Univerzitet Singidunum
www.singidunum.ac.rs

Funkcionalno programiranje

Školska 2023/24 godina

Letnji semestar

Tema 7: Funktori, aplikativni funktori i monade

Sadržaj

- Slikovnica:
  - O kontekstu - tipu
  - funktori,
  - aplikativni funktori,
  - monade
- Manje slika, više koda:
  - Funktor
    - Šta je
    - Zašto
    - Kako
  - Monada
    - Šta je
    - Zašto
    - Kako
  - Aplikativ – između funktora i monade
- Da uopštimo

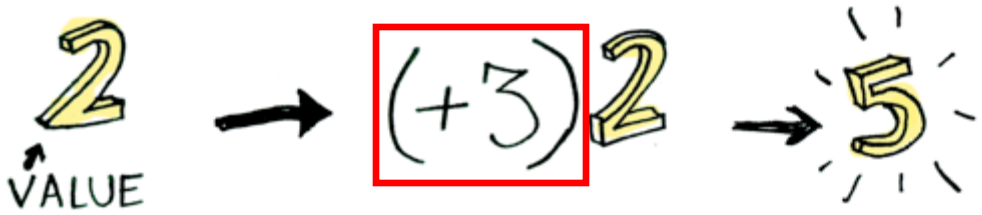
Slikovnica

O kontekstu -tipu

Vrednosti i tip

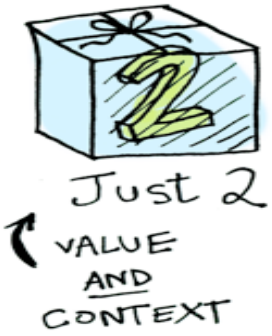
- Počinjemo sa jednostavnom vrednošću

- Znamo kako da primenimo funkciju (funkcija je: **dodaj 3**) na tu jednostavnu vrednost:



A sada kontekst -tip

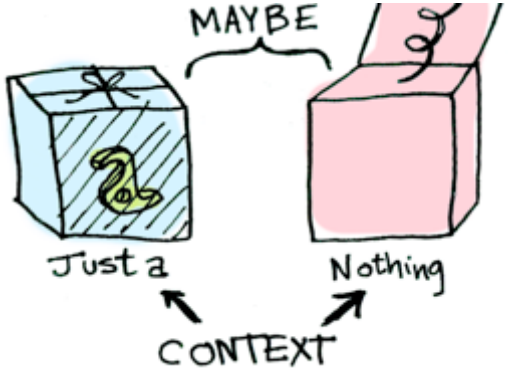
- **Svakoj vrednosti dodeljuje se tip - kontekst**. Za početak, zamislićemo da je **kontekst** "kutija" u koju se **vrednost** može staviti:



- Ako se sada primeni funkcija na tu vrednost, mogu da se dobiju **različiti rezultati** u zavisnosti od **kutije u kojoj je vrednost sadržana**.
- To je ideja na kojoj su zasnovani *funktori, aplikativi (aplikativni funktori), monade,* itd.

Tip MayBe (iz jezika Haskell)

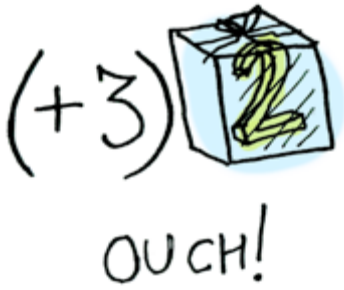
- Enkapsulira opcionu vrednost koja je ili **vrednost tipa a** (`Just a`) ili prazno (`Nothing`).
- On predstavlja kontejner (“kutiju”) u koju može da se stavi nešto.



- U jeziku JavaScript nema tipa kao što je `Maybe`, ali se on, naravno, može posebno napraviti.
- Za ilustraciju kontekstne “kutije” u JavaScript-u dobro može da posluži i tip Array.

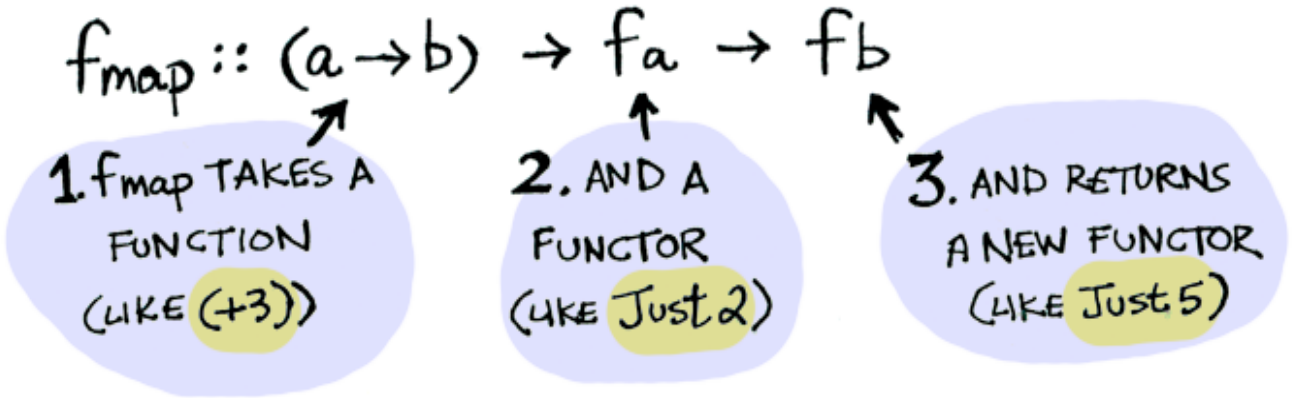
Funktor: “ kutija “ + map

- Kada su vrednosti u kontekstu ne može se na njih direktno primeniti funkcija:



- **`map`** je otvarač za kontekstnu “kutiju”. **`map`** zna kako da primeni funkcije na vrednosti koje su spakovane u “kutiju”.

Šta radi `fmap()` iz Haskell-a



+3 [2] [5]

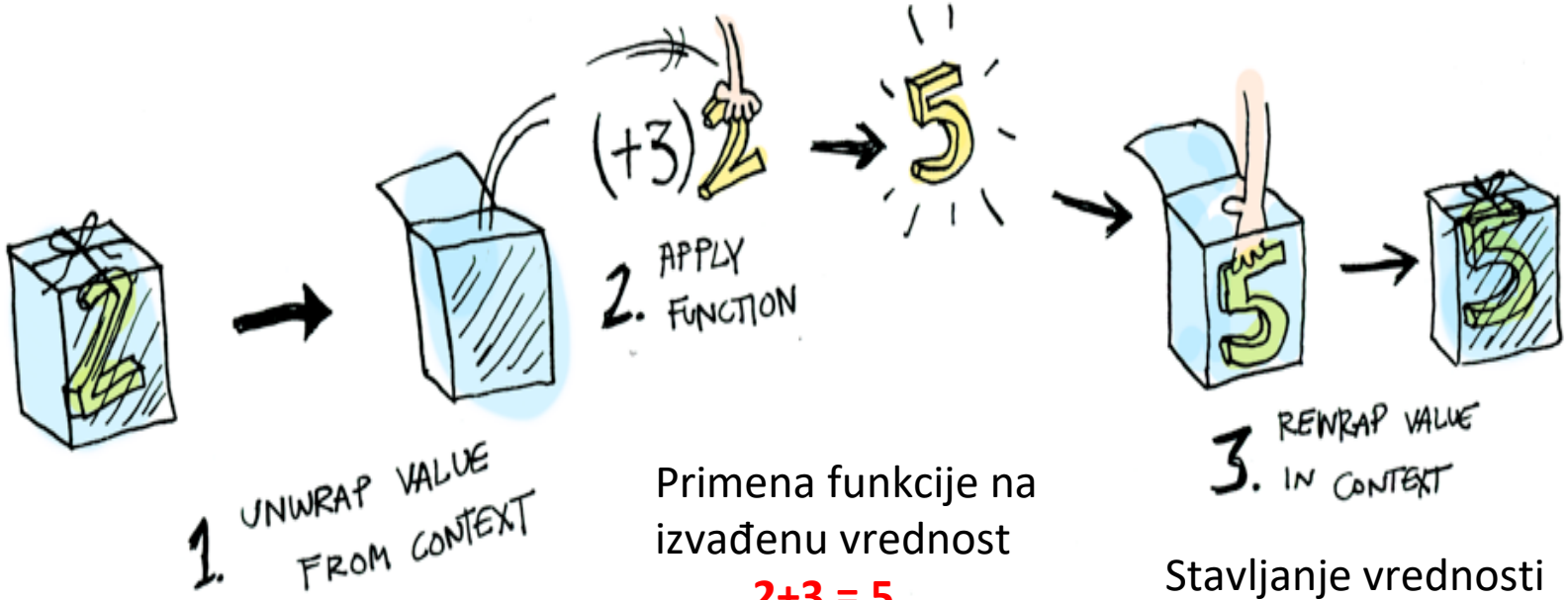
Funktor

```
class Functor f where
    fmap :: (a -> b) -> fa -> fb

fmap (+3) (Just 2)
 → Just 5
```

A šta je “magija”?

- Nema nikakve magije, dešava se ono što može:



Vađenje vrednosti iz kutije

[2] -> 2

Primena funkcije na izvađenu vrednost

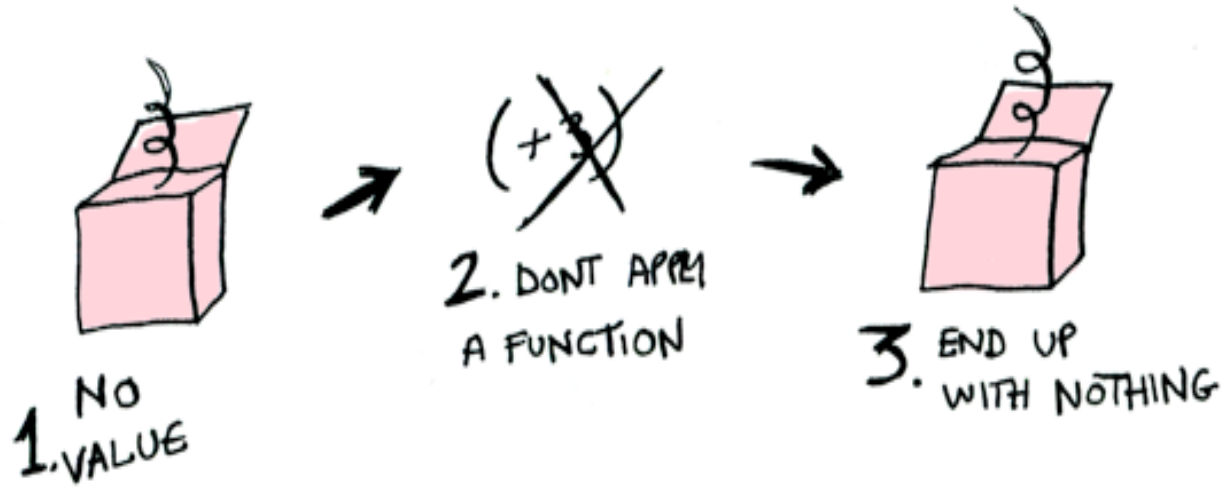
2+3 = 5

Stavljanje vrednosti u kutiju

5 -> [5]

