

Kubernetes Operatori

Danijel Radaković

1 Uvod

- Kubernetes omogućava upravljanje nativnih resursa (`Pod`, `Deployment`, `ConfigMap` itd.).
- Međutim, Kubernetes se može proširiti da upravlja novim tipovima resurasa.
- Postoje 2 načina kako se može proširiti Kubernetes da upravlja novim tipovima resurasa:
 - ▶ Korišćenjem **Custom Resource Definition** (CRD) i implementacijom operatora za definisane CRD-jeve.
 - ▶ Konfiguracijom Aggregation Layer-a.
- Mogućnost proširivanje je glavna prednost Kubernetes-a u odnosu na druge orkestratore. Na ovaj način možemo registrovati svoje komponente sistema kojima će upravljati Kubernetes.
- Takođe, svoje komponente sistema možete integrasiti sa alatatima i rešenjima koji su deo Kubernetes-ovog ekosistema.

- Postoje popriličan broj alata u Kubernetes-ovom ekosistemu koji se zasnivaju na ovoj proširivosti.
- Među najpoznatijima je [Crossplain](#), koji omogućava da pomoći Kubernetes-a upravljate infrastrukturom na različitim Cloud provajderima.
- Na primer, pomoći Crossplain alata možete upravljati EC2 instancom na AWS nalogu.
- Crossplain je zapravo IaC alat i predstavlja alternativu za [Terraform](#).

2 Operatori

- Svi resursi u Kubernetes klasteru se upravljaju od strane nekog operatora.

Resource

A resource is an endpoint in the [Kubernetes API](#) that stores a collection of **API objects** of a certain kind; for example, the built-in pods resource contains a collection of Pod objects.

API object

An entity in the Kubernetes system, representing the part of the state of your cluster.

- Nativni resursi se upravljanju od strane operatora (`controller-manager`) koji se nalaze u `kube-system` namespace-u.

- Operator je u suštini Pod/Deployment koji sluša na izmene stanja određenih objekata, procesira ih tako da objektne dovede u željeno stanje.
- Operator se sastoji od skupa kontrolera.

Controller

In Kubernetes, controllers are control loops that watch the state of your cluster, then make or request changes where needed. Each controller tries to move the current cluster state closer to the desired state ([doc](#)).

- Samim tim postoje Deployment kontroler, Deamonset kontroler, Ingress kontroler itd. koji su deo controller-manager-a.

- Pored nativnih, postoje *custom* resursi i kontroleri.

Custom Resource

A custom resource is an extension of the Kubernetes API that is not necessarily available in a default Kubernetes installation. It represents a customization of a particular Kubernetes installation. Custom resources let you store and retrieve structured data ([doc](#)).

Custom Controller

Custom controllers can work with any kind of resource, but they are especially effective when combined with custom resources ([doc](#)).

Operator Pattern

The Operator pattern combines custom resources and custom controllers.

- **Primer operatora:** Hoćemo da koristimo Discord za notifikacije ali da se kreiranje servera, grupa i kanala radi preko Kubernetes-a.
- Posotjala bi 3 resursa: `DiscordServer`, `DiscordGroup`, `DiscordChannel`.
- Postojla bi 3 kontrolera: `DiscordServerController`, `DiscordGroupController`, `DiscordChannelController`, koji bi bili nadležni za kreiranje, brisanje, i izmene odgovarajućih objekata.

Primeri i implementacije operatora

10 / 48

- Konkretne implementacije operatora:
 - ▶ [Prometheus Operator](#),
 - ▶ [MongoDB Operator](#),
 - ▶ [CloudNativePG](#),
 - ▶ [ostali](#) operatori koji su deo ekosistema.
- Postoje gotovi alati koji omogućavaju implementaciju operatora (koristeći operator pattern):
 - ▶ [Kubebuilder](#) (Golang),
 - ▶ [Operator SDK](#) (Java),
 - ▶ [kube-rs](#) (Rust).
 - ▶ [ostali](#).

