프로그램 변조를 통한 APK 타입 랜섬웨어 복호화 기법

최재민[1], 최상훈[2], 박기웅[3†]
[1]세종대학교 SysCore Lab. 석사과정
[2]세종대학교 SysCore Lab. 연구교수
[3]세종대학교 정보보호학과 교수
c.jaem7532@gmail.com, csh0052@gmail.com, woongbak@sejong.ac.kr

Extraction Scheme for APK-type Ransomware via Software Tampering

Jae-Min Choi[1], Sang-Hoon Choi[2], Ki-Woong Park[3†]
[1,2] SysCore Lab., Sejong University
[3]Dept. of Computer and Information Security, Sejong University

요 약

랜섬웨어는 등장 이후 지속적으로 진화하여, 현재는 RaaS(Ransomware-as-a-Service) 형태로 배포되고 있으며, PC뿐만 아니라 모바일 기기까지 공격 대상으로 삼고 있다. 이와 같이 고도화된 랜섬웨어에 대응하기 위해 탐지, 차단, 복구 기술 또한 발전해 왔다. 특히 복구와 관련해서는 메모리 덤프를 통해 복호화 키를 추출하거나, 취약한 암호 알고리즘을 이용해 키를 추출하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 여전히 랜섬웨어 복호화는 어려운 과제로 남아 있다. 메모리 덤프나 공격자의 실수로 키를 추출할 수 있는 경우도 있지만, 기기 재부팅이나 강력한 암호화 알고리즘이 사용되면 복호화가 어렵다. 본 논문에서는 안드로이드 랜섬웨어를 대상으로 프로그램 변조를 통해 복호화하는 방법을 제안한다. 우리는 두 가지의 실험을 통해 안드로이드 랜섬웨어의 내부 로직을 수정하였고, 복호화가 가능함을 확인하였다.

1. 서론

랜섬웨어는 등장 이후 지속적으로 진화하며 점점 더 복잡한 형태로 발전하고 있다. 현재는 RaaS(Ransomware-as-a-Service) 형태로 서비스화되어 배포되고 있다. 현대의 랜섬웨어는 PC 환경뿐만 아니라 모바일 기기까지도 감염시키고 있다 [1]. 랜섬웨어의 고도화에 따라 이를 방어하기 위한 기술도 함께 발전하고 있으며, 다양한 탐지, 차단, 복구 방법에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그중 메모리 덤프를 활용하여 복호화 키를 추출하는 연구나, 공격자가 사용하는 취약한 암호 알고리즘을 이용한 키 추출 및 복호화 방법들이 제안되어 왔다 [4, 5]. 그러나 여전히 최신 랜섬웨어의 복호화에는 여전히 어려움이 존재하며, 일부 기업은 결국 비용을 지불하고 데이터를 복구하는 사례도 있다 [2]. 기존 연구에서는 난수를 기반으로 키를 생성하는 랜섬웨어에 대해 메모리 덤프를 통해 암호화 키를 찾아내는 방법이나, 공격자의 실수를 이용해 취약점을 공략하는 방법이 비교적 효과적이었다. 하지만 감염된 기기가 재부팅되거나 공격자가 강력한 암호화 알고리즘을 사용할 경우, 복호화는 여전히 어렵다. 우리는 이와 같은 한계점을 해결하기 위해 모바일 기기 랜섬웨어에 대해 프로그램 변조를 통한 복호화 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 랜섬웨어 복호화에 필요한 배경지식 및 관련 연구에 관해 서술한다. 3장에서는 프로그램 변조 기법을 통한 안드로이드 랜섬웨어 복호화 방법에 관해 서술한다. 4장에서는 실험 결과에 관해 서술하고, 5장에서는 결론 및 향후 연구를 기술한다.

