

# 人人共享的安全生產身分框架（ SPIFFE ） 與 SPIFFE 執行環境（ SPIRE ）介紹



# Outline

## Abbreviations

1. Introduction
2. SPIFFE
3. SPIRE
4. SPIRE環境建置



# Outline

## Abbreviations

1. Introduction
2. SPIFFE
3. SPIRE
4. SPIRE環境建置



# Abbreviations

英文縮寫	英文全名	中文
SPIFFE	Secure Production Identity Framework for Everyone	人人共享的安全生產身分框架
CA	Certificate Authority	憑證認證機構
JWT	JavaScript Object Notation Web Token	基於JSON Object的編碼
PKI	Public Key Infrastructure	公開金鑰基礎建設
CSR	Certificate Signing Request	憑證簽署要求
API	Application Programming Interface	應用程式介面
TLS	Transport Layer Security	傳輸層安全性協定
SSL	Secure Sockets Layer	安全通訊協定
VPN	Virtual Private Network	虛擬私有網路
IP	Internet Protocol	網際網路通訊協定
SPIFFE ID	SPIFFE Identity	SPIFFE身分
SVID	SPIFFE Verifiable Identity Document	SPIFFE可驗證身分文件



# Abbreviations

英文縮寫	英文全名	中文
URI	Uniform Resource Identifier	統一資源識別符
SPIRE	SPIFFE Runtime Environment	SPIFFE執行環境
CLI	Command-Line Interface	命令列介面
mTLS	mutual Transport Layer Security	雙向傳輸層安全標準



# Outline

## Abbreviations

### 1. Introduction

### 2. SPIFFE

### 3. SPIRE

### 4. SPIRE環境建置



# Introduction

## 背景

- 過去軟體大多部署在同一個資料中心或內網，彼此之間的信任是「以網路邊界為核心」（ Perimeter-Based Security ），只要進到網路內部就被默認為可信。
- 隨著雲端、多租戶環境、容器化與動態拓樸的普及，系統邊界幾乎消失。攻擊者只要滲透進一個節點，就能橫向移動（ Lateral Movement ）並造成巨大風險。因此零信任（ Zero Trust ）主張「不預設信任任何實體」，每個請求都必須驗證身份與權限。
- 人人共享的安全生產身分框架（ Secure Production Identity Framework for Everyone, SPIFFE ）應用零信任架構（ Zero Trust Architecture ），在雲原生（ Cloud Native ）、動態、異質的軟體環境下，解決傳統邊界式安全與靜態憑證無法應付的挑戰。



# Introduction

## 身分

- 現實中的身分證，由政府機構所頒發並且在頒發前會查驗申請人的信息，以確保身分證上的資訊是充分可信的；身分證本身做了防偽處理，有特定的查驗手段很難被偽造。
- 數位世界的身分證明（即數位憑證）與現實中的身分證明文件具有類似概念。數位憑證可由可信的憑證認證機構（Certificate Authority, CA）驗證完申請者身分後頒發，其中憑證的頒發過程中CA使用自己的私鑰對憑證內容簽章，可確保憑證未被竄改，並能追溯到可信的CA。
- 常見的數位憑證有：X.509憑證、JSON Web Token（JWT）。



# Introduction

## 公開金鑰基礎建設（ Public Key Infrastructure, PKI ）

- PKI是一套利用公鑰、私鑰的公開金鑰加密方式，來保障網路上資訊安全性的基礎流程架構。
- 公開金鑰加密技術包含兩個金鑰：
  - 公鑰：是一個可以公開分享的金鑰，常用於加密數據。
  - 私鑰：是一個必須由使用者自行保密的金鑰，常用於解密由公鑰加密的數據。
- 舉例而言，在加密通訊中，公鑰用於加密，私鑰用於解密；在數位簽章（ Digital Signature ）中，私鑰用於簽名，公鑰用於驗證簽名。
- 因為加密和解密使用的金鑰不同，因此被稱為「非對稱加密」。



# Introduction

## X.509憑證

- X.509是用於編碼及交換公鑰憑證的標準化格式，用來描述「一張憑證裡應該包含什麼欄位、怎麼結構化」。
- 用途：PKI中最廣泛使用的憑證格式。例如：傳輸層安全性協定（Transport Layer Security, TLS）/ 安全通訊協定（Secure Sockets Layer, SSL）、虛擬私有網路（Virtual Private Network, VPN），幾乎都採用X.509。
- X.509憑證頒發流程：申請者生成一對金鑰，並將公鑰與身分資訊封裝成憑證簽署要求（Certificate Signing Request, CSR）發送給CA，CA在驗證申請者身分成功後，會使用自己的私鑰簽發一張數位憑證。該憑證內包含申請者的公鑰及身分相關資訊，並附帶CA的數位簽章，用於保證其真實性與完整性。



# Introduction

## JSON Web Token ( JWT )

- JWT是一種基於JSON格式的Token，通常用來「傳遞身分認證的數據」。
- 用途：可作為使用者登入後的身分憑證、應用程式介面（Application Programming Interface, API）呼叫的授權憑證（Authorization Certificate）、分散式系統（Distributed System）中服務間的身分認證。
- JWT由三個部分所組成，分別為Header、Payload、Signature，而且每個部分都會用「.」作分隔。
  - Header：存放通用資訊，例如：設定JWT的簽名算法、設定JWT的Token類型。
  - Payload：存放使用者的資料，使用者可以依據自己的需求，自由決定要放什麼資訊在裡面。
  - Signature：實作數位簽名，用來儲存簽名的計算結果。



# Outline

## Abbreviations

1. Introduction

**2. SPIFFE**

3. SPIRE

4. SPIRE環境建置

## Secure Production Identity Framework for Everyone ( SPIFFE ) 簡介

- SPIFFE是一套開源標準規格，用來在動態且異質的環境中安全地識別軟體系統。採用SPIFFE的系統，無論運行在哪裡都能輕鬆且可靠地進行相互驗證。
- 像微服務（ Microservices ）、容器編排器（ Container Orchestrator ）和雲端運算（ Cloud Computing ）這些分散式的設計方式，讓系統的運行環境越來越多變、複雜。傳統的資安方法（例如：只允許特定網際網路通訊協定（ Internet Protocol, IP ）位址之間的流量）在這種情況下很難應付。為了因應這樣的挑戰，組織內部需要一套完善的工作負載（ Workload ）身分框架，來確保安全性與可擴展性。



- SPIFFE建立一個框架，能夠在不同環境與組織邊界之間，啟動並簽發服務的身分。這些規範的核心，是透過簡單的API定義一種稱為SPIFFE可驗證身分文件（SPIFFE Verifiable Identity Document, SVID），讓Workload可以利用這些身分文件來與其他Workload進行驗證，例如：建立TLS連線，或是簽署與驗證JWT。



