

Teză de Doctorat: Rezumat

Către Sisteme Cyber-Fizice cu Om-în-Bucă

Róbert-Adrian Rill



Universitatea Babeş-Bolyai, Cluj-Napoca

Facultatea de Matematică și Informatică

Școala Doctorală Matematică și Informatică

Conducător științific:

Dr. Horia F. Pop

2021

Abstract

Prezenta lucrare abordează patru aspecte comune ale provocării de om-în-bucă, una dintre întrebările majore în cercetarea legată de CPS. În primul rând, identific măsuri strategice de decizie într-o sarcină de atenție divizată, care nu a fost investigată anterior, și arăt importanța lor în prezicerea performanței umane. Acesta sprijină crearea unui model de comportament uman mai complet de inclus în CPS. În al doilea rând, propun o abordare generică bazată pe date pentru prezicerea erorilor umane cu mare precizie, din caracteristici de mișcare a ochilor și mâinilor. Anticiparea erorilor umane facilitează intervenția eficientă a computerului și funcționarea fiabilă a sistemelor complexe. În al treilea rând, arăt că controlul solicitant al interfețelor bazat pe privire poate fi productivă în ceea ce privește strategiile, chiar dacă afectează performanța. Acest lucru promovează interacțiunea intuitivă cu calculatorul și este deosebit de important când metodele de control tradiționale nu sunt fezabile. În al patrulea rând, investighez un algoritm intuitiv bazat pe viziune monoculară pentru estimare a vitezei și un algoritm de predicție a timpului până la coliziune, folosind ca date de intrare două fluxuri video, înregistrând planul frontal a mașinii și perspectiva șoferului. Folosirea ochelarilor inteligenți ca dispozitive senzoriale și combinarea lor cu algoritmi de învățare profundă îmbunătățește luarea de decizii a sistemelor de asistență umană. Rezultatele contribuie la creșterea gradului de conștientizare a prezenței umane în CPS și la încorporarea omului în buclă ca parte integrantă.

Cuvinte cheie: sistem cyber-fizic, omul-în-bucă, atenție divizată, performanță umană, urmărirea privirii, ochelari smart, vedere monoculară, sistem de asistență a șoferului.

Introducere

Sistemele cyber-fizice (CPS) sunt integrări ale proceselor computaționale și fizice care furnizează și utilizează servicii de accesare și prelucrare a datelor. Ele reprezintă una dintre cele mai promițătoare direcții în dezvoltarea informaticii și a tehnologiei informației și comunicațiilor care pot schimba fiecare aspect al vieții. Acestea au un potențial economic și social semnificativ care ar putea domina revoluția tehnologiei informației din secolul al 20-lea. Similar cu modul în care internetul a revoluționat accesibilitatea informației și a transformat modul în care oamenii interacționează și comunică între ei, CPS transformă modul în care oamenii interacționează și controlează lumea fizică din jur.

CPS pot fi privite ca o confluență de rețele de senzori fără fir, internetul obiectelor, robotică, învățare automată pentru monitorizarea și controlarea lumii fizice și pentru obținerea unor medii extrem de adaptabile. Ele constituie baza infrastructurii de generația următoare, iar serviciile inteligente în curs de dezvoltare îmbunătățesc calitatea vieții. Oamenii sunt întotdeauna implicați ca o parte esențială al oricărei CPS, dar soluțiile actuale lasă în urmă factorul uman. Înainte de a atinge potențialul maxim ale CPS-urilor cu om-în-bucă, trebuie stabilit o bază taxonomică care să contribuie la înfruntarea și depășirea a multor provocări: înțelegerea tipurilor de control uman, modelarea comportamentului uman în mod cuprinzător, încorporarea modelelor însuși în arhitectura și tratarea oamenilor nu ca elemente externe ale buclei de control, transformarea interacțiunii cu computerele ca una intuitivă, creșterea gradului de conștientizare a prezenței omului, astfel încât tehnologia să se adapteze la oameni și nu invers, recunoașterea necesității de a păstra omul în buclă în ciuda realizărilor de performanțe supraomenești. Fundamentele teoretice complete încă nu sunt asamblate.

