

# Snabb utveckling inom bilindustrin – osäkerheter i autonoma system

**Autonoma system agerar och fattar beslut utan mänsklig inblandning. Design av autonoma system är ett stort område som sträcker sig från reglerteknikens matematiska grunder via spagettiprogrammeringens ändlösa villkorssatser till artificiell intelligens, där den senare kanske är den vanligaste associationen när det gäller autonomi i komplexa system.**

Artificiell intelligens definieras enligt wikipedia som studie och design av intelligenta agenter vilka känner av omgivningen och agerar för att maximera sina chanser att lyckas. Autonoma system har ett brett spektrum av tillämpningar och vi fokuserar den här diskussionen på säkerhetskritiska farkostfunktioner och speciellt förarassistans i bilar.

Ett kännetecknade drag hos regelbaserade autonoma system är att de är deterministiska, dvs alltid ger samma svar på samma fråga. Det kan ju verka naturligt, men kan ge en överoptimistisk tilltro till funktionen när dess omgivning har osäkerheter:

- Indata kommer från sensorer och passerar signalbehandlingsalgoritmer som skattar farkostens tillstånd och dess omgivning. Sensorer har mätfel och begreppen skattning av tillstånd indikerar att utdata är behäftade med osäkerheter.
- Tillståndsskattningen matas in i ett regelbaserat system och ut kommer ett beslut i form av en varning eller aktivt ingrepp.
- Omgivningens reaktion på beslutet har tydliga osäkerheter och konsekvensen av ett och samma beslut med samma indata kan variera på ett sätt som kan uppfattas som stokastiskt.

Vi ska här ge ett systemperspektiv på totalnyttan av autonoma säkerhetshöjande funktioner i bilar och hur detta kan relatera till kostnaden.

## Autonomt beslutsfattande i bilar

DARPA Grand Challenge är en internationell forskartävling som illustrerar vad som kan

### Kollisionslindrande bromsmanövrar

En fundamental storhet i kollisionsundvikande och kollisionslindrande system är tiden till kollision  $t_{ttk}$ , vilken definieras av negativa kvoten mellan relativt avstånd  $s_{rel}$  och relativ hastighet  $v_{rel}$ :

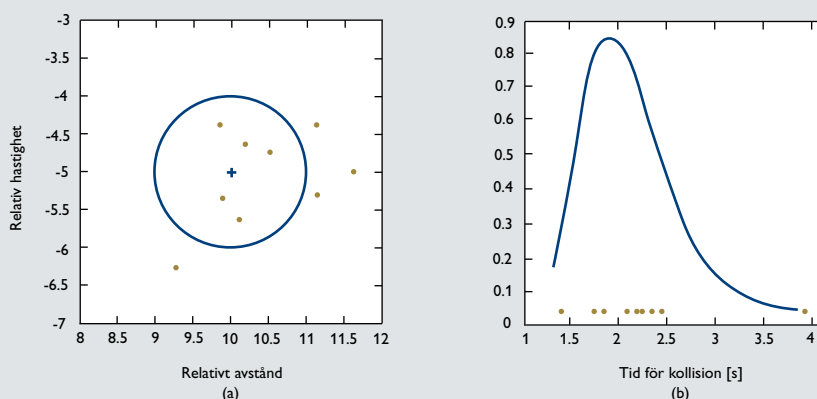
$$t_{ttk} = -\frac{s_{rel}}{v_{rel}}$$

Den återspeglar som namnet antyder hur lång tid det tar innan kollisionen inträffar, givet att relativhastigheten inte ändras. Båda fordonen antas alltså fortsätta i samma riktning och med samma hastighet. Dessutom krävs i detta uttryck att relativa accelerationen är noll, i annat fall får man lösa en andragsgradare för att få  $t_{ttk}$ . Tid till kollision kan användas för trafik i en fil (bil, tåg) eller andra farkoster som ligger på konstant relativ bäring.

Den typ av dopplerradar som används i bilar ger både relativt avstånd och hastighet, så  $t_{ttk}$  kan direkt beräknas och ett enkelt regelverk kan se ut enligt följande:

1. Om  $1 < t_{ttk} < 3$  så varna föraren med ljud eller ljus.
2. Om  $0.5 < t_{ttk} < 1$  så aktivera bromsförstärkaren och ge föraren en haptisk varning.
3. Om  $t_{ttk} < 0.5$  så panikbromsa autonomt

Hur effektivt är ett sådant system i praktiken?



**Figur 1:** (a) En radar mäter avstånd och relativ hastighet (doppler) till ett eller flera framförvarande fordon, båda med mätfel vilka illustreras med en konfidensellips. (b) Tid till kollision får pga mätfelet en sannolikhetsfördelning som i det här fallet är skev.

