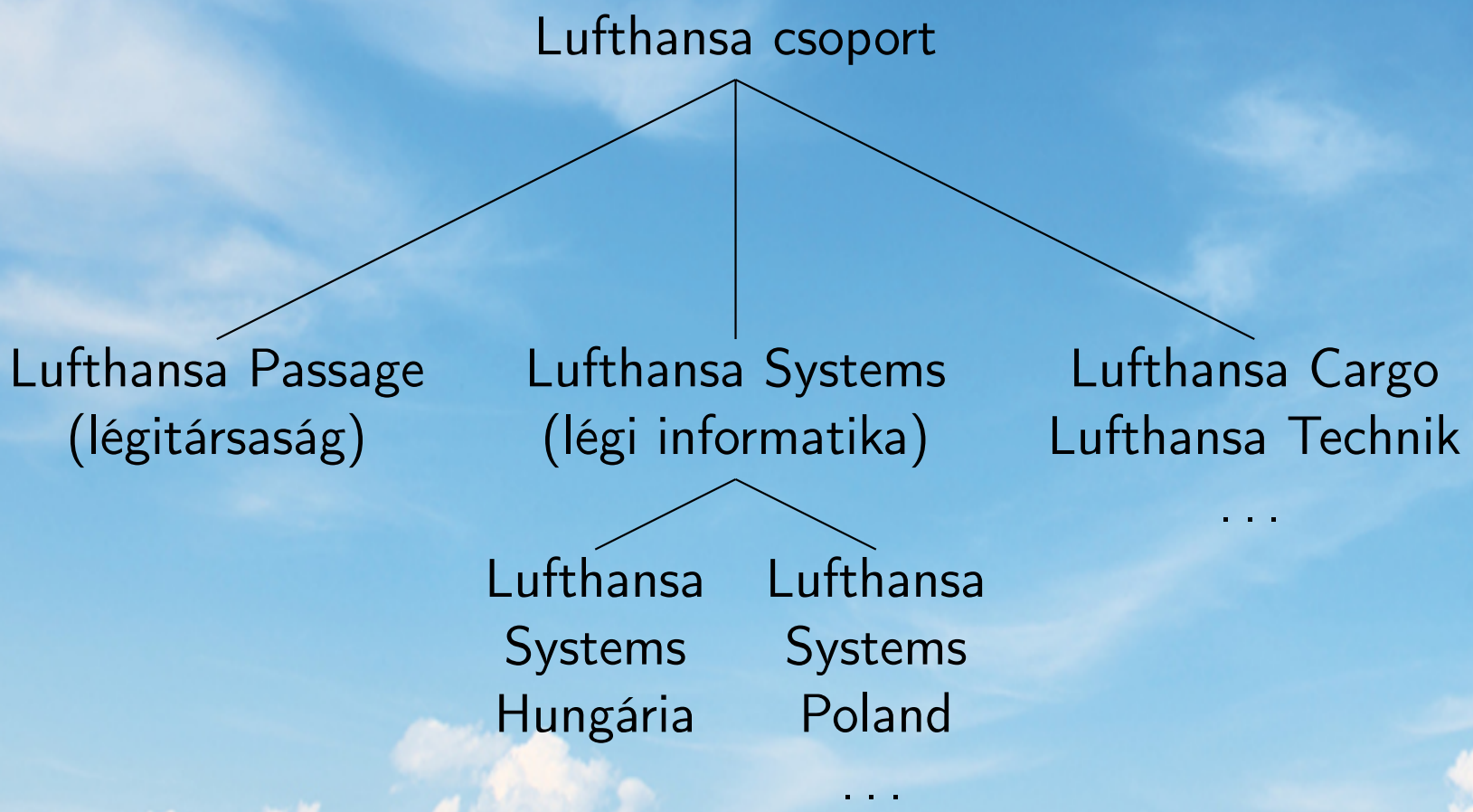
Airline crew scheduling and optimization

Bernáth Attila

Lufthansa Systems Hungária

2020.11.24

Lufthansa Systems Hungária



General overview

With more than 25 years of experience, Lufthansa Systems is one of the market leaders for IT solutions in the global aviation industry.

