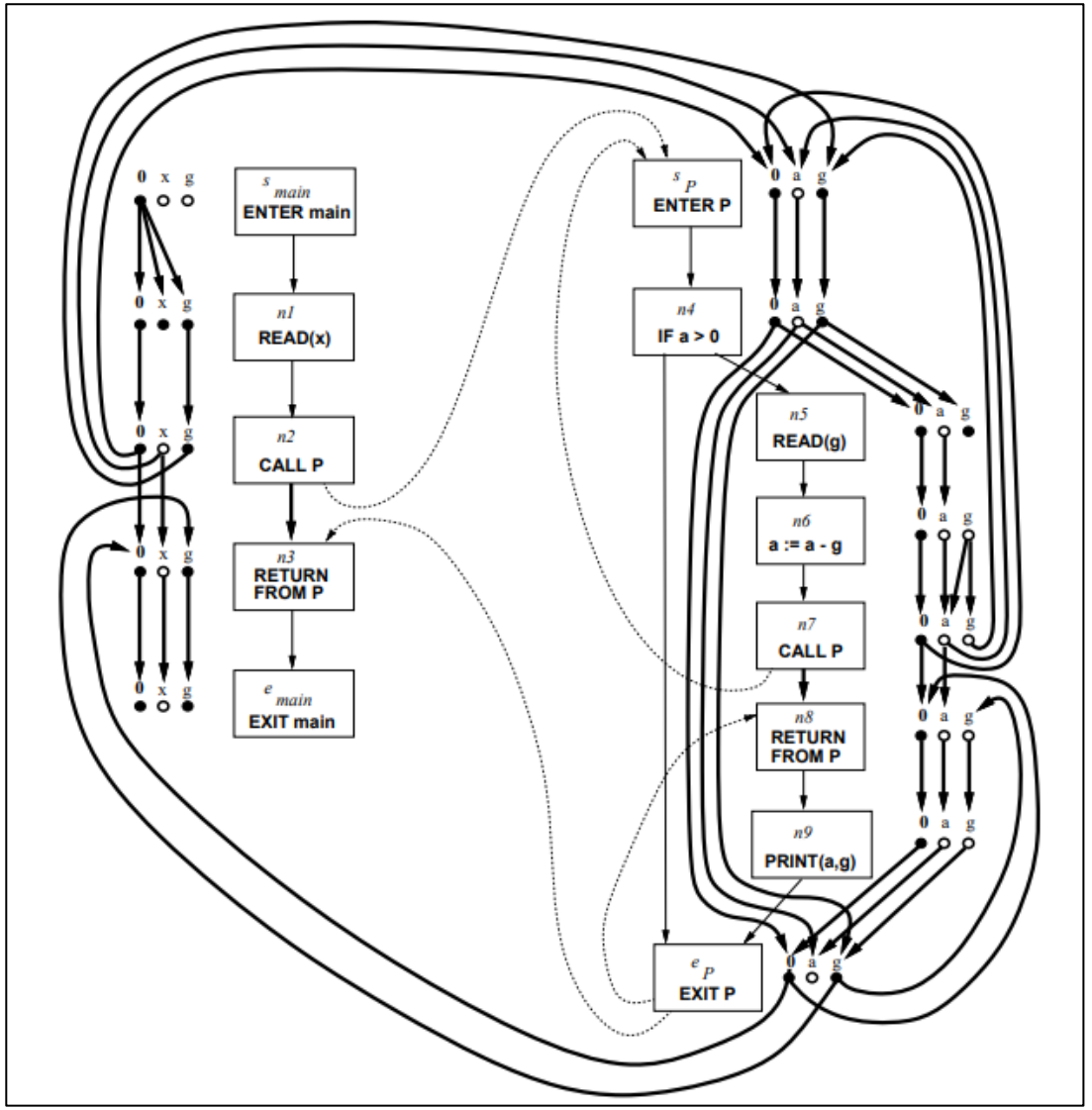
Arzt, S., Rasthofer, S., Fritz, C., Bodden, E., Bartel, A., Klein, J., ... & McDaniel, P. (2014). Flowdroid: Precise context, flow, field, object-sensitive and lifecycle-aware taint analysis for android apps. Acm Sigplan Notices, 49(6), 259-269.

Flowdroid를 통해 알아보는 static taint analysis

Flowdroid: Architecture

- **Soot: APK to Callgraph**
  - Soot를 이용하여 Java bytecode 에서 Jimple로 변환함
    - Jimple: three-address Java intermediate representation
  - Soot는 callgraph 생성을 지원함

- **IFDS framework**
  - Interprocedural, finite, distributive, subset problems
  - Callgraph를 기반으로 data-flow analysis를 poly-time 내에 풀어낼 수 있도록 하는 알고리즘



Reps, T., Sagiv, M., & Horwitz, S. (1994). Precise Interprocedural dataflow analysis via graph reachability (pp. 49-61). Datalogisk Institut, Københavns Universitet.

