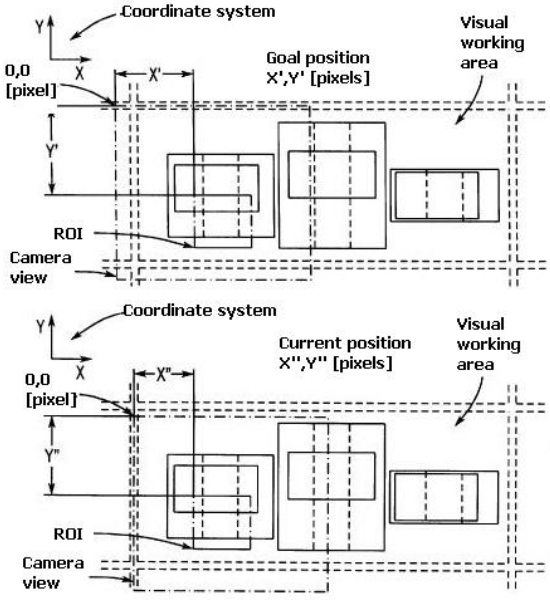
JOUNI ERIKKILÄ

Materiaalikäsittelyn tuottavuuden ja turvallisuuden lisääminen kameralla käyttäen liikkeen ohjaukseen optista takaisinkytkentää sekä datafuusiota



Nosturin ohjausta tehostavien nykyistä energiataloudellisempien kuvallisien liikkeenhallinta- ja uudelleenpaikannusmenetelmien toiminnan kuvaus sekä menetelmissä käytettävän videokameran hyödyntäminen rakennusnosturin käyttöturvallisuutta lisäävänä nosturikamerana.

Espoo 2009

Copyright © Jouni Erikkilä

1.painos kesäkuu 2009

Tämän teoksen tekstin ja kuvien jäljentäminen ilman lupaa painamalla, monistamalla, skannaamalla tai muilla tavoin kielletään tekijänoikeuslain mukaisesti.

ISBN 978-952-92-5678-5 (PDF)

Teknologian laajempi kuvaus viitekehyksineen saatavilla julkaisusta
ISBN 978-952-92-5677-8 (sid.)

Aiheluokitus

Työpaikkaratkaisujen vaikutukset
- Tuotteiden, tuotannon ja työvälineiden kehittäminen
- Hyvien suunnittelukäytäntöjen kehittäminen

Työyhteisöjen riskienhallinta
- Riskienhallintamenetelmien kehittäminen
- Tapaturmien torjunta ja seurannan kehittäminen

Työyhteisöjen tuottavuus

Avainsanat

konenäkö, turvallisuus, tavarasiirto, nosturi, tuottavuus

Työsuojelurahasto Arbetarskyddsfonden The Finnish Work Environment Fund	Tutkimusaika Joulukuu 1994 – Toukokuu 2009
Raportti on julkaistu Työsuojelurahaston tuella. Tutkimusraportti TSR 108426 14.10.2008	Jouni Erikkilä tuotekehitysinsinööri yrittäjä, toimitusjohtaja Sime Oy, Olarinluoma 15, 02200 Espoo

SISÄLLYSLUETTELO

1 Johdanto 6

1.1 Tavaran siirtoliikkeen tehostamisen tavoitteet 7

1.2 Tutkimuksen taustaa 8

1.3 Peruskäsitteitä 8

1.3.1 Viitekehys 8

1.3.2 Takaisinkytketty ohjaus 9

1.3.3 Numeeriset ohjausjärjestelmät 10

1.3.4 Optisesti takaisinkytketty numeerinen ohjaus 11

1.4 Kuvallisen paikantamisen eri käyttöaloja 12

2 Radikaalia ohjaustapa-ajattelua 14

2.1.1 Hoikkien rakenteiden oikea ohjaustapa 14

2.1.2 Konenäön diversiteetti 15

2.2 Teknologian laaja sovellettavuus tavaran siirrossa globaalisti 23

2.2.1 Rakennusteollisuudessa 23

2.2.2 Teollisuuden sisäiset kappaletavarasiirrot 24

2.2.3 Rahtiliikenteessä ja prosessien ohjauksessa 24

2.2.4 Liikkeen väsymätön takaisinkytketty seuraaminen 24

2.3 Takaisinkytketyn liikkeenohjauksen etuja 24

2.3.1 Optisesti takaisinkytketyn heilunnaneston hyötytarkastelu 25

2.3.2 Kuvallisen uudelleenpaikantamisen hyötytarkastelu 26

2.3.3 Tuotteesta siirtäminen kuvallisen paikannuksen avulla 26

3 Kuvallinen paikantaminen edut ja hyödyt materiaalikäsittelyssä . 28

3.1 Materiaalinkäsittelyjärjestelmien paikoittaminen 28

3.2 Käytettävyyden kasvattaminen ja rakenteiden keventäminen 28

3.3 Energiatalouden parantaminen 28

3.4 Nosto- ja siirtotyön osa-alueiden asteittainen automatisointi 28

3.5 Työn rasittavuuden ja jaksamisen parantaminen 29

3.6 Laadukkaampaa, sisältörikkaampaa tekemistä 30

3.7 Parempi näkökyky lisää työturvallisuutta 30

3.8 Nouto- ja vientipisteen lähialuetyöskentely tehostaminen 31

3.8.1 Nuppineula osoitin 31

4 Esittelyvideot 33

4.1 Yleiskuvaus 33

4.2 Takaisinkytketty heilahduksenvaimennus 33

4.3 Nosturin ohjaaminen taakasta kiinni pitäen 34

4.4 Nosturin optinen uudelleenpaikoittaminen 34

4.5 Langaton kuvansiirto ajoneuvonosturin koukkukameralla 35

4.6 GPS paikan tarkentaminen kuvallisella paikannuksella 35

5 Lopuksi 36

LÄHDELUETTELOVIITTAUKSET 38

Kiitos

Kiitän kaikkia teitä jotka olette avanneet ovenne ja kuunnelleet esittämäni asiat. Ennen demolaitetta ja syksyä 2008 täytyy katsoa peiliin jos viestin sisältö ei ole avautunut viestin vastaanottajalle.

Itse oppivan optisen liikkeenhallinnan sekä optisen takaisinkytkennän toimintojen käytännön esittelyt demonosturilla ovat olleet itselleni merkittäviä onnenhetkiä sillä olen pystynyt näkemään demolaitteen esittelyn aikana kuinka asiani, viestini vihdoinkin ymmärretään! Takaisinkytketyt tuotteesta ohjaaminen ja heilunnan vaimennuksen demot ovat olleet esittelyjen huippuhetkiä. Konenäöllä toteutetun itse oppivan heilunnan vaimennuksen toiminta valaistusolosuhteiden vaihteluissakin on ollut kiitollinen esiteltävä konenäön asiantuntijoillekin.

Keksintösäätiö on ollut tutkimus- ja tuotekehityshankkeen tukija lähes 15 vuoden ajan. Keksintösäätiön tuki ei ole vain ollut rahallista tukea mutta myös henkistä tukea sekä uusien ideoiden evaluointia. Kertaakaan en ole Keksintösäätiön kanssa neuvotteluissa ja tuotearvioinneissa tuntenut, että hankkeeseen kulunut aika olisi ollut rasite.

Tutkimushanketta on rahoitettu pääsääntöisesti tulorahoituksella. Yksi suuri kiitos kuuluu Raicon Oy:n edesmenneelle omistajalle Raimo Kososelle kenen kautta sain asiakkaiksi sekä Inlook Oy:n että Sisu-Diesel Oy Linnavuoren tehtaat. Näiden kahden pitkäaikaisen asiakkaan merkitys on ollut erityisen suuri myös uuden teknologian suunniteltujen oheisominaisuuksien kuten tiedonkeruunjärjestelmän kehittämisessä. Kiitän kaikkia Sime Oy:n asiakkaita koko 15 vuoden ajalta sillä ilman teidän luottamusta ja toimeksiantoja ei oltaisi tässä esittelyssä kiitoksia jakamassa.

Kiitän Työsuojelurahastoa mahdollisuudesta ja viitoituksesta ryhtyä kirjoittamaan tätä tutkimusraporttia. Vaikean projektin kohdalla kirjoitus on ollut osaltaan puhdistavaa teknologian puolustamista kuin myös haastavaa tiedon ja ilosanoman jakamista.
Alkujaan raportin materiaalia oli yli 350 sivua mistä syntyi vajaa sata sivua pitkä sidottu painos ja lyhyempi demovideot sisältävä PDF -tiedosto.

Suuri kiitos Antero[1] avusta ja tuesta aina sieltä visioiden syntyhetkistä aina tämän tutkimusraportin kirjoitusohjeisiin ja vinkkeihin.

Kiitos Lasse[2], että olet jaksanut ottaa osaa tähän työhön ja olla kiinnostunut hankkeen edistysaskeleista. Kiitos niin ammatillisista kuin myös isällisistä ohjeistasi. Tukesi on ollut korvaamaton.

Erityinen kiitos kuuluu rakkaille kotijoukoille ihanalle puolisolleni Caritalle sekä lapsilleni Joannalle, Juulille, Joelille ja Juliukselle. Pyydän anteeksi sitä epävarmuutta mitä tämä tutkimushanke, missio, on tuonut tullessaan. Kotona olen ehkä ollut fyysisesti paikalla aikaisempaa enemmän mutta en ehkä aivan aina 'läsnä'. Toivon, että asiat muuttuvat vielä paremmaksi. Rakastan teitä kaikkia!

Espoossa, 06.päivänä kesäkuuta 2009

Jouni Erikkilä

1 Johdanto

Liikkeen ennalta ennustamattomien tapahtumien optisen tunnistamisen mahdollisuus johtaa nosturin ohjaamisen työn rasittavuuden laskemiseen, materiaalikäsittelyn tuotannollisen tehokkuuden kasvuun ja vaaratilanteiden määrälliseen laskemiseen.

Tämä tutkimus kuvaa monin eri tavoin takaisinkytkettyä optista ohjaamista. Numeerisesti ohjattujen laitteiden, erityisesti materiaalikäsittelylaitteiden, nykyistä paremman käytettävyyden kannalta *optisen takaisinkytkennän menetelmä on merkittävä ohjausteknologinen edistysaskel*.

Tutkimuksessa esitellään *useita* uusia kuvallisen liikkeenohjauksen menetelmiä kuten

1. Itse oppiva liikkeen takaisinkytketty heilahduksen hallintajärjestelmä
2. Laitteen numeeriseen paikkaan sidottu tuotteesta tai ympäristöstä tapahtuva optinen takaisinkytkentä mikä mahdollistaa joustavamman 4D-automaation (4D~3D+aika)
3. Tuotteesta ohjaamalla tapahtuva nosturilla siirtäminen käyttäen tarkkaa optista takaisinkytkentää
4. Selkeä nuppineula-ohjain mikä osoittaa kameran kuvasta oikean nouto- tai vientipaikan sijainnin suhteessa tuotteeseen tai tuotantotilaan ja materiaalisiirtolaitteen nykypaikkaan
5. Tuotteen jättämisen ja nostamisen tilanteessa tarjota tuotteen painopisteen paikan tai tuotantokoneen referenssipisteen muistaminen siirtolaitteen numeerisen paikan ja optisen takaisinkytkennän keinoin
6. Konenäön käytettävyyden merkittävä laajennus myös ulko-olosuhteisiin

Takaisinkytkennällä tarkoitetaan tässä vastaavuutta tilanteeseen, missä esimerkiksi
sokea henkilö saa oppaakseen opaskoiran, jolloin osittainen turha harhailu vähentyy ja matkan teko nopeutuu ja tulee turvalliseksi
auton ABS-järjestelmä tunnistaa pyörien liukumisen mutta mahdollistaa ajoneuvon ohjattavuuden säilymisen myös liukkaalla
torni- ja ajoneuvonosturin kuljettaja näkee nostokohteeseensa, jolloin nykyisin käytössä oleva sokkonostaminen vähenee

Liikkeenohjauksen takaisinkytkentä merkitsee *merkittävästi tehokkaampaa tapaa toimia* siirrettäessä tavaroita tai laitteita paikasta A paikkaan B.
Millä tavoin takaisinkytkentä toteutetaan, ei ole merkitsevää jos takaisinkytkennän säädön laatu ja toiminnan luetettavuus on keskenään yhdenvertaista. Takaisinkytkennän avulla tunnistetaan ennalta ennustamattomien tapahtumien olemassaolo.

Kuvallisen takaisinkytkennän etu verrattuna muihin mittaustapoihin, esimerkiksi nostureilla nostoköyden kulmamittaus, kiihtyvyysanturit tms., on sen itse oppivuus, mittaustarkkuus ja kameran objektiivin polttovälin tuomat makro- ja mikrotason seurattavien kohteiden tunnistamisen mahdollistuminen. Jollain tavalla optisesti kuvattavissa olevaa liikkuvaa kohdetta ja mittalaitetta voidaan optiikan avulla optisesti säätää suhteessa toisiinsa jolloin liikkeentunnistus on uudella tapaa säädettävissä. Digitaalinen kuvaus kuten tutka-, ultraääni- ja röntgenkuvaus eivät ole sisältyneet tähän tutkimukseen.

Automaattisesti tehty liikkeen optinen ennalta ennustamattomien tapahtumien tunnistamisen mahdollisuus johtaa nosturin ohjaamisen työn rasittavuuden laskemiseen ja vaaratilanteiden määrälliseen laskemiseen.

Itse oppiva optinen takaisinkytkentä mahdollistaa lähes kaikissa olosuhteissa ohjauksen sopeutumisen vaihtuviin valaistus- ja ympäristöolosuhteisiin.
Edullisimmillaan teollisuuden automaattinosturi toimii ikkunattomassa, pimeässä tilassa pelkästään pienitehoisen näkymättömän infrapunaisen valon paikallisvalaistuksessa.

Kun muodostetaan optinen takaisinkytkentä yhdessä laitteen paikkatiedon mukaiseen aseman kanssa muodostetaan ns. tietojen datafuusio[3].
Datafuusiossa kuvallisen kohteen, kamera- sekä paikkatietojen yhdistämisellä kokonaisjärjestelmän toiminta on tehokkaampaa kuin mitä tallennettujen tietojen käsittely toisistaan riippumatta mahdollistaisi.

Tutkimusraportissa kuvataan vuosina 1995-2008 kehitetty kuvallinen liikkeen- ja paikanhallintateknologia perustuu laitteiden numeeriseen ohjakseen ja paikantamiseen, missä kuvallisen takaisinkytketyn paikannuksen avulla pystytään tehostamaan ja ohjaamaan nykyistä paremmin mm. materiaalisiirtolaitteita (datafuusio).

Kehitetyillä useammilla teknisillä menetelmillä pystytään todistettavasti ja uskottavasti parantamaan merkittävästi materiaalisiirron tuottavuutta tehostamalla liikkeiden hallintaa useilla erilaisilla uusilla keinoilla. Samanaikaisesti parannetaan nosturinkuljettajan tai -operaattorin mahdollisuutta nähdä nykyistä paremmin vaaralliseksi työympäristöksi luokitettavalle työalueelle. Rakennusalalla tehdään edelleen merkittävä määrä nostotyötä niin sanottuna sokkonostoina, missä nosturin kuljettaja ei näe lainkaan nostokohteeseen vaan joutuu luottamaan toisen osapuolen käsi- ja radioviesteihin. Työyhteisössä sisäisen kommunikoinnin, ohjausviestien väärin antamisen tai ymmärtämisen, riskit ovat kasvaneet työyhteisöjen muututtua yhä monikansallisemmiksi.