Scopul prezentei disertații este de a rezolva provocarea om-în-bucă, una dintre întrebările majore ale CPS. Mai exact, încorporarea omului în mod eficient în sistem, tratarea comportamentului uman ca o parte integrantă, adaptarea tehnologiei la nevoile umane, astfel încât să putem interacționa intuitiv cu computerele în mediile CPS pentru a atinge obiective comune. Significanța cercetării mele în ceea ce privește aspectele om-în-bucă poate fi rezumată în patru puncte: (i) crearea unui model de comportament uman mai complet prin identificarea și monitorizarea măsurilor de decizie strategică, (ii) promovarea funcționării fiabile a sistemelor complexe prin anticiparea erorilor umane, (iii) facilitarea interacțiunii intuitive cu computerele prin controlul interfețelor bazat pe privire, (iv) îmbunătățirea luării deciziilor sistemelor de asistență umană prin utilizarea

de ochelari inteligenți ca dispozitive senzoriale și algoritmi de viziune monoculară bazate pe învățare profundă.

Inițiativa pe termen lung de a rezolva provocarea om-în-bucă generează mai multe întrebări de cercetare care trebuie investigate. De ce soluțiile actuale de CPS lasă încă în urmă factorul uman? Cu ce provocări ne mai confruntăm pentru a integra eficient componenta umană și a crea sisteme mai conștiente de prezența omului? Cum ar trebui computerul să se adapteze la comportamentul uman care este în schimbare continuu, cum poate recunoaște situațiile neobișnuite și să identifice când are nevoie omul de ajutor? Mai general, care sunt modalitățile de a învăța computerele să ajungă la o interacțiune mai benefică odată cu trecerea timpului? Putem facilita luarea deciziilor computerelor, astfel încât acestea să poată interveni în timp pentru a evita situațiile periculoase pentru oameni? Cum ar trebui computerul să ofere asistență pentru a promova performanța umană pe termen lung? Care sunt modalități alternative pentru a controla sau interacționa cu computerele în situații care implică acest lucru? Cum putem folosi tehnologiile nou apărute pentru a facilita soluționarea problemelor CPS? Cum putem profita de dispozitivele inteligente omniprezente senzoriale? Cum putem asigura confidențialitatea și protecția utilizatorilor în CPS?

Exemple de profesii din viața reală în scenariile CPS în care se dorește interacțiunea intuitivă cu calculatoarele includ, dar nu se limitează la controlor de trafic (sau spațiu) aerian, operatori de centrale nucleare, ingineri în fabrici, chirurghi, medici, furnizori de servicii medicale (pentru asistența persoanelor în vârstă și persoane cu deficiențe), operatori de urgență civilă, agenți de call center, piloți de avioane, șoferi de automobile.

Ambiția de termen lung introdusă necesită măsurarea parametrilor umani, monitorizarea acțiunilor și comportamentului uman, identificarea factorilor care influențează performanța umană, anticiparea erorilor umane – toate acestea în medii care necesită atenția divizată a participanților, ceea ce este în general cazul scenariilor CPS. În afară de asta, trebuie luat în considerare substituirea metodelor tradiționale de interacțiune cu calculatoare în cazuri specifice cu abordări inovatoare și pentru a profita de dispozitive inteligente omniprezente în scopuri de monitorizare, ca să nu mai vorbim de încorporarea în soluții a avansărilor de ultimă generație din domeniul inteligenței artificiale.

