

Hugbúnaður til aðstoðunar við röðun lyfjagjafa

Verkefni styrkt af Nýsköpunarsjóði námsmanna árið 2021

Bjarki Baldursson Harksen • Jason Andri Gíslason

Umsjónarmenn:

Rögnvaldur Jóhann Sæmundsson

Tómas Philip Rúnarsson

Vigdís Hallgrímsdóttir



HÁSKÓLI ÍSLANDS



LANDSPÍTALI

Útdráttur

Röðun lyfjagjafa fyrir krabbameinssjúklinga er flókið verkefni og hingað til hefur skort sérhæfð og notendavæn verkfæri sem taka samtímis tillit til áhrifa röðunar á biðtíma sjúklinga, álag á starfsfólk og nýtingu sérhæfðs búnaðar til lyfjagjafar. Markmið þessa verkefnis var að smíða frumgerð að hugbúnaði sem notar nýja tegund bestunar- og hermilíkana til að bæta röðun lyfjagjafa á dagdeild blóð- og krabbameinslækninga á Landspítala. Meginviðfangsefni verkefnisins var að þróa myndræna framsetningu upplýsinga og gagnvirk notendaviðmót sem auðveldar vinnu og bætir árangur við röðun lyfjagjafa á dagdeild fyrir krabbameinssjúklinga. Árangur verkefnisins var þokkalegur og markmið þess náðist. Starfsmenn Heilsgreindar ehf. hafa strax hafist handa við frekari þróun verkefnisins.

Inngangur

Lyfjameðferðir gegna lykilhlutverki í krabbameinslækningum. Þær krefjast sérstaks rýmis þar sem sérhannaðir lyfjagjafastólar eru notaðir og oft þurfa sjúklingar að nota þá í fleiri klukkutíma í senn. Auk þess þarf hjúkrunarfræðingur að sitja yfir sjúklingnum meðan á lyfjagjöfnni stendur og jafnframt gera stólinn kláran fyrir hverja notkun og ganga frá honum að notkun lokinni.

Á meðan mikil fólksfjölgun hefur átt sér hérlandis síðastliðna áratugi hefur aðstaða lyfjagjafadeilar Landspítalans lítið stækkað á sama tímabili. Því hefur myndast mikil eftirspurn eftir lyfjagjöfum en framboð lítið aukist. Nýgreiningum á krabbameini hefur fjölgað mikið og nú reynist erfitt fyrir starfsfólk spítalans að finna tíma fyrir sjúklingana sem þurfa lyfjameðferð.

Markmið þessa verkefnis var að smíða frumgerð að hugbúnaði til aðstoðar við röðun lyfjameðferða á Landspítala. Á Landspítala sjá ritara lyfjagjafadeildar um að bóka sjúklinga í tíma þar sem þeir eru bókaðir í nokkur skipti í senn en skilyrðin fyrir bókuninni eru margar. Sjúklingur fer í fyrirfram ákveðna meðferð sem krabbameinslæknir ákveður í samráði við sjúklinginn. Skorðurnar sem settar eru á bókunina flækja vinnu ritara en plássleysi á deildinni veldur því að yfirleitt eru flest pláss bókuð og því er erfitt fyrir ritara að finna leið til að uppfylla skorður meðferðarinnar.

Helsta nýnæmi verkefnisins felst í notkun nýrrar tegundar af bestunar- og hermilíkönunum og áherslu verkefnisins á myndræna framsetningu upplýsinga og gagnvirk notendaviðmót. Við röðun lyfjagjafa þarf að hafa margt í huga, t.d. áætlaðan tíma sem tekur að gefa lyfið (sem er mjög mismunandi eftir lyfjablöndum), regulega endurtekningu lyfjagjafarinnar, aðgang að sérhæfðum tækjabúnaði og aðstöðu og mönnun sérhæfðs starfsfólks sem sinnir og

hefur eftirlit með lyfjagjöfinni. Samskipti við blöndunareiningu apóteks spítalans er einnig mikilvægt svo að rétt lyf sé blandað, í réttum skammti og á réttum tíma. Samþætting þessara þátta er snúin og erfitt að jafna flæði sjúklinga. Í dag hefur starfsfólk Landspítala og víða um heim ekki aðgang að sérhæfðum verkfærum sem nota söguleg gögn til aðstoðar við þetta flókna viðfangsefni. Auk þess er myndræn framsetning upplýsinga um skipulag lyfjagjafa og nýtingu rýma og aðfanga ekki til staðar.

Árangur verkefnisins var þokkalegur og það markmið að þróa frumgerð að hugbúnaði náðist. Næsta skref er að þróa þessa frumgerð áfram í nothæfan hugbúnað. Vegna áhuga frá Landspítala hafa starfsmenn Heilsugreindar ehf. þegar hafist handa við það. Stefnt er á að afurð þeirrar vinnu fari í notkun í náginni framtíð.