Tuottavuuden kasvattaminen käsittää
1. tuotannollisen ajan säästön
2. laitteiden rakenteiden kevenemisestä johtuvat raaka-ainesäästöt
3. kuormankantokyvyn kasvun oikean ohjauspisteen valinnan kautta
4. energiansäätön : siirrettävien massojen pienentyminen, tarkempi esiasemointi
5. viallisten tuotteiden väheneminen
6. nykyistä parempi näköyhteys työalueelle (satamat, rakennukset jne.)
7. nykyistä parempia työtapoja ja -menetelmiä

Uusi teknologia on helposti esiteltävissä pienoismallin avulla.
Kehitetyn teknologian tai sen osan käytettävyyttä myös muiden kuin materiaalisiirron sektorilla tutkitaan ja tarvittaessa avustetaan mahdollisissa selvitystöissä.

Kuvallisen takaisinkytkennän teknologialla ja siinä tarvittavilla teknisillä laitteilla voidaan merkittävästi tehostaa materiaalikäsittelylaitteiden koko tuotantoketjun toimintaa. Tuotannon käytännön tehostamisen menetelmiä on useita. Tämän tutkimuksen ohjauksen valinta perustuu oikea-aikaisen säätämisen ajankohdan valintaan – vrt. JIT (Just In Time) sekä turhien siirtoliikkeiden poistamiseen – vrt. LEAN johtamisfilosofia[4].
Materiaalisiirrossa tulisi keskittyä vähentämään loppuasiakkaalle tarpeettomien turhien hukkien (7 wastes of LEAN – T.I.M.W.O.O.D)[5] karsimiseen ja imuohjaukseen. Hukkien karsimisen, tuotannonohjauksen ja jatkuvan kehittämisen kautta saavutetaan asiakastyytyväisyyttä, parannetaan laatua, pienennetään toiminnan kustannuksia ja lyhennetään tuotannon läpimenoaikoja.

1.1 Tavaran siirtoliikkeen tehostamisen tavoitteet

Globaalisti missä *tavaraan tartutaan, sitä siirretään ja se lasketaan alas*, materiaalikäsittelyn tehostamisen tavoitteeksi asetetaan

1. *25 – 40 % siirtoajan säästö* tavaran puoli- tai täysautomaattisesti suoritettavassa siirtoliikkeessä takaisinkytketyn kuvallisen uudelleenpaikantamisen, ohjaamalla siirtämisen sekä liikkeenhallinnan ohjauksen menetelmin[6]
2. *5 – 15 % siirtoajan säästö* tavaran käsin ajaen tuotteesta ohjaamalla sekä puoliautomaattisella kuvallisella paikoittamisella tehdyssä tuotteen siirrossa

3. *5 – 15 % energiasäästö* parantamalla siirtoliikkeen hallintaa takaisinkytketyn kuvallisen liikkeenohjauksen sekä uudelleenpaikantamisen avulla
4. *Vähentää ihmishenkien menetyksiä ja työntekijöiden loukkaantumisia* nykyisissä rakentamisen sokkonostoissa erityisesti rakennus- ja ajoneuvonostureilla
5. *Mahdollistaa tulevaisuuden joustavamman 4D - automaation* korjaamalla kuvallisella paikannuksen keinoin numeerisen 3D-mallin aikajänteen tuomien ennustamattomien muutosten vaikutuksia

1.2 Tutkimuksen taustaa

Työn sisältö ja tavoitteet ovat syntyneet pääosin automaattisen materiaalikäsittelyn kokemuksista alkaen vuodesta 1985. 1985- 1994 määrittelin perusominaisuudet, suunnittelin uudet pääkomponentit sekä lopulta johdin kehitystyötä tietokoneohjatulle automaattinosturijärjestelmälle, mikä perustui piennosturijärjestelmän sarjavalmisteisiin komponentteihin (kuva 1). Vuoteen 1994 mennessä automaattinostureita oli toimitettu yli 50 kappaletta niin kotimaahan, Pohjoismaihin, Eurooppaan kuin Kaukoitäänkin.

Vuoden 1994 jälkeen tutkimustyö SIME Oy:ssä on keskittynyt kuvalliseen liikkeenohjaukseen robotiikan ja teollisuusautomaation kehittämisen jäädessä taka-alalle. Tutkimustyötä on rahoitettu pääsääntöisesti tulorahoituksella tekemällä tehdas- ja menetelmäsuunnittelua, teollisuusautomaatiota sekä tarjoamalla teollisuuden automaation ylläpitopalveluita. Tulorahoituksen suunnittelupalvelu on sisältänyt materiaalikäsittely-, robotiikka-, tuotekehitys-, mekaniikka- ja sähkösuunnittelua sekä logiikka-, mobiililaite- ja tietokoneohjelmointia.

Monelle konenäön ammattilaisellekin konenäkö nostureissa ja materiaalikäsittelylaitteissa halvalla kamera- ja objektiiviteknologialla toteutettuna sekä vaihtuvissa valaistusolosuhteissa voi vielä pitkään tuntua enemmän kuin 'hullulta idealta'.

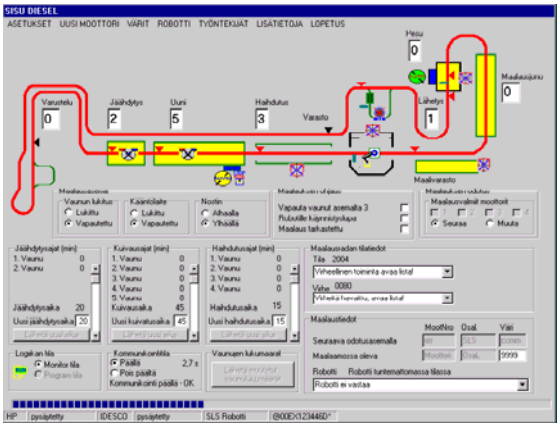
1.3 Peruskäsitteitä

1.3.1 Viitekehys

Viitekehys esitellään alla olevan kuvan avulla jotta lukija voisi ymmärtää suppean tai määrätietoisen lähestymiskulmani *optisesti takaisinkytkettyyn liikkeenhallintajärjestelmään* sekä *paikan tai tuotteen uudelleenpaikantamisteknologiaan*.

Esitetyt ratkaisumallit ovat hyvinkin sovellettavissa laajemminkin mutta pitäydyn pääosin omassa suunnittelukokemukseni mukaisessa viitekehyksessä.

Kuva 1 Kirjoittajan innovaatioihin sekä pitkäaikaiseen kehitystyöhön perustuvia automaattisia nosto- ja siirtolaitteita vuosilta 1988-1996[7]

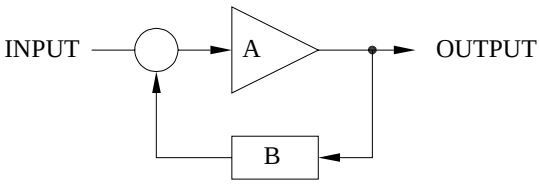


Kuva 2 Sisu-Diesel Oy dieselmoottoreiden maalaus ja loppuvarustelun sähkö- ja automaatiosuunnittelu, automatisointi ja ylläpito 1996-2003

Kuva 3 Tietokoneohjattu prosessinosturi Inlook Oy tehdasautomaatiosuunnittelua Helsinki, Tallinna, Vilna sekä Pietari 1996-2008

1.3.2 Takaisinkytketty ohjaus

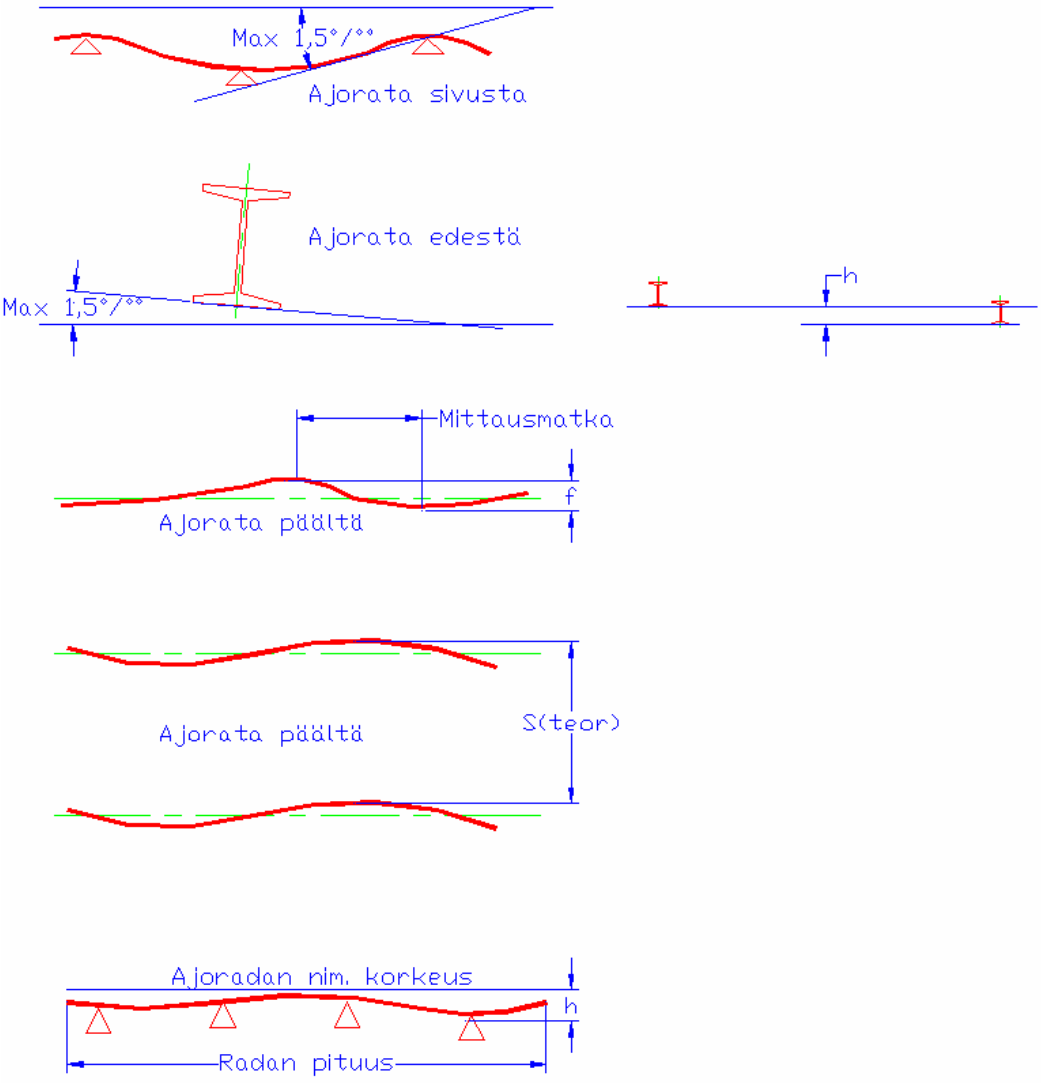
Takaisinkytketyssä järjestelmässä säätimen ohjaussuuretta muutetaan säätöjärjestelmän jälkeisen todellisten vaikutusten mukaisesti siten, että säädön toiminta vastaisi suunniteltua tarvetta.



Kuva 4 Takaisinkytketty ohjaus

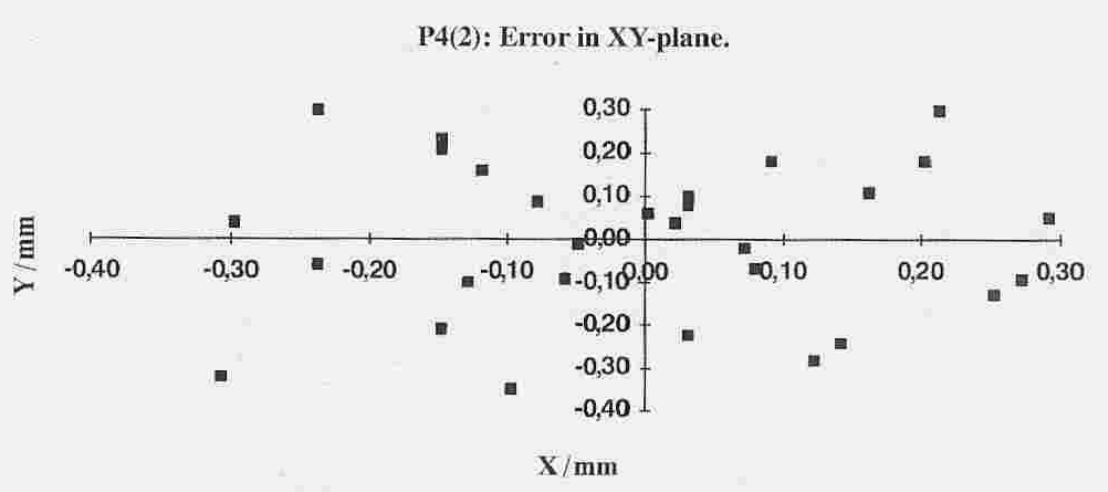
1.3.3 Numeeriset ohjausjärjestelmät

Laitteiden sisäänrakennetut numeeriset paikantamismenetelmät, satelliittipaikannusjärjestelmät kuten GPS, Galileo, Compass, Glonass jne. ovat takaisinkytkettyjä niin kauan kuin järjestelmän toistotarkkuus[8], toistettavien erillisien paikannusten yhtäpitävyyden tarkkuus, mahdollistaa. jos käytätte niitä paikoituksen ohjaukseen mutta väitän, että jos tutustutte jäljempänä esitettyihin optisen paikantamisen eri menetelmiin huomaatte, että pelkkä numeerinen paikannusmenetelmä on vain ja ainoastaan ennuste.



Kuva 5 Suunnitteluvaiheessa asetettuja rakenteellisia vaatimuksia toistotarkkuuden pitämiseksi vaatimusten mukaisissa rajoissa

Tähän asti on pitkälti vallinnut numeerisen ohjauksen määrittely, että mitä suurempi on laitteen mekaaninen rakenne, sitä suurempia ovat toleranssit ja/tai laitteen toiminnan varmistamiseksi tarvitaan mekaanisia ohjaimia tai ihmisen apua.



Kuva 6 Numeerisesti ohjatun X/Y/Z automaattinosturin paikan toistotarkkuuden määrittelyä 1990-luvun alussa (laitetyyppi kuva 1, oikea ylhäällä)[9]

Kun jokaisessa järjestelmässä on tekijöitä mitkä vaikuttavat tarkkuuden saavuttamiseen kuten rakenteiden mitat, kuorma, taipuminen, välykset, ohjausjärjestelmä, tuotteiden ominaisuudet ja lukuisat ulkoiset tekijät.

Vaadittaessa suurempaa toistotarkkuutta suurempien rakennemittojen myötä myös mekaanisten ohjauselementtien välysten toleranssia olisi pienennettävä. Tämä ei kuitenkaan ole aina mahdollista koska mm. rakenteiden lämpölaajeneminen, moottorien jättämä, kitkat, painopisteiden muutokset ja vinoajo synnyttää rakenteisiin voimia mitkä voivat rikkoa laitteen tai jopa koko laitetta kantavan rakenteen.