Prazan kontejner

- Ako je **kontejner prazan**, maperska funkcija **se ne izvršava**:

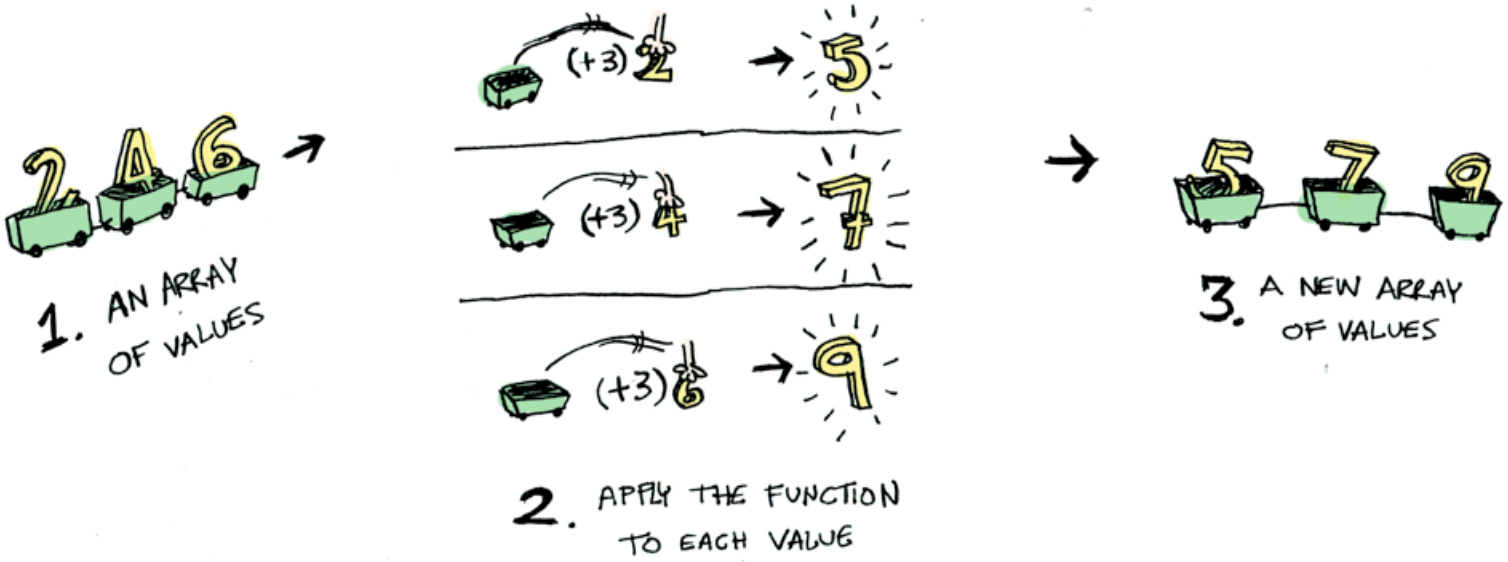


Prazan kontejner: stvarno se ne primenjuje

```
var plus3AndPrintValue = function(val) {
  var result = val + 3;
  console.log(result);
  return result;
}
const arr1 = [2]
const arr2 = []
arr1.map(plus3AndPrintValue); // '5'
arr2.map(plus3AndPrintValue); // []
```

`Array` tip

- Kada imamo Array tip sa više vrednosti, prirodno se primenjuje funkcija na svaku vrednost ulaznog niza i pravi se novi niz sa elementima koji su rezultat primene funkcije:

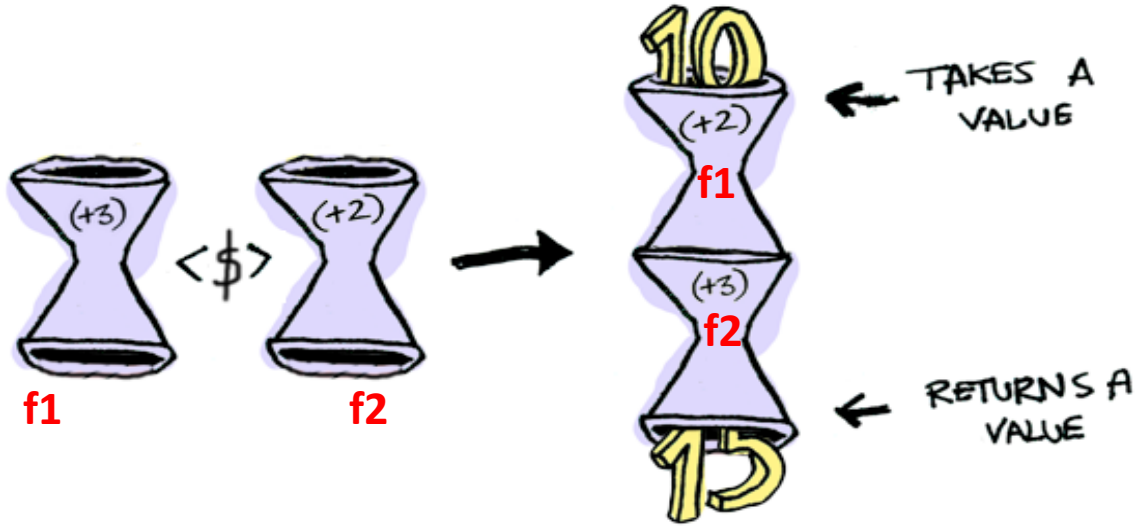


Prazan kontejner: stvarno se ne primenjuje

```
const plus3AndPrintValue = function(val) {
  var result = val + 3;
  console.log(result);
  return result;
}
const arr1 = [2, 4, 6]
arr1.map(plus3AndPrintValue); // [5, 7, 9]
const arr2 = []
arr2.map(plus3AndPrintValue); // []
```

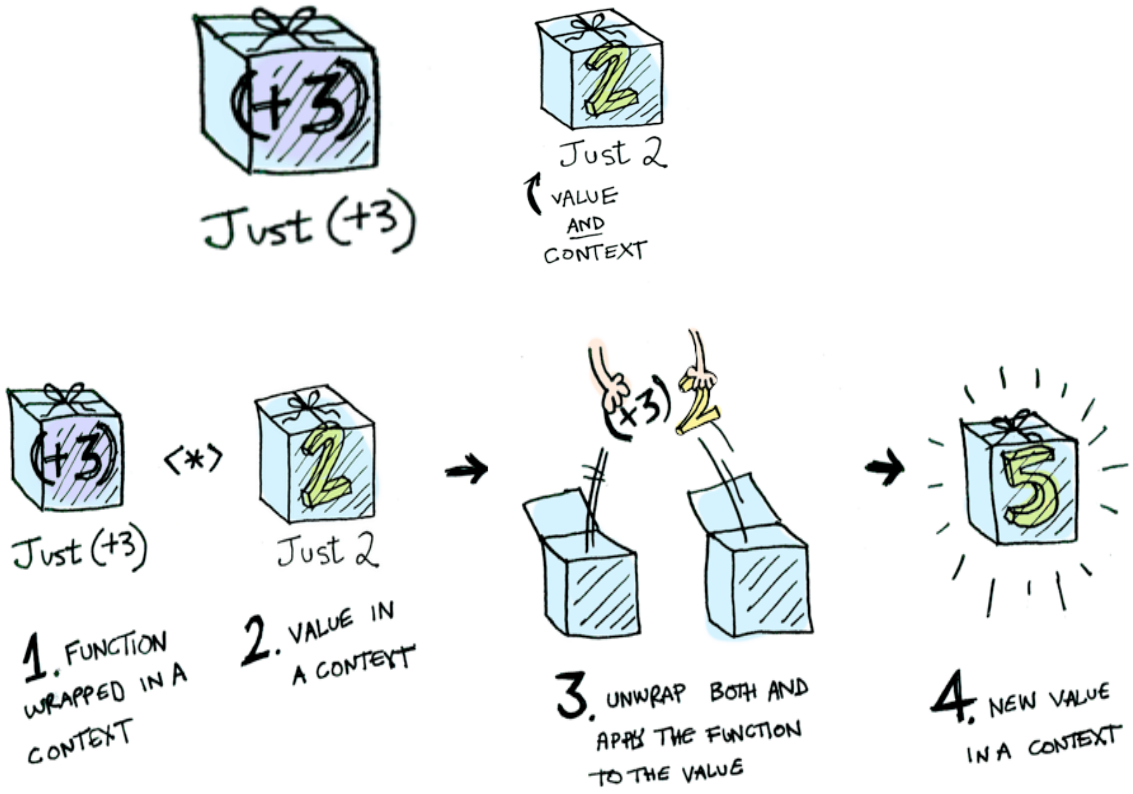
Kompozicija funktora

- Ulaz u funktor može da bude i vrednost tipa **Function** – funkcija
- Rezultat primene je prosto druga funkcija. U JavaScript-u to je ***kompozicija funkcija***.