2. 배경지식 및 관련 연구

2.1. 안드로이드 Dalvik과 Smali

안드로이드 운영체제는 Dalvik VM을 사용하여

†교신저자: 박기웅 (세종대학교 정보보호학과 교수)

바이트코드를 실행한다 [3]. 이는, JVM을 대신하여 동작한다. Dalvik에서는 Java 바이트코드가 아닌 DEX(Dalvik Excutable)파일을 실행시킨다. 이는 여러 Java 클래스가 하나의 DEX로 패키징되어 있다. 또한, Dalvik은 스택 기반인 JVM과 다르게 레지스터 기반으로 동작한다. 이는 최종적으로 성능을 높이고 메모리 효율성을 증가시키는 효과가 있다. 이후 안드로이드 5.0부터 ART로 대체되었다.

Smali는 Dalvik 바이트코드를 어셈블러로 표현한 언어이다. Dalvik 바이트코드는 사람이 읽기 어려워서 이를 Smali가 사람이 읽기 쉬운 형태로 변환한다. Smali는 주로 APK 리버스 엔지니어링을 할 때 사용된다.

2.2. 취약한 키 관리 및 취약한 키 알고리즘을 활용한 복호화 키 추출 연구

Fernández-Fuentes 외 2인은 랜섬웨어에 감염된 PC에서 메모리 덤프를 통해 랜섬웨어가 사용한 암호화 키를 복구할 수 있는 도구를 개발하였다 [4]. 해당 도구는 파일 암호화 및 키 관리를 수행하는 데 같은 라이브러리를 사용하는 유사한 랜섬웨어에 대해 복호화가 가능함을 보여주었다.

Kang 외 5인은 Ragnar Locker 랜섬웨어를 분석하여 부적절한 스트림 암호를 사용하고 있는 취약점을 발견하였다 [5]. 해당 취약점은 키 재사용 공격에 취약한 것으로 나타났고, 이를 이용하여 특정 데이터의 원본을 확보하여 나머지 데이터를 모두 복호화가 가능함을 보여주었다.

3. 프로그램 변조 기법을 통한 안드로이드 랜섬웨어 복호화 방법

본 장에서는 프로그램 변조 기법을 통한 안드로이드 랜섬웨어 복호화 방법에 대한 실험 과정을 설명한다.

