

Alternativa konfliktlösningsmodeller

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

30 november 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 trafikeringsdå 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.

Något som dock är säkert är att konfliktregleringen kommer leda till längre körtider för endel eller alla av tågen. Detta tar påslagsmodeller fasta på, och istället för att detaljreglera en konflikt försöker de hitta de körtidspåslag som skulle möjliggöra exakt reglering av alla konflikter senare. Vi ser två användningsområden för sådana tidspåslag. Dels skulle de kunna användas för att försöka ta fram leveransåtaganden, och dels för att göra konstruktionsområdena oberoende. Svårigheten med påslagsmodeller är avvägningen av hur pass mycket tidspåslag de olika tågen ska få. Om för mycket tid läggs på blir schemat ineffektivt och oattraktivt, och stämmer inte överens med samhällets behov. Om för lite tid läggs på riskerar man att inte kunna fastställa en exakt tidtabell när detta blir aktuellt. Idéen om tidspåslag har tidigare behandlats av SICS i [1].

Under planeringsarbetet kommer det 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 in kallas *planeringståg*.

2 Variabler som påverkar påslaget

Då påslaget ska spegla den tid som kan förloras i konflikter behöver de variabler som påverkar konfliktsituationen för ett tåg beaktas. Dessa är bland annat:

Geografi Generellt kan sägas att om det är långt mellan mötespunkterna kommer väntetiderna bli längre. Dock är det egentligen tågens exakta position i geografin när konflikten inträffar som bestämmer väntetiden. Om båda tågen befinner sig nära interaktionspunkten när konflikten sker kommer detta ge en kortare väntetid.

Antal konflikter Ju fler konflikter ett tåg har, desto fler gånger kan det förväntas behöva stanna för konfliktreglering.

Plats på spåret Om det är många tåg på spåret kan optimala interaktionspunkter vara upptagna.

Tågets prioriterings grad Om ett tåg har låg prioritet jämfört med de tåg det är i konflikt med kommer det ofta att få vänta vid en konflikt.

Tågtyp Hastighet och möjliga mötespunkter är givetvis viktiga variabler som beror på tågtypen. Om båda tågen i en konflikt är korta snabba tåg som kan mötas vart som helst underlättar detta konfliktregleringen. Långa långsamma tåg försvårar regleringen. Likaså spelar ett tågs accelerations-tid roll om det tvingas stanna.

Tid När tåget går spelar givetvis roll då det direkt bestämmer både vilka konflikterna som kan ske och hur pass mycket kapacitet som finns på spåret.

3 Avgränsning av spöktåg

En spöktågsarea definieras av en tidig och en sen gräns mellan vilka vårt slutgiltiga tågläge måste ligga om det ska vara lämpligt. Om det inte finns några givna gränser måste sådana tas fram på ett passande sätt. Ett enkelt sätt att rita ut spöktågareor på är att använda de gränser för *Ej tågläge* som finns i dagens prioriteringskriterier [2], och låta tågarean sträcka sig från det tidigaste tillåtna tågläget till det senaste tillåtna.

4 Exempelmetoder för beräkning av påslag

Metoder för beräkning av påslag kan delas in i två grupper. Den första gruppen innehåller tekniker som definierar hur pass mycket påslag ett tåg bör få givet en viss konfliktsituation. Den andra gruppen innehåller tekniker som försöker dela upp och ut en given mängd total påslagstid till olika sträckor. Metoderna i den första gruppen kan användas för att exempelvis bedöma om ytterligare ett tåg kan planeras in utan att gångtiderna blir oacceptabla, medan metoderna i den andra gruppen kan användas för att exempelvis göra konstruktionsområdena

oberoende om det redan finns givna skogstider. Det är viktigt att förstå att de flesta påslagsmetoder inte garanterat ger ett lösbart schemalägningsproblem, men att ett bra avvägt system ökar chansen att så är fallet.

