

Ohjelmistotuotanto

Luento 5

11.4.

Verifiointi ja Validointi

Verifiointi ja Validointi

- Kehitettävän ohjelmiston elinkaareen oleellisena osana kuuluu
 - Verifiointi *"are we building the product right"* ja
 - Validointi *"are we building the right product"*
- Verifiointinnissa siis pyritään varmistamaan, että ohjelmisto toteuttaa vaatimusmäärittelyn aikana sille asetetut vaatimukset
 - Yleensä tämä tapahtuu testaamalla, että ohjelma toteuttaa sille asetetut (ja vaatimusmäärittelyyn kirjatut) toiminnalliset ja ei-toiminnalliset vaatimukset
- Validointi pyrkii varmistamaan, että ohjelmisto täyttää käyttäjän odotukset
 - Vaatimusmäärittelyn aikana kirjatut ohjelmiston vaatimukset eivät ole aina se mitä käyttäjä ohjelmalta todella haluaa!
- Verifiointin ja validoinnin tavoitteena on varmistaa että ohjelma on "riittävän hyvä" siihen käyttötarkoitukseen, mihin ohjelma on tarkoitettu
 - Hyvyys on suhteellista ja riippuu ohjelman käyttötarkoituksesta
 - Ohjelman ei esim. tarvitse yleensä olla virheetön ollakseen kuitenkin riittävän hyvä käytettäväksi

Verifioinnin ja Validoinnin tekniikat

- Perinteisesti verifioinnissa on käytetty kahta tekniikkaa
 - Katselmointeja ja tarkastuksia
 - Testausta
- **Katselmoinneissa** (review) käydään läpi erilaisia ohjelmiston tuotantoprosessin aikana tuotettuja dokumentteja ja ohjelmakoodia, ja etsitään näistä erilaisia ongelmia
- **Tarkastukset** (inspection) ovat katselmointien muodollisempi versio
 - Järjestetään formaali kokous, jolla tarkkaan määritelty agenda ja kokouksen osallistujilla ennalta määritellyt roolit
- Katselmointi on *staattinen tekniikka*, suorituskelpoista ohjelmakoodia ei tarvita ja jos katselmoinnin kohteena on ohjelmakoodi, ei ohjelmaa katselmuksissa suoriteta
- **Testaus** on *dynaaminen tekniikka*, joka edellyttää aina ohjelmakoodin suorittamista
 - Testauksessa tarkkaillaan miten ohjelma reagoi annettuihin testisyötteisiin

Vaatimusten validointi

- Ohjelmistolle määritellyt vaatimukset on validoitava, eli *varmistettava, että määrittelydokumentti määrittelee sellaisen ohjelmiston, jonka asiakas haluaa*
- Vesiputousmallissa määrittelydokumentin kirjattujen vaatimusten validointi suoritetaan nimenomaan katselmoimalla
 - Vaatimusmäärittely päättyy siihen, että asiakas tarkastaa määrittelydokumenttiin kirjattujen vaatimuksien vastaavan asiakkaan kuvaa tilattavasta järjestelmästä
 - Katselmoinnin jälkeen määrittelydokumentti jäädytetään ja sen muuttaminen vaatii yleensä monimutkaista prosessia
- Ketterässä prosessissa vaatimusten validointi tapahtuu iteraation päättävien demonstraatioiden (Scrumissa sprint review) yhteydessä
 - Asiakkaalle näytetään ohjelman toimivaa versiota
 - Asiakas voi itse verrata vastaako lopputulos sitä mitä asiakas haluaa
 - Asiakkaan haluama toiminnallisuushan voi poiketa määritellystä toiminnallisuudesta!
 - Jos ei, on seuraavassa iteraatiossa mahdollista ottaa korjausliike
- On ilmeistä, että ketterän mallin käyttämä vaatimusten validointitapa toimii paremmin tuotekehitystyyppisissä tilanteissa, joissa ollaan tekemässä tuotetta, joka on vaikea määritellä tarkkaan etukäteen

Koodin katselmointi

- Koodin katselmointi eli koodin lukeminen jonkun muun kuin ohjelmoijan toimesta on havaittu erittäin tehokkaaksi keinoksi koodin laadun parantamisessa
- Katselmoinnin avulla voidaan havaita koodista ongelmia, joita testauksella ei välttämättä havaita, esim.
 - noudattaako koodi sovittua tyyliä
 - onko koodi ylläpidettävää
- Koodin katselmoinnissa on perinteisesti käyty läpi onko koodissa tiettyjä ”checklisteissä” listattuja riskialttiita piirteitä, ks. esim.
 - http://www.oualline.com/talks/ins/inspection/c_check.html
 - Joissakin kielissä, esim. Javassa kääntäjän tuki tekee osan näistä tarkistuksista turhaksi
- Nykyään on tarjolla paljon katselmointia automatisoivia *staattista analyysiä* tekeviä työkaluja esim. Javalla PMD ja Checkstyle
 - <http://pmd.sourceforge.net/>
 - <http://checkstyle.sourceforge.net/>