## SPIFFE概念

- SPIFFE 框架包含以下幾個部分：
  - 工作負載 ( Workload )
  - SPIFFE身分 ( SPIFFE Identity, SPIFFE ID )
  - 信任網域 ( Trust Domain )
  - SPIFFE可驗證身分文件 ( SPIFFE Verifiable Identity Document, SVID )
  - 工作負載API ( Workload API )
  - 信任憑證集 ( Trust Bundle )



## 工作負載（Workload）

- Workload指的是一個單一用途、以特定配置部署的軟體，它可能包含多個同時運行的實例，而這些實例都執行相同的任務。Workload這個詞可以涵蓋各種類型的軟體系統定義，包括：
  - 一個執行Python網頁應用程式的網頁伺服器，部署在一個虛擬機（Virtual Machine）叢集（Cluster）上，並在前端配置了負載平衡器（Load Balancer）。
  - 一個MySQL資料庫的實例。
  - 一個處理佇列（Queue）中項目的工作程式。
  - 一組獨立部署但能協同運作的系統，例如：一個使用資料庫服務的網頁應用程式。這個網頁應用程式和資料庫，也都可以各自被視為獨立的Workload。

- 在SPIFFE的定義中，Workload的粒度（Granularity）通常比實體或虛擬節點更細，甚至細到節點上的單一程序（Process）。尤其是在容器編排器環境中，多個Workload可能同時存在於同一個節點上，但彼此之間仍保持隔離。
- Workload也可以橫跨多個節點。舉例來說，一個具備彈性擴展能力的網頁伺服器，可能會同時在多台機器上運行。
- 雖然Workload的粒度會依情境不同而有所差異，但是在SPIFFE的定義中，假設Workload之間有足夠的隔離性，使得惡意的Workload無法在憑證簽發後竊取其他Workload的憑證。



## SPIFFE身分 ( SPIFFE Identity, SPIFFE ID )

- SPIFFE ID是一字串編號，用來識別Workload，此編號具有唯一性與明確性。此外，SPIFFE ID也可以指派給執行Workload的平台或環境（例如：虛擬機器）。
- SPIFFE ID是一種類似於統一資源識別符（Uniform Resource Identifier, URI）的格式，其結構為：
  - `spiffe://trust domain/workload identifier`
- 上述SPIFFE ID的結構中，`workload identifier`是用來在一個信任網域（Trust Domain）內，唯一地辨識特定的Workload。

## 信任網域 ( Trust Domain )

- 在SPIFFE中，Trust Domain代表了一個可被信任的身分命名空間（Identity Namespace），也就是「一群Workload可彼此信任的範圍」。例如：一個Trust Domain可以代表執行自己獨立SPIFFE基礎架構的個人、組織、環境或部門。
- Trust Domain是由一個具備加密金鑰集合的CA所支援，並且CA掌管一組根金鑰（Root Keys）用來簽發、驗證與更新憑證（SVID），也就是說此CA為Trust Domain的信任根（Root of Trust）。
- 所有屬於同一Trust Domain的Workload，所獲得的身分文件（SVID）都能透過該Trust Domain的Root Keys進行驗證。
- 一般建議，若Workload位於不同的實體位置（例如：不同的資料中心或雲端區域），或是在採用不同資安策略的環境中（例如：測試或實驗環境與正式環境相比），應該將它們分屬於不同的Trust Domain。



## 根金鑰 ( Root Keys )

- Root Keys指的是一組與Trust Domain綁定的金鑰對（公鑰 / 私鑰）。
- Root Keys是SPIFFE/SPIRE身分驗證的核心信任基礎，所有Workload的憑證（SVID）最終都要能追溯到Root Keys。在SPIFFE執行環境（SPIFFE Runtime Environment, SPIRE）裡，Root Keys通常由SPIRE Server持有與管理。
- 在SPIFFE裡，Root Keys主要有兩個功能：
  - 私鑰：透過間接的方式簽發憑證（SVID）。在SPIRE架構中，SPIRE Server使用Root Keys簽署中繼CA（Signing CA），而由Signing CA進一步簽發Leaf憑證（Workload的X.509-SVID）。當驗證Workload的身份時，系統會透過SVID所附的憑證鏈（Certificate Chain），一路追溯至Trust Bundle中的Root CA，若簽章驗證成功，則代表該憑證屬於可信的 Trust Domain。



- 公鑰：用來驗證身分文件（SVID）。Workload可以從由SPIRE Server發布與維護的Trust Bundle中取得Root Keys的公鑰。當一個Workload收到另一個Workload的SVID時，就用這把公鑰來驗證「這份SVID確實是由可信任的Trust Domain簽發的」。
- Root Keys的「私鑰」的所有權與職責：
  - 在一個Trust Domain裡，Root Keys的私鑰是最高機密，不能被SPIRE Agent或Workload所擁有。SPIRE Server是唯一持有Root Keys的私鑰的角色。
  - SPIRE Server使用Root Keys的私鑰來簽發SVID（X.509-SVID或JWT-SVID），以及保證整個Trust Domain的信任鏈（Trust Chain）完整。



- Root Keys的「公鑰」的所有權與職責：
  - SPIRE Server：由於Root Keys是由SPIRE Server所管理，所以SPIRE Server一定擁有公鑰。
  - SPIRE Agent：SPIRE Agent會從SPIRE Server同步信任憑證集（Trust Bundle），Trust Bundle內包含公鑰。
  - 所有Workload：Workload透過Workload API拿到Trust Bundle，Trust Bundle內包含公鑰。
  - 用途：
    - 驗證SVID的簽章，確認SVID是否由該Trust Domain所簽發。
    - 驗證X.509-SVID或JWT-SVID是否真實可信。



## SPIFFE可驗證身分文件 ( SPIFFE Verifiable Identity Document, SVID )

- SVID是SPIFFE定義的「可驗證身份文件」。
- Workload使用SVID來向資源或呼叫方證明自身身分。若一份SVID是由該SPIFFE ID所屬Trust Domain中的CA簽署，就會被視為有效。
- SVID內含一個SPIFFE ID，用來表示提交該文件的服務身分。它會將SPIFFE ID編碼在一份可加密驗證的文件中。SVID目前支援兩種格式：X.509-SVID或JWT-SVID。
- 由於Token容易受到重播攻擊（Replay Attack）的影響，攻擊者若在傳輸過程中取得Token，就可能用它來冒充某個Workload，因此建議在可能的情況下，優先使用X.509-SVID。
- 然而，在某些情境下可能只能使用JWT-SVID，例如：當系統架構中，兩個Workload之間存在應用層代理伺服器（L7 Proxy）或負載平衡器時。