3 Kubebuilder

- U konkretnim primerima radimo implementaciju operatora za `Dojo` aplikaciju. Alarmi aplikacije se prikazuju na Discord kanal.
- Takođe, želimo da omogućimo korisnicima dinamičko kreiranje Dojo aplikacije i njenih komponenti.
- Operator ima sledeće *custom* resurse i njihove kontrolere:
 - ▶ `Dojo`: upravlja `Deployment`-om za `Dojo` aplikaciju.
 - ▶ `DiscordServer`: upravlja Discord serverom.
 - ▶ `DiscordGroup`: upravlja Discord grupom.
 - ▶ `DiscordChannel`: upravlja Discord text kanalom.
- Implementacija operatora je dostupna [ovde](#).

Podešavanje okruženja

13 / 48

- Instalirati Go, verzije `>=1.25.6`.
- Instalirati Kubebuilder, verzije `>=4.11.0`.
- Instalirati k3d, verzije `>=5.8.3`.
- Namesiti bash completion:

```
sudo sh -c 'k3d completion bash > /etc/bash_completion.d/k3d'  
sudo sh -c 'kubebuilder completion bash > /etc/bash_completion.d/  
kubebuilder'
```

Kreiranje klastera

```
# cluster.yaml
apiVersion: k3d.io/vlalpha5
kind: Simple
metadata:
  name: local
servers: 1
```

```
k3d cluster create --config cluster.yaml
```

Kreiranje projekta

15 / 48

- Kreiranje Kubebulder projekta se radi pomoću sledeće komande:

```
kubebuilder init --domain jutsu.com --project-name dojo-operator --repo  
github.com/DanijelRadakovic/dojo-operator
```

- **--domain**: Osnova za API Group resursa. U Kubernetesu, puni naziv grupe se formira kao `<group-name>.<domain>`. Korišćenje domena u osigurava jedinstvenost unutar bilo kog klastera.
 - ▶ Primeri naziva grupa: `core.jutsu.com`, `billing.jutsu.com`.
- **--repo**: Naziv Go modula.

Kreiranje custom resursa (proširavanje API-a)

16 / 48

- Projekat je inicijalizovan i samim tim nema definisan ni jedan *custom* resurs i kontroler, pa ih je neophodno dodati.
- Želimo da definišemo `Dojo` *custom* resurs i omogućimo upravljanje preko Kuberntesesa.
- Da bi to postigli treba da:
 - kreiramo Custom Resource Definition (CRD) za `Dojo` resurs,
 - kontroler koji će upravljati `Dojo` objektima.

Custom Resource Definition (CRD)

17 / 48

- Za definisanje custom resursa koristi se Custom Resource Definition (CRD) resurs.
- To je tip resursa koji kreira RESTful resource path i OpenAPI v3.0 šemu na API Serveru koju koristi za validaciju REST zahteva.
- Samim tim mnoge funkcionalnosti koje podržava OpenAPI v3.0 podržava i CRD uz neke razlike i ograničenja ([doc](#)).

Custom Resource Definition (CRD)

- Svaki CRD mora da ima sledeće:
 - ApiVersion: Grupa i verzija kojoj resurs pripada.
 - Kind: Naziv resursa napisan u PascalCase formatu (npr. `Dojo`).
 - Scope: Određuje da li je resurs vezan za namespace ili je na nivou celog klastera.
Vrednosti su: `Namespaced` ili `Cluster`.
 - Spec: Željeno stanje resursa (ono što korisnik definiše u YAML-u).
 - Status: Trenutno stanje resursa (ono što Operator upisuje nakon posmatranja klastera).
 - Singular: Jednina naziva resursa, koristi se u kubectl komandama (npr. `dojo`).
 - Plural: Množina naziva resursa, koristi se u URL putanjama API-ja i `kubectl` listama (npr. `dojos`).