Aplikativi (aplikativni funktori)

- Funkcija "spakovana" u kontekst, vrednost "spakovana" u kontekst



Aplikativni funktor: samo malo detalja

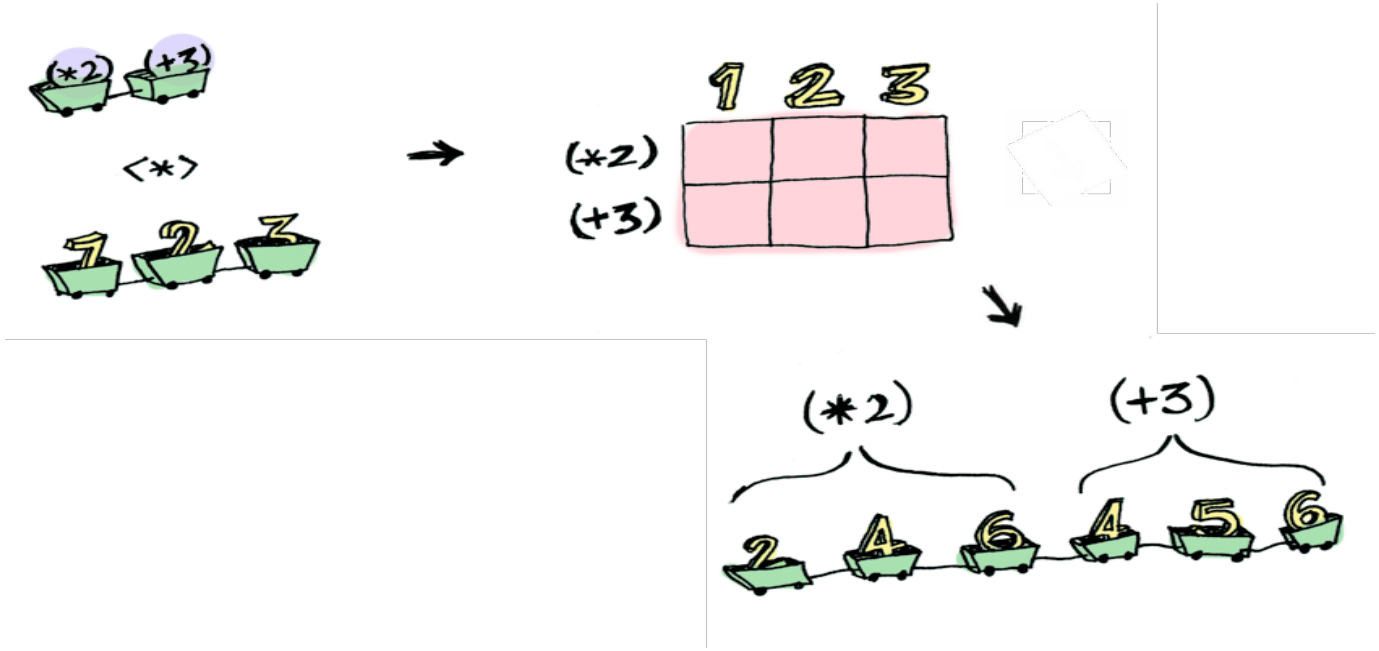
- Dakle, aplikativni funktor je, u stvari, **funktor koji radi nad fuktorom**.
  - Prima: **funktor**
  - Vraća: **funktor**
- Signatura:

```
fmap :: (a -> b) -> fa -> fb
fapl :: f (a -> b) -> f a -> f b
```

Takva stvarčica nam omogućuje da funkciju koja je, na primer, “spakovana” u niz (recimo, [f1, f2, f3]) direktno (nama to tako izgleda) primenimo na vrednost spakovanu takođe u niz (recimo, [3, 3, 5, 6, 7]).

- Nešto ovako (nije kod, samo ilustracija):
  [fn]([3])

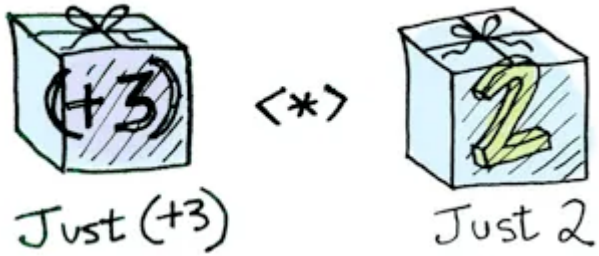
Aplikativni funktor: više “upakovanih” funkcija - kompozicija



[f1, f2] <*> [1, 2, 3] =[[f1]<*>[1], [f1]<*>[2], [f1]<*>[3], [f2]<*>[1], [f2]<*>[2], [f2]<*>[3]]

Monada$_{1/2}$

Funktor primenjuje neupakovanu funkciju na upakovanu vrednost i vraća upakovan rezultat. **Kompozicija** se direktno izvodi ako je ulaz tipa Function.

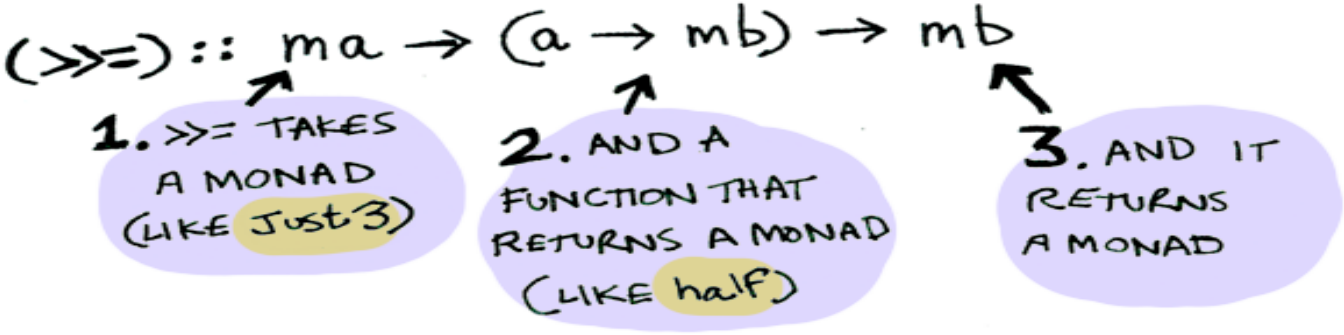


Aplikativni funktor primenjuje upakovanu funkciju na upakovanu vrednost i vraća upakovan rezultat

Monade na upakovanu vrednost primenjuju funkciju koja prima neupakovanu vrednost i vraća izlaz u upakovanom obliku, i vraćaju rezultat u upakovanom obliku. Monade imaju funkciju bind (>>=) kojom to rade.

Monada$_{2/2}$

- Monada prima dva argumenta: (1) "upakovanu" ulaznu vrednost i (2) funkciju koja kao ulaz očekuje " neupakovanu" primljenu vrednost i vraća "upakovanu" vrednost svoje primene. Monada treba da vrati "upakovanu" vrednost koja se dobija primenom primljene funkcije na „neupakovanu" primljenu vrednost.



1. Prima monadičku vrednost tipa **ma**
2. Prima funkciju koja koja prima jednostavnu vrednosti tipa **a** vraća monadičku vrednost tipa **mb**
3. Primenjuje tu funkciju na vrednost **ma** i vraća vrednost **mb**

Rezime iz slikovnice

- Funktori primenjuju "neupakovane" funkcije na „upakovane" vrednosti: moraju da "otpakuju" vrednosti i da na "otpakovane" vrednosti primene funkciju.
- Aplikativni funktori primenjuju "upakovanu" funkciju na "upakovanu" vrednost: moraju da "otpakuju" i vrednosti i funkcije i da na "otpakovane" vrednosti primene "otpakovanu" funkciju.
  - Ni funktori ni aplikative ne mogu da "raspakuju" ono što je spakovano u više "kutija" koje su jedna u drugoj.
- Monade na "upakovanu" vrednost primenjuju funkciju koja prima " neupakovanu " vrednost i vraća "upakovanu" vrednost.
  - Monade mogu da "raspakuju" ono što je spakovano u više "kutija" koje su jedna u drugoj i da to na kraju spakuju na odgovarajući način.

Manje slika, više koda: Funktori

Šta je fundamentalni problem

- U računarskim programima u suštini se radi samo jedna stvar: *neke operacije* se primenjuju na *neke vrednosti*.
- Pri tome, ima različitih vrednosti i različitih operacija i ne mogu se sve operacije primenjivati na sve vrednosti.
- Te stvari su u jeziku regulisane *sistemom tipiziranja* i *tipovima*
- Ipak, ostaju neke situacije koje ugrađeni mehanizmi jezika ne mogu da razreše (baš adekvatno), već ih je potrebno posebno rešavati na nivou aplikacije.
- Sećate se: to je rukovanje greškama
- Naravno, bilo bi dobro ako bismo imali neke instrumente koji bi nam omogućili da *neke operacije* primenjujemo na *neke vrednosti* i da, pri tome, ne strepimo od ishoda.

Prikladan primer: ne može jednostavije, a odmah problem

- Inkrementiranje vrednosti

```
const increment = v => v + 1;
const a = 5; console.log( increment(a));
// 6  - ovo je OK
// a šta ako je ovako?
console.log(increment("5"));
// 51 – Šta je sada ovo?
// ili ovako?
console.log( increment({ v: 5 }));
// [object Object]1 – A šta je tek ovo?
```

Predlog rešenja: da li je dobar?

```
const increment = v => {
  if (typeof v !== "number") {
    return NaN; // NaN ovde odgovara,
                // proverava se da li je broj
  }

  return v + 1; // ako je broj, uvećaj ga za 1
};
console.log(increment(150)); // 151
console.log(increment("5")); // NaN
console.log(increment({ v: 5 })); // NaN
```

Predlog rešenja: radi i za drugu funkciju – čini se dobar

```
const double = v => {
  if (typeof v !== "number") {
    return NaN; // NaN ovde odgovara,
                // proverava se da li je broj
  }

  return v * 2; // ako je broj, udvostruči ga
};
console.log(double(150)); // 300
console.log(double("5")); // NaN
console.log(double({ v: 5 })); // NaN
```

A zašto to nije dobro ako radi

Prva funkcija

```
const increment = v => {
  if (typeof v !== "number") {
       return NaN;
    }
  return v + 1;
};
```

Druga funkcija

```
const double = v => {
  if (typeof v !== "number") {
       return NaN;
    }
  return v * 2;
};
```

Da malo analiziramo

- U oba slučaja se manipuliše vrednošću (na nju se primenjuje operacija) i, pri tome se rade neke verifikacije:
  - Da li je tip dobar?
  - Da li je vrednost raspoloživa?
  - Da li se desila greška?
- Nisu retke situacije da vrednost nije na raspolaganju; recimo, pribaviće se iz povratnog poziva a možda i neće, zbog greške.

A kada još i razmislimo, zaključujemo:

- Mi imamo mentalni model rada sa funkcijama u kome **funkciji prosleđujemo ulazne vrednosti**.
- Te vrednosti su negde uskladištene – postoje mesta/stvari gde se one nlaze.
- Šta bi bilo da stvar obrnemo: da **funkcije prosleđujemo skladištima vrednosti**, odnosno onim mestima/stvarima što te vrednosti sadrže i da omogućimo da to "skladište" vodi računa o onome šta će sa vrednostim dalje da se dešava.
- Zašto bismo tako nešto radili?
- Zato što vrednost već i sama "zna" neke važne stvari o sebi koje utiču na ono što će se desiti kada se funkcija na nju primeni.

Rezultat je: **Funktor**

- Ovo što smo videli/zaključili je osnovna ideja programskog obrasca zvanog **`Funktor`**.
- A ta osnovna ideja je: **“skladište” za vrednosti tako da se funkcija prosleđuje “skladištu” koje zna šta da uradi sa funkcijom**.
- A šta se, uopšte, može uraditi sa funkcijom?
  - Funkcija se može primeniti na vrednost/pozvati sa svojim argumentima
- Skladište treba da ima instrument kojim će da primenjuje funkciju koja mu je prosleđena.
  - Taj instrument je opet funkcija, funkcija **`map()`** koja ume da primeni/pozove drugu funkciju.