- SVID的內容如下：
  - SPIFFE ID ( 身分 )
  - 公鑰 ( 對應私鑰 )
  - 有效期 ( 短期 )
  - 簽章 ( 由Trust Domain的Root Keys簽發 )
- 用途：
  - Workload用來向其他Workload或服務證明「自己的身分」。

## 工作負載API ( Workload API )

- Workload API是Workload跟SPIRE Agent溝通的介面。
- Workload透過Workload API向本地的SPIRE Agent請求自己的SVID，並同時取得用於驗證其他Workload身分的信任憑證集（Trust Bundle）。
- Workload API支援以下兩種格式的SVID：X.509-SVID、JWT-SVID。



- 對於X.509格式的身分文件（ X.509-SVID ）：
  - X.509-SVID的身分，以SPIFFE ID來描述。
  - 一把與該身分綁定的私鑰，可用來代表Workload簽署資料。同時，系統會建立一張對應的短期X.509憑證（ X.509-SVID ），可用來建立TLS連線或用於與其他Workload進行身分驗證。
  - 一組信任憑證集（ Trust Bundle ）。Workload可以用Trust Bundle來驗證其他Workload所提交的X.509-SVID是否可信。



- 對於JWT格式的身分文件（JWT-SVID）：
  - JWT-SVID的身分，以 SPIFFE ID 表示。
  - 採用JWT。
  - 一組信任憑證集（Trust Bundle）。Workload可以用Trust Bundle來驗證其他Workload所提交的JWT-SVID是否可信。
- 就像AWS EC2 Instance Metadata API和Google GCE Instance Metadata API一樣，Workload API並不要求呼叫的Workload需要知道自己的身分，或是在呼叫API時持有任何驗證用的Token。這代表使用者的應用程式在部署時，不需要和Workload一起放置任何驗證憑證或密鑰。

- Workload API與系統平台無關，它能夠在程序層級甚至核心（Kernel）層級辨識正在運行的服務，這使得它特別適用用於像Kubernetes這樣的容器編排系統。
- 為了降低金鑰外洩或遭到入侵的風險，所有私鑰（以及對應的憑證）都具備短期效期，並會自動且頻繁地進行金鑰輪替（Key Rotation）。Workload可以在相關金鑰到期前，透過SPIRE Agent的Workload API向SPIRE Server，請求新的SVID與Trust Bundle。

## 信任憑證集 ( Trust Bundle )

- Trust Bundle是一組CA憑證集合 ( Certificates of Authorities )，代表一個Trust Domain的信任根。
- Trust Bundle由SPIRE Server維護，並透過SPIRE Agent發佈給Workload。Workload則使用Trust Bundle來驗證其他Workload的SVID是否可信。



- 以下為Trust Bundle的主要用途：

1. 驗證身份：

- A. 當Workload A拿到Workload B的SVID時，Workload A會使用Trust Bundle裡的公鑰來檢查：這份SVID是不是由可信任的Trust Domain簽發的？簽名是否正確、資料是否未被竄改？

2. 建立跨域信任：

- A. 在多個Trust Domain的情境下，Trust Bundle可能包含多個CA憑證，可實現讓不同Trust Domain的Workload彼此驗證，達到跨Domain信任。



### 3. 支援金鑰輪替：

- A. 因為CA金鑰會定期輪替，對應的CA憑證也會隨之更新，新舊根憑證可能在一段時間內同時存在。
- B. Trust Bundle的內容會因CA憑證更新也跟著經常更新，**確保Workload永遠擁有最新且完整的信任根**。



- 以下為Trust Bundle分別以X.509-SVID與JWT-SVID的驗證做舉例：
  - X.509-SVID驗證：
    - Trust Bundle裡存放CA根憑證的公鑰。
    - 當Workload A送出一張X.509-SVID給Workload B時，Workload B會使用Trust Bundle裡的CA根憑證驗證這張憑證中，確認簽名是否正確以及這張憑證是否屬於可信任的Trust Domain。



- JWT-SVID驗證：
  - Trust Bundle裡存放JWT簽署者的公鑰。
  - 當Workload B（驗證方）收到Workload A（被驗證方）的JWT-SVID後，Workload B會使用Trust Bundle裡的JWT簽署者公鑰驗簽，確認這個JWT-SVID是由可信任的Trust Domain簽署的，以及確認Token沒有被竄改。



# Outline

## Abbreviations

1. Introduction

2. SPIFFE

**3. SPIRE**

4. SPIRE環境建置

## SPIFFE Runtime Environment ( SPIRE ) 的基礎概念

- SPIRE是SPIFFE APIs的開源軟體實現，它執行節點和工作負載證明（ Workload Attestation ），以便根據預先定義的一組條件安全地向Workload發出SVID，並驗證其他Workload的SVID。
- SPIRE部署由一個SPIRE伺服器（ Server ）和一個或多個SPIRE代理程式（ Agent ）組成。
- Server為透過Agent向一組Workload頒發身分的簽章機構。Server也維護Workload身分的註冊表（ Registration ），以及頒發這些身分必須驗證的條件。
- Agent在本機向Workload提供Workload API給Workload，並且必須安裝在執行Workload的每個節點上。



## SPIRE架構的組成元件

- Server：
  - 為整個系統的「信任根」，說明如下：
    - Server持有Root Keys（包含私鑰）與CA根憑證：CA根憑證是整個Trust Domain的最高層憑證，所有Signing CA（中繼憑證）與Workload的SVID都最終由Root Keys的私鑰所簽出或衍生。
    - Server簽發與管理SVID：Server根據節點驗證（Node Attestation）的結果，確認對方節點可信後，簽發對應的SVID給Agent與Workload。
    - Server維護Trust Bundle：Server會發布包含CA根憑證的Trust Bundle，所有Agent與Workload透過這份Trust Bundle來驗證他人身分。