Kreiranje custom resursa (proširavanje API-a)

19 / 48

- Kubebuilder nam omogućava da na jednostavan način kreiramo CRD i kontroler.

```
kubebuilder create api --group core --version v1 --kind Dojo --resource --controller --plural dojos
```

- `--group`: Naziv grupe.
- `--version`: Verzija resursa. Konvencije i način upravljanje verzijama je definisano [ovde](#).
- `--kind`: Naziv resursa. Pun naziv resursa je `dojo.core.jutsu.com`.
- `--resource`: Generiše kod za CRD.
- `--controller`: Generiše kod za kontroler.

- Prethodna komanda izgeneriše sledeće fajlove:

```
INFO api/v1/dojo_types.go
INFO api/v1/groupversion_info.go
INFO internal/controller/suite_test.go
INFO internal/controller/dojo_controller.go
INFO internal/controller/dojo_controller_test.go
```

- Od posebnog interesa su nam sledeći fajlovi:
 - ▶ `api/v1/dojo_types.go` - koristi se za konfiguraciju CRD.
 - ▶ `internal/controller/dojo_controller.go` - koristi se za implementaciju kontrolera.
 - ▶ `internal/controller/dojo_controller_test.go` - koristi se za pisanje *unit* testova za kontroler.

- Što se tiče obaveznih elemenata CRD-a, Kubebuilder je već dosta stvari uradio sa nas: `ApiVersion`, `Kind`, `Scope`, `Singular`, `Plural`.
- Od nas se očekuje da definišemo `Spec` i `Status` podresurse, s obzirom na to da su specifični za svaki resurs pojedinačno.
- Oni se definišu pomoću `DojoSpec` i `DojoStatus` struktura koje se definisane u `api/v1/dojo_types.go` fajlu.

Implementacija CRD-a

22 / 48

```
// DojoSpec defines the desired state of Dojo
type DojoSpec struct {
    // INSERT ADDITIONAL SPEC FIELDS - desired state of cluster
    // Important: Run "make" to regenerate code after modifying this file
    // The following markers will use OpenAPI v3 schema to validate the
    value
    // More info: https://book.kubebuilder.io/reference/markers/crd-validation.html

    // foo is an example field of Dojo. Edit dojo_types.go to remove/update
    // +optional
    Foo *string `json:"foo,omitempty"`
}
```

- Spec podresurom se definiše željeno stanje resursa. Recimo da treba da izgleda ovako:

```
apiVersion: core.jutsu.com/v1
kind: Dojo
metadata:
  name: tokyo-jujutsu-high
spec:
  accountId: Masamichi Yaga # Naziv korisnika koji kreira aplikaciju.
  title: Tokyo Jujutsu High # Naziv Dojo-a.
  replicas: 3 # Broj replikaca Dojo aplikacije.
  database: Postgres # Gde se čuvaju podaci: Postgres ili Mongo.
  credentialsRef: # Naziv Secret objekta koji sadrži kredencijale baze.
  name: dojo
  namespace: default
```

Implementacija CRD-a (DojoSpec)

24 / 48

```
// DojoSpec defines the desired state of Dojo
type DojoSpec struct {
    // AccountId which owns the Dojo application.
    AccountId string `json:"accountId"`
    // Title of the Dojo application.
    Title string `json:"title"`
    // Database type for the application.
    // +kubebuilder:default:=Postgres"
    Database *Database `json:"database"`
    // CredentialsRef is a reference to Secret which contains the database
    // credentials.
    // Postgres: Reference the Secret which points to the `owner` of
    // cnpg.Database.
    // Mongo: Not yet supported.
```

```
CredentialsRef corev1.SecretReference `json:"credentialsRef"`
// Replicas is number of application instances to run.
// +kubebuilder:validation:Minimum=0
// +kubebuilder:default:=1
// +optional
Replicas *int32 `json:"replicas"`
}
```

- S obzirom na to da su ovo input vrednosti, neophodno ih je validirati.
- Validaciju nam omogućavaju Kubebuilder markups.
- Obratiti pažnju da li je neki atribut strukture pokazivač ili ne.
- Kada koristiti `int` a kada `*int`, ili `string` i `*string`?

