

Lokal stokastisk metod för att hitta påslag vid alternativa möjliga ännu ej planerade tåglägen

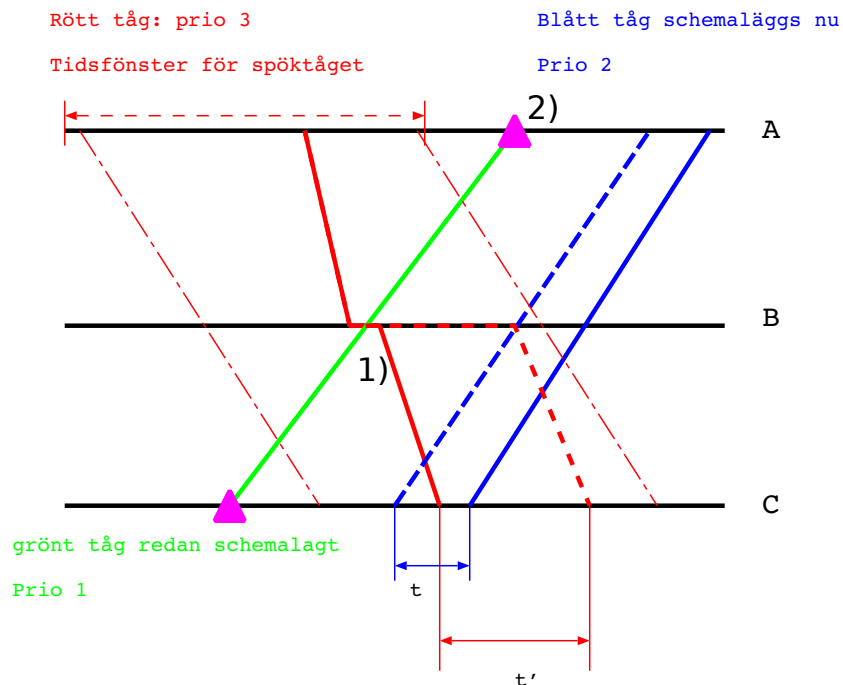
Sara Gestrelus
Swedish Institute of Computer Science (SICS)
Box 1263, 164 29 Kista
email: {sarag}@sics.se

1 december 2011

1 Inledning

Reglering av en konflikt i en tågplan sker genom att en interaktionspunkt bestäms, varpå körtiderna anpassas så att de inblandade tågen förhåller sig till denna interaktionspunkt på ett tillåtet sätt. Till exempel kan en omkörning lösas genom att det tåg som ska köras om rullas in på ett sidospår via en växel (interaktionspunkt) och sedan väntar där (anpassning av körtid) tills tåget bakom kört om (konflikten är reglerad). För att hitta möjliga och bra interaktionspunkter och körtidsanpassningar behövs kunskap om tågens och banans egenskaper och krav. Även om tidtabellkonstruktörerna måste jobba under förutsättning att de angivna datan är korrekt, råder i praktiken en viss osäkerhet vad gäller möjlig trafikering då både banans och tågoperatörernas behov förändras med tiden. Dessutom orsakar uppdelningen i olika konstruktionsområden under själva konstruktionsfasen en stor osäkerhet i tågens ankomsttider till de olika områdena. På grund av denna uppdelning i olika konstruktionsområden kommer det under planeringsarbetet dels finnas fastställda tåglägen, och dels tåglägen vars inkörstid ännu inte är tillgänglig. Dessa osäkra tåg kallas för *spöktåg* eftersom de finns men inte har tagit fast form. När ett spöktåg planeras in *materialiseras* eller *reduceras* det till ett specifikt tågläge. Tåg som håller på att planeras kallas *planeringståg*.

Den lokala stokastiska metod som presenteras syftar till att hitta den konfliktregleringstid som givet den information som är tillgänglig vid planeringsögonblicket ger bäst förväntat värde. Denna strategi kräver en kostnadsfunktion för spöktågets utkörstid och en sannolikhetsdistribution för dess inkörstid för varje planeringsområde. Om en sådan sannolikhetsfunktion inte kan uppåddas går metoden inte att använda. I denna första ansats antas också diskreta spöktågsutfall. I texten finns även en diskussion om prioritering inom planeringsprocessen, och hur det eventuellt skulle gå att kombinera med en stokastisk metod.