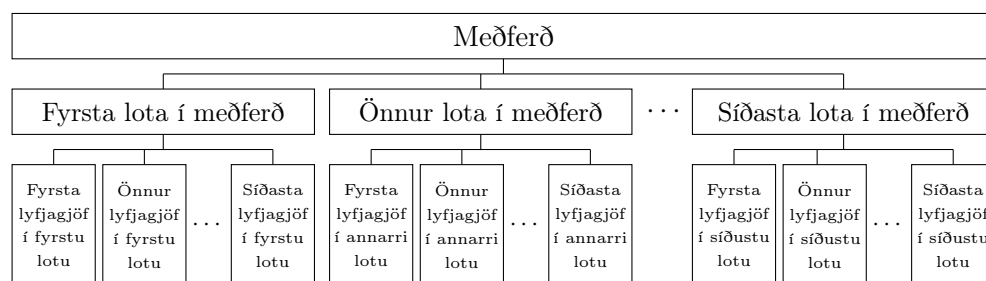
Skýrsla þessi er í fjórum hlutum. Fyrst er fjallað um bakgrunn verkefnisins og því næst er framkvæmd þess lýst. Í kjölfarið fylgja niðurstöður verkefnisins, þar á meðal notendaviðmót og bestunarlíkan, og að lokum er rætt um framtíð verkefnisins.

Bakgrunnur

Fjallað er um bakgrunn verkefnisins í þremur hlutum. Í fyrsta hluta er fjallað um núverandi ferli bókana í lyfjameðferðir. Í öðrum hluta er fjallað um bestunarlíkön og notkun þeirra við röðun lyfjagjafa. Í þriðja hluta er fjallað um myndræna framsetningu upplýsinga og hlutverk hennar við röðun lyfjagjafa.

Lyfjameðferðir og bókun sjúklinga

Einfaldaða mynd af uppbyggingu krabbameinslyfjameðferða má sjá að neðan.



Mynd 1: Uppbygging lyfjameðferða

Lyfjameðferðir skiptast hér í lotur, sem skiptast frekar í lyfjagjafir. Lyfjagjöf er þegar sjúklingur situr í stól og er gefið lyf. Lengd lyfjagjafa er mismunandi eftir aðstæðum, allt frá 20 mínútum í nokkrar klukkustundir. Á milli lota fer sjúklingur í viðtal hjá lækni sem metur ástand sjúklings og árangur lyfjagjafar og ákveður næstu skref í samræmi við það.

Í dag eru sjúklingar bókaðir í krabbameinslyfjameðferðir handvirkt af riturum á dagdeild fyrir krabbameinslækningar. Þetta er flókið og tímafrekt ferli og oft koma beiðnir um bókanir með styttra millibili en ritarar ráða við. Auk þess geta beiðnir komið frá mörgum áttum og á þann hátt að ritari þarf að gera hlé á bókun eins sjúklings til að bóka annan sjúkling. Passa þarf að sjúklingur mæti samkvæmt fyrirfram áætlaðum kúri sem er ákveðinn af krabbameinslækni. Vegna gífurlegs fjölda meðferðagerða sem notaðar eru þarf oft að fletta í gegnum margar blaðsíður af töflum og upplýsingum áður en bókun er staðfest. Allt þetta hefur í för með sér að nýr ritari þarf mikla þjálfun áður en hann hefst starfa og því er erfitt fyrir Landspítala að ráða nýja ritara.

Með hverjum sjúklingi á að fylgja svokallaður samskiptaseðill sem hýsir margar þeirra upplýsinga sem nota þarf, bæði fyrir ritara og hjúkrunarfræðinga. Hins vegar er ekki óvenjulegt að þessa samskiptaseðla vanti eða að þeir séu illa útfylltir. Samskiptaseðlarnir eru í dag útprentaðir en Landspítalinn vinnur að því að stafræna þá. Það gæti verið stórt skref í þá átt að leysa þau vandamál sem samskiðtaseðlar fela í sér, auk þess sem það félli vel að lausn að því tagi sem verkefni þetta stefnir á (sjá Umræður).

Notkun bestunarlíkana fyrir röðun lyfjagjafa

Vegna hins háa flækjustigs í bókunarferli krabbameinssjúklinga og þeirra tilviljunakennda þátta sem því fylgja er ógerlegt að reiða á einfaldar reglur til að raða lyfjagjöfum. Fyrir slík verkefni er tilvalið að nota svokölluð bestunarlíkön. Bestunarlíkön eru reiknirit sem reyna að lágmarka ákveðna stærð og finna þannig sem besta lausn á afmörkuðu verkefni sem tekur samtímis tillit til gefinna skorda.

Í þessu verkefni var notað heiltölubestunarlíkan, en það er bestunarlíkan sem hefur aðeins heilar tölur til umráða. Sem grunn að reikniritinu var notast við bestunarreikniritssmiðinn Gurobi¹ í sameiningu við forritunarmálið Python². Gurobi er nú talið vera meðal bestu bestunarreikniritssmiða í heimi. Lesa má nánar um reikniritið sem þetta verkefni gaf af sér undir Niðurstöður.