Founded
1995

Headquarters In Raunheim/ Germany

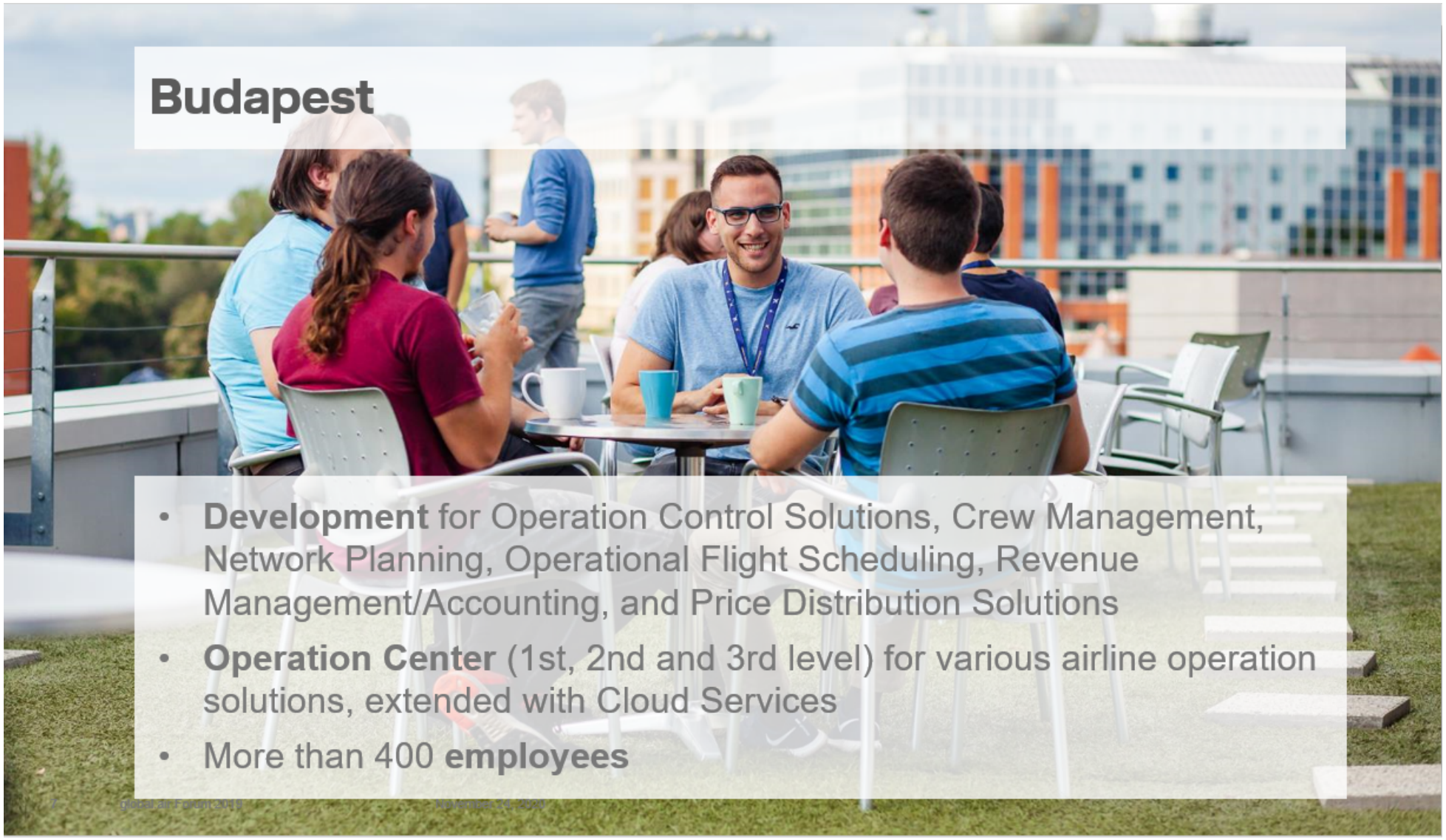
Branches in 16 other countries

2,200 employees worldwide

More than 350 customers of all sizes and business models

100% subsidiary of the Lufthansa Group

Budapest



- **Development** for Operation Control Solutions, Crew Management, Network Planning, Operational Flight Scheduling, Revenue Management/Accounting, and Price Distribution Solutions
- **Operation Center** (1st, 2nd and 3rd level) for various airline operation solutions, extended with Cloud Services
- More than 400 **employees**

Személyzetütemezési feladat

Képzeljük magunkat a légitársaság egy alkalmazottjának a helyébe (planner). Az a feladatunk, hogy a légi személyzet beosztását elkészítsük.