4.1 Uppskattning av ett planeringstågs behov av skogstid när det kör igenom ett spöktåg

Hur pass mycket skogstid ett tåg behöver i en konflikt beror på:

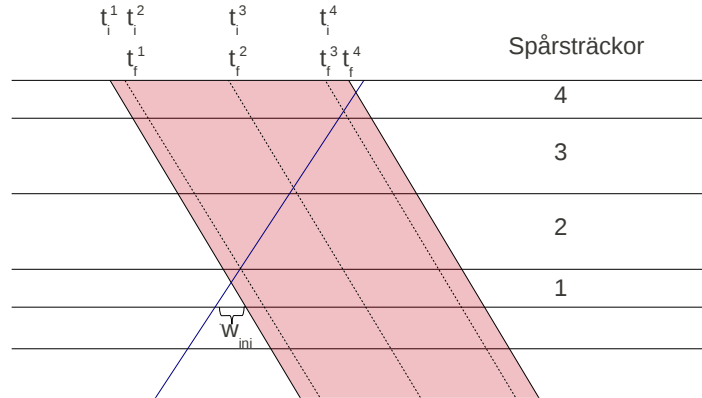
1. Om det kommer tvingas stanna.
2. Hur pass länge det behöver stå still.

Med punkt två antas ett spöktåget har en likformig sannolikhetsfördelning inom sin area. Denna sannolikhetsfördelning används för att räkna ut väntevärdet på planeringstågets väntetid under antagandet att det alltid är planeringståget som får stå åt sidan i en konflikt. Detta antagande skulle givetvis kunna ändras och ytterligare formler härledas. En förenklad metod vore att räkna ut väntevärdet på den väntetid som krävs för att reglera konflikten på den länk som det tar längst tid för spöktåget att köra igenom. Denna förenklade metod är lämplig om alla spårsträckor är ungefär lika långa. Skiljer sig sträckornas längd mycket är dock den första metoden att föredra. För att representera huruvida det är troligt att planeringståget kommer tvingas stanna eller inte kan väntevärdet multipliceras med någon konstant som representerar dess prioritering.

Det första steget i uträkningen är att hitta de senaste spöktåglägena som leder till att planeringståget måste vänta på en viss station. Om vi markerar dessa i planen kommer spöktåget delas upp i ett antal "inkörningsareor" där varje area representerar ett möte på en viss länk, och därmed också konfliktreglering för planeringståget på en viss station. För varje inkörningsarea är det förväntade värdet på planeringstågets väntetid halva tiden mellan den tidpunkt då planeringståget når regleringsstationen, och den tidpunkt då det senaste spöktågläget i vår area når regleringsstationen (se figur 1). Dvs väntevärdet för en spårsträcka är helt enkelt halva den maximala väntetiden för den sträckan. Den första spårsträckan är dock speciell då den inkluderar den tid planeringståget alltid måste vänta innan spöktågets tidigaste tågläge nått regleringsstationen. Här blir väntevärdet halva den tid planeringståget måste vänta "inuti" spöktåget plus den tid det alltid måste vänta innan spöktågets tidigaste tågläge når interaktionspunkten. I figur 1 markeras denna extra tid med w_{ini} . För att räkna ut det totala väntevärdet används

$$E(w) = \sum_{l \in S} E(w|l)P(l), \quad (1)$$

där w är väntetiden och l är en sträcka i den totala mängden sträckor S . Sannolikheten att konflikten kommer ske på en speciell sträcka l ges av $P(l) = \frac{t_f^l - t_i^l}{\sum_{j \in S} t_f^j - t_i^j}$ där l är sträckan, t_i^k är den tidigaste inkörnings tid som leder till konfliktreglering på sträcka k , och t_f^k är den senaste inkörnings tid som leder



Figur 1: Ett planeringståg och ett spöktåg i konflikt.

till detsamma (se figur 1). Uttryckt i matematiska formler är väntevärdet för väntetiden på en enskild länk l :

$$E(w|l) = \frac{t_f^l - t_i^l}{2} \quad (2)$$

Väntevärdet på den första länken blir,

$$E(w|1) = \frac{t_f^1 - t_i^1}{2} + w_{ini}. \quad (3)$$

Sist men inte minst blir formeln för väntevärdet för ett helt spöktåg,

$$E(sp) = \sum_{l \in S} \frac{(t_f^l - t_i^l)^2}{2T} + w_{ini} \frac{t_f^1 - t_i^1}{T} \quad (4)$$

där $T = t_f^{sp} - t_i^{sp}$, dvs spöktågets hela utsträckning.