Figur 1: Spöktågsexempel

2 Bakgrund och förutsättningar

2.1 Exempelproblem

Denna text kommer bygga på ett exempelproblem med tre tåg; ett grönt fallställt tåg (G), ett rött spöktåg (R) samt ett blått planeringståg (B) (se Fig. 1). Det gröna tåget är det högst prioriterade tåget, följt av det blåa och sist det röda. De heldragna linjerna visar "facit", d.v.s. hur utfallet kommer bli samt vilka tågläge som då är mest lämpliga.

2.1.1 Frågeställning

Givet den aktuella situationen, behöver följande två frågor besvaras:

1. Vilket av tågen (rött eller blått) ska ta förseningen? D.v.s. är en väntetid t för blått tåg mer eller mindre värt än en väntetid t' för rött tåg?
2. Hur kommer det röda tågets osäkerhet påverka vårt beslut?

2.1.2 Observationer

1. Eftersom tåg G är fastläst kommer tåg Rs utfallsfönster reduceras till två potentiella möten med tåg B, nämligen vid punkt 1) eller 2). Detta uppkommer eftersom tåg R alltid måste vänta på tåg G.

2. Om planeringståget B är högre prioriterat vid konfliktreglering än spöktåget kommer det sällan tvingas stå åt sidan, och om det händer lär paustiden vara förhållandevis kort. D.v.s. även om väntetider för konfliktreglering planeras in men inte används, kommer dessa till att vara korta i de flesta fall.
3. För att kunna jämföra det röda tågets stopptider med det blåa tågets stopptider behövs en kostnadsfunktion för väntetid/försening.
4. En inplanerad stopptid för planeringståg B kommer alltid finnas i tågplanen vare sig den behövs eller inte. Däremot kommer bara den paustid som verkligen behövs att planeras in när spöktåget materialiseras (eftersom konfliktsituationen då är given).
5. Huruvida tåg B eller R borde stå åt sidan bör högst antagligen bero på hur pass sena/försenade tågen är. Om tåg R kommer in sent kanske det ska få köra vidare även om det är lägre prioriterat. Detta innebär att när planering sker för de utfall där tåg R är sent (den högra delen av tidsfönstret) borde detta tas in det i beräkningarna. Likaså kanske planeringståget ska få en större vikt om det ligger sent/försenat i förhållande till sitt önskade tågläge. Ett problem här är givetvis att det är svårt att veta huruvida ett tåg som ej har planlagts för hela sin sträcka är försenat eller ej (kanske kan förseningen köras in senare? Eller är det kanske så pass trångt på framtida spår att tåget kommer bli ännu mer försenat?). Vissa riktlinjer så som hur pass många möten/lång sträcka som är kvar skulle kunna användas för att försöka komma till rätta med nämnda svårigheter. Säg exempelvis att ett tåg har gjort ca hälften av alla sina möten, då skulle det verka lämpligt om ca hälften av den buffert-tid som fanns i början gått åt.
6. Tidigare inlagd tid för konfliktlösning som inte används i den slutgiltiga lösningen kan ofta inte användas någon annanstans heller. Men om detta på något sätt vore möjligt borde det användas när det bestäms vilket tåg som ska stå åt sidan.
7. Kostnadsfunktionen som används ska se till att tillmötesgå alla sökandes önskemål till så stor grad som möjligt, och ifall det är omöjligt, se till att de tåglägen med minst samhällsnytta ändras eller faller bort.
8. Eftersom målet är tvådelat är det inte uppenbart hur prioriteringen ska se ut. För att kunna tillmötesgå alla sökandes önskemål borde de tåg som är svåra att planera in prioriteras (X2000, långgående tåg). Men om planen inte kan konstrueras så att alla sökandes önskemål uppfylls, så borde de tåg med störst samhällsnytta ha prioriterats (associationer, hamnavgångar, styva tidtabeller). Kort, att ett tåg är ovanligt svårt att planera in (d.v.s. det är svårt att få det att gå mellan de angivna fönstrena) är inte detsamma som att det är ovanligt samhällsnyttigt. Exempelvis så kan ett persontåg mellan Malmö och Stockholm vara svårt att planera in. Men om tåget inte har en påföljande snabb association så kanske en något

