



White Paper: Pk-yrityksen intralogistiikan digitalisointi kustannustehokkaalla konenäöllä

MOI Hub -hankkeen tekninen raportti Perustuu tutkimukseen: *Low-Cost Vision-Based Inventory Monitoring: Implementation and Evaluation (Martikkala et al., 2025)*

Tiivistelmä

Teollisuuden digitalisaatio ja teollinen internet (IoT) tarjoavat merkittäviä mahdollisuuksia tuotannon tehostamiseen, mutta pk-yritykset kohtaavat usein kynnyksen korkeiden investointikustannusten ja vaadittavan erityisosaamisen muodossa. Erityisesti varastohallinta ja intralogistiikka ovat alueita, joissa manuaaliset työvaiheet aiheuttavat edelleen virheitä ja viiveitä. Tässä raportissa kuvataan MOI Hub -hankkeessa kehitetty ja testattu matalan kynnyksen konenäköjärjestelmä, joka on suunniteltu nimenomaan pk-sektorin tarpeisiin. Ratkaisu hyödyntää edullista kuluttajaelektroniikkaa ja avoimen lähdekoodin ohjelmistoja, tarjoten reaaliaikaisen näkymän varastotilanteeseen ilman raskaita infrastruktuuri-investointeja. Järjestelmän suorituskyky on validoitu yli 11 000 kuvan testiaineistolla, ja se osoittaa, että luotettava teollinen monitorointi on mahdollista toteuttaa murto-osalla perinteisten järjestelmien hinnasta.

1. Johdanto: Pk-sektorin digitalisaation haasteet

Nykyaikainen teollisuusautomaatio nojaa yhä vahvemmin datan keruuseen ja analysointiin. Suuret yritykset hyödyntävät jo laajasti robotiikkaa ja kalliita anturiverkkoja varastohallinnassa, mutta pienet ja keskisuuret yritykset jäävät usein kehityksen ulkopuolelle resurssipulan vuoksi. Olemassa olevat kaupalliset ratkaisut vaativat tyypillisesti kalliita laitehankintoja tai monimutkaista integraatiota toiminnanohjausjärjestelmiin, mikä ei ole taloudellisesti perusteltua pienemmissä tuotantoyksiköissä.

Tämä teknologinen kuilu ylläpitää tilannetta, jossa pk-yritysten varastohallinta perustuu edelleen manuaaliseen laskentaan ja harvoin tehtäviin inventaarioihin. Tämä johtaa väistämättä tilanteisiin, joissa varastosaldo ei vastaa todellisuutta, mikä puolestaan aiheuttaa tuotantokatkoksia tai turhia pikatoimituksia. MOI Hub -hankkeen tavoitteena oli vastata tähän haasteeseen kehittämällä prototyyppi, joka tuo tekoälypohjaisen seurannan kaikkien ulottuville hyödyntämällä niin sanottua low-cost-lähestymistapaa.

2. Ratkaisun arkkitehtuuri ja laitteisto

Kehitetyn järjestelmän ytimessä on ajatus siitä, että teollisuustason luotettavuus voidaan saavuttaa ilman teollisuustason hintalappua. Prototyyppi rakennettiin hyödyntämällä tavallista, noin 30 euron hintaista USB-webkameraa, joka tarjoaa riittävän 1280x720 pikselin resoluution. Kamera asennettiin varastohyllyn yläpuolelle 3D-tulostetulla telineellä, joka mahdollistaa helpon jälkiasennuksen olemassa oleviin kalusteisiin.

Yksi merkittävimmistä haasteista edullisten kameroiden käytössä on niiden herkkyys valaistusolosuhteiden muutoksille. Tehdashallien valaistus vaihtelee usein vuorokaudenajan ja muiden valonlähteiden mukaan, mikä voi sekoittaa konenäköalgoritmeja. Tämän ratkaisemiseksi kameratelineeseen integroitiin edullinen LED-nauha, joka varmistaa tasaisen ja vakiodun valaistuksen suoraan kuvattavaan kohteeseen. Laskentatehon osalta järjestelmä optimoitiin

toimimaan tavallisella kannettavalla tietokoneella ilman erillisiä grafiikkakiihdyttimiä (GPU), mikä madaltaa käyttöönoton kynnystä entisestään.