3.1 안드로이드 랜섬웨어 정적 분석

```
hz = sss.l("ꀀꀁꀂꀃꀄꀅꀆꀇꀈꀉꀊꀋꀌꀍꀎꀏꀐꀑꀒꀓꀔꀕꀖꀗꀘꀙꀚꀛꀜꀝꀞꀟꀠꀡꀢꀣꀤꀥꀦꀧꀨꀩꀪꀫꀬꀭꀮꀯꀰꀱꀲꀳꀴꀵꀶꀷꀸꀹꀺꀻꀼꀽꀾꀿꁀꁁꁂꁃꁄꁅꁆꁇꁈꁉꁊꁋꁌꁍꁎꁏꁐꁑꁒꁓꁔꁕꁖꁗꁘꁙꁚꁛꁜꁝꁞꁟꁠꁡꁢꁣꁤꁥꁦꁧꁨꁩꁪꁫꁬꁭꁮꁯꁰꁱꁲꁳꁴꁵꁶꁷꁸꁹꁺꁻꁼꁽꁾꁿꂀꂁꂂꂃꂄꂅꂆꂇꂈꂉꂊꂋꂌꂍꂎꂏꂐꂑꂒꂓꂔꂕꂖꂗꂘꂙꂚꂛꂜꂝꂞꂟꂠꂡꂢꂣꂤꂥꂦꂧꂨꂩꂪꂫꂬꂭꂮꂯꂰꂱꂲꂳꂴꂵꂶꂷꂸꂹꂺꂻꂼꂽꂾꂿꃀꃁꃂꃃꃄꃅꃆꃇꃈꃉꃊꃋꃌꃍꃎꃏꃐꃑꃒꃓꃔꃕꃖꃗꃘꃙꃚꃛꃜꃝꃞꃟꃠꃡꃢꃣꃤꃥꃦꃧꃨꃩꃪꃫꃬꃭꃮꃯꃰꃱꃲꃳꃴꃵꃶꃷꃸꃹꃺꃻꃼꃽꃾꃿꄀꄁꄂꄃꄄꄅꄆꄇꄈꄉꄊꄋꄌꄍꄎꄏꄐꄑꄒꄓꄔꄕꄖꄗꄘꄙꄚꄛꄜꄝꄞꄟꄠꄡꄢꄣꄤꄥꄦꄧꄨꄩꄪꄫꄬꄭꄮꄯꄰꄱꄲꄳꄴꄵꄶꄷꄸꄹꄺꄻꄼꄽꄾꄿꅀꅁꅂꅃꅄꅅꅆꅇꅈꅉꅊꅋꅌꅍꅎꅏꅐꅑꅒꅓꅔꅕꅖꅗꅘꅙꅚꅛꅜꅝꅞꅟꅠꅡꅢꅣꅤꅥꅦꅧꅨꅩꅪꅫꅬꅭꅮꅯꅰꅱꅲꅳꅴꅵꅶꅷꅸꅹꅺꅻꅼꅽꅾꅿꆀꆁꆂꆃꆄꆅꆆꆇꆈꆉꆊꆋꆌꆍꆎꆏꆐꆑꆒꆓꆔꆕꆖꆗꆘꆙꆚꆛꆜꆝꆞꆟꆠꆡꆢꆣꆤꆥꆦꆧꆨꆩꆪꆫꆬꆭꆮꆯꆰꆱꆲꆳꆴꆵꆶꆷꆸꆹꆺꆻꆼꆽꆾꆿꇀꇁꇂꇃꇄꇅꇆꇇꇈꇉꇊꇋꇌꇍꇎꇏꇐꇑꇒꇓꇔꇕꇖꇗꇘꇙꇚꇛꇜꇝꇞꇟꇠꇡꇢꇣꇤꇥꇦꇧꇨꇩꇪꇫꇬꇭꇮꇯꇰꇱꇲꇳꇴꇵꇶꇷꇸꇹꇺꇻꇼꇽꇾꇿꈀꈁꈂꈃꈄꈅꈆꈇꈈꈉꈊꈋꈌꈍꈎꈏꈐꈑꈒꈓꈔꈕꈖꈗꈘꈙꈚꈛꈜꈝꈞꈟꈠꈡꈢꈣꈤꈥꈦꈧꈨꈩꈪꈫꈬꈭꈮꈯꈰꈱꈲꈳꈴꈵꈶꈷꈸꈹꈺꈻꈼꈽꈾꈿꉀꉁꉂꉃꉄꉅꉆꉇꉈꉉꉊꉋꉌꉍꉎꉏꉐꉑꉒꉓꉔꉕꉖꉗꉘꉙꉚꉛꉜꉝꉞꉟꉠꉡꉢꉣꉤꉥꉦꉧꉨꉩꉪꉫꉬꉭꉮꉯꉰꉱꉲꉳꉴꉵꉶꉷꉸꉹꉺꉻꉼꉽꉾꉿꊀꊁꊂꊃꊄꊅꊆꊇꊈꊉꊊꊋꊌꊍꊎꊏꊐꊑꊒꊓꊔꊕꊖꊗꊘꊙꊚꊛꊜꊝꊞꊟꊠꊡꊢꊣꊤꊥꊦꊧꊨꊩꊪꊫꊬꊭꊮꊯꊰꊱꊲꊳꊴꊵꊶꊷꊸꊹꊺꊻꊼꊽꊾꊿꋀꋁꋂꋃꋄꋅꋆꋇꋈꋉꋊꋋꋌꋍꋎꋏꋐꋑꋒꋓꋔꋕꋖꋗꋘꋙꋚꋛꋜꋝꋞꋟꋠꋡꋢꋣꋤꋥꋦꋧꋨꋩꋪꋫꋬꋭꋮꋯꋰꋱꋲꋳꋴꋵꋶꋷꋸꋹꋺꋻꋼꋽꋾꋿꌀꌁꌂꌃꌄꌅꌆꌇꌈꌉꌊꌋꌌꌍꌎꌏꌐꌑꌒꌓꌔꌕꌖꌗꌘꌙꌚꌛꌜꌝꌞꌟꌠꌡꌢꌣꌤꌥꌦꌧꌨꌩꌪꌫꌬꌭꌮꌯꌰꌱꌲꌳꌴꌵꌶꌷꌸꌹꌺꌻꌼꌽꌾꌿꍀꍁꍂꍃꍄꍅꍆꍇꍈꍉꍊꍋꍌꍍꍎꍏꍐꍑꍒꍓꍔꍕꍖꍗꍘꍙꍚꍛꍜꍝꍞꍟꍠꍡꍢꍣꍤꍥꍦꍧꍨꍩꍪꍫꍬꍭꍮꍯꍰꍱꍲꍳꍴꍵꍶꍷꍸꍹꍺꍻꍼꍽꍾꍿꎀꎁꎂꎃꎄꎅꎆꎇꎈꎉꎊꎋꎌꎍꎎꎏꎐꎑꎒꎓꎔꎕꎖꎗꎘꎙꎚꎛꎜꎝꎞꎟꎠꎡꎢꎣꎤꎥꎦꎧꎨꎩꎪꎫꎬꎭꎮꎯꎰꎱꎲꎳꎴꎵꎶꎷꎸꎹꎺꎻꎼꎽꎾꎿꏀꏁꏂꏃꏄꏅꏆꏇꏈꏉꏊꏋꏌꏍꏎꏏꏐꏑꏒꏓꏔꏕꏖꏗꏘꏙꏚꏛꏜꏝꏞꏟꏠꏡꏢꏣꏤꏥꏦꏧꏨꏩꏪꏫꏬꏭꏮꏯꏰꏱꏲꏳꏴꏵꏶꏷꏸꏹꏺꏻꏼꏽꏾꏿ") + this.xh;
m = "" + (Integer.parseInt(this.xh) * 4 + 3);
hzs = hz.length();
fi = new File(Environment.getExternalStorageDirectory() + "/");
if (sharedPreferences.getInt("cs", 0) >= 2) {
  setTitle("Lycorisradiata");
  getSupportFragmentManager().beginTransaction().replace(2131099760, new qq1279525738()).commit();
  sss.bz((Context)this);
}
```