Koodin katselmointi: GitHub ja pull requestit

- Yhä enenevä määrä ohjelmistotuotantoprojekteja tallettaa lähdekoodinsa GitHubiin
- GitHubin *pull requestit* tarjoavat hyvän työkalun koodikatselmointien tekoon
- Pull requesteja käytettäessä työn kulku on seuraava
 - Sovelluskehittäjä forkkaa repositorin itselleen, tekee muutokset omaan repositorioon ja tekee pull requestin projektia hallinnoivalle taholle
 - Hallinnoija, esim. tiimin ”senior developer” tai opensource-projektin vastaava tekee katselmoinnin pull requestille
 - Jos koodi ei ole vielä siinä kunnossa että tehdyt muutokset voidaan *mergetä* repositorioon, kirjoittaa hallinnoija pullrequestin tekijälle joukon parannusehdotuksia
 - Muutosten ollessa hyväksyttävässä kunnossa, pull request mergetään päärepositorioon
- Seuraavalla sivulla esimerkki TMC-projektiin tehdystä pull requestistä ja siihen liittyvistä kommentteista

Koodin katselmointi: GitHub ja pull requestit

 testmycode / tmc-server

 Unwatch 8

Course participants #201

 **Open** kennyhei wants to merge 9 commits into `testmycode:master` from `rage:course-participants`

 Conversation 24

 Commits 9

 Files changed 13









kennyhei commented on Oct 27, 2014

Implementing [#185](#)



kennyhei added some commits on Oct 21, 2014

-   Course JSON with participants 9287e10
-   Course knows its students through submissions and vice versa e3e7c03
-   Prettier JSON b1b5dd7



@@ -31,6 +32,17 @@ def course_data(course)

31

32

}))

32

33

end

33

34

+ # Course JSON with participants

+ def course_participants_data(course)

+ participants = course.users

+

+ data = {

+ :id => course.id,

+ :name => course.name,

+ :participants => participants.map {|participant| participant_data(participant)}



mpartel added a note on Oct 29, 2014

Owner



On my desktop, with the mooc production DB dump, this takes around 30 seconds for the k2014-mooc course. I'd really like to avoid adding more really slow queries to TMC.

Would the following make sense?

- Let this only return a list of participants and their newest submission IDs.
- Load a user's exercise statuses on demand, and cache them either on your side or maybe in TMC until the submission ID changes.
- Consider having the per-user URL support [ETags](#).

Automatisoitu staattinen analyysi pilvessä

- Pilvipalvelut ovat helpottaneet sovelluskehittäjien työtä monissa asioissa, esim. GitHubin ansiosta omaa versionhallintapalvelinta ei ole enää tarvetta ylläpitää
- Pilveen on viime aikoina ilmestynyt myös koodille staattista analyysiä tekeviä palveluita, esim. <https://codeclimate.com/>
- CodeClimate analysoi koodista mm. seuraavia asioita:
 - Liian kompleksiset metodit ja luokat
 - Copy paste -koodi
 - Testaamaton koodi
- CodeClimate myös huomauttaa koodin laadun muutoksista, esim. jos koodin kompleksisuus kasvaa muutosten yhteydessä ja antaa parannusehdotuksia liian monimutkaisiin metodeihin
- Minkä tahansa GitHubissa olevan Ruby, Javascript tai PHP-projektin saa konfiguroitua Codeclimaten tarkastettavaksi nappia painamalla
- Codeclimate suorittaa tarkastukset koodille aina kun uutta koodia pushataan GitHubiin
- Labtoolin eli laitoksen harjoitustöiden kirjanpito-ohjelmiston CodeClimate-raportti löytyy osoitteesta <https://codeclimate.com/github/mluukkai/labtool>
- Hiljattain ilmestynyt pilvipalvelu <https://www.codacy.com> osaa tehdä staattista analyysiä Javalla tehdyille ohjelmille

Koodin katselmointi ketterissä menetelmissä

- Toisin kuin Scrum, eXtreme Programming eli XP määrittelee useita käytänteitä, joita ohjelmistoa tehdessä on noudatettava
 - Suuri osa XP:n käytänteistä on hyvin tunnettuja ”best practiseja”, mutta kuitenkin usein vietyä äärimmäiseen (extreme) muotoon
- Osa käytänteistä tähtää ohjelmiston laadun maksimoimiseen ja kolmen voidaan ajatella olevan katselmoinnin äärimmilleen vietyjä muotoja
- **Pariohjelmoinnissa** (pair programming) kaksi ohjelmoijaa työskentelee yhdessä yhdellä koneella
 - Koodia kirjoittava osapuoli toimii *ohjaajana* (driver) ja toinen *navigoijana* (navigator), roolia vaihdetaan sopivin väliajoin
 - Navigoiija tekee koodiin **jatkuvaa katselmointia**
 - Etuja:
 - Parantaa ohjelmoijien kuria ja työhön keskittymistä
 - Hyvä oppimisen väline: ohjelmoijat oppivat toisiltaan erityisesti noviisit kokeneimmilta, järjestelmän tietyn osan tuntee aina useampi ohjelmoija
 - Tutkimuksissa todettu vähentävän bugien määrää 15-50%, kokonaisresurssin kulutus kuitenkin nousee hieman