- Bemenet:
  - a járatok ütemezése (mikor kellene repülni, honnan, hova, milyen személyzettel)
  - a légitársaság azon alkalmazottai, akik személyzetként szóba jöhetnek (pilóták, másodpilóták, légiutaskísérők, közös szóhasználattal crew member-ek, „hajózók”).
- Kimenet: egy beosztás, amiben minden járat el van látva a megfelelő személyzettel.

A bemenet: fogalmak

- A szolgálat alapegysége a leg: egy felszállástól a leszállásig tartó repülés (a járat mást jelent).
- Vannak más szolgálati feladatok is: kötelező képzések, szimulátor gyakorlatok, készenlétek (standby), stb. Ezekről nem lesz szó.
- A leg legfontosabb tulajdonságai: honnan és mikor indulunk, hova és mikor érkezünk, milyen típusú géppel fogunk repülni (azaz: milyen képesítésű és összetételű személyzet kell).

A bemenet: fogalmak

- A crew member legfontosabb paraméterei
  - Pilótafülke (flightdeck) és utastér (cabin) személyzete : két külön világ.
  - Rangja: flightdeck-en pilóta és elsőtiszt, utastérben purser, flight attendant etc.
  - Hol lakik (homebase): innen szeret reggel elindulni, ide szeret este hazatérni
  - Képesítései (pl egy pilóta milyen gépet tud elvezetni)
  - Milyen szerződése van (pl part-timer)
- Crew member beosztása: roster.

A bemenetben adottak tehát - a legek - és a crew memberek (pilóták, másodpilóták, légiutaskísérők: "hajózók")

Kimenet

Minden leghez rendeljük hozzá a megfelelő személyzetet.
Másképpen: minden hajózónak mondjuk meg, mikor és hol kell szolgálatot teljesítenie (készítsük el a havi beosztását, roster-ét).
Ez többnyire azt jelenti, hogy egy havi beosztást kell megterveznünk (ez egy középtávú tervezési feladat).

Egyéb tervezési feladatok: hosszú táv

- Hosszú távú tervezés
  - piacfelmérés (honnan, hova lenne érdemes járatokat üzemeltetni)
  - ehhez milyen gépek és milyen személyzet kellene (manpower planning)

Egyéb tervezési feladatok: középtáv

- Középtávú tervezés
  - A leg-ek megtervezése:
    - Melyik járatot milyen géptípussal repüljük?
    - Melyik járatok következzenek egymás után? – gépek és személyzet szempontjából
  - Melyik járatot melyik gép repülje?
  - Melyik járaton melyik kollégák (pilóta, légiutaskísérők) dolgozzanak?
  - Mennyit kérjek az utasoktól a jegyekért

Egyéb tervezési feladatok: rövid táv

- Operatív feladatok (day of operation)
  - Hogyan töltsük föl a gépet, hogy stabil legyen, és minél kevesebb üzemanyag fogyjon?
  - „Baj van" – időjárás, késések, betegség, stb. Hogyan oldjuk meg a problémát
    - a gépek szempontjából?
    - a személyzet szempontjából?
    - az utasok szempontjából?