längre körtid inte är katastrofal. Däremot kan ett persontåg som kör en kortare sträcka verka lätt att planera in, men om det önskade läget har en snabb association kan kostnaden för förseningar vara stor. Liknande exempel hittas på godssidan där känsligheten för försening varierar mycket (jämför exempelvis att tåg på väg till ett lager med ett tåg på väg till en hamn med en fast båtavgångstid). Sist men inte minst finns banarbeten som kan verka lätta att planera in eftersom de kan flyttas och hackas upp, men en sådan "lätt" planering kostar samhället stora summor i ökade produktionskostnader. För att hitta en optimal lösning måste alltså båda målen tas i beaktning.

2.2 Dagens Prioriteringskriterier

Det finns redan idag prioriteringskriterier som ska användas för att bestämma vilka tåg som får stå åt sidan vid olösliga konflikter [1]. Dessa prioriteringskriterier speglar de olika tågens samhällsnytta, och är därför relevanta även vid uppskjuten mötesreglering. Likaså är de önskemål som kunden har på det sökta tågläget en viktigt förutsättning för vårt arbete. Därför följer här en kort översikt av vad som idag finns att tillgå.

De önskemål som en sökande måste ha i sin ansökan är följande:

- Utgångsstation och slutstation
- Önskade uppehåll på stationer längst vägen
- Önskad avgångstid eller ankomsttid på någon av de angivna stationerna
- Rätt prioriteringskategori

Följande önskemål kan inkluderas om sökande vill:

- Önskad väg
- Minsta uppehållstid på stationer med trafikutbytesaktivitet
- Önskemål om styv tidtabell
- Gränsvärden för avgångar och ankomster (tidigaste respektive senaste). Dessa värden är att betraktas som *hårda* och om tåget inte kan levereras inom ramen för dessa så värderas detta likvärdigt med att tågets hela uppgift går förlorad.

I dagens prioriteringskriterier används följande variabler för att avgöra kostnaderna vid en konflikt:

- Transporttid för hela transporten
- Transportsträcka för hela transporten
- Fördelning av en given mängd skogstid

- Uppehållsförkortning
- Förskjutning av tågläget
- Brott mot styv tidtabell
- Avvikande dagvarianter

3 Lösningmetoder

3.1 Lokal stokastisk optimering

Den lokala stokastiska optimerings metoden syftar till att givet ett problem liknande exempelproblemet hitta den konfliktlösningstrategi som ger bäst förväntat värde. Denna strategi kräver en kostnadsfunktion för spöktågets utkörstid, och en sannolikhetsdistribution för dess inkörstid, för alla planeringsområden. Om en sådan sannolikhetsfunktion inte kan uppåddas går metoden inte att använda. I metoden ingår också ett nytt prioriteringstänk, som syftar till att tillmötesgå de två målen i planeringsprocessen, nämligen att tillmötesgå alla sökandes önskemål till så stor grad som möjligt, och ifall det är omöjligt, se till att de tåglägen med minst samhällsnytta ändras eller faller bort.