Koodin katselmointi ketterissä menetelmissä

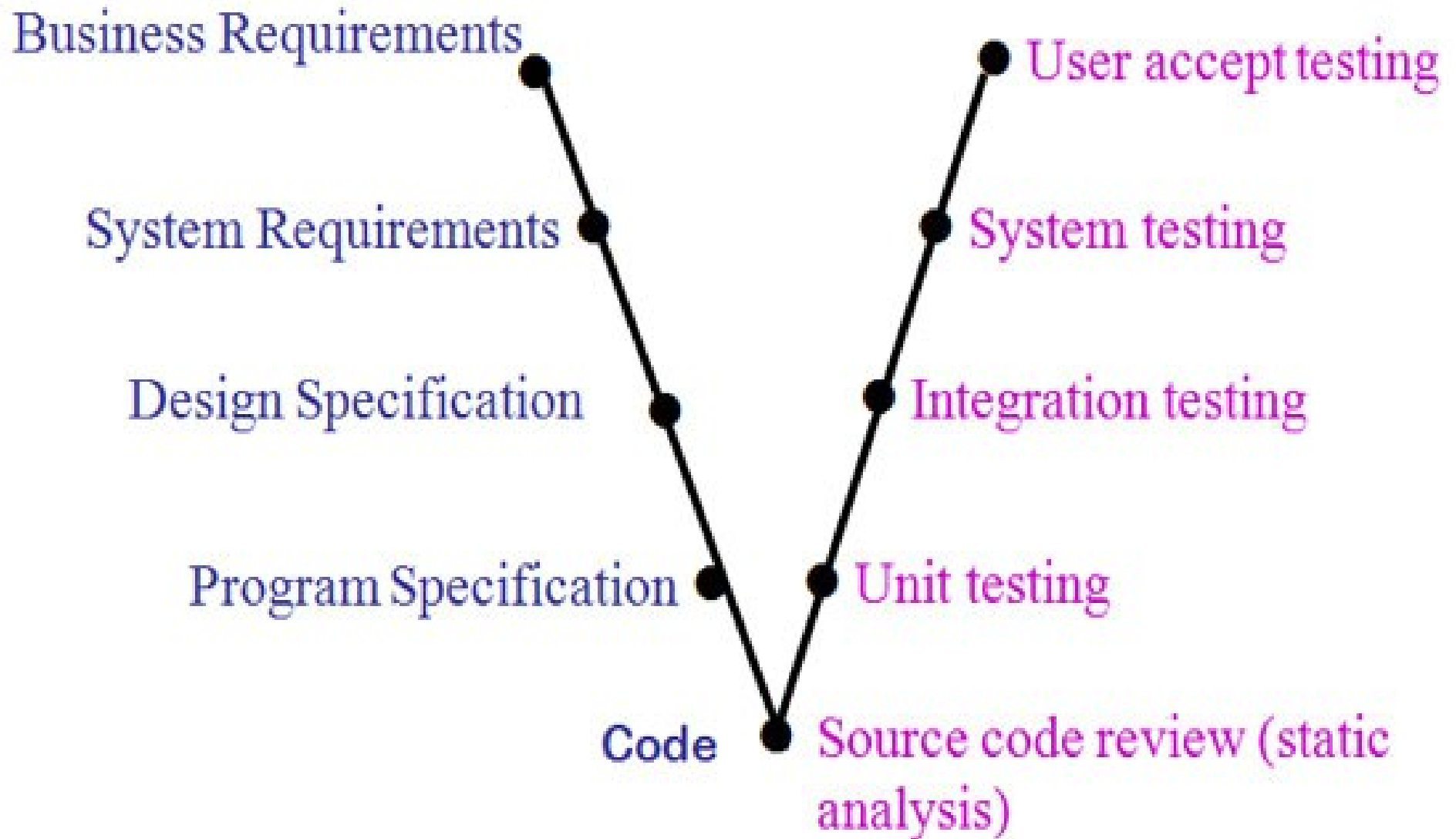
- Lisää pariohjelmoinnista esim. seuraavassa:
 - http://jamesshore.com/Agile-Book/pair_programming.html
- Pariohjelmoinnin ohella ”katselmointimaisia” tavoitteita koodin laadun nostajana voidaan ajatella olevan XP:n yhteisomistajuuden ja ohjelmointistandardien periaatteilla
- Koodin **yhteisomistajuus** (collective code ownership) tarkoittaa periaatetta, jossa kukaan yksittäinen ohjelmoija ei hallitse yksin mitään kohtaa koodista
 - Kaikilla on lupa tehdä muutoksia mihin tahansa kohtaan koodia
 - Pariohjelmointi tukee yhteisomistajuutta
 - Yhteisomistajuudessa on omat riskinsä: joku koodia kunnolla tuntematon voi saada pahaa jälkeä aikaan. XP eliminoi tämän testauksiin liittyvillä käytänteillä
 - http://jamesshore.com/Agile-Book/collective_code_ownership.html
- Ohjelmointistandardi **coding standards** tarkoittaa, että tiimi määrittelee koodityylin, johon kaikki ohjelmoijat sitoutuvat
 - Tyyllillä tarkoitetaan nimeämiskäytäntöä, koodin muotoilua ja myös tiettyjä ohjelman rakenteeseen liittyviä seikkoja
 - http://jamesshore.com/Agile-Book/coding_standards.html