Myndræn framsetning upplýsinga

Erfitt getur verið fyrir ritara og aðra starfsmenn Landspítala að meta álag á deild og hjúkrunarfræðinga. Þetta getur valdið vandræðum bæði hvað varðar skipulagningu hjúkrunarfræðinga frá degi til dags og bókun nýrra sjúklinga og getur t.d. leitt til yfirvinnu, langs biðtíma sjúklinga og illa nýttar aðstöðu.

¹<https://www.gurobi.com/>

²<https://www.python.org/>

Annar vandi er sá gífurlegi fjöldi upplýsinga sem felst í útkomu bestunarlíkans eins og lýst er að ofan. Þeim upplýsingum þarf að miðla til notanda á skýran og hnitmiðaðan hátt.

Í báðum þessum tilvikum getur myndræn framsetning upplýsinga komið að góðum notum. Myndræn framsetning getur sparað mikinn tíma við upplýsingamiðlun og hjálpar notendum að draga fram þær ályktanir úr flókinni tölfræði sem mikilvægastar eru.

Á Landspítala er mikil áhersla lögð á sjónræna framsetningu upplýsinga. Á flestum skrifstofum innan veggja spítalans er að finna ótal skjái með ýmsum litríkum mælaborðum, sérhvert þeirra hannað á mismunandi hátt til að koma viðeigandi upplýsingum til skila. Þessar upplýsingar eru í langflestum tilfellum lýsing á núverandi stöðu eða söguleg gögn en spítalinn notar mun sjaldnar söguleg gögn ásamt hermi- og bestunarlíkönum við leiðbeinandi greiningu.

Framkvæmd

Verkefnið var unnið í tveimur þrepum: Undirbúningur og sprettir. Námsmenn stýrðu vinnunni sjálfir en umsjónarmenn verkefnisins komu að því með því að leiðbeina námsmönnum, helst varðandi áherslur og forgangsöröðun verkefna m.t.t. verkefnastjórnunar. Umsjónarmaður frá Landspítala hjálpaði námsmönnum að komast í samband við starfsmenn spítalans og veitti aðgang að sögulegum gögnum og almenna ráðgjöf.

Undirbúningur

Í upphafi sumars var fundað með starfsmönnum Landspítala og útlínan að verkefninu og þeim vandamálum sem leysa átti var sett fram. Auk þess var farið yfir lesefni sem tengdist verkefninu og skoðaðar lausnir að svipuðum verkefnum. Meðal þeirra greina sem lesnar voru eru Abdalkareem o.fl. (2021), Benzaid, Lahrichi og Rousseau (2020), Vogl, Braune og Doerner (2019) og Turkcan, Zeng og Lawley (2012), sú síðastnefnda einstaklega hjálpleg m.t.t. þróun bestunarlíkans (sjá Niðurstöður).

Heilbrigðis- og upplýsingatæknideild Landspítala (HUT) sér um rekstur upplýsingakerfa spítalans. Allur hugbúnaður sem keyrir innan veggja spítalans þarf að uppfylla kröfur HUT og auk þess þurfti aðstoð deildarinnar við að sækja upplýsingar úr kerfum spítalans. Útvegaður var aðgangur að vélum hjá HUT með þróunarumhverfi og jafnframt var settur upp aðgangur að VPN kerfi sem leyfði aðgang inn fyrir eldvegg spítalans.

Sprettir

Notast var við Agile aðferðafræði við verkefnastjórnun, en sú aðferð hefur náð mikilli útbreiðslu á síðustu árum sem verkefnastjórnunaraðferð í hugbúnaðargerð og tengdum greinum.

Unnið var í vikulöngum sprettum en í hverjum spretti var notendasaga höfð að leiðarljósi. Notendasaga er virkni eða athöfn sem notandi hugbúnaðarins vill geta haft eða gert í hugbúnaðinum. Þessar notendasögur voru útbúnar í samráði við hagsmunaaðila.

Sprettum var lokið á vikulegum miðvikudagsfundum þar sem ný frumgerð að hugbúnaði var kynnt. Á þessum upplýsinga- og samráðsfundum fengu starfsmenn Landspítala og aðrir sem að verkefninu komu að bera fram hugmyndir að breytingum hugbúnaðar og/eða lausnum á vandamálum sem verkefnið stóð frammi fyrir. Í lok fundanna voru næstu skref verkefnisins ákveðin og þannig byrjað á næsta sprett. Með þessu var betur tryggt að markmiði Agile aðferðarinnar væri náð, en það er að fullnægja þörfum viðskiptavinarins með skjótum og reglulegum afhendingum á nothæfum hugbúnaði.

Niðurstöður

Niðurstöður verkefnisins eru tvíþættar. Annars vegar var hannað notendaviðmót fyrir starfsmenn Landspítala og hins vegar var sett fram bestunarlíkan og skrifað reiknirit í samræmi við það.

