

6. gyakorlat – Követelmények elemzése, felderítő adatelemzés – Megoldások

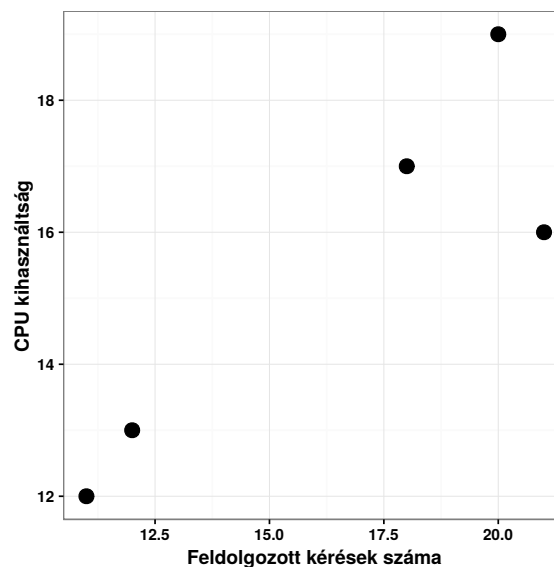
1. Szerver teljesítménye – felderítő adatelemzése

Egy szerveren az alábbi teljesítményjellemzőket mértük:

Mintavétel időpontja [ms]	500	600	700	800	900
Utolsó 100ms alatt feldolgozott kérések száma [darab]	11	12	21	18	20
Utolsó 100ms átlagos kiszolgálási ideje [ms]	15	20	21	25	27
Utolsó 100ms CPU kihasználtság [%]	12	13	16	17	19
Utolsó 100ms HDD I/O kihasználtság [%]	55	63	87	61	73

- a) Ábrázoljuk a feldolgozott kérések számát és a CPU kihasználtságot pontfelhő (scatterplot) diagramon! Értelmezzük a diagramot!

Megoldás



Két klaszter (csoportosulás) látszik, nagyjából pozitív a korreláció (kb. arányosak az adatok), de nem direkt monoton (valami más is befolyásolhatja az adatokat, ezért ingadozik). Értelmezve a látottakat a CPU átlagos kihasználtsága a feldolgozott kérések számával nő. A bal alsó csoport kisebb terhelésű pillanatokot tartalmaz, míg a jobb felső nagyobbakat. Ez a megfigyelés adott esetben jó alapja lehet a terhelés vizsgálatának (pl. az egyes csoportokhoz tartozó pontok időben is közel vannak-e egymáshoz).

- b) Az első mintavétel idején mekkora az átbocsátási ráta értéke? Az 5 mintavétel alapján mekkora az átbocsátási ráta tapasztalati átlaga és mediánja? Mi tartozik a 40%-os kvantilisbe?

Megoldás

A mintavételi időkből látszik, hogy két mintavétel között 100 ms telik el. Ebből

$$X_1 = \frac{k_1}{\Delta t} = \frac{11 \text{ kérés}}{100 \text{ ms}} = \frac{11 \text{ kérés}}{100 \text{ ms}} \left[\frac{1000 \text{ ms}}{1 \text{ s}} \right] = 110 \frac{\text{kérés}}{\text{s}}.$$

A tapasztalati átlag kiszámítása történhet a másik négy átbocsátás kiszámításával és átlagolással, vagy a következő módon (kihasználva, hogy Δt végig 100ms):

$$\bar{k} = \frac{\sum_{i=1}^n k_i}{n} = \frac{11 + 12 + 21 + 18 + 20}{5} = 16,4$$

Ebből az átlagos átbocsátás $\bar{X} = \frac{\bar{k}}{\Delta t} = \frac{16,4}{0,1} = 164 \frac{\text{kérés}}{\text{s}}.$

Az elemek sorba állítva 11, 12, 18, 20, 21, ebből rögtön látszik, hogy a medián 18, tehát az átbocsátás mediánja $\frac{18}{0,1} = 180 \frac{\text{kérés}}{\text{s}}.$

A p kvantilis definíció szerint az a szám, amelynél az elemek p -ed része kisebb vagy egyenlő. A p kvantilisba azok az elemek tartoznak, amelyek kisebb vagy egyenlők a p kvantilishoz. A kvantilis speciálisabb változata a percentilis, amely egész százalékokkal dolgozik, valamint a kvartilis, amely „negyedeli” az adatot. Pl. a 35. percentilis a 35%-os kvantilishoz felel meg (a kvantilis lehetne pl. 35,7% is!), a második kvartilis pedig az 50%-os kvantilishoz.

Itt az elemek legkisebb 40%-a a 11 és a 12, ezért a 40%-os kvantilis értéke a 12 lesz, és a 11, illetve 12 elemek tartoznak bele. A kapcsolódó átbocsátási ráták $110 \frac{\text{kérés}}{\text{s}}$ és $120 \frac{\text{kérés}}{\text{s}}$.