3.1.1 Tankar om framtida prioriteringsprocesser

Planeringssvårighet vs. Samhällsnytta Som redan nämnts i punkt 7 och 8 i stycke 2.1.2 ovan finns det två mål i planeringsprocessen. Dels ska alla sökandes önskemål tillmötesgå till en så stor grad som möjligt (d.v.s planeringen måste ske på ett sådant sätt att även svarplanerade tåg kan läggas in), dels ska de tåg som är minst samhällsnyttiga strykas eller ändras om det inte är möjligt att tillmötesgå alla krav (d.v.s. planeringen ska ske på ett sådant sätt att tåg med hög samhällsnytta är mest prioriterade). Ett sätt att få med båda prioriteringskriterierna i tågplaneringsprocessen är att ha en tvåstegs prioritering. Först görs planeringsprioriteringen på ett sådant sätt att svarplanerade tåg planeras in före alla andra. När vi sedan kommer ner på konfliktregleringsnivå så används kriterier för att maximera samhällsnytta för att bestämma vilket av två tåg som ska stå åt sidan. Detta leder dock till att de goda effekterna av punkt 2 i listan i stycke 2.1.2 försvinner så länge det inte finns något samband mellan svårighet att planera och samhällsnytta. Kort, tåg planeras in efter planeringssvårighet och konfliktregleras sedan efter samhällsnytta.

3.1.2 Prioritering för planeringsordning

Den första prioriteringen görs efter hur pass svårt tåget är att planera in och syftar till att få en tågplan som i största möjliga mån tillmötesgår alla sökandes önskemål. Detta är ett system som redan används, men det skulle möjligvis kunna utvecklas ännu mer. Grovt går planen ut på att tåg som anses svarplanerade planeras in först. Detta är exempelvis långtgående tåg och tåg med styv

tidtabell. Väntetid ska läggas in enligt någon, potentiellt stokastisk, modell så att tåg som planeras tidigt inte får mindre tidtabellteknisktid än vad som är förenligt med samhällsnyttan.

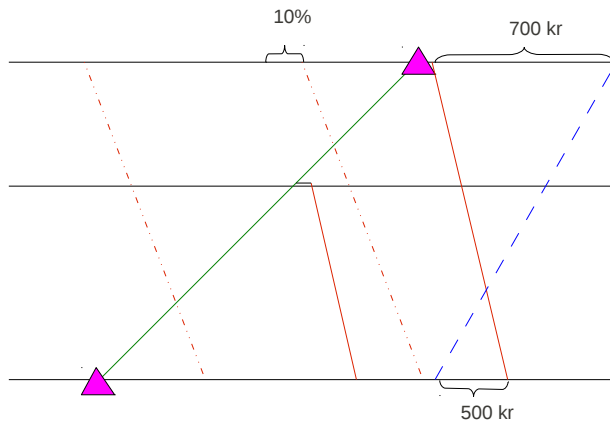
3.1.3 Prioritering för konfliktreglering

Det är vid konfliktregleringsprioriteringen som samhällsnyttan maximeras. Om detta görs med en stokastisk model innebär det att sannolikheten för att ett visst utfall ska inträffa tas i beaktning när planeringstågets väntetid bestäms. en stokastisk metod bygger på två delar, en kostnadsfunktion som definierar hur mycket ett tågläge är värt, och en sannolikhetsdistribution som ger hur pass troligt det är att ett tågläge kommer materialiseras på ett speciellt sätt.

Kostnadsfunktion Kostnadsestimering vid konfliktreglering skulle kunna göras efter de prioriteringskriterier som finns, fast med viss utbyggnad för att inkludera de effekter som kommer av att hela tågläget ej är färdigplanerat ännu. Säg exempelvis att planering ska ske för tågets slägets 50%-70% del, då skulle det vara lämpligt att i vidarelämningspunkten använda 70% av totalvärdet av de måttetal som valts ut att användas som jämförelsevärden. D.v.s. om tåget när det lämnar området har använt mer än 70% av den totala gångtiden så räknas det som en försening. Säg exempelvis att ett tåg har en önskad gångtid på totalt 200 minuter. Utkörningstiden för tåget efter det att 50-70% sträckan planerats är 145 minuter körtid, vilket jämfört med de 140 minuter som det borde vara är en 5 minuters försening. Man skulle kunna nöja sig med att ändra gränsen, men en försening i början av tågläget är kanske mer eller mindre allvarlig jämfört med en lika lång försening senare i tågläget, och då borde detta avspeglas i kostnadsfunktionen. Om inget av tågen påverkas av en konfliktreglering (d.v.s. båda tågen håller sig inom sina fönster) så ska antingen ingen paustid planeras in för planeringståget (det är bättre att låta spöktåget ta pausen eftersom väntetiden då blir precis det den behöver vara), eller så planeras paustider in på båda tågen så att den totala påverkan av bådas tåglägen minimeras. Potentiella problem med denna metod är att det finns vissa mätpunkter som är okända för spöktåget (så som exempelvis dess körsträcka), vilket begränsar vilka prioriteringskriterier som kan användas i optimeringen.