Notendaviðmót

Þróað var notendaviðmót fyrir starfsmenn Landspítala til að skoða stöðu og meta álag deildarinnar, fletta upp tímabókunum og fá tillögu um bókun nýrra sjúklinga. Viðmótið er byggt upp með vefforritunartólinu Shiny³, sem byggir á forritunarmálinu R⁴. Myndir og gröf voru gerð í umhverfinu Vega⁵. Allar upplýsingar sem koma fyrir í viðmótinu koma frá innri bókunarþjónustu Landspítala, sem kallað er á eftir þörfum. Viðmótið skiptist í þrjá hluta: yfirlit, leit og bókun.

Yfirlit

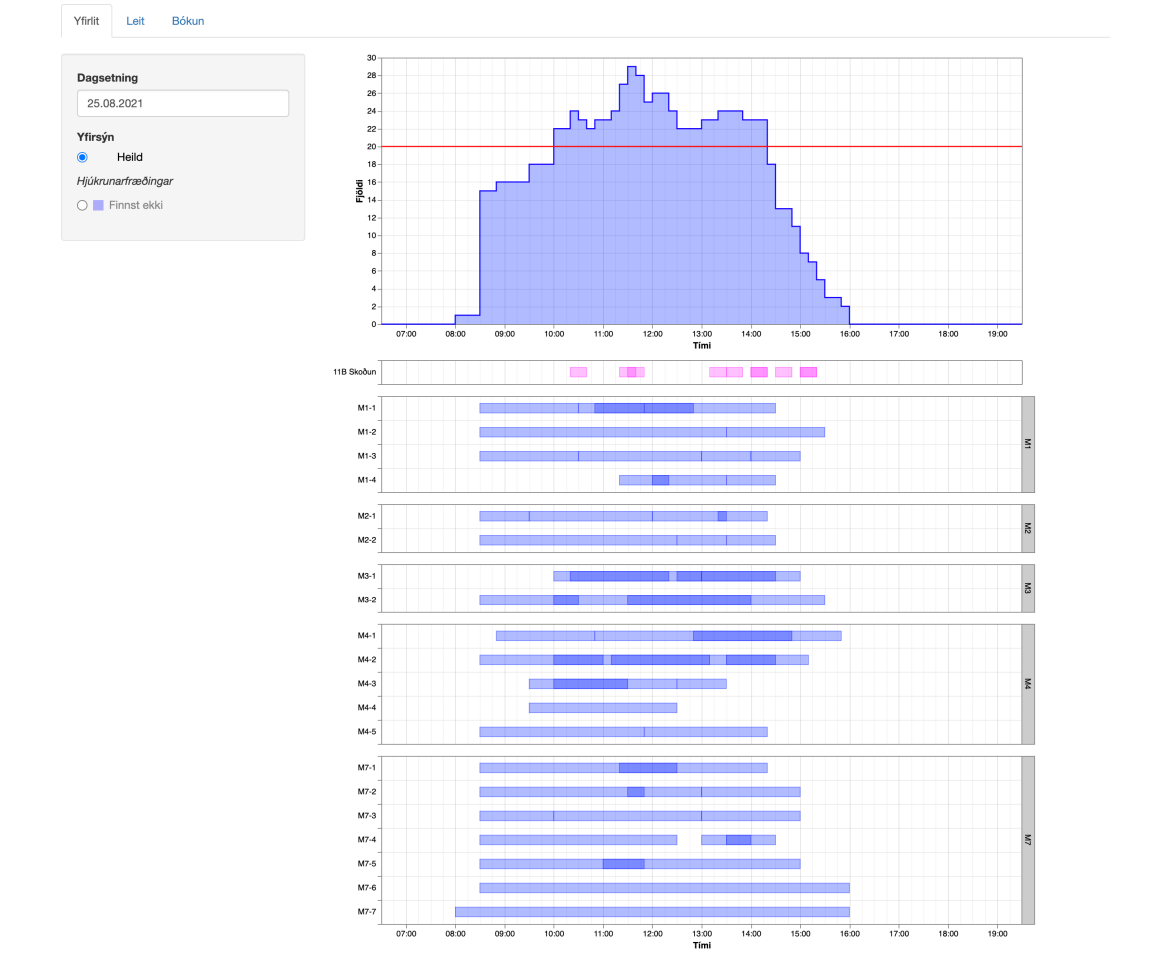
Fyrsti hluti viðmótsins gerir notanda kleift að skoða myndrænar upplýsingar um álag á deildinni á valinni dagsetningu eins og núverandi bókanir gefa til kynna. Myndin er tvíþætt. Fyrir ofan er línurit sem sýnir fjölda sjúklinga á deildinni sem fall af tíma og fyrir neðan má sjá dreifingu sjúklinga á stóla og stofur. Einnig má sjá yfirlit yfir stuttar lyfjameðferðir, merktar „11B Skoðun.“ Þessar sjúklingar eru ekki fyrirfram skráðir í stóla en þeim er einfaldlega komið fyrir þar sem laust er.

³<https://shiny.rstudio.com/>

⁴<https://www.r-project.org/>

⁵<https://vega.github.io/vega/>

Möguleiki er á að sía myndina eftir hjúkrunarfræðingi og skoða álag á viðkomandi en vegna núverandi skorts á skráningu hjúkrunarfræðinga er ekki færi á þessu sem stendur. Ef þetta skyldi batna í framtíðinni væri þessi sýn hjálpleg starfsmönnum.