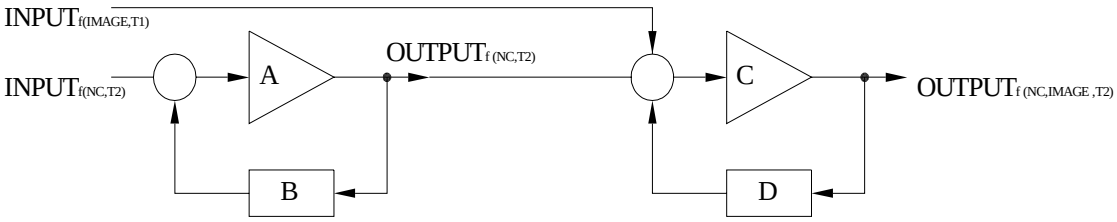
Jos **kaksi- tai useampitukisten** nosto- ja siirtolaitteiden välykset olisivat olemattomat, kantaviin rakenteisiin muodostuisi merkittäviä, äärettömiä ylikuormitustilanteita mitkä johtaisivat vääjäämättä rakenteiden ennenaikaiseen murtumiseen tai muihin pysyviin vaurioihin.

Tämä tutkimus on tähdännyt koko ajan rakenteiden välysten olemassaolon hyväksymiseen ja keskittymisellä vain tuotteen ja sitä käsittelevän tartuntaelimen keskinäisen kohdistamisen parantamiseen. Oikealla liikkeensäädön ohjauspaikan valinnalla saavutetaan useita etuja mitkä liittyvät mekaniikkaan, turvallisuuteen sekä nykyistä taloudellisempiin tuotantomenetelmiin.

1.3.4 Optisesti takaisinkytketty numeerinen ohjaus

'Ennuste' kuvaa hyvin meille useimmille tuttuja numeerisia paikannusjärjestelmiä. Ennusteen määrittely koskee niin laitteen omaa numeerista paikannusjärjestelmää kuin myös globaalia satelliittipaikannusta.
Optisen takaisinkytkennän avulla voidaan koneiden ja laitteiden uudelleenpaikannuksessa korjata merkittävässä määrin numeeristen paikannusjärjestelmien toiminnassa nykyisin olevia puutteita ja mahdollistaa aivan uuden tason toistotarkkuuden ja luetettavuuden tason saavuttaminen.

Takaisinkytkentää voidaan kuvata kuvalla 5 hetkellä T.



Kuva 7 Numeerisesti paikannetun laitteen paikan tai tuotteen uudelleen paikannus optista takaisinkytkentää hyödyntäen

Numeerisesti paikannetaan liikettä ohjaimella A hetkellä T2 säätäen liikettä säätimellä B (esimerkiksi GPS – paikka tai laitteen numeerinen paikka).
Ajan muutoksen vuoksi (4D-malli, toistotarkkuus) säädin B antaa toisella hetkellä T2 eri tietoa kuin hetkellä T1.
Paremman ja luotettavamman paikoitustuloksen saavuttamiseksi voidaan suorittaa takaisinkytkennän AB jälkeinen korjaava optinen takaisinkytkentä.
Tuotteen jättämisen tai paikan tunnistamisen hetkellä T1 on otettu IMAGE.
Takaisinkytkennällä CD verrataan ajalla T1 otettuun IMAGE - kuvaa ja reaaliaikaista videokuvaan T2.
Kun ajalla hetkellä T1 otettu IMAGE kuvan vastine löytyy videokuvasta hetkellä T2 voidaan säätimellä toteuttaa parempi takaisinkytkentä jos pelkästään täytettäisiin takaisinkytkentää AB.

1.4 Kuvallisen paikantamisen eri käyttöaloja

Kuvallinen paikoittaminen on hyvin yleiskäyttöinen liikkeen- ja paikanhallintamenetelmä.
Kuvallisen liikkeenhallinnan takaisinkytkennän avulla voidaan merkittävästi vähentää mm. raskaiden taakkojen siirron energiankulutusta.
Kevyemmillä taakoilla optisen liikkeenohjauksen laitteiston investoinnin takaisinmaksu voi perustua taakan hallittavuuden ja uudelleenpaikannuksen tuomaan helpompaan ja nopeampaan materiaalisiirtoon.

Missä kameralla tai muulla tavalla voidaan jokin ympäristö kuvata, pystytään tekemään opetus ja uudelleen määritys josta voidaan laskea lähes reaaliaikainen tarvittava liikkeen korjausohje.
Liikenopeus saadaan kun tunnetaan aika ja matka. Liikkeen kiihtyvyys saadaan kun otetaan kaksi mittausta. Jos nopeus ei kiihdy tai hidastu, nopeus on vakionopeutta, muuten nopeus on muuttuva.
Kamerateknologiassa mielenkiintoista on objektiivin tuoma lähes rajaton skaalattavuus suurennussuhteen mukaan.
Toisaalta materia mistä liikeanalyysi tehdään, voi olla mikä tahansa materiaa jota jollain säteilyn mittauskeinoilla voidaan luotettavasti havainnoida.

Kuvallisen itse oppivan liikkeentunnistuksen ja optisen takaisinkytketyn uudelleenpaikannuksen käytettävyys on kuvallisen ohjauksen lähtökohdasta johtuen hyvin monialainen.

Monilla kuvallisen havainnoinnin alalla kuten lääke- ja tähtitieteen, kemia ja fysiikan aloilla moni vanha ja uusi innovaatio on tarvinnut syntyäkseen erilaisia mittauksia, mittausten toistoja ja mittaukset ovat sidottu usein myös aikaan. Tässä tutkimuksessa kuvallisista mittauksista on kehitetty erilaisia automaattisia optisia mittausmenetelmiä mitkä

mahdollistavat määrätyissä tilanteissa hyvinkin tehokkaan aikaan sidottavissa olevan optisen kohteen seurattavuuden.
Kuvallinen havainnointi voi perustua numeeriseen tietoon, mutta kuva on myös numeerisen tiedon esitysmuotona usein ihmiselle selkeä.
Esimerkiksi sikiön ultraäänimittaus, infrapunavalokuva tai laivan tutkakuva perustuu numeerisiin mittausarvoihin. Yksittäiset numeeriset mittausarvot sellaisenaan olisivat suurimmalle osalla ihmisiä täysin hyödyttömiä mutta kun luvut muunnetaan graafiseen muotoon, ihminen pystyy välittömästi havaitsemaan mittaustulosten vastaavuuden toimintaympäristössään.

Samoja liikesarjoja toistavassa materiaalinkäsittelyssä optinen takaisinkytkentä merkitsee lukuisia uusia mittaus- ja työmenetelmien mahdollisuuksia.

Kun langaton, kosketukseton paikannusteknologia kehittyy sellaiseksi, että paikka pystytään määrittämään nykyistä tarkemmin ja luetettavammin, optinen uudelleenpaikannus tulee tehostamaan niin halutessamme kaikkea materiaalin paikoitusta.

2 Radikaalia ohjaustapa-ajattelua

Suuren ulottuvuuksien, suurten massojen ja sellaisia kannattavien hoikkien rakenteiden ohjauksessa ollaan mielestäni seurattu väärin perustein täysin jäykille rakenteille tunnusomaista ohjaustapaa.

Esimerkki luonnosta mikä ei voi evoluution ja pitkän kokemuksen mukaan olla väärässä:
Puut, kukat, ja kasvit nousevat maasta ja tukeutuvat kasvussaan juuristoon. Juuristo, kasvin tukirakenne, johtaa ravintoa maasta ja pitävät kasvia pystyssä erilaisissa kuormitustilanteissa. Kuitenkin kasvien liikkeiden toimintoja ohjaavat kukat ja sen yhteyttävät osat siten, että moni kasvi avaa aamulla kukintonsa kohti valoa ja kukinto seuraa päivän ajan valon liikettä. Tällä tavalla kasvi saa energiaa kasvuun ja lisääntymiseen. Illalla kasvi menee lepotilaan hoikempien yläosiensa ohjaamana. Jopa vuodenaikoja seuraava kasvukausi noudattaa hoikan yläkasvuston ohjeita. Jos kasveja ohjaisi juuriston tarpeet, sellaiset kasvit kuolisivat sillä älykkäämmät yläkasvustoillaan ohjautuvat kasvit väistämättä voittaisivat voimakkaampina.
Sama kurinalaisuus koskee materiaalikäsittelyssä käytettävien hoikkien rakenteiden oikean ohjaustavan valintaa.

2.1.1 Hoikkien rakenteiden oikea ohjaustapa

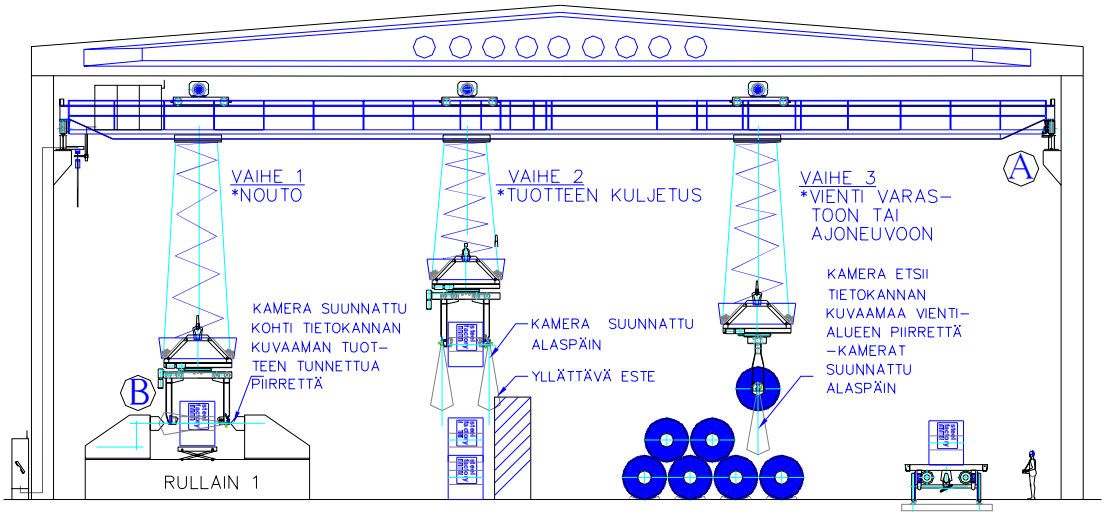
Hoikkia rakenteita liikuteltaessa ohjauksen säätöpiirin ohjauspisteen tulee sijaita kohtaavien elementtien keskinäisessä tunnistuksessa.
Jos ohjataan liikkuvien kantavien rakenteiden ja kiinteän rungon paikoitusanturien mukaan, säätö on väärässä paikassa (kuva 8: viitepallo A).
Väärä säätöpaikan valinta johtaa raskasiin rakenteisiin, huonoon paikoitustarkkuuteen sekä energiataloudellisesti epätaloudelliseen systeemiin.

Pienoisnosturilla on nyt pystytty osoittamaan, että yli 14 vuotta suunniteltu 'oikean ohjaustavan ja -paikan' valinta on tuottamassa tulosta.

Ensimmäinen kuka ymmärsi tutkimushankkeen tavoitteet oli TEKES konenäköohjelman johtaja Bror Salmelin vuonna 1994-1995. Ilman hänen kannustustaan ei todennäköisesti olisi tähän kehityshankkeeseen ryhdytty. TEKESin ohella Keksintösäätiö Seppo Heikkilän tuki on ollut merkittävä. Seppo Heikkilä on kuunnellut ja arvioinut muitakin tuotekehitysajatuksia. Keksintösäätiön tuki on ollut erityisen tärkeä uutuustutkimusten toteutuksessa. Uutuustutkimuksissa on pyritty selvittämään pystyykö tärkeäksi määritellystä teknisestä ratkaisusta toteuttamaan uutta tuotetta. Tai vaihtoehtoisesti onko jokin tekninen ratkaisu jo julkaistu mutta patenttia ei ole haettu ja siten uusi ratkaisu olisi käytettävissä.

Vuoden 1995 jälkeen on pääsääntöisesti törmätty 'asiakastarpeisiin', olemassa olevaan kokemukseen ja jäykkyyden tuoman turvallisuuden mukaisiin ratkaisutapoihin joissa on unohdettu rakenteiden kasvusta johtuvan ohjaustavan muutoksen tarpeet.

Historia tulee väistämättä osoittamaan että hoikkarakenteisien nostureiden sekä raskaiden materiaalikäsittelylaitteiden liikkeitä, aivan erityisesti automaattisesti ohjattujen rakenteiden liikkeitä, säädetään tulevaisuudessa työkalun ja tuotteen sekä työkalun ja kantavan rakenteen kohtauspisteiden ympäristössä (vapaasti riippuvat työkalut).



Kuva 8 Hoikkien rakenteiden oikea ohjauspiste on kohtaavien elementtien välillä (B) eikä kantavan rakenteen ja hoikan rakenteen siirtolaitteiston päässä (A). Piirustus vuodelta 1995.

2.1.2 Konenäön diversiteetti

Tutkimuksen lähtökohtana on ollut pyrkiä löytämään ratkaisu konenäön käytölle materiaalisiirron tehostamiseksi. Tutkimusta ei tehty konenäön tunnettujen käytettävyyden ehdoilla vaan materiaalikäsittelyn menetelmien kehityksen ehdoilla. Yksilöllinen tuoterakenne ja yleinen epäjärjestyksen kasvu on pyritty kääntämään paremmaksi tunnistettavuudeksi tuotteiden siirron ja paikannuksen luetettavuuden kasvattamiseksi.

Konenäön käytettävyyden monimuotoisuus [Konenäön diversiteetti]
jaetaan kolmeen eri tasoon.

Runsas erilaisten tuotteiden tuotemäärä tarkoittaa suurta
1) Tuotannon monimuotoisuutta.
Asiakkaat haluavat erilaisia tuotteita erilaisissa määrissä, pakkauksissa, mitoissa. Vaikka tuotteet tehtäisiin samalla tuotantotavalla yhdessä ja samassa tuotantoyksikössä, konenäön tulisi sopeutua nimellisesti suureen tuotemäärään.

Joustavassa, asiakaskeskeisessä tuotannossa samankaltaisten tuotteiden sisällä vallitsee
2) tuotteiden sisäinen monimuotoisuus.

Konenäköjärjestelmien toimintaympäristöstä seuraa
3) ympäristön monimuotoisuus.

Ympäristön monimuotoisuus on ehdottomasti haastavin kohdealue sisältäen työlaitteiden toiminnan laadun, koon, asetetut tarkkuusvaatimukset, ilmaston, valaistuksen, ihminen-koneautomaatio rajapinnan jne.

Tilastollisesti diversiteetti on korkeimmillaan silloin kuin kaikkia erilaisia kuvallisia objekteja esiintyy yhtä paljon. Konenäön kannalta *korkean diversiteetin* kuva soveltuu laitteiden *karkeaan paikoitukseen*. Yksittäiset muutokset kuvallisien objektien määrässä ei vaikuta välittömästi konenäkölaitteiston toimintaan.