### Osäkerhet i indata

En typisk bilradar har en osäkerhet. Det innebär att det beräknade värdet av  $t_{ttk}$  får ett stokastiskt bidrag, dvs i en och samma situation får man olika värden varje gång. Det finns två typer av felbeslut: att agera när det inte behövs (falsklarm) och att inte agera då det behövs (missat larm). I förarassistanssystem vill man undvika falsklarm för att maximera föraracceptansen av systemen.

Ett intressant fall är när relativhastigheten är nära noll och avståndet mellan bilarna är kort. Ett sådant fall visas i figur 1. Fördelningen för  $t_{ttk}$  blir i detta fall tydligt skev: man kan få mycket stora värden på  $t_{ttk}$  och då missa att agera då man borde det. Utan mätosäkerhet skulle man få  $t_{ttk} = 2$ , och för den aktuella fördelningen blir medelvärdet 2.3 och medianen 2.2.

En intressant iakttagelse är att beslutsfattare inom bilindustrin har svårt att acceptera att ett ingrepp kan ske stokastiskt. Deras kundorienterade uppfattning är att antingen funkar ett system eller så funkar det inte. Det ska inte finnas några "beror på" eller "med sannolikhet 99 % funkar det". I praktiken får man dock leva med kompromissen mellan falsklarms sannolikhet och risken för missad detektion.



**Figur 2:** Figuren visar ett test med det av Volvo Cars och LiU utvecklade systemet för kollisionslindring. En radar används som extern sensor och bromsning sker autonomt då alla kollisionssundvikande manövrar kan uteslutas. Eftersom undanstyning är den effektivaste manövern vid hastigheter över 35 km/h så sker ingreppet tämligen sent (notera bromsljus, varningslampa och nigningsvinkel), men kan ändå minska kollisionshastigheten med 15 km/h.

göras i demonstratorbilar med dagens teknik. Den första tävlingen hölls 2004 med uppgiften att ta sig 25 mil genom Kaliforniens öken till ett givet mål helt autonomt. Bästa bilen kom halvvägs. Året senare hölls en likande tävling, där fem bilar kom i mål. Uppgiften i DARPA Urban Challenge 2007 var att låta standardbilar köra förarlöst i stadsmiljö och följa trafikregler, läsa skyltar och anpassa sig till övrig trafik. Sex bilar tog sig igenom den 10 mil långa banan. Stanford och Carnegie Mellon har turats om att komma etta och tvåa.

De autonoma funktioner som finns på marknaden är inte lika spektakulära, men väl så viktiga. Förarassistanssystem som idag autonomt fattar beslut på olika nivåer inkluderar följande funktioner:

1. Varna föraren med ljus, ljud, vibrationer i säte och ratt.
2. Förbereda ställdonen på föraringrepp som att bygga upp bromstrycket för

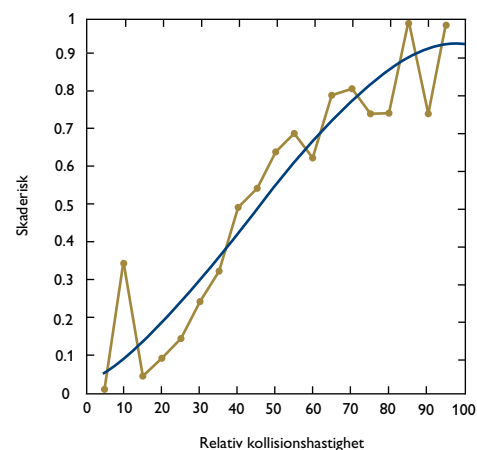
att undvika dödtid samt förstärka förarens eventuella bromsning.

3. Aktiva ingrepp med ratt och broms.
4. Kollisionslindrande manövrar som panikbromsning när alla undanmanövrar som undviker olyckan kan uteslutas.
5. Kollisionförberedande ingrepp som bältesförsträckare och krockkuddar.
6. SOS-alarmering med positionsdata efter kollisionen.

Ett exempel på förarassistanssystem som bidrar till den här positiva effekten är sladdhävare som bromsar individuella hjul för att rätta upp en sladd. Folksam uppskattar att sladdhävare är lika säkerhetshöjande som bilbältet vid dåligt väglag, samt att nya bilar har en trend att bli 5 % säkrare varje år.

#### Osäkerhet i konsekvens

Effekten av förarassistanssystem är naturligtvis mycket svår att uppskatta kvantitativt, så



**Figur 3:** Risk för mer än lindriga skador vid påkörningsolyckor bakifrån som funktion av relativ kollisionshastighet. Uppskattningar i en olycksdatabas samt polynomisk anpassning.

totala nyttoeffekten beror på en rad osäkerheter. Denna typ av osäkerhet som beror på omständigheter och situationen snarare än mätfel förefaller mycket lättare att acceptera för beslutsfattare. Till exempel så dödar krockkuddar varje år ett ansevärt antal människor pga falska ingrepp, men de räddar mångdubbelt fler med sina korrekta ingrepp.