A Crew Management részleg feladatai

- Hosszú táv: manpower planning, training planning, vacation planning
- Közép táv: crew scheduling
- Rövid táv: crew operations

A Crew Management kihívásai: tervezés

- az egyik vezető költségtényező
- tervezési szempontok:
  - bonyolult szabályozások
  - operational stability (betegség, késések)
  - „safety first” – kipihent repülő személyzet
  - dolgozói elégedettség

A Crew Management kihívásai: „day of operations”

- váratlan események kezelése: betegségek, késések
- gyors megoldás szükséges
- alternatív megoldások
- az érintett crew memberek értesítése

A Crew Management kihívásai: kommunikáció a személyzettel

- havi beosztás kiküldése, változások eljuttatása
- check-in és további feladatok
- „self-service”
  - előzetes igények leadása
  - adás-vétel-csere

Légiszemélyzet-tervezés: definíció

Airline crew scheduling - definition

Airline crew scheduling is the problem of assigning a group of crew members to a set of scheduled flights. . . . . such that all the scheduled flights are covered while the rules and collective agreements, imposed mainly by safety and labor organizations, are respected.

Légiszemélyzet-tervezés: a modell

- Építsünk a leg-ekből egy digráfot: anonymous duty network.
- Csúcsok a (a következő havi) leg-ek.
- Összekötünk 2 leg-et, ha egy crew member beosztásán szerepelhetnek közvetlenül egymás után, azaz
  - egymás után vannak (tehát aciklikus gráf lesz),
  - nincsenek túl közel egymáshoz: át lehet érni az egyik helyről a másikra (esetleg egy transzport közbeiktatásával)
  - de nincsenek túl távol sem egymástól.
- Mesterséges forrás s és nyelő t

Légiszemélyzet-tervezés: feltételek

- Anonymous duty network
- Personal duty network: minden crew memberre egy részgráf
  - Letakarjuk azokat a csúcsokat, amiket ő nem tud teljesíteni, mert
    - nincs képesítése erre a géptípusra
    - nincs vízuma az adott országba, nincs elég gyakorlata ezen a reptéren, stb
    - abban az időpontban más elfoglaltsága van (szabadságot kért, kötelező tréningja van stb)

Légiszemélyzet-tervezés: feltételek

- A personal duty network-ben a crew member egy havi beosztása egy irányított $s - t$-út.
- Horizontális feltételek: Bármilyen irányított út nem lehet (kipihent személyzet: az emberek nem gépek)
  - napi rutin (munkanap = duty period)
  - heti rutin: néha szabadnapot is kell adni (lehetőleg otthon)
  - a vonzó/fárasztó feladatokat igazságosan akarjuk elosztani
  - egyéni preferenciák:
    - szeretek/nem szeretek korán kelni/későn fedüdni,
    - családos vagyok, minél kevesebbszer aludnék hotelben...

Légiszemélyzet-tervezés: feltételek

- A personal duty network-ben a crew member egy havi beosztása egy irányított $s - t$-út.
- Vertikális feltételek: több irányított út együttesére vonatkoznak
  - Cover constraint: Minden csúcs (leg) le legyen fedve (olyan utakkal, amilyen személyzetet megkövetel)
  - Language constraint: ezen a járaton legyen legalább egy spanyolul beszélő légiutaskísérő
  - Qualification constraint: ezen a járaton legyen valaki a pilótafülkében, aki jól ismeri ezt a repteret
  - inexperienced crew members, must fly together, don't fly with, etc.
  - mindig lineárisak

Légiszemélyzet-tervezés: a költségek

- Kézzelfogható költségek
  - transzport költségek (A-ba érkezett, de B-ből kell folytatnia a műszakot)
  - hotel költségek (éjszakai pihenését nem otthon tölti)
  - „production day”: a repült napok számától függ a kifizetendő összes bér mennyisége
- Mesterséges költségtényezők
  - fair distribution:
    - kb egyforma terhelés a crew membereken
    - a vonzó/megterhelő feladatokat egyenlően akarjuk elosztani
  - büntetjük azt, ha valami nem teljesült (pl soft rule-ok a megengedett rosterekre: túl hosszú munkahét, megadott preferencia nem teljesül)

Légiszemélyzet-tervezés: IP formulation

- Anonymous duty network: $D = (V + s + t, A)$, elérhető crew memberek halmaza M
- Personal duty network: minden $m \in M$-re egy $D_m = (V_m + s + t, A_m)$ részgráf
- Megengedett roster-ek halmaza: R_m (az összes olyan irányított út D_m-ben, ami teljesíti a horizontális feltételeket)
- Minden $m \in M$ és $r \in R_m$-re
  - bevezetünk egy bináris változót: x_{mr}
  - megadjuk a költségét : c_{mr}
- Jó lenne belefoglalni: home base constraint-ek, OFF napok. Lásd később.