- c) Vajon mely mért jellemzők között sejthető ok-okozati viszony?

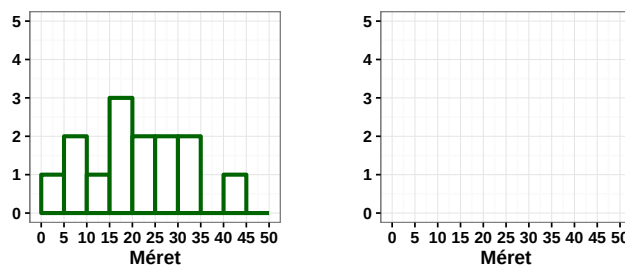
Megoldás

Ahogy az ábrán is látjuk, az átbocsátás hatással van az erőforrások kihasználtságra. A szűk keresztmetszetnek számító erőforrás (HDD – ld. korábbi gyak) magas kihasználtsága meg is látszik a megnyúlt válaszidőkön.

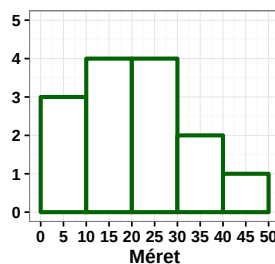
2. Képgaléria – adatelemzés

Online képgalériánkban a felhasználók keresés alapján megjeleníthetnek a keresőkifejezésre illeszkedő képeket.

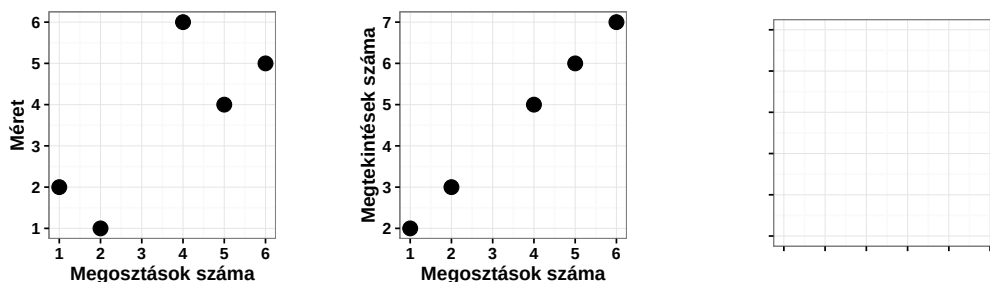
- a) Az alábbi hisztogramon ábrázoltuk az albumok méretének eloszlását. Mivel a tárhely hatékony szervezéséhez elég azt tudnunk, hogy hány 10 alatti, 10 és 20 közötti stb. képet tartalmazó albumunk van, az alábbihoz képest kétszeres oszlopszélességű hisztogramot szeretnénk (szintén a 0 mérettől kezdve felszámítva az oszlopokat). Rajzoljuk meg az ábrát!



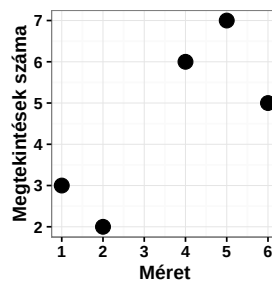
Megoldás



- b) Pont-pont diagramon (scatterploton) ábrázoltuk 5 kiválasztott album méretét illetve megtekintési számát a megosztási számmal összehasonlításban. Igaz-e, hogy minél nagyobb az album, annál többen tekintik meg? Válaszolja meg a kérdést egy harmadik pont-pont diagramon, amely a megtekintések számát a méret függvényében ábrázolja!



Megoldás



- c) Az albumok jellemző népszerűségét szeretnénk meghatározni, emiatt a pont-pont diagram alapján kiszámoltuk a megtekintési számok átlagát és mediánját. Általánosságban megtehető-e ez egy pont-pont diagram alapján? Mennyivel változnak ezen középértékek, ha feltöltünk egy új albumot, amelyet 40-en tekintenek meg?

Megoldás

Az értékek 2, 3, 5, 6, 7; tehát az átlag $\frac{23}{5} = 4,6$, míg a medián 5.

Ha hozzávesszük a 40-et, akkor az átlag $\frac{63}{6} = 10,5$, míg a medián $\frac{5+6}{2} = 5,5$.