Principalele contribuții ale prezentei disertații la literatura științifică existentă pot fi rezumate după cum urmează:

- identificarea măsurilor de decizie strategică într-o sarcină de atenție divizată care nu a fost luată în considerare de studii anterioare,

- demonstrarea importanței strategiilor în prezicerea performanței umane,
- propunerea unei abordări generice bazate pe date pentru anticiparea cu o precizie mare a erorilor umane din caracteristicile mișcării privirii și ale mâinilor,
- demonstrarea că, deși trecerea de la controlul cu cursorul mouse-ului la controlul mai exigent bazat pe privire afectează performanța, este posibil de a realiza progres în ceea ce privește strategiile – acest lucru este important în special pentru persoanele pentru care metodele tradiționale de control nu sunt o opțiune,
- investigarea unei metode intuitive de estimare a vitezei bazate pe viziunea monoculară și a unui algoritm de predicție a timpului până la coliziune folosind ca date de intrare fluxul video de la o cameră sferică și ochelari inteligenți, cu scopul de a îmbunătăți sistemele de asistență a șoferului.

Afirmațiile tezei și contribuții

Munca prezentată în disertație poate fi suprapusă de-a lungul liniei provocării de om-în-bucă. Pentru a aborda părți ale acestei provocări extensive, a fost planificat și investigat un mediu de interfață machetă și un scenariu real de CPS, și a fost efectuată colectare de date cu participanți umani. În primul rând, a fost implementat un mediu de bord pentru sarcini de atenție divizată, pentru a imita situațiile CPS și pentru a investiga performanța umană. În al doilea rând, a fost construită o configurare reală pentru colectarea datelor într-un scenariu de conducere, compusă din ochelari inteligenți și o cameră de 360 de grade (sferică).

În prima instanță de colectare a datelor a fost proiectată și implementată o sarcină de atenție divizată, și s-a efectuat un studiu longitudinal cu 10 participanți [6]. După o lungă evaluare calitativă și cantitativă a datelor experimentale, am caracterizat strategiile participanților, adică metoda lor de rezolvare a problemelor sau de luare a deciziilor. Pentru a demonstra importanța identificării strategiilor umane de rezolvare a problemelor în medii de atenție divizată, propun următoarea afirmație de teză.

Afirmația tezei 1. Predictorii strategici de performanță. În medii de atenție divizată, performanța umană poate fi prezisă prin identificarea și măsurarea capacității lor de a lua decizii strategice, fără a analiza construcțiile de abilitate și trăsăturile de personalitate. Mai mult, constatarea mea este că strategia de

planificare și executarea unei acțiuni înainte ca o situație să devină critică este un predictor mai influent decât strategia de selectare a celei mai urgente sarcini sau acțiuni.

Cea mai importantă strategie se numește planificare și are ca efect reducerea încărcării cognitive ulterioare sau a constrângerilor temporale, iar analiza statistică a arătat că acesta explică aproape la fel de multă varianță în performanță (47%) ca și celelalte trei predictorii mai simpli împreună (51%): selectarea celei mai urgente sarcini și respectiv acțiuni dintre mai multe posibilități simultane, și alegerea unui răspuns în cadrul aceleiași sarcini atunci când oportunitatea este prezentă.

Rezultatele studiului [6] indică faptul că diferențe considerabile în capacitatea de atenție divizată a unor persoane fără dizabilități pot fi identificate devreme, cu eforturi minime, folosind un eșantion mic și aplicând o perioadă relativ scurtă de practică. Circumstanțele atent selectate în ceea ce privește proiectarea sarcinii noastre speciale de atenție divizată și procedura experimentală au ajutat la identificarea și evidențierea variabilelor explicative relevante, numite decizii strategice. Descoperirile au indicat faptul că strategiile distincte influențează performanța generală și dau naștere la traiectorii de învățare diferite și divergente. Munca mea subliniază importanța descrierii și analizei strategiilor, care la rândul lor pot influența în mod substanțial performanța în sarcini complexe și pot servi nevoi de instruire.