(그림 1) WannaLocker의 암호화 로직 일부

우리는 안드로이드 Smali 변조를 통해 복호화 수행을 하기 위해 WannaLocker에 대해 분석을 수행하였다 [6]. WannaLocker를 변조하기 위해 정적 분석을 수행하였다. 우리는 *dex2jar* [7]와 *jda-gui* [8]를 이용하여 정적 분석을 수행하였다. 해당 분석 과정에 우리는 그림 1 과 같은 암호화 로직을 확인할 수 있었다. 해당 로직에서 최종적으로 $xh*4+3$ 이 m과 일치하면 복호화를 진행하는 것을 확인할 수 있다.

3.2 Smali 분석 및 변조

```
.line 44
    :cond_1
    move-object v6, v0

    new-instance v7, Ljava/lang/StringBuffer;

    move-object v12, v7

    move-object v7, v12

    move-object v8, v12

    invoke-direct {v8}, Ljava/lang/StringBuffer;-><init>()V

    const-string v8, ""

    invoke-virtual {v7, v8}, Ljava/lang/StringBuffer;-
>append(Ljava/lang/String;)Ljava/lang/StringBuffer;

    move-result-object v7

    invoke-static {}, Ljava/lang/Math;->random()D

    move-result-wide v8

    const v10, 0xf4240

    int-to-double v10, v10

    mul-double/2addr v8, v10

    double-to-int v8, v8

    const v9, 0x989680

    add-int/2addr v8, v9

    invoke-virtual {v7, v8}, Ljava/lang/StringBuffer;->append(I)Ljava/lang/StringBuffer;

    move-result-object v7

    invoke-virtual {v7}, Ljava/lang/StringBuffer;->toString()Ljava/lang/String;

    move-result-object v7

    iput-object v7, v6, Lcom/android/tencent/zdevs/bah/MainActivity;->xh:Ljava/lang/String;
```