Da vidimo na primeru: `kutijaZaBroj`

```
const kutijaZaBroj = number => ({
  primeniFunkciju: fn =>
     kutijaZaBroj(fn(number)),
     value: number,
});

kutijaZaBroj(5)
  .primeniFunkciju(v => v * 2)
  .primeniFunkciju(v => v + 1).value; // 11
```

Sada sve važne stvari mogu da budu na jednom mestu$_{1/2}$

```
const kutijaZaBroj = number => ({
  primeniFunkciju: fn => {
    if (typeof number !== "Number") {
      return kutijaZaBroj(NaN);
    }
    return kutijaZaBroj(fn(number));
  },
  value: number,
});
```

Sada sve važne stvari mogu da budu na jednom mestu 2/2

```
console.log(kutijaZaBroj(17)  // value je tipa Number
  .primeniFunkciju(v => v * 2)
  .primeniFunkciju(v => v + 1).value); // 35
console.log( kutijaZaBroj("17") // value nije tipa
                                // Number
  .primeniFunkciju(v => v * 2)
  .primeniFunkciju(v => v + 1).value); // NaN
```

A `fn` nije ništa drugo nego `map()`

```
const kutijaZaBroj = number => ({
  map: fn => {
    if (typeof number !== "number") {
      return kutijaZaBroj(NaN);
    }
    return kutijaZaBroj(fn(number));
  },
  value: number,
});
```

Upotrebljiva primena: provera tipa pre mapiranja

```
const TypeBox = (predicate, defaultValue) =>
            {const TypePredicate = value =>
               ( {map: fn => predicate(value) ?
                  TypePredicate(fn(value))
                  :
                  TypePredicate(defaultValue),
                   value,}
               );
                 return TypePredicate;
            };
```

Provera tipa: Number

```
const kutijaZaBroj = TypeBox(value =>
 typeof value !== "Number", NaN);
console.log(kutijaZaBroj(5)
  .map(v => v * 2)
  .map(v => v + 1).value); // 11
console.log(kutijaZaBroj({ v: 5 })
  .map(v => v * 2)
  .map(v => v + 1).value); // NaN
```

Provera tipa: String

```
const StringKutija = TypeBox(value =>
  typeof value !== "String", null);
StringKutija("world")
   .map(v => "Hello " + v)
   .map(v => "**" + v + "**").value;
// '**Hello, world**'
StringKutija({ v: 5 })
   .map(v => "Hello " + v)
   .map(v => "**" + v + "**").value;
// null
```

`map()` omogućuje i kompoziciju funkcija

```
const double = v => v * 2;
const increment = v => v + 1;
// Poziv
kutijaZaBroj(5)
   .map(double)
   .map(increment).value; // izlaz:11
// daje isti rezultat kao:
kutijaZaBroj(5).map(v =>
  increment(double(v))).value; // izlaz: 11
```

`map()` ne sme da proizvodi bočne efekte

- Ima još jedna stvar koju `map()` treba da zadovolji: ***ne sme da pravi bočne efekte***.
- Sme samo da menja *vrednosti* u funktoru i ništa drugo.
- Kako se to može proveriti?
  - Proverom koja pokazuje da mapiranje funkcije identiteta (`v => v`) vraća isti funktor kao što je bio ulazni t.j. mora da važi:

```
kutijaZaBroj(5).map(v => v)) // {value: 5, map: ƒ}
kutijaZaBroj(5)              // {value: 5, map: ƒ}
```

Šta je funktor: rezime

- Funktor (`functor`) je ***tip* nad kojim se može mapirati**.
- U javaScript-u funktor je običan objekat (ili klasni tip u drugim jezicima) koji implementira funkciju `map` koja se izvršava nad **svakom vrednošću u objektu** da bi ***proizvela novi objekat.***
- Možemo ga tumačiti kao **kontejner** sa `map` operacijom koja se može koristiti da bi se mapiranje primenilo na vrednosti u kontejneru.
- U JavaScript-u, `functor` tipovi su obično predstavljeni kao objekti sa `.map()` metodom koja mapira ulaze na izlaze, n.pr., `Array.prototype.map()`.

Zašto funktor

- Funktor apstrahuje detalje implementacije strukture podataka koji se mapiraju - programer ne mora da zna da li je potrebno iteriranje, niti na koji način se ono realizuje ako jeste potrebno.
- Funktor sakriva tip podataka koje sadrži – programer na isti način vidi nizove brojeva i nizove stringova, jedino mora da prosledi u `map()` funkciju primenljivu na taj tip podatka.
- Mapiranje nad praznim funktorom za programera je isto kao mapiranje i nad nepraznim funktorom.
- Funktori omogućuju jednostavno komponovanje funkcija nad podacima koji su u funktoru.

Kako funktor: Kontejner

- Kontejner u sebi čuva vrednost:

```
const Container = function(val) {
  this.value = val;
}
// Poziva se sa new da se kreira novi objekat
let testValue = new Container(3)
let testObj = new Container({a:1})
let testArray = new Container([1,2])
console.log(testValue) // Container{value:3}
console.log(testObj) // Container{value:{a:1}}
console.log(testArray) //Container{value:[1,2]}
```

Kako funktor: tačkasti kontejner

```
/* Container prototipu dodaje se metoda of() da
  se izbegne new pri pozivanju, u stvari omogućuje
  se smeštanje vrednosti u kontejner */
Container.of = function(value) {
    return new Container(value);
}
// Pozivi su sada
testValue = Container.of(3)// Container{value:3}
testObj = Container.of({a:1})
// Container {value:{a:1}}
testArray = Container.of([1,2])
// Container {value:[1,2]}
```

Kako funktor: ugnježđeni kontejneri

- `Container` može da sadrži ugnježđene `Container`-e:

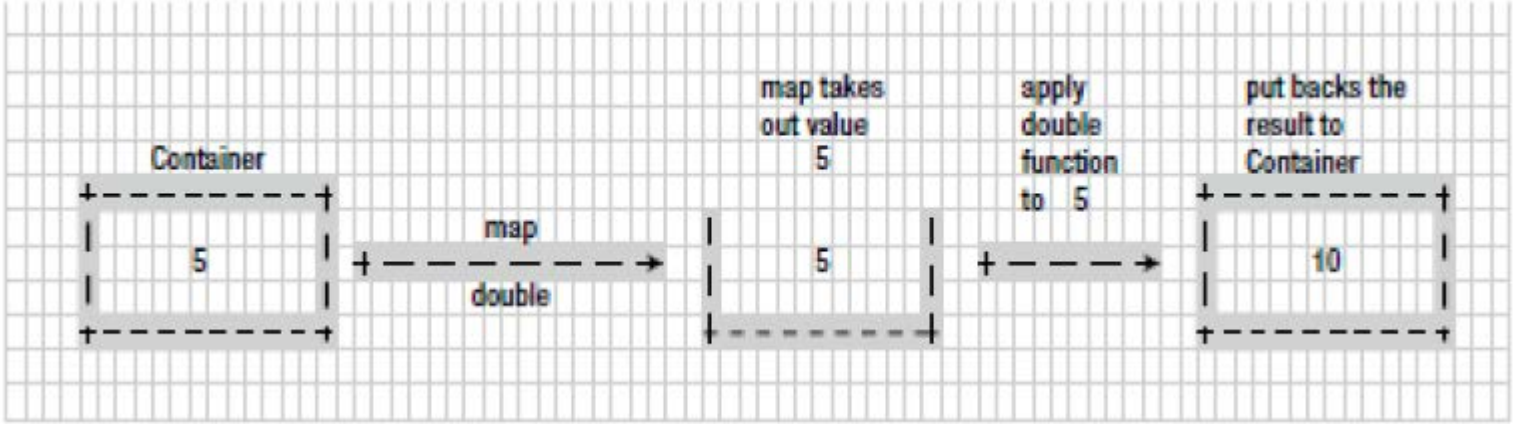
```
Container.of(Container.of(3));
```

- Vratiće:

```
Container {
    value: Container {
    value: 3 }
    }
```

Kako funktor: Kontejner i funkcija `map`

- Funkcija `map` omogućuje da se pozove bilo koja funkcija nad vrednošću koja se trenutno nalazi u kontejneru.
- Funkcija `map` uzima vrednost iz kontejnera (Container), *primenjuje prosleđenu funkciju* na **tu vrednost** i **rezultat vraća** u kontejner(Container).



Metoda `map()` prototipa `Container`

- Kada se kontejneru doda funkcija `map()` on postaje funktor

```
Container.prototype.map = function(fn){ /*
  ono što kontejner čini fuktorom */
  return Container.of(fn(this.value));
}
let double = (x) => x + x;
Container.of(3).map(double)
/* Vraća: Container { value: 6 } */
```

Container prototip omogućuje lako ulančavanje

```
let double = (x) => x + x;
Container.of(3).map(double)  // Vraća:
                             //  Container { value: 6 }
// Omogućuje lako ulančavanje
Container.of(3).map(double) // → 24
               .map(double) // → 12
               .map(double) // → 6
```

Ugovorni dizajn

- ***Ugovorni dizajn*** **(Design by contract** (**DbC**), **contract programming, programming by contract** i **design-by-contract programming)** je pristup dizajnu softvera.
- Taj pristup nalaže da se definiše formalna, precizna specifikacija interfejsa koja se može verifikovati, što proširuje običnu definiciju apstraktnog tipa *preduslovima*, *postuslovima* i *invarijantama*.
- Te specifikacije se nazivaju ***ugovori*** ("contracts“).

Funktor i ugovorni dizajn

- Funktor je običan objekat (ili klasni tip u drugim jezicima) koji implementira funkciju `map` koja se izvršava nad svakom **vrednošću u objektu** da bi proizvela **novi objekat**.
- Funktor je objekat koji implementira **`map`** ugovor!
- Funktor je koncept koji zahteva Ugovor, a Ugovor je implementacija funkcije **`map`**!
- Različiti načini implementacije `map` funkcije daju različite tipove funktora.

Različite `map()` implementacije => različiti funktori (primeri)

- Funktor `Maybe`
  - Da bi se napravila robusna funkcija nije dovoljno proveriti samo tip ulazne vrednosti. Potrebno je, pre svega, proveriti da li ulazna vrednost uopšte postoji. To se može uraditi pomoću funktora `Maybe`.
- Funktor `Eather`
  - Ako funkcija mapirana na funktor generiše grešku, funktor bi trebao da bude u stanja da sa tom greškom nekako rukuje. To se može uraditi pomoću funktora `Eather`.

Specifična `map()` implementacija => funktor `Maybe`

- Primer: Funkcija pristupa svojstvu

```
const street = user.address.street;
```

- Da ne bi bilo neprijatnih iznenađenja u situacijama kada vrednosti za `user` ili `user.address` nisu postavljene, treba dodati uslov za proveru:

```
const street = user && user.address &&
user.address.street;
```

- Za to se može iskoristit obrazac functor.
- Ideja je da se kreira kontejner koji će **u nekim situacijama skladištiti vrednost**, a u **nekim će biti prazan**.