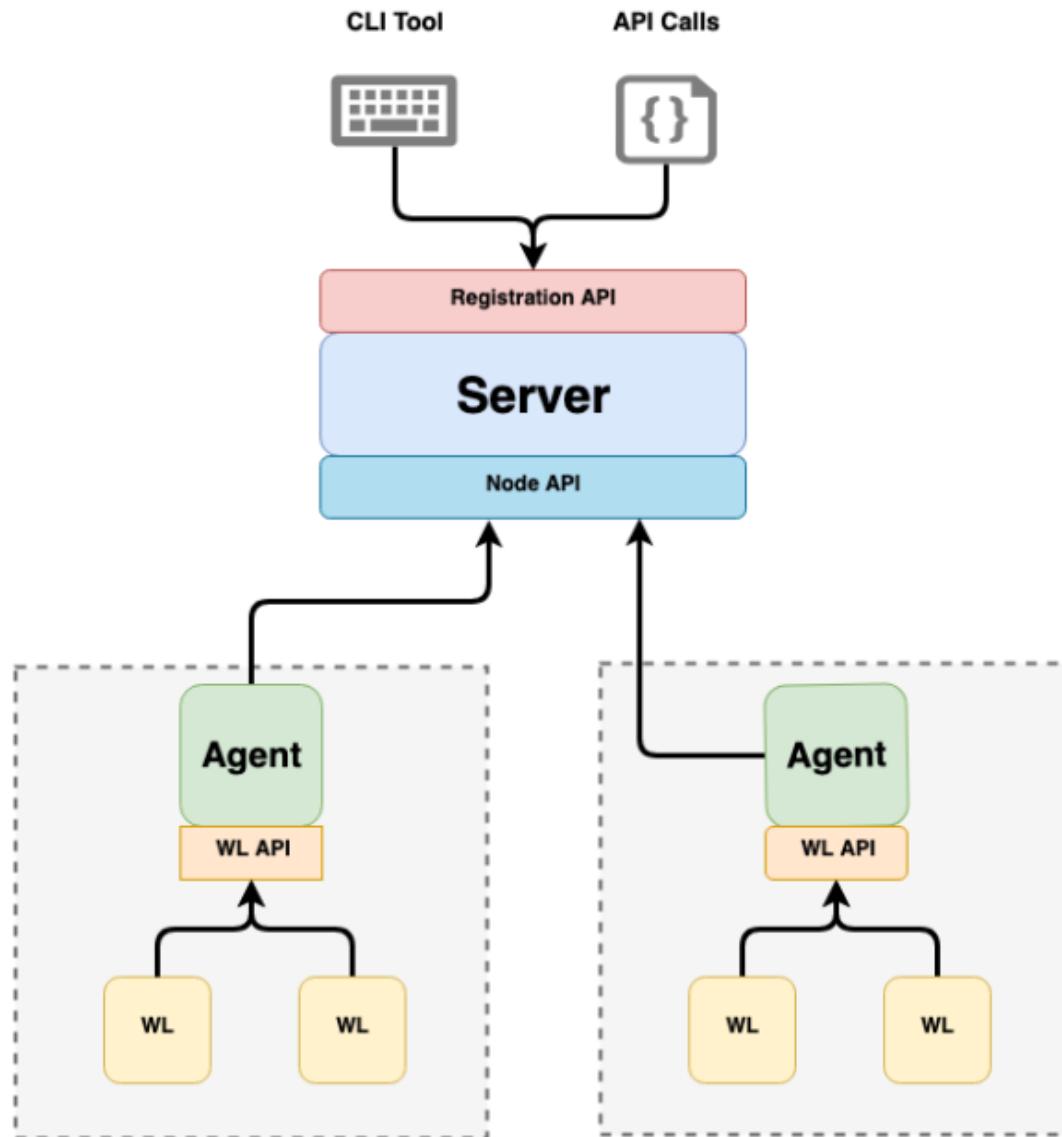


- Server 提供兩個主要的 API：
  - Registration API：讓管理者透過命令列介面（Command-Line Interface, CLI）或 API Calls 去註冊 Workload 的身分。
  - Node API：提供給 Agent，用來驗證並取得憑證。

- Agent：
  - 部署在每個節點（像是Server、VM、容器、衛星節點等）。
  - 功能是與Server溝通，透過Node API取得身分憑證，然後再發放給節點上的Workload。
  - 提供Workload API，讓同一節點上的Workload能安全地取得對應的身分。
- Workload：
  - 即實際在節點上執行的應用程式或服務。
  - 不直接與Server互動，而是透過Agent來安全取得SVID。



## SPIRE架構圖



## SPIRE架構說明

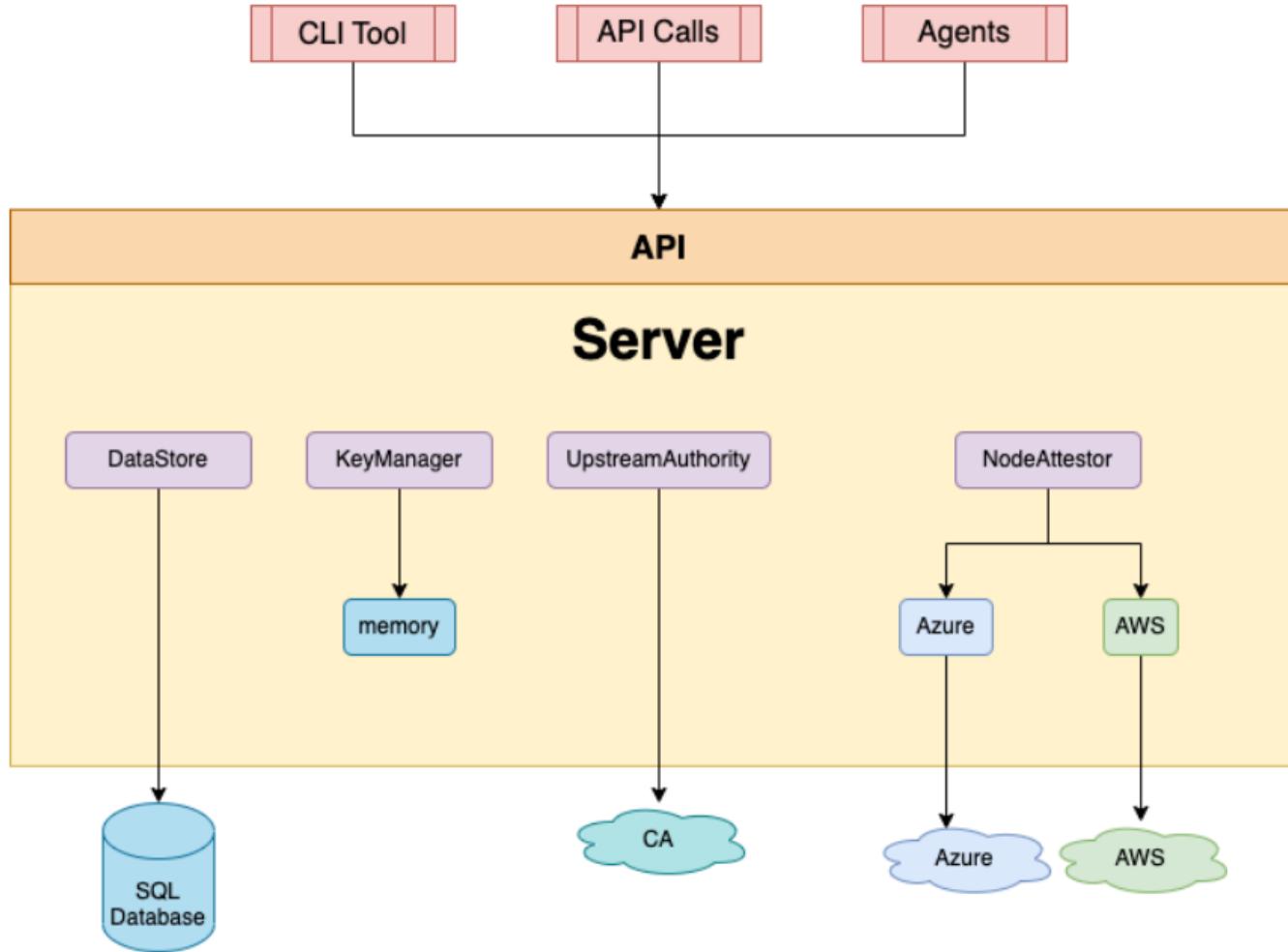
- 管理者使用CLI Tool或API Calls向Server的Registration API註冊哪些Workload該有什麼樣的身分。
- Agent啟動後會透過Node API與Server驗證，並拿到需要的憑證。
- Workload在需要安全身分時，會透過Agent的Workload API來取得對應的憑證。