Implementacija CRD-a (DojoSpec) (iii)

26 / 48

- Ukoliko je atribut obavezan onda treba koristiti vrednosti a ne pokazivače: `int`, `string`.
- Ukoliko je atribut opcioni onda koristiti pokazivače `*int` `*string`.
- Ovim načinom izbegavate nejasnoće u vašem kodu. Na primer, ukoliko je neko atribut opcioni i tipa je `string`, ukoliko se ne prosledi vrednost, biće `""`. Ne znamo da li je vrednost nedostajuća ili je sa razlogom postavljena ta vrednost. Takođe, može da izazove neželjenje efekte kod API Servera kada se radi Server Side Apply.

Implementacija CRD-a (Enumeracije)

27 / 48

```
// +kubebuilder:validation:Enum=Postgres;Mongo
type Database string
const (
    DatabasePostgres Database = "Postgres"
    DatabaseMongo     Database = "Mongo"
)
```

```
// DojoSpec defines the desired state of Dojo
type DojoSpec struct {
    // Database type for the application.
    // +kubebuilder:default:"Postgres"
    Database *Database `json:"database"`
}
```

Implementacija CRD-a (DojoStatus)

28 / 48

```
// DojoStatus defines the observed state of Dojo.
type DojoStatus struct {
    // Standard condition types include:
    // - "Available": the resource is fully functional
    // - "Progressing": the resource is being created or updated
    // - "Degraded": the resource failed to reach or maintain its desired
state
    //
    // The status of each condition is one of True, False, or Unknown.
    // +listType=map
    // +listMapKey=type
    // +optional
    Conditions []metav1.Condition `json:"conditions,omitempty"`
}
```

Implementacija CRD-a (DojoStatus)

29 / 48

- Status resursa prestavlja trenutno stanje resursa.
- Kontroler je nadležan da upravlja ovom strukturom.
- Možete staviti sve što vam je neophodno da lakške pratite stanje objekta.
- Preporuke kako pisati Status resursa je dostupno [ovde](#)
- Jedna od generalni preporuka jeste da se koristi Conditions sa barem 3 elemenata:
 - ▶ Available: resurs je spremjan za korićenje.
 - ▶ Progressing: resurs se procesira tako do dostigne novo željeno stanje.
 - ▶ Degraded: resurs prilikom neke greške nije uspeo da dostigne željeno stanje.
- S obzirom na to da smo omogućili u Spec resursa broj replika, u Status resursa moramo da pratimo koliko je replika dostupno a na koliko replika se čega da budu dostupne (identično statusima Deployment resursa).

Implementacija CRD-a (DojoStatus)

30 / 48

```
// DojoStatus defines the observed state of Dojo.
type DojoStatus struct {
    // Conditions represent the current state of the Dojo resource.
    // +listType=map
    // +listMapKey=type
    // +optional
    Conditions []metav1.Condition `json:"conditions,omitempty"`
    // Credentials represents the Secret that is created for database
    credentials
    // +optional
    Credentials corev1.SecretReference `json:"credentials,omitempty"`
    // ReadyReplicas is the number of Pods created by the Deployment that
    have the Ready condition.
    // +optional
```

Implementacija CRD-a (DojoStatus) (ii)

31 / 48

```
ReadyReplicas int32 `json:"readyReplicas,omitempty"`
// UpdatedReplicas is the number of Pods created by the Deployment that
are running the most recent version of the Pod template.
// +optional
UpdatedReplicas int32 `json:"updatedReplicas,omitempty"`
// AvailableReplicas is the number of Pods created by the Deployment
that have been ready for at least minReadySeconds.
// +optional
AvailableReplicas int32 `json:"availableReplicas,omitempty"`
// ReadyStatus is a human-readable string representing the ratio of
ready replicas to desired replicas (e.g., "1/3").
// +optional
ReadyStatus string `json:"readyStatus,omitempty"`
}
```

- Svi atributi moraju da su opcioni jer moraju biti prazni prilikom kreiranje objekata. Kontoler kasnije upravlja statusom objekta.
- **Napomena:** Status resursa je deo API-a i mora se voditi računa o **backward** i **forward** kompatibilnošću.
- Drugi controleri (ili alati) mogu da koriste status objekat da bi pratili njegovo stanje i znali da određuju na određenim situacijama.
- Ukoliko se napravi **breakable** izmena, ostali kontroleri i alati neće raditi dobro.
- Na primer ArgoCD alat koristi **Progressing** status da prati da li se objekat i dalje procesira od strane kontrolera.