Flowdroid를 통해 알아보는 static taint analysis

Flowdroid: Architecture

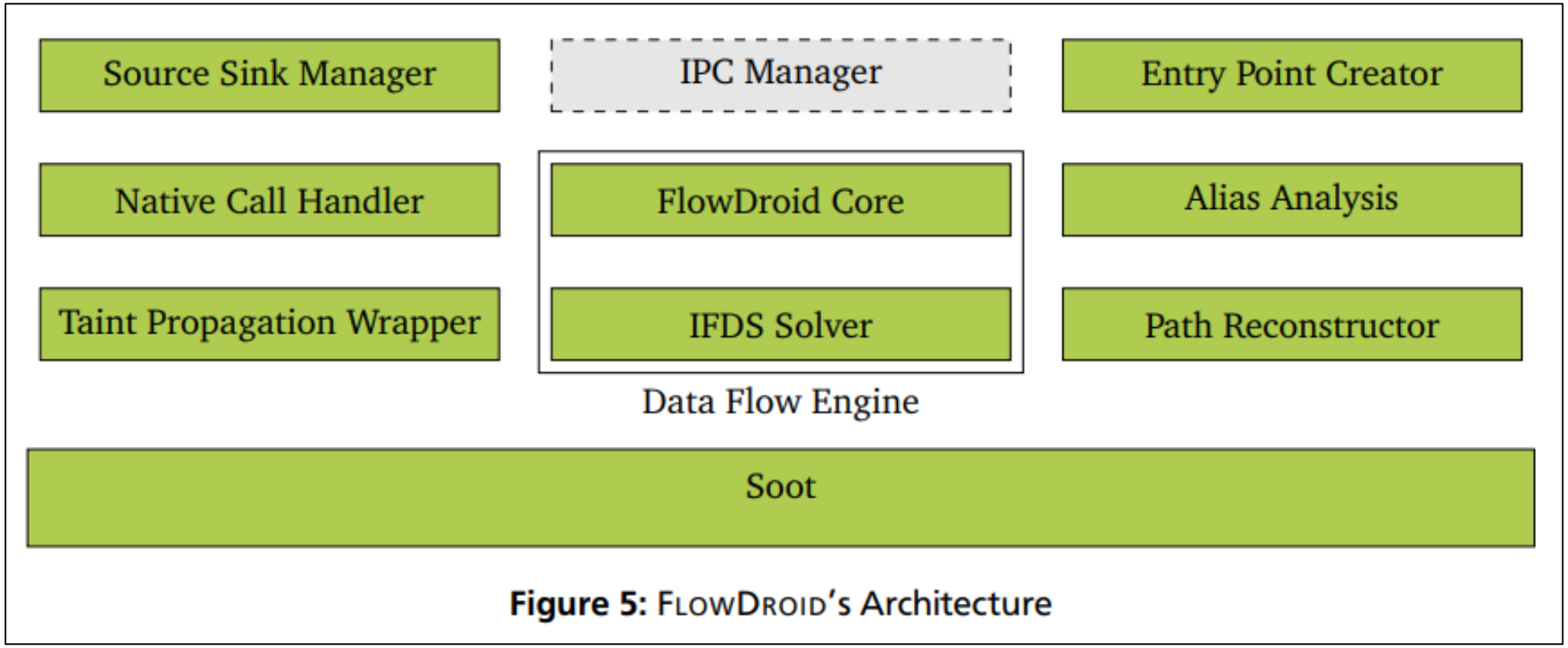


Figure 5: FLOWDROID's Architecture

Arzt, S. (2017). Static data flow analysis for android applications.

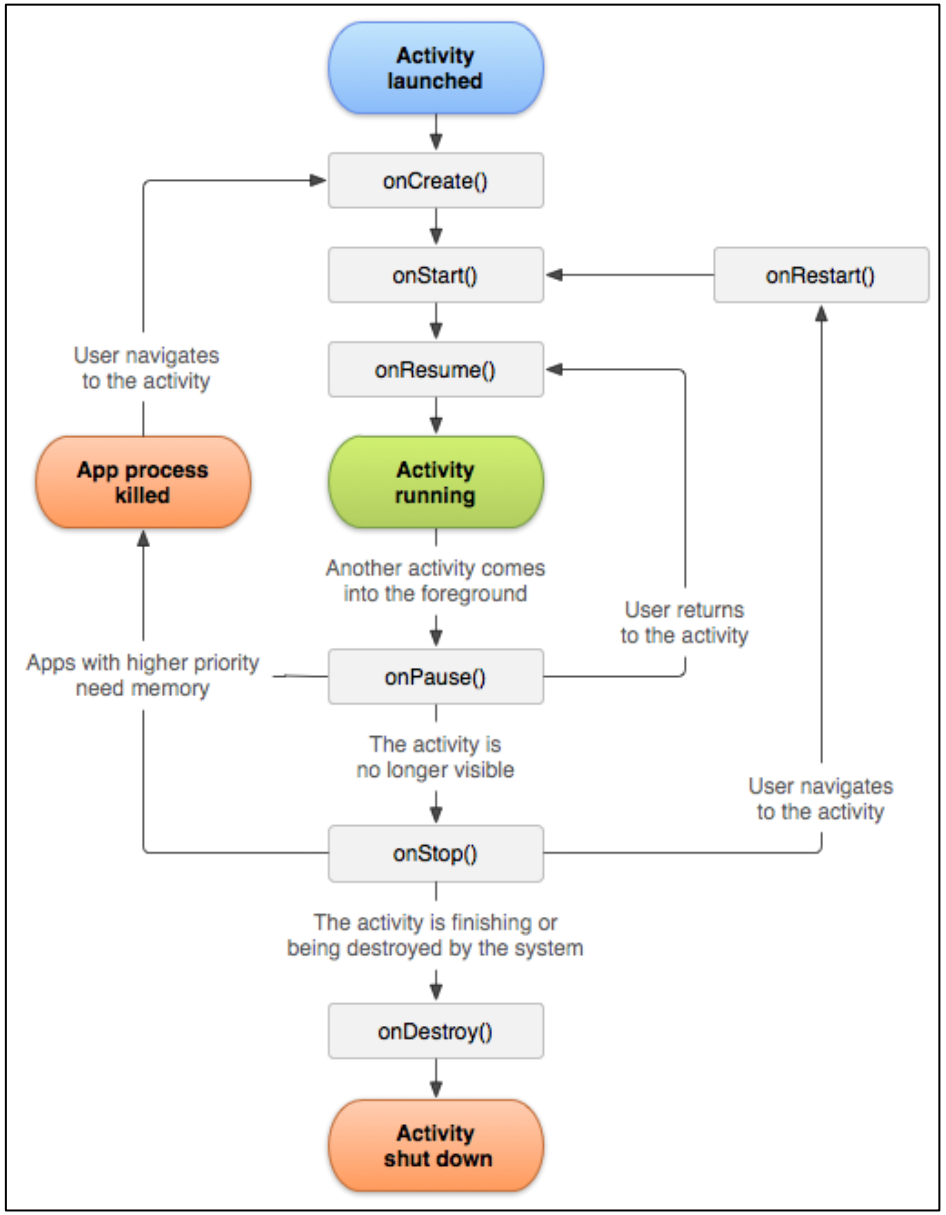
Flowdroid를 통해 알아보는 static taint analysis

Flowdroid: Lifecycle Modeling

- **Component lifecycle을 고려한 모델링 기법**
  - 컴포넌트들은 AndroidManifest.xml 에 등록되어 있음

```
<activity android:name="ShareActivity">
    <intent-filter>
        <action android:name="android.intent.action.SEND"/>
        <category android:name="android.intent.category.DEFAULT"/>
        <data android:mimeType="text/plain"/>
    </intent-filter>
</activity>
```

  - lifecycle의 실행 순서는 알 수 없음
    - 유저가 다른 화면을 클릭한다면?
    - 유저가 오랫동안 앱을 사용하지 않은 상태로 방치한다면?
  - 각각의 컴포넌트들을 오른쪽 그림과 같이 모델링