## 關於SPIRE Server

- SPIRE Server負責管理和頒發其配置的SPIFFE Trust Domain的所有身分。
- Server 儲存註冊條目（ Registration Entries ），Registration Entries 用於指定選擇器（ Selectors ），這些Selectors決定了在何種條件下應頒發特定的SPIFFE ID和簽名金鑰。



## SPIRE Server



## SPIRE Server外掛 ( SPIRE Server Plugins )

- Server的行為是由一系列Plugins所決定的。SPIRE本身已內建多種Plugins，但也可以依照特定需求開發額外的Plugins，來擴充SPIRE的功能。
- 常見的Plugins類型包括：
  - 資料儲存外掛 ( DataStore Plugins )：儲存、查詢和更新各種資訊，例如：Registration Entries、已通過驗證的節點以及這些節點所對應的Selectors。SPIRE內建一個DataStore Plugins，可支援MySQL、SQLite 3或PostgreSQL資料庫來儲存必要的資料。預設情況下會使用SQLite 3。
  - 金鑰管理外掛 ( Key Manager Plugins )：這類Plugins負責控制Server如何儲存用來簽署X.509-SVID與JWT-SVID的私鑰。

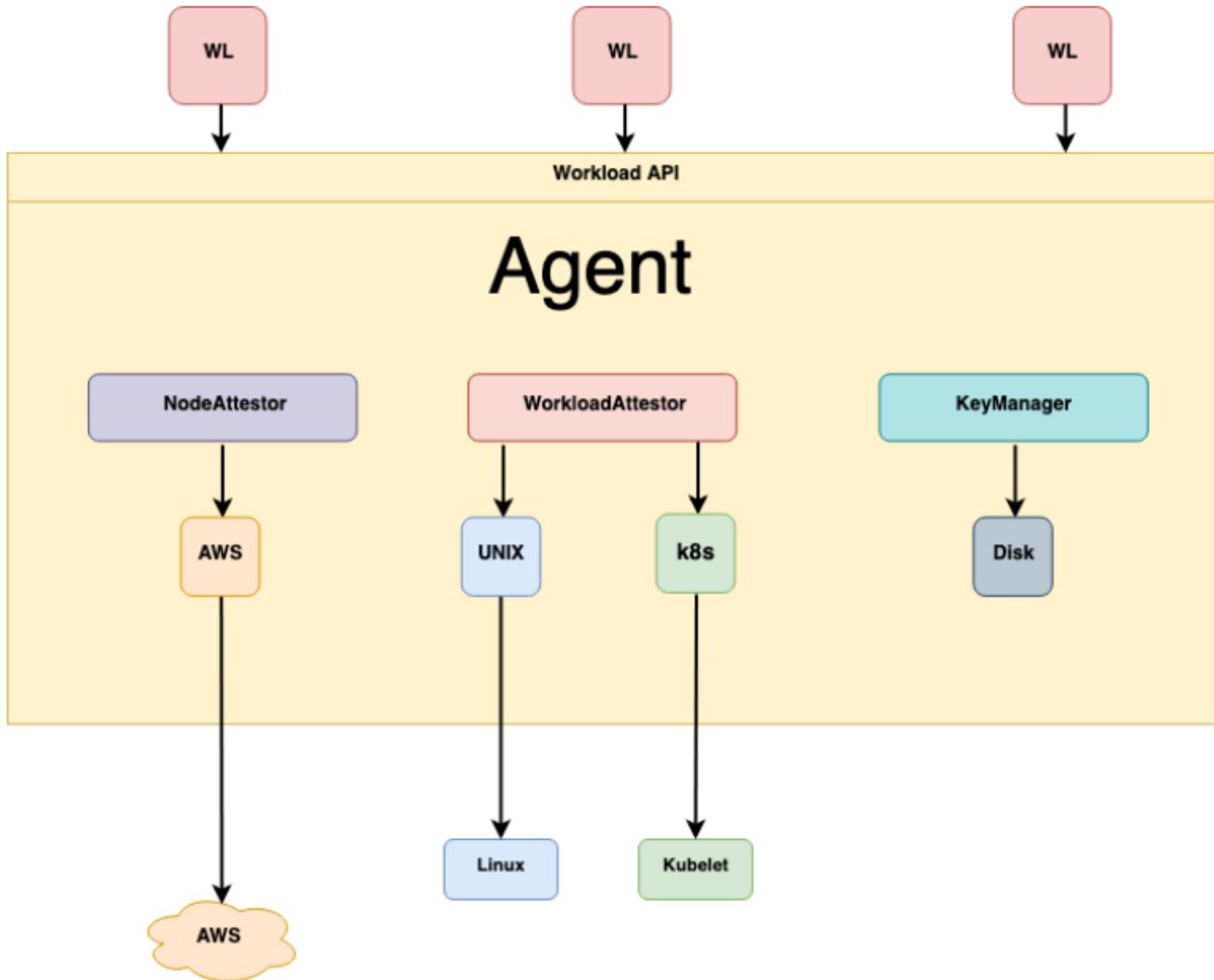
- 上游授權外掛（Upstream Authority Plugins）：預設情況下，SPIRE Server會充當自己的CA。然而，若有需要也可以透過Upstream Authority Plugins，改用來自其他PKI系統的不同CA。
- 節點驗證外掛（Node Attestor Plugins）：與Agent的Node Attestor Plugins搭配，負責驗證Agent所運行節點的身分。
- 使用者可以透過設定Plugins與其他各種組態參數，來自訂Server的行為。