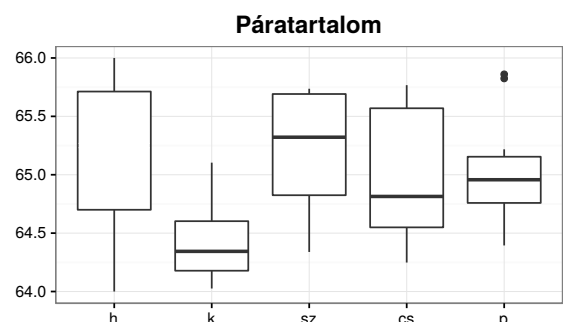
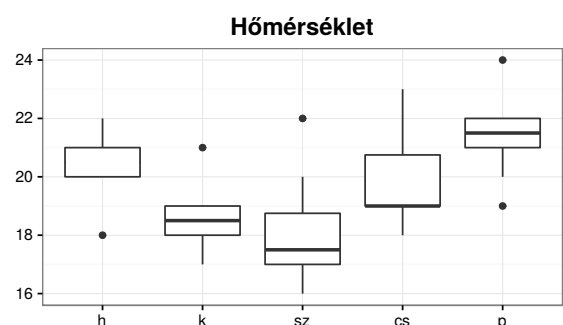
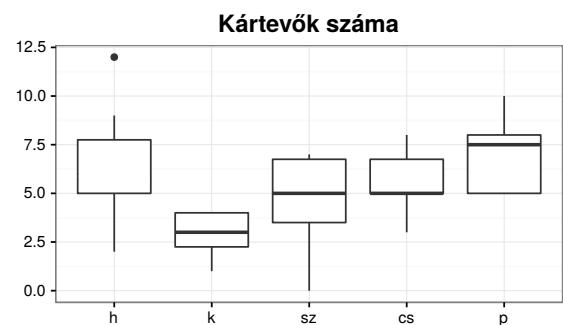
Tanulság: az átlag érzékenyebb a kiugró értékekre, a medián kevésbé.

3. Szenzorhálózat (korábbi zh feladat) – adatelemzés

Adott egy mezőgazdasági szenzorhálózat, amellyel a szabadföldes, üvegházi, ill. fóliasátras területeink állapotát követjük nyomon a mért értékek (hőmérséklet, páratartalom, fényerősség, szélesség, detektált kártevők stb.) alapján.

Dátum	Hőm. [°C]	Pára. [%]	Kártevők [db]
2015. 05. 04. 08:00	18	66,00	3
2015. 05. 04. 09:00	20	65,75	6
2015. 05. 04. 10:00	20	65,75	8
2015. 05. 04. 11:00	20	65,50	9
2015. 05. 04. 12:00	20	65,50	5
2015. 05. 04. 13:00	21	65,00	12
2015. 05. 04. 14:00	21	64,70	5
2015. 05. 04. 15:00	21	64,70	6
2015. 05. 04. 16:00	21	64,60	7
2015. 05. 04. 17:00	22	64,00	2

- a) Sajnos a május 4. hétfői középértékek (medián) lemaradtak az ábráról, rajzoljuk őket be a táblázatban található adatok alapján!
- b) Értelmezze a diagramokat: mely változó(k) első kvartilisei mutat(nak) szigorúan monoton változást az idő folyamán?
- c) (Kiegészítő feladat.) Szeretnénk párhuzamos koordináta diagramon összevetni a hétfői hőmérsékleti értékeket a detektált kártevők számával.



Megoldás

- a) Rajzoljuk be a medián értékeket. Mivel páros számú értékünk van, ezért a középső kettő átlaga lesz a medián. Az első két oszlop rendezett, ezért pont a középső két érték átlaga: $\frac{20+21}{2} = 20,5$, ill. $\frac{65,5+65}{2} = 65,25$.