Funktor Maybe je jednostavan

```
const isNothing = value => value === null
|| typeof value === "undefined";

const Maybe = value => ({
  map: fn => (isNothing(value) ?
   Maybe(null) : Maybe(fn(value))),
  value,
});
```

map funkcija funktora Maybe

```
Maybe.prototype.isNothing = function() {
      return (this.value === null ||
              this.value === undefined);
};
Maybe.prototype.map = function(fn) {
       return this.isNothing() ?
       Maybe.of(null) :
       Maybe.of(fn(this.value));
};
```

Funktor Maybe – kako se koristi 1/2

```
const isNothing = value => value === null ||
typeof value === "undefined";

const Maybe = value => ({
  map: fn => (isNothing(value) ?
              Maybe(null) : Maybe(fn(value))),
              value,
});
```

Funktor Maybe – kako se koristi 2/2

```
const user = {
  name: "Holmes",
  address: { street: "Baker Street",
             number: "221B"
  },
};
Maybe(user)
  .map(u => u.address)
  .map(a => a.street).value; // 'Baker Street'
const homelessUser = { name: "The Tramp" };
Maybe(homelessUser)
  .map(u => u.address)
  .map(a => a.street).value; // null
```

Maybe malo više funkcionalno

- Pozivanje svojstva `value` na kraju nije baš nešto što funkcionalni stil preferira; malo "funkcionalniji" funktor Maybe bi izgledao ovako:

```
const isNothing = value => value === null || typeof
value === 'undefined';


const Maybe = value => ({
    map: fn => isNothing(value) ? Maybe(null) :
               Maybe(fn(value)),
    getOrElse : defaultValue => isNothing(value) ?
                  defaultValue : value,
});
```

Maybe korišćenje malo više funkcionalno$_{1/2}$

- A i svojstvima objekta se može lepše pristupiti pomoću getera:

```
const get = key => value => value[key];
const getStreet = user =>
  Maybe(user)
    .map(get("address"))
    .map(get("street"))
    .getOrElse("unknown address");
```

Maybe korišćenje malo više funkcionalno$_{2/2}$

```
getStreet({
  name: "Holmes",
  firstname: "Sherlock",
  address: {
    street: "Baker Street",
    number: "221B",
  },
}); // 'Baker Street’

getStreet(); // 'unknown address'

getStreet({
  name: "Moriarty",
}); // 'unknown address’

getStreet(); // 'unknown address'
```

Rukovanje greškama/izuzecima

- Rukovanje greškama je programska tehnika za implementiranje postupaka koji se sprovode u slučaju grešaka u nekoj aplikaciji.
  - Ima situacija koje se unapred mogu predvideti kada postoji mogućnost da se program neće ponašati na željeni način.
  - U takvim slučajevima, ukoliko je to ikako moguće, treba definisati očekivano ponašanje programa.
- Način rukovanja greškama/izuzecima u funkcionalnom programiranju je drugačiji od načina koji se primenjuju u imperativnom programiranju i tu se koriste funktori.
- Dva specifična funktora koji se vrlo često koriste baš za rukovanje greškama su `Maybe` i `Either`.

Funktor **Eather**$_1$

- Ako funkcija mapirana na funktor generiše grešku, funktor bi trebao da bude u stanju da sa tom greškom nekako rukuje.
- Opet ćemo da počnemo sa primerom: Treba proveriti ispravnost email adrese ako je zadata, a u protivnom vrednost ignorisati i vratiti `null`.

Funktor `Eather`: provera email-a

- Da li bi moglo ovako:

```
const validateEmail = value => {
  if (!value.match(/\S+@\S+\.\S+/)) {
    throw new Error(`Dati email je nevalidan`);
  }
  return value;
};

const validEmail =
validateEmail("foo@example.com");
console.log(`Validan email: `, validEmail)
// Validan email: foo@example.com

validateEmail("foo@example"); /* generiše grešku sa
porukom `Dati email je nevalidan` */
```

Moglo bi, ali ima nedostataka

- Ovakav način nije baš najbolji jer prekida tok izvršavanja (generiše prekid).
- Bolja bi bila funkcija `validateEmail` koja ne generiše prekid nego umesto prekida vraća nešto sa čim program dalje može da "živi" – recimo, poruku o grešci.
- Može li to sa funktorom i, ako može, kako može?

Rukovanje greškama: Ideja

- Ideja je sledeća: Vratiti *različite* funktore na bazi try/catch:
  - Ili funktor koji će dozvoliti da se nastavi `map` (obično se zove `Right`),
  - Ili funktor koji vrednost neće uopšte manjati (ako je greška) (obično se zove `Left`)
- Funkcija `validateEmail` bi tada mogla da ima sledeći izgled:

Nova funkcija `validateEmail`

```
const validateEmail = value => {
  if (!value.match(/\S+@\S+\.\S+/)) {
    return Left(new Error("Uneti email
nije validan"));
  }
  return Right(value);
};
```

Kako izgledaju funktori

```
const Left = value => ({
  map: fn => Left(value),
  value,
});

const Right = value => ({
  map: fn => Right(fn(value)),
  value,
});
```

Provera e-mail-a:

```
validateEmail("foo@example") /* nevalidan
email, vrati Left functor */

  .map(v => "Email: " + v).value; /*
Error('Uneti email nije validan') */

validateEmail("foo@example.com") /* validan
email, vrati Right functor */

  .map(v => "Ispravan Email: " + v).value; /*
' ispravan Email: foo@example.com' */
```

Hvatanje grešaka

- Funkcija `validateEmail` vraća ili rezultat ili grešku, ali takva kakva je ne omogućuje da se uradi nešto specifično u slučaju greške.
- Dodajemo zbog toga novu funkciju `catch()` i funktoru `Left` i funktoru `Right`
- Kako treba da se ponaša funkcija `catch()` u funktoru `Left` a kako u funktoru `Right`?

Funkcija `catch()` u funktoru `Right`

```
// U funktoru Right, catch() ne radi ništa
const Right = value => ({
  map: fn => Right(fn(value)),
  catch: () => Right(value),
  value,
});
// catch se ignoriše u Right
Right(5).catch(error =>
 error.message).value; // 5
```

Funkcija `catch()` u funktoru `Left`

```
/* U funktoru Left, catch() treba da primeni
  funkciju i da vrati Right da se obezbedi
  dalje mapiranje */
const Left = value => ({
  map: fn => Left(value),
  catch: fn => Right(fn(value)),
  value,
});
Left(new Error('Raspadam se! ')).catch(error
  => error.message).value; // 'Raspadam se! '
```

Na kraju: `tryCatch` je kombinacija

```
const tryCatch = fn => value => {
  try {
    return Right(fn(value)); /* sve je dobro krenulo, idemo desno */
  } catch (error) {
    return Left(error); /* oops! desila se greška, idemo levo. */
  }
};
```

Provera mail-a sa `tryCatch`

```
const validateMail = tryCatch(value => {
  if (!value.match(/\S+@\S+\.\S+/)) {
    throw new Error(`Mail je nevalidan`);
  }
  return value;
});

validateMail("foo@example")
  .map(v => "Email: " + v)
  .catch(get("message")).value; // Mail je nevalidan
validateMail("foo@example.com")
  .map(v => "Email: " + v)
  .catch(get("message")).value; // Email: foo@example.com
```

Kompozicija funktora

- Zadatak: Validirati email u objektu koji MOŽDA IMA a MOŽDA i NEMA email vrednost.
- Dakle, prvo treba videti IMA li mail-a
- Zatim, ako ga IMA, validirati njegovu ispravnost (u odnosu na zadatu sintaksu)
- Funktori koje smo do sada napravili umeju sledeće:
  - Da vrate punu ili praznu kutiju-kontekst (funktor **Maybe**)
  - Da uhvate/otkriju grešku i vrate poruku (funktor **Eather**, t.j. funkcija **tryCatch**)
- Pa da ih kombinujemo

Da vidimo kako to izgleda: funkcija **validateUser**

```
const validateUser = user =>
  Maybe(user)
    .map(get(`email`))
    .map(v =>
     validateMail(v).catch(get(`message`)));
```

Funkcija `validateUser`: korišćenje

```
validateUser({ // ispravan email
  firstName: "John",
  email: "foo@example.com",
}); // MayBe(Right('foo@example.com'))

validateUser({ // neispravan email
  firstName: "John",
  email: "foo@example",
}); // MayBe(Left('The given email is invalid'))

validateUser({ // nema email-a
  firstName: "John",
}); // MayBe(null)
```

Osvetoljubiv kod

```
const validateUserValue = user => {
  const result = validateUser(user).value;
  if (value === null || typeof value ===
 `undefined`) {
    return null;
  }
  return result.value;
};
```

Kako se spasti: `chain()`

- Nama za konačnu transformaciju treba vrednost koja je umotana u Maybe(), ili neki drugi omotač – funktor.
- Dakle, treba nam alatka kojom ćemo moći da ekstrahujemo vrednost funktora i u situacijama kada je ona spakovana u drugi funktor.
- To se može uraditi jedino ako se ono što nam smeta ukloni – ako se ukloni “unutrašnji” funktor
- To je metoda `flatten()`

Kako to izgleda

```
const Maybe = value => ({
/* mogla bi se vratiti vrednost, ali
 bismo tada trebali i da se bavimo
 različitim tipovima funktora. Na ovaj
 način Maybe.flatten će uvek da vrati
 tip Maybe */
    flatten: () => isNothing(value) ?
     Maybe(null) : Maybe(value.value),
     ...,
});
```

Na dalje: samo jednostavna Maybe

```
const validateUser = user => Maybe(user)
    .map(get('email'))
    .map(v =>  validateMail(v)
    .catch(get('message'))
    )
    .flatten()
 /* od sada uvek imamo samo jednostavan
 Maybe, pa se može iskoristiti getOrElse
 da se dobije vrednost */
    .getOrElse('Korisnik nema mail');
```

Primeri korišćenja

```
validateUser({
    firstName: 'John',
    email: 'foo@example.com',
}); // 'foo@example.com'

validateUser({
    firstName: 'John',
    email: 'foo@example',
}); // ' email je neispravan'

validateUser({
    firstName: 'John',
}); // ' korisnik nema mail'
```

Evo ga: `chain()`

```
const Maybe = value => ({
 flatten: () => isNothing(value) ?
 Maybe(null) : Maybe(value.value),
 // ovde se koristi imenovanafunkcija a ne
 streličasta jer treba pokazivač this */
    chain(fn) {
        return this.map(fn).flatten();
    },
    ...,
});
```

A evo i novi **validateUser**

```
const validateUser = user =>
 Maybe(user)
    .map(get('email'))
    .chain(v =>  validateMail(v)
        .catch(get('message'))
    )
    .getOrElse('Korisnik nema mail');
```

Koristimo ga na isti način

```
validateUser({
    firstName: 'John',
    email: 'foo@example.com',
}); // 'foo@example.com'

validateUser({
    firstName: 'John',
    email: 'foo@example',
}); // ' email je neispravan'

validateUser({
    firstName: 'John',
}); // ' korisnik nema mail'
```

A to je: monada

- Funktor koji može sam sebe da poravna pomoću metode `chain()` zove se **Monada**.
- Dakle, `Maybe` je monada.
- Kao i `map()`, i `chain()` mora da poštuje određene zakone da bi se monade korektno komponovale:
  - Levi identitet
  - Desni identitet
  - Asocijativnost

Levi identitet

```
monad(x).chain(f) === f(x);
// f je funkcija koja vraća monadu
```

- Ulančavanje funkcije u monadu je isto što i prosleđivanje vrednosti funkciji.
- Na taj način se osigurava potpuno uklanjanje obuhvatajuće monade pomoću matode `chain`.