Diversiteetti on alhaisimmillaan kun kaikki kuvalliset objektit ovat samoja.
Tällöin samanlaisten objektien tunnistamisessa keskinäiset erot ratkaisevat. Tavoitteena on saavuttaa tilanne, missä optinen säätö tehdään yhden kuvallisen objektin sijainnin

perusteella. *Alhaisen diversiteetin* kuva soveltuu tarkkaan paikoitukseen jos näkyvien kuvallisien objektien lukumäärä on yksi. Yksittäisen objektin ympäristöolosuhteiden muutokset vaikuttavat vähemmän haittaavasti laitteen tarkan paikan määrittelyyn.

Paikoituslaitteen paikkaan sidotulla kuvallisen paikoituksen määrittelyllä (datafuusion keinoin) pystytään ymmärrettävästi ja helposti määrittelemään sopivat väli- ja loppupaikoituspisteet korkean ja alhaisen diversiteetin mukaisissa ympäristöissä mahdollistaen *optisen kohteen dynaamisen lähestymisen* siirryttäessä kohti seuraavaa siirtokohdetta tai -aluetta.

Kun tunnistettavaa objektia ei tunnisteta laisinkaan, toimii kuvallinen paikannus kuten numeerinen paikannus toimisi.

Vaikka tuote olisi samankaltainen kuin jokin toinenkin tuoteperheen tuote, etiketti, pakkaus, tuotannonaikaiset poikkeavuudet erottelevat tuotteita toisistaan.
On edelleen tuotannollisia massatuotantoyksiköitä, mitkä pyrkivät tuottamaan tuotteita ilman tuotannon monimuotoisuutta. Automaation ja tuotantotekniikan kehittymisen (evoluution) tuloksena monimuotoisuus väistämättä lisääntyy kasvattaen tuotteen arvoa loppuasiakkaalle. Yleisesti ottaen tuotannon ja tuotteiden monimuotoisuus on ratkaistavissa esitetyllä paikkaan sidotulla tunnistuksella kohtuullisen luotettavasti. Tämä tutkimus on pyrkinyt löytämään ratkaisun erityisesti ympäristön monimuotoisuuden parempaan kuvalliseen hallittavuuteen huomioimalla lisäksi olemassa olevaa tai jopa luomalla uutta tuotannon ja/tai tuotteiden monimuotoisuutta.

3D-malli (X/Y/Z-pistekoordinaatisto) käsittelee numeerisia malleja johon liitettäessä aikajana syntyy uusi 4D-malli (3D[t]).
4D-malli on kolmiulotteisen 3D mallin mukainen mutta siinä on ajan tuomia muutoksia, virheitä ja muita epäjärjestyksen lisääntymisestä johtuvia muutoksia. Tämä kehitystyö on suunnattu 3D[t1] mallin virheiden korjaukseen hetkellä 3D[t2] siis 4D mallinmukaiseen ohjaukseen ajan (t2-t1) kuluttua.

2.1.2.1 Itse oppiva syklinen opeta - etsi – paikanna sekvenssiohjaus

Nopea optisen kohteen opettaminen ja välitön etsiminen ratkaisee monia 4D-mallin ongelmia.
Optinen itse oppiva liikkeenohjaus tai uudelleenpaikoittaminen

f [
paikan
ajan
muun laadullisen erottelun ohjaamana]
[
hyväksyen tuotteiden tai paikkojen yksilöllisyyden
tuotteiden ominaisuudet
asiakaskohtaiset eritysvaatimukset
tuotteiden ulkoiset viat]

mahdollistaa uudenlaisen tunnistettavuuden verrattuna konenäön nykyiseen tapaan tunnistaa kohteita.

Yksilöllisen mallin opettamisen sijaan tutkimuksen mukaisessa järjestelyssä tulee keskittyä paikannuslaitteiden rakenteellisen yhdenmukaisuuden määrittelyyn.

Tutkimustuloksen mukaiset järjestelyt poikkeavat useammin eri tavoin ns. perinteellisestä konenäön ammattilaisen käsityksestä tämän tyyppisten ohjausten järjestämisestä.

Itse oppivan syklisesti tapahtuvan konenäön liikkeenohjauksen menetelmää voidaan kuvata vuokaaviolla seuraavasti:

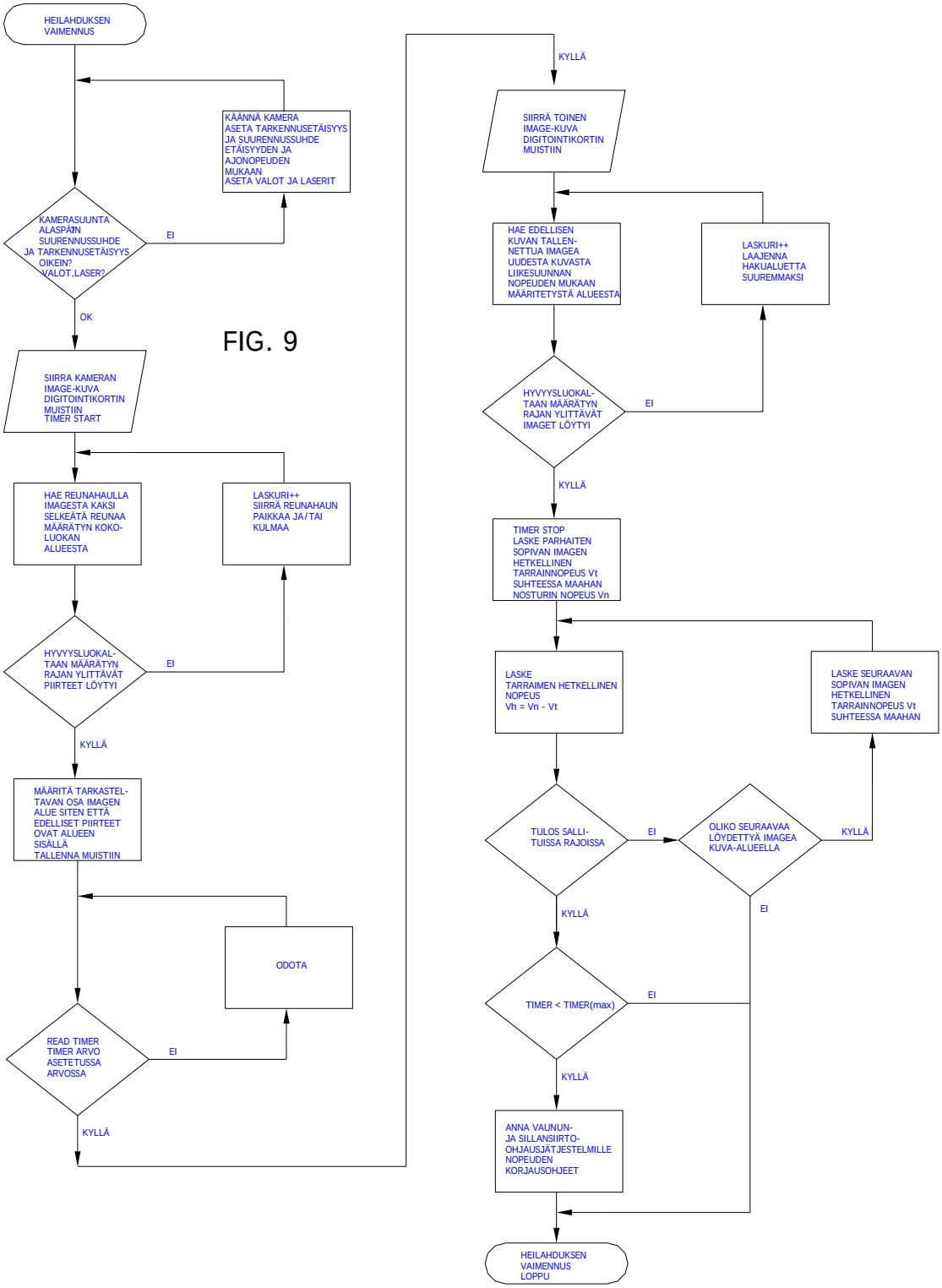


FIG. 9

Kuva 9 Itse oppivan heilahduksen vaimennuksen toimintakaavio (pat. FI103031 Fig.9 1995)

Suunnitellun itse oppivan optisen liikkeen tunnistuksen ja hallinnan pullonkaulana tuotteistukselle oli aina 2000 alkupuolelle saakka konenäköjärjestelmien opetuksen (model preprocess) pitkäkestoisuus. Tämä aiheutti selkeitä hetkiä jolloin liikkeen tunnistus oli pois käytöstä ja suuret viiveet johtivat myös toistuvaan kohteen opettamiseen.
Konenäköjärjestelmiä käytetään pääsääntöisesti analyysissä, missä kerran opetettua piirrettä etsitään ja tarkistetaan toistuvasti.
Tässä tutkimuksessa kuvatussa 'itse oppivassa liikkeenohjauksen menetelmässä' sekä opetetaan ja etsitään optista piirrettä tai kohdetta toistuvasti. 1995 kirjattiin tavoitteeksi syklisen säädön jakson jäämisen alle 100 millisekunnin joka on osoittautunut suurin piirtein oikeaksi ajalliseksi raja-arvoksi. Mitä nopeammin liikkeen syklinen seuranta on, sen parempaa säätöä voidaan menetelmällä suorittaa.

2.1.2.2 Koordinaatiston paikkaan sidottu optisen kohteen ja kameran määrittely

Kuvallisen uudelleenpaikantamisen toimintaedellytysten parantamiseksi menetelmässä on sidottu yhteen
mallikuva osa-alueena kameran näkymästä toimintapisteen opetushetkellä,
mallikuvan sijainti kuvaruudulla pikseleinä,
käytetty kamera milloin useampi kamera valittavissa,
kameran objektiivin polttoväli uudelleenpaikoituksen asetuksen löytämiseksi,
opetusaika mahdollisten valaistusolosuhteiden harmonisoimiseksi sekä
siirtolaitteen koordinaattitieto laitepaikkana ja/tai GPS/GALILEO paikkatietona.

Mahdolliset valittavat toimintapisteet ovat tyypillisesti kerran opetettu kuvaruudulta valitsemalla ensin haluttu oikea kamera useista mahdollisista kameroista. Kameroiden lukumäärä on riippuvainen tietokoneen varustelusta mutta tyypillisesti kameroita voi olla 1 -64 kappaletta.

Laitteen toimiessa puoli- tai automaattiohjaus-asetuksella, oikea kamera ja kuvallinen kohde valitaan järjestelmän toimesta kuljettajan, ohjaajan tai automaattiohjausjärjestelmän keskittyessä normaaliin liikkeen ohjaukseen.
Kuvallisen kohteen ilmestyessä näytölle 'nuppineula' - ohjain näyttää oikean suunnan sekä etäisyyden.

Kuvallisen kohteen koordinaatteihin sidottu valinta mahdollistaa suurempien, näytöltä selkeästi erottuvien ainutlaatuisten kuvallisten kohteiden määrittelyssä jolloin hakukriteereissä voidaan käyttää selkeästi alempaa kuvallista osumatarkkuutta (score).

Kuvallinen koordinaatistoon sidottu (datafuusio) numeerinen paikannus epäedullisimmillaan toimii kuten numeerinen paikannus toimii ja edullisimmillaan visuaalisesti oikean ajopisteen osoittaen näkymästä, mikä on laitteen turvallisen toiminnan kannalta paras mahdollinen.

Kuvallinen takaisinkytketty uudelleenpaikoittaminen mahdollistaa 3D-koordinaatiston mukaisen tuotteen osoitteen tarkemman määrittelyn kun tuotetta noudetaan välivarastosta myöhemmin 4D-koordinaatiston mukaisessa tilanteessa. Menetelmä mahdollistaa siten erilaisten epäjärjestyksen kasvusta johtuvien muuttuneiden olosuhteiden hallinnan, kuten tuuli, nousuvesi, venymisen, rakenteiden taipumat, kemiallisten reaktioiden seuraukset jne.

2.1.2.3 Valaistuksen vaihtelun hyväksyminen

Materiaalikäsittelyn laajan käytön vuoksi yleistä tasaisen, hyvän valaistuksen vaatimusta ei voida täyttää erityisesti ulkona. Tämä valaistuksen tutkimustyö on kesken, mutta yleisesti tässä tutkimuksessa on lähdetty itse oppivuudesta ja kohteen yksilöllisestä opettamisesta jolloin valaistus pysyy kohtuullisessa rajoissa vakiona. Lisäksi valaistuksen varjoja ja hämärätoimintaa parannetaan ihmissilmälle näkymättömän infrapunaisen valon avulla.

Infrapunavalaisimien alhainen hinta ja teho niin valaisukyvyssä kuin valaisuetäisyyden pituudessa antavat merkittävän konenäköteknologian käytettävyyden lisäämismahdollisuuden.
Itse oppiva järjestelmä mahdollistaa erityisesti liikkeenohjauksen vaihtuvissa valaistusolosuhteissa lähes ilman minkäänlaisia katkoksia.

2.1.2.4 Kameran optiikka ja kameran laatu sekä rakenne

Yleisesti konenäön optiikan tulisi tunnetusti olla hyvälaatuinen ja kameran resoluutio korkea hyvän paikoitustarkkuuden saavuttamiseksi.
Tyypillinen konenäköteknologian mukainen kamera on CMOS tai CCD – kamera, jossa on käsin säädettävä polttoväli sekä aukon suuruus. Kamera on suunniteltu vakiovalaistusolosuhteisiin vakioetäisyydeltä tapahtuvaan kosketuksettomaan optiseen paikannukseen. Tällainen vakiokonenäkökamera ei vastaa tämän suunnitelman mukaista järjestelyä.
Tutkimuksessa erityisesti itseoppivuus ja paikoittaminen alemman tarkkuuden ominaisuuksilla nopeuttaa liikkeen hallintaa tarkkojen piirteiden jäädessä opetetussa kohteessa vähemmälle. Huonommalla optiikalla kohteen pääpiirteet määräävät mikä riittää paikoituksen tarpeisiin tarkempien yksityiskohtien jäädessä opetuksesta pois ja siten säästää liikkeenohjauksen etsintäaikaa. Huonomman optiikan käyttöä tulisi tutkia lisää kohteen opettamisen ja etsinnän aikavasteen keskinäisen vaikutuksen selvittämiseksi.

2.1.2.5 Liikkuvan kohteen kuvaus

Videokuva muodostuu kahdesta juovasta, parittomista ja parillista kuvajuovista. Yleinen kameratyyppi on ihmissilmälle sopiva 25Hz kuvataajuudella näytetty kuva, missä parittomat ja parilliset juovat tulevat lomittain. Liikkuvan liikkeen kuvauksessa tämä ei ole paran vaihtoehto vaan suositeltavaa olisi lähettää kuva pariton sekä parillinen kuva kumpikin yhtenä kokonaisuutena. Tällaista kameraa kutsutaan lomittamattomaksi kameraksi (progressive scan).
Tässä tutkimuksessa on päästy kohtuullisiin tuloksiin aivan tavallisella kameralla kun on käytetty kehitettyä itse oppivaa konenäköteknologiaa. Suuremmilla liikenopeuksilla on selvää että lomittamaton kuva antaa paremman tuloksen mutta yleisesti ottaen tässä saavutettu tulos on kuitenkin huomion arvoinen. Digitaalisilla tiedonsiirrolla toimivilla kameroilla kuvat lähetetään lomittamattomasti. Digitaalisien kameroiden eri kommunikointitapojen määrä lisääntyy (mm. iLink, Firewire, GigE jne.) mikä mahdollistaa yhä älykkäämmät ohjausjärjestelmien toteutuksen.