Testaus

- Ohjelmien osoittaminen virheettömäksi on käytännössä mahdotonta
- Testauksen tarkoituksena onkin **vakuuttaa asiakas ja järjestelmän kehitystiimi siitä, että ohjelmisto on tarpeeksi hyvä käytettäväksi**
- Testauksella on kaksi hieman eriävää tavoitetta
 - osoittaa, että ohjelmisto täyttää sille asetetut vaatimukset
 - käytännössä tämä tarkoittaa vaatimusdokumenttiin/vaatimuksiin kirjattujen asioiden toteutumisen demonstroimista
 - löytää ohjelmistosta virheitä
 - yritetään rikkoa tai saattaa ohjelma jollain tavalla epäkonsistenttiin tilaan
- Molemmat näistä tavoitteista tähtäävät oikeastaan ohjelman **ulkoisen laadun** (external quality) parantamiseen
 - **External Quality is the fitness for purpose of the software.** It's most obvious measure is the Functional Tests, and some measure of the bugs that are still loose when the product is released.
 - <http://c2.com/cgi/wiki?InternalAndExternalQuality>

Testauksen tasot

- Testausta jakaantuu eri tasoihin sen mukaan mukaan, mikä testauksen ensisijaisena kohteena on
- Vesiputousmallia laajentava testauksen V-malli havainnollistaa testauksen eri tasoja



Testauksen tasot

- **Yksikkötestaus (unit testing)**
 - Yksittäisten luokkien, metodien ja moduulien testaus erillään muusta kokonaisuudesta
 - Yleensä ohjelmoijat suorittavat
- **Integraatiotestaus (integration testing)**
 - Yksittäin testattujen komponenttien liittäminen yhteen eli integrointi ja kokonaisuuden testaus
 - Integroinnin tekevät sovelluskehittäjät suorittavat yleensä myös testauksen
- **Järjestelmätestaus (system testing)**
 - Varmistetaan että järjestelmä toimii vaatimuksiin kirjatulla tavalla
 - Testataan järjestelmää saman rajapinnan kautta, jonka kautta järjestelmää käytetään
 - Kehittäjäorganisaatio suorittaa
 - Jakautuu useisiin alalajeihin joista kohta lisää
- **Käyttäjän hyväksymistestaus (user acceptance testing)**
 - Loppukäyttäjän tuotteelle suorittama testaus