(그림 2) WannaLocker의 Smali 코드

```
this.xh = "" + ((int)(Math.random() * 1000000) + 10000000);
```

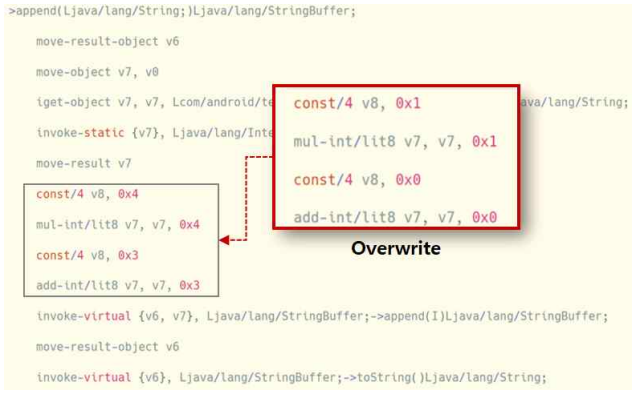
(그림 3) 그림 2 의 Smali 코드의 Java 코드

우리는 랜섬웨어를 변조하기 위해 그림 2 와 같이 DEX 코드를 Smali 코드로 디스어셈블리하였다 [9]. 해당 Smali 코드가 의미하는 Java 코드는 그림 3 과 같다.

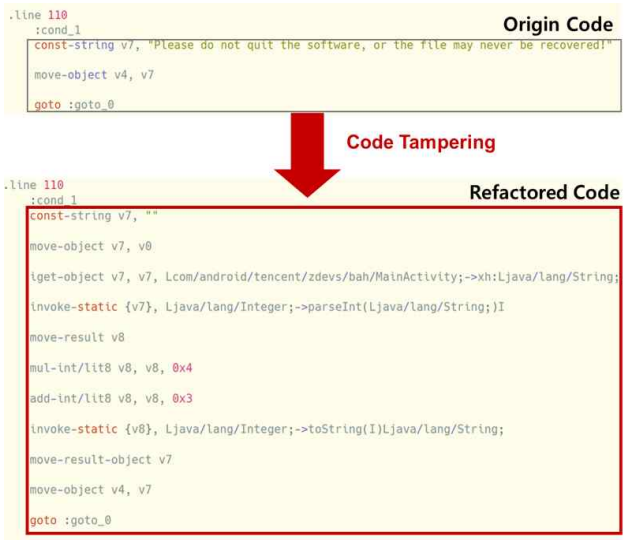
이를 랜섬웨어 변조를 통해 복호화를 수행하기 위해 표 1 과 같이 두 가지의 CASE로 나누어 실험을 진행하였다.

<표 1> 랜섬웨어 복호화를 위한 변조 CASE

	설명
CASE 1	랜섬웨어 내부 $m=xh*4+3$ 구문을 $m=xh*1+0$구문으로 변조
CASE 2	랜섬웨어 내부 $m=xh*4+3$ 결과인 m 값을 사용자에게 Toast 메시지로 출력하는 구문으로 변조