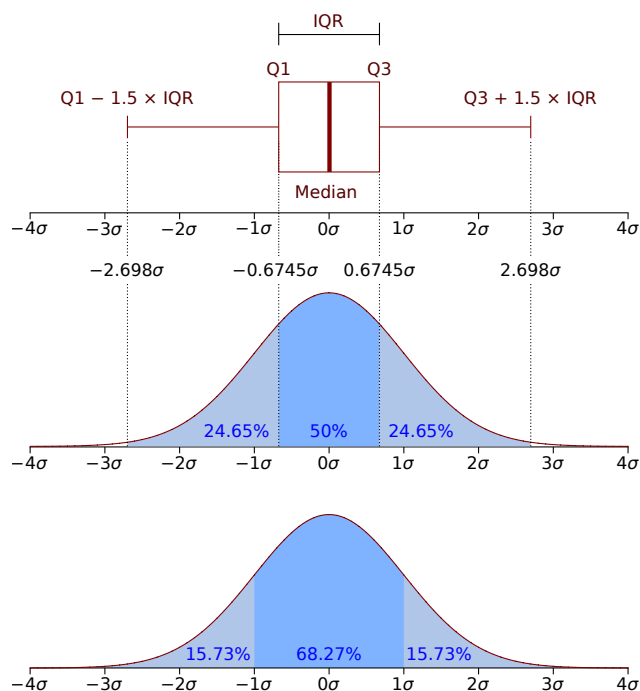
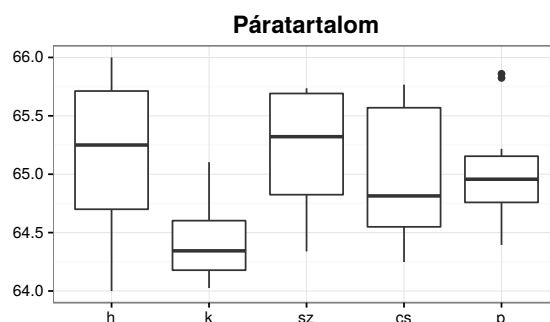
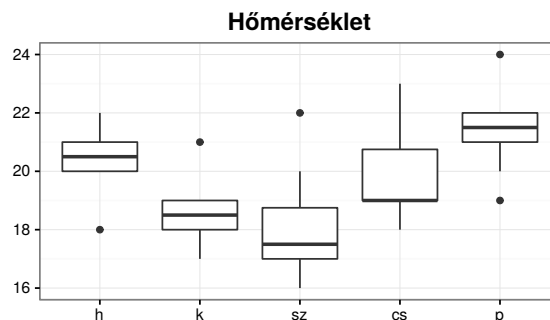
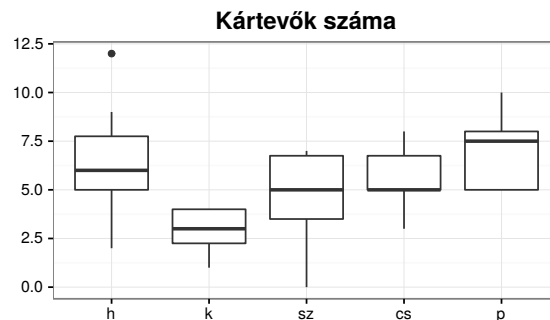
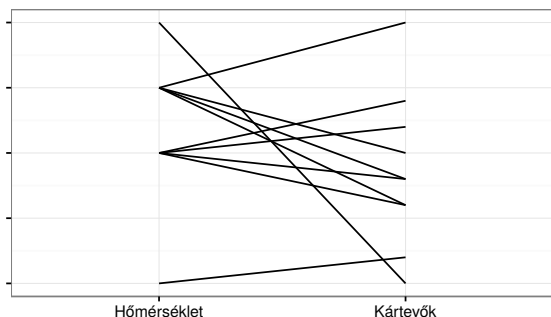
A harmadik oszlop sorbarendevezve 2, 3, 5, 5, 6, 6, 7, 8, 9, 12, így a medián $\frac{6+6}{2} = 6$.

- b) Egyik sem, hiszen a „dobozok” alja nem mutat sehol szigorúan monoton változást.

A boxplot főbb jellemzőit az 1. ábra mutatja be. A $\pm 1.5 \times \text{IQR}$ -en kívül eső értékeket ponttal jelöljük.

Érdekességgént megjegyezzük, hogy a 1.5 konstans használata egy statisztikai konvenció, amely analóg a normális eloszlású adathalmazok $\pm 3\sigma$ elvével.

- c) Az értékeket az alábbi párhuzamos koordináta diagramon ábrázoljuk.



1. ábra. A boxplot főbb jellemzői

4. Szenzorhálózat (korábbi zh feladat) – teljesítményelemzés (*)

(A 3. feladathoz kapcsolódó teljesítményelemzési feladatok.) A különböző típusú szenzorok a helyüktől számított 100 méteres körzetben lévő területekről szolgáltatnak adatokat. A szenzorok mérési eredményeiket időbélyeggel ellátva, rádiós kommunikációs hálózaton továbbítják a központnak. A központi számítógép processzora feldolgozza a kéréseket, majd archiválási cézzal kiírja őket egy tárolóegységre. A gazdaságunk összesen 4500 szenzort telepített, amelyek percenként egy-egy mérési eredményről adnak jelentést. A rendszer sikerrel kiszolgálja a terhelést. A rádiós kommunikációs hálózat 100 mérési eredményt képes másodpercenként továbbítani. A központi számítógép CPU idejének 75%-a tétlenül múlik. A tárolóegységet 8 ms-ig foglalja le minden egyes kérés kiírása.

- a) Másodpercenként hány mérési adat a rendszer jelenlegi átbocsátása?

Megoldás

$$X = 4500 \text{ szenzor} \cdot 1 \text{ adat}/60 \text{ s} = 75 \text{ adat/s}$$

- b) Mekkora a hálózat, CPU, ill. tároló átbocsátása, átbocsátókéessége és kihasználtsága?