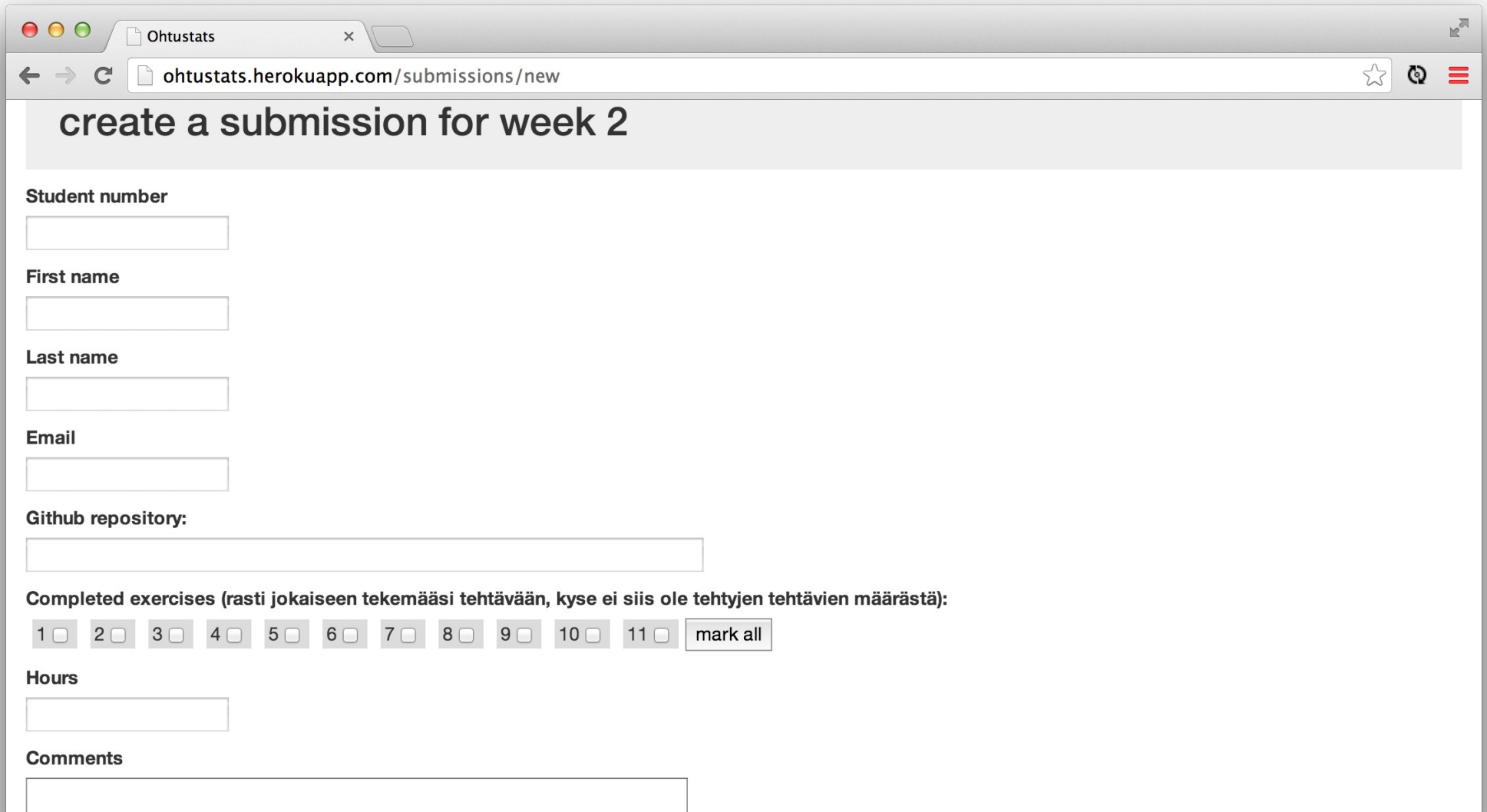
Järjestelmätestaus

- Tarkoitus siis varmistaa, että järjestelmä toimii vaatimuksiin kirjatulla tavalla
- Testataan järjestelmää saman rajapinnan kautta, jonka kautta järjestelmää käytetään
- Testaus tapahtuu ilman tietoa järjestelmän sisäisestä rakenteesta eli kyseessä **black box -testaus**
- Yleensä järjestelmätestaus perustuu järjestelmän potentiaaliin käyttöskenaarioihin
 - jos vaatimukset on ilmaistu User storyina, on niistä melko helppo muotoilla testejä, joiden avulla voidaan varmistaa että järjestelmällä on Storyjen kuvaamat vaatimukset sekä tyypilliset virheskenaariot
- ”perusmuotonsa” eli vaatimuksiin kirjattujen toiminnallisten vaatimuksien testaamisen lisäksi järjestelmätestaukseen kuuluu mm:
 - Käytettävyytestaus
 - Suorituskykytestaus tai stressitestaus
 - Tietoturvan testaus
 - lisää http://en.wikipedia.org/wiki/System_testing

Testisyötteiden valinta

- Kattava testaaminen on mahdotonta ja testaus joka tapauksessa työlästä
- Onkin tärkeää löytää kohtuullisen kokoinen testisyötteiden joukko, jonka avulla on kuitenkin mahdollista löytää mahdollisimman suuri määrä virheitä
- Useat syötteet ovat järjestelmän toiminnan kannalta samanlaisia
- Testeissä kannattaakin pyrkiä jakamaan syötteet **ekvivalenssiluokkiin** ja tehdä yksi testitapaus kutakin ekvivalenssiluokkaa kohti
- Ekvivalenssiluokkien edustajien lisäksi kannattaa tehdä myös testitapaukset ekvivalenssiluokkien **raja-arvoille**
- Seuraavalla sivulla on tuttu kaavake, minkälaisia testitapauksia kannattaisi valita, jos oletetaan, että järjestelmä olisi määritelty seuraavasti
 - Oikein täytetty kaavake hyväksytään ja kaavakkeen tiedot talletetaan järjestelmään
 - Väärän syötearvon omaava kaavake hylätään
 - Käyttäjä palautetaan lomakenäkymään ja väärin syötetyille kentille annetaan virheilmoitus