## 關於SPIRE Agent

- SPIRE Agent會運行在每個執行已識別Workload的節點上。其主要職責包括：
- Agent向Server請求SVID，並快取起來，直到有Workload需要使用其SVID。
- Agent在節點上對Workload提供SPIFFE Workload API，並驗證呼叫該API的Workload身分。
- Agent將對應的SVID提供給已識別的Workload。



## SPIRE Agent



## Agent 的主要組成元件

- 節點驗證外掛 ( Node Attestor Plugins ) : 與 Server 的 Node Attestor Plugins 搭配，用來驗證 Agent 所運行節點的身分。在節點上對 Workload 提供 SPIFFE Workload API，並驗證呼叫該 API 的 Workload 身分。
- 工作負載驗證外掛 ( Workload Attestor Plugins ) : 透過向節點作業系統查詢 Process 資訊，並與使用者在註冊 Workload 屬性時提供給 Server 的 Selectors 進行比對，來驗證節點上 Workload Process 的身分。
- 金鑰管理外掛 ( Key Manager Plugins ) : Agent 使用 Key Manager Plugins 來產生與管理私鑰，並將這些私鑰用於簽發給 Workload 的 X.509-SVID 。

## 自訂Server與Agent外掛

- 使用者可以為特定平台與架構建立自訂的Server Plugins與Agent Plugins，以補足SPIRE尚未內建支援的部分。
- 例如：
  - 使用者可以為某些未列入節點驗證（Node Attestation）的架構，建立專屬的Server與Agent的Node Attestor Plugins。
  - 使用者也可以建立自訂的Key Manager Plugins，用來處理SPIRE目前尚未支援的私鑰管理方式。
- 由於SPIRE會在執行階段載入自訂Plugins，因此不需要重新編譯SPIRE就能啟用這些Plugins。

## 工作負載註冊 ( Workload Registration )

- 為了讓SPIRE能識別某個Workload，必須透過Registration Entries，在SPIRE Server上註冊該Workload。
- Workload Registration的目的，是告訴SPIRE如何識別這個Workload，以及應該分配給它哪一個SPiffe ID。
- Registration Entries會將一個身分（以SPiffe ID表示）對應到一組稱為Selectors的屬性。Workload必須具備這些屬性，才能被簽發對應的身分。
- 在Workload Attestation的過程中，Agent會利用這些Selectors的值來驗證Workload的身分。

## 節點驗證 ( Node Attestation )

- SPIRE 規定每個 Agent 在首次連線到 Server 時，必須進行自我身分驗證與確認，這個過程稱為 Node Attestation。
- 在 Node Attestation 過程中，Agent 與 Server 會共同驗證 Agent 所執行節點的身分，並透過 Node Attestor Plugins 的機制來完成這件事。所有 Node Attestor 都會檢查節點及其環境中只有該節點才擁有的特定資訊，以此來證明節點的真實身分。
- 成功完成 Node Attestation 後，Agent 會獲得一個唯一的 SPIFFE ID。這個 Agent 的 SPIFFE ID 之後會作為其所管理 Workload 的「父身分」（父 SPIFFE ID）。

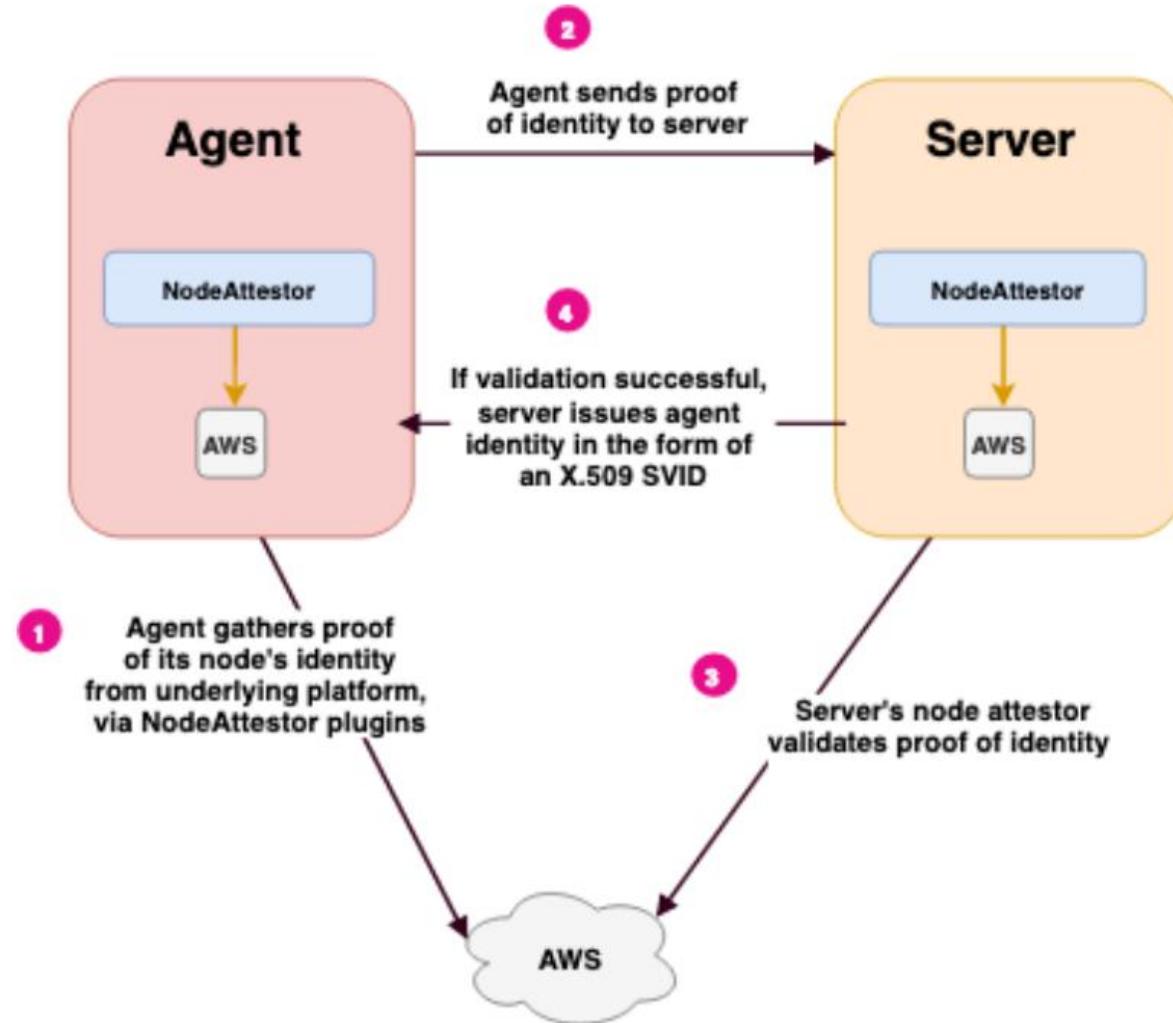
- Node Attestors 會回傳一組可選的 Selectors 給 Server，用來識別特定的機器（例如：Amazon Instance ID）。這些由 Node Attestors 提供的 Selectors，會成為與該 Agent 節點的 SPIFFE ID 所關聯的一組 Selectors。
- 在進行 Node Attestation 時，Selectors 並非必須，除非你需要將 Workload 對應到多個節點。