Spöktågets sannolikhetsdistribution Alla spöktågsutfall kommer inte vara lika troliga vilket borde påverka hur pass mycket paustid som planeras in. Säg exempelvis att det finns ett utfall med en realiserings sannolikhet på 1% som kräver att en väldigt lång paustid planeras in för planeringståget. I detta fall vore det antagligen olämpligt att planera in en paustid som täcker 1%-utfallet. Istället bör spöktåget tvingas ta hela väntetiden om det ovanliga fallet trots allt skulle realiseras, även om det inte är optimalt.

I ett fall som det i exemplet, d.v.s. då det finns konflikter som antingen kommer realiseras eller inte, så är det inte av värde att exempelvis planera in hälften av den paustid som krävs (för den kommer antingen inte till att användas eller inte till att räcka), snarare borde det finnas ett gränsvärde som bestämmer hur



Figur 2: Exempel på när en väntan inte ska planeras in p.g.a. spöktågets sannolikhetsfunktion.

pass sannolik ett utfall måste vara för att en väntetid ska planeras in för det. Exempelvis skulle vi kunna använda en så pass enkel modell som att om kostnaden för att planera in tågstoppet nu är mindre än den kostnad som förväntas krävas om stoppet planeras in vid spöktågets materialisering, så ska väntetiden planeras in nu. D.v.s. en väntetid planeras in om,

$$k_{p+s} < k_s * p,$$

där k_{p+s} är kostnaden för att reglera konflikten nu (antingen genom att planeringståget stannar eller båda), k_s är kostnaden för att inte reglera konflikten nu, utan om läget realiserar så får spöktåget ta hela paustiden, och p är sannolikheten att spöktågsutfallet realiserar. Säg exempelvis att det finns en konflikt som kommer realiserar med 10% sannolikhet. Om konflikten blir av borde en väntetid för planeringståget ha planerats in. Denna kostar 500. Om denna väntetid inte planerats in måste istället spöktåget vänta till en kostnad av 700. Detta ger $0.1 * 700 = 70 < 500$ och en väntetid ska inte planeras in nu. Detta exempel syns i bild 2.

3.1.4 Flera möjliga utfall

Precis som i exempelfallet finns det oftast flera olika konfliktutfall. D.v.s. det finns flera möjliga mötespunkter för spöktåget och planeringståget, och olika paustider behöver planeras in beroende på vilket mötesutfall det blir. Exempelvis så ska vårt planeringståg pausa om utfallet är 1) men ska inte pausa om utfallet är 2) i bild 1. MEN, eftersom en väntetid måste planeras in för det potentiella mötet vid 1) så kanske den extra väntetid som behöver läggas på för att klara av ett möte vid punkt 2) är så pass liten att detta är att föredra. Likaså kanske vårt stopp vid mötespunkt 1) senarelägger tåget på ett sådant sätt att det nu har ett svårare möte vid punkt 2). Alltså borde vi hitta den planeringstågpaustid,