Măsurarea capacității de a lua decizii strategice contribuie la dezvoltarea unui model mai complet de comportament uman și facilitează asistența intuitivă de la computere atunci când omul se abate de la strategia corectă, dacă acestea au fost identificate în prealabil. Performanța participanților în sarcina noastră de atenție divizată este determinată de numărul de erori comise. Prin urmare, pentru a anticipa erorile umane din comportamentul lor, am examinat diferiți algoritmi în încercarea de a prezice erorile de omisiune înainte ca acestea să apară [9, 10]. Scopul pe termen lung este de a decide când și cum ar trebui să intervină computerul pentru a evita situațiile critice. Următoarea afirmație a tezei rezumă aceste eforturi.

Afirmația tezei 2. Prezicerea erorilor umane. Caracteristici cantitative ale mișcării privirii și ale mâinilor (de exemplu, schimbări de poziție în timp) pot fi utilizate pentru a prezice erorile umane, adică pentru a clasifica cu precizie mare acțiunile de succes și eșuate ale utilizatorului.

Folosind o abordare bazată pe date pentru a prezice erorile umane, am evaluat mai mulți algoritmi clasici de învățare automată și i-am comparat cu o abordare de modelare temporală mai tradițională și cu un model LSTM bazat pe învățarea profundă. Folosind o procedură de validare încrucișată, am obținut o bună precizie de clasificare de până la 86%.

Rezultatele și eforturile mele au implicații pentru proiectarea și evaluarea interfețelor predictive care implică luarea deciziilor sub presiunea timpului. Astfel de interfețe inteligente sunt din ce în ce mai integrate în diverse domenii tehnologice. În medii complexe cu risc ridicat, unde oamenii reprezintă o parte crucială a sistemului și atenția lor este adesea împărțită între activități simultane, erorile umane iminente pot avea consecințe grave. Este posibil ca computerele să fie nevoite să anticipeze acțiunile și erorile utilizatorilor pentru a oferi asistență și pentru a evita situațiile periculoase. Extinderea interfețelor cu capacități predictive poate facilita interacțiunea eficientă om-calculator și, prin urmare, poate promova funcționarea sigură și fiabilă a sistemelor complexe.

Sarcina de atenție divizată studiată folosește un control bazat pe cursorul mouse-ului, care este o abordare tradițională pentru aplicațiile computerizate. Cu toate acestea, interfețele cu controlul privirii umane reprezintă o alternativă promițătoare prin extensia posibilităților de interacțiune personalizată. Controlul bazat pe vedere generează o povară solicitantă în sarcinile dinamice, dar metodele tradiționale de control nu sunt fezabile mereu, cum ar fi în cazul sistemelor pentru persoanele cu dizabilități sau sarcini în care mâinile omului sunt ocupate (de exemplu, un chirurg în sala de operație, eliminarea bombelor). În consecință, am investigat efectele trecerii la control exclusiv bazat pe privire [3, 4] și introduc afirmația tezei de mai jos.

Afirmația tezei 3. Control solicitant bazat pe privire. Chiar dacă controlul interfețelor bazat pe privire este mai solicitant în medii de atenție divizată decât controlul cursorului cu mouse de exemplu, învățarea de a utiliza strategia potrivită permite participanților umani să performeze suficient de bine. Prin urmare, controlul bazat pe privire poate face interacțiunea cu calculatorul productivă, în special pentru persoanele cu capacități restricționate.

După studiul longitudinal cu versiunea de control a sarcinii cu mouse-ul, experimentele au fost repetate cu nouă din cei zece participanți inițiali. În ciuda controlului atent al aspectelor experimentale și de proiectare (participanții au fost utilizatori experimentați ai versiunii de control cu mouse, dificultatea a fost adaptată la condițiile mai solici-

tante și parametrii de intrare a privirii au fost selectați pe baza rezultatelor cercetărilor anterioare), performanța participanților a fost considerabil afectată. Spre deosebire de ipotezele inițiale, utilizatorii experimentați nu s-au putut obișnui cu controlul bazat pe privire în cantitatea de experimente efectuate. Pe de altă parte, am luat în considerare strategiile identificate anterior ale utilizatorilor și am constatat că este posibil de a face progres considerabil chiar deja după o perioadă scurtă de practică.