Viikkopalautelomakkeen testitapaukset



A screenshot of a web browser window. The browser has a single tab titled 'Ohtustats'. The address bar shows the URL 'ohtustats.herokuapp.com/submissions/new'. The page has a light gray header with the text 'create a submission for week 2'. Below the header, the form contains several input fields and a list of checkboxes. The fields are labeled 'Student number', 'First name', 'Last name', 'Email', and 'Github repository:'. The 'Completed exercises' section has a heading in Finnish and a row of checkboxes numbered 1 to 11, followed by a 'mark all' button. The 'Hours' field is a single input box, and the 'Comments' field is a larger text area.

Ohtustats

ohtustats.herokuapp.com/submissions/new

create a submission for week 2

Student number

First name

Last name

Email

Github repository:

Completed exercises (rasti jokaiseen tekemääsi tehtävään, kyse ei siis ole tehtyjen tehtävien määrästä):

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐ 10 ☐ 11 ☐ mark all

Hours

Comments

Viikkopalautelomakkeen testitapaukset

- Kenttien syötemuodot on määritelty seuraavasti
 - Opiskelijanumero koostuu yhdekäsästä numerosta ja alkaa numerolla 0
 - Etu- ja sukunimi ovat epätyhjiä kirjaimista koostuvia merkkijonoja
 - Email-osoite on epätyhjä merkkijono, joka on standardin <https://www.ietf.org/rfc/rfc0822.txt> määrittelemän syntaksin mukainen
 - GitHub-tunnus on epätyhjä alfanumeerisista merkeistä koostuva merkkijono, joka on muotoa <https://github.com/kayttajatunnus/repository>
 - Käytetyt tunnukset on kokonaisluku

Viikkopalautealomakkeen testitapaukset

- Esim. kentän opiskelijanumero ekvivalenssiluokat voisivat olla
 - Kelvollinen syöte
 - 9 numeroa sisältävä, muulla kuin 0:llä alkava numerosarja
 - Vähemmän kuin 9 numeroa sisältävä numerosarja
 - Yli 9 numeroa sisältävä numerosarja
 - Yli 9 numeroa pitkä, sallitun opiskelijanumeron sisältävä numerosarja
 - Jonkin muun merkin, kuin numeron sisältävä syöte
- Kaikkien syötekenttien ekvivalenssiluokkien kombinaatio olisi jo tässä yksinkertaisessa tapauksessa todella suuri
- Järkevä testistrategia lienee valita testitapaukset seuraavasti
 - Testataan jokaista kenttää siten, että kaikissa muissa kentissä on joku validi syöte ja kokeillaan yksittäiselle kentälle kaikkia sen syötteen ekvivalenssiluokkia
 - Tämä testistrategia olettaa, että erillisten kenttien validointi on toisistaan riippumatonta, ja että esim. kahden kentän yhtäaikainen virheellinen syöte ei saa aikaan mitään kummallista (esim. kaada järjestelmää)

Yksikkötestaus

- Kohteena siis yksittäiset metodit ja luokat
- Ohjelmoijat suorittavat yksikkötestauksen
- Testattavan koodin rakenne otetaan huomioon testejä laatiessa, eli kyseessä **lasilaatikkotestaus** (white box testing)
- Yksikkötestauksella ei testata suoranaisesti sitä täyttääkö ohjelmisto vaatimuksensa, pikemminkin tavoitteena on ohjelman **sisäisen laadun** (internal quality) kontrollointi
 - Internal quality is about the design of the software
 - This is purely the interest of development
 - If Internal quality starts falling the system will be less amenable to change in the future
 - Hence the need for refactoring, clear coding, relentless testing, and the like
 - You need to be very careful about letting internal quality slip
 - <http://c2.com/cgi/wiki?InternalAndExternalQuality>

Yksikkötestaus

- Ohjelman sisäinen laatu siis vaikuttaa erityisesti siihen, miten ohjelmaa voidaan laajentaa ja jatkokehittää
- Ketterissä menetelmissä sisäisellä laadulla onkin todella suuri merkitys, tähän palataan tarkemmin huomenna
- Pelkän sisäisen laadun kontrollimekanismi yksikkötestaus ei toki ole
- Kattavilla yksikkötesteillä saadaan parannettua myös ohjelman ulkoista, eli asiakkaan näkemää laatua
 - Yksikkötestit voivat eliminoida joitain asiakkaalle näkyviä virheitä, joita järjestelmätestauksen testitapaukset eivät löydä
- Bugit on taloudellisesti edullista paikallistaa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, eli yksikkötestauksessa löydetty virhe on halvempi ja nopeampi korjata kuin järjestelmä- tai integraatiotestauksessa löytyvä virhe
- Koska yksikkötestejä joudutaan ajamaan moneen kertaan, tulee niiden suorittaminen ja testien tulosten raportointi automatisoida, ja nykyinen hyvä työkalutuki tekeekin automatisoinnin helpoksi
 - xUnit eniten käytetty, uudempia tulokkaita mm. TestNG ja RSpec

Mitä ja miten paljon tulee testata?