Megoldás

$$X_{\text{hálózat}} = X_{\text{CPU}} = X_{\text{tároló}} = X = 75 \text{ adat/s, mert minden vizitációs szám 1.}$$

$$X_{\text{hálózat}}^{\max} = 100 \text{ adat/s} \rightarrow U_{\text{hálózat}} = X_{\text{hálózat}}/X_{\text{hálózat}}^{\max} = 75/100 = 75\% = 0,75$$

$$U_{\text{CPU}} = 1 - 0,75 = 0,25 = 25\% \rightarrow X_{\text{CPU}}^{\max} = X_{\text{CPU}}/U_{\text{CPU}} = 75/0,25 \text{ adat/s} = 300 \text{ adat/s}$$

$$T_{\text{tároló}} = 0,008 \text{ s és nincs átlapolódás:}$$

$$X_{\text{tároló}}^{\max} = 1/T_{\text{tároló}} = 125 \text{ adat/s} \rightarrow U_{\text{tároló}} = X_{\text{tároló}}/X_{\text{tároló}}^{\max} = 75/125 = 60\% = 0,6$$

- c) A mérési pontosság javításához hány szenzort helyezhetünk még üzembe ugyanezen a területen az infrastruktúra fejlesztése nélkül? Feltételezzünk lineáris skálázódást!

Megoldás

Mivel minden mérés feldolgozásához igénybe vesszük mindhárom erőforrást:

$$X^{\max} = \min(X_{\text{hálózat}}^{\max}, X_{\text{CPU}}^{\max}, X_{\text{tároló}}^{\max}) = X_{\text{hálózat}}^{\max} = 100 \text{ adat/s}$$

Tehát 4/3 arányú felskálázás lehetséges, még 1500 szenzor üzembe helyezhető.

- d) A rádióhálózat ügyes kódolással biztosítja, hogy egyszerre több szenzor is sugározhasson mérési eredményeket. Átlagosan hány szenzor rádiója sugároz egyszerre (vagyis hány-szoros az átlapolódás) a hálózaton jelenleg, ill. a hálózat maximális terheltsége esetén, ha egy mérési eredmény sugárzása 40 ms-ig tart?

Megoldás

Alkalmazzuk Little törvényét a levegőben épp sugárzás alatt álló üzenetekre:

$$T_{\text{hálózat}} = 0,040 \text{ s}$$

$$X_{\text{hálózat}} = 75 \text{ adat/s} \rightarrow N_{\text{hálózat}} = X_{\text{hálózat}} \cdot T_{\text{hálózat}} = 75 \text{ adat/s} \cdot 0,04 \text{ s} = 3 \text{ adat egyszerre most}$$

$$X_{\text{hálózat}}^{\max} = 100 \text{ adat/s} \rightarrow N_{\text{hálózat}} = 100 \text{ adat/s} \cdot 0,04 \text{ s} = 4 \text{ adat maximálisan}$$

5. Vasúti biztosítóberendezés követelményelemzése

Vasúti biztosítóberendezést tervezünk. A rendszer elsődleges célja a vonatok összeütközésének megakadályozása. A megfelelő rendszer kifejlesztésének kulcsa a jó minőségű követelményspecifikáció, ugyanis a követelmények alapján kell majd teszteseteket és egyéb ellenőrző vizsgálatokat kidolgoznunk.

1. táblázat. A vasúti biztosítórendszer követelményei (részlet)

R1	Biztonság	A felügyelt pályarendszeren tartózkodó vonatok nem ütközhetnek össze.
R2	Működés	A vonatoknak biztosítani kell, hogy elérhessék az úti-céljukat.
R3	Optimalitás	Minimalizálni kell a vonatok menetidejét.
R4	Pályaszakaszok felügyelete	A pályarendszert szakaszokra kell osztani, ezeken egyszerre egy vonat tartózkodhat.
R5	Szakaszokra bontás	A pályarendszert szakaszokra kell bontani.
R6	Foglaltság	Egy szakaszon egyszerre egy vonat tartózkodhat.
R7	Foglaltság érzékelése	Valamilyen módon érzékelni kell, hogy egy szakaszon áll-e vonat, vagy nem.
R8	Hibatűrés	A komponensek meghibásodására fel kell készülni.
R9	Foglaltságjelző szenzorok	A foglaltságot többféle, redundánsan kialakított szenzorral kell érzékelni.
R10	Sínekbe épített szenzor	A sínekbe mindegyik szakaszon szenzorokat kell telepíteni, amik jelzik, hogy a szakaszon áll-e vonat, vagy sem.
R11	Kamerás rendszer	Ahol lehetséges, kamerákat kell telepíteni a szakaszok megfigyelésére.
R12	Helyzetmeghatározás	A vonatoknak folyamatosan jelezni kell a helyzetüket a központi vezérlő felé.
R13	GPS alrendszer	A vonatokat GPS alrendszerrel kell felszerelni.
R14	Vezeték nélküli kapcsolat	Biztosítani kell, hogy a vonatok vezetéknélküli hálózaton jelezhessék a helyzetüket a központi vezérlő felé.
R15	Vonatok vezérlése	Meg kell tudni akadályozni, hogy a foglalt szakaszra másik vonat is ráhajthasson.
R16	Vonat leállítása	A központi rendszer azonnal leállíthatja a vonatot.
R17	Mozdonytípusok támogatása	A rendszernek támogatnia kell minden, a sínpáron közlekedni képes mozdonytípust.
R18	Mozdony nem módosítható	Nem alkalmazható olyan megoldás, amihez a mozdonyok vezérlését meg kellene változtatni.