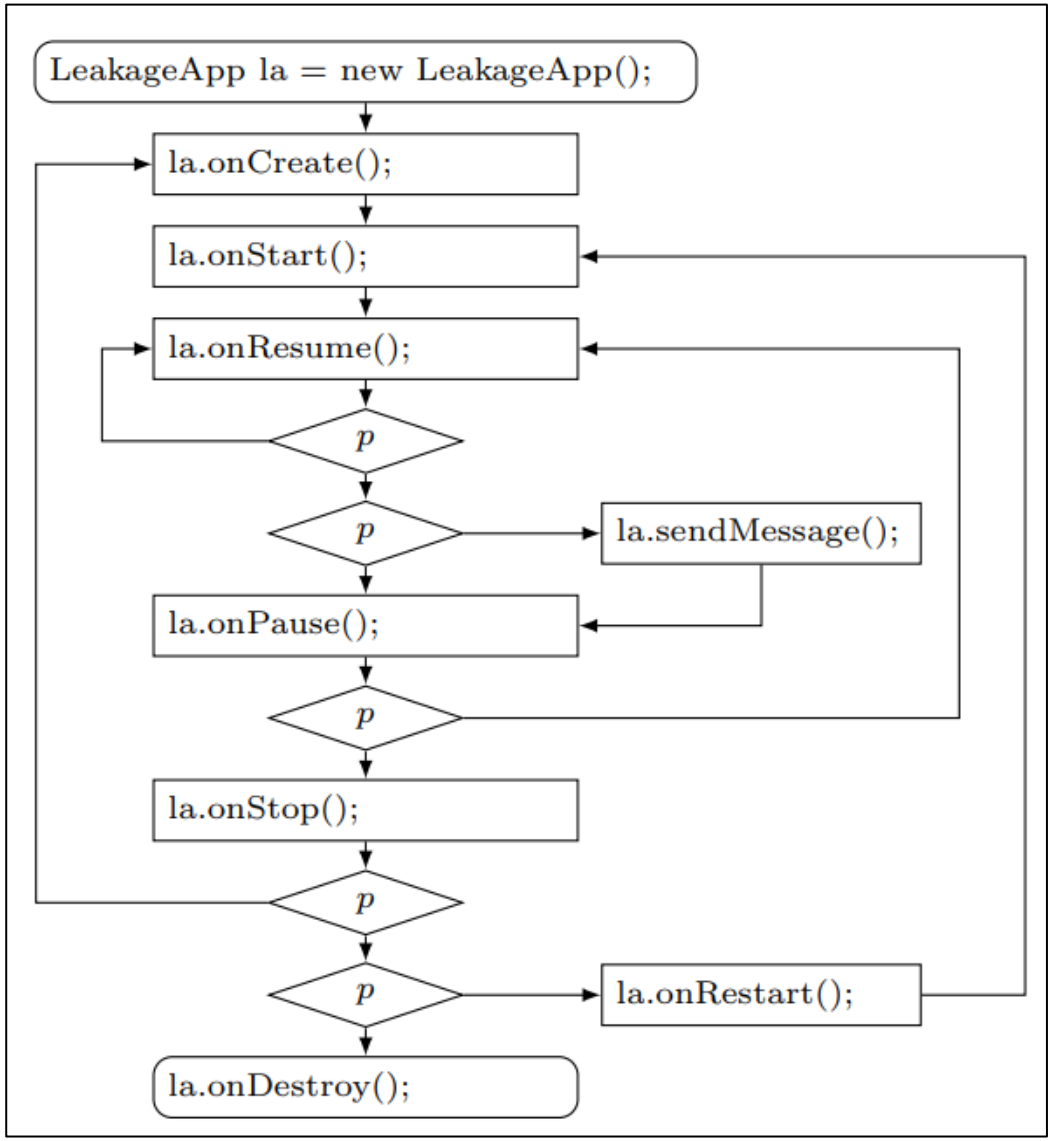


https://developer.android.com/guide/components/activities/activity-lifecycle

Flowdroid를 통해 알아보는 static taint analysis

Flowdroid: Lifecycle Modeling

- **Callback 함수는 '임의의 위치'에 등장하는 것으로 가정**
  - 시스템&유저 이벤트에 따라 Callback 함수가 실행됨
  - ex) 유저의 버튼 클릭, GPS 변경 등
- **개별 Component의 실행 순서는 '임의의 순서'로 가정**
  - 하나의 앱에는 여러 개의 컴포넌트가 존재
  - 무엇이 먼저 실행될지 알 수 없어, 가능한 모든 조합을 고려
- **Lifecycle을 고려하여 dummy main 함수 생성**
  - 개별 component들을 각각 모델링한 후에, 앱에 존재하는 모든 component들을 합쳐서 하나의 main 함수 생성
  - 추후 분석에서 Entry point로 사용됨



Arzt, S., Rasthofer, S., Fritz, C., Bodden, E., Bartel, A., Klein, J., ... & McDaniel, P. (2014). Flowdroid: Precise context, flow, field, object-sensitive and lifecycle-aware taint analysis for android apps. Acm Sigplan Notices, 49(6), 259-269.

Flowdroid를 통해 알아보는 static taint analysis

Flowdroid: Taint propagation

- **Taint propagation rules**
  - Taint 전달 규칙
  - Normal flow
  - Call flow
  - Return flow
  - Call-to-return flow

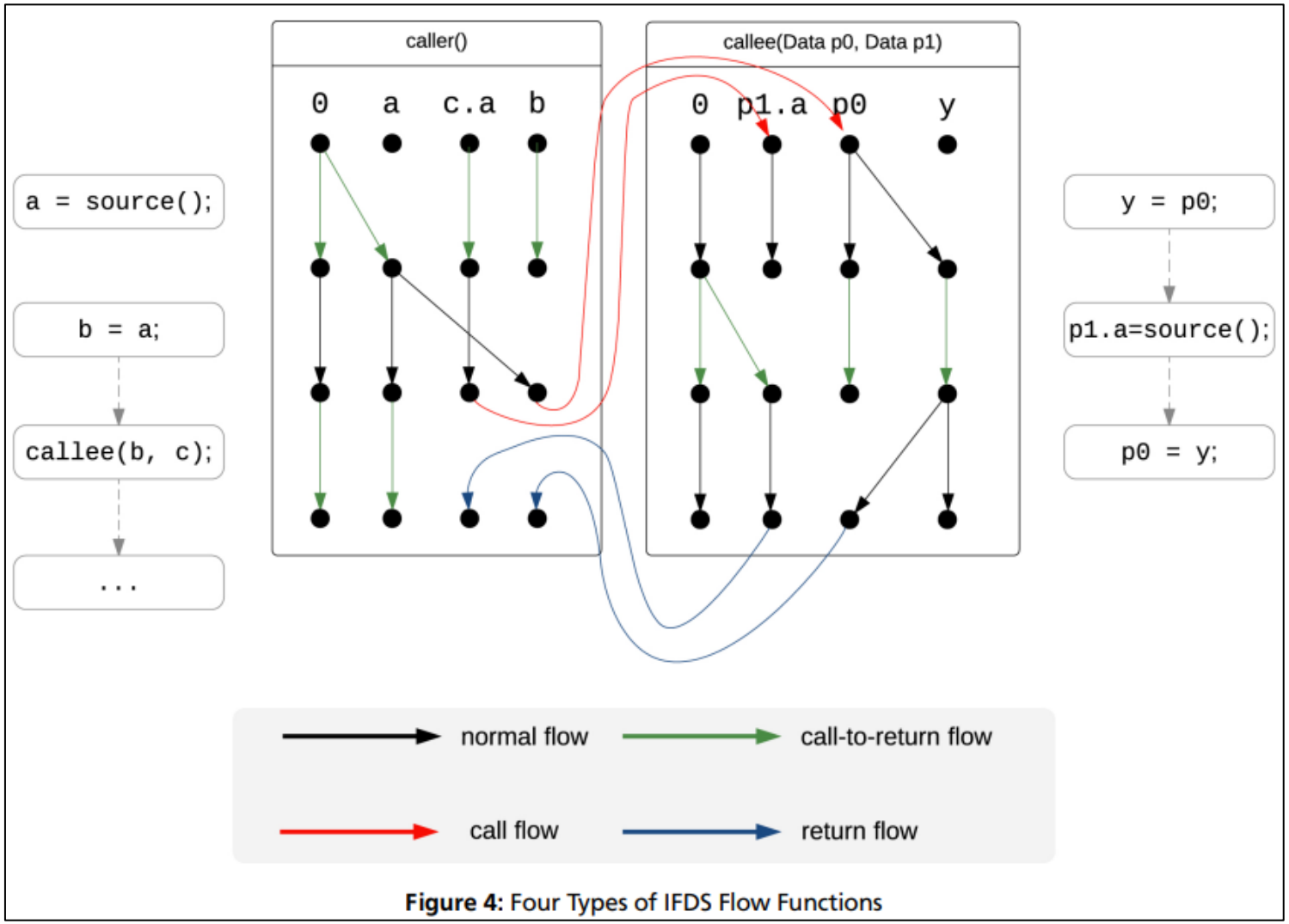


Figure 4: Four Types of IFDS Flow Functions

Arzt, S. (2017). Static data flow analysis for android applications.