4.2 Uppskattning av ett spöktågs behov av skogstid när det kör igenom ett fastställt tåg

I detta stycke är situationen den omvända. Det finns ett spöktåg vars totala behov av skogstid ska uppskattas, och en konflikt mellan detta spöktåg och ett redan fastställt tåg. Även om läget är det omvända är analysen nästan samma som ovan. De olika inkörningsareorna ritas ut, och väntevärdet på den konfliktregleringstid som krävs räknas ut för varje inkörningsarea, $E(w|l) = \frac{(t_f^l - t_i^l)}{2}$. Precis som tidigare räknas sedan det totala väntevärdet ut med formel 1 vilket ger,

$$E(w) = \sum_{l \in S} \frac{(t_f^l - t_i^l)^2}{2T}. \quad (5)$$

Alla termer är definierade som ovan.

4.3 Uppskattning av skogstid när två spöktåg har en konflikt

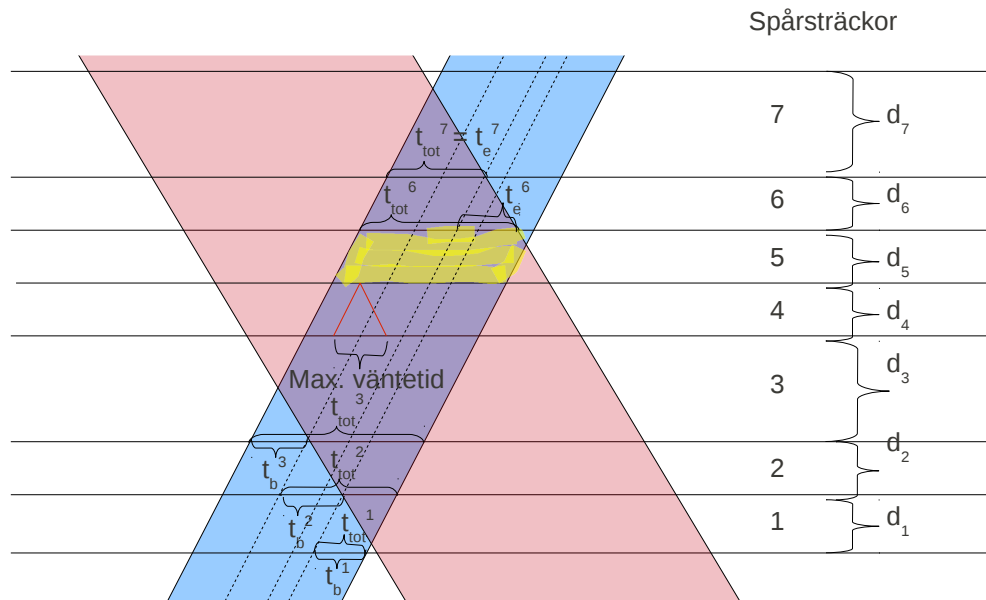
En något mer komplicerad situation uppstår om påslag för en konflikt mellan två spöktåg ska uppskattas. Figur 2 visar denna situation. Eftersom alla utfall för båda spöktågen är lika troliga, så är alla konfliktpunkter inom konfliktarean lika troliga. Detta leder till att sannolikheten att en konflikt kommer ske på en särskild länk, l är $P(l) = \frac{A_l}{A_{Tot}}$, där A_l är länkarean (markerad med gul överstrykningspenna), och A_{Tot} är den totala konfliktarean, dvs överlappningsområdet som på figur 2 är lilaaktigt. Om spöktåget hade kunnat komma när som helst hade väntevärdet för väntetiden vid konflikt på en speciell länk l varit $E(w|l) = \frac{v_1 d_l + v_2 d_l}{2}$ där v_i är tåg i s hastighet, och d_l är länkens längd. Dvs precis som innan är väntevärdet halva den maximala väntetiden då alla spöktågsutfall är lika troliga. Denna formel kommer användas för stora delar av spöktågsutfallen, men en speciell formel måste utvecklas för de fall då planeringsspöktåget (1) inkommer så sent att den möjliga väntetiden begränsas av spöktåg 2s area. Den punkt där detta blir aktuellt är $t_c^l = t_f^2(l) - v_1 d_l - v_2 d_l$, där $t_f^2(l)$ är den sista tidpunkt då tåg 2 kan nå regleringsstationen för l . Om t_c^l ligger inom planeringstågets area måste en specialformel användas för de fall som ligger mellan t_c^l och $t_f^2(l)$. Under denna tidsperiod är den förväntade skogstiden givet en inkörningstid för planeringsspöktåget helt enkelt halva tiden mellan det att det når regleringsstationen och spöktåg 2s senaste läge. Då spöktåg 1s inkörningstider är likformigt fördelade blir väntevärdet för specialperioden $\frac{t_e^l}{4}$ där t_e^l är specialperiodens längd, d.v.s. $t_e^l = t_f^2 - t_c^l$. Det finns ytterligare en sorts specialperioder, nämligen de perioder då planeringståget kommer in så tidigt att det alltid måste vänta ett tag innan det andra spöktåget når interaktionspunkten. I dessa fall blir väntevärdet på väntetiden $\frac{t_b^l}{4} + \frac{v_1 d_l + v_2 d_l}{2}$ där t_b^l är den tid som leder till en möjlig konflikt men som ändå är utanför det andra spöktåget (se bild 2). Detta ger,