2.1.2.6 Kuvallisen kohteen mallintaminen

Itse oppivuus sekä yksilöllisen kohteen kuvaus ja tallennus muistiin koordinaattitietojen kanssa mahdollistaa tarkan yksilöllisen uudelleentunnistusmahdollisuuden.
Tuotteen yleisesti pidetty yksilöllinen piirre, perinteellisessä konenäössä vika tai Älä välitä 'Don't care' - ajattelu, muutetaan paremmaksi tuotteen tunnistettavuudeksi ja menetelmä antaa paremman toimintaympäristön vaihtelevalle valaistukselle. Sen sijaan että opetetaan malli jota verrataan tunnistettavaan kohteeseen, tulisi tässä menetelmässä keskittyä kameroiden optiikan ja resoluution yhtenevyyteen.

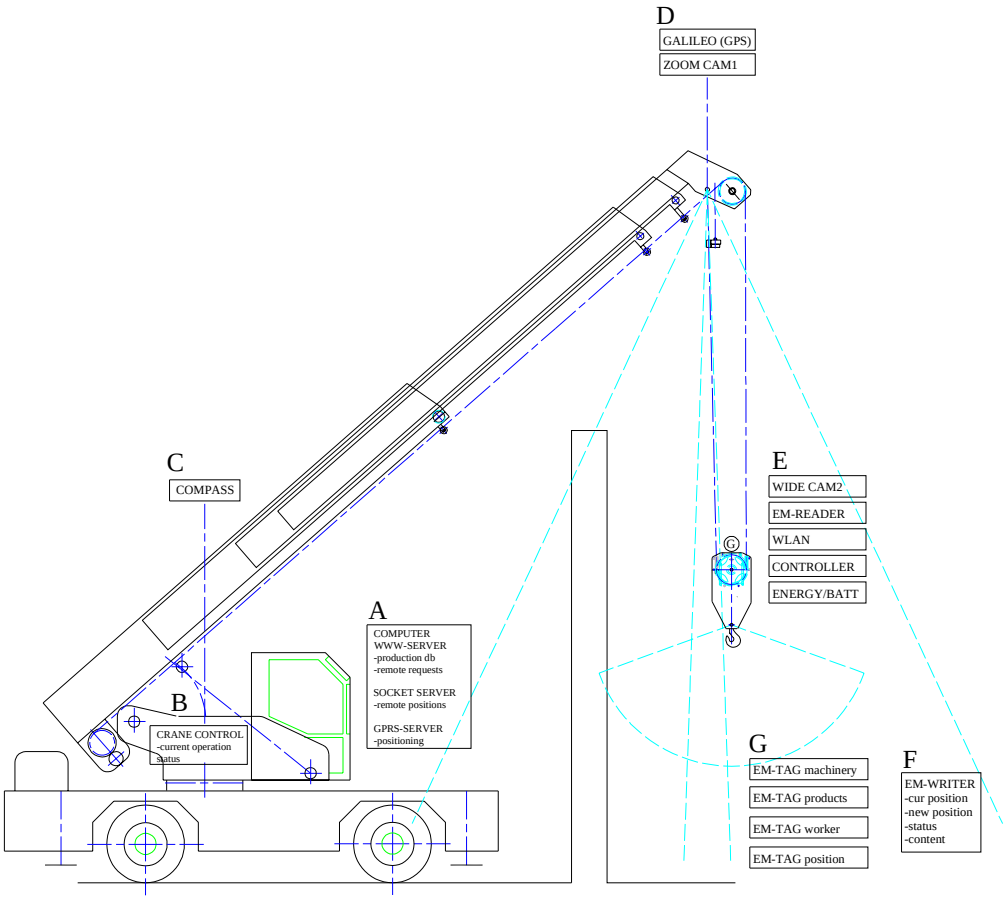
2.1.2.7 Epäjärjestyksen sekä paikkatiedon yhdistäminen

Kuvallinen paikan tai tuotteen paikannus lähteen sen tosiseikan tunnistamisesta, että epäjärjestys kasvaa ajan myötä sen sijaan että olettaisimme ympäristön pysyvän samanlaisena. Siis täysin käänteinen valinta kuin konenäköjärjestelmien suunnittelussa yleensä. Yksilöllinen pakkaus, tuotetunnukset, sidontavanteet jne. voidaan hyödyntää tuotteiden paikan uudelleentunnistuksessa kun tallennettuun kuvatiedon yhteyteen on tallennettu tuotteen tai paikan jättämisen lähietäisyyden koordinaattitiedot. Yleisesti

ongelma ei ole päästä tuotteen lähietäisyydelle vaan ongelmat syntyvät kun suoritetaan lähestyminen tuotteeseen tai paikkaan.

2.1.2.8 Hahmon, kuvan pikselien ja koordinaatiston käyttö ohjauksessa

Käsiteltäessä siirtolaitteen toimintapisteavaruutta, pisteitä saattaa olla jopa tuhansia yhdellä koneella. Tässä tutkimuksessa on pyritty pisteiden nimien ja numeroiden sijaan (perinteellinen, 23 vuotta käytetty toimintamalli) kehittämään kuvallisen viitekohteen määrittelyn menetelmä. Käyttäjä koskettaa kuvaruudun (x'/y'[pikseliä]) mitä vaan visuaalisesti kuvaavaa yksilöllisestä kohdetta laitteen ollessa pisteessä (X/Y/Z). Kun tästä hahmosta tehdään tietokoneen tietokantaan mallikuva sekä tallennetaan samalla (x'/y')(X/Y/Z) koordinaatistopisteet (tai vastaavat), käyttäjän kollegatkin ymmärtävät oikein valitusta viitekuvasta toimintapisteen käyttötarkoituksen helpommin kuin esimerkiksi numerosta (vrt. kuvat 67-70) tai GPS-paikasta. Uudelleenpaikoitus tehdään mallikuvan valinnalla ajaen laite (x'/y')(X/Y/Z) koordinaatistopisteiden mukaiseen asemaan. Jos mallikuvaa ei löydy alueelta, ajetaan 3D mallin mukaiseen (X/Y/Z) koordinaatistopisteeseen mikä vastaa tämän päivän numeerisen ohjauksen 3D teknologiaa.



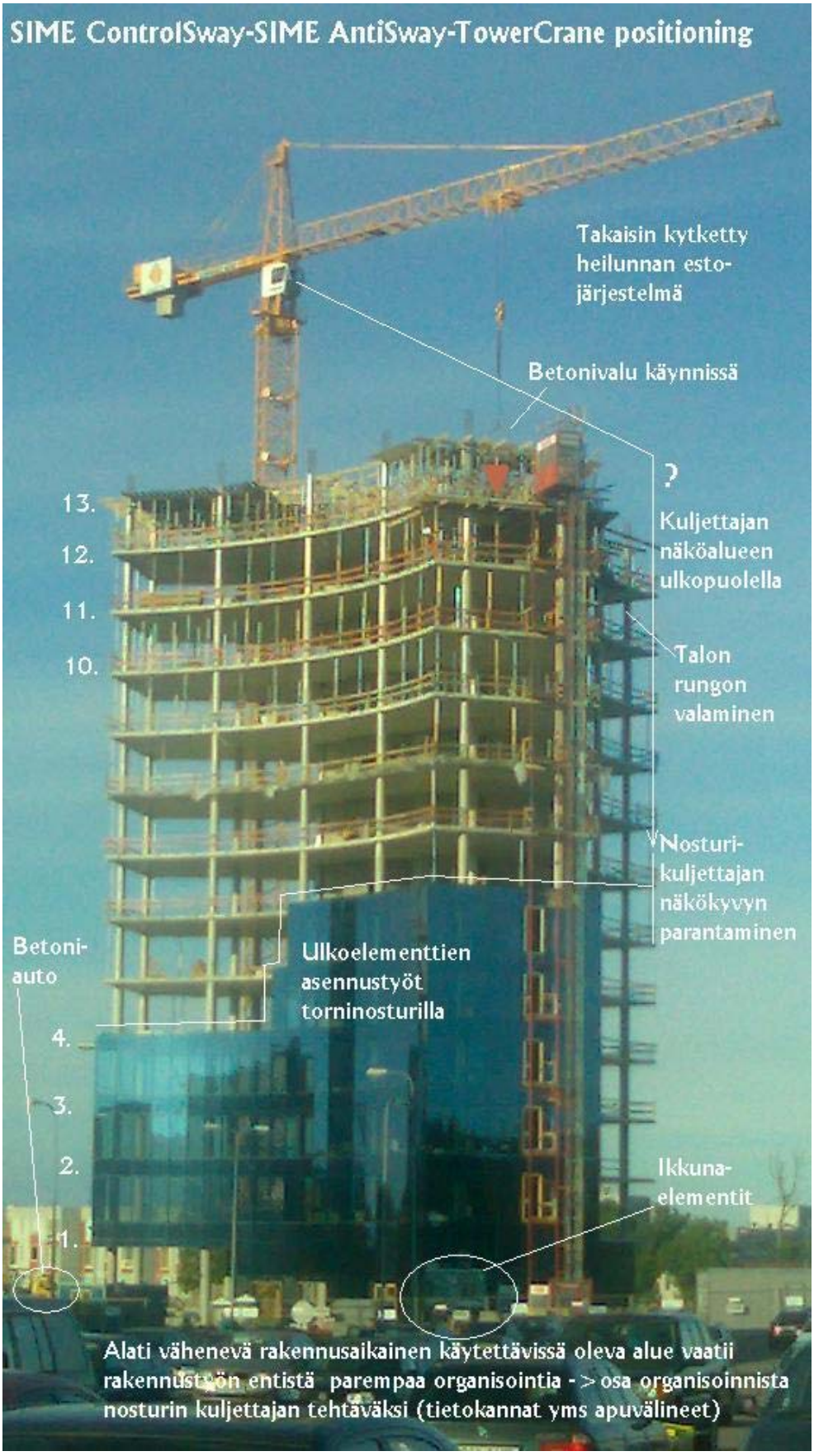
Kuva 10 Kuvallinen paikkaan sidotun nosturinohjauksen komponentit 2000-luvulla

Yllä olevan kuvan komponentteja, joita voidaan käyttää kuvallisessa paikantamisessa (vuodelta 2005).

A. MOBIILITIETOKONE KOSKETUSNÄYTÖLLÄ
B. NOSTURIN PAIKOITUS- JA OHJAUSJÄRJESTELMÄ (demonosturi)

C. NOSTURIN KÄÄNTÖKULMA-ANTURI (VANHAT NOSTURIT)
D. LANGATON KAMERA, OBJEKTIIVIN OHJAUS JA GPS PAIKKA
E. LANGATON GERAATTORIKAMERA LIIKKEENOHJAUKSELLA
F. SAATTOMUISTIKIRJOITUS JA LUKUJÄRJESTELMÄ
G. SAATTOMUISTIEN OHJELMOINTI JA ETÄLUKUJÄRJESTELMÄ

Käytännössä kaikki muut komponentit on toteutettu tavalla tai toisella paitsi testit oikealla nosturilla, kohta B.



Kuva 11 Tuottavuuden ja turvallisuuden kasvattamisen menetelmät talonrakennuksessa

2.2 Teknologian laaja sovellettavuus tavaran siirrossa globaalisti

2.2.1 Rakennusteollisuudessa

Tämä tutkimusraportti on saanut alkunsa ' Rakentamisen tuottavuutta ja turvallisuutta' -ohjelman suunnittelusta ja demonosturiesittelystä syksyllä 2008. Rakennusalan' Rakentamisen tuottavuutta ja turvallisuutta' ohjelmaa on suunniteltu vuodesta 2004.
Rakennusala on tunnetusti yksi vaarallisemmista teollisen tuotannon aloista mutta jossa ehkä kaikkein heikoiten osattu tunnistaa ja ottaa käyttöön uusia tuotantomenetelmiä verrattaessa muihin teollisen tuotannon materiaalisiirtoaloihin.
Alan kansainvälisissä lehdissä on kirjoitettu[10], ettei rakennusteollisuudessa tarvita sitä tehokkuutta, mikä tarvitaan teollisuuden ja satamien materiaalikäsittelyn yhteydessä mutta mielestämme tuottavuuden tulee erityisesti kasvaa ja tehostua rakennusteollisuuden materiaalisiirrossa kuljetuksen sekä nostamisen ja siirtämisen sektoreilla.
Selvää on, ettei nopeutta voida kasvattaa jos kuljettaja ei sokkonostoissa edes näe kohteeseen. Siksi jo turvallisuuden parantamiseksi kamerateknologiaa tulisi lisätä nykyisiin olemassa oleviin nostureihin. Nosturin käytettävyyden perusteluksi ei riitä että sokkonostot olivat hyväksyttyjä laitetta hankittaessa. Milloin voidaan todistettavasti todentaa työturvallisuuden olevan uhattuna tai sitä voidaan selkeästi pienellä kustannuksella parantaa, toiminnan vaatimuksia ja turvallisuustasoa tulee tarkistaa. Vaikka muutokset ja kehitystyö maksaisivat jonkin verran vastakuppiin tulee asettaa mahdolliset vammautumiset ja jopa kuolemantapaukset jollainen on tapahtunut jo tämänkin 'Rakentamisen tuottavuutta ja turvallisuutta' hankkeen aikana vuoden 2004 jälkeen.

Asetus 205/2009
Tutkimusraportin kirjoituksen jälkeen STM on laatinut uuden lain VN Asetus 205/2009, minkä *luku 8 Työturvallisuus elementtirakentamisessa* on muutettu tutkimuksemme suuntaiseksi joskin tarkasti ottaen koskemaan ainoastaan elementtirakentamista torninostureilla.

39 §

Elementin nosto ja asennustyö

Elementtien asennuksessa on noudatettava valmistajan antamia tuotekohtaisia ohjeita.

Elementti on nostettava ja asennettava asennussuunnitelman mukaisesti. Elementtien on nostettaessa oltava tasapainossa. Jos suunnitelmista tai ohjeista joudutaan poikkeamaan, on elementtirakentamisessa arvioitava muutoksen vaikutus työn toteuttamisen turvallisuuteen, ja muutos on hyväksytettävä kyseisen suunnitelman laatijalla ennen töiden jatkamista. Vaikeita elementin nostotöitä varten on laadittava nostosuunnitelma.

Elementtien asennusnosturina on käytettävä torninosturia, ajoneuvonosturia tai muuta suoritusarvoiltaan riittävää ja muilta ominaisuuksiltaan siihen tarkoitukseen suunniteltua ja soveltuvaa nosturia. Nosturin tukijalkojen alla on käytettävä riittävän suuria tukilevyjä tai muita vastaavia tukirakenteita. Elementtien nosto- ja siirtoapuvälineiden tulee olla käyttötarkoitukseensa soveltuvia ja tarvittavilla tarkastusmerkinnöillä varustettuja.