- a) Gyűjtsük össze azokat a szereplőket, akik egy ilyen rendszer kifejlesztése kapcsán érintettek, vagyis követelményeket támaszthatnak a leendő rendszerrel szemben (ún. *stakeholderek*)!

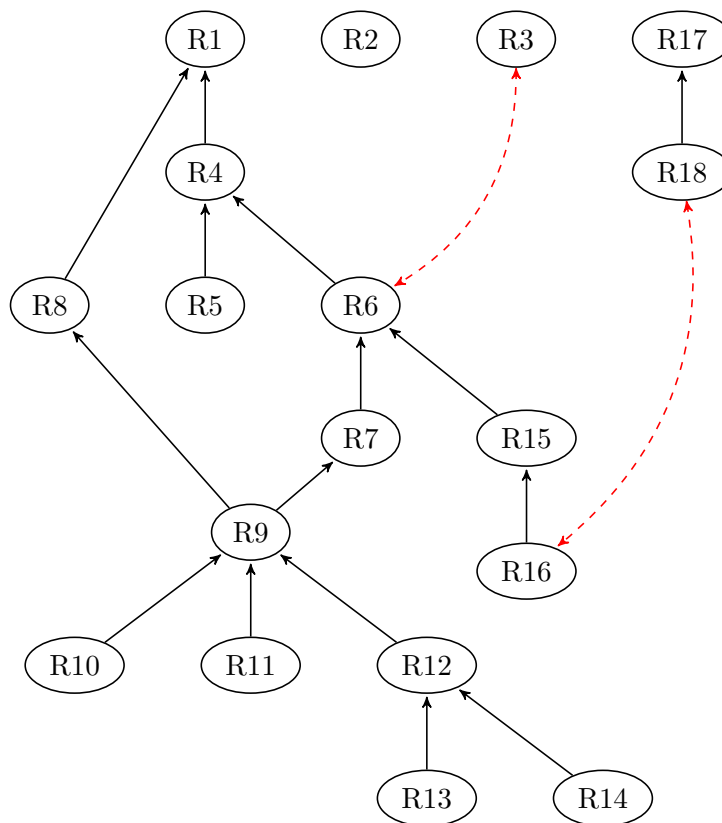
Megoldás

- Vasúti társaság
 - Vasúti karbantartók
 - Mozdonyvezetők
 - Forgalomirányítók
 - Vonatgyártók
 - Utasok
 - Hatóságok
 - Törvények és szabályozások
 - Felügyelő testületek
 - Szabványok
 - stb.
- b) A stakeholderek felderítése után összegyűjtöttük az általuk támasztott követelményeket is, ennek egy részletét tartalmazza az 1. táblázat. Rajzoljuk fel a követelmények közötti függőségi viszonyokat egy gráf segítségével! A gráfban *A*-ból *B*-be mutató irányított éllel jelezzük, ha (1) az *A* követelmény a *B* követelmény része (*kompozíció*), (2) az *A* követelmény finomítja (részletezi) a *B* követelményt (*refines* kapcsolat), illetve (3) az *A* követelmény származtatható a *B* követelményből (*derive* kapcsolat). Ne foglalkozzunk azzal, hogy két követelmény közül ezen viszonyok

melyike áll fent; most csak a kapcsolat megléte a fontos.

Megoldás

A vázolt kapcsolattípusok alapvetően a követelményanalízis során a tervező top-bottom gondolatmenetét fejezik ki, ezért a kapcsolat megléte, illetve főképp a típusa igen szubjektív lehet. A lényeges információ itt az, hogy adott magas szintű követelményhez mely alacsony szintű követelmények kapcsolódnak valamilyen módon. Egy ilyen hierarchia segítségével a megvalósítás bottom-up módon történhet az alacsony szintű követelményektől indulva. Emiatt nem érdemes most feltüntetni a kapcsolatok típusát.



(A szaggatott piros vonallal jelzett élek későbbi feladatban kerülnek elő.)