$$E(w) = \sum_{l \in S} \left(\frac{(t_b^l)^2}{4t_{tot}^l} + \frac{(v_1 d_l + v_2 d_l)t_b^l}{2t_{tot}^l} + \frac{v_1 d_l + v_2 d_l}{2} * \frac{t_{tot}^l - t_e^l - t_b^l}{t_{tot}^l} + \frac{(t_e^l)^2}{4t_{tot}^l} \right) \frac{A_l}{A_{tot}} \quad (6)$$

där $t_e^l = t_f^2(l) - t_c^l$ om detta är större än 0, och annars 0.

4.4 Förslag på påslagsmetoder

- Hitta den längsta sträckan, L och räkna ut $E(w|L)$, planera in lika mycket skogstid. Denna metod är bra om alla sträckor ungefär lika långa.



Figur 2: Konflikt mellan två spöktåg.

- Räkna ut $E(sp)$ och planera in så mycket skogstid.
- Multiplicera resultatet från beräkningarna ovan med konstanter för att planera in skogstid i proportion till tågets prioritering. Observera att formelerna som ges i denna text förutsätter att planeringståget alltid får stanna vid konflikt.

4.5 Fördelning av en given mängd skogstid

Denna metod bygger på uppskattade worst-case scenario, och det första steget är att ett worst case scenario för varje tåg räknas ut. Detta kan exempelvis göras genom att följa algoritmen nedan:

Exempel på metod för att uppskatta ett worst case scenario

1. Alla tåg börjar på sin utgångspunkt i geografien och på sin tidigaste utgångstid. Tåglägen som helt följer kundens önskemål men ligger så tidigt som möjligt ritas ut för hela tågfärden för alla tåg. Dessa tåglägen kallas *tidiga*. Detta kommer ge en tågplan med en större mängd konflikter.
2. En lista med konflikter i ökande tidsordning framställs. En konflikts tidpunkt är den punkt då den kommer inträffa om den inte regleras.

3. Hitta den första konflikten i listan, och välj det alternativ som passar från nedan:

Om konflikttågen bara har ett tågläge var: Hitta den tid som varje tåg måste vänta för att reglera konflikten och rita in ett tågläge som väntar för varje tåg. Kalla dessa tåglägen för *sena*.