- Definisali smo `Spec` i `Status` resursa i spremni smo na osnovu toga da izgenerišemo CRD.
- Generiranje CRD-a:

```
make manifest generate
```

- Izgenerisan CRD: `config/crd/bases/core.jutsu.com_dojos.yaml`

- Implementacija kontrolera se nalaze u `internal/controller/dojo_controller.go`.
- Kao što je već napomenuto, kontoler je petlja koja čega na izmene koje su se primenile na `Dojo` objekte i procesira u skaldju sa nekom logikom.
- Ta petlja se naziva `reconcile` petlja a struktura koja implementira petlju se naziva `Reconciler`.

```
// DojoReconciler reconciles a Dojo object
type DojoReconciler struct {
    client.Client
    Scheme *runtime.Scheme
}
```

Implementacija kontolera

35 / 48

```
// (ommited kubebuilder markups for RBAC)

// Reconcile is part of the main kubernetes reconciliation loop which aims
// to
// move the current state of the cluster closer to the desired state.
// For more details, check Reconcile and its Result here:
// - https://pkg.go.dev/sigs.k8s.io/controller-runtime@v0.23.0/pkg/reconcile
func (r *DojoReconciler) Reconcile(ctx context.Context, req ctrl.Request) (ctrl.Result, error) {
    _ = logf.FromContext(ctx)
    // TODO(user): your logic here
    return ctrl.Result{}, nil
}
```

Implementacija kontolera (dummy)

36 / 48

```
func (r *DojoReconciler) Reconcile(ctx context.Context, req ctrl.Request)
(ctrl.Result, error) {
    dojo := &corev1.Dojo{}
    if err := r.Get(ctx, req.NamespacedName, dojo); err != nil {
        return ctrl.Result{}, client.IgnoreNotFound(err)
    }
    fmt.Println("Name: ", dojo.Name)
    fmt.Println("Title:", dojo.Spec.Title)
    fmt.Println("Owner:", dojo.Spec.AccountId)
    fmt.Println("Replicas:", *dojo.Spec.Replicas)
    fmt.Println("CredentialsRef:", dojo.Spec.CredentialsRef)

    return ctrl.Result{}, nil
}
```

Instalacija CRD i pokretanje operatora

37 / 48

- Imamo jednostavnu implementaciju kontolera, samim tim smo spremni da instaliramo CRD i pokrenemo operator u lokalu.
- Instalacija CRD-a:

```
make intall
```

```
$ kubectl get crds
NAME                                CREATED AT
...
clusters.postgresql.cnpg.io          2026-02-05T00:19:40Z
databases.postgresql.cnpg.io         2026-02-05T00:19:40Z
dojos.core.jutsu.com                 2026-02-24T01:16:59Z
...
```

Instalacija CRD i pokretanje operatora

38 / 48

- Pokretanje operatora:

```
make run
```

```
INFO    setup    starting manager
INFO    starting server {"name": "health probe", "addr": "[::]:8081"}
INFO    Starting EventSource {"controller": "dojo", "controllerGroup": "core.jutsu.com", "controllerKind": "Dojo", "source": "kind source: *v1.Dojo"}
INFO    Starting Controller {"controller": "dojo", "controllerGroup": "core.jutsu.com", "controllerKind": "Dojo"}
INFO    Starting workers {"controller": "dojo", "controllerGroup": "core.jutsu.com", "controllerKind": "Dojo", "worker count": 1}
```

Instalacija CRD i pokretanje operatora

39 / 48

- Instalacijom CRD-a proširili smo API Server.
- Na API Serveru je kreiran novi RESTful API endpoint:

```
/apis/core.jutsu.com/v1/namespaces/*/dojos/...
```

- Samim tim možemo preko `kubectl` alata da korstimo resurs.