Nosturinkuljettajalla tai asennustyötä ohjaavalla työntekijällä on oltava esteetön näköyhteys elementtivarastoon ja asennuskohteeseen. Nostojen ohjaus on toteutettava radiopuhelimilla, käsimerkeillä tai asianmukaisilla nosturikameralaitteistoilla siten, että nostot voidaan tehdä turvallisesti. Torninosturin ohjaamo on varustettava nosturikameralaitteistoilla, kun ohjaamosta nostokohteeseen ei ole näköyhteyttä. Nostotyön ohjauksessa on käytettävä radiopuhelimia, joiden kanavat ovat varatut vain nostotyön ohjaukseen ja suljettu muulta radioliikenteeltä. Merkinantaja on nimettävä erikseen ja on varmistettava että hän osaa hyväksytyt merkinannot.

Elementtien asennustyössä yli kahden metrin korkeudessa on työntekijän putoamisvaara torjuttava ensisijaisesti rakenteellisilla toimenpiteillä. Tilanteissa, joissa rakenteellisten toimenpiteiden toteuttaminen ei ole mahdollista, työntekijän putoamisvaara on torjuttava putoamisen estävällä valjastyyppisellä henkilönsuojaimella.

Ennen asennustyön alkamista on varmistauduttava siitä, että asennuskohteen alapuolella ei ole henkilöitä asennuksen aikana. Tarvittaessa on käytettävä vartiointia. Asennuskohteesta on poistettava työturvallisuutta vaarantavat rakennusjätteet ja rakennustarvikkeet.

Työnantajien on yhteistyössä huolehdittava, etteivät tuuliolosuhteet, työvälineiden jäätyminen, vesi- tai lumisade tai muut sääolot vaaranna työntekijöiden turvallisuutta ja terveyttä.

Kuva 12 VNA 205/2009 Luku 8 Työturvallisuus elementtirakentamisessa, 39§ nosturikamerat[11]

Valtioneuvoston asetus 205/2009 astuu voimaan 01.06.2009 minkä jälkeen työt on suunniteltava siten, että nosturinkuljettaja joko näkee kohteeseen tai nosturi on varustettava nosturikameralaitteistolla.
Asetuksen sanavalinnassa 'Torninosturin …' käyttämistä tulee pitää epäonnistuneena sillä useilla, erityisesti teollisuuskiinteistöjen rakentamiskohteilla, käytetään vanhoja ristikkorakenteisia hydraulisesti toimivia nostureita tai hydraulisia ajoneuvonostureita. Ristikkopuomirakenteisien nostureiden kuljettajille ei anneta enää kuljettajakoulutusta ja vanhojen käytössä olevien laitteiden toiminta poikkeaa nykyaikaisista ajoneuvonostureista joille koulutusta vielä annetaan.

Lisäksi nykyaikaisen ajoneuvonosturin joustava nostopuomin toiminta ei vastaa ristikkorakenteisen jäykkää rakennetta. Erot nostopuomeilla ovat kuten hiilikuituisella tai itse tehdyllä pajuvartisella mato-ongella. Erityisesti nostettavan elementin ottamisen ja jättämisen vaiheissa uudet ja vanhat nostopuomit toimivat täysin eri tavalla.

Päätöksen viimeinen jae kiinnittää huomiota tuuliolosuhteisiin johon kehitetty heilahduksen estomenetelmän tulisi tuoda selkeä uusi työtä helpottava apumenetelmä.
Jo tuulesta johtuvien heilahdusten parempi hallittavuus johtaisi tuottavampaan ja turvallisempaan rakentamiseen.

2.2.2 Teollisuuden sisäiset kappaletavarasiirrot

Sanomattakin on selvää, että sama teknologia on jopa huomattavasti helpommin integroitavissa teollisuuden kaikkiin nosto- ja siirtotapahtumiin. Teollisuuden raskaiden siirtojen oikean nostopisteen nopea löytäminen mahdollistaa taakan nopean noston pois noutoalueelta säästäen siten koko ympäristön häiriöajalta. Nostettaessa oikeasta painopisteestä taakka ei edes lähde heilumaan sen irrottua maasta. Jos nostopiste ei ole oikein, on vaara, että taakka lähtee heijaamaan hyvinkin terävästi. Lisäksi nostaminen aiheuttaa työntekijöiden puristumisvaaratilanteita erityisesti suurilla massoilla.

2.2.3 Rahtiliikenteessä ja prosessien ohjauksessa

Esiteltävä takaisinkytketyn kuvallisen paikantamisen teknologia mahdollistaa aivan uudenlaisen automatisoitavuuden tilanteissa, missä numeerisen 3D mallin ennusteiden käytettävyys ei toimi ajan kuluessa tapahtuvan väistämättömän epäjärjestyksen lisääntymisen johdosta. Erityisesti laivojen lastauksen ja purkamisen niin satamissa (laivasta maihin) kuin avomerelläkin (laivasta laivaan) tulee nähdä eräänä mielenkiintoisena, potentiaalisena ja haasteellisenakin tämän teknologian käyttökohteena.

2.2.4 Liikkeen väsymätön takaisinkytketty seuraaminen

Koska menetelmä perustuu optiseen takaisinkytkentään, on aivan yhdentekevää mistä kuvallinen informaatio on saatu. Kuvallinen 'tieto' voi olla ihmissilmälle näkyvää mutta yhtä hyvin ihmiselle näkymätöntä säteilyä.
Yhtä hyvin voidaan tutkia mikroskooppisen pienien kuva-alkioiden kuin planeettojenkin liikkeitä.

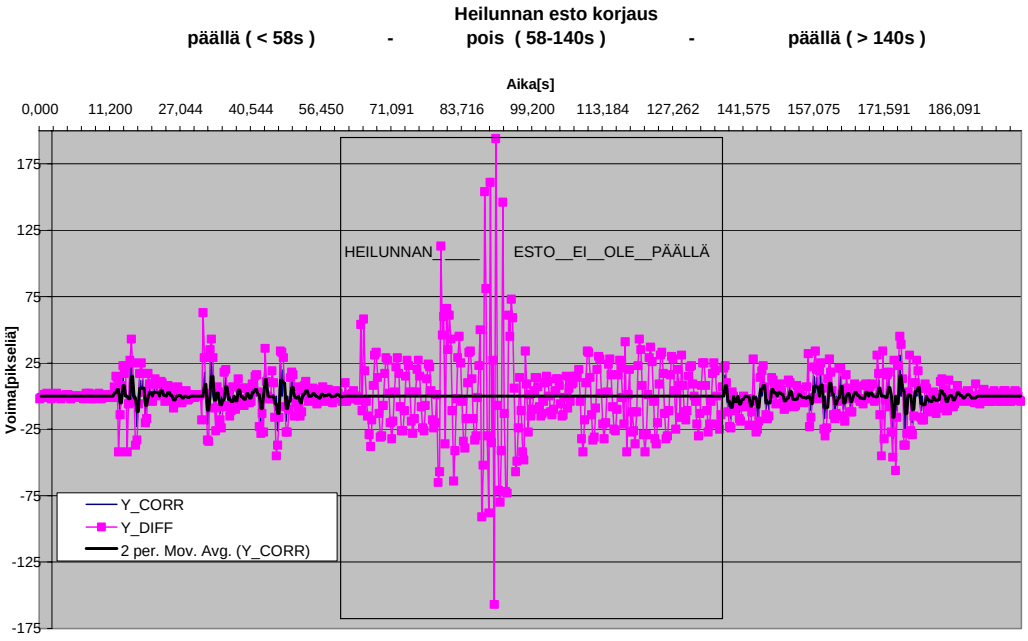
2.3 Takaisinkytketyn liikkeenohjauksen etuja

Toimiva takaisinkytketty liikkeenohjaus on tehokkaampaa ja turvallisempaa liikkeenohjausta kuin takaisinkytkemätön liikkeenohjaus.

Takaisinkytkentä poistaa tai vähentää ulkoisien, ennalta ennustamattomien häiriöiden vaikutusta liikkeen ohjaukseen.

Optinen takaisinkytkennän etuina on optiikan tuoma säätömahdollisuus tuoda kohde optisesti lähelle mittalaitetta. Mekaanisen mittalaitteen takaisinkytkennän käyttö rajoittuu lyhyille matkoille.

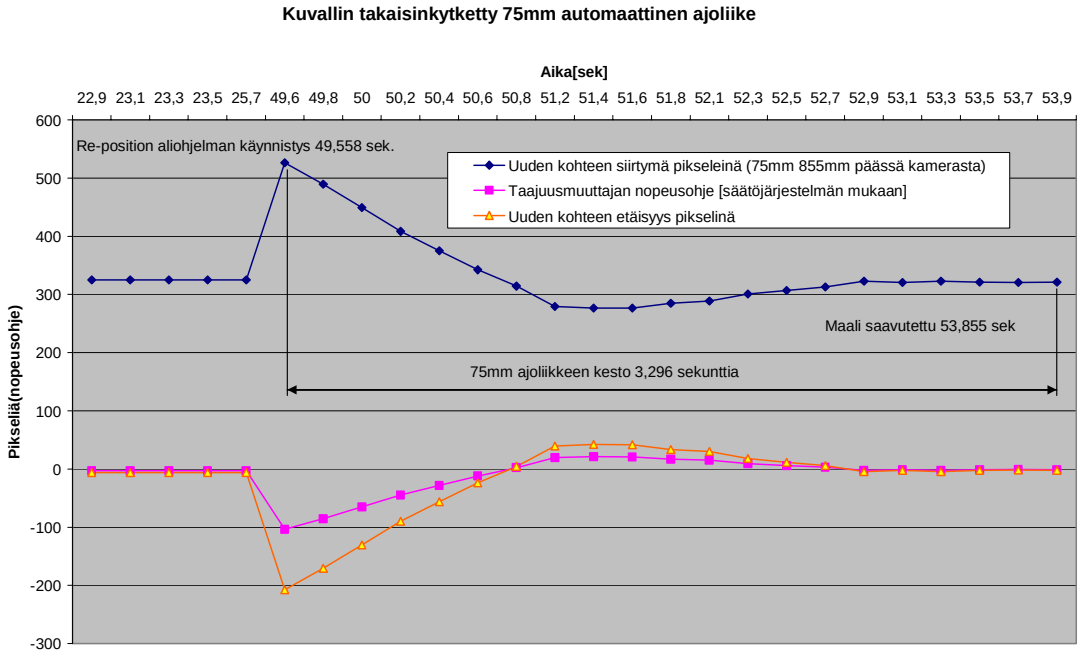
2.3.1 Optisesti takaisinkytketyn heilunnaneston hyötytarkastelu



Kuva 13 Kuvallinen heilunnan esto tehostaa liikkeen hallintaa!

Yllä olevasta käyrästä näkee selvästi kuvankäsittelyn heilahdusta vaimentava vaikutus. Koska alkuliikkeen lähtö tapahtuu ilman heilahduksen avoimen säädön käyttöä, alkuheilahdus syntyy aina. Kuvasta heilahduksen kestolle havaittavissa selkeä aleneva amplitudi ja lyhenevä pysäytysaika verrattuna ohjausta ilman heilahduksenestoa.
Järjestelmän tarkemmat perustelut ja sen kuvaus löytyvät patentista FI103031. Kansainväliset patentit ovat US6256553 , KOR0431578 ja CA2236041.

2.3.2 Kuvallisen uudelleenpaikantamisen hyötytarkastelu



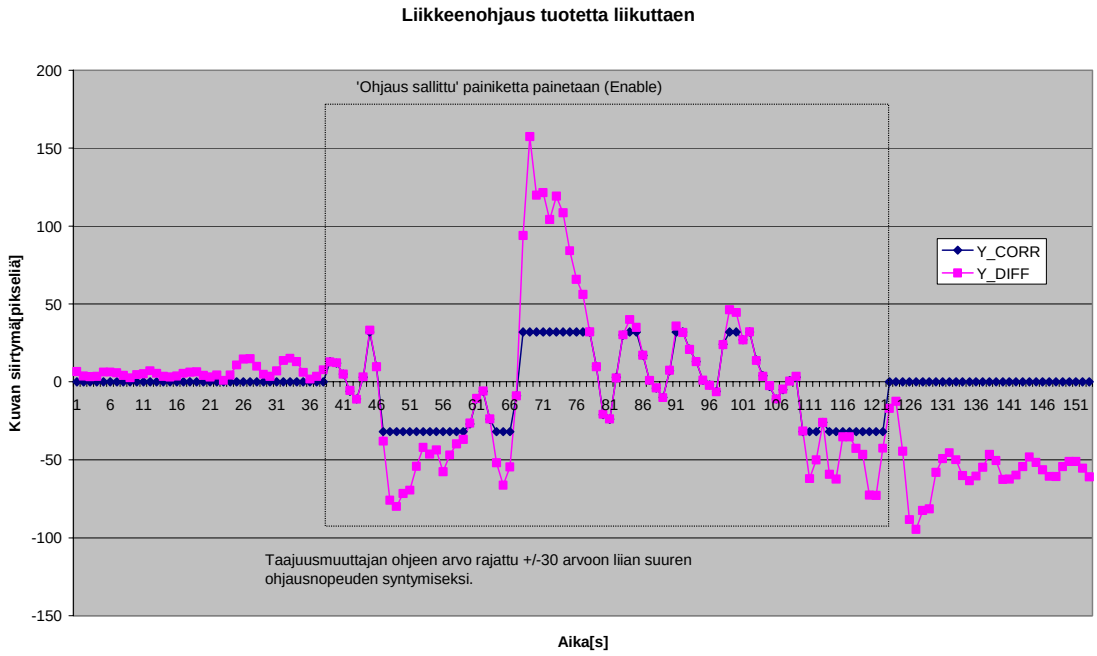
Kuva 14 Optisesti ohjattu 75mm korjausliike 855mm päästä kuvattuna

Takaisin kytketty ajoliike voi toimia joko numeerisen paikoituksen jatkeena ja oikean maalipisteen varmentajana epäjärjestyksen 3D mallin ajan muokkaamassa 4D mallissa.
Mistä paikoittamisessa on kyse? Paikoittamisessa on kyse ainoastaan ajoliikkeestä maaliin. Mitä ajoliikkeen aikana tehdään on pääsääntöisesti toisarvoista. Nopean ajoliikkeen kesto on lyhytaikainen ja sitä voidaan helposti hallita jos kuormaa hallitaan hyvin.
Siirtoliikkeen itse maasta nosto ja liikkeellelähtö tulisi tehdä mahdollisimman pienellä heilahdusliikkeen jäämällä nopean liikkeen ajaksi.
Nopeasta ajoliikkeestä ajan säästäminen on vaikeaa, tyypillisesti kyse on muutamista sekunneista.
Kun lähestytään maalialuetta takaisinkytketty paikantaminen mahdollistaa siirtoajan nopeuttamisen kun laite ajaa suoraan oikeaan pisteeseen ilman nykyisin tapahtuvaa korjauspaikannusta.