- Mitä tulisi testata yksikkötestein?

"Do I have to write a test for everything?"

"No, just test everything that could reasonably break"

[<http://junit.sourceforge.net/doc/faq/faq.htm>]

- Vastaus ei siis ole helppo. Ainakin tulisi olla testitapaukset
 - Kaikkiin metodien (ja loogisten metodikombinaatioiden) toiminta parametrien hyväksyttävillä arvoilla
 - Ja virheellisillä parametrien arvoilla
- Parametrien mahdolliset arvot kannattaa jakaa ekvivalenssiluokkiin (ks. kalvo 17) ja jokaisesta luokasta valita yksi arvo testiä varten, myös ekvivalenssiluokkien raja-arvot kannattaa valita mukaan
- Koska yksikkötestejä tehtäessä ohjelmakoodi on nähtävillä, on testattavien arvojen parametrien ekvivalenssiluokat ja raja-arvot pääteltävissä koodista
- Esim. Varaston metodi *otaVarastosta*, mitä testitapauksia tulisi generoida jotta kaikki edelläolevat ohjeet täyttyvät?
 - http://www.cs.helsinki.fi/u/wikla/ohjelmointi/materiaali/02_oliot

```

public class Varasto {
    private double tilavuus;
    private double saldo;

    public double otaVarastosta(double maara) {
        if (maara < 0) return 0.0;

        if(maara > saldo) {
            double kaikkiMitaVoidaan = saldo;
            saldo = 0.0;
            return kaikkiMitaVoidaan;
        }

        saldo = saldo - maara;
        return maara;
    }
}

```

- Metodina *otaVarastosta* testatessa testitapauksessa on huomioitava parametrin maara lisäksi varaston tilanne
- Varastotilanteita on kolmea ”ekvivalenssiluokkaa”
 - Tyhjä (esim. saldo 0, tilavuus 10)
 - Ei tyhjä eikä täysi (saldo 5, tilavuus 10)
 - Täysi (saldo 10, tilavuus 10)
- Näitä kutakin kohti on metodin parametrilla *maara* omat ekvivalenssiluokkansa
 - Esim. täysi varasto:
maara = -1, 0, 5, 10, 11
- *Tarvitseeko esim. nollan tai negatiivisen määrän ottamista tarkastaa kaikkien varastotilanteiden yhteydessä?*

Testauskattavuus

- Yksikkötestien (ja toki myös muunkinlaisten testien) hyvyyttä voidaan mitata **testauskattavuuden** (test coverage) käsitteellä
- Testauskattavuutta on muutamaa eri tyyppiä
- **Rivikattavuudella** (line coverage) tarkoitetaan kuinka montaa prosenttia testattavan metodin/luokan koodirivejä testimetodit suorittavat
 - Vaikka rivikattavuus olisi 100% ei tämä tietenkään tarkoita, että kaikki oleellinen toiminnallisuus olisi tutkittu
- **Haarautumakattavuudella** (branch coverage) tarkoitetaan kuinka montaa prosenttia testattavan metodin/luokan sisältävistä ehtolauseiden haaroista testit ovat suorittaneet
- Monet työkalut, esim. käyttämämme Cobertura mittaavat testien suorituksen yhteydessä testauskattavuuden
 - Coberturassa haarautumakattavuus on nimellä "conditionals"
- Muitakin kattavuuden tyyppejä on olemassa, mm. *ehtokattavuus* ja *polkukattavuus*, useat työkalut eivät niitä kuitenkaan testaa
- **Hyvät yksikkötestit siis saavuttavat mahdollisimman suuren kattavuuden ja ottavat huomioon edellisen sivun ohjeistuksen**