t_p som minimerar kostnaden för båda stoppen. D.v.s.,

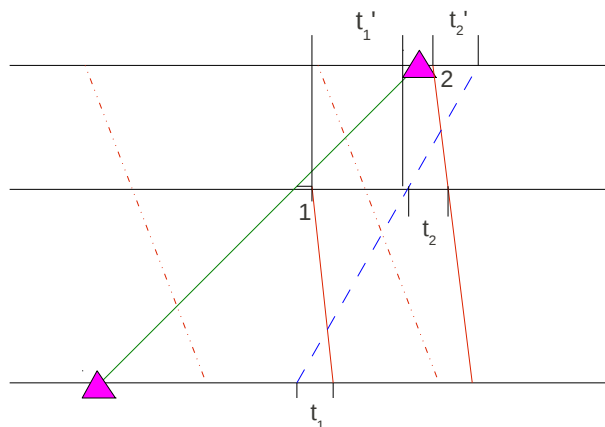
$$\min_p k^p(p) + \sum_{m \in M} k_m^s(p)P(m) \quad (1)$$

där M är alla mötesutfall, $k^p(p)$ kostnaden för att stoppa planeringståget p minuter och $k_m^s(p)$ kostnaden för de stopp som spöktåget behöver göra vid mötesutfall m om planeringståget stoppas p minuter. $P(m)$ är sannolikheten att utfall m inträffar.

3.1.5 Exempel

I de följande exempel antas att väntetider som planerats in men inte utnyttjats kan flyttas till det ställe i geografien där de stör minst (d.v.s. till första stationen efter konflikten). Detta innebär att vi inte behöver räkna med extra väntetid för spöktåget ifall en konfliktregleringstid planeras in för planeringståget.

Exempel 1 Förutsättningarna för exemplet är visade i bild 3. Precis som innan finns ett grönt tåg som är fastlagt, ett rött tåg som är ett spöktåg men som reduceras till två möjliga utfall av det fastställda gröna tåget, samt ett blått tåg som ska planeras in. Antag att all stillaståndstid kostar och det blåa tågets stillaståndstid är dubbelt så dyr som det röda tågets. Antag vidare att $t_1 = 1$, $t_2 = 2$, $t'_1 = 3$ och $t'_2 = 1$. Antag också att utfall 1 för rött tåg har en sannolikhet på 70%, och utfall 2 då 30%.



Figur 3: Exempelfall 1

Eftersom det finns flera potentiella mötespunkter användas formeln i 1. Vidare finns två mötesutfall som kräver olika väntetider, vilket ger tre möjliga stopptider; 0,1 och 2 minuter. Problemet blir,

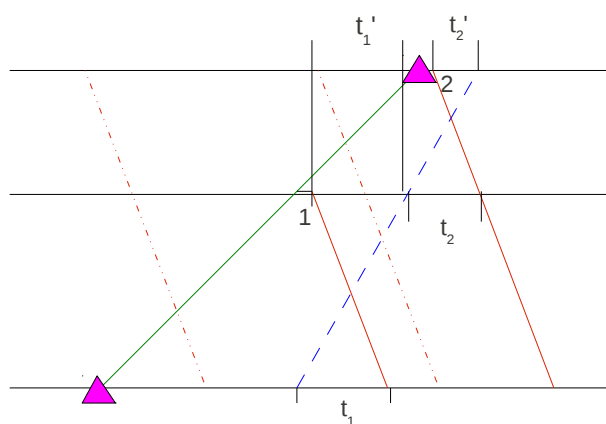
$$\min\{0*2+0.7*3+0.3*1, 1*2+0.7*0+0.3*1, 2*2+0.7*0+0.3*0\} = \min\{2.4, 2.3, 4\}$$

och det bästa valet är att pausa planeringståget en minut.

Exempel 2 I exempel 2 (se bild 4) går spöktåget långsammare så $t_1 = 2$ och $t_2 = 2$. Då blir problemet

$$\min\{0 * 2 + 0.7 * 3 + 0.3 * 1, 2 * 2 + 0.7 * 0 + 0.3 * 0\} = \min\{2.4, 4\}.$$

Alltså får planeringståget ingen paustid utan alla framtida konflikter regleras genom att spöktåget stannar.



Figur 4: Exempelfall 2

Referenser

- [1] Thomas Franzén. Förslag till prioritering i tågplaneprocessen överväganden och rekommendation av prioriteringskriterier. Technical Report f09-6447/TR50, Banverket, 2009.