Yksinkertaisimmillaan kuvallinen paikannus voi auttaa kuljettajaa paikantamaan oikeaan kohteeseen ainoastaan kuvallisen paikoituksen menetelmin kun laite lähestyy kohdetta jonka kuljettaja on määrittänyt seuraavaksi kuvalliseksi kohteeksi. Tällöin siirtolaitteessa ei tarvita minkäänlaista numeerista paikoitusjärjestelmää vaan kuvallinen paikannus ja taajuusmuuttajien ohjainkortti on kaikki mitä numeeriseen paikoittamiseen tarvitaan.
Menetelmälle on myönnetty patentti FI117835. Kansainvälinen patenttihakemus PCT FI2006/216

2.3.3 Tuotteesta siirtäminen kuvallisen paikannuksen avulla

Kun kehitettiin takaisinkytkettyä heilahdusliikkeen hallintajärjestelmää, ohjelmakehitystyössä tuli esille tarve vakiosuuruisen heilahduksen saavuttamisesta. Käsin annettu taakan heilahdus oli joka kerta erilainen ja suuntainen. Jotta säädön onnistumista voitaisiin arvioida, tuli alkuheilahduksen suuruus olla mahdollisimman yhtenevä ja toistettavissa.
Todettiin, että jos heilahdusliikkeen korjauksen suunnat käännettiin samaan suuntaan taakan heilahduksen kanssa, taakan heilahduksen kulma jatkoi kasvamistaan. Rajoittamalla korjauksen kasvu raja-arvoon, heilahdusliike jäi kohtuullisella tarkkuudella vakiotasolle.
Lyhyen ajan kuluttua optisen tuotteesta ohjaamisen menetelmä oli syntynyt.



Kuva 15 Ohjausliikkeen nopeuden ja suunnan määrittäminen kuvallisella 2D paikannuksen avulla [ControlSway]

Liikkeenohjaus tuotteesta siirtäen tapahtuu tällä hetkellä kahdessa vaiheessa.
Ensimmäisessä vaiheessa torninosturin kuljettaja aktivoi toiminnon ja seuraa kuvaruudulta tasapainotilan toteutumisen. Vakaa tasapainotila on toiminnan käytön yksi perusedellytys.
Toisessa vaiheessa, 'Siirto mahdollistettu' 'Enable' – vaiheessa, kun tasapainotila on olemassa, kuljettaja sallii alamiehen, elementtiasentajan tai valumiehen siirtoliikkeiden seuraamisen nosturilla optisella takaisinkytkennällä tuotteeseen tai tarttujaan painamalla erillistä ohjainnappia nosturin ohjaamossa tai radio-ohjaimessa.
Nosturin seuraaminen tapahtuu X/Y-tasossa ja siirtonopeus vastaa alamiehen aiheuttaman kallistuskulman suuruutta. Nosturin suurin tuotteesta ohjaamisen siirtonopeus on rajoitettu työntekijän siirtonopeustarpeen mukaiseksi.
Optisen takaisinkytkennän sekä kameran objektiivin polttovälin säädön ansiosta ohjausetäisyys ja tarkkuus on monipuolisesti säädettävissä.
Menetelmästä on jätetty patenttihakemus FI20095324.

3 Kuvallinen paikantaminen edut ja hyödyt materiaalikäsittelyssä

3.1 Materiaalinkäsittelyjärjestelmien paikoittaminen

Nostureiden lisäksi kuvallinen paikantaminen soveltuu erilaisten siirtovaunujen ja junanvaunujen, linjaohjausten ja prosessin säätöön liittyviin ohjauksiin.

3.2 Käytettävyyden kasvattaminen ja rakenteiden keventäminen

Kuvallinen paikantaminen mahdollistaa kevyenpien kantavien rakenteiden käytön. Lisäksi oikein sijoitettu kuvallinen paikantaminen mahdollistaa rakenteiden luonnollisen kulumisen haittojen vähentämisen tai poistamisen kokonaan. Vastaavasti tuottavuutta voitaisiin kasvattaa tai valmistuskustannuksia alentaa sekä lyhentää laitteiston valmistusaikaa kun rakenteita voidaan yksinkertaista ja standardisoida nykyistä enemmän.

- ⇒ Keskusvaraston trukki seuraa tuotteiden keräilijän liikkeitä nopeuttaen pienerien lavausta (Rocla)
- ⇒ Sataman trukin paikan ohjaus suhteessa konttinosturiin (KCI)
- ⇒ Rekan, junan asemointi suhteessa tuotteiden lastausta ja purkausta suorittavaan nosturiin (Ruukki)

Vastaavia tehtäviä voidaan tehdä myös muulla tavoin mutta yllä mainitut asiat on esitetty viitteinä olemassa olevista asiakastarpeista.

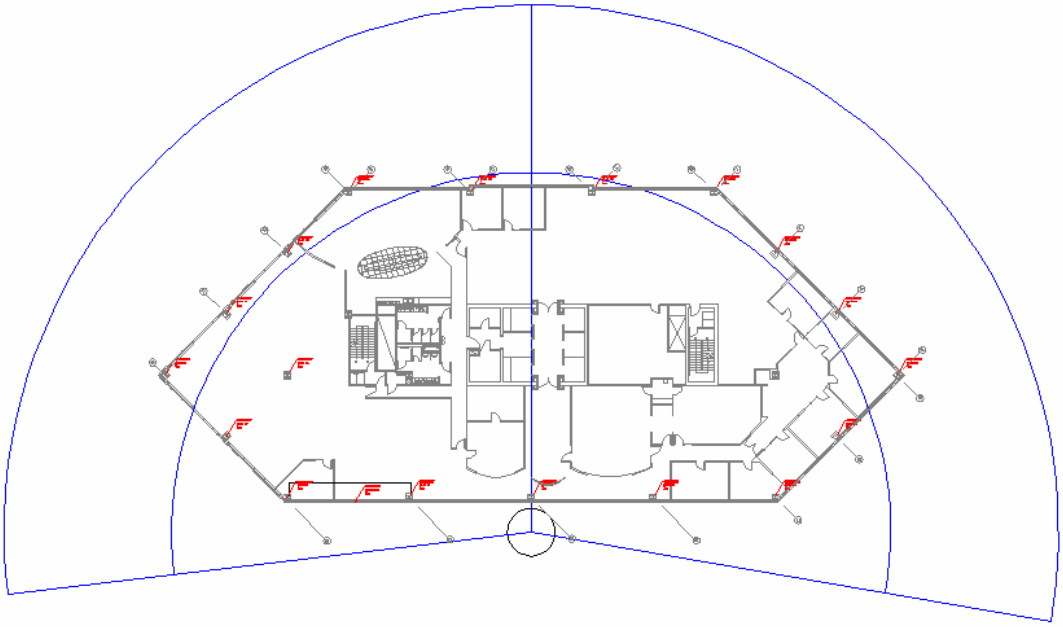
3.3 Energiatalouden parantaminen

Siirtolaitteiston energiatalouden parantaminen on tietenkin tapauskohtaista mutta kantavien rakenteiden keventäminen vähentää koko laitteen käyttöiän ajan kokonaisenergian tarvetta.
Taakan paikoituksen ja heilumisen parempi hallittavuus vähentää paikoituksen korjausliikkeiden määrää.
Kun taakan heilahduksen liikettä vaimennetaan automaattisesti mekaanisin tai sähkömekaanisin menetelmin, heilahdusliikkeen takaisinkytkentä tuottaa merkittäviä säästöjä tai tuotantokapasiteetin kasvua.

3.4 Nosto- ja siirtotyön osa-alueiden asteittainen automatisointi

Automaattisia nostureita on tehty merkittävissä määrin yli 20 vuotta. Allekirjoittanut oli esittelemässä jo 1980-luvulla Hannoverin messuilla kehittämäänsä komponenttirakenteista tietokoneohjattua automaattinosturijärjestelmää (kuva 1). Automaatio ei sinänsä ole itsetarkoitus mutta oikein käytettynä erinomainen työkalu sekä menetelmien rationalisoija. Liikkeen mittausdatan automatisoitu kerääminen mahdollistaa myös pienten osa-alueiden laadullisen kehittämisen. Mittausdata ja sen arviointi on oleellinen osa kaikkea menetelmäkehitystä.
Puoliautomaattinen ajoliikkeen hallinta auttaisi kokemusten mukaan useimmissa tapauksissa merkittävästi tämän päivän nostureiden ohjaustapaan verrattuna.
Toisaalta tutkimushankkeen 2000-luvulla tehdyt suunnitelmat automaation osalta on tehty perustuen yhteiseurooppalaisen GALILEO satelliitin paikkatietietoon. GALILEON oli määrä

olla valmis 2008 mutta valmistumista ei ole vielä aivan lähiajan näköpiirissä, vuosi 2013 on nyt seuraava ilmoitettu käyttöönottoajankohta.
Automaatiosuunnittelu on tässä tutkimuksessa toteutettu laitteen oman numeerisen paikoituksen sekä optisen korjauksen yhdistelmällä. Kuvallinen paikannus voi tarkentaa ja korjata satelliittipaikannuksen virheitä kun myös suuren numeerisesti ohjatun rakennusnosturinkin ohjausta monin eri tavoin.



Kuva 16 Rakennuksen CAD-piirustuksen block -elementtien koordinaattien sijoittelu suhteessa torninosturin asemaan. Elementtien sijoittelu toistuu rakennuksessa kerroksittain eikä tietojen siirtoon kuluisi muutamia minuutteja kauemmin.

Rakentamisen 3D-mallinnuksen yleistyessä suunnittelujärjestelmistä on saatavilla referenssipisteet tuotteiden suunnitelmien mukaiselle sijoittamiselle. Lisäksi tulee lisätä nosturin sijainti joka kalibroidaan nosturin asennuksen yhteydessä.
Vastaavia CAD/CAM - järjestelmiä on rakennettu teollisuudessa jo vuosikymmeniä. Suunnitelmien, CAD-piirustus-, tuotteiden valmistus- sekä rakentamisen tuotantosuunnitelmien, ja todellisen rakennuksen koordinaatiston yhdistäminen tuo merkittävän tehostamisen valikoiman koko rakentamisen tuotantoketjuun.
Rakentamisen nosto- ja siirtoautomaatio lisää väistämättä rakentamisen järjestelmällisyyttä, auttaa keräämään mittaustietoa tuotantomenetelmien kehittämisen tueksi sekä vuorovaikutuksen kautta tehostaa koko rakentamisen ketjua.

3.5 Työn rasittavuuden vähentäminen

Kuljettajan työ on tänä päivänä hyvin monotonista, yksinäistä ja yksipuolisia liikkeitä aiheuttavaa työtä. Nosturinkuljettajalta vaaditaan ei ainoastaan hyvää näkökykyä vaan myös hyvää kolmiulotteista kohteiden hahmottamista. Erilaiset selän, käsien ja niskan rasitusvammat ovat yksitoikkoisen työn ja kumarassa istumisen seurauksia.
Toistuvien, yksitoikkoisten työtehtävien eri tavalla kuljettajaa rasittavien työvaiheiden osittainenkin kehittäminen voi laskea hyvinkin tehokkaasti kuljettajan työn rasitustasoa. Kuljettajan laskenut rasitustaso tuottaa laadukkaampaa tekemistä erityisesti työpäivän lähestyessä loppuaan tai kuljettajan ollessa muutoin erityisen väsynyt tms.

Taakan heilahtelujen vaimentamisen automatisointi, erityisesti ns. takaisinkytketty heilunnan vaimennus (Closed looped ANTI SWAY) tulee merkittävästi helpottamaan sekä tehostamaan nosturin ajamista.

3.6 Sisältörikkaampaa tekemistä

Suomessa kuljettajien keski-ikä on tällä hetkellä noin 56 vuotta ja pian tarvitsemme uusia nuoria kuljettajia nostureihin. Kilpailtaessa hyvästä työvoimasta, työn sisällön ja työkalujen tulee olla kilpailukykyisiä. Katsottaessa nykyaikaisen maansiirtokoneen tai kuorma-auton kuljettajan työpaikkaa, työtä helpottavia teknisten apuvälineiden määrää, varsin suuri määrä torninosturien ohjaamoista on aivan kuin eri aikakaudelta. Työvälineiden tulisi auttaa tekemään toistuvat samoihin pisteisiin tapahtuvat materiaalisiirrot nykyistä tehokkaammin. Tänä päivänä kuljettajat ovat tehokkaita ja täyttävät tehtävänsä niin hyvin kuin nykyisellä hyvin vaihtelevalla nostokalustolla pystyvät.
Pystymmekö tuottamaan kuljettajalle oikeita apulaitteita, joiden avulla työn tekeminen helpottuisi ja nopeutuisi?
Takaisinkytketty heilunnan esto, tuotteesta ohjaaminen ja nosturin ajaminen uudelleen toistuviin pisteisiin ovat eräitä menetelmiä, joita on tässä tutkimuksessa tuotettu.
Tutkimustyön alla on tietenkin jo liuta uusia toimintoja. Nyt ensisijaisena tavoitteena on osoittaa tässä tutkimusraportissa kuvattujen eri uusien menetelmien hyödyt käytännössä.

Asianmukaiset työkalut ovat tämän päivän ammattilaisen tunnusmerkki. Uusimmissa nostureissa on varmasti monta hyvää aputyökalua mutta niistä tiedon mukaan puuttuvat ainakin kaikki sellaiset työkalut joita on tutkittu ja tuotteistettu tässä tutkimushankkeessa.

Kuva 17 Erikoisnosturin kameran näyttö ja ohjainpaneeli[12]

Kuljettajan apuvälineiden tulisi olla sellaisia, ettei kuljettajan tarvitse keskittyä useisiin eri ohjaimiin samaan aikaan kun hän suorittaa siirtotehtäviä nosturilla. Toisaalta erilaiset laitteet vaativat myös erityisominaisuuksia joka koskee myös tässä tutkimuksessa käytettyjä kameravalintoja. Kamera, joka antaisi parhaimmat tulokset nosturin numeerisen ohjauksen kannalta, ei välttämättä ole nosturin kuljettajan valinta.

3.7 Parempi näkökyky lisää työturvallisuutta

Kun kamera asennetaan torninosturiin nosturin kuljettajan näkökyvyn kasvattamiseksi voidaan varmasti olla yhtä mieltä työturvallisuuden kasvamisesta. Yleisemmällä tasolla kameroiden näkyvyyden kannalta oikea sijoittaminen torninostureihin ja ajoneuvonostureihin tulee tapaturmatilastoissa näkymään onnettomuuksien vähenemisenä. Onnettomuuksien väheneminen tulee näkymään vähentyneinä vahinkokorvauksina joista seuraa vakuutusmaksujen aleneminen ja rakentamisen viivästymisien haittojen vähentymistä.

Kun nosturikameraa käytetään lisäksi sekä nosturin liikkeen hallittavuuden parantamiseen, optiseen mittaukseen sekä tuotteiden tunnistukseen ja oikeiden nosto- ja laskupisteiden määrittelyyn, nosturikameralle voidaan laskea selkeä takaisinmaksuaika.

Kamera sijoitetaankin tänä päivänä paikkaan, josta siitä saadaan vielä tuotannollista etua, esimerkiksi helpottamaan tilanteissa, joissa ilman kameraa toimittaisiin sokkonoston ehdoilla. Tämän tutkimuksen tulosten hyödyntämiseksi kameran tulee olla sijoitettu siten, että kamera pystyy tunnistamaan kuljettajan tai automaatio-ohjauksen liikesuunnat.

Kuljettajan tai operaattorin suora näkökyky kohdealueelle ja toimintapisteiden oikea ennakolta saavutettu paikannus ovat merkittäviä parannuksia verrattuna nykyiseen tapaan tehdä nostotyötä.