Flowdroid: Taint propagation

- **Taint propagation rules**
  - (예시)Normal flow
    - $x.f^n = y.f^m$ (n, m은 경로의 길이를 의미)

$$T \xrightarrow{s} \begin{cases} T \cup \{x.f^n.f^p\} & \forall p : y.f^m.f^p \in T \\ T \backslash \{x.f^n\} & y.f^m.f^* \notin T \wedge \neg arrayElem(x.f^n) \\ T & \text{otherwise} \end{cases}$$

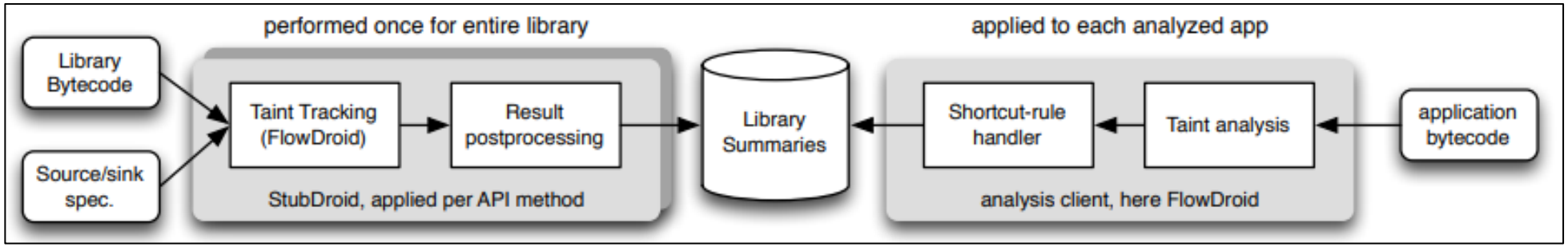
    - X is tainted, Y,Z are not tainted
    - 1) Y = X , taint 전파
    - 2) X = Y , taint 소멸
    - 3) Y = Z , nothing

Arzt, S. (2017). Static data flow analysis for android applications.

Flowdroid를 통해 알아보는 static taint analysis

Flowdroid: Taint propagation

- **Stubdroid: Modeling the Android framework**
  - 여태까지 알아본 방법으로 Android framework를 하나하나 분석할 수 있음
  - 그러나 각각의 앱마다 이를 수행하는 것은 비효율적이며 시간이 많이 듬
  - Flowdroid를 이용하여 데이터 흐름을 pre-compute 하는 방법



- **Stubdroid를 사용하면 Flowdroid의 실행 시간 단축이 가능함**

Arzt, S., & Bodden, E. (2016, May). StubDroid: Automatic inference of precise data-flow summaries for the Android framework. In 2016 IEEE/ACM 38th International Conference on Software Engineering (ICSE) (pp. 725-735). IEEE.

Flowdroid를 통해 알아보는 static taint analysis

Flowdroid: Taint propagation

- **Native 함수 처리: 실행 흐름 파악 불가**
  - 2017년 기준 약 70%의 앱에서 적어도 1개 이상의 native 라이브러리 사용
  - C나 C++로 짜여진 라이브러리의 실행 흐름은 전혀 분석할 수가 없음!!!
  - Java 레벨에서 native 함수를 호출하는 JNI 코드가 존재함
- **Modeling? Over-approximation?**
  - Modeling
    - 일부 native 시스템 라이브러리 or 자주 쓰이는 라이브러리는 모델링 진행
    - System.arraycopy
  - Over-approximation
    - **BLACKBOX** 접근법
    - 함수의 파라미터 1개라도 tainted 되었다면, 나머지 파라미터와 return value를 모두 tainted 되었다고 간주함

Arzt, S. (2017). Static data flow analysis for android applications.

논문 230편을 통해 정리한 연구 동향

논문 230편을 통해 정리한 연구 동향

연구 방법

Wohlin, C. (2014, May). Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering. In Proceedings of the 18th international conference on evaluation and assessment in software engineering (pp. 1-10).

- **Google Scholar 대상으로 크롤러 제작**
- **Systematic literature review 중 snowballing 기법에 따라 연구 진행**