Instalacija CRD i pokretanje operatora

40 / 48

```
cat <<EOF | kubectl apply -f -
apiVersion: core.jutsu.com/v1
kind: Dojo
metadata:
  name: tokyo-jujutsu-high
spec:
  accountId: Masamichi Yaga
  title: Tokyo Jujutsu High
  replicas: 3
  database: Postgres
  credentialsRef:
    name: dojo
  namespace: default
EOF
```

Instalacija CRD i pokretanje operatora

41 / 48

```
$ kubectl get dojos  
NAME          AGE  
tokyo-jujutsu-high  3m18s
```

```
INFO    Starting workers      {"controller": "dojo", "controllerGroup":  
"core.jutsu.com", "controllerKind": "Dojo", "worker count": 1}  
Name:  tokyo-jujutsu-high  
Title: Tokyo Jujutsu High  
Owner: Masamichi Yaga  
Replicas: 3  
CredentialsRef: {dojo default}
```

Instalacija CRD i pokretanje operatora

42 / 48

- Primere za testiranje operatora možemo definisati u

```
config/samples/core_v1_dojo.yaml.
```

Upravljanje **reconcile** petljom

43 / 48

napravi prvo loop koji samo ispisuje, i ne to bude veryja v0 na githubu. zatim uradi instalaciju CRD i reci koji RESTful path-ovi su kreirani. Probaj te resurse da preko kubectl i curl da pozoves

- ne sme da se radi wait() zato sto reconcile petlja ima timeout, drugi requestovi iz working queue ne mogu da se obraduju. Dovoljno sam blokirajuce akcije blokiraju, samo jos ovo treba
- S obzirom da smo definisali validaciju u CRD, ne treba opet da radimo validaciju u reconcile petrlji.

Reconciler je stateless. To ne pamti sta se desilo prošli izvršavanje i samim tim mora se napraviti da bude idempotent. U suprotnom može da bude beskonacni loop. Ima queue promena koje su se desile, i cim posotji queue treba da se napravi da bude idempotent.

Upravljanje `reconcile` petljom (ii)

U queue se cuva namespace/name i radi deduplication kako bi smanjio frekveciju promena. Na primer u jednom loop-u, promenio se shop1/shop resource 10 puta, umesto da u queue bude 10 elemenata postojace samo jedan jer ce se duplikati ukloniti. Nacin kako da se napravi da reconciler bude idempotent jeste da bude da se koristi status.

Ne bi trebao da controller dira Spec. Samo status. Subresursi za /status i /scale

Da bi smo na pravilan način implemenetirali `reconcile` petlju, moramo prvo bolje da znamo kako API Server i ostali mehanizmi funkcionišu u pozadini.

Pisanje testova

45 / 48

Pisanje testova

- Aplikacija zahteva konekciju ka bazi. Očekuje da se kredicijali nalaze u `env var` koji će se popuniti iz `Secret` objekta.
- **Problem:** kako znati koji `Secret` korisiti i šta treba da bude njegov sadržaj?
- Jedno rešenje bi bilo da kreiramo *custom* resurs `Postgres` i kontroler koji bi kreirao bazu kao `Statefulset` i `Secret` sa odgovarjućim kredencijalima.
- Međutim, ova implementacija bi bila minimalna i pitanje koliko mi moglo da posluži u produpcionim okruženjima.
- Bolja opcija je da koristimo već gotove operatore za upravljanje Postgres bazom, kao što je CloudNativePG.

Kreiranje Postgres baze

47 / 48

- Resurse koje CloudNativePG operator nudi se nalaze [ovde](#).
- Od posebnog značaja je Database resurs koji omogućava kreiranje baze unutar klustera i Secret objekta sa odgovarajućim kredencijalima.
- Sve što naj je ostalo jeste da proširimo Spec sekciju u kojoj je moguće definisati tip baze koji se koristi i naziv Secret objekta.

Nadogradnja **Spec** sekcije

dodaj kako izgleda golang kod

dodaj kako izgleda yaml primer