Mynd 2: Viðmót sem sýnir yfirlit álags á 11B 25. ágúst 2021

Leit

Leita má að bókunum á völdu tímabili ásamt kennitölu ef svo er óskað. Skilað er töflu með eftirfarandi upplýsingum: kennitala, dagsetning bókunar, tími innskriftar, tími útskriftar, lengd komu, aðfang (t.d. stóll, lækni), heiti forms bókunar (t.d. krabbameinslyfjameðferð, stuðningslyfjameðferð, viðtal), upplýsingar um lyfjameðferð, ástand bókunar/sjúklings og komudeild.

Bókun

Skoða má uppkast að viðmóti fyrir bókun sjúklinga. Búinn er til listi yfir sjúklinga og æskilegar bókunir fyrir þá. Til að bæta nýjum sjúklingi við bókun er smellt á „Nýr sjúklingur“. Því næst er búinn til listi yfir æskilegar bókunir. Æskileg bókun samanstendur af tveimur tölum: númeri dags í meðferð (þar sem 1 táknar fyrsta dag meðferðar, 2 táknar daginn eftir það o.s.frv.) og fjölda mínútna sem tilsvarendi lyfjagjöf tekur. Þegar búið er að stimpla inn sjúklinga til að bóka er smellt á „Bóka sjúklinga“.

Sem stendur liggur enn fyrir að tengja þetta viðmót við reikniritið og líklegt er að þetta viðmót breytist verulega áður en það fer í notkun. Nánari umfjöllun um mögulegar breytingar má finna undir Umræður.

Yfirlit

Leit

Bókun

Sjúklingar í bókun

Kennitala	Bókanir
3108012080	[(1, 60), (3, 90), (8, 20), (15, 60), (21, 40)]
1601012290	[(1, 120), (12, 90), (23, 60), (34, 30)]

Nýr sjúklingur

Bóka sjúklinga

Yfirlit

Leit

Bókun

Sjúklingar í bókun

Kennitala	Bókanir
3108012080	[(1, 60), (3, 90), (8, 20), (15, 60), (21, 40)]
1601012290	[(1, 120), (12, 90), (23, 60), (34, 30)]

Kennitala

1234567890

Lyfjagjafir

Númer dags	Fjöldi mínútna
1	90
10	150

Fjöldi daga frá fyrstu komu

20

Fjöldi mínútna í lyfjagjöf

120

Bæta lyfjagjöf við meðferð

Bæta sjúkling við bókun

Yfirlit

Leit

Bókun

Sjúklingar í bókun

Kennitala	Bókanir
3108012080	[(1, 60), (3, 90), (8, 20), (15, 60), (21, 40)]
1601012290	[(1, 120), (12, 90), (23, 60), (34, 30)]
1234567890	[(1, 90), (10, 150), (20, 120)]

Nýr sjúklingur

Bóka sjúklinga

Mynd 3: Notkun bókunarviðmóts

Bestunarlíkan og reiknirit til röðunar lyfjagjafa

Hér á eftir er sett fram bestunarlíkanið sem þróað var til lausnar þessa verkefnis og rætt lítillega um útfærslu þess í reiknirit. Þetta líkan er hannað til að raða lyfjagjöfum margra sjúklinga í einu á tiltekna daga. Það verkefni að raða lyfjagjöfum innan dags er annað og ákveðið var að hægt væri að búa til einfaldara líkan til að leysa það.

Líkanið er heiltölubestunarlíkan sem notar staðlaðan rithátt úr línulegri aðgerðagreiningu. Framsetning líkansins skiptist í þrjá hluta. Fyrst eru skilgreindar þær breytur og stærðir sem nauðsynlegar eru fyrir verkefnið, næst er kynnt markfallið (sú stærð sem lágmarka á) og að lokum eru þær skorður sem taka á tillit til settar fram.

Skilgreiningar

Áður en formúlur eru settar fram þarf að skilgreina þau tákni sem koma munu fyrir. Skilgreiningar skiptast í mengi, ákvarðanabreytur og fasta.

Mengi: Notuð eru mengi til að halda utan um hópa af mismunandi hlutum. Eftirfarandi eru þau mengi sem notuð eru í líkaninu.

- $\mathcal{P}_N = \{\text{nýjir sjúklingar}\}$
- $\mathcal{D} = \{\text{dagar til umráða}\}$
- $\mathcal{D}' = \{\text{dagar þar sem deildin er lokuð}\}$

Með „nýr sjúklingur“ er átt við sjúkling (með upplýsingum um meðferðarlotu) sem óskað er eftir að finna daga til lyfjameðferðar.

Ákvarðanabreytur: Ákvarðanabreytur eru þær breytur sem stilltar eru til að breyta útkomu reikniritsins og sem hafa bein áhrif á gæði röðunar. Eftirfarandi eru þær ákvarðanabreytur sem notaðar eru í líkaninu.