- 節點身分驗證的證明範例包括：
  - 由雲端平台提供給節點的身分文件（例如：AWS Instance Identity Document）。
  - 驗證儲存在節點上的硬體安全模組（Hardware Security Module, HSM）或可信平台模組（Trusted Platform Module, TPM）中的私鑰。
  - 在安裝Agent時，透過Join Token進行的人工驗證。
  - 由多節點軟體系統在安裝至節點時配置的識別憑證（例如：Kubernetes Service Account Token）
  - 其他機器身分的證明（例如：已部署的Server憑證）



## 節點驗證（Node Attestation）步驟

- 在這個範例中，底層平台是 AWS：



## 節點驗證（Node Attestation）步驟

1. Agent的AWS Node Attestor Plugins會向AWS查詢節點身分的證明，並將取得的資訊提供給Agent。
2. Agent將這份身分證明傳送給Server，而Server再將這些資料交給自己的AWS Node Attestor。
3. Server的AWS Node Attestor Plugins會使用步驟2取得的資訊，獨立驗證這份身分證明或透過呼叫AWS API來完成身分驗證。驗證完成後，Agent的AWS Node Attestor會為Agent建立一個SPIFFE ID，並將SPIFFE ID與發現到的任何Selectors一併回傳給Server。
4. Server隨後會回傳一個SVID給該Agent節點。

## 節點驗證外掛 ( Node Attestor Plugins ) :

- Agent與Server都會透過各自的Node Attestor Plugins來檢查底層平台。
- SPIRE支援在多種環境中進行節點身分驗證，包括：
  - AWS的EC2實例（使用EC2 Instance Identity Document）
  - Microsoft Azure的虛擬機（使用Azure Managed Service Identities）
  - Google Cloud Platform的GCE實例（使用GCE Instance Identity Tokens）
  - 屬於Kubernetes叢集的節點（使用Kubernetes Service Account Tokens）

- 若平台本身無法直接辨識節點，SPIRE也提供其他Node Attestation方式，例如：
  - 使用Server產生的Join Token：
    - Join Token是SPIRE Server與SPIRE Agent之間共享的預先金鑰。Server安裝後可以產生這些Token，Agent在啟動時可用來驗證自身。為了避免被濫用，Join Token在使用後會立即失效。
  - 使用現有的X.509憑證。

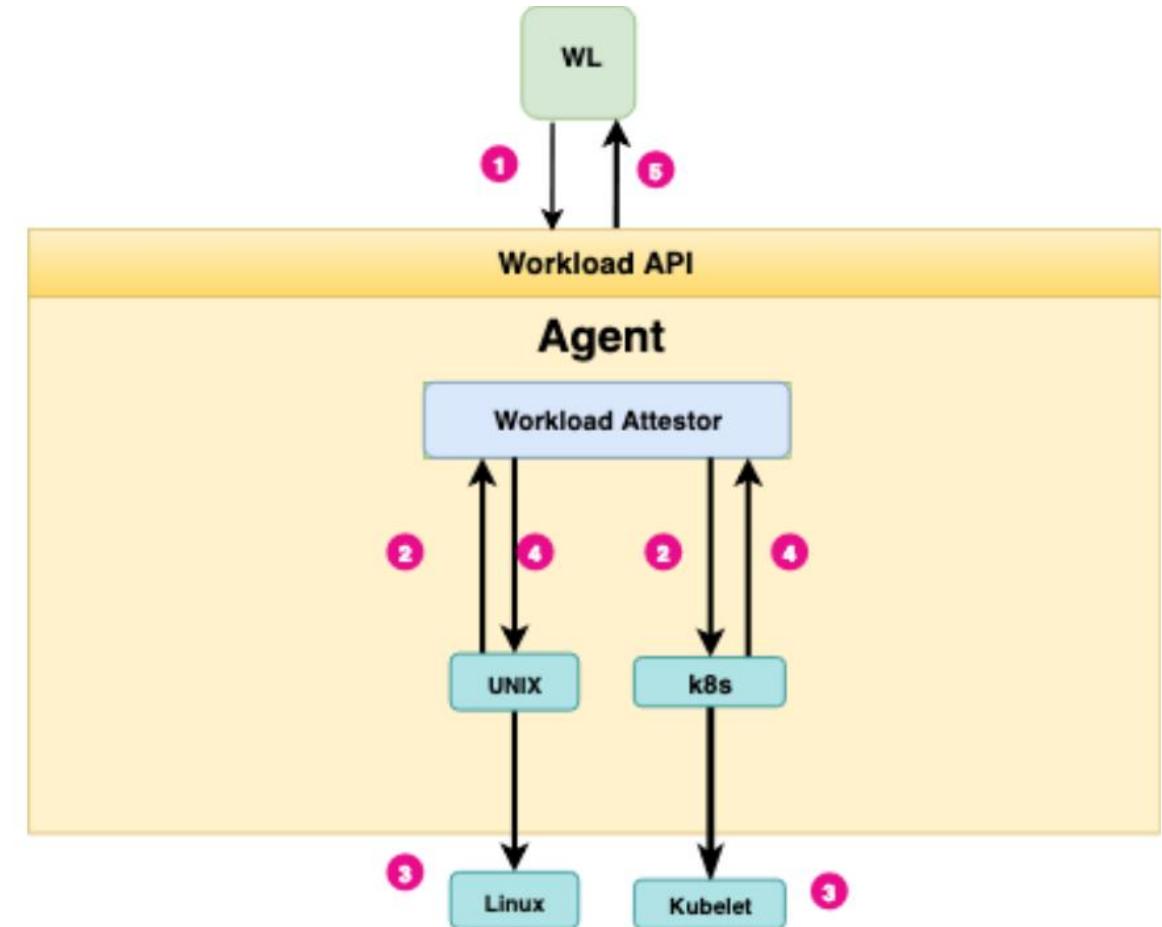
## 工作負載驗證 ( Workload Attestation )

- Workload Attestation要解決的核心問題是：「這個程序是誰？」。
- Agent會透過查詢本地可用的權威來源（例如：節點的作業系統核心），來判斷呼叫Workload API的Process屬性，並據此識別該Workload。
- 接著，這些屬性會與你在註冊Workload時，透過Selectors提供給Server的資訊進行比對。