목록	연도	이름	인용수	저자	출판사	수정 여부	라벨	비고
P138	2020	Static Flow Analysis for Hybrid and Native Android Applications	1	C Rizzo	pure.royalholloway.ac.uk	TRUE		이 논문의 박사학위 논문임. 나중에 나올 거야!! BabelView: Evaluating the Impact of Code Injection Attacks in Mobile Webviews
P142	2020	Investigating performance issues in mobile apps	1	T Das	iris.cssi.it	TRUE		static을 이용하긴 하나, Eclipse plugin이라 화이트박스임.
P144	2020	Characterizing the evolution of statically-detectable performance issues of Android apps	3	T Das, M Di Penta, I Malavolta	Springer	TRUE		static을 이용하긴 하나, Eclipse plugin이라 화이트박스임.
P149	2020	VerHealth: Vetting Medical Voice Applications through Policy Enforcement	4	FH Shezan, H Hu, G Wang, Y Tian	dl.acm.org	TRUE		android 대상이 아님. alexa 대상
P154	2020	Source-Codeless Testing for Android Apps		C Escobar-Velasquez	ieeexplore.ieee.org	TRUE		1. APK만을 이용하여 애플리케이션에 대한 테스팅을 진행하기 위한 연구임. 2. 컨퍼런스 논문이라 evaluation 관련은 나와있지 않음 3. 애플리케이션에 대한 자동화된 테스트 연구. 테스트 항목은 다양함(버그디텍션, 에너지, 퍼포먼스, 보안 등)
P164	2020	A Systematic Literature Review and Quality Analysis of Javascript Malware Detection	2	MF Sohan, A Basalamah	ieeexplore.ieee.org	TRUE		android 대상이 아님
P165	2020	Detecting and explaining self-admitted technical debts with attention-based neural networks	1	X Wang, J Liu, L Li, X Chen, X Liu, H Wu	dl.acm.org	TRUE		android 대상이 아님
P167	2020	Static asynchronous component misuse detection for Android applications	1	L Pan, B Cui, H Liu, J Yan, S Wang, J Yan…	dl.acm.org	TRUE		1. AsyncChecker를 개발. Androlic이라는 도구를 이용해서 만들었다고 함(ㅡㅡ이 도구가 동일저자 도구임. 도구 열심히 만들어놓고 논문 재탕으로 편하게 쓰기!) 2.AsyncBench라는 벤나..., 스타 5개...) 3. Asynchronous programming을 하기 쉬운 AsyncTask 라는 도구가 많이 쓰이는데, 여기에서 발생할 수 있는 취약점.
P179	2020	MADFU: An Improved Malicious Application Detection Method Based on Features Uncertainty	3	H Yuan, Y Tang	mdpi.com	TRUE		1. detection model based on features uncertainty (MADFU). input(permission)과 output(label)간의 관계를 logistic regression을 통해 분석하였다. 또한 Markov chain Monte Carlo (의 uncertainty를 해결하였다. 2. SIGPID와 Chi-Square에 비해 탐지도가 높음. 3. malware detection
P187	2020	Detection of Ransomware Based on Recurrent Neural Network (RNN)		S Kanumuri, VT Kantipudi, AVA Mary…	Springer	TRUE		
P188	2020	Study on Program Partitioning and Data Protection in Computation Offloading		E Lee, S Pak	koreascience.or.kr	TRUE		한국논문!! static analysis 사용하지 않음.
P231	2020	코드 오프로딩 환경에서 프로그램 분할과데이터 보호에 대한 연구		이은철, 박수희	ktsde.kips.or.kr	TRUE		
P245	2020	Comparing assembler procedures by analyzing sequences of opcodes		N Pejić, M Cvetanović, Z Radivojević	scindeks.ceon.rs	TRUE		
P43	2020	Maddroid: Characterizing and detecting devious ad contents for android apps	26	T Liu, H Wang, L Li, X Luo, F Dong, Y Guo…	dl.acm.org	TRUE		Android static analysis 사용하지 않음.
P50	2020	A review of android malware detection approaches based on machine learning	48	K Liu, S Xu, G Xu, M Zhang, D Sun, H Liu	ieeexplore.ieee.org	TRUE		서베이 논문. 12 없음. 안드앱 탐지.
P59	2020	From needs to actions to secure apps? the effect of requirements and developer practices on app security	13	C Weir, B Hermann, S Fahl	usenix.org	TRUE		1. 인증서 검증의 정확한 사용을 확인하기 위해서 MalloDroid 이용. OPAL 프레임워크를 이용해서 앱 내부에 존재하는 https URL을 검사했다고 함. 암호관련 취약점을 탐지하기 위해서는 유출 탐지를 위해서는 FlowDroid를 이용한 source-target 간의 분석을 하였음. 2. MalloDroid, CogniCrypt, FlowDroid를 실제 앱에 적용했을 때의 실패가 얼마나 있었는지가 좀 나옴. 실제 앱은 인터뷰 대상자들이 보내준 앱이기 때문에 벤치마크 등은 비교 불가능. 3. SSL Security, Crypto- graphic API Misuse, and Privacy Leaks. 취약점 탐지
P60	2020	A survey of Android malware detection with deep neural models	35	J Qiu, J Zhang, W Luo, L Pan, S Nepal…	dl.acm.org	TRUE		서베이 논문. 3. 딥러닝!! DL-based Android malware detection and classification
P64	2020	Scalable analysis of interaction threats in IoT systems	14	M Alhanahnah, C Stevens, H Bagheri	dl.acm.org	TRUE		android 대상이 아님
P80	2020	A Framework for producing effective and efficient secure code through malware analysis	6	AK Pandey, A Tripathi, M Alenezi…	researchgate.net	TRUE		android 대상이 아님
P84	2020	Androzooopen: Collecting large-scale open source android apps for the research community	8	P Liu, L Li, Y Zhao, X Sun, J Grundy	dl.acm.org	TRUE		"Androzoo는 안드로이드 데이터셋일. 아주 유명하고 유용한 것으로 보임. Android static analysis 사용하지 않음."
P86	2020	Borrowing your enemy's arrows: the case of code reuse in android via direct inter-app code invocation	8	J Gao, L Li, P Kong, TF Bissyandé, J Klein	dl.acm.org	TRUE		1. DICIDer를 개발. Soot 와 FlowDroid에 기반하고 있음. Soot 중에서 더 정확한 SPARK 알고리즘을 사용하였음. DICI 관련 API를 스캔하고 ~~~ 하는 것은 독자적으로 개발한 것으로 보에 대한 첫 논문이라 비교대상 없음. 3. Direct inter-app code invocation을 탐지하는 도구를 개발. functionalities (either entire Java classes, methods or object fields) implemented
P88	2020	A longitudinal study of application structure and behaviors in android	11	H Cai, BG Ryder	ieeexplore.ieee.org	TRUE		1. hybrid approach. Static code analysis(Soot + Flowdroid + GATOR)를 이용. callback control-flow 분석을 위해서는 GATOR를 이용하였고, 컴포넌트 타입에 대한 정보(?)를 얻기 2개가 Soot 기반이니까 Soot도 이용. 2. 비교없음. 3. 안드로이드 앱 구조와 행동에 대해 이해하기 위해서 *ICC에 대한 통계나, 기타 통계는 이 논문 참고하면 좋을 듯.
P89	2020	{FIRMSCOPE}: Automatic uncovering of privilege-escalation vulnerabilities in pre-installed apps in android firmware	10	M Elsabagh, R Johnson, A Stavrou, C Zuo…	usenix.org	TRUE		1. 현재의 static analysis가 가지고 있는 문제들을 자기만의 방법으로 해결함. C1 ~ C5까지. 아주 좋은 논문인듯...!!! 2. FlowDroid, Amanddroid, DroidSafe보다 앞섬. DroidBench, DIALDroid-Bench benchmark도 이용함. 3. 펌웨어에 미리 설치된 특권 앱들에 대해서 분석하기 위해서
P91	2020	A self-configuring and adaptive privacy-aware permission system for Android apps	5	GL Scoccia, M Autili, P Inverardi	ieeexplore.ieee.org	TRUE		Android static analysis 사용하지 않음.
P94	2020	A systematic mapping study on software quality control techniques for assessing privacy in	7	DS Guamán, JM Del Alamo, JC Caiza	ieeexplore.ieee.org	TRUE		
P99	2020	Recovering Android Bad Smells from Android Applications	7	G Rasool, A Ali	Springer	TRUE		1. JavaParser(오픈소스)를 이용하고, 2. 25개의 패턴을 탐지하고 실제 앱을 통해 검증함. 비교는 불가능해보이지만 다른 논문에 비해 패턴이 많다고 함. 3. bad smells를 탐지하고, 제
P102	2020	Automated repair of resource leaks in android applications	3	BN Bhatt, CA Furia	arxiv.org	FALSE		
P106	2020	Enabling Mutant Generation for Open-and Closed-Source Android Apps	5	C Escobar-Velásquez…	ieeexplore.ieee.org	FALSE		
P131	2020	Salsa: static analysis of serialization features	2	JCS Santos, RA Jones, M Mirakhorli	dl.acm.org	FALSE		No Android
P132	2020	A Taxonomy for Security Flaws in Event-Based Systems	2	YK Lee, D Kim	mdpi.com	FALSE		open access repository
P145	2020	Tool Support for Green Android Development: A Systematic Mapping Study.	2	I Fatima, H Anwar, D Pfahl, U Qamar	scitepress.org	FALSE		서베이 논문(systematic mapping study)
P163	2020	Detection of Vulnerabilities Related to Permissions Requests for Android Apps Using Machine		D Bassolé, Y Traoré, G Koala, F Tchakountè	Springer	FALSE		
P175	2020	SeMA: Extending and Analyzing Storyboards to Develop Secure Android Apps		J Mitra, VP Ranganath, T Amtoft, M Higgins	arxiv.org	FALSE		open access repository
P176	2020	Container-Based Privacy Preserving Scheme for Android Applications		H Cui, S Shao, S Niu, W Zhang, Y Yuan	IET	FALSE		1. FlowDroid를 요구사항에 맞게 변경하여, privacy leakage에 사용할 수 있도록 하였다. 기본적으로 hybrid approach인데, static analysis로는 leakage path를 구성하여 privacy proted 다고 함. 2. 어떤 앱을 이용했는지 잘 모르겠네요~ 3. privacy leakage detection
P184	2020	Safe Configurable Multitenant SaaS		A Leijonhufvud, F Håkansson	diva-portal.org	FALSE		android 대상이 아님
P189	2020	Risk Assessment, Threat Modeling and Security Testing in SDLC	1	AHA Kamal, CCY Yen, GJ Hui, PS Ling	arxiv.org	FALSE		open access 제거
P193	2020	Towards Better Static Analysis Security Testing Methodologies		B Aloraini	uwspace.uwaterloo.ca	FALSE		1. Buffer Error Finder (BEFinder)를 개발. input validation과 representation과 관련된 buffer error가 널리 퍼져있다. 불신뢰하는 입력을 검증하는 'validator'를 찾아보는 도구임. Source source와 sink가 실현불가능한 경로를 가진 경우에는 제거해주었다. 2. 현재 존재하는 분석도구가 1.에서의 취약점 탐지 못함 3. 통합 분석 프레임워크에서 recall, input validation? buff
P199	2020	Empirical testing for establishing benchmarks: process review and comparison between java, kotlin		JS Espitia Acero	repositorio.uniandes.edu.c	FALSE		접속 불가
P216	2020	Characterizing the evolution of statically-detectable performance issues of Android apps		D Teerath, M Ivano	search.proquest.com	FALSE		peer review..
C27	2020	A systematic literature review of android malware detection using static analysis	40	Y Pan, X Ge, C Fang, Y Fan	ieeexplore.ieee.org	o	Start Set	서베이 논문. 1. 없음. 2. 없음. 3. 악성코드
C29	2020	EstiDroid: Estimate API Calls of Android Applications Using Static Analysis Technology	4	W Fan, D Zhang, Y Chen, F Wu, Y Liu	ieeexplore.ieee.org	o	Start Set	1. Soot, Jimple 이용. 분석과정 알고리즘은 독자적으로 개발하였음. 2. 동적 분석 도구인 DroidInjector 를 세팅해서 API 호출의 정확도를 측정함. 3. API 호출을 측정, 평가. 기존의 분석 다면, 이 논문은 앱의 실행 흐름에서 각각의 API가 등장하는 빈도(수)에 대한 정보를 준다.
C30	2020	DroidDet: effective and robust detection of android malware using static analysis along with rotation	4	W Fan, D Zhang, Y Chen, F Wu, Y Liu	ieeexplore.ieee.org	o	Start Set	1. 머신러닝 기법 중, Rotation Forest (RF) 기법을 이용하여 분석하였음. 2. 가장 최신의 SVM 모델을 이용한 악성앱 탐지 논문에 비해 확실을 이루었음. 3. malware 탐지