Rezultatele acestui studiu oferă dovezi că adoptarea interfețelor controlate cu privire în medii exigente din punct de vedere cognitiv necesită o proiectare atentă, testare adecvată și pregătire suficientă a utilizatorilor. Acest lucru este deosebit de important în cazul persoanelor cu dizabilități fizice (de exemplu, scleroza laterală amiotrofică), pentru cine interacțiunea bazată pe privire ar putea reprezenta singurul mijloc de comunicare și de interacțiune cu tehnologia și alte persoane.

În experimente a fost utilizat un dispozitiv comercial de urmărire a privirii. Cu toate acestea, am contribuit și la dezvoltarea unor algoritmi de urmărire a privirii bazate pe aparență [8, 12]. Direcția privirii poate fi urmărită și cu ochelari inteligenți, un element al listei de dispozitive inteligente purtate de oameni care transformă oamenii în „senzori umblătoare” în setările CPS, în plus ochelarii inteligenți pot înregistra și un flux video din perspectiva utilizatorilor. Următoarea și ultima afirmație a tezei demonstrează utilitatea acestui dispozitiv într-un mediu real de atenție divizată, și anume scenariul de conducere, împreună cu posibilitatea de a utiliza algoritmi de viziune de computer pe bază de învățare profundă, cu obiectivul pe termen lung de îmbunătățire și/sau completare a sistemelor de asistență umană.

Afirmația tezei 4. Ochelarii inteligenți ca senzori. Ochelarii inteligenți sunt

dispozitive de senzor valoroase, iar combinarea lor cu algoritmi de viziune monoculară bazată pe învățare profundă facilitează luarea deciziilor sistemelor de asistență umană, de exemplu, în mașinile autonome.

În studiile însoțitoare, am explorat două sarcini de conducere automată bazate pe viziune monoculară, și anume estimarea vitezei proprii a mașinii [2] și predicția timpului până la coliziune [5], cu obiectivul pe termen lung de îmbunătățire și/sau completare a sistemelor de asistență pentru șoferi. Situațiile de oprire a mașinii au fost utilizate ca surrogate de coliziune pentru a obține date de instruire, și a depăși problema deficitului de date în ceea ce privește coliziunile. Am exploatat detectarea obiectelor bazate pe învățare profundă pentru a identifica vehiculul din față în timpul conducerii și am investigat de-

TECTAREA obiectelor, precum și caracteristicile bazate pe adâncime monoculară pentru a estima timpul rămas până la coliziune.

Concluzie

Disertația elaborează impactul semnificativ al CPS asupra economiei și societății și modul în care acestea vor schimba fiecare aspect al vieții, formând baza infrastructurii de nouă generație și a serviciilor inteligente în curs de dezvoltare. Deoarece oamenii sunt întotdeauna implicați ca parte integrantă, provocarea om-în-bucă este una dintre întrebările majore pe care cercetarea trebuie să o abordeze. Lucrările suprapuse de-a lungul liniei acestei provocări de scară largă abordează aspecte de om-în-bucă și demonstrează cele patru afirmații ale tezei pe care le confirmă prin publicații științifice.

Afirmația tezei 1 subliniază importanța identificării măsurilor de decizie strategică, care pot fi critice atunci când oamenii controlează procesele în medii de atenție divizate. Monitorizarea abilității de a lua decizii strategice (în locul sau împreună cu structurile de capacitate și trăsăturile de personalitate) contribuie, de asemenea, la crearea unui model de comportament uman mai complet care să fie integrat ca parte esențială în CPS.