Légiszemélyzet-tervezés: IP formulation

- $\min \sum \{c_{mr} x_{mr} : m \in M, r \in R_m\}$
- $x_{mr} \in \{0, 1\}$ minden $m \in M, r \in R_m$
- Minden crew memberhez 1 rostert választok: $\sum_{r \in R_m} x_{mr} = 1$ minden $m \in M$.
- Minden gépen (v) minden rangban (k) van elég (n_k) ember: $\sum_{m \in M^k, r \in R_m} u_{vr} x_{mr} = n_k$ minden $v \in V$
  ahol u_{vr} azt mondja meg, hogy az r roster átmegy e a v csúcson, M^k: a k rangú crew memberek
- Egyéb vertikális feltételek, például:
  - Language constraints:
    $\sum_{m \in M_{\textbf{spanyol}}, r \in R_m} u_{vr} x_{mr} \geq 1$,
    ha $v \in V$ csúcsra spanyolul beszélő cabin crew is kell.

A horizontális feltételeket belerejtettük az R_m halmazokba.

Légiszemélyzet-tervezés: IP formulation

$\mathcal{P} = \cup_m R_m$: megengedett rosterek halmaza (path)

Egyszerűsített modellünk

$$\min\{c(x) : Ax = b, x \in \{0,1\}^{\mathcal{P}}, \}$$

ahol $A \in \mathbb{R}^{m \times \mathcal{P}}, b \in \mathbb{R}^m$.

Egy $A_i x = b_i$ feltételt átírhatunk $A_i x + s_i^+ - s_i^- = b_i, s_i^+, s_i^- \geq 0$ alakúra, ahol büntetjük, ha $s_i^+, s_i^- > 0$.

Egyszerűsített modellünk

$$\min\{c(x) + d_+^T s_+ + d_-^T s_- : Ax + s_+ - s_- = b, x \in \{0,1\}^{\mathcal{P}}, s_+, s_- \in \mathbb{R}_+^m\}$$

ahol $A \in \mathbb{R}^{m \times \mathcal{P}}, b \in \mathbb{R}^m, d_+, d_- \in \mathbb{R}^m$.

A valóságban $c(x)$ tartalmaz nemlineáris komponenseket is (pl fair distribution cost)

Légiszemélyzet-tervezés: horizontális feltételek

- Personal duty network: minden $m \in M$-re egy $D_m = (V_m + s + t, A_m)$ részgráf
- Ebben keresünk egy megengedett rostert ($r \in R_m$-et), azaz egy utat, ami teljesít
- Hard feltételeket, pl
  - A havi össz munkaidő ne haladjon meg egy korlátot
  - A havi össz repülési idő ne haladjon meg egy korlátot
  - néha legyen hosszabb szünet (munkanap, munkahét)
  - fentihez hasonló feltételek 1-1 munkanapra (össz munkaidő, össz repült idő)
  - ne legyen 7-nél több munkanap egymás után
- Soft feltételeket: megengedjük, hogy 5-nél több munkanap legyen egymás után, de büntetjük a költségfüggvényben
- Fontos, hogy ilyeneket gyorsan tudjunk keresni

Mesterséges egyszerűsítés: pairing és roster generation

- Az állapottér túl nagy: bevezetünk egy mesterséges egyszerűsítést
- Pairing: néhány leg-et előre összeragasztunk, hogy ezek majd egyszerre kerülnek rá a roster-ekre.
- Crew scheduling 2 lépésben:
  - pairingek előállítása a leg-ekből
  - rosterek előállítása a pairingekből.