논문 230편을 통해 정리한 연구 동향

~2015년: 연구 분야의 탄생

- 연구의 목적은 Privacy leaks, Vulnerability

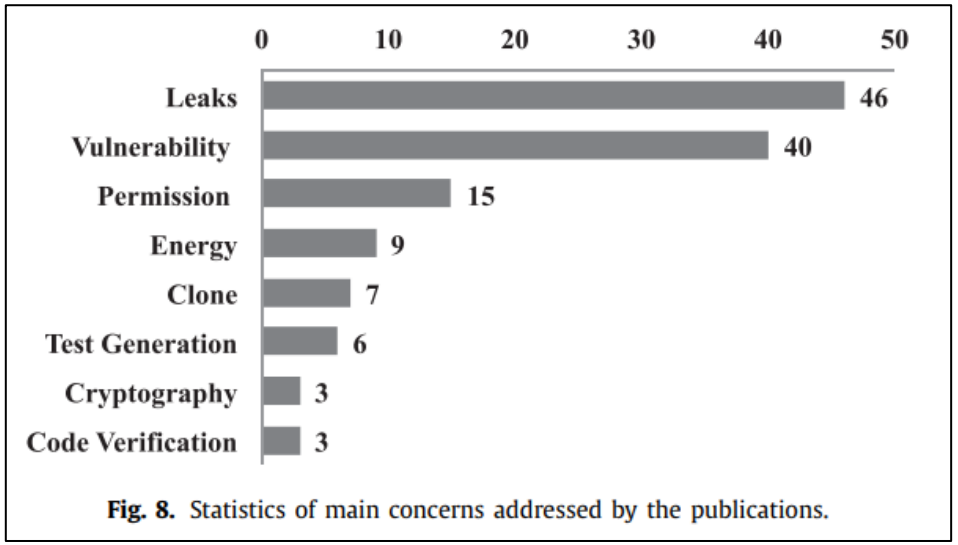
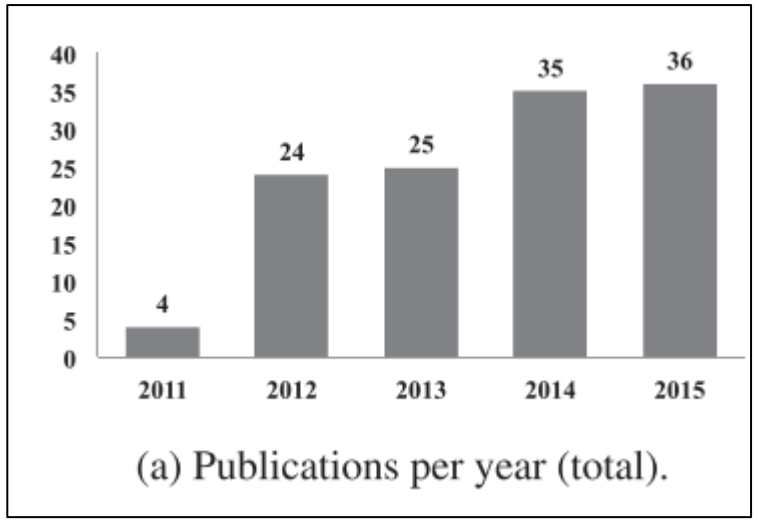


Fig. 8. Statistics of main concerns addressed by the publications.

- 연구 분야의 성장



Li, L., Bissyandé, T. F., Papadakis, M., Rasthofer, S., Bartel, A., Octeau, D., ... & Traon, L. (2017). Static analysis of android apps: A systematic literature review. Information and Software Technology, 88, 67-95.