Om ett av tågen har en bred tåglägesarea, och den andra tåget inte:

Välj den spårsträcka som det tar längst tid för det enskilda tågläget att reglera en konflikt på och som finns inom det andra tågets area. Skapa ett sent tågläge för det enskilda tågläget som reglerar konflikten på denna spårsträcka. Hitta också den väntetid som krävs för att det breda tågläget ska reglera konflikten på det ställe där det tar längst tid för detta tåg. Lägg denna väntetid till det breda tågets sena tågläge.

Båda tågen har delade tåglägesareor: Hitta den väntan som krävs för att ett tåg ska kunna reglera mötet på det ställe som det tar längst tid för just det tåget. Lägg denna väntetid till respektive tågs sena tåglägen. Observera att detta inte behöver vara samma sträcka för båda tågen.

Om konflikten inte påverkar hela det breda tågläget: Hitta de länkar som det skulle kunna ske en konflikt på. Hitta sedan det senaste tågläge som skulle kunna leda till en konflikt för varje länk, och den paustid som skulle behövas för att detta tågläge ska kunna reglera konflikten. Observera att dessa paustider kan vara olika för de olika tågen. Planera in dessa paustider på deras respektive tåglägen och välj det tågläge som blir senast för varje tåg. Om detta tågläge är senare än det ursprungliga sena tågläget blir det nyligen planerade tågläget det nya sena tågläget, annars behålls det ursprungliga.

4. Lägg till alla nya konflikter som de sena tåglägena orsakat och ta bort den behandlade konflikten från listan. Om det fortfarande finns konflikter i listan, återgå till punkt 3.
5. När det inte finns fler konflikter i listan avslutas algoritmen.

Skillnaden mellan det tidiga och det sena tåglägets sluttider ger den maximala skogstiden som kan planeras in på ett tåg, T_{max} . Detta är en tid som högst antagligen aldrig kommer planeras in, men den är ändå ett mått på hur pass allvarlig tågets konfliktsituation är. För att veta hur pass lämpligt T_{max} är jämförs den med den totala skogstid som kunden tillåter, T_{ok} . Som mått på allvarlighet används $T_{\%} = \frac{T_{max}}{T_{ok}}$. Om $T_{\%} = 3$ så innebär det att för varje skogsminut som spenderas i worst case scenariot, måste två sparas in. Det vill säga priset på en spenderad skogsminut är 2. Kalla priset på en spenderad skogsminut $p(k)_{spend}$ där k är tåget det gäller för. När alla tågs priser har beräknats används de för att räkna ut ett index för varje tåg, k , och konflikt, c , som definierar hur pass effektiv en konfliktreglering är i worst case scenariot:

$$i_k^c = \frac{n_c * p(l)_{spend}}{m_c * p(k)_{spend}}, \quad (7)$$

där n_c är hur många procent av tågläge l s skogstid som behöver spenderas om tåg l ska vänta på tåg k för att reglera konflikt c , och m_c är hur många procent av tågläge k s skogstid som skulle behöva spenderas. När ett tågs alla index är uträknade summeras de olika områdenas konflikt index och skogstid delas ut i enlighet med hur stor andel av den totala index summan som varje område står för, och hur pass många minuter de max behöver (det är aldrig värt att planera in mer väntetid än vad ett område behöver i ett worst case scenario).

Denna metod prioriterar snabba tåg, samt tåg med lite tillgänglig skogstid. Dock används en del förenklingar så som att alla beräkningar baseras på ett uppskattat worst-case scenario.

Referenser

- [1] Martin Aronsson and Malin Forsgren. Sics-ddtp 001 - påslagsmodellen matematisk beskrivning av en grov planeringsmetod för tidtabellkonstruktion. Technical report, SICS, box 1263, SE-164 29 KISTA SWEDEN, 2009.
- [2] Thomas Franzén. Förslag till prioritering i tågplaneprocessen överväganden och rekommendation av prioriteringskriterier. Technical Report f09-6447/TR50, Banverket, 2009.