- $X_{i,d,n} = \begin{cases} 1 & \text{ef sjúklingur } i \text{ mætir í } n\text{-ta skipti á degi } d \\ 0 & \text{annars} \end{cases}$
- $\varepsilon_d = \begin{cases} 1 & \text{ef það á að yfirvinna á degi } d \\ 0 & \text{annars} \end{cases}$
- $\gamma_{i,n}^{+/-} = (\text{Fjöldi daga sem sjúklingur } i \text{ fer fyrir/seinna en æskilegt er í } n\text{-tu meðferð})$

Fastar: Fastar eru fyrirfram ákveðin gildi sem hafa áhrif á leyfilegar lausnir en ekki er hægt að breyta. Eftirfarandi eru þeir fastar sem notaðir eru í líkaninu.

- N_i = (fjöldi skipta sem sjúklingur i mætir í meðferð)
- $m_{i,n}$ = (fjöldi mínútna sem sjúklingur i er í n -tu meðferð)
- M = (fjöldi mínúta til umráða á hverjum degi)
- μ_d = (samanlagður fjöldi mínútna sem núverandi bókanir á degi d taka upp)
- O = (fjöldi mínútna sem má yfirvinna)
- S = (fjöldi stóla til umráða)
- $c_{i,n}$ = (æskilegur fjöldi daga á milli meðferða $n - 1$ og n hjá sjúklingi i)
- d_0 = (fyrsti dagurinn í \mathcal{D})
- α, β = (fastar til að breyta vægi ákvarðanabreytna)

Markfall

Markfall er fall eða formúla þar sem fyrir koma ákvarðanabreytur. Eftir því sem ákvarðanabreytur eru stilltar breytist gildið á markfallinu, en það er hannað þannig að besta lausn verkefnisins sem líkanið tæklar sé sú lausn sem hámarkar/lágmarkar markfallið.

Markfallið sem var hannað fyrir þetta verkefni er eftirfarandi.

$$\sum_{i \in \mathcal{P}_N} \sum_{d \in \mathcal{D}} (d - d_0) X_{i,d,1} + \sum_{d \in \mathcal{D}} \alpha \varepsilon_d + \sum_{i \in \mathcal{P}_N} \sum_{n=1}^{N_i} \beta (\gamma_{i,n}^+ + \gamma_{i,n}^-)$$

Þetta markfall gefur bestu lausn þegar það er lágmarkað. Fyrsti liðurinn í markfallinu sér til þess að sjúklingar byrji sem fyrst í meðferð, sá næsti til þess að yfirvinna sé sem minnst og sá síðasti lágmarkar frávík tímabils á milli meðferða frá æskilegu magni.

Skorður

Bestunarlíkan þarf að hafa einhverjar takmarkanir til þess að hægt sé að draga fram nytsamlega lausn úr því, þ.e.a.s. sérhver lausn þarf að taka tillit til gefinna skorða. Skorður skiptast annars vegar í harðar skorður og hins vegar í mjúkar skorður. Harðar skorður eru ósveigjanlegar í þeim skilningi að óleyfilegt er fyrir lausn líkansins að brjóta þær. Á hinn bóginn er leyfilegt að brjóta mjúkar skorður þótt óæskilegt sé. Skaði þess að brjóta mjúka skorðu er veginn í markfalli og er oft bein samsvörun á milli mjúkrar skorðu og ákvarðanabreytu.

Eftirfarandi eru þær skorður, ásamt stuttri lýsingu þeirra, sem líkan verkefnisins hefur í huga.

I. Hver sjúklingur mætir nákvæmlega einu sinni í n -tu meðferð (fyrir viðeigandi n):

$$\sum_{d \in \mathcal{D}} X_{i,d,n} = 1, \quad 1 \leq n \leq N_i, \quad \forall i \in \mathcal{P}_N$$

Þetta er hörð skorða sem sér einfaldlega til þess að ákvarðanabreyturnar $X_{i,d,n}$ séu í samræmi við skilgreiningu þeirra að því leyti að „ n -ta skipti“ sé vel skilgreint hugtak.

II. Á engum degi sé samanlagður fjöldi mínútna sem meðferðir taka meiri en heildarfjöldi mínútna sem deildin ræður við:

$$\sum_{i \in \mathcal{P}_N} \sum_{n=1}^{N_i} m_{i,n} X_{i,d,n} + \mu_d \leq S(M + O\varepsilon_d), \quad \forall d \in \mathcal{D}$$

Þetta er mjúk skorða. Mýktin lýsir sér með ákvarðanabreytunni ε_d . Heildarfjöldi mínútna sem deildin ræður við er reiknaður sem fjöldi mínútna sem deildin er opin margfaldaður með fjölda stóla sem deildin hefur til umráða. Ef líkanið telur æskilegast að yfirvinna megi á viðkomandi degi er leyfilegum fjölda mínútna sem má yfirvinna bætt við fjölda mínútna sem deildin er opin.