논문 230편을 통해 정리한 연구 동향

~2015년: 연구 분야의 탄생

- **Android static analysis 중에서 taint analysis가 가장 많은 비율을 차지**

Techniques	Publications	Percentage[a]
Abstract interpretation	Anadroid [69] Cortesi et al. [122], Hopper [79], Julia [4], Lu et al. [89], Mann et al. [93], Rocha et al. [156], Scandal [114],	6.5%
Taint analysis	AAPL [61], Amandroid [68], Anadroid [69], AndroidLeaks [80], Apparecium [83], AppAudit [85], AppCaulk [86], AppContext [88], Apposcopy [92], AppSealer [94], Bastani et al. [99], Brox [103], Capper [105], CHEX [8], Cortesi et al. [122], CredMiner [126], DescribeMe [129], Dflow+DroidInfer [132], DidFail [36], DroidChecker [140], DroidJust [56], DroidSafe [58], FlowDroid [6], FUSE [70], Gallingani et al. [71], HelDroid [77], IccTA [7], Lotrack [153], Mann et al. [93], MobSafe [96], PermissionFlow [104], SEFA [115], Sufatrio et al. [121], TASMAN [123], TrustDroid [125], Uranine [127], W2AIScanner [131], WeChecker [134]	30.6%
Symbolic execution	ACTEve [63], AppIntent [90], ClickRelease [113], Gallingani et al. [71], Jensen et al. [84], SIG-Droid [52], TASMAN [123], W2AIScanner [131]	6.5%
Program slicing	AndroidLeaks [80], Apparecium [83], AppCaulk [86], AppSealer [94], AQUA [142] Brox [103], Capper [105], CredMiner [126], CryptoLint [54], eLens [66], Hopper [79], MobSafe [96], Poeplau et al. [106], Rocha et al. [156], SAAF [111],	12.1%
Code instrumentation	ACTEve [63] Androguard2 [74], android-app-analysis-tool [78], AppCaulk [86], AppSealer [94], AsyncDroid [143], Bastani et al. [99], Brahmastra [146], Capper [105], Cassandra [53], CMA [116], DidFail [36], DroidSafe [58], I-ARM-Droid [152], IccTA [7], Nyx [43], ORBIT [154], Rocha et al. [156], SIF [157], SmartDroid [118], Sufatrio et al. [121], Uranine [127], vLens [44],	18.5%
Type/Model checking	Choi et al. [147], Covert [124] Dflow+DroidInfer [132], DroidAlarm [138], IFT [82], Lu et al. [89], Mann et al. [93], SADroid [112],	6.5%

- Droidsafe(NDSS 2015, 473회 인용), **Flowdroid**(Acm Sigplan Notices 2014, 2135회 인용),
  Amandroid(ACM CCS 2014, 469회 인용), Iccta(IEEE ICSE, 636회 인용),
  Androidleaks(International Conference on Trust and Trustworthy Computing 2012, 794회 인용)

Li, L., Bissyandé, T. F., Papadakis, M., Rasthofer, S., Bartel, A., Octeau, D., ... & Traon, L. (2017). Static analysis of android apps: A systematic literature review. Information and Software Technology, 88, 67-95.

논문 230편을 통해 정리한 연구 동향

~2018년: 연구 발전 climax

- **대표적인 도구들이 자리를 잡기 시작하였음**
  - Flowdroid
    - Iccta 와 통합하여 ICC 기능 강화
    - Stubdroid를 이용하여 정확성 및 속도 향상
    - Implicit flow 지원
    - 2014년 이후로 현재까지 유지/보수 진행 중
  - Amandroid
    - ICC 에서의 정확도와 알고리즘 일부를 개선
    - 2014년 이후 성능 개선하여 2018년 논문 재게재, 이후 개발 중단
  - Stubdroid
    - 2016년까지 이후 지원 중단

Wei, F., Roy, S., & Ou, X. (2018). Amandroid: A precise and general inter-component data flow analysis framework for security vetting of android apps. ACM Transactions on Privacy and Security (TOPS), 21(3), 1-32.
Gordon, M. I., Kim, D., Perkins, J. H., Gilham, L., Nguyen, N., & Rinard, M. C. (2015, February). Information flow analysis of android applications in droidsafe. In NDSS (Vol. 15, No. 201, p. 110).

논문 230편을 통해 정리한 연구 동향

~2018년: 연구 발전 climax

- **대표적인 도구들의 성능을 비교하려는 연구들이 등장함**
  - Analyzing the analyzers: Flowdroid/iccta, amandroid, and droidsafe (ACM ISSTA, 2018)
  - Do android taint analysis tools keep their promises? (ACM ESEC/FSE, 2018)
  - Discovering flaws in security-focused static analysis tools for android using systematic mutation (USENIX Security 18)
  - A qualitative analysis of Android taint-analysis results (IEEE/ACS ASE, 2019)

논문 230편을 통해 정리한 연구 동향

~2018년: 연구 발전 climax

- **Static analysis의 challenge들을 해결하려는 연구들이 등장함**
  - Native 함수
    - Jn-saf: Precise and efficient ndk/jni-aware inter-language static analysis framework for security vetting of android applications with native code (ACM CCS, 2018)
  - Reflection
    - Droidra: Taming reflection to support whole-program analysis of android apps (ACM ISSTA, 2016)
  - ICC(inter-component communication)
    - Effective {Inter-Component} Communication Mapping in Android: An Essential Step Towards Holistic Security Analysis (USENIX Security 2013)
    - Composite Constant Propagation: Application to Android Inter-Component Communication Analysis (IEEE/ACM ICSE, 2015)
    - Iccta: Detecting inter-component privacy leaks in android apps (IEEE/ACM ICSE, 2015)

논문 230편을 통해 정리한 연구 동향

2019년~: 다양한 분야로의 발전

- **Taint analysis 기법의 발전**
  - An efficient approach for taint analysis of android applications (Computer & Security, 2021)
  - Raicc: Revealing atypical inter-component communication in android apps (IEEE/ACM ICSE, 2021)
- **취약점 발견**
  - Poster: On Vulnerability Evolution in Android Apps (IEEE/ACM ICSE, 2018)
  - FIRMSCOPE: Automatic uncovering of privilege-escalation vulnerabilities in pre-installed apps in android firmware (USENIX Security, 2020)
  - Borrowing your enemy's arrows: the case of code reuse in android via direct inter-app code invocation (ACM ESEC/FSE, 2020)

논문 230편을 통해 정리한 연구 동향

2019년~: 다양한 분야로의 발전

- **Energy Leak, Wake lock Detection**
  - Detecting energy bugs in android apps using static analysis (ICFEM, 2017)
  - Sentinel: generating GUI tests for Android sensor leaks (IEEE/ACM AST, 2018)
  - Wake Lock Leak Detection in Android Apps Using Multi-Layer Perceptron (Electronics, 2021)
- **Application 내부의 feature를 파악**
  - 안드로이드 악성코드 분류를 위한 Flow Analysis 기반의 API 그룹화 및 빈도 분석 기법 (정보보호학회논문지, 2019)
  - Deepintent: Deep icon-behavior learning for detecting intention-behavior discrepancy in mobile apps (ACM CCS, 2019)
  - RedDroid: Android application redundancy customization based on static analysis (IEEE ISSRE, 2018)

Future Works

Future Works

Static taint analysis의 한계

- **Native 라이브러리의 비중 증가**
  - 하이브리드 앱, 프로그레시브 웹 앱(PWA)의 등장
  - Flutter, React Native 등 크래스 플랫폼 프레임워크의 등장
- **정확도 및 시간에서의 문제점**