Mutaatiotestaus

- Pelkkä testikattavuus ei vielä kerro paljoakaan testien hyvyydestä, Hyvien testien tulisi olla sellaisia, että jos ohjelmaan tulee bugi, huomaavat testit virheen
- **Mutaatiotestauksen** (engl. mutation testing) idea on nimenomaan testata testitapausten hyvyyttä generoimalla koodiin systemaattisesti mutantteja eli pieniä ”bugeja” ja katsoa havaitsevatko testit koodiin tulleet bugit
- Erilaisia mutanttityyppejä, joita mutaatiotestauksessa koodiin generoidaan on paljon erilaisia, mm.
 - Manipuloidaan ehtolausetta: $\text{if} (x < 0) \rightarrow \text{if} (x \leq 0)$ tai $\text{if} (\text{true})$
 - Vaihdetaan operaattoria: $x += 1 \rightarrow x -= 1$
 - Kovakoodataan paluuarvo: $\text{return } x; \rightarrow \text{return true};$
 - Korvataan konstruktorikutsu: $\text{olio} = \text{new Olio}() \rightarrow \text{olio} = \text{null};$
- Mutaatiotestauksen ongelmana on mutaatioiden suuri määrä ja ns. *ekvivalentit mutantit*, joiden takia mutaatiotestauksen tulos vaatii aina ihmisen tulkintaa
 - Ekvivalentti mutantti tarkoittaa muutosta koodissa, joka ei kuitenkaan muuta ohjelman toiminnallisuutta. Eli mutantin lisäämistä koodiin ei voi mikään testi havaita. Mutantin toteaminen ekvivalentiksi algoritmisesti on mahdotonta
- Lisätietoa
 - http://en.wikipedia.org/wiki/Mutation_testing ja <http://pitest.org/>

Integraatiotestaus

- Järjestelmän yksittäiset, erillään yksikkötestatut luokat tulee **integroida** toimivaksi kokonaisuudeksi
- Integroinnin yhteydessä tai sen jälkeen suoritetaan **integroititestausta**
- Integraatiotestauksen painopiste on osien välisten rajapintojen toimivuuden tutkimisessa sekä komponenttien yhdessä tuottaman toiminnallisuuden oikeellisuuden varmistamisessa
- Järjestelmän integrointi voi edetä joko järjestelmän rakenteeseen perustuen tai järjestelmän toteuttamien ominaisuuksien mukaan
 - **Rakenteeseen perustuvassa** integraatiossa keskitytään kerrallaan sovelluksen yksittäisten rakenteellisten komponenttien integrointiin
 - Esim. olutkaupassa integroitaisiin sovelluslogiikan luokat, käyttöliittymän toteutus ja tietokantarajapinta omina kokonaisuuksinaan
 - **Ominaisuuksiin perustuvassa** integroinnissa, taas liitetään yhteen alikomponentit, jotka toteuttavat järjestelmän loogisen toimintakokonaisuuden
 - Olutkaupassa voitaisiin esim. integroida kerrallaan kaikki toiminnallisuuteen ”lisää tuote ostoskoriin” liittyvät luokat

Integraatiotestaus

- Sekä rakenteeseen, että ominaisuuksiin perustuva integrointi voi tapahtua joko ylhäältä alas tai alhaalta ylös:
 - **Bottom up:** lähdetään liikkeelle yksittäisistä komponenteista, liitetään niitä yhteen ja suoritetaan testejä kunnes kaikki integroitavat komponentit on yhdistetty
 - **Top-down:** ensin kehitetään järjestelmän korkean tason rakenteet siten, että yksittäisten komponenttien paikalla on tynkäkomponentteja (stub). Tyngät korvataan sitten yksi kerrallaan todellisilla komponenteilla koko ajan kokonaisuutta testaten
- Oldschool-ohjelmistotuotannossa toimintatapa oli se, että kaikki ohjelman yksittäiset komponentit ohjelmoitiin ja yksikkötestattiin erikseen ja tämän jälkeen ne integroitiin (yleensä rakenteeseen perustuen) kerralla yhteen
 - *Tämän tyylinen big bang -integraatio* on osoittautunut todella riskialttiiksi (seurauksena usein ns. integraatiohelvetti) ja sitä ei enää kukaan täysijärkinen suosittelen käytettäväksi
- Moderni ohjelmistotuotanto suosii ns. jatkuvaa integraatiota, joka on hyvin tiheässä tahdissa tapahtuvaa ominaisuuksiin perustuvaa integrointia
 - Palaamme aiheeseen huomenna

Regressiotestaus

- Iteratiivisessa ja ketterässä ohjelmistotuotannossa, jossa jokainen iteraatio tuottaa ohjelmistoon uusia ominaisuuksia, on oltava tarkkana, että lisäykset eivät hajota ohjelman jo toimivia osia
- Testit siis on ajettava uudelleen aina kun ohjelmistoon tehdään muutoksia
- Tätä käytäntöä sanotaan **regressiotestaukseksi**
- Regressiotesteinä ei välttämättä tarvitse käyttää kaikkia ohjelmiston testejä, sopiva osajoukko voi taata riittävän luottamuksen
 - Regressiotestijoukko koostuu siis yksikkö-, integraatio- ja järjestelmätesteistä
- Testaus on erittäin työlästä ja regressiotestauksen tarve tekee siitä entistä työläämpää
- Tämän takia on erittäin tärkeää pyrkiä automatisoimaan testit mahdollisimman suurissa määrin
- Käsitlemme muutamia järjestelmätason testauksen automatisoinnin menetelmiä huomenna