Când omul este un participant activ în luarea deciziilor, probabilitatea ca o eroare umană să provoace o defecțiune a sistemului poate fi mare. CPS robuste solicită modele predictive în timp real care sunt capabile să recunoască situații periculoase, să mențină stabilitatea și acuratețea și să se adapteze la comportamentul uman în schimbare continuă și la mediile dinamice. Afirmația tezei 2 și studiile legate contribuie în acest sens, prin introducerea unei abordări generice bazate pe date pentru prezicerea erorilor de omitere în medii dinamice din caracteristici de mișcare a privirii și a mâinilor.

Conform cerințelor CPS, pentru a atinge obiective comune este necesară o interacțiune eficientă om-calculator. Afirmația tezei 3 sugerează că, pentru a atinge o interacțiune intuitivă cu computerele, controlul interfețelor bazate pe privire ar trebui combinat cu metodele tradiționale, mai ales în cazurile în care utilizarea mâinilor nu este o opțiune viabilă. Monitorizarea deciziilor strategice poate facilita, de asemenea, intervenția adecvată a mașinii atunci când omul se abate de la strategiile corecte, dacă acestea au fost identificate în prealabil (cf. Afirmația tezei 1).

Afirmația tezei 4 propune îmbunătățirea luării deciziilor de sisteme de asistență umană prin utilizarea ochelarilor inteligenți și a algoritmilor de viziune monoculară bazate pe învățare profundă. În plus, ochelarii inteligenți sunt parte a diferitelor dispozitive sen-

zoriale inteligente portabile și ajută la atenuarea dificultății monitorizării și modelării comportamentului uman.

Planul extensiv al cercetării mele implică construirea unui cadru general pentru proiectarea și realizarea CPS care facilitează includerea eficientă a omului în buclă. Legat de sarcina de atenție divizată și scenariul de conducere, am lucrat și la propunerea unei arhitecturi pentru CPS orientate spre obiective, care ia în considerare contextul spațio-temporal al evenimentelor, promovează detectarea anomaliilor și facilitează interacțiunea eficientă om-calculator. Cercetarea însoțitoare a fost începută [1, 7, 11] – aceste eforturi sunt în afara obiectivelor disertației.

În mod remarcabil, conceptul om-în-buclă nu este specific doar pentru CPS, ci se află, de asemenea, și în centrul actualei inițiative AI centrate pe om a Uniunii Europene: obiectivul proiectului HumanE AI [2] este de a proiecta și implementa sisteme de AI care îmbunătățesc capacitățile umane și împuternicesc atât indivizii, cât și societatea în ansamblu ca să dezvolte AI care mai degrabă extinde decât înlocuiește inteligența umană. Viziunea implică soluții noi la problemele de interacțiune om-calculator, cu un accent puternic pe considerații etice și aspecte juridice și sociale legate.

References

- [1] R. A. Rill. (2016). *Measuring Human Divided Attention in Cyber-Physical Systems*. In 11th Joint Conference on Mathematics and Computer Science, Eger, Hungary.
- [2] R. A. Rill. (2020). *Intuitive Estimation of Speed Using Motion and Monocular Depth Information*. *Studia Universitatis Babeș-Bolyai Informatica*, 65(1):33–45.
- [3] R. A. Rill and K. B. Faragó. (2018). *Gaze-based Cursor Control Impairs Performance in Divided Attention*. In The 11th Conference of PhD Students in Computer Science, pages 140–143, Szeged, Hungary.
- [4] R. A. Rill and K. B. Faragó. (2018). *Gaze-based Cursor Control Impairs Performance in Divided Attention*. *Acta Cybernetica*, 23(4):1071–1087.
- [5] R. A. Rill and K. B. Faragó. (2021). *Collision Avoidance Using Deep Learning-Based Monocular Vision*. *SN Computer Science*, 2:375.
- [6] R. A. Rill, K. B. Faragó, and A. Lőrincz. (2018). *Strategic Predictors of Performance in a Divided Attention Task*. *PLOS ONE*, 13(4):1–27.
- [7] R. A. Rill and A. Lőrincz. (2019). *Cognitive Modeling Approach for Dealing with Challenges in Cyber-Physical Systems*. *Studia Universitatis Babeș-Bolyai Informatica*, 64(1):51–66.
- [8] R. A. Rill, Z. Tóser, and A. Lőrincz. (2015). *Facial Landmark Based Gaze Direction Estimation*. In KEPT: Knowledge engineering Principles and Techniques, Cluj-Napoca, Romania.