III. Frávik tímabils á milli meðferða sjúklinga sé ekki of langt frá æskilegu magni.

$$\sum_{d \in \mathcal{D}} dX_{i,d,n} - \sum_{\tilde{d} \in \mathcal{D}} \tilde{d}X_{i,\tilde{d},n-1} = c_{i,n} + (\gamma_{i,n}^+ - \gamma_{i,n}^-), \quad 2 \leq n \leq N_i, \quad \forall i \in \mathcal{P}_N$$

Þetta er mjúk skorða. Samsvarandi ákvarðanabreytur eru $\gamma_{i,n}^+$ og $\gamma_{i,n}^-$. Sú fyrri segir til um hversu marga daga eigi að hliðra bókun aftur, en sú seinni um hversu marga daga eigi að hliðra fram. Það ber að nefna að vegna lágmörkunar markfalls gefur besta lausn alltaf a.m.k. einni þessara breyta gildið 0.

IV. Bil á milli bókana er strangt jákvæð stærð:

$$c_{i,n} + (\gamma_{i,n}^+ - \gamma_{i,n}^-) > 0, \quad 2 \leq n \leq N_i, \quad \forall i \in \mathcal{P}_N$$

Þetta er hörð skorða sem sér til þess að sjúklingar mæta ekki í n -ta skipti áður en þeir mæta í $(n-1)$ -ta skipti. Ástæða þess að þessi skorða er nauðsynleg er að annars gæti líkanið t.d. fært þriðju bókun sjúklings aftur um tvo daga en þá fjórðu fram um einn. Ef áætlað væri að þessi sjúklingur færi í fjórðu meðferð tveimur dögum eftir þá myndi slík lausn leiða til þess að hann mætti í fjórðu meðferð degi fyrir þá þriðju.

V. Enginn sjúklingur sé bókaður þegar deildin er lokað:

$$\sum_{i \in \mathcal{P}_N} \sum_{d \in \mathcal{D}'} \sum_{n=1}^{N_i} X_{i,d,n} = 0$$

Þetta er hörð skorða. Hún lýsir sér sjálf.

Útfærsla

Þegar reynt er að útfæra stærðfræðilegt líkan geta komið upp margs konar vandar, einkum hvað varðar framsetningu óhlutstæðra hugtaka á skýran hátt. Hér verður rætt stuttlega um nokkrar ákvarðanir sem teknar voru við útfærslu bestunarlíkansins sem sett er fram hér að ofan.

Með fyrstu ákvörðunum sem teknar voru var hvernig lýsa skyldi hugtakinu „sjúklingur“, eins og það kemur fyrir í líkaninu, á áþreifanlegan hátt. Til þess voru skrifaðar gagnagrindur bæði fyrir sjúkling og meðferð. Meðferð er í grunninn listi af tvenndum (d, m) , þar sem d er númer áætlaðs dags fyrir lyfjagjöf í meðferð og m er fjöldi mínútna sem tilsvarendi meðferð tekur. Sjúklingur er síðan safn af upplýsingum, þ.á.m. nafn, kennitala, læknir, meðferð o.fl.

Annar vandi var að lýsa hugtakinu „dagur“ á skynsamlegan hátt. Ákveðið var að hver dagur skyldi vera táknaður sem heiltala, og að sú heiltala væri fjöldi daga síðan 1. janúar 1970 (t.d. er dagurinn 31. ágúst 2021 þannig táknaður sem talan 18870). Þessi staðall er samþykktur víða og hefur nokkra kosti m.t.t. útfærslu líkansins. Sá helsti er að auðvelt er að reikna fjölda daga á milli dagsetninga, en á því er mikil þörf í líkaninu. Með þessu er reikniritið einnig óháð því hvenær það er keyrt. Þessi ákvörðun er ástæðan fyrir þörf fastans d_0 í markfalli líkansins, en ef honum væri sleppt, þá fengi fyrsti liður þess smám saman minna vægi með göngu tímans. Helsti ókostur þessa staðals er að erfitt er að fá upplýsingar um tiltekna eiginleika dags eins og til dæmis vikudag, mánuð eða ár. Mengið \mathcal{D}' er ætlað vera lausn þessa vandamáls.

Loks má nefna hvernig leyst var það verkefni að finna fastann μ_d . Til þess er kallað á þjónustu sem Landspítali notar fyrir bókanir (þá sömu og notuð er í notendaviðmótinu) fyrir það tímabil sem mengið \mathcal{D} nær yfir, síðar út þær bókanir sem eiga ekki við deildina eða hefur verið aflýst, og talinn fjöldi mínútna sem bókanir taka á hverjum degi. Þessar upplýsingar eru skráðar í töflu sem síðan er lesin inn í reikniritið.

Til almennrar útfærslu líkansins var notaður bestunarreikniritssmiðurinn Gurobi í sam-einingu við forritunarmálið Python. Í dag er Gurobi talið á meðal bestu bestunarreikniritssmiða í heimi og er víða notaður fyrir alls kyns vandamál í aðgerðagreiningu. Útkoma reikniritisins er tafla með eftirfarandi upplýsingum: Kennitala sjúklings, dagsetning bókunar, raðnúmer lyfjagjafar í lotu, fjöldi daga sem bókun víkur frá æskilegri dagsetningu og hvort yfirvinna sé þörf á þessum degi. Það náðist að keyra reikniritið á spunnum gögnum en ekki á raungögnum.