Mire jók a pairingek

- Egyszerűsíti a feladatot, csökkenti az állapotteret
- Zárt pairingek: segít abban, hogy a crew member otthon kezdjen és végezzen.
- Egy pairing több crew-member rosterén is szerepelni fog: együtt mozog a crew a pairing időtartamára (1-2 munkanapon keresztül)
- A pairingek közé fogjuk beilleszteni az OFF-napokat, illetve egyéb feladatokat (standby, szimulátor)
- Ha jó pairing-eket készítünk, akkor nem veszítjük el a jó megoldásokat
- Egyszerűsíti a munkafolyamatokat: a pairingeket meg lehet kicsivel korábban tervezni, át lehet nézni

A megoldás alkotóelemei

Egyszerűsített modellünk

$$\min\{c(x)+d_+^T s_+ + d_-^T s_- : Ax + s_+ - s_- = b, x \in \{0,1\}^{\mathcal{P}}, s_+, s_- \in \mathbb{R}_+^m\}$$

ahol $A \in \mathbb{R}^{m \times \mathcal{P}}, b \in \mathbb{R}^m, d_+, d_- \in \mathbb{R}^m$.

- A pairing feladatban c lineáris költségfüggvény, a rostering feladatban nemlineáris
- A legfőbb baj: $\mathcal{P}$ (megengedett rosterek halmaza) nagyon nagy.
- Column generation: csak a változók (megengedett rosterek) egy kezelhető részhalmazát tartjuk mindig nyilván

Oszlopgenerálás az LP feladatra

Master Problem

$$\min\{cx : Ax = b, x \geq 0, x \in \mathbb{R}^{\mathcal{P}}\}$$

ahol $A \in \mathbb{R}^{m \times \mathcal{P}}, b \in \mathbb{R}^m, c \in \mathbb{R}^{\mathcal{P}}$.

- $\mathcal{P}$ nagy, a feladatot nem tudjuk felírni se
- Válasszunk $\mathcal{P}' \subset \mathcal{P}$ kezelhető részhalmazt (path-pool), amire fel tudjuk írni, és meg tudjuk oldani.

Oszlopgenerálás az LP feladatra

Reduced Master Problem

$$\min\{c'x' : A'x' = b, x' \geq 0, x' \in \mathbb{R}^{\mathcal{P}'}\}.$$

duális RMP

$$\max\{yb : yA' \leq c', y \in \mathbb{R}^m\}.$$

- Legyen (x_0, y_0) egy optimális primál-duál megoldás-pár.
- Ekkor $x_1 = (x_0, 0)$ megengedett megoldás a Master Problem-ra.
- Ha $y_0 A \leq c$ (azaz y_0 a Master Problem duálisának is megengedett megoldása), akkor x_1 a Master Problem optimális megoldása (ui , $cx_1 = c'x_0 = y_0 b$).
- Ha nem: keressünk olyan $P \in \mathcal{P}$ oszlopokat (utakat), amire $c_P - y_0 A_P < 0$ (redukált költség negatív). Ilyeneket tegyünk még a path-poolba, és kezdjük előlről.

A megoldás lépései

Egyszerűsített modellünk

$$\min\{c^T x + d_+^T s_+ + d_-^T s_- : Ax + s_+ - s_- = b, x \in \{0,1\}^{\mathcal{P}}, s_+, s_- \in \mathbb{R}_+^m\}$$

ahol $A \in \mathbb{R}^{m \times \mathcal{P}}, c \in \mathbb{R}^{\mathcal{P}}, b \in \mathbb{R}^m, d_+, d_- \in \mathbb{R}^m$.

- Inicializáljuk a path-poolt valamilyen heurisztikával
- Megoldjuk az RMP-t.
- Amíg van fixálatlan változónk
  - Fixálunk változókat 0-ra vagy 1-re valamilyen heurisztikával
  - A path-poolt növeljük negatív redukált költségű utak keresésével (és persze néha ki is dobunk utakat)
  - Újra megoldjuk az RMP-t.

Szakirodalom

- Gang Yu, Jian Jang: Optimization Applications in the Airline Industry
- Atoosa Kasirzadeh, Mohammed Saddoune, Francois Soumis: Airline crew scheduling: models, algorithms, and data sets

Karrierlehetőségek

- Álláslehetőségek a Lufthansa Systems Hungária honlapján
  https://job.lhsystems.hu/allasok
- Munkalehetőségek Budapesten és Szegeden
- Gyakornoki program: Young Professional Program
  https://job.lhsystems.hu/yp

Köszönöm a figyelmet!