Vi ska här studera ett kollisionslindrande system som utvecklats i samarbete mellan Volvo Cars och LiU i ett doktorandprojekt, se figur 2. En pessimistisk uppskattning av ingreppets verkan är att systemet bromsar autonomt så att kollisionshastigheten minskar ibland med 15 km/h medan i andra fall missar systemet att ingripa.

Vad ger detta för effekt på olycksrisken? Klassiska databaser med olycksstatistik är inriktade på att beskriva situationen efter kollisionen, inte före, så de ger inget svar på frågan. Det börjar dock att byggas upp databaser med statistik på olyckstyp och uppskattningar av hastigheter mm (dock är



**Figur 4:** Illustration av det av Volvo Cars och LiU utvecklade systemet för filhållningshjälp. En kamera och en radar håller koll på omgivningen. Kameran övervakar också om bilen korsar de vita filmarkeringarna utan att körriktningvisaren är på, men systemet agerar endast då det föreligger en risk i ett filbyte (statiskt objekt, mötande fordon etc).

förstås alla dessa data osäkra). Figur 3 visar risken för att skadas mer än lindrigt (vilket motsvarar beteckningen AIS+ i databasen) som funktion av kollisionshastigheten. Om nu dessa bilar hade varit försedda med ett kollisionslindrare system skulle kollisionshastigheten minska slumpmässigt mellan 0 och 15 km/h. Nyttoeffekten kan uppskattas till att risken att skadas minskar med 16 %. Eftersom påkörningsolyckor bakifrån utgör 30 % av alla olyckor, blir slutsatsen att risken att skadas totalt sett minskar med 5 %. Alltså, kollisionslindrare system kan ensamt bidra till Folksamns uppskattade trend i säkerhet i nya bilar för ett år.

Slutligen, bättre sensorer i kombination med mer avancerad signalbehandling kan

ytterligare förbättra verkan av systemet. Den totala kundnyttan är en avvägning mellan kostnaden för komponenter och utveckling å ena sidan och riskminskningen å andra sidan.

### Systemdesign

Ett kostnadseffektivt system ska dels bestå av billiga komponenter och dels inrikta sig på olycksfall där effekten är så positiv som möjligt. En systematisk analys av kostnad och totaleffekt illustreras i tabell 1.

- Kostnad innefattar sensorer som radar, kameror, IR, GPS och tröghetsensorer, men inte ställdon eftersom motor, ratt och individuell hjulbromsning kommer att kunna styras elektroniskt inom snar framtid.
- Totalnytta beräknas som en summa över alla olyckstyper, där deras relativa frekvens multipliceras med systemnyttan för denna olyckstyp. Totalnyttan anges i procent efter hur många allvarliga skador som undviks.
- Kostnadseffektivitet anges i procent minskade skador per tusenlapp i tillverkningskostnad.

Högerkolumnen i tabellen ger ett intressant kundperspektiv: vad är säkerheten värd? Det ska tilläggas att kostnaden gäller enbart om man bara väljer ett av systemen, väljer man flera blir det mängdrabatt pga att många av systemen använder gemensamma sensorer.

Studien ovan inledde ett doktorandprojekt, där fokus blev på ett system för filhållningshjälp, vilket illustreras i figur 4. ■

### Kort om författaren

Fredrik Gustafsson är professor i sensorinformatik vid institutionen för systemteknik på Linköpings universitet. Han har haft forskningsarbeten med Volvo sedan 1992 och har ett antal pågående forskningsprojekt med Volvo, SAAB flyg, NIRA Dynamics och FOI om säkerhetshöjande funktioner i farkoster, som virtuella sensorer, ruttplanering, navigering och kollisionsundvikning i bilar, flygplan och obemannade farkoster.

De fakta som finns i artikeln är tagna från doktorsavhandlingarna nedan:

### Referenser

- [1] Andreas Eidehall. *Tracking and threat assessment for automotive collision avoidance*. Dissertation no. 1066, Linköping University, Sweden, 2007.
- [2] Jonas Jansson. *Collision avoidance theory with applications to automotive collision mitigation*. Dissertation no. 950, Linköping University, Sweden, 2005.

System	Kostnad	Totalnytta	Kostnadseffektivitet
Filhållningshjälp	1200	18.8	15
Filbytesthjälp	1100	1.5	1
Kollisionslindring	1500	10.8	7
Kollisionsundvikning	3900	39.1	10
Kurvvarning	900	3.6	4
Filassistans	3500	32.0	9
Viltskanner	3100	0.3	0
Fotgångar- och cykelskanner	2000	38.3	19

Tabell 1: Komponentkostnad, totalnytta i antal skador som undviks samt kostnadseffektivitet räknat i kostnad per sparad skada.