3.8 Nouto- ja vientipisteen lähialuetyöskentely tehostaminen

Nosto- ja laskuliikkeiden hallinnassa tulisi keskittyä vähentämään turhia sivuliikkeitä ja vinovetoa. Kaikki taakan painopisteen ja nostokoneen kuormankantopisteen epäkeskeisyys kuluttaa aikaa, aiheuttaa heiluntaa ja luo erityisesti raskaammilla taakoilla työntekijöiden puristumisvaaraa.

Nosturin oikea paikoittaminen jo varhain, taakan ollessa vielä turvallisessa yläkuljetuskorkeudessa ja ennen kuin taakka on lähelläkään työntekijöitä, tulee johtamaan nykyistä turvallisempaan työympäristöön. Laskettavaa taakkaa ei tarvitsisi ohjata sivuttain enää kun tuote on lähellä asentajia tai apumiehiä jolloin puristumiseen johtavia vaaratilanteita voitaisiin välttää.

Nostettaessa oikea nostokohta vähentää taakan maasta irtoamisesta ja vinonostosta johtuvaa haitallista alkuheilahdusta.

Optinen konenäkömittauksen menetelmät mahdollistavat uusia tuotteiden painopisteiden määrittelyn aputyökaluja. Erityisesti symmetrisen tuotteen oikea painopiste löytyy konenäön avulla tarkasti ja nykyistä helpommin, nostotyö nopeutuu ja muuttuu turvallisemmaksi.

3.8.1 Nuppineula osoitin

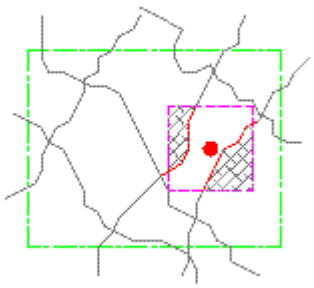
Eräs tutkimuksessa kehitetty uusi menetelmä on kohteen optisessa seuraamisessa sekä paikantamisessa käytetty *nuppineula osoitin*.
Looginen ja selkeä nuppineula näyttää kerran opetetun optisen kohteen etäisyyden ja suunnan selkeästi nuppineulan pituuden ja kaltevuuden avulla.

Nuppineulan kohteen määrittelyssä voidaan käyttää suoraan tuotetta tai tuotteen ympäristöä.
Tuotteen tai siirtolaitteen *ympäristön* käyttämistä oikean paikan määrittelyssä on kehitetty karkean optisen paikoituksen näkökulmasta. Menetelmä soveltuu hyvin nostovaunun kohdistamiseen vaikka tuotantokoneen tärkeään toimintapisteeseen. Monilla tuotantokoneilla on edullisinta mitä vähemmän tuotteen nouto- tai vienti poikkeaa koneen esimerkiksi ns. nollapisteestä. Oikea noutopisteen määrittely aiheuttaa kaikkein vähiten haitallista alkuvaiheen heilahtelua. Oikea vientipisteen määrittely vähentää erilaisen tuotteen keskitystyön tarvetta ja säästää asetusaikaa.

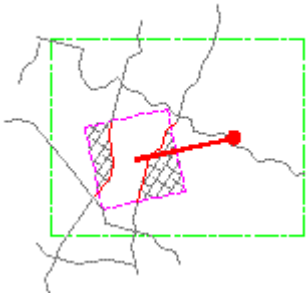
Itse tuotteen ja sen osien käyttäminen optisena kohteena on tarkoitettu tuotteen lähestymiseen ja itse tarttumisen hienosäätöön.

Huomaa, että *ympäristöä* voidaan useimmiten tarkkailla vaikka tuote olisi kyydissä kun taas tuotteen ja sen osien, kuten kontin tartuntareikien, seuraaminen ei hyödytä kun konttia viedään tarttujan kantamana vientikohteeseen.

Monilla tuotteilla on erityisesti siirtoketjun sisäisissä siirroissa toistuvia tuotteiden alas laskemisia ja uudelleen nostamisia. Nuppineula- osoittimella ja -mittaustavalla kuljettaja tai automaatiojärjestelmä tunnistaa useissa käytännön sovellutuksissa loogisesti osoitettuna kohteen oikean nouto ja vientialueen paikan *sekä* tuotteen tarkan tarttumisen edellytykset. Tuotteen tarttumisen vaihtelun merkitys on joissain sovellutuksissa suuri siltä jos tuotteeseen tartutaan epätarkasti, tapahtuu tuotteen vienti epätarkan tarttumisen johdosta tartunnan hajontaa suuremmalla vientipisteen hajonnalla.



Kuva 18 Optisen kohteen piirteiden tallennus jätettäessä / 1. käyntikerralla. Nuppineula osoittimesta näkyvissä vain nuppineulan pää. Vihreällä rajattu alue on ohjattavan laitteen näytöllä näkyvän alueen rajaus. Punaisella merkitty alue on määritetyn optisen kohteen opetetun alueen rajat.



Kuva 19 Optisen kohteen uudelleenpaikannus kohteen vastapäivään kierron sekä vasemmalle sivuttaissiirtymisen jälkeen. Nuppineula osoittimesta näkyy neulan pituuden avulla oikean kohteen etäisyys sekä suunta. Optisen kohteen alueen määrittelystä näkyy kohteen kiertyminen.

Kuva 20 GPS paikannuksessa käytetty kaivonkannen näytön optisen alueen rajaus

Kuva 21 Nuppineula osoitin näyttää optisen kohteen suunnan ja etäisyyden selkeällä visuaalisella tavalla mikä on samalla numeerisen ohjauksen perusta

4 Esittelyvideot

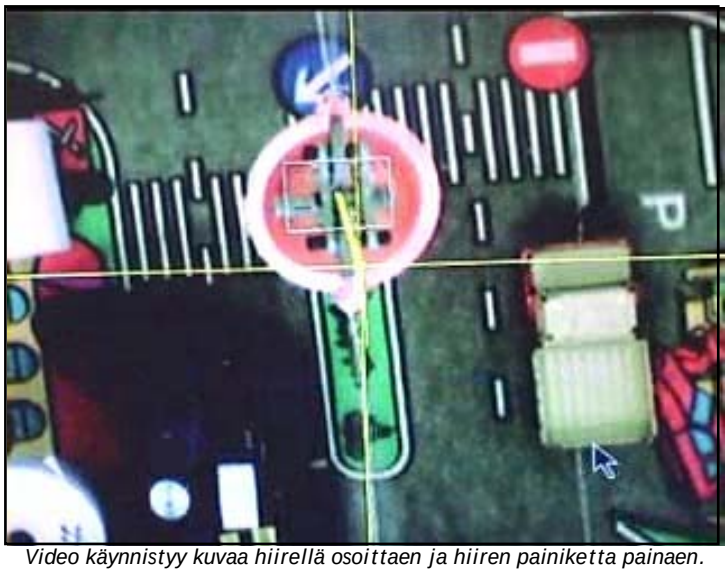
4.1 Yleiskuvaus

Video käynnistyy kuvaa hiirellä osoittaen ja hiiren painiketta painaen.

4.2 Takaisinkytketty heilahduksenvaimennus

Video käynnistyy kuvaa hiirellä osoittaen ja hiiren painiketta painaen.

4.3 Nosturin ohjaaminen taakasta kiinni pitäen



Video käynnistyy kuvaa hiirellä osoittaen ja hiiren painiketta painaen.

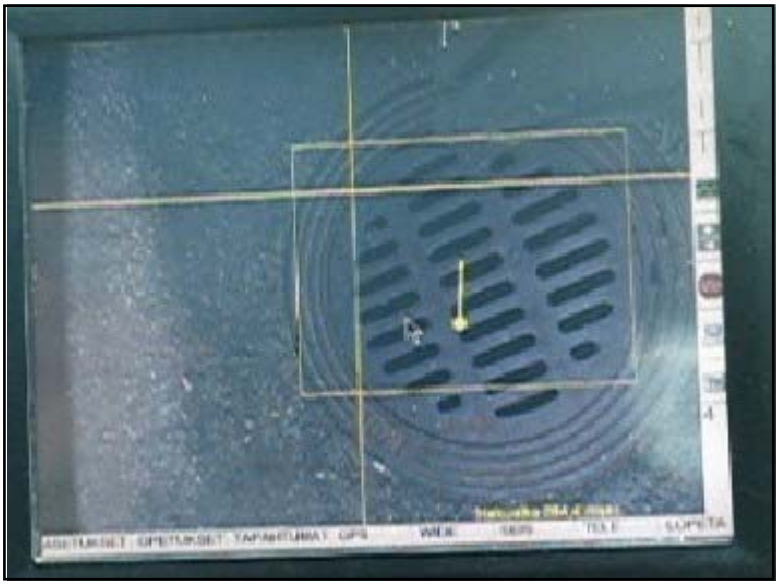
4.4 Nosturin optinen uudelleenpaikoittaminen

Video käynnistyy kuvaa hiirellä osoittaen ja hiiren painiketta painaen.

4.5 Langaton kuvansiirto ajoneuvonosturin koukkukameralla

Video käynnistyy kuvaa hiirellä osoittaen ja hiiren painiketta painaen.

4.6 GPS paikan tarkentaminen kuvallisella paikannuksella



Video käynnistyy kuvaa hiirellä osoittaen ja hiiren painiketta painaen.

5 Lopuksi

Tässä tutkimusraportissa kuvattu liikkeen kuvallisen *takaisinkytkennän teknologia on merkittävä globaalin liiketoiminnan mahdollisuus*.

Siirtoliikkeen ohjauksen takaisinkytkentä, riippumatta siitä millä tavalla takaisinkytkentä tehdään, on materiaalisiirtojärjestelmän energiataloudellisuuden kasvun vuoksi *ekologinen välttämättömyys*.

Siirtoliikkeen itse oppivalla optisella takaisinkytkennällä ja datafuusion avulla paikkaan sidotulla kuvallisella paikannuksella pystytään samalla järjestelmällä *parantamaan materiaalikäsittelyn tuottavuutta, energiataloudellisuutta sekä turvallisuutta*.

Olemassa olevan demonosturin avulla olemme pystyneet käytännössä *ei vain todistamaan takaisinkytkennän merkittävää liikkeenohjausta tehostavaa vaikutusta mutta myös esittelemään useita uusia laitteiden ohjaukseen liittyviä kuvallisia paikantamista ja turvallisuutta lisääviä työmenetelmiä*.

Aivan lähitulevaisuudessa tutkimuksessa esitetyn uuden teknologian lisäksi langaton tiedonsiirto, digitaalikameratekniikka ja sulautettujen tietojärjestelmien laskentatehon kasvaminen mahdollistaa koko joukon muita tässä tutkimuksessa esittämättömiä nosto- ja siirtotyön suorittamista tehostavia teknisiä ratkaisuja mutta myös turvallisempia tapoja tehdä välttämätöntä materiaalinkäsittely- ja siirtotyötä.

Edellä tiedostoon sisälletyt videoleikkeet eivät tuo esille demolaitteen tai oikean nosturin mahdollistamia itse näkemisen ja kokemisen kautta tehtyjä henkilökohtaisia havaintoja. Kuitenkin tähän liitetty liikkuva kuva esittää huomattavasti paremmin liikkeen hallinnasta kertovaa teknologiaa kuin kirjoitettu teksti.

Tässä lyhyessä tutkimuksen PDF yhteenvedossa on kuvattu ainoastaan tutkimus- ja kehitystyön ydin. Uuden teknologian käytännön soveltaminen on lähellä ja ensimmäiset tuotteistukset on suunniteltu tapahtuvan vuoden 2010 alussa.

Tutkimuksesta on saatavilla laajempi tutkimuksen sidottu kuvaus julkaisuna ISBN 978-952-92-5677-8(sid.). Tiedustelut allekirjoittaneelta.

Kiitän osoittamastanne mielenkiinnostanne.
Annamme mielellämme lisätietoja.

Espoossa, 22. kesäkuuta 2009

Jouni Erikkilä B.Sc. (Eng)

c/o Sime Oy
Olarinluoma 15
02200 ESPOO
puhelin +358 40 5473 357
email:etunimi.sukunimi@sime.fi

HAKEMISTO

3D kolmiulotteinen avaruusmalli 16
4D avaruusmalli 3D+aikajänne 16
Alhainen diversiteetti 16
CCD 20
CMOS 20
datafuusio 19
Don't care 20
Esittelyvideot 34
Firewire 20
GigE 20
Heikkilä Seppo DI 14
iLink 20
JIT (Toyota
Just In Time 1937) 7
Keksintösäätiö 14
Kiitos 5
Konenäön diversiteetti 15
korkea diversiteetti 15
LEAN
4D - automaatio 8
7 wastes of LEAN 7
energiasäästö 8
ihmishenkien säästäminen 8
imuohjaus 7
siirtoajan säästö 7
T.I.M.W.O.O.D 7
monimuotoisuus 15
Numeerinen paikannus 12
Numeeriset ohjausjärjestelmät 10
Nuppineula osoitin 32
Optinen takaisinkytkentä 11
optisen kohteen dynaaminen lähestyminen . 16
Patentti CA2236041 26
Patentti FI103031 26
Patentti FI117835 27
Patentti KOR0431578 26
Patentti US6256553 26
Patenttihakemus FI20095324 28
Patenttihakemus PCT FI2006/216 27
progressive scan 20
Salmelin Bror DI 14
score 19
sokkonosto 24
Takaisinkytketty ohjaus 9
TEKES 14
Toyota
LEAN 1960 luku 7
tuotannon monimuotoisuutta 15
tuotteiden sisäinen monimuotoisuus 15
Viitekehys 8
VN Asetus 205/2009 24
Välyksellinen 11
välys nosto- ja siirtolaitteessa 11
ympäristön monimuotoisuus 15

LÄHDELUETTELOVIITTAUKSET

[1] Putkiranta Antero DI, KTT
[2] Lindroos Lasse FM *26.2.1945-†22.7.2009
[3] Wikipedia: Datafuusio (engl. *data fusion*) on muodollisesti määritelty kehys, jossa kuvataan eri lähteistä peräisin olevan tiedon yhteyden luomisen menetelmät ja työkalut ja jonka tarkoituksena on löytää informaatiolle suurempi arvo.
[4] LEAN historiaa http://www.lean.org
[5] Lyhyesti http://fi.wikipedia.org/wiki/Lean
[6] Rockwell.com Publication Nb MATIVP-AP002A-EN-D – oct 2001
SIEMENS AG
http://www.industry.siemens.com/metals/ES/processes/mp_proc_01_3_6.htm
[7] Valmistaja ja kuvat Erikkilä Ky myöhemmin Erikkilä Nostotekniikkaa Oy

[8] Lähde eur-lex.europa.eu : Toistotarkkuus

Toistotarkkuudella tarkoitetaan määrätyissä olosuhteissa saatujen toisistaan riippumattomien testitulosten välistä yhtäpitävyyden tarkkuutta

[9] Allekirjoittaneen 90-luvun alussa suorittamien mekaanisen toistotarkkuuden määrittelyä ROBSYSTEM ® Erikkilä Nostotekniikkaa Oy komponenttipohjaisella X/Y/Z-automaattinosturilla
[10] Cranes Today 19.1.2005 'Swing low' viimeinen kappale
http://www.cranestodaymagazine.com/story.asp?storyCode=2026255&sectioncode=66
[11] FINLEX ® Valtion säädöstötietopankki
http://www.finlex.fi/fi/laki/kokoelma/2009/20090034.pdf
[12] Erikoiskameralaitteisto käännöllä http://www.CraneCamera.com