基于词法分析的代码漏洞模式识别

摘要

软件技术与社会生活的方方面面越来越紧密，软件开发又不可避免的产生各种漏洞，而漏洞识别与定位十分耗费人力物力。如何快速识别并定位漏洞以提升软件运行的稳定与安全成为越来越严峻的问题。随着深度学习的发展，出现了一些可快速自动化的识别软件漏洞的方法，譬如基于代码抽象语法树（以下简称AST）或程序数据流图(以下简称PDG)的漏洞识别方法，从AST或PDG中提取漏洞特征进行模式识别，但有些代码语义譬如通过AST进行抽象后会消失，不利于漏洞的识别。本文提出一种基于词法分析的代码漏洞特征提取方法，以利用更广的语义依赖进行漏洞识别。

关键字：漏洞识别，词法分析，抽象语法树，程序数据流，深度学习

1 引言

    软件漏洞与软件开发相伴相生。由于软件规模的不断扩大，导致软件复杂度也不断变高，兼之开发人员对软件开发技术熟练程度、对开发逻辑理解等存在差异，不可避免的在软件开发过程中不自觉的引入各种漏洞（业界也称为“Bug”），而且随着业务的迭代，老旧的程序代码可能不适应新业务的需求发展，也导致出现各种漏洞。

    漏洞是潜伏在软件系统中的，发现这些各种各样的漏洞通常是一种被动的行为，一般在软件运行期时系统出现问题了，漏洞才会被开发人员识别并修复，这使得维护软件运行的稳定性相对滞后。而且如果软件系统复杂性很高，开发人员识别漏洞的时间也可能相对变长，对开发人员的技术水平要求也可能相对提高，从而使得漏洞识别是一件十分耗费人力的事。

    其次，已经有一些静态的漏洞分析工具可以帮助开发人员较快的识别漏洞。如 Clang Static Analyzer[[1]](#footnote-0)，这些工具一般是通过人工预设的漏洞语义判断逻辑，譬如：如果一个对象分配方法与其释放方法要成对调用，否则就判断代码片段有内存泄漏漏洞。这要求静态分析工具要随漏洞语义的变化而不断更新其的判断逻辑，十分耗费物力财力。而且有些漏洞要在软件运行期才有可能表现出来，静态分析工具无法动态识别漏洞，覆盖率低，导致很容易出现漏报或误报的情况。

    2016年，Zhen Li等提出了称为“VulPecker”[1]的自动识别系统漏洞的方法，基于代码克隆技术，利用代码相似性从源代码中检测漏洞。但这些方法本质还是通过静态分析方法预先抽取已知的漏洞特征，通过相似性比较来检测代码是否有漏洞，但不能自动提抽取代码特征来识别新的漏洞。2018年，Zhen Li等又先后提出了VulDeePecker[2] 和SySeVR[3] 两个利用机器学习可自动识别漏洞的方案，其系统的主要思想是先通过AST找出可以可疑漏洞点（变量或函数方法），然后找出与漏洞点语义相关的语句进行训练学习，其模型的效果有不错的漏洞低误报率和低漏报率，相比现有的静态分析工具有漏洞识别成功率有很大提升。但其可疑漏洞点的假设仍然离不开静态的判断规则，人工假设性过强。Aram Hovsepyan[4] 等基于词袋模型（bag-of-word）将其Java代码进行编码，然后用支持向量机自动进行代码段的漏洞识别，但其训练与测评方法只局限于单个数据集，算法通用性与泛化能力有待考量。Yulei Pang[5] 等在此基础上，使用N-gram模型对代码片段进行编码，然后也使用支持向量机自动进行代码漏洞识别，获得不错的性能。Jón Arnar Briem[6] 等将AST的结点编码为向量，然后输入到神经网络进行漏洞识别学习，得益于AST能比较好的抽象出程序代码元素间的相互依赖关系，此模型对漏洞的识别率比较高，但其只提供一种验证方案，无法考虑其算法通用性。Fen Hantao[7] 等也对基于AST的漏洞识别方法进行研究，使用Bi-GRU[9] 作为主要的模型架构。还有张启航[8] 同样也是提出了基于AST的漏洞识别方案，其主要区别是没使用AST的全部结点对代码进行编码，而只选取了变量、方法名和程序控制逻辑结点，一定程序度减轻了这类基于AST编码方案的复杂度，且使用GPT[10] 和Bi-GRU作为漏洞特征的抽取模型架构，增加了代码内部各元素对于其漏洞语义的注意力因素，对漏洞识别率的提升也有很好的帮助。