Desni identitet

```
Monad(x).chain(Monad) === Monad(x);
```

- Ulančavanje konstruktora monada treba da vrati istu monadu.
- Ovim se osigurava da ulančavanje ne proizvede bočni efekat

Asocijativnost

```
monad.chain(f).chain(g) == monad.chain(x =>
  f(x).chain(g));
// f i g su funkcije koje vraćaju monadu
```

- `chain()` mora biti asocijativna operacija, odnosno mora da važi:

  `.chain(f).chain(g)` kao i `.chain(v => f(v).chain(g))`

- Time se osigurava da se mogu ulančavati funkcije koje i same koriste `chain()`.

Monada je važna: da još jednom ponovimo

- **Monada** je način kompozicije funkcija gde se, pored vrednosti, zahteva i nekakav kontekst (poput računanja, grananja ili efekata). Monada vrši mapiranje (`map`) i poravnavanje (`flatten`)/"raspakivanje".
- Šta to, u stvari, znači? Znači sledeće: Mapiranje jednostavne vrednosti **`a`** na **`b`** u situaciji gde je **`a`** dato u nekom kontekstu **`M(a)`** na način da se rezultat **`b`** takođe dobija u kontekstu, odnosno dobija se **`M(b)`** .
- Vrlo dobro objašnjenje koncepta monada imate u knjizi Erika Eliota *Composing Software*

Suština monade

- Funkcije se mogu komponovati:

  $a \Rightarrow b$ i $b \Rightarrow c$ može da napravi $a \Rightarrow c$

- Funktori mogu da komponuju funkcije sa kontekstom:

  Ako je zadato $F(a)$ i dve funkcije, $a \Rightarrow b$ i $b \Rightarrow c$, ume da vrati $F(c)$.

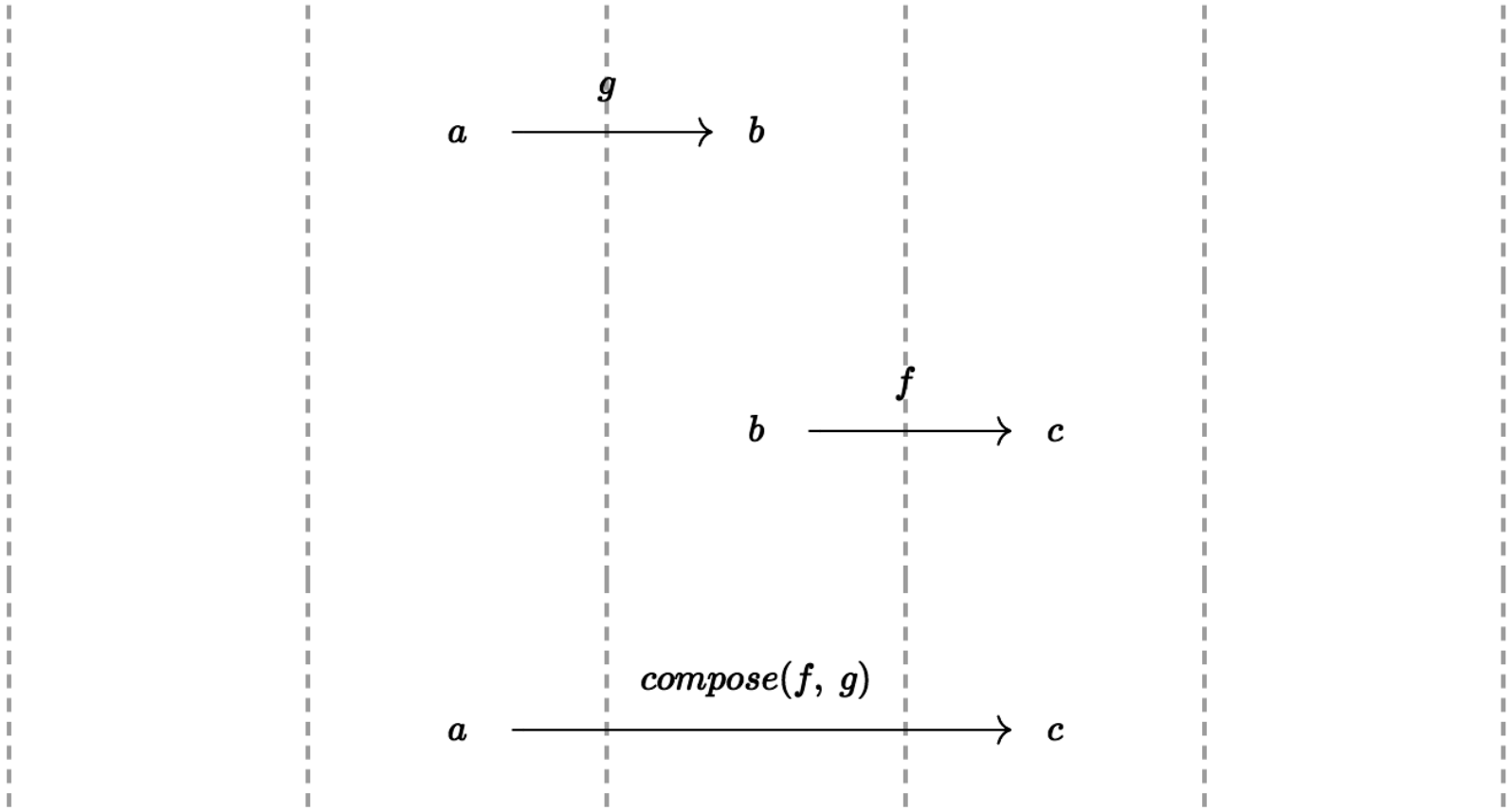
- Monade mogu da komponuju funkcije type lifting-a:

  $a \Rightarrow M(b), b \Rightarrow M(c)$ ume da vrati $a \Rightarrow M(c)$

Komponovanje: funkcije

- g: **a** => **b**
- f: **b** => **c**
- h: **a** => **c**

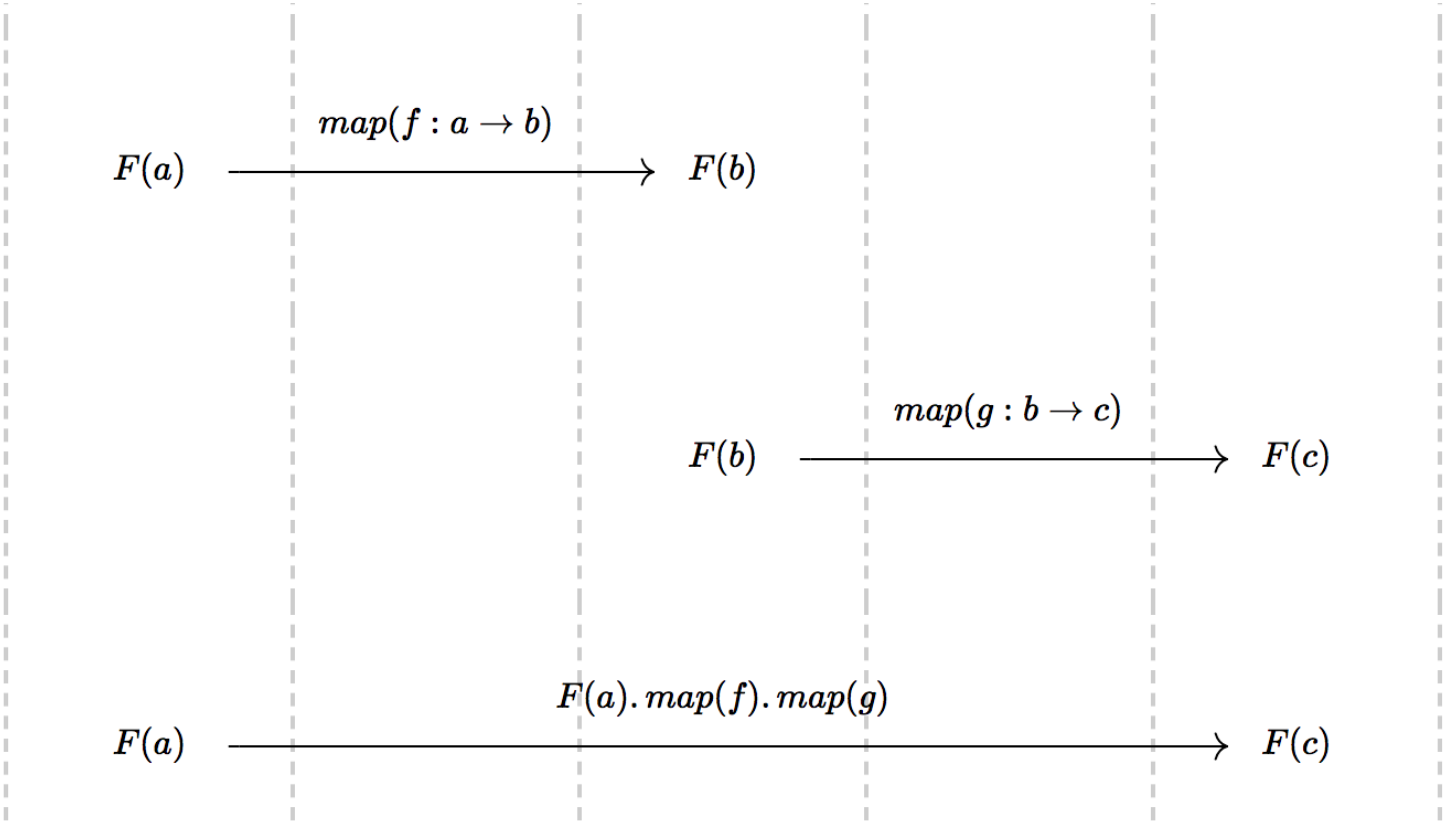
Komponovanje: jednostavne funkcije



Komponovanje: funktori

- f: **F(a)** => **F(b)**
- g: **F(b)** => **F(c)**
- h: **F(a)** => **F(c)**

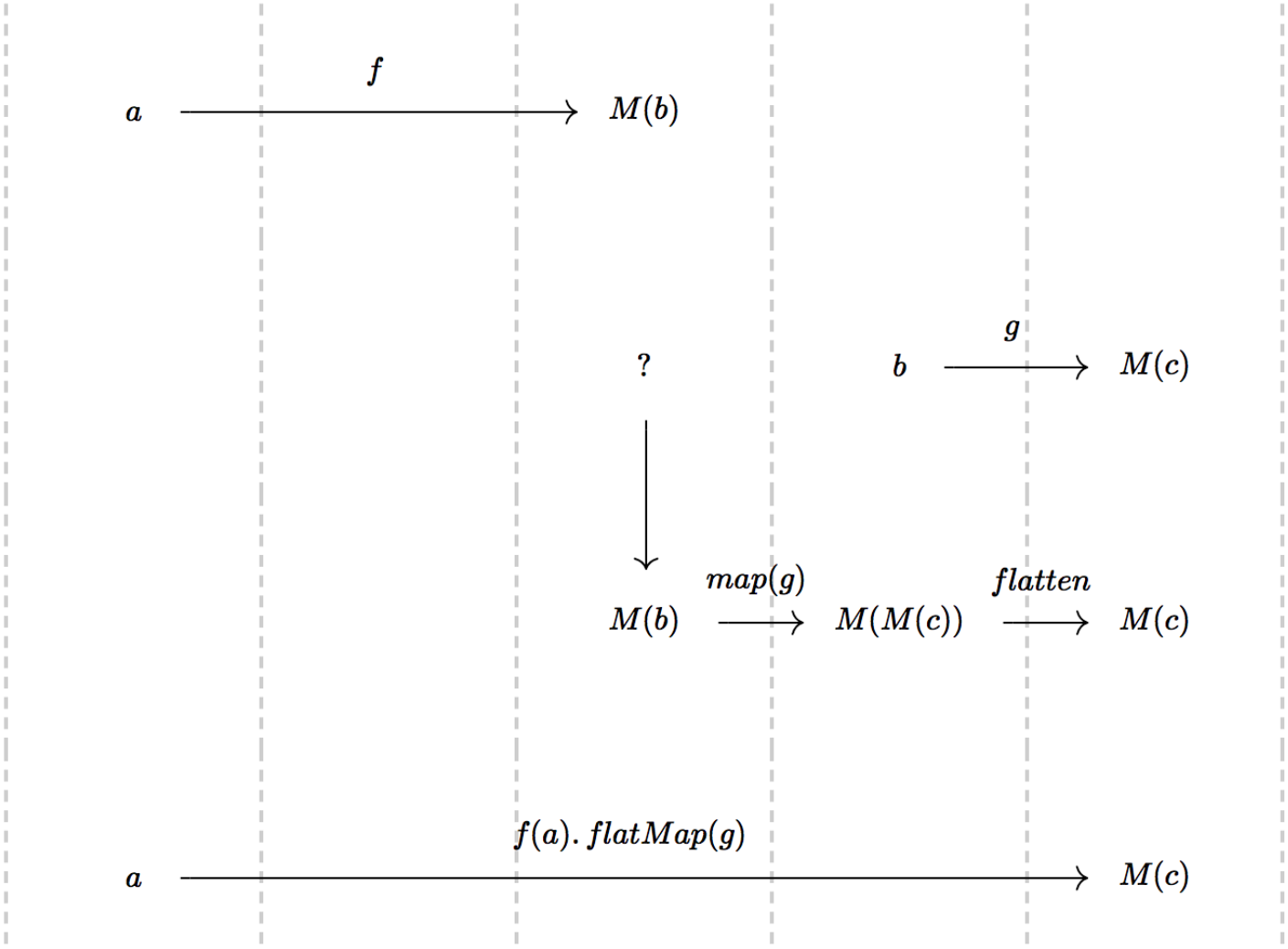
Komponovanje: funktori



Komponovanje: monade

- f: **a** => **M(b)**
- g: **???** **b** => **M(c)**
- h: **a** => **M(c)**

Komponovanje: monade



Aplikativ (Aplikativni funktor)

Šta je aplikativni funktor$_{1/2}$

- U funkcionalnom programiranju, aplikativni funktor, ili skraćeno aplikativ, je struktura koja je između funktora i monada.
- Aplikativni funktori dozvoljavaju sekvencioniranje funktorskih izračunavanja (za razliku od običnih funktora), ali ne dozvoljavaju korišćenje rezultata prethodnih izračunavanja u definiciji narednih (za razliku od monada).

Šta je aplikativni funktor$_{2/2}$

- U Haskell-u, aplikativ je parametrizovani tip (tip koji je zadat parametrima i instancira se po potrebi) koji se sastoji od kontejnera za podatke tipa parametra i dve metode **`pure`** i **`<*>`**.
- Metoda **`pure`** može se tumačiti kao unošenje vrednosti u aplikativ. Za aplikativ parametarizovanog tipa `f` ima tip:

```
pure :: a -> f a
```

- Metoda **`<*>`** može se tumačiti kao ekvivalent aplikaciji funukcije unutar aplikativa. Za aplikativ parametarizovanog tipa `f` ima tip:

```
(<*>) :: f (a -> b) -> f a -> f b
```

Zakoni aplikativnog funktora

- Identitet:
```
pure id <*> v = v
```
- Kompozicija:
```
pure (.) <*> u <*> v <*> w = u <*> (v <*> w)
```
- Homomorfizam:
```
pure f <*> pure x = pure (f x)
```
- Zamenljivost:
```
u <*> pure y = pure ($ y) <*> u
```

Aplikativni funktor vs. funktor

- Svaki aplikativ je funktor.
- To znači da se ako su zadate metode **`pure`** i **`<*>`**, funktor **`fmap`** može implementirati kao

```
fmap g x = pure g <*> x
```

Aplikativ - primer

- In Haskell-u, tip Maybe može postati instanca klase tipa Applicative korišćenjem definicije:

```
instance Applicative Maybe where
    -- pure :: a -> Maybe a
    pure a = Just a

    -- (<*>) :: Maybe (a -> b) -> Maybe a -> Maybe b
    Nothing  <*> _         = Nothing
    _        <*> Nothing   = Nothing
    (Just g) <*> (Just x) = Just (g x)
```

- Definicija kaže: **pure** pretvara **a** u **Maybe a**, a **<*>** primenjuje funkciju **Maybe** na vrednost **Maybe**.

Aplikativ Maybe – šta omogućuje

- Korišćenje aplikativa **Maybe** za tip **a** omogućava da se radi na vrednostima tipa **a** tako da se greške automatski obrađuju mašinerijom aplikativa.
- Na primer, u Haskell-u je za sabiranje dva broja **m :: Maybe Int** i **n :: Maybe Int**, dovoljno napisati:

```
(+) <$> m <*> n
```

- U slučaju kada nema greške, sabiranje **m=Just i** i **n=Just j** daje rezultat **Just(i+j)**. Ako je **m** ili **n** **Nothing**, i rezultat je **Nothing**.

Da uopštimo

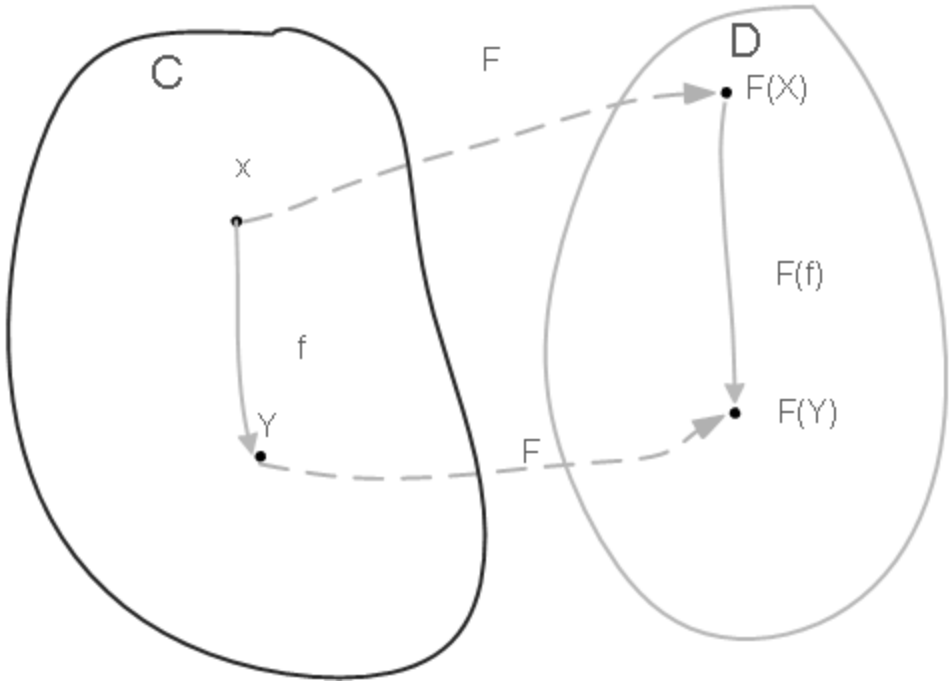
Matematika iza funktora i monada

- **Teorija kategorija** formalizuje matematičku strukturu i njene koncepte putem označenog usmerenog grafa koji se zove *kategorija*, čiji se čvorovi zovu *objekti*, a označene usmerene veze *strelice* ili *morfizmi*.
- Objekti mogu da budu bilo šta ali je generalno korisno o njima razmišljati kao o skupovima nekih elemenata (kao što su, na primer, tipovi u programskim jezicima).
- Morfizmi/strelice su funkcije koje vrše mapiranja među objektima.
- Kategorija ima dva osnovna svojstva:
  - Asocijativno komponovanje morfizama, i
  - Postojanje identitetskog morfizma za svaki objekat.

Teorija kategorija i funktor

- U teoriji kategorije **funktor je struktura koja očuvava mapiranje sa kategorije na kategoriju**, a gde
- "očuvanje strukture" znači da se očuvavaju relacije među objektima i morfizmima.
- Sve funktor `map` operacije moraju da poštuju dva aksioma koji se zovu "zakoni funktora":
  - **Identitet:** Za svaki objekat A u kategoriji C, mora da postoji identitetski morfizam koji mapira na isti objekat (t.j. mapira objekat A na smog sebe). Taj morfizam se označava sa $\boldsymbol{id_A}$ *ili* $\boldsymbol{1_A}$.
  - **Kompozicija:** Za sve parove morfizama $g : A \rightarrow B;$ i $f : B \rightarrow C,$ postoji morfizam h: $A \rightarrow C$, $h = f \circ g$.