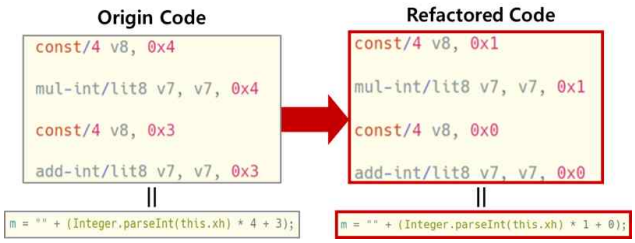


(그림 4-a) *xh* 연산 Smali 코드 및 변조 코드

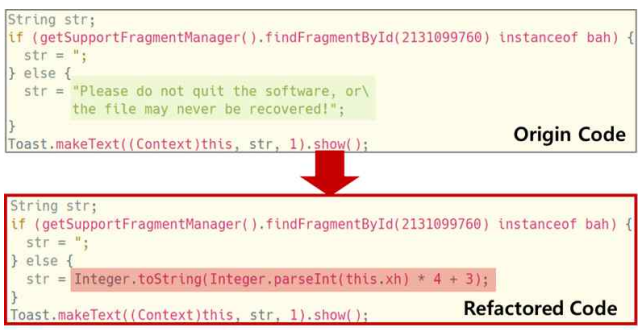


(그림 4-b) *str* 대입 Smali 코드 및 변조 코드

각각 Smali 코드는 기존의 코드에서 그림 4-a,b 의 코드로 변경하였다. 이를 다시 리패키징한 뒤 확인하면, 그림 5-a,b 와 같이 Java 코드 또한 올바르게 변경된 것을 볼 수 있다.



(그림 5-a) Smali 변조 코드의 Java 코드

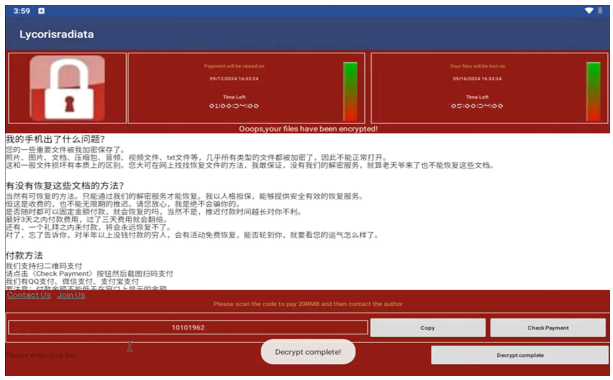


(그림 5-b) Smali 변조 코드의 Java 코드

4. 실험 결과

4.1 CASE 1: 연산 구문 변조

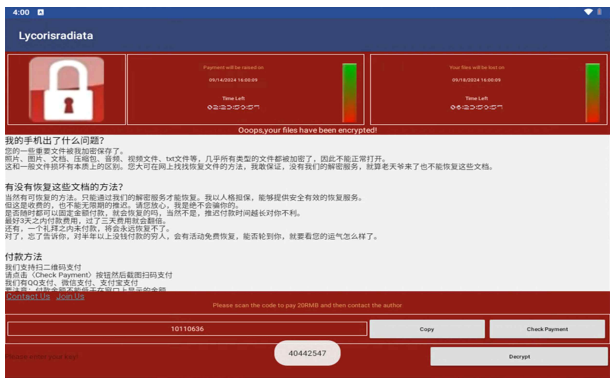
Smali 코드 변조를 통하여 MainActivity 클래스 .line 51에서 진행하는 계산식을 변조하였다. mul-int/lit8과 add-int/lit8은 Smali 코드에서 각각 곱셈과 덧셈을 의미하는 코드이고 3번째 매개변수의 Hex값을 수정하는 방식으로 진행하였다. 이후 해당 샘플을 *apktool* 을 이용하여 리패키징한 뒤 실행을 한 뒤, 그림 6 의 GUI에 표기되는 *xh*값과 동일한 값을 키 입력창에 작성하면 복호화가 올바르게 이뤄진다.