Umræður

Markmið þessa verkefnis var að smíða frumgerð að hugbúnaði til aðstoðar við röðun krabbameinslyfjagjafa á Landspítala, með áherslu á myndræna framsetningu upplýsinga. Þetta markmið náðist og frumgerð hugbúnaðarins var smíðuð eins og til stóð. Undirritaðir nemendur hafa stigið frá verkefninu vegna upphafs nýs námsmisseris og áframhaldandi þróun frumgerðarinnar og næstu skref verkefnisins hvíla nú í höndum starfsmanna Heilsugreindar ehf. sem hafa tekið við verkefninu vegna áhuga frá Landspítala. Stefnt er á að afurð þeirrar vinnu fari í notkun í náinni framtíð. Hér á eftir verður rætt um mögulegar breytingar á niðurstöðum verkefnisins áður en því er lokið.

Sérhver hluti notendaviðmótsins, einkum sá sem lýtur að skoðun myndrænna upplýsinga, var hannaður til að vera eins kljúfanlegur frá viðmótinu og hægt var. Með því er möguleiki á að færa t.d. yfirlitsmyndina í aðrar þjónustur Landspítala þar sem hún kæmi einnig að góðum notum. Einnig má með lítilli fyrirhöfu breyta hegðun myndarinnar eftir þörfum. Svipað gildir fyrir bestunarreiknið. Á þennan hátt gæti verkefnið haft áhrif á fleiri þætti Landspítalans en dagdeildir krabbameinslyfjameðferða.

Eins og nefnt var í Bakgrunnur vinnur Landspítali að því að gera samskiptaseðla staf-ræna. Með þessari breytingu er líklegt að uppkastið að bókunarviðmótinu sem sjá má í Niðurstöður verði úrelt, en þá má einfaldlega gefa reikniritinu safn samskiptaseðla og láta forritið sjá sjálft um að lesa þær upplýsingar úr þeim sem það þarf til þess að leita að bestu röðun bókana.

Önnur breyting sem reikniritið gæti tekið er aukin sjálfvirkni í bókun. Sem stendur skilar reikniritið einungis einni röðun, nefnilega þeirri sem það telur hagstæðasta miðað við þær upplýsingar sem það hefur. Ef röðun er samþykkt þarf ritari að lesa þær upplýsingar sem reikniritið skilar og skrá bókanir handvirkt, með mögulegum breytingum. Með frekari sjálfvirkni gæti reikniritið skilað lista af röðunum, í gæðaröð, sem ritari gæti síað eftir frekari þörfum, og samþykkt þá röðun sem virkar best. Forritið gæti þá í framhaldi sjálfkrafa bókað allar lyfjameðferðir röðunarinnar. Þetta myndi létta mikið af álagi ritara við dagdeild krabbameinslækninga.

Hvernig sem lokaniðurstaða verkefnisins lítur út munu þau verkfæri sem þróuð hafa verið hingað til hjálpa mikið við röðunarferli lyfjagjafa. Vegna einstaks flækjustigs krabbameinslyfjagjafa er líklegt að afurð þessa verkefnis komi að gagni við tæklun svipaðra verkefna við Landspítala.


Heimildir

- Abdalkareem, Zahraa A. o.fl. (maí 2021). „Healthcare scheduling in optimization context: a review“. Í: *Health and Technology* 11.3, bls. 445–469. ISSN: 2190-7196. DOI: 10.1007/s12553-021-00547-5. URL: <https://doi.org/10.1007/s12553-021-00547-5>.
- Benzaid, Menel, Nadia Lahrichi og Louis-Martin Rousseau (mar. 2020). „Chemotherapy appointment scheduling and daily outpatient–nurse assignment“. Í: *Health Care Management Science* 23.1, bls. 34–50. ISSN: 1572-9389. DOI: 10.1007/s10729-018-9462-6. URL: <https://doi.org/10.1007/s10729-018-9462-6>.
- Turkcan, Ayten, Bo Zeng og Mark Lawley (jan. 2012). „Chemotherapy operations planning and scheduling“. Í: *IIE Transactions on Healthcare Systems Engineering* 2.1, bls. 31–49. ISSN: 1948-8300. DOI: 10.1080/19488300.2012.665155. URL: <https://doi.org/10.1080/19488300.2012.665155>.
- Vogl, Petra, Roland Braune og Karl F. Doerner (apr. 2019). „Scheduling recurring radiotherapy appointments in an ion beam facility“. Í: *Journal of Scheduling* 22.2, bls. 137–154. ISSN: 1099-1425. DOI: 10.1007/s10951-018-0574-0. URL: <https://doi.org/10.1007/s10951-018-0574-0>.

Reykjavík, 25. september 2021


Bjarki Baldursson Harksen, nemandi

Jason Andri Gíslason, nemandi


Rögnvaldur J. Siemundsson, umsjónarmaður