本文的主要工作是提出基于词法分析的漏洞特征提取方法，以从更广为的语义依赖范围进行漏洞模式识别，力求提高漏洞识别的准确率。

2 研究方法

2.1代码编码方法

漏洞识别的核心问题就是如何将代码编码为语义相关的向量。

首要问题是如何选择研究对象的粒度。具体到代码研究，考虑到以代码文件为单位的话，每个样本的代码元素将可能十分巨大。而如果以字符级别元素为单位，可能出现相同字符串表示不同语义的问题。本文认为函数粒度为单位比较适合，即一个函数为一个样本，理由为：（1）函数通常是只完成一个功能，是一群语义相近的代码语句集合，可以形成一个特定语义的闭包。（2）函数包含的代码元素一般不会太多，编码效率会比较高。

第二个问题是抽取代码元素间的依赖关系。当前漏洞识别方法也多使用以AST节点作为代码元素，甚至仅选取变量类型和方法类型的节点作为代码元素。虽然AST可以一定程度的反映代码元素间的依赖关系， 但AST会把代码元素的组织架构去掉，而有些漏洞在代码原有结构中才比较容易看出来，譬如offset by one error、递归中忘记终结条件，等。本文将使用的全量代码元素对代码进行编码，以解决这种将代码抽象后结构缺失后的问题。编码过程如下：（1）因为用户自定义的标识符一般出现的频率较少，如果都分别编码，将可能引起过多权重很小的参数，为了减轻这种意义不大的参数影响，现将用户自定义的变量名、非指针型的变量类型、指针型的变量类型和函数名分别替换为“hoho\_var”、“hoho\_var\_type”、“hoho\_pt\_type”和“hoho\_func”4种通配符，如图1操作：（插入图1：4张图，分别展示如何替换通配符）。（2）使用编译器对代码样本进行词法分析，即可将连续的代码语句切分为一个个词素，形容词素列表。本文使用的数据集是C语言代码漏洞数据集，选用Clang[[2]](#footnote-1)作为词法分析器，譬如对图2代码段进行切分：（图2：随便一句C语言代码），可得到图3切分结果（图3：token list图）。（3）使用当前比较流行word2vec[9]词嵌入方法，它是基于分布式表示的思想，可以反映不同代码元素的在特征空间的分布，从而表示出它们的相关程度。用此方法将每个划分出来的词素编码为数值，形成数值型向量表示。

2.2 模型基本架构

本文采用TextCNN[10]网络架构进行模型的训练。它借鉴了CNN[11]技术在图像领域中的成功经验，譬如可以共享网络权重，可以并行进行卷积运算，等，将CNN运用在语言处理中，区别是不像图像处理中的CNN是横向纵向两个维度做卷积运算，而TextCNN只在一个维（纵向）做卷积操作，这要求卷积核的宽度必须等于经过word2vec之后词嵌入的维度。具体到漏洞识别来说，将词向量纵向堆叠后，可分别与不同尺寸的卷积核进行卷积运算，一般再将运算结果进行max-pooling操作，将结果堆叠拉直为1维向量，再输入到全连接网络进行分类识别。如图4所示，是本文进行漏洞模式识别的总体网络架构：（图4：TextCNN架构图）

**参考文献**

[1] Zhen Li,Deqing Zou,Shouhuai Xu, et al. Vulpecker: an automated vulnerability detection system based on code similarity analysis[Z], 2016.

[2] Zhen Li,Deqing Zou,Shouhuai Xu, et al. VulDeePecker: A Deep Learning-Based System for Vulnerability Detection[Z], 2018.

[3] Zhen Li,Deqing Zou,Shouhuai Xu, et al. SySeVR: A Framework for Using Deep Learning to Detect Software Vulnerabilities[Z], 2018.

[4] Aram Hovsepyan,Riccardo Scandariato,Wouter Joosen, et al. Software vulnerability prediction using text analysis techniques[Z], 2012.

[5] Yulei Pang,Xiaozhen Xue,Akbar Siami Namin. Predicting vulnerable software components through n-gram analysis and statistical feature selection[Z], 2015.

[6] Jón Arnar Briem,Jordi Smit,Hendrig Sellik, et al. Using Distributed Representation of Code for Bug Detection[Z], 2019.

[7] Hantao Feng,Xiaotong Fu,Hongyu Sun, et al. Efficient Vulnerability Detection based on abstract syntax tree and Deep Learning[Z], 2020.

[8] 张启航. 基于抽象语法树的代码缺陷检测技术设计与实现[D], 2020.

[9] Tomas Mikolov,Kai Chen,Greg Corrado, et al. Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space[Z], 2013.

[10] Yoon Kim. Convolutional Neural Networks for Sentence Classification[Z], 2014.

[11] Y. LeCun,B. Boser,J. S. Denker, et al. Backpropagation Applied to Handwritten Zip Code Recognition[Z]: Mit Press, 1989.

1. https://clang-analyzer.llvm.org/ [↑](#footnote-ref-0)
2. https://clang.llvm.org/ [↑](#footnote-ref-1)