- c) A felsoroltak közül melyek funkcionális követelmények, illetve milyen típusúak az extrafunkcionális követelmények (biztonságosság, teljesítmény, megbízhatóság stb.)?

Megoldás

Funkcionális: R1, R2, R4–R7, R9–R16

Extrafunkcionális: R3 („teljesítmény”, esetleg optimalitás), R8 (megbízhatóság), R17 (kompatibilitás), R18 („karbantarthatóság”)

Általában a biztonsági (safety) követelmények (pl. R1) az extrafunkcionális követelmények közé tartoznak, mivel nem a rendszer elvárt funkcionalitását írják le, hanem minőségi követelményt támasztanak. Mivel jelen rendszerünk fő célja a vonatok biztonságát garantálni, így R1 itt funkcionális követelmény.

Vegyük észre, hogy egy extrafunkcionális követelmény megvalósításához szükséges konkrét funkciók (származtatott követelmények) már lehetnek funkcionális követelmények; és fordítva, egy funkcionális követelmény teljesülésének lehetnek extrafunkcionális feltételei.

- d) Vizsgáljuk meg, hogy konzisztens-e a bemutatott követelményrendszer! Ha nem az, akkor mutassunk példát ellentmondásra!

Megoldás

A követelményrendszerben két ellentmondás is található (ezeket az előző ábrán piros szaggatott vonallal jelöltük). Az egyszerűbben feloldható konfliktus az R3 és az R4 (vagy R6) között figyelhető meg, ugyanis azzal, hogy egy szakaszra egyszerre csak egy vonatot engedünk be, várhatóan szuboptimális eredményt kapunk a menetidő tekintetében (pl. ha egy szakasz jóval hosszabb, mint egy vonat). Itt kompromisszumot kell kötni a biztonságosság és a hatékonyság között, ami

a valóságban is egy gyakori dilemma.

A másik ellentmondás az R16 és R18 között feszül, ugyanis ahhoz, hogy a vonat távolról leállítható legyen a központból, feltételezhetően mindenképpen „bele kell nyúlni” a vezérlőjébe. Ennek a konfliktusnak a feloldása már nem kompromisszum kérdése, itt mindenképpen át kell alakítani a követelmények egy részét, attól függően, hogy az R16 vagy az R18 megsértése az elfogadhatóbb.

- e) A fentiekből adjunk példát közvetlenül ellenőrizhető követelményre!

Megoldás

Pl. ilyenek az R6, R7, R9 követelmények.

Kiegészítő feladatok

6. Közösségi oldal

Internetes közösségi oldalt működtetünk. Az utóbbi időben számottevően népszerűbb lett az oldal, de ezáltal a válaszidő is kellemetlenül megnőtt. Az üzleti cél, hogy csúcsidőszakban egyszerre 1500 felhasználót átlagosan négy másodperces válaszidővel szolgáljon ki a honlap.

- a) Minimálisan mekkorára kell tervezni a kiszolgáló infrastruktúra átbocsátóképességét, ha az azon kívüli késleltetés (hálózati forgalom, HTML megjelenítés a kliensoldalon) egy másodpercenek becsülhető?

Megoldás

Tehát a kiszolgáló infrastruktúránknak átlagosan 3 másodperces válaszidővel kell kiszolgálni egyszerre 1500 felhasználót. Little-törvényt alkalmazva: $N = 1500$, $T = 3 \frac{s}{\text{kérés}}$, tehát $X = \frac{N}{T} = 500 \frac{\text{kérés}}{s}$

- b) Az újratervezett weboldalon a mérések szerint egyetlen kérés kiszolgálása átlagosan 20 ms CPU-időt igényel a webszerveren, és 12,5 ms erejéig foglal le egy adatbázisszerveret. Jelenleg 15 webszerver fogadja a kéréseket és az adatbázis 5 kiszolgálóra van replikálva. Lineáris skálázhatóságot feltételezve, milyen számítógépből és mennyit kell még legalább venni a fenti cél eléréséhez?

Megoldás

$T_{\text{CPU}} = 20 \text{ ms} = 0,02 \text{ s}$, $T_{\text{DB}} = 12,5 \text{ ms} = 0,0125 \text{ s}$. A CPU-nak és adatbázisnak is legalább 500 kérést kell tudnia kiszolgálni másodpercenként, hogy a teljes rendszer is képes legyen erre (akár szekvenciális, akár párhuzamos kompozíciót alkalmazunk). Jelenleg az erőforrások egyetlen példányára: $X_{\text{CPU}}^{\text{max}} = \frac{1}{T_{\text{CPU}}} = 50 \frac{\text{kérés}}{s}$, $X_{\text{DB}}^{\text{max}} = \frac{1}{T_{\text{DB}}} = 80 \frac{\text{kérés}}{s}$. Tehát a 15 webszerver átbocsátó képessége együttesen $750 \frac{\text{kérés}}{s}$, míg az 5 adatbázis szerveré csak $400 \frac{\text{kérés}}{s}$. Tehát még *kell 2 db adatbázis szerver*, hogy az adatbázis réteg elérje a kívánt átbocsátó képességet.