- 這類資訊可能包括：
  - 作業系統層級的排程方式：在類Unix系統中，可能是透過使用者ID ( UID ) 、群組ID ( GID ) 、檔案系統路徑等。
  - 由容器編排系統（例如：Kubernetes）所進行的排程方式：在這種情況下，Workload可能會透過其所使用的Kubernetes Service Account或Namespace來描述。
- 雖然Agent與Server都會參與Node Attestation，但在Workload Attestation中只有Agent會參與其中。



## 工作負載驗證（Workload Attestation）的步驟



## 工作負載驗證（Workload Attestation）流程

1. Workload透過Workload API請求一個SVID。在Unix系統中，這會透過Unix Domain Socket提供。
2. Agent會檢查節點的核心，以識別呼叫者的Process ID。接著，它會呼叫已設定的Workload Attestor Plugins，並將該Workload的Process ID傳給Workload Attestor Plugins。
3. Workload Attestors使用Process ID來發現有關Workload的其他信息，並根據需要查詢鄰近的平台特定元件。通常，這些元件也與Agent位於同一節點上。
4. Workload Attestors會將收集到的資訊，以Selectors的形式回傳給Agent。
5. Agent會將取得的Selectors與Registration Entries進行比對，以判斷Workload的身份，並將正確的快取SVID回傳給該Workload。

## SPIRE如何為Workload簽發SVID

- 從Agent在節點上啟動，到同一節點上的Workload取得一份有效的身分（X.509 SVID）為止。
  - 需要注意的是：若使用的是JWT格式的SVID，處理方式會有所不同。在這個簡化的示範中，工作負載運行於AWS EC2上。流程如下：
1. SPIRE Server啟動。
  2. 若使用者未設定Upstream Authority Plugins，Server會產生一張自簽憑證（Self-Signed Certificate），由Server自己的私鑰進行簽署。之後，Server會使用這張憑證，為屬於該Server Trust Domain內的所有Workload簽發SVID。

3. 如果是第一次啟動，Server會自動產生一個Trust Bundle，並將其內容儲存在使用者於Data Store Plugins中指定的SQL資料庫內。
4. Server啟用Registration API，讓使用者可以註冊Workload。
5. SPIRE Agent在執行Workload的節點上啟動。
6. Agent會執行Node Attestation，向Server證明它所運行節點的身份。例如：當運行在AWS EC2 實例上時，通常會透過提供AWS Instance Identity Document給Server來完成Node Attestation。
7. Agent會透過TLS連線，將這份身分證明提交給Server，而這條連線的驗證則是依靠Agent啟動時設定的Bootstrap Bundle。

8. Server會呼叫AWS API來驗證這份身分證明。
9. AWS確認該文件有效。
10. Server會執行額外的驗證步驟，以確認Agent節點的更多屬性，並相應地更新其Registration Entries。例如：如果節點是透過AWS Instance Identity Document (IID) 驗證的，Node Attestor Plugins會再呼叫AWS API，以取得更多資訊，來建立額外的一組Selectors，例如自動擴展群組（Auto Scale Group）或實例標籤（Instance Tag）等資訊。
11. Server會簽發一個SVID給Agent，用來代表該Agent自身的身分。
12. Agent使用自己的SVID作為TLS用戶端憑證，與Server建立連線，並向Server取得它被授權的Registration Entries。

13. Server 會透過 Agent 的 SVID 驗證 Agent 的身分。接著，Agent 也會完成雙向傳輸層安全標準（ mutual Transport Layer Security, mTLS ）握手，並利用 Bootstrap Bundle 驗證 Server 的身分。
14. Server 隨後會從資料庫中取出所有授權的 Registration Entries，並傳送給 Agent。
15. Agent 接著會將 Workload 的 CSR 傳送給 Server。Server 會對這些請求進行簽署，並將簽發完成的 Workload SVID 回傳給 Agent。Agent 則會將這些 SVID 存放在快取中。
16. 完成所有啟動程序後，Agent 開始在 Workload API Socket 上進行監聽。
17. 某個 Workload 呼叫 Workload API，請求一份 SVID。
18. Agent 會啟動 Workload Attestation 程序，呼叫其 Workload Attestors，並將該 Workload 的 Process ID 提供給它們。

19. Workload Attestor 會透過 Kernel 與 User space 的呼叫，來收集關於該 Workload 的更多資訊。
20. Workload Attestors 會將收集到的資訊，以 Selectors 的形式回傳給 Agent。
21. Agent 會將取得的 Selectors 與 Registration Entries 進行比對，以判斷該 Workload 的身分，並回傳正確的 SVID ( 已存在快取中 ) 。

## 授權的註冊條目 ( Authorized Registration Entries )

- Server 只會將 Authorized Registration Entries 傳送給 Agent 。為了取得這些 Authorized Registration Entries , Server 會執行以下步驟：
  1. 查詢資料庫中，Workload的父SPIFFE ID為該Agent的SPIFFE ID的Registration Entries 。
  2. 查詢資料庫，取得與該Agent關聯的額外屬性 ( Selectors ) 。
  3. 查詢資料庫中，凡是宣告至少符合其中一個Selectors的Registration Entries 。
  4. 遍迴查詢資料庫中，凡是將前面取得的Entries列為「( Workload 的 ) 父 SPIFFE ID 的 Registration Entries 」（也就是一路往下找到所有子項目）。
- Server 會將最終取得的這些Authorized Registration Entries 傳送給 Agent 。



# Outline

## Abbreviations

1. Introduction
2. SPIFFE
3. SPIRE
4. SPIRE環境建置



## 系統環境與參考資料

- 系統版本：ubuntu 22.04 LTS
- Docker版本：28.3.3, build 980b856
- 參考資料：
  - <https://spiffe.io/docs/latest/try/getting-started-k8s/>
  - <https://spiffe.io/docs/latest/microservices/envoy-x509/readme/>



## 安裝SPIFFE

- 安裝Ubuntu官方套件庫 (APT Repository) 中的docker.io套件：  
`$ sudo apt install docker.io`
- 安裝ca-certificates ( HTTPS憑證 ) 、curl ( 下載工具 ) 與gnupg ( GNU Privacy Guard )：  
`$ sudo apt-get install -y ca-certificates curl gnupg`
- 建立一個/etc/apt/keyrings目錄，並設定權限0755，用來存放apt repository的金鑰檔案：  
`$ sudo install -m 0755 -d /etc/apt/keyrings`
- 從Docker官方下載GPG公鑰，轉換成apt可用的二進位格式，並存放到指定位置：  
`$ curl -fsSL https://download.docker.com/linux/ubuntu/gpg | sudo gpg --dearmor -o /etc/apt/keyrings/docker.gpg`



## 安裝SPIFFE

- 安裝Ubuntu官方套件庫 (APT Repository) 中的docker.io套件：