¹<https://www.humane-ai.eu/>

REFERENCES

- [9] R. R. Saboundji and R. A. Rill. (2019). *Predicting User Actions Under Time Constraints in a Divided Attention Task*. In Pannonian Conference on Advances in Information Technology (PCIT 2019), pages 77–83, Veszprém, Hungary.
- [10] R. R. Saboundji and R. A. Rill. (2020). *Predicting Human Errors from Gaze and Cursor Movements*. In International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), pages 1–8, Glasgow, United Kingdom.
- [11] Z. Tóser, R. Bellon, D. Hornyák, H. Zoltán, T. Kozsik, R. A. Rill, and A. Lőrincz. (2015). *Functional Programming Framework for Cyber-Physical Systems*. In KEPT: Knowledge engineering Principles and Techniques, Cluj-Napoca, Romania.
- [12] Z. Tóser, R. A. Rill, K. Faragó, L. A. Jeni, and A. Lőrincz. (2016). *Personalization of Gaze Direction Estimation with Deep Learning*. In G. Friedrich, M. Helmert, and F. Wotawa, editors, KI 2016: Advances in Artificial Intelligence, pages 200–207, Cham. Springer International Publishing.

Cuprins al Tezei de Doctorat

Acknowledgements.....	1
List of Figures	12
List of Tables	13
1 Introduction	15
1.1 Thesis statements and contributions	17
1.2 List of scientific publications	20
1.2.1 My contributions	23
2 Foundation	25
2.1 Historical overview	25
2.2 The human-in-the-loop challenge	27
3 Strategic Predictors of Human Performance	32
3.1 Motivation and background	32
3.2 Related work	35
3.2.1 Ability constructs as predictors	36
3.2.2 Personality traits as predictors	36
3.2.3 Strategic decisions as predictors	37
3.3 Methods	43
3.3.1 Design of the DA Game	43
3.3.2 Participants	46
3.3.3 Strategic predictors of performance	48
3.4 Results	53
3.4.1 Composition of correct switch ips	55
3.4.2 Statistical analysis of the strategic predictors	56
3.5 Discussion	60
3.5.1 Summary of results	60
3.5.2 Connection between the four strategic measures and relation to other strategies	61
3.5.3 Contribution and limitations	64
4 Predicting Human Errors	68
4.1 Motivation and background	68

4.2 Related work	70
4.3 Methods	71
4.4 Results	73
4.5 Discussion	76
5 Gaze-based Control Impairs Performance	79
5.1 Motivation and background	79
5.2 Related work	81
5.3 Methods	84
5.3.1 Experiments and analysis of performance	86
5.4 Results	88
5.5 Discussion	91
5.5.1 Future work possibilities	93
6 Monocular Vision Based Driver Assistance	95
6.1 Motivation and background	95
6.2 Related work	97
6.3 Methods	101
6.3.1 The KITTI dataset	101
6.3.2 Optical ow estimation: FlowNet2 and PWC-Net	102
6.3.3 Monocular depth estimation: MonoDepth and MegaDepth	103
6.3.4 Object detection: YOLOv3	104
6.3.5 Speed estimation	104
6.3.6 Driving data collection	105
6.3.7 TTC estimation	106
6.4 Results	109
6.4.1 Speed estimation	109
6.4.2 TTC estimation	111
6.5 Discussion	114
7 Conclusions	117
7.1 Summary and significance of studies	118
7.2 Relation to human-in-the-loop concepts	120
7.3 Future plans and final thoughts	122
References	123