Slika koja sve kaže



F mapira objekte X,Y iz kategorije C na objekte F(X) i F(Y) u kategoriji D i morfizam f iz kategorije C na F(f) u kategoriji D

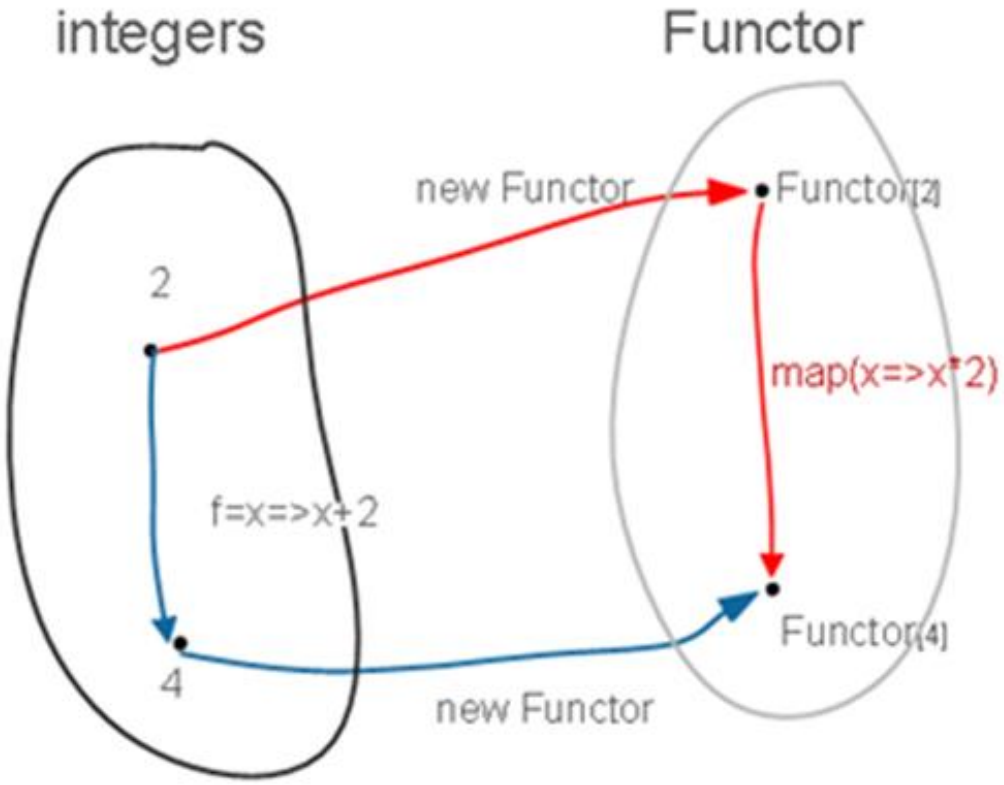
Jedan mali primer

```
//Izvor: The definite guide to Functors in Js
//https://medium.com/@dimpapadim3/the-definite-guide-
  to-functors-in-js-6f5e82bd1dac
const Functor = (v) => ({
  value: v,
  map: (mapping) => Functor(mapping(v))
});

var s =  Functor(2)
.map(x=>x*x)
.map(x=>x.toString());

console.log(s.value);// ispisaće: 4
```

Još jedna slika za bolje razumevanje prethodnog koda - Funktora



Šta je ovde korektno mapiranje

- Lako je videti da je korektno mapiranje

  `this.map = (mapping) => Functor(mapping(value));`

  zato što:

```
var f = x => x * x;
var paht1 = Functor(2).map(f);
var path2 = Functor(f(2));
paht1.value == path2.value; // Vraća true
```

- Ovde je zadovoljen još jedan bitan uslov za očuvanje strukture: komutativnost putanja - svejedno je da li se prvo izvrši `Functor` nad 2, pa se zatim primeni `map` funkcija ili obrnuto.

Identitet

- Formalna definicija:

$$F(a) \xrightarrow{map(id:\ a \to a)} F(a) = F(a)$$

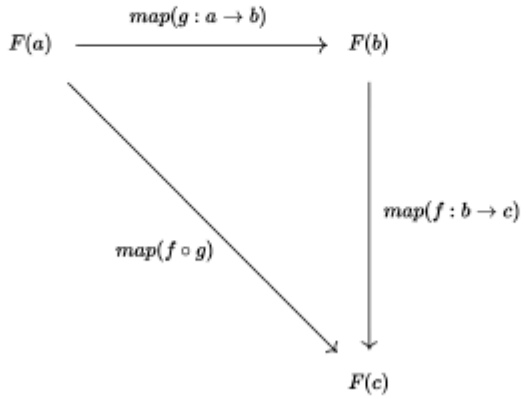
- Ako se funkcija identiteta (`x => x`) prosledi u `a.map()`, gde je `a` funktor proizvoljnog tipa, rezultat treba da bude ekvivalentan sa `a`:

```
const a = [20];
const b = a.map(a => a);

console.log(
   a.toString() === b.toString() // Izlaz: true
);
```

Kompozicija

$$F(a) \xrightarrow{map(g)} F(b) \xrightarrow{map(f)} F(c) = F(a) \xrightarrow{map(f \circ g)} F(c)$$



- Funktori moraju da zadovoljavaju zakon kompozicije : `a.map(g).map(f)` je ekvivalentno sa `a.map(x => f(g(x)))`.

Kompozicija

- Kompozicija morfizama je asocijativna:
  `(f ∘ g) ∘ h = f ∘ g ∘ h = f ∘ (g ∘ h)`
- Funktorsko mapiranje je oblik kompozicije funkcija.
- U sledećem kodu je `mappable.map(g).map(f)` ekvivalentno sa `mappable.map(x => f(g(x)))`

```
const g = n => n + 1;
const f = n => n * 2;
const mappable = [20];

const a = mappable.map(g).map(f);
const b = mappable.map(x => f(g(x)));

console.log(
  a.toString() === b.toString() // izlaz: true
);
```

Zakoni funktora

```
// Primer funktora
const Identity = value => ({
map: fn => Identity(fn(value))
});
```

- Funkcija **Identity** prima vrednost (**value**) i vraća **objekat** sa **.map()** metodom.
- Metoda **.map()** prima **funkciju** i vraća **rezultat primene funkcije na vrednost value** unutar Identity. Vraćena vrednost se umotava u kontekst **Identity**.

Zakoni funktora: identitet

```
// trace() je pomoćna funkcija za laku inspekciju
  sadržaja.
const trace = x => {
console.log(x);
return x;
};

const u = Identity(2);

// Zakon identiteta
const r1 = u; // Identity(2)
const r2 = u.map(x => x); // Identity(2)

r1.map(trace); // 2
r2.map(trace); // 2
```

Zakoni funktora: asocijativnost kompozicije

```
// Zakon kompozicije (asocijativnost)
const r3 = u.map(x => f(g(x))); // Identity(5)
const r4 = u.map(g).map(f); // Identity(5)

const f = n => n + 1;
const g = n => n * 2;
r3.map(trace); // 5
r4.map(trace); // 5
```

Sažetak 1/4

- Funktor (**functor**) tip podatka je **nešto nad čim se može mapirati**.
- Funktor je u JS-u običan objekat (ili klasni tip u drugim jezicima) koji implementira funkciju `map` koja se izvršava nad svakom vrednošću u objektu da bi ***proizvela novi objekat.***
- Možemo ga tumačiti kao **kontejner** sa `map` operacijom koja omogućuje da se funkcija prosleđena `map` operaciji primeni na vrednosti u kontejneru.

Sažetak 2/4

- Prednosti funktora
  - Apstrahuju detalje implementacije osnovne strukture podataka – iteriranje se dešava “samo po sebi”.
  - Sakrivaju tipove podataka koje sadrže – funkcije mapiranja su generičke i ne teba da se vodi računa nad kojim tipom će se izvršavati.
  - Ne zahtevaju logiku za kontrolisanje prazne kolekcije niti za praćenje stanja iteracije – mapirnje nad praznom kolekcijom je isto kao nad nepraznom;
  - **NAJVAŽNIJE: Funktor omogućuje da se lako komponuju funkcije mapiranja.**

Sažetak$_{3/4}$

- **Monada**
  - Monada vrši mapiranje (map) i poravnavanje (`flatten`)/"raspakivanje" što znači da omogućuje mapiranje jednostavne vrednosti **a** na **b** u situaciji u kojoj je **a** dato u nekom kontekstu **M(a)** a rezultat **b** se dobija takođe u kontekstu, odnosno dobija se **M(b)** .
  - Na taj način omogućuje se kompozicija funkcija gde se, pored vrednosti, zahteva i komunikacija nekakavih dodatnih sadržaja (poput dodatnih računanja, uslovnih primena funkcije ili drugih bočih efekata poput IO operacija i slično).
  - Monada je osnovni instrument za rukovanje bočnim efektima u FP-u.

Sažetak$_{4/4}$

- **Aplikativ**
  - U funkcionalnom programiranju, aplikativni funktor, ili skraćeno aplikativ, je struktura koja je između funktora i monada.
  - Može se razumeti kao funktor koji se primenjuje na funktor, odnosno kao kontejner sa map operacijom pri čemu su elementi u kontejneru funktori.
  - Dozvoljava sekvencioniranje funktorskih izračunavanja (za razliku od običnih funktora), ali ne dozvoljava korišćenje rezultata prethodnih izračunavanja u definiciji narednih (za razliku od monada).

Sažetak 5/5

- Monade, aplikativni funktori i funktori utemeljeni su u najapstraktnijoj grani matematike koja se zove **Teorija kategorija**.
- Teorija kategorija formalizuje matematičku strukturu i njene koncepte putem označenog usmerenog grafa koji se zove kategorija, čiji se čvorovi zovu objekti, a označene usmerene veze strelice ili morfizmi.
  - Objekti mogu da budu bilo šta ali je generalno korisno o njima razmišljati kao o skupovima nekih elemenata (kao što su, na primer, tipovi u programskim jezicima).
  - Morfizmi/strelice su funkcije koje vrše mapiranja među objektima.
- Kategorija ima dva osnovna svojstva:
  - Asocijativno komponovanje morfizama, i
  - Postojanje identitetskog morfizma za svaki objekat.

Literatura za predavanje

1. Z. Konjović, Funkcionalno programiranje, **Tema 07 – Funktori, aplikativni funktori i monade**, slajdovi sa predavanja, dostupni na folderu **FP kurs 2023-24→Files →Slajdovi sa predavanja**
2. E. Elliot, **Composing Software - An Exploration of Functional Programming and Object Composition in JavaScript**, Leanpub, 2019, Poglavlje "**Functors and Categories**"