- c) (*) A kibővített rendszerben mekkora lesz az egyes szervertípusok kihasználtsági aránya? Ha az a cél, hogy még a csúcsidőszakban is legfeljebb 50%-os legyen a kihasználtság, meddig kellene még bővíteni a rendszert?

Megoldás

A 15 webszerver átbocsátó képessége együttesen $X_{\text{web}}^{\text{max}} = 750 \frac{\text{kérés}}{s}$, a csúcsidőszakban a szükséges átbocsátás pedig $X_{\text{web}} = 500 \frac{\text{kérés}}{s}$. A kihasználtságuk tehát $U_{\text{web}} = \frac{X_{\text{web}}}{X_{\text{web}}^{\text{max}}} = \frac{2}{3}$. Ugyan ezzel a módszerrel: $U_{\text{DB}} = \frac{X_{\text{DB}}}{X_{\text{DB}}^{\text{max}}} = \frac{500}{520} = 0.96$.

Ha 50%-os kihasználtságot szeretnénk, akkor $\frac{X_{\text{web}}}{U_{\text{web}}} \left(= \frac{X_{\text{DB}}}{U_{\text{DB}}} \right) = \frac{500 \frac{\text{kérés}}{s}}{0.5} = 1000 \frac{\text{kérés}}{s}$ átbocsátó képességgel kell rendelkeznie az infrastruktúrának csúcsidőszakban. Ehhez 20 webszerver és 13 adatbázis szerver kell.

- d) Tekintsünk csak 2 db webszervert és 3 db adatbázis szervert. Készítsünk állapot alapú modell(ek)e(t), amely(ek) az infrastruktúra erőforrásait modellezi(k) az elérhetőségeik (szabad/foglalt) szerint. Milyen tervezői döntésekkel szembesülünk? Mik az egyes lehetőségek előnyei és hátrányai?

Megoldás

Lehetőségek:

- Az erőforrásokat *típusonként összevonva* modellezzük aszerint, hogy mennyi foglalt belőlük. Tehát lesz egy 0–1–2 állapotláncunk a webszerverekre, valamint egy 0–1–2–3 állapotláncunk az adatbázis szerverekre. Az erőforráskészlet teljes modellje ezek aszinkron szorzata lesz. A megoldás *előnye*, hogy egyszerű. Ha például szeretnénk erőforrás foglaltságot is modellezni, akkor az könnyen megvalósítható kooperáló állapotgépekkel: ha az erőforrás állapotgépe

nem az utolsó állapotban van, akkor sikerül a foglalás, és ezzel szinkronban az erőforrás állapotgépe is lép egyet „jobbra” (már eggyel kevesebb erőforrás szabad). Az erőforrás felszabadítás hasonlóan történik.

A megoldás *hátránya*, hogy nem szolgáltat arról információt, hogy melyik erőforrás példány mikor szabad vagy foglalt, így nem tudunk például pontos kihasználtságot mondani az egyes példányok esetén, csak egy átlagos értéket, ami az összes szervert jellemzi.

- Minden erőforrás *példányt külön modellezünk* egy szabad-foglalt állapotpárral (vagy akár még részletesebben). Tehát annyi állapotgép régiónk lesz, ahány erőforrás példányunk van. Az erőforráskészlet teljes modellje ezek aszinkron szorzata lesz.

A megoldás *előnye*, hogy konkrét erőforrás példányokra is tudunk például kihasználtságot számolni. Vagy ami még érdekesebb: tudunk erőforrásonként meghibásodást és javítást is modellezni és ennek fényében megnézni az egyes metrikák változását. A meghibásodási és javítási ráták különbözhetnek is az egyes példányok esetén, így lehetőség nyílik heterogén erőforrás kollekció (vagy alkatrész előregedés) modellezésére is.

A megoldás *hátránya*, hogy mostantól a fogyasztók felé is több erőforrás példány látszik, ami például megnehezíti a foglalás modellezését. Egy erőforrás foglalásához meg kell keresni egy szabad erőforrást, majd a végén pontosan azt kell felszabadítani. Ez a szituáció még tovább bonyolódik, ha egy művelethez több erőforrásra is szükség van (holtpont, éheztetés). Ebben az esetben célszerű (és szokás is) bevezetni egy erőforrás menedzser komponenst, amely elrejtí ezt a folyamatot a fogyasztóktól.