3. Tekoälypohjainen tunnistuslogiikka

Ohjelmistotasolla järjestelmä hyödyntää moderneja koneoppimismenetelmiä varastolaatikoiden tilan analysointiin. Prosessi on jaettu kahteen vaiheeseen: aktiivisen laatikon tunnistamiseen ja sen täyttöasteen arviointiin.

Ensimmäisessä vaiheessa järjestelmän on tunnistettava, mikä varastolaatikko on avattu. Hankkeen aikana vertailtiin kahta eri lähestymistapaa: perinteistä tekstintunnistusta (OCR) ja konvoluutioneuroverkkoihin (CNN) perustuvaa hahmontunnistusta. Vaikka tekstintunnistus toimi ihanteellisissa olosuhteissa, se osoittautui herkäksi etäisyyden vaihtelulle ja etikettien kulumiselle. CNN-pohjainen lähestymistapa, jossa neuroverkko opetettiin tunnistamaan laatikon sijainti suoraan kuvasta, osoittautui huomattavasti luotettavammaksi ja saavutti testeissä yli 95 prosentin tarkkuuden.

Toisessa vaiheessa analysoidaan avatun laatikon sisältö. Tätä varten kehitettiin erillinen kevyt neuroverkkomalli, joka luokittelee laatikon tilan kolmeen kategoriaan: tyhjä, vajaa tai täysi. Tämä tieto on kriittinen automaattisten tilausimpulssien luomiseksi. Malli saavutti erinomaisen tarkkuuden erityisesti tyhjien ja vajaiden laatikoiden tunnistamisessa, mikä on usein tärkein tieto täydennystarpeen kannalta.

4. Innovaatiot datan käsittelyssä ja suorituskyky

Yksi suurimmista esteistä tekoälyn soveltamisessa pk-yrityksissä on opetusdatan keräämisen ja annotoinnin työläys. Jotta neuroverkko oppii tunnistamaan esineitä, sille on syötettävä tuhansia esimerkkikuvia, joihin on käsin merkitty objektien sijainnit. MOI Hub -hankkeessa kehitettiin tähän ongelmaan puoliautomaattinen annotointityökalu. Työkalu hyödyntää väriavaruuteen perustuvaa segmentointia (HSV), jonka avulla se pystyy automaattisesti rajaamaan varastolaatikat kuvista ja luomaan tarvittavat opetusmerkinnät. Tämä innovaatio nopeutti datan käsittelyä merkittävästi ja mahdollisti laajan, yli 11 000 kuvan testiaineiston keräämisen resurssitehokkaasti.

Suorituskyvyn osalta järjestelmä osoitti, että kevyt neuroverkkoarkkitehtuuri soveltuu erinomaisesti reunalaskentaan. Kokonaisviive kuvan ottamisesta analyysituloksen valmistumiseen oli keskimäärin alle 50 millisekuntia tavallisella prosessorilla suoritettuna. Tämä tarkoittaa, että järjestelmä kykenee analysoimaan videokuvaa reaaliajassa, tarjoten välitöntä palautetta varastonhoitajalle ilman viivettä.

5. Yhteenveto ja jatkokehitys

MOI Hub -hankkeessa toteutettu prototyyppi osoittaa vakuuttavasti, että älykäs varastonhallinta on teknisesti ja taloudellisesti mahdollista toteuttaa myös pienemmissä teollisuusympäristöissä. Yhdistämällä edulliset komponentit, avoimen lähdekoodin ohjelmistot ja innovatiiviset datankäsittelymenetelmät voidaan luoda ratkaisuja, jotka vastaavat teollisuuden vaatimuksia mutta pysyvät kustannuksiltaan kohtuullisina.

Kehitetty järjestelmä tarjoaa skaalautuvan pohjan jatkokehitykselle. Tulevaisuudessa järjestelmä on mahdollista integroida suoraan yrityksen toiminnanohjausjärjestelmään standardien rajapintojen kautta, jolloin varastotäydennykset voisivat tapahtua täysin automaattisesti konenäköhavaintojen perusteella. Tämä vapauttaa henkilöstön rutiininomaisesta kirjaamisesta tuottavampaan työhön ja parantaa toimitusvarmuutta läpi koko toimitusketjun.