TABLE 12: FLOWDROID Results on Google Play Apps ("●" indicates the tool fully analyzed the app and "○" indicates the tool failed to analyze the app)

App ID	# Exp. Flows	# Detected Flows	FN		FP	
			#	Breakdown	#	Breakdown
13	15	17 ● (15 TP, 2 FP)	0		2	2x U-DB2.12
21	12	4 ● (4 TP, 0 FP)	8	8x U-DB2.12	0	
3	1	0 ●	1	1x U-DB4.18	0	
4	1	0 ●	1	1x DB8.16	0	
6	1	0 ●	1	1x U-DB4.17	0	
9	1	0 ●	1	1x U-DB4.17	0	
10	1	0 ●	1	1x U-DB4.17	0	
11	1	0 ●	1	1x U-DB2.12	0	
15	1	0 ●	1	1x U-DB10.12	0	
17	1	0 ●	1	1x U-DB10.12	0	
20	7	0 ●	7	5x DB8.16; 2x U-DB2.12	0	
22	3	0 ●	3	3x U-DB2.12	0	
23	11	0 ●	11	5x DB8.16; 6x U-DB2.12	0	
25	7	0 ●	7	5x DB8.16; 2x U-DB2.12	0	
1, 2, 5, 7, 8, 12, 14, 18, 19	1 (per app)	0 ○	9	9x EX	0	
16	3	0 ○	3	3x EX	0	
24	7	0 ○	7	7x OM	0	
Total	82	21 (19 TP, 2 FP)	63	16x DB8.16; 22x U-DB2.12; 3x U-DB4.17; 1x U-DB4.18; 2x U-DB10.12; 12x EX; 7x OM	2	2x U-DB2.12

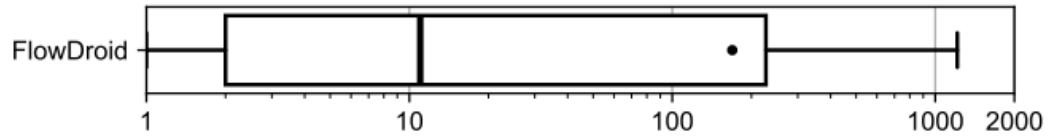


Fig. 18: Execution time (in minutes) of FLOWDROID on the Google Play apps.

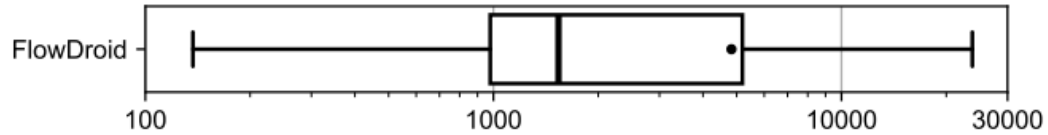


Fig. 19: Memory consumption (in MB) of FLOWDROID on the Google Play apps.

Zhang, J., Wang, Y., Qiu, L., & Rubin, J. (2021). Analyzing android taint analysis tools: FlowDroid, Amandroid, and DroidSafe. IEEE Transactions on Software Engineering.

Future Works

Static taint analysis의 활용

- **머신러닝에 활용하기 위한 feature 추출**
  - 기존 도구들 활용
  - 최근에 활발하게 연구되고 있음
- **Energy leak Detection**
- **Software debloating, Application redundancy**

Future Works

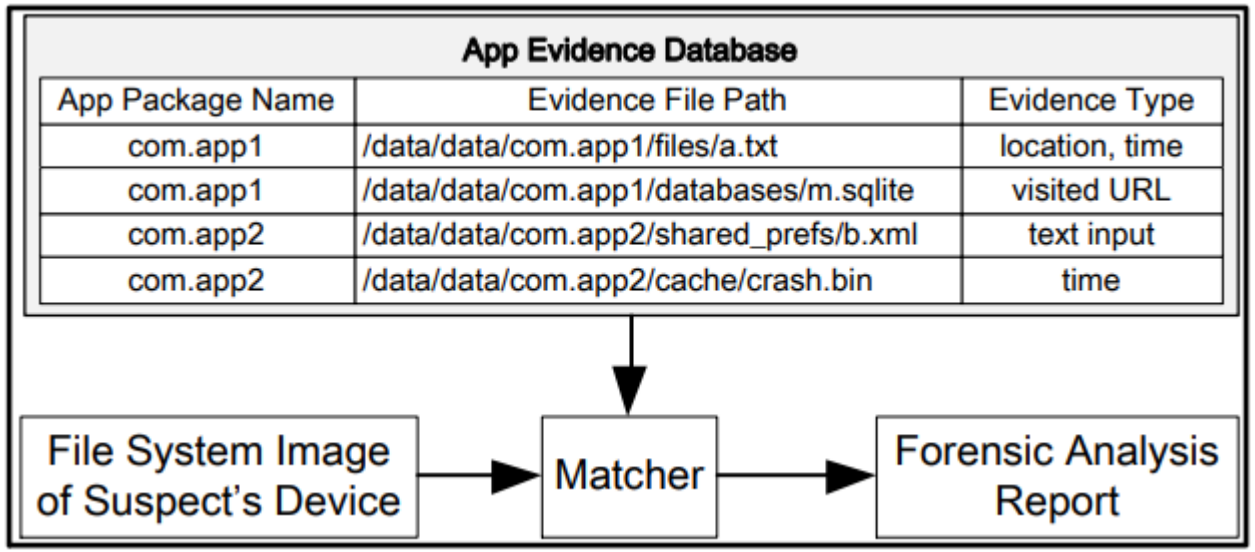
Apply to Digital Forensics?

- **Source와 Sink의 개념을 응용**
  - Source: 수집하고자 하는 증거(이름, 전화번호, 이메일, IMEI, Mac address …)
  - Sink: 데이터의 저장 위치(로컬 데이터베이스, 원격지 URL …)
- **선행 연구**
  - Automated forensic analysis of mobile applications on Android Devices (Digital Investigation, 2018)
  - EviHunter: identifying digital evidence in the permanent storage of android devices via static analysis (ACM CCS, 2018)
  - Android Encryption Database Forensic Analysis Based on Static Analysis (ACM CSAE, 2020)
  - LogExtractor: Extracting Digital Evidence from Android Log Messages via String and Taint Analysis (DFRWS - USA 2021)

Future Works

Apply to Digital Forensics?

- **Static taint analysis를 통해 데이터 저장 경로, 증거 종류를 파악**
  - 자주 쓰이는 애플리케이션에 대해서 미리 데이터베이스 구축
  - 사용자 디스크 이미지에 대해서, 사전에 알고 있는 경로로부터 데이터 추출
    - 분석가: 시간 단축, 분석의 정확도 증가 // 피의자: 불필요한 개인정보 유출 방지



Cheng, C. C. C., Shi, C., Gong, N. Z., & Guan, Y. (2018, October). EviHunter: identifying digital evidence in the permanent storage of android devices via static analysis. In Proceedings of the 2018 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security (pp. 1338-1350).

THANK YOU
for Listening!

Digital Forensic Research Center
Graduate School of Information Security, Korea Univ.

hunjison@korea.ac.kr

Questions?