(그림 6) 연산 구문 변조를 통한 복호화 GUI

4.2 CASE 2: 코드 변조를 통한 복호화 키 출력

Smali 코드 변조를 통하여 MainActivity 클래스 .line 110에서 진행되는 Toast 메시지 *str* 변수에 문자열을 저장하는 코드를 변조하였다. 기존의 *v4* 레지스터에 “Please do not quit the software, or the file may never be recovered!”을 저장하던 Smali 코드에서 *xh*값을 *v7* 레지스터에 저장하고 해당 *v7* 레지스터에 parseInt 형변환 후 *v7**4+3 연산을 수행하였다. 이후, toString 형변환 하여 해당 값을 *v4* 레지스터에 저장하도록 변조하였다. 이후 해당 샘플을 CASE 1 과 동일하게 리패키징 한 뒤 실행을 하면 그림 7 과 같이 ‘뒤로가기’ 버튼을 터치하면 사용자에게 Toast 메세지를 이용하여 *xh**4+3 값을 출력한다. 이후 해당 값을 키 입력창에 작성하면 복호화가 올바르게 이뤄진다.



(그림 7) 코드 변조를 통한 복호화 GUI

4.3 WannaLocker 변조를 통한 복호화 평가

우리는 CASE 1과 CASE 2를 통하여 프로그램 변조를 통한 복호화가 가능함을 확인하였다. 해당 랜섬웨어는 xh값을 임의의 난수로 받아온다. 하지만, 위처럼 프로그램 변조를 통해 프로그램 로직을 변경하여 난수로 키 값을 생성하는 랜섬웨어를 대상으로 달라지는 키 값에도 동일하게 복호화가 가능하다.

5. 결론 및 향후 연구

랜섬웨어는 RaaS 형태로 진화해 PC와 모바일 기기를 감염시키고 있으며, 이를 방어하기 위한 탐지, 차단, 복구 기술도 발전하고 있다. 메모리 덤프를 통한 복호화 키 추출이나 취약한 암호 알고리즘을 활용한 방법들이 제안되었으나, 강력한 암호화나 기기 재부팅 시 복호화는 여전히 어려운 과제로 남아 있다. 본 논문에서는 프로그램 변조 기법을 통한 안드로이드 랜섬웨어 복호화 방법을 제안한다. 우리는 실험을 통해 WannaLocker패밀리에 대하여 복호화가 가능함을 증명하였다. 향후 연구에서는 EXE, ELF등 PC 환경에서 실행되는 랜섬웨어에 대한 연구로 확장하여, 해당 방법이 안드로이드에 국한되는 것이 아님을 증명하고자 한다.

Acknowledgement

본 논문은 과학기술정보통신부의 재원으로 정보통신기획평가원(IITP)의 국방ICT융합연구(Project No. 2022-11220701, 50%), 정보통신방송기술 국제공동연구(Project No. RS-2022-00165794, 30%), 대학ICT연구센터사업(ITRC) 실감콘텐츠핵심기술개발(Project No. RS-2023-00228996, 20%)의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

[1] Distribution of mobile malware worldwide in 2nd quarter 2023 and 1st quarter 2024, by type
[2] Share of infected organizations worldwide agreeing to pay ransom from 2021 to 2023
[3] Ehringer, David. "The dalvik virtual machine architecture." Techn. report (March 2010) 4.8 (2010): 72.
[4] Fernández-Fuentes, X., F. Pena, T., Cabaleiro, J.C., Recovering from Memory the Encryption Keys Used by Ransomware Targeting Windows and Linux Systems, SAI : Intelligent Computing, London, United Kingdom, 2024, 1149-1166
[5] S. Kang, S. Lee, S. Kim, D. Kim, K. Kim, and J. Kim, “A Study on Decryption of Files Infected by Ragnar Locker Ransomware through Key Reuse Attack and Its Applications,” Journal of the Korea Institute of Information Security & Cryptology, vol. 31, no. 2, pp. 221-231, 2021.
[6] MalwareBazzar : Malware dataset (n.d.), https://bazaar.abuse.ch
[7] dex2jar, https://github.com/pxb1988/dex2jar
[8] jda-gui, https://java-decompiler.github.io
[9] apktool, https://apktool.org